

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTC GCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC T CTCAGACC

科学技術・研究開発の国際比較 (2009年版) 概要版

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

平成 21 年 4 月



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

科学技術・研究開発の国際比較(2009年版) 概要版 目次

1. はじめに	1
2. 電子情報通信	3
2.1 電子情報通信の特徴・トピックス	3
2.2 電子情報通信の各分野の概観	5
2.2.1 エレクトロニクス分野	5
2.2.2 フォトニクス分野	6
2.2.3 コンピューティング分野	7
2.2.4 情報セキュリティ分野	10
2.2.5 ネットワーク分野	11
2.2.6 ロボティクス分野	12
2.3 電子情報通信 比較表	14
3. ナノテクノロジー・材料	16
3.1 ナノテクノロジー・材料の特徴・トピックス	16
3.2 ナノテクノロジー・材料の各分野の概観	18
3.2.1 ナノテク・材料	18
3.2.1.1 ナノ材料・新機能材料分野	18
3.2.1.2 ナノ加工技術分野	19
3.2.2 ナノテク・材料の応用	20
3.2.2.1 ナノエレクトロニクス分野	20
3.2.2.2 バイオ・医療分野	21
3.2.2.3 エネルギー・環境分野	22
3.2.2.4 産業用構造材料（輸送・建造等）分野	23
3.2.2.5 生活関連材料分野	24
3.2.3 基盤科学技術	25
3.2.3.1 ナノサイエンス分野	25
3.2.3.2 材料設計・探索分野	26
3.2.3.3 ナノ計測・評価技術分野	27
3.2.4 関連共通課題	28
3.2.4.1 共用研究開発拠点（融合・連携促進）	28
3.2.4.2 教育・人材育成（ナノテクリテラシー含む）	30
3.2.4.3 国際標準・工業標準	30
3.2.4.4 社会受容・EHS・ELSI	31
3.2.4.5 国際プログラム	33
3.3 ナノテクノロジー・材料 比較表	34
4. ライフサイエンス	36
4.1 ライフサイエンスの特徴・トピックス	36
4.2 ライフサイエンスの各分野の概観	37

4.2.1 ゲノム・機能分子分野	37
4.2.2 脳神経分野	39
4.2.3 発生・再生分野	40
4.2.4 免疫分野	42
4.2.5 がん分野	43
4.2.6 植物科学分野	44
4.2.7 融合研究分野	46
4.3 ライフサイエンス 比較表	48
5. 臨床医学	50
5.1 臨床医学の特徴・トピックス	50
5.2 臨床医学の各分野の概観	52
5.2.1 医薬品開発分野	52
5.2.2 医療機器開発分野	53
5.2.3 再生医療分野	54
5.2.4 遺伝子治療分野	55
5.2.5 イメージング分野	56
5.2.6 規制分野	57
5.3 臨床医学 比較表	58
6. 環境技術	60
6.1 環境技術の特徴・トピックス	60
6.2 環境技術の各分野の概観	61
6.2.1 地球温暖化分野	61
6.2.2 環境汚染・破壊分野	63
6.2.3 資源循環分野	64
6.2.4 自然生態管理分野	65
6.3 環境技術 比較表	68
7. 先端計測技術	70
7.1 先端計測技術の特徴・トピックス	70
7.2 先端計測技術の各分野の概観	71
7.2.1 分離精製法分野	71
7.2.2 分光分析法分野	72
7.2.3 構造解析法	73
7.2.4 センサと検出分野	74
7.2.5 イメージング分野	75
7.2.6 試薬とプローブ分野	77
7.2.7 複合分析法分野	78
7.3 先端計測技術 比較表	80
◆ 2009 年版執筆者・協力者一覧	82

1. はじめに

JST 研究開発戦略センターでは、我が国の科学技術力の国際的なポジションを把握するため、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、公表してきている。

平成 20 年 2 月には、広範な 5 つの科学技術を対象とした「科学技術・研究開発の国際比較(2008 年版)」を発表した。これに対する意見も踏まえて、今回、2008 年版をベースとして、「科学技術・研究開発の国際比較(2009 年版)」(概要版及び科学技術毎の 6 冊、計 7 冊で構成)を作成した。

その概要は、以下の通りである。

【目的】

- ・ 国際比較による我が国の科学技術力のポジションの把握
- ・ 注目すべき研究開発動向、異分野融合の動きの把握

【対象とする科学技術】

- ・ 電子情報通信
- ・ ナノテクノロジー・材料
- ・ ライフサイエンス
- ・ 臨床医学
- ・ 環境技術
- ・ 先端計測技術

(注) 2009 年版から、臨床医学についても対象とした。

【調査方法】

(1) 国際比較

- ・ 我が国の専門家の見識に基づいて比較を行った。(主観評価)
- ・ 比較の単位は、それぞれの科学技術を、いくつかの【分野】に分け、さらに比較が可能な技術カテゴリーとして【中綱目】を設定し、【中綱目】単位で比較した。
- ・ 比較の結果は、以下の通り表記した。
(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
- ・ 対象国・地域は、日本、米国、欧州、中国、韓国を原則とし、その他の国は適宜追加した。
- ・ 比較のフェーズは、原則として、以下の 3 つとした。
「研究水準」 大学・国立研究機関における研究レベル
「技術開発水準」 企業における研究開発レベル
「産業技術力」 企業における開発力・生産力

(2) 注目動向の把握等

それぞれの科学技術をいくつかに分けた【分野】単位で、我が国の専門家に記載を依頼した。

【分野数、中綱目数及び参画いただいた専門家数】

・設定した【分野】、【中綱目数】は、下表のとおりである。

科学技術	分 野	中 綱 目
電子情報通信	6	58
ナノテクノロジー・材料	15	71
ライフサイエンス	7	50
臨床医学	6	11
環境技術	4	43
先端計測技術	7	41
合計	45	274

- ・分野に関しては、先端計測技術については、2008年版よりも広い範囲を対象とし、分野を全面的に改定した。他の科学技術については、分野は変更していない。(前記のとおり、「臨床医学」は2009年版が最初である。)
- ・「臨床医学」、「先端計測技術」以外の中綱目については、基本的には、2008年版と同じであるが、当センターの俯瞰マップや最新の科学技術動向を踏まえて、より網羅性を高めるため、適宜新たな中綱目を追加した。(例えば、「ナノテクノロジー・材料」においては、新型超伝導材料を追加。)
- ・「科学技術・研究開発の国際比較(2009年版)」の作成に参画いただいた外部専門家は356人である。本書の巻末にその一覧を示す。

この概要版は、6つの科学技術について、

- ・特徴・トピックス
- ・分野概観
- ・比較表まとめ

を取りまとめたものである。詳細な内容については、それぞれの冊子をご覧ください。

本調査に参画いただいた多くの専門家の方々にこの場をかりてお礼を申し上げますとともに、本調査結果が、我々はもとより、各方面で活用されることを期待する。

2. 電子情報通信

2.1 電子情報通信の特徴・トピックス

電子情報通信は技術の進歩が極めて速く、特にインターネットの普及に伴い新たなサービスが次々と生まれ、それを可能にする技術の研究開発が展開されている。全般的な技術動向として、情報の大規模化・多様化・グローバル化に対応するための技術、環境問題の深刻化に伴い消費電力低減のための技術などの重要性が一層高まっている。

国別に見ると、米国はほとんどの分野で研究技術力、技術開発力、産業技術力、いずれについても世界をリードしており、多くの新しいアイデアは米国から提案されている。欧州は伝統的に基礎的な研究技術力についての強みを有し、産業技術力でも優位性を保っている。アジアでは、中国が急速に実力を高めており、韓国も半導体をはじめ産業技術力で世界をリードする強みを持つ。日本は多くの分野で世界トップクラスの技術レベルを維持しているが、相対的な国際競争力は低下しており今後一層の取組が必要である。

2008 年後半からの世界的な経済情勢の悪化に伴って各国ともに研究開発投資が抑制される傾向にあり、今後の技術レベルに与える影響に注目する必要がある。

以下に、国際的な技術力比較と注目される技術動向について主要なトピックスを記す。

- ・半導体デバイス技術の研究開発は、特にロジック集積化技術に関して米国ニューヨーク州立大学アルバニー校ナノスケール科学工学カレッジ(CNSE)、欧州 IMEC などが代表的な拠点になっている。日本では Selete/MIRAI プロジェクトを中心に研究開発力強化に取り組んでいるが、よりグローバルな展開をはかる必要がある。
- ・有機薄膜太陽電池の研究では欧州が先行している。特に色素増感型では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 EU 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。欧州では長期戦略として、プリンタブル（フレキシブル）回路と有機太陽電池の研究開発が主要な潮流を成しつつある。韓国でも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。
- ・光通信の分野では日本で先駆的な研究が行われており、世界の技術トレンドを牽引している。しかし企業レベルでは、世界的な企業統合により市場の争奪争いが激化し世界市場におけるシェアは必ずしも高くない。米国では大学がデバイス・伝送関係の研究の中心となり、企業との共同研究を推進している。企業では、光デバイス／モジュールメーカーやルータメーカーが高い競争力を持っている。欧州では超高速光通信関連の EU プロジェクト(EURO-FOS 等)による産学連携が行われている。中国では Huawei の発展途上国市場での台頭がめざましい。
- ・ネットワーク上に仮想計算機環境を提供するいわゆるクラウドコンピューティングが注目を集めている。IBM、Google、Microsoft など米国大手企

業が精力的に研究開発に取り組んでいる。クラウドコンピューティングは Google Android に見られるように、携帯端末まで巻き込んだ動きが出ており、インターネットを超え通信ビジネスの根幹も変える可能性が出てきている。日本でも研究開発は始まっているが、現在は米国の後追いの段階である。

- ・データベース関連技術では、米国 Google、Yahoo! 等の企業において超大規模データ管理を可能とするソフトウェア基盤の構築プロジェクトが活発化している。特に Google の動きが注目されるが、Amazon.com および Microsoft も盛んに研究開発を進めている。欧州でもプライバシー保護制約下での情報統合やデータベースシステムの研究が進んでいる。我が国では、ウェブ上あるいは非ウェブ上の多様な情報を対象として、科学技術連携施策群「情報の巨大集積化と利活用基盤技術開発」が推進されている。
- ・マルチメディア技術（ハードウェアを含む）では日本のレベルは高いが、新サービスの展開の面に弱さがある。自然言語処理については、過去の研究投資によりレベルは高いものの長期戦略の点で明確さを欠く。
- ・携帯端末によるインターネット利用環境、ブロードバンドアクセス環境では、日本が世界で最も普及している。しかしその強みが IT 機器産業の優位性に結びついていない。韓国においては、政府主導でワイヤレス環境の整備が意欲的に進められており、ワイヤレスブロードバンド環境では世界で最も進んでいる。
- ・電子マネー、特にオフライン型のサービスでは、交通系サービスが拡大しているほか、携帯電話に搭載してネットワーク経由のサービスとオフライン決済を統合する動きが活発化している。国際的に見ても日本はサービスの普及が最も進んでいる。海外においては、電子マネーや身分証明証に広く用いられている MIFARE Classic 非接触 IC カードが解析され脆弱性が指摘されて問題となった。導入が再検討される例も出ており、ハードウェアや暗号方式のセキュリティ評価の重要性が再認識される結果となった。
- ・ロボティクス分野では、コモディティ化したハードウェア、オープンソースソフトウェアを用いて低価格ロボットを目指す方法論が米国ベンチャー企業によって取り組まれており、新しいロボット産業への試みとして注目される。また、欧州を中心に生活空間でロボットを利用する際の安全性の研究が安全認証も視野に入れ活発化している。
- ・環境問題が深刻化する中、IT 設備・システム自体の消費電力削減 (Green of IT)、IT を活用した環境問題への対応 (Green by IT) が積極的に進められている。前者については、半導体の低消費電力化に関する研究開発が加速している。この分野では我が国はいち早く研究開発に着手して成果を上げてきており優位性を保っている。データセンタの低消費電力化の研究も進んでおり、Google、Oracle などの米国企業がシステム全体の消費電力を分析し、あるいはモデル提案を行っている。一方、後者への取組の一例としては 2008 年 4 月に京都で「ICT と気候変動に関するシンポジウム」(総務省・ITU (国際電気通信連合) 共催) が開かれ、気候変動対策における IT 利活用の重要性について議論された。ITU 内に「ICT と気候変動」を検討するフォーカスグループも創設されている。

2.2 電子情報通信の各分野の概観

2.2.1 エレクトロニクス分野

社会基盤を支えるエレクトロニクスは極めて広範な技術分野にまたがっている。ここではエレクトロニクス技術の根幹をなす電子デバイスについてまとめる。電子デバイスを大別すると、現実の物理世界の量と電子データや電気エネルギーを相互に変換するトランスデューサと、電子データや電気エネルギーを処理する電子デバイスに大別される。

トランスデューサとしては、物理量を電子データに変換するセンサが最も重要なので「センサ」という項目でまとめた。イメージセンサ、加速度、温度、音量、光量などをモニタする各種センサが含まれる。電子データを処理する電子デバイスとしてはシリコン集積回路が産業規模としては最も大きく重要なので、「システムアーキテクチャ」、「デジタル集積回路」、「高周波・アナログ集積回路」、「メモリ集積回路」、「インテグレーション」、「設計支援技術（CAD）」、「実装技術」の中綱目に分類し、最新技術の動向を探った。電気エネルギーを処理するデバイスに関しては「パワーデバイス」にまとめた。これらに、将来を展望するときに基礎となる「有機デバイス・材料」、「無機系新デバイス」といった技術項目を加え、それぞれの技術分野の調査を行った。

- (1) 集積回路技術、実装技術など、多くの技術者が共通の目標に向かって協力的に開発することが必要な技術分野では、日本や韓国は強い。一方、与えられた規格の下で人手をかけて製作できるパソコンボードや一部のデジタル設計（組み込みソフトも含む）の分野では、人件費の安いインド、中国などが技術力を持ち始めている。台湾は日本・韓国と中国・インドとの中間的な位置づけにある。欧米は、優秀な人材が少人数で開拓する技術分野（LSI アーキテクチャ、アナログ・RF 集積回路、CAD、超高速回路など）などで優れた技術力を有している。デジタル集積回路設計については、東アジア圏（韓国、台湾、シンガポール、中国）に加えて、インドやイスラエルの台頭が目立つ。また、ギリシャ、ポルトガルなどが高周波、アナログ、電力線通信の分野に参入し始めている。
- (2) 半導体デバイス技術に関しては、米国アルバニーと欧州 IMEC の 2 大拠点に世界の研究開発リソースが集中しつつある。約 3000 億円が投下されているといわれる米国アルバニーの CNSE、総勢 1600 人以上の陣容を誇るベルギーの IMEC は、日本企業や多くの世界企業、および欧米の大学が参加する欧州最大の電子デバイス研究開発拠点になっている。このような研究開発のグローバル化が進む中で、日本の研究開発拠点もよりグローバルな展開と、日本ならではの独自性を追求する必要がある。
- (3) 日本は、低消費電力化や 3 次元集積回路実装などは優位を保っている。これらは総合力が発揮しやすい分野である。材料から始まって製造技術、デバイス技術、パワーデバイス、実装技術、ソフトウェア、システム技術およびアプリケーション技術に至るまで、国際競争力のある産業がコンパクトに集積した日本の独自性が生かしやすい分野でもある。自動車、家電、半導体、製造装置、ファインケミカルなどの異分野産業がこれほ

ど狭い面積に凝縮している国は世界に例がなく、すり合わせなどの連携が取りやすい。この特徴を生かすためには、デバイスからシステムまでを見渡せる視野の広い技術者の育成が急務である。

- (4) 従来のエレクトロニクス技術の高度化とともに、米国や韓国などでは各種センサや無線技術を融合したセンサネットワークなど、新しいシステムの研究が盛んになってきている。また、欧州ではバイオや化学系の技術との融合も始まっている。これらの技術は、環境問題、エネルギー問題、食糧問題、高齢化問題など、現在世界が直面している現実世界の問題を解くことが期待されているが、現実世界では信頼性などのディペンダビリティがことさら重要になる。日本が注力しているディペンダビリティの研究開発との融合が期待される。

2.2.2 フォトニクス分野

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。

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と米国の水準が高い。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り、設備や研究開発への投資の縮小や凍結などが予測され、特に技術開発力や産業技術力に対し、多大の影響を与え始めている。変化は予想以上に速く、また、国や分野によって事情が異なるため、将来予測を難しくしている。したがって、現時点での評価が、半年、一年後に大きく変わる可能性がある。

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。

光メモリは、日本が高い技術開発力、産業技術力を維持しており、産業としても成長を続けているが、企業における光ディスク関連事業は、利益が出ない体質となっている。さらに、次世代の光メモリ方式が見えて来ないのが悩みである。

ディスプレイ技術は、家庭用テレビの市場において、地球規模で、フラットパネルディスプレイの出荷台数が CRT を抜き、世代交代が成った観がある。産業化が進み、大学等における研究水準は日本を始め各国で停滞気味である。技術開発水準、産業技術力については、日本がトップレベルにあるが、アジア諸国の追い上げにより、相対的な地位は低下している。特に韓国の発展が目覚ましく、世界第一位の地位を奪われたと言ってよい状況にある。

固体照明では、白色 LED 照明が産業として急速に立ち上がっている。日本

は高い産業技術力を持っており、基盤技術である窒化物半導体や蛍光体の研究は世界的にも高い水準にあるが、「照明」という観点からは研究体制が整っていない。産業技術力としては欧州が最高水準にあるが、最近、台湾、韓国、中国が急速に高い競争力をつけてきている。

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発展しつつある。日本の技術開発力、産業技術力は世界的にも最高水準にある。米国では、大学に世界屈指の光学センターがあり、高い研究水準を誇っている。中国、韓国は国策として研究開発力強化を図っている。

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。日本は、技術開発が民生機器を中心に行われているが、大学での研究が必ずしも実用化に結びついていない。米国では、大学・研究所が中心となって技術開発を進め、産業界からのニーズに素早く対応しているのと対照的である。韓国は半導体産業に直結した研究を育成し、ベンチャー産業を支援している。

量子情報は、当初量子コンピューティングでは米国、量子暗号では欧州がそれぞれ先行していたが、現在は米国、欧州とも量子情報全般に亘って高い水準にある。日本は後発ながら、理論、基礎実験、応用開発ともトップグループに追いついているといっている。

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。日本はフォトニック結晶の研究、技術開発で世界的に高い水準にある。一方、メタマテリアルは欧米で急速に研究が拡大している。応用開発では、フォトニック結晶ファイバや発光素子への応用に向けて各国で急速に技術開発が進んでいる。メタマテリアルは電波周波数帯での研究が活発である。

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。ただし産業技術力は米国、カナダの水準が日本、欧州に比べて高く、世界で利用されている光導波路デバイスや光半導体デバイスのシミュレータの多くは米国製、カナダ製である。これは半導体の CAD と同様の状況にある。

2.2.3 コンピューティング分野

コンピューティング分野を大枠として (i) コンピュータソフトウェア、(ii) コンピュータハードウェアとに分けて、以下に概観を記す。

(i) コンピュータソフトウェア

情報化社会あるいは情報技術 (IT) 分野でソフトウェアの役割、比重は年々増しつつあり、また多様になってきている。

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いる(ただし 2008 年 9 月の金融危機に端を発する大不況は、この米国 IT 産業にも少なくない影響を与えるものと考えられる)。欧州は伝統的に大学を中心に基礎領域に強みを発揮してきたが、EU の統合の進展により各国間の連携が、共同研究プロジェクト等を通じて強化されてきている。近年では幾つかの国でソフトウェアベンチャー企業が興っており、元々多国籍的なところが多

いことから、産業に関する国際舞台でも存在感を増してきつつある。

ソフトウェア開発に関しては、オフショア化（インドや中国への移行）を中心とした国際的構造変化が進行している。これらの国の新技術創出力はまだ高いレベルではないものの、ソフトウェア開発の技術者層の拡大、欧米で教育を受け企業を経験した高度技術者・研究者の母国への還流などにより、次第に力をつけ、レベルを向上させていくものと予想される。韓国についても国際的エレクトロニクス産業の興隆に符合して、ソフトウェアを含む情報技術のレベルは向上しつつある。

さて我が国であるが、ソフトウェアに関する研究レベル、技術レベルは全般としては米国には後塵を拝するが（個々に得意分野があるので一概に比較はできないものの）、欧州とは匹敵する高レベルにあると言える。マルチメディアシステムや自然言語処理の技術水準は世界最高レベルと言えるが、新サービスの創出力、長期目標設定の点で弱さが見られる。この弱点は他のソフトウェア分野にも共通している。

ソフトウェア産業の全体規模は大きく、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となっており、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感じられる。我が国のソフトウェアの輸出入金額は 1:100（但し、ゲームソフトは除く）と言われており、国際的に競争力を持つソフトウェアが極めて少ないことが大きな問題である。この要因として、初期の頃からハードウェアの付随物として捉えられがちであったソフトウェアの位置付け、均質的な国民性、品質改良は得意だが新コンセプト構成本力の弱さなどが語られてきている。ただし第一の要因に関連して、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、経産省が連携し、高度 IT 人材養成プログラムが実施されている。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、給与が安い）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。ソフトウェア制作は元来創造的作業のはずであり、ソフトウェア産業界も協力してこの問題点を解消し、創造力あふれる若者が集まる状況に改善する必要がある。

米国、欧州で進む新時代の情報環境に対応する新しいソフトウェア技術の進展、インド、中国、韓国の台頭の間で、我が国は国際的競争力を持つ創造的ソフトウェアを伸ばし、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。IT に関する技術や環境は高速度で変容しつつあり、新情報環境、社会をもたらす新ソフトウェアが必要とされ受け入れられる余地、チャンスは大きく、我が国でもこのような新しいソフトウェアの芽が生まれ出ている。単に国内市場での成功に満足することなく、如何にして国際的に通用するものに育成していくかが、今後の情報化社会、情報産業の重要性を考慮した時、大きな政策課題であろう。

2008 年 9 月の金融危機に端を発する世界大不況は、IT 産業地図にも少なくない影響を与えるものと推察される。世界の IT を先導してきた米国も変調する可能性があり、新しい技術や勢力が伸びるチャンスの時でもあると言えよう。

(ii) コンピュータハードウェア

ITの中軸技術としてのコンピュータハードウェアやコンピュータシステムの位置付けは変わらず、その高速化、高性能化に支えられて、多くの新しいコンピュータ応用の世界が切り拓かれて来た。この枠組みは今後も続くと考えられ、情報化社会あるいは情報関連産業の中軸として重要性は変わらない。高速化に関しては、単一CPUでの性能向上が飽和に近づいてきていることから、多重CPU、クラスタコンピュータなどの形態が追求されており、その帰趨が今後の国際競争力に直結するようになってきている。高速化以外のディペンダビリティや低消費電力性、リコンフィギュラブル性なども新しい性能要因になってきている。Webサービスやクラウドコンピューティングのバックエンドとなる大規模（分散）サーバ、データベース（及びその関連ソフトウェア）技術も、重要性を増しつつある。

コンピュータを産み出して育て、産業を興し主導してきた米国は、今日でも全体的に他国を圧倒する技術力、産業力を保持している。

欧州がコンピュータハードウェア製造の産業力は失っている状況にあるので、日本は世界の中で米国に次ぐ位置にある。1980年代、改良技術と高い製造技術とにより、日本のメインフレームコンピュータは高い国際競争力を持っていた。現在でも、クラスタコンピュータ、マルチチッププロセッサ、リコンフィギュラブルシステム等の研究及び技術レベルは国際的に見ても高いが、課題は世界マーケットで競争力を持つ製品に出来るかどうかである。スーパーコンピュータについては、地球シミュレータ（NEC製）が2002年から2年半の間、世界最高速の地位にあった。現在は再び、世界最高速を目指す汎用京速計算機の開発が始まっている。

欧州はコンピュータハードウェア製造の産業力は失っているものの、クラスタコンピュータのアプリケーションやリコンフィギュラブルシステムのアルゴリズムなど、ソフトウェアも関連する部分については強みを有している。チップマルチプロセッサについてもアーキテクチャ研究が進んでおり、その製造については米国との共同化による形態が採られている。ディペンダブル情報システムに関しては、欧州の研究開発は活発であり水準は高い。

中国はコンピュータハードウェアに関して、独自の先端技術を伸ばしつつあり、研究者数、発表論文数は増加してきている。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も低くなりつつあり、その製造技術が伝わることにより、中国は今後、技術力を向上させていくものと考えられる。

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の投資が向けられておらず、この分野には注力されていない。（国際分業の観点から集中と選択を行い国際競争力の強い領域を持つこのような戦略は、今後日本の研究開発戦略を考える上で参考になるだろう。）

2.2.4 情報セキュリティ分野

情報セキュリティ技術分野の傾向は大きく、基盤技術、生体認証および人工物認証、アプリケーション、ソフトウェアシステム、ハードウェア、管理・運用・評価認証に分類して見ることができる。

基盤技術に関しては、その設計・評価に高度かつ広範囲の専門知識が必要とされるため単独の組織で独自に行うことは難しくなっており、近年では、学会や公的な評価プロジェクトなどによる強度評価結果を参考にするという手法が主流になりつつある。日本におけるこの分野は CRYPTREC などの評価プロジェクトが運営されていることや、家電、携帯、放送、小額電子決済、ETC (Electronic Toll Collection System) などの分野において国産技術が複数あることなどから高い。しかしながら、ハッシュ関数に衝突が見つかるなど、経年劣化に伴う安全性の見直しが求められていると共に、ID 連携、プライバシー保護、情報漏えい対策、長期の安全性などの視点に立った新たな基盤の整備が求められている。

生体認証に関しては、欧米および韓国において統一的な認証精度評価の枠組み構築に向けた取り組みが進んでいるが、評価手法に関する研究はあまり行われていない。ただし、テスト物体アプローチやウルフ攻撃アプローチといった新しい評価手法の研究が日本で開始されており、今後の動向が注目される。人工物認証に関しては、特殊用紙等の開発において日欧米が高い技術力・競争力を有しているものの、生体認証ほど認証精度およびセキュリティの評価に関する統一的な基準作りは進展していない。ただし、日本においてホログラムの光学的特性を測定する手法の開発・標準化に向けた検討が開始されていたり、欧米において PUF (Physical Unclonable Function) の実用化に向けた開発が進展していたりするなど、人工物認証の今後の動向が注目される。

アプリケーションに関しては、匿名性や不正利用の防止・追跡技術等の理論研究が 80 年代から盛んに行われており、強い安全性を理論的に証明できる域に達している。しかしながら、現実のアプリケーションでは、手軽に利用できる SSL/TLS や IC カード等を用いて実現されている例がほとんどであり、高度な暗号技術が適用される例は極めて少なく、理論と実践の乖離が広がっていた。そのような中、両者を橋渡しすべく、高度な暗号技術を用いながらも実用を強く意識するといった、新しい技術開発の潮流が生じている。

ソフトウェアシステムに関しては、米欧において研究および産業化が盛んに行われている。特に安全性検証分野においては、研究レベルの技術が実産業界におけるソフトウェアの信頼性や安全性の保証に用いられるケースが報告されている。一方、日本においては、研究のレベルは一定水準に達していると考えられるが、セキュリティ分野のソフトウェア産業自体が立ち後れており、研究技術の産業化においても弱みがある。

ハードウェアに関しても、他の綱目と同じく学会や公的な評価プロジェクトなどによる強度評価結果を参考に評価基準を作成するという手法が主流になりつつある。日本においても JCMVP (Japan Cryptographic Module Validation Program) などの認証制度が導入されると共に、それを支える研究プロジェクトや委員会活動が存在し、日本の国際競争力は欧米と並びつつある。

また、量子技術については、日本は基礎的研究開発に非常に高いレベルを維持しているが、より積極的に産業化を促進すべき時期にきている。

管理・運用・評価認証に関しては、近年、情報機器やネットワークが社会基盤として広く一般に浸透し、多くの非専門家がかかわりを持つようになってきたことから、その重要性が認識されるようになってきた。これらは主に、ISO の二つの国際規格、ISO15408（機器等の情報セキュリティ認証規格）と ISO27001（情報セキュリティ管理規格）を中心に経験の蓄積すなわちベストプラクティスの集積を柱として発展してきたが、近年は、経営学、経済学、心理学といった社会系諸科学の理論や手法を取り入れた学術的な研究も進みつつある。

2.2.5 ネットワーク分野

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 9 つの中綱目に分類した。すなわち、(1) ネットワークが提供する環境、(2) ネットワーク応用（サービス技術）、(3) アーキテクチャ、(4) ネットワークシステム、(5) ネットワーク制御・管理・運用、(6) 情報通信端末技術、(7) ヒューマンインタラクション、(8) 要素技術、(9) 基礎理論、である。

研究水準、技術開発水準、産業技術力、いずれにおいても、全体的に米国の技術力が世界をリードしている。ただし、中国に代表されるアジア勢力が産業技術力を高め、製品シェアを高めている点に注目すべきである。インターネットとコンピュータ応用で世界をリードしている米国が、検索サービス等のネットワーク応用においても優位な立場を築いているのは、当然の成り行きとも言える。アーキテクチャ関連では、NSF が推進する FIND (Future Internet Design) や GENI (Global Environment for Networking Innovations) といった先導的な研究推進活動に注目する必要がある。

ネットワークシステムにおいても、ルータやスイッチなどのシステム分野を北米企業が席巻しており、強いビジネス基盤を築き、40Gbps などの最先端製品の普及においても日本に勝っている。ただし、光通信システム分野では、特に超高速技術に関して日本は 40 Gbps 光伝送システムを世界に先駆けて実用化し、高速性能で世界のトップレコードを保持するなど、技術力において世界を先導している。また、第4世代の携帯無線技術でも日本が世界をリードしている。

一方で、日本は携帯端末によるインターネット利用環境、ブロードバンドアクセスともに世界で最も普及している点で、ネットワークが提供する環境では最も進んでいる。韓国においては、政府主導でワイヤレス環境の整備が意欲的に進められており、ワイヤレスブロードバンド環境では、世界で最も進んでいる。しかし、今後特に大きな市場は中国、インドをはじめとするアジア、アフリカ諸国である。日本、韓国などの技術先行投資企業にとって、これらの国で先進的技術が必要とする時期の見極めが重要である。

ネットワークサービス分野においては、ネットワークの高速化・高可用化とコンピュータの低廉化の進展から「クラウドコンピューティング」が注目を浴びている。ICT ビジネスモデルに大きな影響を与える可能性がある。

ワイヤレス技術とサービスの進展が著しく、移動体通信と有線通信の融合への動きが現実化しつつある。米国を中心に新しい携帯端末ソフトウェア技術を

投入する動きと合わせて注視していく必要がある。

環境問題が深刻化する中、ICT 消費電力の上昇に危機感が高まっており、「グリーンネットワーク」への取り組みが世界的に本格化している。ネットワーク技術の性能評価指標として消費電力は今後ますます重要な指標となっていくと予想される。

2.2.6 ロボティクス分野

ロボットは、センサ、アクチュエータ、メカニズム、それらを統合して機能を発現させるための理論・アルゴリズム、システムを構築する際のインテグレーション技術等からなるシステムである。

欧米では理論的研究が進んでいるが、宇宙などの特殊な分野を除いては、日本は実世界でのロボットに強いというのが、ロボティクス分野に関する従来からの定説であるが、この定説は崩れつつあるように思われる。後述するように、米国ではロボット産業に対する新しい挑戦が行われるとともに、中国や韓国も急速に力をつけつつあり、いつまでも日本がロボット大国であり続けるかどうか予断を許さない。

米国は、基礎研究や理論的研究において、優れた研究成果が多くの分野で見られ、非常に高い研究水準を保っている。従来からの NASA 主導の宇宙関連研究以外にも、軍関係のシステム開発を目的とした研究・開発に、巨額の予算が投入され、直接的・間接的に非産業用分野における産業技術力が非常に強化されている。例えば、掃除用ロボット Roomba を開発した iRobot は、軍用ロボットを開発し供給していることで知られているし、パワーアシストスーツも、軍用ではあるが、実戦配備目前の驚異的な性能を有するものが、すでに開発されている。また、新しいロボット産業への挑戦も試みられており、例えば、Willow Garage 社では、コンピュータにおけるメインフレームコンピュータからパーソナルコンピュータへの流れを、ロボティクスの世界で実現することを目指し、パーソナルロボットアプリケーションのためのハードウェアとオープンソースソフトウェアの開発を行っている。また iRobot の設立に携わった MIT の R.Brooks 教授が設立した Heartland Robotics 社においては、コモディティ化した部品を用いた安価なロボット開発を目指していると伝えられている。日本が得意とする従来のロボット産業とは異なり、価値の源泉となるのはソフトウェアであり、米国におけるこれまでの理論的な成果がソフトウェア化されると、従来のロボット産業を凌駕する新しいロボット産業が立ち上がる可能性がある。

日本は、ヒューマノイドを初めとして、ロボットの知能化やコミュニケーション技術に関するプロジェクトが数多くある。また、産業応用だけではなく、サービスロボット分野でもそれなりの高い技術開発力を有しており、実際のロボットシステムの開発において高い技術力があると思われる。しかし、curiosity-driven の科学としてのロボット研究と、実応用としてのロボット研究開発が混在しており、それらの研究目的をはっきりと区別するとともに、分野を絞った大規模投資が必要であると思われる。また、軍事関係で多額の研究費が投入されている米国や、大型の国家プロジェクトが行われている韓国と比べると、制度上の問題もあり、実証試験から実用化まで、ロボットの研究・開発が、迅速

