

CRDS-FY2011-IC-03

電子情報通信分野

科学技術・研究開発の国際比較 2011年版

ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC TCTAGACC

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

エグゼクティブサマリー

本報告書は、電子情報通信分野における各国の技術力の国際比較を専門家の主観評価によって行った結果を示す。さらに今後注目すべき萌芽的な技術動向についても記している。

国ごとの技術力について特徴的なポイントを以下に示す。

日本

多くの分野で基礎研究から産業技術まで高いレベルを有するが、相対的には地盤沈下傾向が否めない。国際市場開拓に向けた戦略的取り組みが必要である。

コンピュータハードウェアは米国に次ぐ位置を占め、クラウドシステムを構成するサーバの設計技術は高い。スーパーコンピュータについては、次世代スパコン「京」プロジェクトなどを通じて技術力の維持向上が図られている。通信分野では、FTTH (Fiber To The Home) の展開で世界をリードしている。関連して光周波数の利用効率を高める研究開発でも優位な地位にあるが、商用化で一部遅れもみられる。モバイルマルチメディアサービスが普及し、モバイル通信事業者はその収入の半分程度をデータトラフィックから得ており、この点で欧米事業者に先行している。しかし無線 LAN、次世代携帯電話方式などのコア技術の研究開発は標準化の動きに対応できていない。

デバイス分野では、技術力は研究から産業技術まで高いレベルにあるが、それを産業競争力に結びつける取組が課題である。とくにセンサ、パワーエレクトロニクス、有機エレクトロニクスなど素材産業との連携で強みを持つ。また、光学材料・光コンポーネント、シリコンフォトリソグラフィなどでも優位性がある。

ソフトウェア分野では一部に世界をリードする研究成果を上げているが、米国が Google, Facebook, Twitter などのプラットフォームを生み出しているのに対して、対抗する力には欠けている。ソリューションサービスについて国際展開を強化する動きがみられるほか、クラウドコンピューティングで米国の後追いの動きはあるが取り組みが活発化している。ハードウェアと一体化した組み込みソフトでは世界最高水準の技術レベルにある。

ロボット分野では、産業用ロボットで高い世界シェアを有している。しかし、研究フェーズではサイエンス志向の研究に重点が置かれる傾向があり、実用化に向けたサービスロボットの研究開発は手薄である。

米国

独創的アイデアの創出力とそれを産業に結び付ける社会的仕組みや企業の力がともに強く、電子情報通信のほとんどすべての分野にわたり圧倒的な優位性を持っている。インターネットを利用した多様なビジネスを素早く立ち上げ、世界をリードしている。クラウドコンピューティング、スマートフォンなどの動きを実現、加速する研究、開発、産業技術でリードし、商用化段階においては世界各国のリソースを巧みに組み合わせてビジネスを展開している。広い分野で軍用の研究が基礎技術を支えている側面は大きい。

ソフトウェア分野は特に強く、基盤ソフトからアプリケーションソフトまで優位性を持つ。セキュリティ技術では国家安全保障の観点から広範な研究開発がおこなわれている。スーパーコンピュータ分野で 2010 年のランキングトップを中国に奪われたことが話題になっているが、技術力は依然として最高レベルである。クラウドサービスに伴うデータセンタの省電力化についても高い技術力を持っている。大容量・長距離光通信などネットワークインフラにおいても研究から産業フェーズまで高い技術力を有している。ロボット分野でも、Internet に次ぐ次世代の economic enabler と位置づけて NRI (National Robotics Initiative) を開始するなど力を入れており、サービスロボットの商用化も進ん

でいる。

これらのシステムを支えるデバイス分野では、ポストムーア時代に向けた独創的な研究が大学および企業で進展している。また環境問題に対応する動きとして、固体照明の標準化に積極的に取り組んでいる。コンピューテーショナル・フォトグラフィ（光学と画像処理の融合技術）で研究開発の世界的な中心になっている。

このように電子情報通信分野のほとんどで世界をリードする米国であるが、産業構造の変化、ものづくりの海外シフト、研究開発予算削減などにより、相対的な競争優位性が失われつつあるのではないかと危機感も一部には高まっている。

欧州

伝統的に基礎領域が強く、FP7 (Framework Programme 7) などを通じて多額の投資が行われ、各国間で連携した研究開発力が強化されている。

ハードウェアの産業競争力は概して強くないが、ARM 社（英）は組み込みプロセッサで、また Nokia 社（フィンランド）は携帯電話端末で、それぞれ高いシェアを持っている。ソフトウェアでは形式手法、オブジェクト指向プログラミングなどで世界をリードしている。大企業向けのビジネスアプリケーションソフトでは SAP 社（独）が強く、売上高で世界第 3 位のソフトウェア企業といわれている。

ロボット分野にも力を入れている。FP7 の中で、Cognitive Systems and Robotics を ICT 分野のチャレンジ領域の一つに選定し、研究機関から企業への技術移転、ロボットの実世界への導入などに予算を重点配分している。

電子デバイス分野では、IMEC（ベルギー）の存在が大きく、世界の研究開発拠点の一つとなっている。またマイクロ・ナノテクノロジー分野での MINATEC（仏）も注目すべき拠点である。これらの拠点や大学間の連携等を通じて、有機薄膜太陽電池、パワーエレクトロニクス、高周波・アナログデバイス、固体照明などの研究が進展している。

韓国

官民一体となって情報通信分野の技術力強化を図っている。とくに Samsung 等の企業が半導体メモリ、ディスプレイ、携帯電話を中心に多くの分野で世界シェアを伸ばし、産業的に大きな成功を収めている。欧米各社との連携や留学の重視など海外志向が強いことも特徴である。基礎研究ではまだ独創的なものは少ないが、国際会議への論文投稿数も急速に伸びている。光メモリなどでは、大学の研究開発水準は日本よりも高いと考えられる。

コンピュータハードウェアへの研究開発には注力されていないが、ソフトウェア分野での研究水準は上がってきている。ブロードバンドインターネット普及率は世界有数である。また検索サービスでは Naver が国内シェア 1 位を占めている。ロボットの産業化に熱心であり、知能ロボットを 17 の Growth Engine の一つに位置づけて国を挙げて推進している。

中国

全体的には技術レベルはまだ高いとは言えないが、海外留学生の帰国組を中心にレベルアップを図るなど着実に伸びている。象徴的な出来事としては、スーパーコンピュータ天河一号 A が 2010 年の世界ランキング 1 位になるなど急速にレベルを上げている。国際会議での論文発表、あるいは自国での国際会議の主催などに積極的に取り組んでいる。

産学連携も密接に行われて産業的にも強化されてきており、光通信装置でファーウェイ（華為技術）が、PC では Lenovo が、それぞれ世界的に高いシェアを持つ。検索サービスでは Baidu が国内トップシェアを持っている。

台湾

世界一のファウンドリ企業である TSMC など、半導体中心に高い技術力を持つ。また研究水準、技術開発水準の向上も顕著である。

一方、国際比較という観点とは別に、注目すべき萌芽的な技術動向について専門家の意見を集約した。多数の重要な項目がありすべてを列挙はできないが、一例を以下に示す。

エレクトロニクス分野： カーボン系電界効果トランジスタ、TSV (Through Silicon Via) など 3 次元集積回路技術、SCD (Storage Class Memory) などの新メモリアーキテクチャ

フォトリソグラフィ分野： 光通信システムにおけるファイバフューズ問題を克服する大容量化技術、量子暗号ネットワーク、有機 EL ディスプレイ、シリコンフォトリソグラフィ

コンピューティング分野： Web 情報のプライバシーおよびセキュリティ保護技術、プライバシー保護データマイニング、サイバーフィジカルシステム、アスペクト指向ソフトウェア開発手法

セキュリティ・ディペンダビリティ分野： クラウドコンピューティングに対応したネットワークセキュリティ技術、生体認証技術、重複除外技術

ネットワーク分野： 新世代ネットワークアーキテクチャ、CDN (Contents Delivery Network) 技術、DRM (Digital Right Management) 技術

ロボティクス分野： 特殊環境ロボット技術、柔らかいロボット技術

目 次

1 目的・調査方法・本書の構成	1
2 国際技術力比較	5
2.1 エレクトロニクス分野	7
2.1.1 概観	7
2.1.2 中綱目ごとの比較	8
(1) 有機材料・デバイス	8
(2) 無機系デバイス	10
(3) パワーデバイス	11
(4) センサ	13
(5) 実装技術	14
(6) 集積回路 (インテグレーション)	16
(7) 集積回路 (デジタル)	18
(8) 集積回路 (メモリ)	19
(9) 集積回路 (高周波・アナログ)	20
(10) VLSI システムアーキテクチャ	21
(11) 設計支援技術 (CAD)	22
2.1.3 注目すべき萌芽的技術動向	24
2.2 フォトニクス分野	29
2.2.1 概観	29
2.2.2 中綱目ごとの比較	31
(1) 光通信	31
(2) 光メモリ	33
(3) ディスプレイ技術	35
(4) 固体照明	37
(5) 光学材料・コンポーネント・光学設計	39
(6) 光計測	41
(7) 量子情報	42
(8) フォトニック結晶／メタマテリアル	43
(9) シミュレーション解析	45
2.2.3 注目すべき萌芽的技術動向	46

2.3 コンピューティング分野	53
2.3.1 概観	53
2.3.2 中綱目ごとの比較	57
(1) 基礎理論	57
(2) Web 情報システム	59
(3) データベースとデータマイニング	61
(4) ビジネス応用とサービスサイエンス	63
(5) 基盤ソフトウェア	65
(6) スーパーコンピュータ	66
(7) 並列コンピューティング・クラスタコンピューティング	67
(8) ソフトウェア開発技術	68
(9) ソフトウェア開発ツール	69
(10) マルチメディアシステム	70
(11) チップマルチプロセッサ	71
(12) 省電力情報処理技術	72
(13) リコンフィギュラブルシステム	73
(14) 自然言語処理	74
2.3.3 注目すべき萌芽的技術動向	75
2.4 セキュリティ・ディペンダビリティ分野	89
2.4.1 概観	89
2.4.2 中綱目ごとの比較	90
(1) ディペンダブル情報システム	90
(2) 管理・運用・評価認証	92
(3) 暗号・認証基盤および応用	94
(4) ネットワークセキュリティ	96
(5) コンピュータセキュリティ	99
(6) 仮想化	102
(7) 量子情報セキュリティ	104
(8) ハードウェアセキュリティ	106
(9) 生体認証	109
2.4.3 注目すべき萌芽的技術動向	114
2.5 ネットワーク分野	119
2.5.1 概観	121
2.5.2 中綱目ごとの比較	121
(1) 光ネットワーク	121
(2) ワイヤレスネットワーク	123

(3) インターネット	125
(4) 次世代ネットワーク	127
(5) サービス技術（クラウドコンピューティング技術）	129
(6) 情報通信端末技術	132
(7) 画像圧縮技術／マルチメディア応用技術	135
(8) ネットワークセキュリティ	137
(9) 情報源符号化／誤り訂正符号（通信路符号化） ／ネットワーク符号化	139
(10) 通信トラヒック理論	140
2.5.3 注目すべき萌芽的技術動向	142
2.6 ロボティクス分野	147
2.6.1 概観	147
2.6.2 中綱目ごとの比較	150
(1) フィールドロボット	150
(2) サービスロボット	152
(3) 産業用ロボット	154
(4) 医療用ロボット	156
(5) システム・インテグレーション	157
(6) ヒューマン・ロボット・インタラクション	159
(7) 知能化技術	161
(8) センシング・認知	163
(9) 移動技術	165
(10) マニピュレーション	167
(11) アクチュエータ・メカニズム	169
2.6.3 注目すべき萌芽的技術動向	171
付録	175
海外の政策動向	177
略語集	184
執筆者一覧	193

目的・調査方法・ 本書の構成

目的・調査方法・本書の構成

1. 目的

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（CRDS）は、社会ニーズを充足し、社会ビジョンを実現させる科学技術の有効な発展に貢献することを目的に、国が行うべき研究開発の戦略立案を行い、科学技術政策立案者に提言を行っている。

有効な戦略立案・提言のためには、①国内外の科学技術水準や現在行われている研究開発の動向を比較し、我が国の技術力の国際的なポジションを把握するとともに、②新しい技術の芽にも注意を払い、今後の研究開発動向を的確に捉える必要がある。そこで、CRDS では 2008 年より、科学技術・研究開発に関する国際比較調査を実施し、その結果を刊行、発表してきている。

本報告書は、電子情報通信分野において、2011 年 3 月末までの調査結果をまとめたものである。電子情報通信分野のうち、2011 年版では、「エレクトロニクス」、「フォトニクス」、「コンピューティング」、「セキュリティ・ディペンダビリティ」、「ネットワーク」、「ロボティクス」の各分野について国際技術力比較を実施した。

国際比較の結果は CRDS における研究開発戦略の企画立案の基礎資料として活用されるとともに、独立した報告書として、科学技術政策立案に関連する関連機関等に配布される。

2. 調査方法

本調査は、我が国の専門家集団の主観評価（見識）に基づき実施し、まとめたものである。

具体的には、全体の監修を上席フェローが行い、調査対象の設定、「中綱目」（技術力の比較が可能なレベルに分野をさらに細かくカテゴライズした技術領域）の設定、担当専門家の分担の決定などを行った。専門家（調査協力者）は、担当する中綱目について、最新の文献や国際学会等の動向、関連する研究者、技術者等からの聞き取り調査などにより、科学技術・研究開発の国際技術力比較、及び注目すべき研究開発の動向の調査を実施した。これらの調査結果を CRDS フェローがとりまとめ、編集の上、報告書としてまとめた。

3. 本書の構成

本調査は、それぞれの科学技術をいくつかの「分野」に分け、さらに比較可能な技術カテゴリーとして「中綱目」を設定し、「中綱目」単位で比較調査した。

本報告書の「国際技術力比較」は、「分野」ごとに、「概観」「中綱目ごとの比較（比較表）」「注目すべき萌芽的技術動向」から構成した。

また、「付録：海外の政策動向」は、各分野に関する主要国の科学技術政策や研究開発システムの動向について記述した。

（1）概観

「分野」ごとに、日本及び各国の技術力の現状の概観を記載した。

(2) 中綱目ごとの比較（比較表）

専門家の知見に基づき各国の科学技術力の比較を中綱目ごとに集めたもので、各国の科学技術力を比較する際のベンチマーク資料と位置づけられる。

技術力の比較は、「研究水準」「技術開発水準」「産業技術力」という 3 つの観点で行った。

- ・ 「研究水準」：大学・公的研究機関の研究レベル
- ・ 「技術開発水準」：企業における研究開発のレベル
- ・ 「産業技術力」：企業における生産現場の技術力

またこれらの評価は、各国の技術力の「現状」と、各国の技術力が過去と比較してどのように変化してきているかの「近年のトレンド」の二つの視点で行った。

- ・ 「現状」：◎非常に進んでいる ○進んでいる △遅れている ×非常に遅れている
- ・ 「近年のトレンド」：↗上昇傾向 →現状維持 ↘下降傾向

国、地域のカテゴリーは、原則、日本、米国、欧州、中国、韓国とし、その他の国、地域は必要に応じて追記した。

(3) 注目すべき萌芽的技術動向

国際技術力比較としての対象設定が可能な、世界的に普及した研究開発領域の動向とは別に、専門家の見識によって選定された萌芽的研究開発動向の最新動向を取りまとめたものである。将来的に重要性が増すと予想される技術革新の芽や、一国単独での記述にはおさまらない国際的な潮流の新しい動向、あるいは我が国においてその情報が十分に紹介されてこなかった諸外国の研究開発や政策上注目すべきトピックを収集、紹介する為の手段として位置づけられる。

國際技術力比較

2.1 エレクトロニクス分野

2.1.1 概要

エレクトロニクス全般に関して、米国が依然圧倒的な強さを維持しており、産業的にも研究開発的にも世界をリードしている。独創的な研究も多い。特に、集積エレクトロニクス分野では将来の消費電力爆発に備え **bio-inspired** といって生物をまねはしないが、お手本にしてポスト・ムーア世代の技術を模索しようとする動きが活発化している。

欧州は IMEC などの研究拠点で集積エレクトロニクスの研究が行われていることや、物理や数学の理論面が強いこともあって、パワーデバイスやアナログ、無線、CAD、実装、アーキテクチャなど多くのエレクトロニクス分野において研究面で躍進している。しかし、研究成果が世界で使われているためもあるが、産業的には特筆すべき変化はない。

韓国、台湾は特に集積エレクトロニクス分野において技術力は高いレベルにあり、これが産業的な成功を裏打ちしている。研究開発に関しては、基礎研究など独創的なもので特筆すべきものはあまり見られないが、国の資金の注入もあって応用研究が盛んである。

中国のエレクトロニクス技術のレベルはまだ高いとは言えず、国際学会などでは目立ってはいないが、着実に伸びている。産業的には、独自標準を作るなど、技術そのものよりもその巨大マーケットを利用した躍進が目覚ましい。また、大学教授が多くの会社にも所属し、国費と大学のリソースを利用して製品開発などの応用研究をしているところなど、産学連携研究がより密接した形で成り立っており、技術的な国際競争力が向上している。

日本は、エレクトロニクス全般に関して産業技術的にも高いレベルにあり、基礎研究もレベルが高い。しかし、地盤沈下が着実に進行している。研究水準などは従来水準を維持しているものやレベルが向上しているものもあるので、今後、研究の成果が、製品応用研究に引き継がれ、産業技術に移行できるよう、継続的な手当てが必要となっている。特に、センサやパワーエレクトロニクス、有機エレクトロニクスなど素材産業との異分野連携で強みの発揮できる分野などでは独自の高い産業技術を有している。モノづくりの物理レベルでの科学技術に裏打ちされた設計技術や企画、サービスなど、総合的な国際競争力強化が課題である。

2.1.2 中綱目ごとの比較

(1) 有機材料・デバイス

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	有機EL関係では世界水準を維持しており、企業における技術開発も継続して活発である。有機トランジスタ関係では欧米と競い合っている。有機完全固体の薄膜型太陽電池についても NEDO などの支援もあって、大きく進展している。変換効率が5%に達する勢いがあり、今後の進展が期待される。有機トランジスタ関連では、物性物理、デバイス物理、デバイス作製技術、材料物性、材料合成まで幅広い研究が展開されている。センサ、アクチュエータの駆動（東大）など活発に実施されている。
	技術開発水準	◎	↑	フレキシブルデバイス、プリンタブルデバイスの面で大きく進展しており、世界水準にある。企業サイドの積極性がやや弱いのが気になる。有機トランジスタ関連では、LCD のアクティブ駆動（日立・産総研、ソニー）、有機 EL のアクティブ駆動（NHK 技研、パイオニア、ソニー）、センサ、アクチュエータの駆動（東大）等活発な動きを見せている。
	産業技術力	◎	→	有機ELディスプレイ関連では、ソニーが2007年に世界初の11インチテレビを発売したが、現在は30インチ程度の、壁張用や、テーブルクロスのような、フレキシブルディスプレイを開発中。東芝は21インチクラスの有機ELテレビを公開したが、2010年計画撤回。パナソニックは住友化学と40型有機ELテレビを共同開発中。また低分子系材料の生産と供給においては、日本企業が依然として世界を支配しており、出光興産をはじめとする国内数社が供給する低分子系素材の性能は他国の追随を許さないが、最近では韓国の素材メーカーから優れた部材が供給され始めており、予断は許さない。高分子系素材の供給については、住友化学がドイツのメルク社と世界を二分する立場にある。
米国	研究水準	◎	↑	有機デバイス全体で、非常に活発な状態が続いているが、欧州に比べれば上滑り感もある。有機トランジスタ関連では、最近では印刷プロセスを活用した新しい省資源生産技術として当該分野への期待が高まり、また研究が活性化しつつある。
	技術開発水準	○	→	有機ELディスプレイは、コダック社を残して、関心がやや薄れてきており、ターゲットを照明利用に変えて来ているが、長期的なインセンティブを与えるとはいえ難い。有機太陽電池では、半導体最大手の米 Intel Corp. が研究をスタートさせるなど、各社とも開発に本腰を入れ始めた。
	産業技術力	○	→	有機デバイス関連に、企業の関心は引き続き高いものの、目立った動きはないように見える。製品化は台湾などのアジアの企業で行う前提で企画されている。有機太陽電池では、コナルカ社など、技術力があるベンチャー企業が薄膜型太陽電池の研究を精力的に行っている。政府も環境エネルギー関係で、有機太陽電池と有機EL照明に支援を行っている。
欧州	研究水準	◎	↑	有機薄膜太陽電池の研究では大きく先行している。グレッツェル型有機太陽電池発祥の地であるスイスのローザンヌ工科大学や、オーストリアの大学と企業が最も進んだ研究開発の実績を持っており、ドイツ、オランダなど EC 諸国の大学、企業が共同して研究開発を活発に展開している。ドイツ、イギリスを中心として、有機化学や物性物理学の伝統的な潜在力があり、スピードはそれほど速くはないが、着実に研究水準は世界をリードする域に達しつつある。有機トランジスタ関連では、最近では印刷プロセスを活用した新しい省資源生産技術として当該分野への期待が高まり、また研究が活性化しつつある。
	技術開発水準	○	→	有機ELに関しては照明用途で研究が再び活性化してきている。ドイツを中心として EU 諸国では、有機半導体技術や、プリンタブル技術は21世紀の技術として不可欠であるとの見方がなされていて、長期的な視点で力が注がれている。
	産業技術力	○	→	長年この分野を引っ張ってきたフィリップスがほぼ研究開発を終結した。ドイツのノバルド社が新しいタイプの高性能有機EL開発で目立っている程度で、全体的には欧州の有機EL研究開発も停滞気味であり、ターゲットをディスプレイから照明に変えて生き残りを図りつつある。
中国	研究水準	○	↑	学術論文においては優れたものも見られるが、全体としてはまだ日本や欧米との差は大きい。
	技術開発水準	△	→	有機ELについては、進歩も見られるが、全体としてはまだ水準に達してはいない。
	産業技術力	△	→	幾つかの有機ELの生産ラインが建設されているとの伝聞情報はあがるが、実態としては実質的に生産が可能な技術水準には達していないものと推定されるが、香港では大学、企業ともに活発に動いており、台湾の水準に引けをとらない状況にある。
韓国	研究水準	◎	↑	有機EL、有機トランジスタ、有機太陽電池関係の材料・デバイス研究では、日本に追いついたものと思われる。
	技術開発水準	◎	↑	有機半導体材料、部材関係については、まだ日本とかなりの差があるが、全体としては、ほぼキャッチアップが完了しているが、最近、有機太陽電池の研究開発への関心は急速に高まっている事は、注意を要する。
	産業技術力	◎	↑	有機ELについては、サムソン、LGを中心に小型ディスプレイの大規模生産ラインの立ち上げが継続しており、すでにその製品が出始めた。30インチクラスの大規模有機ELテレビについても生産を立ち上げる準備が整いつつあると推定される。

全体コメント；日本のエレクトロニクス企業は、有機ELディスプレイの実用化の進展がやや遅れ気味のため、有機半導体エレクトロニクスに関する研究開発に本気で取り組む姿勢がやや弱い。しかし有機ELを用いた薄型大画面テレビの開発に関しては幾つかのエレクトロニクス企業が具体的な動きを開始している。一方有機半導体素材・部品関連の企業は意欲的に研究開発を進めており、世界をリードする立場にある。欧州では、有機エレクトロニクスは直近の開発課題としてではなく、長期戦略課題と受け取って腰を落ち着けて研究開発に取り組みは始めている。米国はやや短期的な判断からプリンタブル技術に集中してきている。長期的な観点での環境調和型エネルギー源の候補として捉えており、すぐに企業ベースで実用化することは必ずしも想定していない。欧州では長期戦略として、プリンタブル（フレキシブル）と有機太陽電池とが、主要な潮流を成しつつある。台湾は、韓国に若干遅れて日本の水準をキャッチアップできている。最近ではアクティブ駆動有機ELの技術もキャッチアップができてきており、韓国に続いて生産開始を狙っている。有機薄膜メモリの研究が国内、欧米ともに目立つようになってきた。まだ原理確認の段階を越えるものではないが、技術動向を見守るべき分野である。有機薄膜のセンサ応用に関しては、ヘルスケア・医療への応用をはじめ多くの用途が期待されており、如何に実用ターゲットを把握するかが今後重要である。

（註1）フェーズ〔研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力〕

（註2）現状について〔◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている〕*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註3）近年のトレンド〔↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向〕

(2) 無機系デバイス

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	スピンなどの新デバイスに結びつく新材料・物理探究の分野では、明らかに世界をリードしている。
	技術開発水準	○	→	TIA 等で研究開発体制が整いつつあるが、基礎研究と比較すると技術開発体制は欧米に比べて弱い。
	産業技術力	△	↓	先端半導体技術の開発を行う企業が減っており、それにともない将来の新デバイスを応用する産業技術力は大きく低下しつつある。
米国	研究水準	◎	↑	新デバイスに関する材料研究・物理探究の全般にわたって、極めて高い研究水準を維持しており、世界をリードしている。
	技術開発水準	◎	↑	Albany 等の研究開発拠点で世界中の企業を巻き込んで大がかりな技術開発を行っており、技術開発水準は極めて高い。
	産業技術力	◎	↑	研究開発拠点以外にも多数のベンチャー企業がさまざまな技術開発を担い、半導体大手がこれらの技術を吸収しており、産業競争力も極めて高い。
欧州	研究水準	◎	↑	新デバイスに関する材料研究・物理探究の全般にわたって、EU 主導の大型プロジェクトが多数存在し、将来の VLSI 応用を見越して基礎研究をしっかりと行っている。
	技術開発水準	◎	↑	IMEC や MINATEC に代表される研究開発拠点にて、技術開発も継続的に高いレベルで行っている。
	産業技術力	◎	→	米国企業との連携が進み、将来の新デバイスを応用する産業技術力を高いレベルで維持している。
中国	研究水準	×	→	ナノテクノロジー分野の研究では中国の躍進は目覚ましいが、新デバイスに应用可能な研究という観点では、基礎研究も技術開発もあまり知られていない。
	技術開発水準	×	→	ナノテクノロジー分野の研究では中国の躍進は目覚ましいが、新デバイスに应用可能な研究という観点では、基礎研究も技術開発もあまり知られていない。
	産業技術力	×	→	半導体ビジネスで中国の存在は大きくなりつつあるが、先端技術の半導体工場はまだ少なく、新デバイスに関する産業競争力は現時点では高くない。
韓国	研究水準	○	↑	新メモリデバイスに関しては世界で抜kindでた研究開発を行っている。一方、新ロジックデバイスの基礎研究・技術開発に関しても存在感を示しつつある。
	技術開発水準	○	↑	新メモリデバイスに関しては世界で抜kindでた研究開発を行っている。一方、新ロジックデバイスの基礎研究・技術開発に関しても存在感を示しつつある。
	産業技術力	◎	↑	豊富な資金力を背景に、新メモリデバイスのみでなく、新ロジックデバイスについても実用化に結びつける産業技術力が非常に強い。
全体コメント： 新デバイス分野では、“More Moore”と言われる従来の CMOS 技術の延長領域から、“Beyond CMOS”と呼ばれる新しい動作原理・物理に基づく将来のナノエレクトロニクス領域までを含む。米国・欧州ともに、将来のテクノロジーの覇権を狙って各種国家プロジェクトを立ち上げ、カーボンナノチューブ、グラフェンなどの新チャネル材料デバイス（“More Moore”）や、スピンデバイス、原子デバイスなどの新原理デバイス（“Beyond CMOS”に相当）の研究開発を盛んに行っている。これらのプロジェクトが半導体企業と密接に連携しており、実用化に向けた技術開発も順調に進みつつある。日本でつくばイノベーションアリーナ（TIA）が発足し欧米を追いかけている。新デバイスに関する材料・物性研究では明らかに日本は進んでおり、米国・欧州と肩を並べている。しかし、研究拠点の規模の観点では残念ながら TIA は欧米の拠点よりはるかに小さいのが現状である。韓国は、新メモリの分野で圧倒的な強さを示してきたが、最近になってロジック分野でも急成長しており、基礎研究にも力を注ぎつつある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(3) パワーデバイス

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	Si パワーデバイス分野では、低耐圧、高耐圧デバイス共に研究水準を維持し、三菱電機、日立、富士電機、ルネサス等を中心に多くの論文発表や特許出願がなされているものの、アカデミアの分野が弱い（九工大の大村教授などに限定される）。一方で、SiC や GaN などワイドバンドギャップ半導体（WBG）デバイスの研究水準は、国プロの支援もあり順調に向上し、世界でも先端水準にある（産総研、京都大、名古屋大、北海道大など）。
	技術開発水準	○	→	Si IGBT など中～高耐圧ディスクリートデバイスで高い技術開発力を維持しているが、高耐圧の開発力で欧州に、またサブミクロン CMOS 技術を入れた低電圧 IT 系のパワー IC で米国企業に差をつけられている。一方、WBG 半導体の開発には、極めて多くの日本企業が参画し、技術開発力は急激に向上している。
	産業技術力	◎	↘	東芝、三菱電機、ルネサス、富士電機などが高いシェアを有し、優れた産業技術力を維持しているものの、エビ技術、トレンチ技術、パワー IC などのコア技術が弱体化しつつある。コスト力でも苦戦を強いられている。自動車用パワーデバイスでは依然として競争力はある。WBG 半導体に関しては、ローム社が 2010 年に SiC ダイオードと MOSFET の量産を開始し、注目されている。
米国	研究水準	◎	→	IT 系の Si パワー IC、低耐圧デバイスを中心に企業（Fairchild 社、TI 社など）および大学（NC 州立大、Virginia 大など）の研究水準は高く、高水準の論文が多数発表されている。WBG 半導体も企業（SiC: Cree 社、GE 社、SemiSouth 社など、GaN: IR 社、EPC 社、Nitronex 社など）と大学双方で研究活動が活発である。NSF が支援する CPES を引き継いだパワエレ拠点 FREEDM を中核にして、産学官連携の研究および人材育成を組織的に推進しており、その水準は高い。
	技術開発水準	◎	→	低電圧分野を中心に LSI 技術をパワー IC へ展開し、IT のパワーマネージ、省エネ化など成長分野の開発力は高いが、高耐圧デバイスの開発力はやや弱体化している。WBG 半導体はベンチャー企業が徐々に成長し、事業規模を拡大している。
	産業技術力	◎	→	上記の成長分野を中心に Vishay 社、Fairchild 社、IR 社、TI 社などの LSI メーカーがパワー IC の開発力を強化している。製造は台湾を含む中国などにファンダリ展開することでコストを含めた競争力をトータルで強化している。WBG 半導体に関しては、Cree 社の SiC ダイオードの事業化が順調に進んでいる。
欧州	研究水準	◎	↗	Si パワーデバイスでは、低耐圧、高耐圧品ともに高い基礎研究のポテンシャルを維持している。Cambridge 大、Bremen 大、ETH（スイス）、Fraunhofer 研究所などが高水準の論文発表を行っている。STMicro 社、Infineon 社など企業の研究水準も高い。SEMIKRON 社などパッケージ技術も進んでいる。WBG 半導体の研究でも企業（SiC: Infineon 社など、GaN: Velox 社など）の活躍が目立つ。IMEC などを中心としたネットワーク型のパワエレ拠点 ECPE もうまく機能し、産官学連携研究と人材育成が順調に進められている。
	技術開発水準	◎	→	伝統的に強い高耐圧ディスクリートデバイスに加えて、MEMS 技術を組み込むなど低電圧パワー IC の技術開発力も高い。WBG 半導体も含め、太陽光発電、風力発電用コンバータなど新しい分野へのバランスある開発水準を維持している。
	産業技術力	◎	→	高耐圧ディスクリートデバイスおよびシステム分野で特に強く、Infineon 社、STMicro 社、ABB 社を筆頭に欧州のパワーデバイス産業技術力は日本と比べて高くなっている。WBG 半導体に関しては、Infineon 社の SiC ダイオードの事業化が順調に進んでいる。
中国	研究水準	△	↗	数年前までは、ほとんど皆無に近かったが、政府がパワーエレクトロニクスの重点拠点研究所を西安、浙江、武漢大学に設置し人材育成と研究を強化している。Si パワーデバイスに関しては、香港大学など一部の研究水準はトップレベルにある。最近、論文数は急増しており、研究水準が向上している。WBG 半導体は着手したばかりであるが、今後の動向が注目される。
	技術開発水準	△	↗	低電圧のパワー IC を中心に欧米企業とファウンダリで連携しながら、将来の独自技術開発への発展の可能性はある。高耐圧デバイスの開発も進めている。
	産業技術力	△	↗	ファンダリのプラットフォームを使ったパワーデバイス開発により産業技術力が向上している。情報通信用パワー IC・MOSFET はコスト力で徐々に台頭しつつある。
韓国	研究水準	△	↗	日本と比べると、まだ多くの観点で発展途上であるが、Si パワーデバイスに関しては KAIST、ソウル大などの研究水準が向上してきている。WBG 半導体に関しては、LG 社が SiC の研究、Samsung 社が GaN の研究に着手したことが注目されている。
	技術開発水準	○	↗	Samsung 社のディスクリート半導体部門を買収した韓国 Fairchild 社の技術開発水準は急速に向上している。
	産業技術力	○	↗	韓国 Fairchild 社が IGBT、MOSFET の事業化で競争力を向上させている。

全体コメント：

我が国はSiパワーデバイスで強い産業競争力を維持してきたが、近年の企業の基礎体力(研究開発力)低下とコスト競争の影響を受けて、シェアを低下させている。パワー IC 関連では米国、高耐圧デバイスでは欧州が競争力を向上させている。米国では CPES や FREEDM、欧州では ECPE という大規模なパワーエレクトロニクス研究拠点がうまく運営され、大学や国研と企業の連携が強化されて、次世代を担う基盤技術の研究や若手の育成が進められている。中国、韓国はまだ立ち上がり中であるが、近い将来、日本の脅威となることは間違いない。少なくともアジアにおいて絶対的な地位を確立するためにも、当該分野の組織的な研究開発環境の整備と人材育成が急務である。今後の発展が期待される WBG 半導体は、まだ Si に比べて規模は小さいものの順調に伸びてきている。この分野における我が国の研究水準はトップレベルであり、当該分野の国際競争力を一気に高めるチャンスと言える。

(参考情報)

- ・ Proc. 20th Int. Symp. on Power Semiconductor Devices & ICs (2008).
- ・ Proc. 21st Int. Symp. on Power Semiconductor Devices & ICs (2009).
- ・ Proc. 22nd Int. Symp. on Power Semiconductor Devices & ICs (2010).
- ・ ISI Web of Science
- ・ 日刊工業新聞、日経産業新聞
- ・ 特許庁電子図書館

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(4) センサ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	現状で世界のトップレベルであるイメージセンサ、および、加速度センサを初めとする車載用センサについては、引き続き企業を中心に改良の努力が続けられている。いくつかの分野のセンサ（バイオ、光ファイバ、味覚、磁気、ガス）では国研（AIST）や、大学、企業がトップレベルの研究を行っているが、若手の研究者が減少している。
	技術開発水準	○	→	イメージセンサ、加速度センサ、ガスセンサなどは米国と同様世界のトップレベルにある。
	産業技術力	◎	→ ↑	イメージセンサ、加速度センサ、ガスセンサ等の大量に使われる車載用、家電用センサは大企業が牽引（パナソニック、村田製作所、東芝、キャノン、ソニー、日立等）。一方で、イオンセンサを除き、ベンチャー企業が育っておらず、新規の製品の開発力が劣っている。一方、2010 年はデジタルドクター元年と言われる程、バイオセンサ、バイオセンサシステムの企業の動きが活発している。
米国	研究水準	◎	→	企業、軍、大学を中心として、分野全体に基礎分野の実力は充実しているが、このところの経済状況を反映してやや停滞している。
	技術開発水準	◎	→	企業の開発部門や軍研究所、大学が互いに連携して依然リードしている。
	産業技術力	◎	→	大企業が牽引しているが、同時にベンチャー企業の活躍が目立ち、新製品の開発が盛んであるが、不況の影響で少し停滞気味である。
欧州	研究水準	◎	→	国策として米国が注力していない分野に特化している。各国の国研がリードしている他、特定の大学に偏らず多くの大学が産業界と連携して取り組んでいる。IMEC の活動が活発である。また FP7 におけるセンサ分野へのファンディングも活発である。
	技術開発水準	○	→	センサネットワークおよびその関連技術の開発が国策の後押しを受け、活性化している。
	産業技術力	○	→	中小メーカ主導であるが、ベンチャー企業も台頭してきている。
中国	研究水準	○	↑	国策として大学での基礎研究が成果を出し始め、主要論文誌（J. Phys. Chem.、Solid State Electronics、IEEE Sens. J.、Nature 等）で多くの成果が発表されるようになってきている。分野としてはバイオセンサ、DNA センサ、ガスセンサをはじめとして広く取り組まれている。植物センサでは FP7 との共同研究も始まっている。
	技術開発水準	×	→	大学と企業の連携による成果が出始め、海外センサ企業が中国内への進出（米国 MEMSIC 社）
	産業技術力	×	↑	他の半導体デバイスと比較してまだ低い、ベンチャー企業と大学の連携により、着実に伸びてきている。
韓国	研究水準	△	↑	国策（577 戦略等）として環境関連のビジネスの拡大を図る中で、大学、国研（KAIST）を中心として関連の研究が進められている。
	技術開発水準	△	→	財閥系大企業（サムスン電子、LG 電子）が研究に取り組み始めている。
	産業技術力	△	↑	他の半導体デバイスと比較してまだ低い、国策の後押しを受け、大企業中心に活性化の機運が出てきている。また、ベンチャー企業も育っている。
全体コメント： バイオセンサ、DNA センサ、ヘルスモニタリングシステム及び環境モニタリングシステムの研究開発が世界中で活性化している。近年、中国、韓国の研究水準が向上している。日本は米国や EU と違い、他の分野同様にベンチャー企業が育っていないため、新規のセンサで遅れをとりつつある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(5) 実装技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	非接触通信技術・3次元集積化技術・MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術等、一部の大学・研究機関における、一部分野の基礎研究で活発に行われているところもあるが、生産技術に対する国の研究予算が少なく、また産学連携研究も少ない。
	技術開発水準	○	↘	半導体業界の再編とともに、従来半導体メーカー (IDM) 技術開発部門の役割であった実装・パッケージ技術開発業務は、OSAT に移りつつある。例えば銅ワイヤや FOWLP (Fan Out Wafer Level Package) といった技術開発は、ASE 等台湾の実装・パッケージ専門会社が先行し、日本国内の半導体メーカーの技術開発は遅れが明確である。一方、世界各国で積極的な開発が行われている最先端の3次元集積化技術開発では、2008年度より2012年の予定で経済産業省・NEDO プロジェクトとして、技術研究組合 超先端電子技術開発機構 (ASET) が中核となり、東京大学や東北大学等も共同して、実用化を目指した技術開発が進んでいる。また、九州等地方でも研究開発の動きが活発化しつつある。
	産業技術力	△	↘	ルネサスエレクトロニクスや東芝に代表されるように、企業の統廃合や事業の選択集中が加速し出した。従来技術の生産拠点はますますアジアへシフトしつつあるが、東芝から分離独立したジェイデバイスが、今後日本版 OSAT としてどう発展できるかが注目される。先端技術分野では、日本の電子産業は民生用製品が多いといった構造的な理由により、現時点ではエルピーダメモリの DRAM を除いて3次元集積化技術等はその優位性を生かすことができる応用製品が明確化されていない。総じて言えば半導体産業の競争力低下は免れないが、半導体関連装置はまだ競争力を保っていて、さらに材料技術は、世界トップを維持している。
米国	研究水準	◎	→	DARPA や MIT リンカーンラボ等が中心となり多くの大学が参画し、軍事・航空宇宙産業からの研究予算をもとに、3DM3 プロジェクトのような次世代電子システム構築に向けた多くの産官学の研究・開発が進められている。
	技術開発水準	◎	→	ニューヨーク州や IBM を中心とした半導体関連メーカーの出資で運営されているニューヨーク州立大学の CNSE (College of Nanoscale Science and Engineering、アルバニー) や、SEMATECH におけるコンソーシアムでも、高性能デバイスに向けた3次元集積化技術の実用化研究など、次世代対応の技術開発が積極的に進められているが実用化は見えていない。
	産業技術力	○	→	IBM やインテルといった民間企業でも、高性能デバイスに向けた3次元集積化技術の実用化研究など、次世代対応の技術開発が積極的に進められている。また、Qualcomm や Xilinx の様に特定の製品に高い世界シェアを持つファブレス企業も3次元集積化技術の採用に積極的である。さらにシステムソフトウェアとしての産業技術力は延びている一方、エレクトロニクス機器の生産技術は海外生産が主流である。
欧州	研究水準	◎	↗	Fraunhofer IZM や IMEC、CEA-LETI といったヨーロッパを代表するコンソーシアムや研究機関を中心として、3次元集積化技術の次世代対応の研究・開発が進められている。例えば、IMEC では、CMORE (Multifunctional System on a Chip technologies) や APIC (Advanced Packaging and Interconnect Program) プログラムがあり、CEA-LETI では、300 mm の3次元集積化技術研究開発ラインが構築されている。
	技術開発水準	◎	→	European ICT Project は、e-CUBES に引き続き 2010-2013 の e-BRAIN 計画で、ヘテロロジーニアスインテグレーションとして、Nanosensor System の開発が進んでいる。
	産業技術力	○	→	生産技術は、アジアはじめとして海外が中心である。
中国	研究水準	△	→	日本、欧米の研究の後追いの感がある。
	技術開発水準	△	→	日本、欧米の技術を導入し、技術開発水準を高めてきている。
	産業技術力	○	↗	安価な労働力を背景に、量産化が急速に進んでいる。
台湾	研究水準	○	↗	2008 年、ITRI (Industrial Technology Research Institute : 工業技術研究院) が国際的3次元集積化技術のコンソーシアム (Sd-STAC) を設立、現在、欧米日本を含めた 20 の企業・研究機関が参画し 200/300 mm ウェハの研究・試作ラインが構築され、急速なキャッチアップが行われている。
	技術開発水準	○	↗	低コスト化を目指した、金ワイヤから銅ワイヤへの置き換え技術開発は世界トップを走り、PoP (Package on Package)、フリップチップ技術、ウェハレベル CSP、FOWLP、部品内蔵技術等でも技術開発水準は高い。今後ますますファンドリィと OSAT が一体となった開発体制が強化・加速されるものと思われる。
	産業技術力	◎	↗	TSV を中心とする3次元集積化技術では TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited)、実装・パッケージ・テスト分野では ASE (Advanced Semiconductor Engineering Incorporated)、基盤実装分野 (EMS) では Hon Hai Precision (鴻海精密) が、世界のトップ企業となり、いまや水平分業構造を制した台湾が世界一の産業技術力を持つと考えられる。

韓国	研究水準	△	→	日本、欧米の研究の後追いの感があったが、最近では国家の支援があり 3 次元集積化技術の開発が積極化している模様。内容は非公開であり詳細は不明。
	技術開発水準	○	↗	メモリと液晶を中心とした技術開発が目覚ましい。三星電子では、TSV 3 次元集積化技術を利用した DRAM の量産が、2011 年後半に行われる模様。
	産業技術力	○	→	半導体は、三星とメモリの Hynix が中心。2010 年 12 月、東芝のロジック系 LSI が三星に生産委託される事が決定されたが、半導体の生産は、台湾、中国などと厳しい競争が展開されるものと予測される。尚、OSAT としては AMKOR が強い。
全体コメント： 半導体産業の水平分業化はますます顕著となり、従来、主としてファブレス企業の生産委託先であった OSAT は、IDM の後工程生産拠点としてもその役割を拡大している。3 次元集積化技術等先端技術開発では、世界的に実用化が進まないことに対して、Power Point Engineering なる言葉も生まれている。日本の半導体産業の国際競争力の低下は、実装・パッケージ技術の研究開発にも及んでいる。一方台湾の水準は急激に上昇していて、今後の産官学の力の結集と戦略的強化対応が必要である。				

(参考情報)

[1] <http://www.aset.or.jp/>

[2] 半導体技術年鑑 パッケージング／実装編、日経エレクトロニクス 2011

[3] IEEE 3D System Integration Conference 2009(3DIC)

[4] IEEE 3D System Integration Conference 2010(3DIC)

[5] 海外の国家プロジェクト、産学官連携の実態に関する調査研究報告書、社団法人日本機械工業連合会、三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社、平成 22 年 3 月

[6] 科学技術動向、文部科学省 科学技術政策研究所、4 2010 No.109

[7] White Paper: Virtex-7 FPGAs Xilinx Stacked Silicon Interconnect Technology Delivers Breakthrough FPGA Capacity, Bandwidth, and Power Efficiency, October 27, 2010

[8] http://ad-stac.itri.org.tw/memb/index_e.aspx

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(6) 集積回路 (インテグレーション)

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	縦型 MOS、ナノワイヤ、新材料トランジスタ (Ge、III-V 化合物、グラフェン)、スピンメモリなどの開発が大学を中心として進行。FIRST や CREST による研究開発が活発。ナノエレクトロニクス分野の強化に向けて、つくば地区で TIA(つくばイノベーションアリーナ) が立ち上がる。しかし、ナノエレクトロニクス分野でのシリコン集積回路研究は、世界的には弱い。
	技術開発水準	○	→	32nm までの開発は、Selete、MIRAI などのプロジェクトや各社独自開発により成果が上がっている。一方、デバイスメーカーのファブライツ戦略採用により、28nm 以降の最先端ロジックデバイス開発は、国内開発よりも海外機関・企業との共同開発が主流。将来の人材不足と技術開発力低下が懸念。
	産業技術力	○	→	東芝 (売上げ世界 3 位)、エルピーダ (同 16 位) はメモリで技術力・売り上げとも健闘。ロジックデバイスメーカーはビジネスで苦戦するものの、2007 年に NECEL(現:ルネサスエレクトロニクス) が世界初の high-k 構造 55nm 製品を開発したのに続き、2010 年にパナソニックは独自の high-k/metal-gate 構造 32nm デバイスを開発。また、2009 年に富士通は、ベタスパコン用として 2GHz 動作 45nm 製品を開発しており、技術力は健闘。
米国	研究水準	◎	↑	Semiconductor Research Corporation が主導する Global Research Collaboration、(<22nm)、Focus Center Research Program (<10nm)、Nanoelectronics Research Initiative(Beyond CMOS) などの階層的プロジェクトをシリコン集積回路研究として積極的に実施。
	技術開発水準	◎	↑	New York 州立大学 Albany 校を拠点とする College of Nanoscale Science and Engineering (CNSE) では、22nm 以降の微細 CMOS 開発 (IBM 中心の企業連携) からナノエレクトロニクス開発 (産学連携) まで幅広い活動が活発。SEMATECH は微細 CMOS、新材料デバイス、立体型デバイス、3D 配線、リソ技術開発を進めているが、力強さに欠ける。また、ITRS 活動を含め、海外戦略活動を積極的に行っている。新材料トランジスタ (Intel など) や三次元積層化技術 (IBM など) などの開発活発。
	産業技術力	◎	→	Intel は技術力・売り上げともに世界 1 位。IBM 企業連携の開発技術を米国企業として産業化する GLOBALFOUNDRIES 社 (元:AMD 社製造部門) がファウンドリーとして立ち上がる。TI はファブライツ戦略でも着実に技術開発を実施し、売り上げ世界 4 位。
欧州	研究水準	◎	↑	IMEC(ベルギー) は微細 CMOS よりも、健康・医療デバイスを含むナノエレクトロニクス開発に注力。MINATEC(フランス) は 200/300 mm クリーンルームを備えた注目すべきナノエレクトロニクス開発拠点。ENIAC (European Nanoelectronics Initiative Advisory Council) により、ナノエレクトロニクス分野の研究開発を強化。
	技術開発水準	○	→	IMEC は <22 nm CMOS 開発を継続しているが、成果が少なくなりつつある。450 mm プロジェクトも進捗不透明。STMicro 社は MEMS センサ、SOI デバイスなどに強みがあり、R&D 活動は IMEC、Leti 等との共同開発で活発。Si Saxony 地区 (ドイツ) では、GLOBALFOUNDRIES 社 (米国) を中心として IBM 開発技術移管をベースとした技術開発活発。
	産業技術力	○	→	STMicro 社 (フランス・イタリア) はセンサなどの独自製品があり、売り上げ世界 5 位。Infineon 社 (ドイツ) は、アナログ製品に強みがあり、売り上げ世界 12 位。但し、両社共に、最先端微細ロジック LSI の技術力は課題。
中国・台湾	研究水準	○	↑	中国の大学や研究機関の研究環境は、国からの投入資金などで急上昇だが、まだ研究レベルはそれほど高くはない。しかしながら、国際学会を多く誘致し、国内人材育成を図っている。一方、台湾では、国立交通大学などを中心として、不揮発メモリ、ロジックデバイスの研究が盛んであり、研究レベルも高い。また、TSMC (台湾) など企業との共同開発も盛んである。
	技術開発水準	○	→	SMIC (中国) 独自の技術水準はそれほど高くはないが、昨今、シンガポールのチャータード社などから人材を集め、水準向上を図っている。中国国内半導体企業に関しては税金などの優遇政策がある。一方、台湾では、TSMC や UMC などは最先端デバイス開発を進めており、SEMATECH に参加。TSMC は IMEC と共同開発を実施。また台湾でも、税優遇政策が取られている。
	産業技術力	◎	↑	SMIC は、ファウンドリーサービスを進めており、外国企業との合弁も実施しているが、ビジネスとしては、まだそれほど成功していない。一方、TSMC は、世界一のファウンドリー企業であり、独自の high-k/metal-gate 構造 28 nm デバイスを開発完了している。また、TSMC は台湾に多くの工場を有するが、上海にも新たに工場を建設し、ビジネスを拡大している。
韓国	研究水準	○	↑	KAIST などの大学や研究機関で、半導体デバイスの研究を進めている。研究対象は、トランジスタや不揮発性メモリなど、多岐に渡り、研究の質も高い。また、Samsung との共同研究も盛んである。
	技術開発水準	◎	↑	Samsung は、自社開発以外に、IBM 共同開発、SEMATECH、IMEC などのコンソーシアムに参加、さらに各国の大学との共同研究も実施し、世界中から最先端デバイス・プロセス技術を取り込んでいる。国内半導体企業に関しては税金などの優遇政策がある。
	産業技術力	◎	↑	Samsung は最先端メモリ製品、最先端ロジック製品で売り上げ世界 2 位。メモリ分野だけでなく、ファウンドリー分野にも進出。Hynix 社は売り上げ世界 7 位だが、メモリ製品売り上げ増加で堅調。

全体コメント：

今後の集積回路インテグレーション開発、すなわち 32-28 nm 世代以降は、世界でも、Intel 社、Samsung 社、TSMC 社に限られてきた。今後は、これら 3 社に GLOBALFOUNDRIES 社が加わる可能性もある。先端デバイス開発を実施できる機関としては、IBM 共同開発以外は勢力を縮小しつつある。一方、“Beyond CMOS”を目標とするナノエレクトロニクス開発では、米国は NRI を、EU は ENIAC を発足し、10 ～ 15 年以上の長期的視野に立った産学連携でのナノエレクトロニクス開発体制を整備している。同様に、韓国、台湾、中国でも、国がナノエレクトロニクス開発体制を強化しつつある。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(7) 集積回路 (デジタル)

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↘	低電力技術の研究における国際競争力が高い。その理由は、この分野の研究着手が早かったこと、きめ細かなエンジニアリングが日本人に向いていること、低電力技術が求められる携帯民生機器の分野は日本市場が世界のリーダーであることなどである。しかし、企業や大学の研究力が低下し始めている。特に大学の研究力が欧米に比べて低く、大学強化は重要課題である。
	技術開発水準	○	↘	産業力の低下に伴い技術開発力が次第に低下し始めている。若者の理工離れが将来の懸念材料である。
	産業技術力	○	↘	高い品質や使い勝手の良い機能設計では高い国際競争力を有するが、新製品の提案力や国際標準を作る力は欧米に比べて弱い。ヒット商品が最近少ない。
米国	研究水準	◎	→	企業も大学も研究者の層が厚く、高い研究水準を維持している。活躍する若手研究者が継続的に現れている。これまではアジアからの頭脳流入がそのパワーの源泉であったが、アジアの経済発展に伴い既に還流が始まっている。
	技術開発水準	◎	→	プロセッサやデジタル信号処理では、Intel や TI や Apple が世界をリードしている。DFM のソフトについてはアメリカの EDA 産業界がリードしている。チップ設計・製造会社の統合再編に伴い、EDA 産業界は縮小している。
	産業技術力	◎	→	システム力と併せて VLSI の開発力が非常に高い。世界への発信力が力強い。
欧州	研究水準	◎	↗	IMEC や企業での研究力が向上している。基礎研究および上位概念での研究が強い。
	技術開発水準	△	→	EU 経済圏で技術開発連携も進んでいるが、世界をリードするレベルにはない。
	産業技術力	△	→	ARM コアは組み込みプロセッサの世界標準であるが、他には目立つ技術が少ない。
中国 台湾	研究水準	○	↗	中国本土は発展途上。やはり教育の成果が現れるのには時間がかかる。 台湾では大学での LSI 設計教育が改革され、技術レベルの向上が著しい。しかし、研究力にやや陰りが現れ始めた。大学教官数を急増した際に似通った研究分野に偏った弊害も一部見られる。
	技術開発水準	○	↗	MediaTek など台湾のレベル向上が進んでいる。米国帰りの技術者が原動力になっている。
	産業技術力	○	↗	パソコンや通信用 LSI、LCD を中心に台湾の台頭が著しい。特に最先端から少し遅れた分野で強みを発揮している。
韓国	研究水準	○	→	Samsung や KAIST、SNU が活発。Samsung の研究発表が減少しているが、技術流出を防ぐため発表を控えているとの見方もある。
	技術開発水準	○	→	携帯電話に注力して、マルチメディアや無線通信用の信号処理の技術力が高い。スマートフォンのプロセッサ技術などが蓄積されている。Samsung の技術力は特に高い。
	産業技術力	◎	↗	発展途上国への進出・市場開拓にも積極的。
インド	研究水準	○	↗	研究ではまだ発展途上だが、人材が豊富で教育水準も高く、英語で世界とコミュニケーションを取れるのが強み。
	技術開発水準	○	↗	特に組み込みシステムの開発力が高い。
	産業技術力	△	↗	Intel や TI などが設計分室を開設し、人材を交流させ、国際回線で繋いでレイアウトの設計や検証などを協業している。
全体コメント： 米国が圧倒的に強い。韓国と台湾にやや陰りが出始めた。インドやイスラエルの開発技術力が高い。中国とベトナムはこれから発展。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(8) 集積回路 (メモリ)

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	新材料を使った不揮発性メモリ、3次元メモリ、SSD システム、低電力メモリ回路などの研究が活発化。国家プロジェクト主導で、大学・産業総合技術研究所などでのメモリの研究が盛んに行われてきている。
	技術開発水準	◎	→	東芝のフラッシュメモリは1個のメモリセルに3ビット以上のデータを蓄える超多値化による大容量化でリード。エルピーダメモリの DRAM は 6F2 セルの導入で先行し、3次元 TSV 技術のアクティビティも高い。
	産業技術力	◎	↑	フラッシュメモリ、DRAM の世界シェアは微増傾向。東芝のフラッシュメモリは米 SanDisk と合わせた市場シェアは 40% で世界第 1 位。エルピーダメモリの DRAM は市場シェア 20% で世界第 3 位。
米国	研究水準	○	↑	新材料を使った不揮発性メモリの研究が行われている。SSD システムの信号処理技術の研究が米国西海岸の大学・ベンチャー企業を中心に盛んに行われている。
	技術開発水準	◎	↑	Intel、Micron の合弁会社 IM Flash はフラッシュメモリの微細化レースで先頭集団（東芝・三星）に追い付く。Micron が Numonyx を買収し新不揮発メモリの技術力が強化。
	産業技術力	○	→	Intel、Micron の合弁会社 IM Flash はフラッシュメモリの市場シェアは 18% と横ばい（世界第 3 位）。Micron の DRAM の市場シェアは 17% に微減（世界第 4 位）。
欧州	研究水準	△	→	IMEC を中心に研究を行っているが成果としては顕在化していない。
	技術開発水準	△	↓	ST Microelectronics がロジック混載不揮発性メモリの開発を行っているが成果としては顕在化していない。Numonyx の Hynix とのフラッシュメモリの共同開発は、Numonyx の米 Micron への買収を契機に取りやめ。
	産業技術力	×	↓	DRAM の Qimonda が倒産、フラッシュメモリの Numonyx が米 Micron に買収、フラッシュメモリの Saifun が米 Saifun に買収されたのち倒産、フラッシュメモリシステムの Msystems が米 SanDisk に買収。主要メーカは事実上なくなった。
中国	研究水準	△	↑	台湾工業技術研究院 (ITRI) で新不揮発性メモリの研究アクティビティが上がっている
	技術開発水準	△	↓	外国企業からファンドリへのフラッシュメモリの技術移転が控えられており、技術水準は高くない。
	産業技術力	△	↓	台湾の DRAM ファンドリが不況を契機に下降基調。フラッシュメモリビジネスは、台湾のフラッシュメモリコントローラービジネスは盛んなものの、メモリ自体は目立った進展なし。
韓国	研究水準	○	→	すべての種類のメモリに対して多方面からアプローチしているが、目立った成果はなし。
	技術開発水準	◎	→	特筆すべき技術ブレークスルーは無いが、メモリの微細化レースでトップ集団につける。
	産業技術力	◎	↑	Samsung のフラッシュメモリの市場シェアは 36% と横ばい（世界第 2 位）、DRAM の市場シェアは 36% に増加（世界第 1 位）。Hynix のフラッシュメモリの市場シェアは 6% と低い水準に留まる（世界第 4 位）、DRAM の市場シェアは 23% と横ばい（世界第 2 位）。Samsung と Hynix を合わせた韓国全体の市場シェアは、フラッシュメモリは 42%、DRAM は 59% と強固なものである。
全体コメント： 世界不況を契機に企業間の合従連携が進む。日本（フラッシュメモリの市場シェアが 40%、DRAM の市場シェアが 20%）、韓国（フラッシュメモリの市場シェアが 42%、DRAM の市場シェアが 59%）、米国（フラッシュメモリの市場シェアが 18%、DRAM の市場シェアが 17%）の 3 極に集約された。フラッシュメモリは微細化および多ビット化（1 個のメモリに 3 ビット以上を記憶する）による大容量化が加速しており、25 ナノメートル技術による 64 ギガビット品が実用化された。DRAM でも順調に微細化は進み、40 ナノメートル技術による 2 ギガビット品が実用化された。メモリがコンピュータアーキテクチャ内の性能ボトルネックになっており、フラッシュメモリ・DRAM とともに、メモリインタフェースの高速化技術が進展。更なる高速化及び省電力化を目指して、3次元 TSV 積層技術や新材料を使った不揮発性メモリ、低電力メモリ回路の研究も盛んに行われている。また、フラッシュメモリをスマートフォン、パソコンやデータセンタのストレージに使うソリッド・ステート・ドライブ (SSD) の市場が拡大し、メモリを使いこなすための、コントローラー技術・信号処理技術などのシステム技術の研究開発が活発化している。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(9) 集積回路 (高周波・アナログ)

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	×	→	学術研究として組織的に取り組まれていない。イメージセンサの周辺処理における静岡大、チップ間伝送における慶応大、ノイズ関連の神戸大、ミリ波 RF や ADC 関連の東工大が一定の存在感を示しているくらいである。
	技術開発水準	△	↘	超高速インタフェース、イメージセンサ周辺は強いが、その他の分野では存在感が低下している。東芝や SONY、富士通などが開発力を持っているが、国内企業における開発力は確実に低下している。
	産業技術力	○	↘	世界をリードする製品が少なく、無線用 LSI や IP は外国から導入していることが多い。
米国	研究水準	◎	↘	ミリ波用シリコン LSI 技術、微細 CMOS 用アナログ回路、ソフトウェア無線用 LSI 技術などが最近の傾向であるが、かつてほどの勢いは感じられない。
	技術開発水準	◎	→	ADI、Atheros、BroadCom などの専門メーカーを中心に強い技術力を有す。TI などの大手もデジタル RF 技術などの新技術を開発。しかしながら最近、以前に比べれば勢いが弱くなった。
	産業技術力	◎	↘	未だに産業的にも高いレベルにあるが、物作りはアジアのウエイトが高くなった。
欧州	研究水準	◎	↗	KUL、IMEC、ETH、デルフト大、トエンティ大、パビア大などの大学や公共研究所を中心に高いレベルに上昇。ソフトウェア無線用 LSI 技術、センサネットワーク技術、メディカルエレクトロニクス技術、超低電力技術などで、今後の有望分野でリードしており、現在は米国を凌ぐレベルに成長した。
	技術開発水準	◎	↗	アナログ IP の世界的なベンダが多数存在。Philips、Infineon、STM、Nokia などの老舗も高い技術力を有する。大企業中心であるが、最近はベンチャー企業も見受けられる。
	産業技術力	◎	→	技術開発水準に同じ。
中国台湾	研究水準	○	↗	基礎レベルは欧米に比べればさほど高くないが、RF 関係で台湾の NTU や NCTU などが多くの優秀な研究を発表している他、マカオ大、香港大などのレベルも高い。中国はさほどでも無いが、最近はいくつかの発表は世界レベルになってきており、今後急速に追いついてくるものと思われる。
	技術開発水準	○	↗	台湾のベンチャーを中心に技術力が向上、メディアテックは携帯用チップの開発で急激に存在感を高めている。大学でも実用性の高い LSI を開発。
	産業技術力	◎	↗	DVD や液晶用回路技術は従来から強かったが、近年無線用 LSI でも実績が出てきた。また中国でもベンチャーの実績が上がってきた。
韓国	研究水準	△	→	PLL/DLL、WCDMA、無線 LAN など特定分野で強い技術力を有する。また KAIST を中心として医療用 LSI 関係の技術で世界をリードしている。
	技術開発水準	△	→	サムソンはインタフェースには強いが、分野全般では弱い。また専門メーカーやベンチャーが少ない。
	産業技術力	○	↗	技術開発水準に同じであるが、サムソンや LG は世界トップの生産力を持つ
全体コメント： 従来のデジタル家電、PC、携帯電話に向けた高周波・アナログ回路技術だけでなく、MEMS 技術との融合を図ったセンサ技術、ポータブル医療用の回路技術、エネルギーの効率利用に向けた電源制御技術など、将来の社会インフラ構築に向けた高周波・アナログ回路技術の開発が活発になっている。 技術開発では IMEC を中心とするヨーロッパ勢がリードしており、米国は地位が低下している。産業分野のシフトやもの作りのアジアへのシフト、経済問題による予算の削減などが影響しているものと思われる。 台湾、シンガポールなどのアジア諸国は大学を中心としてこれらに対応しようとしており、ベンチャーの育成にも取り組んでいる。中国はこれまで世界レベルに達していなかったが、最近急速にレベルを向上させている。欧米帰りを中心に大学の研究レベルの向上や企業育成に取り組んでいるためであろう。韓国は大学を中心にいくつかの世界レベルの研究が進んでいるが、サムソンや LG もこの分野の技術レベルはあまり高くない。 また、この分野では、北欧、ポルトガル、ギリシャ、エジプトなど世界各国の大学およびベンチャー企業が参加し、大競争時代を迎えている。技術の性格上、研究開発者の能力依存が高いことや、少人数での開発が可能なこと、大学での設計力の向上、ファウンドリやシヤトルの普及によりシリコンプロセスの利用コストが劇的に低下したためと思われる。 日本はこの分野の専門メーカーが少ないことや、総合メーカーの国際化の遅れ、開発力や開発企画力が低いことなどが相まってメーカーの存在感は極めて薄い。また大学も教員数が少ないことから見られるように力強さに欠けている。 高周波・アナログ集積回路技術はデジタルを含む全ての集積回路や電子機器システムの中核技術となっており、この部分が弱体化すると全ての電子機器の開発力が衰退していくことは肝に銘じておく必要がある。この分野は技術の取得が困難であるので、研究開発者教育と併せて強化する必要がある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(10) VLSI システムアーキテクチャ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	留意事項などコメント全般
日本	研究水準	○	→	研究者はほとんど増えていない。産業界の研究者の減少が問題。ディペンダビリティや超低消費電力型並列処理などの新しい概念を作るプロジェクトが進められて成果を上げつつあることは明るい方向であるが、産業化へのブリッジが大きな課題である。
	技術開発水準	○	→	一時のシステム LSI ブームが去り、多額の投資を恐れて産業界では技術開発のプロジェクト数が減少した。CREST などのプロジェクトの成果が出始めている。低消費電力化や実装技術においては、ある程度優位を保っている。しかし、製品企画や開発投資に弱みがある。
	産業技術力	○	↘	研究、開発体制の弱体化が技術力の下降に繋がる。ルネサスと NEC エレクトロニクスの合併等が産業力の強化につながるかどうかが課題である。また、途上国や申告国市場への展開を考えた開発が大きな弱点となっている。
米国	研究水準	◎	→	画期的なヒットは無いが、コンスタントに研究力を維持している。研究者は MEMS やセンサとの融合等、新しいアーキテクチャに積極的に挑戦している。
	技術開発水準	◎	→	新しい形の応用分野を設定したプロジェクトを起こし、開発力を維持。特に軍事面の影響が大きい。ネットワークなど無線通信と融合した技術に強みがある。
	産業技術力	◎	→	研究力と開発力を背景に産業技術力を維持。インテルを中心とした大企業とベンチャーがうまく役割分担をして、産業力強化を図っている。
欧州	研究水準	◎	↗	研究は極めて盛んである。特に産学連携で、通信、車載など新しい応用分野に対する研究が盛んである。オンチップマルチプロセッサの研究開発も盛んである。MEMS やバイオ、化学分野との連携も盛んである。
	技術開発水準	○	↗	企業でも研究は盛んであるが、かならずしもビジネス的に成功しているわけではない。途上国や新興国市場を狙ったアーキテクチャや新しい応用分野を開拓する報告に動いている。
	産業技術力	○	↗	ビジネス的には、大きな成功は少ないが、将来へ向けた技術開発により、新たな方向性を模索している。
中国	研究水準	△	↗	まだ、他国のコピーをしている段階であるが、研究者は増加。国際会議での存在感も増してきた。
	技術開発水準	△	→	産業レベルでのオリジナルな開発は少ない。
	産業技術力	○	↗	海外からの技術導入をベースに急速に力をつけている。自国の巨大市場を強みとして行かす方針で自国と新興国を対象として産業技術力を高めている。
韓国	研究水準	○	↗	サムソンを中心に産学で意欲的に取り組んでいる。組み込みシステム分野の研究が盛んになってきた。部分的には日本を超えている部分もある。
	技術開発水準	◎	↗	情報家電を中心に開発は伸びている。また、組み込みシステムに産学挙げて注力している。途上国や新興国市場のニーズを的確に捕まえて、対応するアーキテクチャを開発する力を急速につけて来た。
	産業技術力	◎	↗	資本力と技術開発力を背景に急速に実力をつけている。世界の VLSI 市場を実質的に牽引している分野もある。
全体コメント： 日本の研究開発は拡大が止まり、縮小傾向にあるが、新しい方向を模索する動きも出ている。欧米はまだ盛んに研究開発が行われている。上記の表には無いが、台湾が日本に迫るか日本を超える研究開発拠点となっている。また、インドの研究開発も注目に値する。セキュリティなど特殊な分野では、イスラエルの開発力も見逃せない。				

(注 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(注 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(注 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(11) 設計支援技術 (CAD)

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	大学などにおける設計技術の研究開発に関しては、欧米と比較しても量的にはまだ少ないものの、企業から大学に移動した研究者もあり、また、公的な研究資金も CREST などに関連テーマがあることなどから、一定の水準は保っている。半導体ベンダの EDA ツールに関する研究開発は、実装・製造に大きく依存する部分を除けば、いくつかの例外的な活動があるという程度まで縮小している。
	技術開発水準	△	↘	国内 EDA ベンダは諸外国と比較すれば非常に少数であり、2、3 のベンダは比較的安定しているものの、困難な状況にあるものも多い。日本企業が大手 EDA ベンダ以外からのツール購入に非常に消極的であることも問題である。これは、企業内部で EDA 技術が分かる人材が不足し、設計手法も含めて大手 EDA ベンダに丸投げする形になっているからであり、欧米企業の姿勢とは明らかに異なる。
	産業技術力	△	↘	大学などの研究期間の研究成果を企業で使えるツールや手法まで繋げるシステムが機能していない。企業は、設計ツールは米国大手ベンダから入手し、設計手法を自社確立する方向であるが、結果的には、ツールつまり、大手 EDA ベンダで手法が決まっている場合が多い。
米国	研究水準	◎	→	国レベルの EDA 技術に対する研究費支援は、2000 年以降非常に選択的になっている。幾つかの著名な研究グループを大きく支援するが、全体的な額は減少しており、大学での研究者の総数も減少している。組み込みシステム設計や検証技術など、基盤となる分野では依然として圧倒的な研究水準を保っているが、著名国際会議や論文誌での発表数という意味では、以前より低下している。大手 EDA ベンダの研究水準は、一部の例外を除いて決して高いとは言えず、新規研究に関しても、スタートアップの提供する技術や外国（インドなど）へのアウトソーシングが利用されている。一方、半導体・システム企業は、自社内で EDA 技術に関する一定の研究開発を維持している。
	技術開発水準	◎	→	米国大手 EDA ベンダは市場を完全に支配しているが、技術開発という意味では、米国内だけでは明らかに不十分であり、スタートアップの買収を行うとともに、外国（インドなど）に技術開発の拠点を整備している。米国内は、マーケティングと研究・仕様検討のみとし、開発自身はインドで行っているという企業も現れている。大手も含めて、多かれ少なかれ、このような方向に進んでいる。また、実際の開発は、米国外（主にインド）で行われる場合も少なくなく、米国内の技術者は、アルゴリズム仕様検討、マーケティングを中心に担当している。
	産業技術力	◎	→	大手 EDA ベンダの買収等を通じた支配力が増大している。スタートアップは、大手 EDA ベンダの技術開発力を補完している。市場の伸び悩みから、大手 EDA ベンダ同士の競争もあり、大手 EDA ベンダ間に差が生じ始めている。現在までのところ、スタートアップは数多く生まれているが、ベンチャーキャピタルの嗜好の変化もあり、将来的には減少する可能性がある。
欧州	研究水準	◎	↗	主に組み込みシステム・SoC をターゲットとする設計技術に関して、複数の国の研究期間が参加するグループを形成し、公的な研究資金が選択的に投入されている。ドイツでは最近の好景気もあり、研究費も増額され、全般に関する研究活動が活発化している。半導体企業内における研究開発も、米国同様、日本と比較すれば研究費・研究員数とも多い。これらの人材が公的資金による研究やスタートアップを指導しているとも言える。
	技術開発水準	◎	↗	大学などの研究成果からスタートアップなどを経由して企業で実際に利用できる技術となるパスは用意されている。これは、受け入れ企業内でも一定量の EDA 技術に関する研究開発が維持されていることが大きい。
	産業技術力	○	→	研究成果などがスタートアップとして実用化されるようになってきている。ただ、米国大手 EDA ベンダの市場支配力が依然強く、協調してうまくいっている場合や、対立して苦戦している場合もある。
インド	研究水準	○	↗	米国の機関が発表している著名国際会議や論文誌の著者の多くがインド系であるということが考えられ、論文発表でも世界的に大きな貢献をしている。IIT、IISc など優秀な学生を排出している大学が多く、優秀な人材の供給元でもある。
	技術開発水準	◎	↗	米国における大学や企業の研究者が幹部の多くがインド人であるということもあり、15 年前くらいからインドにおける EDA ツール開発が活発化している。
	産業技術力	○	↗	多くの米国 EDA ベンダの実際の製品化研究やツール開発はインドで行われているというのが実態である。
台湾	研究水準	◎	↗	政府の支援や台湾半導体企業との連携を通じて、EDA 技術の研究や、研究者や技術者の育成が活発に行われてきており、著名国際会議での発表数という意味では、台湾は世界のトップを争うようになっている。また、その研究を推進した学生が産業に行くという人材供給も向上している。

	技術開発水準	○	↗	最近は、大学と台湾企業との共同研究も非常に活発化している。その結果として、産業界の技術開発力が増大している。
	産業技術力	△	→	現在は、まだまだであるが、近い将来大きく向上する可能性が高い。
イスラエル	研究水準	○	↗	インテルなどが研究開発に関する大きくかつ非常に重要な組織を配置していること、並びに世界的に見ても研究レベルの高い大学があることから、EDA 技術の研究水準は高く
	技術開発水準	○	↗	研究成果からスタートアップが一定数生まれる状況となっている。世界的企業が大きな設計グループや EDA ツール開発グループをおいており、その意味では非常に高い。
	産業技術力	○	→	産業構造が、徐々に整備されつつあり、将来は期待できる。
中国	研究水準	△	→	一時のような政府の EDA 技術に対する積極的な支援は現在はなく、また、米国大手 EDA ベンダが中国を主な研究開発基地とはまだ考えていない。ソ
	技術開発水準	△	→	以前、政府が積極的に支援していた時の成果から一定の技術開発力は維持されている。
	産業技術力	△	→	将来的にはインドのようになるポテンシャルはある。
韓国	研究水準	○	→	ソウル大学、KAIST を中心とする Center for SoC Design Technology を設立し、SoC プラットフォームの研究を推進している。論文数も増加しつつある。
	技術開発水準	○	→	Center for SoC Design Technology で試作を行い、EDA ツールの開発を進めつつある。数年後には成果が出る可能性がある。
	産業技術力	△	→	現状では EDA ベンダの数は少ないが、上記の研究成果をもとに、数年後には増加する可能性がある。
全体コメント： 世界全体をみると、研究開発力は米国と台湾が強く、欧州・インド・イスラエルなどがそれに続いている。日本は現状をかりうじて維持している状態。研究開発の重点は、最上流と最下流に重要テーマがあるが、それらを統合する研究も非常に重要であり、現在までのところそれらの先端設計を多数行っている日本が、EDA 技術開発でも有利な立場にあるが、実際には、米国系 EDA ベンダに丸投げしている状態。米国では、いくつかの圧倒的に強い研究分野があるが、大手 EDA ベンダの実際の研究開発の多くは、極端に言ってしまうと、インドに丸投げしている。結果的に、インドは世界の EDA 技術の基地となりつつある。ベンチャーキャピタルの嗜好が変化しており、将来的には、インドでのスタートアップが世界を支配する可能性もある。台湾での研究活動は極めて活発であり、部分的には既に米国を凌いでおり、将来性は高い。イスラエルは世界的企業の研究開発基地として、地歩を固めつつある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

2.1.3 注目すべき萌芽的技術動向

(1) 無機系デバイス

「無機系新デバイス」は、一般には現在のシリコン CMOS を置き換えるデバイスと位置付けられる。いわゆる「Beyond CMOS」である。スピンを利用したデバイス、強相関材料を利用したデバイス、原子スイッチ、分子デバイスなどが考えられている。メモリにはこれらの新材料の開発により今後もさまざまな新デバイスの可能性が期待されるが、新情報処理デバイス（すなわちロジックデバイス）に関しては現在のところ CMOS に代わる具体的な集積デバイスがほとんど存在しない。基本的にスケラブル（微細化可能）で、かつオンオフ比が優れていることが条件であるが、非 CMOS デバイスでこの条件を満たしているものは残念ながら今のところ見当たらない。

したがって、CMOS デバイスの置き換えを狙う「Beyond CMOS」の開発が進むのは早くても 20 年後以降と考えられる。CMOS を置換し凌駕するような Beyond CMOS の基礎研究は、学術的な観点のみでなくその産業界への波及効果の大きさから極めて重要であるが、今後 20 年にわたって Beyond CMOS のみに研究資源を集中するのは非常に危険である。産業への貢献という観点からは、将来の大規模集積システムへの応用を目指し、いわゆる“More Moore”から“Beyond CMOS”までの広い範囲にわたってバランスよく資源配分することが求められている。

このような状況のもと、最も注目される新デバイスは、「カーボン系電界効果トランジスタ (FET)」であろう。もともとカーボンナノチューブ FET は高い性能を有することから研究が盛んに行われてきたが、最近では、グラフェン FET でも極めて高い性能が得られることが明らかとなり、各国ともこぞって研究に乗り出した。課題は、集積化可能なプロセス技術の開発と、オフ電流の大幅低減である。

また、シリコンベースでチャネル部分を革新するような技術が米国などで大きな進展を見せている。特に、チャネル部分を III-V 化合物半導体とする研究は欧米を中心に進められている。1980 年代に日本は化合物半導体分野で世界トップを走っていたが、これらの技術蓄積を生かすときが来ている。ところが、日本での研究は残念ながらあまり活発ではない。

以上のように、“More Moore”、“Beyond CMOS”、および両者の融合技術を、基礎研究から応用開発までおこなう産学官連携の研究開発拠点の整備が急務である。平成 22 年度に発足したつくばイノベーションアリーナ (TIA) の趣旨はこの方向に沿っているが規模は小さく、欧米の研究拠点並みに整備する必要がある。

(2) パワーデバイス

Si パワーデバイスにおいては、低損失化の限界を突破する技術であるスーパー Junction (SJ) MOSFET や、電子注入促進型 IGBT の構造最適化による性能向上が注目されている。スーパー Junction MOSFET は 600 V 級デバイスで実用化が始まったが、最近では高耐圧 (800-900 V) 縦型デバイスの開発だけでなく、パワー IC を目指した横型デバイスの研究も活発化している。IGBT の特性も着実に向上し、6.5 kV-100 A 級の素子も報告されるようになった (三菱電機)。100 V 以下の低耐圧領域では、0.13-0.18 ミクロンの CMOS 技術を駆使した低損失横型 MOSFET によるパワー IC の研究が注目される。

SiC、GaN などのワイドバンドギャップ半導体デバイスの研究が急速に進展している。SiC MOSFET では 600-1200 V の耐圧で $1.7-3 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ という低いオン抵抗が報告され (産総研、ローム、三菱電機)、600 V 級 MOSFET の小規模量産が開始された (ローム)。SiC ショットキーダイオードが民生用エアコンに搭載されたニュース (三菱電機) も業界にインパクトを与えた。課題であった大容量化も進み、100 A 超級の素子が複数の機関で試作されるようになってきた。GaN デバイスに関しても、結晶性の改善やノーマリオフ化の研究が進み、多くの機関から優れた性能が報告されている。

(パナソニック、古川電工、富士通、東芝など)。米国 EPC 社から 200 V 級のノーモリオフ型 GaN トランジスタが市販され、大きな注目を浴びた。WBG 半導体のコストも急激に低減され、今後も SiC と GaN の研究開発が急ピッチで進展すると予測される。Si デバイスを含めた各素子の棲み分けが議論の的となっている。また、これらの次世代パワーデバイスを活用するために、システム統合設計技術や実装技術の研究開発も益々重要になりつつある。

(3) センサ

注目される報告として、

①新材料のセンサへの応用では、

- ・ Na ドープしたハイドロキシアパタイトの湿度センサへの応用 (近畿大)
- ・ 紙基板にインクジェット印刷で作成した無線センサモジュール (米国 Georgia Tech 大)
- ・ 紙基板上のバイオセンサ (カナダ Waterloo 大) 等の環境に優しいセンサ開発
- ・ 水溶性蛍光 Ag ナノクラスターの蛍光センサへの応用 (中国 Changchun 研)
- ・ レーザ誘起毛細管を用いた非接触、高速応答のマイクロ粘性センサ (慶応大)

② MEMS センサ関連では、

- ・ 薄膜 MEMS 振動エネルギーハーベスターによる 15 秒デューティサイクルで動作する $10 \mu\text{W}$ 消費無線センサノードの完全自律性を達成 (IMEC)
- ・ 泥臭いが重要な取り組みとして、MEMS パッケージの気密性評価システム開発 (早大)

③ バイオセンサ関連では、

- ・ 細胞表面に発現している分子である SLAM (シグナル伝達リンパ球活性化分子) が、マクロファージによるグラム陰性菌の殺菌を制御する微生物センサであることを解明 (米国 Harvard Medical School、Boston Biomedical 研、スペイン Complutense 大の共研)

などがある。

センサネットワーク技術関連では、欧米中心に、その関連の広範囲のセンサ (イメージセンサ、加速度センサ、ガスセンサ、磁気センサ、温度センサ、圧力センサ等) の開発が盛んになってきた。また、センサ材料や製法の改良の他、センサの信号を処理する電子回路、センサノード同士やホストコンピュータとの間で情報をやり取りするための無線送受信回路、独立電源を一体化する研究開発が活発化している。それらの応用分野は、工業計装用、車載用、防犯・防災用、医療・福祉・介護用、環境計測用、建築物用途、農業用、軍事用 (戦闘監視) 等である。

研究の先駆けとなった米国では、軍の研究所、大手企業だけでなく、多数のベンチャー企業が開発を行っている。また、ヨーロッパでも、国策として、国研や大学とが連携して研究開発を進めているほか、多数のベンチャー企業が育っている。

日本でも、大学中心にセンサネットワークの研究開発は活発化しているが、欧米に比べてセンサ (センサノード) の研究開発は活発とは言えない。

センサネットワーク用の無線送受信の規格競争は世界的に激化しているが、現在は、MoteRunner、ZigBee、HART、SP100 等、国や研究機関ごとに独自の規格が提案され、統一されるに至っていない。しかし、規格面でリードした国が、センサネットワークおよび関連するセンサの市場で将来的に優位に立つであろう。

(4) 実装技術

現在、世界各国で開発されている 3 次元集積化技術は、主として TSV (Through Silicon Via : シリコン貫通電極) を用いて、Si ウェハ (チップ) 同士を直接、積層・接合するものであるが、微細化技術である More Moore の対極としての More than Moore の位置づけと、10 年ごとの実装・パッケージ技術の時代変遷という位置付の 2 面で捕えられる。この技術開発は、その重要性が世界各国で認識され、少なくとも 10 年以上に亘って積極的な活動が続けられているにも関わらず、CMOS イメージセンサー等プリミティブな利用例を除いて、まだ実用化レベルに無い。この背景には、プロセスの多様性、ロジスティックスが固まっていない等の問題があるが、今後の実用化に向け、技術の標準化とコストの関係においてこの特徴を最大限に生かせるアプリケーションの発掘が重要であろうと思われる。

また、更なる高性能化を目指して TSV への CNT (Carbon Nano Tube) の活用や、光 TSV 等応用展開等も研究開発されている。また、チップ間を容量結合や誘導結合を用いた無線通信方式による 3 次元集積化技術も研究開発されつつある。

一方、従来の実装・パッケージ技術の研究開発は、材料・装置開発を除くと、日本の半導体メーカ (IDM : Integrated Device Manufacture) も、米国同様その役割を東南アジアと中心とする OSAT (Outsourced Assembly and Test) に譲り終えたかに見える。

尚、LED、SiC・GaN 等のパワーデバイス実装・パッケージ技術開発分野は専門家が少なく、今後従来の IC 実装・パッケージ技術の活用が不可欠である。

さらに、実装・パッケージ技術は全体にサイエンスに立脚した技術になっていないのが実情である。実装・パッケージ技術が非常に広範囲な学際領域にわたり、単一の研究部門ではカバーしきれないことや、常に多分野の最先端技術を活用する必要があるために、エレクトロニクス生産技術の対象となる材料データベースの整備、信頼性評価の物理的意味の明確化などが行われていないことにある。

今後、技術立国“日本”を維持・発展させて行くには、国家戦略として今後の新しい実装・パッケージ技術をサイエンスとしてとらえ、基礎理工学に立脚した技術開発とそのインフラ作りが必須である。

(参考情報)

[1] 科学研究費補助 基盤研究 (S) グラフォアセンブリーによる三次元積層型光電子集積システム・オン・チップ

[2] Through silicon vias filled with planarized carbon nanotube bundles

T. Wang, K. Jeppson, N. Olofsson, E.E.B. Campbell, J. Liu Nanotechnology 20 (2009) 485203

[3] ISSCC: 2009 IEEE International Solid-State Circuits Conference

(5) 集積回路 (インテグレーション)

22 nm ノードまでの微細デバイスの形は見えているが、その先 15 nm ノード以下の微細化では、デバイスに大きな変化が生じる可能性がある。その大きな変化の一つは、立体型デバイス、いわゆる FinFET の登場の可能性である。チャネル制御性を高めるためには、従来の平面型デバイスよりも立体型デバイスが優れているからである。もう一つの変化要因は、チャネル材料である。これまでは、シリコンを用いたデバイス集積回路であったが、微細化による高性能化の割合が減少してきていることから、ゲルマニウムや化合物をチャネル材料とすることで、微細化だけでは達成できない高性能化を狙うものである。但し、プロセス技術は格段に困難になる可能性があり、その技術バリアを乗り越える必要がある。低消費電力の観点から、LSI 電源電圧のより一層の低電圧化 (0.5 V 以下) が要請されることから、より低電圧動作での高性能化を実現するためにも、こうした変化の可能性は、重要であろう。

(6) 集積回路 (デジタル)

今日、デジタル集積回路で最も重要な課題は、低消費電力技術である。特に、電源電圧をトランジスタのしきい値近傍まで下げて回路を動作させる研究が重要である。また、その際に問題となる素子特性の揺らぎやばらつきを考慮した設計技術が求められる。更に、Moore の法則の減速に伴い、いよいよ 3 次元集積の研究開発が本格化する。その第一歩として、システム・イン・パッケージ (SiP) 技術が注目される。

低電圧回路技術に関しては、高効率で高機能な電源回路の研究が注目される。また、極低電圧でも確実に動作するフリップフロップの開発や、あるいは素子がたまに誤動作することを認めながらもシステムの信頼性を保障するディペンダビリティの研究が重要になる。

