

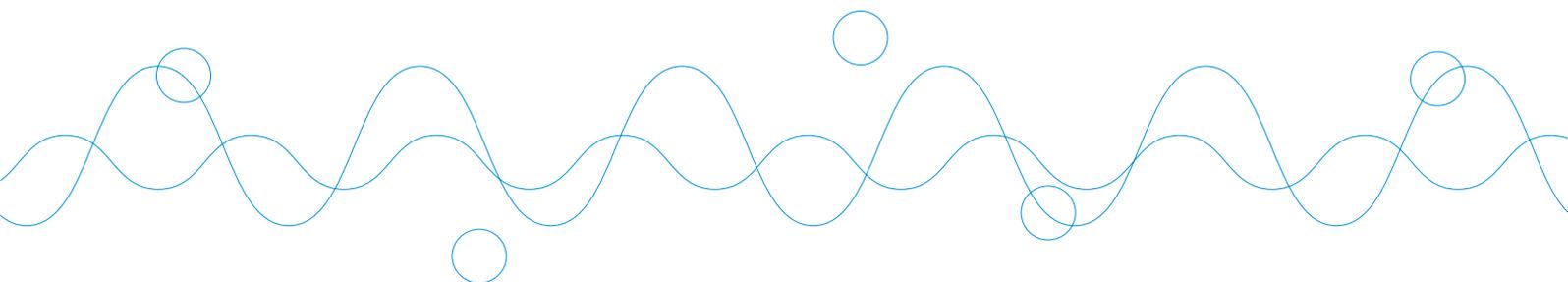
CRDS-FY2011-IC-01

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

概要版

科学技術・研究開発の国際比較 2011年版

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



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

科学技術・研究開発の国際比較 2011年版 概要版

目次

1. 目的・調査方法・本書の構成	1
2. 環境・エネルギー	4
2.1 環境・エネルギーの特徴・トピックス	4
2.2 環境・エネルギーの各分野の概観	7
2.2.1 エネルギー分野	7
2.2.2 環境保全分野	9
2.2.3 資源循環分野	10
2.2.4 自然生態管理分野	11
2.3 環境・エネルギー 総合比較表	14
3. 電子情報通信	16
3.1 電子情報通信の特徴・トピックス	16
3.2 電子情報通信の各分野の概観	19
3.2.1 エレクトロニクス分野	19
3.2.2 フォトニクス分野	19
3.2.3 コンピューティング分野	22
3.2.4 セキュリティ・ディペンダビリティ分野	24
3.2.5 ネットワーク分野	25
3.2.6 ロボティクス分野	26
3.3 電子情報通信 総合比較表	30
4. ナノテクノロジー・材料	33
4.1 ナノテクノロジー・材料の特徴・トピックス	33
4.2 ナノテクノロジー・材料の各分野の概観	36
4.2.1 ナノテクノロジー・材料の応用	36
4.2.1.1 グリーンナノテクノロジー	36
4.2.1.2 ナノバイオテクノロジー	37
4.2.1.3 ナノエレクトロニクス	39
4.2.2 基盤科学・技術	40
4.2.2.1 新物質・新材料	40
4.2.2.2 ナノサイエンス	43
4.2.2.3 ナノ加工プロセス	45
4.2.2.4 計測・評価・解析	47

4.2.3 共通課題	48
4.2.3.1 共用拠点・研究開発拠点	48
4.2.3.2 教育・人材育成	50
4.2.3.3 国際標準・工業標準	53
4.2.3.4 リスク評価、EHS	54
4.2.3.5 ELSI・社会受容	55
4.2.3.6 国際プログラム・国際連携	56
4.3 ナノテクノロジー・材料 総合比較表	58
5. ライフサイエンス	60
5.1 ライフサイエンスの特徴・トピックス	60
5.2 ライフサイエンスの各分野の概観	62
5.2.1 ゲノム科学・融合分野	62
5.2.2 脳神経分野	64
5.2.3 発生・再生分野	66
5.2.4 免疫分野	68
5.2.5 がん分野	70
5.2.6 健康分野	72
5.2.7 グリーン・テクノロジー分野	73
5.2.8 倫理・ガバナンス・アウトリーチ分野	74
5.3 ライフサイエンス 総合比較表	80
6. 臨床医学	83
6.1 臨床医学の特徴・トピックス	83
6.2 臨床医学の各分野の概観	86
6.2.1 医薬品開発分野	86
6.2.2 医療機器開発分野	87
6.2.3 再生医療分野	89
6.2.4 遺伝子治療分野	90
6.2.5 イメージング分野	91
6.2.6 規制分野	94
6.3 臨床医学 総合比較表	
◆ 2011年版執筆者・協力者一覧	96

1. 目的・調査方法・本書の構成

1.1 目的

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

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

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

今回、以下の5つの科学技術を対象に、2011年3月末までの調査結果をまとめた。

○ 対象とした科学技術

- ・ 環境・エネルギー
- ・ 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

1.2 調査方法

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

○ 調査方法の概要

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

○ 国際技術力比較の詳細

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

- ・ 中綱目ごとの比較（比較表）

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

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

「研究水準」：大学・公的研究機関の研究レベル

「技術開発水準」：企業における研究開発のレベル

「産業技術力」：企業における生産現場の技術力

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

「現状」：◎非常に進んでいる ○進んでいる △遅れている ×非常に遅れている

「近年のトレンド」：↗上昇傾向 →現状維持 ↘下降傾向
- ・ 国・地域

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

1.3 本書の構成

- 概要版では、5つの科学技術において以下の3つから構成した。
 - ・ 特徴・トピックス

「科学技術」ごとの2011年版における特徴・トピックス
 - ・ 各分野の概観

「分野」ごとの日本及び各国の技術力の現状の概観
 - ・ 「中綱目」ごとの比較表

概要版では、中綱目ごとの比較における「現状」と「近年のトレンド」の記号のみを総合してまとめた。それぞれの根拠については、各分冊をご覧ください。

なお各分冊では、「注目すべき研究開発の動向」も記載している。「注目すべき研究開発の動向」は、国際技術力比較としての対象設定が可能な、世界的に普及した研究開発領域の動向とは別に、専門家の見識によって選定された注目すべき研究開発動向の最新動向を取りまとめたものである。将来的に重要性が増すと予想される技術革新の芽や、一国単独での記述にはおさまらない国際的な潮流の新しい動向、あるいは我が国においてその情報が十分に紹介されてこなかった諸外国の研究開発や政策上注目すべきトピックを収集、紹介するための手段として位置づけられる。また、付録に「海外の政策動向」として、各分野に関する主要国の科学技術政策や研究開発システムを記載している。「注目すべき研究開発の動向」および「海外の政策動向」に関しては、各分冊をご覧ください。

全体の「分野」数、「中綱目」数および参加いただいた専門家数

科学技術	分野	中綱目	外部専門家
環境・エネルギー	4	30	34名
電子情報通信	6	64	62名
ナノテクノロジー・材料	13	67	109名
ライフサイエンス	8	79	133名
臨床医学	6	12	16名
合計	37	252	354名

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るとともに、本調査結果が、我々のもとより、各方面で活用されることを期待する。

1.4 海外の調査機関との協力

科学技術・研究開発に関する国際比較調査は、海外の調査機関でも実施されている。CRDSの調査結果と海外の調査結果を基に専門家による意見交換を実施することにより、多角的な見方が可能となり、また、将来の調査手法の改善も期待できる。

このような観点から、CRDSでは、以下の海外調査機関と、協力分野を決めて、国際比較調査についての意見交換等を実施する計画である。

海外調査機関	協力分野
韓国 KEIT（産業技術評価管理院）	電子情報通信
韓国 KISTEP（科学技術企画評価院）	ナノテク・材料
中国 科学院科技政策・管理科学研究所	グリーンテクノロジー

2. 環境・エネルギー

2.1 環境・エネルギーの特徴・トピックス

エネルギー、環境保全、資源循環、自然生態管理の4つの分野において、米国、欧州、中国、韓国との比較を行った。前回までは、環境技術を本編の調査対象としていたが、今回は、環境・エネルギーと改め、エネルギー分野を明示して、エネルギーの供給から消費まで体系的に取り上げることとした。これに伴い、前回までの地球温暖化分野と環境汚染・破壊分野を、新たに、エネルギー分野と環境保全分野に再整理した。また、資源循環分野、自然生態管理分野も含め、すべての分野の中綱目も再編した。再編にあたっては、前回までの調査結果との継続性を保つように配慮した。

今回、調査対象とした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、状況はそれぞれ異なるものの、日本は世界のトップレベルの研究開発水準と技術力を有することが再確認された。しかし、自然生態管理分野においては、日本の研究開発は必ずしも十分とは言えず、国際的に遅れが見られる。今後、地球規模の気候変動や環境変化が進行した際の影響を正確に予測し、適切な科学技術対策を採るには、この分野の研究開発への一層の取り組みが必要と言える。

過去2年間における注目すべき動向として、各国が特にエネルギー政策を重視し、関連技術の研究開発の戦略強化を進めていることがあげられる。日本では、エネルギー政策基本法に基づき、3年ぶりにエネルギー基本計画が改定された（平成22年6月18日閣議決定）。エネルギー政策の基本である3E（エネルギーセキュリティ、温暖化対策、効率的な供給）に加え、エネルギーを基軸とした経済成長の実現と、エネルギー産業構造改革が新たに追加された。また、2030年に向けた目標として、エネルギー自給率および化石燃料の自主開発比率を倍増して、自主エネルギー比率を現状の38%から70%程度まで向上させること、CO₂を排出しない電源の比率を現状の34%から約70%に引き上げること、家庭部門のCO₂を半減させること、産業部門での世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化を図ること、日本企業群のエネルギー製品等が国際市場でトップシェアを獲得することが唱われている。

国際的には、2007年6月のG8首脳会合（ハイリゲンダム）で日本が提唱したイニシアティブ Cool Earth 50（2050年までに炭酸ガス排出量を半減）が採択された後、その具体的な道筋について、気候変動枠組条約締約国会議（COP）で討議が進められてきた。しかし、2009年12月コペンハーゲンでのCOP15では「気温上昇2℃以下抑制、途上国も含む削減行動の提出を含む合意にtake noteする」に留まり、2010年12月カンクンでのCOP16では、コペンハーゲン合意に基づく各国の目標実施（新たな枠組み）と京都議定書上の義務に関する議論の継続に留意するとして、交渉破綻の危機をようやく回避した。このようにポスト京都議定書の枠組みに向けた国際的な合意形成への途は困難に面している。この間、日本は、2009年9月の国連気候変動首脳会合における総理大臣演説において、2020年までに1990年比で-25%の排出削減計画を発表し、世界各国の協力を要請している。

このように各国の思惑の対立があるものの、低炭素社会への移行は世界の潮流となり、化石資源利用を前提にした技術体系や産業構造の抜本的な改革の要請が益々強まってい

る。また、世界経済の停滞の中で、エネルギー技術を社会経済的価値につながるイノベーションの原動力と位置付ける国際的な技術開発競争が始まっている。エネルギーの課題は、特定技術での万能薬的解決は期待できない。様々な開発技術の効率や環境負荷を見極め、さらに経済性、社会的受容性などに応じて適材適所の導入を目指すと共に、日本としての、そして世界各国、地域ごとの総合的な中長期的プランニングが必要となる。

エネルギー分野については、多様な関連技術をエネルギー需給の上流から下流まで、すなわち、エネルギーの供給、需給調整、消費に分類し、それらから10の具体的な技術の中綱目として取り上げ、国際比較を行った。

発電・転換技術は日米欧が競って基礎・開発研究を推進しており、韓国、中国が先進技術の導入を通じてキャッチアップを図っている。特に、再生可能エネルギーは、太陽電池、風力発電、バイオ燃料を中心とした各国市場の急速な拡大によって、関連技術の研究開発も急速に充実してきているが、それに伴い研究開発の重点領域も変化しつつあることに留意する必要がある。また、日米、そして新興国である中国、インドにおいて、原子力発電の建設計画と研究開発は拡大傾向であったが、2011年3月の福島第一原子力発電所の事故以来、各計画の実施には不確かさが増している。我が国においては、自然災害に対する安全性、放射線被曝、汚染除去などに関する研究の強化が予想される。

送配電・蓄エネルギー技術については、自然変動エネルギーの大量導入に向けたグリッド技術などの研究開発が欧米日韓で進められているが、スマートグリッド導入の意義、そして制度や規制も異なるため、研究開発の状況は国によって違いがある。また、ポスト・リチウムイオン電池として、リチウム・空気電池が欧米をはじめ広く注目を集めており、さらに将来を見据えた金属・空気電池の基礎研究への動きもある。

産業・民生・運輸エネルギー利用技術では、住宅や家電機器、空調機器、自動車に関する研究開発が進んでいる。日本はいずれの技術についても優位にあるが、国際競争の激しさが増している。

環境保全分野は、気候変動緩和技術、地球環境保全技術、大気環境保全技術、水環境保全技術、土壌環境保全技術、化学物質の環境リスク評価・管理技術、環境アセスメント技術に対する国際比較を行った。

各中綱目においては、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いるが、中国、韓国はともに進展が著しく、近い将来、日米欧に並ぶ力をつけるものと予測される。日本は、環境保全に関わる法規制の整備、関連技術の実証研究およびビジネスとしての国際展開を推進する必要がある。

資源循環分野は、資源の種類に着目した4中綱目と廃棄物処理の1中綱目を取り上げた。本分野の技術や研究開発は、各国、各地域の法制度や地理的条件と密接なかかわりを持っている。

素材のリサイクル技術をはじめ、日本の技術水準は高いが、低コストで新興国や発展途上国の需要に応える技術の供給、技術のシステム化およびパッケージ化による海外展開、研究成果の英語での情報発信が重要である。

経済発展段階での旺盛な資源需要の中で、近隣諸国間だけでなく地理的隔たりのある地

域間も含め、国際的な二次資源流通が盛んになっており、より開かれた形での国際競争や国際標準化が進む可能性がある。製品中の有害物質の使用規制においては、日本が進めてきた 3R の国際的普及を、静脈産業の国際競争力強化につなげていくことが課題である。

自然生態管理分野は、米国が圧倒的な優位を誇る分野であると同時に、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 などを通じて国家予算の投入が積極的に行われていることなどがあげられる。

中国では、米国から帰国した多くの研究者が高等教育研究機関に着任し、研究を精力的に推進しているため、近年の研究開発水準の向上はめざましい。外来種管理や生物資材では、欧州が優位にある。日本では、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレータなどに関連する分野では国際的な競争力を維持しているが、他の分野では中国とは大差のない水準にある。

2.2 環境・エネルギーの各分野の概観

2.2.1 エネルギー分野

エネルギー分野での国際技術比較を実施するにあたり、エネルギー分野の多様な関連技術をエネルギー需給の上流から下流まで、すなわち、エネルギーの供給、需給調整、消費に大きく分類し、それらから10の具体的な中綱目（環境・エネルギーの比較表参照）を取り上げた。これらは、一次エネルギー別の発電・転換技術、送配電・蓄エネルギー技術、そして産業・民生・運輸エネルギー利用技術という構成とした。以下は、このような分類の中から、重要度の高い技術の研究開発の現状について各国比較を試みたものである。

- ・ 在来型石油（天然ガス）資源開発技術としては、既存油田からの回収率や生産効率の向上を目的とした技術開発や進められ、タイトガス、シェールガス、オイルサンドなどの非在来型資源の利用技術の開発が、特にアメリカ、カナダで進展している。資源小国の日本や韓国での研究は欧米に比べ低調である。
- ・ 火力発電技術では、日米欧の主要メーカーがガスタービンの高効率化を目指し競ってきたが、日本は1700℃級発電用ガスタービンや高温分空気ガスタービンといった新目標をさらに掲げ開発を続けて欧米の先を行く。中国が今後急速に追い上げる勢いにある。
- ・ 燃料電池に関しては、世界的な開発競争が続いている。基礎・応用開発研究はアメリカが幅広く展開し、燃料電池を商用販売している会社の大半は米国にある。欧州、日本での研究も高水準にあり、韓国では急速に燃料電池の普及が進むと考えられる。固体電解質形燃料電池についても日米欧で競って基礎・開発研究が進められ、熱効率60%（LHV）を達成する定置用小型機が豪州で市場導入された。
- ・ 世界の発電の40%を占める石炭火力のCO₂排出量を抑制し、高効率を達成する石炭ガス化複合発電（IGCC）については、特にアメリカ、豪州で、CCSを組み合わせたシステムとして基礎・応用開発研究プロジェクトが進められている。日本も技術レベルでは同等以上の位置にあり、基礎研究を基に着実に進展している。韓国、中国が先進技術の導入からキャッチアップを狙う。
- ・ エネルギー安定供給と温暖化ガス削減対策と位置付けられた原子力発電所の建設計画は拡大傾向であり、各国において新型軽水炉などの研究開発が進められている。特に、中国、インドでは自主開発、海外導入技術を基に、研究開発の着実かつ大幅な進展が予想される。米国では、軍事面において核利用の研究開発力、技術力が高水準である。欧州では、原子力推進国であるフランス、ロシアが新型軽水炉、高速増殖炉サイクルの研究開発を精力的に進めており技術開発水準も高い。元来高い技術開発力を有する日本では、2011年3月の福島第一原子力発電所事故が継続する中、自然災害に対する安全性、放射線被曝、汚染除去などに関する研究の強化が予想される。
- ・ 再生可能エネルギーは各国政府の手厚い政策支援をベースに急速に導入量が増加している。特に、太陽電池、風力発電、バイオ燃料については、21世紀に入って毎年数十%という急速な拡大が続いている。このような急速な市場拡大が基礎となり、再生可能エネルギー技術の研究開発も急速に充実してきているが、それに伴い研究開発の重点領域も変化しつつあることに留意する必要がある。
- ・ 風力発電と太陽電池が世界の新市場を形成しつつあり、各国とも再生可能エネルギー

技術に関わる基礎・応用開発研究に注力している。薄膜シリコン、有機系、化合物、さらに次世代太陽電池の基礎研究では、日米欧が先頭を競っているが、製品開発・市場導入ではドイツ、中国、日本が先行している。風力発電では欧米が、バイオ燃料では日米が先行している。日本の洋上風力開発が始まり、バイオ燃料では中国の研究開発の進展がある。