かつスムーズにおこなわれているとは言い難く、応用面でのブレークスルーが待たれている。

欧州では、ロボットに関する多数の意欲的なプロジェクトが開始され、特に、バイオリボティクス、医療、福祉関係では、非常に先端的な研究を行っている。

イタリア、ドイツ、フランスなどでは、ロボティクス関係の研究開発が活発に行われているとともに、特に、イタリアでは、ベンチャービジネスも数多く誕生していると聞く。また、ドイツでは、DLR (Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt) が開発した軽量高剛性アームが企業にそのまま移転されるなど、研究機関の成果が、産業技術力の向上に結びつきつつある。また、EU から多額の研究開発費が提供され、産業界も、EU 内のプロジェクトに積極的に参加し、次世代のロボット技術の研究開発を行っている。

韓国では、日本のネットワークロボットに相当する URC (Ubiquitous Robot Companion) プロジェクトが終了し、約 1,000 世帯の家庭に家庭用ロボットを配布するとともに、空港、郵便局などにおいても実証実験、評価が行なわれた。また、ロボット開発用ソフト Anybot Studio も開発が進んでおり、2015 年には 1 家に 1 台のロボットを目標とし、サービスロボットの分野でトップを狙う戦略が着々と進められている。特に、知能化技術の応用については、積極的に産業界と連携が行われており、サービスロボットの製品化のスピードに関しては、制度面で導入が遅れている日本を追い抜く可能性もある。URC プロジェクト終了後、省庁再編で、ロボットは知識経済部の管轄下になり、また、2012 年 7 月オープンを目指しロボットランドの建設が 2009 年から仁川にて始まる予定である (予算 8 億 2700 万米ドル)。内容的にはテーマパークと研究施設を合わせたものである。

中国のロボティクスは、まだまだ発展途上であるが、米国や日本から中国に戻った研究者が、質の高い研究を行っており、近い将来、強力なコンペティターとなるものと思われる。

2.3 電子情報通信 比較表

分 野		エレクトロニクス分野																フォトリソグラフィ分野																							
中綱目		VLSIシステムアーキテクチャ		集積回路（デジタル）		集積回路（アナログ）（高周波）		集積回路（メモリ）		集積回路（インテグレーション）		実装技術		センサ技術		パワーデバイス		設計支援技術（CAD）		有機材料・デバイス		無機系新デバイス		光通信		光メモリ		ディスプレイ技術		固体照明		光学材料・コンポーネント・光学設計		光計測		量子情報		フォトニック結晶・メタマテリアル		シミュレーション解析・解析ツール	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド		
日本	研究水準	○	→	◎	△	×	→	○	→	◎	→	◎	→	○	△	○	△	◎	→	◎	△	◎	→	◎	→	△	→	○	△	→	◎	→	◎	→	○	△	→	◎	△	→	
	技術開発水準	○	→	◎	△	△	△	◎	→	◎	△	◎	→	○	→	◎	→	△	→	◎	△	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	△	→	◎	→	◎	→	△	→		
	産業技術力	○	△	○	△	○	△	○	△	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	△	→	◎	→	○	→	○	△	→	◎	→	◎	→	△	→	◎	→	△	→	◎	→			
米国	研究水準	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	△	◎	→	◎	△	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→		
	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	△	◎	→	◎	△	◎	→	◎	△	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→				
	産業技術力	◎	→	◎	→	◎	△	○	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	△	◎	→	○	→	◎	→	◎	△	→	△	△	◎	→	△	→	◎	→	◎	→					
欧州	研究水準	◎	△	○	△	◎	△	△	→	○	→	◎	△	◎	△	◎	△	◎	→	◎	△	◎	→	◎	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	△	→			
	技術開発水準	○	△	△	→	○	△	△	→	○	△	◎	△	◎	△	◎	→	◎	△	○	→	◎	△	◎	→	○	→	◎	→	△	→	◎	→	◎	→	◎	△	→			
	産業技術力	○	→	△	→	◎	→	○	→	○	→	○	△	◎	→	◎	→	○	→	◎	△	◎	→	△	△	◎	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→				
中国	研究水準	△	△	○					→	○	△	△	→	○	△	△	△	○	△	○	△	×	→	△	△	×	△	△	○	△	△	→	△	△	○	△	△	→			
	技術開発水準	△	→	○					△	△	△	△	×	→	△	△	△	△	→	△	→	×	→	○	△	○	→	△	△	△	→	△	△	△	→	△	△	→			
	産業技術力	×	△	△					△	△	○	△	×	△	○	×	△	×	→	△	→	×	→	◎	△	◎	△	○	→	×	→	×	→	×	→	×	→				
韓国	研究水準	○	△	○	→	△	→	◎	→	○	△	△	→	△	△	○	△	○	△	◎	△	○	△	△	→	◎	→	○	△	△	△	→	△	△	△	→	△	△	→		
	技術開発水準	○	△	○	→	○	→	◎	→	◎	→	○	△	→	○	△	○	△	△	→	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	△	→	△	△	△	→	△	△	→		
	産業技術力	○	△	○	△	△	→	◎	→	◎	→	◎	→	△	△	○	△	△	→	◎	△	○	△	△	→	◎	→	○	△	△	△	→	△	△	△	→	△	△	→		
台湾・中国・韓国				△	△	△	△																			○	△														
				△	○	△	△																			△	△														
				△	◎	△	○																			△	△														
シンガポール				○	△	△	△																			○	△														
				△	△	△	△																			△	△														
				△	△	△	△																			△	△														

分野		コンピューティング分野											
中綱目		基礎理論	基礎ソフトウェア	データベースとデータマイニング	ソフトウェア開発技術(ツール要求分析)	ソフトウェア開発技術(ツール形式手法)	ビジネス応用とサービスサイエンス	Web情報システム	マルチメディアシステム	自然言語処理	スーパーコンピュータ	並列コンピューティング	チップマルチプロセッサ
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○→	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	技術開発水準	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	産業技術力	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
米国	研究水準	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	技術開発水準	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	産業技術力	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
欧州	研究水準	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	技術開発水準	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	産業技術力	◎	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
中国	研究水準	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	技術開発水準	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	産業技術力	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
韓国	研究水準	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	技術開発水準	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	産業技術力	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

分 野		情報セキュリティ分野										ネットワーク分野									
中綱目		基礎技術	生体認証および人工物	アプリケーション	ソフトウェアシステム	ハードウェア	管理・運用・評価認証	ネットワークが提供する環境	ネットワーク応用	アーキテクチャ	ネットワークシステム	ネットワーク制御・管理・運用	情報通信端末技術	シミュレーション	ヒューマンインタラク	要素技術	基礎理論				
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	◎→	○→	◎→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
	技術開発水準	◎→	○→	○→	○→	△→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
	産業技術力	◎→	○→	○→	○→	△→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
米国	研究水準	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→
	技術開発水準	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→
	産業技術力	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→
欧州	研究水準	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→	◎→	○→
	技術開発水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
	産業技術力	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
中国	研究水準	○→	△→	△→	△→	△→	○→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→
	技術開発水準	△→	△→	△→	△→	△→	○→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→
	産業技術力	△→	△→	△→	△→	△→	○→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→
韓国	研究水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
	技術開発水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→
	産業技術力	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→

分 野		ロボティクス分野															
中綱目		実世界応用技術		理論・アルゴリズム								アクチュエータ・メカニズム・エネルギー源		センサ・センシング技術		インテグレーション技術	
				マニピュレーション		移動		コミュニケーション		知能化							
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗
	技術開発水準	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗
	産業技術力	◎	↗	○	↗	○	→	○	↗	◎	→	◎	→	◎	→	○	→
米国	研究水準	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↗
	技術開発水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗
	産業技術力	○	→	○	→	◎	↗	○	→	◎	→	○	↗	◎	→	◎	↗
欧州	研究水準	○	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	→	◎	→
	技術開発水準	◎	↗	◎	→	○	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	→
	産業技術力	◎	↗	◎	→	○	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	↗	○	→
中国	研究水準	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	→	△	→	△	↗
	技術開発水準	△	↗	○	↗	△	→	△	→	○	↗	△	→	△	↗	△	↗
	産業技術力	△	↗	○	↗	○	?	△	↗	△	↗	×	→	○	↗	△	↗
韓国	研究水準	○	→	○	→	○	↗	○	↗	△	↗	△	→	◎	↗	△	↗
	技術開発水準	○	↗	○	↗	◎	→	△	→	◎	→	△	↗	◎	↗	○	↗
	産業技術力	○	→	○	→	◎	→	○	→	○	→	×	→	◎	↗	△	↗
				オーストラリア		◎		→									
				シンガポール		○		↗									
						○		↗									
						○		↗									

(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】

3. ナノテクノロジー・材料

3.1 ナノテクノロジー・材料の特徴・トピックス

ナノテクノロジー・材料（以下、ナノテク・材料）への世界各国の公的投資が始まってから5年以上が経過し、日米では双方とも9年目を迎える。2001年に米国のNNI（国家ナノテクノロジー計画）がスタートして以後、日、英、韓を始め世界の主要数10カ国が相次いで独自のナノテク国家計画を発表した。民間を含む世界の年間総投資額は、2007年に1.2兆円に達し、本報告書作成時点の2008年度は1.35兆円と予測されている。特にこの1,2年は、米国、EU諸国を中心として政府投資の継続的強化、新興国（ロシア、アジア、中近東）の新たな参入、ナノテク商業化の兆し、などが相乗して投資急増の傾向となっている。

ナノテク・材料はほとんど全ての産業領域を横断する融合技術分野であり、新材料・新プロセス・新デバイスが生み出されるとの期待が大きい。特にここへ来て、エネルギー・環境や医療・健康、エレクトロニクス等の各応用分野から、ナノテク・材料技術によるブレークスルーへの期待がいつその高まりを見せている。これに伴い米国や日本では、投資に対するリターンを期待し始めていたが、2005年以降に世界のナノテク関連製品数が急増しているという調査結果も複数出始め、各国の研究開発投資が製品として結実し始めた兆候が明らかになってきた。現在のナノテク・材料研究開発は、第一世代（個別分野の先鋭化・極限化：ナノ先鋭化）から、第二世代（先鋭化した異分野のナノテクが融合：ナノ複合化）に移行しつつあると見られている。今後はさらに、各応用分野へのイノベーションドライバーとして技術の成熟を目指し、第三世代（各種ナノテクを構成的に組み上げる：ナノ組織化）に突入すると考えられる。

各国の技術水準を全体的に俯瞰すると、国際的に優位を保つ材料科学・物理学・化学の学術ポテンシャルと、圧倒的な強さを持つ部素材産業とを車の両輪にして、日本は欧米と肩を並べて世界をリードしている。ただし、欧米に比較して、企業化を含む長期的な戦略や、そのために必要な人材育成策、インフラ構築策が脆弱である。以下に、個別分野について国際比較の概略を記す。

- ・ナノ材料・新機能材料分野は、先端材料の基本であり、CNT（カーボンナノチューブ）、超分子、新型超伝導材料、強相関材料など、多くの部分で日本が先端を走っている。米欧が続き、韓国が追う。中国は新型超伝導材料などいくつかのテーマで驚異的な進展を見せ、日米欧と競合している。ナノ加工技術分野は、技術蓄積と総合力の問われる分野で、超微細加工技術、ナノ転写加工・印刷技術、MEMS・NEMSなど日米欧がリードしている。韓・台はエレクトロニクス関連技術に力を入れ、中国が後を追う。
- ・ナノエレクトロニクス分野では、CMOS関連・スピントロニクス、有機エレクトロニクスなどにおいて、日米のリードに韓国が食い込み、中国が猛追している。米国と欧州は研究開発の中核拠点の整備・充実を図り、新しいプロジェクト等を通じて海外の人材を吸引し始めている。中長期的に日本の苦戦が予想される。バイオ・医療分野では、日本の研究水準が上がり、DDS（薬剤送達システム）や再生医療分野で一歩リードしている。しかし、

全般的には産業化へのインフラが弱く制度的な課題もあって、欧米の後塵を拝している。エネルギー・環境分野への応用では、米国のナノテク応用戦略が際立つ。太陽電池材料や、光触媒、電池関連材料では日本はリードしているものの、市場展開で遅れている。二次電池やキャパシタでは、中国の存在感が増している。基礎技術では、英・独・仏が傑出している。バイオ燃料・バイオ発電等の生物材料は欧米がリードし、膜分離による水浄化技術や排出ガス浄化用触媒、環境調和・リサイクル技術では日本がリードしている。高強度・軽量構造材や高機能ガラスなどの産業用構造材分野では、日米欧が先進し、韓・中がキャッチアップ途上である。耐熱構造材については、航空・軍需産業の戦略材料として位置づけてきた米・欧が先行している。化粧品、繊維などの生活関連材料分野では、既に多くの製品が各国で市場に出ている。食品については欧米の産業界が応用開発を主導している。

- ・ナノサイエンスについては、ナノフルイディクス・ナノトライボロジー、界面・表面、自己組織化理論、新量子概念、マルチフェロイクスなど、日米の上昇傾向が強く、欧州が続いている。界面・表面では、韓国が急上昇中。材料設計・探索手法については、計算機シミュレーション、高速材料探索手法で米国が強く、データベース整備では欧州が強い。日本はこの分野で豊かな研究人材を有す。ナノ計測・評価技術分野では、液中 AFM・高速 AFM (日本)、SPM の汎用機器化 (米国)、スピン偏極 STM (欧米) の発展があり、最先端電子顕微鏡では欧州がリード、米は放射光利用イメージングに注力。ISO のナノテク標準化技術委員会では日米欧が活発である。
- ・関連共通課題 (インフラ) として、融合と連携を加速推進するための共用施設、教育・人材育成、国際標準・工業標準、社会受容 (EHS・ELSI)、国際プログラムの諸課題があるが、社会受容を除いて日本は確たる戦略を持たず、欧米や台湾に遅れをとっている。特に共用施設については、米・欧・韓に比して国家投資が極端に貧しく、国際的にも開かれていない。国際戦略の欠如は日本のアキレス腱になりつつある。教育・人材については、米国と台湾が K-12 という小中高一貫教育のためのナノテク教材作りと教員養成を精力的に進めている。

この 1,2 年における注目トピックとして、鉄ニクタイド系新超伝導体の発見及び 50K を超える転移点の実現 (日本 / 東工大 -JST、中国 / 中国科学院) や、近年の新たなナノカーボン材料であるグラフェンのエピタキシャル成長、バンドギャップを持つグラフェンの作製及びそれを使ったトランジスタ作製 (米国 / DARPA_CERA Program)、等が挙げられる。グラフェンは、微細化限界が間近に迫った CMOS 技術を打破しようとする候補材料の一つとして、米欧での研究集中が著しい。また、ナノテク・材料のエネルギー・環境応用を加速させる象徴的な出来事の一つとして、米国新大統領が DOE のローレンス・バークレー国立研究所長の Steven Chu 氏 (1997 年ノーベル物理学賞受賞者) をエネルギー長官に指名した。同氏は「分子工場 (Molecular Foundry)」の提唱者であり、異分野融合とナノテクによって再生可能エネルギー分野でイノベーションを起こすことを宣言している著名な科学者である。

3.2 ナノテクノロジー・材料の各分野の概観

3.2.1 ナノテク・材料

3.2.1.1 ナノ材料・新機能材料分野

ナノ構造材料・新機能材料分野は、ナノテクノロジーの中でも中心的な分野である。様々な中綱目がこの分野に含まれるが、本報告では11の中綱目、ナノカーボン材料、ナノコンポジット材料、表面改質材料、特異な幾何構造系（超分子・ゲル）、ナノ空間・メソポーラス材料、触媒材料、高分子・プラスチック材料、新型超伝導材料、磁性材料、ナノ粒子、及び強相関電子材料について国際比較を行った。

ナノカーボン材料は、CNT、フラーレン、グラフェン、ナノコーンなどのカーボン素材の総称で、ナノテクノロジーの基本部材と見られている。ナノコンポジット材料は金属、セラミックス、及びポリマーのナノスケールでの混合材料であるが、金属を主とする材料では結晶の微細化やアモルファス化による素材特性の改善、セラミックスを主とする材料では結晶の微細化や異相（金属やポリマーを含む）粒子分散による力学的特性あるいは機能性の改善や新規性付与、ポリマーを主とする材料では異相（金属やセラミックスを含む）の混合による強度、耐熱性、耐摩耗性、あるいは加工性の大幅改善などが特徴となっている。表面改質は、ここでは従来技術とは異なり、分子や原子のナノスケールでの働きを制御して硬度、耐摩耗性、表面活性、親・疎水性などを表面に付与する技術である。特異な幾何構造系（超分子・ゲル）は、分子構造に特徴を凝らした結果、強度や弾性変形のスケールなどで驚異的な特性を示すゲル等の総称で、複数の分子が共有結合以外の結合（配位結合、水素結合など）や比較的弱い相互作用により秩序だって集合した分子性化合物である超分子もこれに分類した。ナノ空間・メソポーラス材料は、ナノスケールの特定目的に見合った複雑形状空間や、均一で規則的な配列のメソ孔（直径2～50nm）を持つ多孔質材料であり、触媒や吸着剤などの素材として優れた特性を持つばかりでなく、微細構造材料のテンプレートとしても機能する。高分子・プラスチック材料は、ポリマーアロイ（複数のポリマーをナノスケールで混合して新しい特性を持たせた高分子）やブロック共重合体など、従来にない特徴を持つ高分子材料も含め、ナノテクノロジー活用の先端的な展開が見られるポリマー材料である。新型超伝導材料は、その中心は2008年に発見された鉄系超伝導材料であるが、2001年に発見されたMgB₂も含めた。磁性材料は、スピントロニクス材料を中心にしたナノ材料であり、日本が世界の先端を進んでいる。次世代集積回路の重要な候補材料との見方がある。ナノ粒子は、ナノスケールで分散した金属、セラミックス、あるいは有機物などの粒子状材料であり、ナノテクノロジーの安全性などで話題になることが多いが、殆どが工業原料として密封系内で利用されるもので、機能性ナノ構造体の製造に使われる。強相関電子とは、多数の電子がお互いに強い影響を及ぼしながら存在する状況であり、このような電子系を持つ電子材料は小さな刺激を入力として劇的な電子相変化を巨大出力とする現象が期待されている。

ナノ構造材料・新機能材料は、先端材料の基本であり、多くの部分で日本が世界の先端を走っている。特に産業化が進んでいる材料に関しては、殆ど日本の独壇場と言ってよく、米国がこれに次ぎ、そして欧州は後追の形となっている。韓国や中国の追い上げは、一部利益率の高いところで日本からの技術導入が進み、現地で工夫も加えられており、現状ではそれほど顕在化していないものの、将来的には大きな脅威と見られる。一方、新規な機能材料については、日本の活躍が目立つものの、欧米で先行する研究開発も少なからず見受けられ、特に欧州での政策に基づく展開が要注意である。政策展開は韓国でも強力に進められている。また、ロシア、インドがナノテク国家計画をスタートさせるなど新興国の新たな政策動向は要注目である。

日本のナノ材料技術の将来的な競争力確保については決して予断は許されない。ある日突然大きく勢力逆転が起こるかもしれないという危険性をはらんでいるが、その理由を基礎研究の戦略不足と産業化意欲の低調さに見ることができる。

3.2.1.2 ナノ加工技術分野

ナノ加工技術は、材料技術と並び、ナノテクノロジーの根幹を成す基盤技術である。ここではナノ加工技術を、半導体超微細加工技術、ナノ転写加工技術、自己組織化技術、ナノ・マイクロ印刷技術、及び MEMS・NEMS 加工技術に分類して、それぞれに関して国際比較する。これらの技術の概要は、以下の通りである。

半導体超微細加工技術:集積回路 (LSI) を製造するための微細加工技術で、フォトリソグラフィ技術、エッチング技術、薄膜形成技術、洗浄技術、めっき技術、研磨 (CMP) 技術、パターン設計・評価技術などから成る巨大最先端技術である。

ナノ転写加工技術: ナノインプリントやマイクロコンタクトプリントと呼ばれる技術で、光・電子リソグラフィと比べて低コスト性に特長がある。

自己組織化技術: 自然に秩序あるナノ構造を形成する技術で、単分子膜やポーラス構造の作製、相分離による微細パターンニング、超分子の合成、バイオ機能を用いたパターンニング技術などを含む。主に高機能の材料・素材の製造に利用される。

ナノ・マイクロ印刷技術: インクジェットのような手法で、様々な機能性のインクを精密に基板やシートに置いていく技術であり、量産性と大面積対応とに特長がある。フラットパネルディスプレイや電子ペーパーへの応用が盛んである。

MEMS・NEMS 加工技術: 半導体微細加工技術を中核とし、さらに立体的微細加工技術などの様々な微細加工技術を加えた総合微細加工技術で、MEMS と呼ばれる様々な微細デバイスの製造に用いられる。

ナノ加工技術は、それを適用したデバイス・システム技術と不可分であり、総合力の問われる技術である。したがって、本分野では、技術的蓄積があり、しかもこれを用いる産業が発展している日米欧が、研究水準、技術開発水準、および産業競争力で強さを示す。韓国・台湾は、エレクトロニクス産業を国家的に育成しており、エレクトロニクス産業の基盤技術であるナノ加工技術の研究開発にも力を入れている。これには、欧米から帰国した研究者、および集中投資を行う国家の果たす役割が大きい。中国も、韓国・台湾と同じ道を辿ると思われる。

3.2.2 ナノテク・材料の応用

3.2.2.1 ナノエレクトロニクス分野

ナノエレクトロニクスは大別して CMOS 材料技術、スピントロニクス（強相関電子デバイスを含む）、固体素子メモリ、有機エレクトロニクス、量子ドットデバイス、フォトニック結晶、近接場光技術・ナノフォトニクス、プラズモニクス・メタマテリアル、を主に挙げることが出来る。さらに本分野では、ディスプレイデバイス、固体照明、次世代ナノデバイス（単電子素子、分子素子、超伝導デバイス等）を含め、計 11 中綱目を取り上げた。

CMOS は Si デバイスの最も主要な部分であり、ナノエレクトロニクスも CMOS なくしては語れない。また固体素子メモリも最近の進展はめざましく、新たな技術分野の開拓は進んでいる。スピントロニクス分野では次世代磁気メモリ、不揮発性論理素子などの研究開発が進められており、強相関も含めた材料物性物理の研究も進展している。有機エレクトロニクスも歴史は古いが、現在も進展は著しく、将来のフレキシブル電子デバイスの夢を実現しつつある。量子ドットデバイスでは、それを使ったレーザが実現し、小さな温度依存性により、極めて安定度の高いデバイスが実現されている。フォトニック結晶では、スローライト、フォトニック結晶レーザの研究開発が進展しており、他分野との融合も加速している。また近接場光技術・ナノフォトニクスは、デバイス、加工、システム、エネルギー応用など広い範囲に関わっており、リソグラフィなど半導体プロセスへの応用も注目されている。プラズモニクスはこれからますます重要になるセンサへの応用が期待されている。メタマテリアルはプラズモニクスと分野が合体し、発光増強、光学迷彩などの話題が議論されている。ディスプレイデバイスは大型化、薄型化、高精細化、低消費電力化の技術開発が進む一方、TFT 技術や 3D 映像への対応も検討されている。固体照明は、省エネルギーと CO2 の排出削減につながるエコ関連の事業が追い風になり、技術開発が世界的に加速している。次世代ナノデバイスは、いくつかの研究機関や大学で、基礎研究とその応用可能性の研究が行われている。

ナノエレクトロニクス分野では日本は総じて高い水準にあるが、これらの研究を世界のアクティビティの中で見たときの日本の位置は必ずしも楽観できるものではない。長期的観点に立ってその技術を育てていかなければやがては韓国あるいは中国にいずれ追い抜かれるであろう。これだけの情報の交換が頻繁に行われている中で表に出てきた成果はすぐ世界共通の技術となり、人件費で有利な国がその恩恵を被る仕掛けとなることは過去の歴史が物語っている。

このような観点で世界をもう一度見てみると米国は基礎から応用まで巧みに戦略的にナノエレクトロニクスの分野を発展させており、欧州は伝統的に基礎研究を得意とする国が多くそこから新たな芽を出しつつあることは強く認識すべきである。中綱目の次世代ナノデバイスの項で触れているが、米国は研究から産業化まで高い水準を維持しているのに比べ、日本における研究は系統的進展が見えにくい状況にある。特に最近スタートした米国の NRI（ナノエレクトロニクス研究イニシアチブ）は、35 大学 21 州を含み、2020 年を目指して世界から若い人材を集めようとしているのに対し、日本にはそのような規模のナ

ノエシ戦略は存在しない。

また韓国は豊富な財力と比較的低い人件費によって、現在急速に進展している。既にいくつかの技術に関しては日本、米国を抜いており他の技術分野でも同じことが容易に予想される。中国はまさに発展途上であるが、まだ基礎研究は弱いとはいえ、どん欲に日米欧の技術を取り入れつつあり、それこそ低い人件費で少なくとも既存のデバイスに関しては非常に有利な状況に立ちつつある。米国で学んだ多くの若い研究者が本国、台湾に帰りその研究者たちが中核となって現在急速な発展を遂げつつある。10年後の中国のこの分野での力は計り知れないといえる。

3.2.2.2 バイオ・医療分野

ナノテクノロジー・材料技術の主要な応用先の一つとして、バイオ・医療分野がある。本分野では、最近顕著な進展が見られている「体内送達システム(DDS)」、「分子イメージング(生体プローブ含む)」、「再生医療用材料(細胞シート含む)」、「生体適合材料」、「医療用チップ(μ TAS、DNAチップ、蛋白チップ等)」についてそれぞれ国際比較を行った。

本分野全体としては、研究水準、技術開発水準、産業技術力ともに米国が依然として優位を占める。日本は研究水準は高いものの、産業技術力は欧米の後塵を拝している状況にある。当該分野は、既存の大企業では進出しにくい一面があり、小回りの効くベンチャー企業の活躍が各分野とも必須であるが、ベンチャー育成のためのインフラ整備が欧米に比して日本は遅れている傾向にある。欧米はEU諸国が中心だが、一分野に限っていれば世界水準の研究が数多くあると思われる。日本はDDS用材料、再生医療用材料分野の基礎研究で一步先んじているものの、他の分野では圧倒的優位を誇るものが無い。中国、韓国は、米国等での留学経験者が帰国し、研究開発の主力を演じている。まだレベルは高くないものの、今後は注目に値する。特に中国は、許認可に関わる法的制約が日米欧に比して少ないと考えられ、今後急激に発展する可能性を秘めている。各項目の具体的な内容を以下に略記する。

DDS：材料開発が非常に重要であり、この点において日本は世界をリードしている。一方、医薬品開発に関しては、欧米が世界をリードしており、日本ではベンチャー企業の育成が今後の課題である。また、siRNAなどの核酸医薬の実用化のためにはDDS開発が必要不可欠であり、世界中で活発に研究が行われている。

分子イメージング：日米欧が拮抗しながら、熾烈な国際競争を行っている。日本は、顕微鏡・カメラなどのハードウェアについては、高い国際競争力を有している。しかし、独創性のあるイメージング機器は欧米の後塵を拝することが多い。イメージング試薬においても一部高い競争力を有しているが、量子ドットなどの半導体イメージング材料の分野では米国が先行している。

再生医療用材料：精密な材料加工技術やDDS技術が不可欠となる。この種の技術は、世界的に見ても、日本が最も得意であり、学術レベルも高く、かつ企業技術的にも最も進んでいる。しかしながら、日本の医療機器の許認可は世界的に極めて厳しい。また、日本は特許戦略が欧米に比べ遅れている。そのため、せっかくの科学技術が企業化にうまく生かされていないのが現状である。

生体適合材料:日本は独自の材料を数多く開発しており、研究の分野ではトップレベルにあると考えられる。その一方で、基礎研究を実際の産業に結びつける点に問題がある。米国、欧州は研究レベルでは日本にやや劣るが、産業への展開が優れている。中国、韓国はまだ独創的な研究は少なく、上記三国でなされた仕事の延長や焼き直しが多い。ただし、論文数は急速に増えており、また、国家を挙げて産業化を支援するような仕組みも整えつつある。

医療用チップ:日本・欧米とも技術開発力は高く、製品化を推進するポテンシャルは十分あると考えられる。日本における課題は、本分野の技術的特長を生かし、新しい市場を社会的要請に沿った形でいかにして創出するかであると考えられる。しかし、ここ2年くらい国内研究助成も奮わず、失速傾向にある。

3.2.2.3 エネルギー・環境分野

エネルギー・環境分野は材料科学の進展と直結しており、その革新的な技術開発をもたらす可能性のあるナノテクノロジー・材料技術との融合は必須と言える。エネルギー・環境分野ではその中でも今後一段と重要になると考えられる11綱目「太陽電池」「燃料電池」「光触媒・太陽光による水素発生」「バイオエネルギー材料(燃料・発電)」「環境浄化微生物」「高性能二次電池・キャパシタ」、「熱電変換素子」「超電導利用」「膜分離技術」「排出ガス浄化用触媒」「環境調和・リサイクル技術(回収技術など)」について国際比較を行った。

なお、本分野に関しては、別途CRDSが取りまとめる『環境技術分野 科学技術・研究開発の国際比較(2009年版)』とも関連があるため、必要に応じて参照されたい。

エネルギー・環境分野の最近の全体的な傾向としては、地球レベルの課題を背景に、日本及び欧米では従来から行われている先端的な技術開発が継続し、中国、台湾、韓国等アジア地域の国々では部分的にはあるが日本や欧米の持つ科学的知識を参考に最新技術を積極的に導入することによって力を付けながら追い上げ始めていると言える。特に、中国の存在感は各分野で急速に拡大しつつある。

ナノテクノロジー・材料科学の激戦応用区の中心である太陽電池や二次電池、キャパシタ等の各種電池技術、熱電変換素子などの技術開発でも、中国のポテンシャルがますます高まってきている。アジア各国で論文数、研究者数の増大が起きており、これら技術への大きな期待が見てとれる。また、欧州は将来を見据えた長期的観点の政策や基礎研究で潜在的な強みがあり、中でも英独仏の3カ国は傑出している。

超電導利用技術に関しては各国とも自立産業には至らず国が支援しているのが実状である。米国では、電力インフラの超電導化、特に送電ケーブルの超電導化に注力しており、日本は物質開発の点で世界をリードしているものの、技術開発、産業技術で米国に遅れをとっている。欧州ではドイツを除き、高温超電導利用の技術開発には消極的である。

バイオエネルギーに関する技術開発では、米国、欧州が政策的に力を注いでおり、これに対して日本は基礎的な技術水準では必ずしも劣らないものの、政策的な導入目標や道筋の観点で欧米ほど明確ではなく、この点が技術開発水準

や産業技術力の差にもつながっているものと考えられる。

光触媒技術や、膜分離による浄化技術については、日本が現時点において優位にあるが、日本企業は規模の大きさを欧米企業に比して不利にあり、世界市場への展開では遅れている。

環境調和・リサイクル技術（回収技術など）では、日米欧で大きな優劣は現在のところないと考えられる。温暖化ガス排出削減に、量的に結びつくような実効性の高いリサイクル技術はまだ特筆すべきものが見出せてないのが現状であり、技術開発レベルはほぼ同等であるといえる。日本は、排出ガス浄化触媒、エコマテリアルやリサイクル技術などに関して広範な基礎研究力を保持しており、欧州は化学物質リスクにナーバスに関連分野のレベルが高い。エコマテリアルに対する関心、研究のトレンドは世界中のいずれの国においても間違いなく上昇傾向にあると考えられる。

また、エネルギー・環境応用を加速させる象徴的な出来事の一つとして、米国新大統領がDOEのローレンス・バークレー国立研究所長 Steven Chu 氏（1997年ノーベル物理学賞受賞者）をエネルギー長官に指名したことが挙げられる。同氏は「分子工場（Molecular Foundry）」の提唱者であり、異分野融合とナノテクによって再生可能エネルギー分野でイノベーションを起こすことを宣言している著名な科学者である。今後このエネルギー・環境の全分野で米国が一気に主導権をとる可能性もある。

3.2.2.4 産業用構造材料（輸送・建造等）分野

この分野は多岐にわたるため、ここでは代表的な例として、高強度・軽量構造材料、耐熱構造材料、高機能ガラス（遮熱ガラス、機能性ナノガラス）を取り上げた。

高強度・軽量構造材料は、鉄、アルミ、チタンなどの分野で日本と欧州が世界をリードしている状況にあるが、日本では基礎研究分野が停滞傾向にあるのに対して、欧州では再び活性化している。米国の研究水準および技術開発水準は現在衰退しているが、産業としては経済界に確固たる地位を占めており、産業技術力が技術のみでないこと（経営戦略に大きく寄与する）を示している。

耐熱構造材料はニッケル基合金が航空産業、軍需産業において戦略的な材料として位置づけられてきた経緯もあり、欧米が研究水準、技術開発水準、産業技術力の全てで先行している。一方で、日本は単結晶合金の研究分野で世界的に存在感を示しつつあり、発電タービン、ボイラ等の産業分野において技術蓄積が進みつつある。

高機能ガラスは熱遮蔽やディスプレイが応用目的の大半である。ナノガラス技術は日本の強い分野の一つで、大型フラットディスプレイ、非球面レンズ、情報通信用光ファイバーや光学部品に多く応用されている。しかし、米国やEUでもナノガラス技術の国家プロジェクト立ち上げが始まり、中国でも多くの投資がなされようとしており、国際的競争が激しくなると予想される。

全体として日・米・欧が先行して、韓・中がキャッチアップを目指す形になっている。先行の日・米・欧では各国、地域での形は明らかに異なっており、日

本は新コンセプト提案型、欧州は政策誘導型、米国は企業の経営戦略依存型、という構図になっている。

一方で韓国は 90 年代の急進展で高い技術レベルに達しているものの、やや伸び悩み、中国はまだレベルは高くないが、現在急進展中である。

高強度・軽量構造材料の項で産業技術力は技術力だけでなく、経営戦略に大きく寄与することに触れたが、日本と比較して欧米では、実用化を加速させるための官民一体の施策に力が注がれている。例えば、省エネ住宅等への応用を念頭においた遮熱ガラスを例にすると、住宅の省エネを目指した日本の取組みは始まったばかりで、欧州に比較して出遅れ感がある。温室効果ガス排出量の削減が求められる昨今、潜在的な技術力を活用するためには、省エネのための規制誘導（法改正など）は不可欠と考えられる。それに加えて、室内環境やエネルギー利用状況の計測や制御、監視、管理などを行うエネルギー管理トータルシステムの導入を促進が重要となる。技術力を産業力として活かすためには、個別の技術、部材をトータルシステムとして構築する社会的、経済的仕組みが求められている。