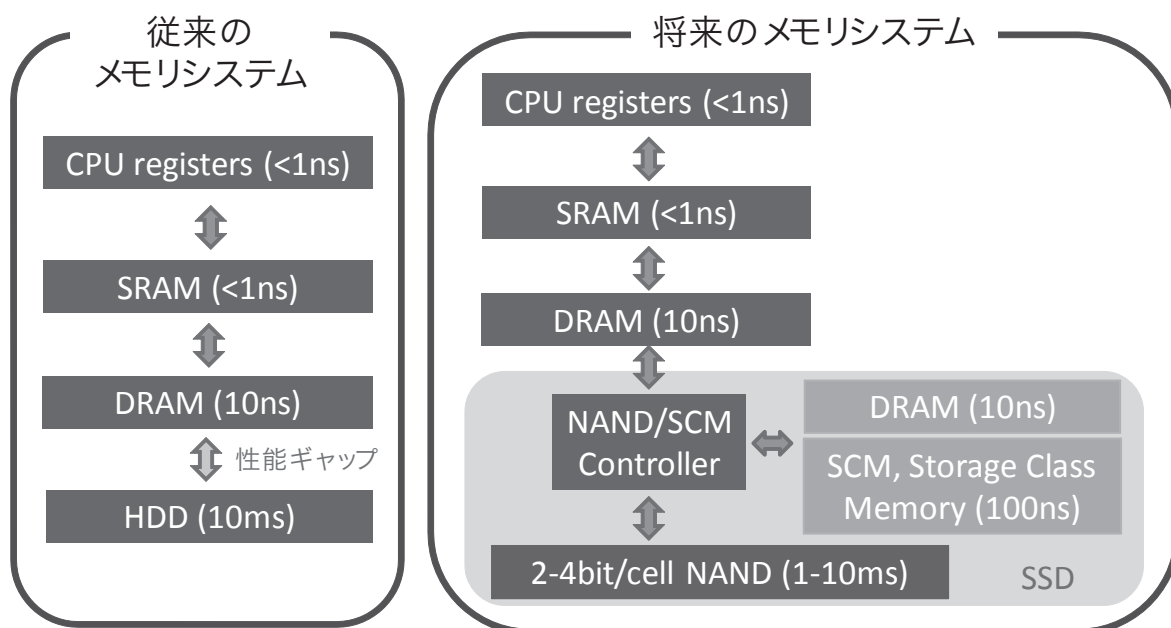
揺らぎやばらつきを考慮した設計では、ばらつき要因の物理的理解と、それに基づく知見を設計に導入するシステムが重要である。物理モデルについては不十分な点も多く、大学を中心とした基礎研究が求められる。また、遅延時間などのばらつきを考慮した統計的な設計手法が求められる。設計手法については、EDA 技術が米国に独占されている点が懸念点である。

SiP に関しては、チップ設計とパッケージ実装を統合的に扱える EDA システムと設計手法が、各社の標準設計フローに取り込まれるであろう。元来、実装技術については日本は高い技術力を有していたが、今後はチップ設計との連携を緊密にするシステムの取り組みが重要になる。

(7) 集積回路 (メモリ)

スマートフォン・パソコン・サーバーなどの記憶装置 (ストレージ) として、小型・高速・高信頼性・低電力の利点からフラッシュメモリを用いたソリッド・ステート・ドライブ (SSD) が使われるようになってきている。SSD で必要とされる高信頼性や小さい書き込み単位 (ランダムライト) での高速動作を実現するため、メモリの不良をシステムの的に救済する誤り訂正符号技術、フラッシュメモリを制御するコントローラー技術、OS の最適化、などのシステム技術の重要性が増している。また、現在のコンピューターシステムでは、DRAM (メインメモリ) とストレージ (HDD・SSD) の間に大きな性能のギャップがあり、システム全体の性能を決めるボトルネックとなっている。性能ギャップを埋めるために、DRAM とストレージの間に、SCM (ストレージクラスメモリ) を配置する新しいメモリアーキテクチャ (下図) が注目されている。SCM の研究に関しては、従来は ReRAM、PCRAM、MRAM などの物性・材料やデバイスの研究が日本・米国・韓国を中心に行われていた。SCM を実用化するためには、物性・材料・デバイス研究のみならず、SCM の特長を生かすため

のメモリアーキテクチャ・OSなどのシステム技術の革新が重要になってきている。以上のように、SSD、SCMといった新メモリは、コンピューターシステムの革新をもたらす可能性があり、特にシステム技術に関して、半導体のIntel、IBM、ソフトウェアのMicrosoft、Google、ITシステムのSun Microsystems（Oracleに買収）、Oracle、携帯機器のAppleや、米国西海岸の大学・ベンチャー企業など、米国で研究開発が盛んになってきている。



2.2 フォトニクス分野

2.2.1 概観

フォトニクスは光子（フォトン）の発生、変調、検出技術を基盤として広く情報の伝送、記録、処理、表示、計測などを扱う技術分野で、通信システムや表示システム、そのキー部品である光源や変調器など、様々な産業分野に関わっている。この分野の国際比較にあたって、中綱目として、(1) 光通信、(2) 光メモリ、(3) ディスプレイ技術、(4) 固体照明、(5) 光学材料・コンポーネント・光学設計、(6) 光計測、(7) 量子情報、(8) フォトニック結晶／メタマテリアル、(9) シミュレーション解析を設けた。

フォトニクス分野を総合的にみると、研究水準、技術開発水準、産業技術力とも日本、米国、欧州の水準が高い。ただし、各中綱目を個別にみると状況は必ずしも同じではない。

ビジネスの面では、いわゆる IT バブルの崩壊により光通信分野で不況の時期もあったが、映像情報技術のデジタル化が大きな流れを形成するなど、フォトニクス分野全体としては堅調な伸びを見せていた。しかし、最近の金融危機による未曾有の不況や円高による、設備や研究開発への投資の縮小や凍結などにより、特に技術開発力や産業技術力に対し、多大の影響を与え、一方で、中国や韓国の思い切った研究開発投資により、その地位が逆転している分野もある。

光通信では、インターネットの継続的な成長をドライビングフォースとして、大容量・長距離伝送の発展が確実に進んでいる。この分野では日本と米国が、研究、技術開発ともに高い水準を維持している。日本は光ファイバ (FTTH) の普及率で世界をリードしている。米国、欧州は、大学と企業の共同研究の推進等で、産業技術力を含めて全綱目で高い水準にある。産業技術力では、途上国市場ではファーウェイ（華為技術）など中国企業が売上を伸ばし、トップシェアになっていると予想されている。

光メモリでは、韓国の大学の技術開発水準は日本を超えている。台湾も熱心に進めている。スーパーレンズを応用した超解像技術を用いた光ディスクが、日本、フランス、韓国の共同研究で進められているが、次世代の光メモリ方式という訳ではなく、将来への模索の現れといえる。

ディスプレイ技術は、政府の支援を受けた大胆な設備投資により、韓国、台湾の発展が目覚ましく、世界第一位の地位を盤石なものとしている。この状況を打開するには、数では勝る日本企業が、各社の得意な技術に集中して開発を進める必要があるだろう。

固体照明では、アメリカ、欧州中心に標準化が進められており、アジアがこれに追随しているという構図である。産業界では、LED 照明はまだコストが高く、労働集約型システムの中国・アジア諸国において生産拠点が集中化している状況にあり、必ずしも日本がリーダーシップを発揮している状況ではないが、2010 年の省エネ法の改正以来、導入事例が増加してきている。産業界がまとまって省エネ、CO2 排出量削減を進め、ソーラーなどの創エネ技術との相乗効果を図ることにより、国際社会における牽引力が増すものと考えられる。

光学材料・コンポーネント・光学設計は、これまでの機械加工による非球面／自由曲面光学素子から、ナノインプリント等、微細形状制御技術を駆使した光学素子やナノコンポジット材料へと進展している。日本の技術開発力、産業技術力は既存の産業

分野の材料、コンポーネント、光学設計において圧倒的に強く、リーディングプレーヤーである事は論をまたない。今後重要性が増すことが確実な、光学と画像処理の融合技術であるコンピューショナル・フォトグラフィにおいては、米国が研究開発の中心であり、欧州で進展する共同研究体制の確立においても遅れを取った感がある。キーはオープンイノベーションである。日本は、この分野での競争力を維持するために、自らの強みと他者の強みを組み合わせた戦略を採る必要があろう。それには、昨今の内向き志向から脱却し、グローバルなイノベーション・ネットワークに飛び込んで、それらを活用することが重要である。

光計測は、日本、米国が研究から産業技術まで全般的に高い水準にある。研究の位置づけと方向性において、日欧では、研究者はシーズ的に研究を行う傾向があるに対し米国では、実用的なニーズに基づくものが要求され、それに答える研究がより高い価値をもつとされる傾向があり、学会でもニーズに従い、積極的にセッションが再編され、分野を盛り上げていく傾向が強い。中国や韓国はこれまで計測機器を自国で開発することはあまりなく、独創的な計測研究は少ないが、米国から帰国した留学生を中心に今後米国的な研究環境を整えていくと思われる。

量子情報は、短期開発が見込まれる量子暗号および長期研究の必要な量子コンピュータがある。どちらにしても、(1) 現テクノロジーの範囲で最高性能を目指す研究開発と (2) 将来を見据えたリスクイだが新しい理論・物性・デバイスに立ち戻った研究がある。

(1) に関して日本は欧米とともに世界の先端を行っているが、アジア-特に中国の量子情報処理-の猛迫に晒されている。

(2) に関しては超伝導光子検出器のほか、雑音下での量子情報の保護や量子弱測定など、量子情報処理の要となる基礎研究において日本の進境は著しい。理論でも、どのような計算に量子コンピュータは向いているか等の基礎研究が進んでいる。

中国の国家的支援や帰国人材を中心とした急速な立ち上がりを考えると、日本は (1) も (2) も全く手を抜かず力を入れる必要がある。

フォトニック結晶とメタマテリアルはもともと同じコミュニティから勃興してきたが、研究の進展は応用分野や国によって状況が異なる。日本のフォトニック結晶の研究は依然として活発だが、大きな産業分野として期待される LED やファイバは欧州や中国が脅威である。パッシブ部品やレーザで独自の産業化が進むと期待したいが、世界の中での孤立感が深まっている点が気になる。シリコンフォトニクスでは、日本は優位なので、日本から世界に発信し普及させる技術になることを望みたい。メタマテリアルはフォトニック結晶コミュニティから派生した分野であるが、世界の研究人口は既に肩を並べ、電波分野を含めれば追い抜いた印象さえある。メタマテリアルに関連するプラズモニクスも並行して発展しており、両者を切り離して議論するのは難しくなっている点も注意する必要がある。

シミュレーション解析・解析ツールの研究、技術開発は日、米、欧とも高い水準にある。最近では、ナノフォトニクス分野のシミュレーション解析が長足の進歩を遂げているが、特に、構造最適化技術に関する研究開発が注目を集めている。中国、韓国は、フォトニクス分野全般にわたって、シミュレーション解析に関する論文が増え始めており、技術開発水準も米国での習得者の増加から向上傾向にある。

2.2.2 中綱目ごとの比較

(1) 光通信

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	光伝送、光デバイス技術レベルは世界トップクラスであり、特に、東大、東北大をはじめとして、光通信にデジタル信号処理を活用したデジタルコヒーレント光通信技術に関する研究を先導している。また、ネットワーク関係では、情報通信研究機構（NICT）が、光パケット・光パス統合ネットワークの検討を精力的に進めている。
	技術開発水準	◎	↗	2010 年に、国際電気通信連合（ITU-T）SG15 委員会では、光ネットワーク（OTN）に関する国際標準 G.709 勧告が改定され、40/100 G イーサネット（40/100 GE）を OTN に多重・収容し長距離伝送するための新たな多重化階梯とその拡張に関して標準化が完了した。また、IEEE 作業部会では、IEEE802.3ba として LAN としての 40/100 GE の標準化が完了した。日本は、各国と連携し、ITU-T ならびに IEEE の連携した標準化に多大な貢献をした。主な国際会議 OFC/NFOEC、ECOC 等では、通信キャリアとしては NTT、KDDI、システムベンダとしては富士通、NEC、三菱電機等がデジタルコヒーレント方式に関する検討を進め、世界トップレベルの研究開発を牽引している。2010 年 3 月には NTT から 1 本の光ファイバを用いた伝送容量では世界最大の 69.1Tbit/s・240km の伝送実験が報告された。
	産業技術力	○	→	日本のブロードバンド加入者は 3200 万加入を超え、そのうち FTTH（Fiber to the Home）はブロードバンドサービス全体の 50% 以上となり、光ファイバによる超高速ブロードバンドが世界で最も普及している。システムベンダでは、富士通が北米市場（メトロネットワーク等）でのシェア確保している。光送受信モジュールベンダでは OpNext が 300pinMSA モジュールで高い市場競争力を維持している。
米国	研究水準	◎	→	光伝送・光デバイス技術水準は世界トップレベルであり、DARPA 等のプロジェクトに産学が参加するなど先端研究をリードしている。2010 年 9 月には、DARPA からのファンドとして UCSD を中心としたフォトニック技術関係のコンソーシアム PICO（Photonic Integration for Coherent Optics）が立ちあげられた。本 P J では光の振幅と位相の両方を用いた新しい世代の Photonic Integration Chip を開発し、次世代の通信・センシング技術に役立てることを狙っている。UCSD の他、マサチューセッツ工科大学、カリフォルニア工科大学、バージニア大学、リーハイ大学も参画し、企業のメンバは、JDSU、インフィネラ、ロックウェル・コリンズ、テレダイン、コーニング、インテル HP などが参画している。（ http://www.independent.com/news/2010/sep/26/ucsb-led-consortium-picked-photonic-chip-research/ ）。
	技術開発水準	◎	→	スマートフォンのサービスの普及や LTE(Long Term Evolution) 用の携帯電話関係の基幹ネットワーク向けを中心に AT&T やベライゾンなどのテレコムキャリアネットワークにおいて大容量光通信システムの需要を牽引している。またグーグル等のデータセンタ間やセンタ内の光化が進展しており、本分野での大容量光通信システムの需要が高まっている。北米キャリアでは AT&T 研究所・NEC 北米研究所等が国際会議レベルでの大容量光通信の基盤研究を牽引している。北米のシステムベンダではシエナ（旧ノーテル）がデジタルコヒーレント技術開発を牽引している。デジタルコヒーレント技術の大洋横断伝送システムに向けた検討では、TE Subcom 社（旧 Tyco）により検討が進み、実験レベルでは 10 Tbps 級容量で 9,000 km クラスの伝送実験が報告されている。
	産業技術力	○	↘	リーマンショックの影響で、40 G デジタルコヒーレント伝送技術の実用化で先行していたシステムベンダのノーテルの光通信部門が、シエナに買収され、北米におけるシステムベンダの合併が進んだ。また光モジュールベンダにおいても合併がすすんでいる。フィニサー、オクラロ等が 40/100 G 向けのサブモジュール、300 pin MSA モジュール等の研究開発を推進している。オクラロは、光部品、光モジュール、サブシステム等のベンダとして 2009 年 4 月にブックハムとアパネックスが合併し誕生した。また、2010 年 7 月には超高速モジュールベンダのミンテラを買収し光モジュールベンダとして最近急激に企業規模を拡大している。また、AMCC、Cortina などの光通信用 L S I ベンダも 40/100 G 用システム LSI で堅調である。
欧州	研究水準	◎	→	超高速光通信関係の様々な EU プロジェクト（EURO-FOS 等）による産学連携が強化されている。大学では、フランクフルター、HHI、アイントフォーヘン大学、ロンドン大学（UCL）、デンマーク工科大学、ゲント大学が中心となり高いアクティビティを維持している。デンマーク工科大学では、光デバイスのプロセス設備を整備し産学連携の拠点形成をすすめている。また IMEC（Inter-university Micro Electronics Center）では、様々なシリコンプロセス等の基盤研究開発を中心に産学連携の拠点形成を進めている。
	技術開発水準	◎	→	アルカテルルーセント（仏）を中心に同社の北米部門と連携し、全分野において高い技術水準を維持している。光アクセス関係ではドイツテレコムがようやく導入を本格化させる見通し。光モジュール・光コンポーネントではコアオブティクス（シスコに買収）や、SHF 社等の有力企業が高い競争力をもっている。

	産業技術力	◎	↘	システムベンダではアルカテル・ルーセントを中心に、欧州では高い市場競争力を維持している。今年度は途上国市場では、ファーウェイ（華為技術）との競争が激しくなっている。また、ADVA、ノキアシーメンスもアルカテルルーセントについて、欧州で市場シェアを確保している。超高速の光モジュール等の代表的なベンダであったコアオプティクス（ドイツ）がシスコに買収された。
中国	研究水準	○	↗	ITU-T や、国際学会（OFC/NFOEC、ECOC）等の学会発表で光通信システム・デバイス分野での清華大学、北京郵電大学等の採択件数が増え続けており、研究開発力が急激に伸びてきている。
	技術開発水準	○	↗	システムベンダのファーウェイの躍進が目覚ましい。ITU-T での戦略的な活動強化が活発化し、提案案件が非常に多くなっている。また、国際学会（OFC/NFOEC、ECOC）等での論文投稿・採択が非常に増えてきている。また ZTE、ファイバホーム等の中国システムベンダも近年、国際学会での採択等が増加している。
	産業技術力	◎	↗	ファーウェイ、ZTE、ファイバホームの代表的なシステムベンダが、豊富で安価な労働力と、巨大な国内市場の成長を背景に急激に成長している。特にファーウェイは、海外の発展途上国市場を中心に売り上げを伸ばし、アルカテル・ルーセントを抜いてトップシェアとなっていると予想される。ZTE、ファイバホームも国内市場の成長を背景に国際競争力強化を進めている。
韓国	研究水準	○	→	KAIST、ETRI 等が依然として研究機関の中心である。KAIST を中心に、光アクセス分野（WDM-PON）に新たにデジタルコヒーレント技術を適用した新たな長スパン方式などが提案された。
	技術開発水準	△	→	韓国においては光通信システムベンダの有力企業が育っていない。近年、2009 年の 12 月にアルカテル・ルーセントが、高麗大学とソウル市の誘致活動により韓国のソウルにベル研究所ソウルを開設した。当初は、無線通信分野を中心に高麗大学とのコンソーシアムが始動されるようであるが、光通信分野への動向について注目される。
	産業技術力	△	↘	ブロードバンド通信の普及率は、日本につづく第 2 位となっているが、主な光通信関係の産業規模は大きくないと思われる。
全体コメント： 今年度は、研究開発分野では、40/100 GE およびそれらの光ネットワークでの伝送に関する国際標準化が、IEEE ならびに ITU-T においてほぼ完了し、100 Gbps 級の波長多重システムの実用化開発が世界各国で進んでいる。また、次世代の超高速イーサネットとその長距離伝送にかかわる標準化についても議論もはじまり、デジタルコヒーレント技術をさらに高度化し、チャネル速度の高速化や周波数利用効率の向上による大容量化の検討が報告されている。一方、ビジネス分野ではファーウェイ、ZTE、ファイバホームなどの中国ベンダがグローバル市場に台頭し、市場のシェアを飛躍的に伸ばし、グローバル競争が激化したことが大きな話題である。中でもファーウェイは、圧倒的な低価格とグローバルな戦略強化で、国家的なサポートを背景に、一人勝ちの状態になりつつある。EU では、FP-7 などの枠組みで、大学がデバイス・伝送関係の研究の戦略を策定し、企業との共同研究をうまく推進している。欧州ではシステム関係はアルカテルルーセントが北米部門も統合し強大な市場シェアをもち、ADVA、ノキアシーメンス 等が続く。米国ではフィニサー、JDSU、オクラロを代表とする光デバイス/モジュールメーカ、ノーテルの技術を獲得したシエナを代表とするシステムベンダ、ルータ市場を寡占するシスコ・ジュニパーなどが、スケールメリットを生かし、研究から産業技術力まで万遍なく力を持っている。光通信における日本の立場は、光伝送方式技術分野、光デバイス技術分野において、技術トレンドを牽引し続けており、技術開発水準、産業技術力面では信頼性、性能面において高い技術力を維持し、国内のシステムベンダも北米市場ではこれまでのシェアを守っているが、世界市場、特に、発展途上国におけるシェアは決して高くない。また、システム開発費が拡大し、一社単独での戦略部品開発が難しくなっているなかで、民間企業では様々な枠組みを活用し戦略的なパートナーシップを組んでタイムリーに協業していくことが求められていくだろう。また、発展途上国における市場拡大には、政府としての国家的なグローバル戦略も必要になってくるであろう。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(2) 光メモリ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↓	いっとき大学を中心に研究が活発化していたホログラフィックメモリの研究も、ほとんどの企業が研究を止めてしまった現状に合わせるように、光メモリへの応用研究を止めている。 もう一方の期待される光メモリ研究分野として表面プラズモン応用によるナノテクノロジー光メモリがある。これこそ日本の研究水準を上げるための絶好のテーマであるはずが、各企業が長期の研究テーマに及び腰であることや、大学の主な研究者が定年で、第一線から退いていることのためにほとんど手がつけられていない。以上は ISOM2010 (Oct.2010Taiwan) を参考にしている。 ロールタイプ光記録による並列ヘッド方式提案 (ISOM2010 Best 研究論文: パイオニア /TDK)
	技術開発水準	○	→	BD 以降の高精細光ディスク技術開発としては 2000 年に産総研が発表したスーパーレンズを応用した超解像技術を用いた光ディスクの技術開発が三菱電機を中心に行われている。これはフランスでも行われているし、韓国でも行われているので、珍しく、日本、フランス、韓国の国際協力による技術開発となっている。一枚の光ディスクで 100 GB を超す光ディスクが実現している。 平成 22 年 8 月から 3 年計画の JST(浜松テクノポリス推進機構が事業管理機関) による産学官協同研究が、浜松のバルステック工業、つくばの産総研、石川の石川高専が中心になり、超解像応用の「光を用いた微小構造評価装置の高度化多機能化研究」がスタートした。
	産業技術力	△	↓	ブルーレイ光ディスクを中心とした光ディスクドライブが普通に製品化されているが、かつての CD や DVD の時のようなブームにはなっていない。 1997 年に東海大学が提唱し、初期実験を行った光フロッピーディスクによるアーカイブメモリ装置の開発が、日立マクセルやリコーなどで試作、発表されている。体積ボリュームの少ないアーカイブ光メモリディスクという位置づけで、NHK など特定の機関向けには、今後普及するかも知れない。 ガイド層を持つ 16 層のアーカイブ光ディスク :ISOM2010 Best 技術論文 (静大と台湾 Lintech)
米国	研究水準	×	↓	新規発表が皆無の状態。
	技術開発水準	×	↓	ホログラフィックメモリの創始者の Cal Tech 大の Demetri Psaltis もいまでは、スイスのローザンヌ工大へ移籍してパイオイメージングの研究をしている。また、UC San Diego の Prof. Esenar は二光子吸収による 300 GB の光ディスクの研究者として知られ、Call/Recall という会社も設立したが、今では学会発表も製品発表もせず、もしかしたら、解散状態かもしれない。 このように、かつては研究開発も技術開発も優れていた米国の光メモリ開発に関する水準は非常に下がっている。
	産業技術力	×	↓	もともと、米国における光メモリの産業技術力は非常に高かったが、1990 年代から 2000 年代にかけて日本の産業界の圧倒的な技術開発力に負けて、産業としては、ほとんど成り立たなかった。 最近ではコロラド州に Inphase 社がひとりホログラフィックメモリディスク媒体で頑張っていたが、それも、ホログラフィックメモリの衰退に伴って、継続が危ぶまれているように思われる。
欧州	研究水準	△	↓	過去には画期的な研究が欧州連合では良く見られたが、今年はそれも発表が無い。
	技術開発水準	×	↓	もともと、欧州における技術開発はオランダのフィリップスが中心であった。しかし、フィリップスが光メモリ事業を止めた現在では、フランスでの超解像光ディスク以外ではほとんど発表もない。
	産業技術力	△	→	もともと、欧州における光メモリの産業は無いも同然であった。 それは今年も変わらない。
中国 含 台湾 香港	研究水準	△	↑	中国本土：ところどころで、時々、研究がつづけられている現状である。 台湾：研究のレベルは驚くほどに上がってきている。しかし、依然として高いオリジナリティの研究発表はまだ少ない。今後、数年したら日本を追い抜くかもしれない。 香港の大学での研究レベルは依然として高い物がある。
	技術開発水準	○	→	中国本土よりも台湾の方が技術開発に熱心である。
	産業技術力	○	↑	光ディスク関連の生産は世界一である (中国本土並びに台湾も) 。 (ただし、香港では最近では生産も減少気味である。)
韓国	研究水準	○	→	韓国オリジナルな研究は以前も今も、ほとんど見当たらない。
	技術開発水準	○	→	大学中心に、日本発信の研究を精力的に進め、いまでは、日本以上の成果を出している。
	産業技術力	△	→	従来とほとんど変わらず。

全体コメント：

すでに日本にて発表された研究の追試ではあるが、台湾は結構頑張っているようである。しかしながら、台湾でも研究あるいは工業的な改良を進める会社がほとんど無くなった様である。Lintech 社が静大と共同で ISOM2010 にて Best Academic Paper を受賞した件も、たまたま台湾の Lintech 社から静大へ研究留学してきているためであり、台湾においても、新進的な研究からは身を引いた様に思われる。韓国は、まだ大学（Yonsei）が中心になり、ナノテクノロジー応用光メモリ研究や、光フロッピーディスクヘッドやシステムの研究などの点で、日本より熱心な研究が進められている様である（ISOM2010 にて Best Student Paper を受賞）。

中国は、まだら模様であるが、日本に比較して、まだ熱心な研究者も居るようである。何と言っても中国での光ディスク関連の生産量が圧倒的であるが、新規なものに乗り出そうとする機運は減退している様に思える。

新規なものに乗り出そうとする機運の点で言えば、インドが華々しいと思う。

米国の光メモリの研究は全く衰退しているようである。シーゲート社がカーネギーメロン大学と一緒にあって、光ナノテクノロジーを応用した次世代磁気ディスクヘッドの研究（大容量熱アシスト磁気ディスク）を、政府の予算で進めていたが、最近はやっていないのかも知れない。ホログラフィック光メモリで有名であった Inphase 社も事業を止めたのであろう。

欧州は光メモリ産業がほとんどなく、もともと光メモリの研究のみは熱心であったが、最近はその動きもあまり聞かれない。

（参考情報）

[1] ISOM 2010, 花蓮, 台湾

[2] Moc2010, 新竹, 台湾

（註 1）フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

（註 2）現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註 3）近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(3) ディスプレイ技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↘	SID のようなディスプレイ関連の国際学会への、日本の工学系の大学からの発表件数が激減しており、研究者が減少していることを示している。国立研究所においても、省エネルギー技術（グリーン・イノベーション）の一環として、超低消費電力の薄型軽量ディスプレイを実現するための、デバイスの低温形成技術や印刷形成技術が、わずかにディスプレイ関連の注力分野の一つとなっているのみである。
	技術開発水準	◎	→	企業の技術開発水準は引き続き世界のトップレベルにあるが、ここ 2～3 年は、韓国企業（サムソン、LG）が新技術の導入においても日本企業に先行する傾向が出てきている。ディスプレイの国際展示会等でも、「世界初」とか「世界最薄」といったアピールで日本企業のお株を奪う場面が多くなった。日本企業では、従来学会発表を積極的に行ってこなかったシャープが方針転換をして多数発表するようになり、日本企業では群を抜いてトップである。ただし、SID2010 における日本企業の上位 3 社（シャープ、ソニー、東芝）の発表件数を合計しても、サムソン 1 社の発表件数には及ばない。
	産業技術力	◎	↘	部材と製造装置については引き続き日本企業が競争力を保っているが、テレビ用の大型液晶パネルについては、政府の支援を受けた韓国・台湾メーカほど思い切った設備投資ができず、パネルのシェアは低下の一途を辿っている。また、従来パネル技術の囲い込みを行ってきたシャープが中国メーカに技術供与するなどのオープン化の動きも出てきている。スマートフォンの普及で急成長しているタッチパネル市場についても、台湾が優勢になっている。
米国	研究水準	○	→	基礎研究分野においては、University of California、University of Washington、University of Central Florida、Kent State University など、いくつかの大学で独創的な成果が出ている。ただし、学会で発表している研究者の多くは韓国や台湾からの留学生であり、企業や国の支援を受け、米国で基礎研究に取り組んでいる。
	技術開発水準	○	→	技術開発の中心は材料、デバイス、プロセス等の要素技術であり、開発主体は DuPont、3M などの歴史のある大企業と、UDC などのベンチャー企業に二分される。大企業では塗布などのプロセス開発を行っているところが多く、ベンチャー企業では有機 EL 等の材料開発を主に手がけている
	産業技術力	△	↘	パネル製造はしておらず、ディスプレイ関連の産業として唯一成功しているのが、3M の液晶テレビ用の輝度向上フィルム（BEF、DBEF 等）である。
欧州	研究水準	○	→	基礎研究分野においては、ドイツや英国を中心に、高い水準を維持している。研究の主体はドイツのフ라운ホーファー研究機構のような公的研究機関である。特に、有機材料を用いたプリンテッド・エレクトロニクスが注力領域となっている。
	技術開発水準	○	→	米国と同様、企業における技術開発も、要素技術が中心である。有機 EL 関連では、英国の CDT やドイツの Novalled がドーピング技術を用いた低分子材料で注目されている。また、ドイツの Merck KGaA も有機半導体材料専門メーカである Covion を買収するなど、有機 EL 用の材料開発を積極的に進めている。さらには、有機 EL パネルの技術を照明に応用した有機 EL 照明の開発も、政府の支援を受け、急速に拡大している。
	産業技術力	△	↘	パネル製造は行われておらず、オランダのフィリップスが唯一の大手テレビメーカであるが、韓国企業の躍進により、日本企業と同様、シェアを落としている。部材ではオスラムやフィリップスの LED が今後伸びると思われるが、全体的に、産業の裾野は広くない。
中国	研究水準	△	↗	材料分野を筆頭に、中国の研究水準は著しく向上してきているが、ディスプレイ分野の国際学会での発表件数はまだまだ少ない。
	技術開発水準	△	↗	政府によりディスプレイ関連企業の育成が進められているが、まだ有力企業に育ったと言えるようなところは無い。テレビ事業を行うにあたって、既存企業の特許障壁があり、それに対抗できるような特許を創出する水準にはほど遠い状況である。
	産業技術力	○	↗	台湾や韓国製のパネルを購入して液晶テレビを組み立てる現地メーカが、「家電下郷」政策のもと、ここ 2～3 年で急速に中国国内市場でのシェアを伸ばしてきた。今や中国メーカが韓国メーカや日本メーカを押しつけて市場シェアの 8 割以上を占める。また、従来から行われている液晶モジュールの組立に加え、シャープなどから技術指導を受けてパネル製造を行う中国企業も育ちつつある。
韓国	研究水準	◎	↗	サムソンや LG からの支援を受けた大学や公的研究機関により、トップレベルの研究開発水準にある。KAIST (Korean Advanced Institute of Science and Technology : 韓国科学技術院) や SAIT (Samsung Advanced Institute of Technology : 三星工科大学) がその代表格である。
	技術開発水準	◎	↗	韓国企業はサムソンと LG の 2 社しかないが、液晶テレビの世界シェアでは 1 位と 2 位を占めるまでに躍進した。中でもサムソンは半導体メモリーに続き、液晶パネルでも世界トップとなった。最新鋭のラインでパネルを内製するだけでなく、新技術の 3D テレビも日本企業より一歩早く市場導入するなど、技術開発においても日本企業より優位に立っている。また、有機 EL 等の次世代デバイスも幅広く手がけ、ディスプレイの技術開発では世界の先頭を走っている。

	産業技術力	◎	↑	政府による投資補助や低い法人税率など、日本企業に比べ有利な経営環境を活かし、大胆な大型投資をすることで、規模の経済を確保し、市場競争力を高めてきた。近年、日本企業の人材を引き抜くなどして技術力やデザイン力なども高め、サムソンはトップブランドの世界企業となった。また、ソニーが最初に液晶テレビに導入したが市場立ち上げに失敗した LED バックライトを、「LED テレビ」と銘打って全ラインアップに展開し、市場を席巻するといったマーケティング力も備わっている。さらには次世代ディスプレイの本命とされている有機 EL にも、サムソンと LG の 2 社が積極的な投資を行っている。
台湾	研究水準	◎	↑	近年、SID 等のディスプレイ関連の国際学会での、台湾の大学からの発表が非常に多くなっている。SID2010 では、National Chiao Tung University (NCTU)、National Taiwan University (NTU) が、ポスターのみも含めてそれぞれ 34 件、15 件となっており、NCTU はサムソンの 50 件に次いで第 2 位、NTU も第 5 位の件数である。これまで数は多くても質は劣るという傾向であったが、最近の NCTU の発表にはユニークな視点のものが多く、注目度も上がっている。
	技術開発水準	◎	↑	SID での発表件数は大学に比べると少ないが、台湾企業の技術開発水準は急速に向上している。SID2010 の発表件数では CPT (Chunghwa Picture Tubes, Ltd : 中華映管) が 10 件と最も多く、企業別ではサムソン、LG、シャープに次ぐ第 4 位である。また、SID2010 で注目された新技術の一つに酸化半導体 TFT があげられるが、この技術を用いたテレビサイズの液晶パネル (32 型) を世界で初めて展示したのは、台湾の大手液晶パネルメーカーの AUO であった。また、半官半民の独立行政法人的組織である ITRI (Industrial Technology Research Institute : 工業技術研究院) が、ディスプレイ技術の開発を積極的に行っており、民間企業に技術をライセンスしている。
	産業技術力	◎	↑	液晶パネルの世界市場シェアでは、サムソン、LG の韓国勢に次ぐ第 3 位が AUO (友達光電)、第 4 位が CMO (奇美電子) と、台湾メーカが日本メーカを上回っている。中国のテレビメーカーに多く販売しているが、日本のテレビメーカーにも販売しており、品質的にもトップレベルになった。液晶テレビ用のパネルやスマートフォン用のタッチパネルは、半導体や IT 分野の ODM (設計から製造までの下請け生産) と並び、台湾の代表的な産業に成長している。また、電気泳動方式の電子ペーパーを開発した米国 E Ink を PVI 社が買収するなど、電子ペーパー立国戦略を掲げている。
全体コメント： ディスプレイ市場の最大セグメントは民生用のテレビであるが、ここ数年で、ブラウン管からフラットパネルディスプレイ (FPD) への移行が大きく進展し、その中でも LCD が主役となった。この流れの中で躍進したのが、韓国と台湾であり、政府の支援を受けた大胆な設備投資により、パネルの量産に乗り出し、産業技術力を向上させた。産業基盤ができると技術課題が明確になるため、企業の技術開発水準や大学の研究水準も追いついてきて、今や新技術の導入でも世界のトップになった。特に韓国はサムソン、LG の 2 大企業が突出して強く、台湾では大学の研究が活発である。こうした韓国と台湾の台頭もあって、液晶のパネルやテレビの市場価格は急速に下がり、日本メーカはパネルでは韓国、台湾メーカに、テレビでは韓国のサムソン、LG にシェアを奪われているのが現状である。テレビの価格下落を食い止めようと、日本企業は 3D 対応テレビを実用化し、2010 年は 3D 元年となったが、ここでもサムソンが商品発売では一歩先行する形となった。現在、技術開発の中心は眼鏡無し 3D に移っている。今年注目された技術としてはそのほかに、現在主流のアモルファスシリコン TFT の置き換えを狙う酸化半導体 TFT、サムソンが量産化を宣言している次世代テレビ用の大型有機 EL、立ち上がりつつある電子書籍市場の次世代を狙うカラー e-Paper、ソニーの巻き取りデモが注目されたフレキシブルディスプレイ、サムソンや LG が試作品を公開した後方が透けて見える透明 LCD 等がある。こういった新技術の実用化は、韓国企業と日本企業の競争になると思われるが、豊富な研究リソースを投入して全方位展開で開発を進めているサムソンに対抗するには、数では勝る日本企業が、各社の得意な技術に集中して開発を進める必要があるだろう。				

(参考情報)

- [1] SID2010 Proceedings
- [2] Tech-On! スペシャルレポート SID2010 <http://techon.nikkeibp.co.jp/NEWS/SID2010/>
- [3] 独立行政法人 産業技術総合研究所 「第 3 期研究戦略」平成 22 年度版
- [4] 中国のテレビメーカー <http://diamond.jp/articles/-/3514>
- [5] 特許包囲網に悩む中国メーカ <http://journal.mycom.co.jp/articles/2007/05/09/008/001.html>
- [6] タッチパネル (Wikipedia) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%BF%E3%83%83%E3%83%81%E3%83%91%E3%83%8D%E3%83%AB>

(註 1) フェーズ [研究水準 : 大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準 : 企業における研究開発のレベル、産業技術力 : 企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎ : 非常に進んでいる、○ : 進んでいる、△ : 遅れている、× : 非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑ : 上昇傾向、→ : 現状維持、↓ : 下降傾向]

(4) 固体照明

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	△	→	世界で初めて GaN 系化合物半導体を実用化した前後から、研究開発水準は非常に高いレベルを維持しているが、固体照明への展開する研究は少ない。2010 年 3 月から、NEDO が新しいプロジェクト「次世代 LED/有機 EL 照明を実現するプロジェクト」を産学の 15 機関で開始し、2014 年に、蛍光灯と比較して消費電力を半分にする発光効率で量産可能な次世代照明を実現するための基盤技術の確立を目指している。
	技術開発水準	○	→	2010 年、LED を使った照明器具が各社から多く提案されるようになった。長期的なコスト面では有利でも初期投資が大きく従来灯具からの置き換えが一気には進まない状況。
	産業技術力	◎	↑	2009 年の LED 電球の拡大以降、LED 照明産業の急激な立ち上がりを見せており、2010 年の省エネ法改正に伴い、業務用途でも導入が進んできている。LED 照明製品の開発に先立って行われるべき、光源となる LED モジュールの安全仕様や性能仕様の標準化作業が段階的に完了し始めている。LED ランプや LED 照明器具の安全仕様や性能仕様の標準化も国際的な標準化と同調して準備しつつある。蛍光灯代替を目的とした直管形 LED ランプに対しては安全性に配慮した業界団体規格を公開し LED 照明普及を推進させる動きがある。[1,2,3,4,5]
米国	研究水準	○	↑	GaN 系発光デバイスに関して UCSB が US 内外の企業・研究機関との連携で LED、LD の性能向上に対して活動的である。また、エネルギー省 (DOE) は市場導入を加速するため、Research から Manufacturing まで広く支援を行っている。
	技術開発水準	○	↑	2010 年は Philips Lumileds、CREE など、LED チップの面積を広げて白色発光の発光効率を上げる動きが行われた。今後、さらに LED チップの大面積化が進み、既存光源に対して LED 照明の発光効率が同等以上のレベルとなる見込み。今後は、低コスト化が進むと予測される。Energy Star の要求レベルが高かったが、2010 年、GE が規格を満たす電球を提案した。[6]
	産業技術力	◎	↑	LED 光源の評価手順の標準化、LED 照明器具の安全仕様、省エネルギー推進のための性能仕様を整備済みであり、LED 照明製品の普及環境は整備されている。エネルギー省が推進する照明機器の市場調査対象に LED 照明機器も盛り込まれ市場流通製品の実情を定期的にモニタリングする制度が機能しており、固体照明機器の性能向上を推進させる意図が読みとれる。[7]
欧州	研究水準	○	→	有機 EL に関するプロジェクトが継続している。2004 年からの OLLA プロジェクトに続いて、2008 年から €12.5M の OLED100.eu が、2011 年に 100lm/W 等を目標に、ヨーロッパでの一般照明に提供する技術開発を開始している。
	技術開発水準	○	→	Philips、Osram が LED 照明商品の展開を推進している。Philips は LED チップと蛍光体を分離した Remote Phosphor 方式の照明器具を提案している。有機 EL に関してもサンプルレベルだが、今後 1～2 年での量産を行うとの表明がなされている。[8]
	産業技術力	◎	↑	LED 照明関連の IEC 規格制定の中心的な活動を行い、固体照明機器の標準化整備に積極的である。LED 関連機器のインターフェースの標準化促進を図る団体を運営するなど LED 照明産業の発展に向けた活動を積極的に展開している。LED 照明の特性を熟知しており、従来の口金を持つランプに代わる LED 照明モジュールという新たなソリューションを提案することもできる。
中国	研究水準	○	↑	窒化物半導体の国際会議「Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors 2009」を 2009 年に開催。研究は、結晶成長、蛍光体、デバイスまで多岐にわたっており、研究の中心は、Peking Univ. Nanjing Univ. や、Chinese Academy of Sciences で、企業での研究も熱心である。中国文献では北京工業大学などでの GaN 系デバイス、白色発光用の蛍光体に関する研究等が発表されている。また、LED 研究センター設立への投資も行われている。
	技術開発水準	○	↑	中国科学技術部は 2009 年に「10 都市街灯普及プロジェクト計画 (十城万盞)」を発表し、LED 街灯を約 200 万基設置する計画。また、2015 年までに半導体省エネ照明産業の拡大を掲げている。LED へのシフトは国内の電力事情も影響していると見られる。
	産業技術力	○	↑	LED 照明機器の生産拠点としての発展が目覚ましい。日本国内で販売されている電球形 LED ランプの市場購入調査では、中国生産品の比率が最も高くなっている。
韓国	研究水準	○	↑	窒化物半導体の国際会議「Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors 2007」を 2007 年に、「International Conference on Nitride Semiconductor-8」を 2009 年に開催。研究は、結晶成長、蛍光体、デバイスまで多岐にわたっており、研究の中心は、Korea Polytechnic Univ. Hanyang Univ. Chonbun National Univ. や Korea Photonics Technology Institute で、企業での研究も熱心である。また、ETRI (韓国電子通信研究院) や企業での有機 EL の研究も進められており、各種展示会で試作品の展示が行われている。
	技術開発水準	○	↑	光州光技術院 (KOPTI) を中心として、国内 4 箇所に LED 技術支援センターを設置し、人材育成、技術開発を支援する体制を取っている。Samsung、LG、Seoul 半導体、等が LED チップから照明用デバイスの開発を進め、高輝度の LED の生産を行っている。また LED 照明器具の開発も積極的に行われており、日本への売り込みも図られている。

	産業技術力	◎	↑	政府が LED 照明産業を拡大すること、LED 照明器具比率を高める目標を設定している。規格面では、有機 EL を光源とする照明機器の安全仕様及び性能仕様を IEC 規格として提案するなど、独自製品開発技術があり独自の製品仕様を国際標準化提案することで、世界市場へ普及させるといふ国としての戦略を持っている。
台湾	研究水準	○	↑	窒化物半導体の国際会議「Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors 2005」を 2005 年に開催。 研究は、結晶成長、蛍光体、デバイスまで多岐にわたっており、研究の中心は、National Taiwan Univ. National Cheng Kung Univ. National Chiao Tung Univ. や、Industrial Technology Research Institute で、企業での研究も熱心である。 結晶成長に関する研究が活発。有機 EL は AUO が展示会で試作品の展示を行った。
	技術開発水準	◎	↑	現在、LED 生産量で世界一、生産能力第 2 位 (PIDA による) であり、固体照明にとって重要な位置を占める。台湾経済部エネルギー局の計画では、2014 年には一般照明器具を淘汰して LED とし、さらに 2015 年には台湾を世界最大の LED 光源およびモジュールの供給国とする計画。
	産業技術力	◎	↑	計測や試験に関する規格整備が進んでおり、光源となる素子やデバイス類の生産拠点としての技術開発が主流とみられる。
全体コメント： 省エネ、CO2 排出量削減の取組みについては、グローバルで加速化してきており、照明分野において、その役割は固体照明が担うとの期待が大きい。また、世界的に見て日本は固体照明の技術開発で先導してきた経緯もあり、今後の取り組みに対する日本が果たす役割も重要となっている。一方、学会では、アメリカ、欧州で中心に標準化が進められており、アジアがこれに追随しているという構図であり、また産業界においては、LED 照明はまだコストが高く、労働集約型システムの中国・アジア諸国において生産拠点が集中化している状況にあり、必ずしも日本が期待通りリーダーシップを発揮している状況ではない。しかしながら、電気料金が比較的高い日本において、LED 照明はイニシャルコストを電気代、交換費用などの削減によるランニングコストで賄える可能性があり、2010 年の省エネ法の改正以来、導入事例が増加してきている。産業界がまとまって省エネ、CO2 排出量削減を進め、ソーラーなどの創エネ技術との相乗効果を図ることにより、国際社会における牽引力が増すものと考えられる。				

(参考資料)

- [1] LED 照明の適正使用ガイド (社団法人 日本電球工業会)
- [2] JISC8155 : 2010 一般照明用 LED モジュール性能要求事項
- [3] JEL801 : 2010 L 形ピン口金 GX16 t -5 付直管形 LED ランプシステム
- [4] UL8750 : Light Emitting Diode(LED) Equipment for Use in Lighting Products
- [5] http://www.energystar.gov/ia/partners/manuf_res/downloads/IntegralLampsFINAL.pdf
- [6] <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/reports.html>
- [7] <http://www.zhagastandard.org/>
- [8] http://philips.page-view.jp/LI_FortimoLED_2010/pageview/pageview.html#page_num=5
- [9] 電球形 LED ランプ購入調査報告書 (社団法人 日本電球工業会)
- [10] 34A/1420/NP : Organic light emitting diode (OLED) panels for general lightings < 50 V - Safety requirements
- [11] 34A/1421/NP : Organic light emitting diode (OLED) panels for general lightings < 50 V - Performance requirements

(註 1) フェーズ [研究水準 : 大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準 : 企業における研究開発のレベル、産業技術力 : 企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎ : 非常に進んでいる、○ : 進んでいる、△ : 遅れている、× : 非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑ : 上昇傾向、→ : 現状維持、↓ : 下降傾向]

(5) 光学材料・コンポーネント・光学設計

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	東大、阪大、東工大など大学の研究レベルは依然高水準にある。しかし、光学全般を牽引する教育研究機関が少なく、講座数も減少傾向にある。大学教育と企業ニーズのミスマッチが大きい分野であることが指摘されて久しい〔1〕が、高い産業技術力を維持するための継続的な取り組みが望まれる。日本の光学センターとしては、宇都宮大学〔2〕が健闘している。
	技術開発水準	◎	↘	材料、コンポーネント、光学設計の各分野において、世界最高水準である。しかし、コンピューショナル・フォトグラフィなどの先端分野や、共同研究体制の整備では、米国や欧州の後塵を拝するケースが散見される。また、各学会での企業の発表数が減少し、存在感が薄くなりつつある。
	産業技術力	◎	→	材料、コンポーネント、光学設計の各分野において、世界最高水準である。HOYA や住田光学ガラスのモールド用硝材〔3〕、日本ゼオンのプラスチック材料〔4〕、精密機械加工技術による非球面、自由曲面、回折素子〔5〕などは日本の誇る技術と言える。また、ナノ構造を用いた反射防止膜の開発でも日本が先行する。〔6〕しかし、最先端で欧米の後追いとなる分野がある一方、日本からの技術流出をレバレッジとした中韓の追い上げが急である。
米国	研究水準	◎	→	この分野をリードする OSA (Optical Society of America)、SPIE (The International Society for Optical Engineering) の二大会と、ロチェスター大、アリゾナ大の二大光学センターを擁し、研究レベルも最高水準である。また、撮像技術にパラダイムシフトをもたらす先端的研究であるコンピューショナル・フォトグラフィを、スタンフォード大など〔7〕が、オープンイノベーションを駆使して行っている。政府系研究機関では、NIST (National Institute of Standards and Technology) が単なる計測に留まらず、リソグラフィの光学材料研究で高い成果を挙げている。〔8〕
	技術開発水準	◎	→	研究機関は、広い分野で世界中から人材を集め、成果を出す体制を確立している。特に、アジアの活力の取り込みが巧みである。軍事・宇宙関連の光学材料、薄膜関係技術に特徴があり、大学からスピンオフするベンチャーも多い。光学と画像処理の融合技術であるコンピューショナル・フォトグラフィでは、マイクロソフトやアドビが、活発に論文発表および特許出願を行い、この分野でのリーディングプレーヤーとなっている。〔9〕
	産業技術力	○	↗	既存のコンシューマー・オフィス用光学産業は、日本に対し劣勢であるが、オムニビジョンやテセラが、リソグラフィ加工技術を駆使したウェアレブルカメラ〔10〕で、日本とは異なるアプローチを試みる。先端分野では、光学設計の ORA (Optical Research Associates)、非球面のティンズリー等が技術力を活かした強みを発揮している。また、素材分野ではコーニングが存在感を維持している。
欧州	研究水準	○	→	この分野の学会は、EOS (European Optical Society) として組織され、ドイツ、フランス、イギリスがそれぞれの伝統を持つ。中でもドイツのブラウンホーファー研が多岐に亘る高水準の研究開発を行い、論文発表も多数に上る。微小光学の分野では、ブリュッセル自由大学やカールスルーエ大学が健闘している。また、薄膜ではロシアの研究レベルも高い。
	技術開発水準	◎	→	欧州経済の一体化が進展し、ヨーロッパ連合としての共同研究体制が確立しつつある。中でもベルギーの IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre) はその典型であり、半導体露光装置でのオランダの ASML の成功の礎となったことは見逃せない。〔11〕最先端では、フランスの SAGEM (Société d'Applications Générales de l'Électricité et de la Mécanique) のように宇宙・軍事に関わる分野が活発である。
	産業技術力	◎	→	光学機器のツァイスや光学材料のショットを擁するカール・ツァイス財団、石英のヘラウス、薄膜のメルクなどドイツ系の企業が強い競争力を有している。中でもツァイスは、光学設計の分野で活発な研究開発を行っている。コンポーネントでは、仏バリオプティックが液体を用いた可変焦点レンズ開発で先行する。その他、ガラス材料の仏サンゴバンなど特徴のある企業も多くある。
	研究水準	○	↗	国際学会を運営する力を付けつつあり、近年中国国内での開催が相次いでいる。それに伴い、論文数も急激に増加している。微小光学分野における国立交通大学、光学設計分野における国立中央大学、北京理工大学、工業技術研究院 (ITRI) などが、研究を活性化させている。今後は、クリティカルマスを突破して、質的な高度化が進むと予想される。

	技術開発水準	△	↑	企業からの研究発表はまだ少ないが、国策で光学技術の振興が図られ、工業技術研究院から企業の研究機関への技術移転が図られている。
	産業技術力	○	↑	日本からの技術導入が盛んに行われ、光コンポーネント産業の競争力の底上げが着実に進んでいる。ZQCOT の薄膜や成都光明のガラス材料、大立光電や揚明光学の一部のレンズは、日本を脅かす存在になりつつある。また、高屈折率低分散硝材に不可欠のランタン、研磨剤のセリウムなどの希土類金属や結晶光学材料の主要産出国であり、そのメリットを活かした戦略が、光産業に与えるインパクトは大きい。
韓国	研究水準	○	↑	光州フットニククラスターなど、国策として光学技術の振興が図られ、ヨンセイ大学が微小光学の分野で活発な研究を行っている。中国勢の台頭で存在感が薄れている感も否めないが、米国の大学や研究機関等に学ぶとする意欲は、中国やインドと並び旺盛〔12〕で、遠からず研究水準の向上に結び付くと予想される。
	技術開発水準	○	↑	サムスンや LG の光学機器特許取得件数増加に見られるように、日本の後追いから脱却し独自の研究が開始されている。〔13〕光コンポーネントに関する研究開発は盛んだが、材料研究にまで裾野が広がっていない。
	産業技術力	◎	↑	光コンポーネントおよび光学機器関連の技術は着実に競争力を増している。サムスンテックウィンなどが一部のレンズで市場参入を積極的に図っている。また、光学式プリンタやデジタルカメラでのサムスンの躍進には目覚ましいものがある。
全体コメント： 光学材料・コンポーネントは、機械加工技術による非球面、自由曲面レンズから、ナノテクを駆使した微細光学素子、ナノ材料へと進展している。日本の研究開発・産業技術力は、既存の産業分野の材料、コンポーネント、光学設計において圧倒的に強く、日本はその進展を牽引するリーディングプレーヤーであることは論を待たない。 一方で、今後重要性が増すことが確実な、光学と画像処理の融合技術であるコンピューショナル・フォトグラフィにおいては、その限りでなく、米国が研究開発の中心である。また、欧州で進展する共同研究体制の確立においても遅れを取った感がある。コンピューショナル・フォトグラフィと共同研究体制のどちらも、キーはオープンイノベーションである。日本は、この分野での競争力を維持するために、自らの強みと他者の強みを組み合わせた戦略を採る必要がある。それには、昨今の内向き志向から脱却し、グローバルなイノベーション・ネットワークに飛び込んで、それらを活用することが重要である。				

(参考情報)

- [1] <http://www.meti.go.jp/press/20050621003/4-kekka-set.pdf>
- [2] <http://www.opt.utsunomiya-u.ac.jp/center/intro.html>
- [3] 沢渡，モールドレンズ用光学ガラス，OPTICS DESIGN, 2004, No.37, pp. 15
- [4] <http://www.zeon.co.jp/randd/pdf/16.pdf>
- [5] T. Nakai et al., “Research on multi-layer diffractive optical elements and their application to camera lenses”, DOMO2002, OSA Technical Digest, 2002, pp. 5
- [6] T. Murata, “New Antireflective Coatings with Porous Nanoparticle Layers”, ODF ’ 10 Technical Digest, 2010, pp. 455
- [7] R. Ng et al., “Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera”, Stanford Tech Report CTSR 2005-02, 2005
- [8] J. H. Burnett et al., “Intrinsic birefringence in calcium fluoride and barium fluoride”, Phys. Rev. B64, 2001, 241102
- [9] T. Georgiev et al., “Superresolution with Plenoptic Camera 2.0”, Adobe Tech Report, 2009
- [10] <http://www.tessera.com/technologies/imagingandoptics/wlc/wlo/Pages/waferleveloptics.aspx>
- [11] ベルギーの IMEC はなぜ強い，<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20101119/187499/>
- [12] 本川，図録▽米国におけるアジア留学生の推移，<http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/6150.html>
- [13] 特許庁：「平成 20 年度 研究開発動向調査 デジタルカメラ装置」，2009，http://www.jpo.go.jp/shiryou/pdf/gidou-houkoku/digital_camera.pdf

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(6) 光計測

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	大学、研究所レベルの基礎的な研究に基づく計測方法の発表が主流である。理論的、原理的な提案が中心で水準は高いが実用化に結びつける意識が高い研究は少数である [1, 2]。研究のスポンサーが企業ではなく、大学などの経常経費、科学研究費などが中心となっている。企業としても実用化に直結した研究開発に積極的に投資する意識は低い。
	技術開発水準	◎	→	商業ベースに直結した技術開発が主流である。通信など新しい企画が策定されるとそのインフラの設置に必要な計測機器の開発に重点が置かれる。潜在的な技術開発水準は高いがニーズを開拓するような新しい計測機器の開発には消極的である。各社の研究所は独自技術の開発に力をいれており、知財などの共有意識は低い。
	産業技術力	◎	↗	パワーメータ、ウェーブメータ、スペクトルアナライザなど通信インフラに対応した民生用計測機器が主流である。景気の回復、世界的なインターネット需要に伴い、高機能、高信頼性の機器生産が中心となってきた。簡易タイプの計測機器は海外製品の安価なものに押されている。
米国	研究水準	◎	→	応用を見据えた基礎研究に対する支援が盛んで高い水準を維持している [3]。企業や国家戦略に支えられた新規計測方法の開発の底力がある。学会レベルでも新規計測方法の提案が多い。企業や軍が大学などに研究を委託して実用化レベルまで共同研究を行っている。特定の領域の研究水準は高いが、広範な研究を底上げするという意識は希薄と思われる。
	技術開発水準	◎	↗	安定したデバイス供給や特定の需要に対する技術開発は高い水準を維持している。企業の戦略や軍の明確な応用目標に応じた開発が行われている。
	産業技術力	◎	→	極限的な計測技術は、軍や政府の支援の流れで高い水準の機器を供給している。世界的な市場を見据えた特定目的用途の機器が強い。
欧州	研究水準	○	→	潜在的なポテンシャルが高い。それぞれの大学、研究所で独自の伝統をもつ研究水準を維持している。
	技術開発水準	△	→	企業は新しい計測方法の開発には消極的。計測標準に関連した技術の水準は高い。標準関係の機器開発が中心で、産業応用についての対応は遅く、人材や企業統合など海外への技術流出がある。
	産業技術力	○	→	計測標準に基づく計測機器については安定した技術力を維持している。
中国	研究水準	○	↗	潜在的に人的ポテンシャルが高い。高い研究水準を持つ大学 [4] があり、世界的に高い評価を得ている。人的な流出がある。知財に対する意識が低い。
	技術開発水準	△	→	独自開発には至っていない。簡易的な計測機器については技術開発をおこない、世界的なシェアを目指している。政策的な問題がある。
	産業技術力	×	→	未成熟である。通信関係の特定の機器については政策的に力を入れていて、シェアを伸ばしている。
韓国	研究水準	△	→	一般的な研究水準は低い。半導体関係の特定の機器については政府のプロジェクトとして大学や研究所にファンドが出ている。
	技術開発水準	△	→	半導体関係など特定の機器分野については技術水準が維持されている [5]。一部のベンチャー企業の技術力が高い。
	産業技術力	△	→	目的を限った機器の産業を保護している一方、後追的に安価な民生用機器の生産を行っている。

全体コメント：

光計測はそれ自体が同一の技術体系や産業分野としてまとまっているのではなく、計測対象があつてはじめて成り立つものである。そのため、産業動向などに依存する部分が多い。研究の位置づけと方向性において、日欧と米国ではそのベクトルが異なっているように思われる。日本および欧州では、研究者は製品動向やニーズなどに基づいて研究方針を決めるというより、アイデアが先行しシーズ的に研究を行う傾向がある。このことは、研究の水準を高めるという大きな利点がある反面、出口がなかなか見えないままにすたれていく分野が多々生じるという欠点がある。研究の中核は受け継がれていくので高い水準の研究が応用に結びつくこともあるが、学会で先導して特定の分野を高めていくというスタンスはあまり感じられない。一方、米国では、実用的なニーズに基づくものが要求され、それに答える研究がより高い価値をもつとされる傾向がある。基礎的なものより、技術開発や産業応用と一体になった研究がその動向を牽引している。学会でもニーズに従い、積極的にセッションが再編され、分野を盛り上げていく傾向が強い。ファンドの関係で研究動向は産業動向と深く結びついている。中国や韓国はこれまで計測機器を自国で開発することはあまりなく、独創的な計測研究は少ないが、米国から帰国した留学生を中心に今後米国的な研究環境を整えていくと思われる。

(参考情報)

- [1] 2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 2010 年 9 月 14 日 -17 日, 長崎大学
- [2] Optics and Photonics Japan 2010 (OPJ2010), 2010 年 11 月 8 日 -10 日, 中央大学駿河台記念学会
- [3] Topical meeting on “Applied Industrial Optics: Spectroscopy, Imaging and Metrology (AIO)”, June 7-8, 2010, The Westin La Paloma, Tucson, AZ, USA
- [4] <http://www.tsinghua.edu.cn/eng/index.jsp>
- [5] <http://www.kaist.edu/edu.html>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(7) 量子情報

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	フォトンクス・量子暗号は◎。量子テレポーテーション、エンタングルメントの基礎理論等も◎。しかし量子コンピューティングは欧米が若干進んでおり○。今後重要な新しい物性・デバイス研究は去年の△から○に向かっている。
	技術開発水準	◎	→	量子暗号は NICT がとりまとめた東京 QKD ネットワークの活動が注目に値する。フォトンカウンター開発が超伝導ディテクターを中心に急激に躍進している。
	産業技術力	○	↑	実用量子暗号開発の動きが NEC や三菱等の企業に見られ、デバイスからシステムまで技術力はある。
米国	研究水準	◎	↑	理論・実験がバランス良く、世界を牽引している（フォトンクス関連の量子情報、ダイヤモンド NV センター、イオントラップ実験、超伝導光子検出器開発等）。量子情報から量子生体情報研究への展開が見られる。
	技術開発水準	◎	→	ボーイング社等超伝導光子検出器開発の先駆者。しかし日本の NICT、産総研（とその協力グループ）が猛追。
	産業技術力	△	→	MagiQ 社は量子暗号製品から足を洗った。量子情報特有ではないが使用するレーザ光源・多層膜コーティング・フォトンカウンターの製品が強い。
欧州	研究水準	◎	↑	欧州共同体でのプロジェクトがうまくいっている（特に衛星間・地上衛星間量子暗号：日本では NICT が参加）。プロジェクトを渡り歩くドクターやポストドクが優秀。ダイヤモンド NV センター、イオントラップに強い。東欧も理論計算だけでなく実験視野。量子情報から量子生体情報研究への展開が見られる。
	技術開発水準	◎	→	デバイス開発よりは既存デバイスの組み合わせセリに優れる。欧州共同体での協力関係あり。
	産業技術力	○	→	idQuantic 社（スイス）から、量子暗号装置の製品が出ている。実用性が高い。スイスの銀行が興味を持っている。選挙等での量子暗号試用の動き。
中国	研究水準	○	↑	米国や欧州からの帰還者が活躍中。非常に高速度にレベルが上昇しており◎へ向かいつつある。北京で QKD ネットワークの試みが行われた模様だが 2010 年の東京 QKD の方がレベルが高い。国際会議の招致に熱心。
	技術開発水準	△	↑	産業化を目指した基礎研究はなされていない。しかし非線形光学結晶などの開発に強い。△から○に向かっている
	産業技術力	×	→	産業はない。
韓国	研究水準	△	↑	理論的研究はあるが、実験研究がない。国際会議の招致に熱心。
	技術開発水準	×	↑	進んでいない
	産業技術力	×	→	実用化開発は行われていない
オーストラリア	研究水準	○	↑	従来から理論に強い。最近、光子を用いた実験、核スピン実験も強くなる傾向にある。
	技術開発水準	△	→	進んでいない
	産業技術力	×	→	実用化に向けた開発は行われていない
シンガポール	研究水準	○	↑	前回書いた NUS(シンガポール国立大学)を拠点とする大プロジェクト(エカート教授の指導)がうまく機能し、量子情報研究では既に世界的拠点と言える。ただしこの 1 箇所のみ。
	技術開発水準	×	→	量子情報に利用できる技術開発は行われていない
	産業技術力	×	→	実用化に向けた開発は行われていない

全体コメント：

量子情報処理には短期開発が見込まれる量子暗号および長期研究の必要な量子コンピュータがある。どちらにしても、(1) 現テクノロジーの範囲で最高性能を目指す研究開発と (2) 将来を見据えたリスク大だが新しい理論・物性・デバイスに立ち戻った研究がある。(1) に関して日本は欧米とともに世界の先端を行っているが、アジア-特に中国の光子情報処理-の猛追に晒されている。

(1) に関して特筆すべきは、NTT、三菱、NEC、欧州グループ等を NICT がとりまとめた東京 QKD(量子鍵配送 = 量子暗号) ネットワークの活動で、既設ファイバ網で動画の暗号送受信に成功している。

また (2) に関しては超伝導光子検出器のほか、雑音下での量子情報の保護や量子弱測定など、量子情報処理の要となる基礎研究において日本の進境は著しい。また理論でも、どのような計算に量子コンピュータは向いているか等の基礎研究が進んでいる。しかし中国の国家的支援や帰国人材を中心とした急速な立ち上がりを考えると、日本は (1) も (2) も全く手を抜かず力を入れる必要がある。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

* 我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(8) フォトニック結晶／メタマテリアル

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎ / △	→ / →	フォトニック結晶の研究については、数年前から日本が諸外国を圧倒している。構造や基礎特性の探究に加え、レーザ、導波路、共振器、フィルタ、光スイッチ、光検出器といった個別デバイス、量子光学などの先端物理への応用に関して創意ある研究がなされている。シリコンフォトリソ技術を取り込んだ大規模集積でも世界を先導している。メタマテリアルについてはテラヘルツや電波応用で独自の研究はあるものの、世界を先導する研究にはなっておらず、認知度も低い。招待発表がほとんどない。
	技術開発水準	○ / △	→ / →	NTT 基礎研のような準国研的な企業研究機関を除くと、企業でのフォトニック結晶の技術開発は大型レーザ、LED、パッシブ部品に限定される。大型レーザは日本独自、LED は欧州との競合、パッシブ部品は日本独自であり、それぞれ堅実な進歩がある。メタマテリアルの企業の研究はやはり電波領域が主流で、光領域はほとんどない。電波領域についても欧米に追従する傾向で、日本独自のものは少ない。メタマテリアルの関連技術であるプラズモニクスだと、光検出器で日本が優位な技術がある。
	産業技術力	○ / ×	↑ / →	フォトニック結晶で生産現場にあるのはパッシブ部品、具体的には波長フィルタと偏光フィルタ、偏光制御板である。一部に実用化され、今後、民生品への導入などでさらに普及する可能性があり、その特長を生かしたカメラや計測器への応用も考えられている。大型レーザは実用に近い性能と生産レベルの技術があり、有用なアプリの登場が待たれる。LED も生産レベルの技術があるが、欧米との競合にどう勝ち抜くかが焦点。メタマテリアルでは、日本から生産レベルの話題は聞こえてこない。
米国	研究水準	△ / ◎	↓ / ↑	フォトニック結晶は5年ほど前から徐々に減り始め、現在は微小レーザ開発、量子光学研究、バイオセンサや太陽光発電への応用など、一部を除けばマイナーな研究という印象である。多くの研究者がシリコンフォトリソかメタマテリアルに移行してしまったためである。メタマテリアルは依然として盛んで、フィッシュネットなど構造や製造技術、スーパーレンズ効果による超高解像露光、クロウキングと呼ばれる光学迷彩、電波における非対称透過など、様々なアイデアと実験の実証が相次いで登場している。
	技術開発水準	△ / ◎	↓ / →	フォトニック結晶は研究の減退に呼応して、企業活動も減少している。これまでも LED とファイバの開発が主なターゲットだったが、LED で中心となっていた Lumileds がフィリップスの傘下となり、ファイバも欧州が優勢の状況である。日本のように大型レーザやパッシブ部品の動きも見られない。メタマテリアルもまだ産業応用には距離があるが、露光技術には多額の研究費が投入され、また DARPA プロジェクトで多くの機関が参画しており、開発水準は高いと考えられる。
	産業技術力	△ / ×	↓ / →	LED がアメリカの手から離れたことで、フォトニック結晶の生産を行いそうな企業はファイバに限定される。ファイバの中でもホーリー型やバンドギャップ型といった主流のタイプは欧州が主役であり、米国は最もマイナーなオムニ型のみである。このタイプはハイパワー伝送などで実用化されている。メタマテリアルは実用レベルの製品化にまだ時間が必要ようだが、光応用よりは電波応用の方が可能性があり、ビーム形成、アンテナ、タグ、シールドなどが期待される。
欧州	研究水準	△ / ○	↓ / →	フォトニック結晶については米国と同様に減少している。スローライトで活発な研究が続いている以外は目立った研究がなくなり、こちらもシリコンフォトリソやメタマテリアルに移行が進んでいる印象である。ファイバも開発や生産に移行し、基礎研究は峠を越えた印象である。メタマテリアルについては、ロンドン大のペンドリーがオピニオンリーダーを続けており、米国ほど多くの機関ではないものの、米国との共同研究も含めてよい成果を出しており、日本より活発である。
	技術開発水準	○ / ○	↑ / →	オランダのフィリップスが米国の Lumileds を傘下に置いたことにより、フォトニック結晶 LED の強みが高まった。現在の白色や青色 LED で日本が持つ基本特許が切れた後はフォトニック結晶などの光取り出し効率が強みを出し始めると考えられ、今後、欧州が優勢になりそうである。もともと強かったファイバも特許で優位な欧州関連企業の強みが高まりそうである。メタマテリアルについては米国ほどの活発さは見られないが、多くの研究が進行中と考えられる。
	産業技術力	○ / ×	↑ / →	フォトニック結晶の LED とファイバは欧州が覇権を取りそうである。LED は特に照明への応用がフォーカスされており、素子自体がフォーカスされていないが、徐々に強みが発揮されると予想する。ファイバは非線形応用など限定的だが、超短パルスや高強度レーザに採用されることが増えており、こういった分野を含めた欧州の強さが高まりそうである。メタマテリアルは米国と同様にまだ実用レベルにはなく、米国ほどの活発さも今のところ見られない。

中国	研究水準	○ ／ △	↗ ／ ↗	フォトニック結晶もメタマテリアルも、研究人口が非常に増えており、基本的な設計、作製、評価技術は日米欧のレベルに迫ってきている。しかし全てが日米欧を真似た研究であり、日米欧に追いつくことが国の命題になっているように感じられ、他国を差別化する独創的なプラスαのアイデアが皆無である。このことが、こと基礎研究に限っては、当面、脅威にはならないと安心させられる。ただ、いざアイデアがプラスされ出したら、人口の強みで一気に脅威になる可能性はある。
	技術開発水準	○ ／ △	↗ ／ ↗	生産を前にして企業の技術開発があまり表舞台に登場しないので、技術レベルをはかるのは難しいが、ここでもフォトニック結晶 LED がポイントになると思われる。日米欧に迫る LED の基礎技術があり、数年のうちに生産能力が上回りそうなので、フォトニック結晶 LED でも表舞台に出てくる可能性があると思える。その他のデバイスやメタマテリアルで産業化の気配は少ないので、メーカの取り組みも多くはないと思われるが、以前よりは進んでいると思われる。
	産業技術力	△ ／ ×	↗ ／ →	上の繰り返しになるが、フォトニック結晶 LED については、生産技術に結びつく下地になる技術は既にあると考えられ、今後、LED の特許切れなど境界条件が変化して中国の生産力が高まれば、一気に技術力が高まると予想する。その他の領域ではまだ生産に結びつく話題はない。研究と同様に、基本的には各国追随からスタートして、物量や低コストで産業力を一気に高めるというストーリーなので、今のところ、各国を静観している状況であろう。
韓国	研究水準	○ ／ △	↘ ／ →	韓国工科大学（KAIST）は一時、フォトニック結晶の基礎研究で世界をリードする立場にあったし、ソウル大学もそれなりに成果を出していたが、いずれもその後の目立った進展がなく、現在は量子光学やバイオ応用で日米に追随する程度に研究が減ってしまった。LED も行われていたが、中国と比べても地味な存在である。こちらもシリコンフォトニクスへの移行が始まっている。メタマテリアルもマイナーな研究がある程度で、むしろ関連するプラズモニクスの発光素子により研究があるが、脅威になるほどではない。
	技術開発水準	○ ／ △	↘ ／ →	KAIST は企業指導も活発であったため、フォトニック結晶レーザ、LED といった発光素子では、日本ほどではないにしても、企業もかなりの技術水準にあると考えられる。ただしそれを本格的に産業に結びつけようという機運は中国ほど感じられず、最近はやや収束気味である。メタマテリアルやプラズモニクスはまだ企業レベルに至っているようには見えない。バイオセンサ応用についてわずかに漏れ聞く程度である。
	産業技術力	△ ／ ×	↘ ／ →	技術開発の減退に伴い、産業化の話もほとんど聞こえてこなくなった。KAIST など活発だった研究機関が基礎物理に傾倒しており、産業化が遠のいたことを示唆している。しばらくの間は脅威にならない。
全体コメント： 日本のフォトニック結晶の研究は依然として活発だが、増加傾向にはなく、ほとんど横ばいである。それに比べて中国を除けば全て後退しており、関連分野であるシリコンフォトニクスやメタマテリアルへの研究者の移行が進んでいる。日本のフォトニック結晶は優位だが、大きな産業分野として期待される LED やファイバは欧州や中国が脅威である。パッシブ部品やレーザで独自の産業化が進むと期待したいが、世界の中での孤立感が深まっている点が気になる。シリコンフォトニクスが世界的に急速に盛り上がっており、その技術を転用すればフォトニック結晶に当初から期待された大規模光集積という目標も一気に近づく可能性がある。今のところこの点でも日本は優位なので、日本から世界に発信し普及させる技術になることを望みたい。メタマテリアルはフォトニック結晶コミュニティから派生した分野であるが、世界の研究人口は既に肩を並べ、電波分野を含めれば追い抜いた印象さえある。基礎研究では興味深い応用のアイデアが数多く、実証も進んでいるが、実用の可能性がある直近の応用は不透明である。光分野では超高解像光露光、電波分野ではアンテナや伝送線路に可能性がありそうである。またメタマテリアルに関連するプラズモニクスも並行して発展しており、両者を切り離して議論するのは難しくなっている点も注意する必要がある。				

(参考情報)

- [1] 最近の Nature Photonics 誌を見るとわかるように、フォトニック結晶関連の多くの発表が日本から行われている。例えば Tanabe et al., vol. 1, pp. 49-52, 2007; Noda et al., vol. 1, pp. 449-458, 2007; Baba, vol. 2, pp. 465-473, 2008 (2 年強で 150 回引用); Notomi et al., vol. 2, pp. 741-747, 2008; Kurosaka et al., vol. 4, pp. 447-450, 2010; Nozaki et al., vol. 4, pp. 477-483, 2010; Matsuo et al., vol. 4, pp. 648-654, 2010; Tandraechanurat et al., 2010 (on line).
- [2] 国際会議 PECS IX (Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, <http://www.pecs-ix.org/>) では欧米からメタマテリアルに関する多くの報告があったことからわかるように、欧米のフォトニック結晶研究者がメタマテリアルの主役である。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [○：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(9) シミュレーション解析

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	光ファイバ、光 IC、光半導体デバイスなど、フォトリソ分野のシミュレーション解析に関してインパクトのある論文が多数発表されており、研究水準は高い。特に、微細構造光ファイバ、フォトリソ結晶導波路、高屈折率差導波路など、ナノフォトリソと呼ばれる先端分野において、欧米と共に世界を先導している。
	技術開発水準	◎	↑	光パッシブデバイス解析技術、光アクティブデバイス解析技術のいずれにおいても、技術開発水準は高い。企業におけるシミュレーション解析技術の開発は、大学・国立研究機関と共同で行われることが多く、有限要素法、ビーム伝搬法、時間領域差分法など、フォトリソ分野に必須の解析ツールの技術開発水準は世界のトップレベルにある。
	産業技術力	○	→	シミュレーション解析の研究水準、技術開発水準の高さが、日本のフォトリソ分野におけるハード面の産業技術力の向上につながっている。ただし、半導体 CAD と同様に、競争力のある日本製の光 CAD は少ない。生産現場では、大学・国立研究機関との共同研究、あるいは外国製の光 CAD で対応していることが多い。
米国	研究水準	◎	↑	光ファイバ、光 IC、光半導体デバイスのみならず、フォトリソ結晶（スローライト効果、ストップライト効果）、メタマテリアル、超高速フォトリソといった新規分野においても、インパクトのあるシミュレーション解析論文が多数発表されており、研究水準は極めて高く、研究者の層も厚い。
	技術開発水準	◎	↑	解析ツールそのものの開発に携わる技術者、研究者の層が厚く、ベンチャー企業を立ち上げる技術者、研究者も多い。光パッシブデバイス解析技術、光アクティブデバイス解析技術のいずれにおいても、ナノフォトリソ分野を含めて、技術開発水準は世界のトップレベルにある。
	産業技術力	◎	↑	商用の光 CAD の多くは米国製、カナダ製で、高い競争力を維持しており、最近では、ナノフォトリソ分野の光 CAD も数多く出回るようになっている。ハード面のみならず、ソフト面での産業技術力も高く、光 CAD のメーカの多くは世界各国にオフィスを構え、ユーザの利便性向上に努めている。
欧州	研究水準	◎	↑	日本、米国と同様に、光パッシブデバイス、光アクティブデバイスのいずれのシミュレーション解析においても、西欧諸国を中心にインパクトのある論文が多数発表されており、研究水準は総じて高い。特に、ナノフォトリソ分野を中心に、構造最適化に関する研究が進展している。
	技術開発水準	◎	↑	米国と同様に、解析ツールそのものの開発に携わる技術者、研究者の層が厚い。大学の研究者自身がベンチャー企業を立ち上げることもあり、光パッシブデバイス解析技術、光アクティブデバイス解析技術のいずれにおいても、ナノフォトリソ分野を含めて、技術開発水準は総じて高い。
	産業技術力	○	↑	これまで、ほとんどのフォトリソ関連企業は内製のシミュレータで対応してきたが、最近、商用レベルの光 CAD が登場し始め、ハード面のみならず、ソフト面における産業技術力も向上しつつある。ただし、市場規模では、米国製、カナダ製の光 CAD に比べて、いま一歩という感がある。
中国	研究水準	○	↑	光ファイバ、光 IC、光半導体デバイス、特に、ナノフォトリソ分野のシミュレーション解析に関する論文が増加傾向にあり、研究水準は向上しつつある。
	技術開発水準	△	↑	解析ツールに関する技術開発水準は、まだ十分とは言えないが、企業というよりも、台湾、香港の大学を中心に、解析ツールの高度化技術開発が進みつつある。
	産業技術力	×	→	シミュレーション解析の研究水準、技術開発水準は向上しつつあるが、解析ツールを光 CAD としてシステム化するまでには至っていない。
韓国	研究水準	○	↑	中国と同様に、フォトリソ分野全般にわたってシミュレーション解析に関する論文が増え始めており、研究水準は向上しつつある。
	技術開発水準	△	↑	中国と同様に、解析ツールの技術開発水準は、まだ十分とは言えないが、米国で解析ツールの基礎技術を習得した研究者を中心に、その高度化技術開発が進みつつある。
	産業技術力	×	→	中国と同様に、シミュレーション解析の研究水準、技術開発水準は向上しつつあるが、解析ツールを光 CAD としてシステム化するまでには至っていない。

全体コメント：

最近では、ナノフォトリソ分野のシミュレーション解析が長足の進歩を遂げているが、特に、構造最適化技術に関する研究開発が注目を集めている。最適化問題へのアプローチには、遺伝的アルゴリズム、トポロジー最適化法、焼きなまし法などの確率論的方法、波面整合法や最急降下法などの決定論的方法、さらにはニューラルネットワーク法など、様々な方法があるが、いずれの方法も、最適化プロセスの中で有限要素法、ビーム伝搬法、時間領域差分法といった数値解析法を繰り返し用いることになるので、大規模高速計算技術、高精度計算技術の確立が重要な課題になっている。

フォトリソ分野におけるシミュレーション解析の世界的な動向は、IEEE Journal of Quantum Electronics、IEEE Photonics Technology Letters、IEEE/OSA (The Optical Society of America) Journal of Lightwave Technology、Journal of Optical Society of America A & B、Applied Optics、Optics Express、Optics Letters など、この分野を代表するインパクトファクタの高い国際学術誌によって把握できる。また、OSA が Topical Meetings の一つとして主催している国際会議 IPR (Integrated Photonics Research, Silicon and Nano Photonics) [1]、IEEE-PS (Photonics Society) が技術共催している国際会議 NUSOD (Numerical Simulation of Optoelectronic Devices) [2] によっても、最新の研究開発動向を知ることができる。

(参考情報)

[1] <http://www.osa.org/meetings/topicalmeetings/IPR/default.aspx>[2] <http://www.nusod.org>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

2.2.3 注目すべき萌芽的技術動向

(1) 光通信

一本のシングルモードファイバで伝送可能な容量は、周波数利用効率と信号伝送帯域の積で決まる。実用的な光通信要信号帯域（約 8-10THz）において、周波数利用効率を極限まで上げるためにデジタル信号処理を高度化して偏波多重技術と多値 QAM 符号を組み合わせることにより、原理的に 10bit/s/Hz 程度までの向上することによる大容量光通信の可能性がいくつかの実験で示されている。しかしながらシングルモードファイバでの伝送容量は、シャノンリミット等の物理的な限界が見えてきており、課題を克服して光ネットワークの大容量化を実現するための研究開発が始まっている。

一つは、伝送容量をできるだけ節約して使うためのネットワーク制御技術である。限られた信号帯域を有効に使うために、光ネットワークの光パス容量をダイナミックに変調するために伝送速度やチャンネルに割り当てる光信号帯域を可変する、変調方式と伝送距離のトレードオフまで考慮して変調方式を切り替えて、ユーザ要求に応じて局所的な周波数利用効率を向上する、等の技術を取り入れ、実行的な伝送容量を向上するためのネットワーク制御アーキテクチャの提案である。日本では NTT が SLICE [1] 等を提案し、世界的にもエラスティックというキーワードでフレキシブルな伝送性能を取り入れる試みについて研究が活発化している。

もう一つは、シングルモードファイバの限界を打破するために、光伝送媒体にマルチコアやマルチモードファイバなどの新しい空間多重が可能な構造を導入して、一条あたりの光ファイバ、あるいはケーブルあたりの伝送容量を飛躍的に向上するための研究開発である。国内では、電子情報通信学会通信ソサイエティの時限研究会として EXAT 研究会 [2] が立ちあげられ、議論が活発化している。主な国際会議においても伝送容量限界についてワークショップが開かれるなど検討が活発化しており、今後の技術動向が注目される。

(参考情報)

[1] M. Jinno, H. Takara, B. Kozicki, Y. Tsukishima, Y. Sone, and S. Matsuoka, "Spectrum-Efficient and Scalable Elastic Optical Path Network: Architecture, Benefits, and Enabling Technologies", IEEE Communications Magazine November Vol. 18, pp.66-73, 2009.