- 太陽光発電については、透過型のタイプや建物一体型などの太陽電池建材、太陽熱給湯器と一体となった業務用タイプが各国において普及し始めた。量産化に向けたコスト低減が今後の研究開発の課題であろう。
- 太陽熱発電は、日照条件の良いスペインや北アフリカなどで導入への計画があり、技術開発が進んでいる。機器技術は日米欧が高位にあるが、今後、送配電技術も含めたシステム技術としての競争になる。太陽熱給湯器については、高性能な給湯器が欧米で開発され、利用量が落ち込んでいた日本で新たな展開の向きにある。また、太陽熱を熱源としたデシカント冷房システムは、フランス、ドイツ、米国、日本で研究開発が進んでいる。
- コージェネレーションは、欧米で歴史が長いですが、近年日本でも導入が進んでいる。高効率ガスエンジンシステム開発では欧州が先行し、日本では固体高分子形燃料電池を用いた家庭用システムの研究開発で優位に立っている。
- 日本は超高压送電技術（UHV 送電）、超電導線材技術などで優位にあるが、欧州はパワエレ技術、直流送電技術で先行している。自然変動エネルギーの大量導入に向けたグリッド技術などの研究開発も盛んになっている。スマートグリッドを構成するスマートメーターや情報通信端末、ホーム・エネルギー・マネジメント・システム（HEMS）に関する研究開発が米欧日韓の各国で進められている。各国におけるスマートグリッド導入の意義、そして制度や規制も異なるので、研究開発の状況は国によって違いがある。家庭でのデマンド・サイド・マネージメント（DSM）についても、研究開発が活発となっている。
- 電力貯蔵用の NAS 電池、ハイブリッド・電気自動車用の革新型リチウムイオン電池の研究開発が日米欧で盛んである。研究・技術水準では日本は優位にあるが、産業力では必ずしもそうではない。欧米、中国は重点的投資と共に、長寿命電極材料、電解液の研究・技術水準を上げつつある。ポスト・リチウムイオン電池として、リチウム・空気電池が欧米をはじめ広く注目を集めており、さらに将来を見据えた金属・空気電池の基礎研究への動きもある。
- 欧米でゼロエネルギー住宅、エネルギー生産住宅について研究開発が進められており、日本では高断熱住宅の建設が始まり、今後、この種の研究が盛んになると予想される。日本では、真空断熱材、断熱性の窓ガラス、樹脂製サッシも普及し始めた。欧州では太陽光に有利な透明断熱材の研究が盛んで、技術的にはドイツが先行している。高反射性建材は、特に米国で開発が進んでいる。潜熱蓄熱体の開発は欧州で、アースチューブシステムは欧米日で開発が進んでいる。
- トップランナー方式をとる日本では、高効率家電機器の研究開発が最も進んでいる。空調機器産業は日米が優位であるが、技術的には日本が優位にある。二酸化炭素冷媒のヒートポンプは日本の開発技術であり、さらに効率向上のための研究開発が、また、低外気温対応のヒートポンプ機器の開発が進んでいる。産業用ヒートポンプはこ

これらの民生用ヒートポンプの技術を利用しつつ、この数年、日本では民間を中心に活発な開発が進められている。最近では60℃→140℃のヒートポンプでCOP（仕事率）が3以上のものができつつある。今後、産業分野に展開されていくことによって、大きな市場として成長すると期待される。

- 交通分野では、ハイブリッド自動車（HV）、電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）、水素貯蔵に関連する研究開発が、日米欧が先行し、韓国での開発も急速であり、小型EVについては中国の勢いも顕著である。今後の市場導入のシナリオは明確ではないが、現行のHVからプラグインHV車へ、電池開発と共に近距離用のEVが、そして水素インフラの整備と共にFCVの導入が予想され、中長期的目標に向けた基礎・開発研究の競争が始まっている。

2.2.2 環境保全分野

環境保全分野の国際技術比較を実施するにあたり、当該分野を9の中綱目に分類した。すなわち、気候変動緩和技術（二酸化炭素回収・貯蔵技術、農林水産業・森林・土壌における低炭素化技術、気候変動予測・評価技術）、地球環境保全技術、大気環境保全技術、水環境保全技術、土壌環境保全技術、化学物質の環境リスク評価・管理技術、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が、両国ともに進展が著しく、近い将来、日米欧に並ぶ力をつけるものと推測される。

日本の気候変動緩和技術（二酸化炭素回収・貯蔵技術）は、研究開発力や産業技術力が高い水準にあるものの、欧米、中国、韓国が国家の支援のもとに実証に向けた研究を進めているのに対し、スピードや規模の点で見劣りする。

農林水産業・森林・土壌における低炭素化技術は、日米欧ともに高い研究、技術開発水準にあるが、産業技術力に転換していない。中国はかなり遅れが目立つが、韓国はかなり進展し、日本の水準に近づいている。

気候変動予測・評価技術は、米国がスパコン、モデルのいずれの面においても日欧より進んでいる。ただ、中国がスパコンの分野で日欧を抑えて2位になるとともに、研究水準や産業技術力の面でも近年の進歩が著しい。

地球環境保全技術のうち、酸性雨、黄砂（大気中微小粒子を含む）、砂漠化は日米欧が進んでいる。技術開発面では法規制との関連も大きいため、法整備も含めた対応が日本の技術発展に不可欠であろう。また、これらの問題は多国間にまたがるものであるためデータ共有やその精度管理が国際技術力確保に必要であろう。

大気環境保全技術の核となる低公害車技術では日欧が米国より進んでいる。韓国は日米欧に急迫しているが、中国はこれからというレベルである。ただ、各国ともに政府支援の研究開発プロジェクトが進みつつあるため、その動向に注目していく必要がある。

水環境保全技術は日欧が米国に比較して進んでいる。日本は高い技術水準を持つてはいるものの、水ビジネスの国際展開はこれからである。一方、韓国は国策としての支援もあり、日欧に急迫している。

土壌環境保全技術は、米国がフロントランナーとして地位を保っているものの、日欧も法整備が進んだために非常に進んだ状況にある。一方、中国や韓国は基礎的な技術情報は

日米欧と共有してはいるものの、それぞれの地域における具体化はこれからであろう。

化学物質の環境リスク評価・管理技術は、日本は韓国、中国と比較すれば進んではいるものの、欧米と比較して遅れている点が目立っている。特に欧州が REACH（化学物質の登録、評価、認可及び制限に関する規則）の導入で産業技術力を高めているのに対し、日本はそれに対応するのみにとどまっている。

環境アセスメント技術は米国がトップランナーである。欧州は加盟国間で温度差があるものの進んだ法制度と対応する研究や技術開発力を持っている。日本はそれに続くものの、簡易アセスメントなどの法的な側面でのさらなる整備が必要とされている。中国や韓国ではやや遅れているものの、急速な進展がみられている。

2.2.3 資源循環分野

本分野では、資源循環・廃棄物処理分野の技術について比較を行った。資源循環については、前回まで、プラスチック、ガラス、コンクリートなどの素材別および容器包装、電気電子などの製品分野別に項目立てされていたが、今回は、資源の種類に着目し、バイオマス系、非金属鉱物系、金属系、化石系の4中綱目に再編した。これを用いた資源の4区分は、日本の循環型社会白書における物質フローの集計等にも用いられているものである。一方、廃棄物処理技術についても、焼却等の中間処理技術と最終処分（埋立）技術とを統合して1中綱目にまとめた。

この分野の技術や研究開発は、各国、各地域の法制度や地理的条件と密接なかわりを持っている。例えば、日本では、循環型社会元年と呼ばれる2000年前後に、容器包装、家電、建設、食品、自動車の5分野において、いわゆる「個別リサイクル法」が制定され、各々の分野における資源循環技術の開発、普及を後押ししている。また、人口密度の高さや国民の安全・安心に対する要求から、最終処分量の低減、処理処分段階での有害物質排出の低減などのエンド・オブ・パイプでの対応が以前からの課題であり、こうした制約が技術開発を後押ししてきた。大量に発生する非金属鉱物系循環資源のリサイクルはその代表的なものである。また、エネルギー、資源の大半を輸入に依存していることを背景として、バイオマスやレアメタルの最近の例に見られるように、特定の分野に研究開発資源が集中投下される傾向も窺われる。

素材のリサイクル技術をはじめ、総じて言えば、日本のこの分野の技術水準は高いが、その一方で概して高コストであることが指摘されてきた。今後、アジアの新興国や発展途上国での人口増、経済発展に伴って資源循環・廃棄物処理技術に対する需要が急速に高まることが想定される中で、低コストで現地の需要にあった技術を供給しうることが課題となるだろう。また、日本は個別技術においては高い水準にあるが、システム化が十分とはいえず、とくにアジアへの海外展開においてはパッケージ化が重要と考えられる。研究成果の英語での情報発信が不十分であるために、日本の技術が国際的に十分には認知されていないことも課題として指摘されている。

経済発展の発展段階に応じて、環境規制の水準や廃棄物処理にかかるコストが大きく異なることから、インフォーマルな労働集約的な資源回収から、制度化された高コスト、技術集約的なリサイクル手法までが混在しており、技術面でも制度面でも国ごと、地域ごとの特色が依然として強い。しかし、経済発展段階での旺盛な資源需要の中で、日本、韓国、中国等の近隣諸国間だけでなく、欧米とアジアといった地理的隔たりのある地域間も含め、

国際的な二次資源流通が盛んになっており、より開かれた形での国際競争や国際標準化が進む可能性がある。製品中の有害物質の使用規制においては、欧州のリーダーシップが国際的に大きな影響を与えてきたが、日本が進めてきた3Rの国際的普及を、静脈産業の国際競争力強化につなげていくことが課題である。

2.2.4 自然生態管理分野

6つの中綱目（生物多様性の観測・評価・予測、生態系観測・評価・予測、陸域管理・再生、陸水管理・再生、海洋管理・再生、野生動物管理・復帰）において、米国が圧倒的優位を誇っている。この状況は、ここ数年変化していない。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。

さらに米国では以下の組織的研究開発投資が進行中である。

NEON : National Ecological Observatory Network (<http://www.neoninc.org/>)

- ① 気候変動・土地利用・侵略的外来種などによる生態系の変化を大陸スケールで観測する包括的な研究開発プログラムである。衛星観測やIT技術を駆使した自動観測に巨額の投資が計画されているため、しばしば“the Hubble telescope of ecology”と呼ばれる。従来のプログラムよりもはるかに大きな研究規模・投資規模に対して、2006年のNature誌に批判的記事が掲載された。しかしその後の研究計画のレビューを経て、より現実的な計画へと修正され、2011年から本格的な研究開発投資が開始された。62の

観測サイトにおいて、2016年までにインフラ整備に集中的な予算（総額4億3372万ドル＝約390億円）を投入する。その後30年間にわたって長期観測が実施され、IT技術によりデータが毎日回収される予定である。NEON計画の推進によって、米国の優位性はさらに強化されるものと予想される。

② The iplant collaborative

気候変動・土地利用・人口増加などが植物の成長や植生に与える影響を評価するための研究プログラムであり、植物科学と計算機科学・情報科学の統合を目標としている。NSFは2008年に、アリゾナ大学を中心とする研究チームに5000万ドルを（約45億円）投資すると発表した。NEONが大陸規模から地球規模の生態系変化の観測を目標としているのに対して、The iplant collaborativeは植物の個体や群落レベルの成長のモデリングを通じて生態系の変化を予測するボトムアップアプローチを採用している。いずれもサイバーインフラストラクチャーの整備に重点的な投資を計画している。

③ Dimension of biodiversity

地球上の生物多様性の記述を革新しようとする研究プログラムである。ゲノム科学などの最新技術を用いて、微生物を含む未知の生物の発見・記述、生物の系統関係の解明を進めることを目標としている。NSAは2010年に、2000万ドル（約18億円）を投資すると発表した。

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。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、日本の優位性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NBIR（National Institute of Biological Resources）が2007年10月に設立された。さらに2012年に向けて国立生態学研究所の開設準備が進められている。今後の研究開発の核になると考えられる。また、合衆国のNEONに対応するKEONプロジェクトが計画されている。

日本は、海洋観測、衛星による観測、地球シミュレーター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。

ただし、環境省環境研究総合推進費において戦略研究開発領域として「アジア規模での生物多様性観測・予測・評価に関する総合的研究」が設定され、平成23年度から5年間、毎年3億円規模の研究開発投資が行われる。これは生物多様性分野で日本初の大型プロジェクトである。森林減少を含む生物多様性損失が急速に進行している東南アジアを対象に、生物多様性変動の観測・評価技術開発が大きく進むことが期待されている。

野生動物管理・復帰の分野では、外来種管理と野生生物感染症研究において、特に遅れが目立つ。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。

分野		資源循環分野													
中綱目	フェーズ	バイオマス系循環資源リサイクル技術		フェーズ	非金属鉱物系循環資源リサイクル技術		金属系循環資源リサイクル技術		化石系循環資源リサイクル技術		フェーズ	廃棄物処理技術			
		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	下水汚泥	○	→	研究水準	○	→	◎	→	○	→	研究水準	中間処理	○	↘
		都市ゴミ・食品産業等	○	→		○	→	○	→	○	→		最終処理	○	→
	技術開発水準	下水汚泥	◎	↗	技術開発水準	◎	→	◎	→	◎	→	技術開発水準	中間処理	◎	→
		都市ゴミ・食品産業等	○	→		◎	→	◎	→	◎	→		最終処理	○	→
	産業技術力	下水汚泥	◎	↗	産業技術力	◎	→	◎	→	◎	↗	産業技術力	中間処理	◎	→
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		◎	→	◎	→	◎	↗		最終処理	◎	→
米国	研究水準	下水汚泥	○	→	研究水準	△	→	△	↘	○	→	研究水準	中間処理	△	→
		都市ゴミ・食品産業等	○	↘		○	→	○	↘	◎	→		最終処理	○	→
	技術開発水準	下水汚泥	○	→	技術開発水準	○	→	○	↘	◎	→	技術開発水準	中間処理	△	→
		都市ゴミ・食品産業等	○	→		○	→	○	↘	◎	→		最終処理	○	→
	産業技術力	下水汚泥	◎	↗	産業技術力	○	→	○	→	◎	↗	産業技術力	中間処理	△	→
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		○	→	○	→	◎	↗		最終処理	◎	→
欧州	研究水準	下水汚泥	○	→	研究水準	○	→	△	↘	○	→	研究水準	中間処理	◎	↗
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		○	→	△	↘	○	→		最終処理	◎	→
	技術開発水準	下水汚泥	◎	→	技術開発水準	○	↗	○	→	◎	→	技術開発水準	中間処理	○	→
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		○	↗	○	→	◎	→		最終処理	○	↗
	産業技術力	下水汚泥	○	→	産業技術力	◎	→	○	→	◎	→	産業技術力	中間処理	◎	↗
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		○	→	○	→	◎	→		最終処理	○	→
中国	研究水準	下水汚泥	△	↗	研究水準	△	↗	×	↗	△	→	研究水準	中間処理	×	→
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		△	↗	△	↗	△	↗		最終処理	×	→
	技術開発水準	下水汚泥	△	↗	技術開発水準	△	↗	△	↗	△	↗	技術開発水準	中間処理	△	→
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		△	↗	△	↗	△	↗		最終処理	×	→
	産業技術力	下水汚泥	○	↗	産業技術力	△	↗	△	↗	◎	↗	産業技術力	中間処理	×	→
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		△	↗	△	↗	◎	↗		最終処理	×	→
韓国	研究水準	下水汚泥	○	→	研究水準	△	↗	○	→	△	↘	研究水準	中間処理	△	→
		都市ゴミ・食品産業等	○	→		△	↗	○	→	△	↘		最終処理	△	→
	技術開発水準	下水汚泥	○	↗	技術開発水準	○	↗	○	→	△	↘	技術開発水準	中間処理	△	→
		都市ゴミ・食品産業等	○	↗		○	↗	○	→	△	↘		最終処理	△	→
	産業技術力	下水汚泥	◎	→	産業技術力	○	↗	○	→	△	→	産業技術力	中間処理	○	↗
		都市ゴミ・食品産業等	◎	→		○	↗	○	→	△	→		最終処理	△	→

分野		自然生態管理分野											
中綱目	フェーズ	予測・評価技術		生態系の観測・評価・予測技術		陸域管理技術		陸水管理技術		海洋管理技術		野生動物管理技術	
		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	—	→	△	→	○	→	△	↗	△	↗	×	→

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

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

*我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

(註3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

3. 電子情報通信

3.1 電子情報通信の特徴・トピックス

国ごとの技術力について特徴的なポイントを以下に示す。

日本

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

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

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

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

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

米国

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

ソフトウェア分野は特に強く、基盤ソフトからアプリケーションソフトまで優位性を持つ。セキュリティ技術では国家安全保障の観点から広範な研究開発がおこなわれている。スーパーコンピュータ分野で 2010 年のランキングトップを中国に奪われたことが話題になっているが、技術力は依然として最高レベルである。クラウドサービスに伴うデータセ

ンタの省電力化についても高い技術力を持っている。大容量・長距離光通信などネットワークインフラにおいても研究から産業フェーズまで高い技術力を有している。ロボット分野でも、Internet に次ぐ次世代の economic enabler と位置づけて NRI (National Robotics Initiative) を開始するなど力を入れており、サービスロボットの商用化も進んでいる。

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

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

欧州

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

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

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

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

中国

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

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

韓国

官民一体となって情報通信分野の技術力強化を図っている。とくに Samsung 等の企業が半導体メモリ、ディスプレイ、携帯電話を中心に多くの分野で世界シェアを伸ばし、産業的に大きな成功を収めている。欧米各社との連携や留学の重視など海外志向が強いこと

も特徴である。基礎研究ではまだ独創的なものは少ないが、国際会議への論文投稿数も急速に伸びている。光メモリなどでは、大学の研究開発水準は日本よりも高いと考えられる。

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

台湾

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

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

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

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

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

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

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

ロボティクス分野： 特殊環境ロボット技術、柔らかいロボット技術

3.2 電子情報通信の各分野の概観

3.2.1 エレクトロニクス分野

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

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

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

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

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

3.2.2 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。この分野の国際比較にあたって、中綱目として、(1) 光通信、(2) 光メモリ、(3) ディスプレイ技術、(4) 固体照明、(5) 光学材料・コンポーネント・光学設計、(6) 光計測、(7) 量子情報、(8) フォトニック結晶／メタマテリアル、(9) シミュレーション解析を設けた。

フォトニクス分野を総合的にみると、研究水準、技術開発水準、産業技術力とも日本、

米国、欧州の水準が高い。ただし、各中綱目を個別にみると状況は必ずしも同じではない。

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

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

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

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

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

光学材料・コンポーネント・光学設計は、これまでの機械加工による非球面/自由曲面光学素子から、ナノインプリント等、微細形状制御技術を駆使した光学素子やナノコンポジット材料へと進展している。日本の技術開発力、産業技術力は既存の産業分野の材料、コンポーネント、光学設計において圧倒的に強く、リーディングプレーヤーである事は論をまたない。今後重要性が増すことが確実な、光学と画像処理の融合技術であるコンピューショナル・フォトグラフィにおいては、米国が研究開発の中心であり、欧州で進展する共同研究体制の確立においても日本は遅れを取った感がある。鍵となるのはオープンイノベーションである。日本は、この分野での競争力を維持するために、自らの強みと他者の強みを組み合わせた戦略を採る必要があるだろう。それには、昨今の内向き志向から脱却し、

グローバルなイノベーション・ネットワークに飛び込んで、それらを活用することが重要である。

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

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

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

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

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

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

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

3.2.3 コンピューティング分野

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

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

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

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

欧州は伝統的に大学を中心とした基礎領域に強みを発揮してきており、EU の統合の進展により、各国間の連携は共同プロジェクト等を通じて強化されてきている。コンピュータハードウェア製造については、欧州は産業力を失っている状況にある。しかし、ハードウェア関連の一部では、ARM 社は組み込み向けチップで高いシェアを有し、また省電力デバイス技術レベルは上がってきている。また並列コンピュータ、クラスタコンピュータの利用においては活発であり、関連するアプリケーションソフトウェアには見るべきものがある。並列計算、制約プログラミング、プログラム意味論・解析・検証など、ソフトウェア基礎領域については伝統的に強く、研究者層も厚い。米国に比べると研究の出口が明確とは限らない面が見られたが、有用なソフトウェアツールを産み出す所も現れてきて