3.2.2.5 生活関連材料分野

米国の Woodrow Wilson International Center のプロジェクトで実施しているナノテク消費者製品評価によれば、ナノテクを応用した消費者製品の数は最近急増している。2008 年 8 月時点で、その数は 803 に達し、2006 年 11 月以来 279%増加している。最も広く利用されている材料は銀で約 50%を占め、後に続くカーボン、亜鉛（酸化亜鉛含む）、チタン（酸化チタン含む）、シリカなどを圧倒している。製品の数を分野別で見ると、ヘルス・フィットネス分野（衣類、化粧品、ろ過、個人介護製品、スポーツ用品など）が圧倒的に多い。地域別では米国が最も多く、約 55%を占めている。このように、ナノテクが生活関連材料に応用される分野は広く、ここでの国際比較に全てを網羅することは困難である。そこで、世界の論文発表の分野別数（ナノテクテクノロジー総合支援プロジェクトセンターの分析）から、日本の役割が大きいもの、中程度、小さな分野として、化粧品、繊維、食品を選んだ。

これらの分野でナノテクが応用されている例を示す。

化粧品：化粧品の原材料でのナノテク応用としては、ナノカプセルやナノ粉体の開発などが挙げられる。ナノカプセル化は、各種有効成分の浸透向上を狙ったものが多く、また、ナノ粉体を利用した自然な仕上がりとしみ・しわなどの遮蔽効果を両立させることを狙ったメイクアップ用途を想定したナノサイズコントロールなどの検討がなされている。また、併せてナノ粒子の安全性についても議論・確認がなされている。

繊維：繊維産業は厳しい環境の中で、機能性繊維を中心に新たな方向への脱皮が求められている。現在、安全、健康、清潔などの快適衣料に加え、産業用繊維（テクニカル・テキスタイル）、インテリジェントファイバー、ナノファイバーなどの付加価値の高い新しい機能性繊維が登場し用途拡大が期待されている。

衣料の材料である繊維にはナノテクにより高機能性が付与される。例えば、発光色繊維は屈折率の異なるポリエステルとナイロンを数十 nm 単位の多層構造にして、無染色で神秘的な発色を可能にした。また、繊維表面にナノオーダーで制御されたバインダー皮膜を形成させ、消臭剤を繊維表面に接着させている。更に、数十 nm の単糸数 140 万本以上のナイロン・ ナノファイバーには吸着や接着特性などの新機能を発現させている。

食品：ナノテク利用食品の定義をナノ技術、ツールが食品の栽培、製造、加工、または包装のいずれかの工程で利用された食品とした。スマート容器包装、センサー、IC タグ、栄養成分の微細カプセル化などが代表的な応用例である。

生活関連材料は広く、全体を一言で述べることは適当ではないが、ここでは化粧品、繊維、食品を代表させることを試みた。各国で共通的なことは、この分野は産業界が技術開発を牽引していることである。その結果、大学での研究者人口が少なく、大手企業のグローバルな技術力を反映する形になり、国別、地域別の技術比較の意義が大きく薄れているといえよう。そのような中で、敢えて結論的なことを言えば、化粧品と繊維での日本の技術的優位性はかろうじて保たれているものの、化粧品では欧州、繊維では米国との競争が激化している。食品では、欧米が研究、技術開発、産業いずれのレベルでも日本を引き離している。中国、韓国との技術力では日米欧ともに優位性は著しいが、化粧品技術で韓国が急速に伸びていることは特筆すべきであろう。

ナノテク利用食品の安全性に関する検討は、ナノテク全般の安全性の取り組みの中でも、人が直接口にするという観点で重要な位置付けにある。日本のこの方面の取り組みの弱さは、ナノテクを利用する他の工業製品群の安全性検討・社会受容にまで波及することが懸念される。2002 年以降、欧米諸国では「フードナノテク」または「ナノフード」をキーワードに、政府機関や産業界、大学、一般消費者を含めたシンポジウムが定期的で開催されるなど、ナノテクを食品産業へ利用・応用しようとする動きと、安全性・社会受容についての取り組みが始まっている。一方、日本では、安全性評価の取り組みが進められているが、欧米ほどの勢いはまだ見られない。

3.2.3 基盤科学技術

3.2.3.1 ナノサイエンス分野

ナノテクノロジーを支えるナノサイエンス分野では、ナノフルイディクス・ナノトライボロジー、界面・表面、自己組織化・自己集合(理論・機構・ゆらぎ)、量子演算・新量子概念、及びマルチフェロイックス・強誘電体の 5 中綱目に分類し、個々の最新動向について国際比較を行った。全体的には、近年上昇傾向にある研究テーマが多い。特に日本および米国ではその傾向が強く、次いで欧州の進捗が大きい(欧州では半導体関連の研究開発で若干の下降が認められた)。これに対し、中国や韓国においては研究水準自体が日・米・欧と比較して若干低いテーマも多く、今後の進展が待たれる。しかし実用化が著しい半導体関連の「界面・表面」のテーマについては、韓国の研究開発力および技術開発力が急速に上昇している。これは、本研究テーマが既にビジネスに繋がるサイエンスという位置付けにあるためと

考えられる。ただし基盤的研究は少ない。

日本および米国は、研究開発力・技術開発力更に産業技術力ともに優れている。ベンチャー企業の貢献により今後の製品化が期待されるテーマが多い。(細胞シートのように実用化段階に入ったテーマもいくつか出てきた。) 欧州では大学での研究が主体であるが、いくつかのテーマがベンチャー企業により実用化を目指している段階にある。これに対し、中国はまだ基礎検討が始まったばかりのテーマが多く(半導体関連を除く)、ベンチャー企業の実力もまだ高くはない。韓国では、ナノテクセンター構想に基づいてナノサイエンス分野に注力しており、今後急速な進展が予想される。

以下に、具体的な項目について概要を略記する。

ナノフルイディクス・ナノトライボロジー：ナノフルイディクスでは日米が世界の研究開発をリードしているが、現状では、少し米国が上である。これは、大型研究費は持たないが若くて独創的なアイデアを持つ研究者が利用できる、ナノ微細加工を行うための施設・支援者などのサポートが充実しているためである。一方ナノトライボロジーでは、ハードディスク関連研究が力強さを失うのに伴い、この分野の研究を牽引する力が弱まった。しかし、SPM 技術及び、コンピュータ科学の発展に伴い、それらの分野から新しく研究者が参入しつつあり、学術的な活性はむしろ増加している。

界面・表面：研究 - 基礎技術レベルでは、日本が界面現象の物理的理解において一歩リードしており、米韓は新材料界面開発で世界をリードしている。産業技術力においては、サムスン、Intel、IBM を背景に米韓が一歩リードしている。

自己組織化・自己集合：日米欧の3極構造だが、日本は「自己組織化 and 自己集合」、欧州は「自己組織化 or 自己集合」、米国は「自己集合 oriented」という傾向である。日本は自己組織化と自己集合の乖離が解消されつつあるのが強みで、2008年には新学術領域「創発化学」もスタートした。

量子演算・新量子概念：日本は特定の大学と企業が、欧米では大学、国立研究機関が進んでいる。日本の大学もかなりレベルが上がってきた。中国、韓国は日欧米に比べると、特に実験面で大きく遅れている。いずれの国においてもまだ基礎研究段階であり、実用化の面ではかなり先である。

マルチフェロイックス・強誘電体：日本および欧米ともに、基礎研究開発が活発化している。実用化研究や技術開発には、これから本格的に着手されると思われる。基礎研究レベルで比較すると、日本・欧米ともほぼ互角であるが、一方中国および韓国では、まだ目立った成果は出ていない。

3.2.3.2 材料設計・探索分野

新材料の創製や探索は、科学技術を持続的に発展させ、社会・経済を活性化させるために不可欠である。しかし、所望の機能を持つ革新的な新規物質をゼロの状態から設計し創製することに、普遍的な解法は存在しない。

過去の例から考えて、以下が関連していることが多い。

- 1) 深い学術的専門知識に裏打ちされた固有の物質観(勘)を持つ人材の存在
- 2) 最先端の物質科学、DB、高演算能力のコンピュータと計算科学の駆使
- 3) 系統的かつ高速の試料合成・評価法の実践(コンビナントリアルアプローチ)

技術の進展が急激にスピードアップする中で、材料探索のスピードと効率をどう上げていくのかは本質的に重要な問題である。これらの考えに対する内外の研究開発状況を議論するために、「材料設計・探索分野」を4つの中綱目「計算科学・シミュレーション」、「DBの構築」、「新材料設計・機能設計」、「材料探索手法」に分けて比較を行うこととした。

日本の本分野の代表的取り組みとして、試行錯誤的な研究開発アプローチから脱却して新しい材料を合理的に設計・探索することを中心的な考えとする「元素戦略」が推進されている。諸外国にはないコンセプトであり、今後の展開が注目される。DB、計算科学等は欧米と比してやや弱い感もあるが、新材料の設計や機能を設計する人材は育っており、今後伸びていくと考えられる。材料探索手法も有機合成や製薬等では欧米がリードしているが、無機固体、半導体、特にナノテクと融合した薄膜材料のコンビナトリアルテクノロジーでは、日本が世界をリードしている。

米国は総じて本分野で強さを発揮しているが、計算科学・シミュレーションや、材料探索手法での強さが特に目立つ。また、創薬・有機合成の探索システムは、他国の追随を許さない。(上述のように、無機系では日本に強みがある。)

欧州では、DBの構築でリードが目立つ。歴史的に物質・材料のDBに強く、今後もリードしていくと思われる。

また計算科学等は研究開始に要する経済的コストが少なく済むために、中国やインドにおいても研究者数の大幅な増加が予想される。また、海外で技術と情報を身につけた人材移動による急速な水準向上の可能性があるが、計算科学、材料探索等に急速な発展の兆しもあり、注視する必要がある。既に学術誌への投稿論文数の急速な増加として顕在化している。

3.2.3.3 ナノ計測・評価技術分野

ナノ計測・評価・標準は、ナノテクノロジーの根幹を成す共通基盤技術である。欧米は依然として新しい計測技術を生む土壌において他を凌いでいる。米国は計測機器のみに特化することなく、ナノテク全体の中の戦略として体系的・俯瞰的強化を実行している。バイオ、電子デバイス関連計測技術は産業的にも強い。欧州においては、走査型プローブ顕微鏡などの新しい計測技術を長い時間をかけて生み育てる土壌と実績がある。日本においては、新しい計測技術を生み出す点では欧米に一步譲る面もあるが、電子顕微鏡など特定分野では欧米に勝る分野として育てた領域もある。韓国は以前に比べて進展しつつあるが、計測評価機器の大部分は外国からの導入であり、計測技術開発を行う余裕が出るまでには至っていない。中国も同様である。

本分野では7中綱目、走査型プローブ顕微鏡、電子顕微鏡、放射光・X線計測、単分子分光、3次元計測、ナノ粒子評価(形状・分布・表面活性・動態解析)、標準(物質・計量・評価法)技術について国際比較を行った。これらの技術の概要は、以下の通りである。

走査型プローブ顕微鏡(SPM)技術: 真空・大気・液中においてナノメートルスケールの物体表面3次元構造を観察するための技術である。原子間力顕微鏡AFM、走査トンネル顕微鏡STM、近接場光学顕微鏡NSOMなどから成る最先端観察技術である。液中、高速AFMでは日本、スピン偏極を含むSTMでは

欧米、産業機器としての SPM では米国が優位である。

電子顕微鏡技術：真空中で、マイクロからナノメートルスケールの 2 次元構造観察するための技術である。透過電子顕微鏡 TEM、走査電子顕微鏡 SEM 技術がある。電子顕微鏡基礎研究は欧州が進んでいるが、技術レベルは日欧同等レベルである。分解能を高めるための技術である球面収差補正装置では、日本は欧州に対し大きく出遅れていたが、企業努力によって現在は再び世界トップレベルに追いついたと思われる。

放射光・X 線計測：電子線加速器から放射される高強度・高品質の放射光(X 線)は、成分分析、構造解析、化学反応の時間経過計測、3 次元イメージングなど様々な利用される。ナノテクノロジーにとって重要な評価技術であり、施設が充実している日米欧はこれを利用した研究活動が活発である。日米欧で X 線自由電子レーザーの建設が進められている。

3 次元計測：ナノメートルスケールの 3 次元の構造を観察するための技術である。透過電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、放射光・X 線を利用したイメージング技術がある。米国では特に放射光を利用したイメージング技術に力が注がれている。

単分子分光：バイオ分野応用が期待される極微量の有機物質分析など、高分解能分析技術であり、表面増強ラマン分光、蛍光分光技術などがある。蛍光分光技術はすでに普及しているが、表面増強ラマン分光はこれからの技術である。

ナノ粒子評価：材料の品質評価や排ガス規制などに重要な技術。3 次元形状、ガス・液体・固体中のナノ粒子径などの分布、触媒作用など表面活性、形状やサイズの動態解析などがある。理論面では欧米が一步先んじるが、技術開発では日米欧が競合している。

標準(物質・計量・評価法)技術：科学技術、法規制などに重要なデータの客観性を保証するための技術である。長さを測定する測長原子間力顕微鏡など、装置と装置を校正するための標準物質に分類される。日本では、ナノテク標準に関する ISO の 229 技術委員会(TC229)において、「ナノテク物質の測定と評価 WG」の議長国であり、欧米と共同で活発な標準化活動を展開している。(別項「国際標準・工業標準」を参照) アジア諸国は欧米日の後を追う状況にあり、科学技術基盤としてまだ根付いていない。

3.2.4 関連共通課題

3.2.4.1 共用研究開発拠点(融合・連携促進)

世界各国いずれにおいても共用研究開発拠点を融合・連携の場、人材育成の場としてその整備を重要施策に位置付けている。米国、EU、韓国、台湾などの主要国は全ナノテク国家投資額の 10-20%を投入している、一方で日本は、2-3%の投資であり、各国に比べて一桁近く低く、産業界のニーズに応えられる充実した設備状況にはなっていない。

日本ではナノテクノロジー総合支援プロジェクトで本格的に始まり、現在は第二期の位置づけにあるナノテクノロジー・ネットワークプロジェクトとして推進されている。第二期ナノネットの特徴は運営の継続性を目指して課金制を導入したことで、各センター・拠点で運営の工夫が行われている。しかしながら、制度上・運用上の問題があり、継続的な運営のためには解決されるべき課題は

多い。産業界の共用施設使用のニーズは益々高まっている一方で、測定機器など設備の老朽化が懸念され始めている。また、特定プロジェクト等を産学で推進するための設備の揃った中核的研究拠点もまだ設置されていない状況にある。全般的に研究者が設備の共有化に慣れておらず、また、イノベーションの立場から融合・連携を促進する工夫にも欠ける。今後の深刻な問題は、日本のセンターが国際的に開かれていないことであり、積極的に海外から研究グループを誘致している主要国と大きな差がある。

米国では共用研究開発拠点を世界に先駆けて開始し、NNIN(国家ナノテクインフラネットワーク/NSF) 13 拠点、NCN(ナノテクコンピューターネットワーク/NSF) 7 拠点、NSRC(ナノスケール科学研究センター/DOE) 5 拠点を代表にして分厚いインフラが計画的に整備されてきた。年間 100-150 億円が投入され、異分野融合研究や K-12 教育プログラムの教師養成の目的のために有効に利用されている。NNIN や NCN は基本的に外部に開かれた共同利用施設であり、NSRC はプロジェクトあるいはプログラムを実施するための研究拠点である。これらの充実した施設を利用して、米国では大学の若い研究者やベンチャービジネスが研究開発活動を展開している。NNIN が最も代表的だが、13 拠点の中で東のコーネル大学、西のスタンフォード大学の力が圧倒的であり、利用者、NSF 予算ともに両大学が全体の 8 割を超える。学術的な成果が出る一方、ナノテクノロジーを活用した実用化から事業化への展開は現時点ではまだそれほど目立っていない。NNIN は国家予算への依存度が低い中で、運営に成功している。NSF や DOE のファンディング政策は学際研究が条件であり、学際・融合のインセンティブを与えている。また、大学も学際・融合への自主努力を進めている。その他に注目すべき点として、ナノエレクトロニクス分野における共用研究開発拠点の役割が高まってきていることが挙げられる。ベンチャーキャピタルからの投資が継続的に行われており、Silicon Valley Technology Center(SVTC) など、施設・装置の利用には相当な資金が必要な施設においても大学発の知財がその実用化に向けた研究開発の対象となっている。

欧州では、独、英、蘭などが共用施設のネットワークを自国に持っているだけでなく、EU としての大きなネットワーク N&N Network(142 のセンター) が形成されている。欧州における巨大研究拠点としては、IMEC(ベルギー) と MINATEC(仏) の 2 つが代表的である。IMEC は将来のナノエレクトロニクスにまで守備範囲を延ばし、日本企業の研究センターを誘致している。これらは、産業界からの More than Moore に対する要望を組織的に吸い上げることで、施設運営そのものがビジネスとして成立している。英国の拠点は全体的には新しいものが多いが、最初に設立されたニューキャッスル大ではベンチャーも積極的に設立されているようである。

中国では北京の大型共用拠点、国家ナノ科学技術センターが稼動を開始し、産業界からの資金が共用拠点に導入される仕組みを形成しつつある。産業界への波及はこれからである。

韓国では長期的に制度化された予算によって、NNFC(国家ナノテクファウンダリーセンター) など大型共用拠点が整備は積極的に続けられている。課金制度の運用により、NNFC では既に 3 -4 億円の収入があるなど、自主運営に入っている。ただし最近、施設が乱立しすぎたとの反省もあるようで、整理も検討されている模様である。産業界への波及はこれからと考えられる。

3.2.4.2 教育・人材育成（ナノテクリテラシー含む）

日本では教育プログラムとして、経産省・製造中核人材育成事業、文科省・ナノテクネットワーク及びキャリアパス多様化促進事業、また、サマースクールをはじめ各大学の自助努力などがある。それぞれの事業は単発的ではあるが、今後社会が必要な科学技術系人材の議論が産官学の間で開始されたといえる。ただし、小中高から大学院に至るまでの長期にわたる根幹的な教育プログラムは不在である。

米国は、人材育成を国家的戦略的に行う仕組みを基盤として有している。ナノテク分野においては 2000 年の国家ナノテクノロジー戦略 NNI に、明確にその重要性が記載されている。今後 15 から 20 年の間に約 100 万人のナノテクノロジー研究技術者が必要との目標と計画のもと、着実に実行されている。全ての理工系の大学にナノテクノロジー関連コースが設けられている。K-12 という小中高一貫した教育システムをナノサイエンス、ナノテクのロジックをベースとして構築しようとしている。K-12 教育の教官の養成と教科書作りを着々と進め、外国語への翻訳も実施しており、若年層から社会人教育までの取り組みがなされている。例えば国立ナノスケール科学・工学訓練指導センターでは、高校教材・プログラムの開発・高校教師の訓練や中学から大学まで一貫したナノスケール科学・工学教育の推進などがなされている。背景には、NSF や DOE などが教育プログラムをファンディングの条件としていることにもある。

欧州では大型共用拠点の個別プログラムのほか、欧州科学財団 ESF の研究開発を志向するプロジェクトに人材育成予算が組み込まれているケースもある。科学技術に対する社会からの理解を深めようとする積極的な施策が従来からなされているが、全体としては米国型の戦略性は見られない。

中国では大型共用施設で、要素技術を習得するサマースクールなどが開催されるなどの取り組みが見られる。なお、台湾では、米国型の積極的な人材育成プログラム（K-12）が実行され、世界的にトップレベルの活動をしている。

韓国ではナノテク技術施策の 3 本柱の 1 つと、産学連携にて、長期の予算確保がなされている。

3.2.4.3 国際標準・工業標準

2005 年に活動が開始されたナノテクノロジーの国際標準化は、昨年まで ISO のナノテクに関する技術委員会（TC229）でナノカーボン材料を中心に用語や計測・評価及び安全性についての議論が進められてきた。TC229 には WG が 3 つ設置されていて、その内の「測定と評価」WG の議長国として日本は活発に活動をしているが、他の 2 つの WG における活動内容が必ずしも国内関係者に共有されていない現状もあり、関係各省間の調整機能をどう確保するのか、今後の国際対応の一つの課題と考えられる。

2008 年度には用語や命名法の検討を行ってきた第 1 作業委員会（WG1）において、イギリス規格協会（BSI）からの提案によるナノ物質の定義に関する最初の TS（ISO/TS27687）が制定・出版されるなど、具体的な成果が出始めている。また 2008 年 6 月のフランスボルドーにおける ISO/TC229 会議から、材料規格に関する第 4 番目の WG4 が活動を開始、中国がコンビナー（座長のこと、幹事国）に就任したことや、二酸化チタンや炭酸カルシウムのナノ粒子

に関する中国の国内規格を国際標準化の場に持ち込んできたことが注目される。2008年11月にはISO/TC229の総会を中国上海に誘致するなど、この1年は国際標準化活動における中国の積極さが際立っていた。ただ、1995年のWTO/TBT協定（貿易の技術的障害に関する協定）の発効により、加盟国は関連する国際標準を国内標準や技術基準（強制規格）の基礎として用いることが義務付けられている。国内の標準を国際標準にしようとする中国の積極性は注目されるが、国際標準に相応しいものとするには参加各国の要求や意見を反映する必要がある、今後の審議の結果次第では大幅な修正が迫られると思われる。

その他、この一年で目立ったのはイギリスの動きである。2008年度、BSIは9件のナノテクノロジー関連の国内新規格を発行している。内容は6件が用語に関するものであるが、そのほかにナノ材料の取り扱いや廃棄に関するガイドライン3件が含まれている。BSIからはこれまで最初のTechnical Specificationとなった上記用語に関する提案しか出されていなかったが、上海のISO/TC229会議においてこれら国内規格を国際規格に提案してきた。また、アメリカ規格協会（ANSI）からの新提案「Risk Evaluation framework」は、DuPont等の産業界の意向を反映しているものと思われる。多くの項目と詳細な内容がアメリカ国内でも議論になっていることと、欧米からの反論も多いことから、今後の推移が注目される場所である。欧米の企業のナノ粒子のリスクに関する取り組みは、自ら提案するナノ粒子の管理策をデファクト化することにその狙いがあると思われる。既に産業展開をにらんだ熾烈な動きが始まっていると見るべきである。

なお、現在のところISOとIECのふたつの国際標準機関のナノテクノロジー標準化活動はWG1および2をジョイントWGとして共同作業を進めているが、今後安全性に関する議論でも協力関係が深まっていくものと思われる。日本はIECの動きに対応した活動の国内での充実をはかり、カーボンナノチューブの研究者や企業の半導体部門の専門家による体制が出来上がってきたところである。経済産業省のナノテクノロジー関連国際標準化戦略では二酸化チタン光触媒とカーボンナノチューブが戦略課題として挙げられており、国際的にも日本のこれら材料に関する取り組みは良く知られるようになってきている。

今後はより広範なナノ材料に関して議論が展開するとともに、ナノテクノロジー製品のスチュワードシップ（事業者側からの自主申告制度）の議論へと展開していき、最終的には製品のなかのナノ材料の安全性やリサイクル等の課題も議論が進められると思われる。今後の科学技術や材料研究動向、産業化動向を正確に把握し、リスク管理等の社会基盤の充実及び産業化へ向けた戦略課題として位置づけ、中長期的な標準化の戦略策定が必要と考えられる。

3.2.4.4 社会受容・EHS・ELSI

欧米ではナノテクノロジーの研究開発が戦略的な資源の投入を受け始めた2000年以降、環境・衛生・安全（EHS）や倫理的・法的・社会的問題（ELSI）の課題への包括的な対応が図られてきた。EHSやELSIの課題への対応を含めた社会受容が政策的に、且つ包括的に進めているのはアメリカとイギリスであり、公聴会や市民対話の仕組みが政府の資金のもとに整備されている。アジア圏では台湾がアメリカとの緊密な連携の下に社会的影響に関する取り組みを日

本より先に進めていた。日本はコア技術の研究開発投資については欧米に遅れをとっていなかったものの、EHS や ELSI の課題への取り組みは遅れ、2004 年から本格的な対応がとられるようになってきた。中国は急速に研究体制を整備中であり、韓国も取り組み始めたところといえる。

日本ではこのような世界的な動向や、2005 年に進められた社会受容に関する科学技術振興調整費プロジェクトの政策提言を反映して、2006 年 4 月からの第 3 期科学技術基本計画でナノテクノロジーの社会受容に関するナノ粒子のリスク管理や、ナノテクノロジーの工業標準化の課題に具体的に取り組むことが決まった。以降ナノ粒子のリスク管理策や工業標準化への取り組みが具体的な展開をはじめ、経済協力開発機構（OECD）や国際標準化機構（ISO）といった国際的枠組みのなかで日本は積極的に活動を開始し、2007 年に入るとすでに国際的な枠組みの中で社会受容の課題をリードするところまで展開してきている。

また、テクノロジーアセスメント（TA）の取り組みでは、JST「科学技術と社会の相互作用」プログラムで、東京大学を中心とした TA 手法の研究開発が進められており、その他にも科学技術振興調整費の新興分野人材養成プログラムにおいて、食品へのナノテク応用に関するコンセンサス会議が 2008 年に北海道大学で開催されるなど、パブリックエンゲージメントの取り組みも見られるようになってきた。

アメリカでは、2008 年に「21 世紀ナノテク研究開発法」の改正法案が出され、EHS（環境・健康・安全）への影響に関する戦略的な取り組みが不可欠であることが示されている。特に EPA（環境保護局）によるナノ材料管理プログラム（NMSP: Nanoscale Material Stewardship Program）は事業者自身による有害性評価の流れをつくった。また、TSCA（有害化学物質管理法）による CNT（カーボンナノチューブ）の規制開始で有害性評価の一つの方向が提示されている。化粧品等に含まれる銀粒子の安全性に対する関心が高まっている。

ヨーロッパでも同様の認識の下、EU や英国は独自のプログラムだけではなく米国との共同研究を開始し、国際的には科学的なリスク評価技術、安全性の合理的な認定法、標準化等の早期確立を目指して ISO や OECD を巻き込んだ活動が急速に高まっている。OECD では、WP「工業用ナノ材料の評価法」の他、WP「ナノテクノロジー」が活動していて、議論は OECD 内でも多様である。英国では Royal Commission of Environmental Pollution がナノテクノロジーの安全性に関するレポートを発表している。

上述の OECD の WP「工業用ナノ材料の評価法」や ISO の TC229 といった国際的な枠組みへの日本の対応は、関係省庁や公的研究機関、ナノテクノロジービジネス推進協議会や日本化学工業協会などの業界団体と包括的な対応がとられつつある。日本のナノ材料安全性評価法に関する NEDO プロジェクトは世界をリードする質の高さである一方、国際対応の継続的な窓口機能を果たす部署が欠如している。将来の産業の趨勢を左右する重要課題であるため、省庁間や部署間での情報交換や、一貫したコヒーレンシーのある戦略策定と、それに基づいた国際的なフレームへの対応が鍵となる。実効的な横串の連携と、中長期的な戦略策定を担うキーパーソンが決め手になると思われる。

3.2.4.5 国際プログラム

この数年間、ナノテクに関する国際協力に向けた会議の場がいろいろと持たれているが、これらはいずれも日米欧の3極が主体である。米国はNSF、欧州はECが国家機関を代表して参加しているのに対し、日本はそれらに相当するアクティブな国家代表機関の顔が見えない。また、国際協力に関する国としての中長期スコープが希薄であり、具体的かつ骨太のシナリオは発表されていない。この状況は、国際的な孤立を免れない懸念がある。一方、産業技術総合研究所が中心になって立ち上げたアジアナノフォーラム(ANF)は、アジア、オセアニアの13経済圏をメンバーとして非政治的な運営で活動を続け、昨年NPOとして独立、現在、シンガポールに本部が設置されている。ISOに正式加盟できない台湾は、リエゾンメンバーとしてのANFの代表者としてISOの標準会議に参加し、活動をしている。

米国は、NSFとEUとが共同出資する国際プロジェクトが制度化されたなどの明確な国家プログラムだけではなく、共用施設・プロジェクトの海外へのオープン化をはじめ、海外研究者へ研究環境・場を提供することによる積極的受け入れ、研究参加を通じた種々の国際ネットワークに伴う協力が推進している。CNSE(College of Nanoscale Science and Engineering, NY)、CNSI(California NanoSystems Institute)など、積極的な連携を図っている。

欧州は、FP7において海外との連携を積極的に奨励している。ベルギーIMECなど国際的な産学連携の場の提供も大きな役割をなしている。ドイツは、Fraunhofer Microelectronics Allianceや、中国国内に研究所を設立するなど、将来の人材確保、標準化戦略を念頭においた積極的施策が目立つ。

中国は、在欧米の中国系研究者を介して欧米の研究資源を誘導している。先進国への人材供給国としての中国は将来大きな国際ネットワークを確保する可能性がある。

韓国では、研究機関や大学の主要ポストに外国人を積極的に登用するなどの取り組みがあり、公的研究機関であるKAISTは、すでにヨーロッパに研究拠点をもち、さらにIMECやフランスのMINATECにも参加し、国際連携の深化を図っている。

3.3 ナノテクノロジー・材料 比較表

領 域		ナノテク・材料																							
分 野		ナノ材料・新機能材料分野												ナノ加工技術分野											
中綱目		ナノカーボン材料	材料 ナノコンポジット	表面改質材料	(超分子・ゲル) 特異な幾何構造系	ナノ空間・ メソポーラス材料	触媒材料	高分子・ プラスチック材料	新型超伝導材料	磁性材料	ナノ粒子	強 相関電子材料	加工技術 半導体超微細 加工技術	ナノ転写加工技術	自己組織化技術	刷技術 ナノ・マイクロ印	NEMS・ 加工技術								
国・ 地域	フェーズ	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド								
日本	研究水準	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	○→	○→	○→	○→	◎→								
	技術開発水準	◎→	○→	○→	◎→	◎→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	○→	○→	○→	◎→								
	産業技術力	△→	◎→	◎→	◎→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	○→	△→	◎→	◎→								
米国	研究水準	◎→	○→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	○→	○→	○→	◎→	◎→								
	技術開発水準	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→								
	産業技術力	△→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	△→	△→	◎→								
欧州	研究水準	◎→	◎→	◎→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→								
	技術開発水準	○→	○→	◎→	◎→	○→	◎→	◎→	◎→	△→	○→	◎→	○→	○→	○→	◎→	◎→								
	産業技術力	△→	○→	◎→	◎→	△→	◎→	◎→	◎→	△→	△→	○→	△→	△→	△→	△→	◎→								
中国	研究水準	△→	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→								
	技術開発水準	△→	○→	○→	△→	△→	△→	○→	◎→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→								
	産業技術力	×→	◎→	◎→	△→	△→	◎→	◎→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→	△→								
韓国	研究水準	○→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	◎→	△→	△→	◎→	△→	△→	△→	◎→	◎→								
	技術開発水準	△→	◎→	◎→	△→	△→	△→	◎→	△→	◎→	△→	◎→	◎→	◎→	△→	◎→	◎→								
	産業技術力	△→	◎→	◎→	△→	△→	◎→	◎→	△→	△→	△→	△→	◎→	◎→	△→	△→	△→								
												台湾	△→	△→	△→		台湾	○→	△→						
												台湾	◎→	◎→	◎→		台湾	△→	△→						
												台湾	◎→	◎→	◎→		台湾	△→	△→						

領 域		ナノテク・材料の応用																							
分 野		ナノエレクトロニクス分野												バイオ・医療分野											
中網目		C M O S 材料技術	ス ピ ン ト ロ ニ ク ス	固 体 素 子 メ モ リ	有 機 エ レ ク ト ロ ニ ク ス	量 子 ド ット デ バ イ ス	フ ォ ト ニ ック 結 晶	近 接 場 光 技 術 ・ ナ ノ フ ォ ト ニ ク ス	プ ラ ズ マ ニ ック ス ・ メ タ マ テ リ ア ル	デ ィ ス プ レ ィ デ バ イ ス	固 体 照 明	次 世 代 ナ ノ デ バ イ ス	体 内 送 達 シ ス テ ム	分 子 イ メ ー ジ ン グ	再 生 医 療 用 材 料	生 体 適 合 材 料	医 療 用 チ ッ プ								
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド						
日本	研究水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	技術開発水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	産業技術力	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
米国	研究水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	技術開発水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	産業技術力	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
欧州	研究水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	技術開発水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	産業技術力	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
中国	研究水準	△→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	技術開発水準	×→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	産業技術力	×→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
韓国	研究水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	技術開発水準	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
	産業技術力	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→	○→						
														台湾		○→		○→		○→					
														台湾		○→		○→		○→					
														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】