[2] <http://www.ieice.org/~exat/>

(2) 光計測

①光コヒーレンストモグラフィー (OCT) の新たな展開

OCT は、生体内における光の直接反射波のみを検出し、画像化する方法であるが、近年、光通信でよく使われる 1.3 ミクロン帯のレーザを波長掃引して照射するとともに、生体組織の屈折率の違いを光学的に補償し、角膜や隅核角にある房水の流出経路（線維柱体）付近の鮮明な画像を検出することに成功した。一方で、OCT 検出部を内視鏡に装着し、光源に光周波数コムを用いることで、消化管粘膜の下の高解像度画像を得る事ができ、ガンの広がりや正確に把握できるため、病理検査（バイオプシー）を、低侵襲で実現する事ができる。

(参考情報)

<http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?URI=oe-18-8-8515>

https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/09/924/kwansei3.pdf

<http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/2008/2008-08/page08.html> など

②光量子もつれを利用した高感度光位相計測技術

量子もつれ状態の光子を用いると、古典理論の限界を超える精度の位相測定が可能

である。実際に、光子が4個互いにもつれ合った状態を高精度で作製し、光位相測定を実現したという報告もあり、染色体など、直接観測の難しかった生体組織を、そのままその場で観察する新しい計測技術となる可能性がある。

(参考情報)

http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/qip/research/research_01.html

<http://www.sciencemag.org/content/316/5825/726.abstract>

(3) 量子情報

①電子スピンと原子核スピンの間の量子エンタングルメント

量子計算に用いられる量子ビットは、超電導素子、光子、量子ドット、スピントロニクス、分子や固体中の核スピンおよび電子スピンと、様々なものがあるが、半導体中の電子スピンと原子核スピン間で、量子もつれを生成・検出したという報告が、化合物半導体（インジウムアンチモン）と不純物添加半導体（リンを添加したシリコン）で相次いでなされた。後者では試料中に存在する 10^{10} 個という大量のリン不純物の個々において一気にエンタングルメントを生成できる。両者とも今後は量子ビットひとつひとつの制御が課題であり、研究の発展が大いに期待される。

(参考情報)

<http://www.jst.go.jp/pr/info/info778/index.html>

<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20110120/>

②量子暗号ネットワーク

量子暗号は、ビットエラーを測定するだけで量子力学の原理から暗号鍵の漏れ具合を割り出すことができ、その結果を使って「漏れていない暗号鍵」にまで煮詰めて使うセキュリティ通信である。原理的に盗聴できない究極の暗号技術であるが、特定二者間通信を踏み出してネットワーク化することと、伝送速度の高速化や長距離での利用に技術的課題がある。これまでは米国国防総省や欧州連合のプロジェクトが、量子暗号の音声伝送に成功しているのみだった。昨年秋（2010年10月）、独立行政法人情報通信研究機構（NICT）、日本電気株式会社（NEC）、三菱電機株式会社、日本電信電話株式会社（NTT）による量子暗号の動画伝送ネットワーク構築は世界初で、日本の技術力とチームワークを示すものと言える。

(参考情報)

http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/20101014_400012.html

(4) シミュレーション解析

我が国の幹線系の光通信インフラは、過去20年間に1000倍の大容量化を実現してきた。新世代ネットワークが普及する今後20年間には、超高精細動画像や3次元画像を含む超臨場感通信の普及に伴い、ペタ（1000兆）ビットの時代を迎えることになる。これに対応できるペタビット級の光通信インフラを構築するには、伝送容量を、さらに1000倍増強する必要があるが、光増幅器の帯域、光ファイバへの入力光パワーなどの観点から、1本の光ファイバで伝送できる容量は急速に限界に近づきつつある。

一方、コンピュータの処理速度も年々速くなっており、HPC（ハイパフォーマンスコンピュータ、スーパーコンピュータ）の処理速度の伸びは、4年で10倍になっている。例えば、現在のIBMのペタFLOPSマシンは、バックプレーンに約5万本のマルチモード光ファイバが接続されているが、2020年に想定されるエクサ（100京）FLOPSマシンには、数千万から数億本の光ファイバが必要と予測されており、ファ

イバの本数を減らすことが喫緊の課題になっている。

このように、フォトニクス分野における要素技術は、新世代ネットワークのみならず、コンピュータも含めて、システム全体の性能を左右する存在になりつつあり、新たなブレークスルーが求められている。具体的には、光ファイバそのものを見直し、現在のシングルコア・シングルモード光ファイバの限界を打ち破る革新的な光ファイバとして、空間分割多重マルチコア光ファイバやモード分割多重マルチモード光ファイバの研究開発が日本や米国を中心に活発化している。

従来型光ファイバを、こうした新型光ファイバに置き換えていくためには、これと整合する光増幅・接続技術や光パッシブ・アクティブデバイスの新規開発も欠かせない。革新的光ファイバをはじめ、次世代の光 IC や光半導体デバイスの構造が、動作原理を含めて、従来のものとは全く異なることも予想される。こうしたハード面の変化に柔軟に対応でき、高速で高信頼度の特性予測、最適構造探索が可能なシミュレーション技術の開発を遅滞なく進めていくことがフォトニクス分野における競争力の維持、強化に極めて重要である。

(5) 光メモリ

今年度の技術動向を概観する。ホログラフィック光メモリが産業界でほとんど、考慮されなくなった現在（本質的に、超多層記録のために、従来の光ディスクのように大量出版ができないことや、記録・再生の際に高価でサイズの大きい防振装置が必要などが主な理由）では次の3個の異なる技術分野に特徴づけられている。

①超解像光ディスク方式

超解像光ディスク方式はディスク媒体を工夫するだけで、CD サイズ片面で 100GB 以上が可能となる優れた技術である。

これまで、日本企業が真剣に取り組まなかった理由は CN (Carrier to Noise Ratio) が従来 20dB 程度しか取れなかったのであるが、数年前から産総研の島隆之グループが頑張って 45dB 程度の CN 改善に成功したのであるをきっかけに、韓国やフランスや日本の三菱電機京都製作所にて開発に力を入れるようになったようである。

日本の他のメーカでは、ブルーレイディスクの開発が終わった時点で、研究開発グループメンバーを大幅に縮小してしまったという事情があるようである。

3 年間で総計 1 億円弱の研究費を JST から獲得するために、浜松のパルステック社（評価光学系の開発）と産総研（試料作製と材料の基礎特性評価）が中心になり、ソフトの面で石川工業高専（光学計算とシミュレーション）がバックアップすることにより、浜松地域テクノポリス推進機構が事業管理機関となって、この超解像光ディスク方式の改善の研究と 3 層を含む超解像光ディスク方式による多層光ディスクの研究「光を用いた微小構造評価装置の高度化及び多機能化」という戦略的基盤技術高度化支援事業が 3 年計画で平成 22 年 8 月からスタートした。この研究では、超解像光ディスク媒体の研究だけでなく、共焦点光学系の技術開発も行われ、シミュレーションによる CN の限界技術も明確になると思われる。したがって、現在から 2 年後位には、現在よりも確実に記録・再生できる多層超解像技術と共焦点系とによる 500GB 以上の光ディスク技術が誕生するものと思われる。

②超並列光ヘッド

光ディスクのハードディスクに対する最大の弱点であるデータ転送レートの低さを改良する超並列光ヘッドが現れてきた。しかし、これは、2000 年 7 月 4 日に米国特許登録、国内特許も 2005 年 3 月 18 日に登録された特許番号 3656341 (1996 年 11 月 11 日出願：特願平 08-298981) の記録再生用光メモリヘッドが基本的な思想であると思われる。すなわち、多数ヘッドを並列駆動させることによるデータ転送レー

トを向上させるという基本的な考えである。また、2009 年 10 月 16 日登録の特許番号 4389052（特願 2003-076282）近接場光メモリヘッドでは、金属薄膜格子構造が、金属薄膜上に延出される格子状セグメントを具備したヘッド構造で、照射されたレーザによって表面プラズモン・ポラリトンが励振され、微細開口からは、鋭く、且つ強度の大きいエバネッセント波が出力される構造を述べている。

これらは、近接場光ヘッドであるから同時多数の並列駆動が可能であるが、これを通常の光学系に適用させようとする収差の問題が起こり、無理がある。

その詳しい資料は Kenya Goto et.al: Near-field Tera byte Optical Disk Head by Using Surface Plasmon Enhancement、東海大学紀要 開発工学部 第 16 号(2006) pp.69-75 を参照。今回、2010 年の ISOM2010 Best 研究論文（パイオニア/TDK）を受賞した「ロールタイプ光記録による並列ヘッド方式は、この並列記録方式を通常光学系へ多数ヘッドで記録・再生するものであり、光ディスクではなく、ロールタイプ光記録によって適用させたものであるために、可能となった。

③光フロッピーディスク装置

NHK など、大量のアーカイブメモリをできるだけ体積の少ない媒体に記録させたいというニーズは強い。これを具現化しようとしたものが、光フロッピーディスクとそのジュークボックス的な装置である。しかるに光フロッピーディスク装置の原理は、平成 10 年 12 月 18 日登録の特許 2865433（特開平 04-212729、出願 1991-2-26）がすでに出版されているので、技術的に特段新しいものではない。

今回はこれを、実際の装置に組み込んだという点が評価される。原理的な詳しい文献は「レンズレス光フロッピーディスクシステムの研究(2) 空気流体応用ヘッドの研究と相変化記録再生基礎実験」、東海大学紀要開発工学部第 5 号 (Mar.1996) pp.87-91、や Jpn.J.Appl.Phys., vol.32,no.11B(Nov.1993)pp.5459-5460 を参照されたい。これらは光フロッピーディスクの最初の考えを示したもので、ISOM 2009 や ISOM2010 では体積の少ないアーカイブメモリとして再び話題になっている。

(6) 光学材料・コンポーネント・光学設計

光学材料、コンポーネント、光学設計の各分野において、引き続き注目しておくべき、重要な研究開発動向を以下に挙げる。

①光学材料

プラスチックにナノ粒子を分散して、異常分散・低分散特性や熱的安定性を改善するナノコンポジット技術の研究が興味深い。ナノ粒子材料では日米、ナノコンポジットでは日本がそれぞれ先行する。

②コンポーネント

欧州における液体を用いた可変焦点レンズなどの能動光学素子、および日米における液晶、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) などを用いた収差補償光学素子の研究開発が注目される。また、米国が先行するウェハレベルカメラの技術開発動向は、日本のコンポーネント産業へのインパクトの大きさから、今後とも注視すべきであろう。

③ 光学設計

米国がオープンイノベーションを駆使して先行するコンピューショナル・フォトグラフィの研究開発は、引き続き注目に値する。コンピューショナル・フォトグラフィによるリフォーカス、画像復元、高ダイナミックレンジ、超解像などは、日本が、光学材料・コンポーネント・光学設計で構築した撮像技術のコモディティ化をもたら

す可能性がある。

(7) ディスプレイ技術

① 3D

2010 年度上期には、サムソン、パナソニック、ソニーなど、韓国及び国内の各社から 3D 対応の液晶テレビやブルーレイプレーヤーが発売され、2010 年は 3D 元年と言われている。現在商品化されている 3D 対応テレビは、液晶シャッター方式の専用メガネを使用するものであり、メガネをかけるのが煩わしいという人も多い。そこで、メガネをかけなくても 3D 映像を見ることが出来る裸眼 3D に、各社の研究開発はシフトしている。2010 年 12 月には、東芝が先陣を切って、12 型と 20 型の「グラスレス 3D レグザ」という裸眼 3D 対応テレビを発売した。この商品は、水平方向のみに視差を有する 1 次元インテグラルイメージング方式（光線再生方式）を採用しているが、画面サイズも小さく、パーソナル視聴に適していると言えるだろう。

裸眼 3D の今後の開発目標は、より大きな画面でホーム視聴ができる 3D 対応テレビであり、そのための技術課題としては、高解像度化のためのパネルの高画素化（2K x 4K など）や高速駆動化（High Frame Rate）、3D 広視野角化や逆視（一定の角度で表示画像が反転して見えること）抑制のための多視点化があげられる。また、これまでは LCD での 3D 対応が中心であったが、今後、LCD より応答速度が速い OLED での 3D 対応の開発も進展するであろう。

裸眼 3D 関連の研究開発については、基本的にテレビ事業を行っている韓国企業 2 社と国内各社の競争になると思われるが、部材の開発では台湾企業も参画してくるであろう。

（参考情報）

東芝 ニュースリリース「グラスレス 3D レグザ（REGZA）GL1 シリーズ」の発売

http://www.toshiba.co.jp/about/press/2010_10/pr_j0402.htm

②有機 EL

AMOLED（アクティブマトリクス方式有機 EL ディスプレイ）の小型パネルについては、携帯電話等のモバイルディスプレイでの採用が進展しており、最大手の Samsung Mobile Display（SMD）の出荷数量は、2010 年までに累計 4500 万台に達する見込みである。テレビ用のパネルについては、ソニーが 2007 年に世界初の有機 EL テレビを発売したが、11 型であった。AMOLED はパネルサイズが大きくなるほど量産が難しくなるという課題があるほか、従来のシリコン系の TFT は、LCD に比べて高電流・狭幅配線の AMOLED を駆動するには性能的に不十分であった。

そこで、ポスト・シリコン系 TFT として期待されているのが、酸化物半導体 TFT である。元祖は東工大の細野秀雄教授が発見した TAOS（透明アモルファス酸化物半導体）であり、現在よく使われている材料は IGZO（InGaZnO4）である。5 月の SID2010 では、台湾の AUO が発表した、酸化物半導体 TFT 駆動による 32 型液晶パネルが注目されたが、ソニーも 11.7 型の酸化物半導体 TFT 駆動の有機 EL パネルを発表した。12 月に行われた SID と並ぶディスプレイ関連の国際学会である IDW2010 では、細野教授が基調講演を行ったほか、発表件数も増え、いよいよ量産化を視野に入れる段階に移行したことを印象づけた。なお、酸化物半導体 TFT は、ブルーフェーズ液晶と組み合わせることで、液晶の高速化を図ることも可能である。

また、EL 材料においても、米国の UDC と韓国の SMD が、RGB の 3 原色に青緑色を加えたリン光材料を用いて消費電力や寿命を改善するなどの注目される成果をあげた。以上のような技術進歩も踏まえ、SID2010 で基調講演を行ったサムソンは、22 億ドルを投入して第 5.5 世代のガラス基板生産ライン（1300 x 1500 ミリ）を整え、2011 年から量産を開始するとともに、大型テレビの需要が拡大すると予想して、55 型が 6 面取れる第 8 世代の生産技術開発も進めていることを明らかにした。液晶テレ

ビの価格がこれだけ下がった状況では、有機 EL テレビがこれに置き換わるのは容易ではないと思われるが、サムソンの強気の戦略は注目に値する。

(参考情報)

[1] Tech-On!「RGB の 3 原色に青緑を追加、UDC と Samsung が有機 EL の消費電力を大幅削減」<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20100527/183005/>

[2] 有機 EL 第 8 世代ライン構想、Samsung Mobile Display が基調講演で発表
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20100526/182927/>

(8) 固体照明

LED と OLED を光源とした固体照明は、年々効率の改善、コストの低下が進み、2010 年代後半には、照明の大きな部分を占めると考えられる。2010 年 7 月にオランダで開催された 第 3 回白色 LED と固体照明国際コンファレンス (whiteLED3) では、発表件数の約 3 割が固体照明に関するものであった [1]。

白色 LED は、R&D レベルでは 200lm/W を超える発光効率が報告され [2]、商業レベルにおいても、いよいよ、既存照明の発光効率を超えようというレベルに達している。2009 年に日本で起こった LED 電球の低価格化の流れは、2010 年も続いており、今後更に低価格化が進み、世界的な流れとなることは必至である。

一方で、LED 電球の性能表示がわかりにくいとの指摘に対して、2009 年から 2010 年にかけて、日本では電球工業会が、アメリカでは Energy Star が、ヨーロッパでは EUR が、従来の白熱電球との比較表示の方法を定義した。ヨーロッパでは製品に CE マークを取得する事がほぼ必須となるのに対して、日本、アメリカでは任意となるため、今後、市場で、混乱が残る可能性がある。

固体照明の普及拡大には、コスト面が大きな課題であることは本年も変わらない課題である。従来の LED デバイスと照明器具とが連携したブレークスルーが必要と考えられる。また、LED デバイスの価格については、装置産業としての視点から考えれば、生産数量が大きく伸びてくれば、価格低下の動きもでてくることになる。その動きに影響を与えるのが、昨年からグローバルで伸びてきている液晶 TV のバックライトの LED 化である。この市場に飽和感と LED 素子の製造装置である MOCVD の稼働能力から見れば、価格低下の時期も予測される。

(参考文献)

[1] 照明学会誌 第 94 巻 第 11 号 pp.753

[2] 日亜化学の NewsRelease

(9) フォトニック結晶／メタマテリアル

①シリコンフォトンクス

シリコンフォトンクスはフォトニック結晶／メタマテリアル分野に関係なくとも、最近の光関連の国際会議等では常に注目度が高い分野となっている。ただしもともとはフォトニック結晶関連の研究者が数多く参画し、発展に寄与してきた経緯があるので、あえてここでも採り上げる。シリコンフォトンクスが発展してきた歴史はほぼフォトニック結晶と同時であり、技術的にも類似している。そのため、特に最近、フォトニック結晶の研究者がシリコンフォトンクスに乗り換えつつある。シリコンフォトンクスの多くは、シリコン CMOS 技術の転用が簡単なシリコン細線導波路を用いて、コンパクトで低コストな光デバイスや光回路を実現する研究である。米国 LSI メーカーがチップ内光配線やデータセンタの大規模 LAN を目指してこぞって参入したことで世界的な盛り上がり発展し、近い将来、光分野や光電子融合に変革をもたらす勢いである。ここでは日本もがんばっているが、欧米に加えて、中国、韓国、シンガポールも脅威である。フォトニック結晶の多くはシリコン上に作られるため、当初はシリコンフォトンクスと融合した発展が期待されたが、CMOS 技術の転用が難しく、

ここ数年は技術的にやや取り残されてしまった感があった。しかし最近、ようやく CMOS 技術によるフォトニック結晶が一部で可能になり、シリコンフォトニクスへの組み込みや大規模集積ができる見通しになり、大きなステップアップにつながると期待される。

② バイオセンシング

フォトニック結晶、シリコンフォトニクス、プラズモニクスに関連して数年前から世界的に研究が盛んな分野である。光とこれらの構造の共鳴条件がバイオ物質（DNA やタンパク質）の付着に対して敏感に反応することを利用したものである。現行のバイオセンサは蛍光タンパク質など目に見える標識を目に見えないターゲットであるバイオ物質に付けて挙動を可視化し、センシングを行う。しかしこの標識を付ける作業が複雑で、スループットが低く、コストが高いという問題があった。そのため「標識無し」が重要な合い言葉になって研究開発が進められ、表面プラズモン共鳴（SPR）センサーがいち早く欧州で実用化された。それを追いかけるように、より小型、高感度、流体化学デバイス（マイクロフルイディクス）との集積化もできるフォトニック結晶やシリコンフォトニクスによるセンサの開発が活発になっている。ウィルス検査やガンマーカーなどの医療診断、細胞分析など生物研究、食品や環境の検査など応用範囲は広く、近い将来、重要度を増すと考えられる。しかし欧米だけでなく、アジアオセアニア諸国と比べても日本での研究人口は少ない。光電子工学分野とバイオ分野の間の垣根が他国よりも高いことが原因と思われる。今後、垣根を取り払うような境界領域の研究促進が望まれる。

③ カルコゲナイドガラス

ヒ素、ゲルマニウム、セレン、硫黄、テルルといったカルコゲン元素で構成されるガラスは、古くから様々な光学機能性をもつことが知られ、多くの研究が行われてきた。しかし加工が難しいこと、毒性のある元素が多いことなどから、実用化は限定されており、書き換え可能な光ディスク素材などに用いられる程度であった。最近、加工技術が進歩して、ファイバ、フォトニック結晶、バイオセンサ、非線形応用など従来に無かった研究が増え、光関連の最も重要な学術誌である米光学会の *Optics Express* において、ごく最近、特集が組まれている（2010 年 12 月）。世界的にはオーストラリアの CUDOS のグループが活発で世界を先導しており、日米欧でも研究が進められている。

2.3 コンピューティング分野

2.3.1 概観

コンピューティング関連技術分野では、量的及び質的変革は継続的に進行しており、新しい情報化社会とその情報サービスを支える主流技術の変遷も進行している。最近の動向を表わす幾つかの技術項目を挙げてみると、以下ようになる。

クラウドコンピューティング、巨大データセンタ、超分散コンピューティング、マルチコア、仮想化、グリーン IT、非構造 / 半構造データ、グローバル・メガサービス、CGM(Consumer Generated Media)、マルチメディア検索、ソーシャル・コンピューティング (Facebook、Twitter が代表)、プライバシー保護、ディペンダビリティ、価値創造のデータ / テキストマイニング、サイバーフィジカルシステム (CPS)、センサ / ストリームデータ、モバイルコンピューティング (Smart Phone とそのソフトなど)、ユーザエクスペリエンス、サービスサイエンス / エンジニアリング、アспект指向開発、ゴール指向開発。

コンピューティング分野技術の特徴は、アイデアに基づくシードとしての新技術は勿論重要なのであるが、それだけでは必ずしも十分でなく、実際のサービス及び産業の発展に結びついて、強い競争力を持つ技術に育つといった面が強い。この意味で、アイデアに基づき新技術を生み出す創造的な研究者層の存在と、それを活用して新情報産業領域を先導する強い企業の力が両輪となり、相互に影響を与えながら、スパイラル的発展を可能とする構造が重要となる。この点で、米国は研究者層の厚さ、新技術創造力、産業力・国際競争力のいずれの面でも世界をリードしてきており、全領域を通じてその優位性は引き続き継続している。

米国における情報技術分野の強さの一つの背景には、世界から優秀な留学生を吸収し、彼らの多数が米国内に残り、中心的役割を担って活躍していることが指摘できる。中国、インドからの留学生が多く、韓国からの留学生がこれに次いでいる。彼らの一部は母国に還流し、これによって母国の研究や産業レベルの向上をもたらしている。またビジネスはグローバル化しており、有力企業の多くはビジネスと共に研究開発拠点も世界に展開している。従って、各国の研究開発水準という場合、状況は幾分入り組んだものとなっている。特に、IBM、Microsoft、Google といった米国系企業の米国外での研究開発拠点では、その国や地域の優秀な研究者・技術者を集め、部分的ではあるものの、米国水準の研究開発が行われている。

欧州は伝統的に大学を中心とした基礎領域に強みを発揮してきており、EU の統合の進展により、各国間の連携は共同プロジェクト等を通じて強化されてきている。コンピュータハードウェア製造については、欧州は産業力を失っている状況にある。しかし、ハードウェア関連の一部では、ARM 社は組み込み向けチップで高いシェアを有し、また省電力デバイス技術レベルは上がってきている。また並列コンピュータ、クラスタコンピュータの利用においては活発であり、関連するアプリケーションソフトウェアには見るべきものがある。並列計算、制約プログラミング、プログラム意味論・解析・検証など、ソフトウェア基礎領域については伝統的に強く、研究者層も厚い。米国に比べると研究の出口が明確とは限らない面が見られたが、有用なソフトウェアツールを産み出す所も現れてきている。ソフトウェア開発の形式仕様記述手法では他国を引き離しており、オブジェクト指向やシナリオ指向手法などで米国と共に世界をリードする位置にある。データベースとデータマイニング関係では、機械学習とデータマイニングの境界領域で特徴ある研究が見られ、また科学データベースに関する継続的な研究開発が行われている。Web 関係では、Semantic Web などの研究が着実に進

められているが、基礎寄りであり、必ずしも産業的な潮流に結びついていない感がある。サービスサイエンスに関しては、製造業のサービス化の研究を中心にして、高い研究水準にある。マルチメディアシステムに関しては EU での振興政策の支えもあり、多くの組織で高水準の研究開発が行われている。

日本について、まずコンピュータハードウェアについては、欧州がこの領域の産業力を失っている状況にあるので、世界の中で米国に次ぐ位置にあると言えるものの、研究者の層は米国に比べるとかなり薄い。チップマルチプロセッサなど優れた研究水準が見られるが、世界市場の開拓力、技術開発の戦略性などで十分でない面がある。スーパーコンピュータについては、進行中の次世代スーパーコンピュータプロジェクトにより向上していると言えるが、世界に売れるような産業的競争力に結びつくかについては不透明である。クラスタコンピュータやそれを構成するサーバの設計技術について日本は高い設計技術を保有してきたが、サーバの製造が台湾や中国に移行してきており、今後が懸念される。データベース技術については、ソフトウェアは圧倒的に米国優位であるものの、ストレージシステム、大規模データシステム構築力でトップクラスの水準となっている。

ソフトウェア分野については、研究水準としては米国の後塵を拝するが（個々に得意分野があるので、一概には比較できないものの）欧州とは匹敵する高レベルにあると言える。しかし、国際会議などで中国からの論文が増加しており、日本を上回るようになってきている。日本のソフトウェア産業規模は大きく、大中小の多数のソフトウェア企業が存在している。但し、これらの企業のソフトウェア開発は受注開発が主体になっており、世界に通用し競争力を持つソフトウェアは極めて少ない状況にある。国内マーケットでもそこそこの生存が可能であるので、国際マーケットへ向かう推進力が弱いといった状況であるが、一部に国際展開強化の動きも見られるようになってきた。クラウドコンピューティングや分散コンピューティングなどは多分に米国の後追いの面もあるが活発化しており、独自の技術やサービスを強化して国際的にも通用するものになることを期待したいし、そのような方向への施策も必要であろう。Web 情報システムに関しても、幾つかの独自技術やサービスが生まれ、また情報大航海（経産省）、情報爆発（文科省特定領域研究）が行われ研究水準は上がってきているものの、米国発の Google、Facebook、Twitter といった情報活用・交流の世界的プラットフォームが生まれるといった段階にはならないという課題がある。マルチメディアシステムや自然言語処理の研究水準も世界最高レベルと言えるのであるが、新サービスの創造力、長期的目標設定の点で弱さが見られる。これらの弱点は他のソフトウェア分野にも共通している。

創造的ソフトウェアの生成力については、均質的な国民性、品質改良は得意だが新コンセプト構成力の弱さなどが語られてきている。この反面で、ハードウェア製品に内蔵される組み込みソフトウェアに関しては、我が国は最高レベルを保っている。

ソフトウェア開発人材の質と量の点でも問題が顕在化してきており、経団連、文科省、経産省の連携下で高度 IT 人材養成プログラム等が実施されてきた。しかし、学生から受注開発主体のソフトウェア産業は、3K（きつい、帰れない、給料が安い）と見なされ、優秀で創造力を有する学生が向かわない状況も大きな問題である。このため、日本企業でも中国等でのソフトウェア開発の比率が増してきている。ソフトウェア制作は元来創造的行為のはずであり、ソフトウェア産業界も協力してこの問題を解消し、創造力溢れる若者が集まる状態に改善する必要がある。

中国は GDP 世界第 2 位になったが、コンピューティング分野の研究水準、技術水準

も上昇してきている。米国帰りの研究者も多く、研究者数、国際会議や国際的学術誌での論文数も増加してきている。国家として重要項目とされているスーパーコンピュータ開発では「天河一号 A」が 2010 年に世界ランキング 1 位になるなど、顕著な発展が見られる。PC とサーバの製造で世界の拠点になっている台湾との垣根が低くなり、その製造技術が伝わることにより、中国はこの領域でも技術力を向上させていくと考えられる。Web では Baidu が検索エンジンのトップシェアを維持しており、技術水準を高めてきている。

韓国は情報家電やメモリを中心とする半導体製造で世界のトップレベルになっている。しかし、コンピュータ自体の研究開発へ投資は向けられておらず、この分野には注力されていない。しかし、ソフトウェア分野やその他で米国等で経験を積んだ研究者の増加に伴い、研究水準は上昇しつつあり、国際会議等での論文は増加してきている。家庭へのブロードバンド・インターネット普及率が世界有数であり、オンラインゲームや SNS(Social Network Service) を組み合わせた Web サービスが多数のユーザを獲得している。Web 検索エンジンでは NAVER が国内シェア 1 位を維持しており、産業技術水準は高い。

新時代の情報環境・社会に向けた新しい情報技術の芽が生まれ、社会や情報技術の伸展や非連続的な変革も予見されるようになってきている。米国が圧倒的とも言える先導性、優位性を保っている状況において、また中国、韓国、インドの台頭の間で、我が国は国際的競争力を持つ情報技術を伸ばし、産業としても国際的に通用するものにしていく必要がある。如何にして国際的に通用する競争力をどの部分で育成していくのか、今後の情報化社会、情報産業の重要性を考慮した時、大きな政策課題となる。

2.3.2 中綱目ごとの比較

(1) 基礎理論

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	アルゴリズム論および計算量理論は、国内研究が（特定領域研究等を通じて）比較的良く組織され、また工学的観点を重視する風土ができています。計算モデルやプログラミング言語のモデルも層は厚くはないものの水準は高い。ただし、並行計算や制約プログラミングなどの新分野に限ると研究者層は大変薄くなる。プログラム解析・検証技術は、型体系などの伝統的手法の技術水準については欧米と並んでいる。モデル検査を含むソフトウェア検証技術も次第に強化されているが、全体として (i) 研究の組織化、(ii) 実用規模のソフトウェアを対象とした研究などの工学的視点、および (iii) 産業界への技術移転などにおいて課題が多い。
	技術開発水準	△	→	アルゴリズム論についてはハードウェア（VLSI）やソフトウェアの性能に直接結びつくことからその重要性が適切に認識され、ニーズ指向の研究が行われている。一方、ハードウェア検証やソフトウェアの信頼性向上への基礎理論からのアプローチすなわち形式的技法は、組込みシステムを中心に徐々に認識が高まりつつあるものの、研究開発活動は少なく、欧米とのギャップはまだまだ大きい。
	産業技術力	△	→	特に日本では、ハードウェアの設計・開発・検証よりも複雑なソフトウェアの設計・開発・検証において技術力改善の余地が多い。大規模ソフトウェアのすべての局面を基礎理論で支援できるわけではないが、基礎理論を使うべき場面を同定できることが重要である。ソフトウェア開発や保守の現場に基礎理論のわかっている技術者がいて、技術的にしっかりした概念と用語を日常業務で使うということだが、職場全体への波及効果の点で重要である。また、政策によってソフトウェアの信頼性向上への動機付けを行うことも必要である。
米国	研究水準	◎	→	各分野とも、出口を明確にした基礎研究が多いことが特徴である。このため、全体として層も技術レベルも高い。一方、並行計算や制約プログラミングなど、欧州で非常に活発な研究が行われており、後者のように実践面でも重要でありながら、米国での研究者層が大変薄い分野もいくつかある。また、センサネットワークやサイバーフィジカルシステムのように、国レベルでの強化分野に多数の理論研究者が参入するのも特徴である。CPU のマルチコア化のような計算プラットフォームの変化を敏感に捉えた研究を行うという点では抜きん出ている。
	技術開発水準	◎	→	基礎研究者、特に大学教員や博士号取得者の流動性が他国よりも高いため、企業が基礎理論自体を研究するかどうかは別として、基礎理論に立脚した技術や製品開発を行う素地が備わっている。トップレベルの米国企業の幹部とのインタビューでも、アルゴリズムとデータ構造論をはじめとするコンピュータサイエンスの基礎部分を深く理解している技術者を最も欲していることがわかる。
	産業技術力	○	→	同上。生産現場における博士号取得者の割合が高いということは、基礎理論の浸透度もそれだけ高いと考えることができる。
欧州	研究水準	◎	→	欧州の大学や国立研究機関の基礎研究は、研究者層が大変厚い。以前は研究の出口が必ずしも明確とは限らなかった。この傾向はまだまだいくつかの国に残っているが、フランスやオランダなど、多くの有用なソフトウェアツールを産み出しているところもある。並行計算や制約プログラミングなどの計算パラダイムは欧州が抜きん出て強く、またプログラム意味論・解析・検証技術も欧州がリードしている。
	技術開発水準	○	→	国際会議論文や欧州の研究者との会話から判断する限り、大学や国立研究機関と異なり、企業における基礎研究が全般に盛んであるとはいえない。ただし少なくとも一つの例外、すなわちマイクロソフト研究所（英国ケンブリッジ）があり、ここは多くの代表的理論研究者を擁して Singularity Project のような検証研究や、関数型言語 F# の .NET 環境への展開などを推進している。
	産業技術力	○	↑	前項にかかわらず、欧州では形式的技法（formal methods）の開発への適用という点では多くの蓄積をもつ。Z や B などの仕様記述言語や開発手法の大規模ソフトウェアシステム（たとえばパリ地下鉄）への利用が典型例である。これらのツールの利用は必ずしも形式的検証を伴うものではないが、開発段階での形式的記述ツールの利用は、今後の検証付ソフトウェア（verified software）への重要な一歩である点が見逃せない。
中国	研究水準	△	↑	国内での基礎研究水準は精華大学、北京大学、中国科学院、上海交通大学などの主要研究機関で近年かなり高まりつつある。これには研究者の世代交代、欧米で研究実績を積んで戻った研究者の増加、米国の中国人研究者との交流の急速な増加などが寄与している。ただ、研究者の知識や技量は非常に高いものの、実用を必ずしも意識しない純粋基礎研究が目立つ。なお、台湾では形式的技法への意識の高まりが見られる。
	技術開発水準	×	↑	まだ外国企業の現地法人または外国企業と中国企業との共同の形でしか高度な基礎研究はできないと考えられるが、今後の外資導入や人的交流の増加によって、国内技術水準が急速に伸びる可能性もある。
	産業技術力	×	↑	同上

韓国	研究水準	△	↑	中国の場合と同様、欧米で研究実績を積んだ研究者の増加に伴い、基礎理論の研究者層は増大しつつある。日本と比較すると国内の基礎理論コミュニティははるかに小さいと考えられるが、それだけにトップレベルの研究者は世界レベルの論文誌や国際会議で勝負することになり、この風土が今後の成長の原動力となる可能性が高い。
	技術開発水準	×	↑	大手電機・半導体産業の規模や技術水準の急速な成長に伴い、今後次第に基礎理論の比重が高まる可能性がある。
	産業技術力	×	↑	製品開発の規模や速度の急拡大に伴い、分野を問わず形式的なアプローチの重要性（開発効率や経済効果）の認識が進めば、生産現場への技術移転が進む可能性がある。
全体コメント： 上記各国および地域以外にオーストラリアも注目に値する。特に NICTA/UNSW (Univ. New South Wales) は、多くの研究者と時間を使って、検証つきオペレーティングシステムカーネルの構築プロジェクト L4.<i>verified</i> を推進してきた [5]。 ソフトウェア分野は、現実のソフトウェアの複雑さが主な原因となって、理論サイドから実践サイドへのパラダイムや技術の移転に多大な時間を要することを特徴とする。しかしソフトウェアの社会における役割はますます増大しており、特に (1) 国や社会のインフラストラクチャを構成するソフトウェア、(2) Safety critical システムの制御ソフトウェア、(3) 非常に多数の分散した機器上(PCや携帯電話等)の基盤ソフトウェアは、不具合がもたらす社会的損失が莫大である。 この認識に立って、基盤ソフトウェアの信頼性確保という目標の下で基礎理論（特に検証技術）の研究を強化推進することが第一に必要である。また、あらゆるソフトウェアのあらゆる側面を検証することは現実的ではないものの、基盤ソフトウェアが備えるべきいくつかの重要な性質については、検証（品質保証）を奨励・要求する制度を設ける方向で社会的合意や議論・政策をまとめてゆく必要がある。 第二に、現在のソフトウェア技術は、マルチコアプロセッサへの急速な流れに代表されるコンピューティング環境の大きな変化に追随しておらず、大規模並列マシンの有効利用をみても依然としてソフトウェア技術がボトルネックとなっている。効率と正当性の保証された並列ソフトウェアの構築を支える基礎理論の強化は急務である。 第三に、技術の進歩は放置すると技術の細分化を招くが、細分化した技術の再統合を目指す基礎研究が重要である。たとえば、数値計算技術と非数値計算技術は、結果保証や並列実行など多くの面から、再統合に向けた努力を始める段階にきている。さらに、ソフトウェア品質保証社会に向けて、プログラム開発作業と検証作業との統合を促進する理論や枠組みの整備も重要である。				

(参考情報)

- [1] Workshop on the Verification Grand Challenge, 2005.
<http://www.csl.sri.com/users/shankar/VGC05/>
- [2] Grand Challenges in Computer Research homepage, 2005.
<http://www.ukrc.org.uk/grand%5Fchallenges/>
- [3] Tony Hoare and Jay Misra, Verified software: theories, tools, experiments. Vision of a Grand Challenge project, 2005. <http://vstte.ethz.ch/pdfs/vstte-hoare-misra.pdf>
- [4] Krste Asanovic et al., The Landscape of Parallel Computing Research: A View from Berkeley. Tech. Report UCB/EECS-2006-183, EECS Dept., UC Berkeley, 2006.
<http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2006/EECS-2006-183.pdf>
- [5] Gerwin Klein, June Andronick, Kevin Elphinstone, Gernot Heiser, David Cock, Philip Derrin, Dhammika Elkaduwe, Kai Engelhardt, Rafal Kolanski, Michael Norrish, Thomas Sewell, Harvey Tuch, Simon Winwood, seL4: formal verification of an operating-system kernel, Commun. ACM, Vol. 53, No. 6 (2010), pp. 107-115.

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(2) Web 情報システム

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↗	情報大航海 [1]、情報爆発 [2]、未踏ソフトウェア [3] といったプロジェクトを積極的に展開してきており、大学、国立研究機関の研究水準の向上を図っているが、後継プロジェクトが必要な時期にさしかかっている。
	技術開発水準	○	↗	情報大航海 [1]、情報爆発 [2]、未踏ソフトウェア [3] など多くの施策の効果が始め、大小の企業における技術開発水準は向上している。ベンチャー企業としては、例えば、プリファードインフラストラクチャー社による大規模全文検索エンジン Sedue の開発 [5] などがあり、今後の追い上げが期待できる。モバイル環境における Web 情報システムに関する優位性を保っているが、Twitter(短文投稿・閲覧サイト)、グルーポン(共同購入クーポンサイト)など米国発の Web サービスがモバイル環境においても、キラーアプリケーションになりつつあり、安閑とはしてられない状況にある。
	産業技術力	○	↗	技術開発水準に同じ
米国	研究水準	◎	↗	大学や国立研究機関のみならず企業においても層の厚い研究が展開されている。
	技術開発水準	◎	↗	検索エンジンにおける Google、Yahoo!、Microsoft による連携、買収などのダイナミックな三つ巴の競争に象徴されるように、多くの組織が切磋琢磨している。Google はブラウザ、OS 分野においても Microsoft と衝突し、モバイル市場においては Apple と衝突している [4]。そして、Twitter(短文投稿・閲覧サイト)、Facebook(5 億人以上が使用するソーシャルネットワークサービス)と Google との衝突も顕在化しつつある [4]。新興企業の台頭、買収の例としては 2005 年創業の Powerset がある。Powerset は 自然言語による検索、すなわち日常使用している文による質問を可能にする検索サービスを展開し、Google を将来は凌ぐのではないかと言われた [7]。そして 2008 年に Powerset は Microsoft によって買収された。Twitter、グルーポンなど米国発の Web サービスが次々とリリースされており、Web 情報システムにおける米国の圧倒的な優位性は揺らいでいない。
	産業技術力	◎	↗	技術開発水準に同じ
欧州	研究水準	○	→	欧州は、HTML (HyperText Markup Language)、HTTP を生んだ Tim Berners-Lee 氏の本拠地であり、米国と共に W3C (Web 技術に関する標準化団体) の中心となって活動しており、研究水準を維持している。研究への投資は少なかったが、EU における研究開発のための活動助成プロジェクトである FP7(Framework Program 7) [6] が 2007 年より開始され、その中に情報通信技術が入っていることはプラス材料である。本プロジェクトは 2013 年までの 7 年計画であり、500 億ユーロを超える予算が計画されており、大学・国立研究機関の研究水準が向上する可能性はある。
	技術開発水準	△	→	米国、日本と比較すると、基礎研究は盛んであるが、応用研究が手薄であり、その強化が課題である。研究と実用化の距離を短くすること、産学連携の重要性は認識されてきているが、欧州内には競争力のある ICT 企業は少ない。上記の W3C における実用化への道も険しいものがある。
	産業技術力	△	→	技術開発水準に同じ
中国	研究水準	△	↗	大学を中心に研究が展開されており、水準は向上しつつある。
	技術開発水準	○	↗	米国追従の技術開発が主体であるが、2007 年に検索サービス「百度」を保持する百度 (Baidu) は日本に進出し、日本人向けのサービスを展開し、また中国における Web 検索のシェア第一位を維持するなど、その水準は高まりつつある。2010 年には、日本のモバイル企業である ACCESS が中国語対応に Baidu の検索技術を採用するなど、日本における地位を築きつつある。
	産業技術力	△	→	マーケットは巨大であり、技術力も高くなりつつあるが、登録制など産業発展の支援に必ずしも資さない現状もある。
韓国	研究水準	△	→	KAISTなどを軸に研究が展開されている。
	技術開発水準	○	→	家庭へのブロードバンド・インターネットの普及率が世界有数である。ブログ、アパタ、SNS(ソーシャルネットワークサービス)を組み合わせた Web サービス会社 Cyworld はきわめて多くのユーザを獲得している。韓国外へも進出を試みているが、撤退を余儀なくされた国もあり、成功を収めているとは言えない。また韓国最大手インターネット検索ポータルサイト運営会社 NAVER など技術開発水準の高い企業が存在している。NAVER は韓国における Web 検索のシェア第一位を維持している。産業技術力は十分にある。
	産業技術力	○	→	技術開発水準に同じ

全体コメント：

Web 情報システムに関しては、研究水準、技術開発水準、産業技術力とも米国が世界を圧倒的にリードしており、各国がそれを追いかけているという状況が続いている。日本は、情報爆発、情報大航海、未踏ソフトウェアなどのプロジェクトによる産業育成が功を奏し始めており、今後の追い上げが期待できる。ただし先を行く米国の背中はまだ見えていないどころか、その差はさらに開きつつあり、関連の国家プロジェクトが必須の状況であるが、そのような国家プロジェクトの将来が見えていないことが懸念材料である。欧州、中国、韓国も米国キャッチアップの状態からの脱却を目指し、各種の施策を実施しつつあるが、顕著な成果は出ていない。

(参考情報)

- [1] 情報大航海：http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/daikoukai/igvp/index/about-project/about-project/index.html
- [2] 情報爆発：<http://www.infoplosion.nii.ac.jp/info-plosion/>
- [3] 未踏ソフトウェア：<http://www.ipa.go.jp/jinzai/mitou/index.html>
- [4] 石塚満：グーグルの破壊的創造力の内側を垣間見る、JAPIO 2010 YEARBOOK,
- [5] 大規模全文検索エンジン Sedue: <http://preferred.jp/sedue.html>
- [6] 市岡利康：FP7 と J-BILAT プロジェクト、活動内容とこれまでの成果、今後の予定、J-BILAT 第 4 回セミナー、2010/10/26 神戸
- [7] 渡辺弘美：ウェブを変える 10 の破壊的トレンド、ソフトバンククリエイティブ(株)

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(3) データベースとデータマイニング

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	Web 上のあらゆる情報を対象としたデータベースシステム技術、検索やデータマイニング技術では先端である。一方、収集した実世界のデータベースの公開・再利用促進のためのプライバシー保護データベース利用技術は、始まったばかりである。オープンソース技術に基づいたメガスケールデータ処理基盤は普及しつつある。
	技術開発水準	◎	→	ストレージシステムやグリッドなどの計算機アーキテクチャは先進的。Google 的な新しいデータ処理プラットフォームも研究面でかなり普及した。情報プローブカーや電力網監視など、センサーデータ応用の分野では日本はそもそも強い。しかし、スマートグリッドのような技術コンセプトの新世代化に対応した捉え直しが必要な局面になっている。
	産業技術力	○	↑	データベースソフトウェアは依然として圧倒的に米国優位であるが、ストレージシステムは世界 2 位に付け（IT 製品では稀に見る強い国際競争力と言える）、大規模データシステムの構築力ではトップクラスである。全体的にインテグレーションを中心とした産業構造が形成されているが、クラウド技術の対応が企業でも中心になりつつあり、これから基盤的データサービスの研究開発が伸びてくると思われる。
米国	研究水準	◎	↑	ストリームデータ処理用のデータベースシステムの研究が一段落していくつかは公開利用されるなど、次世代のセンサ処理研究を行いやすい環境が整いつつある。この他、トップK問合せ処理、グラフデータベース、軌跡データや位置情報処理のプライバシー保護応用など、新しい検索機能を目指す研究は依然として力強い。数年前に比べ、SIGMOD2010 や VLDB2010 などの主要国際会議および併設ワークショップでも、クラウドや仮想マシンサービス、SSD などに基づいた新しいシステムの研究が増えてきた点にも注目すべき。
	技術開発水準	◎	↑	Google や Yahoo、Microsoft の研究所を中心にした「あらゆるデータの収集と検索のためのデータベース的な機構の提供」の動きは継続して強力である。Microsoft のプライバシー保護機能をつけたデータ分析処理システム PINQ など、単に研究面ではなく応用面を促進するデータ処理言語も提供されつつある。Pregel などデータ多様性に対処するグラフデータベースサービスの開発も盛ん。
	産業技術力	◎	→	研究所で試行されているデータベース技術を使ったベータ版情報分析サービスを検索エンジンポータルで公開して技術的なフィードバックを得る手法が一段落して、Fusion Table など新しいサービスが提案されつつある。新しいビジネスセグメントへの適応が極めて機動的であるが、同時にプライバシー保護との両立などの課題も顕在化しており、代表的事例を元に対処が模索されている。
欧州	研究水準	◎	→	機械学習とデータマイニングの境界領域で活躍する研究者が見られることが特徴とも言える。部分空間クラスタリングなど先端的なデータマイニング技術の開発が行われているのに加え、科学データベースを支援する技術が継続的に進められており、curated database や data provenance など、科学分野における情報の信頼性を高めるための基礎的な技術が継続的に研究されている。セマンティック Web やオントロジーなどの関連の研究も着実に推進されていることも注目される。
	技術開発水準	○	→	極めて限られた企業では HANA などの先進的な研究開発が進められているものの、通信事業が強く、データベースそのものではなく、情報個人化などの技術がコンテンツ提供の観点で強い。ソーシャルネット等の動きもあり大きなものがみられない。
	産業技術力	△	→	SAP が極度に強い力を有しているものの、データベース領域ではそれ以外の強い IT 産業競争力は感じられない。SAP は米国や中国に研究拠点を展開することにより一層のコンピタンスを実現しつつあり、高く評価される。クエロサーチエンジンは 5 年間という長期にわたるプロジェクトが 2010 年よりようやく開始され、興味深いマルチメディア検索が可能となっているが、産業への展開は限定的な用途が想定されており、爆発的なヒットに到るには到っておらず、容易ではないとみられる。
中国	研究水準	◎	↑	中国のみの著者執筆による論文がトップレベルの国際会議に採択されることも常識化しており、既に、研究水準と層の厚さは優れている。データベースを代表する国際会議 SIGMOD2010 でも中国国内の重点大学からの発表は増えており、確実に上昇。
	技術開発水準	◎	↑	マイクロソフト・アジア研究所や香港の国立大学を主体にして活発に活動しており、Web データベースの研究や XML データベース技術、データベースへのキーワード検索研究、グラフデータベース研究が進む。米国大学や米国マイクロソフト研究所、Yahoo 研究所にも多くの人脈があり、米国の高い技術開発水準と連動して開発力を急速に向上させている。Baidu も高い技術開発力を有している。
	産業技術力	△	→	米国の西海岸的に、大学の研究者と企業との連携も進みつつあり、産業技術力の向上は今後著しく伸びることが予想される。しかし、政策上の理由でプライバシー保護や巨大 SNS サービスなどの多様な情報サービスの提供自体を抑制する場面も見られ、産業技術としての成功には限界も見られる。

韓国	研究水準	○	→	KAIST を主体に、主記憶データベース技術、とりわけフラッシュ記憶の活用を主体にしたデータベース処理技術で目立った活動が多く、大学技術の産業移転もなされ、一部に高い技術も存在する。
	技術開発水準	○	→	データベース技術に関して特段の産業は見受けられないが、韓国固有の検索エンジンが米国会社に比べて圧倒的に強力である。
	産業技術力	○	→	狭義のデータベース技術ではなく、広義のシステム技術に関連して多様な産業がデータベース周辺の要素技術に関して技術力を有している。

全体コメント：

情報爆発の様相は更に加速し、「情報爆発からの価値創出」が肝であるとする文科省特定研究も 2010 年 3 月で終了することとなるが、その方向感最近のサイバーフィジカルシステム（CPS）や **smarter planet** などに見られる高次センサーベースシステムの研究開発に見出すことが出来、今後益々、該方面での技術開発が活発化すると考えられる。即ち、ストリームデータウェアハウスが本格化し、複数のステークホルダーによる共有と互いの融合による新たな領域創成が多々生まれる時代となろう。米国 NSF では毎年 30 億円程度の予算を投入するとしており、クロスカットと呼ばれる分野横断研究に位置付けている。そのような時代においては、以前にもまして、大量情報の格納基盤とも言えるデータベースシステム技術、ならびに、膨大なデータからの有益情報のマイニング技術は益々重要となり、データストリーム管理、PUB・SUB、匿名化データマイニングなどが重要な技術と捉えられる。巨大データセンタが生まれたが、その動機は所謂浮動小数点を中心とするスーパーコンピュータではなく、所謂データインテンシブコンピューティングへの新たなニーズにあったことを咀嚼しつつ、次の研究戦略をとることが不可欠であろう。google は **warehouse scale computing** という名称で巨大データインテンシブ計算環境を特徴づけている。エナジプロポーションアルコンピューティング等、大量データ処理環境における **green IT** 技術が今後多く展開されるものと想定される。米国では、マイクロソフト社の **Azure** を用いたクラウド研究が新たに始まるほか、CDI（情報技術による発見支援）が重要なテーマとして取り上げられている。EU においても組み込みプロジェクトからサイバーフィジカルへの展開が見られる。中国では温家宝首相による IOT（Internet of things）の先導が注目される。超巨大データは現実のものとなり、その動きが注目される場所である。

（註 1）フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

（註 2）現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註 3）近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(4) ビジネス応用とサービスサイエンス

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	ここ数年間における政府によるサービス産業の生産性向上とイノベーションの推進に向けての研究開発・人材育成支援事業により、研究水準は向上した。
	技術開発水準	○	→	大学や研究機関の研究者と企業の企画・開発担当者の連携が少ないので、企業一般におけるサービスサイエンス技術への関心は高くない。
	産業技術力	◎	↑	サービスサイエンスの手法を取り入れた企業や業界では、それぞれに業績や顧客満足度が向上すると期待できる。サービス産業生産性協議会が選考した「ハイ・サービス日本300選」にも、それぞれ特色ある取組みが見られる。中国等へのグローバル・サービスの展開も、政治的障害を越えて進んでいる。
米国	研究水準	◎	↑	サービスサイエンスを Service Science、Management and Engineering (SSME) と称していた IBM は、2008 年頃から、Design を加え、SSMED として、研究部門・コンサルティング部門が積極的に研究と大学の研究支援を推進し、California 大学 Berkeley 校等に修士レベルの教育課程が設置されている。サービスマネジメント分野の伝統的学会 Frontiers in Service にサービスサイエンス関係者が増え、他にも IEEE、ACM、INFORMS 等の学会で研究集会が開催されている。企業と大学の連携組織 Service Research & Innovation Initiative (SRII) が支部を世界的に拡大し始めた。米国での研究集会には世界から研究者が集まるので、今後も、研究開発の中心であり続けると思われる。
	技術開発水準	◎	↑	産学の連携で研究開発を推進する組織的活動が活発であり、企業の企画・開発担当者も学会によく参加するので、企業における技術水準は向上している。
	産業技術力	○	→	情報通信基盤とデータ処理技術を利用した B to B や B to C のサービスは向上するが、ヒトがヒトにサービスする対面サービスの向上は望めない。ヒトへのサービスは、情報システムを活用した自動化(セルフ・サービス、スーパー・サービス)が進んでいる。
欧州	研究水準	◎	↑	欧州の最近の傾向は、「製造業のサービス化」の研究が顕著である。イギリス Cambridge 大学の Institute for Manufacturing が、産業界と緊密に連携して、顧客志向の製造業の研究を進めている。イギリスでは、医療・健康サービスの研究も多い。オランダでは 2008 年 11 月に Amsterdam Academic Centre for Service Innovation (AMSI) が設立された。スウェーデン等の北欧でも、製造業 (IKEA、Tetra Pak 等) でのサービス化の研究が盛んである。ドイツでは、Karlsruhe 工科大学等を中心に、生産管理工学の手法 (プロセス管理、原価企画等) をサービスに適用しようとする方法が主流である。
	技術開発水準	○	↑	EU や大手企業によるサービスプロセスの標準化が進むと思われる。特に、サービスのグローバルな展開戦略に強みがある。「製造業のサービス化」が産業界との連携で研究されているので、大企業が提供するサービスの技術力は向上すると思われる。
	産業技術力	○	→	製造業のサービス化が産業界との連携で研究されているので、大企業が提供するサービスの技術力は向上するが、ヒトを対象とするサービスは、あまり変わらないと思われる。
中国	研究水準	△	↑	第 11 次五ヵ年計画 (2005 年 9 月) 以来、サービス産業を持続可能な経済発展と雇用創出の核とみなし、北京大学、清華大学、ハルビン工科大学、上海交通大学等で研究・教育が進められ、International Conference on Service Science を毎年開催し、欧米での会議にも積極的に参加している。情報システム関連の研究が多い。米国の研究者との連携が強い。
	技術開発水準	△	→	中国発の企業等における技術開発は、まだ工業製品の生産性向上に重点が置かれている。
	産業技術力	△	↑	中国発のサービス企業は、まだあまり発達していないようであるが、フランスのカルフールや日本のイトーヨーカ堂、ローソン、資生堂、大和運輸等のサービス企業が中国でのサービスを展開しているので、それらのノウハウを現場が吸収して、急速に技術力をつけている。
韓国	研究水準	△	↑	2007 年 5 月に Service Science National Forum (SSNF)、2008 年 9 月に Society of Service Science (SOSS) が設立された。SOSS は、2009 年に Journal of Service Science を創刊した。西江大学にサービスサイエンスのコースが設置されているほか、KAIST、浦項工科大学、高麗大学、建国大学、崇実大学等で研究が行われている。
	技術開発水準	○	↑	サービス業界よりも、製造や情報通信分野の企業で、サービス業務の技術開発が進むと思われる。サムソン等は、まだ、サービスサイエンスに向かっていないようである。
	産業技術力	△	→	一般社会におけるサービス技術・サービスマネジメントの浸透は、急速には進んでいないと思われる。

全体コメント：

日本では、第3期（平成18～22年度）科学技術基本計画、経済成長戦略大綱（平成19年6月改定）等でサービス産業の革新と研究推進が謳われ、その線に沿って、文部科学省・経済産業省において、いくつかの人材育成や研究開発事業が実施されたが、それらは終了し、平成23年度始めの時点で、（独）科学技術振興機構 社会技術研究開発センターが平成22年度から実施している社会技術研究開発事業「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」だけがサービスサイエンス分野の研究開発支援事業である。第4期（平成23～27年度）科学技術基本計画（答申案）では、「我が国の強みを活かした新たな産業基盤の創出」の中で、「我が国のサービス産業の生産性の向上に向けて、科学技術を有効に活用するための研究開発等の取組を推進する」と記載されているが、人材育成については触れられていない。ヒトに対するサービス産業の業界には大企業が少なく、民間で研究開発・人材育成を進める余裕がないので、国内総生産の7割を占めるサービス産業振興のためにも、政府による支援継続が必須であると思われる。

（註1）フェーズ〔研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力〕

（註2）現状について〔◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている〕*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註3）近年のトレンド〔↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向〕

(5) 基盤ソフトウェア

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↘	情報技術の研究の中心がアプリケーションに近い上位レイヤに移行してきており、基盤ソフトウェアについては海外の諸研究の研究開発成果に対して部分的に改良を施す研究が多く、本質的に新しいアイデアは出にくくなっている。この傾向は産業界においては従来から強かったが、近年では競争的研究資金の得やすさなどの影響から、大学などの研究機関においても見られ、この分野の研究者は漸減している。
	技術開発水準	○	→	独自の技術開発はあまり活発ではなく、海外の技術の受容と改良が中心となっている。重要性を増しているクラウドコンピューティング技術については、グローバルクラウド基盤連携技術フォーラム(GICTF)を通じた連携しての技術開発などの動きが見られる。対象機器のハードウェア開発と連携して行う必要がある組込システムについての技術の優位性は保っているが、対象機器の高度化・複雑化に伴って新たな技術の導入が必要となる場合も多くなっており、今後の優位性の維持は容易でないだろう。
	産業技術力	△	↘	サーバやPC向けの基盤ソフトウェアはほとんど海外の技術に頼っている状況にある。さらに、従来ある程度の優位性を保っていた組込システム向けの技術においても、機器の高度化に伴い同様の傾向が強まっている。
米国	研究水準	◎	→	具体的な基盤ソフトウェアについては、新たなアイデアのほとんどは米国内あるいは米国外であっても米国籍の組織によって行われており、質・量共に全世界の研究を牽引している。活発な研究投資は政府においても、産業界から大学等への資金提供という形態でも継続しており、当面この優位性を保つものと予想される。
	技術開発水準	◎	↗	マルチコアプロセッサ、クラウドコンピューティングの普及、携帯情報機器の高度化により、基盤ソフトウェアについても新たな技術開発が必要となっている。この状況において、米国の技術開発力上の優位性がさらに強調される状況となっている。また、近年重要性が高まっているオープンソフトウェアについても、米国を中心に開発されているものが多い。
	産業技術力	◎	↗	ソフトウェア技術においては製品化に要するタイムラグがほとんど無いため、技術開発成果を産業に即座に活かす傾向があるが、この過程は従来にも増して迅速化している。米国は人材の流動性の高く、このことが技術開発水準の押し上げに資している。
欧州	研究水準	○	→	さまざまな新たな提案に基づく研究がなされており、学術的には高いレベルを保っている。しかしながら、基礎的な研究が多く、実用技術に結びつく研究は多くない。
	技術開発水準	○	→	大学等の研究機関における研究が活発であるのに対し、産業界における技術開発は活発とは言えず、日本と同様、米国の技術の受容と改良が主となっている。
	産業技術力	△	→	製品において利用する基盤ソフトウェアは、ほとんど米国の技術に頼っている状況にある。
中国	研究水準	△	↗	研究の活性化は急速であり、発表論文件数においては急速な伸びがみられる。一般にその水準はまださして高くないものが多いが、注目に価する研究活動もあり、全体として国際水準に迫りつつある。
	技術開発水準	△	↗	独自の技術開発力は発展途上であるが、産業界も徐々に体力をつけてきている。
	産業技術力	△	↗	産業技術としてのソフトウェア技術を身につけようとしている。
韓国	研究水準	△	→	研究活動はある程度活発であるが、広い注目を集める成果は得られていない。
	技術開発水準	△	→	製品に直結する技術開発力は一定の水準にあるが、技術開発において独自性を持つには至っていない。
	産業技術力	△	→	製品において利用する基盤ソフトウェアは、ほとんど米国の技術に頼っている状況にある。
全体コメント： ネットワークを介した情報システムの利用が一段と進み、基盤ソフトウェアにおいてもクラウドコンピューティングの実用的展開に対応する研究開発の動きが活発になってきている。従来から基盤ソフトウェア分野の研究開発においては米国がリーダーシップを取り続けているが、こうした最近の動向においても主導的役割を果たしており、ことに研究開発成果を産業技術に直結させる迅速性において、研究水準だけを見るとさほど劣らない日欧に対して大きな優位性を保っている。 携帯情報機器においても、機器自体の高度化とネットワークを介しての情報資源へのアクセスの容易化により、基盤ソフトウェアの高度化の要請が強まっている。この面においても、従来のPC以上のサイズのコンピュータ向けの基盤システムについての技術蓄積が生きる局面となっており、米国の優位は揺らいでいない。				

(参考情報)

- [1] SIGOPS Mark Weiser Award, <http://www.sigops.org/award-weiser.html>
- [2] Global Market Share Statistics, <http://marketshare.hitslink.com/>
- [3] iPhone vs. Others: The Mobile OS Market, <http://gigaom.com/2010/03/18/the-mobile-os-market/>
- [4] ACM Transactions on Computer Systems, <http://tocs.acm.org/>
- [5] Principles of Programming Languages, <http://www.sigplan.org/popl.htm>

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(6) スーパーコンピュータ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	次世代スーパーコンピュータプロジェクトや国内スーパーコンピュータ関連プロジェクトにより、引き続き著しい向上が見られ始めた。
	技術開発水準	◎	↑	次世代スーパーコンピュータプロジェクトにより、著しい向上が見られ始めた。TOP500 ランキングでは日本は前回の 18 台から 26 台へ拡大している。また、2010 年には、Little GREEN500 ランキングで第 1 位、GREEN500 ランキングで第 2、3、5 位にランクインし、非常に高い技術水準に達していることを示した。
	産業技術力	◎	→	既存のスーパーコンピュータを中心に安定した技術力を有している。
米国	研究水準	◎	→	ここ 10 年持続して高い研究水準を保っている。
	技術開発水準	◎	→	2010 年度は、TOP500 ランキングで 1 位、3 位、4 位を中国、日本に奪われ、10 位までに 5 台しか入らないなど、米国以外の国と比較して技術開発が一時停滞している印象がある。しかしながら、ソフトウェアに関する技術開発は引き続き最高水準にある。
	産業技術力	◎	→	引き続き高い水準を保っている。特に、新しいスーパーコンピュータに多く使われている GPGPU に関する産業技術力は非常に高い水準にある。しかしながら、SUN マイクロシステムズ社がオラクル社に買収されるなど産業の再編に伴う技術低下もあり、総合すると現状維持と判断される。
欧州	研究水準	○	→	一時期ソフトウェアでリードしていたが、近年競争力が失われつつある。欧州の主なコンピューティングセンターがクラスタ型に移行しつつある。
	技術開発水準	○△	→	コンピュータ本体の開発はもとより行われていなかったが、ソフトウェアについては分散的に行われている。
	産業技術力	○	→	欧州独自の技術は少ないが、産業に密着した技術力を使っている。
中国	研究水準	○	↑	国家としての重要項目となっているため、著しく研究が進展しつつある。特に、国立軍事技術大学 (NUDT)、中国科学技術院などにおいて、設置された世界トップレベルのスーパーコンピュータを用いた利用技術の研究が大規模化し、進展している。
	技術開発水準	◎	↑	「天河一号 A」が TOP500 ランキングで 1 位になるなど、発展が著しい。また、プロセッサ技術では龍芯 3 号の実用化、大規模システムへの応用が続いていること、天河一号 A におけるインターコネクトを自主開発するなど、大きな成果を挙げている。
	産業技術力	○	↑	中国は、既に汎用サーバ、パソコンなどの中心的な供給拠点として成長している。2010 年度には、蓄積したサーバ構築技術が具体的にスーパーコンピュータという形で実現し、天河一号 A や深騰 7000 など大型のクラスタ実現技術を保持したことを示した。また、ラック単位で冷却する高度な冷却技術も実現しつつある。
韓国	研究水準	×	↓	研究の中心がより生活に密着した情報技術に移っているために、スーパーコンピュータの研究は盛んではない。2010 年度では、韓国からのスーパーコンピューティングに関連する国際会議発表数も減少している。
	技術開発水準	×	→	半導体開発力はあるものの、スーパーコンピュータへの適用は見られない。
	産業技術力	△	→	スーパーコンピュータへの産業への適用はない。
全体コメント： 一時低迷が見られた日本の開発力は、次世代スーパーコンピュータプロジェクトなどにより、復活しつつあり、2010 年度には一部成果が見え始めている。これを持続させるための施策が重要である。日本のスーパーコンピュータの開発コスト、システムコストが欧米に比べて高いことは、今後の普及に対して問題になるであろう。日本のスーパーコンピュータの開発は、半導体の開発と直結していたが、半導体製造が国際展開し、また分社化が進む等の理由により日本型垂直統合開発が困難となっている。これを、逆に逆として更なる新展開に向かうことが期待される。 2010 年度におけるもっとも注目される出来事は、TOP500 ランキングにおいて中国が第一位を奪取したことに象徴される中国開発力、技術力および資金力の上昇である。中国からの技術情報、研究開発情報が少ないことから、更に注意深く推移を把握することが必要である。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(7) 並列コンピューティング・クラスタコンピューティング

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	引き続き高い研究水準にあるが、今後の並列コンピューティング・クラスタコンピューティングの中心的課題であるファイルシステム、ネットワークシステムにおける研究開発の成果が少なく、現状維持の状況である。 研究プロジェクトとしては、大学とメーカの協同プロジェクトにより、研究が活発となった。
	技術開発水準	◎	→	新しい局面として、大学と日本のメーカが協力して並列技術を用いたスーパーコンピュータの実用化に注力している。
	産業技術力	◎	→	日本は高い設計技術を保有している。ただし、サーバーを作る技術が台湾および中国に移行しており、製造技術が失われつつあることが、今後どのように影響するかは注意を要する。
米国	研究水準	◎	→	インターコネクットの高速化技術をもとにした、クラスタ技術が盛んになりつつある。
	技術開発水準	◎	↗	インターコネクット技術やソフトウェアに関するベンチャーの動きが活発であり、それらが技術開発を牽引している。今までインフィニバンドが独占してきた超高速インターコネクットに、40Gbps および 100Gbps のイーサネットが参入し、選択の幅が広がった。
	産業技術力	◎	→	すべての局面で、クラスタコンピュータが、主力で用いられている。
欧州	研究水準	○◎	↘	一時盛んであった欧州主体の標準化が下火となり、米国の標準を用いて米国と共同研究するようになってきている。並列コンピューティング、クラスタコンピューティングを利用する数値シミュレーション分野での研究開発は、引き続き活発である。
	技術開発水準	○	→	ハードウェアを開発する力は失われていて、新たには出てきていない。アプリケーションソフトウェアには、いくつか見るべきものがある。
	産業技術力	△	→	ハードウェアの産業技術力は失われている。見るべきものはない。
中国	研究水準	◎	↗	並列コンピューティングを用いるスーパーコンピュータ構築技術を中国の自国技術として確立した。研究者の数、論文数は引き続き増加している。SC、ICS 等のトップレベルの学会では、まだ注目されていないが、今後注目されるだろう。
	技術開発水準	○	↗	中国独自の技術力を急速につけはじめている。特に、台湾と中国の垣根がなくなり、台湾の PC を作る技術が中国に導入され、近年技術力を持ち始めている。中国技術のインターコネクットが実現し、インフィニバンドを上回る性能を実現した。また、スーパーコンピュータを実装し、安定稼働させるための大規模システム技術が確立し始めている。
	産業技術力	○	→	現在のところ、多くの大型クラスタコンピュータは中国政府プロジェクトとして実現し、産業的なレベルではまだ高い水準にはなっていない。ただし、PC とサーバーで世界を制覇した台湾との技術者の交流により、着実に力をつけている。
韓国	研究水準	△	↘	研究の中心がより生活に密着した情報技術に移っているために、スーパーコンピュータの研究は盛んではない。
	技術開発水準	△	→	半導体開発力はあるものの、並列コンピュータ、インターコネクット、グリッド、並列オペレーティングシステム等の技術の開発は見られない。
	産業技術力	△	→	見るべきものはない。
全体コメント： クラスタシステムの重要要素であるサーバは台湾、中国製が中心となっている。したがって、台湾、中国がソフトウェア技術力をつけた場合には、大きな脅威になりうる。ハードウェア技術者は米国から中国に戻りつつあるが、ソフトウェア技術者はまだそれほど戻っていない。日本の研究水準は世界のトップレベルにある。多くのシステムでは、Linux を並列化して使っている。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(8) ソフトウェア開発技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	ゴール指向手法では、AGORA 手法 [1], [2] などの一定の成果があるが、その他については遅れている。
	技術開発水準	△	↗	全般的に遅れていたが、(株) NTT データを含む 9 社による、「実践的アプローチに基づく要求仕様の発注者ビュー検討会」[3] など、活動的な技術者や研究者のリードにより急速に立ち上がりつつある。
	産業技術力	△	↗	全般的に遅れている。以前は文化的独自性により表面化しなかったが、国際競争の激化に伴い問題化しつつある。
米国	研究水準	◎	→	オブジェクト指向手法を中心に、欧州と共に世界をリード。なお、ゴール指向手法では、むしろカナダが先行している。
	技術開発水準	◎	→	ソフトウェア開発プロセス全体に関する標準技術開発に伴う、要求分析工程の標準化を特徴として、世界をリードしている。その一方で、アジャイル手法のような、コーディング作業に密着した技術でも先導している。
	産業技術力	◎	→	自国で開発した技術を迅速に現場に適用することにより、先導的な役割を維持している。
欧州	研究水準	◎	→	オブジェクト指向手法やシナリオ指向手法など、米国と共に世界をリード。特にゴール指向手法については、KAOS 手法 [4] の発展などを通じて先導し続けている。
	技術開発水準	◎	→	ゴール指向手法を中心に米国を追っている。
	産業技術力	○	→	米国と比較して全体的に遅れが目立つ。
中国	研究水準	△	↗	国内は遅れているが、欧米で活躍している研究者は輩出しつつあるので、将来大きく進展する可能性はある。
	技術開発水準	×	→	国内での開発はもとより、日本、米国、欧州の技術の導入も目立っておらず、進展が見られない状況である。
	産業技術力	×	→	上述のように、技術的基盤が未整備のため、進んでいない。
韓国	研究水準	△	↗	まだ遅れているが、プロダクトライン工学など、急速に進展している関連分野を持っているので、将来の発展が見込まれる。
	技術開発水準	×	↗	現在はまだ低いが、やはり関連技術の進歩に伴い、将来の発展が見込まれる。
	産業技術力	×	→	関連技術が開発現場に導入されれば進展の望みはあるが、現在はまだ遅れている。
全体コメント： 要求仕様を抜け・漏れなく明確かつ詳細に記述する必要な欧米に比べて、明確な文書化を避ける文化的特徴のために、日本は遅れていたが、ソフトウェア開発のグローバル化に伴い、遅れを取り戻す努力が目立ってきている。一方、ソフトウェア開発プロセス全体に関する技術の多様化に伴い、要求分析技術も多様化し、各国・地域がそれぞれの特徴を活かして発展する可能性が高まっている。				

(参考情報)

- [1] D. Tanabe, K. Uno, K. Akemine, T. Yoshikawa, H. Kaiya, and M. Saeki. Supporting Requirements Change Management in Goal Oriented Analysis, In Proc. 16th IEEE International Requirements Engineering Conference, pp. 3-12, 2008.
- [2] M. Saeki, S. Hayashi, and H. Kaiya. An Integrated Support for Attributed Goal-Oriented Requirements Analysis Method and its Implementation. In Proceedings of the 2010 10th International Conference on Quality Software (QSIC '10), pp. 357-360, 2010.
- [3] <http://www.nttdata.co.jp/cview/>
- [4] A. van Lamsweerde. Requirements Engineering: From System Goals to UML Models to Software Specifications, Wiley, 2009.

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(9) ソフトウェア開発ツール

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	代数的仕様記述の分野では世界をリード。理論的基礎の研究も強いが、ソフトウェア開発技術への発展は遅れている。
	技術開発水準	△	↗	組込みソフトウェアの分野を中心に、急速に進展しつつある。たとえば、(株) NTT データを含む 5 社などによる、Dependable Software Forum「形式手法適用評価ワーキンググループ」[1] の活動がある。
	産業技術力	△	↗	欧米に比べて遅れていたが、モバイル FeliCa チップの開発や、CSK システムズ社の証券会社向けシステムの開発に、形式仕様記述言語 VDM が適用されるなど、急速に進展してきている。
米国	研究水準	◎	→	欧州と共に世界をリード。特に、モデル検査技術とプログラム検証技術は他国を引き離している。
	技術開発水準	◎	→	世界をリードしていると思われるが、国防産業が中心のため、詳細は不明な部分が多い。なおモデル検査技術に関しては、NASA の SPIN [1]、Cadence 社の SMV [3]、および Microsoft 社の SLAM [4] など、多くのツールを輩出。
	産業技術力	○	→	モデル検査技術を中心に世界をリード。たとえば、NASA では各種制御プログラム、また Microsoft ではデバイスドライバに対し、モデル検査技術を適用し、多大な成果を挙げている。
欧州	研究水準	◎	→	米国と共に世界をリード。特に、形式仕様記述手法は他国を引き離している。
	技術開発水準	◎	→	形式仕様記述手法に関する商用ツールが充実するなど、この分野を中心に世界をリード。たとえば、B メソッド [5] における英 B-Core 社の B-Toolkit [6] や仏 ClearSy 社の Atelier B [7]、および VDM [8] におけるデンマーク IFAD 社の VDMTools [9] など。
	産業技術力	○	→	公共システムの分野を中心に世界をリード。たとえば、鉄道システムへの形式仕様記述言語 Z や B メソッドの適用が報告されている。
中国	研究水準	△	↗	これまで遅れていたが、2010 年に、形式手法における高レベルな国際会議の 1 つである、International Conference on Formal Engineering Methods (ICFEM) が開催される [10] など、急速に進展しつつある。
	技術開発水準	×	→	研究水準と同様に、潜在能力はあると思われるが、まだ発揮されていない。
	産業技術力	×	→	目立った成果がなく、遅れている。
韓国	研究水準	△	↗	一部の大学や研究機関が研究グループを有しているが、特筆すべき成果はまだない。
	技術開発水準	×	→	政府による原子力プロジェクトへの適用事例などが報告されているが、全体的に大きな進展は見られない。
	産業技術力	×	→	目立った成果がなく、遅れている。

全体コメント：

形式手法は、その基盤である数学的理論の応用に強みを持つ欧米が常に世界をリードしてきたが、産業応用の有効性に限界があると考えられたため、日本を含む他地域は遅れていた。しかし、近年組込みシステムや高信頼システムなど、形式手法が有望視される分野の広がりに伴い、それら他地域の追い上げが見られるようになってきた。特に日本と中国は、数学的理論そのものの研究にはそれぞれ強みがあり、今後の進展が予想される。

(参考情報)

- [1] <http://www.nttdata.co.jp/dsf/wg.html>
- [2] G. J. Holzmann. The SPIN model checker: Primer and reference manual. Addison Wesley, 2004.
- [3] Edmund M. Clarke, Orna Grumberg, and A. Peled. Model Checking. MIT Press, 1999.
- [4] <http://research.microsoft.com/en-us/projects/slam/>
- [5] J.-R. Abrial. The B-book: assigning programs to meanings. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1996.
- [6] <http://www.b-core.com/btoolkit.html>
- [7] <http://www.atelierb.eu/index-en.php>
- [8] C. B. Jones. Systematic Software Development Using VDM (2nd ed.). Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1990.
- [9] <http://www.vdmtools.jp/>
- [10] <http://www.sei.ecnu.edu.cn/icfem2010/>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(10) マルチメディアシステム

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	映像技術に関しては、伝統もあり強い。映像解析関係では、大学を中心に研究が行われている。マルチメディア全般に関しては、企業の研究所でも研究が進められているが、国際的な学会会議では、以前に比べて、十分に見えない。
	技術開発水準	◎	→	AV 機器、デジカメ、モバイル機器などハードの観点からの技術開発水準は、従来どおり、高い。(デジカメにも顔検出、笑顔検出などの新機能まで組み込んでいる)
	産業技術力	○	→	ハードの観点からの産業力は高いものの、マルチメディアを基にした新しいサービスの展開に弱い。
米国	研究水準	◎ ⁺	→	コロンビア大学、カーネギーメロン大学を始めとした大学、マイクロソフトリサーチ、IBM、FXPAL 等の企業研究所の活動とも学術的な技術レベルは高い。
	技術開発水準	◎	→	NIST での TRECVID は、世界的な評価ワークショップとして機能し、映像解析分野の先導役を果たしている。
	産業技術力	◎	↑	ソーシャルメディアをはじめとして、マルチメディアを利用した新しいサービス展開は米国を中心に進んでいる。
欧州	研究水準	◎	↑	EU 内の多くの組織で取り組みが行われており、研究活動の多様性に優れている。この分野への重点的な振興もそれを推している。
	技術開発水準	◎	→	ノキアなどのモバイル関係、フィリップスなどの映像関係と技術水準も高い。
	産業技術力	◎	↑	マルチメディアとアートの融合を主導し、新産業の創出にも力を入れているように思われる。
中国	研究水準	◎	↑	国際的な学会会議での論文が急増し、存在感が大きく増した。マイクロソフトリサーチアジア（北京）との連携、シンガポールとの連携など、活動は活発である。一方、特定の課題に集中し、多様性に欠けるところがある。
	技術開発水準	◎	↑	マイクロソフト、インテル、IBM といった企業の研究所が活躍し、技術開発水準は高まっている。
	産業技術力	△	→	不明
韓国	研究水準	△	→	存在感が薄い。
	技術開発水準	◎	→	サムスン 1 社がハード関係で目立つが、それ以外に目立つものがない。
	産業技術力	△	→	不明

全体コメント：

これまで TV などの民生機器で強かった日本企業のイメージは強く、また、デジカメをはじめとして、高機能モバイルアプリケーション、ゲームなど、日本企業がユニークな立場にいる部分もあり、日本の研究・技術・産業に対しては、その先端的なものを生み出す可能性への敬意が払われていると思う。しかし、ここしばらくの間、国際的な学術発表などの場でのプレゼンスが低下する傾向が続き、その状況もかなりぎりぎりのところに来てしまっているのではないかという懸念を抱いている。研究開発を進めるとともに、新産業へつなげる取り組みが必要である。

マルチメディア技術全般については、パーソナルメディア、ソーシャルメディアに関わる取り組みが一層活発化している。より大規模なデータを扱うことが求められるとともに、ソーシャルメディアの情報を活用した処理が進んでいる。マルチメディアのコンテンツ処理については、高次処理へ向けての研究も継続し、TRECVID という評価ワークショップがその促進の役目も果たしている。なお、マルチメディアの初期からの課題である画像の類似検索の技術は、検索エンジンのイメージサーチと関連して実用化されるようになった。今後、より一層マルチメディア関係の技術が、具体的なサービスへつなげる試みが期待される。マルチメディア技術を用いたアートへの取り組みも注目を集めるようになり、新産業の創出への期待を感じさせる。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(11) チップマルチプロセッサ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↗	先進的な研究開発が行われており、現在も続いている。国際的な業績はアーキテクチャ分野に多かったが、早稲田大学 OSCAR API などのソフトウェア技術も汎用向けとして充実してきた。いっぽうで、研究者の層が今一步であり、水準の高さに比較して成果は局所的な印象を受ける。
	技術開発水準	○	→	組み込み用途向けの完成度は高いが、サーバ・PC 向けはやや弱い。汎用技術としての展開が可能であるものも多いが、カスタマ指向が強いのが壁となっているようだ。
	産業技術力	○	→	東芝 Cell をはじめ、ルネサス社の SH、IMAP など、優れたチップマルチプロセッサが開発されている。問題は純粋な技術力というよりは、市場開拓力であり、戦略的技術開発が十分でないといえよう。
米国	研究水準	◎	↗	有名大学、Intel 社、AMD 社、IBM 社などで研究が進められており、サーバ、PC、組み込みなどすべての用途に対して強力といえる。
	技術開発水準	◎	↗	汎用では、Intel 社、AMD 社の技術開発力が圧倒的に高く、いわゆる x86 系のマルチコアは以前に増して標準品となった感が強い。ソフトウェアにおいては、マルチコア向けの Windows 系がやはり強い。近年では、グラフィック向けプロセッサなどの研究開発も盛んになっている。
	産業技術力	◎	→	サーバや PC に搭載するものは、Intel、AMD による寡占状態である。組み込み分野も、ARM に対抗する Intel ATOM が台頭してきている。ソフトウェアにおいては、マイクロソフト社に加えて、グーグル社が Chrome などでも参入しており、はげしくしのぎを削っている。より多くのプロセッサを載せるメニーコアについては、Intel のシングルチップ・クラウドコンピュータが普及するかどうか鍵を握っている。
欧州	研究水準	◎	↗	スペインのカタルーニャ工科大学など少数の拠点で盛んである。少数の拠点であり、米国に比べると規模において見劣りするが、質的には高い。
	技術開発水準	○	→	組み込み向けは強く、高い技術水準にあるが、米国ほどの全面的な展開は見られない。
	産業技術力	○	→	ARM 社が組み込み向けで圧倒的なシェアをもつ。
中国	研究水準	○	↗	発展途上であるが、近年、論文数などが伸びている。中国科学院では、Godson-3 と呼ばれるチップマルチプロセッサを開発中であり、注目されているが、技術的新規性は見えにくい。
	技術開発水準	△	→	独自のチップマルチプロセッサの登場は間近と思われるが、上記 Godson-3 などの展開を注意深く観察する必要がある。
	産業技術力	△	→	キャッチアップから独自開発への道が明らかにされつつある。台湾は強力。
韓国	研究水準	○	↗	大学での研究は急進している。
	技術開発水準	○	↗	独自アーキテクチャは見えにくいですが、半導体技術力が優れており、マルチコア組み込みチップを作る技術力はある。
	産業技術力	△	→	産業技術力はまだまだの感があるが、人材育成力は高く、サムソン社のような大企業を背景とした展開が想定される。
全体コメント： サーバ向けから組み込み向けまで、アーキテクチャ、ソフトウェアともに米国の力が強い。日本には、1990 年代からチップマルチプロセッサに関する優れた研究があり、企業の開発力も備わっている。商業的な成功に結びつけられていないのは、ソフトウェア技術の不足、国際標準化への努力不足などによるが、車載用・家電用など、本邦の強い分野はいくつもあり、これからの展開が大いに期待されることである。欧州は、やはり ARM 中心の動きであるが、少数の拠点による学術的貢献は大きなものがある。中国は、Godson-3 プロジェクトなどを国家戦略的に進めており、米国より帰国した研究者と連携した動きになれば、一気に研究開発・産業化が加速する可能性がある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(12) 省電力情報処理技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	学会などで発表が盛んであり、進んだ議論がなされている。フラッシュメモリなどのデバイス、回路は、トップの国際会議発表も盛んであり、世界的に見て高水準にあるといつてよいが、発表が若干減少傾向にあるのが心配材料である。アーキテクチャ研究も盛んであるが、未だ米国には及ばない。ソフトウェアによる省電力の研究は、OS やミドルウェアのレベルではさかんに行われているが、アプリケーションやアルゴリズムのレベルでは今一步である。デバイス、アーキテクチャ、ソフトウェアを横断する研究も行われるようになっており、今後の成果が期待される。
	技術開発水準	○	→	デバイス技術は高いが、近年では台湾が台頭してきている。回路技術は最高水準といつてよい。アーキテクチャ基本技術はかなり高くなってきた。技術開発のレベルでは、システムオンチップ (SoC) をはじめ、汎用分野の水準もあがった。一方で、製品開発の分野では、あいかわらずカスタム指向が強い。
	産業技術力	△	↘	携帯電話をはじめとした組み込み機器の省電力化に強みがあり、高い産業技術力があるが、ガラパゴス化が大きな問題であり、発展途上国を含む他国に普及させるための戦略に乏しい。結果として、本分野の高い技術が利益につながっていない。データセンタ、スーパーコンピュータなども活発に開発・展開されているが、米国には今一步、及んでいない。
米国	研究水準	◎	↗	デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアの全分野においてトップの実力を維持している。データセンタ、スーパーコンピュータなどの省電力化は国家戦略の一環でもあり、従来から国防費を使って進めてきたが、さらにグリーン化が歌われるようになって、ますます強力になっている。
	技術開発水準	◎	→	デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェア分野に至るまで、技術開発水準は世界トップを維持している。
	産業技術力	◎	↗	デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアまで、全般的に最も強力である。技術水準が高いというばかりでなく、市場開拓力や消費者にイメージを提供して誘導する力がとても強い。近年では、Google や Facebook のデータセンタ、Apple iPhone/iPad など、新しい応用分野を開拓してきている点が重大なポイントである。
欧州	研究水準	◎	↗	デバイス技術では、IMEC(Interuniversity Microelectronics Centre) が世界トップクラスの業績をあげている。また、スペインでは、カタルーニャ工科大学などでアーキテクチャの研究が盛んである。また、スイス連邦工科大学などでもデバイスからアーキテクチャまで幅広く研究が行われている。さらに、HiPEAC (High-Performance Embedded Architecture and Compilation) も設立され、全欧州的な動きも活発になった。以上のように、研究水準は世界トップクラスになったといつてよい。
	技術開発水準	○	→	米国・日本のような総合力はないが、ARM を中心とする組み込み分野では支配力がある。
	産業技術力	○	→	ノキア、エリクソンなどの力が強いが、一部撤退の動きもある。ARM は強力であり、フリースケール社、ST マイクロエレクトロニクス社などの動きも活発である。
中国	研究水準	△	→	大規模スーパーコンピュータの開発に成功するなど、めざましい成果があるが、省電力要素技術は輸入のものが中心である。清華大学なども少しずつ論文発表をするようになってきた。米国帰りの研究者が目立って増えているので、これから強力になっていくと思われる。
	技術開発水準	△	→	インテル、マイクロソフトなどが中国に研究所を作っており、これから研究が盛んになる可能性がある。なお、台湾のデバイス技術は抜群のものである。
	産業技術力	△	→	今のところ輸入技術中心。台湾は旺盛。温暖化への取り組みの遅れなどから見ても、開発コンセプトは省電力よりも高性能・効率にあるといえるかもしれない。
韓国	研究水準	○	↗	ソウル大学、サムソン社が中心で、省電力デバイス技術がさかんに研究されている。特に大学の水準は確実に向上している。
	技術開発水準	○	↗	デバイス技術についてサムソン社中心で進歩が著しい。最近では、システム LSI アーキテクチャ技術も進んできている。
	産業技術力	○	↗	デバイスだけでなく、組み込みシステム LSI 分野全体をねらった動きが見られる。
全体コメント： この分野は、スーパーコンピュータやデータセンタなどの大規模システムの省電力化と、携帯電話や音楽プレイヤーなどの小型機器のバッテリー寿命の延長が二つの大きなテーマとなっている。これには、デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアのすべての要素技術、統合化技術が必要だが、米国は全分野でトップを維持し続けている。豊富な国防研究予算に加え、IBM、Google、Apple といった今を代表する企業を中心にいるのも強みであり、市場開拓と技術開発を同時に行うダイナミックさも米国ならではの強みである。いっぽうで、欧州は HiPEAC に代表される域内協力がさかんであり、ARM など組み込み系の省電力分野でトップに立つようになった。中国では省電力はまだ輸入技術だが、有力企業・研究者が本土に集うようになっており、これからこの分野でも急進する可能性が高い。韓国は大学・企業の実力とブランド力の向上がめざましく、デバイス・アーキテクチャの両方で飛躍をとげている。アジアでは、特にデバイス・回路で台湾が最も注目される。日本の場合は、デバイスからソフトウェアまで研究開発において一流のものが見られるが、これが国際市場開拓の戦略と一体化していない問題がある。 これからは、デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアのそれぞれの技術を向上させるとともに、最適な役割分担を決めていくことが必須であり、それぞれの分野を統合する総合力と、リスクをとりながら進むための決断力が試される時代を迎えているといえよう。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(13) リコンフィギュラブルシステム

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	電子情報通信学会リコンフィギュラブルコンピューティング研究会が設けられているなど、盛んに研究が進められており、国際会議発表も多い。近年では、用途を限った HPC 向け、省電力、高信頼化などの研究も行われている。
	技術開発水準	◎	↗	全体のカバレッジは、米国 Xilinx 社、Altera 社には及ばないものの、新しい製品開発の動きがあり、粗粒度のものは商用機に応用されるなど、展開が見られる。
	産業技術力	○	↘	ルネサス社 XBridge など汎用商用チップもあるが、淘汰の時期を迎えている。ハイパフォーマンス向けは、グラフィックプロセッサによる方式が強力なため、対象分野を得意分野に絞って展開をはかっている。
米国	研究水準	◎	↗	デバイスから応用まで、引き続き網羅的で高い水準の研究が進められている。
	技術開発水準	◎	↗	細粒度のリコンフィギュラブル VLSI では、最高水準を保っている。スーパーコンピュータへの応用はやや後退したが、通信など、多くの応用分野の開拓がなされている。省電力、高速シリアルインタフェースなどの導入も進められている。
	産業技術力	◎	↗	引き続き、Altera 社、Xilinx 社の市場支配力が圧倒的である。同時にベンチャー企業が出てきており、新しい展開がはかられているが、未だビジネスとしての成功例には乏しい。ARM などのハードコアとの組合せも盛んに行われている。
欧州	研究水準	◎	↗	ドイツ、イギリス（ケンブリッジ大学、インペリアル・カレッジなど）の大学などで引き続き盛んに研究が進められている。また、応用の研究開発は本邦より盛んである。IMEC など国際機関での熱心な活動もある。
	技術開発水準	○	→	製造やツール開発は米国に譲る。
	産業技術力	○	→	有力な製造会社はないが、設計の技術力は高く、また、FPGA 応用の会社がある。
中国	研究水準	◎	↗	応用研究が急進し、ほぼ日本と同水準になった。粗粒度リコンフィギュラブルプロセッサの研究を清華大学中心の国家プロジェクトで開発中である。2010 年、国際会議 ICFPT(International Conference on Field Programmable Technology)を開催し、過去最大数の参加者を集めるなど、プレゼンスを高めるのにもたいへん意欲的である。
	技術開発水準	△	→	応用技術中心。基礎研究に転じるには少し時間がかかりそうである。
	産業技術力	△	→	直近の研究成果を産業化するにはいくつかステップを踏む必要があるが、産業に転じれば発展は早いと思われる。
韓国	研究水準	○	↗	応用研究が中心であったが、最近、粗粒度リコンフィギュラブルシステムの研究が立ち上がってきた。国際会議 ICFPT は、2013 年にはソウルで開催される。
	技術開発水準	△	→	研究成果を技術開発に転じるタイミングをはかっている時期である。
	産業技術力	△	→	ASIC 中心の産業界の関心はまだ高くない。サムソンなど、半導体技術は世界トップクラスなので、リコンフィギュラブルシステムに転じれば大きく発展する可能性はある。
全体コメント： 米国の Xilinx、Altera が基本特許をもっていたが、期限が切れたため、日本をはじめとする多くの企業が参入する余地が生じた。しかしながら、細粒度のリコンフィギュラブルシステムについては、これら 2 社以外の企業はビジネス的に大きな成功をみていない。粗粒度については、はげしい競争が展開されている。研究的には、米国だけでなく、日本・欧州に優れたものがあり、また、近年の中国の技術開発戦略は継続的に注視しておく必要がある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(14) 自然言語処理

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↘	多言語処理では後れをとるが、1980年代の投資効果が維持され、研究グループの質、量ともに世界の最高水準を維持している。ただ、長期にわたる研究目標は希薄で、競争力を失いつつある。
	技術開発水準	○	→	抽象的な理論構築よりも具体的なシステム構築を行うのが得意で、水準は高い。ただ、米国のベンチャーを中心とした迅速な技術開発と比べるとスピード感がない。
	産業技術力	○	↗	グーグル、マイクロソフトのように、言語処理に大きな資本を投入できる企業がない。また、ヨーロッパのようなこの分野のSMCに対する補助も少ない。しかしながら、言語資源を共有する産学のコンソーシアム（Alagin、GSK）など、産業界と学界とが連携する動きが近年、活発化するなど、望ましい動きも顕在化しつつある。
米国	研究水準	◎	→	多言語処理、機械翻訳、情報分析に大きなプロジェクトをもち、研究者人口も格段に多い。
	技術開発水準	◎	→	ウェブ検索に大きな資本を投入する企業が次世代技術のコアとして言語処理に大きな資本を投入。また、小規模な企業でも、優秀な技術者を抱えて迅速な技術開発を行う
	産業技術力	◎	→	米国製というよりも、米国発の多国籍企業が市場を寡占している。また、小規模な企業で言語処理に特化した製品をもつ企業も多い。
欧州	研究水準	◎	↘	地域の特性を生かして多言語処理の研究水準はたかい。また、理論言語学と言語処理を結びつける理論の研究では、米国を凌駕する面もある。EU内での代表的な研究グループをまとめるMETA-Netや、EUが主導権をとって、世界の有力グループをメンバーとするFlareNETなどを組織するなど、技術の標準化を目指したイニシアティブを積極的にとっている。
	技術開発水準	○	→	理論への偏りや国際的な連携を重視しすぎて、具体的な技術開発に結びつかない面がある。
	産業技術力	◎	→	グーグル、マイクロソフトのような世界を支配するような産業技術力はない。ただ、米国と並んで出版業が強く、言語処理技術を組み込んだ新たな出版形態の創出や、各国語を対象とする技術をもったSMCも多い。ヨーロッパの巨大出版会社が言語処理を利用した情報サービスへと移行しつつある。多言語の処理技術では、他の地域を圧倒する技術力を持ち、その産業化にも成果を上げている
中国	研究水準	○	↗	機械翻訳、中国語処理では世界水準に達したグループが多い。トップクラスの国際会議などの発表が急激に増えており、研究の質も飛躍的に向上している。ただ、それ以外の言語処理技術（情報抽出、関係抽出など）や理論的な研究では、米国・日本・ヨーロッパの技術水準と比べると劣る。
	技術開発水準	○	↗	米国・日本の企業の研究所が中国にあり、そこで技術開発を行っている。中国に作られた研究所の一部では、本体の企業の研究所の力を超えた技術開発を行うところもある
	産業技術力	○	↗	中国語処理を使った検索エンジンなど、独自技術の産業化も進む。日本企業よりもスピード感がある技術開発を行っている。
韓国	研究水準	△	↘	研究活動はある程度活発であるが、広い注目を集める成果は得られていない。ウェブアプリケーションなど、応用への指向性が強く、言語処理の基盤的な研究への投資は減少している。
	技術開発水準	△	→	製品に直結する技術の開発力は一定の水準にあるが、国際水準には至っていない。
	産業技術力	○	↗	韓国語処理を取り込んだ検索エンジンで韓国企業が独占する状態であり、海外の企業が入り込めない独特の国内マーケットを作っている。国立の研究所が開発した機械翻訳の技術をライセンスされた企業がそれを特許翻訳に特化した韓国語・英語の機械翻訳システムとして産業化するなど、研究機関と産業界との協力において、優れた成果を上げている。
全体コメント： 言語処理技術は、国ごとの特殊性が強く、比較が難しい面がある。ただ、地域や国を超えた、影響力のある研究・技術開発を行うことができるのは米国、日本、ヨーロッパで、その中でも米国がリードしている。米国、ヨーロッパが言語処理技術に関する国家戦略を持つのに対して、日本がそれを欠いていることから、日本の研究水準の維持が困難になりつつある。また、海外にいる中国人研究者の活躍が目立つこと、また、彼らが中国に帰ったり、中国内のグループと共同研究を行ったりすることも多く、中国の存在感が急速に大きくなっている。中国、韓国、台湾などと協力を進めることで、EUがヨーロッパ圏での多言語処理に優れた成果をあげているように、日本はアジア圏の言語をとりあつかう技術の研究・開発に焦点を当てるといった明確な戦略が必要となっている。				

(註1) フェーズ[研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

2.3.3 注目すべき萌芽的技術動向

(1) Web 情報システム

Web 情報システムに関連する最大の課題はプライバシー問題 [1] とセキュリティ問題であり、これに関する研究開発動向に注目する必要がある。

2006 年に起こった AOL による情報漏洩事件においては社会保険番号 (SSN) が公開されてしまった。ネット上でいったん漏洩された情報は回収することは不可能であり、将来にわたり深刻な不安が継続してしまう。

Web 以前から存在したプライバシー問題と Web 世界におけるそれとの大きな差は、Web においては検索技術が高度化し、従来ならば発見が難しい情報も比較的簡単に入手可能となり、また、公開情報である断片的な個人情報を組み合わせて個人を特定する、個人の全体像を再構成することが可能になってきたことである。SNS (Social Networking Service) やブログにより、個人が個人の側から個人の意図で情報を提供する状況において、個人のプライバシーを如何にして保護するかという技術に関する研究も不可欠である。また、日本においても基礎年金番号などの個人 ID が存在する現状において、これら ID を軸に断片的個人情報を再構成する技術が台頭してくることが予想される。すなわち、従来からのミスによる情報漏洩の防止技術、犯罪としての情報窃盗の防止技術だけでなく、Web 検索技術の高度化に起因するプライバシー問題に対応する必要がある。

また、Web 上の情報がテキストのみから、画像 (静止画、動画)、音へと拡張されることによる新たなプライバシーの問題も顕在化してきた。例えば、個人がブログ内に貼った写真、Google Street View の写真の背景にたまたま写っていた自動車のナンバープレートから、その個人が意図しなかった情報が漏洩する可能性が出てきた。すなわちプライバシーのマルチメディア化に対応する技術の検討も必要である。

さらに、これまで合意が形成されていなかった Web 世界における個人情報の取り扱いに関して、グローバルなプライバシー標準策定の動きもある。日本としてはこれらの課題を直視し、Web 情報システムにおけるプライバシー問題に関する研究開発動向をウォッチすること、及び技術だけでなく法整備も含めた国家的検討をすることが必要である。

また、セキュリティ問題に関しては、2007 年から 2008 年にかけてエストニアやグルジアといった国がサイバー攻撃され、これらの国のネットワークが麻痺するという事件が発生した。このような攻撃をしかけるグループの技術は向上していると言われ、日本も社会インフラを麻痺させられる危険に晒されている。

そして、機密情報を Web において曝露する WikiLeaks の問題が台頭してきている。WikiLeaks は曝露情報を投稿した情報源の匿名性が担保されるように構築されているが、そこで使用されている技術は、高度ではあるが、そのためだけに開発された革新的技術ではなく、複数の既存ソフトウェアをベースにしている。このことは、革新的な技術を開発しなくとも、地球規模で世を震撼させるシステムを構築できることを示していると言える。セキュリティ研究というと一般的には暗号鍵の安全性、頑強性の研究、ウィルス、スパムの検出と防御の研究を思い浮かべることが多かったが、上記の課題を含む広範なインターネットセキュリティに関する研究開発動向のウォッチと、技術だけでなく法整備も含めた国家的検討も急務であると考ええる。そうでないと、日本としての立場からの WikiLeaks の今後を予測することはむずかしい。

〈参考情報〉

[1] 市川類：「インターネット・サービスとプライバシー問題」，ニューヨークだより 2007 年 10 月号、独立行政法人 情報処理推進機構 <http://www.ipa.go.jp/about/NYreport/200710.pdf>

(2) データベースとデータマイニング

21 世紀に入り、人類の創出する情報量は爆発的に増大しつつあり、情報爆発時代に突入したと言える。現在、大きく分けて二つの視点からのアプローチが存在する。一つは、Web に代表される情報源に対して人々が情報オーバーロディングとなっていることを動機として、真に欲する情報を容易に獲得できる様に高度な検索機構を探求する方向の研究である。もう一つは、従来は手にできなかった膨大な情報が利用できるようになった結果として、そこから何らかの価値を生み出そうとする方向の研究である。前者は、過去 10 年間に渡って Google, Yahoo! を代表としたインターネット規模検索エンジン企業や Microsoft, IBM などの巨大 IT 企業によって追求されてきた方向である。一方、2010 年から特に重要と思われる方向は後者、つまり、「大量情報からの価値創出」である。そこでは、Web やブログ、Twitter などの前者に近い Web 発信情報だけでなく、都市交通における道路網の車の流れ、個人単位の携帯電話の位置情報や利用情報、駅の混雑、電力網に代表される生活基盤網の稼動データ、など、人間の生活そのものから生成されるあらゆるデータが価値創出の対象として扱われる。2007 年以後、本報告書では、センサーデータベースやプライバシー保護技術、メガスケールデータシステム技術 [1,2,3]、情報統合利用技術、などの各技術項目の流れを重視すべきであることを指摘してきたが、今後は、これらの技術潮流が、サイバー空間と現実の空間（フィジカル空間）を連係したサイバーフィジカル空間の実現という方向で活発化すると考えられる。この方向は現在、IBM の smarter planet 構想 [5] や米国における smart grid や Cyber Physical System 構想 [4] など、次の 10 年間を見通したシステムコンセプトとして発表されており、日本としても積極的な技術開発を行う必要がある。そのために最も中心的な役割を果たす IT 技術は、大量情報を入れる器としてのデータベース技術、及び、高価値創出のためのデータマイニング技術である。

研究の動向として、高価値創出の見地から言えば、多様なセンサーからの情報を管理するストリームデータ管理、高度な publish/subscribe を可能とするシステム、流れるデータに対するストリームマイニングアルゴリズムの重要性は益々高まっている。膨大なデータを高速に探し出すべく、確率的探索手法や、多様な軸からの検索・分析を可能とするスカイライン技法なども研究が活発である。また、車の移動軌跡データに代表される移動体から生成される観測データから価値創出を行う軌跡データマイニングなどは特に重要であり、従来よりも一層多様な角度からの研究が活発化している。これを受けて、プライバシーを保持したデータマイニング手法の研究が飛躍的に重要になってきている。現実世界の生活から生成された多様な巨大データからいかにプライバシーに留意しつつ高価値サービスを実現するかという見地からの新しい価値創出の研究が活発化している。また、サイバーフィジカル情報を視野に入れて、従来の半構造・構造データとは桁の違う複雑さや多様性のある情報を対象にしたデータ利用技術が求められている [6]。この方向では、半構造やグラフ構造で表される複雑なデータを対象にしたデータマイニングや検索技術も活発化している。とりわけ、Google が発表している Pregel [7] のように巨大情報をグラフデータとして扱うためのプラットフォーム技術や Fusion Table [6] のような情報統合を向いた検索エンジン技術は印象的である。

一方、システム技術の観点からは、極めて多機能化し複雑化した DBMS (Database Management System) の管理のオートノミック化が企業を中心に大きな課題となっている。この方向はいわゆるクラウド技術と深い関連があり、既存のクラウドシステム上で多様なデータベースサービスを実現する方法も盛んに研究されている。あわせて、電力指向のデータ管理や問合せ技法として、クラウド上の消費電力を考慮した問合せ処理やセンサー網の電源管理を考慮した問合せ処理などの技法も引き続き行われ

ている。このように、価値創出のためのデータベース問合せ処理やデータマイニング技術、および、それらを支えるシステム技術の 2 点が今後のサイバー空間およびフィジカル空間の大量情報に基づいた社会を支える中心的 IT 技術になることは確実であり、日本としても重点的な研究開発が欠かせない領域である。

本領域は、超高速インターネット、超大規模 Web、Blog, twitter を始めとする多様なメディア検索エンジン、クラウドコンピューティング、データインテンシブコンピューティング、エナジープロポーションナルコンピューティング、超大規模な eventual consistent ストレージ、高付加価値化のための高度なパーティカルデータマイニング技法、などを包含しているが、これらを統合して国家レベルの大規模『知識インフラ』を実現する基盤技術とも言える。知識インフラは第 4 期科学技術基本計画においても言及されているところである。

〈参考文献〉

- [1] Dean, J. and Ghemawat, S.: MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters, CACM 51(1), pp.107-113 (2008).
- [2] NoSQL, <http://en.wikipedia.org/wiki/NoSQL>, Retrieved on April 15, 2010.
- [3] Ratzesberger, O.: eBay, Inc. Enterprise Analytics on Demand, Keynote Speech, USENIX FAST 2010, <http://www.usenix.org/events/fast10/tech/slides/ratzesberger.pdf>
- [4] Lee, E.A.: Cyber Physical System: Design Challenges, Univ. California, Berkeley Tech. Rep., UCB/EECS-2008-8.
- [5] IBM, <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en>
- [6] H.Gonzalez, A.Y.Halevy, et al., Google fusion tables: web-centered data management and collaboration, ACM SIGMOD 2010, pp.1061-1066.
- [7] G.Malewicz, et al., Pregel: a system for large-scale graph processing, ACM SIGMOD 2010, pp.135-146.