いる。ソフトウェア開発の形式仕様記述手法では他国を引き離しており、オブジェクト指向やシナリオ指向手法などで米国と共に世界をリードする位置にある。データベースとデータマイニング関係では、機械学習とデータマイニングの境界領域で特徴ある研究が見られ、また科学データベースに関する継続的な研究開発が行われている。Web 関係では、Semantic Web などの研究が着実に進められているが、基礎寄りであり、必ずしも産業的な潮流に結びついていない感がある。サービスサイエンスに関しては、製造業のサービス化の研究を中心にして、高い研究水準にある。マルチメディアシステムに関しては EU の振興政策の支えもあり、多くの組織で高水準の研究開発が行われている。

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

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

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

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

中国は GDP 世界第 2 位になったが、コンピューティング分野の研究水準、技術水準も上昇してきている。米国帰りの研究者も多く、研究者数、国際会議や国際的学術誌での論文数も増加してきている。国家として重要項目とされているスーパーコンピュータ開発では「天河一号 A」が 2010 年に世界ランキング 1 位になるなど、顕著な発展が見られる。PC とサーバの製造で世界の拠点になっている台湾との垣根が低くなり、その製造技術が伝わることにより、中国はこの領域でも技術力を向上させていくと考えられる。Web では Baidu が検索エンジンのトップシェアを維持しており、技術水準を高めてきている。

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

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

3.2.4 セキュリティ・ディペンダビリティ分野

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

慮した上で個別の対応が必要となるケースもある。

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

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

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

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

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

先進国ではスマートフォンやクラウドコンピューティングの登場によりネットワークサービスは新たなフェーズに入ろうとしている。一方、アジア、アフリカ地域において特に携帯電話の浸透が加速している。先進技術の成長と旧来技術の市場拡大によりネットワーク分野全体が技術的にも市場的にも今後も大きな成長を遂げると予想される。この動きを実現、加速する研究水準、技術開発水準、産業技術力のいずれにおいても米国が世界

をリードしている。これに対して、大規模市場を有し、GDP 世界第 2 位に浮上した中国が米国を追い上げようとしている。米国は景気刺激および再投資政策 ARRA (American Recovery and Reinvestment Act of 2009) により研究資金を約 1 兆円増加させ、競争力を一層、強固にしようとしているが、産業界の R&D 投資額において中国が米国を追い越しつつある。欧州も戦略的な投資を行い米国を追い上げる中、日本は技術的な強みを維持しつつも、欧米諸国とアジアの新興勢力の間に入って、産業レベルでの勝ちパターンを探しあぐねており、投資余力も減少して研究開発力の低下が懸念される分野も出てきている。

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

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

次世代ネットワークについては、その方向性は依然として明確にはなっていないが、新興国の急激な経済発展に伴う旺盛な社会インフラ需要、先進国社会インフラの更新需要を環境問題の解決などと組み合わせて解決する動きとして、センサネットワークやその情報処理に関するビジョン提言や研究開発が活発化している。研究開発を通じて日本のネットワーク産業の競争力を取り戻す機会を見つける観点から日本も戦略的な取り組みを強化する必要がある。

3.2.6 ロボティクス分野

米国で世界初の産業用ロボットが開発されてから約 50 年が経過した。その後開発された多くの新しいロボット技術の一部が、ICT や各種半導体デバイスの進歩によって、今ようやく実用化を迎えつつあり、これから旬を迎える新しいビジネスチャンスをもたらし

ようと、海外では積極的に研究開発が行われている。

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

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

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

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

台湾でもロボットに対する投資が積極的に行われており、ロボット産業を国の主要産業に育てようとして、Robotics and Intelligent Automation の分野で、2011年から2015年までの5年間に、3.0 Billion US\$ を支出する予定である [9]。

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

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

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

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

(参考情報)

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

- [2] <http://www.willowgarage.com/>
- [3] <http://www.ksitri.com/html/jiqiren/index.html>
- [4] <http://www.intouchhealth.com/>
- [5] <http://www.mke.go.kr/language/eng/>
- [6] <http://www.mke.go.kr/news/bodo/bodoView.jsp?pCtx=1&seq=66105>
- [7] 2011年1月, 韓国内のコンテンツ製作会社からの私信
- [8] photo.media.daum.net/list/view.html?cateid=100000
- [9] 2011年1月8日, 台湾国立大学教授からの私信
- [10] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2011-12_en.pdf
- [11] <http://www.aldebaran-robotics.com/>
- [12] <http://www.nikkei.com/tech/business/article/g=96958A9C93819499E3E6E2E0E18DE3E6E3E2E0E2E3E2E2E2E2E2E2E2E2;p=9694E3EAE3E0E0E2E2EBE0E7EBEB>
- [13] http://www.nytimes.com/2010/07/05/science/05robot.html?_r=2&pagewanted=1

3.3 電子情報通信 総合比較表

分野		エレクトロニクス分野																						
中綱目	フェーズ	有機材料・デバイス		無機系デバイス		パワーデバイス		センサ		実装技術		集積回路(インテグレーション)※		集積回路(デジタル)※		集積回路(メモリ)		波・アナログ※		VLSIシステムアーキテクチャ		設計支援技術(CAD)		
		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	○	↗			インド	○	↗					インド	○	↗			
								台湾	○	↗										台湾	◎	↗		
																				イスラエル	○	↗		
																				イスラエル	○	↗		
																				イスラエル	○	→		

※ 中国は台湾を含む

分野		フォトンクス分野																							
中綱目	フェーズ	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					
		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	◎	↗	◎	↗			オーストラリア	○	↗							オーストラリア	△	→			
					◎	↗	◎	↗													シンガポール	○	↗		
																					シンガポール	×	→		
																					シンガポール	×	→		

分野		コンピューティング分野																											
中綱目	フェーズ	基礎理論		Web情報システム		データベースとデータマイニング		ビジネス応用とサービスサイエンス		基盤ソフトウェア		スーパーコンピュータ		並列コンピューティング/クラウドコンピューティング		ソフトウェア開発技術		ツール		マルチメディアシステム		チップマルチプロセッサ		省電力情報処理技術		ブルースイッチ		自然言語処理	
		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		セキュリティ・ディペンダビリティ分野																	
中綱目	フェーズ	レポートシステム		認証管理・運用・評価		暗号・認証基盤および応用		ネットワークセキュリティ		コンピュータセキュリティ		仮想化		量子情報セキュリティ		ハードウェアセキュリティ		生体認証	
		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	△	→	△	↗	○	→	○	↗	△	→	△	→	△	→	△	↗	○	→

(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]

分野		ネットワーク分野																					
中綱目	フェーズ	光ネットワーク		ワイヤレスネットワーク		インターネット		次世代ネットワーク		クラウドコンピューティング技術		サリス技術(クラウドコンピューティング)		情報通信端末技術		画像圧縮技術/マルチメディア応用技術		ネットワークセキュリティ		情報源符号化/誤り訂正符号(通信路符号化)/ネットワーク符号化		論通信トラヒック理	
		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	○	↗	◎	↗	△	↗	△	↗	×	↗	△	↗	○	↗	不明	不明	○	↗	△	↗	△	↗
	技術開発水準	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	×	↗	○	↗	○	↗	不明	不明	△	↗	△	↗	△	↗
	産業技術力	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗	×	↗	◎	↗	○	↗	不明	不明	○	↗	△	↗	△	↗
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	フェーズ	フィールドロボット		サービスロボット		産業用ロボット		医療用ロボット		グレースイム・インテグレーション		システム・インテグレーション		ヒューマン・ロボティクス・インタラクティブ		知能化技術		センシング・認知		移動技術		マニピュレーション		アクチュエータ・メカニズム			
		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	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
オーストラリア	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]

4. ナノテクノロジー・材料

4.1 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・材料分野（以下、ナノテク・材料）への公的投資が始まってから日米双方とも11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、2008年に約1.2兆円(US\$14B)に達し、2015年度には6兆円(US\$70B)と予測されている。特にこの数年は、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、中国、中近東)の新たな参入などが相乗して投資急増の傾向となっている。また、それに応える形で、ナノテク・材料分野における論文・特許の件数は着実に増加し、研究開発成果の商業化の例も出始めている。

ナノテク・材料分野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期待が大きい。特にここへ来て、環境・エネルギーや健康・医療、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うの高まりを見せている。日本においても、2011年度にスタートする科学技術基本政策においてグリーンイノベーション、ライフイノベーションの実現という2本柱を掲げており、東日本大震災からの復興計画も含めて、これらの社会的課題を解決するためのナノテク・材料分野のポテンシャルは非常に大きいと考える。

各国の科学技術力を全体的に俯瞰すると、日本は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、欧米と肩を並べて世界をリードしてきたが、韓国、中国の追い上げが急であり、東日本大震災の影響もあり、予断を許さない状況になりつつある。また、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、個別領域について国際比較の概略を記す。

グリーンナノテクノロジーの最近の全体的な傾向としては、低炭素化等の地球規模の課題や熾烈な市場競争を背景に、日・米・欧が従来から行われている先端的な技術開発を背景に先行してきた。しかし、中国、韓国等が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産業的な競争力を付けながら追い上げ、追いつき、さらには一部では追い越しつつあると言える。米国では従来のNNI等による強力なナノテクノロジー施策に加え、Steven Chu氏がエネルギー長官就任以降、グリーンナノテクを重視する具体的な施策を着々と進め、同国をこの分野のリーダーの地位に押し上げつつある。エネルギー省における46のエネルギーフロンティア研究センター(EFRC)の基礎研究課題の大部分がナノテクノロジーであるという事実は象徴的である。欧州は地道な基礎研究で高いレベルを維持し、新産業の基盤となる技術を生み出している。標準化等では域内諸国の一体化した活動が力を発揮している。グリーンナノテクノロジーで特筆すべきは中国であり、研究水準、技術開発水準、産業技術力は各技術で急速に高まっており、今後の世界全体の動向を左右する存在になりつつある。韓国も最近科学技術予算の決定機構を大きく変え、科学技術政策の強化が鮮明に打ち出される中、政府や特定大企業の集中的な投資により、多くの分野で日本に肉薄している。日本もこれまでの技術蓄積

を基盤に依然としてトップレベルにあり、最近ではグリーンイノベーションがライフイノベーションと並んで2大重点分野として取り上げられ、この分野への関心は高まってはいる。しかし、基礎基盤分野を含めた統一的な研究戦略や人材問題への基本的対策等の検討・確立が不十分で、研究水準、産業技術力のいずれについてもその位置を保持するのは容易でなくなってきている。

ナノバイオテクノロジーは、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DDS（ドラッグデリバリーシステム）用材料、再生医療材料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。また産業技術力は欧米の後塵を拝している。当該領域は、既存の大企業では進出しにくい一面があり、小回りの利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。欧州は、特定技術に限っていえば世界水準の研究が数多くある。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。まだレベルにばらつきがあるものの、国際レベルの研究機関も現れ、今後さらに注目である。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がある。

ナノエレクトロニクスでは日本は総じて高い水準を保つが、世界のアクティビティと比較すると必ずしも楽観できるものではない。特にナノエレクトロニクスを牽引するナノCMOS技術においては、世界的に研究開発の拠点化とアライアンスが進むなか、日本メーカーの研究開発アクティビティは大幅に低下している。深刻なのはアカデミアの基礎研究・開発も他国に遅れ始めたことであり、今後、長期的観点に立った人材育成策や産学協同体制の構築を図らない限り、やがては韓国あるいは中国に追い抜かれることは避けられないだろう。

新物質・新材料に関しては、多くの技術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、ほとんど日本の独壇場と言ってよく、米国がこれに次ぎ、そして欧州は後追いかたちとなっている。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、現地での工夫も加えられており、まだ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目である。政策展開は韓国でも強力に進められている。今後10年間は真の材料設計が日米を中心にして注目を集めることになるだろう。

ナノサイエンスにおいては、全体的に、近年上昇傾向にある研究テーマが多い。日本および米国ではその傾向が強く、欧州の進捗も大きい。しかし特に注目されるのは、これまで中国や韓国においては日・米・欧と比較して研究水準自体が若干低いテーマが多いと見られていたが、近年、研究者数と学術誌への論文投稿数は激増しており、成長力を感じさせる。特に実用化が著しい半導体関連の「界面・表面」の各テーマについては、韓国の研究・技術開発力の上昇が目立つが、基盤的研究はまだ少ない。日本および米国は、特にハードに関しては研究・技術開発力、更に産業技術力ともに優れている。一方、シミュレーション等のソフトウェアを公開し、商用化に結び付ける産業化力では、日本を含むアジア諸国は米欧の後塵を拝しており、今後の課題となっている。欧州では大学での研究が主体であるが、いくつかのテーマはベンチャー企業が実用化を目指している段階にある。

ナノ加工プロセスでは、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。しかしながら、いくつかの先端分野ではキラーアプリケーションを見出すには至っておらず、研究開発投資戦略が今後の展開を左右するといえる。韓国・台湾は国家的にエレクトロニクス産業を育成しており、その基盤技術であるナノ加工プロセスの研究開発に力を入れ、量産技術では日米欧に接近しつつある。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政府の役割が大きい。特に韓国は充実したナノファブリケーションセンターのネットワーク構築に巨額の投資を終えている。中国も、韓国・台湾と同じ道をたどり始めている。

計測・評価・解析では、欧米が依然として新しい計測技術を生む土壌において他をしのいでいる。米国は計測機器のみに特化することなく、ナノテク全体の中での戦略として体系的・俯瞰的強化を実行している。欧州は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、高分解能・高機能原子間力顕微鏡など特定分野で欧米に勝る技術を有する。韓国は以前に比べて技術力が向上しているが、計測評価機器の大部分は外国からの導入であり、独自の計測技術開発という点では日米欧とまだ差がある。中国も同様であるが、優秀な研究者が欧米から帰国するなどして、今後急速に技術力が向上する可能性がある。計測やリスク評価技術の国際標準化に中国・韓国の積極姿勢が目立っている。

関連共通課題として、融合と連携を加速推進するための共用施設・研究拠点、教育・人材育成、国際標準・工業標準、リスク評価・EHS（環境・健康・安全）、ELSI（倫理的・法的・社会的問題）・社会受容、国際プログラム・国際連携の諸課題がある。

4.2 ナノテクノロジー・材料の各分野の概観

4.2.1 ナノテクノロジー・材料の応用

4.2.1.1 グリーンナノテクノロジー

グリーンナノテクノロジーは、省エネルギー、エネルギー生成・貯蔵、石油代替燃料生成、環境浄化・保全・計測、元素戦略・資源代替等、低炭素化社会に貢献するナノテクノロジーを意味している。ここでは、その中で昨今国策の基幹ともなっているグリーンイノベーションの観点から今後一層重要になると考えられる15中綱目「太陽電池」「燃料電池」「光触媒・人工光合成」「バイオ燃料・バイオ発電」「バイオリファイナリー」「新電池・キャパシタ」、「熱電変換素子」「超電導利用」「固体照明」「高強度・軽量構造材料」「耐熱構造材料」「分離膜」「環境浄化用触媒」「環境調和・リサイクル技術（回収技術・希少資源代替など）」「環境センシング」について国際比較を行った。

前回の『ナノテクノロジー材料分野 科学技術・研究開発の国際比較（2009年版）』と比較すると、エネルギー・環境分野及び産業用構造材料（輸送・建造等）分野の中綱目を概ね継承しているが、綱目名称等に多少の変更があり、また新設中綱目として「バイオリファイナリー」及び「環境センシング」を採用している。

グリーンナノテクノロジーの最近の全体的な傾向としては、低炭素化等の地球レベルの課題や熾烈な市場競争を背景に、日・米・欧が従来から行われている先端的な技術開発を背景に先行してきたが、中国、韓国等が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産業的な競争力を付けながら追いつき、追いつき、さらには一部では追い越しつつあると言える。

日本はこれまでの技術蓄積を基盤に依然としてトップレベルにあり、最近ではグリーンイノベーションがライフイノベーションと並んで2大重点分野としてとりあげられてこの分野への関心は高まってはいるが、基礎基盤分野を含めた統一的な研究戦略や人材問題への基本的対策等の検討・確立などが不十分で、研究水準、産業技術力いずれについてもその位置を保持するのは容易でなくなっている。

米国では従来のNNI等による強力なナノテクノロジー施策に加え、Steven Chu氏がオバマ大統領からエネルギー長官に指名されて以後、グリーンナノテクノロジーを重視する具体的な施策を着々と進め、同国をこの分野のリーダーの地位に押し上げつつある。エネルギー省における46のエネルギーフロンティア研究センター（EFRC）の基礎研究課題の大部分がナノテクノロジーであるという事実は象徴的である。

欧州は地道な基礎研究で高いレベルを維持し、新産業の基盤となる技術を生み出している。標準化等では域内諸国の一体化した活動が力を発揮している。

この分野で特筆すべきは中国であり、研究水準、技術開発水準、産業技術力は各技術綱目で急速に高くなっており、今後の世界全体の動向を左右する存在になりつつある。

韓国も、政府や特定大企業の集中的な投資により、多くの技術で一定の存在感を示している。

太陽電池、燃料電池や新電池・キャパシタ等の各種発電・電池技術、あるいは熱電変換素子などの技術開発では、論文数、研究者数の増大や市場競争力の強化など、中国のポテ

ンシャルがますます高まってきている。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。

光触媒・人工光合成や、分離膜、環境浄化用触媒については、日本が現時点において優位にあるが、世界的に大規模な基礎研究予算が投入されつつある中、日本はやや後手に回っている。

バイオ燃料・バイオ発電やバイオリファイナリ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、これまで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。

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。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。

固体照明は基礎技術からデバイス開発まで日本が先導してきたが、低炭素化社会に向けた世界的な省エネルギー動向を背景にいよいよ一般家庭等への普及レベルに入り生産量が増加、中国・韓国・アジア諸国に生産拠点が集中している。最大課題の低コスト化に向けて肝要な標準化の策定は欧米がイニシアティブをとりつつあるので、日本の対応策が求められる問題である。

高強度・軽量構造材料は、自動車用材料では日本が世界をリードしているが、ニーズの変化もあり基礎研究は様子見の状況にある。先端軽量構造材料は、航空産業、軽金属メジャー企業を有する欧米が、依然として研究から産業技術力にわたり強いが、航空機部材の実製造は、日・韓・中などに移行している。耐熱構造材料は、航空機用途を中心に欧米が全体的に先行しているが、日本も発電用ボイラ材料等の産業分野で存在感を示している。

環境調和・リサイクル技術（回収技術・希少資源代替など）や環境センシングでは、日米欧で政策的にアプローチが異なり、技術的に大きな優劣があるわけではない。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されておらず、技術開発レベルはほぼ同等である。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への取組みが進んでおり、関連分野のレベルが高い。なお、最近ではレアアースをはじめとする資源問題が大きくクローズアップされており、それに対する対応は中国が最も積極的である。

なお、本領域に関しては、別途 CRDS が発行している『環境エネルギー分野 科学技術・研究開発の国際比較（2011年版）』とも関連があるため、必要に応じて参照されたい。