領 域		ナノテク・材料の応用																							
分 野		エネルギー・環境分野												産業用構造材料（輸送・建造等）分野						生活関連材料分野					
中綱目		太陽電池	燃料電池	光触媒・太陽光による水素発生	バイオエネルギー材料	環境浄化微生物	高性能二次電池、キャパシタ	熱電変換素子	超電導利用	膜分離技術	排出ガス浄化用触媒	環境調和・リサイクル技術	高強度・軽量構造材料	耐熱構造材料	遮熱ガラス	機能性ナノガラス	繊維	化粧品	食品技術						
国・地域	フェーズ	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド	現状 トレンド						
日本	研究水準	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎↘	△↗	◎→	◎↗	◎↗						
	技術開発水準	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	△→	◎→	◎↗	◎↗						
	産業技術力	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	△→	◎→	◎↗	◎↗						
米国	研究水準	○↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	△↗	◎↗	△↗	◎→	◎→	△↗	◎↗	△↗						
	技術開発水準	○↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	△↘	◎↗	△↗	◎→	◎→	◎→	◎↗	◎↗						
	産業技術力	○↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	△↘	◎↗	△↗	◎→	◎→	◎↗	◎↗	◎↗						
欧州	研究水準	◎→	◎→	◎→	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	◎→	◎→	◎↗	◎↗						
	技術開発水準	◎↗	◎↗	◎→	◎↗	◎→	◎→	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	◎→	◎→	◎↗	◎↗						
	産業技術力	◎↗	◎→	◎↗	◎↗	◎→	△↗	◎→	△↗	◎→	◎↗	◎↗	◎↗	◎→	◎→	△↗	◎→	◎↗	◎↗						
中国	研究水準	△↗	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	○↗	△↗	△↗	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗						
	技術開発水準	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	○↗	○↗	△↗	△↗	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗						
	産業技術力	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	○↗	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗						
韓国	研究水準	△↗	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗						
	技術開発水準	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗						
	産業技術力	△↗	○↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗	△↗						
台湾	研究水準	△↗	△↗																						
	技術開発水準	△↗	△↗																						
	産業技術力	○↗	△↗																						

領 域		基盤科学技術																							
分 野		ナノサイエンス分野								材料設計・探索分野								ナノ計測・評価技術分野							
中網目		ナノフリティクス・ナノトライボロジィ	界面・表面	自己組織化・自己集合	量子演算・新量子概念	マルチフェロイック・強誘電体	計算科学・シミュレーション	DBの構築	新材料設計・機能設計	材料探索手法	走査型プローブ顕微鏡	電子顕微鏡	放射光・X線計測	単分子分光	3次元計測	ナノ粒子評価	評価法・技術	標準・物質・計量・							
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド						
日本	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	△	↗	◎	→	○	→	◎	↗						
	技術開発水準	◎	↗	◎	→	◎	↗	△	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗						
	産業技術力	◎	↗	○	→	◎	×	×	→	△	→	△	○	↗	○	↘	◎	↗	◎						
米国	研究水準	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	○	→	↗	○						
	技術開発水準	◎	↗	○	→	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗						
	産業技術力	◎	↗	○	→	○	↗	△	→	×	↗	◎	→	○	→	◎	↗	○	↗						
欧州	研究水準	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→						
	技術開発水準	○	→	○	→	◎	↗	△	→	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗						
	産業技術力	○	→	○	→	○	↗	×	→	×	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	→						
中国	研究水準	△	→	○	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	→	○	↗	×	→						
	技術開発水準	△	↗	△	↗	○	↗	×	→	△	→	△	↗	△	→	×	↗	○	↗						
	産業技術力	×	→	△	→	△	↗	×	→	×	→	△	↗	○	↗	×	→	×	→						
韓国	研究水準	○	↗	○	↗	△	→	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	→						
	技術開発水準	◎	↗	△	↗	△	→	△	→	×	→	△	↗	△	→	△	↗	×	→						
	産業技術力	○	↗	△	→	△	→	×	→	×	→	△	→	△	→	×	→	△	↗						

領 域		関連共通課題									
中網目		共用研究開発拠点		教育・人材育成		国際標準・工業標準		社会受容・EHS・ELSI		国際プログラム	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	取り組み水準	○	→	△	→	◎	↗	◎	→	×	→
	実効性	△	→	△	→	◎	↗	◎	↗	×	↗
米国	取り組み水準	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	△	↗
	実効性	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	△	→
欧州	取り組み水準	◎	→	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗
	実効性	◎	↗	○	↗	○	→	○	→	○	↗
中国	取り組み水準	○	↗	△	↗	◎	↗	○	→	△	→
	実効性	△	→	△	↗	○	→	○	↗	△	→
韓国	取り組み水準	◎	→	△	↗	◎	↗	△	→	○	↗
	実効性	○	→	△	→	○	→	△	→	△	→

4. ライフサイエンス

4.1 ライフサイエンスの特徴・トピックス

ライフサイエンスは非常に広範かつ多様な領域を包含するため、ここでは実験的アプローチを必要とする「ゲノム・機能分子」、「脳神経」、「発生・再生」、「免疫」、「がん」、「植物科学」、「融合分野」の7分野について、それぞれの比較結果をまとめている。以下、日本を中心に各国の概況を記す。

我が国の研究水準は、全体として米国に次ぎ、欧州先進諸国とはほぼ同様とみてよい。技術開発水準、産業技術力は全般的に米国に比してなお低く、応用面に向かうほどその傾向が強い。例えば、ゲノム分野では糖ゲノム、遺伝子発現解析、メタボロームなど部分的には日本がリードしているところがある一方で、遺伝子等の解析技術、ゲノム情報を活用したゲノム創薬・ゲノム医療などの分野で米国との差が開きつつある。脳神経分野では、シナプス関連、細胞骨格分子の細胞内情報伝達機構などの研究が挙げられるが、いずれも創薬などに結びついた例は少ない。発生再生分野では、iPS細胞の樹立や個体作出技術など、世界の注目を集める新しい概念がコンスタントに発信されているものの、生細胞による三次元組織・器官の再構築技術など、再生医療実現のための次世代の研究開発への取り組みは今後の課題となっている。免疫分野は基礎研究のレベルは高く、米国、欧州先進諸国とともに3極を形成している。一方で、ベッドサイドの観察から出発する臨床研究や、エビデンス作りのための研究体制は脆弱であると言わざるを得ない。がん分野でも基礎研究のレベルは高く、世界をリードするような独創的かつ優れた基礎研究が行われている。しかしながら、これらのシーズを医薬品開発へ展開する技術力は米国などかなりの開きが見られる。植物分野も日本の研究水準は極めて高く、イネゲノムプロジェクトの成果などは、欧米に匹敵するものである。ただその応用としての技術開発水準、産業技術力の何れにおいても米国や欧州を拠点にする企業（作物メジャー）に劣っている。

以上のように、我が国では基礎レベルにおいて多くの重要な成果が創出されているものの、研究の成果を技術開発、産業技術へと転化させるのに時間を要する点に問題がある。その理由として、人材育成力の弱さ、産学間の人材流動性の低さ、産学連携の非効率さ、ベンチャー企業の力不足やその育成力の弱さ、規制等の時代への不適合等、国全体として新しいライフサイエンスの研究開発の流れに未だ乗り切れていない点が指摘される。

今回のライフサイエンス国際比較の作業を通じ、国際的にみられる大きな流れとして、研究開発が個別的・要素的なものから統合的・総合的なものへと展開していることが確認された。統合的な流れとは、ゲノム情報を基盤として細胞、組織、個体、集団など、生物的な階層を越えたより複雑な系へと展開していくシステム生物学などに代表される研究開発であり、疫学調査も含めた体系的なバイオリソース、データベース等の基盤的整備とそのオープンな活用や、階層を乗り越えるための新規技術開発への取り組みが、その流れを確かなものにしつつある。また、総合的な流れとは、ライフサイエンスの研究開発の局面をまったく変えるような概念や新技術を積極的に活用する取り組みや社会的な価値創

出に必要な応用開発や知財確保、また倫理と社会のコンセンサスの確立など社会制度も含めた取り組みなどであり、この点で強みを発揮している米国が全般にわたって優位性を示している。とりわけ、ライフサイエンス分野内の異なる研究領域間の連携を促進し、ライフサイエンス分野以外から概念や技術を積極的に取り入れることにより、包括的な研究開発の基盤整備、人材の育成、融合を実現する新規技術開発を念頭においた総合的な戦略などは特筆される。我が国は、旧来の個別的・要素的な研究開発では欧米に比肩しているものの、この総合的な戦略においては立ち後れている感があり、将来的な科学技術水準の上昇トレンドの減弱化が懸念されるところである。

また、米国や欧州連合諸国では継続的で相乗効果のある長期的戦略がうかがえるのに対し、我が国では研究機関においてゲノム、発生・再生など個別分野毎に基礎的、総合的な研究センターが構築、整備されているものの、全体として統合的、総合的な流れに沿った取組は少なく、どちらかというと短期的で個々の研究者レベルに依存する傾向が今なお強い。米国は、大規模な研究投資による新規分野の開拓が活発に行われており、一方で、政府機関に大きな権限を集中し、基盤的センターの整備と基礎から応用・開発への総合的な取り組みが推進されている。欧州では、トップダウン的に各国で限られた資源を得意分野に割り振り、米国とは異なる分野で優位性を確保する戦略が見られるが、米国と同様に継続が必要な基盤的研究開発を域内や国際的な枠組みにより維持している。更に、欧米共にこのような長期継続的な推進に際し、研究開発と人材育成の枠組みを組み合わせた取り組みを活用しており、そのような中から質の高い成果が持続的に創出されてきている。

中韓は未だ始動的段階のものが多く、日米欧とはかなりの開きが存在するが、基礎研究段階での急速な発展が予想されている。特に中国については、国外で活躍している研究者の呼び戻しや集中投資がなされており、近い将来に研究開発水準の向上の加速が想定されている。アジアの科学技術の発展的展開において、将来にわたり日本が中核的な位置を占める為には、我が国は米国との差別化を図りながらも、継続的な基盤強化をはかるために、アジア諸国の将来的発展性を的確に想定し、良好なパートナーシップの構築と維持に努めると共に、将来の技術シーズを生む基礎研究では常にアジア・オセアニアをリードできるよう、長期的視野に立った取り組みが肝要であろう。

4.2 ライフサイエンスの各分野の概観

4.2.1 ゲノム・機能分子分野

ゲノム・機能分子分野における日本及び各国の技術力の現状を「比較ゲノム・メタゲノム」「ゲノム疫学・疾患遺伝子探査」「プロテオーム解析」「メタボローム・その他のオミックス」「生命機能化合物」「生命システム」の中綱目について概観した。

現在のゲノム科学分野は、ゲノムそのものを研究対象とする分野というよりも、配列決定からシステム生物学までの広い範囲を含み、より複雑な系についてより定量的な情報を得ようとする現在の医学生物学の中で、基盤的・ロジスティック的な役割を担う分野に変貌しつつあると考えられる。

全体をまとめると、研究水準の現状では、米国が全分野に渡って高い水準にあるものの、全般に日本も欧米に特に劣るものではなく、糖ゲノム、遺伝子発現解析、メタボロームなど部分的には日本がリードしているところもある。しかしながら、トレンドとしては、米国がさらに上昇傾向であるのに対し、日本では上昇が鈍り引き離される部分が出てきている。韓国、中国は、現状では欧米日本と差があるものの、トレンドを見ると一部の分野で、特に中国の上昇が著しく、日本を脅かす可能性も出てきている。このトレンドは 2008 年に入り世界的に次世代シーケンサーの利用が広がるにつれ一層顕著になっている。

米国は、ゲノム科学の基盤的・ロジスティック的性格にいち早く気付き、先端技術によるサービス提供型の性格を持ったセンターを設立運営して本分野を発展させてきた。例えば、配列決定センターを解散させずに地道に維持し、構造科学やケモゲノミックスのセンターを複数個設立し支援している。そして、これらのセンターが次世代シーケンサー利用の拠点となり、先端技術開発と大規模データ生成の基盤を提供し、医学生物学全体に貢献している。このような、最先端技術を背景としたサービス提供は人的技術的ハードルが極めて高く、民間企業でこの部分を担うことは困難である。

日本は、より課題指向型の大規模センターを時限付きとして設立し、迅速な結果を求めてきた。このため、センターはあまり外部に対して最先端技術サービスを提供するという性格は持たず、時期が来ると解散するため、蓄積された基盤的・ロジスティック的な部分のノウハウが維持しにくい状況にある。また、次世代シーケンサーの導入にも後れを取った。2008 年に入り、差が顕著になりつつあるのは、このような事情を反映していると考ええる。

欧州は、研究に回る公的資金が少なく、ウェルカムトラストの資金を受けたグループや EMBL、マックスプランク研究所といった限られた組織でのみ、ゲノム科学分野の研究は進んでいて、それらがセンター機能を発揮している。米国に比べると個々の水準は高いものの、統一感に欠けることは否めない。中国も限られた研究費を小数の研究室に集中してセンターを維持発展させている。一部では、日本より高いプレゼンスと評価を受けている。

一方、より出口に近い技術開発水準の現状およびトレンドは研究水準とほぼ同様の傾向であるが、研究水準よりも米国の優位が際立つ傾向にある。また、分野によっては欧州の技術開発力も強い。さらに、産業技術力では、現状で日本と欧米との間にかなりの差があり、トレンドとしても欧米が上昇傾向にあるにもかかわらず日本が横ばいといった分野が多い。韓国、中国に対しては、技術開発水準、産業技術力ともに、日本が優位性を持つものの、特に中国の上昇トレンドが顕著であり、将来に若干の不安を残す結果となっている。

技術開発水準と産業技術力における現状とトレンドの差は、研究水準の差もさることながら、ベンチャーをめぐる社会状況の差や、最終的な産業である医薬品業界の規模と開発力の差にもその原因を求める必要があると考えられる。特に、人材の流動性と人材の育成は表裏の関係にあり、人材の流動性が高い米国やアジアでは新規分野の人材も育ってきており、流動性の低い欧州や日本では人材育成も停滞が見て取れる。

4.2.2 脳神経分野

脳神経分野における日本及び各国の技術力の現状を「神経細胞・グリア細胞の細胞機能」「脳神経系の発生・発達」「神経回路のシステムダイナミクス」「感覚・運動神経系」「生体の恒常性調節機構」「認知・行動」「神経系の疾患」「計算論・ニューロインフォマティクス」「社会性脳科学」の中綱目について概観した。

脳神経分野では、我が国から多くの優れた研究成果が発信されており、日本の研究水準は質において欧米と比肩する。一方、研究の質と量を併せた総合的な発信力は分厚い人材と研究支援体制に支えられた米国が抜きん出ている。米国の強みは、新規分野を開拓し、重要分野を引っ張る総合的な力にある。さらに、疾患の克服など社会への貢献が明確な分野で、ベンチャー企業など企業活動と一体となって実現化への力強い研究活動が展開されている。欧州も優れた研究成果を発信し研究水準は高い。欧州の強みは、独自の視点から生まれた成果を基盤に新たな分野を展開することにより、米国とは異なった得意分野を持つことである。欧州各国の連携も徐々に進められており、更なる力を発揮する可能性が認められる。中国や韓国では、研究の質も量も不十分であるが、欧米からの人材の呼び戻しや集中的な研究支援体制などの努力が続けられていることから、部分的にはあるが発展の可能性が認められる。

脳神経分野の大きな特徴として、生命科学のみならず理工学や人文社会科学など様々な分野への展開が進められており、新たな概念や研究分野さらには新技術が次々に創成される複合研究領域を形成していることがある。例えば、計測技術やロボット工学との融合であるブレインマシンインタフェース、人間行動・心理学や経済学との融合であるニューロエコノミクス、美術や芸術との融合である神経美学などが挙げられる。一方、アルツハイマー病やパーキンソン病などの神経細胞変性疾患、躁鬱病やストレスの気分障害、注意欠陥多動症、学習障害、アスペルガー症候群などの発達障害、脳・脊髄損傷など個人的にも社会的にも負担の大きい疾患の治療やリハビリテーションは脳神経分野における目の重要な課題である。分子レベルの基礎研究から創薬、臨床治験への総合的な研究力とスピード、展開力が必要とされている。また、基礎研究から機能発達、能力開発は発達障害の克服のみならず人材の育成など極めて重要な可能性を持っている。

我が国の研究水準の高い研究として、シナプス伝達と可塑性、軸索ガイダンスやシナプス形成に関わる分子、細胞骨格分子のダイナミクスや細胞内情報伝達機構、脳の活動依存的発達、ヒト以外の霊長類（サル）を用いた脳高次機能、アルツハイマー関連分子、などの研究が挙げられている。一方、進んでいるもののレベルに留まった中綱目としては、神経系の疾患と社会性脳科学がある。前者は、応用分野を含み、後者は新規分野を含んでいる。日本における脳神経分野の研究水準の特徴は、個々の研究は優れているものの日本全体としての発信力が弱い点である。新たに発見した事実、新規の概念や方法論を大きく発展させる環境が不足しており、総合的な展開力が弱い。同様に、臨床応用など社会貢献に発展させる展開力も不足している。個々の研究者の成果を大きく展開させる協力体制や基盤整備・社会環境の整備が重要である。また、単なる研究戦略や支援体制の整備だけでなく、トップダウンとボトムアップの連携に基づく

研究戦略や支援体制の策定、言い換えると相乗作用をもたらす「ガバナンスの充実」が重要である。同時に、脳神経分野がこれまでの枠を越えて広がりを見せていることから、他分野の多様な考えや価値基準も組み込んだシステムが求められている。また、脳神経分野には予期されていないような分野が今後も生まれてくる創成母胎としての魅力があり、わたしたちの損得勘定や道德観の神経機構など、科学的な解明が今まで進んでこなかった分野に挑戦する技術や研究成果の展開も見込まれていることから、倫理面などに注意を払い社会と協調する健全な発展に留意することも重要であろう。霊長類を用いた脳科学研究の実施基準が国際的にどのように推移するかにも注意が必要であろう。

質量共に世界をリードしている米国の成功は、基盤的学問分野の維持・継承のためのプログラムグラントや革新的研究開発システムの充実など、国家レベルでの研究システムの構築と運用が有効に行われていることによる。例えば、大規模シーケンシング施設、分子イメージング施設、高水準のマウス実験動物施設が整備されている。また、トランスクリプトーム・プロテオーム・インタラクトームによる脳発現分子の網羅的な機能解析から患者サンプルの保存・共有・データベース化による細胞機能の制御分子の異常・破綻との因果関係の探索がシステム化されてきており、ケミカルライブラリーの充実、バイオマーカー測定から臨床治験への橋渡しなども活発である。さらに、技術開発の目標が、既存技術の研究・診断・臨床機器への発展応用に留まらず、全く新しいコンセプトの実験・計測原理の発見そのものに投資が向けられていることがよく機能している。また、民間ファンドを中心に、アルツハイマー病、パーキンソン病、自閉症、脊椎損傷、ハンチントン病などの罹患患者数が多い疾患群の病態解明・新規治療原理開発に威力を発揮してきている。こうした動向には、民間寄付を後押しする税制システムや、科学技術と社会との間のコミュニケーションの充実を図る専門家が担当する情報公開や社会貢献への広報が大きく貢献している。日本の特徴を生かした独自の研究戦略が望まれる。

4.2.3 発生・再生分野

発生・再生分野における日本及び各国の技術力の現状を「発生プログラム」「生殖細胞の全能性獲得」「幹細胞の自己複製と分化」「組織・器官の形成」「個体の作出」の中綱目について概観した。

まず、発生・再生・幹細胞全ての分野で、依然として米国が圧倒的な予算を投入するとともに世界中から研究者を集めることで質量ともに高い研究水準を維持していると判断できる。しかし、日本、欧州も十分米国をしのぐ成果を挙げることができる得意分野を数多く確立している。また、全分野の平均レベルを見ても、米国が先行してはいるものの、日本と欧州では、総じて世界的な高いレベルを維持できていると結論されている。一方、韓国・中国は分野を限ってもまだ研究レベルは現在もなお見劣りするとの評価が下された。事実、当該分野の基礎研究に限れば、最もプレステージの高い雑誌に掲載された我が国からの研究は、この10年で着実に増加している。これと比較すると、中国や韓国のトップ研究者であっても掲載は少ない。我が国の底力を示す例として、ヒトES細胞の研究利用で韓国や中国に遅れをとったと言われている日本でも、理研CDBの研究者は独創的なES細胞培養法を開発し、世界中のRock阻害

剤の在庫が底をつくという現象を生み出すほど着実に研究を推進している。このことは、研究量の点での出遅れがあっても、逆境を質で凌駕する人材を含めた底力が日本に備わってきたことを端的に物語っている。また、発生再生の分野では、全体的なレベルの向上にとどまらず、京都大学再生医科学研究所から生まれた iPS 細胞のように、パラダイムを転換させる画期的な研究が生まれ、これを推進するための体制が整備されると共に研究が精力的に展開されつつある。同様に mGS 細胞、無為性生殖による個体作出など、世界の注目を集める新しい概念が我が国からコンスタントに発信されている。これは、これまでの我が国の科学技術政策が大きく寄与した象徴的な例と言えるであろう。とはいえ、これらの研究成果を再生医療にイノベートさせるには、同時並行的に倫理面の課題も含め、たとえば「生細胞による三次元組織・器官の再構築のための技術開発」などの関連領域研究の推進と再生医療の実現に不可欠な体制整備が急がれる。いずれにせよ、アジア各国の著しい経済発展は、今後これらの国での研究予算がそれに相応して増加することで、中国、韓国もすぐに問題を解決し、とりわけ畜産の分野にあっては底力を持った研究レベルを達成することが予想される。

一方、研究の進め方について我が国独自の問題があるという認識についても、全分野で一致した。特に、長期的視野に基づく戦略の欠如が報告の多くで指摘されている。例えば、新しいゲノム研究を支える High Throughput Genome Sequencer の開発に日本が決定的に遅れをとったことを考えると、この問題は本分野に限ることではない。しかし、発生・再生分野は脳研究とともに現在の生物学の中心課題であり、長期戦略を最も必要としている。事実、ポストゲノムとしての ENCODE (米国)、幹細胞分化のケミカルバイオロジープロジェクトや異分野横断的な AHEAD (Alliance for the Human Epigenome and Disease) の計画 (米国)、マウスリバーシブルジェネティックス (EU) などは長期的視野で戦略的に計画が進められている典型的例である。無論、日本でも同様なプロジェクトが進められてはいるが、分野横断的あるいは分野全体を巻き込んだ大きな流れは現在なお生み出されていない。したがって、たとえば、興味を持った遺伝子の少なくとも 10 ~ 20% について突然変異が導入された ES 細胞を、EU のプロジェクトや北米のプロジェクトから入手することができるようになっているが、日本のプロジェクトから、同じような材料を安価で得ることは残念ながら実現していない。

戦略の欠如は、様々な分野の結集が必要な分野の発展にとっても致命的である。米国で進んでいる幹細胞のケミカルバイオロジーはその典型といえる。これを乗り越える試みとして、理研 BSI による蛍光色素の開発、大阪大学の胚発生リアルタイムイメージングがあるが、競争力のある光学機器メーカーが力を合わせ、もともと日本のポテンシャルの高いイメージング分野で、到達点を明確にした旗艦的プロジェクトを考えてはという提案は、一考の価値がある。

もともと、基礎科学の振興について長期的戦略的視点を政府レベルで維持することの困難は、日本に限らず、構造的な問題である。米国は、私立大学、寄付に基づく研究助成などプライベートセクターの活力と、NIH に大きな権限を集中することで、長期的視野での医学研究助成を可能にしてきた。一方、EU は、参加国独自の予算に加えて、フレームワーク・プロジェクトのような EU 全体

としての科学技術予算を設けることで、単独で維持することの困難な長期的戦略を確保することに成功し始めている。

NIH に匹敵する機構を我が国で確立することが困難であるとする、EU のような多国間連携による長期的視野の確保が我が国にも必要になる。この意味で、今回の分析からは全ての分野で水準が低いと判断された、中国・韓国を、追いついてくる競争相手としてみるのではなく、重要かつ対等なパートナーとして EU 各国のような関係を確立することの重要性が示唆される。日本を初めほとんどのアジア諸国は、それぞれ独立に欧米との科学交流を深めてきた。このような歴史状況と科学自体が本来持つ国際性から考えると、アジア諸国間で直接連携関係を改めて確立することについては、労多くして得るものが少ないと否定的な意見が多い。しかし、戦略的で長期的視野を政策に反映させるという点から考えると、利害を超えて強い意志で連携を進めることを考える時が来たのではないだろうか。GlaxoSmithKline など研究分野では日本を撤退した多くの製薬企業が中国に幹細胞研究のための施設を開設していることは、この地域の大きなポテンシャルを物語っている。今回の国際比較から見えてきた新しい課題として、アジア、オセアニアを含めたアジア地域の真の連携に利害を度外視して踏み出せるのかが問われていると実感した。

4.2.4 免疫分野

免疫分野における日本及び各国の技術力の現状を「受容体とリガンド」「シグナル伝達系」「細胞分化と器官構築」「自己寛容と免疫制御」(以上基礎分野)「炎症」「感染免疫」「移植免疫」「自己免疫疾患」「アレルギー」「神経・免疫統合」の中綱目について概観した。

免疫学分野は「二度なし」の原理に基づくワクチンの開発や抗生物質の発見によって人類最大の脅威であった感染症を克服した。それゆえ、現在では癌や循環器疾患などが重大な疾病として浮かび上がったといえる。免疫抑制剤の開発は移植医療を実現したが、未だに免疫制御は多くの未解決の問題を抱え、アレルギー疾患や自己免疫疾患に代表される免疫関連疾患は多くの国民を苦しめており、速やかな解決が求められている。また、薬剤耐性菌の蔓延や新興再興感染症の脅威から、感染症に対する新たな戦いが求められている。

このような背景を踏まえ、調査結果を以下のようにとりまとめた。

- 1) 我が国は、基礎研究を中心に全般に研究レベルは高く、米国、欧州とともに 3 極を形成している。
- 2) 一方で、ベッドサイドの観察から出発する臨床研究や、エビデンス作りのための臨床研究は米国にかなり後れを取っている。ヒトの免疫学の推進が求められる。
- 3) 基礎研究成果に基づく開発研究でもアレルギー分野などいくつかの項目では米国や欧州の後塵を拝している。
- 4) サイトカイン研究における日本の優位性は世界的に認識されており、エリスロポイエチンや G-CSF の開発に多大の貢献をしている。その一方で多くのサイトカインの開発が米国のベンチャーを出発点とする企業によって行われているのが現状である。米国における小回りの効くベンチャー企業によって基礎研究を速やかに開発研究に持ってゆく体制は見習う点が

多々ある。

- 5) 抗体医薬に関してもキリンファーマのヒト化抗体、協和発酵の ADCC 増強抗体などいくつか優れた発信がある。また、中外製薬の抗 IL-6 受容体抗体に代表されるように、日本で発見され、医療の現場まで届いた成果があることは特筆すべきである。しかし、多くの抗体医薬の開発は米国や欧州が主導権を握っていることもまた事実である。
- 6) 免疫制御では FK506 (タクロリムス：カルシニューリン阻害剤) や FTY720 (スフィンゴシン 1 リン酸受容体拮抗薬) のように日本発の免疫抑制剤が開発されている。
- 7) 共通してあげられる問題点として、アカデミアにおける応用への意欲の低さが挙げられるかもしれないが、応用に重きを置き過ぎれば重要な基礎研究が立ち後れることになる。シーズを活かす応用研究へのサポートが必要であろう。
- 8) 中国の動向は注目すべきであろう。これまではそれほどの貢献はなかったが、米国で力をつけた多くの研究者が帰国しており、国家的にも研究費が飛躍的に増大している。また韓国も着実に基礎研究が伸びてきているようである。
- 9) ワクチン開発に関しては、各国でバイオテロを視野に入れた開発が新たに進んでいる点が特徴であろう。さらに、感染症に関しては中国や韓国も含めたアジアとの連携をすすめることが必要と思われる。

本分野では、これまで蓄えた力を生かすために、基礎研究をこれまで以上に強力に推進するとともに、ヒトを対象とした研究を伸ばすことが次世代へのシーズを生み出すために必須であるが、そのシーズを活かす応用研究推進の仕組みを整えることが重要な課題として浮かび上がった。

4.2.5 がん分野

がん分野における日本及び各国の技術力の現状を「発がん」「がん細胞の特性と悪性化機構」「がんの浸潤・転移」「疫学・コホート研究」「ケミカルバイオロジーによるがんの理解と制御」「がんの診断、治療技術」の中綱目について概観し、「疫学・コホート研究」については、1. 体制・連携と 2. 解析技術、「がんの診断、治療技術」については、1. がんの免疫療法・遺伝子治療・代替療法、2. ドラッグデリバリーシステム、3. 放射線・粒子線とに分けて比較を行った。

その結果、研究水準、技術水準、産業技術力のいずれにおいても、質・量ともに米国が世界をリードしているという解析結果であった。シーズを生み出す基礎研究など、研究水準の高さももちろんであるが、これらのシーズを速やかに実用化する技術力の高さは特筆すべきであろう。ベンチャー企業がさまざまな分野で活躍・成功しており、National Institute of Health (NIH) / National Cancer institute (NCI) が中心となって技術開発、基礎研究支援、倫理の整備などを含めた種々のプロジェクトを有機的に連動して進めていることも米国が世界をリードし続けている大きな要因と考えられる。また、臨床開発期間を圧縮するために、通常の第 I 相臨床試験よりも早い Micro-dosing の指針がアメリカ食品医薬品局 (FDA) より発表され、開発候補物質の早期評価および選択が図られている点も注目すべきであろう。

欧州は米国にいくつかの分野で劣る面も見られるが、最近のベンチャーやメガファーマの活躍は特筆すべきものがある。EUを中心に欧州の共同研究体制が整備されつつあり、今後もさらに大きな伸びが見られ、分野においては米国と並ぶ成果も数多く出てくるものと予想される。欧州では大手の製薬企業の合併により、メガファーマが多数誕生しており、研究開発に多額の投資をすることが可能となっている。また欧州でも Micro-dosing の指針が欧州医薬品庁(EMA)より発表されている。

中国、韓国はいずれの分野においても欧米や日本と比較して現時点では大きな隔たりがあると思われる。しかし、中国では科学技術人材の呼び戻し政策により優秀な研究者が多数帰国しており、国家戦略による大型研究費支援もあって、今後は国際競争力が飛躍的に発展すると考えられる。実際、基礎研究では中国からの注目すべき成果が明らかに増加して来た。国家戦略によりバイオテクノロジー企業も増加しており、近い将来技術開発、産業技術力が飛躍的に上昇すると考えられ、日本を追い抜く分野が出てくると予想される。

我が国はいずれの分野でも基礎研究のレベルは高く、世界をリードするような独創的かつ優れた基礎研究が行われて来た。これは我が国においてがんの基礎研究がこれまで文部科学省などによって重点研究領域の一つとして支援されて来たことを反映していると思われる。近年、いくつかの国家戦略としての大型ライフサイエンス研究が推進され、多くの研究成果を挙げている。しかし量的には欧米に遅れをとっており、がんの原因が多彩で、治療法も多角的なアプローチが必要不可欠であることを考えると、更なる支援の拡大が必要と考えられた。一方で、これらの研究成果を基盤とした新たな技術の開発や産業化はいずれの分野でも米国や欧州に遅れを取っているという解析結果を得た。最近では大学や公的機関の独立法人化に伴い、産学連携の活性化、特許の取得の増加などは進展が見られるものの、研究成果の実用化についてはまだ実際に成功したものは限られているのが現状である。また我が国の医療を支えて行くべき薬剤開発については、国際共同治験への参加が少なく、また新薬の承認審査期間が欧米や中国に比べても長いなど、いくつかの制度上の問題が緊急の課題として指摘されている。がん領域を重点に置く国内大手の製薬企業がそれぞれ同領域において強力な研究開発パイプラインを有する米国バイオ製薬企業や医薬品メーカーをこぞって買収したことにより、我が国がこれまで立ち後れてきた技術開発水準の向上が期待される。我が国の国家プロジェクトの多くが5年で終了することからコーホート研究など長期にわたる研究の支援体制作りも重要であろう。がんのトランスレーショナルリサーチ研究の必要性が指摘されるようになり、これをきっかけに基礎研究を産業化につなげるための国家プロジェクトがいくつか進行しているが、こうしたプロジェクトをさらに拡充することが重要であろう。

4.2.6 植物科学分野

植物科学分野における日本及び各国の技術力の現状を「遺伝子発現と代謝制御」「器官形成」「開花制御・生長制御」「環境・ストレス応答」「生態生理」の中綱目について概観した。

全ての綱目に関して言えることは、日本の研究水準は極めて高く、イネゲノ

ムプロジェクトの成果に見られるように、欧米に匹敵するものであるが、その応用としての技術開発水準、産業技術力の何れにおいても欧米に劣っている。

特に、遺伝子組換え作物の開発・販売実績、豊富な予算と層の厚い人材、および大学公的機関と企業が連携し高いレベルの研究環境を維持している米国の技術開発水準、産業技術力は突出していることが判明した。一方、中国、韓国の技術力であるが、一部優れたものはあるが、未だその競争力は弱い。しかし、中国においては、国家的に海外の優秀な人材の呼び戻しと産業、特に、組換え作物の圃場レベルでの栽培試験を強化している。さらに、今後12年間に渡り250億元(約3500億円)に及ぶ遺伝子組換え作物研究開発構想が打ち上げられている。今後の産業競争力はその国土面積と相まって大きな飛躍の可能性を示している。また、韓国も人材育成に力を入れており、今後注目すべきであろう。