以下、前年度までにあげた項目の進展も含め、新しい技術潮流を列挙する。

① プライバシー保護データマイニング

今日に至るまで多様なデータマイニング技法が研究されているが、その一方で、データベースを公開利用するときに個人の特定を不能とするプライバシー保護を行う必要がある。この考え方を、プライバシー保護データマイニング (Privacy Preserving Data Mining) とか、データ公開利用のための保護技術という意味から、プライバシー保護データ公開 (Privacy Preserving Data Publishing) と呼ぶ。伝統的な統計的技法の流れでは、2000 年に相関ルールデータマイニングの提唱者である R.Agrawal 博士 (当時 IBM) が個々のデータの値をある程度かく乱しつつもデータの自動分類木作成を適切に行う方法 [8] を提案したことから始まる。2010 年現在、Microsoft の LINQ と呼ばれる大規模データ分析用プログラム言語でも同系統の手法が取り入れられたプライバシー保護つきデータ分析用言語 PINQ がある [9]。一方、個々のデータの識別子 (ID) を隠蔽しても、データマイニングの分析結果から容易に特定の性質を持ったデータの ID を判定できる可能性がある。これを防ぐため、データの属性値を部分的に隠蔽し、ある性質をもったデータが少なくとも k 個存在する事を常に保証し、当該データ間では識別不能にするという技法 (k -匿名性) が考案されている [10]。しかし、そのような最適なデータベースの作成問題は NP 困難 (計算の複雑さを表す「複雑性クラス」の一つ “NP” に属する問題と同等かそれ以上に困難であること) である。その後、近似計算アルゴリズム [11]、 k -匿名性とは異なる別のデータ保護基準 (l -多様性や t -closeness) が提唱されてきた。この 2 年間では、こうした基準の提案は一段落して、この考えを位置情報や移動軌跡データの分析処理において如何に上手く適用するか、に注力されるようになってきた。例えば、RFID の記録データへの保護方式 [12] や移動体軌跡データへの k -匿名性の適用モデル [13] などの研究が見られる。このように、本領域の研究は、理論的解析や単純な関係データの匿名化処理の効率向上などに留まらず、個々の現実世界のデータへの攻撃とプライバシー保

護方法という領域に進んできたと言える。

〈参考文献〉

- [8] R. Agrawal, R. Srikant, "Privacy Preserving Data Mining," ACM SIGMOD 2000, pp.439-450, 2000.
- [9] F. McSherry, "Privacy Integrated Queries: an Extensible Platform for Privacy-Preserving Data Analysis," C.ACM, Vol.53 (No.9), pp.89-97, Sept. 2010.
- [10] L. Sweeney, "k-anonymity: a model for protecting privacy," Int. J. on Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, 10 (5) :557-570, 2002.
- [11] H. Park, K. Shim, "Approximate Algorithms for k-Anonymity," ACM SIGMOD '07, pp.67-78, 2007.
- [12] B. C. M. Fung, K. Wang, R. Chen, P. S. Yu, "Privacy protection for RFID Data," ACM SIGAPP Symp. Applied Computing (SAC), pp.1528-1535, 2009.
- [13] N. Mohammed, B. C. M. Fung, M. Debbabi, "Walking in the crowd: Anonymizing trajectory data for pattern analysis," ACM CIKM, pp.1441-1444, 2009.

② データスペースと情報統合技術

関係データベースや XML データベースなどを対象に、多様な情報を一つのデータベースとして統合して検索利用する研究を、情報統合 (Information Integration) と呼ぶ。現在では、あらゆる非構造データ、XML などの半構造データ、関係データベースなどの構造データ、時空間データ、などを対象にして、要求に応じて妥当な情報統合環境をすみやかに実現しようという研究が注目されている。このような考え方を、過去の単純な異種関係データベース間の情報統合技術と区別して、データスペース (Data Space) と呼ぶ [14]。具体的には、ユーザによるフィードバックを通しながら適当な情報源自体を見つける技術、相異なる情報源のうち対応する可能性の高いスキーマや属性の半自動検出や統合検索の技術、あるいは、複雑な情報スキーマを知らなくても適切に質問できるようにキーワード検索を統合グラフデータモデル上で実現する、などの試みがなされている [15,16,17]。Pregel[18] などのグラフデータベース技術とも密接に関連しており、現実には時空間データなど多様なデータが Web 上に増えたことから、単純な Web 検索エンジンとは異なる検索サービスとして今後重視される領域である。

〈参考文献〉

- [14] A. Halevy, D. Maier, "Dataspaces: The Tutorial," VLDB' 08, tutorial, 2008.
- [15] M. Sayyadian, 他, "Efficient Keyword Search Across Heterogeneous Relational Databases," IEEE ICDE 2007, pp.346-355, 2007.
- [16] P. P. Talukdar, Z. G. Ives, F. Perera, "Automatically incorporating new sources in keyword search-based data integration," ACM SIGMOD 2010, pp.387-398, 2010.
- [17] M. A. V. Salles, 他, "iTrails: Pay-as-you-go Information Integration in Dataspaces," VLDB' 07, pp.663-674, 2007.
- [18] G. Malewicz, et al, "Pregel: a system for large-scale graph processing," ACM SIGMOD 2010, pp.135-146, 2010.

③ センサストリーム処理技術

無線 IC タグや電力網監視などに代表される多様なセンサから生成される大量の時系列データをストリームデータと呼ぶ。ストリームデータを扱うデータベースシステムは、2000 年以後、スタンフォード大 (STREAM) などシステムが研究公開されており、それ以後、主要データベース製品への取り込みや独立ベンダーによる複合イベント処理製品として市場に出ている [19]。一方で、連続数値ストリームを扱うハードウェアを検討する方向 [20] や、ストリームで扱うデータとしてセンサ出力などの単純な観測数値を扱う場合、あるいは、監視イベントなどのデータベースレコードを扱う場合 [21] など、実際の応用領域に基づいた多様性が広がりつつある。膨大なデータを生み出すセンサに対するデータベース基盤は、従来同様、応用から強くドライブされつつ発展することは確実である。センサ技術が日本の強い領域であることから、従来から成功してきたセンサデータ処理の事例や現実の観測データストリームを

公開利用するなどして、ストリームデータへの高価値データマイニングを積極的に促進すべき段階に入ったといえる。2010 年現在、センサストリームからのデータマイニングでは、大量ストリームからの相関度の高速近似計算技法 [23] やセンサデータ特有の不確定性を考慮したデータ処理 [22] など、直接的な実用性を意図した研究が増えている。

〈参考文献〉

- [19] M.Lefler, J.Gehrke, M.Spicer, J.Goldstein, D.Gawlick, “Panel: Data Streams Go Mainstream”, ACM SIGMOD 2007 (industrial session) , p.971, 2007.
- [20] Bandi, A.Metwally, D.Agrawal, A.E.Abbadi, Fast Data Stream Algorithms using Associative Memories, ACM SIGMOD2007, pp.247-256, 2007.
- [21] J.Agrawal, Y.Diao, D.Gyllstrom, N.Immerman, “Efficient Pattern Matching over Event Streams,” ACM SIGMOD 2008, pp.147-159, 2008.
- [22] T.T.L.Tran, et al, “PODS: a new model and processing algorithms for uncertain data streams,” ACM SIGMOD 2010, pp.159-170, 2010.
- [23] A.Mueen, S.Nath, J.Liu, “Fast approximate correlation for massive time-series data,” ACM SIGMOD 2010, pp.171-182, 2010.

④情報爆発（超超大規模データ）システム基盤技術

従来のデータベース技術は、主としてトランザクション処理と問合せ処理によって巨大なマーケットを形成してきた。しかし、その対象は高価値情報としてのレコード型を対象としており、非構造データはデータモデルの対象外であった。一方、量の観点からは非構造データが圧倒的に巨大であり、その収集・分析と高価値サービスの創出がサーチエンジン企業を起爆剤として注目されることになった。これが 21 世紀の最初の 10 年間に起きたことであった [24]。この 10 年間、メガスケールサービスの多様化はシステムの複雑化を招き、結果として、検索エンジン企業やアマゾン、e-bay のようなメガサービス企業は、データベースエンジニアを大量に雇用し、巨大プロジェクトを現在でも進行させつつある [25]。最近では、Pregel[18] や Fusion table[26] など、単純な Web 検索だけでなく、極めて多様な情報を世界中から集めて融合 (Fusion) ・利用することも目標になっている。超超大規模データ領域に対しての研究は大学だけではなく、メガ企業に閉じた形で進展することが普通であるから、国策として公的研究機関を通して新しい研究形態を促進してゆく必要がある。

〈参考文献〉

- [24] “Large Scale Analytics”, William Chang (BAIDU), Raghu Ramakrishnan (Yahoo), Wei Ying Ma (Microsoft Research Asia) ACM SIGMOD 2007 .
- [25] Y.Yu, et al, “DryadLINQ: A System for General-Purpose Distributed Data-Parallel Computing Using a High-Level Language,” Proc. OSDI 2008.
- [26] H.Gonzalez, A.Y.Halaevy, et al, “Google fusion tables: web-centered data management and collaboration,” ACM SIGMOD 2010, pp.1061-1066, 2010.

⑤データベースの消費電力を低減するグリーン技術

データセンタにおいて消費される電気エネルギーの増大が注目され、殊更、デジタルデータが年々指数関数的に増大している下（情報爆発時代）では、データベースを支えるシステムのグリーン化は極めて重要な課題と言えよう。従来のグリーン技術は、比較的応答時間を許容する余裕のあるエンドユーザ環境で発展してきたが、性能要求の厳しいエンタープライズシステムではこれとは異なるアプローチが必要である。Web サーバ等については、サーバ仮想化と筐体間プロセスマイグレーションが導入されつつあり、サーバコンソリデーションにより電力使用効率を改善する効果大きい。一方、データベースサーバは、本質的にディスクと切り離しが不可能であり、また当該システムではサーバよりむしろディスクストレージの消費電力が支配的であることから、より問題は複雑である。Google はデータセンタにおける 1000 台以上のマシンの消費電力を分析した論文 [27] を発表したほか、Oracle はトランザクションベ

ンチマークシステムを対象としたシステム全体の消費電力モデルを提案 [28] しており、今後、膨大なデータを蓄えたストレージ装置を含めて、システム全体の動的な性能・電力バランスを如何に実現するかが重要な課題となるだろう。

〈参考文献〉

[27] Xiaobo Fan, Wolf-Dietrich Weber, Luiz Andre Barroso. Power provisioning for a warehouse-sized computer. Proc. of ISCA 2007.

[28] Meikel Poess, Raghunath Othayoth Nambiar. Energy Cost, The Key Challenge of Today's Data Centers: A Power Consumption Analysis of TPC-C Results. Proc. of VLDB 2008.

⑥サイバーフィジカルデータサービス

サイバーフィジカルシステムなる名称は米国 NSF により 2006 年に考え出されたとされている。その定義については現時点においては茫漠としているが、概要としては、サーバ空間の IT と実世界をより有機的に連携、融合させる次世代 IT を指すものとされている。実世界とは具体的には実世界に広く展開される組込み機器を指すが、現時点においてこれらは必ずしも互いに有機的に結合されているとは言えない。例えば、我が国においては、ITS が進歩しているものの、シンガポール ERP は道路課金を時間毎に変動させるなど先進的な取り組みをかなり以前より推進してきた。まだリアルタイム制御までには至っておらず、更なる発展が期待される。道路、鉄道、航空機、海運、物流にとどまらず、電力、水、資源、医療、農業、金融など有りとあらゆる分野への適応が模索されつつある。2010 年より NSF のプログラムが開始し、毎年約 30 億円が投入される予定である。所謂クロスカッティング領域として位置づけられており、特定の技術を深掘する施策ではなく多様な技術開発とその融合が期待される。リアルタイムストリームデータベース、ストリームマイニング、サービス融合・連携、サービスモデルとその記述、組み込みシステムをグローバルに有機的に連携可能とするミドルウェア等多くの研究が推進される。

〈参考情報〉

[29] http://en.wikipedia.org/wiki/Cyber-physical_system

[30] NSF Cyber Physical System http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286

[31] Smarter Planet IBM <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/>

[32] 喜連川 優：情報革命—情報爆発と情報融合—，学術の動向，第 15 巻，第 11 号，pp. 86-89 (Nov. 2010)。

⑦不確実データベースと確率的データベース

今日のデータベースには、センサ機器から取得されるデータや、ウェブ上のコンテンツから抽出されるデータなどのさまざまなデータを取り込み統合活用することが期待されている。そのようなデータは値やその存在自体に曖昧性があり、不確実性を伴う。そのため、近年、不確実データ (uncertain data) のためのデータベース技術が注目されている。Trio [33] ではデータベースのタプルに存在確率を付与するなどの機能が提供されており、問合せ結果の信頼性を検証するための来歴 (lineage) 管理が行われる。この流れを受け、不確実性を精緻に扱うため、確率的にデータベースを捉える確率的データベース (probabilistic database) に関する研究も盛んになっている [34]。データ間に確率的相関がある場合の問合せ処理の技術など、近年技術的に大きな進展があった。確率的データベースに関しては MystiQ [35]、MayBMS [36] など、いくつかのプロトタイプシステムも開発されており、リスク分析などの応用が見られる [37]。さらに、確率的データの元となる確率的モデルをデータベースシステムの内部で密に統合しようという動きもある。たとえば BayesStore [38] では、ベイジアンネットワークをデータベースシステムと統合し、大規模データに対する確率的推論をスケーラブルに実行する手法を提案している。

〈参考文献〉

[33] Jennifer Widom, Trio: A System for Integrated Management of Data, Accuracy, and Lineage. Proc. Second

Biennial Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR '05), 2005.

- [34] Nilesch Dalvi, Christopher Ré, Dan Suciu: Probabilistic Databases: Diamonds in the Dirt, CACM, Vol. 52, No. 7, pp. 86-94, 2009.
- [35] Jihad Boullos, Nilesch Dalvi, Bhushan Mandhani, Shobhit Mathur, Christopher Ré, Dan Suciu: MYSTIQ: A System for Finding More Answers by Using Probabilities, Proc. ACM SIGMOD, 2005 (demo).
- [36] Jiewen Huang, Lyublena Antova, Christoph Koch, Dan Olteanu: MayBMS: A Probabilistic Database Management System, Proc. ACM SIGMOD, 2009 (demo).
- [37] "Subi Arumugam, Ravi Jampani, Luis L. Perez, Fei Xu, Christopher Jermaine, Peter J. Haas: MCDB-R: Risk Analysis in the Database, Proceedings of the VLDB Endowment (PVLDB), Vol. 3, No. 1, pp. 782-793, 2010.
- [38] Daisy Zhe Wang, Eirinaios Michelakis, Minos Garofalakis, Joseph M. Hellerstein: BayesStore: Managing Large, Uncertain Data Repositories with Probabilistic Graphical Models, Proc. of VLDB Endowment (PVLDB), 1(1), pp. 340-351, 2008.

(3) ビジネス応用とサービスサイエンス

サービスサイエンスの発端となった米国競争力評議会報告書 [1] では、サービスサイエンスは、計算機科学、オペレーションズ・リサーチ、インダストリアル・エンジニアリング、数学、マネジメント等、既存の諸科学を融合する学際的研究分野とされたが、その後の試行錯誤や議論を経て、研究開発の世界的動向は、高度情報システムによるサービスの自動化、データ重視の顧客管理、オペレーションズ・リサーチの手法によるビジネスの分析と効率化 (Business Analytics)、製造業のサービス化、医療・介護・健康・観光等の業務サービス、などの潮流が出てきた。理論的には、すべての経済活動は機能や知識の提供と見做すサービス・ドミナント・ロジック [2] が主流になっている。その中で日本は、おもてなし、文化人類学的アプローチ、「サービス工学」等、独特の視点から研究者中心の議論が進んでいる [3]。日本のサービス工学 [4] は、世界一般の総合的な Service Engineering [5] とは異なる。地域的動向について注目すべきは、アジア諸国におけるサービスサイエンスの研究開発・教育の重視である。特に、シンガポールでは、政府の支援のもとに、National University of Singapore (NUS)、Nanyang Technological University (NTU)、Singapore Management University (SMU)、Institute of System Science (ISS) で 2008 年から学部レベルでサービスサイエンスの課程が開講し、SMU では 2010 年にサービス分析に重点を置く Master of IT in Business コースが始まった。アメリカを起点とする学会と産業界の協業組織 Service Research & Innovation Initiative (SRII) の支部が、シンガポールを始め、インド (情報技術)、タイ (観光・医療)、フィリピン、ベトナムにあり、日本支部は、やっと 2010 年 10 月に設立された。

〈参考文献〉

- [1] Council on Competitiveness, Innovate America: National Innovation Initiative Summit and Report, May 2005.
- [2] S. L. Vargo and R. F. Lusch, Evolving to a new dominant logic for marketing, Journal of Marketing, Vol. 68, No. 1, pp. 1-17, 2004.
- [3] 日高一義、サービスサイエンスの業界地図、情報処理学会デジタルプラクティス、Vol. 1, No. 1, pp. 44-48, 2010 年 2 月.
- [4] 吉川弘之、サービス工学序説ーサービスを理論的に扱うための枠組みー、Synthesiology, Vol. 1, No. 2, pp. 111-122, 2008.
- [5] G. Salvendy and W. Karwowski (編), Introduction to Service Engineering, John Wiley & Sons, 2010.

(4) 基盤ソフトウェア

情報システムの利用形態として、従来の主流であった手元のシステムを組織内で利用する形態から、他組織が提供するサービスをネットワーク経由で利用するクラウドコンピューティングへの転換が急速に進みつつある。この背景には、ネットワーク接続の常態化や利用高度化に伴い、外部からの悪意を持った侵入や情報の窃用などのリスクに対応する高度なシステム管理技術が必要とされ、そのコストも高くなってきていることがある。クラウドコンピューティングは決して万能ではないが、従来の情報システム需要の多くを取り込み、さらに従来はシステム構築に踏み込めなかった規模あるいは業種での利用を可能にしつつ、その重要性が高まっていくことが予測される。

OS 技術の研究面においても、ネットワークを介した分散システムの重要性が増してきている。たとえば、ファイルシステムの比較的単純な整合性を考えるときでも、集中システムであれば十分であった単純な同期方式は広域分散システムにおいては性能を発揮できず、同期方式の工夫やセマンティクスの再定義が必要になる。

携帯情報機器の利用が拡大しており、その OS も寡占化が進んでいる。機器形態としては、携帯電話、PDA、携帯ゲーム機といった個別機能の機器から、スマートフォンやタブレット型端末といった多用途機器に集約されていく傾向が見られ、その OS の重要度も増してきている。

プログラミング言語と処理系についての研究は、最適化、並行制御、並列処理、メモリ管理、型理論、正当性の自動証明、安全性の保証などが近年の主要なトピックとなっている。市場においてソフトウェア開発に用いられているプログラミング言語としては、PHP を筆頭に、Python、Perl、JavaScript、Delphi といったスクリプト系言語がシェアを伸ばしている。これは、ハードウェアコストの低廉化に伴い、実行効率よりも開発効率を優先するケースが多くなってきていること、ウェブ上のユーザインタフェースの開発が重要度を増していることによるものであり、この傾向は今後も継続していくであろう。

(5) ハイパフォーマンスコンピューティング

①次々世代スーパーコンピュータ研究開発

2010 年には米国、中国で次々世代スーパーコンピュータ開発計画が始まり、2015 年に 100 ペタフロップス程度、2016 から 18 年にエクサフロップスのスーパーコンピュータを実現し、科学技術計算に活用するものである。

米国で現在明らかになっているプロジェクトとして、IBM 社の BlueGene/Q 後継機種、Intel 社の SCC (オンチップクラウド) の後継、NVIDIA 社の次世代 GPGPU である Echeron がある。一方、中国では天河一号 A が TOP500 ランキングで第一位になり、更に後継機種、特に中国設計のプロセッサチップを用い、中国設計のインターコネクトを用いるシステム開発が開始されている。

わが国では、京コンピュータの開発により次世代スーパーコンピュータ技術開発で世界のトップレベルにあることを示しているが、100 ペタフロップスからエクサフロップスを目指す計画、プロジェクトはいまだ開始されていない。日本が得意とする超低消費電力スーパーコンピュータ技術を活用し、世界をリードするためには早急に技術開発プロジェクトを開始することが急務である。

②中国におけるスーパーコンピュータ開発の進展

スーパーコンピュータ技術開発では遅れてスタートした中国のプレゼンスが 2010 年に急速に高まった。本体の自主技術による開発を選択しなかった欧州と対照的に、中国は技術の自主開発を選択し、着実に成果をあげつつある。2010 に注目されたスーパーコンピュータは、米国製プロセッサチップ、米国設計の GPGPU、中国設計のインターコネクトを用い、中国の実装技術により全体を構成している。

これらの技術開発と並行して、中国設計のプロセッサである龍芯プロセッサ開発が進み、最新の GODSON-3C プロセッサは 16 コア、512 ギガフロップスの性能を持つと予測されている。

また、天河一号 A に用いられているインターコネクトは、現行のインフィニバンドネットワークの 2 倍の性能を持つことから、中国の次世代スーパーコンピュータは全て中国技術で数 10 ペタフロップスを実現することが予測される。

また、当初ハードウェア中心の開発計画とみなされてきた中国において、数値アルゴリズム、数値シミュレーション研究が急速に活発化していることを鑑みると、今後数年の動向に注目することが必要である。

③並列コンピューティング・クラスタコンピューティング

並列コンピューティング・クラスタコンピューティングでは、ハードウェア本体の製造技術に加え、大規模ファイルシステム技術、高生産性プログラミング言語技術の重要性が著しく増えている。

大規模ファイルシステムは、数万ノード規模の大規模スーパーコンピュータに対して必要なファイルアクセスを与えるために必須の技術であるが、スーパーコンピュータ本体の技術開発と比較すると遅れていると言わざるを得ない。

現在、注目すべき大規模ファイルシステム技術は、大幅に性能が改善している Lustre 2.0 分散ファイルシステム、IBM 社の GPFS Ver.3 ファイルシステムと、日本の Gfarm Ver.2 であり、今後の発展を注視する必要がある。また、ファイルバンド幅を増加させる効果が大きい半導体ディスク (SSD) は、現在階層ファイルシステムの最上位階層として使われている場合があるが、より効果的な使用方法の研究開発を注目することが必要である。

高生産言語においては、米国 HPCS プロジェクトで開発された高生産言語である X10, Chapel および Fortress が開発を終了し、実用期にさしかかっている。しかしながら、各々の言語毎にことなる事情があるものの、高生産言語の使用は拡大していないと言わざるを得ない。一方、Mathematica に代表される応用指向言語 (DSL) や Python, Ruby などの動的スクリプト言語の HPC 分野における使用は、その利便性から徐々に拡大している。

今後、並列コンピューティング・クラスタコンピューティングにおけるプログラミングが何れの方角に向かうかが注目される。特に、最適化コンパイル技術と DSL や動的スクリプト言語との組み合わせが重要技術として注目される。

(6) ソフトウェア開発技術／ツール

近年、ソフトウェア開発において、開発対象システムの仕様を抽象的に表現したモデルを中心とし、モデルからソースコードまでの詳細化を可能な限り自動化するという、モデル駆動型開発手法が実用化されてきている。これに伴い、要求分析や形式手法を含めた、ソフトウェア開発／ツール全般の研究開発においても、モデルの概念を中心に進める動きが目立ってきている。中でも、世界的に今後重要性が増すと考えられる動向として、「アスペクト指向開発」および「プロダクトライン工学」の 2 つを挙げる。

①アスペクト指向開発

大規模なモデルやプログラムの作成においては、作業分担や保守の効率を高めるために、システム全体をできるだけ独立したモジュールに分割することが必要である。しかし、セキュリティに関するものなど、複数のモジュールに散在する機能 (横断的関心事と呼ばれる) が多くなると、モジュール間の独立性の確保が困難になる。そこでアスペクト指向開発と呼ばれる手法においては、横断的関心事をもモジュールとし

て独立させ、アスペクト織り込みと呼ばれる機構でシステムに組み込むことにより、そのような問題の解決を図る。

②プロダクトライン工学

実際のソフトウェア開発においては、基本的な機能や特徴がほぼ同じであるような複数の製品にそれぞれに対し、少しずつ異なるオプションの機能や特徴を実現するという状況がよくある。しかし、現状ではそれぞれの製品を個別に開発することが多い。そこで、共通の機能や特徴を持つ（製品、あるいは半製品）ソフトウェアを開発し、その上で個別の機能や特徴を実現する手法を体系化したプロダクトライン工学が注目されつつある。

(7) マルチメディアシステム

“マルチメディア”は、人と情報システムとの間での情報のやり取りに関わる処理を扱う領域であり、人が最終的にどれだけの恩恵を情報システムから受容できるかを左右するといっても過言ではない。とりわけ、情報通信のハード、ソフトの基盤的技術が大きな進展を見た現在、ネットワークを介する情報サービスのための技術領域としてマルチメディアへの取り組みは、世界的に急進展している。

映像を中心とするマルチメディア情報は、隆盛を極めている。そのマルチメディアの展開は、“パーソナル化”と“ソーシャル化”という二つの方向を軸に進んでいると思われる。メディアのパーソナル化は、90年代後半からのトレンドであり、モバイル、デジタルカメラなどの情報機器を個人が所有することにより、展開してきた。このトレンドを加速するように、昨今では、iPhone、Androidなどのスマートフォンが世の中に浸透し、研究開発のプラットフォームとしてのスマートフォンは重要なターゲットになっている。

さらに、この数年の新しい展開として、メディアのソーシャル化が進んできた。ソーシャルメディアとは、個人のメッセージや画像などの情報をネットを介して発信し、他の多くの人と共有する仕組みである。Flickr、YouTube、Twitter、Facebookなどがその代表的なものとしてあげられる。画像などのマルチメディアコンテンツに加えて、ユーザのコメント、反応などが公開される。今やネット上に膨大な映像、画像が公開され、それらをどのようにハンドリングするかということがコンテンツ解析でも多くの研究者が取り組む課題になっている。

ユーザ自身が創り、ネット上で共有する映像などのコンテンツをUGC（User Generated Content）と称する。今やインターネットトラフィックの80%が映像であり、2-3年のうちには、全体のトラフィックが4倍になり、その90%超が映像となる予測がある。また、商業映像である放送や映画は、それぞれが完全デジタルへ移行する途上にあり、その制作過程のみならず、ユーザへの配信や劇場での上映までがデジタル化され、日本の放送に関して言えば、2011年7月にアナログからデジタルへ完全移行する。

映像情報は膨大であるため、その管理が課題であり、効率的な検索や要約等が研究課題になってきた。映像はそのままでは単なる信号にすぎないため、検索等の処理をするにしても、言語で書かれた文書を対象とするのとは状況が大きく異なっている。初期から試みられたことは、類似度検索であり。映像から色などに基づく低次の特徴量を取りだし、その特徴量から定義される類似度の大きさに応じた順位づけを行い候補を抽出することが行われてきた。その後、さらに内容に立ち入った処理が進み、意味を持つ高次の概念（例えば建物、スポーツ、屋外といったキーワードに相当する）の抽出を行うことで、言語による映像の検索の可能性が模索されてきている。

なお、GoogleやBingのイメージサーチは、もともとは近傍テキストだけからの画像の検索であったが、最近では、画像処理も導入しはじめた。それらの検索では、言葉で画像を検索した後に、画像の類似性で再ランキングしたり、色のレイアウトで再ラ

ンキングしたりといった機能を備えており、初期のころの類似検索が、実用化されている。

マルチメディア検索に関する直近の研究のトレンドを要約すると、以下の3点があげられよう。

***大規模データ処理：**

研究のターゲットとして、小規模なデータセットではなく、ネット上に有する膨大な画像等のマルチメディアデータを扱う傾向にある。

***ソーシャルメディアの処理：**

大規模データとも関係するが、前述のソーシャルメディアでの現実的なデータ（映像、画像、テキスト等）を扱う傾向にある。

***主観的な印象の処理：**

画像が示す客観的な内容ではなく、画像が人に与える主観的な印象へ着目し、画像の審美性などを対象とした研究も増える傾向にある。

大分類をすれば、マルチメディアの研究課題は次のように分けられる。

① **Multimedia Content Analysis, Processing, Retrieval**

② **Multimedia Networking, Systems**

③ **Multimedia Tools, Applications**

①は、前述の検索等の基礎的な課題である。最近では、単独の映像データベースばかりでなく、インターネット上の Flickr!、YouTube などのソーシャルメディアのデータも扱われる。

②では、マルチメディアのストリーミング、圧縮等のマルチメディアにとってのインフラが課題になる。映像圧縮に関していえば、ポスト H.264 が直近の大きな話題である。

③では、マルチメディアの絞り込んだ応用や課題が取り上げられる。モバイルマルチメディア、ソーシャルメディアに関する話題が特に増えている。なお、その処理の対象には、位置情報等の付加的な情報まで含まれ、映像と音響にとどまらない。また、前述の主観的な印象などを扱う研究も散見される。

さらに、ごく最近の傾向として、人の体験を対象とする研究も増えつつある。スマートオフィス、スマートホーム、ライフログなどもその中に含まれる。マルチメディアの代表的な会議では、新たに **Human Centered Computing** という領域が設けられた。また、同会議では、マルチメディア技術を用いたアートも取り上げられている。

マルチメディアの研究開発は、特に、ヨーロッパ、アジアで盛んであるように見受けられる。EU では、積極的な取り組みが行われ、**European Commission of the Framework Program 7** では、情報通信は引き続き重要課題の一つとしてとり上げられ 90 億ユーロもの研究開発への投資が行われ、その中の具体的な課題の一つとして、**Networked Media** が推進されている。シンガポールでは、マルチメディアは政策的に支援する重要課題である。中国は、下記に示すように、主要会議での存在感がとて

も大きくなっている。

マルチメディアの主要会議の一つであり、採択が厳しい **ACM Multimedia 2010** における発表論文 (long、short の合計) の分布の主要なところを記すと、ヨーロッパ 69 (ドイツ 10、イタリア 10、フランス 8、オランダ 8 他) アジア 110 (中国 57、シンガポール 25、日本 10、台湾 9 他)、北米 55 (米国 46、カナダ 9) である。学術的な発表の場で、中国、シンガポールの躍進が著しく、ここ数年伸び続けている。日本は、これまで映像技術で長じ、その実用化で先んじてきたものの、昨今、日本の企業研究所から学術的な会議への参加は全般に減少している。中国では、マイクロソフトリサーチアジアから多数の論文が発表され、その存在感が大きい。しかし、取りくむ課題の多様性に欠ける傾向がある。シンガポールでは、メディア技術を国が

推進する3つの科学技術の一つにとりあげるまでして、取り組みを進めている。

米国 NIST（標準技術局）が 2001 年より TRECVID という映像解析技術評価のワークショップを毎年開催している。そこでは 100 時間を超える放送映像が方式評価のために提供され、シーンカットの検出といった比較的低次の処理から概念検出にいたるまでタスクが設定され、世界中から参加する研究機関の方式の相互比較が行われる。

マルチメディア関連の国際会議としては、ACM Multimedia、IEEE ICME (Int. Conf. Multimedia & Expo)、ACM CIVR (Int. Conf. Image and Video Retrieval)、ACM MIR (Multimedia Information Retrieval)（なお、CIVR と MIR は 2011 年より統合し、ICMIR となる）PCM (Pacific Rim Conf. Multimedia)、MMM (Multi Media Modeling) などの複数の会合が毎年開かれている。新しいものを加えるともっと多い。

（８）チップマルチプロセッサ

チップマルチプロセッサ・アーキテクチャの基礎は、1980 年代にさかんに研究された並列型コンピュータにある。小規模であれば、スヌープバスによる共有メモリ型マルチプロセッサ、大規模であればネットワーク結合型マルチプロセッサであり、この時代からの研究開発をシングルチップ内に応用したものと考えられる。

米国と日本はこの分野において優れた仕事を積み重ねてきており、産業化も進められている。市場戦略がしっかりしていれば、国際的にヘゲモニーを得ることが可能な分野であるが、本邦の場合には、ここでも戦略と技術が密に結びつかない問題があるだろう。

応用範囲を限れば、GPGPU（汎用グラフィックプロセッサ）を多数結合したスーパーコンピュータは有力である。日米を中心に研究開発が盛んになっている。

VLSI チップの集積度があがって、Intel 社のいう 1 チップクラウドのようなものがデファクトになる時代がくる可能性がある。そのためには、大規模な並列処理を日常的に行う応用問題が必須となるだろう。

トランザクショナルメモリや、ネットワークオンチップなど、新しい研究課題へのチャレンジも国際的に続いている。また、複数の実行による信頼性の向上なども、計算資源を多く使えるこの分野ならではのテーマとなっている。

さらに、省電力との絡みも重要であり、超低電圧オペレーションとメニーコアによる性能保証という方向性も大きなものとなるだろう。

（９）省電力情報処理技術

比較表ではまだとりあげなかったが、携帯端末より小さな IC カードやスマートダストの中の回路の省電力化も、エナジーハーベスティング（自己発電型の電力供給）などの技術とともに新しい発展が望まれる。また、人間・環境系を改善することが国際的課題となっていることを考えれば、センサ向けの超省電力化技術の重要性も増していると言えよう。

スーパーコンピュータの省電力化は、応用が見えていれば比較的考えやすいが、SNS 向けのデータセンタなどの電力制御の最適化などはこれから大きな課題となってくるだろう。小さいほうでは、電子書籍を応用とするような携帯端末の省電力化はすでに大きな課題となっている（iPad のバッテリー切れはすでに多くのユーザの指摘する問題である）。

省電力は、処理効率や信頼性・安全性との間でトレードオフのある課題である。総合的な解決が必須となってきた。

今後さらに重要なのは、「市場の要求に答える」だけでなく、「進んで国際市場を開拓していく」戦略と省電力技術を結びつけることである。遠隔医療、オープン政府、

パワーグリッドなどの応用を考えながらの展開が強く望まれる。さらに、国際的な基準作りや標準化に進んで参画し、本邦の進んだ技術をより大きな場でよりよく展開するための土壌をつくっていくこともたいせつな作業である。

(10) リコンフィギュラブルシステム

実行時に回路書きかえを行う「動的リコンフィギュラブルシステム」の開発・産業化が今後の大きなテーマであり、本邦ではすでに開発例があったが、最大手の Xilinx、Altera とともにその支援を開始した。

数～数十クロックで再構成を行う高速書きかえについても研究が進められてきたが、産業への展開にはキラーアプリケーションが必要である。たとえばリアルタイムの複雑な画像処理など、専用回路・並列処理が組み合わせられた応用について、高速のリコンフィギュレーションが有効かどうか、検討・検証する必要があるだろう。

リコンフィギュラブルシステムは、米国を中心に展開してきた技術であるが、粗粒度リコンフィギュラブルシステムについて、中国の動向が注目されるようになってきた。日本では、電子情報通信学会リコンフィギュラブルコンピューティング研究会などを核として、デバイス技術、ソフトウェア技術と組み合わせて、産学連携の上でより新しい方式を継続的に研究開発する必要があるだろう。車載や家電など、得意分野をターゲットとした研究開発も有効と考えられる。

リコンフィギュラブルシステムは、処理効率だけでなく、省電力性や信頼性にも有利な場面があると考えられている。特に、動的回路書きかえによって故障箇所を回避し、システムを修復する方式などは、宇宙や深海などの応用も考えられ、これから大いに研究が進められるところであろう。

いっぽうで、遠隔ダウンロードによるシステム再構築なども行われるようになるが、この実用化には、同時に回路のセキュリティを守る方式の研究開発も必要になってきている。

2.4 セキュリティ・ディペンダビリティ分野

2.4.1 概観

社会インフラの IT 化やスマート化、医療情報／位置情報／購買履歴といった個人情報を含むデータの利活用とプライバシーのバランス、情報処理のクラウド化などに伴い、それらにおける情報セキュリティ・ディペンダビリティの強化ニーズが高まっている。技術的な傾向としては、個別のセキュリティ対策技術から統合的な脅威管理、トップダウンのシステムティックなアプローチ、大規模プロジェクトによる安全性評価の方向へ遷移しており、個々の技術で尖がることは勿論、他の技術と連携して使え汎用性が高く、既存技術との親和性も高くなることが求められている。また、情報セキュリティ技術に対しては、国や地域毎に治安上、国家安全保障上の考え方が異なるため、法律、制度、習慣なども考慮した上で個別の対応が必要となるケースもある。

欧米、特に米国では、研究投資から、研究拠点の形成、海外からの優秀な留学生の確保、インターンシップや共同研究による産業界との結びつき、研究成果の産業界への移転、標準化、M&A などにより個別の優れた技術を取り込み総合的なサービスとして展開するまでの一連のフローがうまく機能しており、研究水準、技術開発水準、産業技術力全てにおいて高いレベルを有している。また、これらの一連の連携がうまく取れていることもあり、革新的なコンセプトが産業界、学会から自然に生まれ、産業的に成功しつつ学術的にも盛り上がりを見せるというよい相乗効果を生み出している。

日本では、個別の基礎研究や基礎技術で強いものも存在するが、規模が小さいか、実用化への“死の谷”を越えられずに終わっているものも多い。また、学術的な新規性を追求するがあまり、学術的には面白いが、既存技術との親和性やニーズから乖離したものも散見する。一方、情報セキュリティ分野においては、学会において企業からの研究発表も積極的に行われ、業界を挙げての人材育成も活発に行われており、マルウェア感染端末数の低さなどに関して一定の成果を上げている。

中国では、本土における研究水準は必ずしも高くないが、海外留学生や帰国組を中心に急速に水準を向上しつつある。技術開発についても、従来のコピー中心から徐々に新方式の開発、標準化提案の方向に水準を上げつつある。産業技術力に関しても、海外の技術を積極的に吸収しビジネス展開する意欲が高く、国内技術の保護政策や投資の増加の恩恵もあり成功例も出始めている。

韓国も中国同様、海外志向が高く、海外での留学生による活躍や、新技術を基に起業し国内外へビジネス展開する例が見られる。技術的にも、世界最大規模のハッキング大会で毎年トップクラスの成績を上げている他、90 年代から国内資金によって設立された情報セキュリティ企業の開発した情報セキュリティ製品が日本や米国、中国などの海外に輸出され、毎年輸出先や売上額を増加させている。これと相反して、利用者における情報セキュリティ意識は必ずしも高くない。これは、感染端末の多さ、住民登録番号の盗用、ゲームなどにおける ID の盗難や成り済ましなどの問題として表れている。

2.4.2 中綱目ごとの比較

(1) ディペンダブル情報システム

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	この分野のフラグシップ国際会議 DSN(International Conference on Dependable Systems and Networks) と PRDC (Pacific-Rim Symposium on Dependable Computing) の Steering Committee Chair、ならびに IEEE TC on Dependable Computing Chair を日本から出すなど、世界の研究コミュニティの中心にいますが、論文投稿数、採択数ともに横ばいであり、上昇傾向にあるとは言えない。JST-CREST で「ディペンダブル組み込み OS」領域と「ディペンダブル VLSI」領域で研究開発が実施されている。伝統的にハードウェア・アーキテクチャの研究者が多く、ソフトウェア分野が少ない。
	技術開発水準	○	→	主要コンポーネントの2重化を基本とするフォールトトレラントサーバ（無停止型サーバ）、が NEC と富士通から販売されており、一定のシステム構築力を有しているが、必ずしも上昇傾向にあるとは言えない。評価方法が確立していないこともあり、ディペンダビリティの価値に対する認識が十分ではないので、企業の技術開発の主流にはなれない。
	産業技術力	○	→	この分野は企業における研究開発レベルと生産現場の技術力を必ずしも明確に分けられない。上記の技術開発水準同様に一定の水準は保ちつつも上昇傾向にあるとは言えない。伝統的な信頼性向上技術、ゼロディフェクト運動など、ボトムアップアプローチが主流であり、トップダウンのシステムティックなアプローチがない。
米国	研究水準	◎	↗	DSN への投稿数、採択数は圧倒的に多い。NSF が主導する”Cyber-Physical Systems”プログラム、エネルギー省が主導する”Smart Grid”プログラム、IEEE Reliability Society が主導する”Prognostics and Health Management”シンポジウムなどへの参加を通じて、大学、研究所の研究水準はさらに上昇傾向にある。イリノイ大学アーバナ・シャンペン校、カーネギーメロン大学など、いくつかの研究拠点で、国家安全保障の視点から重要インフラの防衛に関する研究が始まっている。
	技術開発水準	◎	↗	ストラタス社は無停止型サーバの草分け的存在。UC Berkeley 発の RAID 技術は信頼性向上を狙うディスクアレイの標準的実現方法として広く普及している。クラウドコンピューティングで先行するマイクロソフト、グーグル、IBM、アマゾン、オラクルなどのデータセンターサービスのディペンダビリティ技術開発は進みつつある。 IBM の”Smarter Planet”構想が、同社の主唱する”Autonomous Computing”と共鳴してあらたな技術開発のインセンティブを生み出しつつある。
	産業技術力	○	↗	エネルギー省が主導する”Smart Grid”に参加する企業を中心に社会インフラのディペンダビリティに関する技術開発のインセンティブが生まれつつある。宇宙開発、国家安全保障を旗印に開発された技術が産業技術力としての裾野を広がりを見せている。
欧州	研究水準	◎	↗	従来からフランスの CNRS-LAAS を中心として、イギリス、イタリア、ポルトガルなどの EU 諸国はディペンダビリティの概念形成に大きな貢献をしてきた。また、すでに終了した FP6 では「変化に直面してもディペンダビリティを維持する」Resiliency の概念を提唱しその実現技術の開発に取り組んできた。「変化への対応」は困難な挑戦ではあるが今後の情報社会にとって重要であり、FP7 でもあらたな研究プロジェクト開始の準備をしている。ディペンダビリティ評価技術、ベンチマーキング、重要インフラの依存性解析などでも世界をリードしている。
	技術開発水準	○	↗	エアバス、メルセデス・ベンツなどの欧州企業を中心とする国際会議”Embedded Real Time Software”が数年前に立ち上がり、2010 年 5 月に第 5 回会議がフランスで開催された。企業における組み込みシステムのディペンダビリティ研究の裾野が広がりつつある。 エアバス、メルセデスなどの技術開発は活発であり、研究水準も高い。
	産業技術力	○	→	エアバスの fly-by-wire 技術やメルセデスの安全走行技術などにディペンダビリティ概念が反映されているが、一般的にはディペンダビリティが必ずしも製品レベルの産業技術力として現れていない。
中国	研究水準	△	↗	近年国際会議への論文投稿数は急激に増えているが、その技術内容に新規性は少なく、採択数は少ない。従来技術の後追いあるいは他国のコピー的色彩がまだ強い。ネットワーク関連の論文が多い。ハイパフォーマンクス分野では、2010 年 11 月のスーパーコンピュータのランキングで NVIDIA の GPU を大量に採用した並列処理で 1 位と 3 位に入り、注目されたが、ディペンダビリティ分野の情報技術にみるべきものは少ない。しかし、研究の裾野は確実に広がっている。
	技術開発水準	△	↗	この分野の企業における技術開発力に関する情報は十分に得られないので、確かな評価はむづかしい。国際会議などへの発表も企業からのものはほとんどない。しかし、近年の急速な経済成長によって国内の技術開発投資は急速に進んでいるものと思われる。
	産業技術力	△	→	ディペンダビリティに関する産業技術力を判断する情報に乏しい。

韓国	研究水準	△	→	韓国出身で米国のこの分野で活躍する研究者は多いが、国内の研究水準は、国際会議などでの論文発表状況を見る限り、高いとは言えない。会議参加者数も少ない。
	技術開発水準	△	→	急速に成長した強大な企業サムスングループを擁するが、技術開発力は必ずしも高いとは言えない。ディペンダビリティの価値評価が確立していない現状では、特に目立った動きはない。
	産業技術力	△	→	サムスは総合的な電気・情報産業に成長し、大きなマーケットを得ているが、ディペンダブル情報システムの分野に限っては、上昇傾向は必ずしも感じられない。

全体コメント：

社会インフラ構築や環境保全に情報技術を適用する将来の情報社会を構想したプロジェクトが世界中で立ち上がっている。米国エネルギー省が主導する”Smart Grid”、米国NSFが主導する”Cyber-Physical Systems”、IBMが主唱する”Smarter Planet”、IEEE Reliability Societyが主催する”Prognostics and Health Management”などが代表的で、いずれもディペンダビリティが重要なキーワードになっている。こうしたプログラム、プロジェクトには多くの企業、研究機関、大学が参加しており、研究者層の拡大と将来の研究水準の向上に貢献すると考えられる。

HPC、OS、アーキテクチャ、ネットワーク、半導体など従来の情報技術分野が拡大し、サービス、技術経営など分野においてもディペンダビリティがキーワードになりつつある。

技術的には、クラウドコンピューティング、データセンタ、電力網、流通網などの社会インフラにおける障害検知、障害予測などが増えてきている。ネットワークを流通するデータのセキュリティとプライバシーに関する論文も多い。もたらされる被害の重大性の警告も多い。

ディペンダビリティと同様の概念を表すことばとして、他にも、High Confidence、Assurance、Sustainability、Resilient、Trust、などがあり、これらが必ずしも明確な定義をされずに使われる傾向にあるが、「安全と信頼」に関わる概念を表そうとする点で共通している。

情報システムの大規模化、複雑化、ネットワーク化が進み、そこで提供されるサービスとその利用者の多様化が急速に進んだ結果、サイバーテロ、情報漏洩、システム侵入など、セキュリティを損なう悪意の人為的フォールト、および、システム設計ミス、操作ミス、保守ミスなど、過失による人為的フォールトがディペンダビリティを阻害する脅威になっている。また、それが発生し、影響を受けるシステム階層も、VLSI、アーキテクチャ、システムソフトウェア、ネットワーク、ミドルウェア、サービスアプリケーションなど、広範囲に渡る。このため、現在最も活発に研究が進められているのは、ネットワーク化情報システムにおける悪意及び過失による人為フォールトに対処する技術であるが、この分野でも米国の研究水準が圧倒的に高い。

一方、ディペンダビリティのモデリング、計測、ベンチマーキングを含む評価技術の分野では、欧州が進んでいる。しかし、まだその成果は部分的であり、多様なシステム階層、応用分野のそれぞれにおいて適切なディペンダビリティ評価指標あるいは価値指標と呼べるものはまだ確立していない。このため、企業における技術開発のインセンティブは十分ではなく、ディペンダビリティ実現が技術開発の主要目標には成りにくい状況に留まっている。

我が国のディペンダビリティの研究水準は国際的に高かったが最近はやや停滞気味である。中国は国際会議の投稿数が急増しているがその水準はまだ高くない。韓国は米国で活躍する研究者が多いが、国内はあまり目立たない。

(参考情報)

- [1] Proceedings of DSN (International Conference on Dependable Networks and Systems)
- [2] Proceedings of EDCC (European Dependable Computing Conference)
- [3] Proceedings of PRDC (Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing)
- [4] Proceedings of LADC (Latin American Symposium on Dependable Computing)
- [5] IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing
- [6] IFIP WG 10.4 “Dependable Computing and Fault Tolerance” <http://www.dependability.org/wg10.4/>
- [7] IEEE Digital Library < <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/guesthome.jsp>>
- [8] EU FP7 ANIKETOS Project < <http://www.aniketos.eu/>>
- [9] European Network of Excellence ReSIST < <http://www.resist-noe.org/>>
- [10] NSF, CISE < <http://www.nsf.gov/dir/index.jsp?org=CISE>>
- [11] NSF, Cyber-Physical Systems < http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286>
- [12] Information Trust Institute, UIUC < <http://www.iti.illinois.edu/>>
- [13] US Department of Energy < <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>>
- [14] IBM, Smarter Planet < <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/>>
- [15] New Research Directions for future Cyber-Physical Energy Systems < <http://www.ece.cmu.edu/~nsf-cps/>>
- [16] IEEE PHM < http://www.phmconf.org/phm_topics.htm>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(2) 管理・運用・評価認証

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	経済学を応用した情報セキュリティの研究、心理学を応用した情報セキュリティの研究、情報セキュリティと法制度の研究、ITリスクへの対処の研究などいくつかの研究プロジェクトが存在し、国際学会等で日本人研究者の発表が散見されるが大きな流れには至っていない。逆に今まで大きな盛り上がりがあった情報セキュリティポリシー周辺の研究が一段落し、学会発表等は低調である。
	技術開発水準	○	↑	Telecom-ISAC, Japan、JPCERT/CC、日本ネットワークセキュリティ協会等の民間団体が、独自にあるいは政府との協力のもと情報セキュリティに対する調査、技術開発等を行っている。これらの調査、技術開発等には多くの企業も参加し、日本独自の情報セキュリティ推進体制を整えている。
	産業技術力	◎	↑	マイクロソフトセキュリティインテリジェンスレポートでは日本のマルウェア（不正ソフト）感染率は諸外国と比べ低いとされている、ISMSやプライバシーマークの普及率が高いなどの情報セキュリティに対する客観的な好成績を示すデータが存在する。情報セキュリティマネジメント、セキュリティ研修教育、セキュリティ制度、利用者セキュリティ意識など総合的に見て比較的高いためと判断できる。
米国	研究水準	◎	↑	心理学や経済学を情報セキュリティに応用したような学際的な研究も多数行われている。またCERT/CCの様な産学官で連携を行い、情報セキュリティに対する実務と研究を並行して行っている機関が存在する。さらに古くから軍の調達に端を発した製品評価等の研究が盛んに行われており、また、経営学、会計監査等の関連から情報システムに係わるマネジメントの研究も盛んに行われている
	技術開発水準	◎	↑	古くから軍の調達に端を発した製品評価等の技術開発は盛んに行われている。また米国は標準化に対し主導的な立場であり、このことは米国の技術開発水準の高さを示すと考えられる。ただし情報セキュリティ事故発生数や情報セキュリティ攻撃の発生元などは高水準である。米国はネットワークを利用したビジネスにおいても先導的な役割を果たしていることを考え合わせると、技術開発水準および産業技術力においてばらつきが大きく、非常に先進的な部分と取り組みが遅れた部分が共存しているものと考えられる。
	産業技術力	◎	→	技術水準に同じ。
欧州	研究水準	◎	↑	高いレベルの国際会議等が欧州において開催されており、多くの欧州の研究者が発表を行っている。またこの分野の基礎である経済学、法学、心理学、倫理学等の社会科学や人文科学においても古くからの膨大な蓄積があり、潜在的な研究開発力にも優れているものと考えられる。
	技術開発水準	◎	→	機器認証のCommon Criteriaの国際標準であるISO15408はヨーロッパのITSECが基となっており、また情報セキュリティマネジメントの国際標準であるISO27001は英国の情報セキュリティ管理基準BS7799が基になっている等、世界を先導して管理基準や製品評価基準を開発するほどの技術開発水準および産業技術力がある。
	産業技術力	◎	→	技術水準に同じ。
中国	研究水準	△	→	中国は日本、米国、欧州諸国、韓国などの自由主義諸国と基本的な社会体制や制度が異なり、このため情報セキュリティマネジメントや情報セキュリティ評価認証制度、情報セキュリティ教育、情報セキュリティ法制度などを同一線上で国際比較を行うことは困難である。その現れとして中国は国際的認証制度であるCommon Criteria Recognition Arrangement(CCRA)には参加しておらず、情報セキュリティ機器認証に関しては中国独自の認証制度がある。 また中国における知的財産権侵害事件の報道は後を絶たず、中国からの情報セキュリティ攻撃は多い。この点から考えると西欧的なセキュリティマネジメントからは低い水準と判断される。 他方、中国企業が中国国内を越え国際的に製品やサービスを提供するには国際的な協調を行わなければならない。その現れと考えられるものとしてISMSの認証取得数の多さが挙げられる。
	技術開発水準	△	↑	研究水準に同じ
	産業技術力	△	↑	研究水準に同じ
韓国	研究水準	△	→	現状では著名な国際会議等で韓国の研究者の発表は見受けられず、また著名な研究プロジェクトの存在も認められない。しかし韓国はCCRAには認証国として参加しており、日本や米国、欧州諸国と同様、自国での認証製品がCCRA加盟国で相互認証されており、相応の技術水準は持っている。またISMS認証取得数も多い。今後の動向に注目すべきである。
	技術開発水準	△	↑	研究水準に同じ
	産業技術力	△	↑	研究水準に同じ

全体コメント：

この分野は実際に現場で行われている具体的な情報セキュリティ対策の経験を基に発達してきた分野である。例えば情報セキュリティ機器の評価認証制度である **Common Criteria** は軍の情報処理機器の調達規格に源を発し、高度な情報セキュリティ機能を必要とする機器の調達を通して発展してきた。また情報セキュリティマネジメントシステム (**ISMS**) は情報セキュリティ対策のベストプラクティスから始まり、実際に適応する中で改善されていった。このため早くから情報ネットワークが発達し、社会の中に浸透し、多くのセキュリティ事故を経験し、高度な情報セキュリティ機能の要求が早く存在した米国や欧州諸国が研究水準、技術水準、産業技術力の各面において一日の長がある。

一方、経験や実践のみを通じた技術開発では限界があり、技術の基となる基礎理論の確立が望まれている。この分野においては理論を考えるには人間行動を扱う必要があり、従来の科学技術の範囲を超え、経済学や心理学と言った社会科学や人文科学を応用する必要がある。文理を融合した学際研究の推進が必要である。このような社会科学や人文科学についても米国や欧州諸国は発達しており、文理を融合させた情報セキュリティに対する応用も盛んに行われている。日本においても最近、情報セキュリティにおける社会科学や人文科学の応用の必要性が指摘されているが、まだ取り組みは緒に就いたばかりである。

(参考情報)

- [1]The Ninth Workshop on the Economics of Information Security (WEIS 2010):<http://weis2010.econinfosec.org/>
- [2]Workshop on Security and Human Behavior (SHB 2010):<http://www.cl.cam.ac.uk/~rja14/shb10/>
- [3]The 6th Workshop on Internet and Network Economics<http://www.stanford.edu/group/wine/>
- [4]Economics and Security Resource Page:<http://www.cl.cam.ac.uk/~rja14/econsec.html>
- [5]平成 20 年度 情報セキュリティ市場調査報告書:<http://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/h20fymarketresearchreport.pdf>
- [6]Microsoft Security Intelligence Report Volume 9:<http://www.microsoft.com/security/sir/>
- [7]Common Criteria: The Common Criteria Portal:<http://www.commoncriteriaportal.org/>
- [8]International Register of ISMS Certificates:<http://www.iso27001certificates.com/>
- [9]各国の情報セキュリティ政策における情報連携モデルに関する調査:http://www.nisc.go.jp/inquiry/pdf/renkei_model.pdf
- [10]ENISA – Securing Europe’s Information Society:<http://www.enisa.europa.eu/>
- [11]NIST Computer Security Special Publications:<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/>
- [12]CERT:<http://www.cert.org/>
- [13]SANS:<http://www.sans.org/>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(3) 暗号・認証基盤および応用

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	暗号技術評価委員会 (CRYPTREC) において、2012 年度を目途に推奨暗号リストの更新作業 [6] が行われている他、RSA 暗号の強度評価に欠かせない素因数分解技術も NTT を中心に世界に肩を並べる。クラウドなどにおいて (OS レベルでなく) データレベルで高度かつ柔軟なアクセス制御を実現する高機能暗号に関する成果が NTT、三菱、産総研などより提案されており、サーバ管理者の不正やクライアント端末の盗難・紛失にも強い鍵管理および認証方式が産総研より提案されている。個々の研究水準は高いと言える。
	技術開発水準	◎	↘	AV 家電における DRM(Digital Right Management)、暗号モジュールの技術開発水準は高い。AV 家電における日本企業のシェアは減少しているが、DRM の考え方は医療データなどのミッションクリティカルなデータの保護やクラウドにおけるデータ保護などにも適用可能であり、それらへの応用が今後の水準を左右する。クラウドセキュリティアライアンス (CSA) ジャパンが 2010 年 6 月に設立され、クラウドにおけるセキュリティ問題に対する調査研究、普及啓発、教育、対策・指針策定等の活動が開始されている。また、暗号技術を応用することで管理者に対しても投票内容を秘匿しつつ 2 重投票などの不正を防止するより高度な電子投票方式の実証実験が NEC により行われている。
	産業技術力	◎	↘	AV 家電における DRM(Digital Right Management)、放送暗号、小額電子決済、ETC (自動料金収受) システムなどにおいて優れた技術を有する。幾つかの技術は海外でも展開されているが、大半は国内市場に閉じており、国内市場の縮小に伴い技術力も徐々に低下することが予想される。一方、中国に進出している日系企業の情報セキュリティ強化向上を目的に中国情報セキュリティ連絡会が形成されるなど、新興国市場進出時の産業技術競争力を強化する動きも見られる。
米国	研究水準	◎	→	長年オープンプロブレムとなっていた完全準同形暗号 (Fully homomorphic encryption) に対する解法が米 IBM ワトソン研究センターで発見され [1]、クラウドなどにおけるデータ保護方式の 1 つとして期待されている。残念ながらその方式のサイズや計算量は非常に大きく実用化には程多いが、その後、世界中でそれらを改良するための研究行われており、パフォーマンスは徐々に改善されてきている。この例からも分かるように、将来のビジネス展開を意識しつつ理論的にも深い研究を行う能力は非常に高い。
	技術開発水準	◎	→	米国国立標準技術研究所 NIST が、2012 年を目途に次世代ハッシュ関数 SHA-3 の選定を行っている他、クラウド、スマートグリッドなどにおけるセキュリティ標準および技術開発を主導している。また、米 IBM ワトソン研究センターでは、上述の完全準同形暗号の実装も行っている [2]。
	産業技術力	◎	→	産業技術力は極めて高く、世界的なシェアも大きい。最近では、EMC が RSA Security を買収し、Symantec が VeriSign、Intel が McAfee、Hewlett-Packard が Fortify Software と ArcSight をそれぞれ買収するなど、セキュリティ技術を取り込むことにより IT ビジネスやクラウドビジネスを強化・拡大させる戦略が取られている。
欧州	研究水準	◎	→	欧州委員会フレームワークプログラムで ECRYPT(European Network of Excellence in Cryptology) II プロジェクトが立ち上がっており、そこで次世代ハッシュ関数 SHA-3 の設計および安全性評価に関する多くの結果が排出されている。また、完全準同形暗号の改良方式が University Of Bristol と Katholieke Universiteit Leuven[3]、ENS de Lyon など [4] によりそれぞれ提案されていたり、英国ケンブリッジ大学で EMV 準拠の IC カードのパスワード認証が迂回可能であることが指摘される [7] など研究水準は高い。
	技術開発水準	○	→	イギリスの CESG(Communications-Electronics Security Group)、CPNI (Center for the Protection of National Infrastructure)、BIS (Department for Business Innovation and Skills)、ドイツの BSI (Federal Office for Information Security)、フランスの DCSSI (Central Directorate for Information Systems Security) など各国の政策に応じた開発支援が行われている他、欧州ネットワーク情報セキュリティ庁 (ENISA: European Network and Information Security Agency) [5] による EU 加盟国への教育、助言なども行われている。
	産業技術力	○	→	ローカル市場に特化したベンチャーおよび中小企業が多い中、F-Secure, SOPHOS など統合セキュリティソリューションで世界に進出している企業もある。
中国	研究水準	○	↗	論文投稿数は急激に増えているが、多くの論文の質はそれほど高くない。ただし、海外帰国組を中心に品質は向上しつつある。また、ハッシュ関数への衝突が発見されたという重要な論文が中国国内で廃没されていたという事例もあり、潜在的な能力は未知数である。
	技術開発水準	△	↗	携帯電話の 3G と 4G の間の規格である LTE (Long Term Evolution) の暗号アルゴリズムとして中国科学院から ZUC というストリーミング暗号が提案された。残念ながら、ZUC は十分な安全性を有していないことが示された [12] が、従来、コピー中心であった技術開発から徐々に新方式の開発、標準化提案の方向に水準を上げつつある。
	産業技術力	△	↗	他の分野と同様、安い労働力を武器に世界の生産工場の役割を担っている。品質は徐々に改善されており、産業技術力は高まりつつある。コア技術が中国に流出するとして懸案となっていた中国強制認証制度 (CCC 制度: 中国国内に出回る製品の品質や安全性を審査する中国独自の規制) への情報セキュリティ製品への追加は、2010 年 5 月から延期され対象も政府調達のみとなったが、中国への輸出製品からのコア技術流出リスクは依然懸念材料となっている。

韓国	研究水準	○	↑	韓国は、2009 年の 7 月に大規模な DDoS 攻撃を受けており、その想定損害額は 1\$=100 円として 3.3 ～ 5 千億円と見積もられている [8]。これを受け韓国政府は、新たな対策に関する研究開発を推進するとしている [8]。DDoS の発信元であるボットネットなどの感染端末は、DDoS 以外にも、スパムメールの送信、フィッシングサイトの設立、パスワードの全数探索などに加えて、電子決済のトランザクションに割り込み不正に預金を引き出したりする類のより高度でより被害の大きな方向に拡大することが予想されている [9]。新たな対策に関する研究開発の推進に伴い、研究水準も高まることが予想される。
	技術開発水準	○	↑	情報通信、家電分野では大企業による開発水準が高い一方、情報セキュリティ分野における技術開発は、90 年代から 2000 年代にかけて多数輩出されたセキュリティベンチャー企業がその一翼を担っている。ベンチャー企業主体の産業構造で、磐石の財務基盤を持つ企業が少ない点も問題視されている一方 [11]、前述のとおり、韓国政府は、新たな対策に関する研究開発を推進するとしており、これに伴い技術開発水準も高まることが予想される。
	産業技術力	○	→	情報通信、家電分野の技術力が高く IT 化が進展しているのに対して、利用者における情報セキュリティ対策は必ずしもそれに追いついていない。これは、感染端末の多さ [10]、住民登録番号の盗用、ゲームなどにおける ID の盗難や成り済ましなどの問題として表れている。韓国政府は、住民登録番号の盗用に対処するため、住民登録番号を直接入力することなく民間等での利用者認証を可能とする枠組みである i-PIN の整備と普及を強力に推進している。一方、利用者の民間サービス利用状況を一部の機関が把握できるとして、プライバシーの問題も懸念されている。
全体コメント： 暗号やハッシュ関数などの暗号要素技術の安全性評価には、ありとあらゆる攻撃を考慮に入れる必要があり、また、個々の攻撃に対する評価についても非常に高度な知識が要求される。そのため、安全性評価に対しては、学会や公的な評価プロジェクトが重要な役割を演じつつある。クラウドにおいては、暗号化した状態での情報処理や暗号を応用したデータレベルでの柔軟なアクセス制御、およびそれらの暗号鍵を漏えいから保護する仕組みに関する研究開発が盛んに成りつつある。産業的には、米国企業を中心に、情報セキュリティ企業を取り込むことで IT ビジネスやクラウドビジネスを強化・拡大させる動きがあり、日本では、新興国に進出した日本企業の情報セキュリティ強化を支援する動きも出始めている。				

(参考情報)

- [1] C. Gentry. “Fully homomorphic encryption using ideal lattices” In STOC 2009, pages 169-178. ACM, 2009.
- [2] C. Gentry and S. Halevi “Implementing Gentry’s Fully-Homomorphic Encryption Scheme”, https://researcher.ibm.com/researcher/view_project.php?id=1579, 2010.
- [3] N. Smart and F. Vercauteren “Fully Homomorphic Encryption with Relatively Small Key and Ciphertext Sizes”, In PKC 2010, LNCS volume 6056, pages 420-443. Springer, 2010
- [4] Stehle Damien and Steinfeld Ron “Faster Fully Homomorphic Encryption”, In ASIACRYPT 2010, LNCS 6477, pp. 377-394, 2010
- [5] European Network and Information Security Agency, <http://www.enisa.europa.eu/>
- [6] “電子政府推奨暗号リストの改訂に関する骨子（案）”, <http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=Pcm1010&BID=145207347>
- [7] S. J. Murdoch, S. Drimer, R. Anderson and M. Bond “Chip and PIN is Broken” IEEE Symposium on Security and Privacy, <http://www.cl.cam.ac.uk/research/security/banking/nopin/oakland10chipbroken.pdf>, 2000
- [8] Hyunchul Jeong “Experiences with DDoS” <http://www.cs.rutgers.edu/~rebecca.wright/INCO-TRUST/Presentations/jeong-INCO2010.ppt>
- [9] マカフィー、「2010 年のサイバー脅威予測」を発表 http://www.mcafee.com/japan/about/prelease/pr_10a.asp?pr=10/01/06-1
- [10] Microsoft Security Intelligence Report” Vol. 8, July through December 2009
- [11] IPA “韓国における情報セキュリティ政策に関する調査” http://www.ipa.go.jp/security/fy16/reports/korea_security/documents/korea_security_2004.pdf 2004.9
- [12] “Cryptanalysis of the Stream Cipher ZUC in the 3GPP Confidentiality & Integrity Algorithms 128-EEA3 & 128-EIA3” ASIACRYPT 2010 Rump Session, http://www.spms.ntu.edu.sg/Asiacrypt2010/Rump%20Session-%207%20Dec%202010/wu_rump_zuc.pdf 2010.12

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(4) ネットワークセキュリティ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	△	↑	この数年間で日本国内においてもネットワークセキュリティに関する研究開発が盛んに行われるようになった。「コンピュータセキュリティシンポジウム」(CSS)や「情報セキュリティシンポジウム」(SCIS)においては、大学のみならず、一般企業からの研究発表が多く行われている。また、業界を挙げての人材育成も活発に取り組まれており、「マルウェア対策研究人材育成ワークショップ」(MWS)では研究用データセットの配布を行うなどして、本分野における研究者の育成に力を入れている。また、文部科学省の助成金を受け、「高度情報セキュリティ人材育成プログラム」(ISS Square)において産学官の連携のもと、情報セキュリティに関わる研究開発・人材育成の支援に取り組んでおり、今後の研究開発水準の向上が期待される。
	技術開発水準	△	→	ネットワーク IDS / IPS、ファイアウォールの分野における国内企業の研究開発はほとんど行われておらず、海外メーカと比較して技術競争力も低い。この分野は後述の米国企業が長年主導してきており、国内市場の大半は米国製品が占めている状況である。 一方、Web アプリケーションファイアウォール(WAF)の分野では、KDDI 研究所が開発するウェブ改ざん検知システムで、2009 年頃より社会的問題となっている Gumblar 攻撃への対策を実現しているほか、NEC、ジェイピー・セキュア、ソリトンシステムズ、ディアイティ、デジタルアーツ、日立情報システムズ等も最新の脅威への対策技術の研究開発を行っており、一部の製品は国内市場において一定のシェアを得ている。
	産業技術力	△	↑	日本版 SOX 法の施行にともない、国内では企業の内部統制に加えて社内システムのセキュリティの強化に対する需要が高まり、ネットワークセキュリティへの投資が盛んに行われるようになった。この傾向は今後も継続することが予想される。 ネットワーク IDS やファイアウォール等の低レイヤ対策技術では海外勢に大きく水をあけられているが、端末のポリシー管理、暗号製品、マルウェア対策技術、WAF の分野では国内のベンチャー系ソフトウェアハウスや一部大手システムメーカの参入も多く、今後の成長が期待できる。
米国	研究水準	◎	→	国際的な評価の高いネットワークセキュリティに関する国際会議においては、米国からの論文発表が大半を占めている。例として、RAID 2010 : 5/10 件、USENIX Security ' 10 : 9/9 件、ACM CCS : 12/18 件、米国内の研究機関による論文発表である(いずれの国際会議もネットワークセキュリティに関わりのある論文を母数とする)。特に、US CERT の運営を行うカーネギーメロン大学、Arbor Networks に関わりの深いミシガン大学のほか、マサチューセッツ大学等において先端的な研究が進められている。
	技術開発水準	○	→	米国では、IDS、IPS、ファイアウォール、WAF のいずれの分野においても盛んに企業での研究が行われ、その一部は国際会議等における論文発表にも見ることができる。世界的に見て、企業の研究開発は個別のセキュリティ対策技術から UTM (Unified Threat Management : 統合脅威管理) 製品へとシフトしつつあり、米国においてもセキュリティ対策ベンダ各社は UTM の研究開発に注力している。
	産業技術力	○	→	UTM 市場においては FortiNet などの UTM 専門のメーカのほか、SonicWall、WatchGuard Technologies、Juniper Networks、CheckPoint Technologies などのファイアウォールベンダからの参入や、Internet Security Systems (ISS) などの IDS / IPS 市場からの参入企業も多く見られる。UTM 市場は今後も拡大が見込まれる市場であるが、その中でも米国は中心的な位置にあり、既存のセキュリティ対策製品で築いた技術と地位を活かして世界的なシェアを掌握しつつある。
欧州	研究水準	○	↑	著名な国際会議において、欧州の研究機関は米国に次いで多くの論文発表を行っている。前述と同様の国際会議を例としてみると、RAID 2010 : 3/10 件、ACM CCS : 5/18 件が、欧州からの論文発表である(いずれの国際会議もネットワークセキュリティに関わりのある論文を母数とする)。米国と比較すると数は少ないが、ウィーン工科大学(オーストリア)、Eurecom Institute (仏)、マンハイム大学(独)等、特にマルウェア分析技術において高い技術力を持つ研究機関が存在する。また、FP7 が拠出する研究資金により大規模かつ長期的な研究開発も実践しており、今後の成長が期待される。
	技術開発水準	○	↑	欧州では欧州委員会(European Commission)が FP7 (第七次研究枠組み計画)を通じて、欧州圏内の研究組織・企業を対象にした研究推進のためのファンディングを行っている。情報通信技術分野においても、この予算を受けて比較的大規模な研究開発を長期間にわたって継続しており、その成果は次世代ネットワーク技術やセキュリティ対策技術という形で出始めている。その中の WOMBAT プロジェクトでは、Symantec 欧州法人が中心となり、ネットワーク監視やマルウェア対策等のセキュリティ対策技術の研究に注力しており、その成果は国際的な学会においても一定の評価を得ている。
	産業技術力	△	→	UTM、IDS、IPS、ファイアウォールといったネットワークセキュリティアプライアンス市場においては、ノキア(フィンランド)のセキュリティ部門が CheckPoint (米国)に買収されているが、アスタロー・アーゲー(独)の UTM が世界的に大きなシェアを持つなど、一定の産業競争力を有しているといえる。一方、マルウェア対策技術においては、AVG は無料のアンチウィルスソフトウェアとして世界的に広く利用されている。また、CWSandbox、Anubis といった無料の不審ファイル検査サービスが欧州発の技術として提供されているが、収益構造の確立には至っておらず、今後の事業展開については不明である。

中国	研究水準	△	↗	著名な国際会議等では、ネットワークセキュリティに関する中国からの研究論文はほとんど見られない。一方で、中国からの米国留学生は著名な国際会議において、めざましい活躍をしており、この人材が将来的には中国の研究開発力の原動力になるものと思われる。
	技術開発水準	△	→	ネットワークセキュリティアプライアンス分野では、Huawei が IDS 製品の開発・製品化を行っている。また、Kingsoft Internet Security のほか、瑞星 (Rising)、江民 (JIANGMIN) と呼ばれるアンチウイルスソフトウェアはその性能の高さから中国国内で非常に大きなシェアを持つが、その販売先は中国国内に閉じており、国際的な評価は得られていない。
	産業技術力	△	↗	現在のところ、中国のネットワークセキュリティに関する産業技術力は他の先進諸国と比べて低く、しばらくの間は世界的なシェアを持つ技術の製品化は見られないと思われる。ただし他の産業と同じく、中国は先進技術の吸収力に富んでいることから、中国発の技術が世界的に認知される日は、そう遠くないものと考ええる。 特にアンチウイルスソフトウェアの分野では中国発のベンチャー系企業の成長がめざましく、韓国系のセキュリティ対策ベンダと並んで国際的な競争力を発揮することが予想される。
韓国	研究水準	△	→	韓国情報セキュリティ学会が中心となり、WISA (International Workshop on Information Security Applications) や ICISC (International Conference on Information Security and Cryptology) 等の情報セキュリティに関する国際会議を開催しているが、IEEE や ACM、USENIX のようなステータスのある国際会議での発表までは至っていない。しかし、韓国国内では情報セキュリティ技術を向上させるための様々なハッキング大会が開催されており、世界最大規模のハッキング大会である Defcon CTF にも韓国のチーム (大学や企業) が毎年トップクラスの成績を上げている。このことから、韓国の実践的なレベルでの情報セキュリティ技術は高いと考えられる。また、海外 (特に米国) の大学、研究機関にいる韓国人留学生や研究員の場合は、ステータスのある学会での発表数が増加傾向になっているため、将来彼らが戦力になれば韓国のネットワークセキュリティ分野における研究水準の向上に繋がると考えられる。
	技術開発水準	○	→	韓国情報セキュリティ振興院 (KISA) はボットネット対策として Sinkhole を運用しており、一定の成果をあげている。また、2009 年 7 月に発生した「77DDoS 攻撃」をきっかけに韓国政府が中心となり、ネットワークセキュリティに関する技術開発を推進しており、特にボットネット検知及び対策システムの開発、マルウェア自動収集・分析・対策システムの開発、DDoS 攻撃の検知及び防御システムの開発、韓国情報セキュリティコントロールタワーの構築等の実践的な技術開発はもちろん、Zombie PC 防止法のようなネットワークセキュリティのための法律整備も急いでいる。一方民間企業では、韓国最大情報セキュリティ企業である Ahnlab をはじめとする約 200 個の情報セキュリティ企業が情報セキュリティ製品を開発しており、そのうち数十社がネットワークセキュリティ製品を開発している。さらに、これまで主にワクチンソフトを開発してきた Ahnlab が 2011 年からは TrustGuard をはじめ、ネットワークセキュリティ製品の開発に集中することを明言した。このようなネットワークセキュリティに関する韓国政府や民間企業による研究開発の推進に伴い、韓国の技術開発水準も高まることが予想される。
	産業技術力	○	↗	前述の通り、韓国では 90 年代から Ahnlab をはじめとする約 200 個の情報セキュリティ企業が研究開発を行っており、これらの企業のほとんどは国内資金によって設立されたものである。これらの企業が開発した情報セキュリティ製品は日本 (36 社) や米国 (17 社)、中国 (17 社) などの海外にも輸出されており、毎年輸出先や売上額が増加している。2009 年の海外売り上げは 40 億円以上にのぼる。ネットワークセキュリティ製品としては、ファイアウォールや IDS、IPS、統合セキュリティシステム (UTM)、DDoS 防御システム、VPN 等が開発されている。韓国国内の産業技術力としては高いと考えられるが、個人ユーザはもちろん一般組織までもが未だに海賊版の OS やソフトウェアを使っているケースが多く、これらの問題を解決しない限りは、77DDoS 攻撃のような大規模攻撃がいつでも発生する可能性がある。
全体コメント： ネットワークセキュリティ分野においては、IDS / IPS、ファイアウォール、UTM 等の研究開発水準、産業競争力の面で米国が圧倒的に強く、その優位性は今後も当面続くと思われる。また、アンチウイルスソフトウェアの産業分野については中国・韓国においてもベンチャー企業などの (各国内での) 台頭がめざましく、今後世界市場でのシェア争いに踏み込む可能性がある。欧州は優れた教育・研究環境を有し、特にマルウェア解析技術の分野で世界的な評価を得る研究開発を行っている。 日本はいずれの面においても国内発の技術が諸外国に追いついておらず、ネットワークセキュリティ事業の大半は海外製品のシステム・インテグレーションを行うのみにとどまっている。ただし、さまざまな機関においてネットワークセキュリティ人材育成への取り組みが盛んに行われていることから、将来的に本分野の産業が発達する可能性はある。				