4.2.1.2 ナノバイオテクノロジー

ナノバイオテクノロジーとは、ナノテクノロジーとバイオテクノロジーの融合領域をいい、健康・医療、環境分野などに応用される先端技術を生み出す領域である。本報告書ではナノバイオテクノロジーをバイオマテリアル、再生医療、DDS（ドラッグデリバリーシステム）、バイオデバイス、バイオセンサ、分子イメージング、食品の7綱目に分類し、国際比較を行った。

全体として、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。日本は研究水準こそ高いものの、産業技術力は欧米の後塵を拝している状況にある。既存の大企業では進出しにくい一面があり、小回りの利くベンチャー企業の活躍が実用化には極めて重要であるが、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。欧州は、特定技術に限っていえば世界水準の研究が数多くある。日本はDDS用材料、再生医療材料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、欧米から留学経験者が帰国し、研究開発の主力を演じている。まだレベルにばらつきがあるものの、国際レベルの研究機関も現れ、今後さらに注目すべきである。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がある。各網目の具体的な内容を以下に略記する。

バイオマテリアルでは、日本は独創的なコンセプトに基づく優れたナノスケールのバイオマテリアルを数多く開発しており、研究水準ではトップレベルにある。しかし、アカデミアと大企業をつなぐベンチャーの醸成が遅れており、死の谷は深い。米国、欧州はベンチャーが盛んで、産業への橋渡し展開は日本より優れており、製品化・産業化で先行している。中国、韓国はオリジナルな研究は少ないが、技術開発水準と産業技術力に関して、欧米、日本のよいところを積極的に吸収している。

再生医療では、米国では、2009年に、オバマ大統領がES細胞研究に対する連邦予算の助成を解禁し、米食品医薬品局（FDA）はヒトES細胞を用いる臨床研究計画を認可し、すでに数例の臨床応用が開始されている。iPS細胞に関する多くの報告もあり、米国は揺るぎない地位を占めている。わが国の論文及び特許出願件数は米国について2位であるが、市場に出ている再生医療製品はわずかであり、企業の取り組みについて韓国を含む他の諸国との差はあまりにも大きい。

DDSでは、世界中でナノテク融合研究拠点が設立され、siRNAなどの核酸医薬の実用化などに向け分野融合的なDDS研究が行われている。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といえる。一方、医薬品開発に関しては、ターゲットング製剤やPEG化タンパク医薬で多くの製剤の上市が見込まれるが、欧米がリードしており、日本はベンチャー企業の育成が課題である。

バイオデバイスでは、汎用的マイクロ集積化技術を2000年頃から先導してきた日本は依然として非常に高い研究・技術開発力を有している。ただし、欧米、アジア間での研究者の移動の活発化、欧米で教育を受けたトップクラスの研究者が母国に帰り研究を指導するなどの理由により、他のアジアの諸国の台頭が著しい。全体として、依然米国が豊富な資金力と人材を背景に基礎・産業応用ともに先導しているが、医療分野などへの本格的な実用化には至っていない。日本では、規制・認証におけるベンチャー企業への支援や、信頼性向上・コスト低減などの技術的側面、新規技術の啓蒙・市場創出などのサポートが弱い。

バイオセンサでは、日本は研究開発において世界をリードしてきたが、近年米国が、連続血糖測定が可能な血糖測定器を開発・販売の開始しており一步リードしているといえる。また、インスリンポンプとの組み合わせにより、将来的な人工膵臓の応用が期待される。バイオセンサに関連する各国の論文数では、中国、韓国の増加傾向が著しい。

分子イメージングにおいては、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で高い国際競争力を有している。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

材料では米国が先行している。また、ソフトウェア開発においても、欧米が先行している。イメージングの応用に関し、米国では動物実験による実証が進んでいるが、日本・欧州はこの点で少し遅れている。

食品では、総合的な研究開発・技術レベルは、米国・欧州が先行しており、日本はそれに次ぐ。米国と欧州では、米国が多数のサプリメント製品やナノサイズキャリアの開発を進めているのに対し、欧州は食品そのもののナノサイズ化には積極的でなく、ナノ食品の安全性に関わる研究が先行して進められている。一方、中国、韓国の場合には、銀ナノ粒子を使用した抗菌キッチンウェア等が中心であり、技術力はまだそれほど高くないと考えられる。台湾では、ナノ食品及び関連製品の調査が行われており、ナノミセル、銀ナノ粒子、ナノ化薬草などが開発されている。

4.2.1.3 ナノエレクトロニクス

ナノエレクトロニクスは、ナノ CMOS 技術、カーボンナノエレクトロニクス、スピントロニクス、メモリデバイス、有機エレクトロニクス、ナノフォトニクス・近接場光技術、次世代ナノデバイス（単電子素子、超伝導デバイスなど）の 7 綱目について国際比較を行った。

ナノ CMOS 技術はシリコンデバイスの最も主要な部分であり、現在から将来にかけてのナノエレクトロニクスも CMOS なくしては語れない。またメモリデバイスも新しい材料の開発が進み、最近の進展はめざましく、新たな不揮発性記憶素子の分野が台頭しつつある。スピントロニクス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ですが、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。またナノフォトニクス・近接場光技術は、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。最後に次世代ナノデバイスは、対象範囲も広く、多く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が、今回はその中で単電子、原子・分子デバイスと超伝導デバイスを取り上げた。

ナノエレクトロニクス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。特にナノエレクトロニクスを牽引するナノ CMOS 技術においては、世界的に研究開発の拠点化とアライアンス化が進むなか、日本メーカーの研究開発アクティビティは大幅に低下しており、さらに昨今の公的な研究開発投資低減の流れのもとで、アカデミアの基礎研究・開発も他国に遅れをとっているのが現状である。今後、長期的観点に立ってこれら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追い抜かれることは間違いない。

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妙に戦略的にナノエレクトロニクスを発展させており、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。中綱目のナノ CMOS 技

術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、全米21州の30以上の大学の参加のもと、2020年を目指して世界から若い人材を集めて、18以上の多岐に亘るプロジェクトを展開している。プロジェクトの内容を見ても、オバマ政権のグリーン・ニューディール政策に合致した環境エネルギーに直結するテーマから、グラフェンやスピンに関するbeyond CMOSのテーマ、さらには、最近NISTが加わったことによる、高度な計測・解析技術に関するテーマなど、考え得るあらゆるテーマを網羅している。テーマ選定には、国家プロジェクトを立ち上げる際に常に拙速のそしりを免れない日本と違い、長年にわたって全米の有識者が議論してきた結果を十分反映している。また米国では大学を中心に複数のナノエレ拠点を設け、そこを中心にしたネットワーク（CON）の形成も万全である。

EUはIMECとMINATECがナノエレの研究から開発までを引っ張っており、特にIMECは先端技術の分野でオープンイノベーション方式を採用し、完全なトップダウンマネジメントで産学の連携をグローバルに展開して大成功した例と言える。

一方、日本国内にはそのような規模のナノエレ拠点はなく、全体を統率するコントロールタワーも存在していない。最近スタートしたTIANano（つくばイノベーションアリーナ構想）が、日本のナノエレクトロニクスの拠点に成長することが期待される。

アジアに目を向けると、韓国は豊富な財力と選択と集中によって、現在急速に進展している。既にいくつかの技術、特にメモリ分野に関しては三星（Samsung）の群を抜いた研究開発力もあり、日本、米国を抜いている。他の技術分野でも同じことが容易に予想される。中国はまさにキャッチアップの途上であるが、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、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。ナノエレクトロニクス関係の主要ジャーナルへの採択も急激に増えており、論文数でもまもなく日本を抜き去ることは間違いない。米国で学んだ多くの若い研究者が本国や台湾に帰り、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。5年後、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。さらにシンガポールなどは、世界中から優秀な学生、教授陣を集めて着々とアジアの研究開発のハブ化を狙っていることも注目すべきである。

4.2.2 基盤科学・技術

4.2.2.1 新物質・新材料

新物質・新材料は、マテリアルサイエンスとして独立した分野を形成するのみならず、ナノテクノロジーにおいて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、本調査ではナノカーボン材料、ソフト材料、ハイブリッド材料、高分子・プラスチック材料、融液材料、ナノ・メソポーラス材料、触媒材料、新型超伝導材料、磁性材料、低次元材料、及び新材料探索・設計の11綱目に分類した。

多くの綱目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、ほとんど日本の独壇場と言ってよく、米国がこれに次ぎ、そして欧州は後追いの形となっている。韓国や中国の追い上げは、現状では顕在化していないものの、一部利益率の高いところで日本からの技術導入が進み、現地での工夫も加えられ、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は要注意である。政策展開は韓国でも強力に進められている。

ナノカーボン材料では、グラフェンに関して2010年度のノーベル物理学賞受賞対象研究となったことから明らかなように、微細化限界が間近に迫ったCMOS技術を打破する候補材料の一つとして、現在精力的な研究が世界中で行われており、ナノカーボン研究において最も注目すべき材料であるといえる。米国では、ナノチューブからグラフェンへの研究者の移行が顕著であり、基礎・応用研究両面で一歩先んじている。欧州はグラフェン研究のフロンティアとして基礎研究に強みがある。韓国は産学連携により研究が急速に進展している。日本ではナノチューブに関しては特に成長やデバイスへ向けた研究で世界的な水準にあるが、基礎科学的な側面では遅れている。一方、日本はグラフェン研究進展に関して米国や欧州に比べて出遅れたが、基礎物性面で注目すべき成果を挙げ始めている。

ソフト材料では、日本が研究開発で世界をリードしている分野である。超分子に関しては、欧州は主として dendrimer、米国は分子マシンや超分子素子の研究が盛んである。特に近年、精緻な分子設計に基づいて様々な新規構造が創出され、その機能が次第に明らかになってきた結果、産業界の関心も高まっている。産業化については、コンタクトレンズやバイオチップなどのバイオマテリアルで米国が先行している。また最近では特に、いずれの国においてもソフト材料の環境分野への応用研究がきわめて盛んになっている。欧州はこれからであり、韓国や中国はさらにその次と考えられるが、中国のベンチャー企業の動向や韓国で進められている産官学クラスター形成などの政策的取り組みの成果が注目される。

ハイブリッド材料では、応用分野を限定し研究開発が行われている米国、中国、韓国に比較して、日本は多くの研究で目的が限定されておらず、欧米の後追いのものが多い。構造材料としてのハイブリッド材料では、欧米と日本が研究開発で先端を進み、これに対し、韓国や中国は着実に研究実績を積みつつあり、肩を並べるのは時間の問題であると考えられる。ハイブリッド材料の研究・技術開発は素材以外にもそれぞれの表面、界面制御、それらの3次元分散状態制御、配向制御、計測、解析技術がキーポイントである。それらについても、現時点では、日本が進んでいるが、欧米も水準を上げてきたことと、中国・韓国の選択と集中によるレベルアップが著しい。

高分子・プラスチック材料においては、日本が機能性高分子の分子設計、新規触媒、ナノ構造制御等、世界をリードする先端研究では大きな成果を上げているが、先端研究を支える基盤研究に不安がある。一方で、化学・材料メーカーは世界をリードする企業ユーザ(自動車、情報・エレクトロニクス)と組み、グローバルな展開がなされ、研究開発投資も旺盛である。欧米は、地道に高分子化学全般及び基盤研究へ注力しており、研究水準は高い。ここ数年で韓国、中国の特許出願件数が急増しており、将来日本にとって大きな脅威となる可能性がある。

融液材料においては、固体電解質(膜、酸化物)、イオン液体、ゲルのすべての分野において、量的には中国が他国を圧倒している。リチウムイオン電池や燃料電池といったエネルギー変換デバイスの開発に関連した界面研究に中国が力を入れている。欧州は巧みな連携を始めている。イオン液体の研究は、日・欧・米を中心に進められているが、それぞれ指向している出口が少しずつ異なる。日本は、ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池

車といった環境配慮型自動車が次世代有力産業として期待され、さらに電池産業が非常に活発なため、これら電気化学デバイスにイオン液体を応用しようとする研究が非常に盛んであり、この分野の研究では世界をリードしている。一方、欧州では、有機溶媒の排出規制が日米以上に厳しいためか、化学プラントで化学反応・触媒反応・抽出などに用いられてきた有機溶媒をイオン液体で代替しようとする研究が盛んである。米国は、日欧と比較すると研究者人口が少し少な目であるが、CO₂の分離・回収への応用研究が非常に活発である。産業技術力という観点では固体電解質膜以外は産業化のレベルに到達していないものが多い。

ナノポーラス・メソポーラス材料（空間空隙材料）の研究開発としては、ゼオライト、メソポーラス材料、PCP/MOF（多孔配位高分子）の三材料が主要な材料群となっている。2009及び2010年に発表された論文数を比較すると、いずれの分野も中国の勢いが顕著であり、今後も中国の伸張は続くと思われる。産業応用に関しては、メソポーラス材料およびPCP/MOFは欧州が一步リードしているが、ようやく量産化体勢が整った状況にある。

触媒材料について、米国は研究水準、実用化の面でも先端を担っている。日本は、ナノ構造体および分子・原子レベルでの触媒設計や特に精密有機合成（基礎化成品を含む）に関する反応開発の研究水準は極めて高い。光触媒、環境触媒分野の技術開発水準も高い。近年、白金代替のカーボンアロイ触媒に関する研究にも力を入れており、今後の発展が期待される。また、バイオマスの有用化合物への転換反応開発にも注力しておりその研究水準は高い。欧州諸国の産業技術力は極めて高いが、研究水準はここ数年現状維持のままである。研究水準、実用化の面では、韓国や中国は追い上げが急速ではあるものの日・米・欧と比べるとまだ遅れている。

超伝導研究においては、とりわけ新物質合成、物性測定・計測、理論の連携が重要であるが、わが国ではそのサイクルが諸外国に比較して良く機能している。基礎研究面では日米が高い研究水準を維持しており、欧州がそれに続く。中国における物質探索の勢いは一段落しており、既知物質の試料提供の役割を担っている。技術開発では、良質な薄膜作製技術の進歩が顕著で、線材化研究では臨界電流密度がかなり低いもののゼロ抵抗で通電できる短尺線材が日本、中国で得られるようになってきている。依然として、産業技術研究に発展できる成果、ブレークスルーなどは無い。

磁性材料では、技術開発力と産業も含めた全体として日本と米国がリードしている。基礎研究では日米欧が拮抗してしのぎを削っているが、欧州の基礎研究の層は厚い。韓国の研究レベルはまだ日米欧に及んでいないが、技術開発力は伸びている。中国はさらに遅れているが、米国、日本、欧州で学んだ人材は豊富にいるので今後急速に伸び、将来、中国が磁石産業を完全に支配する可能性もある。

ナノ粒子・ナノワイヤ・ナノチューブといった低次元材料では、現在、プラズモニクス、燃料電池触媒などのエネルギー関連、バイオ関連への利用に向けたナノ粒子材料の研究開発が注目されている。欧米では、これらの基礎研究と技術開発が密接に結びついており、ベンチャー企業を中心とした製品化が精力的に進められている。一方、日本を含むアジアの動向は数年前と変わらず活発とは言い難い。

新材料探索・設計について、材料の設計という思想は欧米に端を発しているもので、依然として欧米が強い分野である。アジアは、材料分野全体のアクティビティに比べ、この領域は相対的に弱い。わが国は、触媒や半導体の材料設計など欧米に先駆けており、現段階

では決して後塵を拝しているわけではない。新しい鉄系超伝導等、新材料設計の思想から出てきた材料もあり、世界の注目を集める状況になりつつある。一方、電子材料に加えて、新エネルギー・省エネルギー材料、生体材料の開発競争とともに、高速探索手法への関心が高まっている。ドイツでも、コンビナトリアル手法による個体材料の開発が活発化しており、独米大学の連携が進んでいる。また、ルール大学を中心としたコンビナトリアルネットワークが構築されつつあり、大学もそれを支援している。日本では、医薬用コンビナトリアルケミストリーと同様に材料分野（特に触媒、ポリマー）での取組みの遅れが懸念される。

震災の影響により、東北地域の材料メーカーからの供給や開発がストップしたことで、日本だけでなく海外を含めて産業構造が（自動車産業等に代表される最終製品の多くにまで）大きな影響を受けている。例えば、自動車会社に部品を供給する部品メーカーは、部品を作るために使用する材料をこれまで通りに入手することができなくなった。実際には部品メーカーの多くは東北以外の他地域にあったとしても、そこに材料を供給する材料メーカーの多くが東北地域に存在しており、このことによって産業構造全体が大きな打撃を受けている。これはまさに材料産業の戦略上の課題といえる。海外の材料メーカーは、これまで日本が供給していた材料を日本に取って代わって生産し、供給する体制を一早く築こうとしている。材料産業において高いシェアを誇り、基礎研究開発を支えている日本がいかにか早く復旧し、またその上でさらなる新しい次世代材料を開発・供給していくという戦略が重要になってくるだろう。企業だけでは対応には困難があり、産官学が協同する政策的な措置を講じなければ対応できない大きな課題と考えられる。

4.2.2.2 ナノサイエンス

ナノテクノロジーの学術的・技術的基盤を支えるナノサイエンスでは、原子・分子操作、表面・界面（固体表面界面、固液界面、及びナノフルイディクス・ナノトライボロジー）、自己組織化・自己集合、量子制御、及び強相関（マルチフェロイックス）、理論・シミュレーションの各中綱目に分類し、個々の最新動向について国際比較を行った。

全体として、近年上昇傾向にある研究テーマが多い。日本および米国ではその傾向が強く、欧州の進捗も大きい。しかし特に注目されるのは、これまで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が多いと見られていたが、近年、研究者数と学術誌への論文投稿数が激増しており、成長力を感じさせることである。特に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、基盤的研究はまだ少ないものの、韓国の研究開発水準および技術開発水準の上昇が目立つ。

日本および米国は、特にハードに関しては研究開発水準・技術開発水準、更に産業技術力ともに優れている。一方、シミュレーション等のソフトウェアを公開し、商用化に結び付ける産業化力では、日本を含むアジア諸国は米欧の後塵を拝しており、今後の課題となっている。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いが（半導体関連を除く）、すさまじい勢いで追いつけている。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、具体的な綱目について概要を略記する。

原子・分子操作は、走査型プローブ顕微鏡（SPM）を発明した IBM を有する米国、ならびに顕微鏡メーカーの実力が高い日本が先端技術研究の先頭を走ってきており、現在もそのトレンドは維持されていると見てよい。また、欧州では、歴史的強みもあって、表面科学の基礎研究で斬新かつ着実な研究が進められている。膨大な数の研究者を有する中国、製品開発のスピードに長けた企業を有する韓国が今後急速に台頭する可能性は高い。

表面・界面では、半導体を中心とする真空中の研究に加え、液体中の固-液界面の研究が、評価手法の進歩と産業界の材料ならびに製造プロセス研究への必要性から活発になっており、全体的に研究水準は上昇している。日本の研究水準は、材料ならびに評価法の分野ともに高い。産業界の界面・表面への研究の必要性の認識は高まってきており、そのため産学の研究の距離は縮まりつつある。中国・韓国では引き続き研究投資が活発に行われており、研究水準が向上している。とりわけ中国の進展はすさまじいものがある。