本分野においては中綱目の内容は相互に連携し個別に論ずることは困難であるが、以下、簡単に各々の綱目において注目すべき点を述べる。「遺伝子発現と代謝制御」においては、シロイヌナズナにおいて整備された様々なリソースが活用されるとともに、イネ、ポプラ、ブドウなどの全ゲノム解読により比較ゲノムやジェノタイピングの進展が著しい。また、2008年末から2009年に至り、ダイズのドラフトシーケンスやモロコシの全ゲノムが公開される等、次世代シーケンサーの普及とともに、ゲノム解読が加速されている。一方、日本におけるゲノム解読には停滞がみられる。ただ植物ホルモンを対象にしたホルモノーーム解析等、メタボローム解析は進展していることから、今後の大幅な植物生産性の向上への展開が期待される。「器官形成」においても基礎分野における日本の貢献は大きい。注目すべきは、米国においてセルロース系バイオマスからのバイオエタノール生産の実用化に向けてDOEから詳細なロードマップが提供されるとともに、数多くのバイオエタノール生産企業が設立され、さらに、ポプラのゲノム解読により明らかになってきた細胞壁合成に関わる多くの遺伝子情報等を活用して細胞壁関係の研究が大きく推進されていることである。「開花制御・生長制御」においては、植物ホルモンの合成から受容・遺伝子発現に至る一連の経路、ならびに開花制御や生物時計に関しての遺伝子機能解析が進み、今後の産業技術への応用が期待される。特に、花卉生産における花色の制御は領域としては小さいが、日本が産業技術力を有する領域である。「環境・ストレス応答」は地球温暖化対策において重要な綱目であり、基礎的研究は着実に進展しており、今後の実用化が期待される。「生態生理」は地球温暖化対策、環境保全を考える上で不可欠な綱目であるが、産業技術としては未開拓の分野でもある。日本においては過去の基礎研究の実績は高いが、植物機能に関しての研究、農・林業生態系を含む生態系の応答予測のための基礎研究は弱い。一方、欧米ではコンソーシアムを形成し、長期的、かつ包括的な基礎研究がなされており、今後の地球温暖化対策の提言に関して重要な貢献をなすと考えられる。

以上のように、本分野における日本の研究水準は極めて高いものがあるが、産業化への取り組みは弱く、長期的な研究支援も低下の傾向が見られる。一方、世界的には植物科学への支援の増大の傾向がみられ、アメリカ、中国等の積極的な取り組みが認められる。例えば、中国における組換え植物の開発と実用化のために12年間で250億元を投入することの決定や、インドにおける巨大化学企業による植物の研究所の設置など、実用化の取り組みが盛んになってきた。

パキスタンなどのアジア諸国でも組換え植物を将来の食糧確保などに必須の技術と位置付けている。オーストラリアでは遺伝子組換え植物の商業生産が中断されていたが干ばつに見舞われたこともあり、再開され、野外試験も盛んになってきた。遺伝子組換え植物の野外栽培を認めなかったニュージーランドでも申請がされるようになった。また、ビル & ミリンダ・ゲイツ財団が積極的に開発途上国を対象にした植物科学研究を支援している。

日本における研究支援の停滞は、現在の日本の産業構造と 2008 年のアメリカ発の世界大不況により、さらに深刻化することが予測される。しかしながら、今後ますます深刻化する食料、エネルギー、環境問題等に対して、植物科学には大きな寄与が期待されているため、国際貢献、国際協調といった観点からの国の支援は必須であると考えられる。特に、重要な視点は基礎研究の充実と、簡便な手続きで多くの遺伝子組換え植物を野外で評価できる仕組みをつくり、遺伝子組換え植物の圃場での実証試験を実施することであり、早急な取り組みが必要である。当面は国内で作製した遺伝子組換え植物を海外で評価することが行われることとなるが、これは国富（研究費、ノウハウなど）の流出に他ならない。

4.2.7 融合研究分野

現在、ライフサイエンスは大きな転換期に入りつつある。ライフサイエンスは従来の分子生物学的手法に加え、先端計測、物理学、数学、ロボティクス、工学などと融合しながら複合巨大科学分野へ発展しつつあり、産業や臨床等の技術にも大きな変革をもたらすポテンシャルがある。分野融合はリスクの高い新規の分野を開拓する研究であるため、既存の分野だけでなく先端的な研究に投資を行うことができる国のみが行うことができる。実際、日米欧はこれらの分野に投資を行いつつあるが、中国、韓国はこれからである。

全般に日本は個別の研究や技術力については非常に優れたものがある。しかし、国として、優れた研究や技術力を融合して新規の分野を切り開く点については戦略的な方針がないため、せっかくのポテンシャルを活かしきれていない。例えば、日本は顕微鏡大国であり論文毎に新たな細胞解析法が生み出されているが、複雑な細胞内システムの定量的解析という方向への転換はまだ不十分である。脳科学においても個別には優れた研究や技術力はあるが、計算理論、ロボティクス、ブレインマシンインタフェース技術など分野融合を必要とする新規分野についての対応が欧米に比べて遅れている。構造生物学においても同様に対応が遅れている点が指摘されている。さらに、分野融合のハブであるシステム生物学やバイオインフォマティクス、構成生物学（合成生物学）など新規領域では展開次第では日本がリーダーシップをとれる可能性があるものの、後に述べる研究・教育体制の遅れなどによりそのチャンスを活かせずにいる。

研究体制の国別比較については、米国が予算規模の大きさや研究・教育体制の充実度により他を圧倒している。例えば、米国ではシステム生物学について、2000 年から NIH の一般医科学研究所（NIGMS）が中心になって総合展開したあと、同じ NIH のがん研究所（NCI）、アレルギー及び感染症研究所（NIAID）あるいは、NSF が分野毎に展開し始めている。ブレインマシンインタフェース技術に関しては、まず DARPA が年間 100 億円に近いファンディングで分野を

立ち上げ、ある時期から NIH、NSF も資金提供に大きな比率を占めるなど、分野融合の初期とそれが成功してからでは、違うファンディングエージェンシーがサポートし、支援が充実している。このような分野融合を意図的に誘導する構造的な違いが際立つ。

一方、欧州では米国と同様の方針をあえて取らずに、欧州委員会（EU）による戦略的なトップダウン的投資により独自色を出しつつあるが、米国の優位は揺るがない。結果を見れば米国のシステムが現時点では一番優れていると言わざるをえないが、日本はそのまま真似をしても米国には及ばない。

教育体制も米国が圧倒的に優れている。例えば、米国では脳科学において、Bio X などスタンフォード大学における戦略イニシアティブの事例のように、物理、数学、コンピュータサイエンスのメジャーと生物学を組み合わせたコースを用意したり、スローン財団の Theoretical Neurobiology などの事例のように、理論家を実験神経科学研究室に誘導する仕組みを用意したりするなど、積極的に分野融合を誘導する工夫をしている。他の分野も同様で、米国には分野融合を促進する「文化」が広く根付いており、新規の領域開拓を国の方針を待たずに大学や財団が対応できるシステムが整っている。

また、欧州でもシステム生物学の分野では研究教育体制の整備に着手しており、近い将来に成果が出てくると予想される。欧米とも研究推進と人材育成を同時に進めるような事例では優れた研究成果が継続的に出されている。

日本でも分野融合を促進することができるように主に大学での改革が望まれるがボトムアップ的な自助努力には限界があり、トップダウン的に分野融合を促進する外部資金など何らかの手を打つ必要がある。分野融合は独立したばかりの若手研究者が中心となる場合が多く、分野融合を志す若手研究者の独立ポジションの整備も急務である。分野融合の成功の秘訣は、ファンディング等による研究推進と人材育成に集約され、これらを連携して同時に進めないと効率的な成果は得られない。

分野融合の出口としては、イノベーションによる新しい産業の創生や、複雑な問題の解決につながることを期待される。欧米では、新しい分野を勃興させることによりニッチを獲得して新規分野での優位性を初期の段階から確保する戦略を取っており、学ぶべき点が多い。

日本としては、分野融合はライフサイエンスの新しい研究潮流で、イノベーションにつながる可能性が高い分野として捉え、新しい科学技術を担う人材の教育・育成、先端的な融合研究に取り組み易くする大学・研究機関等のコアファシリティーの充実、ファンディングによる先端的な分野融合研究への誘導や新しい研究開発を支える技術・ツール開発の積極的な推進など戦略的な取組を行う必要がある。

4.3 ライフサイエンス 比較表

分 野		ゲノム・機能分子											
中網目		比較ゲノム・ メタゲノム・		ゲノム疫学・ 疾患遺伝子探 査		プロテオーム 解析		メタボローム・ その他のオミ ックス		生命機能化合 物		生命システ ム	
国・ 地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○	→	△	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→
	技術開発水準	○	→	△	↘	△	→	○	→	○	→	○	→
	産業技術力	△	↘	△	→	△	↗	△	→	○	→	×	→
米国	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗
	産業技術力	◎	↗	◎	↗	○	↗	△	↗	◎	→	◎	↗
欧州	研究水準	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	→
	技術開発水準	◎	↗	△	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	→
	産業技術力	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	◎	→	△	→
中国	研究水準	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	→
	技術開発水準	○	↗	×	↗	△	→	×	→	△	↗	×	→
	産業技術力	△	↗	△	→	×	→	△	↗	△	↗	×	→
韓国	研究水準	△	→	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗
	技術開発水準	△	→	△	→	△	→	×	→	△	→	×	→
	産業技術力	×	→	△	→	×	↗	×	→	△	→	×	→

分 野		脳 神 経																	
中網目		細胞機能		発生・発達		神経回路の システムダイナ ミクス		感覚・ 運動神経系		恒 常性		認知・行動		神経系の疾患		計算論・ニュー ロインフォマ ティクス		社会性脳科学	
国・ 地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	○	→	○	↗
	技術開発水準	○	↗					○	→	○	→	○	↗	○	→	○	↗	○	↗
	産業技術力	○	↗					○	→	×	→	○	↗	○	→	○	→	△	↗
米国	研究水準	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	↗					◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	産業技術力	◎	↗					◎	↗	△	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗
欧州	研究水準	◎	↗	○	→	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	↗					○	→	○	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	産業技術力	○	↗					○	→	×	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	△	→
中国	研究水準	△	→	△	↗	△	→	△	↗	△	→	△	↗	○	↗	×	→	△	↗
	技術開発水準	×	→					△	→	△	↗	△	→	△	↗	×	→	△	→
	産業技術力	×	→					△	→	×	→	△	→	△	→	×	→	△	→
韓国	研究水準	○	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	→	△	→	△	↗	△	→	△	→
	技術開発水準	△	↗					△	→	△	↘	△	→	△	↘	○	→	△	→
	産業技術力	△	→					△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→
											インド	△	→						
												△	→						
												△	→						

分 野		発生・再生									
中網目		発生 プログラム		全能性獲得 生殖細胞の		幹細胞の 自己複製と分化		組織・ 器官の		個体の作出	
国・ 地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→
	技術開発水準	○	→	○	→	◎	→	○	↗	○	→
	産業技術力			○	→	○	→	△	→	○	→
米国	研究水準	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→
	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	→	○	↗	◎	→
	産業技術力			◎	→	◎	→	○	↗	◎	→
欧州	研究水準	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↘
	技術開発水準	○	→	○	↗	○	↗	○	↗	○	↘
	産業技術力			○	→	○	↗	△	→	○	↘
中国	研究水準	△	↗	△	↗	○	↗	△	→	○	↗
	技術開発水準	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	○	↗
	産業技術力			△	↗	△	↗	△	↗	○	↗
韓国	研究水準	○	↗	△	→	○	↗	△	→	◎	→
	技術開発水準	△	↗	○	→	△	→	△	↗	○	→
	産業技術力			○	→	△	→	△	↗	△	→
シンガポール	研究水準	○	↗								
	技術開発水準	○	↗								
	産業技術力										

(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]

※産業ではなく、臨床技術等水準

分 野		免 疫																	
中綱目	国・地域	基礎分野						炎症		感染免疫		移植免疫		自己免疫疾患		アレルギー		免疫・神経統合	
		受容体とドリン	シグナル伝達系	細胞分化と器官構築	自己寛容と免疫制御	炎症	感染免疫	移植免疫	自己免疫疾患	アレルギー	免疫・神経統合	炎症	感染免疫	移植免疫	自己免疫疾患	アレルギー	免疫・神経統合	炎症	感染免疫
フェーズ	国・地域	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
研究水準	日本	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
技術開発水準	日本	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
産業技術力	日本																		
研究水準	米国	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
技術開発水準	米国	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
産業技術力	米国																		
研究水準	欧州	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
技術開発水準	欧州	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
産業技術力	欧州																		
研究水準	中国	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
技術開発水準	中国	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
産業技術力	中国																		
研究水準	韓国	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
技術開発水準	韓国	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
産業技術力	韓国																		
				豪州															
				○		→													

分 野		が ん																	
中綱目	国・地域	発がん		がん細胞の特性と悪性化機構		がんの浸潤・転移		がんの早期発見・診断・治療		がんの予防・対策		がんの免疫療法・遺伝子治療・代替療法		がんの診断・治療技術・線量・粒子線		がんの診断・治療技術・線量・粒子線		がんの診断・治療技術・線量・粒子線	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
研究水準	日本	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
技術開発水準	日本	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
産業技術力	日本																		
研究水準	米国	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
技術開発水準	米国	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
産業技術力	米国																		
研究水準	欧州	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
技術開発水準	欧州	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
産業技術力	欧州																		
研究水準	中国	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
技術開発水準	中国	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
産業技術力	中国																		
研究水準	韓国	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
技術開発水準	韓国	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
産業技術力	韓国																		

分 野		植物科学										融合研究											
中綱目		遺伝子発現と代謝制御		器官形成		開花制御・生長制御		環境・ストレス応答		生態生理		システム生物学		バイオインフォマティクス		構成生物学		脳科学		イメージング		構造生物学	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	↘	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗
	技術開発水準	△	↘	○	→	△	→	○	→	○	→	○	→	○	↘	○	↗	○	↗	◎	↗	○	→
	産業技術力	△	↘	○	→	△	→	×	→	△	↘			△	↘	○	→	○	↗	○	↗	○	↗
米国	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→
	技術開発水準	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→
	産業技術力	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	○	↗			○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→
欧州	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→
	技術開発水準	○	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↘	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	産業技術力	○	↗	◎	↗	△	→	◎	↗	○	↗			○	→	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗
中国	研究水準	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	○	↗	△	→	△	↗	△	↗	×	→	△	↗	△	↗
	技術開発水準	△	↗	△	→	△	↗	○	↗	×	↗	×	→	△	↗	×	→	×	→	△	↗	×	→
	産業技術力	△	↗	△	→	○	↗	◎	↗	×	→			×	→	△	↗	×	→	△	→	×	→
韓国	研究水準	○	↗	△	↗	△	→	○	→	○	→	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	↗
	技術開発水準	△	→	△	↗	△	→	×	→	×	→	×	→	△	→	×	→	×	→	△	↗	×	→
	産業技術力	△	→	△	↗	△	→	×	→	×	→			×	→	×	→	△	→	△	→	×	→

5. 臨床医学

5.1 臨床医学の特徴・トピックス

臨床医学では、ライフサイエンスの基礎研究、橋渡し研究、臨床研究の推進、臨床研究の基盤整備、および治験環境の充実などを通じて、医薬品開発、医療機器開発におけるイノベーションの創出へ向けた集中投資が行なわれてきた。しかし、わが国では基礎研究から得られた成果を医療の現場へ応用するための臨床研究において多くの障害が存在し、より迅速かつ効率的に臨床研究を進めるための仕組みづくりが急務となっている。そのため、政策立案や行政の場においても様々な取組みが模索されている。

本報告では、臨床医学として医薬品開発、医療機器開発、再生医療、遺伝子治療、イメージング、ならびに規制の6分野を対象とし、国際比較調査を行なった。全体を俯瞰すると、日本は優れた技術や基礎研究基盤を有し、幾つかの分野においては世界的にも高い優位性を保っている。しかしながら、医薬品に関わる規制、臨床研究に対する国民社会の意識、そして医療保険制度における障壁などに加えて、応用研究や臨床開発を支える研究開発基盤の脆弱さによって、研究開発の動機付けの低下や技術移転の停滞という問題が生じている。以下では、各個別分野についての国際比較の概略を記す。

「医薬品開発」分野では、日米欧においてイノベーション創出に向けた政策がとられている。研究開発は今後も欧米が中心で、特に米国が主導となって発展し、ベンチャー企業によるバイオ医薬品の創出が増加すると見込まれる。韓国や中国は人材育成や資金援助などといった環境整備を加速的に進めており、特に中国の今後の動向は注目される。国際共同治験は欧米先行で進んできたが、アジアの国々でも実施されるようになってきている。韓国では国を挙げて国際共同治験に取り組んでいることもあり、中国と同様に国際共同治験数は日本よりも多い。日本では積極的な取組みが行なわれてはいるものの、環境整備の必要性が指摘されている。マイクロドーズ臨床試験・早期探索的臨床試験は日米欧主導である。

「医療機器開発」分野では、日本における遺伝子解析・診断機器開発への取組みは欧米に比べて大きく立ち後れている。一方、日本のMRI対応型手術マニピュレータや小型・高精度の手術支援ロボットなどの治療用医用機器に関する研究開発能力は世界的にも高い水準にある。その他の治療用医用機器では日米欧が拮抗し、中国、韓国の研究開発能力は限定的である。

「再生医療」分野において、日本の細胞治療はiPS細胞の創出などの独創的な研究開発や国際的にも高く評価される臨床研究で競争力を有している。しかし集学的な教育研究開発体制が整備されていないことに加え、成果の産業化が極めて乏しいことが問題となっている。この分野では全体的に米国が優勢であり、欧州は米国に次ぐ競争力を有する。日本を除くアジアの研究開発は、欧米の技術の模倣を主としているものの、国の積極的な推進に加えて規制が緩やかであるため、再生医療技術の臨床応用や上市は日本よりも進んでいる。また臓器移植は従来から欧米を中心として行なわれてきており、韓国、日本はアカデミア、行政、メディアを通して臓器提供数増加にエネルギーを費やし、この方面の研究の規模は小さい。中国は制度上の規制が実施されたばかりである。

「遺伝子治療」分野は、日本では製薬企業による積極的な取り組みは少なく、米国の動向を見ながら進めている状況である。しかし、米国でも最近では研究開発が減速気味である。一方、欧州は比較的安定した取り組みを続けている。中国は臨床応用に積極的に取り組み始めている。

「イメージング」分野では、現在の世界的な標準となっている CT 装置や最先端機種において日本企業の技術が採用されている。しかし MRI 装置については、大学を始めとする国内施設へ国産装置を導入する動きは限定的で、産学連携による研究開発が難しい状況にある。MRI 装置の研究開発は欧米が中心で、研究者・技術者間での交流も盛んなため日本との研究・技術レベル格差が大きい。PET 装置研究については、国際会議の演題数で見ると日本は欧米と比べて少ない。中国、韓国は現在では日本の演題数の半分程度であるが、同研究に積極的に取組もうとする姿勢が顕著である。PET 開発については欧米が産学連携のもと最先端技術の研究開発をリードしているが、日本も企業や研究機関において優れた PET 技術を有している。

「規制」分野について、医薬品開発にノウハウを持つ日米欧では、未承認医薬品等に対するレギュラトリーサイエンス研究が重視されている。一方、医薬品開発に経験の浅い韓国や中国では、臨床試験の体制整備や GCP 対応を行っており、GMP や GLP の実施を可能とするための安全性担保の認識を啓発するレベルにある。

最後に、上記の各分野で注目すべき研究開発動向として挙げられた項目につき名称のみ以下に列挙する。「医薬品開発」分野には、「バイオ医薬品(抗体医薬、核酸医薬、分子標的薬)」、「遺伝子治療・再生医療(デリバリーシステムなど周辺技術を含む)」、「分子標的薬(イメージングやバイオマーカー等の周辺技術またワクチンを含む)」、「国際共同治験で増加する新興国」、「AMS (Accelerator Mass Spectroscopy: 加速器質量分析法)」、「LC/MS/MS (Liquid Chromatograph/Mass Spectrometry/Mass Spectrometry: 高感度液体クロマトグラフ質量分析計)」、「PET」、「マイクロドーズ臨床試験から臨床投与量における薬物動態、薬効を予測する技術」があった。「医療機器開発」分野には、「治療器内視鏡」、「遺伝子診断用検体処理技術」、「*in vivo* 分子イメージングと低侵襲診断治療機器の融合」、「画像誘導高機能低侵襲治療機器」、「標的トラッキング機能の付与」があった。「再生医療」分野には、「他家 ES 細胞を用いた細胞治療」、「ゲノム改変をとみなない iPS 細胞の創製に関する研究」、「新規免疫抑制剤の開発と臨床研究及び臨床応用」、「新しい抗ウイルス剤の開発」、「免疫寛容メカニズムの解明と免疫寛容導入の研究」、「個人差に基づく免疫抑制療法の開発」、「臍島移植」があった。「遺伝子治療」分野には、「アデノ随伴ウイルス (AAV) ベクターを用いた遺伝子治療」、「キメラ T 細胞受容体発現 T リンパ球を用いた癌免疫遺伝子治療の開発」があった。「イメージング」分野には、「多様なコントラストを有する MRI 撮像法の開発」、「MRI マルチコイルシステムの開発」、「新たな CT 装置の開発」、「深さ弁別 (DOI) 検出器」、「Time-of-flight 型 PET (TOF-PET)」、「半導体光電素子」、「OpenPET の提案」があった。「規制」分野には、「ファーマコゲノミクス研究における日本、中国、韓国における SNPs と薬剤反応性の研究」、「バイオシミラーの開発における安全性評価」、「再生医療に用いられる細胞製剤の安全性評価」、「先端医療分野、バイオ医薬分野における臨床試験開始の参入障壁の低下」があった。

5.2 臨床医学の各分野の概観

5.2.1 医薬品開発分野

ここでは「創薬(とくにオーファンドラッグとブロックバスター)」、「国際共同治験」、「マイクロドーズ臨床試験・早期探索的臨床試験」の3項目を設定した。医薬品はオーファンドラッグと呼ばれる医療上の必要性は高いものの薬を必要とする患者数が少ない病気に使われる医薬品と、ブロックバスターと呼ばれる年間売り上げが十億ドル以上と莫大な利益を生み出す新薬を主な対象として調査を実施した。

創薬では日米欧ともこれまで同様にイノベーション創出に向けた積極的な政策がとられている。人材のボーダレス化をはじめ、研究開発活動の国際化は加速しており、先進国だけでなく新興国にも広がっている。特に、新興国のうち中国は国際的な研究開発拠点となるべく政府主導での人材教育や環境整備の促進が著しい。

また日米欧の製薬企業の研究開発費は年々増加し、創薬の中心たる米国では研究段階のみならず開発においてもバイオベンチャーの存在感が増している。たとえばがんやリウマチ薬は欧米ベンチャーによる技術開発とそれを支援する国家戦略の成果によるものであり、ブロックバスターが軒並み特許切れを迎えるなかでニッチ領域において承認された幾つかの医薬品がブロックバスターへと成長している。日本では、優れた基礎研究基盤が存在するものの応用研究や臨床開発を支える基盤が脆弱であり、技術移転が十分に促進されていない。中国の研究基盤や産業基盤は日米欧に及ばないものの着実に力を蓄積しており、論文数は増加し特に臨床論文数では日本を上回っている。国家中期科学技術発展計画に基づき技術移転にも弾みをつける。また国際的な研究開発拠点となるべく政府主導での人材教育や環境整備の促進も著しい。韓国の創薬・産業基盤は依然として弱いが、国際共同治験が組み込まれる割合はアジアで最も高い。

国際共同治験は、ICH (International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals、医薬品規制調和国際会議) の検討によって欧米先行で進んできたが、2000 年以降 ICH 外の国々でも ICH に倣って規制を整備するとともにインフラの整備も行われた。その結果、質が担保されコストが安いことから東欧、南米およびアジアが含まれる治験が増えている。日本は治験環境の遅れから米国、欧州、中国および韓国からは国際共同治験の実施では遅れをとってきたが、ドラッグラグの問題から医療機関、企業、および行政とも積極的に取り組んでおり急激にその数は増えてきている。現在中核・拠点病院を選定し重点的に投資しているがさらなる向上が求められる。

マイクロドーズ臨床試験(MD 試験)・早期探索的臨床試験に関しては、1990 年代後半に米国で早期スクリーニング臨床試験の制度整備がなされ、2003 年には EU で MD 試験のガイダンス、2006 年には米国で早期探索的臨床試験のガイダンスが出されるなど両地域はシーソーゲームのような状態にある。日本では 2008 年に MD 試験ガイダンスが出され、三極による早期探索的臨床試験のための非臨床試験ガイダンスが作成されつつあり、MD 試験の大型研究事業が推進力となっている。中国・韓国では自国の技術力はないが、欧米企業の誘致が進み発展の可能性はある。日本は技術は高いものの規制上の障壁や社会的意識が発展を妨げ

ており、アジアと日本は対照的な構図となっている。

5.2.2 医療機器開発分野

医療機器では「MRI、CT、PET 以外の診断機器（内視鏡を含む）」と「手術ロボット等の治療用医用機器」の2項目を設定した。なお MRI、CT、PET はイメージング分野として項目立てを行なった。

MRI、CT、PET 以外の診断機器のうち内視鏡は、現在、カプセル型内視鏡が注目されている。しかし膨大なデータから要精密観察部位を見いだす手間がかかる、見いだしても追加の情報が得られない、など医療経済および真の QOL 向上の観点から克服すべき課題が多い。これ以外に現在注目すべきは、むしろ、手術機能をもった内視鏡の開発である。診断と同時に直ちに低侵襲の手術により微小の患部のみを治療する技術は、DDS (Drug Delivery System) に劣らず重要である。

また IVD (In Vitro Diagnostic) は、文字通りには「体外診断」であるが、特に遺伝子およびプロテオーム診断機器が重要である。近年のライフサイエンス、遺伝子関連研究の進展による遺伝子解析・診断技術の高度化により個別化医療が大きく進展しようとしているが、これを発展普及させるためには、迅速で高信頼性の遺伝子解析・診断機器の発展普及が必須である。米欧におけるその重要性の認識と機器開発の速度に比して、我が国は大きく立ち後れている。問題の原因はひとえに医療経済にある。診断の技術内容にかかわらず健康保険償還価格は一定で、医療機関は遺伝子診断を行う度に大幅な赤字を余儀なくされる状況では、技術開発の動機付けは乏しい。

その他には、いわゆる診断薬を用いる従来の諸々の診断機器があるが、1990年代に欧米のメガファーマが事業再編する中で切り落とされた低採算事業領域にあり、新規装置開発の意欲が基本的にない領域である。

手術ロボット等の治療用医用機器については、日本の研究開発能力は世界的に見ても高いものがある。たとえば世界初の MRI 対応型手術マニピュレータの提案、実用化されている手術支援ロボットよりもはるかに小型・高精度の手術支援ロボットが開発され、臨床応用に至っている。また放射線治療や、動体追尾機能に関しても先駆的な研究がなされている。また、わが国の内視鏡開発力はきわめて高い優位性を有している。しかしながら、内視鏡を治療デバイスとして使用する場合には必要となる先端的な低侵襲治療機器（ラジオ波焼灼治療機器、自動縫合機器等）については、米国が研究開発の主導的な役割を果たしていることは否定できない。この点に関する修正が現在進められつつある。また力覚フィードバックに関する基礎研究、制御理論に基づく手法の開発など基盤的な優れた研究が存在する。これら手術ロボット等の治療用機器の研究開発力については日米欧がほぼ拮抗した状況にあるといえる。中国・韓国の研究開発能力は限定的である。また従来の医用工学研究コミュニティ以外の研究者層がこの分野に関心を持ちつつある。カテーテルアブレーション機器、能動カテーテルによる局所治療システムなどの低侵襲治療デバイスの高度化に関しては、欧米を中心に研究開発が進められている。日本においても要素技術については先駆的な提案がなされている。また欧米の研究開発においても、高感度センサ、精密機器など日本の優秀な製造技術を活用した要素が用いられていることが多い。日本の優れた基礎工学研究開発能力が医療機器開発に十分には活用されていない。

今後の研究開発の重要課題は、軟性内視鏡、カテーテルなど体内深部に到達し治療を行うデバイスの能動化、高機能化、画像誘導制御の応用などである。治療用デバイスが稼動する環境は、臓器変形、臓器の生理的運動など環境が時々刻々変化する環境であり、環境のモデル化すなわち生体モデルの開発と、それを応用したデバイスの制御が課題である。また生体の病変情報・整理情報など *in situ* 計測情報による治療デバイス制御などが大きな研究課題になる。現在 OCT(Optical Coherence Tomography)、共焦点レーザ顕微内視鏡、蛍光内視鏡などを駆使して細胞レベルでの形態情報や、機能情報を実時間で計測し治療を行う研究が開始されており、低侵襲精密標的治療技術の実現の基盤技術となると思われる。また単なる従来の外科手技による治療のみならず、集束超音波、衝撃波、DDS、局所遺伝子導入等との融合が進むと思われる。

5.2.3 再生医療分野

血管、心筋、肝臓、神経系、ラ氏島などに関する細胞治療と、肝臓、肺臓、脾臓、ラ氏島などに関する移植医療を項目として取り上げた。

細胞治療などの再生医療はきわめて集学的であり、基礎研究から臨床応用、産業化にいたるには様々なエキスパートの関与が必要である。また、厚労省など規制サイドの動向が常に重要な役割を果たす。日本を除くアジアでは規制は緩やかであり、国策で再生医療を推進する姿勢が明確であるため、再生医療技術の臨床応用や上市は日本よりも進んでいる。しかし、研究開発の独創性は低く、欧米の技術を模倣、導入するものがほとんどである。日本は iPS 細胞の創出や、国際的にも高く評価される臨床研究では競争力を有しているが、集学的な教育研究開発体制が整備されていないことに加え、産業化がきわめて弱い。基礎研究から産業化まですべての点で米国が優勢であり、規制当局 (FDA) が開発を積極的にサポートする姿勢が見られる点も大きく有利である。オバマ政権下で再生医療研究が強力に推進されることが予測され、現行の基礎研究、臨床研究の優位性を保つためにも日本での国家的かつ継続的研究開発支援の必要性が指摘されている。欧州は米国に次ぐ競争力を有する。再生医療関連企業は約 300 社がウェブで確認できるが、半数は米国であり、日本では約 40 社、欧州で約 80 社である。世界最大の製薬企業である Pfizer が 2008 年 11 月 14 日付けで再生医療を専門とする Pfizer Regenerative Medicine を立ち上げた。英国と米国に拠点を設け神経、内分泌、循環器を対象とする。企業による治験は世界約 40 社、100 件程度が進行中である。このうち米国企業は 24 社、欧州企業が 9 社である。欧米で上市された皮膚や軟骨等の初期の組織工学製品は自己細胞を用いたものであったが、最近では他家(ドナー)細胞を用いた治験も行なわれている。自家細胞を用いる代表例はカナダ Cytograft 社による AV シャント用培養血管、米国 Bioheart 社自己筋芽細胞臨床試験第 III 相) などである。他家では、米国 Osiris 社の他家間葉系幹細胞を用いた GVHD (移植片対宿主病、小児では FDA が承認、成人では臨床試験第 III 相を終了)、脳梗塞、心筋梗塞、クローン病の治療などがある。最近の研究では間葉系幹細胞が免疫や炎症のモジュレーション作用をもつことが分かってきており、このような観点から他家間葉系幹細胞を用いた様々な治療法が開発されと考えられる。この他、英国 ReNeuron 社は他家神経幹細胞を用いた脳梗塞治療の治験を開始しており、米国 Geron 社は 2009 年から他家 ES 細胞から誘導したオリ

ゴデンドロサイトによる脊髄損傷の治験を開始する。海外のこれらの動向に対し、我が国で行なわれた、あるいは準備中の治験は Osiris 社から技術導入した JCR 社によるものを除いてすべて自家細胞を用いたものである。産業的には他家でなければ利益が出ないとの見方もある。また、米国では 100 細胞株で免疫拒絶なしに人口 50% をカバーできるとの試算があり、このようなバンクの立ち上げが検討されている。大学で行なわれた臨床研究をベンチャーが産業化するというスタイルをとる日本の研究開発体制では他家細胞の利用は非常に難しい。欧米では大学で少数例に施行する臨床研究でも FDA (日本の厚労省にあたる) の監督下で行なわれるため、臨床研究を経ることなく、最初から企業による治験として臨床応用が始まる場合がほとんどである。

臓器移植は欧米で 1960 年代半ばからのヒトへの応用、シクロスポリンの開発、1980 年代からの本格的臨床応用へと展開された。成績向上に影響する多くの因子の克服で、著しく成績向上を得た現在、臓器移植の最大の課題は臓器の不足で如何にドナープールを拡大するかにある。この方面の欧米の基礎及び臨床研究は医工学手法を用いる新しい臓器保存法の開発、心停止後の心臓および肝臓移植の臨床応用、人工臓器の開発、ノックアウトブタ作成による異種移植領域が多い。一方韓国、日本はアカデミア、行政、メディアを通して臓器提供数増加にエネルギーを費やし、この方面の研究の規模は小さい。しかし日本は生体肝移植を世界に先駆けて成功させ、その手法を確立するなど、この分野での優れた面も多数有する。中国は 2007 年 5 月から制度上の規制が実施され、公平、公正のシステム作りがまさに始まったところである。

免疫抑制療法は、1980 年代から現在に至るまでカルシニューリン阻害剤であるシクロスポリンとわが国で開発されたタクロリムスが基本となり他の薬剤と組み合わせる方法である。この二つの薬剤は、有効数も高いが、副作用もあり、また特許も切れるので、新規免疫抑制剤の開発と臨床研究が盛んに行われている。すなわち T 細胞活性化とシグナル伝達に基づく分子標的剤、細胞周期調節剤、さらには自然から発掘される新規の物質の開発である。この分野では、欧米が一步も二歩もリードしていて企業の研究力も市場化も早い。すなわち欧州で Campath-H, Zenapax, Simulect, 米国では、Belatacept, Rituximab, Sirolimus, MMF 等で、ベンチャー企業の開発から技術移転も盛んである。アカデミアでは特異的免疫抑制療法の開発や、Pharmacogenomics に基づく治療法の選択、有効性の評価等の研究が中心であるがいずれも欧米先導型である。企業も日本、アジアは遅れていて、市場性の高い現在、今後どのように産業化されるかが注目されるところである。