(参考情報)

[1]CSS 2010 : <http://www.iwsec.org/css/2010/>[2]SCIS 2011 : <http://www.scis2011.jp/>[3]MWS 2010 : <http://www.iwsec.org/mws/2010/>

(註 1) フェーズ [研究水準 : 大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準 : 企業における研究開発のレベル、産業技術力 : 企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [○ : 非常に進んでいる、○ : 進んでいる、△ : 遅れている、× : 非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗ : 上昇傾向、→ : 現状維持、↘ : 下降傾向]

- [4]SS Square : <http://iss.iisec.ac.jp/>
- [5]KDDI 研究所 “〈お知らせ〉「ウェブ改ざん検知システム」の「Gumblar (ガンブラー)」対応について”
http://www.kddi.com/corporate/news_release/2010/0115a/index.html
- [6]RAID 2010 <http://www.raid-symposium.org/raid2010/>
- [7]USENIX Security ' 10 <http://www.usenix.org/events/sec10/>
- [8]ACM CCS 2010 <http://www.sigsac.org/ccs/CCS2010/>
- [9]European Commission FP7 http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html
- [10]WOMBAT Project <http://www.wombat-project.eu/>
- [11]DEFCON <http://www.defcon.org/>
- [12]Hyuncheol Jeong “Experiences with DDoS”
<http://www.cs.rutgers.edu/~rebecca.wright/INCO-TRUST/Presentations/jeong-INCO2010.ppt>

(5) コンピュータセキュリティ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	△	→	コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS)[1] や「暗号と情報セキュリティシンポジウム」(SCIS)[2] において国内のセキュリティ研究が概観できるが、クラウドセキュリティおよびトラステッドコンピュータでは国際的な学会 (IEEE SS&P[3]、ACM CSS[4]、USENIX Security[5]、ACSAC[6]、NDSS[7]) で戦えるものが見受けられない。海外の大学、研究機関にいる日本人でも国際的な学会には到達できていない。 国内要素技術は先進的計算基盤システムシンポジウム (SACSIS)[8]、並列／分散／協調処理に関するサマー・ワークショップ (SWoPP)[9]、コンピュータシステムシンポジウム (ComSys)[10] で概観できるが、主要な国際会議 (SOCC[11]、SOSP[12]、OSDI[13]、EuroSys[14]、USENIX ATC[15]) には及ばない。 ステータスのある国際会議はアイデア一つで到達できるものでなく、ワークショップなどでアイデアを磨いて説得力を増していくものであるが、日本人の研究は継続性がなく、質と量の集積が集積できないため、ステータスの高い国際会議の前のレベルで止まっている。
	技術開発水準	○	→	クラウドで使われる仮想マシンに関しては富士通がオープンソースの Xen Cloud Platform の開発に貢献しており技術力を有する。NEC も Google と組んで ODSI 2010 に論文が採択されており、技術力を有すると思われる。KeyValue Storage に関しては TokyoCabinet(FAL Labs) や ROMA (楽天) などのツールが国産で開発されており、技術力はあるが、国際的な評価までに行っていない。 トラステッドコンピューティングではディスク暗号化標準技術 (TCG/OPAL) に関する研究開発を行っており、今後に期待が持てる [16]。 業界団体としてクラウドに関してはグローバルクラウド基盤連携技術フォーラム (GICTF) や Cloud Security Alliance Japan Chapter やトラステッドコンピューティングに関して TCG Japan Regional Forum が取りまとめを行っているが、国際的にリードするまでには行っていない。
	産業技術力	○	→	国内の大手コンピュータベンダーはクラウド事業を推進しており、その競争力はある程度ある。しかし、パブリッククラウドとして国際的な展開ではなく、プライベートクラウドとして既存カスタマに提供が多いようである。ここでは応答時間や高可用性など高品質なクラウドを提供しているが、クラウドの本質のスケールのメリットの享受が薄く、イノベーションのジレンマ [17] に陥っているように思われる。 国内パブリッククラウドとしては NiftyCloud(VMware 利用)、さくらインターネット (VMware 利用) が IaaS タイプのクラウドを提供している。また富士通が Microsoft の Azure を使った FJ-Azure のサービス提供を予定しているなど、一定の競争力は認められる。 TPM はコピー複合機に含まれ、トラステッドコンピューティングに基づくリモート管理に使われており、日本の製品にかなり採用されている。
米国	研究水準	◎	→	ステータスのあるシステムセキュリティの学会 (IEEE SS&P[3]、ACM CSS[4]、USENIX Security[5]、ACSAC[6]、NDSS[7]) およびシステムソフトウェアの学会 (SOCC[10]、SOSP[11]、OSDI[12]、USENIX ATC[13]、EuroSys[14]) でほとんどの論文発表を占め、圧倒的な存在感がある。 新規の概念も提案されており、この分野をリードしている。エラーにすぐ対処せずに処理を進める忘却型コンピューティング (Failure Oblivious Computing) は大規模分散処理を実現するのに必要な概念であり、MIT を中心に研究が進んでいる。また、ネットワーク上でのデータ消去 (ワシントン大学の Vanish)、物理キャッシュ共有のから別の VM の情報漏えいを可能にする Cross VM Side Channel 攻撃 (UCSC)、データセンタでの物理メモリ障害が予想以上に多いことの解析 (Google& トロント大) など新しい領域を示している。 トラステッドコンピューティング関連としては SecVisor(CMU) や Nickle(Purdue) があり、研究能力が高い。
	技術開発水準	◎	→	クラウドでは Google の MapReduce の成功から Hadoop や Dryad(Microsoft Research) の開発や Amazon EC2 の成功から Eucalyptus(UCSB 発) や OpenStack (Rackspace +NASA) の開発など圧倒的な開発力を有する。IaaS タイプの仮想マシンモニタとしては RedHat 社の KVM(オリジナルはイスラエルの Qumranet 社) があり、Eucalyptus や OpenStack の中心となる仮想マシンモニタである。 CSA(Cloud Security Alliance) はクラウドセキュリティの業界団体として発足し、導入ガイドラインや他規格との関連した管理マトリックスを定期的に更新して提供者と利用者の双方に有益な情報提供を行っている。 トラステッドコンピューティングについては IBM Watson 研究所が TrouSerS を保守しており、技術水準が高い。

	産業技術力	◎	→	SaaSではSalesForce、PaaSではGoogle、IaaSではAmazon EC2等、リーディングカンパニーを有して他を圧倒している。これらを追撃する企業としてMicrosoft(Azure)、Rackspace などが厚い。大規模分散環境での障害、セキュリティ事例を取得できる企業はこれらに偏っており、勝者と敗者が明確にされつつある。クラウドの仮想化セキュリティではAltor Networks(Juniper Networksに買収)などのベンチャーが起こるなど活発である。また、クラウドの計算能力を使い大規模ログ解析を行うArcSightやSplunkが起業するなどセキュリティ応用も活発である。 トラステッドコンピューティングではIntelとIBMが標準化団体であるTCG(Trusted Computing Group)をけん引しており、Intelは製品CPU内にトラステッドコンピューティング技術であるTXT(Trusted Execution Technology)を含めるなど着実な布石を打っている。
欧州	研究水準	○	→	IaaSタイプのクラウドで使われているXenがCambridge大学発であり、基礎的な研究水準は高い。ステータスのあるシステムセキュリティの学会およびシステムソフトウェアの学会でも必ず欧州発があるようにレベルが高い。また、ENISA(European Network and Information Security Agency:欧州ネットワーク情報セキュリティ庁)が各種クラウドコンピューティングインフラのセキュリティリスク評価を行い、質の高いガイドラインを提供している。 Trusted ComputingのカンファレンスであるTRUST[18]を2008年から継続してヨーロッパで行うほど関心が高い。研究プロジェクトとしても、かつてはOpenTC(FP6 06-09)、ドイツ連邦経済技術省のEMSCBプロジェクトがあり、現在はTrusted Embedded ComputingのTECOM(EU-FP7)、NADA(EU-FP7)、SECRICOM(EU-Security)がある。Sadeghi教授のドイツのルール大学ボーフムやTPM EmulatorのETH Zurichなどの研究レベルも高い。
	技術開発水準	○	→	企業の研究所としてはIBM Zurich、Microsoft Research Cambridge、欧州Googleにおいてクラウドコンピューティングセキュリティおよびトラステッドコンピューティングの研究発表があるが、いずれも米国に本社を置く企業である。
	産業技術力	○	→	Oxford大学のBill McCollがスピンアウトしたベンチャー企業のCloudscaleがシリコンバレーにできるように技術水準は高いが、展開先が米国で行われており、産業技術力は一步遅れている。仮想マシンモニタのXenもXenSourceとしてベンチャー企業が立ち上がったが、米国のCitrixに買収されている。利用に関しても主力が米国のAmazonEC2であり、産業技術力があるもののリーディングカンパニーまでにはいかない。
中国	研究水準	△	↗	精華大学や復旦大学がシステムソフトセキュリティに関して国際会議での発表を行っているが、ステータスのあるシステムセキュリティの学会およびシステムソフトウェアの学会までにはいかない。ただし、中国人の米国留学生はステータスのある学会で多く発表しており、彼らまで含めると潜在能力は非常に高い。トラステッドコンピューティングとしては中国では既存のTPMが使えず、実装の異なるチップ(TCM:Trusted Cryptographic Module)による独自の暗号化が必要となる。 トラステッドコンピューティングに関しては武漢大学においてTCMを開発しており、一定の研究水準[19]がある。
	技術開発水準	△	↗	国産企業の研究としては目立ったものがないが、IBMが香港にクラウドコンピューティング研究所を2009年に開設した。マイクロソフトの中国研究所のシステムソフトウェアに強く、潜在能力がある。トラステッドコンピューティングにおいて企業の目立った研究は見当たらない。
	産業技術力	△	↗	検索サービスの百度(Baidu)があり、その検索が早いばかりでなく、情報規制対応の検索も行っていることから潜在能力が高いことがわかる。 Great FireWallと呼ばれるネットワーク規制があり、Twitterなどのクラウドサービスが受けられない状況であり、既存のパブリッククラウドを用いた産業が出にくい状況である。 トラステッドコンピューティングとしては中国政府対応のTPMであるTCMをSinosunとLenovoが開発を行っている。
韓国	研究水準	△	→	クラウドコンピューティングセキュリティでの学会発表はほとんど聞かない。 トラステッドコンピューティング関連の研究は韓国電子通信研究院(ETRI)や幾つかの大学で行っているが、ステータスのある学会発表までとはいっていない。
	技術開発水準	△	→	韓国独自のセキュアOS(SecuveTOSやHizard)を開発していた技術力があり、この技術はクラウドコンピューティングの潜在力となりうる。また、クラウドコンピューティングセキュリティでは韓国インターネット振興院(KISA)や韓国クラウドサービス協会(KCSA)が情報発信をしているようだが、国際的に認知まではしていない。
	産業技術力	△	↗	韓国では電子政府が発達しており、PKIを含む認証基盤が普及している[20、21]。これをベースにクラウド関連のセキュリティは進めやすい状況になっている。産業技術力としては高いと考えられる。 トラステッドコンピューティング関連では目立った製品はないが、セキュアOS関連での技術力は有すると考えられる。

(註1) フェーズ[研究水準:大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準:企業における研究開発のレベル、産業技術力:企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎:非常に進んでいる、○:進んでいる、△:遅れている、×:非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↗:上昇傾向、→:現状維持、↘:下降傾向]

全体コメント：

クラウドのセキュリティに関してはスマートフォンの BlackBerry がアラブ首長国連邦（UAE）で治安上の懸念で利用禁止が騒がれた事件が参考になる。BlackBerry はバーチャルプライベートネットワークを通して暗号化されてカナダのサーバーと通信を行うため、他国では通信の監視ができない。このため UAE ではプロキシサーバを同国内に置くことを求めた。EU の Data Protection Directive や中国の Great Fire Wall のように国家間の安全保障および情報統制に関する規制もある。また、米国ではパトリオット法があり、データセンタの施設を差し押さえられて問題のないユーザも利用できなくなった事件（コア IP ネットワークス事件）が 2009 年に起きており、このような事態に対応できるリスクヘッジの技術も重要である。

クラウドは世界的にカバーされるようになってきているが、その技術が各国で共通に使われている訳ではないことに注意する必要がある。

(参考情報)

- [1] コンピュータセキュリティシンポジウム <http://www.iwsec.org/css/2010/>
- [2] 暗号と情報セキュリティシンポジウム <http://www.ieice.org/~isec/>
- [3] IEEE Symposium on Security and Privacy (SS&P) <http://www.ieee-security.org/TC/SP-Index.html>
- [4] ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS) <http://www.sigsac.org/ccs.html>
- [5] USENIX Security <http://www.usenix.org/event/bytopic/security.html>
- [6] Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC) <http://www.acsac.org/>
- [7] Network and Distributed System Security Symposium (NDSS) <http://www.isoc.org/isoc/conferences/ndss/>
- [8] 先進的計算基盤システムシンポジウム (SACIS) <http://sacsis.hpcc.jp/>
- [9] 並列／分散／協調処理に関するサマー・ワークショップ <http://www.hpcc.jp/swopp/>
- [10] コンピュータシステムシンポジウム (ComSys 2010) <http://www.ipsj.or.jp/sig/os/>
- [11] ACM Symposium on Cloud Computing (SOCC) <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1807128>
- [12] ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP) <http://sosp.org/>
- [13] USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI) www.usenix.org/event/osdi10
- [14] ACM European Conference on Computer Systems (EuroSys) <http://www.eurosys.org/>
- [15] USENIX Annual Technical Conference <http://www.usenix.org/event/bytopic/usenix.html>
- [16] TCG 日本支部 (JRF) 第二回 公開セキュリティワークショップ <http://www.trustedcomputinggroup.org/jp/jrfworkshop>
- [17] クレイトン・クリステンセン著、玉田俊平太監修、伊豆原弓訳 『イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』 翔泳社、ISBN 4-7981-0023-4（増補改訂版 2001 年）
- [18] TRUST <http://www.trust2010.org/>
- [19] ZHANG Huanguo, Wuhan University, “Research and development of trusted computing in China”, http://grid.hust.edu.cn/aptc08/slides/04_R&D%20of%20Trusted%20Computing%20in%20China_Huanguo%20Zhang.pdf
- [20] 韓国電子政府について http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/nextg/pdf/siryou_21.pdf
- [21] デジタルフォレンジック研究会、第 108 号コラム「韓国は如何にして電子行政世界最先進国家となりし乎——韓国訪問記」辻井 重男 会長（中央大）<http://www.digitalforensic.jp/expanel/diarypro/diary.cgi?no=241&continue=on>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(6) 仮想化

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	国内では仮想マシン（VM）を用いたセキュリティ・ディペンダビリティの研究や、セキュリティ・ディペンダビリティを向上させた仮想化ソフトウェア（ハイパーバイザ）の研究が盛んに行われている。例えば、科学技術振興調整費で開発されたセキュアなハイパーバイザである BitVisor[19] は海外の研究者にも使われている。科学技術振興機構 CREST でも VM を用いて OS のセキュリティを高める技術や OS の障害の検知・回復のための技術が研究されている [20]。しかし、関連する著名な国際会議にはほとんど採択されていないのが現状であり、国際的にトップレベルの研究は少ない。
	技術開発水準	○	→	いくつかの企業がオープンソースのハイパーバイザに対する機能拡張の研究開発を行っている。VA Linux Systems Japan 社は最もよく利用されている Xen の開発に以前より深く関わっており、ハイパーバイザを高速に再起動する技術なども開発している。NTT も Xen を用いた高可用性の研究 [21] を行っており、富士通なども Xen の開発を行ってきたが、最近では新しく出てきた KVM の開発にシフトしつつある。これらの各社は Xen Summit[17] や KVM Forum[18] 等で盛んに研究発表を行っている。また、数社では独自のハイパーバイザの開発も行っている。しかし、著名な国際会議での発表はほとんど見られない。
	産業技術力	○	→	いくつかの企業は独自のハイパーバイザを搭載した製品を販売している。日立はメインフレームで培った技術を活かして、高性能と堅牢性を特徴とする Virtage を製品として提供している。ソニーと東芝は Cell/B.E 用のハイパーバイザを開発し、著作権保護や障害の隔離などに利用している。しかし、その他の各社（富士通、NEC 等）は XenServer、KVM、Hyper-V などの既存の製品を用いて統合プラットフォームを提供するにとどまっている。また、各社が VM を用いた IaaS 型クラウドを提供しており、高信頼化という差別化をはかっているものの、市場のシェアは低い。
米国	研究水準	◎	→	著名な国際会議における発表数は群を抜いている。仮想化技術を用いたセキュリティ関連ではノースカロライナ州立大学、ジョージア工科大学などの研究水準が高く、ディペンダビリティ関連では様々な大学がひしめき合っている。実際には、中国などからの留学生が研究を行っていることも多い。当初は OS 分野の国際会議での発表が多かったが、最近ではセキュリティ、ディペンダビリティ、HPC 分野などに広がっている。
	技術開発水準	◎	→	VMware、Citrix、RedHat、Microsoft、Oracle、IBM などの企業が独自のハイパーバイザの開発を行っており、各社ともに高可用性、障害回復、セキュリティなどの同様の機能を提供している。しかし、多くのハイパーバイザは元々、他国で開発されたものである。例えば、Citrix 社の XenServer はイギリスのケンブリッジ大学 [22]、RedHat 社の KVM はイスラエルの Qumranet 社 [23]、Oracle 社の VirtualBox はドイツの Innotek 社 [24] で開発された。各社はこれらの開発者を迎え入れて開発を行っているのが現状である。また、VMware、HP、IBM、Intel、Microsoft などは国際会議でディペンダビリティ関連の研究発表も盛んに行っている。一方で、セキュリティ関連の研究発表は少ない。
	産業技術力	◎	→	VMware、Citrix、Microsoft、RedHat の 4 社が開発しているハイパーバイザが市場のほとんどを占めている状態である。これらはどれも仮想化技術を用いてディペンダビリティ・セキュリティを向上させる機能を提供している。IBM はメインフレームで培った技術を用いて、自社のハードウェアに搭載する PowerVM[25] を開発している。また、VM を用いた IaaS 型クラウドでも、Amazon 社の EC2[26] と Rackspace 社の Cloud Servers[27] が市場のほとんどを独占している状態である。EC2 ではファイアウォール型のセキュリティを提供している。
欧州	研究水準	○	→	ケンブリッジ大学（イギリス）やドレスデン工科大学（ドイツ）などを中心に、VM を用いたセキュリティ・ディペンダビリティの研究が行われている。特に、広く使われているハイパーバイザである Xen はケンブリッジ大学で開発された。国際会議でも様々な国からの発表が行われているが、米国と比べると数は圧倒的に少ない。
	技術開発水準	○	→	Innotek 社（ドイツ）で VirtualBox が開発され、Qumranet 社（イスラエル）で KVM が開発されるなど、新興企業の技術開発水準は高い。IBM Research チューリッヒ研究所でも仮想化の研究が行われている。また、ハイパーバイザのセキュリティについては Invisible Things Lab 社がハッカーの会議である Black Hat[28] で頻繁に研究発表を行っている。しかし、その他の企業では特に目立った研究開発は見られない。
	産業技術力	△	→	優れた技術は生まれているが、産業として育成できているとは言い難い。ケンブリッジ大学の Xen の開発者は米国で XenSource 社を起業し、Citrix 社に買収された。Innotek 社は米国の Sun Microsystems 社に買収され、Qumranet 社も米国の RedHat 社に買収された。

中国	研究水準	△	↗	近年、国際会議への投稿件数が倍増しているが、現状では質の低い論文が大多数である。しかし、著名な国際会議への採択も徐々に増えてきている。華中科学技術大学などを中心とする ChinaV プロジェクト [29] で仮想化技術に関する基礎研究が行われている。研究者人口も予算も増加傾向にあり、今後の研究水準は向上していくと思われる。
	技術開発水準	△	↗	Red Flag Software 社が Xen や KVM の開発を行っている [17][18]。米 Intel 社の中国研究センターでも Xen や KVM などのハイパーバイザに関する研究が行われており、Xen Summit や KVM Forum 等での発表が増えてきている。現在はまだ国内企業の研究水準は高くないが、今後飛躍的に技術水準が上がっていくことが予測される。
	産業技術力	△	↗	米 Novell 社が仮想化やクラウドを牽引している状況であり、国家プロジェクトとして開発した紅旗 Linux を販売する Red Flag Software 社などの国内企業は出遅れている。成長市場として他国からの関心が高く、他国の企業が次々と参入してきているため、国内企業の技術水準もそれに伴って上昇していくと予想される。
韓国	研究水準	△	→	国際会議のレベルに関わらず発表件数は少なく、研究水準は高くない。国内でも仮想化に関連した研究プロジェクトは特に見られない。
	技術開発水準	△	→	サムスン電子が組込みシステム向けの Xen を開発している [17] が、それを除いては企業による研究開発はあまり行われていない。
	産業技術力	△	→	LG 電子がマイクロソフト、VMware などの米企業を提携して、モバイル端末のセキュリティ向上や家電の機能向上に仮想化技術を利用し始めている。産業への応用は始まったばかりであり、仮想化に関する企業の技術力はそれほど高くないと思われる。
全体コメント： 仮想化はシステムの監視や障害の隔離などを容易にするため、セキュリティ・ディペンダビリティと直結する技術である。仮想化に関しては大学・企業ともに米国が圧倒的な強さを見せている。それに日本、欧州、中国、韓国が続いている。米国は優秀な留学生を集めて研究を推進し、他国に有望な技術があれば買収するといったように、人材・技術を米国にうまく集めることに成功している。 日本は総合的に見ると現状では二番手であるが、しばらくすると中国に追い越される可能性が高い。中国は米国で学位を取得した優秀な留学生を呼び戻すことで、大学・企業の研究水準を飛躍的に向上させつつある。また、成長市場であるため大胆な投資を行いやすい。一方、日本国内では優れた研究も散見されるが、博士課程の学生が少ないこともあり、著名な国際会議での発表にあまり結びつけられていない。クラウドの普及に伴い、仮想化技術の重要性も増していくため、大学・企業での研究開発の促進が不可欠である。				

(参考情報)

- [1]Proceedings of International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)
- [2]Proceedings of Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC)
- [3]Proceedings of Conference on Computer and Communications Security (CCS)
- [4]Proceedings of Symposium on Security and Privacy
- [5]Proceedings of Recent Advances in Intrusion Detection Symposium (RAID)
- [6]Proceedings of Network and Distributed System Security Symposium (NDSS)
- [7]Proceedings of Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC)
- [8]Proceedings of Conference on Virtual Execution Environments (VEE)
- [9]Proceedings of Symposium on Operating Systems Principles (SOSP)
- [10]Proceedings of Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI)
- [11]Proceedings of Networked Systems Design and Implementation (NSDI)
- [12]Proceedings of EuroSys Conference
- [13]Proceedings of International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS)
- [14]Proceedings of USENIX Annual Technical Conference (ATC)
- [15]Proceedings of International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing (CCGrid)
- [16]Proceedings of International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC)
- [17]Xen Summit, <http://www.xen.org/community/xenevents.html>
- [18]KVM Forum, http://www.linux-kvm.org/page/KVM_Forum
- [19]BitVisor, <http://www.bitvisor.org/>
- [20] 科学技術振興機構 CREST, 研究領域「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」
- [21]Kemari Project, <http://www.osrg.net/kemari/>
- [22]Xen, <http://www.xen.org/>
- [23]Kernel Based Virtual Machine, <http://www.linux-kvm.org/>
- [24]VirtualBox, <http://www.virtualbox.org/>
- [25]PowerVM, <http://www-03.ibm.com/systems/power/software/virtualization/>
- [26]Amazon Elastic Compute Cloud, <http://aws.amazon.com/ec2/>
- [27]Rackspace Cloud Servers, http://www.rackspacecloud.com/cloud_hosting_products/servers/
- [28]Black Hat Technical Security Conference, <http://www.blackhat.com/>
- [29]J. Hai, “ChinaV: Experiences on Virtualization Technology”, Xen Summit Asia 2009

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(7) 量子情報セキュリティ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	量子暗号（鍵配送）の分野では、光子検出器の高効率化など要素技術の着実なレベルアップに加え、システムをネットワーク形状で結んだ大規模実証実験が実施され、世界的に見ても、最も研究水準の高い地域となっている。また、多者間量子情報処理など、従来の量子暗号（鍵配送）のアイデアにとどまらない萌芽的研究についても、比較的大きなプロジェクト型研究として支援されている状況にある。しかしながら、本質的な知見の発見等の基礎分野への貢献については、欧米に較べてやや手薄な状況も続いており、長期的な視点に基づいた継続的な支援が必要な状況である。
	技術開発水準	◎	→	量子暗号（鍵配送）の分野では、委託研究等の制度を通じて、研究開発において相当の部分について、企業と大学、国立研究機関が協力して進めている状況があり、特にシステムとしての集約を含めた暗号装置としての開発能力は、他国と一線を画する状況にある。結果として、量子暗号（鍵配送）の分野では、世界をリードする装置開発能力を有している。一方、量子暗号（鍵配送）以外の分野については、分野全体として萌芽的であることを反映し、企業における研究開発が積極的に行われる段階に至っていない。
	産業技術力	○	→	技術開発水準に同じ。ただし、現状の量子暗号（鍵配送）については、既存の暗号技術との効果的な融合など実用化に向け必要な課題の解決が行われない場合には、当暗号技術そのものの一般的普及は想定しにくく、特殊用途での導入に限定されることから、産業技術力についても限定的な意味にとどまることに注意が必要である。
米国	研究水準	◎	→	量子暗号（鍵配送）の分野では、光子検出器の高効率化など要素技術の着実なレベルアップが見られる一方、特に量子暗号（鍵配送）に特化した研究は、基礎研究としての重点領域からはずれ、多者間量子情報処理など、従来の量子暗号（鍵配送）のアイデアにとどまらない萌芽的研究について、加速している傾向が見られる。基礎分野への貢献として、従来に引き続き先進的な成果が輩出されており、この分野において、世界をリードしている。
	技術開発水準	◎	→	日本とは異なり、量子暗号（鍵配送）の分野では、（既にこれに特化したベンチャー企業が、研究、装置開発を担っている状況にあるが）企業において大規模な研究開発が行われている状況にはない。むしろ量子暗号（鍵配送）以外の萌芽的分野について、委託研究等を通じた基礎研究への参加が加速されている状況にある。
	産業技術力	○	→	技術開発水準に同じ。ただし、現状の量子暗号（鍵配送）については、既存の暗号技術との効果的な融合など実用化に向け必要な課題の解決が行われない場合には、当暗号技術そのものの一般的普及は想定しにくく、特殊用途での導入に限定されることから、産業技術力についても限定的な意味にとどまることに注意が必要である。
欧州	研究水準	◎	→	量子暗号（鍵配送）の分野では、光子検出器の高効率化など要素技術の着実なレベルアップが見られる一方、米国同様、特に量子暗号（鍵配送）に特化した研究は、基礎研究としての重点領域からはずれ、多者間量子情報処理など、従来の量子暗号（鍵配送）のアイデアにとどまらない萌芽的研究について、加速している傾向が見られる。一方、量子暗号（鍵配送）装置の光子検出器の特定の実装に伴う脆弱性の発見が契機となって、量子暗号（鍵配送）の研究にも新しい展開も出現している。
	技術開発水準	◎	→	米国同様に、量子暗号（鍵配送）の分野では、既にこれに特化したベンチャー企業が、研究、装置開発を担っている状況にあるが、これらの企業が研究所からのスピノフであることを反映し、基礎的研究にも大きな貢献を行っている。特に、2010 年早々に、ノルウェーのグループから量子暗号（鍵配送）装置の光子検出器の特定の実装に伴う脆弱性の指摘があった際には、ターゲットとなった装置の開発ベンダーと当該グループの間でいち早く共同研究を実施、改めて、欧州の技術開発水準の高さとその柔軟性を示した。
	産業技術力	○	→	技術開発水準に同じ。ただし、現状の量子暗号（鍵配送）については、日米と同様、既存の暗号技術との効果的な融合など実用化に向け必要な課題の解決が行われない場合には、当暗号技術そのものの一般的普及は想定しにくく、特殊用途での導入に限定されることから、産業技術力についても限定的な意味にとどまることに注意が必要である。
中国	研究水準	○	→	量子暗号（鍵配送）の分野では、光子検出器の高効率化など要素技術の着実なレベルアップに加え、実証実験等も従来に引き続き行われている状況にあるが、他地域と比較して特色的な研究成果は、特に見受けられない。基礎分野への貢献についても、現状日本と比較してやや手薄な状況であるが、若手在外研究者による欧米での貢献は目立っており、将来、急速に発展する可能性は大きい。
	技術開発水準	△	→	研究水準と同じ。
	産業技術力	△	→	研究水準と同じ。
韓国	研究水準	△	→	量子暗号（鍵配送）の分野では、光子検出器の高効率化など要素技術の着実なレベルアップに加え、実証実験等も従来に引き続き行われている状況にあるが、他地域と比較して特色的な研究成果は、特に見受けられない。基礎分野への貢献についても、現状日本と比較してやや手薄な状況である。
	技術開発水準	△	→	研究水準と同じ。
	産業技術力	△	→	研究水準と同じ。

全体コメント：

量子暗号（鍵配送）分野における近年の重要な進展は以下の二つに集約される。

一つは、2010 年 10 月に東京で行われた、システムをネットワーク形状で結んだ大規模実証実験であり、大都市圏内で鍵配送を安定して行うことを実証しただけでなく、ネットワーク上の任意のノード間の秘密通信を実現するのに必要な鍵管理方式の具体的なフォーマットで実現した点でも、実用化に向けた意義は大きい。この実証実験は、2008 年 10 月にウィーンにて行われた欧州グループの実証実験やそれを契機として欧州を中心に進められている標準化に関する議論とも大きく関連し影響を与えるものであり、本分野における日本の高い技術レベルを発信できた意味でも、本年度の大きなイベントとなった。情報セキュリティ技術としてのニーズの発掘、あるいは、現代暗号技術との効果的な組み合わせなどは、本技術の普及に向けた大きな課題ではあるが、実際の運用形態がより具体的にイメージできるようになり、今後はそれらの課題についても研究が進められるものと考えられる。

もう一つの大きな進展として、ノルウェーグループによる、量子暗号（鍵配送）装置の光子検出器の性質に依存した脆弱性の発見に関する成果が挙げられる。この成果は、単に（他の現代暗号が直面しているのと同様に）量子暗号（鍵配送）システムが実装に依存して脆弱性を持つことを指摘するのみならず、「安全な実装とは何か」という問題を基礎的な立場から研究する必要性を顕著に示しており、欧州や日本の一部で、そのような立場からの考察が既に萌芽しつつある。量子暗号（鍵配送）の研究が「暗号機能として何を達成しどう利用されるか」という実利的な側面とは別に、暗号装置一般について「よい実装とは何か」という問いに応えられる原理をそこで抽出することができるか、基礎、応用のどちらの意味においても、注目すべき研究分野であろう。

（註 1）現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註 2）近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

（参考情報）

- [1]Namekata, Naoto; Adachi, Shunsuke; Inoue, Shuichiro, “1.5 GHz single-photon detection at telecommunication wavelengths using sinusoidally gated InGaAs/InP avalanche photodiode”, Optics Express, 2009, Vol. 17 Issue 8, pp.6275-6282.
- [2]UQCC 2010, <http://www.uqcc2010.org/jp/index.html>
- [3]FIRST 最先端研究開発支援プログラム 量子情報処理プロジェクト, <http://www.first-quantum.net/index.html>
- [4]NICT 委託研究、量子暗号の実用化のための研究開発、
http://www2.nict.go.jp/q/q265/s802/seika/h21/seika/113a/113a_gaiyou.pdf,
http://www2.nict.go.jp/q/q265/s802/seika/h21/seika/113i/113i_gaiyou.pdf,
http://www2.nict.go.jp/q/q265/s802/seika/h21/seika/113u/113u_gaiyou.pdf
- [5]US NSF –Physics- Research Overview, <http://www.nsf.gov/news/overviews/physics/index.jsp>
- [6]ID Quantique SA, Vulnerability in commercial quantum cryptography tackled by international collaboration, <http://www.idquantique.com/images/stories/PDF/press-releases/pr-international-collaboration.pdf>
- [7]Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet: Quantum Hacking Group, <http://www.iet.ntnu.no/groups/optics/qcr/>

（註 1）フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

（註 2）現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註 3）近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(8) ハードウェアセキュリティ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↗	産業技術総合研究所（産総研）でサイドチャネル攻撃の標準評価プラットフォーム SASEBO[1,2] の開発が進められ、国際的に利用されて高い評価を受けている。産総研、東北大、電通大における実装面の研究が国際学会等で多く発表されている。サイドチャネル攻撃や Physical Unclonable Function (PUF) を対象とした大規模な研究プロジェクト（CREST/JST、代表者：藤野毅 立命館大教授）[3] が開始されており、今後の発展が期待される。
	技術開発水準	○	↗	主要な国際会議において、三菱電機が新しい耐クローン技術 Glitch PUF[4] を、NTT 研究所が標準ブロック暗号に対するフォルト攻撃[5,6] を、KDDI 研究所がストリーム暗号 K2 に対するタイミング攻撃・電力解析・フォルト攻撃[7] を発表するなど、一定の存在感が認められる。国内シンポジウムでは、これら企業のほかにソニー、東芝、NEC 等からも技術報告がされており、技術開発水準は比較的高いと言えるが、対策技術に関する主要な特許を外国企業におさえられている面もある。
	産業技術力	○	↗	スマートカードや映像用 LSI 等、耐タンパ技術が必須である LSI を製造する企業が存在し、独自に耐タンパ技術を搭載しているものと思われ、ある程度の産業技術力を有すると考えられる。また、国内主要企業が出資する ECSEC（（株）電子商取引安全技術研究所）によって、ISO/IEC14508 (Common Criteria) や ISO/IEC19790 といった国際標準に準拠した安全性評価が行われている。耐クローン技術についても、各企業が独自に製品に実装していると思われるが、欧米企業のように PUF を製品化したという明確な例はない。
米国	研究水準	◎	→	サイドチャネル攻撃、フォルト攻撃、PUF 等の広範囲に渡って非常に多くの論文が発表されている。特に米ヴァージニア工科大 Schaumont のグループから PUF に関する先駆的研究[8-10] が多く発表された。米国国立標準技術研究所 (NIST) により、ハードウェアセキュリティに関する標準 ISO/IEC 19790 がベースにしている FIPS140-2 の FIPS140-3 への改訂作業が現在進められており、国際的な影響力も強い。
	技術開発水準	◎	→	サイドチャネル攻撃を開発した P. Kochar が設立した米 Cryptography Research Inc. (CRI) が、攻撃対策に関する主要特許を数多く取得するなど、企業による研究も盛んである。PUF を商用化した Veroyo のような企業も存在し、当該分野における技術開発水準は非常に高いと言える。
	産業技術力	◎	→	Atmel が CRI のライセンスを取得し、世界初のサイドチャネル攻撃対応 FPGA を発売したほか、PUF を商用化している Verayo が Unclonable RFID チップを販売するなど、耐タンパ技術や耐クローン技術を商用利用する動きが活発であり、産業技術力は非常に高いと言える。
欧州	研究水準	◎	→	各国の大学から非常に多くの学術論文が発表されており、特にフランス、オランダ、英国、ベルギー、ドイツからの研究報告が多い。サイドチャネル攻撃ではフランス Telecom ParisTech 大学の J.-L. Danger らのグループ[11-15] やベルギー Catholique de Louvain 大学の F.X.Standaert らのグループ[16, 17] が精力的に研究を行っている。フォルト攻撃では英国 Cambridge 大学の S. Skorobogatov が著名であり、オブティカル攻撃[18] のほかフラッシュメモリに対する“Bumping Attack”[19] という新しいフォルト攻撃が注目される。耐クローン技術では、Catholique de Louvain 大学の P. Tuyls らが精力的に研究を行っている[20-22]。
	技術開発水準	◎	→	オランダの Brightsight、Riscure をはじめ、フランス Morpho 等の企業がサイドチャネル攻撃研究を精力的に行っている。特に Brightsight や Riscure のサイドチャネル攻撃評価ツールは当該分野のデファクトスタンダードとなっている。オランダには PUF を商用化している Instinsic ID 社があり、その CEO でもある P.Tylus がオランダ国内の 2010 ICT Regie Award を受賞するなど、研究水準も非常に高いと言える。
	産業技術力	◎	→	スマートカードの業界団体 JHAS が欧州を中心に活動しており、産業界に与える影響も強い。特にオランダやフランスの産業技術力が高い。オランダにはスマートカードのシェア第 1 位(出荷枚数ベース)である Gemalto のほか、サイドチャネル攻撃の標準評価ツールを開発している企業として Brightsight や Riscure、PUF を商用化している Intrinsic-ID 等がある。また、フランスの Morpho がスマートカードのシェアを拡大しつつある。
中国	研究水準	△	↗	サイドチャネル攻撃・フォルト攻撃に関する論文はいくつか見受けられるが、CIT(英国)や ICEIE(京都)といった国際会議のほかは、ほとんどが中国国内で開催された国際会議や中国国内の学術誌で発表されたものである。耐クローン技術については、主要な国際会議で発表された論文は見受けられない。国際的なプレゼンスはまだ高くないと言えるが、論文数自体は増えてゆくものと思われる。
	技術開発水準	△	↗	Westone Corporation of No.30 Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation [23] や Fudan Microelectronics [24] が国際会議においてサイドチャネル攻撃に関する発表を行った例があり、当該分野の研究が広まりつつあるが、総じてこの分野におけるプレゼンスが高いとは言えない。
	産業技術力	△	↗	当該分野の研究が広まりつつあると考えられるが、産業技術力を有する判断する材料に乏しい。

韓国	研究水準	△	↑	ETRI (Electronics and Technology Research Institute) による SCARF (Side-channel Analysis Resistance Framework) プロジェクトでサイドチャネル攻撃評価ボードが開発されており、これは我が国の SASEBO プロジェクトに相当する。まだ実績はないが、LG のサポートを受けており、今後急速に発展する可能性がある。そのほか、国際会議での発表がいくつか見受けられ、The Computer Journal (Vol.54, 2010) に Korea 大学のグループのサイドチャネル攻撃に関する論文 [25] が採録されている。
	技術開発水準	△	↑	Samsung 等の企業において、独自の研究がなされていると思われるが、国際会議における韓国企業の研究報告数は少なく、企業による研究が盛んであると判断する材料に乏しい。LG が SCARF プロジェクトに参加しているなど、今後の発展が見込まれる。
	産業技術力	△	↑	IC カード用チップや映像用 LSI を製造する大企業 Samsung を擁し、独自の耐タンパ技術・耐クロン技術を有すると考えられる。また、LG が SCARF プロジェクトに参加していることから、当該技術の発展が見込まれる。

全体コメント：

サイドチャネル攻撃については欧州と米国が研究の中心となっているが、既存手法を用いて新しい暗号アルゴリズムを攻撃するものや既存手法の改良に関するものが多く、新たな攻撃手法の開発は下火になりつつある。我が国が開発したサイドチャネル攻撃の標準評価プラットフォーム SASEBO は、世界各国で利用されて高い評価を得ている。フォルト攻撃については、既存暗号アルゴリズムに対する攻撃報告のほか、フラッシュメモリに対する Bumping attack という新たな概念が提唱される等、今後も発展的に研究されてゆくと思われる。LSI の耐クロン技術についても欧州と米国が研究の中心であると言える。新しい PUF の実装報告がいくつかされたほか、様々な PUF の性能を定量的に評価するための統一的な方式が提案され、LSI の偽造に対する安全性評価基準の策定に向けた今後の発展が期待される。PUF は欧州と米国で商用化されているが、我が国では実用化が遅れている。国内企業でもオープンにされていない独自の偽造対策技術を開発していると思われるが、最先端の研究成果を産業界に生かすために産官学の連携が期待される。

(註 1) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 2) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(参考情報)

- [1] 産業技術総合研究所，ハードウェアセキュリティプロジェクト Side-channel Attack Standard Evaluation BOard (SASEBO) Web サイト，<http://staff.aist.go.jp/akashi.satoh/SASEBO/ja/index.html>.
- [2] Akashi Satoh, Toshihiro Katashita, and Hirofumi Sakane, "Secure Implementation of Cryptographic Modules -Development of Standard Evaluation Environment for Side Channel Attacks-," Synthesiology - English edition, vol. 3, no. 1, pp. 86-95, July 2010.
- [3] 科学技術振興機構 先進的創造研究推進事業 CREST, 研究代表者：藤野毅, "耐タンパディペンダブル VLSI システムの開発・評価", <http://www.dvlsi.jst.go.jp/list/h21-03.html>.
- [4] D. Suzuki and K. Shimizu, "The Glitch PUF: A New Delay-PUF Architecture Exploiting Glitch Shapes," in Proc. CHES2010, LNCS 6225, pp.366-382, 2010.
- [5] J. Takahashi J and T. Fukunaga, "Differential fault analysis on CLEFIA with 128,192, and 256-bit keys," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E93-A, no.1, pp. 136-143, 2010.
- [6] T. Fukunaga and J. Takahashi, "Practical fault attack on a cryptographic LSI with ISO/IEC 18033-3 block ciphers," in Proc. FDTC 2009, pp. 84-92, 2009
- [7] M. Henriksen, S. Y. Wun, H.Y. Chee, S. Kiyomoto and T. Tanaka, "Side-channel Analysis of the K2 Stream Cipher," in Proc. ACISP 2010. pp. 53-73, 2010.
- [8] M.A. Gora, A. Maiti, and P. Schaumont, "A Flexible Design Flow for Software IP Binding in FPGA," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.6, no.4, pp. 719-728, 2010.
- [9] A. Maiti, J. Casarona, L. McHale, P. Schaumont, "A Large Scale Characterization of RO-PUF," in Proc. HOST 2010, pp. 94-99, 2010.
- [10] A. Maiti, P. Schaumont, "Improving the quality of a physical unclonable function using configurable ring oscillators," in Proc. FPL, pp. 703-7, 2009.
- [11] J.-L. Danger, S. Guilley, S. Bhasin and M. Nassar, "Overview of Dual rail with Precharge logic styles to thwart implementation-level attacks on hardware cryptoprocessors. New attacks and improved countermeasures," in Proc. SCS2009, pp. 1-8, 2009.
- [12] S. Guilley, S. Chaudhuri, L. Sauvage, J.-L. Danger, T. Beyrouthy and L. Fesquet, "Updates on the potential of clock-less logics to strengthen cryptographic circuits against side-channel attacks,"
- [13] N. Selmane, S. Bhasin, S. Guilley, T. Graba and J.-L. Danger, "WDDL is protected against setup time violation attacks," in Proc. FDTC2009, pp. 73-83, 2009.
- [14] S. Bhasin, J.-L. Danger, F. Flament, T. Graba, S. Guilley, Y. Mathieu, M. Nassar, L. Sauvage, and N. Selmane, "Combined SCA and DFA countermeasures integrable in a FPGA design flow," in Proc. ReConFig2009, pp. 213-18, 2009.
- [15] J. Bringer, H. Chabanne, and J.-L. Danger, "Protecting the NOEKEON cipher against SCARE attacks in FPGAs by using dynamic implementations," in Proc. ReConFig 2009, pp. 183-8, 2009.

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

-
- [16]F. X. Standaert, F. Koeune, W. Schindler, “How to compare profiled side-channel attacks?” in Proc. ACNS2009, pp. 485-98, 2009.
- [17]F. X. Standaert, B. Gierlichs and I. Verbauwhede, “Partition vs. comparison side-channel distinguishers: an empirical evaluation of statistical tests for univariate side-channel attacks against two unprotected CMOS devices,” in Proc. ICISC2008, pp. 253-67, 2009.
- [18]S. Skorobogatov, “Optical Fault Masking Attacks,” in Proc. FDTC2010, pp.23-29, 2010.
- [19]S. Skorobogatov, “Flash Memory ‘Bumping’ Attacks,” in Proc. CHES2010, pp.158-172, 2010.
- [20]R. Maes, P. Tuyls and I. Verbauwhede, “Low-overhead implementation of a soft decision helper data algorithm for SRAM PUFs,” in Proc. CHES2009, pp. 332-347, 2009.
- [21]K. Kursawe, A.-R. Sadeghi, D. Schellekens, B. Skoric and P. Tuyls, “Reconfigurable physical unclonable functions: enabling technology for tamper resistant storage,” in Proc. HOST2009, pp. 22-29, 2009.
- [22]R. Maes, D. Schellekens, P. Tuyls and I. Verbauwhede, “Analysis and design of active IC metering schemes,” in Proc. HOST2009, pp. 74-81, 2009.
- [23]Y. Jianbo, and Z. Tao, “Hardware/software co-design to secure crypto-chip from side channel analysis at design time,” in Proc. ICCSIT2010, Vol. 6, pp. 88-91, 2010.
- [24]L. Qiasi, “Enhance Multi-bit Spectral Analysis on Hiding in Temporal Dimension,” in Proc. CARDIS2010, pp. 13-23, 2010.
- [25]J. Kim and S. Hong, “Side-channel Attack Using Meet-in-the-middle Technique,” Computer Journal, vol.53, no.7, pp. 934-938, 2010.

(9) 生体認証

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	国防や犯罪捜査よりも、ATM やデータアクセス管理などへの生体認証の利用が目立つため、他国に比べてテンプレート（登録生体情報のこと）保護技術やなりすまし攻撃に対するセキュリティの研究が盛んである。テンプレート保護技術に関しては、東海大学・東京工業大学・静岡大学のチームによる ZeroBio などの暗号理論的なアプローチの研究 [1-2]、早稲田大学による符号理論を用いた Fuzzy Vault Scheme の研究 [3-4]、成蹊大学 [5]、東京工業大学 [6] による画像処理的なアプローチの研究などが行われている。また、ウルフ攻撃と呼ばれる意図的ななりすまし攻撃に対するセキュリティの研究が、産業技術総合研究所 [7-8] や中央大学 [9-11] などで行われている。ユニークなところでは、大阪大学において、大規模なデータベースを用いた歩容認証（歩き方を用いて行う認証）の研究 [12] が行われている。これら個々の研究レベルは非常に高いが、多数の研究者がまとまって研究できる設備や環境に乏しく、全体としての迫力に欠け国際的な影響力は必ずしも大きいとは言えない。
	技術開発水準	◎	→	企業の技術開発水準は非常に高く、高性能なセンサや照合アルゴリズム、安全性の高い認証システムを世界に先駆けて開発している。NEC は、高度な指紋画像処理技術や顔認識に有効な特徴を高速抽出できる新技術を開発し、米国技術標準局（NIST）主催のいくつかの評価テストで第1位の評価を獲得している [13-15]。日立はキャンセラブル・バイオメトリクスと呼ばれるテンプレート保護技術の研究 [16-17] や生体情報の情報量評価指標に関する研究 [18] などシステムのセキュリティに関する研究も盛んである。
	産業技術力	○	↘	NEC や三菱電機の指紋認証、日立の指静脈認証、富士通の手のひら静脈認証などが、地方自治体役所などにおいて重要データアクセスの際の認証システムに用いられている。また、日立製作所は世界で初めて、キャンセラブル・バイオメトリクスの実用化に成功している [19]。さらに、NEC の指紋認証が南アフリカの国民 ID システム [20] に、富士通の手のひら静脈認証が米国の医療機関の患者認証システム [21] に採用されるなどの例が示すように、海外においても日本の技術は高い評価を得ている。ただし、虹彩認証の分野では、沖電気やパナソニック株式会社が撤退したため、現在国内で使用されているシステムは、すべて海外製品（韓国 LG 社製など）となってしまった。
米国	研究水準	◎	→	国防や犯罪捜査のための生体認証技術開発に国の多大な資金が投じられており、様々な条件や環境における認証精度向上を目的とした従来認証方式の改良や次世代認証方式の開発が研究の主流である。West Virginia University に設置された Center for Identification Technology Research (CITeR) が産学官共同の研究拠点となっている。近年では、虹彩あるいは目近傍の情報を用いた認証技術 [22-23]、画像のクオリティ値などを組み込んだ新しいマルチバイオメトリクス認証技術（複数の種類の生体認証を組み合わせた認証技術） [24-25] などが行われている。その他主要大学の例をあげると、University of Notre Dame の虹彩認証における人間と機械の識別比較 [26-27]、University of Colorado at Colorado Springs の海上（船上）対海上や海上対陸の顔認証の研究 [28] や新しい生体情報暗号化方式の研究 [29-30] など、最先端でありかつ独創性に富んだ研究が行われている。
	技術開発水準	◎	→	Honeywell ACS Laboratory のウォークスルー虹彩認証の研究 [31]、Aware の指紋特徴点の Ground Truth（真の正解）の研究 [32]、Booz Allen Hamilton の3次元人体計測による認証技術の研究 [33]、Lockheed Martin Corporation の顔検知認証システムの開発 [34] など認証精度向上を目指す研究が主流である。テンプレート保護技術においては、キャンセラブル・バイオメトリクスの概念を提唱した IBM T.J. Watson Research Center が、近年、登録時や認証時に指紋の位置合わせを必要としないキャンセラブル指紋認証方式を開発した [35]。
	産業技術力	◎	→	3M が大手生体認証システムベンダの Cogent systems を買収し、巨大なセキュリティシステムベンダが誕生した。この他に Cross Match Technologies の指紋認証装置、L-1 Identity Solutions の携帯型マルチバイオメトリクス認証装置、Sarnoff Corporation、AOptix Technologies、Iritech、Iridian Technologies の虹彩認証装置など、多くのベンダによる高性能な認証装置が米国内外の入国管理システムや国防・犯罪捜査向けの認証システムなどの巨大な需要を支えており、その生産能力は非常に高い。また、バイオメトリクスに関する産官学コンソーシアム Biometric Consortium において産学官の連携が図られ、年に一度行われる国際会議において技術展示会も同時開催されるなど活発な情報交換がなされている。
	研究水準	◎	→	第7次欧州研究開発フレームワーク計画による TURBINE プロジェクト [36] の中でテンプレート保護技術の研究開発が進められ、ドイツ Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research IGD、オランダ University of Twente、ノルウェー Gjøvik University College などが共同で研究成果を上げている [37-39]。その他にも、イギリス University of Surrey におけるクオリティ値評価手法や照合スコア分布を用いた照合アルゴリズム評価指標の研究 [40-41]、University of Southampton における歩容認証や耳の形状による認証技術の研究 [42-44]、フランス Institut TELECOM T&M SudParis における顔認証、署名認証、バイオメトリクスを用いた鍵共有方式の研究 [45-47]、署名認証やマルチバイオメトリクス認証の国際的コンペティションの開催 [48-49]、イタリア University of Bologna の Biometric System Center における新しい指紋認証方式の開発 [50] など、幅広い領域で非常に高い水準の研究が行われている。中でもテンプレート保護技術をはじめとするセキュリティ関連の研究は米国よりも盛んである。

	技術開発水準	◎	→	TURBINE プロジェクト [36] において、フランスの Morpho が安全な Match-On-Card 認証方式や指紋特徴点の様な 2 値化の研究 [51-52]、オランダの Phillips Research が University of Twente や Fraunhofer 研究所と共同で生体情報の様な量子化に関する研究やマルチバイオメトリクス認証の研究 [37-38] などを行っている。また、ユニークなところでは、スイス TBS 社が開発した 3D 指紋認証 [53] が次世代の生体認証技術として注目されている。
	産業技術力	◎	→	欧州は多くの民族が混在し往来する地域的な複雑性から、認証インフラにおける厳密な本人確認の手段として生体認証技術にかかる期待が非常に大きく、欧州全体で協力して技術力向上を図っている。フランス Morpho はあらゆる種類の生体認証装置・認証システムを手掛ける大手ベンダであり、インドの国民 ID プロジェクト Unique Identity Authority of India (UIDAI) の共同事業者にも選ばれている (他 2 社は Accenture、L-1 Identity Solutions)。他には、イギリス Siemens IT Solutions and Services Limited の指紋、顔、手のひら静脈を用いた生体認証システム、ドイツ Cognitec Systems GmbH の顔認証システム、フランス Innovatrics の指紋認証装置システムなど高い技術力を持つ大手の生体認証ベンダが多く存在しており、欧州全体の需要を満たして余りある生産技術力を有している。
中国	研究水準	○	↗	Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences (CASIA) の Center for Biometrics and Security Research (CBSR) が研究の拠点となっており、顔認証、指紋認証、生体検知、掌紋認証、テンプレート保護技術 [54-58] など多くの領域で研究成果を上げている。また、その他の研究機関の例としては Beihang University における顔認証や顔と歩容による性別判定の研究 [59-60]、Beijing University of Posts and Telecommunications における指紋と脳波のマルチバイオメトリクス認証の研究 [61] などがあげられる。これらの研究すべてが高い水準であるとは言えないが、CASIA は、種々の生体サンプルに対する大規模な公開データベース [62] を構築しており、CASIA や中国の研究機関のみならず世界中の研究者がこのデータベースを用いて研究成果を挙げているため、国際的な影響力は非常に大きい。
	技術開発水準	○	↗	指紋認証の技術においては高水準の技術を有している。例えば、国際的な指紋認証コンペティションである Fingerprint Verification Competition 2006 (FVC 2006) には BaiXinTong Electronic Tech、Comet Technology Development、Miaxis Biometrics、Smackbio Technology、Unicom Technology の 5 社が参加しており、BaiXinTong 社 Smackbio 社、GangZhou 社が好成績を残している。その他の種類の生体認証については、Comet 社が顔認証、Smackbio 社が顔認証や音声認証の技術を開発しているが、その技術水準を評価できるだけの十分な情報がない。
	産業技術力	○	↗	いくつかのベンダが指紋認証において高い技術力を有している。近年は、出勤管理に指紋認証を導入する企業が増加しており、なりすましが問題になるほどである [63]。また、上海市では、指紋認証による代金支払いサービスが導入された [64]。指紋認証以外の技術に関しては十分な情報がなく未知数であるが、昨今の高度経済成長を背景として、今後、生体認証システムがいたるところに導入され技術が急速に成長することが予想される。
韓国	研究水準	○	↗	Yonsei University の Biometric Engineering Research Center (BERC) が研究の拠点となっておりマルチバイオメトリクス認証に関する研究開発 [65-77] やセキュリティに関する研究など多岐にわたる研究開発が行われている。海外から国際的権威を招聘したり、海外の主要研究者のもとに留学して研究を行う [68-69] など、最先端技術を積極的に取り入れようとする動きが盛んである。
	技術開発水準	○	→	Korean Internet Security Association (KISA) が国内産業を後押しする体制が整っており、その傘下の Korea National Biometrics Testing Center (K-NBTC) によって製品の性能や相互運用性の向上、国際標準化支援などが行われている。また、Union Community による指紋認証での生体検知機能の開発や、Techsphere による手の甲静脈認証の開発など、独自の生体認証技術を開発しようという企業もある。ただし、その認証性能や安全性のレベルに関しては十分な情報がなく定かではない。
	産業技術力	○	→	指紋認証では、Union Community、NITGEN&COMPANY、Suprema、LG Electronics が大手ベンダである。成人全員が指紋を採取され ID カードに記録されるため、指紋認証に対する抵抗が少なく様々な市場に広く普及している。虹彩認証では、LG Electronics が海外にも広く進出しており高い技術力を有している。

全体コメント：

生体認証において、現時点での世界的な研究開発の主流は画像認識からのアプローチによる認証精度の向上である。とくに、遠く離れた人間や動いている人間などを認証するための顔認証の研究が盛んであり、同じ問題を解決するための歩容認証やマルチバイオメトリクス認証も注目されている。この領域の研究においては、米国が巨大な国家支援を背景に、大学、公的研究機関、企業のいずれにおいても世界をリードしている。欧州、中国、韓国でも、公的な機関の支援体制が整備されており、各国の生体認証技術への期待の大きさがうかがえる。

また、欧州では、TURBINE プロジェクトによって生体情報保護技術の研究が進められ、この領域では米国よりも高い水準にあると言える。一方、日本は、諸外国と比べると、国による人的あるいは資金的支援が散発的であり、専門の研究センターも存在しない。かろうじて各大学、公的研究機関、企業等の自助努力によって高いレベルの研究が行われ、高性能な製品が開発・製造され、国際的に高い評価を得ている状況である。ただし、諸外国の生体認証は、主に、出入国管理や犯罪捜査への応用を目的としているため認証精度が重視されるのに対して、日本では、認証精度はもちろんであるが、ATM や公官庁における PC ログインへの生体認証の導入が普及しているため、テンプレート保護技術やなりすましに対するセキュリティの研究が進んでいる。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的研究機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(参考情報)

- [1] 東海大学などによる ZeroBio プロジェクトの紹介ホームページ <http://zerobio.cs.dm.u-tokai.ac.jp/>
- [2] T. Sakashita, Y. Shibata, T. Yamamoto, K. Takahashi, W. Ogata, H. Kikuchi, M. Nishigaki. A Proposal of Efficient Remote Biometric Authentication Protocol. *Advances in Information and Computer Security 2009 (IWSEC 2009)*, LNCS 5824, pp. 212-227, 2009
- [3] T. Ohki, S. Akatsuka, N. Komatsu, M. Kasahara. Safety of Templates in Biometric Person Authentication using Error-Correcting Code. *Proc. 18th Annual IS&T/ SPIE Symposium on Electronic Imaging*, 6072-20, 2006
- [4] 柏木希美, 大木哲史, 小松尚久. バイオメトリック暗号を用いたテンプレート再作成可能な話者照合方式に関する一検討. 2010 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2010), 2010
- [5] D. Muramatsu, M. Inuma, J. Shikata, A. Otsuka. Boosted Cancelable Biometrics for Online Signature Verification Date of Evaluation. *IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences Vol.E93-A*, No.6, Jun. 2010
- [6] 鈴木裕之, 竹田賢史, 山口雅浩, 小尾高史, 大山永昭. 生体情報を鍵とする二重ランダム位相暗号化における平文コーディング方法の改善. 2010 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2010), 2010
- [7] M. Une, A. Otsuka, H. Imai. Wolf Attack Probability: A New Security Measure in Biometric Authentication Systems. *Advances in Biometrics*, LNCS, vol. 4642, Springer-Verlag, pp. 396-406, 2007
- [8] M. Inuma, A. Otsuka, H. Imai. Theoretical framework for constructing matching algorithms in biometric authentication systems. *Advances in Biometrics*, LNCS, vol. 5558, Springer-Verlag, pp. 806-815, 2009
- [9] Y. Kojima, R. Shigetomi, M. Inuma, A. Otsuka, H. Imai. A Matching Algorithm Secure against the Wolf Attack. in *Biometric Authentication Systems*. LNCS 5707, Springer-Verlag, pp.293-300, 2009
- [10] Y. Tanabe, K. Yoshizoe, H. Imai. A Study on Security Evaluation Methodology for Image-based Biometrics Authentication Systems. in *Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09)*, 2009
- [11] H. Kang, S. Yonezawa, M. Inuma, A. Otsuka, H. Imai. Wolf fingerprints against minutiae count matching systems. *IEICE Electron. Express*, Vol. 7, No. 10, pp.738-744, 2010
- [12] Mayu Okumura, Haruyuki Iwama, Yasushi Makihara, Yasushi Yagi. Performance Evaluation of Vision-based Gait Recognition using a Very Large-scale Gait Database. in *Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10)*, 2010
- [13] 日本電気株式会社 (NEC) ニュース / プレリリリースのページ <http://www.nec.co.jp/press/ja/0904/1602.html>
- [14] 日本電気株式会社 (NEC) ニュース / プレリリリースのページ <http://www.nec.co.jp/press/ja/1001/2001.html>
- [15] 日本電気株式会社 (NEC) ニュース / プレリリリースのページ <http://www.nec.co.jp/press/ja/1006/3002.html>
- [16] S. Hirata, K. Takahashi. Cancelable biometrics with perfect secrecy for correlation-based matching. *Advances in Biometrics*, ICB 2009, LNCS 5558, pp. 868-878, 2009
- [17] K. Takahashi, S. Hirata. Generating Provably Secure Cancelable Fingerprint Templates Based on Correlation invariant Random Filtering. in *Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09)*, 2009
- [18] K. Takahashi, T. Murakami. A Metric of Information Gained through Biometric Systems. in *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition 2010 (ICPR 2010)*, pp. 1184-1187, 2010
- [19] 株式会社日立製作所指静脈認証ソリューションクラウドサービスのページ <http://www.hitachi.co.jp/products/it/veinid/service/index.html>
- [20] 日本電気株式会社 (NEC) ニュース / プレリリリースのページ <http://www.nec.co.jp/press/ja/0805/2101.html>
- [21] 富士通株式会社手のひら静脈認証導入事例紹介のページ <http://jp.fujitsu.com/solutions/palmsecure/casestudies/chs/>
- [22] Arun Ross, Raghunandan Pasula, Lawrence Hornak. Exploring Multispectral Iris Recognition beyond 900nm. In *Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09)*, 2009
- [23] Unsang Park, Arun Ross, and Anil K. Jain. Periocular Biometrics in the Visible Spectrum: A Feasibility Study. In *Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09)*, 2009
- [24] Arun Ross, Ajita Rattani, Massimo Tistarelli. Exploiting the “Doddington Zoo” Effect in Biometric Fusion. In *Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09)*, 2009
- [25] Emanuela Marasco, Arun Ross, Carlo Sansone. Predicting Identification Errors in a Multibiometric System Based on Ranks and Scores. in *Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10)*, 2010
- [26] Karen Hollingsworth, Kevin W. Bowyer, and Patrick J. Flynn. Identifying Useful Features for Recognition in Near-Infrared Periocular Images. in *Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10)*, 2010
- [27] Louise Stark, Kevin W. Bowyer and Stephen Siena. Human Perceptual Categorization of Iris Texture Patterns. In *Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10)*, 2010
- [28] University of Colorado at Colorado Springs の MURI プロジェクト紹介ホームページ <http://vast.uccs.edu/multimodal-muri>
- [29] W. J. Scheirer, T. E. Boulton. Cracking Fuzzy Vaults and Biometric Encryption. in *Proceedings of the 2007 IEEE Biometrics Symposium*, held in conjunction with the Biometrics Consortium Conference (BCC 2007), 2007
- [30] W. J. Scheirer, T. E. Boulton. Bipartite Biotokens: Definition, Implementation, and Analysis. *Advances in Biometrics*, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 775-785, 2009
- [31] S. McCloskey, W. Au, J. Jelinek. Iris Capture from Moving Subjects Using a Fluttering Shutter. in *Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10)*, 2010
- [32] T. P. Riopka, L. Ma. Characterizing. Minutia Extractors for Semantic Conformance Testing. in *Proceedings of IEEE Fourth*

- International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
- [33] D. B. Ober, S. P. Neugebauer, P. A. Sallee. Training and Feature-Reduction Techniques for Human Identification using Anthropometry. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [34] Frederick W. Wheeler, Richard L. Weiss and Peter H. Tu, "Face Recognition at a Distance System for Surveillance Applications. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [35] S. Chikkerur, N. K. Ratha, J. H. Connell, R. M. Bolle, "Generating Registration-free Cancelable Fingerprint Templates. in Proceedings of IEEE Second International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS08), 2008
 - [36] TrUsted Revocable Biometric IdeNtitiEs (TURBINE) のホームページ <http://www.turbine-project.eu/index.php>
 - [37] B. Yang, D. Hartung, K. Simoens, C. Busch. Dynamic Random Projection for Biometric Template Protection. In Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [38] E.J.C. Kelkboom, K.T.J. de Groot, C. Chen, J. Breebaart, R.N.J. Veldhuis. Pitfall of the Detection Rate Optimized Bit Allocation within Template Protection and a Remedy. in Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09), 2009
 - [39] E.J.C. Kelkboom, X. Zhou, J. Breebaart, R.N.J. Veldhuis, C. Busch, "Multi-Algorithm Fusion with Template Protection," in Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09), 2009
 - [40] R. Wong, N. Poh, J. Kittler, D. Frohlich. Interactive Quality-Driven Feedback for Biometric Systems. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [41] N. Poh, J. Kittler. A Biometric Menagerie Index for Characterising Template/Model-Specific Variation. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 816-827, 2009
 - [42] Sung-Uk Jung and Mark S. Nixon. On Using Gait Biometrics to Enhance Face Pose Estimation. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [43] Darko S. Matovski, Mark S. Nixon, Sasan Mahmoodi, John N. Carter. The Effect of Time on the Performance of Gait Biometrics. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [44] Alastair H. Cummings, Mark S. Nixon, John N. Carter. A Novel Ray Analogy for Enrolment of Ear Biometrics. In Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [45] D. Zhou, D. Petrovska-Delacretaz, B. Dorizzi, "Automatic Landmark Location with a Combined Active Shape Model. in Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09), 2009
 - [46] N. Houmani, S. Garcia-Salicetti, B. Dorizzi. On assessing the Robustness of Pen Coordinates, Pen Pressure and Pen inclination to Time Variability with Personal Entropy. in Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09), 2009
 - [47] S. Kanade, D. Petrovska-Delacretaz, B. Dorizzi, "Generating and Sharing Biometrics Based Session Keys for Secure Cryptographic Applications. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [48] BSEC 2009 のホームページ <http://biometrics.it-sudparis.eu/BSEC2009/>
 - [49] BMEC 2007 のホームページ <http://biometrics.it-sudparis.eu/BMEC2007/>
 - [50] R. Cappelli, M. Ferrara, D. Maltoni. Minutia Cylinder-Code: A New Representation and Matching Technique for Fingerprint Recognition. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 32, pp. 2128-2141, 2010
 - [51] J. Bringer, H. Chabanne, T. A. M. Kevenaar, B. Kindarji. Extending Match-On-Card to Local Biometric Identification. Biometric ID Management and Multimodal Communication, LNCS 5707, pp. 178-186, 2009
 - [52] J. Bringer, V. Despiegel. Binary Feature Vector Fingerprint Representation From Minutiae Vicinities. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [53] スイス TBS 社のホームページ <http://www.tbsinc.com/>
 - [54] R. Wang, Z. Lei, M. Ao, S. Z. Li. Bayesian Face Recognition Based on Markov Random Field Modeling. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 42-51, 2009
 - [55] K. Cao, X. Yang, X. Tao, Y. Zhang, J. Tian, "A Novel Matching Algorithm for Distorted Fingerprints Based on Penalized Quadratic Model. in Proceedings of IEEE Third International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS09), 2009
 - [56] Z. He, Z. Sun, T. Tan, Z. Wei, "Efficient Iris Spoof Detection via Boosted Local Binary Patterns. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 1080-1090, 2009
 - [57] Y. Han, Z. Sun, T. Tan, Y. Hao. Palmprint Recognition Based on Regional Rank Correlation of Directional Features. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 587-596, 2009
 - [58] P. Li, X. Yang, K. Cao, P. Shi, J. Tian, "Security-Enhanced Fuzzy Fingerprint Vault Based on Minutiae's Local Ridge Information. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 930-939, 2009
 - [59] G. Zhang, Y. Wang. Faceprint: Fusion of Local Features for 3D Face Recognition. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 179-188, 2009
 - [60] D. Zhang, Y. Wang, "Gender Recognition Based on Fusion of Face and Multi-view Gait. Advances in Biometrics, LNCS 5558, Springer-Verlag, pp. 1010-1018, 2009
 - [61] F. Su, L. Xia, A. Cai, J. Ma. A Dual-Biometric-Modality Identification System Based on Fingerprint and EEG. In Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
 - [62] Center for Biometrics and Security Research (CBSR), Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences (CASIA) のデータベース紹介のホームページ <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/Databases.asp>
 - [63] 中国の指紋認証による出退勤管理におけるなりすまし問題のニュース <http://www.excite.co.jp/News/china/20100509/Recordchina>

20100509008.html

- [64] 上海市の指紋認証による代金支払いシステムのニュース http://www.hzinfos.com/sys/news/news_view.php?nid=1966
- [65] Beom-Seok Oh, Kar-Ann Toh, Andrew Beng Jin Teoh. Direct Extraction and Fusion of Image Pixel Features for Face Identity Verification. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
- [66] Ukil Yang, Minsung Kang, Kar-Ann Toh, Kwanghoon Sohn. An Illumination invariant skin-color model for face detection. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
- [67] Youngsung Kim, Kar-Ann Toh, Andrew Beng Jin Teoh . An Online Learning Algorithm for Biometric Scores Fusion. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
- [68] Hyun-Cheol Choi, Unsang Park, Anil K. Jain. PTZ Camera Assisted Face Acquisition, Tracking & Recognition” in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010
- [69] Sung-Uk Jung, Mark S. Nixon. On Using Gait Biometrics to Enhance Face Pose Estimation. in Proceedings of IEEE Fourth International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems (BTAS10), 2010

2.4.3 注目すべき萌芽的技術動向

(1) 情報社会のディペンダビリティ実現を目指す研究

社会インフラ構築、環境保全、エネルギー確保など、国家規模、地球規模の課題を情報技術の活用によって解決し、持続可能な住み良い社会・環境の実現を目指すという、将来の情報社会を構想したプロジェクトが世界中で立ち上がっている。米国エネルギー省が主導する” Smart Grid”、米国 NSF が主導する” Cyber-Physical Systems”、IBM が主唱する” Smarter Planet”、IEEE Reliability Society が主催する Prognostics and Health Management” など、いずれも安全と信頼の確保が最重要課題であり、ディペンダビリティが重要なキーワードになっている。これらの課題に共通しているのは、

- ①対象とするシステムが巨大かつ複雑である
 - ②扱うべきデータ規模が巨大である
 - ③物理法則、数理法則だけではなく、人間の心理や振る舞いがシステム状態に関与している
 - ④時間経過とともにシステム自身もその環境も変化する
- という特徴をもつことである。①はシステム科学、②はデータ科学、③は人間科学、④は進化科学と呼ばれるべき学問領域であり、これまでもそれぞれの領域で個別に研究されてきているが、これらの領域を情報技術の枠組みで再構築することは、情報社会のディペンダビリティ実現に向けて、一層重要性が増すものと思われる。こうしたプログラム、プロジェクトには多くの企業、研究機関、大学が参加しており、研究者層の拡大と将来の研究水準向上に貢献すると期待される。またビジネスチャンスもこのような領域から生まれることが予想される。

(2) クラウドコンピューティングのセキュリティ対策

クラウドコンピューティングに対するセキュリティの必要性は専門家以外も指摘している。しかしセキュリティマネジメントや社会制度も含めて具体的に問題点を指摘しているものは少ない。クラウドコンピューティングは計算機システムの利用形態が大きく変化するため運用・管理・評価認証において従来とは異なったアプローチが必要となり、研究開発動向に注目すべきものと考ええる。

クラウドコンピューティングにおけるもっとも大きな利用形態の変化と考えられるのは、情報処理に必要なほとんどの設備をプロバイダが提供することである。このことは利用者にとって情報システムを自前で管理・運用する必要がなく管理運用の手間から解放される。しかし裏を返せば、利用者自身が管理運用に直接手を出すことができず、自由なセキュリティ対策を行うことができないということを意味する。さらにどのようなセキュリティ対策がとられているか、どの程度のセキュリティ事故が発生しているかと言った情報を自由に得ることはできず情報の非対称性が存在し、モラルハザードや逆選択等の問題の発生の可能性が生じる。このためサービスレベルを定めた契約や約款 (SLA) の作り方や監査、評価認証制度のあり方、保険制度の活用、法制度による規制等で対策をとる必要があり、研究動向が注目される。

(3) クラウドコンピューティングにおけるデータ保護

計算資源の有効活用やコスト削減などの観点から、情報処理やストレージのクラウド化は避けて通れなくなっている。一方、クラウド（特にパブリッククラウド）においては、データが処理されるサーバを把握できなくなっており、データの保護機能を利用者側で提供しなくてはならなくなっている。これを実現する最も単純な方法は暗号化であるが、従来の方法では以下のような問題があり、その解決策に関す

る研究開発が注目を集め始めている。

- ①暗号化を行った場合、クラウドの特徴の1つであるサーバ側でのデータ検索や、データの加工が行えなくなる。
- ②複数人でデータを共有する際のアクセス制御が複雑になる。
- ③復号鍵を利用者が管理する必要があり、クライアント側からの情報漏えいに弱くなる。

①、②に対しては、検索可能暗号、完全準同形暗号、高機能暗号などの新たなジャンルの暗号方式が提案され、世界的に注目を浴び始めている。ただし、完全準同形暗号については、サイズや計算量が大き過ぎ実用的ではないが、それらを削減するための研究も世界中で行われており徐々に改良されつつあり、IBM ワトソン研究センターでは実装も行われている。③に対しては鍵漏えいに耐性を持たせる方式に関する研究が世界各地で盛んに行われ始めている。

(4) 新しいネットワーク環境におけるセキュリティ対策技術

IPv4 アドレスの枯渇問題を背景に、現在世界的に IPv6 の普及が加速しつつあるが、企業や大学、自治体等のネットワークにおいて本格的に IPv6 を導入した事例はそれほど多くない。とりわけ IPv6 におけるプロトコル、実装面または運用面のセキュリティ上の脅威については体系的な検証が行われておらず、実際に既知の脆弱性も複数指摘されている。IPv4 から IPv6 への移行期 (v4/v6 共存環境) から、IPv6 のみで構築された環境まで、さまざまな状況に応じて起こりうるインシデントに対して本格的な普及の前段階で抜本的な対策の検討を行うことが、学术界に対しても求められている。

また、今後急速に普及することが予想されるスマートフォン市場においては、特定のプラットフォームを狙った攻撃が増加することが予想される。Microsoft の Windows が PC 市場で高いシェアを得たときと同様に、iPhone や Android の環境が攻撃のターゲットとなることは容易に想像される。よって、これらのプラットフォームを対象とした脅威分析とそのセキュリティ対策研究が今後、より一層重要となる。

そのほか、現在のインターネットにおいては SNS をはじめとするさまざまな Web サービスや、P2P アプリケーション、オンラインゲームといった比較的新しいサービスが続々と勃興している。これまでのネットワークセキュリティ対策は主に DDoS 攻撃などに代表される低レイヤの攻撃や、OS の脆弱性を狙った攻撃などを対象として集中的に取り組まれてきた。その一方でアプリケーションレイヤにおけるセキュリティ対策は個別のアプリケーションごとに検討する必要があるため、多大なコストがかかることが予想される。よって、より高レイヤのアプリケーションを対象とした抜本的なセキュリティ対策技術の研究開発にも引き続き取り組んでいく必要がある。

(5) 形式的検証、重複除外及び忘却型コンピューティング

形式的検証はバグの少ないシステムソフトウェアを作るために今後注目する分野である。2009 年の SOSP(Symposium on Operating Systems Principles) でオーストラリアの NICTA (National ICT Australia) が OS カーネル (SeL4) の 8,700 行のコードを形式的検証したことにより話題になった。これはセキュリティ保証要件を規定している EAL(Evaluation Assurance Level) の Level6 相当の検証を可能にし、今後のソフトウェア開発で形式的検証が使えることを示した。NICTA は形式的検証の人材確保やベンチャーの Open Kernel Labs を作るなど活発な活動をしており、今後注目しておく必要がある。

同一データブロックを共有する技術である重複除外 (DeDuplication) はメモリとストレージを効率的に利用したいクラウド環境では重要度を増すと予想される。メモリ重複除外はすでに VMWare、Xen、KVM の主要な仮想マシンモニタで利用可能であり、ストレージでは DedaDomain や Ocarina Networks のベンチャーが立ち上がっている。今後これを効率的に活用する技術が重要になると予想される。すでに USENIX Annual Tech Conf 2005 で発表された SLINKY で重複除外を想定した OS 構成法技術が出ており、今後の展開を注目する必要がある。

MIT の Martin Rinard 教授により 2004 年の SOSP で発表された忘却型コンピューティング (Failure Oblivious Computing) は大規模分散処理を実現するのに重要な概念である。エラーを即座に処理せず、何もなかったとして処理を進めることで不正ポインタを利用した攻撃を回避できることを示した。この概念は Columbia 大学の Software Self-healing にも引き継がれている。注目すべきは Software Self-healing を開発していた Stelios Sidiroglou が MIT の Martin Rinard 教授の研究室に移ったことによりさらに研究が加速するものと思われる。

(6) 仮想マシン

仮想マシン (VM) を用いることで本当にセキュアになるかという論争は VM が普及し始めた頃から行われている。VM を用いることにより OS への攻撃を防ぐことができるが、VM を実現するための仮想化ソフトウェア (ハイパーバイザ) も攻撃されうるという理由からである。最近、Intel 社製プロセッサの SMM という機能を用いてハイパーバイザの整合性を保証するという研究が相次いで発表された。この技術はハイパーバイザを攻撃するためにハッカーによって考案されたものであるが、それを逆手に取ることでハイパーバイザを保護している。この研究成果が実用化されれば、VM を用いたシステムはより安全になると考えられる。

また、VM がクラウドコンピューティングでも使われるようになり、VM の利用者と管理者が異なる状況が一般的になってきた。クラウドの内部では VM はどこで動いているかも分からず、VM の利用者はクラウドのセキュリティに対して大きな不安を感じている。この不安を緩和するために、クラウドの管理者によって VM が意図しない形で利用されるのを防ぐという研究が米国や日本で行われ始めている。クラウドコンピューティングは今後避けられない大きな流れになっており、セキュリティに関して安心感を与えられるようにすることが重要である。

(7) 安全な実装の理論

2010 年に大きな注目を集め、本分野の今後の研究動向にも大きな影響を与える成果の一つに、ノルウェーグループによる、量子暗号 (鍵配送) 装置の光子検出器の性質に依存した脆弱性の発見に関する成果が挙げられる。以下、その概略と今後の研究開発への影響についてまとめる。

この研究は、市販の量子鍵配送装置で使用されているアバランシェフォトダイオードの応答特性を利用することにより、鍵配送プロトコルを正規の利用者に気づかれることなく乗っ取ることができる (結果として、生成される秘密鍵を攻撃者が共有することができる) ことを指摘したものである。アバランシェフォトダイオードの単一光子検出能力が、他に光子が存在する (ここでは便宜的に環境光子と呼ぶ) 状況下で、環境光子の数に依存して、しきい値的に失われることに着目、量子暗号装置として代表的な光学系配置を持つ装置への乗っ取りを実証的に行うことに成功した。この研究は (攻撃の具体的内容を超えて)、原理的に安全性が保証されている量子暗号であっても、(他の現代暗号の場合と全く同様に) 実装と原理のずれを利用した攻撃法が存在することを示すものである。(既に現代暗号が直面しているように、これは決して

新しい問題ではないが) この問題が改めて指摘され「安全な実装の理論」の構築に本分野の研究者の注意が向けられた意義は以下の意味において大きい。量子暗号は、その安全性の保証する原理として量子論が用いられるのはよく知られたところであるが、量子論そのものの難しさを除けば、安全性と安全性を保証する理論(量子暗号の場合は量子論)との関係は(現代暗号のそれと較べて)極めて単純な関係にあることが知られている。この関係が単純であることにより、「安全な実装の理論」を比較的に見通しよく構築する期待を持つことができる。現代暗号の場合には、この関係が複雑であることにより基本的な反省がなされずこの種の研究があまり行われてこなかったのが実情であるが、今後、本分野でこの方向の研究が進むにつれ、現代暗号へのフィードバックも期待できるであろう。(このような試みは一部すでに国内でも始まっている。)

(8) サイドチャネル攻撃耐性評価

実チップのサイドチャネル攻撃耐性を評価するための安全性評価基準の策定に、世界的な関心が寄せられている。米国ではハードウェアセキュリティ評価に関する連邦標準規格 FIPS140-2 の 140-3 への改定作業が行われており、新たな標準ではサイドチャネル攻撃に対する安全性評価基準が盛り込まれることから、評価手法を確立するための研究が行われている。また FIPS140-2 をベースとする ISO/IEC19790 も、並行して改訂作業が進められている。我が国では、サイドチャネル攻撃標準評価ボード SASEBO シリーズの開発プロジェクトが継続され、現在、スマートカードの評価プラットフォーム SASEBO-W の開発が行われている。韓国では、SASEBO プロジェクトに相当する SCARF (Side-Channel Analysis Resistance Framework) プロジェクトが ETRI と LG の協力のもと行われており、今後、安全性評価手法の開発にある程度影響を与える可能性がある。フォルト攻撃については、Optical 攻撃の先駆的研究者である英国 Cambridge 大学の Sergei Skorobogatov が、フラッシュメモリに対する Bumping Attack という概念を発表し、今後の研究展開が注目される。

耐クローン技術に関しては、Physical Unclonable Function (PUF) の研究が盛んに行われるようになっており、今後も発展的に研究されてゆくと思われる。PUF 研究ではベルギー Catholique de Louvain 大学の P. Tuyls や米 Virginia Tech 大学の P. Schaumont らのグループが精力的に研究を行っている他、国内でも三菱電機から Glitch PUF という新しい提案されている。また、米国では Machine Learning を用いる人工知能的な手法によって PUF を攻撃する手法も提案されている。このように、新たな物理的特徴を利用した PUF の提案や、攻撃手法およびその防御手法についての研究報告は世界的に増加傾向にある。また、産総研が多数の SASEBO-GII を利用して PUF の性能を定量的に評価する手法を提案するなど、PUF の安全性評価基準に関する議論が世界的に広まってゆくと考えられる。

(9) 生体認証技術の新展開

現在の研究開発の世界的な主流は、国防や犯罪捜査への応用を意識しているため、画像認識やコンピュータビジョンのアプローチによる認証精度の向上が目的となっている。しかしながら、今後、出退勤管理、金融や決済サービス、エンターテインメント会場や施設のアクセスコントロールなど、生活の中のより身近な場面で生体認証が用いられるようになれば、テンプレート保護技術や意図的ななりすましに対するセキュリティの研究が今まで以上に重要となってくる。生体認証では、暗号技術のようなセキュリティ評価理論・評価技術が未だ確立しておらず、今後、これらの評価理論・評価技術の研究や証明可能な安全性を持つ生体認証技術の開発が注目すべき研究課題となる。中でも、意図的ななりすましに対するセキュリティの研究は、単純な照合アルゴリズムに対する基礎理論が確立したばかりであり、実用化されているようなより高

度なアルゴリズムに対するセキュリティの理論研究や実証研究が必要である。

また、脳波、心音情報、心電情報など人体内の生体情報を利用した生体認証技術と人体通信技術とを組み合わせた安全な認証・通信技術が、ヘルスケア情報の通信やその他医療面に応用可能な新技術として世界的に注目され始めている。

2.5 ネットワーク分野

2.5.1 概観

ネットワーク分野の国際技術力比較をするにあたって、当該分野をネットワーク基盤、サービス技術、情報通信端末技術、要素技術（ネットワークセキュリティ、画像圧縮技術、マルチメディア応用技術）、基礎理論（情報源符号化、誤り訂正符号（通信路符号化）、ネットワーク符号化、通信トラヒック理論）に分類した。さらにネットワーク基盤については、インターネットの発展、携帯電話網のグローバルな浸透、次世代ネットワークへの関心の高まりなどを国際比較できるように、光ネットワーク、ワイヤレスネットワーク、インターネット、次世代ネットワークに分けて比較調査することとした。

先進国ではスマートフォンやクラウドコンピューティングの登場によりネットワークサービスは新たなフェーズに入ろうとしている。一方、アジア、アフリカ地域において特に携帯電話の浸透が加速している。先進技術の成長と旧来技術の市場拡大によりネットワーク分野全体が技術的にも市場的にも今後も大きな成長を遂げると予想される。この動きを実現、加速する研究水準、技術開発水準、産業技術力のいずれにおいても米国が世界をリードしている。これに対して、大規模市場を有し、GDP 世界第 2 位に浮上した中国が米国を追い上げようとしている。米国は景気刺激および再投資政策 ARRA (American Recovery and Reinvestment Act of 2009) により研究資金を約 1 兆円増加させ、競争力を一層、強固にしようとしているが、産業界の R&D 投資額において中国が米国を追い越しつつある。欧州も戦略的な投資を行い米国を追い上げる中、日本は技術的な強みを維持しつつも、欧米諸国とアジアの新興勢力の間に入って、産業レベルでの勝ちパターンを探しあぐねており、投資余力も減少して研究開発力の低下が懸念される分野も出てきている。

ワイヤレスネットワーク市場は、中国やインドにおいて年間 1 億加入を超える増加率で急激に立ち上がり、他の新興国にも波及してきている。日米欧においてはスマートフォンから発生する大量通信トラヒックを吸収するため、無線アクセスネットワークの大容量化が急がれている。この一環として基地局からの光伝送需要も伸びている。先進国では LTE 投資が進む一方、携帯電話の浸透率が人口の割に低い南アジア、アフリカでは 3G 投資が中心になると予想されている。欧米携帯キャリアではまだ 8 割程度の収入が音声通信である中、日本のキャリアは半分程度の収入をデータ通信で稼いでいる。日本のこの先進性を活かす技術開発とビジネス展開が注目される。波長多重化による光ネットワークの大容量化は物理限界に近付きつつあるため、光周波数の利用効率を高める技術の研究開発が活発化している。日本は技術ではリードしているが、その初期段階の商用化や 100 Gb/s 伝送実証実験などで他国に遅れる傾向が出ている。新興国や欧米において高まる需要をターゲットに光ネットワークの戦略的な研究開発の推進が期待される。上位レイヤについても、米国を中心にクラウドコンピューティング技術や IP と親和性の高い QoS 制御技術などの研究が進展しつつある。