ナノフルイディクスでは、MEMS や μ TAS などの分野にナノテクノロジーを適用し、1分子計測技術やチップ上での組織構築などの研究が進展している。ナノトライボロジーでは、ナノレベルの空間における摩擦現象を取り扱い、ナノフルイディクスを支える重要な要素技術となっている。ナノフルイディクスは、日米が世界の研究開発をリードしているが、現状では、特に、臨床応用において少し米国がリードしている状況である。これは、米国が、NCL (Nanotechnology Characterization Laboratory) などのナノテクノロジーの前臨床研究を支援する機関をいち早く立ち上げ、ナノフルイディクスなどの臨床応用を加速していることに起因している。また、日米のもう一つの違いは、ベンチャー企業の研究開発能力の違いにある。大企業における研究開発は日本がリードしているが、ベンチャー企業での小回りのきく研究開発の点では、米国がリードしている。

自己組織化は、自然科学をより深い次元で理解するための普遍科学的側面を持つ基盤研究であるが、昨今はバイオミメティクスと協働し材料開発においても興味深い展開がみられるようになった。従来から日米欧という三極構造があり依然大きな変化はないが、中国は帰国研究者を中核とした研究活動が活発化しており、滞日研究者の引き抜きも始まっている。10年単位の国際戦略が求められる。

量子制御に関しては、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。中国、韓国は日欧米に比べると、特に実験面で遅れている。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との認識がある。

遷移金属酸化物材料を中心とする強相関物質材料開発、物性研究のアクティビティは高く、特に基礎研究面での投資は、欧州で堅調、中国では著しく上昇している。銅酸化物系高温超伝導体の主に線材用途の実証研究は進んでおり産業技術力としても高い。巨大抵抗変化や熱電特性に出口としての注目が集まりやすい。

理論・シミュレーションでは、概して研究水準に、米国、欧州、日本で大差がない。しかし、その結果をソフトウェアとして公開あるいは市販する技術力は、米国が非常に進んでいる。また、そのベースは欧州発も多く、地力がある。また、ここ数年の中国の計算科学に携わる研究者数と学術誌への投稿論文数は急増している。さらに韓国企業も、エレクトロニクス・機械を中心に、積極的に計算科学を産業開発に取り込みつつある。

4.2.2.3 ナノ加工プロセス

ナノ加工プロセスは、材料技術や計測技術と並び、ナノテクノロジーの根幹を成す基盤技術である。ここではナノ加工プロセス技術を、半導体超微細加工技術、ナノ転写技術、自己組織化技術、ナノ・マイクロ印刷技術およびMEMS・NEMS技術に分類して、それぞれに関して国際比較を行った。

ナノ加工プロセスは、それを適用したデバイス・システム技術と不可分であり、総合力の間われる技術である。したがって、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。ただし、いくつかの先端分野ではキラーアプリケーションを見出すには至っておらず、研究開発投資戦略が今後の展開を左右するといえる。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、その基盤技術であるナノ加工プロセス技術の研究開発に力を入れて来ている。量産技術においては日米欧に接近しつつあるが、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・台湾と同じ道を辿り始めている。

以下に各中綱目の概観を記す。

半導体超微細加工技術は集積回路（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。これらは、様々な分野での微細加工技術の基本であり、近年、バイオ、MEMS、医療用、自動車の制御など、様々な分野への応用研究が進んでいる。こうした研究開発や生産設備には巨大な投資が必要で、単独メーカーでは難しく、研究開発はコンソーシアムや国際研究開発拠点によって推進され、事業は企業間の連携や統合が盛んである。日本では、Selete（半導体先端テクノロジーズ）を中心として研究開発が進められ、露光装置、レジスト材料、およびマスクについては成果を上げている。しかし、ベルギーのIMEC、フランスのLeti、米国のAlbany Nanotechなどは、巨大な研究開発拠点に世界各国（日本を含む）から多数の参加企業を集め、高い水準の総合的な研究開発を旺盛に進め、国際的な存在感・影響力を増している。結果として日本は、欧米に比べて研究水準、技術開発水準ともに後塵を押しつつある。アジアにおいては、台湾、韓国におけるユーザ企業が、最先端技術の実用化に非常に積極的であり、微細化技術でのリーダーシップを握っている。

ナノ転写技術では熱可塑性樹脂を用いた熱転写技術に続いて紫外線硬化性樹脂を用いた光ナノ転写技術の研究開発が進み、一桁精度が高い10nmレベルの微細構造を比較的簡単な装置・プロセスで形成できることが示されている。電子リソグラフィと比べて大幅なコスト低減が期待されているが、微細化の追及と同時に繰り返し精度確保、すなわち型の長寿命化、欠陥の克服等が課題であり、欠陥を多少許容できる分野から次第に普及が進むと考えられる。日本は材料技術を中心に研究開発が活性化して来ており、一部の製品開発も進んで欧米を追い上げている。欧州は仏Letiの研究水準が高く、基盤技術も着実に水準を上げている。米国は大学が要素技術が中心、企業やコンソーシアムがハードディスクと半導体の次世代品を開発している。韓国や台湾、シンガポールは応用製品開発で伸張著

しい。

自己組織化技術は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。基礎研究の段階から材料・素材ベースでの実用化に向けた動きが出てきているが、欧米が先行し、日本が続き、中国が追い上げている。当初期待された電子線リソグラフィ代替については、高精度高次構造の制御性に目途が立っていない。一方、欧米ではナノからマイクロにいたる未踏領域を特徴とする新世代バイオミメティクスとも言うべき分野が著しい展開を見せており、自己組織化に基づくナノ加工や自己集合を利用した材料開発に注目が集まっている。また、米国ではエネルギー・環境問題の解決策の一つとしてバイオミクリーに注目が寄せられている。いずれも、本格的な産業化はこれからである。

ナノ・マイクロ印刷技術は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。さらに、半導体デバイス製造、デバイス実装など非常に幅広い応用分野で精力的に研究開発が進められている。材料では、印刷に適用できる溶解性や分散性を持たせたナノ材料が実用レベルにまで開発が進んでいる。日本と米国が強い開発力と競争力を有しているが、これらの材料の応用は日本が世界をリードしており、実用化に向けた進歩は日本の企業が中心となり推進している。グラビア印刷、オフセット印刷、マイクロコンタクトプリントを含む凸版印刷、スクリーン印刷、そしてインクジェットという日本の企業が極めて高い技術と実績を持つ装置とプロセスが基盤となっているからである。一方で、これらの技術を用いた最終製品の商品化に関しては、海外の後塵を拝することが懸念される。ディスプレイ製造では、韓国と台湾の積極的投資と中国における生産展開により、日本企業の国際競争力が低下してきている。プリンテッドエレクトロニクスの期待される応用分野の一つである電子ペーパー技術は台湾企業により買収され、日本の外で市場に直結した開発が進められるようになってきている。但し、生産技術の確立にはまだ多くの課題を有しており、本格的展開に向けて日本の要素技術開発力は依然として世界をリードして行く可能性がある。

MEMS・NEMS 技術は半導体微細加工技術の中核とし、立体的加工技術を加えて機械的微細構造を形成し、電気信号を取り出したり化学的反応を制御したりするデバイスを製造するための技術である。製品としては従来の加速度センサ等単機能デバイスから、生物化学的多機能センサ等複合デバイスの研究が進み始めている。様々な応用展開が期待されるものの、次世代のキラーアプリケーションは見えておらず、当面は研究成果をいち早く市場トライアルにつなげるベンチャーの存在が重要となる。米国が依然アカデミックアウトプットおよび産業に優位性を示している。これは大学の基礎研究を産業に移すための仕組みが優れているためと思われる。欧州は独仏、ベルギーの国立研究所を中心に、非常な勢いで技術的蓄積を増やしており、企業がうまく関与している。日本ではこれまで大学における個別研究が中心であったが、NTT等のインフラ系企業や大企業から新事業に人材が流入しているため、近い将来改善されるものと期待される。また、つくばに欧州を模し

た産学連携拠点づくりが始まっており、産官学の組織を超えた機関連携や共同研究が期待されている。日米欧の比較では、研究水準ではそれぞれ活発な取組が進んでいるものの産業化という視点では、欧米が先行する。台湾はファンドリで勝負、韓国はMEMSについては静観しているが、中国が軍事や監視技術と絡めて技術レベルを一気にあげる可能性が大きく、またベンチャー育成施策が進むと同時に産業についてもファンドリの招致を進めている。

4.2.2.4 計測・評価・解析

計測・評価・解析は、ナノテクノロジーの根幹を成す共通基盤技術である。本領域では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（SE、自由電子レーザー）、中性子、ミュオンスピン回転/緩和/共鳴法（ μ SR）、超高速時間分解分光、標準（物質・計量・評価法）の各技術について国際比較を行った。

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、ナノテク全体の中での戦略として体系的・俯瞰的強化を実行している。欧州は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、高分解能・高機能原子間力顕微鏡など特定分野で世界をリードする技術を有する。韓国は以前に比べて技術力が向上しつつあるが、計測評価機器の大部分は外国からの導入であり、独自の計測技術開発という点では日米欧とまだ差がある。中国も同様であるが、優秀な研究者が欧米から帰国するなどして、今後急速に技術力が向上する可能性がある。

各中綱目の概要は、以下の通りである。

走査型プローブ顕微鏡（SPM）は、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、Q-plus センサ方式AFMでは欧米、汎用機器としてのSPMでは米国が優位である。

電子顕微鏡は、真空中でマイクロからナノメートルスケールの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。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、色収差補正技術で注目を集める開発成果もあり、巻き返しが図られている。

放射光・X線計測（SE、自由電子レーザー）技術は、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）を、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目的に利用する技術である。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。日米欧韓でX線自由電子レーザーの建設・運用が進められている。

中性子技術は、中性子が物質透過力、軽元素および隣接原子識別力、磁性検出能力に優れ、精密な原子・分子・スピン等の運動状態の観測も可能であることから、学術分野のみならず、材料開発、元素分析などの産業利用も盛んに行われている。高性能の加速器駆動型中性子源を保有する日米がリードしている。

ミュオンスピン回転/緩和/共鳴法 (μ SR) 技術はパイ中間子の崩壊によって生成するミュオンは、独特の特徴をもつ磁気プローブとして、磁性体や超伝導体の物性研究に利用されてきた。また、水素が関与する化学反応などについても有益な情報をもたらす。ミュオン源である陽子加速器施設を保有する日米欧が精力的に研究を進めている。電池材料や水素貯蔵材料の物性を対象とした応用研究では日欧が若干優位にある。

超高速時間分解分光技術はピコ秒 (10-12 秒) からフェムト秒 (10-15 秒) の時間領域を対象とする分光法で、電子の励起状態や化学反応過程の解析に有効な手段である。大学や公的研究機関の研究水準は日米欧韓がほぼ肩を並べる状況にあるが、総合力では米国が他をリードしている。

標準 (物質・計量・評価法) 技術は科学技術、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の装置と、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。アジア諸国は欧米日の後を追う状況にあるが、中国、韓国ではナノ計量標準の整備が進められつつある。

4.2.3 共通課題

4.2.3.1 共用拠点・研究開発拠点 (融合・連携促進の方策)

世界各国いずれにおいても共用拠点・研究開発拠点を融合・連携促進の場、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、台湾などの主要諸国は全ナノテク国家投資額の 10-20% ほどを投入している。一方で日本は、2-3% 台の投資であり、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とは言い難い。

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 (ナノネット)」として推進されている。2011 年度は第二期の最終年度にあたる。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。まだ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も十分とはいえない。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るとはいえない状況にあることであり、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) 14 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。NSF では教育プログラムの実施がファンディングの条件にもなっている。そのため、ファンディングを受ける側は積

極的に独自の教育プログラムを推進しており、幅広い層におけるナノテクの理解増進と次世代研究者の人材育成につながっている。NNIN や NCN は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としての機能と共同利用施設としての機能をあわせもつ。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、14 拠点の中で東のコネル大学、西のスタンフォード大学は共同利用施設としての経験が豊富で、NNIN 全体を牽引している。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（運営費に占める政府公費の割合は半分以下であり、拠点機関自身の経営努力により維持されている）。運営費の内訳は、NSF 予算、利用料金、州政府マッチングファンド、寄付金（個人や企業）、そして大学の自己負担金である。NNIN の各拠点は地元企業との連携が強く、企業にとっては大学が研究情報、情報交換の場として重要な機能を果たしている。大企業よりもベンチャーや中小企業の利用者が多く、裾野拡大への貢献が大きい。利用施設と企業との間に立って総合的なアドバイスをおこなうコンサルタントビジネスも存在し、地域経済と強力に結びついているケースもある。DOE ではエネルギーフロンティア研究センター(EFRC)として46の研究拠点を設置、2009年に開始している。さらにエネルギーイノベーションハブとして施設共用拠点プログラムを2010年に開始、共用施設拠点と研究開発拠点の2つのネットワーク事業を重層的に展開している。46のEFRCは、実にその7-8割がナノテクを主要テーマとする拠点である。NSF や DOE のファンディング政策は学際研究が条件となっており、ファンディング側が共同利用施設や研究センター側に学際・融合のインセンティブを与える仕組みを構築している。ファンディングを受ける拠点機関側も自主的な努力を蓄積している。例えば、米国コネル大学の Duffield Hall は大学側が努力して寄付金を集めて建設した建物であり、共同利用施設や研究センターをこの Hall に統合している。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。

欧州における集中型研究拠点としては、IMEC（ベルギー）と MINATEC（仏）の2つが代表的な存在である。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。IMEC では、研究資金の100%を一機関からの委託にしないことで独立性を維持している。また、1つのプロジェクトを複数企業と共同研究することで中立性も維持している。プロジェクトから発生した知的財産は必ず拠点自身で保有している。MINATEC には大学と製造センターが集積され、研究者数千人、製造・ソフトウェア従事者数万人のクラスターになっている。

共用施設のネットワークとしては、仏、英、蘭などが各国の状況に応じた独自の政策を展開している。英国の MNT Network では、産業化支援に重点を置き、地方政府との連

携などを通して財政的独立を目指しており、当初より50%の資金調達を拠点機関側に要請していた。すなわち、ファンディングする政府機関側の仕組みと、拠点機関側の自主努力・運営による総合運営システムを構築している。欧州では、拠点機関の中核に研究開発を理解できるマネジメントの専門家が常駐しているという特徴がある。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を中心に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ている。

韓国では長期的に制度化された予算によって、教育科学技術省傘下に2つ、知識経済省傘下に3つのセンターを有し、いずれも約1000m²のクリーンルームを持つ国際的に開かれた共用施設が建設されている。NNFC(国家ナノテクファウンダリーセンター)では、課金制度の運用により、既に3-4億円の収入があるなど、自主運営に入っている。総じて米国に次いで充実したインフラをもっているといえる。

4.2.3.2 教育・人材育成(ナノテクリテラシー含む)

ナノテクノロジーは、幅広い分野横断性が要求されること、科学から技術への移転速度が早いため日頃からの産学連携のネットワークが不可欠であること、これまでの常識が通用しない未知の際だった効果をもたらすこと、等によって、研究、教育・人材育成形態は極めて多彩である。これを大きく分類すると以下の二つに大別される。一方は、最先端の産業界で要求される短・中期の課題解決型のもの、他方は、学際性と複眼性を駆使した10～20年先の将来産業の中核を担う課題発掘型のものである。教育・人材育成を考えると、前者は産学官の研究拠点形成と一体となってエキスパートとしての若手高度技術人材を育てる形で、日本ではつくばイノベーションアリーナ(TIA-nano)、米国のAlbany、フランスのMINATECなどが挙げられ、実践型、短期即戦力が問われるものである。一方、後者は大学を中心に現在の幅広いナノテク分野のキャッチアップと分野融合を目指す学際領域専攻・学科・コースの設置による人材育成、さらに進んで物理、化学、生物といった従来の学問体系の知識の上に異分野のナノ理工学の基本知識を加えて新しい学問領域・新産業分野形成に貢献できる大学院生・社会人を生み出すための中長期的人材育成であり、そこでは基礎力、創造力、そしてデザイン力(専門力、応用力、学際力、構想力のバランスの取れた知識と能力により新分野を開拓する力)が問われるものである。その際、ナノテクリテラシーとして不可欠な社会受容(public engagement)、EHS(environment, health, and safety)、ELSI(ethical, legal, and social issues)、国際標準などの教育も重要とされ、海外では特に米国や台湾がK-12教育(小中高一貫教育)を含む先進的な教育を行っている。

日本では、ナノサイエンス、ナノ理工学、ナノ物質の名称で、東北大、千葉大、早稲田大、東洋大、高知工科大など10大学ほどで学際領域専攻が開設されている。東北大がナノ物質科学に特化して纏まっているように、小単位では学際性よりも専門性に重点を置かざるを得ない状況にある。これらとは区別されるべき二つの人材育成プログラム活動がある。

1つは筑波大学と周辺地区の研究所群が一体となって研究活動と先端研究人材養成を行おうとする「つくばイノベーションアリーナ」である。H22年度から一部開始されており、ナノエレクトロニクス領域に重点を置いた即戦力の先端人材を養成する連携大学院を目指している。東工大、東京理科大、芝浦工業大学他との連携が図られている。

これに対して、2004年度より科学技術振興調整費の新興分野人材養成プログラムとして発足した大阪大学のナノ高度学際教育研究訓練プログラムは、物理、化学、生物、電気、機械等の従来型学問体系を主専攻として、6研究科、5研究所・センターが参加するナノサイエンスデザイン教育研究センターが、副専攻として提供する大規模オプショナルプログラムであり、ナノ理工学関連の異分野領域を幅広く教育研究訓練するものである。ナノテクノロジーの活用で最も大切な融合の促進・複眼的思考によって産業・社会に役立つ新規技術への応用力を育むことを目指している。これまでの7年間に修士課程370名、博士課程60名が修了しており、企業や大学等へ人材を供給している。このプログラムには、社会人向けの4コースの夜間講座が設置されており、国内10カ所以上の遠隔教室へのライブ配信によって便宜を図っている。実習を含む1年間のプログラムで、これまでに30歳前後を中心に110社の企業からの620名余りが受講し、500名余りが所定の大学院正規単位を取得し修了している。大学院、社会人プログラムでは共通に、ナノテクの社会受容、ロードマップデザイン、科学技術政策、リスク、EHS、標準化、アセスメント手法、コミュニケーション、ELSIに関する講座も開設されている。

上記のような研究所や高等教育機関での取り組みは進展してきているが、一方で、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。

米国で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。2000年の国家ナノテクノロジー戦略NNIには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であるという目標と計画のもと、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。

NNIN (National Nanotechnology Infrastructure Network) の14拠点に70の教育機関が参加し、K-12 STM (K-12: 幼稚園から小中高校まで、STM: science, technology, engineering and mathematics) の標準カリキュラムや共通課題設定などを含む人材育成活動が10年に亘り拡大継続されている。K-12教育の教官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。長期戦略に基づき、不足気味の理工系、特に物理・化学・生物を含む材料科学系を中心とした大学、大学院に進学する若者を積極的に育成し、理工系に対する強い関心と学際力を兼ね備えた米国の将来を担うナノテク高度研究技術者・研究者の確保を目指している。大学レベルでは、種々の試みが行われているが、NNINによる10週間の先端研究体験プログラム (REU: Research Experience for Undergraduates) が全米規模で行われている。一部では、K-12活動に呼応して、高校教員向けの体験、訓練プログラム (RET: Research Experience for Teachers) も行われている。一方、大学院レベルでは、ナノテク専門コースも少なくないが、専門分野を究めつつ、ナノテクに必要な学際性にも優れたPhDを養成するための先駆的な人材育成活動が2000年から全米に先駆けてワシントン大学で始まった。これはNSF-IGERT (Integrative Graduate Education Research