5.2.4 遺伝子治療分野

遺伝子治療の開発研究は、米国を中心に 1990 年代に活発に行なわれた。しかし、技術レベルが臨床応用の段階に達していなかったことと、癌が主な対象疾患であったため、十分な成果が得られず、一方で、レトロウイルスベクターによる遺伝子導入で白血病という深刻な副作用が出現したため、現在は依然として低迷が続いている。米国ではバイオベンチャーの資金難のためか、研究開発がスローダウンしている。欧州の方が比較的安定した取り組みをしているような印象がある。一方で、中国が臨床応用に積極的に取り組み始め、世界の多くの患者が中国に行き、まだ

確立されているわけではない遺伝子治療を受けるという動きも出ているようである。日本は、製薬企業が遺伝子治療に積極的に取り組むという姿勢に乏しく、米国の様子を見ながら主に後追いをしてきた感は否めない。最近では、研究費も尻すぼみとなってきており、若手研究者の参入も益々少なくなっている心配な状況にある。

しかしながら、安全性の高いアデノ随伴ウイルス(AAV)ベクターを用い、パーキンソン病や網膜疾患などで臨床的有効性が認められ始めている。遺伝子治療は、幹細胞を標的とする方法が最も適していると当初は考えられたが、それは予想以上に困難であり、むしろ神経細胞や筋細胞などの分化した細胞を標的とする方が取り組みやすいことが明らかになってきた。遺伝子操作技術を駆使する治療法は依然として大きな可能性があり、今後の技術開発次第で、さらなる発展が期待できる。最近話題のiPS細胞の開発も遺伝子導入技術を応用したものであり、遺伝子治療という狭い枠に囚われず、遺伝子導入技術／遺伝子操作技術の開発に力を入れることは、先端医療の円滑な開発推進のための重要施策の一つと考えられる。

5.2.5 イメージング分野

イメージングに使用される技術として、ここでは「MRI・CT」と「PET」を項目に取り上げた。

臨床用MRI・CT機器の製作は、実質的に日立メディコ社(以下、日立)、東芝メディカルシステムズ社(東芝)、米国GEヘルスケア社(GE)、独国シーメンスヘルスケア社(シーメンス)、蘭国フィリップスヘルスケア社(フィリップス)の5社に限られている。従来日本製の医療画像機器は必ずしも高い評価は得られておらず、またかつて高額医療機器が主に海外より導入される時期があったことも遠因としてあり、大学病院など研究施設への設置は少なく、ゆえに産学連携による研究開発成果も得難いという問題点がある。

MRI装置では大学をはじめとする国内施設へ国産装置を導入する動きが限られている。それにはMRI装置開発にはハードウェアだけでなく、撮像プログラムであるパルスシーケンスや画像再構成アルゴリズムなどのソフトウェア技術も含めた多岐にわたる総合的な研究開発が必要であるという事情がある。北米・欧州では研究者・技術者の交流が盛んで、企業間や企業・大学間の兼任や異動がある。こうした交流の中に中国・韓国の研究者は入るものの、日本の研究者・技術者は少ない。また研究開発に必要な具体的なノウハウなどの収集が不十分であるためか、MRIでは欧米と比較して研究・技術レベルの格差が大きい。日本でも個々の基礎的な研究には見るべきものがあるが、それらシーズを実用装置にまで育て上げる基盤が整えられていない。欧米では医工・産学が連携した研究開発が可能なように医工講座・学科の設置が行われており、医療現場もしくはその近くで工学系の研究者が研究開発を実施可能な体制がある。

一方、CT装置では、世界の標準となっているMulti-Detector CTにヘリカル撮像という日本発(東芝)の技術が採用されている。また現在の世界最先端機種である320列CT(Aquilion ONE、東芝)は冠動脈血管造影スクリーニング検査を代替する可能性が示唆されており、日本や欧州だけでなく、NIHやジョンズ・ホプキンス大、ハーバード大他全米の大学病院等に導入され、日本を含むマルチセンター研究も開始されている。

PET 装置は、PET/CT の普及と共に研究用装置としての段階から臨床現場で活躍する診断装置に急速に成長しつつあり、産学連携のもと各国で盛んに研究開発競争が行われている。核医学イメージング装置研究に関する最大規模の国際会議である IEEE NSS-MIC2008 (開催国ドイツ) の演題数で比較すると、米国 260 演題、欧州 290 演題に対し、日本は 36 演題とまだ少ない。中国と韓国はそれぞれ 19 演題と少数であるが、該国際会議の自国開催に手を挙げるなど、上昇志向が強い。

PET 装置開発において、欧米は産学連携のもと最先端技術の研究開発をリードしてきた経緯があり、現在も、シーメンス、GE、フィリップスの 3 大メーカーにより最新技術の実用化が進んでいる。一方、日本も優れた PET 技術を有している。たとえば独立行政法人放射線医学総合研究所が 2006 年に世界に先駆けて 4 層 DOI 検出器の開発に成功し、同検出器を実装した次世代 PET 試作機「jPET-D4」を完成させた。現在、この DOI 検出器を用いた乳がん診断専用の PET 装置開発が進められている。その他にも TOF-PET 装置開発 (浜松ホトニクス)、乳がん診断専用 PET 装置開発 (東北大学／古河機械金属)、半導体 PET 装置開発 (日立製作所、住友重機／東北大学)、PET/MRI 用検出器開発 (東北大学／東京工業大学／東京大学) などの産学官連携がある。

5.2.6 規制分野

世界的には、医薬品開発の手法が確立しており先端医療に資するライフサイエンス研究が実施されている日米欧 (ICH の参加領域でもある) では、研究や開発領域の多様性に合わせてレギュラトリーサイエンス研究の重要性が認識されている。中でも米国が大きくリードしている。日本ではまだ萌芽期であるが、今後の研究の発展と行政との連携が期待される。韓国は、臨床試験の体制整備 (開発環境の整備) において大きく進歩が見られるが、レギュラトリーサイエンス分野への取組はファーマコゲノミクスなどに限られる。中国では、規制当局は偽薬取締りと開発環境の整備という 2 大課題を抱えており、安全性の考え方は啓発段階にある。

以上により、レギュラトリーサイエンス分野は、医薬品開発の成熟度に応じてその方向性が異なっている。すなわち、日米欧のように開発にノウハウのある領域では、まだ承認されていない医薬品等に対する支援的、前向きな考え方としてのレギュラトリーサイエンス研究が重視されている。医薬品開発に経験の浅い国では、臨床試験の体制整備や GCP 対応、GMP や GLP の実施を可能とするための安全性担保の認識の啓発といったレベルといえる。

5.3 臨床医学 比較表

分 野		医薬品開発分野						医療機器開発分野				再生医療分野				遺伝子治療分野		イメージング分野					
中綱目	国・地域	創薬（とくにオーファバンドラッグとブロックバスター）		国際共同治験	フェーズ	マイクロドーズ臨床試験・早期探索的臨床試験		MRI、CT、PET以外の診断機器（内視鏡を含む）		手術ロボット等の治療用医用機器		細胞治療（血管、心筋、肝臓、神経系、ラ氏島など）		移植医療（肝臓、肺臓、脾臓、ラ氏島など）		遺伝子治療		MRI・CT		PET			
		現状	トレンド			現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド		
日本	創薬基盤	○	→	実施基盤	△	→	研究水準	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	→	○	↘	△	↘	◎	↗
	産 業	○	↘				技術開発水準	○	↗	○	↗	◎	↗	○	→	○	→	△	→	△	↘	○	↗
	場の競争力	△	↘	場の競争力	△	↘	産業技術力	△	→	○	↗	○	↗	×	↘	○	↘	△	→	○	→	△	→
米国	創薬基盤	◎	→	実施基盤	◎	→	研究水準	○	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	→
	産 業	◎	→				技術開発水準	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↘	◎	→	◎	→
	場の競争力	◎	→	場の競争力	◎	↘	産業技術力	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↘	○	↘	◎	→
欧州	創薬基盤	◎	→	実施基盤	◎	→	研究水準	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗
	産 業	◎	→				技術開発水準	◎	→	○	↗	◎	→	○	↗	◎	↘	○	→	○	↗	◎	→
	場の競争力	○	→	場の競争力	◎	→	産業技術力	○	→	○	↗	○	↗	○	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
中国	創薬基盤	△	↗	実施基盤	△	↗	研究水準	×	→	◎	↗	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	×	↗	△	↗
	産 業	△	→				技術開発水準	×	↗	○	→	○	↗	○	→	×	→	△	→	×	↗	×	→
	場の競争力	△	↗	場の競争力	△	↗	産業技術力	×	↗	○	→	△	→	×	→	×	→	○	↗	△	↗	×	→
韓国	創薬基盤	△	↗	実施基盤	◎	→	研究水準	△	↗	△	→	○	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	→	△	↗
	産 業	△	↗				技術開発水準	△	↗	△	→	○	→	△	→	△	↗	△	→	×	→	△	→
	場の競争力	△	↗	場の競争力	◎	→	産業技術力	△	↗	○	→	△	→	△	↘	△	→	△	→	×	→	△	→

分 野		規制分野	
中網目		規制科学	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド
日本	研究水準	△	↗
	政策側の動き	△	↗
米国	研究水準	○	→
	政策側の動き	○	↗
欧州	研究水準	△	→
	政策側の動き	○	↗
中国	研究水準	△	↗
	政策側の動き	×	→
韓国	研究水準	△	→
	政策側の動き	△	→

(注 1) フェーズ【創薬基盤：基礎医学研究・臨床研究の研究レベル、産業：市場規模や生産現場の研究開発レベル、場の競争力：治験への取組みや環境整備、実施基盤：施設の受け入れ体制（英語力・人的資源など）や試験計画数、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、政策側の動き：規制などの環境整備】

(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】

6. 環境技術

6.1 環境技術の特徴・トピックス

わが国の環境技術の国際的な位置づけを把握し、新しい技術の芽を捉えることを目的に、地球温暖化分野、環境汚染・破壊分野、資源循環分野、自然生態管理分野の4つに大別し、検討を進めた。しかし、環境技術分野は、お互いに密接に関連していることを十分に留意すべきである。

この4つの分野のうち、自然生態管理分野を除く3つの分野では、理由はそれぞれ異なるものの、日本は世界のトップレベルの技術力を有する。それに対して、自然生態管理分野は、日本の環境研究の弱点である。今後、地球温暖化が進行した際の影響を正確に予測するには、この分野の進展が不可欠であるにも関わらず、未だ重要視されていない。

地球温暖化分野は、本来、地球レベルでの観測技術を包含すべきであるが、今回の検討では、その分野を積極的には取り上げず、排出抑制技術を中心に検討を行った。また、原子力分野の検討は行っていない。

各種製造業における省エネ技術は、日本のほぼ独壇場である。しかも、その優位性は当分継続するものと考えられるが、その理由として、日本のエネルギー価格が高いということ、特に、産業用電力料金の高さが技術の発展を促した点があるということを見逃す訳にはいかない。今後のエネルギー価格の動向が、世界全体としての技術への投資動向を左右することを常に注視する必要がある。

自動車技術の優位性も、しばらく保つことができるが、世界的に燃費を重視する傾向が強まったこともあり、楽観はできない。特に、中国では、世界最初のプラグインハイブリッド車が販売された。また、米国のビッグ3の生存も電気自動車など、環境を重視した自動車に懸っている。

再生可能エネルギーなどの新エネルギー技術は、世界で最もホットな領域になりつつあり、今後の動向から目を離せない。特に、太陽光発電、風力などの領域は、米国オバマ政権の公約とも深く関連する。需要を喚起する社会システムをどう構築するか、といった技術以外の影響が大きい分野でもある。

環境汚染・破壊分野においては、法規制の有無、および、その遵守をどの程度行っているかが全体の状況を決定している。そのため、環境規制の厳しい日本、米国、欧州の状況が突出しており、技術力も有している。一方、中国では環境の状況が悪化しているものと思われるが、技術的な進展も同時に遅れている。

排水対策技術では、米国の規制がやや緩く、そのため産業技術力も、遅れ気味である。土壌地下水汚染や海洋汚染対策技術になると、逆に、米国は問題意識が高く技術も進んでいる。都市・生活環境対策技術は、一般的に見れば欧米に優位性を認めることができる。

資源循環分野は、それぞれの国のリサイクル政策によって産業技術力が異なる。すなわち、どのような法律の枠組みをもっているかによって、技術の方向性が決まっている。その最たる例がコンクリートのリサイクル技術であり、建

築リサイクル法の存在が、日本をこの分野でのトップにしている。プラスチックリサイクルになると、ヨーロッパは、自動選別による不純物除去に技術が集中しており、一方、日本では、手選別が未だに主力である。全般的にみて素材のリサイクルについては、日本が進んだ技術をもっているが、難点としては、技術コストが高いことであろう。

製品の環境配慮設計については、欧州では毒性物質の回避に政策の重点が置かれている。一方、日本では、省エネ・省資源に重点が置かれており、全体的な優位性を保っている。中国などの姿勢は、どちらかと言えば、欧州のシステムを採用する方向であり、日本の技術は、精緻ではあるが、異端な技術になる危険性があるとも言える。

自然生態系管理分野は、米国が圧倒的な優位を誇る分野である。同時に、環境関連技術において、日本が最も遅れている分野でもある。米国が優位である理由はいくつかあるが、巨額な研究費をもつ民間財団が存在していること、NSF を通じて国家予算の配分もかなり行われていることなどが挙げられる。

この領域が今後重要になる可能性があるのは、温暖化が現実のものとなる2050年以降、それぞれの地域にどのような影響を与えるかを解析する生態系予測モデルなどの構築が不可欠なためである。中国では、米国から帰国した研究者が教授となって、研究を推進しているため、近年の研究水準の向上はめざましい。外来種管理、野生生物感染症研究では、欧州が優位にある。それは、欧州では、これらの被害が大きかったためである。日本では、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレータ関連する分野では国際的な競争力を維持しているが、それ以外では、この分野に重点的な研究投資が行われることはほとんどなかった。そのため、全体的なレベルは、中国と大差のない状況に置かれてしまっている。

この1～2年における注目トピックスとして、エネルギー価格高騰が挙げられる。特に原油の高価格が継続する中、非在来型石油や石油代替エネルギーの開発が進められており、今後さらに加速すると考えられる。また、2008年に京都議定書の第一約束期間が開始し、各国とも排出ガス削減対策を強化する中、地球温暖化問題とエネルギー問題の一体的解決が大きな課題となっている。2009年1月に発足したオバマ政権は、金融危機、気候変動、石油価格高騰の3つの問題を解決するグリーン・ニューディール政策を掲げている。日本は国際的に強い競争力を持つといわれる独自の環境技術をどのように活かして経済社会の発展に貢献するのか、真価が問われている。

6.2 環境技術の各分野の概観

6.2.1 地球温暖化分野

地球温暖化分野での国際技術比較を実施するにあたり、当該分野の対策技術から8つの中綱目を取り上げた。すなわち、エネルギー消費側からの温暖化抑止技術（産業、交通、建物・家庭）、エネルギー供給側からの温暖化抑止技術（従

来型エネルギー、新エネルギー・再生エネルギー、バイオマスエネルギー)、二酸化炭素回収・貯蔵技術、森林・土壌における吸収技術、農業における温暖化抑止技術である。ここでは抑止策を対象とし適応策は取り上げない。また、予測・評価技術も中綱目とした。

低炭素社会への移行が世界の潮流となり、産業革命以降のエネルギー利用を前提にした技術体系・技術社会全体を見直す方向で、すでに短期には 20 年、長期には 50 年のスパンでの国際技術競争が始まっている。温暖化は個別技術での万能薬的ブレークスルーでは解決できない。その普及を含めた技術社会システム全体での総合的評価が本来は必要であろう。その中で注目技術の各国比較は以下ようになる。

- ・鉄鋼・セメント・紙パルプ・化学：エネルギー多消費産業における生産技術に関しては、現在のところ日本の優位性が当分は続く。しかし、欧州は抜本的な削減技術開発を進めており、また韓国の研究開発促進、中国の上昇志向に注意すべきである。
- ・住宅分野省エネ技術では、各国で事情が異なる点があり比較がしにくい、欧州が地中熱利用や断熱材、自然エネルギー利用、パッシブハウスなど総合的に優れている。米国は研究開発ポテンシャルが高い。日本はパッシブハウスのようなシステムに関して後れを取っているが、ヒートポンプ、ビル空調用蓄熱技術等の個別機器・技術の性能は高い水準にある。
- ・自動車分野は、当面ハイブリッド車路線が続き日本の優位性が保たれるが、今後のポイントである電池技術については、米国あるいは欧州の研究がそろそろ力を発揮する見込みである。電気自動車・バイオ燃料などの利用システムでの競争が、今後注目を集める。それに対して、水素を燃料とする燃料電池車は、実現がやや遠のきつつある。
- ・発電技術を中心にしたエネルギー供給側技術では、今後は原子力と二酸化炭素回収・貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）と組み合わせた石炭の効率的利用が中核となる。日本は、個別火力発電技術および CCS の個別技術では世界の最高効率水準にあるが、これからは、むしろ欧米が先端を行く CCS 技術との組み合わせで、どこまで海外で拡大できるかが鍵である。今後は米国での酸素吹き IGCC（：Integrated Coal Gasification Combined Cycle、石炭ガス化複合発電）などでの組合せとの競争となろう。原子力では今後は米国の巻き返しがあろうが、世界のコンソーシアムのすべてに日本メーカーが中核として参加しており、フランスとともに世界をひっぱっている。長期には、高温ガス炉やガス冷却増殖炉などの新型炉の開発が、EU、米国、日本、韓国、中国の各国でいっせいに進められている。
- ・新エネルギー技術開発は、需要で引っ張る形での技術革新を各国が競っており、需要喚起政策が遅れている日本はこれまでの優位を失いつつある。日本の太陽光発電技術は国内市場の低迷で他国の追い上げを受けている。風力発電でも同じ状況にある。地熱発電の個別技術は強いが、これも国内需要が少ないため伸び悩みにある。欧州は、ドイツ、イタリア、スペインなどでの新エネ利用拡大とともに、技術標準化にまで進んでいる。バイオ

マスに関しては、バイオエタノール中心の米国、木質バイオマス中心の欧州がリードしており、日本では個別技術研究は進むもののこれも市場喚起が不足して遅れをとっている。今後は非穀物系バイオマスの開発がキーとなるであろう。

- ・従来注目されなかった技術として、CCS がある。現在のところ、化石燃料から非化石燃料利用へのつなぎの技術と評価される。日本は分離・回収技術はトップレベルにあるが、貯蔵に関しては国内の適地が不明なため実証段階へは進めないでいる。その間米国では国家技術戦略で 2012 年に CCS を組み合わせた発電技術を運転開始するし、欧州では 2015 年に 12 基の実証プラントを計画するなど、実用化が進んでいる。中国へは米欧がアプローチしており、総合的に見て日本は有利とはいえない。
- ・森林土壌吸収：森林土壌の吸収能力を念頭に置いた対策技術が最近注目されてきた。米国は、衛星リモートセンシングによる森林モニタリングの研究・技術開発水準が極めて高く、人工衛星や航空写真での蓄積量計測技術は今後途上国へも適用され、国際的に吸収のアカウンティングに力を発揮する。日本は造林技術に優れているが、国土が狭く統計データの整備が十分にあり、その分計測技術開発への要求が少ない。
- ・農業分野：基本的に狭隘な農地の稠密管理によるメタン発生抑制などの日本技術は進んでいるが、途上国や米国での粗放農業への適用には困難がある。米国では農地による吸収をひとつの対策と位置づける大規模炭素蓄積プログラムなどがあり、植林・耕作法の転換などを進めている。
- ・気候変化予測モデル開発は、国際協力が第一であるが、世界気候政策決定における個々の国の科学力貢献の意義が大きい。米国・欧州とも人的資源が豊富であり、欧米でのコンピュータ能力が日本を抜いて進んできたこれから底力を発揮されると、研究者層が薄い日本は高速コンピュータのおかげで築いた IPCC (International Panel on Climate Change) 第 4 次報告での優位性を失うであろう。
- ・核融合や宇宙空間発電等の大規模エネルギー技術は、想定期間内では実効性が少なく、研究開発を進める段階としての評価である。

6.2.2 環境汚染・破壊分野

環境汚染・破壊分野での国際技術比較を実施するにあたり、当該分野を 11 の中綱目に分類した。すなわち、大気圏汚染対策技術（移動発生源、固定発生源、オゾン層破壊対策技術）、排水対策技術（産業排水、生活排水）、陸水汚染対策技術、海洋汚染対策技術、土壌・地下水汚染対策技術、都市・生活環境対策技術、環境汚染・破壊の計測・評価・管理技術（リスク評価技術、環境アセスメント技術）である。

本分野は、研究水準、技術水準、産業技術力のいずれにおいても、米国、欧州、日本の技術力が世界をリードしており、中国や韓国は後塵を拝しているといつてよい。ただ、近年は、両国ともに国家的な支援のもとに科学技術・研究開発力を急速に伸ばしつつある。日米欧のうち、米国がすべてをリードしているわけではなく、分野ごとにリードしている国が異なる。これは、本科学技術分野が地域性や環境保全に対する意識、関連する法制度に大きく依存していること

による。一方、省エネルギー技術やバイオ燃料などの地球温暖化対策、また途上国の実情に適した適切な技術といった新しい面での科学技術・研究開発の国際的な競争が激化していることも見逃せない。

大気圏汚染対策技術分野では、日本の国土の狭隘さ、また、法的規制の厳しさから欧米と比較していずれの分野でも同等もしくは優れている。一方、韓国や中国などは、関心が低さや規制面の遅れが研究開発水準の遅れに反映されていたものの、近年は環境への関心の高まりとともに、急速に追いつきつつある。なお、従来からの SOx、NOx 等の汚染物質に加え、水銀のような新たな汚染物質への対応も必要になってきている。

排水対策技術も、比較的ゆるやかな排水規制を行っている米国の水準は必ずしも高くない。一方、日本の厳しい規制に対応するため、特に産業排水対策技術は技術開発、産業技術力の両面で欧米を凌いでいる。生活排水対策においては、医薬品類の除去技術分野で欧米が高い研究・開発水準を持っている。また、排水処理技術の基礎研究においては欧州が優れており、国際学会等でも中心的な役割を果たしている。さらに、水道・下水道などの国境を越えた民営化の時代、国際的な事業展開という総合的な産業技術力を有していることが注目される。陸水汚染対策技術（水資源、水道技術）において、例えば水道水質基準の高度な達成という点で日本は高い実力を保持している。しかし、途上国への適切な技術の展開という面では欧州に後れをとっている。中国や韓国は現時点では必ずしも高いポジションを占めていないものの、国家支援のもとで急速にレベルアップしてきている点も無視できない。一方、気候変動による水資源問題への関心の高まりもふまえ、従来の排水処理という視点から、排水の再利用や資源回収を目指した技術開発も行われるようになってきている。

土壌地下水汚染や海洋汚染対策技術は、米国でその問題が顕著であったため、ほぼすべての面でフロントランナーとして地位を保っている。欧州もそれに続くが、特に革新的な要素技術の開発とそのシステム化において進んでいる。中国や韓国はまだ汚染実態が不明なレベルにあるが、近年は環境問題への関心が高まりから、急速に技術・研究開発能力が高まっている。

環境アセスメント技術やリスク評価技術についても日米欧が進んでいる。韓国、また特に中国は遅れが目立つものの、他の分野と同様に国の積極的な関与による進展がめざましい。

都市・生活環境対策技術は、騒音対策では日本がリードしているものの、一般的には要素技術のシステム化も含めて、欧州が日米と比較して進んでいる。一方、中国や韓国では未だにきわめて遅れているといっていよい。これらは、市民の環境への関心や要望の違い、ひいては法制度の整備が大きく影響していると思われる。

6.2.3 資源循環分野

本分野では、各種素材別のリサイクル技術、廃棄物の最終処理技術、そして、環境配慮型技術に分けて、日本、欧州、米国などとの比較を行った。

個別素材のリサイクル技術も、法律的な枠組みが存在しているかどうかは技術のレベルおよび研究開発動向に大きな影響を与えていると結論できるだろう。その最たる例が、コンクリートのリサイクル技術ではないかと思われる。建築

リサイクル法の存在が、日本をこの分野で世界のトップにしている。

同じ個別技術でも、プラスチックは、各国が異なった法律的な枠組みをもっており、容器包装系のプラスチックリサイクルでは、欧州との先端技術競争では、不純物除去技術の実用かなどの面で、やや後れを取っているが、これは、容器包装リサイクル法における、リサイクルの優先順位付けに問題があるのかもしれない。

全般的に見て、素材のリサイクル技術は、日本が世界をリードしていると言える。今後、日本の産業戦略として重要なレアメタル類での資源回収技術が確保されることは重要な課題であって、より明確な法的な枠組みが整備されることが望ましい。

最終処分技術については、日本の技術はコスト高であるという表現がもっとも適切かもしれない。

環境配慮型技術では、日本対欧州の構図になっている。欧州の優位さは、その法律的な枠組みの先端性にある。日本は、その先端的な枠組みに対して、事務機などの得意製品分野での徹底的な対応策を作ることによって、自らの強みを作り出している。

以上のような検討によって、日本の技術水準は、海外に移転するに十分なレベルにあるとの結論を下すことは可能であろう。しかし、それをどのような国を対象に移転するのか、となると、明確な戦略は未だに存在しない。国それぞれによって、法律的な枠組みの状況が異なり、日本の技術をそのまま輸出できる状況には無いからである。

特に、中国や東南アジアの諸国に対してこれらの技術を移転しようとする、日本の技術は高価であることが大きな阻害要因になりうる。また、どのような法律的枠組みを採用しようとしているか、が大きな問題である。

中国は、欧州の RoHS (Restriction of Hazardous Substances : 電子・電気機器における特定有害物質の使用制限に関する指令) とほぼ同等の枠組みを導入するなど、欧州に学ぶ姿勢が強い。環境規制の世界標準は、自動車の排ガス規制などの場合も、やはり欧州のものがスタンダードになりつつある。電気製品などについては、日本の家電リサイクル法がもっとも精緻なリサイクルを可能にしているが、世界の動向が欧州の WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) 的なもので留まることになれば、日本のリサイクル技術は精緻すぎて、世界の異端になる可能性もある。

この分野の基礎技術は、現状でますますのレベルにあるが、今後の発展を目指すとするれば、日本という国が、世界に対してどのような製品を提供し続けるのか、この方針を明確に定めて政策レベルに反映することがまず必須である。

6.2.4 自然生態管理分野

6 つの中綱目(生物多様性観測・評価、生態系観測・評価、陸域管理・再生、野生動物復帰、外来種管理、野生生物感染症)において、米国が圧倒的優位を誇っている。この優位性の背景には、以下の要因がある。

- ①多くの州立大学が博物館・野外観測ステーションなどをもち、研究者数と研究インフラの点で他国を凌駕している。
- ②国際的拠点研究機関としての博物館・植物園・海洋研究所などを国内に持ち、

これらの研究機関が海外に研究拠点を展開して全球的な観測ネットワークを維持している。

- ③ NSF (National Science Foundation) を中心に、大規模で組織的な研究開発投資を行い、大学や研究機関による全球的な研究を戦略的に支援している。
- ④ 巨額の研究資金を持つ民間財団が、生物多様性・生態系研究に継続的な支援を行っている。
- ⑤ 米国同様に高い研究水準を持つカナダと隣接し、協力関係にある。

NSF が行った組織的・戦略的な研究開発投資の例を以下にあげる。

- ① 長期生態観測ステーション (LTER : Long-Term Ecological Research) の整備に組織的な投資を行い、全米に 26 の LTER を確立した。これらのステーションは、世界的な LTER 観測ネットワークの核となっている。
- ② DNA 配列による全生命体の系統関係決定をめざすプロジェクト (ATOL: A Tree of Life) に継続的な投資を行い、生物多様性観測の基盤整備において世界的リーダーシップを確立した。
- ③ 野生動物感染症の生態学的研究を生物学領域におけるフロンティア領域 (Emerging Frontiers) として位置づけ、戦略的な投資を行った。Ecology of Infectious Disease には 2000 年以後、60 件の研究プロジェクトに対して、4552 万 4359 ドル (52 億 3530 万円) の研究助成が実施された。

欧州では、EU 統合後に多国間協力体制の整備が進み、米国に次ぐ優位性を確保している。特に外来種管理や生物資材 (特に天敵) の研究技術レベルは米国を凌駕し、世界をリードしている。米国が中南米に主要な観測ネットワークを持つことに対し、欧州はアフリカに主要な観測ネットワークを持つ。さらに、アジアにおける調査研究にも、米国・オーストラリアとともに参画している。

中国では、米国などから帰国した 30 ~ 40 代の研究者が教授となり、米・欧に職を持つ中国人研究者と緊密に連携し、研究水準の向上に努めており、近年の研究水準の向上はめざましい。分類学研究の基盤が強く、すべての州で植物誌が整備されている。このような基盤のうえに、米国 NSF と中国 NSFC (National Natural Science Foundation of China) が連携して、Tree of Life プロジェクトを推進する動きがある。また、自然再生事業や野生動物復帰事業なども政府主導で積極的に展開されている。たとえば、杭州市に整備された国家湿地公园は東京都千代田区の面積に匹敵する。このような自然再生事業を、大規模な観測拠点整備と統合してトップダウンで強力に推進している。フラックス観測など、生態系観測のネットワークも国家事業として推進されている。現時点ではさまざまな分野で日本がリードしている状況だが、次の 10 年間には飛躍的な発展が予想され、日本の優位がゆらぐ可能性がある。

韓国では、韓国環境研究所が外来種のデータベースを構築し、韓国情報センターが地球規模生物多様性情報機構 (GBIF : Global Biodiversity Information Facility) に参加しデータの収集を行っている。これらに加え、生物多様性に関する国立研究機関 (National Institute of Biological Resources, Korea) が 2007 年 10 月に設立された。今後の研究開発の核になると考えられる。ソウル市の清溪川の河川再生は国際的に注目される都市河川再生事業であり、国民的な関心も

高く技術レベルは向上している。

日本は、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレータを活用した予測評価など、戦略的な研究開発投資を行った分野では、国際的競争力を持っている。しかし、生物多様性変動の観測・評価技術に関しては、米国や欧州の投資が先行し、日本は大きく立ち後れている。上に例示した3分野は、生物多様性変動の観測・評価において戦略的重要性を持つが、日本の現状は、中国と大差ない水準と言わざるを得ない。対策技術開発の点では、砂漠緑化、森林再生などにおいて、中国を含むアジア諸国に技術支援を行なってきた。しかし、世界的にリードしていると言える状況にはない。アジア諸国における海外学術調査は大きな成果を残してきたが、継続的な研究を可能にする海外研究拠点の整備や、ネットワーク化の点では、米・欧の水準には及んでいない。たとえば世界の熱帯林観測拠点ネットワークは、スミソニアン研究所とハーバード大学によって整備・維持されており、日本が関わるアジアのいくつかの森林観測拠点はこのネットワークへの個別的貢献にとどまっているのが現状である。

外来種管理と野生生物感染症研究は、特に遅れが目立つ分野である。日本では、欧米ほど外来種による産業被害が発生していないため、生態系における侵略的外来生物の拡大に対して有効な管理・対策技術の開発が遅れている。遺伝子組換えナタネや外来病原体(サカゲツボカビ症など)に対する管理・対策技術すら、初歩的段階にある。また、日本はクズやイタドリ、クリの胴枯れ病菌など、侵略的外来生物を欧米に送り出している「供給大国」でもある。これらの外来生物の中には、海外で新たな進化を遂げて日本に再侵入したと考えられる系統も見つかっている。これらの侵略的外来生物に関して国際的な研究ネットワークを整備することは日本の国際的責務と言えるだろう。上記の Tree of Life プロジェクトや、欧米を中心に推進されている DNA barcode 計画は、外来生物の同定・モニタリングに対して強力な基礎を提供している。しかし、この分野での日本の貢献度はきわめて小さい。

日本の強みとしては、市民による観測ネットワークがあげられる。特に野生植物に関する観察ネットワーク、外来種に関する監視ネットワーク、鳥の野外観察ネットワークは、世界に誇れる水準である。米国では大型研究費に依拠したアウトリーチ活動に力を入れ、「市民科学者」の養成に努めているが、日本の「市民科学者」の層の厚さと専門的水準は、米国を凌駕している。一方で、森づくり活動など、市民レベルの自然再生への努力も盛んだが、しばしば科学的裏づけが弱いという問題がある。自然再生を含む自然生態系管理においては、的確なモニタリングを行いながら順応的管理を行っていく技術が必須である。「市民科学者」が広く利用可能なモニタリング技術(フィールドサーバによる観測技術、利用しやすい GIS: Global Information System ソフトなど)の開発を推進すれば、日本の強みを生かした自然生態系管理が発展するだろう。

日本ではまた、大学の演習林・臨海実験所・水産実験所など、公的なフィールドステーションが多数あり、その密度は欧米を凌駕している。また、一級河川に関しては、国土交通省による光ファイバーケーブルが整備されつつあり、河川環境の継続的観測をネットワーク化するためのインフラ整備が進んでいる。これらのインフラを管理主体の垣根をこえてネットワーク化し、市民にも利用できる形で地域の自然生態系管理に活用することは、特に重要である。