情報通信端末技術は、iPhone や Google Android に代表されるように、インターネットを介したコミュニティ形成やコンテンツ/ソフトウェア流通の場とセットでユーザが評価する時代になってきている。サービス提供者は、アプリケーションの軽量化とオープン化を可能にする技術を実現して、新しいサービスアプリケーションをオープンに開発してもらい、クラウドと連携させてタイムリーに大量にアプリケーションを提供する競争を行っている。携帯電話や PC 市場は、欧米諸国と中国、台湾、韓国が強く、日本はその高い技術力にも関わらずポジションを下げている状況において、上記の動きに対応する日本の取り組みが注目される。

次世代ネットワークについては、その方向性は依然として明確にはなっていないが、新興国の急激な経済発展に伴う旺盛な社会インフラ需要、先進国社会インフラの更新需要を環境問題の解決などと組み合わせる動きとして、センサネットワ

ークやその情報処理に関するビジョン提言や研究開発が活発化している。研究開発を通じて日本のネットワーク産業の競争力を取り戻す機会を見つける観点から日本も戦略的な取り組みを強化する必要がある。

2.5.2 中綱目ごとの比較

(1) 光ネットワーク

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	光ネットワーク技術に対する大学・国立研究機関の研究レベルは依然として高く、東大、東工大、東北大などをはじめとして、この分野の学会での発表では、リードしている部分があり、他国からも注目されている。欧州光通信会議（ECOC）においても最近の数年は日本からの論文数が他国を大きく凌駕している。
	技術開発水準	◎	↘	この分野における企業での技術開発力は、上記の大学・国立研究機関とともに以前からの蓄積もあり、依然として高い水準ではあると言える。しかし、近年の長引く不況による開発費用の削減などにより、以前より企業により少し下降している可能性がある。光ネットワーク分野は情報化社会のインフラであるが、急速な広帯域化に対応するための新技術への多額の開発費を回収するメカニズムが見えなくなってきたおり、従い、投資の遅れが生じ、米国などに対し、動きが遅くなりつつある。光ネットワークの管理についても徐々にではあるが高いレベルのものを導入し始めている。新しい分野である光インターコネクトについては、米国の方が動きが活発である。
	産業技術力	◎	↘	企業現場でも日本企業はかなり健闘しているといえるが、上記と同様の背景があり、また長引く不況の影響で体力が低下している。中国など新興地域からの廉価な光部品技術を導入して生産している部分もある。
米国	研究水準	◎	→	米国の大学の研究開発は、世界からの優秀な人材と、国からの、特に国防関連の予算などの投入もあり、MIT、Stanford、California の各大学などが高い水準を保っている。例えば CIAN など、国の予算が投入されている活動も多い [1]。 大学から spin out した start up も依然としてあり、統合や吸収合併をしながらも研究水準はとても高い。
	技術開発水準	◎	→	北米の企業の研究開発は、Alcatel-Lucent の例や、Nortel を吸収して大きくなった Ciena のように企業の M&A に伴い即応性・流動性を持っており、確実に進展している。光ネットワークの管理についても規模に応じた新しい方式の導入など動きが早い。データセンタへの適用などの新分野についても、Incumbent と Venture 企業が組んだ迅速な動きなどがある。
	産業技術力	◎	→	北米企業は、市場動向や、需要の立上りを見ながら導入時期の見極めを常に行っている。広帯域網に対する政府の政策や規制緩和などが投資意欲に影響を与えているが、それらの動きも睨みながら迅速な動きを見せている。通信会社と装置供給ベンダーが組んで新技術の実証実験を行うなど、技術と市場を牽引している部分がある。3G 携帯電話やスマートフォンの普及に伴い、その基地局から先のコア網の伝送容量の拡大が必要となっており、アプリの進展とともに投資の拡大と量産導入を推進している。
欧州	研究水準	◎	→	大学の研究レベルは以前より非常に高く、基礎的な研究では世界をリードしている部分がある。オランダの Eindhoven 工科大学、デンマークの Copenhagen 工科大学、英国の Southampton 大学、Glasgow 大学、Cambridge 大学、Essex 大学、ドイツの Fraunhofer 研究所などなど枚挙に暇がない。大学から spin out して成功している企業もある。
	技術開発水準	○	→	欧州企業の研究開発力は、Nokia Siemens Networks など一部で高いものもあるが、Alcatel Lucent など米国企業との M&A で欧州と米国の区別がなくなっている部分もある。ドイツにおいて、高速電子回路技術分野が進んでいる。しかし、光ネットワーク分野全体では、多くの企業がある日米に対して平均的には少し遅れている可能性あり。
	産業技術力	○	→	上記のように、それほど数は多くないが特徴のある強い企業がある。欧州全般としてはこの分野で大量生産に移っている部分はそれほど多くはない。
中国	研究水準	○	↗	中国の大学の研究水準は、以前より急速に上がってきている。特に米国での留学・滞在経験をもとに、人脈と連携を保ちながら、研究レベルを上げている。光ネットワークの研究者には世界的にみても中国人が多く、将来の進展が予想される。中国が米国と連携して運営している学会・展示会も規模を拡大している。
	技術開発水準	○	↗	企業の研究開発力は、平均的にはまだ少し低いと思われるが、この光ネットワーク分野では Huawei、ZTE が国内での大きな市場と需要に支えられ、低価格を武器に世界市場でもシェアを拡大しており、それに伴って技術水準も以前より格段に高くなってきている。
	産業技術力	△	↗	中国の企業は、従来のレベルは低かったが、アクセス分野など低価格が重要である分野から開始して、段々と高度な技術にもその低価格性を実現しつつある状況があり、この分野の価格破壊を生じさせている。平均的にはまだ低い部分も多いともいえるが、レベルは急速に上がってきていると思われる。

韓国	研究水準	○	→	光ネットワーク分野での韓国の大学の研究水準は、KT と協力した WDM-PON の分野などで少しリードしている部分がある。光ネットワーク全般としては、それほど高いわけではない。韓国も米国の大学との連携が強い。
	技術開発水準	△	→	韓国では Samsung、LG などの大企業は光ネットワーク分野では活動がそれほど大きくない。他には強い研究開発力を保持している企業はあまりなく、光部品などで少しある程度である。
	産業技術力	△	→	上記のように、この技術分野での企業での製造は大きくない、と思われる。
全体コメント： 現代の情報化社会を支えている情報通信ネットワークにおいて中心的役割を果たす伝送技術は、今日では、殆どが光ファイバー通信技術をベースにした光ネットワークにより実現されている。最近、急速に進化したスマートフォンなどの携帯端末も、端末から基地局の間は無線伝送技術で実現されているが、基地局間はネットワークの基幹伝送部分を含めてほぼ全て光通信である。例えば、東京からニューヨークへ携帯端末どうして通信を行うと、両端のわずかな距離（3G や LTE では数 10m ー数 100m、WiMAX でも数 km 程度）が無線技術であり、99%以上の基地局間伝送は光ネットワークが支えている。クラウドなどの新サービスも広帯域網の存在が前提となって実現しているし、スマートグリッドなどのエネルギー対策も広帯域網があつての議論である。しかし、そういったアプリは下の Layer のことを意識しないで使えるように作られていることもあり、一般的には、光ネットワークによる広帯域網が支えていることがあまり理解されておらず、広帯域接続は、極端に言えば、空気や水のように、ただで供給されているように意識にない状態である。米国での Network Neutrality の議論は、投資意欲に大きい影響を与えているが、他の国でも同様であり、日本も例外ではない。12 月 22 日に行われた米国 FCC から新ルール裁定の発表は、これまでの議論を踏まえて、一歩前進したといえよう。				

(参考情報)

- [1] <http://www.cian-erc.org/index.cfm>
- [2] Proceedings of the OFC/NFOEC2010
- [3] Proceedings of the ECOC2010
- [4] Proceedin sof the OECC2010

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(2) ワイヤレスネットワーク

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	実用が始まった LTE、そしてその将来系である LTE-A、IMT-A へのロードマップを標準化を含めて開発・推進している。通信キャリアや NICT が核となりメーカーが協力する日本型スキームで、IMT-A を構成する先進無線システム技術 (CoMP、MIMO、コグニティブ無線、変復調技術) を先導している。2010 年にはルネサスエレクトロニクスが Nokia ワイヤレス部門を買収し、無線システム LSI で世界シェアを狙う。
	技術開発水準	○	↗	3G の面的なカバレッジを増やすインフラ整備とともに、mobile WiMAX、LTE、xGP などの先端ワイヤレスインフラの構築が進んでいる。一方、端末をキャリアが所有する PSTN モデルを続けているため、装置にしても端末にしても世界ビッグキャリア (China Mobile、Vodafone、Orange など) の市場を狙うことができていない。mobile WiMAX 系装置は NEC、富士通などが最初から世界マーケットを狙っている。
	産業技術力	○	↗	欧米中韓に比して、モバイルマルチメディアサービスをビジネスとして提供して来た蓄積があり、三大キャリア (ドコモ、au、SBM) とともに、すでにデータトラフィックと音声トラフィックからの収入がほぼ拮抗している。これは世界の動向を先取りしている。先進ユーザが多いことからスマートフォンなどの高機能端末への買い換えも早い。LTE などの最新技術を早期に展開し、ワイヤレスインターネット接続以外の付加価値サービスの実現を狙う。M2M や ITS、電子決済などにその兆しが現れている。
米国	研究水準	○	→	3G、LTE、IMT-A 関係の研究はベースバンド信号処理を除くと必ずしも強くない。しかしベースバンド/RF 信号処理は、3G に引き続き LTE でも Qualcomm の強さとシェアが目立つ。Intel と Motorola は mobile WiMAX で端末、装置関係についても優位化を狙っている。TV ホワイトスペースでの利活用を実現する手段である DSA (Dynamic Spectrum Allocation) の研究で他国を一步リード。これまで技術はあるものの、なかなか出口のなかったワイヤレスセンサーネットワークは、SmartGRID や Internet of Things で産業化の糸口が見えてきた。
	技術開発水準	○	→	無線アクセスネットワーク等での研究およびインフラ整備の出遅れ感とは対照的に、IP 系および上位アプリケーション系では絶対的に優位に立っている。スマートフォンでは、Apple 社、Google 社の Android が世界的に急速に発展 (日米欧では新規端末の 2、3 割がスマートフォン)。マーケットプレースを抑えているため、すべての情報を把握できる。また端末ブランドでサービスを売るビジネスモデル (ブランディング) を確立している。IMT-A の対抗馬として intel が mobile WiMAX を推進。WiMAX2 (IEEE802.16m) を 4G として ITU で承認を取り付け、Verizon の LTE 開始に合わせて Sprint がカリフォルニアでサービス開始するなど動きは速い。
	産業技術力	◎	→	新しいサービスを民間主導で作り出す環境作りがうまい。アナログ TV 跡地をオークションした結果 Verizon の LTE は世界に先駆けて、2.6GHz など比して損失が少ない 700MHz 帯を使うことができる。さらに 2010 年には FCC がホワイトスペースを免許不要局が利用できる制度化を行い (ただし DSA ではない) 今後、WiFi などの免許不要局を利用した新しいアプリケーションが民間主導で現れてくることに期待。
欧州	研究水準	◎	↗	CEPT、ETSI としてまとまり IMT-A 関係の基地局装置、端末を中心として研究開発および標準化をリードしている。主力はエリクソン、アルカテル・ルーセント、ノキア・シーメンスなどのグローバル・メーカーと、Vodafone、Orange のキャリア企業である。大学との連携も EU がプランニングとコーディネーションを担当し活発。Nokia ワイヤレス部門を売却するなど、ST-Ericsson に無線チップのリソースを集中させ、他は無線レイヤからネットワークレイヤへリソースが集中している印象。標準が浸透することによる無線レイヤでの差異化の難しさに加えて Huawei、Samsung、ZTE などの登場が影響か。
	技術開発水準	◎	↗	基地局装置関係では Nortel を買収したエリクソンが大きなシェアを占めている。続いて、アルカテル・ルーセント、ノキア・シーメンスが強い。いずれも全世界規模での売れ筋インフラを扱うことを狙っている。全世界的に、今後は LTE に向かう方向は見えているが、当面はインフラ整備およびシステム販売が増大する中国、インド、アフリカで 3G システムを導入することを狙っている模様。グローバルに展開するメーカーとは対照的に、キャリアは基地局装置の共用化で、増大するデータトラフィックと低廉化する ARPU の差を埋めようとしている。
	産業技術力	◎	↗	一国一国の市場は小さいが、EU として同一標準方式を定め、市場規模を大きくしていることおよび、GSM、IMT に代表される標準規格を外部に売り込みグローバルシェアを獲得している。メーカー、キャリアとも合併・吸収が頻繁に行われ、リソースの集中が図られている印象である。Future Internet という大きな枠組みの中で、高品質コンテンツ配信、モノのインターネット、サービス指向インターネットというアプリケーションを実現するために技術要素およびプロジェクトを整理し、資金提供しているプロジェクトを整理している。

中国	研究水準	◎	↑	アンテナ、MIMO、変復調などの無線要素技術や LSI 作りなどハードウェアに強い。物作りの早さと価格優位性、自国市場の大きさと国際標準化にも積極的に参加。携帯最大手の中国移动が、TD-SCDMA という中国発の標準技術に加えて TD-LTE 方式を強力に推進しており、TD-LTE と FDD システムの共存もあり得る。必ずしも独自規格にこだわり続けるわけでもなさそう。Huawei 社、ZTE 社などの無線装置メーカーは、独自製品を開発し、国外にもシェアを広げている。清華大学、北京大学、浙江大学、復旦大学などの大学も先進研究を実施している。
	技術開発水準	○	↑	中国移动 (TD-SCDMA、TD-LTE)、中国电信 (CDMA2000)、中国联通 (W-CDMA) の 3 キャリアがそれぞれの方式で 3G ネットワークを展開。圧倒的な顧客ベースを武器に、エリクソン、ノキア・シーメンス、モトローラなどの装置メーカーと協力体制を構築している。また Huawei、ZTE など国際競争力を有する国産装置メーカーが出現。Huawei は、中国市場のみならず日本を含む外国にも販売を広げている。TeliaSonera (スウェーデン) の LTE も Huawei のシステムである。
	産業技術力	○	↑	携帯キャリアは当面国内向けのインフラ整備に注力。中国移动が全面的に TD-LTE に移行するか、それとも TD-SCDMA を継続して使うかは大きな判断。Huawei は今後も積極的に外国市場や標準化でのプレゼンスを強めるであろう。国家政策として物聯網 (ウーレンワン=Internet of Things) を打ち出しており、RFID やセンサを使った産業システム構築が始まっている。番号体系やプロトコルも含め規格や採用技術がトップダウンで決定するので、インフラ構築が早く、システム導入による効果も大きい。日本メーカーも応札している状況。:
韓国	研究水準	△	→	ETRI が主導して開発した WiBro を 2006 年に導入するなど、取り組みは早い。こうした先行開発によって機器メーカーである Samsung 社が経験を積み、外国へシステムを販売する協力関係ができています。Samsung 社は UQ、Yota (ロシア)、YTL (Malaysia)、Mobily (Saudi Arabia)、などへ納入し、WiMAX BS のトップシェアを Motorola、Alvarion と競っている状況である。IEEE、IETF、ITU-R など国際標準化への参加も精力的に行っている。ワイヤレス基礎研究では、KAIST、ソウル大学も取り組みに積極的である。
	技術開発水準	○	→	Samsung、LG Electronics は携帯端末で国際的に大きくシェアを伸ばし、Samsung は現時点ではトップシェアを Nokia と競うまでになっている。また 2010 年 4 月には LG-Nortel を Ericsson が買収し、今後は WCDMA 機器に関する開発も行う模様である。
	産業技術力	○	→	2005 年に韓国政府は IT839 政策 (WiBro、DMB (Digital Mobile Broadcasting)、W-CDMA Home Network service などの 8 つのサービス、Broadband、センサネット、IPv6 からなる 3 つのインフラ作り、次世代モバイルなどの 9 つの成長エンジン) を発表し、この政策に準じる形で国からの後押しが継続的に行われている。また技術輸出については国とうまく連携しているとともに、企業側も顧客主義を徹底していることが強い。
全体コメント: ワイヤレス分野は、以下の 3 つの産業分野に分類して調査・整理した。 ・携帯電話・スマートフォンなどを使う携帯キャリアビジネス、 ・PC からのインターネット接続を中心としたワイヤレスインターネット接続ビジネス、 ・無線センサや RFIDなどを情報システムと組み合わせて産業システムとして用いる Internet of Things (IoT) ビジネス 結果的に、規模が大きい携帯キャリアビジネスを中心に動向をまとめることとした。 ワイヤレスネットワークは、中国 (2008 - 2009 は 1 億人 / 年で増) やインド (2008-2009 は 1.8 億人 / 年で増) における携帯電話サービスの急激な立ち上がりに加えて、日欧米におけるスマートフォン普及 (日欧では新規加入の 20% 以上がスマートフォン、米国では 30%) とともに市場が急拡大している。スマートフォンや高性能携帯電話からの発生する大量通信トラフィックを処理するため、無線アクセスネットワークの大容量が急がれている。我が国で NTT ドコモ、au、softbank の 3 大キャリアが同様に LTE 利用を表明しているように、既存大手キャリアは、3G とのマルチモードでチップが提供されるため共用端末が作りやすく、国際的な周波数をすべてカバーしている (マルチチャネル) LTE を選択する。また国際標準である LTE-A (rel10)、IMT-A (4G) へのロードマップができていていることも強い。したがって、今後は日本や欧米のような先進国では、LTE への投資が進行していくが、エリクソン、アルカテル・ルーセント、ノキア・シーメンスネットワーク、Huawei などのグローバルベンダの設備投資は、人口の割にはまだ広がっていない南アジア、アフリカを中心に進んでいくことになろう。したがって 3G、LTE、4G のオペレーションを先行してできる日、欧、米のキャリアは、長い目で見ると、後発国が LTE、4G の時代になる際に、ノウハウ提供等で優位に立つことができる。特に LTE が共通のアクセス技術として広がって来た時には、キャリア毎の差異化はベアラサービス以上のアプリケーションのサービスプラットフォームおよび、churn 防止のためのカスタマサービス・運用保守となる。欧米では、まだ 8 割程度の収入が音声通信であり、データによるビジネスモデルに不慣れである。データ通信先進国の日本キャリア・ベンダはその点で優位と考えられる。すでに NTT ドコモ、KDDI、SBM が半分程度の収入をデータで稼いでいることは世界でも先駆的なビジネスモデルといえる。しかし必ずしも、増収・増益に直接つながらない点が問題である。基本的には加入あたりの収入 (ARPU) は激しい競争の結果、減じていることが実状である。 したがって、今後は ・LTE の即応性 ・高速通信 を利用した、たとえば ITS などの M2M 通信など、いわゆるインターネットアクセスでない領域での端末認証、データ収集、制御などの領域までキャリアが取り込んでいく可能性が高い。				

(註 1) フェーズ [研究水準 : 大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準 : 企業における研究開発のレベル、産業技術力 : 企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎ : 非常に進んでいる、○ : 進んでいる、△ : 遅れている、× : 非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑ : 上昇傾向、→ : 現状維持、↓ : 下降傾向]

(3) インターネット

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↘	インターネットは接続性が一番の課題だったところから、ブロードバンドが当たり前となった。このため品質 (QoS) とかインターネット上のサービス連携を意識した研究に欧米が軸を移しつつある中、日本国内では課題設定が古いままの研究が続けられている。また、NICT 主導で行われている新世代ネットワークの研究はインターネットを否定する方向でのアナウンスが強くなされたために、インターネットの改良やサービス追加の方向での研究との連携がうまくいっていない。
	技術開発水準	○	↘	省エネ、グリーン IT といった観点での研究開発は世界に先駆けた動きとなっている。インターネット接続の技術とサービス関連の技術開発の間には壁があり、協調したシステムとしての動きはなく、個別にそれぞれの領域において機能追加や信頼性の向上が続けられている。このため新しい製品やサービスができるような研究開発につながっていない。
	産業技術力	◎	↘	NGN 関連製品、ブロードバンドインターネット対応製品では技術的、品質的には世界をリードする。ただし、価格競争力やコストパフォーマンスという観点ではアジア諸国の製品に追いあげられている。また欧米の製品に見られるような斬新な機能の追加や新しいコンセプトの製品はみられない。
米国	研究水準	◎	→	NSF の資金による研究プロジェクト FIND による研究活動が活性化、その成果がインターネットの改良提案として、IRTF/IETF にでくるようになった。 NSF/DARPA の資金、各研究機関のプロジェクトと IETF などの標準化活動がきちんと連携ができており、スマートグリッドやデータセンターネットワークといった、従来やられていた研究に新たな看板付けをおこない、ビジネスにつながるような再活性化を演出している。
	技術開発水準	◎	→	下位層では Cisco による LISP(Locator/ID Separation Protocol) の実装と運用実験、上位層では Google による各種 β 版サービスというように実際に役に立ち、実用化だけでなくビジネスの方向性まで見極めようという研究活動がなされている。また大学や研究機関との連携やコンソーシアム活動も相変わらず活発である。
	産業技術力	◎	→	Cisco、Juniper だけでなく、多くのベンチャー企業が製品を先進的な製品を開発している。特にサービス連携を重視ものやクラウドサービスを意識したアプライアンス製品の開発が盛んである。また Google、Amazon、Akamai といったインターネット上のサービスについても様々な研究成果が盛り込まれて、高度な製品 / サービスを提供できる状態にある。さらにインターネットの基本であるプロトコルだけでなく、CPU や各種 LSI、chip といったキーコンポーネントをがっちりおさえている。
欧州	研究水準	◎	→	米国同様に EU の資金による研究プロジェクト FP7 などの研究成果が、インターネットの研究にも影響を与えている。オープンソースの活動による各種ツールやサービス基盤となるようなプログラムの研究も盛んである。
	技術開発水準	○	↗	大学や研究機関だけでなく、FP7 には企業の研究関係者も関わっている。これらの活動より、ITU-T、IETF でリーダーシップを発揮する人材を多数輩出している。 米国企業との連携もあり、モバイル、ブロードバンド時代のインターネットとサービスについての研究開発に取り組んでいる。
	産業技術力	○	→	伝統的に通信 / モバイルが強いが、その上で展開されるサービスについても連携をはかる方向で動いている。オープンソースの活動の成果をビジネスに取り込んでいる。 米国が作りあげた産業構造を利用しながら、独自のビジネスを作りあげ、影響力が強い南米、アフリカにも展開している。
中国	研究水準	△	↗	インターネットのテストベッドである CERNET を使った研究活動が盛んにおこなわれている。2010 年 11 月には精華大学がホストとなり IETF meeting が開催されたこともあり、CERNET 関係者が IETF において、積極的に提案活動を繰り広げた。 特に経済発展に比例してインターネット利用者が爆発的に増加したこともあり、IPv6 関係の研究に積極的である。
	技術開発水準	△	↗	ITU-T において積極的に貢献しており、今や日本をしのぐ状態にある。通信機器ベンダである Huawei は米国人を雇い、キーマンとの繋がりや標準化プロセス、人脈などを指導してもらっている。 独創的な技術開発は少ないが、中国国内規格で世界標準と似て非なるものを開発している。最近ではこれを国際規格に提案することも増えている。
	産業技術力	△	↗	Huawei はユーザ要求に応えるため、サービスも意識した新機能を開発、製品化をおこなっている。日本のベンダのような経験や技術が伴っていない部分もあるが、とにかく多くの開発をおこなっており、その差は小さくなってきている。 サービスにおいては検索の百度が積極的に開発をおこなっており、中国以外にも進出してきている。
韓国	研究水準	△	↗	ETRI、KAIST などを中心に研究のレベルを上げてきている。欧米との強力な研究者人脈を作り上げている。
	技術開発水準	○	↗	KT、Samsung、SK グループが大学、研究機関と連携をはかり、標準化や特許活動を展開している。
	産業技術力	○	↗	大型のネットワーク機器は少ないが、小型の製品、モバイル機器、インターネット上のサービスについては多様なものが開発、販売されている。

全体コメント：

インターネットは欧米でもブロードバンド化がすすみ、これまでの接続性が問題だった時代から課題がかわってきている。具体的には、QoS や課金とのバランスといった社会的な問題とトラフィック制御を同時に扱うような課題である。これに対し、日本の研究者は課題設定が古いまま研究活動が続けているのが見受けられる。

欧米では FIND/FP7 のクリーンスレートのアプローチからインターネットへの改善提案が出始めている。一方で日本は新世代ネットワークがインターネットの否定として使われたことにより、研究の連携が悪く、新しい課題設定ができないまま、個別技術の深堀研究が続けられている。

中国、韓国は欧米との関係を強化しながら、貪欲に技術レベルを向上。ITU-T や IETF においても日本より存在感を増しつつある。インターネット分野での研究は接続性だけでなく、どう使うか、サービスを構築するかといった応用研究も盛んであるが、欧米ではサービスや応用を含めての最適化をする研究が出始めている。日本ではこの研究分野においても学会の研究会などが縦割り、横割りになっており、全体最適化の時流から遅れつつある。

(参考情報)

[1]IETF : <http://www.ietf.org/>

[2]ITU-T : <http://www.itu.int/ITU-T/>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(4) 次世代ネットワーク

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	(独) 情報通信研究機構では、AKARI プロジェクトを自ら推進するとともに、新世代ネットワークに関する研究助成を行っている。ただし、新世代ネットワークに関しては、まだ方向性さえ定まっていないため、研究開発活動の裾野をより広げることが必要である。 総務省は、ユビキタスネットワーク技術に関する研究助成を 2003 年より行ってきており、センサネットワークに代表される技術が蓄積されつつある。経済産業省の情報大航海プロジェクトや文部科学省の情報爆発プロジェクトの成果を受け、センシングデータに関する研究開発が活発になりつつある。
	技術開発水準	○	↗	産学官をあげた取り組みとして新世代ネットワーク推進フォーラムが 2007 年より活動を行っている。センサネットワークの一形態として M2M (Machine-to-machine) の研究開発が盛んになりつつある。実世界のセンシングデータを収集し、都市、環境、土木などへの応用を目指すものであり、センシングデータプラットフォーム、センサ相互接続などに関する研究開発が盛んになりつつある。
	産業技術力	○	→	NGN 網を世界に先駆けて構築している。 NTT ドコモは、携帯端末や基地局等に設置したセンサなどからのデータを利活用する「モバイル空間統計」プロジェクトを開始しており、防災分野や街づくり等への応用の検討を開始している。このような取り組みは世界に先駆けたユニークなものであり、今後の展開が期待できる。
米国	研究水準	◎	→	NSF(National Science Foundation) のプログラム FIND(Future Internet Design) において新世代ネットワークの研究を積極的に推進している。また、テストベッドネットワークを構築する GENI(Global Environment for Network Innovations) の活動において、仮想化ネットワークの研究開発が盛んに行われている。裾野の広い研究助成を行っているものの、まだ方向感が定まっているとは言い難い。 NSF では CPS(Cyber Physical Systems) の研究開発を引き続き進めており、センサなどから得られる実空間情報の利活用に関して幅広く研究助成を行っている。
	技術開発水準	◎	↗	GENI の構築を産学共同で進めながら技術を蓄積している。また、DARPA(Defence Advanced Research Projects Agency) では、センサネットワーク技術を用いる種々のプログラムが SensIT プログラムに引き続いて推進されており、技術の蓄積が進みつつある。
	産業技術力	◎	↗	IETF などでの標準化や IP 機器市場では Cisco や Juniper が引き続き支配している。 IBM は「Smarter Planet」を標語に掲げ、都市、農業、環境、資源などへの ICT の利活用を大々的に進めており、世界各所で実証実験を開始している。Cisco も、スマートシティに参入しており、韓国の仁川市などでも実証実験を進めている。また、スマートグリッドをオバマ政権が推進していることもあり、Google、IBM、Oracle をはじめ M2M のプラットフォームの研究開発も精力的に進められている。
欧州	研究水準	○	→	FP7(Framework Programme 7) の一つのプログラムである FIRE(Future Internet Research & Experimentation) において新世代ネットワークの研究が進められている。FIRE 内において OneLab(Open Networking Laboratory) や PanLab(Pan-European Laboratory) といったテストベッドの構築も進められている。 FP7 においては、SENSEI、C-CAST(Context Casting)、PERSIST(Personal Smart Space) などといったセンサネットワーク基盤技術の開発を目指すプログラムも進められている。
	技術開発水準	○	→	固定・移動網の統合としての NGN の標準化は引き続き強力に推進している。 FP7 のプログラムに産学共同で取り組むことで新世代ネットワークやセンサネットワークに関する技術は蓄積されつつある。
	産業技術力	○	↗	Ericsson、Nokia、Alcatel-Lucent などが、ベンダ／カントリファイナンスなどを用いてキャリアネットワーク市場を支配している。 センサネットワークなど方向感が定まっていない分野にも、FP7 などとも連携しながら規模の大きい投資を開始している。センサリッチな空間内でのエンターテインメントアプリケーションなど、実証実験を行いながら技術を蓄積している。
中国	研究水準	△	↗	新世代ネットワークに関する研究開発は盛んではない。 これに対し、2010 年 3 月の全人代において温家宝首相が「物聯網 (Internet of Things)」を重要課題と位置付けたことから、物聯網ブームが起きている。IBM の Smarter Planet と思想は共有しており、「感知中国」という言葉でネットワーク強化戦略を推進している。
	技術開発水準	○	↗	華為などを中心に、ITU などの標準化活動に多くの人的資源を投入しており、標準化への影響力が高まりつつある。 物聯網が実質的な中国の ICT 戦略となりつつある状況を踏まえ、産学ともに都市、農業、環境、資源などへの ICT 技術の利活用に多大な力を入れ始めている。
	産業技術力	○	↗	低価格ルータを中心として、キャリアネットワーク市場に急速に浸透しつつある。 物聯網に関しては、無錫市が第一号の認定を受け、三大通信キャリアがともに無錫市に物聯網研究センターを設立して、物聯網の標準化、技術開発、実証実験、産業化を展開している。無錫市以外の各地方政府も物聯網産業をこれからの第 12 次五ヵ年計画における重点領域としており、物聯網を中心として産業が立ち上がっていく様相を示している。

韓国	研究水準	○	→	情報通信省の研究助成で Future Internet Research を推進している。また、KOREN、KREONET などのテストベッドネットワーク上での研究開発も行われている。新世代ネットワークに関しては方向感が決まっていない点は日米欧と同様である。 放送通信委員会は 2010 年 5 月に「放送通信未来サービス戦略」を発表し、人と世界を連結する通信サービス「事物知能通信」や、安全で賢い未来型インターネット「未来インターネット」を重点項目として指定したことから、活発な研究開発が継続して行われるものと予想される。
	技術開発水準	○	→	ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute)やサムスンなどを中心に、ITU や IETF などの標準化会合に多くの人的資源を投入しており、産官学連携で事業を見据えた研究開発を推進している。特に、ETRI には百名オーダの標準化部隊が存在することは特筆に値する。 ユビキタス分野においても、u-Korea というスローガンのもと政府が多大な支援を行っているおり、引き続き精力的な研究開発がなされるものと予想される。
	産業技術力	○	↗	政府や企業トップのトップダウン型運営が、産業競争力の強みとなっている。スマートシティに関しても仁川市などを実証都市に選定し、諸外国から企業をも巻き込んで構築を進めている。技術とともに「場」の構築にも重点に置いている点は特筆に値する。
全体コメント： NGN に関しては、既にビジネスの段階に入っているが、サービス提供プラットフォーム上で柔軟なサービス提供を可能とする仕組み作りに関してはこれからである。第三者を巻き込んだ場の作り込みが求められる。 新世代ネットワークに関しては、日米欧韓などで精力的に研究開発がなされているものの、方向感が定まったとは言い難い状況である。産業化が見えない状況下にあっても、基礎研究を広い裾野で継続的に推進していくことで技術の蓄積とともに人材の育成を進めていくことが必須である。 ユビキタスネットワーク／センサネットワークの研究開発は、都市、環境、医療、農業などを見据えての活発になりつつある。特に、IBM の「Smarter Planet」に刺激を受けた中国で「物聯網」が大々的に立ち上がっていることは、要注意である。スマートシティ、スマートコミュニティ、スマート農業、スマート水管理等、膨大な市場が控えており、センサデータ管理プラットフォーム、低消費電力／低コストセンサノードなどを含む基盤技術の開発を積極的に進めていく必要がある。				

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(5) サービス技術（クラウドコンピューティング技術）

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	総務省がスマートクラウド戦略を策定、経産省が「クラウドコンピューティングと日本の競争力に関する研究会」報告書でクラウド普及へのロードマップを示している。研究機関はそれぞれ従前から進めてきた研究分野を中心に、クラウドに取り組んでいる。 NICT（情報通信研究機構）ではネットワーク仮想化 [1] やクラウドコンピューティングに向けたセキュリティの研究を実施、クラウド連携のためのテストベッドとして JGN-X を計画中、NII（国立情報学研究所）は NASA と連携してクラウドの相互接続について研究を実施しており [2]、AIST（産業技術総合研究所）は省エネ技術を活かしたグリーンクラウドの実現に向けた研究を推進している。
	技術開発水準	○	→	クラウド事業者らが分散技術や高信頼化技術などを研究し、その成果を事業に適用している。 楽天技術研究所では分散キー・バリュー型データストア ROMA の研究開発を行い [3]、ミクシィ研究開発グループでは超分散構成 Web システム LAMP を開発し [4]、それぞれ事業に供している。NTT ではキャリアグレードのクラウドコンピューティングを目指した CBoC の研究開発を進めている [5]。NEC ではクラウド環境に米 Stanford 大学が提唱している OpenFlow 技術を適用しネットワーク資源を統合制御する研究開発を行っている [6]。 GICTF（グローバルクラウド基盤連携技術フォーラム）では、高信頼、高品質、セキュアなクラウドサービスを複数のクラウド間を連携させる仕組みにより実現する取り組みを進めている [7]。 OGC（オープンガバメントクラウドコンソーシアム）では政府系のクラウドコンピューティング導入のための OpenAPI 整備、ガバナンス機能を実現させるための取り組みを進めている [8]。
	産業技術力	△	↑	日本で盛んに使われている VPN サービスを活用した企業向けプライベートクラウドを提供するとともに、海外のプレイヤー・ベンチャー企業と提携することでビジネスターゲットを内外に広めようとする動きがみられる。 富士通は Microsoft と協業し Windows Azure platform を活用したクラウドをグローバルに展開する。NEC は中国 IT 大手の東軟集団（Neusoft Group）と協業し中国企業、中国に進出する日系企業、欧米企業に対してクラウドビジネスを提供している。NTT データは企業向けに統合クラウドサービス BizXaaS を提供、米ベンチャー企業 Cloudera と提携し日本を含むアジア太平洋地域で BizXaaS Hadoop 構築・運用の展開を進めている。NTT コミュニケーションズは、VPN や MVNO モバイル回線などの通信環境まで含めたフルレイヤを提供する高品質クラウドサービス BizCITY を展開している。レンタルサーバ大手のさくらインターネットはクラウド用に大規模な自社データセンタの建設を石狩市で進めており、低コストでクラウドサービスの提供を狙っている。 アイ・エス・レーティングはデータセンタ情報セキュリティの第三者評価制度による格付けを実施している [10]。
米国	研究水準	◎	↑	複数の政府系研究機関がクラウド関連研究に継続的に取り組んでいる。その研究成果は米国内外の研究開発に影響を与え続けている。米国国立科学財団（NSF）がクラウド関連の研究テーマへ最大 800 万ドルの研究費を充てることを決定している [11]。 NASA ではクラウドコンピューティング基盤 Nebula の研究を続けており、オープンソースのクラウドプラットフォーム OpenStack にその成果を提供している [12]。米エネルギー省アルゴン国立研究所では HPC（High Performance Computing）を利用した Magellan クラウドシステムによる HPC クラウド化実証実験が行われている [13]。NSF が計画中の新世代ネットワーク技術の長期的開発プロジェクト GENI において、スタンフォード大学が中心となりネットワーク仮想化技術として OpenFlow 技術を用いた実証実験が行われている [14]。
	技術開発水準	◎	↑	最先端の研究成果をいち早くビジネスに結び付けようとする動きが盛んである。Microsoft や Google などのビッグプレイヤーに加え、企業・大学からスピンアウトしてベンチャー企業を立ち上げるなど活発な動きがみられる。それぞれの取り組み内容については外部に対し明らかにされておらず潜在化しているが、仮想ネットワーク技術に新たな研究成果を適用した技術を携えて他事業者とのアライアンスによりビジネス化を探る動きなどがある。Yahoo! が中心となり取り組んでいる Hadoop 関連分野で盛んな研究発表と、その成果を適用したビジネス化の動きがある。
	産業技術力	◎	↑	クラウドそのものとクラウドを適用するモバイル端末などへの取り組みが進んでいる。 Cisco、EMC、VMware は共同で活動（VCE 連合）を進めている。Intel は OpenDataCenterAlliance（ODCA）を設立、データセンタに対する要件定義やオープンな利用モデルを検討している [15]。PHP を使うオープンソースのクラウド API プロジェクトが開始され [16]、また、Python と Java を使ったプログラミングにおいて複数のクラウドサービスを共通の API で利用するライブラリ“libcloud”の開発も進められている [17]。 Rackspace は NASA と共にオープンソースによるクラウド構築ソフトウェア OpenStack プロジェクトを興し、Intel や AMD、Dell、RightScale、NTT データらが協力している。Microsoft も cloud.com と協力し Windows Server の OpenStack へのインテグレーションとサポートを提供する。 Microsoft は、プライベートクラウド向けアーキテクチャ Hyper-V Cloud を、Dell、富士通、日立、Hewlett-Packard、IBM、NEC と提携して推進している。

				Verizon、AT&T などキャリアもクラウドサービス [18] に進出している。Verizon と VMware は提携して企業向けハイブリッド・クラウド・コンピューティングサービスを展開する予定である [19]。 Google は携帯情報端末などをターゲットにした Android プラットフォームを開発し、それを採用した商品を開発するベンダが増えている。Yahoo! は韓国 Samsung と提携しモバイル端末で Yahoo! サービスの利用促進を図っている。 Enomaly はクラウドサービスプロバイダーの余剰クラウドリソースを顧客が購入するための売買市場 SpotCloud を開始した [20]。
欧州	研究水準	○	↗	欧州委員会 (EC) は第七次研究枠組み計画 (FP7) により、NSF と協調してクラウド関連テーマ、新世代ネットワーク GÉANT2 などの研究活動に助成を行っている [21]。ICT 関連の投資額は 91 億ユーロに上る [22]。FP7 に続く第八次研究枠組み計画 (FP8) の検討も始まっている [23]。
	技術開発水準	○	↗	BT などは TM Forum において Cloud Service Broker の実現に向けた検討を始めている [24]。 EC の FP7 研究活動助成により、いくつかのクラウド関連の研究プロジェクトが進められている。以下にプロジェクト例を示す。 RESERVOIR (Resources and Services Virtualization without Barriers 管理ドメインや IT プラットフォームが異なったり、それぞれ異なるデータセンタにあったとしても、IT サービスをシームレスに接続する技術の開発 [25]) VENUS-C (Virtual Multidisciplinary EnviroNments USing Cloud Infrastructures 産学連携により、ヨーロッパの商用品質クラウドサービスの開発、テストとデブロイの信頼度を上げる取り組み [26]) Cloud4SOA (クラウドにおける相互運用性と移植性の問題を解決する取り組み [27])
	産業技術力	△	→	欧州でクラウドビジネスを推進しているのはテレコム系の企業がほとんどであり、主なプレイヤーは BT、Telefonica、Orange などである。 BT は企業向け SaaS サービス Workspace/Tradespace を開発、提供している [28]。BT、Cisco が提携し、IP 電話などを統合したユニファイドコミュニケーション (UC) にクラウドの活用を発表した [29]。Telefonica は企業向け DaaS の開発を NEC のクラウドサービス基盤を採用し共同開発している。Orange は Cisco、EMC、VMware の基盤を採用しモバイルクラウドサービスを、IBM 基盤を採用して IaaS サービスを開発している。
中国	研究水準	×	↗	中国のクラウド研究は立ち上がり段階である。 広東電子工業研究院ではクラウドの導入実証実験を行っている。国家プロジェクトに近い取り組みとして、産官学が連携するオープンソースソフトウェアによる自主開発システム「ビッククラウド」に、中国科学院、北京大学、清華大学が取り組んでいる [30]。
	技術開発水準	×	↗	IBM など欧米企業と提携して開発を進めているが、独自技術はまだ出ていない。 中国移動通信は SaaS サービスとして BizNavigator を提供している [31]。China Unicom (中国聯通) は Novell と提携して IaaS サービスを提供している [32]。また、産官学が連携するオープンソースソフトウェアによる自主開発システム「ビッククラウド」に中国移動通信が取り組んでいる
	産業技術力	×	↗	欧米、日本など外資企業が主導して、ビジネスが始まっている。 東軟集団 (Neusoft Group) は NEC と協業して、クラウドビジネスに参入、基幹業務システムも含めた SaaS、PaaS サービスを狙う。上海電信 (Shanghai Telecom) は EMC と共同で個人ユーザ向けクラウドサービスを始めた。中国企業としては、阿里巴巴集団 (Alibaba Group) がアリババクラウドコンピューティングを子会社として独立させている。
韓国	研究水準	△	↗	政府主導でクラウドの研究開発に取り組んでいる。 ETRI (国立 韓国電子通信研究院) は ITU-T などの標準化活動に積極的にかかわっている。ETRI の他、韓国放送通信委員会 Korea Communications Commission (KCC)、韓国情報保護振興院 (KISA)、the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) が、日韓クラウド政策対話に出席している。
	技術開発水準	△	↗	KT、Korea Cloud Service Association (KCSA) 等がクラウド研究開発に熱心に取り組んでいるが、まだ特に目立った成果は出ていない。KCSA は 2010 年にクラウドテストベッドを構築し、2014 年までにクラウドサービスの拡張と促進を試みる予定である。
	産業技術力	○	↗	国連が調査した電子政府の準備度 2010 年ランキングで韓国は世界第一位であるが、クラウドを適用した電子政府はまだ実施していない。2014 年までにクラウドコンピューティングの世界市場でシェア 10% を目指すという政府のビジョンを明らかにしている。現在クラウドビジネスを推進しているのは、テレコム系の企業が中心である。 KT はクラウド基盤を使った個人用ストレージなどモバイルクラウドサービスを提供する ucloud[33] や企業用の各種サービスを提供しており、クラウドサービスにさらに一千億ウォンを投資する予定である。SK Telecom は IBM と提携してクラウド基盤を導入、LGU+、LG 電子は Microsoft と提携し、クラウドビジネスへの参入を図っている。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [○：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

全体コメント：

コンセプト創り、ビジネス開発などを含め、クラウド関連の研究開発は米国が圧倒的に進んでいる。米国国立科学財団（NSF）が巨額な研究支援を行うと共に、行政コストを抑えることを目指してクラウドコンピューティングを活用すべく連邦政府が IT 投資を行うことで、クラウド関連市場が活発化、さらに民間企業などの積極的な研究開発投資を呼び込んで一人勝ちが続いている。圧倒的な市場支配力を持つ大規模クラウドベンダに対抗するため、中堅の関連事業者による連合組織や、事業者横断のオープンソース活動等が米国内外で始まっている。欧州は米国と協調しつつ、独自の技術を育てるため、欧州委員会（EC）が継続的に有望なプロジェクトに研究助成を進めている。中国、韓国は、クラウドコンピューティングの重要性・将来性を鑑み、それぞれ国家レベルで研究推進、ビジネス振興に向けた取り組みを始めている。日本では、日本が得意とするネットワーク技術や高信頼技術、グリーン関連技術をコアとしたクラウド関連研究が進められている。日本国政府もクラウドコンピューティングの重要性を認識し、国家として研究開発を支援する動きが始まっている。日本経団連、経済産業省、総務省が「ジャパン・クラウド・コンソーシアム」を設立し、ベンダーやユーザ企業・団体も参画して、クラウドサービスの普及に向けた取り組みを推進していく予定である。

（参考情報）

- [1] <http://nict.jp/publication/NICT-News/1006/01.html>
- [2] http://www.nii.ac.jp/userimg/press_nasa100602.pdf
- [3] <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20091024/339375/>
- [4] <http://techartarget.itmedia.co.jp/it/news/070912/news01.html>
- [5] <http://www.ntt.co.jp/journal/0909/files/jn200909070.pdf>
- [6] <http://www.nec.co.jp/press/ja/1007/0101.html>
- [7] <http://www.gictf.jp/>
- [8] <http://www.open-gov-cloud.jp/>
- [10] <http://www.israting.com/>
- [11] http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=117611
- [12] <http://nebula.nasa.gov/blog/2010/jul/nebula-developers-viewpoint-of-open-source/>
- [13] <http://magellan.alcf.anl.gov/>
- [14] <http://www.openflowswitch.org/>
- [15] <http://www.opendatacenteralliance.org/>
- [16] <http://www.simplecloud.org/>
- [17] <http://incubator.apache.org/libcloud/index.html>
- [18] <http://www.att.com/synaptic>、<http://www22.verizon.com/it/products-services/products-index.html>
- [19] <http://www.vmware.com/company/news/releases/vmworld-2010-verizon.html>
- [20] <http://www.spotcloud.com/>
- [21] <http://www.geant2.net/>
- [22] <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1005/1005-05.pdf>
- [23] http://www.nem-initiative.org/public/event/10thGA/NEM_GA_Barcelona_Arroyo.pdf
- [24] <http://www.tmforum.org/CloudServiceBroker/8437/home.html>
- [25] <http://www.reservoir-fp7.eu/>
- [26] <http://www.venus-c.eu/Pages/Home.aspx>
- [27] <http://www.cloud4soa.eu/>
- [28] <http://btworkspace.bttradespace.com/>
- [29] <http://www.btplc.com/News/Articles/Showarticle.cfm?ArticleID=2C3A4BB9-E295-4CE6-8807-B9399CBAF0CB>
- [30] http://news.searchina.ne.jp/disp.cgi?y=2010&d=0526&f=it_0526_008.shtml
- [31] <http://english.gd.bnet.cn/>
- [32] <http://www.lupaworld.com/article-135110.html>
- [33] <http://www.ucloud.com/main.kt>

（註 1）フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

（註 2）現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

（註 3）近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(6) 情報通信端末技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	情報通信端末に利用できるハードウェア（CPU、OFDM/MIMO アンテナ技術、光技術、表示系では曲げることが可能な有機薄膜、環境情報を得るための各種センサ）からミドルウェア（映像・音声符号化技術）、UI/Hi 技術および、超高臨場感通信サービス、RFID 利用サービスなどの各種サービスアプリケーションの研究開発を種々の大学や研究機関で実施しているが、米国に比べ OS、オープンソース、基盤ソフトウェア技術の研究水準はまだ低い。
	技術開発水準	○	→	情報通信端末の小型化（組み込み [1]）、高性能化（防塵、防水等）技術、ワイヤレス技術、OFDM/MIMO アンテナ技術、Hi 技術、RFID タグ技術、光通信技術、IPTV 技術、LTE・LTE-Advanced 技術、4K・8K・超高臨場感映像通信技術など小型（組み込み）・高性能・高品質・高水準技術に向けた技術力は非常に高いが、大量に安く造るための製造技術など国際的市場競争力を発揮するための技術開発能力はまだ低い。今後はデータマイニング技術をベースにしたパーソナライズサービスが注目される。
	産業技術力	○	→	携帯電話を中心とした、技術（液晶ディスプレイ、メモリ、CPU、製造、LTE・LTE-Advanced 等無線）では、世界と伍する技術を持っているものの、世界市場での占有率は低い。PC メーカーとしては、東芝、富士通、Panasonic 等が、フラッシュメモリは東芝など、DRAM はエルピーダメモリなどが韓国、台湾勢には負けているものの健闘している。2003 年には 7 割以上を占めていたフラットパネル TV のシェアも韓国のメーカーに追い越され 3 割以下になっている。 IPTV 関連では、ITU-T IPTV GSI における標準化 [2] が進み、サービスが普及しつつある。RFID 関連では、NID 標準化 [3] が一部完了し、RFID 関連の種々の機器、サービスの実験・提供が開始している。センサ用無線技術としては、802.11.4 (ZigBee[4] 等) を中心に標準化を積極的に推進し、対応チップ等の商品化が進められている。
米国	研究水準	◎	→	インターネット技術、コンピュータ技術を中心に、積極的にハードウェアから、ミドルウェアまでの情報通信端末の研究開発を行っている。また、今後、普及が見込まれるスマートメータやスマートグリッド関係では、NIST[5] などが積極的に、スマートグリッドの導入に向けてのドキュメント [6] をまとめ、標準化の策定・推進を進めている。 また DOE や NSF の豊富な資金援助を生かし、電子書籍のベースになっている eInk や音声合成、認識、さらに NASA も関わっているセンサの技術など大学が産業界と連携する形で様々な研究をリードしている。
	技術開発水準	○	↑	主要企業やベンチャー、大学などが技術を競い合いながら、M&A により種々の実用的な研究開発を進めている。ソフトウェアである OS の技術は、Linux ベースの Google Android、ミドルウェアでは、Java 技術を Oracle（元 SUN）、Google(Dalvik) などが開発、Web ブラウザは、Apple (WebKit[7])、Google (Chrome) などが開発するなど、オープンソースでの技術開発が活発である。
	産業技術力	◎	→	スマートフォンでは、Apple、Google Android（端末製造は、韓国、台湾等）とその他カナダ RIM 社が市場を牽引。そのため携帯電話が主力であった Motorola 等は市場規模を落としてきている。PC のセットメーカーとしては、Windows 系では HP、DELL は世界トップ規模。PC 構成品である、OS は、Microsoft、Apple。CPU は、米 INTEL、米 AMD などがほぼ市場を独占。新しい製品が次から次に発表されているが、アンドロイドなどの共通 OS を用いた端末自体はサムスンなどの韓国メーカーが勢いをつけてきている。米国は国内に製造施設を持っていないため、デザインで世界をリードしてきたが、次第に韓国が力をつけてきている。 IPTV 関連では、ATIS IIF[8] が独自の IPTV 仕様を通信機器メーカーと策定。米主要キャリア（Verizon FiosTV[9]、AT&T U-verse[10] など）もサービスを提供。 AMI(Advanced Metering Infrastructure) では、Itron、Landis+Gyr、GE などスマートメータの提供や、Silver Spring Networks などサービス提供会社が AMI 向けメータ、システム開発を推進。
欧州	研究水準	○	→	欧州の連合による活動と各国の政府の独自の施策により、研究開発が推進されている。たとえば、欧州にて、スマートグリッドや IoT などに利用するための Machine To Machine(M2M) コミュニケーションの標準化を推進。OPENMeter プロジェクト [11] は、AMI の検討プロジェクトをすすめている。
	技術開発水準	○	→	LTE や LTE Advanced、中国の TD-LTE、XGP(2)[12] など、欧州メーカー各社は種々の携帯電話方式に対して、技術開発を進めている。 Tandberg、Ericsson、Nokia などは、携帯電話や種々の端末に利用する次世代の映像符号化 HEVC などの技術開発を推進。
	産業技術力	○	↑	携帯電話では、NOKIA が世界でのトップクラスの携帯の販売能力を維持してきたがスマートフォンの対応に遅れ苦戦している。タブレット型 PC 等はベンチャーなどが開発している例もある。 IPTV 関連では、欧州のキャリア、放送会社が新しいサービス導入にむけた標準化も取り組んでおり、Open IPTV Forum[13] や HbbTV コンソーシアム [14] などでの標準化の動きが活発。また、IoT(Internet of Things) の概念を実現すべく、M2M 標準化、RFID に関する技術開発プロジェクト (CASAGRAS[15] 等) が推進されている。

中国	研究水準	△	↑	精華大学、北京大学、西安大学など中国一流の大学では、国策と連携し、標準化や研究を進めている。たとえば、スマートエネルギー関係では CEPRI (China Electric Power Research Institute) や SGCC(State Grid Corporation of China) 等が標準化を推進するなど、国策と連携して研究標準化を進めている。
	技術開発水準	○	↑	携帯電話関連では、中国で推進している TD-LTE に向けたチップ・端末開発を強化するとともに、ユビキタスネットワークの技術開発を進めている。スマートグリッド（スマートメータ）のパイロット、RFID 関連のパイロットシステム（物流網等）も積極的に推進。IPTV 関連では、中国の放送、通信、インターネットのお互いの事業への参入が促進されており、IPTV も主要都市で着々と進んでいる。
	産業技術力	◎	↑	中国・台湾は、大量に安くものを作る製造技術は長けており、現在も PC/ 携帯 / スマートフォン向け、液晶、メモリ、CPU など世界トップの工業生産の機能を持っている。また、PC のセットメーカーとしても ASUS、Lenovo、Acer など世界市場では上位に食い込んでいる。携帯などの通信関連では、ZTE、HUAWEI などが、全世界向けに規模を拡大しており、強引とも言える開発手法を用いて急速に技術力をつけてきている。
韓国	研究水準	○	↑	Samsung や、LG などの有力企業による研究開発や、国立大学 KAIST、ETRI などの研究機関が積極的に研究開発・標準化を推進している。これらは全面的な政府のバックアップのもとに行っているところが特徴である
	技術開発水準	◎	↑	液晶パネル、LSI、メモリなどは、Samsung など、官民連携した政策と企業投資により膨大な投資を実施し、安価に製造する技術を蓄えている。Samsung、LG など、携帯の中でも、スマートフォンの市場占有率が高い。PC のセットメーカーとしては、Samsung が韓国メーカーとしては健闘。PC 構成品である、DRAM、液晶パネルなど強力は製造技術を持つ。TV に関しては、膨大な液晶パネル等の投資能力により、大型 TV の液晶パネルでは圧倒的に強い。RFID 関連では、RFID/USN（ユビキタスセンサーネットワーク）の活用サービスを推進。 (スマートグリッド関連では、国策として、スマートグリッド関連の投資と KT、SK などのキャリアや、Samsung、LG などと企業の連携を進めている。)
	産業技術力	◎	↑	技術開発水準に同じ。

全体コメント：

携帯電話の市場占有率でいえば、
欧州（NOKIA、Sony Ericsson など）＞韓国（LG、Samsung）＞中国（ZTE、HUAWEI など）＞日本（Sharp、NEC、Panasonic、FUJITSU など）

携帯電話の構成部品でいうと、LCD、CPU、メモリ、カメラ、各種センサなどがあるが、LCD についていえば、台湾、中国、韓国等が非常に強い。CPU は、米 TI、米 Qualcomm、日ルネサスなど、メモリは韓国、台湾が強い。

PC のセットメーカーとしては、
米国（HP、DELL、Apple など）＞中国・台湾（Acer、Lenovo、ASUS など）＞韓国（Samsung など）＞日本（東芝、富士通、松下等）で、日本勢も健闘しているが、PC 構成部品の大量調達、自社調達などにより、米国、中国、韓国などの国が圧倒的に強い。もちろん、日本もフラッシュメモリや DRAM など健闘しているものの、大量生産、大型ライン、大量投資、安い人件費には、技術だけでは勝てていない。ミドルウェアとしては、DLNA[16]、UP n P[17]、OSGi[18] などがあるが、ミドルウェア分野では欧州や米国が強い力を持つ。

TV に関しては、韓国企業の圧倒的な投資により、大型 TV の液晶パネルでは圧倒的な強さをみせ、液晶パネルを活用した LED バックライト液晶 TV、3D 対応の液晶 TV 等も積極的に発売されている。IPTV の標準化では、日本発で ITU-T 標準化や IPTV フォーラムジャパン [19] など国際的にも標準化の普及に活発である。また、日本のメーカーは、IPTV 対応 TV など主要家電メーカーが積極的に販売中。また、IPTV 等のブラウザとして IPTV 用 BML ベースの LIME[20] が日本発の標準化として期待される。

RFID に関する、標準化などが決まりつつあり、今後は RFID をインフラとして利用したサービス、端末が今後、普及していくと想定される。スマートグリッド（スマートメータなど）に関しては、米国、欧州、韓国、日本など各国で実験がなされているが、その中でも、韓国は、政府が積極的にサポートし、標準化も積極的に貢献してきている。

他国に比べ、家電メーカーの数が多く、グローバル化の中での戦いが厳しくなっており、今後銀行などの業種に見られた合併が国を超えて進むものと思われる。一方、基礎的な技術は中小規模の会社が有している場合が多く世界中の製品に高いシェアで使われている場合が多い。

(参考情報)

- [1]TRON、T-engine forum, <http://t-engine.org/> (参照 2010.12)
- [2] 東野他, "ITU-T IPTV GSI における IPTV 国際標準化", NTT 技術ジャーナル, Vol22, No.3, PP.59-63, 2010.
- [3]Recommendation ITU-T F.771: Service description and requirements for multimedia information access triggered by tag-based identification, Recommendation ITU-T H.621: Architecture of a system for multimedia information access triggered by tag-based identification など
- [4]ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/> (参照 2010.12)
- [5]NIST, <http://www.nist.gov/> (参照 2010.12)
- [6]NIST スマートグリッド相互接続標準化に向けたフレームワークとロードマップ, http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf (参照 2010.12)

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

- [7]WebKit Open Source Project, <http://webkit.org/>(参照 2010.12)
- [8]ATIS IIF, <http://www.atis.org/iif/index.asp> (参照 2010.12)
- [9]Verizon FiosTV, <http://www22.verizon.com/Residential/fiosv/>(参照 2010.12)
- [10]AT&T U-verse , <http://www.att.com/u-verse/>(参照 2010.12)
- [11]OPEN Meter, <http://www.openmeter.com/> (参照 2010.12)
- [12]XGP forum, <http://www.xgpforum.com/>(参照 2010.12)
- [13]Open IPTV Forum, <http://www.openiptvforum.org/>(参照 2010.12)
- [14]HbbTV, <http://www.hbbtv.org/>(参照 2010.12)
- [15]RFID Global forum ,CASAGRAS, <http://www.rfidglobal.eu/>(参照 2010.12)
- [16]DLNA, <http://www.dlna.org/>(参照 2010.12)
- [17]UPnP, <http://www.upnp.org/>(参照 2010.12)
- [18]OSGi, <http://www.osgi.org/>,<http://www.osgi-ufj.org/> (参照 2010.12)
- [19]IPTV フォーラムジャパン , <http://www.iptvforum.jp/> (参照 2010.12)
- [20]Recommendations ITU-T H.762: Lightweight interactive multimedia environment (LIME) for IPTV services.

(7) 画像圧縮技術／マルチメディア応用技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↗	大学（名大、東工大、理科大、等）、家電メーカ、KDDI、NTT、NTT ドコモを中心に活発に画像符号化関連の研究が行われている。関連の国際会議（PCS2010 等）での発表件数も多い。特に、新しい研究分野である 3DTV（3 次元映像）の符号化、FTV（Free-viewpoint TV: 自由視点映像）、MVC（Multiview Video Coding：多視点映像符号化）関連の研究水準は世界的に見ても高い。
	技術開発水準	◎	→	MPEG 会合、JPEG 会合には家電メーカを中心にコンスタントに積極的に参加している。MPEG 会合では近年、参加者数上位 3 位以内を維持している。技術提案も多く、標準化活動への貢献は大である。
	産業技術力	◎	→	日立、ソニー、NEC、シャープ、三菱、JVC ケンウッド、富士通、東芝、ルネサスなど家電メーカを中心に多くの企業が MPEG 活動に貢献している。製品開発においても、高い技術力を維持している。
米国	研究水準	○	→	PCS2010、VCIP2010、ICIP2010 など、画像関連の最近の国際会議における画像符号化関連の発表件数は日・中・欧に比べて少ない。
	技術開発水準	◎	→	静止画像符号化に関して、マイクロソフト社が開発した Windows Media Photo（後の HD Photo）をもとにした JPEG XR（eXtended Range）が ISO / IEC の国際規格として承認された。Motion JPEG XR については Apple 社が標準化を推進している。MPEG 会合にもコンスタントに多くの技術者が参加している（参加者数の上位 3～4 位を維持）。このように高い技術開発水準を維持している。
	産業技術力	◎	→	パソコンソフト関連のマイクロソフト社、アップル社、半導体・ソフト関連の TI 社、インテル社、Qualcomm 社を始めとした力のある企業が多数あり、高い産業技術力を維持している。
欧州	研究水準	◎	→	独の大学（アーヘン大学、アーランゲン大学、他）や Fraunhofer HHI、英 BBC、フランステレコム、ノキア、エリクソン等の企業を中心に、伝統的に画像符号化関連の研究が活発に進められてきており、高い研究水準を維持している。関連の国際会議においても継続的に研究成果の発表を行っている。
	技術開発水準	◎	→	MPEG 会合へは、独、仏の参加者が多く、次いで、英、スペインなどが参加している。従来から継続的に相応の貢献を行っている。
	産業技術力	◎	→	ノキア（フィンランド）、エリクソン（スウェーデン）、タンバーク（ノルウェー：現在 Cisco 傘下）等の企業を中心に、高い産業技術力を維持している。
中国	研究水準	○	↗	中国科学院、大学（北京大学、ハルビン工程大学、Zhejiang 大学、他）マイクロソフトリサーチアジア等を中心に、近年研究が活発化してきている。関連の国際会議での発表件数も増えている。
	技術開発水準	○	↗	MPEG 会合へはこれまで 6～9 名程度の参加であったが、2009 年 10 月には中国西安での開催ということもあり 46 名が参加、次いで 2010 年 1 月の日本での会合には 21 名が参加というように、関連の研究者・技術者が増えてきていることを示している。AVS Workgroup（Audio Video coding Standard Workgroup of China）を国家施策として組織し、AVS 規格という中国独自の符号化方式を開発している。中国の企業、大学だけでなく海外の企業も加えた 100 以上の組織がメンバーに加わり、エンコーダ、デコーダ、デコードチップの開発まで進められている。世界的に普及している MPEG－2 とは異なる独自規格であるが、中国国内では、DVD、ディジタルテレビ放送（ハイビジョン）等での利用を積極的に進めている。AVS では HDTV の圧縮をターゲットにしており、MPEG－2 と MPEG－4 AVC / H.264 の中間に位置する方式である。MPEG－2 の 2～3 倍の圧縮率と言われている。算術符号化を省く、参照フレーム数を 16 枚から 2 枚に減らすなど、H.264 に比べて仕様を簡易にしている。また、特許ライセンス料を低く抑える方針とし、MPEG に対する競争力を持たせようとしている。Huawei Technologies 社（華為技術社）、Hisilicon Technologies 社は、MPEG 会合への方式提案も行っている。
	産業技術力	○	↗	上記を参照。
韓国	研究水準	○	↗	サムスン、LG、SK テレコム、ETRI、KAIST などを中心に画像符号化関連の国際会議での発表、MPEG への新方式提案を行っており、研究水準が向上してきている。
	技術開発水準	◎	↗	国家戦略として IT 産業の高度化を支援している。画像符号化の国際標準化活動に対しても積極的である。2009 年～2010 年に開催された MPEG 会合においては、参加国中最も多い参加者数を維持している。
	産業技術力	◎	↗	LG 電子、サムスンを始めとして、近年産業技術力が高まってきている。
全体コメント：				
例えば、フランステレコムと NTT、パナソニック等が共同で MPEG 会合に符号化方式の提案を行うなど国の枠を越えての技術開発が行われるようになってきている。また、マイクロソフトアジア（中国）の存在感の伸び、日本のパナソニック、キヤノン、三菱等の国外の研究所からの研究成果発表など、技術開発が一つの国の中にとどまらないようになってきている。静止画像符号化については、JPEG2000 は期待されたほどの利用には至らず、JPEG から JPEG XR への移行に進むと思われる。但し、JPEG 画像機器が既に大量に存在しており、JPEG の利用はしばらく続くと考えられる。動画像符号化については、標準 TV～HDTV、これらに対する DVD など、実用レベルの製品に対しては、既存技術である MPEG－2、MPEG－4 AVC / H.264 の利用が継続すると考えられる。研究レベルとしては、HDTV を越える大規模高精細画像（4 k × 2 k、8 k × 2 k など）に対する符号化、Royalty Free Codec など符号化装置の知的所有権に関する検討、波形符号化の枠を超えたセマンティック符号化の範疇に含まれる新しい符号化方式に対する検討、など新たな取組が MPEG 会合を中心に進められると予想される。但し、超高精細画像の入出力装置の開発を含め、周辺技術の発展も必要である。3 次元 TV 関連の FTV、MVC については、実用レベルの技術へと成長することを期待したい。				

(参考情報)

- [1] 浅井光太郎：“次世代映像符号化技術の国際標準化動向,” 情報技術標準化フォーラム, 2009.7.13.
- [2] 浅井光太郎、守谷健弘：“映像音声符号化技術と国際標準化,” 情報処理学会デジタルプラクティス, vol.1, no.2, pp.77-84, 2010.4.
- [3] 石川孝明：“＜MPEG 標準動向レポート＞第1回：H.264/AVC の後継規格「H.265/HVC」を標準化へ,” <http://wbb.forum.impressrd.jp/feature/20100405/791>, 2010.4.
- [4] 石川孝明：“＜MPEG 標準動向レポート＞第2回：H.264/AVC の後継規格の新標準名は「HEVC」に,” <http://wbb.forum.impressrd.jp/feature/20100930/819>, 2010.9.
- [5] 石川孝明：“4-2 MPEG の最新標準化動向：H.265 / HVC の動向,” インターネット白書 2010, インプレス R&D 発行, pp.128-129, 2010.6.
- [6] “JCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding),” <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com16/video/Pages/jctvc.aspx>
- [7] “JCT-VC Dresden 会合,” http://wftp3.itu.int/av-arch/jctvc-site/2010_04_A_Dresden/
- [8] “H265.net, Witness the development of H.265, The First JCT-VC Meeting, Dresden, D,” <http://www.h265.net/2010/06/the-first-jct-vc-meeting-dresden-de.html>
- [9] 渡邊敏明：“高画質化技術の動向と東芝の取組み,” 東芝レビュー, vol.64, no.6, pp.2-6, 2009.
- [10] 中條健、谷沢昭行、和田直史：“次世代標準化に向けた動画符号化技術,” 東芝レビュー, vol.64, no.6, pp.7-10, 2009.
- [11] 八島由幸：“次世代画像圧縮技術研究の方向性,” 情報処理, vol.50, no.6, pp.548-557, 2009.6.
- [12] “JPEG XR,” <http://www.itu.int/rec/T-REC-T.832>
- [13] “中国 AVS Workgroup,” <http://www.avs.org.cn/english/index.asp>
- [14] 吉田俊之、入江豪、佐藤隆、他：“映像情報メディア年報～2008年4月から2010年3月の進展～ 3-2. メディア工学,” 映像情報メディア学会誌, vol.64, no.8, pp.1190-1197, 2010.8.
- [15] 高木康博、本田捷夫、小池崇文、他：“映像情報メディア年報～2008年4月から2010年3月の進展～ 5. 立体映像技術,” 映像情報メディア学会誌, vol.64, no.8, pp.1204-1209, 2010.8.
- [16] “3DTV-Conference 2011,” <http://www.3dtv-con.org/3dtv-con-11/d2/>
- [17] “3DTV-Conference 2010,” <http://sp.cs.tut.fi/3dtv-con2010/>
- [18] “28th Picture Coding Symposium (PCS2010),” <http://www.pcs2010.org/>

(註1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(8) ネットワークセキュリティ

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	NICT（情報通信研究機構）において、「インシデント対応」「トレーサブルネットワーク」「セキュリティ基盤」「防災・現在基盤技術」をテーマにしたネットワークに関連する技術開発を行っている [1]。大学ではセキュリティに特化した情報セキュリティ大学院大学 [2]、NW セキュリティについては可視化を田中研究室で実施）はあるが、研究室レベルでの取組みが主であり（電気通信大学 小池研究室での不正侵入検知、ハニーポット等の研究 [3]、東京電機大 情報セキュリティ研究での逆探知のための「多段追跡システム」の開発 [4]、慶応大学 笹瀬研究室での攻撃監視 [5]）、ネットワークセキュリティ研究センターのような組織がないため、必ずしも活発であるとは言えない状況である。
	技術開発水準	○	→	NTT 研究所でのインシデント対応技術 [6]、KDDI 研究所でのオーバレイ技術を用いた VPN 技術 [7] のような通信事業者の研究所において研究開発が行われている。また、NEC の研究所における「プログラマブルフロー・スイッチ」[8] のようにセキュリティへの応用が期待される研究もある。さらに、日本ネットワークセキュリティ協会 [9] のような、多数の民間企業によるセキュリティ関連情報の取りまとめ・共有の取り組み体制や民間企業でのインシデント対応支援を行っている JPCERT-CC も存在する [10]。
	産業技術力	△	↗	国内では NW セキュリティ関連の製品開発はあまり行われていないが、(株) フォーティーンフォティ技術研究所 [11] のように、ファイル共有システムの監視のための独自開発技術を製品化している企業もある。しかし Winny, Share のような国内ニーズに基づいた製品では海外市場の開拓が難しい。
米国	研究水準	◎	→	NSF での多種多様なネットワーク関連のプロジェクトへの支援 [NSF Announces Future Internet Architecture Awards[12]] や、DARPA での国防を意識した内部脅威の検知プロジェクト [13] のように、政府系基金による研究開発を大学等が受託し、研究開発を行っている。また Stanford 大学 Security Laboratory[14] のようなセキュリティ専門の研究組織もある。
	技術開発水準	○	→	米国における先端的製品開発は、既存の大企業ではなく非公開のベンチャー企業で行われるようになってきている。そのため先進的な取り組みであればあるほど、情報がないのが実状である。しかし、クラウド関連やネットワーク機器の大企業による M&A(Juniper 社による仮想ファイアウォール製品ベンダである Altor 社の買収 [15]、CISCO 社によるネットワーク管理ソフトベンダである LineSider 社の買収 [16] HP 社による脆弱性検査ツールベンダである Fortify 社の買収 [17]、IBM 社によるセキュリティ管理自動化ソリューションベンダである BigFix 社の買収 [18] により、クラウド関連やデータセンタ関連、スマートグリッド関連の先進的製品開発が活発であることがうかがえる。
	産業技術力	◎	↗	最近のトレンドは、「既存のネットワークセキュリティ製品の仮想環境への対応（例えばファイアウォールや侵入検知システムの仮想マシンでの提供）」と「スマートグリッドにおけるネットワーク環境の整備（サイバー攻撃を受けないようにするためのセキュリティの確保が課題）」であり、今後さらに大きなビジネスになっていくものと予想される。そのための研究開発が進んでいる。（米国でのクラウド、スマートグリッドの動向の情報については鈴木氏のサイトが参考になります [19]）
欧州	研究水準	◎	→	4WARD(サービス主導でネットワークを仮想的に構築する技術 [20]) のような 10 年以上先を見据えた研究プロジェクトや ENISA(European Network and information Security Agency[21]) における現状への取り組み（クラウドコンピューティング、実時間検知、センサネットワーク等）など、EU 主導でのネットワーク関連プロジェクトが進んでおり、積極的な研究開発が行われている。
	技術開発水準	○	→	British Telecom や Nokia のような一部の企業ではネットワーク関連のサービス開発を行っているが (BT での VPN 関連のサービス提供 [22]、Nokia でのモバイルセキュリティソリューションの提供 [23])、概して長期的な研究については上記のような EU の研究プロジェクトに参加するのが一般的である。これにより、個々の企業レベルでの技術力も向上している。
	産業技術力	△	→	一般的なネットワークセキュリティ製品の開発を行っている少数の企業は存在するが (ドイツの NW セキュリティ製品の開発・販売を行う Secunet Security Network AG 社、フランスの NW セキュリティ製品を含む企業向け製品の開発・販売を行う Bull SA、フィンランドのエンドポイントセキュリティ製品の開発を行う Sophos Plc)、基本的には日本同様、米国企業の製品の販売が主体であることから技術開発への取り組みは低調である。
中国	研究水準	不明	不明	下記「技術開発水準」のとおり、全般的には低調であると思われるが、国のレベルでは国防でのネットワークセキュリティは重要な技術であることから研究開発が行われていると予想される。しかし、これに関する情報は当然公開されないことから取り組み状況の詳細は不明である。
	技術開発水準	不明	不明	中国では「Great Firewall of China」([24] に目的や機能の説明がある) に代表されるように、自由にインターネットが利用できるわけではなく、また「商用暗号管理条例（国務院第 273 号令 1999 年 10 月 7 日施行）により暗号の利用が制限されている。そのため、企業での NW セキュリティ技術の開発は低調である」と予想される。
	産業技術力	不明	不明	中国製のネットワークセキュリティ製品があるとしても、中国国内市場が中心であり、さらに中国国内の外資系企業では、信頼のおける米国製品等を利用すると考えられるため、市場は限られたものと予想される。これらの状況から、中国国内企業の製品情報は不明だが、低調である」と予想される。例えば、中国の世界的通信機器メーカーである Huawei Technologies 社におけるセキュリティ製品は標準仕様に基づいた VPN、NAT 製品のみであり [25]、新しい技術開発が積極的に行われている様子はない。

韓国	研究水準	△	→	ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute)において、7つのプロジェクト(うち1つが” Knowledge-based Information Security & Safety “をテーマとした NW セキュリティ関連の研究開発 [26]) が進んでおり、努力はなされているが、十分とは言えない状況にある。また、大学での研究も少ないため低調と考えられる。
	技術開発水準	△	↗	韓国の通信事業者である Korean Telecom において、ネットワークセキュリティ系の研究開発が行われていないこと、Samsung のようなベンダでの NW 製品の開発が行われていないことから、企業におけるネットワークセキュリティの研究開発はほとんど行われていないと思われる。ただし、国防の観点からの官民一体となった取組みである「国家サイバー安全管理規定」により [27]、運用面でのセキュリティ強化が進んでいる。
	産業技術力	△	→	Ahnlab[28] のようなウイルス対策ソフトのようなセキュリティ製品の開発を行っている企業、Web Application Firewall ベンダの Penta Security [29]、セキュリティマネジメント製品の IGLOO Security[28] など少数の企業は存在するが、基本的には日本同様、米国企業の製品の販売が主体であることから技術開発への取り組みは低調である。
全体コメント： 10 年先を見据えた長期的な研究におけるテーマは、有線・無線でネットワーク化された人やモノが常時高速なネットワークで有機的に接続された状況における社会やネットワークのあり方についてであり、多様な研究が進められている。これらの NW の利用状況に変化により、ネットワークセキュリティ技術の適用方法に違いが発生するため、それに対応するための技術開発が行われている。しかし、これらは資金と体制がしっかりしているところ、つまり、NSF と EU での技術開発プロジェクトでしかできなくなっている状況である。 他方、製品に直結する研究開発は、巨大なビジネスになるクラウドとスマートグリッドに集中しており、それらを実ビジネスで進めている米国に集中している。米国への集中は、単に実ビジネスがあるだけでなく、研究開発資金がベンチャーキャピタルという研究開発側にとってリスクの少ない手段の存在が大きい。				

(参考情報)

- [1] http://www.nict.go.jp/research/safety_assured.html
- [2] <http://www.iisec.ac.jp/>
- [3] <http://koike.vogue.is.uec.ac.jp/>
- [4] <http://www.im.dendai.ac.jp/labs/isl.html>
- [5] <http://www.sasase.ics.keio.ac.jp/intro>
- [6] <http://www.ntt.co.jp/islab/org/pf.html#2>
- [7] <http://www.kddilabs.jp/tech/yubi.html>
- [8] http://www.nec.co.jp/bsc/business_topics/programmable_flow.html
- [9] <http://www.jnsa.org/>
- [10] <http://www.jpccert.or.jp/>
- [11] <http://www.fourteenforty.jp/index.htm>
- [12] http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=117611
- [13] <http://www.darpa.mil/sio/>
- [14] <http://seclab.stanford.edu/>
- [15] http://www.juniper.net/jp/jp/company/press-center/press-releases/2010/pr_2010_12_09-11_00.html
- [16] http://newsroom.cisco.com/dlls/2010/corp_120110.html
- [17] http://www.hp.com/hpinfo/newsroom/press/2010/100817a.html?jumpid=reg_R1002_USEN
- [18] <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/32026.wss>
- [19] <http://ippei.posterous.com/>
- [20] <http://www.4ward-project.eu/>
- [21] <http://www.enisa.europa.eu/>
- [22] <http://globalservices.bt.com/>
- [23] <http://www.nokiasiemensnetworks.com/portfolio/services/security>
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Golden_Shield_Project
- [25] http://www.huawei.com/storage_networks_security/network/series.do
- [26] http://www.etri.re.kr/eng/res/res_0102020502.etri
- [27] <http://www.jasa.jp/seminar/sym2010/pdf/s2010tokyo04.pdf>
- [28] <http://www.ahnlab.co.jp/>
- [29] <http://www.pentasecurity.com/jpn/product/webWppleIntro.do>
- [30] 情報セキュリティ産業の構造に関する基礎調査、<http://www.ipa.go.jp/security/fy20/reports/industry-basic/index.html>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(9) 情報源符号化／誤り訂正符号（通信路符号化）／ネットワーク符号化

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↗	符号理論、情報源符号化、ネットワーク符号化、情報理論などの理論研究・応用的研究において、米国・欧州と並んでトップレベルにある。
	技術開発水準	○	→	技術開発水準は世界でも有数であると考えられる。例えば、無線通信技術の技術開発力は実際に世界トップクラスであり、今後の展開も期待できる。ただし、いくつかの分野においては、理論成果から産業に結びつける点は米にリードされている。
	産業技術力	◎	→	米・欧州と並んで、高い製品開発力、産業技術力を有している。
米国	研究水準	◎	↗	世界トップレベルの頭脳が集結しており、どの理論的分野においても非常に高い水準を維持している。特にスタンフォード・UCLA・プリンストン・UCSD などの大学の研究者グループが情報理論関連の研究を牽引している。
	技術開発水準	◎	→	理論的成果を応用して、製品化・実用化へ結びつけるチャレンジ精神が旺盛であることが特筆される。大学と実業界の結びつきが強く高い技術開発力を有している。Google、Microsoft などの企業では基礎研究を重視する姿勢を見せている。
	産業技術力	◎	→	世界トップの研究水準、技術開発力と先端的な市場、軍へのニーズに支えられ高い産業技術力を持つ。
欧州	研究水準	◎	→	米国が比較的、新しいホットなトピックに研究者が集まりがちだが、欧州では比較的、その傾向は薄く、独自の研究を追求する傾向が感じられる。そういう意味では、伝統的な情報理論や符号理論の分野で強みを見せている。理論の水準は非常に高い。
	技術開発水準	◎	→	研究成果を実用化に結びつける技術開発でも成果が多い。ただし、新しい技術への挑戦などでは、米国の差を開けられている一面もある。
	産業技術力	◎	→	音声・映像など信号処理の応用分野、セキュリティ関連、高能率通信技術など多くの強みを持っており、近年、さらに伸びつつある。
中国	研究水準	○	↗	トップレベルの大学は着実に力を付けつつある。多くの研究領域で研究レベルを急速に高めつつある。
	技術開発水準	△	↗	理論研究から実用化に結びつけていく力は依然として開発途上という印象。ただし、産業技術力の進展に伴い、大学と産業界とのつながりが発揮されるケースも散見されるようになってきた。
	産業技術力	○	↗	特に情報技術分野で、中国の産業技術力の伸びは著しい。依然、キャッチアップ型の開発が多いが着実に技術力を身につけていく。
韓国	研究水準	△	→	大学や研究機関において理論研究の成果もあるが限定的である。質・量ともに日本にはまだまだ及ばない状況にある。
	技術開発水準	△	↗	理論的研究を新規の技術として開発する力は未だ弱い。
	産業技術力	◎	↗	非常に高い産業技術力を近年持ちつつある。サムスン・LG など日本のメーカーの規模を超える製造企業も出始め、新規開発力も日本のそれに匹敵しつつある。今後、さらに力をつけていくことが予想される。

全体コメント：

情報理論、符号理論などの基礎理論においては、長い研究の歴史とトップクラスの頭脳の集積に基づく米国が圧倒的な存在感を示している。欧州も独自色を強く持つ芯のある研究者たちが研究を牽引しており、オリジナリティの高い研究成果を出し続けている。理論研究では、日本は、米国・欧州に続く位置にあり、多くの領域で高い成果を挙げている。中国・韓国は、近年、その産業技術力を著しく伸ばしているものの、基礎研究の視点から見ると、個人的な研究力に依存しており、依然として全体的にはキャッチアップの途上であるという印象が強い。

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(10) 通信トラヒック理論

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	トラヒック計測に基づくネットワーク性能評価の研究は大学と企業の共同研究という形で活発に行われている。また無線ネットワークを対象にマルコフ連鎖を基にした性能評価研究も活発に行われている。トラヒック理論・待ち行列理論の理論的研究においては、定常分布の裾確率に対する漸近特性の研究が国内でも活発に行われ、世界的に高いレベルの研究成果が得られている [1]。
	技術開発水準	○	→	トラヒック計測に基づくネットワーク性能評価の研究が大変活発に行われており、最近ではストリーミング等のアプリケーションに対する網設計の研究が展開されるようになってきた [2]。また、標準化活動においても、トラヒック理論を基にした IETF PCN WG での積極的な活動 [3] が注目される。
	産業技術力	○	→	技術開発水準に同じ。
米国	研究水準	◎	→	トラヒック理論・待ち行列理論を応用したネットワーク性能評価研究が世界を牽引している。応用範囲も無線ネットワークの性能解析 [4] に加え、P2P や CDN といったオーバーレイネットワークレベルのものについても多くの研究成果が挙げられている。最近ではクラウドコンピューティングやデータセンタの構成法 [5]・性能評価に関する研究がめざましく、多くの知見を獲得しつつある。理論を熟知した研究者の層が厚い。
	技術開発水準	◎	→	トラヒック理論・待ち行列理論を応用したネットワーク性能評価研究が世界を牽引している。特に AT&T Labs や Alcatel-Lucent Bell Labs は伝統的なトラヒック理論からネットワーク計測の理論面まで最先端の研究成果（例えば [6]、[7]）を出し続けている。
	産業技術力	◎	→	技術開発水準に同じ。
欧州	研究水準	◎	→	伝統的にトラヒック理論・待ち行列理論の基礎的な研究が強く、研究者の層が厚い。2009 年はトラヒック理論を創設した A.K.Erlang が初めてトラヒック理論の論文を出版した年からちょうど 100 年の節目に当たり、記念のシンポジウムや論文の特集号 [8] が出版された。欧州圏は伝統的にトラヒック理論・待ち行列理論の研究が盛んであるが、近年特にオランダの研究者層が厚く、多くの理論研究がなされている。
	技術開発水準	○	→	欧州における基礎理論研究は圧倒的に大学や国立の研究機関で行われているが、欧州の通信関係企業は大学や国立研究機関との共同研究を通して研究成果を積極的に公表している。なかでもフランステレコム の Orange Labs はトラヒック理論や応用確率論を基にした性能評価研究を積極的に発信している。高度な理論を駆使した研究が散見され、研究レベルは高い。
	産業技術力	○	→	技術開発水準に同じ。
中国	研究水準	△	→	通信トラヒック理論や待ち行列理論のような基礎理論を行っている研究者・研究機関の数はそれほど多くない。しかしながら米国等海外で学位を取得し、中国本土に帰国した研究者の中で、世界的に非常に高いレベルの性能評価研究を展開しているところもあり、今後の急速な成長が予想される。
	技術開発水準	△	→	中国の情報通信関係企業で通信トラヒック理論や待ち行列理論のような基礎理論を駆使して研究開発を行っているところはほとんど見られず、理論の開発への応用はそれほど積極的には行われていない。
	産業技術力	△	→	技術開発水準に同じ
韓国	研究水準	△	→	通信トラヒック理論や待ち行列理論の理論的研究は活発であり、理論的な研究からネットワークの性能評価まで幅広く研究が展開されている。近年は特に無線通信方式の性能評価に関する研究 [9、10] が活発化している。
	技術開発水準	△	→	情報通信関係の企業においては、この分野の研究成果は近年ほとんど発信されておらず、また大学との共同研究もそれほど活発化していない。
	産業技術力	△	→	技術開発水準に同じ
全体コメント：				
通信トラヒック理論・待ち行列理論の基礎研究は欧州ならびに米国が世界を牽引している。基礎理論を応用した研究は米国が強く、欧州、日本がそれに続く状況である。近年の性能評価研究ではマルコフ連鎖をベースにした研究のみならず、中心極限定理等の確率論を基にした研究が展開されてきており、この動きは特に米国で顕著である。日本は大学を中心に基礎理論とその応用に関する研究が行われているが、最近ではモンテカルロ型シミュレーションによる評価研究が多く、また新しい理論展開もそれほど活発化していない。韓国も日本と同様の状況下にある。中国はこの研究分野の歴史が浅いため、現時点では発展途上にあるが、世界で活躍している中国出身の研究者と中国国内の研究者の共同研究が年々活発化してきており、中国研究者の存在感は今後益々増してくるものと予想される。待ち行列理論やマルコフ連鎖を基にした性能評価研究が活発なアジアの国として台湾も挙げられる。中国も台湾も米国等外国で学位を取得した研究者が帰国してレベルの高い研究成果を発信している。				

(参考情報)

- [1]Kobayashi et al., "Tail asymptotics of the occupation measure for a Markov additive process with an M/G/1-type background process," Stochastic Models, vol. 26, pp. 463-486, 2010.
- [2]Kamiyama et al, "Parallel Video Streaming Optimizing Network Throughput," Computer Communications (2010), doi: 10.1016/j.comcom.2010.12.003
- [3]Satoh et al., "Single PCN Threshold Marking by using PCN Baseline Encoding for both Admission and Termination Controls," <http://tools.ietf.org/html/draft-satoh-pcn-st-marking-02>, September 2009.
- [4]Gupta et al., "Delay Analysis and Optimality of Scheduling Policies for Multi-Hop Wireless Networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 18, no. 2, April 2010.
- [5]Gandhia et al., "Server farms with setup costs," Performance Evaluation, vol. 67, no. 11, pp. 1123-1138, November 2010.
- [6]Lee et al., "Two Samples are Enough: Opportunistic Flow-level Latency Estimation using NetFlow," INFOCOM 2010, 2010.
- [7]Ven et al., "Insensitivity and stability of random-access networks," Performance Evaluation, vol. 67, no. 11, pp. 1230-1242, 2010.
- [8]Queueing Systems, vol. 63, nos. 1-2, 2009.
- [9]Park et al., "Mathematical Modeling of Rayleigh Fading Channels based on Finite State Markov Chains," IEEE Communications Letters, vol. 13, no. 10, pp. 764-766, October 2009.
- [10]Hwang et al., "The Power Saving Mechanism with Binary Exponential Traffic Indications in the IEEE 802.16e/m," Queueing Systems, vol. 62, no. 3, pp. 197-227, 2009

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

2.5.3 注目すべき萌芽的技術動向

(1) 光ネットワーク

基幹系伝送路の大容量化は大きな要求として続いている。光伝送技術は波長多重 (WDM) 伝送の技術により数桁に及ぶ大容量化を実現してきたが、使用波長範囲の制限や、光ファイバ中の非線形効果や信号電力による物理的な限界にも近づいてきており、光周波数の利用効率の向上が要求されている。コヒーレント技術を用いた 40 Gb/s は商用化されており、更にデジタル信号処理を使った 100 Gb/s 伝送もごく初期段階ではあるが商用化の段階に入りつつある。100 Gb/s の本格的な普及は 2012 年からと予想されており、現在、その実現に向け、大きな開発費が必要である高速電子回路の開発等が進められている。日本はこの分野で関係機関が連携して確実な技術を開発しつつありリードしているといえるが、前述の初期段階の商用化や、100 Gb/s の伝送実証実験などでは、他国に遅れている部分がある。

加入者部分の PON 技術は、日本が大きくリードしてきた分野であるが、スマートフォンなどの広帯域携帯端末の最近の急速な普及に伴い、基地局からの光伝送の需要が急速に伸びている。PON においても 10 Gb/s 以上の更なる大容量化には波長多重 PON 技術などがあるが、伝送路中の光分岐部を波長分離型に交換する必要があるが、日本など既に PON を導入している場合は置き換えがかなり難しいが、新興国などでは白紙からの導入であるためやりやすい、などの考えもあるようである。

光通信ネットワークは 2 地点間の伝送からネットワークとしての面への展開に移行している。WDM 伝送が 100 波長以上の伝送を可能にしているが、光挿入分岐装置 (OADM) が鍵であり、それらの装置の入出力において波長に対する制限がないこと、入出力の方路に対する制限がないこと等の高度な特性が要求されている。それを実現する重要なキー技術は波長選択スイッチであるが、この技術については、日本は北米や豪州の技術に対して大きく遅れており、ルータ分野において米国企業の市場席巻を許した状況を思い出させる。

(2) ワイヤレスネットワーク

従来、技術開発は進んではいたものの産業的な出口が見えにくかったセンサ系はスマートグリッド・スマートメータや環境負荷低減といった産業システムへの適用が世界全体の傾向として少し見えてきた。これは欧州の Future Internet や中国の物聯網 (ウーレンワン = Internet of Things)、そして韓国の IT839 の一部にも現れている。産業システムとしてシステムを構築し、運用するためにはワイヤレス技術とネットワーク技術そして情報システムを連結させ、様々なサービスに共有する部分 (たとえば、サービス発見、データ設定・取得の手続き) を情報プラットフォームとして共通化して構築することが重要である。ワイヤレスネットワークは従来、無線アクセス技術で縦割りになっていたが、音声通信サービスやインターネットアクセスサービスなどのサービス指向でネットワークアーキテクチャを構築、再編成することが重要と思われる。

(参考情報)

- [1] M.Milanovic, M.Malek, "Service-Oriented Operating System: A Key Element in improving Service Availability", Proc. 4th International Symposium on Service Availability, Springer, 2007, pp.31-42
- [2] N.Glomie, "Seamless mobility: are we there yet?", IEEE Wireless communication magazine, August, (2009), pp.12-13.