Traineeship) program) の下に展開される複合学位プログラムで、理、工、医の3研究科10専攻が参加するナノテクノロジーセンターが提供するオプションプログラムであり、付加的にナノテク研究訓練を受けることにより、主専攻の学位と組み合わせてナノテクノロジー学位を出す制度である。この試みは成功裏に継続されており、現在までに60名余りが修了または在籍中である。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。

なお、MRS (材料研究学会) ではほぼ毎年のように、ナノテクに関連した人材育成活動の報告とあり方を議論するセッションが開かれている。

欧州では第7次フレームワークプログラム (FP7、2007-2013) において人材育成に力点が置かれており、Nanoforum の主導によるナノテク高等教育綱領に基づく大学院ナノテク学位コースが修士・博士課程で数多く行われている。そのうち7カ国の23大学のコースが NEAT (Nano, Enabling and Advanced Technologies Post-Graduate Course Directory) のサイトに纏めてリストアップされており、大学院生は自分にあったコースをその中から選び出すと共に、企業からの求人にも活用されている。

その他のプログラムとして、グローニンゲン大学 (オランダ) のナノ科学トップマスターコースがある。ナノテクの幅広さと深さを併せ持つ物質科学中心の英語による少人数エリート教育研究訓練プログラムであり、毎年20名 (過半数が海外から参加) の優秀な学生を排出し、本コースはオランダで最優秀の評価を受け、世界的にも10指に入るプログラムの評価を受けている。また、学生がヨーロッパ内で移動するプログラムとして、パリ第6大学 (フランス)・ウプサラ大学 (スウェーデン)、ローマ第3大学 (イタリア) の Nanomat (ナノ物質科学) program が挙げられる、これはビデオ講義 (ライブ中継) が一部利用されている。

社会受容で最も重要なリスクや倫理に関する市民との対話や、教育として特筆すべきものがグルノーブル・ジョーゼフフーリエ大学 (フランス) の nanoSMILE 活動である。ここでは、リスクの理解、有害物質の計測と除去、健康への影響、環境への影響など市民対話を中心とした平易な教育サイトが開設されている。

アジア地域では、まず中国では、大型共用施設で要素技術を習得するサマースクールが開催されるなどの取り組みが見られる。台湾では、米国型の積極的な小中高一貫の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。

韓国では韓国科学技術院 (KIST) を中心に、教育省の支援を得てナノテクの理解度に関する調査、ナノテク製品の消費者モニタリングなどを通じて市民教育活動を展開している。ナノテク世界第3位を狙う韓国にとって、教育・社会受容活動をナノテクノロジー産業化の重要な課題として包括的な視点での取り組みが行われている。

韓国のナノテクに関する大学での教育重点化は著しく、2001年時点でのナノテク関連学科数は3つであったのが、2008年には59にも増加している。このような高等教育におけるナノテクの重点化は世界でも例をみない。

東南アジアのナノテク人材養成活動はまだキャッチアップの途上であるが、例えばベトナムを見ると、ハノイ、ホーチミンの両国家大学、ハノイ工科大学、ベトナム科学技術院などを中心にナノ計測・ナノ材料に関する研究施設を整備し国内での大学院教育に力を入

れると共に、海外の大学との連合大学院の開設（一部を国内で教育、先端研究部分は日本、フランスなど海外で教育するシステム）、独・仏・英・露など先進国の協力を得た国際標準の国際大学の設置、海外への国費派遣などを通じて、博士号取得者の若手のリーダー養成を積極的に行っており、ナノ人材のレベルは確実に上昇している。勉学意欲と国家を担う気概によって、希少金属活用、エネルギー・環境分野などのナノ理工学を中心として10年以内に相当レベルにまで達すると予想される。

また、アジアでは15の国際地域が参加するASIA NANO FORUMが活動を継続しており、その中で国際人材育成活動としてAsia Nanotech Campが2008年（日本）、2009年（台湾）、2010年（シンガポール・マレーシア）で開かれている。これは、各国の35歳以下の若手研究者・大学院生40名程度が参加し、10日間に亘り、大学、研究所、企業を訪問し、セミナー、ワークショップ、シンポジウム、見学訪問を組み合わせた活動を体験し、国際性を涵養しながら最先端教育を受けるものであり、これら活動における日本の積極的な貢献を通じてのパートナーシップの形成が将来的に重要と考えられる。

4.2.3.3 国際標準・工業標準

ナノテクノロジーに関する国際標準化はISO（国際標準化機構）におけるTC229設置（ナノテクノロジーに関する技術専門委員会、2005年）、IEC（国際電気標準会議）におけるTC113設置（電気・電子分野の製品及びシステムのナノテクノロジーに関する技術専門委員会、2006年）に呼応して、日、米、英、独、カナダが中心となって枠組みを構築してきた。TC229では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。現在は定常期に移行しつつあり、作成する標準の質を如何に向上させるかが議論になっている。また各国とも標準化活動を行えるリソースに限りがあることから重複を排除した効率的な開発を行えるように広範な組織とリエゾンを結んでいるが、情報共有の域をなかなか脱しておらず、いかに調整を図っていくかが課題となっている。

TC229には当初WG（作業委員会）が3つ設置され、WG1は「命名法」、WG2は「測定および特性記述」、WG3は「EHS問題」である。その後、2008年に材料の仕様を構築すべきとの要請があり、WG4「材料規格」がTC 229に形成された。ISO/TC 229およびIEC/TC 113は緊密に協力することを決定し、WG1およびWG2はJWG2という名の共同ワーキンググループを形成している。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・技術者や企業の半導体部門の専門家による体制が徐々に整ってきている。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、詳細なデータが公表されるにつれ、国際的にも日本のこれら材料に関する取り組みは広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）の議論の継続、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展開していくと思われる。

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。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ろう。

各国とも、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ており、中長期的な標準化の戦略策定は諸外国において必須と考えられている。

4.2.3.4 リスク評価、EHS

EHS や ELSI の課題は直接的に規制策と結びつく課題である。2000 年以降を俯瞰したとき、鉛フリーハンダの日米間の特許紛争（2000 年）、日本製ゲーム機器のオランダ税関での差し止め（2001 年）、等が従来の化学物質管理の課題に関わるリスクが顕在化した事例である。2003 年から 2006 年にかけて日本の企業は電子工業会を中心にこうした課題への対応を取ってきた。2006 年 7 月には RoHS 指令が施行され、2007 年 6 月には欧州化学物質規制所謂 REACH 規制の施行、2007 年 3 月の中国版 RoHS 指令施行と続いたが、今後さらに世界各国が独自の指令を施行する動きがある。アメリカの TSCA、日本の化審法といった化学物質規制の枠組みも含め、今後これまでの化学物質管理の枠組みでナノ材料を管理できるのか、新しい規制の枠組みが必要なのか、今後数年でその基本的な方向付けがなされるものと考えられる。

日本は当初、OECD における議論に集中し、その結果を待つ姿勢が強かったが、欧州議会や米国 EPA では、すでにナノ材料特有の規制が動きだしており、また、欧米の一部の事業者はこれらに先手を打つ形で自主的取組を実施している。そのため、EHS 研究は研究自体のクオリティだけでなく、製品の市場化（事業者）や法規制枠群への取り込み（行政）とセットで EHS 研究開発を実施しなければ、標準化に向けた議論に勝ち目はない。日本はリスク評価研究のクオリティにおいては、NEDO プロジェクト（産総研が実施するキャラクター化技術と有害性評価技術の組み合わせが世界をリードした）が OECD においても高い評価を受けており、熱心な産業界とのコミュニケーションも活発である。ただし、毒性学など EHS 関連の学術基盤層の薄さが気になるところである。また、日本は、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。一貫したコーディネータ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。

米国では、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。また、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。2011 年 2 月に発表された NNI の FY2012 予算要求では、EHS

関連の予算が前年度比 34% 増となっている。2011 年 3 月には、NNI の主導で EU との共同ワークショップ「US/EU bridging nanoEHS research efforts」が開催された。ワークショップでは、ナノテクにより実現された製品の環境・健康・安全に関する共同プログラムの推進や、プログラムに参画する欧米研究者間の実行機関の設立を目的として活発な議論が行われた。

ヨーロッパでも米国同様の認識の下、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推進し、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。

ただし、米国、EU は国家レベルでの取り組みはしっかりしているものの、企業での実効性については大きな成果が見えない。むしろ、日本の企業の方が意識は高い。

アジアにおける EHS・ELSI 研究は、確実にかつ急速に増えつつある。アジアでもこれまでの日本、台湾、中国に加え、韓国、シンガポールからの発表が増えてきている。ただ、それらの研究がリスク管理や標準化への展開といった具体的かつ戦略的位置づけがなされているのはアジアでは韓国、台湾、日本に限られる。特に韓国では EHS に対する国家予算の投資比率は 2010 年で 3% で 2020 年までに 7% に引き上げるとしている。日本にはこのような定量目標はない。台湾では、各省が連携を取ってこの問題に取り組んでいる。労働委員会、環境庁、保健庁が共同で EHS 問題に取り組む一方で、経済産業省が標準化と商業化を促進している。2009 年にはナノテクノロジー標準化委員会を発足させた。台湾は ANF(Asia Nano Forum) のまとめ役として ISO/TC229 と IEC/TC113 に参画しており、アジアにおける活動を整理している。全体の活動状況から、言葉の定義、計測・解析方法、EHS 問題への取組状況、材料・製品の規格等を半年ごとに一覧表に纏めている。これらが今後の標準化に繋がるものと考えられる。

4.2.3.5 ELSI・社会受容

ナノテクノロジーの ELSI（倫理的・法的・社会的問題）研究は、おもに欧州のテクノロジーアセスメント（TA）機関と米国の大学・研究機関などがリードしてきたが、ここ 2-3 年、日本、韓国、中国といったアジアでの ELSI 研究も進展がみられ、国際交流も盛んになってきている。日本では、日本学技術会議や第 4 期科学技術基本計画にもテクノロジーアセスメントが明記されている。実効性という観点からは、欧州における食品分野、医療分野の ELSI 活動が注目される。今後は、「研究活動」から「政府や企業、そして市民も含めた社会の意思決定」に反映されるような活動にまで、成長していくことが期待されている。

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、EHS や ELSI の課題への包括的な対応が図られてきた。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、ELSI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ている。

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取り組んだ。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、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。テクノロジーアセスメント(TA)の取り組みでは、JST-RISTEX「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・実践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、ナノテク応用に関するコンセンサス会議が開催されるなど、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。

4.2.3.6 国際プログラム・国際連携

米国はNSF、欧州はECが国家機関を代表して国際プログラムを展開しているのに対し、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15経済圏をメンバーとして非政治的な運営で活動を続け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、活動を続けている。

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。米国最大のナノテクノロジー研究開発拠点であるニューヨーク州アルバニーで、中東からの投資を受けた研究開発施設の設置が進んでいる。研究開発のグローバル化と投資のグローバル化が一段と進み、他国と比較して圧倒的な資金力で研究開発を推進してゆく点は注目される。また、DOD(米国防総省)が日本にオフィスを設置し、大学に最先端技術での共同研究、委託研究を打診している。特にロボット技術やナノテクノロジー技術に着目して打診が行われているケースが多いようである。公的研究機関では輸出管理規定において、軍事に関わる技術の研究は禁止されているが、大学や民間企業はそ

の対応については内規に拠っており、今後表面化してくる可能性がある。

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 (Interuniversity Microelectronics Center) 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。IMEC は、600 社もの企業パートナーと連携し、半導体に関わる研究開発を行っていることが実績の面でも目立っているが、従来のデバイス開発、プロセス開発を中心とした研究開発プログラムから、ライフサイエンス分野、エネルギー分野といったソリューションのテーマを掲げての連携プログラムを立ち上げている。ソリューションの将来像を FP7 のロードマップとリンクして、明確な出口戦略を描いていることが特徴である。企業連携においても、Intel と次世代のプロセッサアーキテクチャを含めた連携をベルギー 5 大学とともに開始し (2010 年 6 月)、システム志向を強めている。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。

アジアでは、中国が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。

近年の世界の国際プログラムの動向で最も大きな変化があったのは、日本の「つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー研究拠点 (TIA-nano)」であろう。世界の国際産学官連携拠点の潮流～オープンイノベーション、テクノロジーコンバージェンス (技術融合)、アンダーワンルーフ (共創)、社会・経済への成果還元～を織り込み、なおかつ日本の伝統的な強みである、材料・デバイスから装置、製品に到る「垂直連携」、「部材・装置ドリブン」、「性能評価、安全、標準化」を付加した、オープンイノベーションハブである。米アルバニー、仏 MINATEC (Micro and Nanotechnologies Innovation Campus)、ベルギー IMEC とも包括連携協定 (MoU) を締結し、国際的な連携を行うとともに、技術研究組合制度、連携研究体等の制度を駆使して民間とも連携した研究開発を行っているのが特徴である。

4.3 ナノテクノロジー・材料 総合比較表

		ナノテク・材料の応用																															
		グリーン・ナノテクノロジー																															
		太陽電池		燃料電池		人工光合成		光触媒・バイオ発電		バイオ燃料・ナリー		バイオリアファイ		キャパシタ		新電池、熱電変換素子		超電導利用		固体照明		軽量構造材料		高強度・耐熱構造技術		分離膜		環境浄化用触媒		リサイクル技術		環境調和・センシング	
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	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																																

		ナノテク・材料の応用																														
		ナノバイオテクノロジー										ナノエレクトロニクス																				
		ルイバイオマテリア		再生医療		システムDDS		ドラッグデリバリー		バイオデバイス		バイオセンサ		グロ分子イメージ		食品		ナノCMOS		カーボンナノエレクトロニクス		スピントロニクス		メモリデバイス		有機エレクトロニクス		近接場光技術・ナノフォトニクス		次世代ナノデバイス(超伝導デバイス)		
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	
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																															

(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]

		基盤科学・技術															
		新物質・新材料															
		ナノカーボン材	ソフト材料	ハイブリッド材料	高分子・プラスチック材料	融液材料	ラス材料	ナノ・メソポー	触媒材料	新型超伝導材料	磁性材料	低次元材料	設計	新材料探索・			
国・地域	フェース	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	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→

		基盤科学・技術																															
		ナノサイエンス												ナノ加工プロセス						計測・評価・解析													
		原子・分子操作	表面・界面(固)	表面・界面(液)	界面・表面(固液)	表面・界面(フ)	トライボロジ	自己組織化・自己集合(理論)	量子制御	強相関	レーシジョン	理論・シミュ	工技術	半導体超微細加工	ナノ転写技術	自己組織化技術	印刷技術	ナノ・マイクロ	MEMS・NE	MEMS加工技術	顕微鏡	走査型プローブ	電子顕微鏡	X線計測	放射光・	中性子	鳴法(μSR)	ミュオンスピン	回転/緩和/共	分光	超高速時間分解	標準(物質・計	
国・地域	フェース	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	X	→	○	→	○	→	○	→	○	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→
米国	研究水準	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	技術開発水準	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業技術力	X	→	○	→	○	→	○	→	○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
欧州	研究水準	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	技術開発水準	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業技術力	X	→	○	→	△	→	○	→	○	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→
中国	研究水準	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	X	→	△	→	○	→	X	→	○	→	△	→	X	→
	技術開発水準	X	→	△	→	○	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→
	産業技術力	X	→	X	→	△	→	X	→	△	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→	X	→
韓国	研究水準	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	技術開発水準	△	→	△	→	○	→	○	→	○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
	産業技術力	X	→	○	→	○	→	△	→	△	→	X	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
台湾	研究水準											△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
	技術開発水準											○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
	産業技術力											○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→

		関連共通課題											
		共用拠点・研究拠点		教育・人材育成		国際標準・工業標準		リスク評価、EHS		ELSI・社会受容		国際プログラム・国際連携	
国・地域	フェース	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	取り組み	○	→	△	→	○	→	○	→	○	→	△	→
	実効性	△	→	△	→	○	→	○	→	○	→	△	→
米国	取り組み	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	実効性	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
欧州	取り組み	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	実効性	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
中国	取り組み	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	実効性	△	→	○	→	○	→	X	→	X	→	△	→
韓国	取り組み	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	実効性	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→

5. ライフサイエンス

5.1 ライフサイエンスの特徴・トピックス

21世紀において、ライフサイエンスの包含する研究開発領域はますます拡大し、領域間の融合のみならず、物理学・化学・工学・人文社会科学など、異なる学術分野間でさらなる融合や境界領域の探索が進んでいる。一方、我が国における社会的、政策的背景としては、ライフサイエンス研究の成果を国民の健康の向上や地球環境全体の多様性、持続性の維持に資する社会技術に実装することが、より一層求められている。

このような潮流を踏まえ、ライフサイエンス分野では、2011年版の国際比較調査報告書を作成するにあたり比較調査対象となる分野ならびに中綱目の見直しを行い、それに伴い調査協力有識者について入れ替えを行った。特に、ライフサイエンスの進展に伴い、研究開発領域と社会との接点が拡大し、その成果が医療のみならず「健康」という範疇の社会実装にも繋がり始めている現状を踏まえ、「健康」分野を新たに設けた。また、「植物科学」分野に関しては、イノベーション創出をこれまで以上に意識した「グリーン・テクノロジー」分野と名称を改めた。さらに、研究成果の社会実装に関連して、研究開発の途上にある倫理的課題に関する合意形成や非専門家、一般市民がライフサイエンスに関する理解を深めていくことの重要性が高まっていることを受けて、新たに「倫理・ガバナンス・アウトリーチ」分野を加え、生命倫理、法規制から科学コミュニケーション、理解促進を含む分野の国際比較調査の成果も合わせてまとめることとした。こうして、2011年版は、「ゲノム科学・融合研究」、「脳神経」、「発生・再生」、「免疫」、「がん」と上記3分野の合計8分野から構成されている。

我が国の研究水準は、実験的アプローチ分野全体として米国に次ぎ、欧州先進諸国と比肩すると考えられる。発生・再生ならびに免疫分野では国際的にも特に高い水準にある中綱目も見受けられる。一方、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。また、各分野の著しい研究の発展と歩調を合わせた倫理対応が可能な体制作りも今後の課題である。これらの傾向は2010年までの国際比較調査から継続して指摘される結果となった。第四期科学技術基本計画の実施にあたり、これらの問題点の背景にある課題が解決されるよう、ステークホルダーが一体となってより一層の努力をしていく必要があると言えよう。