6.3 環境技術 比較表

分 野		地球温暖化分野																	
中綱目		エネルギー消費側からの温暖化抑制技術						エネルギー供給側からの温暖化抑制技術				技術 二酸化炭素回収・貯蔵		森林・土壌における吸収技術		農業における温暖化抑制技術		予測・評価技術	
		産 業		交 通		建物・家庭		従来型エネルギー		新エネルギー・再生エネルギー・バイオマスエネルギー									
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○	↗	○	→	◎	↗			◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→
	技術開発水準	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↗	◎	↗
	産業技術力	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	○	→	△	→	○	↘
米国	研究水準	○	→	◎	↗	◎	↗			◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	△	→	○	→	◎	↗	◎	→	○	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗
	産業技術力	×	→	○	↘	◎	→	○	↗	○	→	◎	→	◎	→	△	→	◎	↗
欧州	研究水準	○	→	◎	→	◎	↗			◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	→
	技術開発水準	◎	→	○	→	◎	↗	○	↗	◎	→	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗
	産業技術力	○	→	○	→	○	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→
中国	研究水準	△	↗	△	↗	△	↗			△	↗	△	→	○	↗	○	→	?	?
	技術開発水準	○	↗	△	↗	×	→	△	↗	△	↗	△	→	○	↗	△	→	?	?
	産業技術力	○	↗	△	↗	△	→	△	→	△	↗	×	→	△	→	△	→	?	?
韓国	研究水準	○	→	△	→	△	↗			○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	→
	技術開発水準	◎	→	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	→	○	↗	△	↗
	産業技術力	◎	→	○	↗	○	↗	○	↗	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→

分 野		環境汚染・破壊分野																	
中綱目		大気汚染物質対策技術						産業排水対策技術	生活排水対策技術	陸水汚染対策技術 （水資源、水道技術）	海洋汚染対策技術	土壌・ 地下水汚染対策技術	都市・ 生活環境対策技術	リスク評価技術 （化学物質）	環境アセスメント技術				
		車移動等 （自動車等）	移動発生源 （自動	所等）	固定発生源 （発電	フロン類対策技術													
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド		
日本	研究水準	○	→	◎	→	◎	→	○	↘	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→		
	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	↘	◎	↗	○	↗	◎	↗		
	産業技術力	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	↘	◎	↗	△	↗	○	→		
米国	研究水準	○~◎	→	○	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→		
	技術開発水準	○~◎	↗	○	↗	◎	→	○	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	→		
	産業技術力	○~◎	→	△	→	○	→	○	↗	◎	→	◎	→	○	→	◎	→		
欧州	研究水準	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗		
	技術開発水準	○~◎	→	○	↗	○	→	○	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗		
	産業技術力	○~◎	→	○	↗	△	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗		
中国	研究水準	△	?	△	↗	×	↗	△	↗	△	↗	△	↗	×	↗	△	→		
	技術開発水準	△	↗	×	↗	×	→	△	→	△	↗	△	↗	△	→	×	→		
	産業技術力	△	↗	×	→	×	→	△	↗	△	↗	△	↗	×	↗	△	↗		
韓国	研究水準	△~◎	↗	△	↗	△	→	△	→	○	→	◎	→	△	↗	△	→		
	技術開発水準	△~◎	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	→	○	↗	△	↗	△	↗		
	産業技術力	○~◎	↗	△	↗	△	→	△~◎	↗	○	→	○	→	△	↗	△	→		

分 野		資源循環分野																									
中綱目	リサイクル技術	容器包装プラスチック	電気電子プラスチック	ガラスリサイクル技術	コンクリートリサイクル技術	金属リサイクル技術	レアメタル製造技術	レアメタルリサイクル技術	選別・分別リサイクル技術	廃棄物中間処理技術	廃棄物最終処分技術	環境配慮・省資源型生産技術															
												技術	ゼロエミッション	環境配慮設計	マネジメント技術	グリーンケミストリー	事務機器のリユース技術										
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	△	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
	産業技術力	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗
米国	研究水準	△	↘	○	→	○	→	△	↘	×	↘	△	↘	○	↘	○	→	△	→	○	→	△	→	◎	→	△	↘
	技術開発水準	◎	→	○	→	○	→	△	→	△	→	○	↘	○	→	○	→	△	→	○	↗	△	→	◎	↗	◎	↘
	産業技術力	◎	↗	△	→	○	↘	△	↘	○	↗	○	→	○	→	○	→	△	→	○	↗	○	→	○	↗	◎	→
欧州	研究水準	○	→	○	→	○	↗	○	→	×	→	○	↘	○	↘	◎	→	◎	↗	◎	→	△	→	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	↗	○	↗	△	→	○	↘	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	△	→	◎	↗	○	→
	産業技術力	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	○	↗	△	↗	◎	↗	○	→	◎	↗
中国	研究水準	△	→	×	→	○	→	△	→	×	→	×	↗	○	↗	△	↗	×	→	×	→	△	↗	△	→	△	↗
	技術開発水準	△	→	△	→	○	→	△	?	○	↗	△	↗	○	→	△	→	×	→	×	→	○	↗	△	→	△	↗
	産業技術力	○	↗	○	→	○	→	△	?	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	×	→	×	→	○	↗	○	→	△	↗
韓国	研究水準	△	↘	△	→	△	↘	△	→	○	→	×	→	×	→	○	↗	△	→	△	→	△	?	△	→	△	→
	技術開発水準	△	↘	△	→	△	↘	△	↗	○	→	×	→	×	→	○	↗	△	→	△	→	○	↗	○	→	△	↗
	産業技術力	△	→	○	→	△	→	△	→	◎	↗	×	→	○	→	○	↗	△	→	△	→	○	↗	○	→	△	↗

分 野		自然生態管理分野															
中綱目		予測・評価技術 生物多様性の観測・ 予測・評価技術		生態系の観測・予測・ 評価技術		陸域管理・再生技術		陸水管理・再生技術		海洋管理・再生技術		外来種管理・駆除技術		野生動物管理・復帰技術		野生動物感染症評価・ 管理技術	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○	→	○	→	○	↗	○	↗	◎	↘	○	↗	○	↗	△	→
	技術開発水準	△	→	○	→	○	↗	○	→	○	→	○	↗	△	→	×	-
	産業技術力	△	→	△	→	◎	→	◎	↗	◎	→	×	↗	△	→		
米国	研究水準	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→	◎	→	◎	↗
	産業技術力	◎	→	◎	→	◎	→	○	↗	○	→	×	→	◎	→		
欧州	研究水準	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	○	→	○	→
	技術開発水準	◎	→	○	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	×	-
	産業技術力	○	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→		
中国	研究水準	○	↗	○	↗	○	↗	×	↗	△	→	○	↗	○	↗	△	↗
	技術開発水準	△	↗	△	↗	△	↗	×	→	△	→	○	↗	△	↗	×	-
	産業技術力	△	→	×	→	△	→	×	↗	△	↘	×	→	△	→		
韓国	研究水準	×	→	△	→	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	→
	技術開発水準	×	→	×	→	△	→	△	→	△	↗	×	→	△	↗	×	-
	産業技術力	△	→	×	→	○	→	○	↗	△	↗	×	→	×	→		

(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]

7. 先端計測技術

7.1 先端計測技術の特徴・トピックス

先端科学技術・先端産業が進展するためには、優れた計測技術が必須である。先端科学技術に関する国家的プロジェクトが行われると、そのニーズに応えるために、計測技術が進歩する。そのため、先端科学技術と先端計測技術の進展は、相乗効果を有する関係にある。

計測・分析機器の主要な分野において、かつては世界市場を支配していた日本であるが、このところ地位の低下が著しい状態にあった。その復活を目指し、平成 16 年度より文部科学省は「先端計測分析技術・機器開発事業」を開始し、(独) 科学技術振興機構 (JST) がその実施を担当している。その事業の成果もあり、一部の製品、例えば、電子顕微鏡の性能は、再び世界のトップレベルに並ぶところまで戻ったものがある。しかしながら、全体的な傾向として、日本の分析機器メーカーは投資リスクの大きな新規装置の開発に積極的に取り組む姿勢が希薄であり、需要がある程度期待できる製品以外の機器開発は遅れがちである。それに対して欧米では、ベンチャー企業が新規機器の開発を行うという構図があり、先端分析機器においてもその強みが発揮されている。日本においても、ユニークな技術をもったベンチャー企業を育成する必要があるが、購買側もリスクを回避する傾向が強く、結果的にベンチャー企業が育っていない。

日本の先端計測機器のもう一つの弱点が、ソフトウェアである。装置の使い勝手を支配するユーザーインターフェイスだけでなく、データ処理ソフトも欧米に劣るケースが多い。先端計測機器のユーザは、その機器を使いこなすプロフェッショナルであった時代の名残なのかもしれない。

以下、分野別に若干の現状を説明する。

- ・ **分離精製法分野**は、ほぼすべての分野で米国のレベルが高い。医薬品分野の試料前処理分野は市場が大きいが、米国主導になっている。しかし、日本にもポテンシャルが無い訳ではない。過去、新しい吸着用カラムを開発したものの、実用化に結び付かなかったといった例もあったが、現在さらなる開発が進行中であり、今後の期待もある。
- ・ **分光分析法分野**では、ニーズが明確な分野では日本が強い。例えば、鉄鋼、半導体、材料分野などで使用される機器である。しかし、この分野はビジネスリスクが低いために、アジア諸国が国家レベルで資金、人材を投入し始めており、ピンポイントでは、日本を追い抜いているところも出始めている。そのため、楽観は禁物である。現在、波長可変で小さく安く消費電力の少ないレーザー素子が光源として強く望まれている。もし光源として使用できるものが開発されれば、その市場はこれまでと桁違いになるであろう。
- ・ **構造解析法分野**では、質量分析の糖鎖解析などで日本が優位であるが、一般的に見れば、欧米、特に欧州が強い分野だといえる。特に、ハイエンド機の開発と解析用のソフトウェアが日本の弱点だといえる。今後、日本は放射光向けの粉末 X 線回折などに注力すべきだろう。米国では、放射光を用いたタンパク質単一分子、あるいは微小結晶の構造解析を目指して開発

が動き始めている。

- ・**センサと検出分野**では、全世界的なバイオブームの中で、バイオセンサおよびバイオセンシングの研究開発が量・質の両面で進展した。センサ材料では、カーボン系のナノ材料が注目されている。これらはバイオセンサや化学センサのベース電極として使われる。日米欧のレベルはほぼ同列であるが、米国に留学から帰国した研究者が各大学で活躍をはじめている中国で急速に伸びている分野でもあり、今後の動向を注視すべきである。
- ・**イメージング分野**は、欧州が優位にある。米国は、ナノテク全体の中の戦略として強化が図られている。欧米は、依然として新しい計測技術を生む土壌があって、進歩を先導している。日本は、近接場ラマン分光、電子顕微鏡、蛍光・発光バイオイメージングなどの分野で優位性を維持している。
- ・**試薬とプローブ分野**は、機器の開発ではなく、機能性物質の開発を行う分野である。2008年のノーベル化学賞を受賞した下村脩・米ボストン大名誉教授によるクラゲの緑色蛍光タンパク質のように、もしも優れた物質が発見されれば、そのインパクトは大きい。この分野の基礎研究は欧米に肩を並べているが、産業応用については優位性があるとはいえない。
- ・**複合分析法分野**は、既存の計測技術を直接結びつけたり、半導体微細加工技術を用いて既存計測技術をマイクロ化したりすることにより、計測・分析能力を著しく高める分野である。日本が国家プロジェクトとして注力している領域においては、欧米として優勢あるいは対等な技術力を有している。マイクロチップ技術も、2000-2006年に国家プロジェクトが行われていたため、欧米に対して優位性を保っていた。DNA シークエンシング法では、大型予算を投入した米国が、優位に立っている。創薬におけるハイスループットスクリーニング法は創薬研究に重要であるが、この領域では日本のレベル低下が著しい。

7.2 先端計測技術の各分野の概観

7.2.1 分離精製法分野

分離精製法分野の国際技術力比較を行うにあたり、当該分野を6つの中綱目に分類した。すなわち、(1) ガスクロマトグラフィー、(2) 液体クロマトグラフィー、(3) 電気泳動、(4) マイクロチップを用いる分離分析、(5) その他の分離分析、(6) 試料前処理（抽出、濃縮）である。全般的にみると、研究水準、技術開発水準、産業技術力ともすべての中綱目で優れているのは米国であり、欧州と日本は米国よりも優れているフェーズも一部ある。日本は研究水準では大学で分離分析を研究する研究室が少なく、一部の分野を除いては欧米に遅れをとっている。日本の技術開発水準、産業技術力は欧米と肩を並べるものが多いが、新規装置の開発では遅れている。既存の装置の改良、高性能化、生産は得意であり、国産装置の性能は高い。ただし、装置を使うソフトおよびデータ処理ソフトでは欧米に劣る。よい装置を生産しても世界規模で売れている装置は少ない。一方で中国、韓国はどのフェーズでも欧米や日本と比べて遅れている。しかし、中国のこの分野での研究者数は日本の10倍以上と思われ、多くの中

項目とフェーズで急速に力をつけてきており 10 年以内に欧米に追いつくと思われる。

この分野では高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 装置が稼働数、販売額ともに最も多く、カラム、溶媒などの消耗品市場も大きい。HPLC はすでに成熟した技術ではあるが、新技術の開発も盛んである。特に、UPLC (Waters 社の登録商標) は、従来よりも高い送液圧を用いて短時間の高性能分離を可能とし、広く受け入れられつつある。HPLC における Waters 社 (米) の存在感は大きく、装置、カラム、試料前処理法のいずれも世界的にシェアが高い。(株)島津製作所、日本分光(株)、(株)日立製作所など日本のメーカーも類似した HPLC 装置を生産しており、世界的シェアも大きい。後追いであり、世界標準となるような技術開発はほとんど見られない。UPLC で採用されているマイクロカラムは、30 年以上前になされた日本の基礎研究に起源があるが、製品開発に結びつかなかった。最近注目を集めているシリカモノリスカラムも日本で研究開発されたが、日本では実用化できず Merck KGaA 社 (独) が製品開発を行った。現在日本が先導している新規シリカモノリスカラムは、今後の発展に期待したい。

ガスクロマトグラフィー (GC) も HPLC に次いで広く利用されているが、適用試料が気化するものに限定されるので装置の販売数は HPLC より少ない。GC は HPLC 以上に成熟した方法であるが、常に新技術の開発が盛んである。最近では GCxGC とよばれる非常に分離性能の高い方法が開発され、1 回の分析で数千成分以上の分離定量が可能となっている。

他の分離精製法は HPLC、GC と比べると装置販売数は遥かに少ない。キャピラリー電気泳動装置は主要メーカーである Beckman Coulter 社 (米) および Agilent Technologies 社 (米) が新型装置の市販を始めるため、HPLC と GC とのニッチの領域で多く使われるようになると思われる。日本では大塚電子(株)が国内に限って市販している。マイクロチップを用いる分離装置はまだ応用範囲が限定されており市場も小さいが、今後の発展が期待される分野である。粒子分析は今後重要な分野であるが、まだ研究の域を出ない。試料前処理は分離分析にとっても重要な技術であり、特に医薬分野で試料前処理技術は市場が大きく、新技術の開発も盛んである。この分野は公定法と密接に関係しており、米国主導となっている。

7.2.2 分光分析法分野

分光分析法分野の国際技術力比較を行うにあたり、当該分野を 8 つの中綱目に分類した。すなわち、(1) 原子スペクトル・プラズマ分光、(2) 紫外・可視分光、(3) 蛍光分析、(4) 赤外・ラマン分光、(5) 光熱変換分光、(6) レーザー分光、(7) 質量分析法、(8) X 線・γ 線である。全般的にみると以下のようにまとめられる。

(1) 要素技術の開発

新しい要素技術を開発すれば、新規の分析装置が実現できる。例えば、極めて短い光パルスを生ずる要素技術ができれば、超高速現象を観測するための科学計測装置が実現できる。要素技術の中には、製造技術も含まれる。最近では、汎用的に利用できるフェムト秒 (fs; 10^{-15} 秒) レーザーが市販されるようになったが、これも計測科学のための新しい要素技術の出現と見なすことがで

きる。同じように、X線を集光するためのポリキャピラリー、顕微ラマン分光のための高感度近赤外光検出器、マルチターン質量分離装置、緑色蛍光タンパク質（GFP）なども、新規要素技術と捉えることができる。

(2) 技術開発

日本は、ニーズが明確な分野に強い。例えば、鉄鋼、半導体、材料分野では、X線分析装置はなくてはならないものであり、品質管理などに広範に利用されている。また、土壌試料、電気製品などの分析にも広く利用されている。誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）は、元素分析に不可欠の分析機器であり、業界においても日本は大きなシェアを占めている。しかしながら、このような分野は“メタロミクス”などの応用範囲へ飛躍的に拡大することは期待されるが、基本的なハードウェアとしては市場も成熟期を迎えている（ただし、アプリケーションの新展開に伴う新しいデータ処理・解析については、別の視点で捉える必要があるので注意を要する）。このような分野は開発に伴う資本回収もある程度見通せ、ローリスクである。そのため技術開発への着手が、比較的容易に判断できる。このようなローリスクの分析機器は、アジア諸国が国家レベルで資金と人材の投入を始めており、楽観できない状況である。ピンポイントでは、日本を追い抜いている領域もある。

(3) 産業化

ハイリスクの分析機器については、日本と欧米の差は現在拡大しつつあるといえる。例えば、質量分析計（MS）は、ハードウェアにおいてはイオン化法・質量分離部・検出器、また、実際の分析においては前処理・データ処理・データ解析と、開発すべき領域は多岐にわたっている。例えば、波長可変で小さく安く消費電力の少ないレーザー素子が光源として強く望まれている。もし光源として使用できるものが開発されれば、その市場はこれまでと桁違いになるであろう。

開発には多くの資本と人材が必要であるが、市場規模の拡大とそれに対する対応は、欧米が他の追従を許していない。今後、生命科学・環境科学などにおける潜在的なニーズや法規制に伴う新規のニーズに、素早く柔軟に対応できる新しい体制作りが望まれる。そのためには大学と企業間の連携が不可欠であるが、そもそも連携できる機関が極めて限られているのが実情である。ユニークな要素技術をもつ小規模の企業（ベンチャー）を育成し、市場ニーズに合わせた新製品をダイナミックに開発するなどの積極的な対応が必要である。

7.2.3 構造解析法分野

構造解析分野の国際技術力比較をするに当たって、当該分野を4つの中綱目に分類した。すなわち、(1) 質量分析法、(2) X線、(3) NMR、(4) 光電子回折である。全般的にみると、研究水準、技術開発力、産業競争力について、日本は欧米に拮抗しつつも、やや遅れをとっている分野もある。中国、韓国については、現在の水準は低いものの、研究水準は近い将来急上昇するものと予想される。

質量分析法による構造解析法分野では、ポストゲノム時代を迎えて、欧米では先進的なタンパク質、代謝物の解析手法の開発が活発に行われて、世界に普及している。研究水準では米欧が強く、日本はそれに続き、糖鎖解析などの分野では世界トップレベルである。技術開発の面では、従来から欧米を中心に研

究開発が行われており、海外技術への依存度が高い。産業競争力についても同様で、独自技術による解析ソフトウェアの商品化には至っていない。日本発の解析ソフトウェアの開発が望まれる。

X線構造解析法分野において、単結晶X線回折装置開発では、欧州と日本が拮抗しているが、ソフトウェアについては、日本は後塵を拝している。また、近年活発化している粉末構造解析用の高精度回折装置についても、欧州では製品が開発されているが、国内メーカーは開発途上にあり大きく遅れている。米国は、研究水準は高いものの、技術開発水準や産業技術力は日欧に劣る。粉末構造解析は応用範囲が広く、放射光用の多連装型回折計を含め、今後日本が力を入れるべき分野であろう。

NMR 構造解析法分野の研究水準は、日米欧が拮抗しているが、ここ数年ドイツを中心として研究コアが形成され、優れた成果が出始めている。技術開発水準では、欧州ではユニークな高性能装置開発が行われている。日本の潜在力は高いが、ハイエンド機器の開発では遅れをとっており、検出器およびソフトウェア開発力の向上が望まれる。産業技術力についても、欧州では研究者のニーズに合った装置開発が行われており、欧日米の順である。

光電子回折構造解析分野の研究水準、技術開発水準は日欧で拮抗している。日本独自の2次元検出器の高性能化が進み、優れた研究成果が出ているものの、欧州では新しい放射光施設の建設が進められており、高い水準の研究が行われている。また、米国では、放射光を用いたタンパク質単一分子、あるいは微小結晶の構造解析を目指して開発が動き出している。産業技術力では、欧州には高性能装置の開発メーカーが存在するが、日本では製品化までに時間のかかる計測装置に対して企業が消極的であり、装置開発が停滞している。また、国としての放射光施設の建設がなされず、諸外国に後れを取りつつある。米国については、研究、技術開発、産業技術とも縮小ぎみである。

この分野に限らず、日本の産業技術力の問題点として、ソフトウェア開発力の強化が重要である。装置性能は拮抗していても、ソフトウェアの性能により欧米の装置に劣るケースが多々みられる。今後の計測技術開発ではハード面だけではなく、ソフト面の強化を打ち出す必要がある。

7.2.4 センサと検出分野

試薬とプローブ分野の国際技術力比較を行うにあたり、当該分野を8つの中綱目に分類した。すなわち、(1) 単一分子検出、(2) 近接場検出、(3) ラマン検出、(4) 近赤外検出、(5) ケミカルセンサ、(6) バイオセンサ、(7) ガスセンサ、(8) 電気化学センサである。詳細は、次章の「中綱目ごとの比較」で述べるが、全般的には、我が国のセンサ開発能力は高いものの、研究規模や開発スピードに勝る米国や欧州（特に米国）がナノテクノロジーベースのセンサや極限計測技術開発に力を注いでいる。

特に近年の全世界的なバイオブームの中で、バイオセンサおよびバイオセンシングの研究開発が、質・量ともに大きく膨らんできた。その中でもDNAの計測に関する研究開発が数多く、高速の超ハイスループットを目指したセンシング技術から、超高感度1分子DNA光検出の装置化まで進んできている。超高感度な計測を担う技術に関しては、基板ナノ加工技術とエバネッセント波、

プラズモン波などを利用する光計測技術が、微細部検出・非破壊検出のメリットを生かして発展している。この分野では、我が国も近接場光検出などで貢献している。今後このような超高感度光計測技術は、紫外から遠赤外までの様々な波長にまで拡大され、近赤外 CT による脳研究や遠赤外（テラヘルツ）の物質計測まで様々な用途のセンサおよび計測システムが開発されるだろう。また、人の計測においては、機能分子プローブは世界各国で競争になっているが、欧米では単純な検出目的の分子プローブから、マルチモーダルな多機能型へと研究が広がりつつある。ナノカプセルやミセルなどに数種の機能物質を入れ込んだナノセンサや機能細胞センサなどが開発されつつある。

センサ材料では、カーボンナノチューブ（CNT）やナノカーボン薄膜、金属ナノ粒子埋め込み型カーボン薄膜、ボロンドープダイヤモンドなどのカーボン材料が注目されており、バイオセンサや化学センサのベース電極として使われる他、高性能な電池や金属代替材料などにも有用である。これらには日本の独自技術がある。

ケミカルセンサでは、ガスセンサ、イオンセンサのいずれにおいても、日本オリジナル技術の水準は高い。しかし、これらのセンサの多くは第二世代に入ってきており、安価かつ高性能を目的とした新たなセンサの開発競争が始まっている。米国は、ナノテク材料、バイオ材料（DNA アプタマーやタンパクプローブなど）の新しいホスト機能材料開発に力を入れており、体内埋め込み型などのウェアラブルセンサ開発にも積極的である。また、ホームランドセキュリティへの関心が高く、テロに向けたセンサ開発などにも積極的に投資している。表面プラズモン共鳴（SPR）バイオセンサは欧州で生まれた有用な技術で、タンパク質などの解析には不可欠であるが、さらにその技術をセキュリティや匂いのセンシングなど別の技術へ発展させる研究が進められている。欧州の主要各国のセンサ技術開発は、日本とほぼ同程度であるが、実用化に向かう技術開発姿勢は強いものがある。中国は米国に留学していた研究者が、中国国内の主要大学でレベルの高い研究を始めており、国からファンドが出ている。韓国は、研究レベルにおいては、一部の主要大学以外は日本に劣るものの、電気・電子分野に強い企業が、アルコールセンサなどの新しいセンサデバイス開発に積極的であり、一部実用化されている。

このようなセンサおよび計測技術は、建物（文化財から一般住宅まで）、公共の乗り物、環境大気、食べ物など、衣食住あらゆる場面での利用が期待されており、センサと生活の結びつきは今後ますます重要になろう。

7.2.5 イメージング分野

イメージング分野の国際技術力比較を行うにあたり、当該分野を 4 つの中綱目に分類した。すなわち、(1) 光学顕微鏡、(2) 電子顕微鏡、(3) 走査型プローブ顕微鏡、(4) 蛍光・発光イメージングである。全般的にみると、研究水準、技術開発水準、産業技術力とも欧州が上昇傾向にあり、非常に進んでいる。

欧米は依然として新しい原理による計測機器を生む土壌において他を凌いでいる。米国は計測機器開発のみに特化することなく、ナノテク全体の中の戦略として体系的・俯瞰的強化を実行している。欧州においては、近年 EU 主導で各分野の共同研究が進められており、猛烈な追い上げを見せている。また、走

査型プローブ顕微鏡などの新しい計測技術を長い時間をかけて生み育てる土壤と実績がある。日本においては、新しい計測技術を生み出す点では欧米に一步譲る面もあるが、近接場ラマン分光、電子顕微鏡、蛍光・発光バイオイメージングなど、特定分野では欧米に勝る分野として育てた領域もある。韓国は以前に比べて進展しつつあるが、計測評価機器の大部分は外国からの導入であり、計測技術開発を行う余裕が出るまでには至っていない。中国も同様である。技術の概要は、以下の通りである。

光学顕微鏡：光学顕微鏡を用いたイメージングは、各種の波長を用いたものがあり、特に赤外分光が多い。また、ラベル化した方法では蛍光法が多い。この他に、ラマン分光法や表面プラズモン共鳴を利用したものが、研究開発されている。日本は、近接場ラマン分光法では高い研究水準をもち、LED・検出器などの部品のレベルは高い。米国は、研究水準、技術開発水準、産業技術力のどのフェーズにおいてもトップレベルの研究状況であるが、これを欧州が近年猛烈に追いつけている。また、ウクライナやベラルーシなど、世界各国で各種の技術開発や、部品の製造、開発が進んで来ている。

走査型プローブ顕微鏡：真空・大気・液中においてナノメートルスケールの物体表面 3 次元構造を観察するための技術である。原子間力顕微鏡 AFM、走査トンネル顕微鏡 STM、近接場光学顕微鏡 NSOM などから成る最先端観察技術である。液中、高速 AFM では日本、スピン偏極を含む STM では欧米、産業機器としての SPM では米国が優位である。

電子顕微鏡技術：真空中で、マイクロからナノメートルスケールの 2 次元構造を観察するための技術である。透過電子顕微鏡 TEM、走査電子顕微鏡 SEM 技術がある。電子顕微鏡基礎研究は欧州が進んでいるが、技術レベルは日欧同等レベルである。分解能を高めるための技術である球面収差補正装置では、日本は欧州に対し大きく出遅れていたが、企業努力によって現在は再び世界トップレベルに追いついたと思われる。

蛍光・発光イメージング：蛍光タンパク質、発光タンパク質や量子ドット、有機系色素を蛍光プローブとするバイオイメージングでは、広い可視波長範囲にわたって収差補正された光学顕微鏡に加えて、高感度カメラ、分光用の干渉フィルター、レーザーと、大規模画像データの処理技術が不可欠である。日本は高い産業技術力をもつ光学顕微鏡メーカー、検出器メーカーをもつが、光学フィルターやレーザー、システム製品では米国に、共焦点顕微鏡や多光子顕微鏡、超解像顕微鏡などの新しい蛍光顕微鏡開発では欧州を追う形となっている。また、大規模画像処理システムでは欧米との間にかなりの遅れがある。

7.2.6 試薬とプローブ分野

本分野は主として細胞内や生体内でどのような現象が起こっているのかを分子レベルで明らかにするための技術開発分野である。そのアプローチは、機器の開発によるものではなく、機能性物質（有機分子、タンパク質、核酸、無機物質など）の開発に基づいている。本分野の成果は、2008 年のノーベル化学賞を受賞した下村脩・米ボストン大名誉教授が発見したクラゲの緑色蛍光タンパク質（GFP）の様に、基礎生命科学研究に極めて大きなインパクトを与えると

共に、疾患の画像診断試薬、体外診断薬などの供給を可能にする。さらに、創薬研究の各プロセスにも大いに貢献し、安全でよく効く薬の迅速かつ低コストでの開発に繋がる技術開発分野ともいえる。本分野は、光科学、有機化学、タンパク質工学、高分子化学、ナノ科学などの融合領域であり、様々な技術を有する研究者の参入により革新技术が生み出されている分野である。

試薬とプローブ分野の国際技術力比較を行うにあたり、当該分野を6つの中綱目に分類した。すなわち、(1) 蛍光タンパク質、(2) 有機蛍光試薬、(3) 量子ドット、(4) 生物発光タンパク質、(5) イメージングプローブ試薬、(6) 核酸試薬である。

全般的にみると、当該分野において我が国は、基礎研究においては米国、欧州に比肩しているものの、その産業応用については優位ではなく、今後の研究戦略が各国の今後の国際技術力に大きく影響すると思われる。

蛍光タンパク質は、日本、米国、欧州の特定の研究チームで精力的に開発研究が行われており、いずれも高い技術水準を有している。蛍光タンパク質の応用研究については米国では数多くの研究チームとベンチャー企業が取り組んでいるのに対して、我が国では限定的である。

有機蛍光試薬については、日本と米国の研究チームの技術力が他を圧倒している。産業応用についても両国で着実に進展している、特に生体イメージングへの応用が期待される。

量子ドットの内容は日本で提案されたものである。日本、米国、欧州で盛んに研究されている。中国でも急速に研究が進展している。産業応用については米国の数社のベンチャー企業が牽引している。生体イメージングへの応用が期待され、生体毒性の問題を克服する研究、生体透過性の高い近赤外光の量子ドットの開発研究が進んでいる。

新しい生物発光タンパク質の開発研究は日本の特定の研究チームで盛んに行われている。米国と欧州ではかつて盛んであった基礎研究が低調になりつつある。生物発光タンパク質を用いたアッセイキットなどの産業応用については日本、米国で盛んに行われおり、欧州企業でも実用的な製品が生み出されている。

イメージングプローブについては米国がリードしており、日本、欧州でも質の高い研究成果が上がっている。産業応用についても同様に、米国に次いで、日本、欧州で成果が上がっている。特に蛍光タンパク質を用いたイメージングプローブについては、蛍光タンパク質の産業応用について妥当なライセンス料を設定する国産企業が台頭していることもあり、我が国においても、その産業応用が急速に進む土壌がある。

核酸試薬も先端医療の観点から期待が大きい。日本と米国の研究チームで盛んに開発研究が行われている。しかし産業応用については、米国の独断場となっている。

7.2.7 複合分析法分野

複合分析法は、既存の計測技術を直接結びつけたり（ハイフネーテッド分析）、マイクロチップ分析法やマイクロアレイ法などのように半導体微細加工技術を用いて既存計測技術をマイクロ化したりすることで、計測・分析能力を著しく高めるような方法である。ゲノム解析など、既存の計測技術単独では対応できないほど対象物の種類が多く、しかもそのダイナミクスレンジ（濃度の範囲）

が広い、新たな研究分野が拡大するにつれて開発された分析法である。

当該分析法は、最近特に重要視されてきた、ゲノム解析、プロテオーム解析などの大規模生体分子解析、創薬における超高性能スクリーニング、また今後重要性が高まる iPS 細胞など幹細胞の機能性・安全性評価など、各国が国家プロジェクトとして国力をあげて取り組んでいる研究課題の解決に必要不可欠な計測技術となっており、当該分野の国際技術力は、国の研究戦略を如実に反映している。

複合分析法分野の国際技術力比較を行うにあたり、複合分析法分野において、現時点で最も重要な 5 つの中綱目に分類した。すなわち、(1) ハイフネーテッド分析、(2) マイクロチップ分析、(3) ハイスループットスクリーニング、(4) マイクロアレイ、(5) DNA シークエンシングである。

全般的にみると、日本が国家プロジェクトとして注力している分野は、米欧と比較して優勢あるいは対等な技術力を有していることが明らかであるが、分野によっては、日本の国家プロジェクト終了とともに国際技術力が米欧と比較して低下しているものもある。

ハイフネーテッド分析は、プロテオミクス解析・メタボロミクス解析などで極めて重要な方法である。(株)島津製作所・田中耕一氏のノーベル賞に代表されるように、日本は、ハイフネーテッド分析の基盤となる質量分析技術で非常に高い国際技術力をもつ。しかし、プロテオミクス解析のような大規模解析においては、国家プロジェクトとして大型予算を投入している米欧に対して競争力が低下しつつある。

マイクロチップ分析・マイクロアレイ法は、ゲノム解析・プロテオミクス解析の実現や iPS 細胞などの機能・安全性評価において単一細胞レベルの計測を可能にする重要技術である。日本は、国家プロジェクトが進められていた 2000-2006 年には、米欧に対して優位性を保っていた。しかし、国家プロジェクト終了後、装置開発のスピードが鈍化し、米欧と比較して技術力が若干低下し始めた。さらに、中国・韓国が国家プロジェクトを最近開始しているので、今後の動向を注視する必要がある。iPS 細胞研究などで優位性を保つためにも、今後注力が必要な分野の一つである。

DNA シークエンシング法において、日本ではヒトゲノム解析計画進行中に、日本は、(株)日立製作所・神原秀記博士が開発したキャピラリーアレイ技術開発により、米欧に対して技術的優位性を保っていた。しかし、次世代 DNA シークエンシング法の開発においては、米国が大型予算を投入したのに対して、日欧においては、組織的な技術開発が行われなかったために、現在では米国が優位にたっている。今後、次々世代 DNA シークエンシング法の開発においては、日本でも国家プロジェクトを組織するなど、再度、米欧に対する優位性をもたらすような技術開発が期待される。