(3) インターネット

世界的に通信インフラとしてのインターネットはブロードバンド化とワイヤレス化が進んでいる。このために必要なコンテンツを維持し、トラフィックをさばくために、データセンタへの集約やクラウドサービスや仮想化によるシステム構築や運用の高度化が進んでいる。ネットワークについてもこれに対応したデータセンターネットワークという研究分野がたちあがり、データセンタの高信頼化やトラフィック制御の研究が行われている。

また、インターネットが広く普及するとともに設計・運用にたずさわる人たちの人材不足、教育問題がでてきている。これに関しても運用管理の自動化、効率化、作業の均質化を追求するために、web サービス技術をネットワーク管理に応用した自動化といった試みがはじまっている。

一方で、2011 年には IANA、RIR の IPv4 アドレスが順番に枯渇することがわかっており、IPv6 対応、移行といったサービスが再び脚光を浴びている。これもこれまでの繰り返しの研究であるが、これまでの経験にネットワークの高速化やスケーラビリティ、ユーザ指向、コンピュータの高速化といった要素が加わり、本当に実用を目指した技術開発がされている。

インターネットのビジネスは、インターネット接続業者 (ISP) のことを指すより、各種サービス事業を指す時代となった。これにより、インターネット・サービス事業者は売り上げを確保するために、広告宣伝にトラフィック解析、情報推定・予測技術を取り入れ、通信ディレイもキャッシュや非同期化で隠蔽するといったことが行われるようになってきた。これに伴い研究としても、サービス連携とレイヤー間の制限をはずした最適化がこれまで以上に必要になってきている。

(4) 次世代ネットワーク

2010 年に中国において物聯網が大々的に始まったことは、世界的にも大きな影響を与えることになろう。今までも、米国では NSF の CPS (Cyber Physical Systems) プログラム、欧州では FP7 傘下のユビキタス系プログラム、日本ではユビキタスネットワークプロジェクト、韓国では u-Korea プログラムなどといった実世界と仮想世界との融合を目指した研究開発が行われてきているものの、膨大な資金と人的資源とを投入し実証実験の場を提供しつつある中国の動きは、これらの研究開発を加速させるものと思われる。

具体的には、センサネットワーク技術の中核として、都市、環境、医療、農業、土木などへのセンサデータの利活用が今まで以上に推進されていくことになろう。例えば、日本では、今後 50 年間に必要な社会資本ストック (道路、下水道、治水、海岸等) の更新費は約 190 兆円と推計されているが、センサネットワーク技術を積極的に用いることで更新費の低減を図ることができるとともに、上下水道の漏水/盗水検知や環境に優しい都市開発など世界的にも強く求められている地球的課題に資することもできよう。

このような研究開発を遂行するにあたっては、異分野融合を積極的に推進していくのみならず、省電力プロトコルやセンサ特化型省電力 CPU の開発など、実展開に資する基盤研究をあわせて進めていかなければならない。

また、CO₂ 削減が世界的にも大きく取り上げられていることから、ネットワーク自体のグリーン化を抜本的に再考する時期にきている。現在のインターネットは機器が常時オンとなることを前提としたアーキテクチャである。消費電力を考慮すると、必要なときのみウェイクアップする機構の導入が必要となる。消費電力の観点からのインターネットアーキテクチャや情報通信技術の開発など、多角的に行う必要がある。

(5) サービス技術（クラウドコンピューティング技術）

長期的な研究開発として、米国国立科学財団（NSF）が米国内における研究を支援している。NSF の新規プロジェクトである未来インターネットアーキテクチャ研究のひとつとして、ペンシルベニア大学で行われるクラウドコンピューティングの研究テーマへ最大 800 万ドルの研究費を充てることが決まっている（http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=117611）。この研究テーマでは、クラウドコンピューティングの課題であるセキュリティや可用性についての課題を検討する予定である。暗号技術を使ったネットワークパスの正当性の証明、高信頼性の保証を実現し、また未来インターネットアーキテクチャに関する他の研究成果も取り込んで、ネットワーク仮想化技術を使い、ホスト、エッジノード、ネットワークを含めたクラウドコンピューティングシステム全体としての可用性の向上やロードバランスを実現することを目指している。現在、圧倒的な競争優位に立つ米国において、これら「クラウドコンピューティング・セントリック・アーキテクチャ」を作るための技術的課題を抽出し、その解決を試みる研究プロジェクトを支援するなど、将来へ向けた研究開発投資が着実に行われている。

(6) 情報通信端末技術

情報通信端末技術は、端末技術に限るだけでなく、Google Android、iPhone に代表とされるように、端末提供だけではなく、インターネットアクセス/コミュニティ（SNS、Blog、Twitter など）やコンテンツ/ソフトウェアの流通の場（Google Market、iTunes Store など）がセットでユーザに評価される時代となってきた。

さらに、クラウドとの連携により、サービス提供側としては、新しいサービスを簡単にタイムリーに、短時間に、開発することが重要となっており、ユーザ側としては、今まで体験できていない新しいサービス、使いたいサービスがどんどん流通される情報通信端末プラットフォームを期待している。今後は、どれだけ簡単に、新しい、ユーザが興味を持つサービスを提供できるかが、情報通信端末プラットフォーム（技術）のポイントとなってくる。

情報通信端末技術発展の鍵は、インターネットにつながるデバイスである携帯、スマートフォン、TV、カーナビ、PC、ゲーム機など人が利用する端末の技術開発だけでなく、物につくセンサ、ネットワーク等の技術開発も重要となってきた。それらの端末類を活用した、サービス、産業、インフラを開発する動き、具体的には、IoT（Internet of Things）、CPS（Cyber Physical Systems）、スマートグリッド、スマートシティなどと呼ばれる動きと合わせて注目していく必要がある。

(7) ネットワークセキュリティ技術

新たなネットワーク利用目的に適合するネットワークセキュリティ技術として下記の技術が注目される。

- ・ マルチテナントという特性が求められる、クラウドインフラ及びクラウド上の利用者システムを保護するためのネットワークセキュリティ技術
- ・ スマートグリッドにおける電力利用データの収集など多数のセンサがネットワークに接続された際の、データの保護とプライバシーの保護のためのネットワークセキュリティ技術
- ・ 社会インフラ（通信、交通、エネルギー、医療等）において利用されている組み込みシステムにおける、外部からのサイバー攻撃を防御するためのネットワークセキュリティ技術

長期的には次世代ネットワークアーキテクチャ（管理は集中するが、コンテンツは利用者に近い場所に多数配置される形態 [1]、[2]）において、DLP 技術・DRM 技術

(Digital Right Management)・CDN 技術 (Contents Delivery Network) をふまえたコンテンツを主体としたネットワークセキュリティ技術が必要になってくるものと予想される (現時点では、まだこの領域におけるネットワークセキュリティ研究はないと思われる)。

(参考情報)

[1] Internet-connected objects ICT・INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES p.17-19、ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2011-12_en.pdf

[2] Named Data Networking、http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=117611

(8) 画像圧縮技術／マルチメディア応用技術

デジタル静止画像、動画像機器の発達、画像の利用は国際標準化に支えられて大きく発展してきている。静止画像については、デジタルカメラの性能が JPEG を超えてしまい、JPEG ではカメラの性能にふさわしい画像の蓄積、処理が困難となっている一方、新しい圧縮方式 JPEG2000 は、高性能であるものの JPEG との互換性や圧縮に要する処理能力などの問題から普及に至っていない。このような状況に対して、マイクロソフト社が提唱する JPEG-XR (eXtended Range) が ISO/IEC の規格として承認されたことは、今後の高性能カメラやアプリケーション、ネットワーク応用サービスの普及の観点から注目される。

動画像については MPEG (ISO / IEC) や H.26x (ITU - T) の活動が進められてきており、近年では、HDTV(1920 × 1080 画素) を扱う MPEG - 4AVC / H.264 が ITU-T と ISO / IEC の共同により策定されている。デジタル放送や DVD においては、世界的に MPEG-2 や MPEG - 4AVC / H.264 が採用される方向にあるが、中国では国策により AVS という独自方式 (但し、MPEG2 と MPEG - 4AVC との中間に位置するような方式) の開発を行い、中国内でのデジタル放送 (HDTV)、DVD での利用を図っている。HDTV を超える次世代 beyond HDTV では、現行の HDTV と比べて 10 ~ 100 倍という膨大なデータ量 (16 ~ 200Gbps 程度) になるため、より性能の高い、高効率の圧縮方式を開発しようという活動が JCT - VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) により始められ、2012 年の標準発行を目指している。

以上のほか、画像の利用目的を特定することで圧縮率を高める技術、特許使用料無料コーデック、3 次元 TV の符号化技術などを開発する新たな動きも出てきている。

(9) 情報源符号化／誤り訂正符号 (通信路符号化)／ネットワーク符号化技術

ネットワークの高速大容量化が続き、デジタル処理応用がますます展開される中で、ネットワーク環境の通信速度、容量、品質ともに多様性が増すため、効率的な伝送、蓄積、処理の必要性は高まる一方である。

ハードウェア実装技術の性能向上と実装アルゴリズムの性能向上により高性能ではあるが実現できなかった符号を実用化できるようになってきており、符号理論の産業への応用が順調に進みつつある。特に、誤り訂正能力が非常に高く、シャノン限界に近い特性を示す LDPC 符号については、WiMAX などの無線系への利用をはじめとして、2010 年からハードディスクの信号処理チップにもその利用が開始されている。今後ますます LDPC 符号の活躍の場面が増えることが予想される。また、多元 LDPC 符号、空間結合 LDPC 符号、ポーラー符号などの新たな誤り訂正符号の研究も進展しつつある。

また、マルチキャスト通信を対象とする通信路符号化を行うネットワーク符号、消去操作により寿命が短くなる特徴を持つフラッシュメモリのためのフラッシュ符号、分散情報源符号化技術、画像、音声、動画などを最初から圧縮した形で取得するための圧縮センシング技術は高度化する通信形態、情報蓄積装置や方式のための符号理論

としてその進展に注目すべきである。

(10) 通信トラヒック理論

情報通信ネットワークシステムは今後益々増大かつ大変動を伴うデータトラヒックを効率的に收容する一方で、高い通信品質をエンドユーザに提供しなければならない。そのためにはデータトラヒックの測定技術、確率統計の理論を基にしたネットワークシステムの性能解析手法、さらにはネットワーク性能の予測技術をより一層高度化・高精度化することが欠かせない。特に、測定時系列データの統計解析・確率分布推定手法、通信トラヒック理論で取り扱い可能なクラスへのマッピングと性能予測は今後も重要な研究分野であり、この方面に対して応用確率論・応用数学・情報理論に代表される数理工学的観点からのキャッチアップと理論の積極的な応用が必要不可欠である。

近年ではクラウドコンピューティングに代表される大規模なデータセンターの設計や高効率な運用が求められており、そのような大規模システムのマネジメントには非常に多くの構成要素における確率的変動の影響を考慮したシステム設計や性能解析が欠かせない。そのためには従来のマルコフ連鎖や中心極限定理等の基礎的確率論に加え、大偏差理論や極値理論のような多くの確率的変動を取り扱う確率論を積極的に応用して知見を獲得していくことが重要である。クラウドコンピューティング自体は世界規模で研究開発が進められているが、通信トラヒック理論や応用確率論を駆使したシステム設計法や構成論については米国が先んじて研究を展開しているのみで、その他の国々ではほとんど研究が行われていない。そのため、この方面での研究を国内でも積極的に展開し、クラウドコンピューティングやデータセンタの設計・運用に対する基礎的知見の獲得と実システム開発への応用を目指す必要があると思われる。

2.6 ロボティクス分野

2.6.1 概観

米国で世界初の産業用ロボットが開発されてから約 50 年が経過した。その後開発された多くの新しいロボット技術の一部が、ICT や各種半導体デバイスの進歩によって、今ようやく実用化を迎えつつあり、これから旬を迎える新しいビジネスチャンスをもものにしようと、海外では積極的に研究開発が行われている。

米国では、次世代の **Economic Enabler** はロボットであるとの報告書が提出され、国としてロボット技術の研究開発を加速しようと、**National Robotics Initiative** が始まった。NSF 関係者によると、予算は現時点で承認されていないが、2011 年度から予算が組み込まれているとのことである [1]。ロボットビジネスにも新たな展開が見られる。例えば、Willow Garage 社では、オープンソフトウェアの開発手法をロボットに適用し、近未来のサービスロボットを目指した研究開発が行われており、急速に技術開発が進んでいる [2]。また、手術支援ロボット DaVinci(Intuitive Surgical 社) や、Roomba 等の掃除ロボット (iROBOT 社) のみならず、Kiva Systems 社が自律分散ロボットシステム技術をベースに開発した eCommerce 向けの商品発送支援ロボットシステム” Kiva Mobile-robotic Warehouse Automation System “[3] や、In Touch Health 社のリモートプレゼンス技術を活用した病院用回診用ロボット” RP-7i” [4] など新しいロボットビジネスが生まれつつある。

韓国はロボットの産業化に最も熱心である。韓国 MKE (Ministry of Knowledge Economy) [5] は、知能ロボットを 17 の **Growth Engine** の一つとして位置付け、その担当部署を **Division** に格上げした。2009 年度は研究開発に 54 Million US\$ (約 54 億円) の投資を行った。2011 年度は、研究開発にさらに 20 Million US\$ を上乗せし、74 Million US\$ (約 74 億円) を投じる予定であると言われている。教育 (中学、高校用)、配管検査、消防、産業用ロボット、軍事、医療サービス用ロボット、農業用ロボットの 7 分野でのロボット事業のトップダウン型産業化支援と、企業からの公募によるボトムアップ型事業に、2011 年度から 3 年間で、100 Million US\$ (本年度は 30 Million US\$) を支出することが決定された [6]。本スキームは、海外へのビジネス展開のための支援も含まれているようである。

日本ではあまり注目されていないが、教育用ロボット (幼稚園用) は **Edutainment** (Education+Entertainment) 用ロボットに分類され、2010 年から、韓国内の 1,000 カ所の幼稚園に導入されている。試験運用の結果が良好であったので、2011 年度さらに 2,000 カ所を追加、合計 3,000 カ所の幼稚園でロボットが試験運用される予定である。尚、韓国には、約 8,400 カ所の幼稚園があるそうである。教育用ロボットはコンテンツの準備が重要であるが、Edutainment 用ロボットのコンテンツ開発も、2010 年 12 月末までに既に約 10,000 コンテンツが準備され、2011 年度はさらに 30,000 タイトルを追加予定である [7]。当然ではあるが、開発されたコンテンツは標準化され、どのロボットでも利用できる。また、ロボット事業の産業化支援プロジェクトでは、MKE の戦略に従って MKE から各省庁に予算が配られ、各省庁はロボットユーザを直接支援することによって、ロボットビジネスの立ち上げを狙っているのが特徴であり、これを韓国では **Servitization** とよんでいる。

韓国は、海外からの研究者の確保にも積極的で、新たに第 2 の KAIST を目指して大邱に開校した DGIST (大邱慶北科学技術院) では、スイス連邦工科大学の Bradley Nelson 教授を招聘し体内手術用マイクロロボットの開発を始めると報道されている [8]。Nelson 教授のマイクロロボットは、眼科用手術などの体内手術にもっとも近いマイクロロボットとして世界中から注目されており、韓国での研究により、実用化研究が加速するのではないかと思われる。

台湾でもロボットに対する投資が積極的に行われており、ロボット産業を国の主要産

業に育てようとして、Robotics and Intelligent Automation の分野で、2011 年から 2015 年までの 5 年間に、3.0 Billion US\$ を支出する予定である [9]。

欧州では、EU の Framework Programme 7 の中の、ICT (Information and Communication Technology) の中のチャレンジすべき一領域として Cognitive Systems and Robotics を選定し、研究機関と企業との協力関係の構築と技術の移転、ロボットの実世界への導入促進、認知科学とロボティクスの融合などに、2011 年は総額 155 Million EURO の予算が割り振られている [10]。これ以外にも、ICT for Health, Ageing Well, Inclusion and Governance に 100 Million EURO、ICT for Enterprise and Manufacturing に 30 Million EURO の予算がロボット関係として組み込まれている。さらに、ERC (European Research Council) の Advanced Grant 等を通して、ロボティクス関係の研究が支援されている。

SONY で開発が中止されたヒューマノイド QRIO と酷似しているヒューマノイドロボット “NAO” が、フランスの Aldebaran Robotics 社から販売されている [11]。東京大学が、Aldebaran Robotics 社の教育パートナーシッププログラムを活用し、“NAO” を 30 台導入、2011 年から教育に利用すると新聞報道された [12]。また、産業技術総合研究所の柴田氏によって開発された “PARO” は、デンマークで注目され、高齢者介護の道具として積極的に活用されつつある。デンマーク国内の高齢者施設に納入が決まり、PARO を利用するためのトレーニングコースが Denish Technological Institute に準備された。この動きは他の EU 諸国にも広がる気配である。米国でも PARO は注目されている [13]。

海外では、ロボットが ICT に続く次世代の Economic Enabler として注目され、そのビジネス化にかなりの努力が割かれているのに対し、日本では、医療ロボットやヒューマノイドロボットなどの個々のロボットの研究試作開発や、ナノ・マイクロロボティクスをバイオやナノシステム組立などの研究開発ツールとして利用するための技術開発研究、ロボットを用いて人間を理解する研究などのサイエンス志向の研究が注目されており、将来のビジネスを意識したロボットの研究開発は行われていない。NEDO によって行われているロボットの安全認証システムの整備は評価できるが、安全認証システムが新技術開発の妨げにならないように注意が必要である。

我が国はこれまで、自動車やかつての半導体など、既にビジネスモデルが存在する商品の高機能化・低価格化などを行いこれまで成功を収めてきたが、新たにビジネスモデルを構築する必要がある ICT では、必ずしも成功を収めているとは言い難い。次世代ロボットも、基盤技術はそれなりに開発されているが、海外と比較すると実ニーズに基づかない研究が多く、新しいロボットのビジネス化の観点からは、必ずしも世界をリードしているとは言い難い。さらに、ロボットを商品としてとりまとめ、ビジネスとして社会に統合する “Servitization” では大きく遅れている。今後は、ロボットの “Servitization” を考え、システムとしてうまく機能するように研究開発や産業化支援を行う必要があると思われる。日本の対応は、海外と比較するとあまりにも遅い。

(参考情報)

- [1] “A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics” , The Computing Community Consortium (CCC), May 21, 2009, <http://www.us-robotics.us/>
- [2] <http://www.willowgarage.com/>
- [3] <http://www.ksitri.com/html/jiqiren/index.html>
- [4] <http://www.intouchhealth.com/>
- [5] <http://www.mke.go.kr/language/eng/>
- [6] <http://www.mke.go.kr/news/bodo/bodoView.jsp?pCtx=1&seq=66105>
- [7] 2011 年 1 月, 韓国国内のコンテンツ製作会社からの私信
- [8] photo.media.daum.net/list/view.html?cateid=100000
- [9] 2011 年 1 月 8 日, 台湾国立大学教授からの私信
- [10] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2011-12_en.pdf
- [11] <http://www.aldebaran-robotics.com/>

- [12] <http://www.nikkei.com/tech/business/article/g=96958A9C93819499E3E6E2E0E18DE3E6E3E2E0E2E3E2E2E2E2E2E2E2;p=9694E3EAE3E0E0E2E2EBE0E7EBEB>
- [13] http://www.nytimes.com/2010/07/05/science/05robot.html?_r=2&pagewanted=1

2.6.2 中綱目ごとの比較

(1) フィールドロボット

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	フィールドロボットは、ロボット技術や自動化技術の牽引力となるべき分野であるが、研究者は多くない。フィールドロボット分野は、実際に現場で働くロボットを作り評価することが必要な研究分野であるが、必要な研究費が不足しており、何らかのプロジェクトに依存せざるを得ない状態にあり、プロジェクトの遂行に勢力をとられているのが現実である。
	技術開発水準	◎	→	NEDO の戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクトなどにおいて、小型ロボットの不整地移動技術や環境情報取得技術は精力的に進められており、これについては、現在、世界最高水準にある。建機の自動化についても、産総研のホイールローダによる土砂搬送作業の自律化など、知能化のレベルは高い。さらに、JAXA の国際宇宙ステーションに搭載した軌道上マニピュレータや、小惑星のサンプルリターンプロジェクト（はやぶさプロジェクト）が成功している。国際核融合炉 ITER の建設がフランスで始まり、ブランケットモジュール遠隔保守ロボットの開発が 2012 年からの製作に向けて進められている [1]。プロジェクト研究が維持されないと、技術の進歩に歯止めがかかることが懸念される。
	産業技術力	○	↘	建設機械の遠隔操作による施工（無人化施工）については、災害復旧等のための先端的な研究開発が行われ、その技術は世界最高水準といえる。ただし、とくに最近では新規の技術開発はあまり行われていない。また、農業等に向けた自律飛行ヘリコプター（ヤマハ）など、いくつかの先端的な製品が出ているが、継続して技術開発されているものは少ない。
米国	研究水準	◎	→	軍事技術開発を目的とした DARPA の予算で実施されているプロジェクトも少なくないため、予算額は日本と比較し、桁違いであり、研究のアクティビティは極めて高い。とくに Future combat system など、ロボット技術の軍事目的への研究はきわめて活発で、そこから産業用に転移される技術も多い。また、NASA では、ロボット宇宙飛行士 Robonaut 2 を GM と開発 [2]、2011 年のミッション STS-133 で宇宙ステーション内での作業を行うことが発表され、打ち上げられた。また、有人の International Lunar Base を 2024 年までに月面に作るという計画が 2004 年から進められ、ロボット技術を利用した各種システムが開発されている [3]。
	技術開発水準	◎	→	テキサス大 Prof. Murphy のレスキューロボット、CMU FRC (Field Robotics Center) の各種ロボット、Woods Hole の水中ロボット、NASA JPL の火星探査ロボットなど、フィールドロボットに関する研究や技術開発が多くの研究機関において実施されており、フィールドロボットに関する技術力は、世界一である。
	産業技術力	○	↗	iRobot 社製の PACKBOT や NEGOTIATOR、Foster-Miller 社の TALON は、主に軍事用途を目的としたものである。これらのロボットは、不整地走行性能、防塵、防水性能に優れ、小型不整地移動ロボットの市販品として、非常に高い性能を有している。また、同社では、海中探査ロボット Seagridier 等いくつかの海中ロボットを実用化している。さらに、John Deere 社の農業用トラクターなどの農業機械の自律化や高度自動化の研究開発意欲も高い。
欧州	研究水準	◎	↗	宇宙ロボット関連については、ESA が中心となり、火星探査ロボットや軌道上マニピュレータなどを利用した多くのミッションが予定されており活発に研究が進められている。また、自動車の自律化・知能化の研究は活発で、様々な研究チャレンジが行われている。さらに、国際熱核融合実験炉 (ITER) [1] 遠隔保守ロボットでは、ダイバータ遠隔保守システムのプラットフォーム DTP2 をフィンランド・技術研究センター VTT に設置、開発が進んでいる。フランス CEA や英国 JET などでは放射性環境内のロボット技術に堅実な実績がある。
	技術開発水準	○	→	スペインのマドリッド大の水中ロボットや、ドイツ Jacob 大学の Prof. Birk による環境情報取得など、フィールドロボットに関する個別の技術については面白いものがある。ただし、宇宙、自動車を除くと、フィールドロボット全体としては低調。
	産業技術力	○	→	自動車については、研究成果が徐々に産業に使われている。また、宇宙のために開発された技術の産業転用がある。上海万博にあわせて、イタリアにある University of Parma のスピンオフカンパニー VisLab が、イタリアから上海まで自動車の自律走行実験を行い成功したのは記憶に新しい [4]。
中国	研究水準	○	↗	現状でのロボットの研究レベルは、台湾と香港で高いが、フィールドロボットの研究アクティビティは高くない。中国本土におけるフィールドロボット研究も、現在、その論文のクオリティを考えると、先進国より、10 年以上遅れていると考えられる。しかし、この分野への研究の指向性は高い。
	技術開発水準	○	↗	例えば、ハルビン工大では、広大な敷地において数多くの実験装置が模倣され、多数の研究者により、これらを用いた研究が進められていると聞くなど、現在、各大学がフィールドロボット関連に投入している人員と予算は大きく数年以内に、技術レベルで追いつかれる可能性が大きい。また、昆山市工業技術研究院 (KSITRI) [5] では、ドイツハンブルグ大学の Jianwei Zhan 教授をロボティクスの領域長に迎え（兼任）、活線検査用ロボットの開発等が行われており、その技術水準はかなり高い。
	産業技術力	△	↗	建機については先端的な自動化システムが、すぐに真似される状態にあるという。それに加え、自らの技術開発意欲も高い。

韓国	研究水準	○	↗	ロボットの研究は、サービスロボットに偏っているように思えるが、軍用ロボット、農業用ロボット、水道管検査ロボット、消防ロボットなどの会社が各分野で複数存在し、活発に開発を行っている。本年度から MKE によって始められるロボット産業支援プロジェクトのトップダウン型のプロジェクトとして、これらの分野が挙げられている [6]。
	技術開発水準	○	↗	軍用の偵察ロボットなどがある。軍事用のロボットが、フィールドロボットの技術を牽引している様に見える。また、PIRO (Pohan Institute of Intelligent robotics) では、研究所内に水中ロボット実験用プールを設置し、製鉄所のプール内のスラッジ除去用水中ロボットが開発されており、その完成度は高い。完成後は、POSCO で利用されることになっている [7]。
	産業技術力	○	↗	造船所の重量物ハンドリングなど、産業におけるロボットへの指向性は高く、必要な自動機械を開発する技術力を持ち始めている。 MKE の産業化支援プロジェクトは、3 年間で 100 Million US\$ 投資するもので、今後の産業力の向上が見込まれる。
オーストラリア	研究水準	◎	→	シドニー大学にある Australia Center for Field Robotics は、きわめて精力的に移動ロボット技術としてのフィールドロボットの研究を進めており、実システムの開発についても SLAM の理論的研究においても世界の一つのメッカとなっている。
	技術開発水準	◎	→	Field Robot については、人的リソースや資金が CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) に集中しており、CSIRO と民間企業との共同研究が、鉱山用建設機械のロボット化や、港における物資の自動搬送や建設現場における巨大クレーンの制御などの、大きなプロジェクトを成功させている。
	産業技術力	○	→	フィールドロボット技術は鉱山のロボット化等で実用化されているものの、製品を国外に輸出するまでには至っていない。

全体コメント：

フィールドロボットは、生産現場用のロボットが発展してその次にくる技術であり、コンセプトとしては各国で研究が行われている。農業、鉱業、建設、自動車、水中、原子力、宇宙、軍事などのプロジェクトが進められているが、それらは、いずれも開発経費が大きいため、フィールドロボティクスの研究を継続して体系的に進めている研究体は、宇宙や軍事を目的にするとすると、シドニー大学の Australian Center for Field Robotics や米国 CMU の FRC に限られている。

フィールドロボティクスの中で普遍的に必要となる不整地を走行する移動ロボットについて、とくに、小型軽量（人が運搬できる規模のもの）であることが望まれる、狭い空間を走行するレスキューロボットや、崩れやすい斜面を走行する火山探査ロボット、打ち上げ重量に制限のある惑星探査ロボットなどは、その踏破能力において、日本が現在、世界のトップレベルにある。一方、米国では、小型軽量の不整地移動ロボットの軍事面での有用性が見いだされ「現場で使えるロボット」が複数の企業で量産されている。これらは、防水・防塵・耐久性を目指したものであり、使えるロボットとしては、他国の追従を許さない。

韓国の MKE が推進するロボット産業化支援プログラムは広範囲に及び、トップダウン型のプロジェクトに、軍用ロボット、農業用ロボット、消防用ロボット、水道管検査ロボットなどが含まれており、今後産業化が進むと思われる [6]

(参考情報)

- [1] <http://www.iter.org/>
- [2] http://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/robonaut.html
- [3] http://www.world-science.net/othernews/061204_lunar-base.htm
- [4] <http://vislab.it/>
- [5] <http://www.ksitri.com/>
- [6] <http://www.mke.go.kr/news/bodo/bodoView.jsp?pCtx=1&seq=66105>
- [7] <http://eng.piro.re.kr/>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(2) サービスロボット

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	最先端研究開発プログラムとして予算の重点化がなされ、ロボット関連では筑波大山海教授のプロジェクトが 2010 年に採択された。また、NEDO が中心となり、戦略的先端ロボット要素技術開発、次世代ロボット知能化技術開発、生活支援ロボット実用化のプロジェクトにより種々のサービスロボットの研究開発が行われている。とくに生活支援ロボットでは、つくばに安全検証センターが開設された。
	技術開発水準	◎	↑	多くの企業が NEDO のプロジェクトに参加し、研究開発を進めている。国際標準化に関しては JARA が窓口になり Robots and robotic devices (ISO/TC184/SC2) で議論されている [1]。位置計測に関しては OMG にて標準化された。ロボットに関連する複数の標準化活動を横断的に俯瞰できるようになった。総務省ネットワークロボットの後継であるユビキタスネットワークロボットは、見守りなどを含む高齢者・障害者対応が中心となった [2]。ATR、NEC、東芝が研究開発および実証実験に参加している。
	産業技術力	○	→	例えば、癒しロボット Paro はデンマークの高齢者施設に導入され、着実に実績を築きつつある。2011 年までに 1000 体導入予定であるが、日本主導でないのが残念である。日本では、市場が小さいという理由で試作検証プロジェクトが多い。本当のビジネスかを狙ったプロジェクトが必要である。韓国の Servitization のコンセプトは、社会へのシステム統合（ビジネス化も含む）を目指しており、参考にすべきである。
米国	研究水準	◎	↑	Willow Garage[3] では PR2 ロボットとロボット OS (ROS) を提供するとともに、オープンソフトウェア開発の手法をロボット技術の研究開発に持ち込み、近未来のサービス用ロボットのための研究開発が行われている。また、世界規模で公開プロジェクトを進めており、ロボット研究を行っている世界の主要な大学を巻き込んで研究開発を行っている。
	技術開発水準	◎	↑	研究開発がベンチャーキャピタルにより支援され、直接、事業化される傾向が強い。自律分散ロボットの概念を eCommerce 用発送支援ロボットとして実用化した KIVA Systems は、その典型的な成功例である [4]。
	産業技術力	◎	↑	掃除用ロボット Roomba でよく知られている iROBOT 社は、ブルール清掃、フロアのモップがけ、桶の落ち葉掃除など、異なる分野へ Roomba の技術を展開している。KIVA Systems 社 [4] では、複数の移動ロボットからなる搬送ロボットシステムを実用化し、いくつかの配送センターに納入されている。さらに、Willow Garage 社が最近開発しているリモートプレゼンスシステム Texai（ディスプレイ付きの移動ロボット）は他社からの引き合いも多く、同社がどのように実ビジネスと関わっていくかについては目が離せない [3]。
欧州	研究水準	○	↑	EU の Framework Programme 7 の中の、ICT の中のチャレンジすべき一領域として Cognitive Systems and Robotics を選定し、研究機関と企業との協力関係の構築と技術の移転、ロボットの実世界への導入促進、認知科学とロボティクスの融合などに、2011 年は総額 155 Million EURO の予算が割り振られている [5]。これ以外にも ICT for Health, Ageing Well, Inclusion and Governance 領域でロボット関係が 100 Million EURO、ICT for the Enterprise and Manufacturing 領域で、産業用ロボット分野に 30 Million EURO の予算が組まれている。また、ERC (European Research Council) の Advanced Grant 等を通して、ロボティクス関係の研究が支援されている。EU 関係のプロジェクトは多数行われており、例えば、研究プラットフォーム用の小型ヒューマノイドロボット iCub も開発され、認知などの研究が行われている [6]。
	技術開発水準	○	↑	Fraunhofer IPA では、マニピュレータ搭載の移動ロボット Care-O-Bot で介護応用などを目指した研究開発を行っている。AUTOMATICA2010 では Fraunhofer の各研究所にてロボット研究開発が盛んになっている。ユビキタスネットワークロボット関連では、スペイン URUS プロジェクト [7] などの研究開発が進められている。
	産業技術力	○	↑	ISO/TC184/SC2/WG7 Safety requirements には Fraunhofer、KUKA が参加し始めた。AUTOMATICA が 2 年おきに開催され、着実にロボット技術の応用が進んでいる。とくに KUKA が充実している。
中国	研究水準	○	↑	例えば、上海近郊の昆山市工業技術研究院 (KSITRI) [8] では、精力的にロボットの研究が行われている。分野によってはある程度の水準に達している。
	技術開発水準	○	↑	KSITRI では、実際に窓掃除用ロボット、床のモップがけロボット、教育用モジュラーロボットの試作などが行われており、教育用モジュラーロボットは、ほぼ製品化できる水準にある。
	産業技術力	○	↑	瀋陽市の SIASUN 社のトップは、サービスロボットの提供が可能であることについて言及したことがある。技術的には、産業化可能なレベルまで来ていると考えられる。例えば、産業用ロボットでは、SIASUN は 2010 年、米国の自動車会社に AGV の出荷を始めた [9]。

韓国	研究水準	◎	↑	MKE がリーダーシップをとり、ETRI が中心となり URS（現在、u-Robot）を開発。また、仁川、馬山に研究開発施設をもつロボットのテーマパーク「ロボットランド」を 2012 年に向けて建設中である。また、研究機関・大学などからの学術論文の水準は、既に日本と同等のレベルにある。分野によっては、既に追い越されている部分もある。
	技術開発水準	○	↑	国際標準化の活動に積極的に参加している。国際標準化（ISO、OMG）に関しては国を挙げた体制で積極的に取り込んでいる。英語の教育用に KIST がロボットを小学校に 29 台配備。フィリピンから遠隔で対応する。このような教育用ロボットの事業化は、MKE 主導で本年度から開始されるトップダウンプロジェクトの一つに選ばれている。
	産業技術力	○	↑	韓国内の 8,400 カ所ある幼稚園うち 1,000 カ所で、教育用（幼稚園）ロボットが配置され、良好な結果を得ており、本年度 2,000 カ所追加、3,000 カ所にて試験運用を始める予定。このような Edutainment 用ロボットのコンテンツはすでに 10,000 タイトル整備されており、本年度中に 40,000 タイトルに増やされる予定である。コンテンツは標準化されており、どのロボットでも利用できる。
全体コメント： 米国はベンチャーが中心になり実応用が活動化している。EU では、各国のプロジェクトに加え、FP 7 や EU プロジェクトとして、新しいロボット技術の研究と、研究機関から企業へのロボット技術の移転が進められている。また、EU のみならず、米国、韓国、台湾も、次世代のロボットビジネスをターゲットとして、積極的投資を行っている。海外の動向と比較すると、日本で評価できるものはあまり多くない。NEDO の施策の下に多様なロボット、および安全認証センターなど先行している。				

(参考情報)

- [1] Workshop on Standardization for Service Robots: Current Status and Future Directions、Workshop at IROS2010
- [2] 総務省提案公募情報：http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/090227_5.html
- [3] http://www.willowgarage.com/
- [4] http://www.kivasystems.com/
- [5] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2011-12_en.pdf
- [6] http://www.robotcub.org/index.php/robotcub
- [7] http://www.urus.upc.es/
- [8] http://www.ksitri.com/html/jiqiren/index.html
- [9] http://www.shsiasun.com/en/products.asp

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(3) 産業用ロボット

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	2010 年度末まで、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」等で研究が進められている。
	技術開発水準	○	→	東芝機械が 6 軸多関節ロボット TV800 でセンサレスのコンプライアンス制御を実現している [1]。ファナックは、パラレルロボット M-1iA、M-3iA（通称ゲンコツロボット）を開発し、市販している [2]。安川電機は双腕ロボットアーム MOTOMAN-SDA を市販している [3]。
	産業技術力	◎	→	ファナック、安川電機、デンソーウェーブ等、技術力に優れた企業が多い。ファーストが、多関節ロボットと 3 次元計測を組み合わせ、対象物のモデルを作成するシステムを開発した [4]。しかし、近年では、その優位性も陰りつつある。例えば、ドイツ KUKA 社の可搬重量 1,300kg のロボットの総重量はわずか 4.69 トンであり、消費電力も小さい。国産のものは倍以上の重量がある。大型の産業用ロボットでは、技術の差が開き始めている。
米国	研究水準	◎	↗	Willow Garage 等の新しい企業と大学とが連携して研究を進めており、研究水準が高くなっている [5]。
	技術開発水準	◎	→	オープンプラットフォームへの取り組みにおいて先行する。特に、Willow Garage の ROS はコンピュータビジョンの OpenCV とともに、世界的な標準になる可能性が高い。KIVA Systems が分散搬送システムを実現している [6]。このシステムにおいては、複数の自立分散ロボットの協調制御技術が適用されている。
	産業技術力	◎	↗	米国の強みであるネットワークやソフトウェアの観点から、産業技術力が向上する可能性が高い。従来からの産業用ロボットには力を入れていないが、各種資料から判断すると、iROBOT の設立に関わった元 MIT 教授の Rodney Brook 氏が設立した Heartland Robotics では、新しいコンセプトの製造業用ロボットの開発を目的として投資を集める等、開発が積極的に進められている [7]。
欧州	研究水準	◎	↗	パラレルリンクメカニズムの研究が盛んで、産業用ロボットやハプティックデバイス等に展開されている。大学・研究機関から産業界への技術移転も促進され（例えば ECHORD Project[8]）産業界とうまく接続している。さらに、EU の Framework Programme 7 の中の、ICT の中の ICT for the Enterprise and Manufacturing 領域で、産業用ロボット分野に 30 Million EURO の予算が組まれている。
	技術開発水準	◎	↗	DLR の DLR-RoboDrive を基礎として KUKA 社が軽量で可搬重量に優れた産業用ロボットを開発している [9]。関節軸トルクセンサを用いたコンプライアンス制御を開発している [10]。KUKA 社は、それ以外にも科学技術に裏付けられたロボット開発を行っており、例えば産業用ロボットを見ても、国産のものよりも総重量がかなり小さい。また、今後の安全認証を考えた、Dual Core CPU を利用したコントローラの 2 重化など、積極的に技術開発を行っている。
	産業技術力	◎	↗	KUKA、ABB と技術力に優れた企業がある。次世代産業用ロボットに向けた技術力は、KUKA が先行している。さらにドイツの DLR では、Institute of Robotics and Mechatronics を中心に、ロボット技術開発が積極的に推進されており、KUKA などに技術移転が行われている [11]。
中国	研究水準	○	↗	多くの大学でオートメーションや産業用ロボット、サーボ系に関する研究が進められている。香港中文大学、上海交通大学、華中科学技術大学、天津大学、瀋陽自動化研究所等、優れた研究成果を出している大学・研究機関がある。
	技術開発水準	△	↗	産業用ロボットを始めとする生産用資材に関しては、現状では海外からの輸入が多いが、マーケットを勘案すると、今後は中国国内での開発が増える予想される。
	産業技術力	○	↗	瀋陽市の SIASUN Robot & Automation 社は、2000 年に設立された瀋陽自動化研究所のスピンオフカンパニーであるが、急速に技術力をつけ、2010 年米国の自動車メーカ向けに AGV の出荷を始めた。また、通常の産業用ロボットのみならず、クリーンルームロボットの販売も開始した [12]。台湾に本社を持つ、世界最大の EMS Hon Hai 社の中国での子会社 Foxconn（富士康）は、2010 年末現在、毎月 3,000 台以上のロボットを導入していると言われている。ロボット要素部品メーカ関係者によると、社内でもロボットを自社用に製作している模様である。Foxconn の他の製造関連装置の事例から推測すると、近いうちに産業用ロボットの輸出を始める可能性がある。
韓国	研究水準	◎	↗	ソウル国立大学を始めとして、KAIST、KIST など高い研究成果を誇る。
	技術開発水準	○	↗	韓国では、産業用ロボット技術の独自開発が進んでいる。近年では、アクチュエータの開発プロジェクトも大学を中心に行われている。
	産業技術力	○	↗	MKE が推進するロボット産業化支援プログラムは広範囲に及び、トップダウン型のプロジェクトの一つに中小企業用の新しい産業用ロボットの開発も含まれている。

全体コメント：

マニピュレーションに関する研究が EU のプロジェクトとして遂行され、新しい技術が産業用ロボットに適用される、あるいはプロジェクトのために新しいロボットアームやハンドが開発されるなど、ヨーロッパでは大学・研究機関と企業との連携が進みつつある。米国では、ネットワーク技術を核にして、新しい産業用ロボットを作ろうとする Willow Garage を中心とする注目すべき動きがある。また、Rodney Brooks が設立した会社 Hearland Robotics は、ベンチャーキャピタルの投資を集めて、次世代製造用ロボットの開発を行っている [7]。韓国、中国でも、技術力が高まりつつある。2011 年度から 2015 年度にかけて、台湾においても Robotics and Intelligent Automation のプロジェクトが開始され得る。既に ITRI では産業用ロボットの試作が行われており、昨年末に台湾で開催された台湾のロボットショーでは展示されていた。また、韓国や中国に比べて技術力は低い、今後急速に高まるものと思われる。

(参考情報)

- [1] <http://robonable.typepad.jp/news/2009/12/07toshiba-kuka.html>
- [2] <http://robonable.typepad.jp/news/2009/07/20090731-f367.html>
- [3] <http://www.e-mechatronics.com/product/robot/assembly/approbot/sda20d/index.jsp>
- [4] <http://www.robonable.jp/news/2010/12/10first.html>
- [5] <http://www.willowgarage.com/>
- [6] <http://www.kivasystems.com/>
- [7] <http://www.heartlandrobotics.com/index.html>
- [8] <http://www.echord.info/wikis/home-wiki/home>
- [9] http://www.scholarpedia.org/article/Light-weight_robots
- [10] <http://robonable.typepad.jp/news/2009/12/07toshiba-kuka.html>
- [11] <http://www.dlr.de/rm/en/desktopdefault.aspx/>
- [12] <http://www.siasun.com/english/default.aspx>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(4) 医療用ロボット

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	医工連携による先進医療開発実用化プロジェクト や NEDO インテリジェント手術支援機器研究開発プロジェクトなどにより、実用化を目指した研究開発が進められている。また、学際ネットワークである日本医工ものづくりコモンズ [1] での議論が進んでいる。
	技術開発水準	○	↑	パナソニックではロボットオープンラボとして研究開発を公開しながら実用化を進めている。
	産業技術力	○	→	医療（とくに治療）に関しては、我が国特有の規制により、事業化が難しく企業には大きな動きはない。
米国	研究水準	◎	↑	かつて人工股関節手術の CAD/CAM 化を狙って開発された Robodoc の開発者の Russell Taylor をディレクターとした、NSF の The Computer-Integrated Surgical Systems and Technology Engineering Research Center などにおいて、先進的な研究が行われている。
	技術開発水準	◎	↑	研究開発が直接、事業化されている。研究と技術開発の差があまりない。有用な研究成果は技術として確立され、事業化されるサイクルがうまく回っている。
	産業技術力	◎	↑	daVinci[2] は世界で累計 1,500 台以上出荷、日本でも 2010 年に認可された。さらに力覚フィードバックの研究開発を行っている。InTouch Health 社のリモートプレゼンス技術を活用した患者との遠隔対話（病院用回診用）ロボット”RP-7i”を販売し成功を収めている [3]。Willow Garage でもテレプレゼンスのロボットを開発した。現時点では、ビジネスを開始していないが、外部からの引き合いが多い [4]。
欧州	研究水準	○	↑	DLR でも腹腔鏡下手術用マニピュレータシステムを開発しており、AUTOMATICA2010 にでも展示した。手術用器具の先端に超小型の力覚センサを搭載し、バイラテラルフィードバック機能を備えている。
	技術開発水準	○	↑	DLR、Siemens、KUKA を中心にロボット技術の医療応用が進んでいる。
	産業技術力	○	↑	KUKA は患者の位置決めロボットを応用したシステムを開発し、Siemens ではロボット技術を応用した血管造影検査装置を販売している。また、会社組織を見直し、KUKA ラボを設置、医療用ロボットなどの非産業用ロボットの開発をターゲットとしている。
中国	研究水準	△	↑	大学や研究機関などの研究室レベルでは、多数の医療用ロボットが開発されているが、技術水準はそれほど高くない。しかし、比較的自由に新しい治療法を試すことができるので、例えば、NOTES (Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery) は、比較的新しい治療法であるが、山東大学での症例が多い。NOTES に対応した手術支援機器開発では、先を越される恐れもある。
	技術開発水準	△	↑	例えば、昆山市工業技術研究院 (KSITRI) では実用的な手術用機器が開発されている。ロボット技術からヒントを得た機器は、現時点では加工精度が低く、当初の予定通りの機能を発揮しているとは言えないが、今後急速に水準は上がると思われる。過去のしがらみを持たない研究者達は、自由な発想で技術開発を行っているように思える。
	産業技術力	×	↑	現時点では、産業化された技術はないが、今後急速に向上すると思われる。
韓国	研究水準	○	↑	大学での研究水準も向上し、ソウル大学や KAIST などの主要な大学や研究機関で研究が行われている。
	技術開発水準	○	↑	後述する会社の買収などで急速に技術水準が上がっている。
	産業技術力	○	↑	世界で初めて人工股関節手術の CAD/CAM 化を行った Robodoc は、現在は韓国企業 Curexo, Inc. によって運営されている。本体は米国にあるようだが、手術対象も膝関節にも拡張され、既に、24,000 件の症例をこなしている [6]。MKE が本年度からトップダウンで支援する分野には、医療用ロボットがあり、股関節、膝関節の手術のみならず、内視鏡手術支援ロボットもターゲットに入っている。
全体コメント： 米国が先行している。日本では余り知られていないが、歯のインプラント手術支援システムを商品化しているドイツの RoboDent[5] など、EU でも確実に新ビジネスが展開している。残念ながら、日本は研究開発としては実績があるが、ビジネスには至っていない。厚生労働省と経済産業の連携による「介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト検討会」[4] が始まったことは特筆され、日本のロボット技術の医療応用が、再度、活発化することを期待する。				

(参考情報)

[1] http://www.gakusainet.com/ikou_komons1.html[2] <http://www.intuitivesurgical.com/company/>[3] <http://www.intouchhealth.com/>[4] 厚生労働省：介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト検討会 <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000000qx1i.html>[5] <http://www.robodent.de/>[6] <http://www.robodoc.com/index.html>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(5) システム・インテグレーション

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↘	OMG (Object Management Group) でヒューマン・ロボット・インタラクションのサービスフレームワーク標準化に関する日本と韓国の共同提案が進行中。Willow Garage や EU に比べ、継続的に研究推進するための人件費の確保がしにくい環境が、研究の高度化継続が阻まれる大きな要因となっている。研究者が個別に取り組んでいるため、資金も場も十分なものが得られない。インテグレーションを意識せず、個別の小さなテーマしかできていない。
	技術開発水準	○	→	NEDO 知能化プロジェクトで、ソフトウェアのモジュール化、オープンソース化を推進し、再利用性で一定の成果を挙げている。統合の観点からは、ロボットテクノロジーミドルウェア (RT ミドルウェア) の概念はあるが、現在はソフトウェアコンポーネントのインタフェース仕様を定めた段階。ロボットが提供できる共通サービスの定義が必要だが、十分な検討がなされていない。OMG にて DDC4RTC などコンポーネントを統合する規約を策定開始。個々の会社が個別の技術開発は行っているが、標準をリードしそれを国の共通技術基盤に仕上げていくアクティビティは不十分。スピードが不十分。
	産業技術力	○	→	パナソニックが大阪大学に寄付講座を作った。医療現場にロボットを入れていくために、ロボットを扱う技師も一緒に育てる考え。NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクトで、適用現場の具体的課題を解決する取り組みを実施し、2010 年度で完了予定。水平展開が期待される。
米国	研究水準	◎	→	世界中から優秀な研究者が集まる。国の重点施策化とともに、民間ファンドからも支援資金は多く出ている。Willow Garage は会社であると同時に研究機関である。PR2 (ロボットソフトウェアプラットフォーム) を配布する過程で様々な需要が喚起され、研究がさらに進む環境が出来ている [1]。研究者たちは「収益のことは考えなくて良い」と言われている。Google の創業者がスポンサー。研究の場と機会を与えて、世界中のロボットに関する知恵を集めようとしている。世界中から学生をインターンシップで集めている。
	技術開発水準	◎	↗	6 月に the Office of Management and Budget and the Office of Science and Technology Policy がロボットを 2012 年予算の優先 R&D 項目に指定 [2]。軍の FCS (Future Combat System) に基づく、Grand Challenge や Urban Challenge など、実環境へ適用技術、SAE (アメリカ自動車技術会) と合同で JAUS (Joint Architecture for Unmanned Systems) の自律ロボットの構成規格の策定にもとづき、SDK (OpenJAUS) の公開など、インターオペラビリティに関するフレームワークが着々と整備されている [3]。コンピュータビジョンライブラリ OpenCV やロボットシミュレータ Player も ROS に取り込まれており、活用が容易になっている。ユーザにとって、やりたいことができる環境が整いつつある。
	産業技術力	○	→	Willow Garage の ROS が著名 [1]。オープンソースライブラリの整備と ROS の配布パッケージ C Turtol の公開 (2010 年 8 月)、conformance test の実施、ソフトウェアの登録、システムの動作保証を行っている。メンテナンスをするための仕組みを将来にわたって誰が保証できるかは不明である。
欧州	研究水準	○	→	FP7(7 th Framework Programme) を 2007-2013 で実施中 [4] であり、巨額の投資が行われている。
	技術開発水準	○	→	ロボット分野では、過去 10 年 120 以上の EU プロジェクトを実施、参加組織 900 以上、総予算 4 億ユーロ。2010 年から産学ユーザー一体となり、過去の研究成果を産業に結びつけ 3 カ年プロジェクト euRobotics (European Robotics Technology Platform) を開始 [5]。
	産業技術力	○	↗	BRICS (Best Research in Robotics) プロジェクト (2009-2013) で産業における開発プロセスを強化。ECHORD (European Clearing House for Open Robotics Development) では、大学・研究機関から、企業への技術移転促進を行っている [6]。
中国	研究水準	△	↗	国外の中国人研究者とのネットワークを生かして、急速にキャッチアップしてきている。中国国内に、優秀な人材の豊富なことは強みである。
	技術開発水準	○	↗	昆山市工業技術院 (KSITRI) では、教育用の安価なロボットモジュール、モップがけや窓ふきのロボット、架線作業用ロボット、手術用ロボットなどの開発が積極的に行われている。新しいアイデアではないが、考えたものを形にできる技術力は高い。
	産業技術力	○	↗	新松では、産業用ロボット、パーソナルロボットの開発の進展がめざましい [5]。
韓国	研究水準	○	→	コンセプトを形にして示すスピードが速い。実際に技術を活用して具体的な課題を解決するというアプローチは強み。
	技術開発水準	○	→	OMG(Object Management Group) でヒューマン・ロボット・インタラクションのサービスフレームワーク標準化に関する日本と韓国の共同提案が進行中。韓国では、様々な分野の現場で実証実験が始まっている。
	産業技術力	○	↗	韓国では、幼稚園や保育園でロボットを使う試みが始まっている。標準化には、国策としてデファクト、デジュール、アカデミアをすべてスコープに入れ、積極的に活動をしている。産業化を目指し、多くのベンチャーが活動中。

全体コメント：

インテグレーションの基礎研究は、フレームワークの設計である（システムをインテグレーションするためのインタフェース仕様の設計）。

フレームワークに従って作られたソフトウェアのインタフェースは開示される。オープンソース化により、知識が共有され、コミュニティの財産として活用が期待できる。ソフトウェア工学の手法をロボットインテグレーションに持ち込まないと、個別のロボット開発になり、再利用性、設計資産の継承性が損なわれる。ソフトウェア工学の手法を適用すると、ユーザ要求分析から入り、ロボットの機能をデザインする。その時に、ロボットのモジュールやミドルウェアの利用が必要になる。フレームに基づいて、ロボットの機能デザインを行い、調達可能なロボット技術を調達し、効果的なインテグレーションを行うことが可能となる。ソフトウェアのプラットフォーム化は要。ROS と RT ミドルウェアは共存しうる。台湾もロボティクスセンターを National Taiwan Univ. に設立するようである。

(参考情報)

- [1] <http://www.willowgarage.com/>
- [2] <http://www.whitehouse.gov/blog/2010/09/15/rtd2-research-robotics>
- [3] <http://www.openjaus.com/>
- [4] http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/home_en.html
- [5] <http://www.robotics-platform.eu/cms/index.php?idcat=5>
- [6] <http://www.echord.info/wikis/home-wiki/home>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(6) ヒューマン・ロボット・インタラクション

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↑	人とロボットの関わりに関する国際会議(Int. Conf. Human Robot Interaction)や類似の会議においては、日本は米国に次ぐ高いアクティビティを持つが、発表している研究機関に限られている。大阪大学やATR(ネットワークロボット)のチームは強いが、他の多くの研究機関では、研究の中身がロボット主体の研究。ロボットを作る技術はきわめて高い水準にあるが、人とのインタラクションに入り込んだ研究が弱い。認知科学者や芸術家とのさらなるコラボレーションが求められる。
	技術開発水準	○	↑	ハードウェアの技術開発水準は高い。また、3D表示技術など、家電製品の開発から生まれて、ロボットに転用できる技術もある。しかしながら、評価指標、フィールド実験などに対する実質的な取り組みに欠ける。また、そのことから、産業と直結した即戦力を養えないという問題を生んでいる。
	産業技術力	△	↓	ロボットやその操作に用いられるテレビ等のシステム開発力は非常に高く、世界を圧倒している。しかしながら、統合されたシステム、それを産業化する力は高くない。たとえば、米国ではすでに InTouch Health 社 [1] 等のベンチャーが遠隔操作型ロボットを実用化しているが、日本では実用化に至っていない。広くは、iPhone のようにシステム構成とソフトウェアの力で、産業化を成し遂げる力が日本にはない。一方で、演劇などロボットを用いた新しい試みは日本からも始まりつつある。すなわち新しい試みは盛んに発信されているが、マーケットを立ち上げる力は、日本には残念ながら少ないと言わざるをえない。
米国	研究水準	○	↑	米国のロボット開発そのものの研究水準は日本に次いで高いが、それ以上に、心理学や情報科学と融合して、ロボットと人間の関わりを評価し、それを研究に仕上げる力が注目される。新しい学術分野として確立させるには、米国のアクティビティが重要となる。
	技術開発水準	◎	→	評価技術やインタフェース技術、デザインなどが技術として認知され、合理的な評価がなされた実用的なトータルシステムが作られている。人と関わるロボットの評価、インタフェース技術のという点では日本に勝る。
	産業技術力	◎	↑	マイクロソフトのキネクトセンサは、低価格で高い性能を誇る。人間のジェスチャを安定に認識できる。そうしたコアの技術だけでなく、米国では、InTouch Health 社のような人と関わる遠隔操作型ロボットが実用化されている。とにかくアメリカの新産業開拓力は日本に無いものである。
欧州	研究水準	△	↑	ロボット本体の研究開発は日本に及ばなかったが、ROBOCUB プロジェクト以来、そのプラットフォームが残り、そこで研究が進展している。フランスでは、ALDEBARAN 社の NAO というロボットを使って、研究が進められており、日本の研究に迫りつつある [2]。
	技術開発水準	△	↑	日本と類似した研究環境にある。特に特徴は無いが、研究は、サンタマリアーナ高等研究所(イタリア)、カタローニャ工科大学(スペイン)、イタリア技術研究所(IIT、イタリア)、ビューレフェルト大学(ドイツ)などで、徐々に盛んになりつつある。
	産業技術力	×	↑	日本と同様に未だマーケットはない。ALDEBARAN やフィリップス等、人と関わるロボットを販売しているところもあるが、未だ研究者向けである。
中国	研究水準	×	→	ロボット技術を確立するのが大きな課題で、人と関わる技術の研究はまだない。
	技術開発水準	△	↑	昆山に産業ロボット研究の集積地がある。モジュール型のロボット(教育用)を1関節10ドル程度で作れるようになってきている。窓ふきロボット、架線用ロボット、医療用ロボット(多自由度関節を持つ手術の助手ロボット、ステレオビジョンで位置決めできる手術ロボットなど)など、具体的なアプリケーションに積極的な取り組みがある。しかしながら、人と関わる技術はまだない。
	産業技術力	×	↑	産業はまだ無い。未知数である。
韓国	研究水準	△	→	人と関わるロボットの研究は未だ少ないが、教育用のロボットの開発等行われている。教育に関しては、国をあげて支援していることもあり、今後の展開が期待される。しかしながら研究レベルは、日本や米国には未だ及ばない。
	技術開発水準	×	↑	ロボットの技術は日本に近づいてきたが、人と関わるロボットの技術については、技術開発の取り組みは少ない。
	産業技術力	○	↑	日本と同じ水準のロボットはすぐに開発できるまでに迫りつつきている。その意味で産業技術力はきわめて高いといえる。また r-learning プロジェクトとして、ペットロボットなどを国が購入して配布し、実証試験に取り組んでいる。このように国が技術開発を積極的に推進していることは、産業技術力の強化につながると期待される。また、国の資金配分もうまい。さらには、標準化も含めて積極的に国が関与し、資金も特定企業に集中投下しているため、成果を得やすい体制ができていると考えられる。
全体コメント： コミュニケーションロボットの実用化と、その実用化に根付いた研究開発には3つの方向性がある。一つは米国で始まった遠隔操作型ロボットの実用化である。もう一つは、デンマークは、国をあげて高齢者用のコミュニケーションロボットを使おうとしているが、高齢者支援がもう一つの方向性になる。三つ目は韓国が力を入れる教育における利用である。これら諸外国の動きに対して、日本では未だ方向性が明確に定まっておらず、国の支援の基に戦略的に研究を進める必要がある。				

(参考情報)

[1] <http://www.intouchhealth.com/>

[2] <http://www.aldebaran-robotics.com/en>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(7) 知能化技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	△	↘	パターン認識、計画、制御、モデル化、予測などにおいて、数理統計的手法や、学習手法、ダイナミカルシステムモデリング手法などの知能化技術の研究や、それを用いたシミュレーション研究などが極めて活発である。しかるに、日本では、すでに欧米などで開発された手法を様々な問題解決などに応用した研究が多く、米国などに比べ基礎理論が弱い。今後、基礎の強化が必要である。特に、日本における人工知能研究では、ネットワーク研究などの関連他分野に移行する研究者も多く、米国などに比べ、人工知能研究とロボット研究とのつながりが弱い傾向がある。自律分散、自己組織化などの日本がリードしていた研究分野も、欧米が追いついた感ある。パイオロボティクスや移動知をはじめ、ロボティクスに基づく生物の発達・認知・行動機能の理解といった基礎的、科学的分野においては、日本がリードしている分野もある。
	技術開発水準	○	→	実環境で動作するロボットのパターン認識、制御、プランニングなどにおいて、様々な知能化技術の開発が活発に行われており、技術開発水準は高い。高速回線 LTE (Long Term Evolution) サービスを活用したロボット技術(情報処理機能をロボットに持たずロボットでセンシングした信号をクラウドで処理)は、日本で急速に進む可能性が高い。Willow Garage の ROS に対抗するために、NEDO のファンディングにより、産業技術総合研究所を中心にミドルウェアの開発を行っているが、成果はまだ出ていない。従来の成果のパッケージ化を志向している。
	産業技術力	△	→	輸送機械をはじめとして、ロボットの知能化技術が様々な製品に組み込まれるようになった。デジタルカメラの顔認識技術などにも、パターン認識が用いられる。ロボット分野の知能化技術の蓄積が、様々な民生機器に活用されるケースが多くなってきた。ただし、いわゆるロボットとして製品化されたものは、ペットロボット、清掃ロボット、セラビーロボット、アシストロボットなどわずかである。技術開発で先行していても、産業化において海外に先を越されるケースが多くなってきた。安全や制度上などの問題が原因であるケースが多い。
米国	研究水準	◎	→	理論的研究が活発である。知能化技術の研究の源である人工知能の研究が、継続して行われている。特に、解析的に解決策が見つからない分野は、学習の研究が必要になるが、米国では、学習の方法論に関する研究が強い。ニューラルネットワーク、グラフカット、ブースティング、強化学習などをはじめ、数理統計科学的な新しい手法など、ほとんど米国から生まれている。米国では、このような知能化研究に関する地道な基礎研究を継続的にを行い、成果が着実に出せる環境がある。
	技術開発水準	○	→	実環境における自律移動ロボットの知能を競うグランドチャレンジなどにおいても、ニューラルネットワークなどの知能化技術が利用されており、高度な知的機能が実現されている。DARPA などの軍事予算の多額の投入により、知能化技術開発なども基礎技術開発も活発である。BMI (Brain Machine Interface) を用いた医療・福祉ロボットや、装着型力増幅型ロボット(軍事応用の色彩が強い)などにおいても、高度な技術開発水準を維持している。IT (情報技術) 開発から RT (ロボット技術) へとという流れがある。
	産業技術力	◎	↗	昆虫規範型の低レベルの知能化技術が組み込まれた、iRobot の掃除ロボット Roomba は、ひとつの産業技術として花開いている。マイクロソフトの Robotic Studio や、ウィローガレージの ROS などの基本ソフトウェアの開発が活発であり、知能化技術開発の標準的共通ベースの部分占有しようとする動きがある。IT 系の投資を受け、独創的なビジネスモデルが展開されつつある。KIVA Systems は、極めて多くの AGV を協調的に動作させることが可能な自動倉庫システムを開発し、米国の多くの倉庫に導入している。自律的に学習によってパラメータチューニングを行い、高い精度で自動走行を可能にした技術などには、スイスの技術が用いられているが、製品化において極めて有効な技術である。投資規模は巨大である。Google の画像処理におけるラベリング技術なども、計算の精度は低くても、実用に供する性能を高速に出せるという点で、事業化指向の有効な知能化技術である。
欧州	研究水準	○	→	欧州委員会 (EU) の CORDIS (Community Research and Development Information Service) の FP7 (Seventh Framework Programme) を推し進めており、その中でロボットの知能化技術に関する研究プロジェクトが実施されている。これまでも、COGNIRON (The Cognitive Robot Companion) や RobotCub などのプロジェクトが行われており、認知ロボットの研究は盛んである。また、イタリアやドイツではバイオメディカル分野のロボティクスの知能化技術の開発が活発である。
	技術開発水準	○	↗	EU のプロジェクトなどにより、知能化技術に関して高い技術水準を維持している。EU は、中小企業などに対して大学の技術を移転するプロジェクト ECHORD (European Clearing House for Open Robotics Development) なども行っており、産学連携の技術開発が順調に進められている。
	産業技術力	△	→	知能化技術に関する産業技術力はそれほど高くない。KUKA は、産業用ロボットからサービスロボットへもビジネスを展開しつつある。ドイツでは、医療ロボットや警備ロボットのベンチャー企業なども立ち上がり、パーキングアシストシステム(自動縦列駐車)においても高い性能を実現している。その他、知能化技術製品としては、多言語の翻訳機などもある。

中国	研究水準	×	↑	中国で行われるロボット関係の国際会議も多くなり、論文数も急激に増えているが、概して論文の質は低い。ロボットの知能化に関する研究もまだレベルは低く、際立った研究やプロジェクトはいまだ存在していないと考えられる。 Chinese University of Hong Kong などでは、米国や日本で学位を取得した後に中国に帰国した研究者が、ロボット研究を行っている。
	技術開発水準	△	↑	産業用をはじめとして、ロボットに関する知能化技術開発なども行われるようになったが、独自の技術開発はほとんど存在しない。
	産業技術力	×	↑	独自の研究や技術は少ないものの、他国の技術を取り込み、類似の製品などを早期にコピーし、市場に出す技術力を持っている。安価であるが、品質はまだ高いとはいえない。
韓国	研究水準	△	↑	KAIST や KIST、Postec などをはじめとして、多くの研究機関の研究水準が向上している。ヒューマノイドロボットの研究などでも、優れたものが始めている。論文数も増えており、論文の質も向上している。
	技術開発水準	○	↑	国策としてロボットのプロジェクトを実施し、ETRI などの研究機関やサムソンなどの企業、大学に対して、多額の投資が行われており、その効果で知能化技術の技術開発水準が急速に上がっている。幼稚園や保育園にコミュニケーションロボットを導入する 幼児学習プロジェクト R-Learning や、ロボットのアミューズメントパーク開発プロジェクト Robotland などが行われている。日本のロボットのコピーが開発されるケースも多いが（短期間でコピーが行われる）、独自の技術も始めている。HUBO などのヒューマノイドロボット、環境知能化・無線ネットワークなどを用いたネットワークロボットなどでも高い技術開発力を有している。
	産業技術力	△	↑	国家プロジェクトの効果で、多くのロボットベンチャー企業が立ち上がり、知能化技術を応用したサービスロボットが多数開発されている。ただし、まだビジネスにつながっているものは少ない。その中で、ROBOTIS など、優れた教育用ヒューマノイドロボットが製品化されている。米国 NSF のプロジェクトのプラットフォームとして採用され、多くの台数が導入されている。また、知能化に関するソフトウェア開発などにおける標準化など活動も、国を挙げて非常に積極的に行っており、ビジネスにおいて脅威となる可能性がある。
全体コメント： 従来日本が優位であった、自律分散、自己組織化などの分野の知能化研究は、欧米のレベルが高まり、リードを許している感がある。また、認識、学習といった基礎理論においても、欧米が圧倒的に強い。 知能化技術開発水準も、日本では実用化・製品化を前提とした開発や、現実の問題解決のための技術開発がまだ弱く、現場主義の技術開発を行う国に対して遅れがちである。 産業技術力については、日本の場合、単にロボット開発と販売といったビジネスモデルが主体であり、非常にスコープが狭い。単に開発、販売するだけでなく、それを使用し、そこで得られたノウハウを開発にフィードバックさせることが重要である。また、システムとして、あるいはサービスとしてのビジネススキームを構築する必要がある。 また、日本は海外と比べ、国の投資の規模が極めて少ない。欧米、韓国、中国では、国が戦略的にロボット技術に大きな予算をつけている。米国では、軍事予算が先導的な役割を果たしているが、それが民生展開することを考えると、技術開発において大きな優位性を持つ。日本の場合、きわめて保守的な社会的状況であり、投資においてのみならず、安全面や制度的な問題などあり、開発された知能化技術が産業応用に展開することが困難な状況である。国の戦略的な重点化、規制や特区など、政策的な制度設計を行うなど、早急な対策が急務である。				

(参考情報)

[1] http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向]

(8) センシング・認知

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	↑	顔認識技術は、90 年頃から行われてきた辻研究室（阪大）における研究が世界を先導してきており、米国にて実用レベルに引き上げられた実績を有する。1msec（ミリ秒）ビジョン技術は、画像認識のアルゴリズムを飛躍的に簡便化したパラダイムシフトの技術であり、石川正俊教授（東大）らが先駆的に開発を行うとともに、国内の各機関に波及し、日本は世界トップレベルを維持している [1]。一方、センサシステムの開発では、既存のアルゴリズムを駆使し、それらを統合するプログラム開発が必要であるにも係らず、そういったプログラムを書ける研究者が少ない等、研究の広がりには偏りが見られる。
	技術開発水準	◎	↑	リアルタイム音源分離技術は、離れた位置から話しかけられるロボットにとっては重要なセンシング技術である。猿渡洋教授（奈良先端大）らのグループが開発し、神戸製鋼が製品化していることは注目に値する [2]。
	産業技術力	◎	↑	フォトロンは 1msec ビジョンを支えるハイスピードカメラを製品化しており、1msec をはるかに上回る、120,000FPS の製品も市場投入している [3]。北陽電機のレーザーレンジファインダ（LRF）[4] は海外の従来品に比べ小型高性能化されており、国際的競争力を持つ。 住友精密工業のジャイロセンサ [5] は小型・高精度であり、高い技術力を持つ。 オムロンの顔認識技術は、ワンチップにより、顔検出、顔認証、年齢推定などを行うことができ、高い技術力を持つ [6]。Nintendo Wii の加速度センサ内蔵コントローラ、圧力センサ内蔵バランスボードは安価かつ高性能であり、ロボットの IF としても応用されている [7]
米国	研究水準	◎	→	小型（ユビキタス）センサネットワークシステムは Smart Dust プロジェクトによる MICA[8,9]、SunMicro Systems による Sun SPOT[10] に一日の長がある。
	技術開発水準	◎	↑	DARPA のグランドチャレンジは、様々な技術の有用性を確かめる実証試験であり、レーザーレンジファインダを用いた自動走行システムを短期のうちに確立したことから意義深い [11]。米国の技術開発は課題先導型であり、長期に渡り粘り強く資金投入ならびに技術開発を行い、確実に技術レベルを向上していることに特徴がある。
	産業技術力	◎	→	質の高いモーションキャプチャ技術を先導してきていることは特記に値する。アニメーションを作成するための 3D モデリング技術として実用化に結びついている。 さらには、Microsoft の Kinect（非拘束型三次元計測技術により、体の動きを認識する新しい入力インタフェース）[12] は、低価格で高い性能を誇る。本技術はコードされたランダムドットを赤外線照射し、三次元計測する方式であり、高い安定性を誇る。要素技術はイスラエルのベンチャー企業 [13] が提供している。ネットワークカメラ技術を普及させてきたことも特記に値する。BMI の研究においても先導的である。元々は負傷兵のケアが開発動機であるが、おもちゃとの IF として安価なものも [14] 登場しており、今後の波及効果が期待される。
欧州	研究水準	△	↓	特筆すべきものは見受けられない。
	技術開発水準	△	↓	特筆すべきものは見受けられない。
	産業技術力	○	→	高速な 3D 画像センサである Swiss ranger（MESA Imaging 社）[15] は注目に値する。
中国	研究水準	△	→	特筆すべきものは見受けられない。しかしながら、今後の動向について要チェックである。
	技術開発水準	△	→	特筆すべきものは見受けられない。
	産業技術力	△	→	特筆すべきものは見受けられない。
韓国	研究水準	○	↑	MEMS を応用した温度制御ディスプレイが KAIST により開発されている [16]。お札の特殊インクに反応して真偽を見分ける技術であるが、ロボット用センサとしての応用が考えられる。
	技術開発水準	○	↑	特にイノベーティブなセンサ開発の動向は見受けられないが、通常のセンサ開発技術は日本に引けをとらないものとなっている。
	産業技術力	○	↑	自動車の安全規制の制定により、MEMS を応用した自動車安全技術（横滑り防止システム、タイヤ空気圧監視システム等）が日本の技術移転を元に開発が進んでいる [17]。
全体コメント： 上記にはカナダのカテゴリがないが、カナダ Point Grey 社の Digiclops はステレオビジョンの技術として優れている。				

(参考情報)

- [1] 東京大学石川小室研究室：<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>, <http://www.youtube.com/user/IshikawaLab>
- [2] 稗方孝之, 森田孝司：リアルタイム音源分離技術,：http://www.kobelco.co.jp/technology-review/pdf/56_1/076-076.pdf, <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20051024/110043/?ST=print>
- [3] フォトロン：<http://www.photron.co.jp/>
- [4] 北陽電機：<http://www.hokuyo-aut.co.jp/>
- [5] 住友精密工業センサ：<http://www.spp.co.jp/category/sensor.html>
- [6] オムロン顔画像センシング技術：<http://www.omron.co.jp/ecb/products/mobile/index.html>
- [7] 任天堂 Wii：<http://www.nintendo.co.jp/wii/>
- [8] Smart Dust Project: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>,
- [9] Tiny OS: <http://www.tinyos.net/>
- [10] Sun SPOT: <http://www.sunspotworld.com/>
- [11] DARPA GRAND CHALLENGE: <http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp>
- [12] Microsoft Kinect: <http://www.xbox.com/ja-jp/kinect>
- [13] PrimeSense, <http://www.primesense.com/>
- [14] ThinkGear (NeuroSky), <http://www.neurosky.com/>
- [15] MESA IMAGING, <http://www.mesa-imaging.ch/>
- [16] 韓国 KAIST, 温度制御ディスプレイや偽札検知用の嗅覚センサを開発, <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080225/147978/>
- [17] 自動車向け MEMS センサ市場が 2010 年過去最高に, <http://www.isuppli.co.jp/pdf/IS06-PR233J29Nov.pdf>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(9) 移動技術

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	↘	それなりに活発に研究されているが、移動技術にフォーカスしている研究グループの層は厚くないため、相対的には存在感が低下している。また、国際的な共同研究や行き来が減っており、世界の研究の趨勢から取り残されるおそれを感じられる。
	技術開発水準	○	→	近年、レスキューシステムやプラントメンテナンスを目的として、現実的な移動メカニズムが開発されている。また、市民がいる市街地を移動ロボットが自律的に目的地まで走行する「つくばチャレンジ」は参加チームが多く活発であり、我が国のものづくりベースの開発の実力を発揮すると同時に底辺の拡大が図られている。しかし、世界をリードしていた4脚歩行や2足歩行などの多脚歩行技術は、軍用予算が投入され、積極的に開発が行われてきた米国に、完全に追い抜かれてしまった。
	産業技術力	◎	↘	クリーンルーム内の無人搬送システムなど知能化されて移動ロボットシステムについては、先端にはいるが、他国の追い上げが厳しい。
米国	研究水準	◎	→	SLAM(simultaneous localization and mapping) など、移動体の自律化技術については、Stanford 大が世界の先端におり、実用化と重なった研究が進められている。また、イモリの仕組みを真似ることによって、ガラス面を垂直に登ることを可能にした StickyBot[1] など、かつての日本のお家芸であった Bio-inspired Robotics の研究も、完全に米国に先を越されてしまった。
	技術開発水準	◎	→	新しい移動のメカニズムのアイデアの実用化については、世界的に限界に達している感がある中、軍事に関連した試みや試作が活発。特に、BostonDynamics 社が開発した、不整地を安定して走行できる Big Dog や、同様の技術を2足歩行に展開した PetMan は、異次元の安定した多脚歩行を実現している [2]。さらなる高度化を狙って、BostonDynamics ならびに MIT で開発が開始された [3]。
	産業技術力	○	↗	i-Robot 社や Willow Garage 社など、移動ロボット技術を中心とした製品化の試みが多数行われており、着実に活発化している。
欧州	研究水準	◎	→	ドイツ、フランスを始め。イギリス、イタリア、スペイン、スウェーデン、オランダにもレベルの高い研究グループがあり、ヨーロッパ共同体によるいくつかの研究プロジェクトのアクティビティも高い。自律的な移動ロボット技術は、環境認識等を中心として、Cognitive Robotics の一分野として活発に研究されている。
	技術開発水準	○	→	自律的な移動システム（市街地での移動や自動車の自律化など）については、着実な開発と実験が積み重ねられており、研究成果を製品に結びつけるいくつかの成功例がある。
	産業技術力	○	↗	移動ロボットプラットフォームについてはビジネスも成立している。
中国	研究水準	△	↗	研究としては、台湾と香港が世界的にビジブル。中国本土では国際会議が頻繁に開催されており、研究の層が厚くなっていることを感じさせられる。近年、米国で活発に研究を担っている若手研究者が移籍（とくに香港に）する例が増えており、今後の研究活発化が予想される。
	技術開発水準	△	↗	中国本土については、インターネット等に話題が出る程度で、実力は不明であるが、その頻度は上がっている。
	産業技術力	△	↗	台湾では活発で技術レベルは高い。中国本土においても、東方電機や我が国との合弁企業などで、移動ロボット技術に対する期待が大きくなっており、要素部品についてはキャッチアップされつつある印象。
韓国	研究水準	○	↗	国家プロジェクトとして、しっかりと移動技術が取り上げられており、活発で地道な研究が進められている。
	技術開発水準	○	↗	家庭内等で働くサービスロボットに向けた研究開発が盛ん。研究の層は厚い。
	産業技術力	○	↗	ロボットをビジネスにしようという意識が高く、大企業からベンチャーまで多くの企業がいろいろな試みを行っており、技術力の進歩は著しい。移動ロボット関係では、軍用ロボットも実用化が行われており、iROBOT 社などの軍用ロボットと遜色ない性能を有している模様である。ロボット事業のトップダウン型産業化支援と、企業からの公募によるボトムアップ型事業に本年度から3年間で100MillionUS\$（本年度は30Million US\$）を支出することが決定されており、この中に軍用ロボット、農業用ロボット、消防ロボット、パイプ検査ロボットなどの移動ロボットの事業化支援も含まれている [4]。
全体コメント： 移動技術のうち、荒地や階段等のための移動メカニズムについては、未だ完成とはいえないまま、一通りのアイデアが出きったと言う印象。研究としても、一部のアプリケーションに対しては、いかに現実の問題に適用するかというフェーズに入っている。 かつて日本が得意だった、Bio-inspired Robotics の流れを汲んだ新しい移動メカニズムの開発が特に米国で活発であり、異次元の展開をしている。日本は、従来得意としてきた移動メカニズムの設計において、最新の技術を駆使した科学的なアプローチができない状況に陥っていると思われる。 移動に伴う知能の問題として、環境認識と自己位置推定を同時に行う SLAM(simultaneous localization and mapping) の問題が90年代の終わりに定式化され、理論的なアプローチと、実センサで実環境を対象としたシステム化の研究が進められてきた。この分野については、とくに理論的な面で我が国の存在感は小さい。一方、その内容が2次元から3次元に広がったことで実用化や産業化が急速に進み始めており、我が国もこの流れに取り残されないように注意する必要がある。				

(参考情報)

- [1] <http://bdml.stanford.edu/twiki/bin/view/Rise/StickyBot>
- [2] http://www.bostondynamics.com/bd_index.html
- [3] <http://web.mit.edu/sangbae/www/research.html>
- [4] <http://www.mke.go.kr/news/bodo/bodoView.jsp?pCtx=1&seq=66105>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(10) マニピュレーション

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	○	→	立命館大学における柔軟な物体のハンドリング [1] や、東京大学におけるハイスピードビジョンを用いた高速マニピュレーションに関する研究 [2] など、優れた研究もあるが、組織的な動きが弱い。また、国外では、計算機の発達によって実装が可能になりつつある未知の物体の把持計画などの重要な研究が、あまり行われていない。
	技術開発水準	○	→	「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」に代表される研究開発プロジェクトが実施されており、2011 年 3 月に終了予定である。その成果を期待したい。一部は、既に Willow Garage[1] にて実現されてしまったものもあり、一層のスピードを期待したい。
	産業技術力	◎	→	産業用ロボットのメーカーの技術力が高い。視覚を用いた物体ハンドリングが市販されており、ステレオビジョンや力制御が開発のターゲットになりつつある。
米国	研究水準	◎	↑	Willow Garage と UBC により乱雑に置かれた布を折りたたみ整理するロボットが開発されている [1]。ロボットビジョンにより布の変形や重なりを認識し、両腕のロボットが布の把持と折りたたみを実行する。その他、視覚を用いたマニピュレーションではコロンビア大学、動的な物体操作ではノースウェスタン大学、触覚を用いたマニピュレーションではスタンフォード大学が研究の中心になっている。センシングとマニピュレーションの統合において、確率的な表現が導入されている。
	技術開発水準	◎	↑	大学の研究成果が米国内外において実用化されている。
	産業技術力	○	↑	Barrett Technology[4] など、高機能なアームとハンドを市販している企業、Willow Garage などロボットの標準ソフトウェアを提供する企業など、新しい企業が新しいコンセプトを提供し始めている。
欧州	研究水準	○	↑	DLR、ピサ大学、モンペリエ大学等で、マニピュレーションに関する研究が盛んに進められている。視覚を用いたマニピュレーションに関する研究が、EU のプロジェクトとしてスウェーデン王立大学、カールスルーエ大学、ミュンヘン工科大学等で進められている [5]。センシングとマニピュレーションの統合において、確率的な表現であるベイジアンネットワークが導入されている。
	技術開発水準	◎	↑	DLR におけるハンドや制御の研究成果など、新しい成果が産業界に導入されている。
	産業技術力	◎	→	産業用ロボットのメーカーの技術力が高い。視覚や力制御を用いた物体ハンドリングが開発のターゲットになりつつあり、KUKA を中心に高い技術力を有している。また、Shadow Robot Company[6] や、Schunk[7] などのように、積極的に技術開発を行い、高機能ハンドの販売を行う会社も登場している。Schunk は、EU のプロジェクトに積極的に参加し、研究機関から技術導入を進めるなど新規技術の導入に積極的である。現時点では市場が見込めないサービスロボット用のハンドを実用化していることは興味深い。
中国	研究水準	○	↑	華中科学技術大学、天津大学、瀋陽自動化研究所等で、ロボットハンドやマニピュレーションに関する研究が進められている。
	技術開発水準	△	↑	マニピュレーションまで、まだ技術開発が進んでいない印象である。
	産業技術力	○	↑	台湾企業が中国に進出し、産業用ロボットの内部製化を開始した模様である。また、SIASUN も各種ロボットの販売を開始している [8]。ロボットの利用が進むにつれて、今後マニピュレーション関係の事業化も進むと思われる。
韓国	研究水準	○	→	KITEC (Korean Institute of Industrial Technology) などにおいてロボットハンドの研究が行われているが、特筆すべき成果はまだ出ていない。
	技術開発水準	○	↑	特筆すべき成果は出ていないとの印象を持つ。
	産業技術力	○	↑	特筆すべき成果は報告されていないが、SAMSUNG など産業用ロボットの事業化も進んでおり、それなりの開発は行われているように思われる。
全体コメント： マニピュレーションに関して確率的な表現を導入する研究が、米国と欧州で増加している。マニピュレーション分野におけるセンシングや対象物の不確定性を表現するために、確率的な表現や推論の重要性は高まると考える。				

(参考情報)

- [1] <http://www.ritsumei.ac.jp/se/~hirai/>
- [2] <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/index-j.html>
- [3] <http://www.willowgarage.com/>
- [4] <http://www.barrett.com/robot/products-hand.htm>
- [5] <http://www.csc.kth.se/grasp/>
- [6] <http://www.shadowrobot.com/>
- [7] <http://www.schunk-modular-robotics.com/left-navigation/service-robotics/components/actuators/robotic-hands.html>
- [8] <http://www.siasun.com/>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(11) アクチュエータ・メカニズム

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠等
日本	研究水準	◎	→	多種のニューアクチュエータ（形状記憶合金、機能性流体、静電アクチュエータ、熱膨張利用、等々）、機構と一体となったアクチュエータ（圧電アクチュエータの振動駆動、減速機と一体化した電動ワブルモータ、ミニチュアロボットメカニズム）等、多様な新原理のアクチュエータ研究が多くの研究者により進められている [1]。極低温 / 高温、高真空等特殊環境で動作するアクチュエータ研究が始まっている [2]。レアアースを用いない高出力モータの研究が大学および企業で進められている [3]。
	技術開発水準	◎	→	建設機械用のハイブリッドアクチュエータ（油圧と電動のハイブリッド）、電動アクチュエータの開発が進んでいる [4]。日本はハイブリッド自動車で先行し、トヨタやホンダによりモータの研究に投資がされ、この分野の研究が大きく進展した。
	産業技術力	◎	↘	電動モータ、特に高精度の産業用サーボ機構については、日本のサーボモータ技術は世界に高い優位性を持つ [5]。大型モータに関しては、TECO（台湾）グループ（ウェスティンハウスを買収）等の追い上げにより、製造技術の優位性は保ちにくくなってきている [6]。日本が得意としてきたメカトロニクス分野（サーボモータやハーモニックドライブ）では、海外での生産が活発化しており、技術的な優位性が保ちにくくなっている。
米国	研究水準	◎	→	ポリマー人工筋肉、MEMS アクチュエータ、マイクロフライト（羽ばたいて飛ぶ小型飛行ロボット）、化学反応を利用した液圧駆動源等、明確な用途を目指して独自性のあるアイデアに基づいた研究が多い。カーボンナノチューブエアクラウドを用いた大ストローク筋肉は、1,900K の高温下での動作に成功している [7]。
	技術開発水準	◎	→	小型軽量のハイドロフィリックアクチュエーションシステムで、ウェアラブルパワースーツ（軍事用、福祉用）への展開研究が進んでいる [8]。
	産業技術力	○	→	ナノプロジェクトなど、テキサスインスツルメンツの DLP 技術の応用が進んでいる [9]。高分子人工筋肉は大きな展開の動きは見られない模様。
欧州	研究水準	◎	→	EU のプロジェクトでは、ロボットの対人安全性向上を目指す目的で剛性可変型のアクチュエータの研究がオランダの Twente 大で進められている。[10]。従来、小型電磁モータと圧電アクチュエータの研究が中心であったが、近年、ポリマーアクチュエータ、超磁歪アクチュエータ、機能性流体利用、形状記憶合金利用、等多様化している [11]。
	技術開発水準	○	↗	ポリマーアクチュエータの実用化を目指した研究が民間企業で始まっている。マイクロ流体デバイス、医用応用を大きなターゲットにしている [11]。宇宙用アクチュエータと医療用アクチュエータに関する研究が進められている [11]。
	産業技術力	◎	→	KUKA の軽量アーム（人間環境下で使われる）が実用化されているが、このアームに使われている電動アクチュエータは特筆すべき特性を持つ。重量当たりの出力がきわめて高い。現在の軽量アームは 7kg 可搬である。汎用の小型サーボモータは欧州が圧倒的に強い。品種も多い。ドイツの DLR を中心にアクチュエータの研究開発が進められており、ここで開発された技術が産業応用につながっている [12]。価格は高い。
中国	研究水準	○	↗	圧電アクチュエータの材料および応用研究が積極的に進められている [13] が、日本の模倣研究も多く、オリジナリティの高い研究例は少ない。
	技術開発水準	○	↗	生産技術の急速な進展。中国の瀋陽の会社に国が中国最大のロボット研究施設を設置 [14]。
	産業技術力	○	↗	従来日本が優位性を持っていたハーモニックドライブは中国でも生産されている [15]。生産技術の急激な発展とともに、電磁モータの生産が急増している。圧電アクチュエータも積極的に取り組まれている [13]。
韓国	研究水準	◎	↗	電磁アクチュエータ、圧電アクチュエータ、形状記憶合金アクチュエータ、ポリマーアクチュエータ、静電アクチュエータ、MEMS アクチュエータ等、多様なアクチュエータの研究が、研究機関や大学で進められるようになった [16]。
	技術開発水準	○	↗	ロボット用のモータに関しては、サーボモータに関する国家プロジェクトが韓国で始まっているようである [17]。PIRO（浦鋼知能ロボット研究所）では、様々な産業応用を目指したロボットについて、実用化を前提に幅広く開発を進めている [18]。
	産業技術力	○	↗	Robo-1 用（コンテスト）に作られているロボット用アクチュエータは、韓国製が席巻している [19]。超音波モータに関しては、カメラのレンズ駆動、手振れ補正など、カメラへの搭載、実用化が進んでいる [20]。

全体コメント：

生産技術の進歩により、価格面で競争力を持った、韓国、中国のモータをはじめとするメカニズムハードウェアに関する産業技術力が大きく進展している。日本が得意としてきたメカトロニクス分野（サーボモータやハーモニックドライブ）では海外での生産が活発化しており、技術的な優位性が保ちにくくなりつつある。ロボットの産業技術力の競争はいかにロボットを安く作れるかが勝負のポイントの一つになっており、今後、モータ、サーボ技術、ロボットの生産が大きく海外にシフトすることが懸念される。

一方で、ハイブリッドカーや電気自動車用に開発されたアクチュエータ周辺技術、高性能サーボモータ、特殊環境用モータ等、高性能アクチュエータに関しては世界の先陣を切った研究開発が日本で行われている。これら優れたハードウェアに関する要素技術の育成は、「ロボット大国」トップの座を維持する「カギ」の一つとなりうる。

(参考情報)

[1] T. Higuchi, K. Suzumori, S. Tadokoro, ed., Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs, Springer, Jan. 2010.