2011年版ライフサイエンス国際比較の作業を通じ、ライフサイエンス分野の研究開発が個別的・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傾向が、以前よりもさらに強まっていることが確認された。種々の生体情報の計測、分析、管理、共有と展開を軸にライフサイエンス分野内の異なる研究領域間の連携を強化し、さらにはライフサイエンス分野以外の科学技術開発分野からの参入を促進するにあたって、我が国の研究開発戦略や投資戦略にはまだまだ改善の余地があると考えられる。その際に、米国のみならず、欧州における先進諸国の取り組みや戦略についても可能な限り参考にすべきである。また、2011年調査においては、中国、韓国をはじめとするアジアの新興国に関する情報収集を強化し、多くの有識者からの情報にもとづいて、各国の進展状況がより詳細に把握できた。中韓の研究開発力の進展には目を見張るものがある他、インド、シンガポール、さらにはブラジルなど、多様な新興国の台頭が確認された。こうしたアジアをはじめとする新

興国の動きを考慮し、長期的視野に立った科学技術外交戦略を以って我が国のライフサイエンス研究戦略を立てていくことが今後も重要と思われる。上記のような世界的な潮流の中で、日本のライフサイエンスのあり方をグローバルな捉え方をしながら、かつ、持続的に発展させる道も急務に求められている。

最後に、本調査のとりまとめ時期において、東日本大震災という未曾有の大災害が我が国を襲い、福島第一原子力発電所における一連の事故、災害とともに、我が国における「災害と科学技術」のあり方を再考すべき機会が訪れた。すなわち、「災害を防ぐ科学技術」「災害からの復旧・復興に寄与する科学技術」としてのライフサイエンス分野の貢献とは何か、という視点にたった研究開発戦略の必要性について、認識を新たにした早急な取り組みが求められている。それと同時に、ライフサイエンス研究開発とその国家戦略自体がこれらの災害から受けている影響をどのように克服し、復旧・復興への道のりを歩むだけではなく、新しいグランドデザインを描けるのか、一方では、ステークホルダーとなる者一人一人が各人の立場にたった自覚を以ってともに考えることの重要性を指摘したい。

5.2 ライフサイエンスの各分野の概観

5.2.1 ライフサイエンス系の研究水準、技術開発水準、産業技術力の概観

21世紀において、ライフサイエンスの包含する研究開発領域はますます拡大し、領域間の融合のみならず、物理学・化学・工学・人文社会科学など、異なる学術分野間でさらなる融合や境界領域の探索が進んでいる。一方、我が国における社会的、政策的背景としては、ライフサイエンス研究の成果を国民の健康の向上や地球環境全体の多様性、持続性の維持に資する社会技術に実装することが、より一層求められている。

このような潮流を踏まえて設定された「ゲノム科学・融合研究」、「脳神経」、「発生・再生」、「免疫」、「がん」、「健康」、「グリーン・テクノロジー」、そして「倫理・ガバナンス・アウトリーチ」分野の調査の結果、以下のようなことが明らかになった。

我が国の研究水準は、実験的アプローチ分野全体として米国に次ぎ、欧州先進諸国と比肩すると考えられる。発生・再生ならびに免疫分野では国際的にも特に高い水準にある中綱目も見受けられる。一方、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。以下分野別に総括する。

ゲノム科学分野では、シーケンサーの高速化と解析単価の低価格化が進む中、特に疾患解析に関して、これまでの GWAS から所謂 **missing heritability** とされる疾患への寄与度が高い **rare variant** の同定へと関心はシフトしている傾向が明らかとなった。また、近年の医薬品開発は特定の標的分子に対して行われることが多く、治療応答性に関わるゲノム情報（バイオマーカー）開発などヒト試料の解析情報の需要は益々高くなっているといえる。我が国は大規模放射光施設、NMR 施設を擁し、構造生物学では施設面では国際的な競争力を有するが、ライフイノベーションへの展開においては創薬を柱とした旗艦的プログラムが必要であると考えられる。また、情報生物学分野をはじめライフサイエンス研究の多くの側面で異分野との融合が求められているにもかかわらず、我が国における人材育成が進んでおらず、一層の努力が求められることも指摘された。

脳神経分野では、分子生物学ならびに細胞生物学的アプローチが創薬などに結びついた例は少ないものの、脳-機械インターフェイスやリハビリテーション研究の成果を踏まえた日本発の医療機器開発が国際的にどのような競争力を蓄えて実用化を進めていけるか注目される。また、精神疾患研究は国際的にも関心が高く社会的課題解決型の研究開発の支援が必要な領域であるが、我が国においては、特に長期的な研究基盤の早期確立が重要であると言える。

発生・再生分野では、iPS 細胞の作出技術をきっかけとした iPS 細胞研究への巨大投資による一定の成果がみられているが、臨床応用に向けた課題が多く、その解決に向けた研究戦略の構築が今後重要になると思われる。欧米では基礎的な発生・再生科学研究の支援、そして幹細胞研究とゲノム科学領域との融合展開を戦略的に進めており、我が国の立ち遅れが懸念される。発生生物学においては異分野融合の潮流が国際的にも強くなっており、我が国にも関連する研究開発拠点の形成が進んでいるが、各種幹細胞研究への研究投資戦略と合わせて一層の強化策が求められる。

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、ヒトへの応用を見据えた産業化を推進する力が弱く、ベンチャー企業による基礎から応用への速やかな展開戦略を有している欧米の体制から見習うべき点は多いと言

える。また、新興・再興感染症のみならずバイオテロを考慮したワクチン開発が各国で進んでおり、我が国においても国際連携を視野に入れた取り組みの強化が求められる。

がん分野は米国の圧倒的優位な情勢に日欧が追従するという構図であるが、中国、韓国の発展が目覚ましく、今後我が国を追い抜く研究領域の出現も予想される。治療薬開発に向けて、通常の Phase I 臨床試験よりも早い Micro-dosing 指針が米欧で策定されており、我が国の研究開発もこれらの動きに対応した戦略的投資が必要であると考えられる。

健康分野は医療現場技術を中心とした 5 中綱目についての比較を行った。我が国は内視鏡技術、イメージング技術の研究に強みを持つものの、産業化においては他の技術開発も含めて欧米から劣勢になっている状況が明らかになった。また、予防医学や医療データベース整備等、ライフサイエンス研究の成果を国民の健康長寿達成に活用、還元するための仕組みづくりの重要性が他国の取り組みから改めて確認された。

グリーン・テクノロジー分野は、米国の圧倒的優位を欧州が追っている。我が国は基礎研究段階においては欧米と互角な水準にある領域も多いが、技術開発、産業技術での劣勢が目立つ。また、この分野全般において、中国、ブラジル、オーストラリア、インドなど広大な国土を持ち経済発展が進んでいる背景を持った新興国の進展が目覚ましく、我が国の当該分野の国際連携戦略に今後影響を与えてくることが予想される。

最後に、倫理・ガバナンス・アウトリーチ分野に関しては、対象とする研究開発分野の進展段階に依存して、特に倫理的課題や法規制の設置には差があるものの、総じて欧州（特に英国）は科学的先見性と EU 加盟国間の宗教的、文化的背景のバランスを取った法規制を大枠で設け、より細かい規制の設置、運用は各国の裁量にゆだねている傾向にある。米国においては、科学的先見性に対応した政府レベルでの状況分析は迅速である一方、研究支援の体制（連邦政府による支援と州政府や民間財団の助成など）に依存した実践的な倫理対応が主体で、研究開発の自由度もこれに大きく左右される。我が国では幹細胞研究のように、指針、法規制の見直しが近年進んでいる分野や、脳神経、合成生物学のように、国レベルでの検討がまだ進んでいない分野も多い。欧米諸国の先例に関してより詳細な評価分析を踏まえつつ、研究開発を必要以上に妨げず、かつ一般市民の理解を得られるような合意形成を経た研究開発の倫理指針、法規制の制定を行っていく戦略を早急に整えていく必要があると考えられる。

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ことが、2010年までの国際比較調査から継続して指摘される結果となった。その理由としては、人材育成力の脆弱さ、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、科学の発展と法規制の対応との間の不適合等が指摘されているほか、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挙げられたこともこれまでと同様である。第四期科学技術基本計画の実施にあたり、これらの問題点の背景にある課題が解決されるよう、ステークホルダーが一体となってより一層の努力をしていく必要があると考えられる。

2011年版ライフサイエンス国際比較の作業を通じ、ライフサイエンス分野の研究開発が個別的・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傾向は以前よりもさらに強まっていることが確認された。具体的には、ゲノムをはじめとする生体情報を基軸に、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研究が展開し

ていくシステム生物学や、物質から生命体を構成する要素である RNA や細胞などの作製を試みている構成（合成）生物学などに代表される研究開発の進展が著しい。脳神経分野においても階層性を越えた研究手法の導入の傾向が確認され、疾患研究においても、個々の疾患を対象とした統合的なアプローチがおこなわれつつあり、モデル動物等で得られた知見をヒトを対象とした研究へと展開していく傾向がみられた。また、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、階層性を以って進化するライフサイエンス研究を支える基盤であることも明らかである。このような、生体情報の計測、分析、管理、共有と展開を軸にライフサイエンス分野内の異なる研究領域間の連携を強化し、さらにはライフサイエンス分野以外の科学技術開発分野からの参入を促進するにあたって、我が国の研究開発戦略や投資戦略にはまだまだ改善の余地があると考えられる。その際に、米国のみならず、欧州における先進諸国の取り組みや戦略についても可能な限り参考にすべきである。例えば、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いる。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。この傾向は経済危機やオバマ政権発足といった社会の変化を経ても一貫していることが今回の調査でも確認された。一方、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、FP8 に向けた検討が 2010 年から開始されるなど、継続が必要な基盤的研究開発については、一国単独ではなく域内や国際的な枠組みにより維持している。我が国も限られた研究予算の中でどのような「選択と集中」の戦略を取ることが科学技術分野の国際競争力の維持・強化に繋がるか、より一層の情報収集と分析の重要性が増している。

2011 年調査においては、中国、韓国をはじめとするアジアの新興国に関しての情報収集を強化し、多くの有識者からの情報にもとづいて、各国の進展状況がより詳細に把握できた。中韓は始動的な段階から戦略的な日米欧の追従に移行しはじめた研究分野もゲノム科学、がんなどにみられてきた。インド、シンガポール、さらにはブラジルなど、多様な新興国の研究開発戦略の多くが欧米を手本としており、今後の国際連携のあり方を考える上で、考慮すべき点である。我が国がアジアの科学技術の発展的展開において、将来にわたりイニシアチブを発揮していくためには、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科学技術外交戦略が肝要であろう。

5.2.2 ゲノム科学・融合分野

現在のライフサイエンスは予め仮説を提示して実験的に実証する従来型の研究戦略から、大量の生命情報からルールを発見・抽出するデータドリブンの研究戦略への大きなパラダイムシフトに直面している。本調査では、ハイスループットバイオロジーを支える基盤技術として、シーケンス解析を中心としたゲノム解析、プロテオミクスやイメージング、計算科学等の他のオミックス研究分野までも含めた融合分野の国際比較を行った。融合が意味するところは異なる研究分野の連携に加えて、ライフイノベーションの実践を念頭に

置いた産官学の連携をも含む。

米国では Francis Collins が 2009 年秋に NIH の所長に任命されて以降、ゲノム研究への政府投資が増加していることもあり、1000 人ゲノムプロジェクトをはじめ、パーソナルゲノム情報にもとづく疾患解明を目指す研究が急速に進んでいる。欧米では政府投資のみならず、さらに Howard Hughes あるいは Wellcome Trust 等の財団からのファンド、Broad 研究所のように資産家からの寄付によって支えられており、政府投資がほとんどである我が国との違いが顕著である。欧州では各国とは別に EU として複数国が連携するプロジェクトへのファンドを行っている。

疾患解析はこれまでのゲノムワイド関連研究 (GWAS) から所謂 missing heritability とされる疾患への寄与度が高い rare variant の同定へと関心はシフトしつつあり、米国を中心に大規模エクソーム解析をはじめ次世代シーケンサーの利用が進んでいる。一方、独自のシーケンス技術で受託解析を行うベンチャー企業も存在し、既に 100 万円を切る価格でヒト全ゲノム解析を提供している。欧州には英国の Sanger センターを除いて大規模ゲノムセンターはなく、100 台以上の次世代機を導入した Beijing Genome Institute (BGI) は世界最大級のセンターとして注目されている。現行装置は大量の配列情報は生み出すが、リード長、所要時間の点でさらなる技術開発が必要である。2004 年頃より NIH が 1000 ドルゲノム技術開発として投資してきた萌芽的技術がいよいよ実用化されつつある。ナノポア技術を応用した一分子シーケンシングは低コスト、短時間を実現しうる技術として期待されている。プロトタイプ of 技術開発力では英国が強く、実用化する段階では米国のベンチャー企業が大いに貢献している。

近年の医薬品開発は特定の標的分子に対して行われることから、治療応答性に関わるゲノム情報 (バイオマーカー) 開発などヒト試料の解析情報がますます求められている。米国では NIH が改組を行ってトランスレーショナル研究を推進する研究所を設立した。シンガポールは数年来海外有力研究者の招聘、海外教育研究機関との連携などライフサイエンス研究に積極的に投資を行ってアジアでのハブの一つとして、企業誘致などの成果を上げつつあったが、基礎研究から実用化研究へとシフトしつつある。

我が国では GWAS による疾患解析では我が国は民族的に比較的均質な構成であることが集団遺伝学的解析に有利であったことも幸いし、HapMap 計画以来のヒト多型解析プロジェクトにおいて common variant に起因する多くの疾患関連遺伝子座の同定において一定の成功をおさめた。技術革新が数年単位のサイクルで起きるため、2007 年頃から実用化された次世代シーケンサーの導入に関しては従来の日本型のプロジェクトサイクルでは臨機応変な対応がなされず、数十台のシーケンサーを擁するような研究拠点は我が国には幸か不幸か設置されていない。メディカルゲノム解析は医療応用からも喫緊の課題である一方、最新のシーケンス技術は 1 ランで 1 テラベース (ヒトゲノムの 300 倍) の情報を産出可能となり、シーケンシングはもはやボトルネックではなくバンキングや情報解析を含めた体制が必要である。

我が国は大規模放射光施設、NMR 施設を擁し、構造生物学では施設面では国際的な競争力を有するが、ライフイノベーションへの展開においては創薬を柱とした旗艦的プログラムが必要である。製薬企業自体が社内でリード化合物の開発から手がけることはリスクも高いことから、アカデミアあるいはベンチャー企業が開発した化合物あるいは標的分子を導入する傾向が顕著である。今後急速な発展が求められるのは大量計算に基づいた分子

構造設計、ケモジェノミクスであり、ペタコンに代表される計算機性能が向上し、アカデミックセクターの役割が一層増している。

国際連携としては、がん分野では国際がんゲノムコンソーシアム、がんゲノムアトラス（米国）によるがんゲノムシーケンシングが数十のがん腫について進行中である。我が国は肝細胞がんの解析を担当して成果を上げているが、解析コストの低下により各国ともに加速が予想される。エピゲノム分野でも次世代シーケンシングの恩恵を受けて、ヒストン修飾、DNAメチル化、トランスクリプトーム、クロマチン構造などのエピゲノム標識情報を網羅的に取得可能となり、米国では従来の ENCODE に加えて 2009 年より NIH Roadmap プロジェクトとしてエピゲノム解析が進められているが、米国と EU の主導で国際エピゲノムコンソーシウムが設立され、我が国も参加の方向で検討が進められている。プロテオミクス分野も 2020 年くらいまでに全てのタンパク質発現情報の取得を目指して Human Proteome Project が始動している。

大量情報処理に関わる人材不足およびコスト増加は世界各国共通の悩みであり、我が国でも十年以上議論されているにもかかわらず、ライフサイエンスの根幹を揺るがしかねない課題になりつつある。米国 NCBI でさえ予算不足による SRA (short read archive) データベースのゲノムデータ受付停止をアナウンスしており、データ保管のコスト問題が急速に顕在化しつつある。今後の大規模ゲノムプロジェクトではデータ産生にかかるコストのみならず、データのマネジメント、解析や統合に必要なコストは計算機への投資も含めて全体予算の半額以上を想定する必要がある。クラウド技術の利用は数年来唱えられているもののデータの転送技術自体もボトルネック化しつつある。海外では計算機メーカーではなく、Amazon、Google、Microsoft などの情報企業が参入しており、我が国も計算機メーカー、政府投資に依存するのみではなく実用化も見据えて商用プロバイダーとの連携も必要となる。

プロテオーム、メタボローム分野の解析装置の開発では国内機器メーカーの開発力が従来に較べて低下している。ハードウェアの性能に加えて解析ソフトの開発力などが全体としての性能評価につながることから、利用者の立場からの機器開発、国内市場が縮小する一方でのグローバル化が求められている。

すべての分野で米国の優位性が目立っているが、BGI に代表されるように近年中国の台頭が顕著であり、多くの外資系製薬企業が日本国内の研究所を閉鎖して拠点を中国に移したことから明らかである。以前からも指摘されていることであるが、情報生物学分野をはじめ各分野で異分野との融合が求められているにもかかわらず、人材の流動性が低い我が国では人材育成が進んでおらず、ドラスティックな構造改革が求められる。一例としてシステム生物学分野は黎明期には我が国がリードしていたが、実験と理論の融合した研究室を増やさねば、日本は次世代ライフサイエンスの主戦場で諸外国に後れを取ることになりかねない。

5.2.3 脳神経分野

脳神経分野においては、近年の分子生物学分野の目覚ましい発展、神経活動の計測・記録・可視化手法の技術革新、ヒトを対象とした脳神経研究における非侵襲的アプローチの多様化、リハビリテーションをはじめとする医療機器開発研究の脳神経分野への関与の拡

大、そして社会的課題（少子高齢社会におけるアルツハイマー病とその他の認知症への対策、子供の健やかな発達を支える神経発生・発達研究と成果の教育・養育への応用ニーズ、生産年齢人口におけるうつ病や自殺対策等）への寄与が期待される研究領域の拡大、など、2000年代に入り大きな変遷がみられている。また、これらの脳神経分野の研究開発を支える基盤としての、インフォマティクス、データベース、バイオバンク、バイオリソース等の人的、制度的整備についても各国において精力的に進められている。

このような潮流を踏まえ、2011年版における大改訂に伴い、JST-CRDSでは、当該分野に関する中綱目の見直しを行い、14綱目を設定した（なお、神経免疫、腫瘍性脳疾患についてはそれぞれ「免疫分野」「がん分野」に対応中綱目が設定されている）。特に、脳神経系の疾患や障害に関する綱目の細分化によって、臨床研究、橋渡し研究分野の現状の詳細な把握に取り組んだ。また、研究支援基盤や新規技術開発に関する中綱目も新たに設けた。調査には約40名の外部有識者の協力を得た。その結果、以下のような研究開発の傾向が明らかになった。