創薬におけるハイスループットスクリーニング法において、日本は米欧に対して優位性が低下している。しかし、創薬研究の進展のためにも、今後重要性が高まる分野である。

7.3 先端計測技術 比較表

分 野		分離精製法分野												分光分析法分野															
中綱目		ガス クロマトグラフィー		液体 クロマトグラフィー		電気泳動		マイクロチップを用いる分離分析		その他の分離分析（粒子分離）		試料前処理（抽出・濃縮）・固相抽出		原子スペクトル・プラズマ分光		紫外・可視分光		蛍光分析		赤外・ラマン分光		光熱変換分光		レーザー分光		質量分析法（分光分析法）		X線・γ線（分光分析）	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	△	↘	◎	↗	○	→	○	↗	○	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	○	→	○	→	○	→	○	→	△	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	↗	○	→	△	↗	△	→	◎	↗
	産業技術力	◎	→	○	→	○	→	△	↘	○	↗	○	→	◎	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	→	△	→	○	→	◎	↗
米国	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↘
	技術開発水準	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	△	→
	産業技術力	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→
欧州	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→
	技術開発水準	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→
	産業技術力	○	→	○	→	○	↗	◎	→	△	→	◎	→	○	→	◎	→	○	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→
中国	研究水準	△	→	△	↗	△	↗	○	↗	△	↗	△	↗	○	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	×	↗	△	→	○	↗
	技術開発水準	×	→	△	↗	△	↗	△	↗	×	→	×	→	×	→	×	↗	×	→	×	↗	△	→	×	→	×	→	◎	↗
	産業技術力	×	→	△	↗	△	↗	△	↗	×	→	×	→	×	→	×	↗	×	→	×	↗	×	→	×	→	×	→	◎	↗
韓国	研究水準	△	→	×	→	△	→	×	↗	○	→	○	→	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	↗	×	→
	技術開発水準	△	→	×	→	×	→	×	↗	△	↗	×	→	×	→	×	↗	×	→	×	↗	×	→	×	→	×	→	×	→
	産業技術力	△	↗	△	→	×	→	×	↗	△	→	×	→	×	→	×	↗	×	→	×	↗	×	→	×	→	×	→	×	→

分 野		構造解析法								センサと検出分野															
国・地域	フェーズ	質量分析法(構造解析)		X線(構造解析法)		NMR		光電子回折		単一分子検出		近接場検出		ラマン検出		赤外検出		ケミカルセンサ		バイオセンサ		ガスセンサ		電気化学センサ	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→
	技術開発水準	○	→	○	→	△	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→
	産業技術力	△	↘	◎	→	△	→	○	↘	○	→	○	→	○	↗	○	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	→
米国	研究水準	◎	↗	◎	↘	○	↗	○	↘	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↘
	技術開発水準	◎	↗	○	↘	△	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	○	→	◎	→
	産業技術力	◎	→	○	→	△	→	○	→	○	↗	○	↗	△	→	○	↗	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→
欧州	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→
	技術開発水準	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
	産業技術力	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	○	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	→
中国	研究水準	△	↗	△	↗	△	↗	×	↗	△	→	△	→	△	↗	△	→	○	↗	△	↗	△	↗	○	↗
	技術開発水準	×	→	△	→	×	→	×	↗	△	→	△	?	△	→	×	→	△	→	×	→	△	→	△	↗
	産業技術力	×	→	△	→	×	→	×	↗	×	→	×	?	△	→	×	↗	○	↗	×	→	△	→	×	↗
韓国	研究水準	×	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	○	→	×	→	△	→	○	→	△	↗	○	↗	△	↗
	技術開発水準	×	→	×	→	×	→	△	↗	△	→	△	→	×	→	△	↗	△	→	△	→	◎	↗	△	→
	産業技術力	×	→	×	→	×	→	△	↗	×	→	△	→	×	→	△	↗	○	↗	×	↗	○	↗	△	↗
		豪州		○	↗																				
				×	→																				
				×	→																				

分 野		イメージング分野								試薬とプローブ											
中綱目		走査型プローブ顕微鏡		電子顕微鏡		光学顕微鏡		蛍光・発光バイオイメージング		蛍光タンパク質		有機蛍光試薬		量子ドット		生物発光タンパク質		イメージングプローブ試薬		核酸試薬	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	◎	↗	○	→	○	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	↗	○	→	○	→	○	→	○	↗	○	↗	○	→	◎	→	○	↗	△	→
	産業技術力	○	→	○	↘	○	→	◎	→	○	→	○	→	△	→	○	↗	○	→	△	→
米国	研究水準	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	◎	↗	○	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗
	産業技術力	○	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	↗	○	→	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗
欧州	研究水準	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↘	○	↗	○	↘	○	↗	△	→
	技術開発水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	△	→	○	→	○	↗	△	→
	産業技術力	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	→	○	→	○	→	△	→	○	→	○	→	△	→
中国	研究水準	○	→	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	↗	×	→	△	→	△	→
	技術開発水準	×	→	×	→	△	↗	△	→	×	→	○	→	×	→	×	→	×	→	△	→
	産業技術力	×	→	×	→	△	↗	×	→	×	→	△	↗	×	→	×	→	×	→	×	→
韓国	研究水準	○	→	△	↗	×	→	△	↗	×	→	△	↗	△	→	△	↗	△	↗	△	→
	技術開発水準	△	→	×	→	×	→	△	→	×	→	○	→	△	→	△	→	×	→	○	↗
	産業技術力	△	→	×	→	×	→	×	→	×	→	△	→	×	→	×	→	×	→	△	↗

分 野		複合分析法分野									
中綱目		ハイフナーテッド分析		マイクロチップ分析		ハイスループットスクリーニング		マイクロアレイ		DNA シークエンシング	
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	研究水準	○	↘	◎	↗	◎	→	△	→	○	↗
	技術開発水準	○	→	○	→	○	→	△	→	○	↘
	産業技術力	△	→	○	→	○	→	△	→	○	→
米国	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	技術開発水準	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗
	産業技術力	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	○	→
欧州	研究水準	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	○	→
	技術開発水準	◎	→	○	→	○	→	◎	↗	○	↘
	産業技術力	◎	→	◎	→	○	→	○	↗	○	→
中国	研究水準	△	→	○	↗	×	→	△	↗	△	↘
	技術開発水準	×	→	○	↗	×	→	△	→	△	↘
	産業技術力	×	→	○	→	×	→	△	→	×	↘
韓国	研究水準	○	→	△	→	△	↗	○	↗	△	↘
	技術開発水準	×	→	△	→	○	→	△	→	△	↘
	産業技術力	×	↗	△	→	○	→	×	→	△	↘

(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]

◆ 2009 年版執筆者・協力者一覧

※所属は執筆時点のもの

■ 電子情報通信

■ 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】
伊東 義曜	独立行政法人科学技術振興機構研究開発センター 主任調査員
今井 正治	大阪大学大学院情報科学研究科 教授
大橋 弘通	独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー半導体エレクトロニクス研究ラボ プロジェクトマネージャー
嘉田 守宏	技術研究組合超先端電子技術開発機構 三次元積層技術研究部 部長
黒田 忠広	慶應義塾大学理工学部 教授
財満 鎮明	名古屋大学大学院工学研究科 教授
角南 英夫	広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所 特任教授
筒井 哲夫	九州大学 名誉教授
平本 俊郎	東京大学生産技術研究所 教授
松澤 昭	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
安浦 寛人	九州大学大学院システム情報科学研究院 教授

■ フォトニクス分野

黒田 和男	東京大学生産技術研究所 教授 【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 研究科長・教授
後藤 顕也	東海大学開発工学部 情報通信工学科 教授
小山 理	キャ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
田口 常正	山口大学大学院研究 特任教授
馬場 俊彦	横浜国立大学工学研究院知的構造の創生部門 教授
宮本 裕	NTT 未来ねっと研究所フォトリックトランスポートネットワーク研究部 主幹研究員

■ コンピューティング分野

石塚 満	東京大学大学院情報理工学系研究科 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	早稲田大学理工学部コンピュータ・ネットワーク工学科 教授
尾内理紀夫	電気通信大学電気通信学部情報工学科 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
南谷 崇	東京大学先端科学技術研究センター 教授 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
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

■ 情報セキュリティ分野

今井 秀樹	中央大学大学院理工学研究科 教授 【総括責任者】
-------	--------------------------

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研究チーム長
宇根 正志	日本銀行金融研究所情報技術研究センター 企画役
大岩 寛	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
大塚 玲	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セキュリティ基盤技術研究チーム 研究チーム長
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
佐藤 証	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 ハードウェアセキュリティ研究チーム 研究チーム長
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

■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】
稲垣 博人	日本電信電話株式会社サイバーソリューション研究所 主幹研究員
井上 一郎	日本電信電話株式会社ネットワークサービスシステム研究所 主幹研究員
植松 友彦	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
尾家 祐二	九州工業大学情報工学部 教授
小川 克彦	慶應義塾大学環境情報学部 教授
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
桑原 秀夫	株式会社富士通研究所 フェロー
小林 稔	日本電信電話株式会社サイバーソリューション研究所 主幹研究員
鹿田 寛	日本電気株式会社中央研究所 エグゼクティブエキスパート
田島 公博	日本電信電話株式会社研究企画部門 R&D 推進担当 担当部長
本橋 健	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 主任研究員
山尾 泰	電気通信大学先端ワイヤレスコミュニケーション研究所 教授
吉野 秀明	日本電信電話株式会社サービスインテグレーション基盤研究所 プロジェクトマネージャ

■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】
青木 義満	慶應義塾大学理工学部電子工学科 准教授
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
井村 順一	東京工業大学大学院情報理工学研究科 教授
鈴森 康一	岡山大学大学院自然科学研究科 教授
橋本 周司	早稲田大学理工学部 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
油田 信一	筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授

■ナノテクノロジー・材料

《ナノテク・材料》

■ナノ材料・新機能材料分野

安藤 恒也	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
伊藤 耕三	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
木村 茂行	社団法人未踏科学技術協会 理事長 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 特任フェロー

黒田 一幸	早稲田大学理工学術院 教授
高井 治	名古屋大学エコトピア科学研究所 教授
高木 英典	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
高橋 浩	早稲田大学理工学術院 客員教授
田中 雅明	東京大学大学院工学系研究科 教授
永野 智己	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
西 敏夫	東北大学原子分子材料科学高等研究機構 教授
平野 正浩	東京工業大学フロンティア研究センター 客員教授
福山 秀敏	東京理科大学大学院理学研究科 教授
松永 是	東京農工大学 副学長
水野 哲孝	東京大学大学院工学系研究科 教授

■ナノ加工技術

居城 邦治	北海道大学電子科学研究所 教授
岡崎 信次	株式会社日立製作所中央研究所先端技術研究部 主管研究員
金山 敏彦	独立行政法人産業技術総合研究所ナノ電子デバイス研究センター 研究センター長
下田 達也	北陸先端科学技術大学院大学ナノマテリアルテクノロジーセンター 教授
下村 政嗣	東北大学多元物質科学研究所 教授
田中 秀治	東北大学大学院工学研究科 准教授 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 特任フェロー
平井 義彦	大阪府立大学大学院 工学研究科 教授
宮内 昭浩	株式会社日立製作所材料研究所 ユニットリーダー

《ナノテク・材料の応用》

■ナノエレクトロニクス分野

安達千波矢	九州大学未来化学創造センター 教授
安藤 功兒	独立行政法人産業技術総合研究所エレクトロニクス研究部門 副研究部門長
江部 広治	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構 特任研究員
大津 元一	東京大学大学院工学系研究科 教授
大野 英男	東北大学電気通信研究所 教授
梶川浩太郎	東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授
金山 敏彦	独立行政法人産業技術総合研究所ナノ電子デバイス研究センター 研究センター長
鎌田 俊英	独立行政法人産業技術総合研究所光技術研究部門 グループ長
川嶋将一郎	富士通マイクロエレクトロニクス株式会社 FRAM 汎用設計部長
河村誠一郎	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
木村 俊作	京都大学工学研究科 教授
木村紳一郎	株式会社日立製作所中央研究所 主管研究員
迫田 和彰	独立行政法人物質・材料研究機構量子ドットセンター センター長
進藤 典男	ソニー株式会社技術戦略部 担当部長
高木 信一	東京大学大学院工学系研究科 教授
田口 常正	山口大学大学院 研究特任教授
田中 拓男	独立行政法人理化学研究所田中メタマテリアル研究室 准主任研究員
野田 進	京都大学工学研究科 教授
波多腰玄一	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
馬場 俊彦	横浜国立大学大学院工学研究院 教授
藤巻 朗	名古屋大学大学院工学研究科 教授
船田 文明	シャープ株式会社ディスプレイ技術開発本部 技監

■ バイオ・医療分野

石森 義雄	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター	フェロー
片岡 一則	東京大学大学院工学系研究科	教授
松田 道行	京都大学大学院医学研究科	教授
馬場 嘉信	名古屋大学大学院 工学研究科	教授
田畑 泰彦	京都大学再生医科学研究所	教授
鄭 雄一	東京大学大学院工学系研究科	教授
塙 隆夫	東京医科歯科大学	教授
北森 武彦	東京大学大学院工学系研究科	教授
宮原 裕二	独立行政法人物質・材料研究機構生体材料研究センター	グループリーダー

■ エネルギー・環境分野

池田 篤治	福井県立大学生物資源学部生物資源学科	教授
石原 聡	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター	フェロー
岡部 聡	北海道大学大学院工学研究科	教授
大林元太郎	東レ株式会社研究本部	理事
河本 邦仁	名古屋大学大学院工学研究科	教授
小長井 誠	東京工業大学 大学院 理工学研究科	教授
近藤 道雄	独立行政法人産業技術総合研究所太陽光発電研究センター	研究センター長
澤山 茂樹	独立行政法人産業技術総合研究所バイオマス研究センター	研究グループ長
瀬恒謙太郎	大阪大学大学院工学研究科	教授
高木 英典	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授
田中 裕久	ダイハツ工業株式会社先端技術開発部	エクゼクティブ・テクニカル・エキスパート
谷岡 明彦	東京工業大学大学院理工学研究科	教授
堂免 一成	東京大学大学院工学系研究科	教授
長井 龍	日立マクセル株式会社開発本部	副本部長
長坂 徹也	東北大学大学院環境科学研究科	教授
西村 睦	独立行政法人物質・材料研究機構燃料電池研究センター	センター長
橋本 和仁	東京大学大学院工学系研究科	教授
原田 幸明	独立行政法人物質・材料研究機構材料ラボ	ラボ長
堀上 徹	財団法人国際超電導産業技術研究センター 超電導工学研究所	特別研究員
本間 格	独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門	グループ長
水野 哲孝	東京大学大学院工学系研究科	教授
森塚 秀人	電力中央研究所 エネルギー技術研究所	上席研究員
横山 伸也	東京大学大学院農学生命科学研究科	教授
李 玉友	東北大学大学院工学研究科	准教授
渡辺 政廣	山梨大学 クリーンエネルギー研究センター	センター長

■ 産業用構造材料（輸送・建造等）分野

乾 晴行	京都大学大学院工学研究科	教授
真田 恭宏	旭硝子株式会社中央研究所	主幹研究員
津崎 兼彰	独立行政法人物質・材料研究機構新構造材料センター	センター長
豊蔵 信夫	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター	フェロー
平尾 一之	京都大学大学院工学研究科	教授

■ 生活関連材料分野

大林元太郎	東レ株式会社研究本部	理事
上野 則夫	株式会社資生堂マテリアルサイエンス研究センター 素材開発研究所	参与
佐藤 清隆	広島大学大学院生物圏科学研究科	教授
豊蔵 信夫	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター	フェロー

中嶋 光敏 筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授
山崎 律子 花王株式会社ケアビューティ研究所 主任研究員

《基盤科学技術》

■ナノサイエンス分野

安藤 泰久 独立行政法人産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門 グループ長
石森 義雄 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
伊藤 公平 慶應義塾大学理工学部物理情報工学科 教授
魚崎 浩平 北海道大学大学院理学研究科 教授
栗原 和枝 東北大学多元物質科学研究所 教授
白石 賢二 筑波大学大学院数理物質科学研究科 准教授
高柳 英明 東京理科大学大学院理学研究科 教授
塚田 捷 早稲田大学大学院理工学研究科 教授
十倉 好紀 東京大学大学院工学系研究科 教授
馬場 嘉信 名古屋大学大学院工学研究科 教授
柳田 敏雄 大阪大学大学院生命機能研究科 教授
山口 智彦 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構ナノテクノロジー・材料技術開発部プログラムマネージャー

■材料設計・探索分野

池庄司民夫 独立行政法人産業技術総合研究所計算科学研究部門 部門長
鯉沼 秀臣 独立行政法人物質・材料研究機構 特別顧問
田中 功 京都大学大学院工学研究科 教授
知京 豊裕 独立行政法人物質・材料研究機構 半導体材料センター センター長
中山 智弘 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
細野 秀雄 東京工業大学フロンティア研究センター 教授
宮本 明 東北大学大学院工学研究科 教授
山崎 政義 独立行政法人物質・材料研究機構材料基盤情報ステーション ステーション長

■ナノ計測・評価技術分野

大林元太郎 東レ株式会社研究本部 理事
川越 毅 大阪教育大学教育学部 准教授
小島 勇夫 独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 室長
小林 慶規 独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 室長
古宮 聡 財団法人高輝度光科学研究センター コーディネータ
末永 和知 独立行政法人産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター
高橋かより 独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門
西木 玲彦 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー
二又 政之 埼玉大学大学院理工学研究科 教授
堀内 伸 独立行政法人産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門 主任研究員
松林 信行 独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 主任研究員
三隅伊知子 独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 主任研究員
森田 清三 大阪大学大学院工学研究科 教授

《関連共通課題》

■共用研究開発拠点（融合・連携促進）

秋永 広幸 独立行政法人産業技術総合研究所ナノ電子デバイス研究センター 副研究センター長
竹村 誠洋 独立行政法人物質・材料研究機構企画部国際室 室長
永野 智己 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー

■教育・人材育成（ナノテクリテラシー含む）

秋永 広幸 独立行政法人産業技術総合研究所ナノ電子デバイス研究センター 副研究センター長
竹村 誠洋 独立行政法人物質・材料研究機構企画部国際室 室長
永野 智己 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー

■国際標準・工業標準

阿多 誠文 独立行政法人産業技術総合研究所イノベーション推進室 総括主幹
永野 智己 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー

■社会受容・EHS・ELSI

阿多 誠文 独立行政法人産業技術総合研究所イノベーション推進室 総括主幹
永野 智己 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー

■国際プログラム

竹村 誠洋 独立行政法人物質・材料研究機構企画部国際室 室長
永野 智己 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー

■全体総括

田中 一宜 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 上席フェロー

■ライフサイエンス

■ゲノム・機能分子

菅野 純夫 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 【総括責任者】
井ノ上逸朗 東海大学医学部 基礎医学系分子生命科学 教授
上田 泰己 理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター チームリーダー
長田 裕之 理化学研究所 長田抗生物質研究室 ディレクター
小田 吉哉 エーザイ株式会社 コア・テクノロジー研究所 主幹研究員
加藤 和人 京都大学人文科学研究所 准教授
黒田 真也 東京大学大学院理学系研究科 教授
曾我 朋義 慶應義塾大学先端生命科学研究所 教授
服部 正平 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
武藤 香織 東京大学医科学研究所 ヒトゲノム解析センター 公共政策分野 准教授

■脳神経分野

三品 昌美 東京大学大学院医学系研究科 教授 【総括責任者】
安藤 寿康 慶應義塾大学大学院 社会学研究科 教授
池中 一裕 自然科学研究機構 生理学研究所 分子生理研究系 分子神経生理研究部門 教授
伊佐 正 自然科学研究機構 生理学研究所
発達生理学系 認知行動発達機構研究部門 教授
磯村 宣和 理化学研究所 脳科学総合研究センター 理論脳科学研究グループ 脳回路機能理論
研究チーム 副チームリーダー
糸川 昌成 東京都精神医学総合研究所 統合失調症回復のための研究プロジェクト プロジェクト
トリーダー
入来 篤史 理化学研究所 脳科学総合研究センター 知的脳機能研究グループ グループディレ
クター
岩坪 威 東京大学大学院薬学系研究科 薬学部 教授
臼井 支朗 理化学研究所 脳科学総合研究センター ニューロインフォマティクス チーム
リーダー

岡野 栄之	慶應義塾大学大学院医学研究科 教授
尾崎 紀夫	名古屋大学大学院 医学系研究科 教授
笠井 清登	東京大学医学部附属病院 精神神経科 教授
狩野 方伸	東京大学医学系研究科 医学部 神経生理学教室 教授
神谷 之康	株式会社国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所 神経情報学研究室 室長
北澤 茂	順天堂大学医学部 生理学第一講座 教授
佐倉 統	東京大学大学院情報学環 教授
桜井 武	金沢大学大学院医学系研究科・分子神経科学・統合生理学・教授
佐藤 浩	自然科学研究機構 生理学研究所 動物実験コーディネーター室 特任教授
程 肇	三菱化学生命科学研究所 時間ゲノム学研究グループ チームリーダー
銅谷 賢治	沖縄科学技術研究基盤整備機構 神経計算ユニット 主任研究員
鍋倉 淳一	自然科学研究機構 生理学研究所 恒常生体機構発達 教授
尾藤 晴彦	東京大学医学系研究科 神経生化学 准教授
南部 篤	自然科学研究機構 生理学研究所 生体システム研究部門 教授
深谷 親	日本大学医学部 先端医学系応用システム神経科学分野 准教授
藤井 直敬	理化学研究所 脳科学総合研究センター 知的脳機能研究グループ 適応知性研究チーム チームリーダー
宮川 剛	藤田保健衛生大学 総合医科学研究所 システム医科学研究部門 教授
桃井真里子	自治医科大学医学部 小児科学教室 教授

■発生・再生分野

石田 功	キリンファーマ株式会社 フロンティア研究所 所長
桜田 一洋	株式会社 ソニーコンピュータサイエンス研究所 シニアリサーチャー
佐々木裕之	情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 教授
杉本亜砂子	理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター 発生ゲノミクス研究チーム チームリーダー
西中村隆一	熊本大学 発生医学研究センター 細胞識別分野 教授

■免疫分野

小安 重夫	慶應義塾大学 医学部微生物学・免疫学教室 教授 【総括責任者】
東 みゆき	東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科 教授
生田 宏一	京都大学ウイルス研究所 生体応答学研究部門 教授
奥田 修	中外製薬株式会社 MRA ユニット 課長
烏山 一	東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科 教授
斉藤 隆	理化学研究所 免疫・アレルギー科学総合研究センター 副センター長
坂口 志文	京都大学再生医科学研究所 生体機能調節学分野 教授
高浜 洋介	徳島大学 ゲノム機能研究センター遺伝子実験施設 教授
竹田 潔	大阪大学大学院医学系研究科 感染免疫医学講座・免疫制御学 教授
松島 綱治	東京大学大学院医学系研究科 分子予防医学 教授
山村 隆	国立精神・神経センター神経研究所 免疫研究部 部長
山本 一彦	東京大学大学院医学系研究科 内科学専攻 教授

■がん分野

宮園 浩平	東京大学大学院医学系研究科 教授 【総括責任者】
稲澤 譲治	東京医科歯科大学 難治疾患研究所 教授
牛島 俊和	国立がんセンター 発がん研究部 部長
長田 裕之	理化学研究所 基幹研究所 ケミカルバイオロジー研究領域 領域長
小野 公二	京都大学原子炉実験所 附属粒子線腫瘍学研究センター センター長
河上 裕	慶應義塾大学 先端医科学研究所 細胞情報研究部門 教授
佐藤 靖史	東北大学 加齢医学研究所腫瘍循環研究分野 教授

佐谷 秀行 慶應義塾大学医学部 先端医科学研究所 教授
 清宮 啓之 財団法人癌研究会 癌化学療法センター・分子生物治療研究部 部長
 高橋 隆 名古屋大学大学院 医学系研究科 分子腫瘍学分野 教授
 田島 和雄 愛知がんセンター研究所 所長
 藤堂 具紀 東京大学大学院 医学系研究科橋渡し研究支援推進プログラム TR 推進センター(脳神経外科) 特任教授
 西山 伸宏 東京大学大学院医学系研究科 附属疾患生命工学センター 講師
 藤田 直也 財団法人癌研究会 癌化学療法センター・基礎研究部 部長
 渡辺 恭良 理化学研究所 分子イメージング科学研究センター センター長

■植物科学分野

佐藤 文彦 京都大学大学院 生命科学研究科 教授 【総括責任者】
 河内 孝之 京都大学大学院 生命科学研究科 教授
 高木 優 産業技術総合研究所 ゲノムファクトリー研究部門 遺伝子転写制御研究グループ研究グループ長
 田中 良和 サントリー株式会社 R&D 推進部植物科学研究所 所長
 寺島 一郎 東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻 教授
 橋本 隆 奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授

■融合研究分野

黒田 真也 東京大学大学院理学系研究科 教授 【総括責任者】
 有田 正規 東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授
 上田 泰己 理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター チームリーダー
 川人 光男 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所 所長
 難波 啓一 大阪大学大学院生命機能研究科 教授
 柳田 敏雄 大阪大学大学院生命機能研究科 教授
 佐甲 靖志 理化学研究所基幹研究所佐甲細胞情報研究室主任研究員
 神 隆 大阪大学免疫学フロンティア研究センター主任研究者
 藤井 文彦 大阪大学免疫学フロンティア研究センター 助教
 岩城 光宏 大阪大学大学院生命機能研究科 助教
 横田 浩章 財団法人東京都医学研究機構 東京都臨床医学総合研究所 一分子プロジェクト 主席研究員
 駒井 豊 大阪大学免疫学フロンティア研究センター 准教授
 西川 宗 大阪大学大学院生命機能研究科 助教
 吉岡 芳親 岩手医科大学 先端医療研究センター 超高磁場 MRI 研究施設 講師
 森田 将史 大阪大学 免疫学フロンティア研究センター 助教
 高木 利久 情報・システム研究機構ライフサイエンス統合データベースセンターセンター長

■産業技術力

八尾 徹 理化学研究所 ゲノム科学総合研究センター 顧問 【総括責任者】
 河合 隆利 エーザイ株式会社 コア・テクノロジー研究所 バイオインフォマティクスグループ統轄課長
 清末 芳生 ヒューマンサイエンス振興財団 フェロー
 具嶋 弘 福岡バイオバレープロジェクト バイオ産業振興 プロデューサ
 倉地 幸徳 産業技術総合研究所 年齢軸生命工学研究センター センター長
 関谷 哲雄 東京工業大学 産学連携推進本部 技術移転部門長
 多田 幸雄 大鵬薬品工業株式会社 飯能研究センター 創薬研究所 リサーチ・マネージャー
 長張 健二 社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム 戦略企画本部長
 堀内 正 アスピオファーマ株式会社 常勤監査役

■臨床医学

■医薬品開発分野

吉松賢太郎 エーザイ株式会社 常務執行役 研究開発担当
 松森 浩士 ファイザー株式会社 執行役員経営企画統括部長
 杉山 雄一 東京大学大学院薬学系研究科 教授
 栗原千絵子 放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター 主任研究員

■医療機器開発分野

日吉 和彦 化学技術戦略推進機構 戦略推進部 部長研究員
 佐久間一郎 東京大学大学院工学系研究科 教授

■再生医療分野

岡野 光夫 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 所長・教授
 大和 雅之 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 教授
 田中 紘一 先端医療振興財団 先端医療センター センター長

■遺伝子治療分野

小澤 敬也 自治医科大学医学部 教授

■イメージング分野

富樫かおり 京都大学大学院医学研究科 教授
 菅野 巖 放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター センター長

■規制分野

川上 浩司 京都大学大学院医学研究科 教授

■環境技術

■地球温暖化分野

安井 至 科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
 小林 茂樹 豊田中央研究所先端研究部門総括室主席
 吉野 博 東北大学大学院工学研究科教授
 松本 光朗 森林総合温暖化対応推進室長
 林 陽生 筑波大学生命環境科学研究科教授
 丸山 康樹 電力中央研究所地球温暖化統括プロジェクトリーダー

■環境汚染・破壊分野

岡田 光正 広島大学大学院工学研究科教授
 古米 弘明 東京大学大学院工学系研究科教授
 中村 由行 港湾空港技術研究所研究主幹
 田中 宏明 京都大学大学院工学研究科教授
 明賀 春樹 オルガノ株式会社開発センター企画部長
 栗本 洋二 日本環境アセスメント協会会長
 平田 健正 和歌山大学システム工学部教授
 白石 寛明 国立環境研究所環境リスク研究センター長
 牧野 尚夫 電力中央研究所・エネルギー技術研究所上席研究員
 小林 伸治 国立環境研究所交通・都市環境研究室長

浦野 紘平 横浜国立大学環境情報研究院特任教授
一ノ瀬俊明 国立環境研究所環境計画研究室主任研究員

■資源循環分野

安井 至 科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
平尾 雅彦 東京大学大学院工学系研究科教授
加藤 聡 クリスタルクレイ株式会社取締役副会長
小山 明男 明治大学工学部准教授
原田 幸明 物質・材料研究機構材料ラボ長
岡部 徹 東京大学生産技術研究所教授
小林 幹男 産業技術総合研究所環境管理技術研究部門副研究部門長
松藤 敏彦 北海道大学大学院工学研究科教授
則武 祐二 株式会社リコー社会環境経営推進室エグゼクティブスペシャリスト
上野 潔 国連大学プログラム・アドバイザー
傘木 和俊 産業環境管理協会化学物質管理情報センター所長
辰巳 敬 東京工業大学資源化学研究所教授

■自然生態管理分野

矢原 徹一 九州大学大学院理学研究院教授
永田 尚志 国立環境研究所個体群生態研究室主任研究員
和田英太郎 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター生態系予測変動研究プログラムディレクター
中静 透 東北大学生命科学研究科教授
中村 圭吾 国土交通省河川局砂防部砂防計画課課長補佐
松田 裕之 横浜国立大学大学院環境情報学府教授
池田 浩明 農業環境技術研究所生物多様性研究領域主任研究員
辻 瑞樹 琉球大学農学部生産環境学科教授
五箇 公一 国立環境研究所環境リスク研究センター主任研究員
梶 光一 東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授

■先端計測技術

■分離精製法分野

寺部 茂 兵庫県立大学【総括責任者】
岡田 哲男 東京工業大学 理学部 化学科
財津 潔 九州大学 薬学研究院 医療薬科学部門
田中 信男 京都工芸繊維大学 工芸科学研究科
西岡 孝明 慶應義塾大学 先端生命科学研究所
前田 恒昭 産業技術総合研究所 計測標準研究部門
久本 秀明 大阪府立大学 大学院工学研究科 物質・化学系専攻

■分光分析法分野

今坂藤太郎 九州大学 大学院工学研究院 応用化学部門【総括責任者】
河合 潤 京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻
玉井 尚登 関西学院大学 理工学部 化学科
角田 欣一 群馬大学 工学部 応用化学科
濱口 宏夫 東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻
馬渡 和真 財団法人神奈川科学技術アカデミー イノベーションセンター
吉田 佳一 島津製作所 基盤技術研究所

■構造解析法分野

吉田 佳一 島津製作所 基盤技術研究所【総括責任者】
 河野 正規 東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻
 嶋田 一夫 東京大学 大学院薬学系研究科 機能薬学専攻
 大門 寛 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

■センサと検出分野

鈴木 孝治 慶應義塾大学 理工学部【総括責任者】
 船津 高志 東京大学 大学院薬学系研究科
 斎木 敏治 慶應義塾大学 理工学部
 河田 聡 大阪大学大学院 工学研究科 応用物理学専攻
 尾崎 幸洋 関西学院大学 理工学部
 鈴木 孝治 慶應義塾大学 理工学部
 水谷 文雄 兵庫県立大学大学院 物質理学研究科
 清水 康博 長崎大学 工学部 材料工学科
 丹羽 修 産業技術総合研究所 生物機能工学研究部門

■イメージング分野

小名 俊博 九州大学大学院 農学研究院 森林資源科学部門
 川越 毅 大阪教育大学 教育学部 自然研究講座
 末永 和知 独立行政法人産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター
 谷 知己 北海道大学 電子科学研究所
 堀内 伸 独立行政法人産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部門
 三隅伊知子 独立行政法人産業技術総合研究所 計測標準研究部門
 森田 清三 大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻

■試薬とプローブ分野

佐藤 守俊 東京大学 大学院総合文化研究科【総括責任者】
 近江谷克裕 北海道大学 大学院医学研究科 先端医学講座
 菊地 和也 大阪大学 大学院工学研究科
 長棟 輝行 東京大学 大学院工学系研究科 バイオエンジニアリング専攻
 馬場 嘉信 名古屋大学 大学院工学研究科 化学・生物工学専攻
 前田 瑞夫 独立行政法人理化学研究所 基幹研究所
 三輪 佳宏 筑波大学大学院 分子薬理学教室

■複合分析法分野

馬場 嘉信 名古屋大学 大学院工学研究科 化学・生物工学専攻【総括責任者】
 石川 満 産業技術総合研究所・四国センター 健康工学研究センター
 石濱 泰 慶応大学 先端生命科学研究科
 梅村 知也 名古屋大学 大学院工学研究科応用化学専攻分析化学講座
 片山 佳樹 九州大学 大学院工学研究院 応用化学部門
 渡慶次 学 名古屋大学 大学院工学研究科 化学・生物工学専攻
 三原 久和 東京工業大学 大学院生命理工学研究科 生物プロセス専攻

■全体総括

北森 武彦 東京大学大学院工学系研究科 教授

科学技術研究開発の国際比較（2009 年版）

概要版

独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター
平成 21 年 4 月

〒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
<http://crds.jst.go.jp/>
©2008 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。

ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
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 TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA C CTAAC TCTAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