[2] 第 28 回日本ロボット学会学術講演会，展開セッション「次世代ロボットアクチュエータ」(2010-9)

[3] 例えば，開発進むレアアース不要の高出力モーター，日本経済新聞 2010/5/17

[4] 例えば，<http://www.komatsu.co.jp/hybrid/top.html>，<http://mechanical-tech.jp/node/1895>

[5] 例えば，<http://www.e-mechatronics.com/promotion/sigma5special/index.html> (安川電機の Σ - V シリーズ)

<http://www.ea-thk.com>，<http://www.jp.nsk.com/products/precisionmachine/megatorque/#tab2>

[6] <http://www.tecowestinghouse.com/>

[7] Giant-Stroke, Superelastic Carbon Nanotube Aerogel Muscles, Science 20, March 2009.

[8] Berkeley Bionics 社 [<http://berkeleybionics.com/>]，Raytheon 社 [<http://www.raytheon.com/>]

[9] <http://www.dlp.com/jp/>

[10] IEEE ICRA, ThA2.4, ThA2.5, May, 2010

[11] International Conf. and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, June 2010

[12] <http://www.dlr.de/en/desktopdefault.aspx>

[13] 例えば，china piezoelectric で検索

[14] 新松 (siasun) <http://www.siasun.com/default.aspx>

[15] Hanzhen Tech Co Ltd.

<http://www.made-in-china.com/showroom/hanzhentech/product-detailZMKxkQIJVTpf/China-Harmonic-Drive-XB1-.html>

[16] KAIST <http://www.kaist.edu>，KIST <http://www.kist.re.kr/en/iv/sy.jsp>

Electronics and Telecommunication Research Institute <http://icc.skku.ac.kr/eng/home.htm>

[17] Ministry of Knowledge Economy

[18] <http://intra.piro.re.kr/eng/sub01/no4.html>

[19] <http://www.e-clec-tech.com/>，<http://www.arrickrobotics.com/>

[20] <http://www.piezo-tech.com/eng/>

(註 1) フェーズ [研究水準：大学・公的機関での研究レベル、技術開発水準：企業における研究開発のレベル、産業技術力：企業における生産現場の技術力]

(註 2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註 3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

2.6.3 注目すべき萌芽的技術動向

(1) BRICS

BRICS (Best Practice in Robotics) は、ロボット製造業と大学がコンソーシアムを作って推進する産学連携プロジェクトである。ロボットの開発プロセスを構造化・定式化し、開発用のツール、モデル、機能ライブラリを提供することで、ロボットの開発プロセスを加速することを目指す。欧州の第七次枠組みプログラム (FP7) から 5 年間 (2009-2013) で 775 M ユーロ (約 850 億円) 支援を受ける [1]。

日本でも、NEDO による次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト (2005-2007) 等での共通技術基盤の開発、戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト (2006-2010) [2], 基盤ロボット技術活用型オープンイノベーション促進プロジェクト (2008-2010) [3] における実用化加速などや、ロボットミドルウェアの国際標準化に向けた取り組みが行われてきた [4]。

この共通プラットフォーム開発の動向に関連して、米国では、Willow Garage 社が ROS (Robot Operating System) を開発し、公開しており、同社のロボット研究開発プラットフォーム (PR2) とともに、ロボット技術開発の共通基盤作りで一歩進んでいる点に注意が必要である。日本や欧州が公費を投じて技術の標準化の議論をしている間に、投資家から圧倒的な資金を確保し世界中から有能な人材を集める同社が、このロボット技術のデファクトスタンダードを形成してしまう可能性がある。

(参考情報)

[1] BRICS is a joint research project funded by the European Commission ICT Challenge 2 under grant number 231940; <http://www.best-of-robotics.org/>

[2] <https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/koubo/EP/nedokoubo.2008-05-12.6374053508/>

[3] http://www.nedo.go.jp/informations/koubo/180718_2/180718_2.html

[4] http://www.nedo.go.jp/informations/press/181006_1/181006_1.html

(2) NRI(National Robotics Initiative)

米国では、ロボットをインターネットに続く産業として育成すべく、Next-Generation Robotics and Manufacturing Research に 対 し て、”*lay the groundwork for the Industries and Jobs of the Future and a Renaissance in American Manufacturing*” という目標を掲げ、2012 年度予算要求に 377 Million US\$ を組み込んだ。本予算は、Down Payment であり、今後、さらなる投資が予定されている [1]。

この予算要求の中で、NSF には総額 30 Million US\$ の予算が National Robotics Initiative (NRI) として組み入れられており、NASA、NIH (National Institute of Health)、USDA (US Department of Agriculture) とともに、次世代ロボットの開発を目的とした研究と教育において、米国にリーダーシップをとらせると述べられている。2011 年 3 月時点での NSF 関係者からの情報によると、NRI は既に 2011 年から開始されており、2011 年度にも同額の予算が組み込まれているとのことである。30 Million US\$ は、NSF 単体の予算であり、NASA、NIH、USDA の予算を合わせると、NRI 関係予算は年間 100 ～ 150 Million US\$ に上るのではないかとのことである。

米国 Georgia Institute of Technology の Henrick Christensen 教授らが 2009 年に出した、”A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics” に基づくもので、最終的にどのような研究開発が行われるか現時点では明らかでないが、産業を牽引するためのロボット技術につながる研究開発である。

(参考情報)

[1] ”A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics”, The Computing Community Consortium (CCC), May 21, 2009, <http://www.us-robotics.us/>

[2] <http://robotland.blogspot.com/2011/02/us-377-million-in-next-generation.html>

(3) Servitization

韓国 MKE (Ministry of Knowledge Economy) [1] は、知能ロボットを 17 の Growth Engine の一つとして位置付け、その担当部署を Division に格上げした。2009 年度は研究開発に 54 Million US\$ (約 54 億円) の投資を行った。本年度は、研究開発にさらに 20 Million US\$ を上乗せし、74 Million US\$ (約 74 億円) を投じる予定であると言われている。これに加え、教育 (中学、高校用)、配管検査、消防、産業用ロボット、軍事、医療サービス用ロボット、農業用ロボットの 7 分野でのロボット事業のトップダウン型産業化支援と、企業からの公募によるボトムアップ型事業に、本年度から 3 年間で、100 Million US\$ (本年度は 30 Million US\$) を支出することが決定された [2]。本スキームは、海外へのビジネス展開のための支援も含まれているようである。

日本ではあまり注目されていないが、教育用ロボット (幼稚園用) は Edutainment (Education+Entertainment) 用ロボットに分類され、昨年、韓国内の 1,000 カ所の幼稚園に導入されている。試験運用の結果が良好であったので、本年度さらに 2,000 カ所を追加、合計 3,000 カ所の幼稚園でロボットが試験運用される予定である。尚、韓国の幼稚園の総数は約 8,400 カ所である。教育用ロボットはコンテンツの準備が重要であるが、Edutainment 用ロボットのコンテンツ開発も、昨年 12 月末までに既に約 10,000 コンテンツが準備され。本年度はさらに 30,000 タイトルを追加予定である [3]。当然ではあるが、開発されたコンテンツは標準化されていて、どのロボットでも利用できる。韓国のロボット事業の産業化支援プロジェクトでは、MKE の戦略に従って MKE から各省庁に予算が配られ、各省庁はロボットユーザーを直接支援することによってロボットビジネスの立ち上げを狙っているのが特徴である。ロボットによる新しいサービスをシステムとして社会に組み込むことを、韓国では Servitization とよんでいる。

(参考情報)

[1] <http://www.mke.go.kr/language/eng/>

[2] <http://www.mke.go.kr/news/bodo/bodoView.jsp?pCtx=1&seq=66105>

(4) コミュニケーションロボット (デンマーク, 米国, 韓国)

コミュニケーションロボットの研究開発で重要なのは、人とロボットが現実の場面で関わる状況を作り、その中で、真に解くべき問題を見つけることである。研究者が意図的に設計した研究室内での実験環境では、実用化への道筋もそこにある基本問題も見つけることが難しい。すなわち、いかなる形であっても、実社会での利用を推進しながら研究を進める必要がある。このようなコミュニケーションロボットの研究開発には、以下の事例が挙げられる。

- ① 高齢者のコミュニケーション支援
- ② 人の存在を代行する遠隔操作型コミュニケーションロボット
- ③ 子供の教育支援

高齢者のコミュニケーション支援については、高齢者支援で世界トップのデンマークの動きが注目される。デンマークでは高齢化対策として、ロボットの導入を決めているが、そのロボットは自国で開発するのではなく、ほとんどは日本等の外国からの輸入を想定している。すなわちデンマークは、自国をロボットや情報システムを用いた高齢者支援の実証実験の場にしようとしている。そして、そこでロボット利用のノウハウをため、新たなビジネスモデルを世界に発信していくと考えられる。日本のロボット研究の幾つかも、このデンマークでの実証実験に早期に参加するが、デンマークを介して日本のロボット技術を世界に普及させるというのは、重要な活動の一つになるだろう。

人の存在を代行する遠隔操作型コミュニケーションロボットについては、アメリカ

ですすでに実用が始まっている。アメリカの InTouch Health 社は、ホームドクターが病院で患者の検査に立ち会うために利用する、遠隔操作型ロボットのレンタルをすでに開始し、実際のビジネスを展開している。ホームドクターは、患者を検査設備のある病院に送るとともに、自分は遠隔操作ロボットに乗り移り、検査に立ち会う。これにより頻繁に病院を訪れる必要がなくなるため、診察はより効率的になる。同社はすでに数百台のロボットをレンタルしている。

同様のロボットは、実際のオフィスでも使われている。アメリカ、サンフランシスコのウィローガレージ社では、テキサスに住む社員が遠隔操作型ロボットを使って会社で働いている。ソフトウェア開発が主な仕事であり、ロボットを使って会議に参加すればあとは自宅で十分に仕事ができる。このロボットは、移動台車にモニタをつけた簡単なもので、言わば、自由に移動できるテレビ会議システムのようなものである。しかし、このように一旦実用化が始まれば、技術開発に拍車がかかり、より高度な機能、より自律的な機能を持つロボットに改良されていくことは明らかである。このアメリカで始まった実用化は、人と関わるロボットを世の中に広げ、より多くの研究者の注目を集めることは間違いないだろう。

子供の教育支援については、韓国が最も力を入れている。人と関わるロボットの後発である韓国では、焦点を絞った研究開発をしているとも言える。韓国の特徴は、国が戦略的に研究開発を先導している点である。国から豊かな研究開発費を見込みのあるグループに集中投資することで、日本やアメリカに負けない技術開発を行うとともに、さらには実用化レベルにまで、技術水準を引き上げようというものである。これは日本も見習うべき点である。

米国では 100 億円単位のキャピタルがベンチャーに投資され、大企業に負けない製品やサービスがベンチャー企業においても開発できる体制がある。韓国はこのベンチャーキャピタルの役目にある意味、国が担っている。しかしながら、日本の場合には、そのような仕組みがない。故に、日本はロボットそのものの技術開発には長けていても、結局は、アメリカをはじめとする外国が作ったマーケットを後追いするしか無く、世界を先導することができなくなる可能性がある。日本がロボット技術で世界を先導するためには、国の資金の投資方法等を再度考え直す必要があろう。

(5) 特殊環境／軽量高出力アクチュエータ

日本のアクチュエータ・メカニズム技術の進む方向性の一つとして、特殊環境用がある。高真空／高圧、超低温／高温、強磁場、等々、特殊環境下で円滑に動作するアクチュエータ研究が日本で始まっており、今後国際的な優位性を示せる可能性が高い。このような特殊環境で動作するアクチュエータが実用化されれば、例えば、宇宙探索ロボット、火災／火山活動用レスキューロボット、物性科学、材料科学におけるマニピュレータ、等のロボット技術開発にとって大きな強みとなりうる。

また、日本では、HAL のような従来型のアクチュエータを用いた装着型ロボットシステムの開発が進められているが、米国では、ハイドロリックアクチュエータ（液圧駆動装置）を用いた、強力な装着型ロボットシステムが軍や福祉用途に開発が進んでいる。Berkeley Bionics が開発した HULC(Lockheed Martin に技術移転) や、Reytheon の XOS 2 Exoskeleton 等、既に研究開発成果が出始めているため、産業応用にも注意が必要である。

(参考情報)

[1] http://www.raytheon.com/newsroom/technology/rtn08_exoskeleton/

[2] <http://www.lockheedmartin.com/products/hulc/>

(6) Microsoft 社 Kinect

昨今のクラウドコンピューティング技術の発達にともない、並列計算の技術やメモリを多く使用する技術など、今まであきらめられてきた“凝った”技術がリバイバルする可能性がある。プロセッサ単体も高性能化しており、ビジョン技術を適用しやすくなってきている (e.g. 粒子フィルタ)。プロセッサを使い切れるようなプログラミング能力が問われつつあるにもかかわらず、日本ではこうした技術の育成が進んでいない傾向が見受けられる。

Microsoft 社 Kinect[1] のハードウェアは、イスラエル PrimeSense 社の OEM であり、人認識技術が Microsoft によって強化され商品化に至っている。IT に秀でているイスラエル、インドの技術動向についても、今後、監視していく必要があるとともに、world wide な協業により、新たなセンサデバイスの開発が促進されることが期待される。

(参考情報)

[1] <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>

(7) System of Systems の研究

現実に役立つフィールドロボットシステムの研究開発には様々なチャレンジが必要である。実際の課題に対処してシステムを実現するには、問題の解析や、それに対処するための新しい理論も必要となり、基礎研究からビジネス化まで、広い視野により新しい分野を構築する気構えがベースとなる。この視点で、米国や欧州・オーストラリアで、フィールドロボットを指向性した大型のプロジェクトが進められている。

これは、世界的なロボット技術によるソリューションビジネスの流れと重なるところが大きい。

一方、日本では、個別の技術はあるが、全体に小さくまとまる傾向が否めず、ロボットが固有の技術におさまって、一つの技術カテゴリに閉じている感があり、大きなチャレンジに発展する例があまり見られない。我が国でもロボット研究を System of Systems の発想に展開することが必要であろう。

(8) Chembot

要素技術からではなく、ロボットの概念から出てくる興味深いチャレンジが始まっている。

Chembot は、体を自由な形に変えられる柔らかいボディーにより、隘路を抜けたりと、どこにでも行けるロボットの実現を目指している。これは、DARPA の提唱 [1] に端を発しているが、米国内に限らず韓国等にもプロジェクト (Kyu-Jin Cho, Seoul National Univ.; morphing chemical robots) がある。

日本の研究開発における発想や柔軟性の乏しさに警鐘が鳴らされる一例ともいえよう。

(参考情報)

[1] <http://www.darpa.mil/dso/thrusts/materials/multifunmat/chembots/index.htm>

付 録

海外の政策動向

米国

米国のイノベーション政策において電子情報通信分野における研究開発は、重要な位置を占めている。2011 年 2 月に改定された「米国イノベーション戦略」では、2009 年版同様「先端情報技術エコシステムの展開」が、イノベーション基盤への投資対象として重視されており、重点項目として① IT エコシステム創設のための総合戦略の展開、②高速インターネットへのアクセス拡大への取り組み、③配電網の近代化、④高付加価値利用のための無線スペクトルの利用範囲拡大、⑤サイバースペースの保護、が挙げられている。

米国における電子情報通信分野における研究開発は、大統領イニシアティブの下、連邦省庁横断型プログラム「ネットワーキング・情報技術研究開発（NITRD: Networking and Information Technology R&D）」として戦略的に取り組まれている。20 年目を迎えた NITRD はコンピューター、情報通信、ソフトウェアにおけるパラダイムシフトを目指しており、以下の 8 つの研究対象領域（PCA: Program Component Area）を優先投資分野としている。（1）HEC I&A: ハイエンドコンピューティングの基盤とアプリケーション、（2）HEC R&D: ハイエンドコンピューティングの研究開発、（3）CSIA: サイバー・セキュリティ及び情報保護、（4）HCI&IM: ヒューマン・コンピューター・インターフェース及び情報管理、（5）LSN: 大規模ネットワーキング、（6）SDP: ソフトウェアの設計及び生産性、（7）HCSS: 高信頼ソフトウェアとシステム、（8）SEW: IT が及ぼす社会、経済、労働力への影響及び IT 人材育成

緊縮財政下の 2012 年度予算案における NITRD は、対 2010 年度実績比 2% 増の 38.68 億ドルが要求されており、これは OSTP・行政予算管理局（OMB）共同で出された 2012 年度科学技術優先事項についての覚書（2010 年 7 月）で、「NITRD を支援する」と明記されたことに符合するものである。2012 年度予算案においては特に（1）膨大な量のデータに基づく価値及び科学的推論能力をより高めるための研究、（2）より安全で信頼性の高いインターネットコミュニケーションを達成するための、確実なコンピューター利用と安全なハードウェア、ソフトウェア、ネットワークデザイン、エンジニアリングの確保、（3）インターネット通信の安全性と信頼度を高めることを目的に、ハードウェア・ソフトウェア・ネットワークのデザイン・設計の基盤作り、の三点が優先項目として挙げられている。NITRD に横断的に関与している 14 省庁における予算配分では、NSF（全米科学財団）、DOD（国防総省）、NIH（国立衛生研究所）、DOE（エネルギー省）、DOC（商務省）が従来通り多くの割合を占めている。

また、2010 年 12 月には大統領科学技術諮問委員会（PCAST）が、NITRD プログラムを検討する報告書を発表している。その中で、NITRD は米国経済の競争力と科学技術分野の発展に多大な貢献をしてきたとし、今後も支出額の拡充と長期的戦略が必要であるとの結論を示した。また、米国競争力に重要な領域として、高性能コンピューター、大型データの分析、ロボティクスセンサーの開発等を抽出し、IT 人材の需要と供給の間に大きな隔たりがあるとして、K-12（幼稚園から 12 年生までの初等・中等教育）教育の根本的な改革と IT 分野の大学卒業生数の増員を提言している。全米研究会議（NRC）も、コンピューター性能に関する報告書を公表し、パラレル・コンピューティ

ングの研究開発を積極的に進めなければ、米国経済の推進力ともなっている情報技術の進歩は失速するであろうとの見解を示している。

【参考】

PCAST 報告書 (2010 年 12 月 16 日)

<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nitrd-report-2010.pdf>

DW 記事 (PCAST 報告書)

<http://crds.jst.go.jp/watcher/data/20110111-006.html>

DW 記事 (NRC 報告書)

<http://crds.jst.go.jp/watcher/data/20110105-002.html>

欧州

2007 年から 2013 年に研究開発へ欧州委員会から投資される資金の総額は 505 億ユーロ (7 年間) となっている。そのうち「共同研究」への助成が 323.65 億ユーロあり、「情報通信技術」への研究に 91.1 億ユーロが配分される予定。また、長期的かつ多額の資金が必要なハイリスク研究で、産業界の支援が明確な領域を優先的に支援する「ジョイント・テクノロジー・イニシアティブ (JTI)」を立ち上げており、その中に、「組み込みシステム」、「ナノエレクトロニクス」が含まれている。

欧州全体の重要な戦略として 2010 年に発表された「Europe 2020」の中には「デジタルアジェンダ」と呼ばれる電子情報通信の戦略があり、今後 EU 各国が取り組むべき重要な課題の一つとされている。

欧州の巨大市場を活用し、公共調達、標準化、規制と連動して新しい需要を創出する「リードマーケットイニシアティブ (LMI)」には、「eヘルス」が含まれている。

「ヨーロッパ・テクノロジー・プラットフォーム (ETP)」では、関連する利害関係者が参画し、特定分野 (現在 30 以上) の研究開発投資戦略を立案しており、その中に、「ナノエレクトロニクス」、「統合衛星通信」、「移動・ワイヤレス通信」、「組み込みコンピュータシステム」、「統合スマートシステム技術」、「ネットワーク化・電子化メディア」、「ネットワーク化・ソフトウェアサービス」、「ロボティクス」、「フォトニクス」などがあり、これらの戦略は参考になる点もある。

英国

英国では 2009 年に、文化・メディア・スポーツ省 (CMS) とビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) から、英国経済にとってのデジタルエコノミーの重要性を明示しつつ情報通信技術 (ICT) 分野の戦略となる「デジタル・ブリテン～最終報告書 (Digital Britain – Final Report)」¹ が発表された。その中では、同分野における研究・イノベーションに関連して、研究会議による「デジタルエコノミー」プログラムにおいて、今後 20 年間で英国がデジタル進化を遂げるための新たな研究とトレーニングのために 3 年間で 1 億 2,000 万ポンドが投資される旨が明記されている。

¹ Digital Britain: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.culture.gov.uk/images/publications/digitalbritain-finalreport-jun09.pdf>

その他、電子情報通信に関連した政府政策文書として、内閣府から 2010 年に発表された「英国政府 ICT 戦略 (UK Government ICT Strategy)」²がある。これは政府・自治体の公的業務のための ICT インフラの整備・改革を中心とした戦略である。

科学技術会議 (CST) が 2007 年に発表した、政府による大規模な取り組みが 5 年以内に利益を拡大させると予想される技術分野には、「e-ヘルス」と「プラスチック・エレクトロニクス」が、更に CST が有望として注目している主要技術として、「広帯域電子通信」、「パーペシブシステム」、「シュミレーション・モデリング」が挙げられている。また CST は 2010 年 11 月、政府に対して「デジタルインフラ (Digital Infrastructure)」と題する書簡を政府に提出し、これまで良い経過をたどってきたブロードバンドのインフラ整備を今後も優先していくべきだ、という提言をおこなっている³。

更に情報通信にかかわる主要インディペンデント・レビュー (政策評価・提言) として、「次世代アクセスへの投資に対する障害 (Caio review of barriers to investment in next generation access)」⁴が 2008 年 9 月に発表されている。これは英国における次世代ブロードバンドの拡大にとって何が障害なのかを調査したレビューである。

英国政府出資の情報通信分野の研究費は、主に工学・物理科学研究会議 (EPSRC)、技術戦略審議会 (TSB)、高等教育資金会議から拠出されている。

EPSRC では、「情報通信技術 (ICT)」プログラムとして研究に 2009 年度は 7,500 万ポンド、2010 年度は 7,050 万ポンドが、トレーニングに 2009 年度は 1,680 万ポンド、2010 年度は 1,530 万ポンドが配分されており、同プログラムへの予算配分は EPSRC 全体予算の 21.2% を占めている。そのうちの研究テーマ別では、コンピュータ科学 25.2%、フォトニクス材料・デバイス 22%、人間と双方向性 21%、電子材料・デバイス 17.6%、通信 14.21% となっている。

また EPSRC の優先研究分野 7 分野のうちの 1 つには「デジタルエコノミー」分野が含まれている。産業指向のプログラムとしての「デジタルエコノミープログラム」には、主導する EPSRC の他、芸術・人文学研究会議 (AHRC)、経済・社会研究会議 (ESRC)、医学研究会議 (MRC) が携わっており、総額で 1 億 2,000 万ポンド (2008-2011 年) が配分されている。

更に、ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) による「科学・研究資金配分計画 (The Allocation of Science and Research Funding)」(2010 年 12 月)⁵で発表された研究会議横断型研究プログラム 6 分野の中にも「デジタルエコノミー」が挙げられており、2011~2014 年の 4 年間に 1 億 2,900 万ポンドが配分されることが明記されている。

TSB では、「エレクトロニクス・フォトニクス・電気システム」および「情報通信技術」を重要技術領域として選定し、助成を行っている。また研究から調達・規制も含めて戦略的なプログラムの推進を検討し実践するイノベーションプラットフォームの 1 つに、

2 UK Government ICT Strategy: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.cabinetoffice.gov.uk/cio/ict.aspx> (情報のみ。同戦略本文等はリンク切れにより閲覧することができない。)

3 Digital Infrastructure: <http://www.bis.gov.uk/assets/bispartners/cst/docs/files/letters/10-1326-digital-infrastructure-letter-to-government.pdf>

4 Caio review: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407010852/http://www.hm-treasury.gov.uk/caio_review_index.htm

5 The Allocation of Science and Research Funding: <http://www.bis.gov.uk/assets/biscore/science/docs/a/10-1356-allocation-of-science-and-research-funding-2011-2015.pdf>

「ネットワークセキュリティー」がある。

ドイツ

連邦研究教育省（BMBF）が発表した「情報通信 2020」は、商品化を視野にいたした産業と公的研究機関の共同研究への助成を行い、具体的な対象分野は、電子、マイクロシステム、ソフトウェア、情報操作、通信技術、通信ネットワークなどで、2007 年～2011 年に 14.8 億ユーロを投資する予定。

主な研究機関は、基礎研究を司るマックスプランク協会、応用研究を主に行うフランホーファー協会、大型研究施設を持つヘルムホルツ協会など多岐にわたる。このうちフランホーファー協会では新しくフランホーファー IZM センター ASSIS（All Silicon System Integration Dresden）を開設し、半導体の研究を行う。また大学における研究拠点を設立するエクセレンスイニシアティブを立ち上げ、情報通信関係の拠点も設立されている。

2010 年 1 月には第 2 回目の先端クラスターとして電子情報に関連する「南西マイクロテック」「ソフトウェア・クラスター」「ルール物流効率化クラスター」が選定された。全部で 5 つのクラスターが選定され 5 年以上にわたり総額 2 億ユーロが投じられる。

電子情報は、2010 年に発表されたハイテク戦略 2020 の中でも、5 つの重点分野のひとつとして位置付けられ、「コミュニケーション」がそれに該当する。

ハイテク戦略の中心的課題として、「コミュニケーション・ネットワークの効率的な保護」「低エネルギー消費でインターネット利用の増加」「世界の知識をデジタルでアクセス、アプローチが可能に」などがある。

フランス

フランスでは、2009 年に研究・イノベーションに関する初めての国家戦略「研究・イノベーション国家戦略（Stratégie nationale de recherche et d'innovation : SNRI）」が策定されており、同戦略において、2009 年から 2013 年までの 4 年間にける 3 つの優先分野が定められている。

同戦略において、情報通信科学技術は、全産業の経済的・技術的中核を担う創造・製造・流通プロセスの刷新を可能とし、イノベーションに不可欠な原動力の一つであるとの認識のもと、「第三優先分野：情報・通信・ナノテクノロジー」として位置づけられており、特に、以下の課題に重点的に取り組むことが謳われている。

- 国際規格への影響力を目的とした、フランスの企業競争力に欠かせない次世代インターネットに関する新たな技術的選択肢の提供
- ハードウェアとソフトウェアの視点を統合した高性能情報アーキテクチャの開発による機能性、利用可能性、信頼性の向上
- 高性能ソフトの開発能力の向上を通じたサービス産業（銀行、メディア、教育）やハイテク産業（自動車、航空）の競争力強化
- ソフトの安全性という社会的・経済的に重要な課題への対応

2010 年、サルコジ大統領が発表した国債の発行を原資とした重要課題に対する総額

350 億ユーロに上る大規模投資「将来への投資 (Investissements d'avenir)」において、「研究・イノベーション国家戦略」の実践として、革新的なデジタル技術活用法や文化的資産のデジタル化などのコンテンツ開発のため、25 億ユーロの投資を行うことを決定した。また、超高速通信インフラ（全国光ファイバー網）整備のため、20 億ユーロが充当される予定。

ロシア

ロシアでは、国家の社会経済発展に寄与することが期待される科学技術分野に、限られた国家予算を重点的に配分することを目的に選定された 8 つの優先的科学技術分野（2006 年 5 月承認）の一つに情報通信システムが挙げられている。また、2009 年にメドヴェージェフ大統領が発表したロシア近代化のための 5 つの優先分野にコンピュータ技術・プログラム及び宇宙・通信技術が取り上げられている。

2006 年に政府決定された連邦目的プログラム（Federal Targeted Program）「2007 - 2012 年のロシア科学技術コンプレックス発展の優先的方向性における研究・開発」（教育科学省が主管）の中で、科学技術優先分野への予算配分、学術論文や特許数、経済効果等の目標指数が明記されている。同プログラムが対象とする優先的研究領域は、ライフサイエンス（Living System）、ナノシステムと材料産業、情報通信システム、天然資源・自然の合理的利用、エネルギー・省エネである。本プログラムで規定されている 2007 - 2012 年の総研究開発費は 1696 億 8800 万ルーブル、うち連邦予算からの支出は 1283 億 9000 万ルーブルである。情報通信システムに関しては、本プログラムの枠内での 2007 年連邦予算からの研究開発費は 8 億 4100 万ルーブルであった。

2007 年には産業貿易省が主管する連邦目的プログラム（Federal Targeted Program）「2008-2015 年の電子部品基盤及び無線電子工学の発展」が政府決定された。今後数年間でロシアにおいて新規に開拓される市場で、かつ外国企業にまだ占有されていない有望な分野として、同プログラムでは以下を取り上げている。

- ・無線周波数識別装置
- ・測位装置
- ・デジタルテレビ技術
- ・軍事・特殊電子部品基盤及び無線電子工学
- ・無線ブロードバンドアクセス装置
- ・航空電子工学
- ・自動車電子工学

そして、電子部品基盤及び無線電子工学の発展を支える重要な技術開発分野として、

- ・超高周波エレクトロニクス
- ・放射線耐久性の高い電子部品基盤
- ・マイクロシステム技術
- ・マイクロエレクトロニクス
- ・電子材料・電子構造
- ・受動電子部品基盤のグループ
- ・規格化された電子モジュール及び支持構造
- ・標準技術プロセス

- ・無線電子システム・コンプレックス作成技術の発展が挙げられている。

本プログラムの総予算は 1870 億ルーブルで、そのうち連邦予算から 1100 億ルーブルとなっている。なお、研究開発費は 990 億ルーブルである（連邦予算から 660 億ルーブル）。

この他、同じく連邦目的プログラムの枠組みで「Electric Russia」（電子政府プロジェクト）の取り組みが行われている。また、2010 年から始動した政府主導の「スコルコヴォ・イノベーションセンター」設立プロジェクト（ロシア版シリコンバレーとも表現される）の中で、コンピュータ技術・プログラムのクラスターが形成される計画で、今後のプロジェクトの進展に注目が集まっている。

中国

中国の科学技術政策は国家中長期科学技術発展計画綱要（2006～2020 年）に基づき展開されている。本計画は、比較的短期間で対応可能な産業技術である「重点領域」、大規模プロジェクトを通じて技術の空白領域を埋めることを目的とした「重大特定プロジェクト」、世界最先端レベルの応用研究課題である「先端技術」と「基礎研究」に分類されている。電子情報通信分野に係る重点分野として掲げられた主な内容は次の通りである。

■ 重点領域

- ・情報産業および近代的なサービス業：近代的なサービス業の情報支援技術および大規模なアプリケーションソフト、次世代ネットワークのキーテクノロジーとサービス、高効率で信頼性の高いコンピュータ、センサーネットワークおよびインテリジェント情報処理、デジタルメディア・プラットフォーム、ハイビジョン大型薄型ディスプレイ、重要システム向けの情報セキュリティ
- ・製造業：設計製造のデジタル化およびインテリジェント化
- ・交通運輸業：I T S
- ・都市化および都市発展：都市の情報プラットフォーム

■ 重大特定プロジェクト：重要電子部品、ハイエンド汎用チップと基本ソフトウェア、超大規模集積回路製造技術、次世代ブロードバンド・モバイル通信

- ・先端技術
- ・情報技術：知能センシング技術、自己組織ネットワーク技術、バーチャルリアリティ技術
- ・先進製造技術：知的サービスロボット

■ 基礎研究

- ・国家の戦略ニーズに基づく基礎研究課題：情報技術の発展を支える基礎科学
- ・重大科学研究計画：量子制御の研究（量子通信の担体と制御原理・制御方法、量子計算・電荷・自転・位相・軌道等に関連する法則及び新しい量子の制御方法、限定された小量子システムの新量子効果、量子制御の特徴・測定の新原理、その他関連する新技術の基礎）

また、中国政府は 2009 年 1 月 14 日から 2 月 25 日にかけて、重要産業の調整・振

興計画を打ち出した。具体的には、自動車、鉄鋼、繊維、設備製造、船舶、電子情報、石油化学、軽工業、非鉄金属、物流の 10 産業で、世界的な経済危機が中国経済にも影響を及ぼすなかで、8%の GDP（国内総生産）成長率の達成に貢献するものと期待されている。

このうち電子情報産業については、温家宝首相が 2009 年 2 月 18 日に召集した国务院常务会议で「電子情報産業調整振興規画」（「電子信息産業調整振興規劃」）が審議され原則的に採択された。会議では、電子情報産業を国民経済における戦略的、基盤的、先導的な支柱産業に位置付けることが確認された。

韓国

韓国では基礎研究を所管する教育科学技術部の「李明博政権の科学技術基本計画 2010 年度施行計画」と応用・開発研究を所管する知識経済部の「新成長動力ビジョン」が基本的な政策となる。電子情報通信分野に係る重点分野として掲げられた主な内容は次の通りである。

○科学技術基本計画 2010 年度施行計画で指定された重点育成技術

- ・ 主力基幹産業技術高度化：知能型自動車商用化研究基盤構築、次世代ネットワーク基盤技術、周波数資源再開発基盤構築、オンライン自動車、次世代情報ディスプレイ
- ・ 新産業創出のための核心技術開発強化：ユービキトス コンピューティング、次世代通信ネットワーク産業技術、SW/ コンピュータ技術、電波放送衛星技術、情報通信メディア産業技術、電子情報デバイス技術
- ・ 知識基盤サービス産業：融合型コンテンツ技術、情報通信成長技術、先端物流技術
- ・ 国家主導核心技術：スマート 無人機
- ・ 基礎・基盤・融合技術開発活性化：IT 融合次世代農機械技術

○新成長動力ビジョン

- ・ New IT：半導体、ディスプレイ、次世代無線通信、LED、RFID/USN
- ・ 先端融合産業：ロボット、IT 融合システム、放送通信融合メディア
- ・ 高付加価値サービス産業：コンテンツ、ソフトウェア

なお、李明博政府が国家ビジョンとして打ち出した「緑色成長戦略 5 年計画」ではグリーン IT 技術、知能型電力網、仮想現実技術などが掲げられている。韓国政府の研究開発予算の内、IT 技術分野への投資は 2 兆 1,789 億 Won(15.9%) である。

略 語 集

3

- **3D** : three-dimensional 16, 35, 36, 50, 110, 135, 158, 161
- **3DM3** : DARPA の 3 次元集積回路プロジェクト 14
- **3G** : third Generation of mobile telephony 94, 122, 123, 124

A

- **ABB** : Asea Brown Boveri、スイスの電力、重電会社 154
- **ACM** : Association for Computing Machinery 58, 63, 82, 80, 86, 96, 97, 99
- **ADC** : Analog Digital Converter、アナログデジタル変換器 20
- **ADI** : Analog Devices Incorporated、アナログデバイス社、米国の半導体メーカ 20
- **ADVA** : ADVA (to AdV Value ~ビジネスに価値を~) 社、ドイツの光通信ネット会社 31, 32
- **AGORA** : Attributed Goal-Oriented Requirements Analysis Method 68
- **AGV** : Automatic Guided Vehicle 154, 161
- **AIST** : National Institute of Advanced Industrial Science and Technology 13, 129
- **AKARI** : Architecture Design project that illuminates the path to the New Generation Network. 127
- **AKAMAI** : ハワイ語でスマート、インテリジェントの意 125
- **Albany** : Albany Nanotech : 米ニューヨーク州のナノシステム技術研究拠点 10
- **Alagin** : Advanced LAnGuage Information Forum 74
- **ALDEBARAN(NAO)** : アルバデラン社が製造販売しているロボット、A I B O に代わってロボットカップのプラットフォームに採用された。 158
- **Amazon** : 米国通販サイト 99, 100, 102, 125
- **AMD** : 社 Advanced Micro Devices 社、米国の半導体メーカ 16, 71, 127,
- **AMI** : Advanced Metering Infrastructure 132
- **AMKOR 社** : American-Korean の略、米国の半導体パッケージング事業会社 15
- **AMOLED** : Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode 50
- **AMSI** : Amsterdam Academic Centre for Service Innovation 63
- **Android** : スマートフォンやタブレット PC などの携帯情報端末を主なターゲットとして開発された、プラットフォーム 83, 115, 119, 123, 130, 132, 144
- **AOL** : 「America Online」 社 75
- **API** : Application Program Interface 71, 129, 130
- **ARM** : Advanced RISC Machines 社、英国のマイクロプロセッサ会社 18, 53, 71, 72, 73
- **ARPU** : Average Revenue Per User、通信事業者の 1 契約あたりの売上 123
- **ARRA** : American Recovery and Reinvestment Act 119
- **ASE** : Advanced Semiconductor Engineering

Group、台湾の半導体組立及びテスト企業 14

- **ASET** : Association of Super-Advanced Electronics Technologies 14
- **ASIC** : Application-Specific Integrated Circuit 73
- **ASML** : オランダの半導体装置メーカ 39
- **ATM** : automatic teller machine 109, 110
- **ATOM** : Intel 社製小型 PC 向けチップセット名 71
- **ATR** : Advanced Telecommunications Research Institute International 152, 159
- **AT&T** : American Telephone & Telegraph Company、米国の電話会社 31
- **au** : KDDI および沖縄セルラー電話の提供する携帯電話のブランド名、『会う』に始まり、『合う』に行き着く」という意味合いから「au」の 2 文字でシンプルに表現 123
- **AUO** : AU Optronics Corporation、台湾の液晶パネルメーカ友達光電股份有限公司 36, 38, 50
- **AV** : Audio Visual 70, 94
- **AVG** : Anti-Virus Grisoft、無料のアンチウィルスソフトウェア 98
- **AVS** : Audio Video coding Standard 135, 145

B

- **B** : B-Method、AMN (Abstract Machine Notation) という仕様記述言語 (兼プログラミング言語) を中心とした形式手法に基づいたソフトウェア開発手法 57
- **Baidu** : Baidu 百度とは、中国の百度会社が提供している検索エンジン 55, 59, 63, 77, 100
- **BayesStore** : Managing Large, Uncertain Data Repositories with Probabilistic Graphical Models, 79
- **BD** : Blu-ray Disc 33,
- **BEF** : Brightness Enhancement Film 34,
- **BERC** : Biometrics Engineering Research Center 110
- **Bing** : Ajax を使用した、マイクロソフト製の検索エンジン。旧名称は Live サーチ 81
- **BIS** : Department for Business Innovation and Skills 94
- **BizCITY** : NTT コミュニケーションズ株式会社が提供しているクラウド・サービス 129
- **Blog** : weblog、略して Blog 76, 144
- **BMI** : Brain Machine Interface 159, 161, 163
- **BML** : Better Markup Language 133
- **BRICS** : Best Practice in Robotics 157, 171
- **BS** : British Standard 92, 94
- **BS** : Broadcasting Satellite 124
- **BT** : British Telecom 130
- **B to B** : B2B、Business to business 64
- **B to C** : B2C、Business to Consumer 64

C

- **C-CAST** : Context Casting 127
- **CAD** : Computer Aided Design コンピュータ支援設計 7, 22, 45, 156
- **CalTech** : California Institute of Technology 33
- **CAM** : Computer Aided manufacturing コンピュータ支

- 援製造 156
- CASAGRAS : Coordination and Support Action for Global RFID-related Activities and Standardisation 132
 - CASIA : Institute of Automation、Chinese Academy of Sciences 110
 - CBoC : Common IT Base over Cloud Computing 129
 - CBSR : Center for Biometrics and Security Research 110
 - CCC : China Compulsory Certificate system、中国製品安全強制認証制度 94
 - CCRA : Common Criteria Recognition Arrangement 92
 - CD : Compact Disc 33, 48
 - CDI : 、情報技術による発見支援 62
 - CDMA : Code Division Multiple Access 124
 - CDN : Contents Delivery Network 140
 - CDT : Cambridge Display Technology Inc、英国の有機EL ディスプレーベンチャー企業 35
 - CEA-LETI : Electronics and Information Technology Laboratory of the French Atomic Energy Commission 14, 150
 - CELL/Cell/B.E : Cell Broadband Engine 71, 102
 - CEPRI : China Electric Power Research Institute 133
 - CEPT : Certified Expert Penetration Tester、欧州郵便電気通信主管庁会議の略称 123
 - CERNET : Central European Regional Network for Education Transfer 125,
 - CERT/CC : Computer Emergency Response Team/Coordination Center 92, 96
 - CGM : Consumer Generated Media 53
 - Chembot : Chemical Robot 169
 - CIAN : Center for Integrated Access Networks 121
 - CIVR : International Conference of Image and Video Retrieval 86
 - CIT : International Conference on Computer and Information Technology 103
 - CiTeR : Center for Identification Technology Research 109
 - CLOUD4SOA : Cloud computing for service-oriented architectures 130
 - CMO : Chimei Innolux Optoelectronics Corporation、台湾の液晶パネルメーカー奇美電子股份有限公司 36
 - CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor 16, 17, 20, 24, 51
 - CMU : Carnegie Mellon University 99, 150, 151
 - CN : Carrier to Noise Ratio、搬送波と雑音の比 48
 - CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique 90
 - CNSE : College of Nanoscale Science and Engineering 14, 16
 - CNT : Carbon Nanotube 26
 - COGNIRON : The Cognitive Robot Companion 161
 - CoMP : Coordinated Multipoint format 123
 - CORDIS : Community Research and Development Information Service 161
 - CPNI : Center for the Protection of National Infrastructure 94
 - CPS : Cyber-Physical Systems 53, 62, 127, 143, 144
 - CPT : Chunghwa Picture Tubes Ltd : 中華映管股份有限公司 36

- CPU : Central Processing Unit 28, 57, 100, 125, 132, 133, 133, , 143
- CREST : Core Research for Evolutional Science and Technology、戦略的創造推進事業 16, 21, 22, 90, 102, 106
- CRM : Customer Relation Management 27
- CRYPTREC : Cryptography Research and Evaluation Committees 94
- CSA : Cloud security Alliance 94, 99, 100
- CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 151
- CSS : Computer Security Symposium 96, 99
- CUDOS : Centre for Ultrahigh bandwidth Device for Optical Systems、オーストラリア科学アカデミーの超広帯域光通信研究センター 52

D

- DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency 防衛高等研究計画局 14, 31, 43, 125, 127, 137, 150, 161, 163, 174
- DBEF : Dual Brightness Enhancement Film 34
- DBMS : Database Management System 76
- DDoS : Distributed Denial of Service 95, 97, 115
- DDC4RTC : Dynamic Deployment and Configuration for RTC 157
- DFM : Design For Manufacturing 18
- DGIST : Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology、大邱慶北科学技術院 147
- DLNA : Digital Living Network Alliance guideline 133
- DLP : Data leak prevention 144
- DLP : Digital Light Processing 165
- DLR : Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 154, 156, 167, 169
- DMB : Digital Multimedia Broadcasting 121, 124
- DNA : Deoxyribonucleic Acid 13, 52
- DOE : Department of Energy 37, 132
- DRAM : Dynamic Random Access Memory 14, 19
- DRM : Digital Rights Management 94, 144
- DSA : Digital Signature Algorithm、米国 National Security Agency によって開発された、公開鍵暗号方式によるデジタル署名の方式 123
- DSL : Damn Small Linux、応用指向言語 83
- DSN : International Conference on Dependable Systems and Networks 90
- DTP2 : Diver- tor TestPlatform2 150
- DustBot : イタリアの掃除ロボット 154
- DVD : 当初 Digital Video Disc、Digital Versatile Disc から命名されたが、現在はアルファベット 3 文字としての光ディスク規格 20, 32

E

- e-Bay : 米国のオンラインオークション運営会社 77
- e-CUBES : 欧州 FP6 の三次元実装技術開発プロジェクト (2006 ~ 9) 14
- EAL : Evaluation Assurance Level 115
- EC : Europe Committee 8, 129, 161
- EC2 : Elastic Compute Cloud 99, 100, 102
- ECHORD : European Clearing House for Open Robotics Development 161

- ECOC : European Conference on Optical Communication 31, 32, 121
- ECPE : European Center for Power Electronics 11
- ECRYPT : European Network of Excellence in Cryptology 94
- EDA : Electronic Design Automation 18, 22, 23, 27
- eink, E Ink : Electronic Paper Displays - Readable, Green, Rugged 132
- EL : Electroluminescence 8, 9, 35, 37
- EMC : 米国の情報システムベンダ創業者イーガン、マリノ両氏のイニシャルから 94, 130
- EMV : Europay, MasterCard and VISA 94
- ENIAC : European Nanoelectronics Initiative Advisory Council 17
- ENISA : European Network and Information Security Agency 94, 100, 137
- ENS : L'Ecole normale supérieure (ENS) de Lyon 94
- EOS : European Optical Society 39
- EPC : 米国の高解像度な軍用および民間用ソナーイメージ記録器を提供する会社、創業者が Edward P. Curley 25
- ERP : Electronic Road Pricing 78
- ERC : European Research Council 148, 152
- ESA : European Space Agency 150
- ETC : Electronic Toll Collection 94
- ETH : Eidgenössische Technische Hochschule 11
- ETRI : Electronics and Telecommunications Research Institute、韓国電子通信研究院 32, 37, 100, 107, 118, 124, 125, 128, 131, 133, 135, 140, 152, 162
- ETSI : European Telecommunications Standards Institute, ETSI、欧州電気通信標準化機構 123
- EU : European Union 8, 10, 13, 17, 18, 53, 54, 64, 70, 74, 80, 90, 94, 100, 101, 123, 125, 140, 147, 148, 152, 153, 154, 156, 157, 161, 167, 169
- Euro-FOS : "fos" in Greek means "Light、欧州の高速通信タスクフォース 31
- EXAT : Technical Committee on Extremely Advanced Optical Transmission Technologies 46

F

- F# : functional programming language、マイクロソフト社の並列処理に適した関数型言語 57
- Facebook : Facebook, Inc. の提供する SNS (ソーシャルネットワークワーキングサービス) 53, 54, 84
- FCC : Federal Communications Commission 122
- FCS : Future Combat System 157
- FDD : Frequency Division Duplex 124
- Felica : 非接触型 IC カードの技術方式。ソニーの登録商標 69
- FET : Field effect transistor、電界効果トランジスタ 24
- FIND : Future Internet Design 125, 126, 127
- FinFET : 魚のひれ (fin) を付けたような FET 27
- FIPS : Federal Information Processing Standardization 106, 118
- FVC : Fingerprint Verification Competition 2006 110
- FIND : Future Internet Design、NSF の将来のインターネット設計プログラム 125, 126, 127
- FIRE : Future Internet Research & Experimentation 127
- FIRST : Funding Program for World-Leading

- Innovative R&D on Science and Technology、最先端研究開発支援プログラム 16
- FLaReNet : Fostering Language Resources Network、an EC eContentPlus Thematic Network 74
- Flickr : デジタルカメラ・一眼レフカメラなどによる写真を共有するコミュニティサイト 84, 85
- FP7 : Framework Program 7 13, 59, 90, 96, 100, 125, 126, 127, 130, 143, 153, 157, 161, 171
- FPS : Frames per second 161
- FPD : Flat Panel Display 36
- FPGA : Field Programmable Gate Array 73, 106
- Fraunhofer IZM : Fraunhofer Institut Zuverlässigkeit Mikrointegration、フラウンホーファー信頼性・マイクロインテグレーション研究所 14
- Fraunhofer IPA : Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung、フラウンホーファー製造工学オートメーション研究所 151
- Fraunhofer HHI : Institute for Telecommunications Heinrich-Hertz-Institut、フラウンホーファーテレコミュニケーション研究所 135
- FRC : Field Robotics Center (カーネギーメロン大) 150, 151
- FREEDM : Future Renewable Electric Energy Delivery and Management Systems Center 11
- FTTH : Fiber To The Home 29, 31
- FTV : Free Viewpoint Television 135, 136

G

- GaN : Gallium nitride 窒化ガリウム 11, 24, 25, 37
- GB : Giga Byte、10 億 (10 の 9 乗) 倍、2 の 30 乗倍は「ギビバイト」(Gigabinary Byte : Gibi Byte) 33, 48
- GDP : Gross Domestic Product 54, 119
- GÉANT : Gigabit computer NETwork for research and education purposes 130
- GENI : Global Environment For Network Innovations 127, 129
- GICTF : Global Inter-Cloud Technology Forum、グローバルクラウド基盤連携技術フォーラム 65, 99, 129
- GM : General Motors Corporation 150
- Google : アメリカ合衆国のソフトウェア会社、あるいは、同社の運営するインターネット上での検索エンジン 28, 53, 54, 59, 61, 62, 72, 75, 77, 81, 99, 100, 119, 125, 127, 129, 130, 132, 139, 144, 156, 159
- GODSON : 中国科学院計算技術研究院 (ICT : Institute for Computing Technology) で開発したプロセッサ 83
- GREEN500 : 世界のスーパーコンピュータの電力効率の良さを競うランキング 66, 82
- GPFS : General Parallel File System 83
- GPGPU : General-Purpose Graphics Processing Unit、汎用グラフィックプロセッサ 86
- GSM : Global System for Mobile Communications 123
- GSK : 言語資源協会 74

H

- HADOOP : 大規模分散処理プラットフォーム、ハドゥーフは開発者の子供が付けた象のぬいぐるみの名前が由来らしい

129

- HAL : Hybrid Assistive Limb 173
- HANA : High-Performance Analytic Appliance 61
- HART : Highway Addressable Remote Transducer、センサネットワーク用の無線送受信の規格の一つ 25
- HD : Hard Disk (HDD : Hard Disk Drive) 27
- HDTV : High Definition Television 135
- HEVC : High Efficiency Video Coding 132
- HiPEAC : High-Performance Embedded Architecture and Compilation 72
- HOYA : HOYA 株式会社、東京都保谷市で創業、日本の光学ガラス専門メーカー 39
- HPC : High Performance Computing 47, 73, 83, 91, 102, 129
- HPCS : High Productivity Computing Systems 83
- HTML : HyperText Markup Language 59
- HTTP : HyperText Transport Protocol 59
- HUBO : humanoid robot の短縮形、韓国科学技術院 (KAIST) によって開発された二足歩行人型ロボット 159
- HULC : Human Universal Load Carrier 173

I

- IaaS : Infrastructure as a Service 100
- IANA : Internet Assigned Numbers Authority 143
- IBM : International Business Machines Corporation、アイビーエム社 (米) 14, 16, 17, 28, 47, 53, 63, 70, 71, 72, 76, 77, 82, 83, 90, 91, 94, 99, 100, 102, 109, 114, 115, 127, 128, 130, 131, 137
- IC : Integrated Circuit 11, 24, 26, 45, 47, 76, 80, 86, 94, 107
- ICASE : Institute of Control, Automation and Systems Engineers
- ICASSP : IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing
- ICCV : IEEE International Conference on Computer Vision
- ICFEM : 、International Conference on Formal Engineering Methods 69
- ICEIE : International Conference on Electronics and Information Engineering 106
- ICFPT : International Conference on Field Programmable Technology 76
- ICIP : International Conference on Image Processing 135
- ICISC : International Conference on Information Security and Cryptology 97
- ICME : International Conference of Multimedia & Expo 86
- ICMIR : International Conference of Multimedia Information Retrieval 86
- ICS : 国際スーパーコンピュータ会議 67
- ICT : Information and Communication Technology 5, 6, 14, 115, 127, 131, 147, 148, 152, 154
- iCUB : 欧州のヒューマノイドロボットプロジェクトで CUB は子供の意 151
- ID : Identification 75, 77, 89, 95, 106, 109, 110, 125
- IDW : International Display Workshop 50
- IDM : Integrated Device Manufacturer、垂直統合型デバイスメーカー 15, 26,
- IDS : Integrated Data Storage 96, 97
- IEC : the International Electrotechnical Commission 118
- IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineers 13, 31, 32, 63, 86, 90, 91, 97, 99, 114, 123, 124
- IETF : The Internet Engineering Task Force 124, 125, 126, 127, 128, 140
- IF : Interface 161
- IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor 11, 24
- IISC : Indian Institute of Science、インド理科大学院 22
- IIT : Indian Institutes of Technology、インド工科大学 22
- IIT : Italian Institutes of Technology、イタリア技術大学 159
- IKEA : Ingvar Kamprad Elmtaryd Agunnaryd (Swedish home furnishings retailer founder's initials and location) 63
- IMEC : Interuniversity Microelectronics Center ベルギーにある欧州の独立研究機関 1, 7, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 25, 3137, 40, 72, 73
- IMFlash : Intel Micron Technology Flash Memory. 米国の半導体メモリ会社 19
- IMT : International Mobile Telecommunications 123
- INFORMS : Information Science and Technology Association 63
- Intel : Integrated Electronics の略、米半導体メーカー 8, 16, 17, 18, 19, 28, 71, 82, 86, 94, 100, 103, 117, 123, 130, 132
- IoT : Internet of Things 124, 127, 132, 144
- IP : Intellectual Property 20
- iPad : 米国アップル社によって開発及び販売されているタブレット型コンピュータ 72, 86
- iPhone : Apple が発表した多機能携帯電話いわゆるスマートフォン 72, 83, 115, 119, 144, 158
- iPin : Internet Personal Identification Number 95
- IPS : Intrusion Protection System 96, 97
- IPTV : Internet Protocol Television 132, 133, ,
- IPv6 : Internet Protocol Version 6 112, 115, 124, 125, 143
- IRTF : Internet Research Task Force 125
- ISAC : Information Sharing and Analysis Center 92
- ISMS : Information Security Management System 92, 93
- ISO : International Organization for Standardization 92, 106, 118, 135, 145, 153
- ISOM : International Symposium on Optical Memory 33, 34, 48, 49
- ISP : Internet Services Provider 143
- ISS : Institute of System Science、シンガポールのサイバースサイエンス研究所 81
- ISS : Instruction Security Systems 96
- ISS Square : Integrated Special Scheme for Information Security Specialist cultivation、文部科学省「先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム」 96
- IT : Information technology 11, 53, 61, 62, 80, 89, 92, 94, 95, 124, 125, 129, 130, 131, 135, 159, 174
- ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor(旧)、現在は iter (ラテン語の道) 国際核熱融合実験炉 150
- Itron : Industrial The Real-time Operating system Nucleus 132
- ITRS : International Technology Roadmap for

Semiconductors、国際半導体技術ロードマップ 16

- ITRI : Industrial Technology Research Institute、台湾の工業技術研究院 14, 19, 36, 39, 155
- Itron : Industrial The Real-time Operating system Nucleus 132
- ITS : Intelligent Transport Systems、高度道路交通システム 80, 123, 124
- ITSEC : Information Technology Security Evaluation Criteria 92
- ITU : International Telecommunication Union 123, 127, 128
- ITU-T : International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector 31, 32, 125, 126, 131, 132, 133, , , 145
- ITU-R : International Telecommunication Union Radiocommunications Standardization Sector 124

J

- JARA : Japan Robot Association 152
- JAUS : Joint Architecture of Unmanned System 157
- JAXA : Japan Aerospace eXploration Agency、宇宙航空研究開発機構 150
- JDSU : JDS (Jones, Duck and Straus/Sinclair) 社 (カナダ) と Uniphase 社 (米) の合併でできた光通信施設備会社 31, 32
- JET : Joint European Torus 150
- JGN : Japan Gigabit Network、研究開発用ギガビットネットワーク 129
- JPCERT/CC : Japan Computer Emergency Response Team/Coordination Center 92
- JPEG : Joint Photographic Experts Group 135, 145
- JPL : Jet Propulsion Laboratory 150
- JST : Japan Science and Technology Agency 33, 48, 90, 106

K

- K2 : KDDI 研究所と九州大学によるケータイで使える暗号方式 106
- KAERI : Korea Atomic Energy Research Institute、韓国原子力研究所 148
- KAIST : Korea Advanced Institute of Science and Technology 11, 13, 16, 18, 20, 23, 32, 35, 44, 59, 62, 63, 124, 125, 131, 133, 135, 147, 154, 156, 162, 163
- KAOS : Knowledge Acquisition in Automated Specification (requirement Engineering) 68
- KCC : Korea Communications Commission 131
- KCSA : Korea Cloud Service Association 131
- KDDI : Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd と Daini Denden Inc とが合併した Kabushikikaisha DDI のロゴマーク 31, 96, 106, 124, 135, 137
- Kinect : Kinetic (運動の) と Connect (接続する) の造語、Xbox 360 用コントローラー 161, 174
- KISA : Korea Information Security Agency 97, 100, 110, 131
- KIST : Korea Institute of Science and Technology 153, 154, 162
- KITEC : Korean Institute of Industrial Technology

167

- KIVA : 米国倉庫ロボット会社 147, 152, 154, 161
- K-NBTC : Korea National Biometric Testing Center 110
- KOPTI : Korea Photonics Technology Institute 国光技術院 37
- KOREN : Korea Advanced Research Network 128
- KREONET : Korea Research Environment Open Network 128
- KSITR : KunShan Industrial Technology Research Institute、昆山市工業技術研究院 150, 152, 156, 157
- KT : Korea Telecom 121
- KUKA : 大手産業用ロボット企業 152, 154, 156, 161, 167, 169
- KUL : Katholieke Universiteit Leuven 20
- KVM : Kilo Virtual Machine 103, 115

L

- LAAS : Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systemes 90
- LAN : Local Area Network 20, 31, 51
- LCD : Liquid Crystal Display 8, 18, 36, 50, 133,
- IDM : Integrated Device Manufacturer 14, 15, 26,
- LDPC : Low Density Parity Check 145
- LED : Light Emitting Diode 26, 29, 30, 35, 36, 38, 43, 44, 51, 133,
- LG : Lucky-Goldstar エレクトロニクス、韓国の総合家電、情報通信メーカ 8, 11, 13, 20, 35, 36, 37, 40, 103, 107, 110, 118, 122, 124, 131, 133, 135, 139
- LGU+ : LG グループの携帯電話事業者 131
- LIME : Landline Internet Mobile Entertainment 133
- LINQ : Learn about language-integrated query 75
- LINTEC : 日本の粘・接着素材の総合メーカ、リンケージ (結合) とテクノロジーから 33, 34
- Linux : Linus's Minix、スウェーデン系フィンランド人リーナス・トーバルズによる無料でオープンソースで改良も自由なオペレーティングシステム (OS) の一群 67, 102, 103, 132,
- LISP : Locator/ID Separation Protocol 125
- LRF : Laser rangefinder 163
- LSI : Large Scale Integration Circuit 11, 15, 16, 18, 20, 21, 27, 31, 52, 57, 71, 106, 107, 123, 125, 133,
- LTE : Long Term Evolution、新たな携帯電話の通信規格、2010 年頃から世界中でのサービス開始が見込まれている。31, 94, 119, 122, 123, 124, 132, 133, 161

M

- M2M : Machine to Machine 123, 124, 127, 132,
- M&A : mergers and acquisitions (合併と買収) の略 89, 121, 132, 137
- MayBMS : A Probabilistic Database Management System 78
- META-Net : Network of Excellence dedicated to building the technological foundations of a multilingual European information society 74
- MEMS : Micro Electro Mechanical Systems 11, 14, 16, 20, 21, 25, 49, 163, 169

- MIARI : Millennium Research for Advanced Information Technology 16
- MICA : 雲母、無線送受信層、センサ、信号処理部が層になっているイメージか、 163
- MIMO : Multi-Input Multi-Output 123, 132,
- MINATEC : Microelectronics Nanotechnology Innovation Center、グルノーブルのマイクロナノテクノロジー研究拠点 10
- MIR : Multimedia Information Retrieval 86
- MIT : Massachusetts Institute of Technology 14, 99, 116, 121, 154, 165
- Microsoft : 世界最大のソフトウェアメーカー 28, 53, 59, 61, 69, 76, 99, 100, 102, 115, 129, 130, 131, 132, 139, 163, 174
- MKE : Ministry of Knowledge Economy 147, 151, 152, 153, 154, 156, 172
- MMM : Multi Media Modeling 86
- Moore : Moore の法則の提唱者 (米 Intel 社創立者の一人) 10, 24, 26, 27
- MOSFET : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor 11, 16
- MPEG : Moving Picture Experts Group 135, 136, 145
- MRAM : Magnetoresistive Random Access Memory、磁気によってデータを記憶する 半導体メモリ 27
- MSA : Multi Source Agreement、光トランシーバモジュールに対応した送信及び受信光デバイスの互換規格 31
- MVC : Multiview Video Coding 135, 136
- MVNO : Mobile Virtual Network Operator 129
- MYSTIQ : A system for finding more answers by using probabilities 80

N

- NAO : Aldebaran Robotics 社の小型ヒューマノイドロボット 148
- NASA : National Aeronautics and Space Administration 69, 99, 129, 130, 132, 150, 171
- NAT : Network Address Translation 138
- NAVER : 韓国の検索サイト 55, 60
- NCTU : National Chiao Tung University 20, 36
- NEC : Nippon Electronics Corporation、日本電気株式会社 21, 31, 42, 47, 90, 94, 96, 99, 102, 106, 109, 123, 129, 130, 131, 133, 135, 137, 152
- NECEL : NEC エレクトロニクス社、現ルネサス エレクトロニクス社 16
- NEDO : New Energy and Industrial Technology Development Organization 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 8, 14, 37, 148, 150, 152, 153, 156, 157, 161, 171
- NFOEC : National Fiber Optic Engineers Conference. 31, 32
- NGN : Next Generation Network 125, 127, 128
- NHK : Nippon Housou Kyoukai (日本放送協会), 33, 49
- NICT : National Institute of Information and Communications Technology 独立行政法人情報通信研究機構 31, 42, 47, 129
- NIH : National Institute of Health 171
- NICTA/UNSW : National ICT Australia, Univ. New South Wales 58, 115
- NII : National Institute of Informatics 129
- NIST : National Institute of Standards and

- Technology 米国標準技術局 39, 70, 94
- Nokia : ノキア社、フィンランドのノキア市に由来 20, 121, 123, 124, 127, 132, . . . 140
- NP : nondeterministic polynomial time 77
- NRI : Nanotechnology Research Initiative 17
- NRI : National Robotics Initiative 171
- NSF : National Science Foundation 11, 62, 80, 90, 91, 114, 125, 127, 129, 130, 131, 132, 137, 138, 143, 144, 147, 156, 162, 171
- NTT : Nippon Telegraph and Telephone Corporation、日本電信電話株式会社 31, 42, 43, 46, 47, 68, 69, 94, 102, 106, 124, 127, 129, 130, 133, . . . 135, 139
- NTU : National Taiwan University 20, 36, 80
- NTU : Nanyang Technological University、南洋工科大学 81
- NUDT : 国立軍事技術大学 (中) 66
- NUS : National University of Singapore、シンガポール国立大学 42, 81
- NVIDIA : 米国社名の由来はスペイン語で「嫉妬、羨望、ねたみ」などを意味する "envidia" からと思われる。 82, 90
- NV センター : nitrogen vacancy、ダイヤモンド窒素・格子欠陥材料で、室温で量子計算を実行できる可能性がある。 42

O

- OADM : Optical add-drop multiplexer、光分岐挿入装置 142
- OCT : Optical Coherence Tomography 46
- ODCA OpenDataCenterAlliance 130
- CESG : Communications-Electronics Security Group 94
- OFC : Optical Fiber Communication Conference and Exposition 31, 32
- OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplex (直交周波数分割多重) 132,
- OGC : Open Government Consortium 129
- OLED : Organic Light-Emitting Diodes 37, 50, 51
- OLLA : OLEDs technology for Lighting Applications 37
- OMG : Object Management Group 152, 153, 157
- OneLab : Open Networking Laboratory 127
- OpenAPI : Open Application Program Interface 129
- OpenCV : Open Source Computer Vision 154
- OpenHRP3 : Open-architecture Human-centered Robotics Platform version 3
- OpenJAUS : Joint Architecture for Unmanned Systems (JAUS) Robotics Software Development Kit (SDK) 157
- OpNext : オプネクスト社、光通信用モジュールベンダで、日立製作所から分社して設立 31
- ORA : Optical Research Associates 39
- ORACLE : Oak Ridge Automatic Computer Logical Engine 28, 78, 102, 127, 132,
- OS : Operating System 27, 28, 59, 71, 79, 80, 82, 90, 91, 94, 100, 102, 115, 117, 132, 152
- OSA : the Optical Society of America 39
- OSAT : Outsourced Semiconductor Assembly and Test 14, 15, 26

- **OSCAR** : Optimally Scheduled Advanced Multiprocessor 早稲田大学が 1986 年から研究しているソフトウェア協調型マルチプロセッサ 71
- **OSGi** : Open Services Gateway initiative 133,
- **OTA** : Optical Transport Network、光ネットワーク 31

P

- **P2P** : Peer-to-Peer 115, 140
- **PaaS** : Platform as a Service 100, 131
- **PanLab** : Pan-European Laboratory 127
- **Paro** : 日本のアザラシ型癒しロボットパロ 148, 152
- **PC** : personal computer 20, 55, 58, 65, 67, 71, 97, 110, 115, 119, 124, 132, 133, , 144
- **PCM** : Pacific Rim Conf. Multimedia 86
- **PCN** : Pre-Congestion Notification 140
- **PCRAM** : phase-change random access memory、位相の変化を利用した半導体メモリ 28
- **PCS** : Personal Communication Services 135
- **PCS2010** : 28th Picture Coding Symposium 135
- **PDA** : Personal Digital Assistants 82, 130
- **PERSIST** : Personal Smart Space 127
- **PHP** : Hypertext Preprocessor 82, 130
- **PICO** : Photonic Integration for Coherent Optics、DARPA のフォトニック技術関係のコンソーシアム 31
- **PIDA** : Photonics Industry Technology & Development Association 38
- **PINQ** : Privacy Integrated Queries 61, 77
- **PIRO** : Pohan Institute of Intelligent robotics 151, 169
- **PKI** : Public-Key Infrastructure 100
- **PLL/DLL** : Phase-Locked Loop / Delay-locked loop 20
- **PON** : Passive Optical Network 142
- **POSCO** : Pohang Iron and Steel Company、大韓民国最大の製鉄会社である。かつては浦項総合製鉄という社名 151
- **PUB/SUB** : Publish/subscribe、出版 - 購読型モデル、非同期メッセージングパラダイムの一種 62
- **PUF** : Physical Unclonable Function 106, 107, 118
- **PRDC** : International Symposium Pacific Rim on Dependable Computing 90
- **PVI** : Prime View International Association of Super-Advanced Electronics Technologies、台湾の小・中型サイズ・ディスプレイの主要サプライヤ 36

Q

- **QAM** : Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調) 46
- **QKD** : Quantum Key Distribution 42
- **QoS** : Quality of Service 119, 125, 126
- **QRIO** : Quest for Curiosity、ソニーの小型二足歩行ロボット 148

R

- **RAID** : Redundant Array of Inexpensive Disks 87, 99
- **RAID** : Recent Advances in Intrusion Detection

Symposium | RAID 96

- **ReRAM** : Resistance Random Access Memory 電圧の印加による電気抵抗の変化を利用した半導体メモリ 27
- **RESERVOIR** : Resources and Services Virtualization without Barriers 130
- **RF** : Radio Frequency 20
- **RFID** : Radio Frequency Identification 77, 106, 124, 132, 133, ,
- **RGB** : Red-Green-Blue color model、赤 (R)・緑 (G)・青 (B) の 3 つの色の組み合わせとした色の表現手法 50
- **RIR** : Regional Internet Registry 143
- **ROBOTIS** : 韓国のロボット会社 160
- **ROMA** : Rakuten On-Memory Architecture 129
- **ROS** : Robot Operating System 152, 154, 157, 158, 161, 171
- **RSA** : 公開鍵暗号の一つ。発明者である Ron Rivest、Adi Shamir、Len Adleman の頭文字 94
- **RT** : Robot Technology 157, 161

S

- **SaaS** : Software as a Service 68, 100, 130, 131
- **SAE** : Society of Automotive Engineers 157
- **SAGEM** : Société d'Applications Générales de l'Électricité et de la Mécanique 39
- **SAMSUNG** : 三星電子、Samsung Electronics、韓国家電・電子部品・電子製品メーカーで、サムスングループの中核企業 11, 16, 17, 18, 19, 35, 37, 50, 107, 122, 123, 124, 125, 130, 133, 138, 167
- **SAIT** : Samsung Advanced Institute of Technology、三星工科大学 35
- **SASEBO** : Side-channel Attack Standard Evaluation Board 106, 107
- **SBM** : SoftBank Mobile 123, 124
- **SC** : High Performance Networking and Computing Conference 国際会議 (通称 Supercomputing ; 略称 SC) 67
- **SCARF** : Side-channel Analysis Resistance Framework 107
- **SCC** : Single-chip Cloud Computer 82
- **SCD** : Storage Class Memory 61, 83
- **SCIS** : Symposium on Cryptography and security 96, 99
- **SCM** : Storage Class Memory 27, 28
- **SDA** : Slim Dual Arm 154
- **SDK** : Software Development Kit 157
- **Sedue** : 日本の プリファードインフラストラクチャー社による高速検索エンジン 59
- **Selete** : Semiconductor Leading Edge Technologies 株式会社半導体先端テクノロジーズ (1996 年に我が国の半導体企業 10 社の均等出資を得て、300mm ウェハ装置を用いる生産技術の開発コンソーシアムとして創立) 16
- **SEMATEC** : Semiconductor Manufacturing Technology Institute 14, 16
- **SENSEI** : Integrating the Physical with the Digital World of the Network of the Future 127
- **SG** : Study Group 31
- **SGCC** : State Grid Corporation of China 133
- **SHA** : Secure Hash Algorithm 94
- **SiC** : Silicon Carbide 炭化ケイ素 11, 24, 26

- SID : The Society for information Display 35, 36, 50
- SiIGBT : Silicon Insulated Gate Bipolar Transistor、シリコン絶縁ゲートバイポーラトランジスタ 11
- SIGMOD : Special Interest Group on Management of Data 61, 62
- SiP : System in Package 27
- SJ : Super Junction 24
- SK Telecom : 鮮京 (ソングョン) グループの携帯事業者 126, 131, 133, 135
- SLA : Service Level Agreement 114
- SLAM : Simultaneous Localization and Mapping、自己位置推定と環境地図作成を同時に行うこと 69, 150, 165, 173
- SLAM : Signalling Lymphocyte Activation Molecule、シグナル伝達リンパ球活性化分子 25
- SLICE : Spectrum-sliced elastic optical path network、NTT が開発している超大容量、高信頼、極低遅延なネットワークアーキテクチャ 46
- SMC : Systems Man and Cybernetics 74
- SMD : Samsung Mobile Display、サムスングループのディスプレイ専門企業 50
- SMU : Singapore Management University 81
- SMV : Symbolic Model Verifier 69
- SNS : Social Networking Service 55, 59, 62, 74, 83, 86, 115, 141
- SNU : Seoul National University 18
- SOA : Service-Oriented Architectures 130
- SoC : System on Chip 22, 23, 68
- SOI : Silicon on Insulator 16
- SOSP : Symposium on Operating Systems Principles 99, 115, 116
- SOSS : Society of Service Science、韓国のサービスサイエンスの関連団体 63
- SOX 法 : Sarbanes - Oxley act 96
- SPIE : The International Society for Optical Engineering 39
- SPIN : Simple Promela Interpreter 69
- SPR : Surface Plasmon Resonance、表面プラズモン共鳴 52
- SRAM : Static Random Access Memory 28
- SRli : Service Research & Innovation Initiative 63, 81
- SSD : Solid State Drive 19, 27, 28, 61, 83
- SSME D : Service Science Management Engineering and Design 63
- SSNF : Service Science National Forum (韓) 63
- ST-Ericsson : スウェーデン Ericsson Mobile Platforms 社とスイス ST-NXP Wireless 社の合併によって誕生した、無線通信分野の巨大半導体企業 123
- ST Microelectronic : Società Generale Semiconduttori (SGS) Microelettronica と Thomson Semiconducteurs の頭文字からなる半導体会社 19
- STREAM : The Stanford Data Stream Management System 78
- STS : Space Transportation System 148

T

- TAOS : Transperent Amorphous Oxide Semiconductor、透明アモルファス酸化物半導体 50
- TC : Transactions on Computers 90

- TCM : Trusted Cryptographic Module 100
- TCG : Trusted Computing Group 100
- TDK : Tokyo Denki Kagaku 工業株式会社、日本の電気機器製造会社 33, 48
- TD-LTE : Time Division Long Term Evolution 133
- TD-SCDMA : Time Division Synchronous Code Division Multiple Access 123, 124
- TECO : 台湾の電機メーカ 169
- TI : Texas Instruments 11, 16, 18, 20
- TIA : Tsukuba Innovation Arena、日本のナノテク研究研究拠点 10, 16, 24
- TFT : Thin Film Transistor、薄膜トランジスタ 35, 50
- TOP500 : 世界中のスーパーコンピュータの性能を計測し、そのランキングを公表するプロジェクト 66, 82
- TOS : Trusted Operating System、韓国 Secuve 社が開発した国防レベルの高いセキュリティを実現するために開発されたオペレーティングシステム 100
- TPM : Trusted Platform Module 99, 100
- TRECVID : Text REtrieval Conference Video Retrieval Evaluation 70, 85
- TSMC : Taiwan Semiconductor Manufacturing Company 14, 16, 17
- TSV : Through-Silicon Via、Si 貫通電極 14, 19, 26
- TURBINE : TrUsted Revocable Biometric IdeNtitiEs 109
- Twitter : ツイートは鳥のさえずりという意味の英語で、情報インフラに対する文字の投稿をいう。 53, 54, 59, 76, 77, 84, 84, 100, 144
- TXT : Trusted Execution Technology 100

U

- UAE : United Arab Emirates、アラブ首長国連邦 101
- UBC : University of British Columbia 167
- UC : Unified Communication 130
- UCB : University of California, Berkeley 90
- UCL : University College London 31
- UCLA : University of California, Los Angeles 139
- UCSB : University of California, Santa Barbara 37
- UCSD : University of California, San Diego 31
- UDC : Universal Display Corporation、米国の有機 EL メーカ 34, 50
- UGC : User Generated Content 76, 84
- UI/HMI : User Interface/Human Machine Interface 132
- UIDAI : Unique Identity Authority of India 110
- UMC : United Microelectronics Corp. 16
- u-Robot : Ubiquitous Robot 152
- URC : Ubiquitous Robotic System 152
- USDA : US Department of Agriculture 171
- USN : Usual Suspect Network 133,
- UTM : Unified Threat Management、統合脅威管理 96
- URUS : Ubiquitous Networking Robotics in Urban Settings 152

V

- VCE 連合 : クラウドに関する VMware、Cisco、EMC 社の連合 130
- VDM : Vienna Development Method 69

- **VENUS-C** : Virtual Multidisciplinary EnviroNments
USing Cloud Infrastructures 130
- **VirtualBox** : Innotek、サン・マイクロシステムズ、オラ
クル社によって開発されている仮想プラットフォーム 102
- **VLDB** : Very Large Data Bases 61, 90
- **VLSI** : Very Large Scale Integration 10, 18, 21, 57, 73,
86, 90, 91
- **VM** : Virtual Machine 102, 117
- **VPN** : Virtual Private Nnetwork 97, 129, 138
- **VTT** : Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus、フィンラン
ドの技術研究センター 150

W

- **W3C** : World Wide Web Consortium 59
- **WBG** : Wide Band Gap、ワイドバンドギャップ半導体 11
- **WAF** : Web Application Firewall 96
- **W-CDMA** : Wideband Code Division Multiple Access
20, 124
- **WDM** : Wavelength Division Multiplex 121, 142
- **WDM-PON** : Wavelength Division Multiplex-Passive
Optical Network 32, 121, 142
- **Web** : World Wide Web の略 53, 55, 59, 60, 61, 62, 75, 76,
77, 78, 79, 96, 115, 129, 132, , 140, 143
- **WiBro** : Wireless Broadband 124
- **WiFi** : Wireless Fidelity 123
- **WiMAX** : Worldwide Interoperability for Microwave
Access 122, 123, 124, 145
- **WISA** : International Workshop on Information
Security Applications 97
- **WWW** : World Wide Web 122, 123, 124, 146

X

- **xGP** : eXtended Global Platform 123, 132
- **XML** : Extensible Markup Language 62, 78

Y

- **YouTube** : You は「あなた（視聴者）」、Tube は「テレビ（ブ
ラウン管）」という意味であり YouTube は「あなたを作る
テレビ」という意味合いがある。米国のインターネット動画
共有サービス 82

Z

- **Z** : 公理的な集合論 (Zermelo 集合) と一階述語論理に型概
念を導入した体系に基礎をおくモデル規範型の形式仕様言語
57
- **ZigBee** : 家電向けの短距離無線通信規格の一つ。 25, 132,
- **ZTE** : Zhong Xing Telecommunication Equipment
Company Limited、中国の通信設備／端末開発、製造、販
売会社 32, 118, 123, 124, 133,
- **ZQCOT** : Zhejiang Quartz Crystal Optoelectronic
Technology 40

◆執筆者・協力者一覧（順不同／分野毎、敬称略）

■エレクトロニクス分野

桜井 貴康	東京大生産技術研究所 教授 【総括責任者】
木本 恒暢	京都大学大学院工学研究科 教授
嘉田 守宏	技術研究組合超先端電子技術開発機構三次元集積化技術研究部 部長
黒田 忠広	慶応義塾大学理工学部 教授
染谷 隆夫	東京大学工学系研究科電気系 教授
竹内 健	東京大学大学院工学系研究科 准教授
平本 俊郎	東京大学生産技術研究所 教授
原 和裕	東京電機大学工学部 教授
藤田 昌宏	東京大学大規模集積システム設計教育研究センター 教授
松澤 昭	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
最上 徹	株式会社半導体先端テクノロジーズ 第四研究部 部長
安浦 寛人	九州大学大学院システム情報科学研究院 教授
伊東 義曜	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 主任調査員

■フォトニクス分野

中野 義昭	先端科学技術研究センター 所長 【総括責任者】
伊藤 雅英	筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授
井元 信之	大阪大学大学院基礎工学研究科 教授
小柴 正則	北海道大学大学院情報科学研究科 教授
後藤 顕也	前東海大学開発工学部 情報通信工学科 教授
小山 理	キヤノン株式会社基盤技術開発本部オプティクス技術開発センター 専任主席
進藤 典男	ソニー株式会社技術戦略部 担当部長
馬場 俊彦	横浜国立大学大学院工学研究院 知的構造の創生部門 教授
桃井 恒浩	シャープ株式会社 LED 照明事業推進センター 副所長
宮本 裕	NTT 未来ねっと研究所フォトニクストランスポートネットワーク研究部 特別研究員

■コンピューティング分野

石塚 満	東京大学大学院工学研究院知的構造の創生部門 教授 【総括責任者】
相澤 清晴	東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
上田 和紀	早稲田大学理工学術院情報理工学科 教授
尾内 理紀夫	電気通信大学大学院情報理工学研究科総合情報学専攻 教授
喜連川 優	東京大学生産技術研究所 教授
坂井 修一	東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
高木 英明	筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授
近山 隆	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
辻井 潤一	東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

平木 敬 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
 本位田 真一 国立情報学研究所アーキテクチャ科学研究系 研究主幹・教授

■セキュリティ・ディペンダビリティ分野

古原 和邦 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター主幹研究員【総括責任者】
 井沼 学 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター招聘研究員
 今福 健太郎 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター物理解析研究チーム長
 衛藤 将史 独立行政法人情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター 主任研究員
 光来 健一 九州工業大学大学院情報工学研究院 情報創成工学研究系 准教授
 須崎 有康 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター 主任研究員
 田沼 均 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター 主任研究員
 南谷 崇 キヤノン株式会社総合 R&D 本部 顧問
 堀 洋平 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター 研究員

■ネットワーク分野

市川 晴久 電気通信大学情報通信工学科 教授【総括責任者】
 新 善文 アラクサラネットワークス（株）先端技術企画部 主任技師
 稲垣 博人 日本電信電話株式会社サイバースペース研究所 主席研究員
 笠原 正治 京都大学大学院情報学研究科 准教授
 金子 正秀 電気通信大学大学院電気通信学研究科 教授
 桑名 栄二 日本電信電話株式会社情報流通プラットフォーム研究所 所長
 桑原 秀夫 株式会社富士通研究所 フェロー
 岸上 順一 日本電信電話株式会社サイバーソリューション研究所 所長
 森川 博之 東京大学先端科学技術センター 教授
 三次 仁 慶応義塾大学環境情報学部 准教授
 和田山 正 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授

■ロボティクス分野

小菅 一弘 東北大学大学院工学研究科 教授【総括責任者】
 浅間 一 東京大学人工物工学研究センター 教授
 石黒 浩 大阪大学大学院工学研究科 教授
 鈴森 康一 岡山大学大学院自然科学研究科 教授
 平井 慎一 立命館大学理工学部 教授
 松日楽 信人 株式会社東芝研究開発センター 技監
 水川 真 芝浦工業大学工学部 電気工学科 教授
 中内 靖 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 准教授
 油田 信一 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授

■国際比較企画メンバー■

丹羽 邦彦	上席フェロー
勝山光太郎	フェロー
金子 健司	フェロー
栗木 一郎	フェロー
嶋田 一義	フェロー
服部 隆志	フェロー
伊東 義曜	主任調査員

CRDS-FY2011-IC-03

電子情報通信分野

科学技術・研究開発の国際比較 2011 年版

平成 23 年 6 月 June 2011

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 電子情報通信ユニット
Electronics, Information and Communication Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地
電 話 03-5214-7484
ファックス 03-5214-7385
U R L <http://crds.jst.go.jp/>
© 2011 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA C CTAAC T CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