基礎研究分野は7つの中綱目が設定された。「分子神経科学分野」に関しては、個体レベルでの機能分子の発現・制御機構、遺伝子変異などによる分子機能の異常と病態との関連解明、機能分子の構造機能相関解明のための融合的アプローチ、さらにはシステムズバイオロジー研究へと多様な展開が見られた。「細胞神経生物学」に関しても、「神経回路の機能と構造」に関しては、麻酔下の小動物における神経細胞の発火活動を観察する段階から、無麻酔かつ特定行動中の小動物における大脳や小脳の機能的なネットワーク動態の研究や、特定の神経回路や細胞の機能を操作した遺伝子改変動物の導入など、脳機能のネットワークレベルでの本質的な解明に迫る技術革新が進んでいることが示された。これらの研究開発の潮流は「感覚・運動系」においても顕著な傾向として示されていた。「発生・再生と可塑性」に関しては、米国の圧倒的な研究推進力が明らかになった一方、アジア地域の研究開発が精力的に進んでいることも示された。我が国では、霊長類疾患モデルを用いた神経再生研究、神経再生、可塑性の視点を取り入れたBMI技術の臨床応用、さらには霊長類の遺伝子改変技術の開発などの躍進が見られている。「自律機能、内分泌の調節」に関しては、日米欧に比肩してブラジルが高い国際競争力を有することが特筆される。また、経済発展の著しいアジアの国と地域においては、我が国同様、睡眠時間の著しい減少、夜型化が問題となっており、日本発の成果が活用される可能性が見込まれる。「高次脳機能・行動の神経基盤」に関する研究潮流は、情動・社会性・報酬などのテーマに着目した学際研究や発達障害や神経・精神疾患の研究など臨床的側面を含めた研究や計算論脳科学との融合研究が隆盛であることが明らかになった。

臨床系研究分野は以下の4つの中綱目を設定した。まず、「アルツハイマー病とその他の認知症」に関しては、軽度認知障害(MCI)、あるいはアミロイド病理発症後の無症候期(preclinical AD)を対象とする先制医療的超早期治療に向けた研究開発の指向性が確認された他、早期治験を成功させるための画像・バイオマーカーによる評価指標づくりを目指すADNI研究の進展が示された。その他の「神経変性疾患」研究においては、幹細胞培養、プロテオームやトランスクリプトーム解析、分子イメージング、次世代シーケンサー、GWASなどによる病態解明の進展が顕著に示された。「精神疾患」に関しては、脳・心理・社会科学などの各分野において発展を遂げているが、社会ニーズにもとづいた精神疾患研究の重要性が強調されてきていることが明らかになった。「広汎性発達障害」に関しては、

世界的な関心が高まっており、自閉症に関する生物学的な研究が急速に進展している。米国が絶対的な優位を確立しているが、1) 標準的診断法の確立とライセンス供与、2) 遺伝子研究のデータベースの構築と恒久的な管理、3) 継続的な研究体制の支援、が今後の発展に必要と考えられる。

その他、領域縦断的な研究基盤として3つの中綱目を設定した。「計算論・ニューロインフォマティクス」に関しては、我が国は全般的に人材層が薄く、その育成、確保が急務であることが明らかになった。国際的には、INCFが実施している参照脳アトラス作成、神経解剖学オントロジー策定、アレン脳アトラスミラーサイト、データベースやツールのサイト設置、投稿論文のピアレビュー効率化などに、日本の一層の貢献が求められている。「新規技術・他分野との連携、融合」に関しては、侵襲・非侵襲型のBMI/BCIの開発を中心に、我が国が急激に欧米を追い上げている現状が示された。「ブレインバンク・ヒト脳組織リソース」に関しては、個々の疾患や国・地域に依存したブレインバンクをネットワーク化し、研究にもとめられるサンプルサイズの拡大傾向に対応する動きが世界的に活発化していることが明らかになった。

研究水準については、テーマ毎のばらつきがあるものの、全般的には日米欧が拮抗しており、量的には米国が他国を圧倒している現状が明らかになった。ただし、ゲノム解析研究と死後脳解析においては米欧と日本の差が大きいと言える。技術開発力、産業技術力については、欧米の各国において強みや伝統を持つ企業の存在が示された。我が国は、細胞内分子イメージング分野の技術開発などに強みを持つことが分かったものの、今後の国際競争力の維持においてはより一層独自性を活かす戦略が必要とされるだろう。また、BRICS（ブラジル、ロシア、インド、中国）の人材流動の変化に注意が必要であることも明らかになるなど、長期的な視点での基礎から臨床への橋渡し研究や迅速な産業化への支援を視野に入れた研究振興策の立案が求められている。

我が国は、基礎研究の成果を産業へと応用、展開する力の不足が指摘されて久しいが、2010年時点においてもその課題は満足に解決されておらず、脳神経分野においても、より一層の対策が求められる。特に、次世代の研究人材の育成や、計算科学等の分野からの人材の参画など、人的資源の確保のほか、研究開発のリソースとなる、生体試料の適切な収集、確保、分配を実現する体制の構築は急務と考えられる。科学技術展開の世界的潮流の中にあって、我が国の神経科学者が国際社会におけるイコール・パートナーとして、ともにその潮目を読み、またその激流の行く先を定めるべき理念的探索の段階から関与し、願わくばその流れを主導することが出来るような、国際的なネットワークの一員となるような意識を持って行動することが望まれる。

5.2.4 発生・再生分野

生物学・医学領域において「発生・再生分野」研究は重要領域となりつつあり、「幹細胞」研究は、再生医療の担い手として脚光を浴びている。ことに、2006年、日本発のinduced Pluripotent Stem (iPS) Cellの作出は、細胞分化のリプログラミング研究及び臨床、応用において、大きなインパクトを与えた。わが国では、この発見以来、iPS研究に大きな予算が計上され、CiRA新設など今までに類を見ない支援があった。特に、iPSの臨床応用にかかる期待は大きく初動は早かったと考える。事実、ヒトiPS細胞に由来する神

経細胞や心筋細胞の分化誘導研究は、薬剤の副作用検出や創薬への応用を可能にしつつある。しかし一方、iPS 細胞由来の細胞移植は、ゲノムの不安定性や腫瘍形成性のためなお多くの検討が必要と考えられる。日本のみならず中国や韓国でも臨床応用に重心がおかれ、いまだブレークスルーは得られていないのが現状である。これに対して、ハーバード大学やMITなどでは、細胞リプログラミングの機構解析やリプログラミング分子が関連する希少疾患などでの iPS 解析を進めて成果を挙げており、より戦略的な研究の進め方をしているといえる。さらに、iPS 細胞を含めた幹細胞研究に、次世代型シーケンサーを用いた網羅的なゲノム、エピゲノム研究が展開されていて、わが国ではこの分野の研究では大きく立ち遅れたといわざるを得ない。カリフォルニアや Johns Hopkins 大のみならず、北京ゲノム研究所 (BGJ)、シンガポールゲノム研究所 (SGI) などにみられる共同利用可能な中核的研究所の再立ち上げが不可欠であろう。今後、バイオインフォマティクスの研究者を養成しつつ、細胞分化を俯瞰的にみる研究が必要とされる。

神戸理研の CDB をはじめとして、わが国の発生生物学研究は、高い評価を得ている。ことに生殖幹細胞の同定、分化、そのニッチにおいて先進的研究成果を収めている。また、生殖系列のエピゲノム研究は国際的にも比肩しうるものである。日本発生生物学会がフランスの学会と Joint Meeting をもち、国際化を図っていることは高く評価される。

造血幹細胞、神経幹細胞などにおいても強い研究が見られるが、これら生殖幹細胞あるいは組織幹細胞の研究が、iPS/ES 細胞研究とは区別されたプログラムで支援されるのは問題がある。アメリカカリフォルニア (CIRM) やカナダオンタリオ (OSCI) の幹細胞研究プログラムは、iPS/ES 細胞研究と組織幹細胞研究が並行し、また発生学や細胞生物学研究と臨床研究が連携している。各幹細胞研究間での意見交換は相補的と考えられ、iPS に特化したプログラムは見直されるべきである。従来より研究領域を細分化して専門化する傾向が日本にはあり、融合科学の促進を阻害していると考えられる。科学研究費とは異なる JST の戦略的研究 (CREST やさきがけ研究) では、分野の融合をより強く意識するべきであろう。医・生物学と工学・数学の共同研究も必ずしも容易ではなく、スタンフォード大学 Bio-X などのように共同研究の場を積極的に用意することが重要である。WPI プログラムにおける京大 (物質と細胞) や阪大 (免疫学とイメージング) の取り組みは高く評価される。

発生・再生研究の応用をはかるため、橋渡し研究が強く切望されて久しいが、いまだ軌道に乗っているとはいえない。わが国では、欧米、シンガポール、韓国との大きな違いとして、サンプルを含めた臨床データの集積が不十分であることが挙げられる。一因として臨床における研究支援者の数が少ないことに起因すると考えられる。また、韓国・台湾などと比較しても、わが国の臨床試験・治験数の低下は顕著である。さらに、ベンチャー企業の少なさも、日本の橋渡し研究の大きな課題といえる。いわゆる “Physician Scientist” の数が著減している現在、臨床医学研究に研究費の支援をしても根本的な解決にはならず、臨床研究体制を根本的に再構築していく必要があると考える

さらに、ハエ、線虫、小型魚類などのモデル生物の研究が、発生学の基礎研究に与えたインパクトは計り知れないものがあるが、出口志向のなかでこれらの研究を軽視して、ヒト細胞研究にのみ集中するのは必ずしも賢明ではない。これらの基礎研究から優れた臨床応用がなされる可能性は十分にある。事実、ハーバード大などではゼブラフィッシュを用いたケミカルバイオロジーによる創薬などは、そのまま抗がん剤の開発に繋がる可能性を

みせている。このように基礎研究も、生物学・薬学・医学・工学を結ぶ視点が重要であり、またそれゆえに研究支援を得ることも可能になる。2010年、シンガポールでは基礎研究の産業応用を重要視するシステムをより明確化し、多くの議論を呼んでいる。

2011年3月の東北大地震・津波及び福島原発の重大事故に伴い、わが国は未曾有の困難に直面している。復興には恐らく数年を要すると考えられ、研究費全体の維持は望みがたい。この厳しい状況の中では、若手研究者の芽を摘むことなく、次世代に研究を継承していくことが肝要と考える。選択と集中が今まで以上に必要であり、国の内外における相補的な連携・共同研究により新しい局面を拓くことが可能である。海外留学者の減少を憂慮して2009年から、文科省では若手研究者の留学支援プログラムが開始されており、これの効果も注目されるところである。

5.2.5 免疫分野

免疫学分野は、日本の自然科学のなかで、世界的に極めて評価の高い分野である。論文の引用度を指標にした場合、日本の基礎免疫学は、ほかの分野に比して群を抜いている。しかしながら免疫学の個々の研究分野の国際比較では研究水準、活動度に差がある。日本の免疫学が、すべての研究分野を万遍無く網羅する必要はないが、基幹となる分野については今後とも高い研究水準を維持し、また、独自性の高い研究、研究のシーズを育てていく努力が重要である。さらに、基礎免疫学のみならず、ほかの分野との学際的研究、また実際のヒトの免疫疾患の克服、ヒトの免疫応答の理解と制御に向けた基礎、展開研究を支援していく必要がある。

近年の活発な基礎研究により、免疫応答の細胞レベル、分子レベルでの理解は着実に進んでいる。しかしながら、実際のヒトの免疫疾患の治療、予防、またヒトの生理的、病的免疫応答の制御については、これを可能にする有効な戦略が取られているとは言えない。例えば、移植医療において、FK506などの免疫抑制剤の開発により、移植直後の急性臓器拒絶のコントロールは可能となったが、慢性拒絶については未だに有効な治療手段がない。急性拒絶の抑制法を延長して使っているに過ぎないともいえる。がん免疫については、腫瘍抗原を用いたがんワクチン療法の有効性を高める努力に加えて、がん抗原特異的T細胞による細胞療法、免疫系の内在性免疫制御機構を標的とした免疫制御法の開発が重要であろう。C型肝炎ウイルス、HIVなどによる慢性感染症、アレルギー疾患や自己免疫疾患などの慢性炎症性疾患の治療、予防についても、免疫応答制御の生理、病理の理解に基づくより有効な新規治療法、予防法の開発が求められている。

このような背景のもと、本分野の国際比較と注目すべき動向の抽出を目的に分野を11の中綱目に分け（うち4つの中綱目、「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」は基礎研究という位置づけをした）、それぞれの分野の第一線の研究者に調査を依頼した。同時に産業界に籍を置く研究者に産業技術力に関する調査を依頼した。依頼した研究者は期待に違わず、慎重かつ精緻な比較を行い、かなり信頼のおける調査結果が得られたと考えられる。得られた調査結果を概観し、以下のような点が浮かび上がった。

- 1) 研究水準では、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) しかしながら、ヒトへの応用、シーズを育てて独自に産業化する力に劣る。そのために必要な臨床試験を容易にする環境整備も遅れている。
- 3) 特に、ヒトの免疫学は、ヒト高 IgE 症候群の原因解明など日本発のすぐれた研究成果があがっているものの、研究のレベルとして米国、欧州にかなり後れを取っている。研究水準の高いヒトの免疫学を強力に推進することが求められる。特に、医師研究者の育成は重要である。またヒト由来マテリアルを容易に研究に使用できるルール作りが必要である。
- 4) 基礎研究成果に基づく開発研究でも、抗体医薬に本邦独自のものが 2、3 開発されているが、米国とは圧倒的な差がある
- 5) サイトカイン研究では、エリスロポエチンや G-CSF の開発に大きな貢献をした一方、多くのサイトカイン、レセプターなど関連分子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。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。
- 6) 抗体医薬に関しても抗 CCR4 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。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。
- 7) 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。
- 8) 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の低さが指摘されている。
- 9) 中国は従来それほどの貢献はなかったが、米国で力をつけた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ようである。韓国も臨床研究に投資しているが、基礎研究が着実に伸びてきているようである。
- 10) ワクチン開発に関しては、新興・再興感染症のみならず、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。
- 11) がんは国民病となりつつあるが、がんの免疫療法への期待が高まりつつも、基礎研究、臨床研究として十分その期待に答えていない。がんワクチンの開発のみでなく、如何にがん細胞に対する免疫応答を惹起、亢進させるか、その戦略を集約的に考える時期にきている。
- 12) 米国、欧州が国際的共同研究組織、例えば移植免疫、自己免疫における Immune Tolerance Network、がん免疫における Cancer Immunotherapy Consortium など を立ち上げて免疫学の研究を推進しようとしているが我が国は取り残されている。

本分野では、世界をリードしている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。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。

5.2.6 がん分野

がん分野の国際技術力比較を行うにあたっては6つの中綱目に分類した。すなわち(1) 発がん、(2) がん細胞の特性と悪性化機構、(3) 疫学・コホート研究、(4) がんの診断(5) がん治療であり、(4)はさらに、1. イメージングと2. ファーマコゲノミクス、(5)は1. ケミカルバイオロジー、2. 分子創薬・分子標的、3. 遺伝子治療・免疫療法、4. 放射線・粒子線とに分けて比較を行った。

詳細は中綱目ごとの比較に譲るが、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に分野で活躍・成功しており、またNIH/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。

5.2.7 健康分野

今回、ライフサイエンス分野の国際比較に健康分野が追加された。これは、ライフサイエンス領域におけるイノベーションが強く期待されていることを反映している。進歩の著しい、ゲノム・機能分子、免疫、がん、脳・神経、発生・再生分野等、基礎的な学術領域は、健康研究を通じて画期的な診断・治療法の開発が待たれているといえる。そのため、本年は、医療現場技術を中心に5中綱目について、国際比較を行った。

第一に、先端医療技術分野全体における国際比較を試みた。医療現場では、診断機器のさらなる開発が求められている。核磁気、放射線、光学など様々なモダリティがあるが、内視鏡技術は従来の軟性鏡の開発以来、日本が先駆的な業績をおさめたものが多く、最近もカプセル内視鏡など開発が進められている。放射線、核磁気共鳴、超音波技術などのイメージング技術においても日本の技術力は優れているものの、産業化という点では欧米に比較し劣勢に立たされている。進展がめまぐるしい、外科手術低侵襲分野では別途、中綱目を立てた。産業用ロボット技術の世界的シェアからみてもアクチュエータ・センサ・制御系の小型化・高精度化、要素技術などにおいて日本に抜きんでた研究実績があるが、手術支援ロボット da Vinci の例もあるように製品化・市場展開という点で米国に後れを取っている。しかしながら強力な手術支援技術のシーズを多く保有しており今後の発展が期待される。カテーテル技術は遠隔ナビゲーションなど開発・市場ともに多くを米欧が占めており、日本の参入が非常に難しい。

次に、健康分野のひとつの注力すべき領域である、予防医学の観点から中綱目を設定した。近年では、患者に対するモニタリングおよび介入プログラム（疾病管理）の開発から、リスクがまだ顕在化していない層の健康状況を把握し、消費者全体に適用するソリューション開発が世界の潮流となっている。日本は、40年前より健診が制度化され国民全体に普及していることや、08年からは予防介入が医療保険制度下で義務化されたことから、医療保険者と連携したソリューション開発が強みを増すと考えられる。予防分野では一般に消費者は影響のない段階でサービスの必要性を感じていないことから、本人の疾病リスクや生活習慣改善に意識を向ける動機づけプログラムが不可欠であり、動機づけが進むと行動変容が生じ、プログラムへの参加（商品購買）が促される。

創薬技術関係では、進展著しいRNA創薬、ドラッグデリバリーに着目した。薬効成分であるRNAとそれを送達するDDS双方の権利化と実用化研究が必要であることが浮き彫りとなった。既にsiRNA領域では、医薬品としての実施に必要な基本特許のほとんどの知的財産権は米国企業に握られており、挽回は容易ではないとの現状認識である。ナノDDS分野は、我が国が得意とする高分子化学や分子生物学・粒子設計の研究領域を統合した領域であり、高い研究レベル維持している一方、産業化された顕著な成果が得ら

れていない。今後、RNA創薬とナノDDSを結びつける研究枠組みを作ることによって、トランスレーショナル研究の成功と産業化が期待される。

最後に、日々爆発的に増え続けるライフサイエンス情報の健康への活用視点から医療データベースについてとりまとめた。大規模医療データベースが実際に構築されている米国では、主に行政が医療政策上の判断をするために用いたり、研究者が研究を行う材料として用いられている。また、レセプトデータを収集してデータベース化することで、医療安全評価、医療経済研究等に用いる等の活用例が確認された。国内においては官民を含めて大規模医療データベースの構築がほとんどなされていないが、構築が進んでいる上記、米国はじめ、力を入れ始めしている韓国・台湾に遅れをとらないようナショナルデータベースを構築する必要がある。

5.2.8 グリーン・テクノロジー分野

グリーン・テクノロジー分野における日本および各国の研究開発および技術力の現状について概観した。対象としたのは、「環境修復、多様性利用」の観点からバイオマス生産、生物多様性利用、環境修復、「資源・エネルギー生産」の観点からバイオ燃料、化成品原料、医薬品原料・酵素等、「食料生産」の観点から作物増産技術、持続農業、機能性作物、のそれぞれに係る研究開発である。

全体として言えることは、我が国は、基礎研究分野では世界的に見て極めて高い水準ある一方、技術開発や産業技術力については欧米に先行されているということである。同時に、多くの分野で中国の躍進がめざましく、我が国の技術開発の脅威になりつつある姿も明確となっている。また、ブラジルやオーストラリアなど、広大な国土を有する国々が、バイオ燃料やコムギの生産などで存在感を高め、研究開発にも積極的であることが明らかとなっている。以下、「環境修復、多様性利用」、「資源・エネルギー生産」、「食料生産」の3つの分野について概況を記す。

「環境修復、多様性利用」分野は、研究、技術、産業の面の全てで、米国の優位性は圧倒的である。ついで欧州がこれを追いかけるという状況である。日本は、植物生理分野を中心として基礎研究レベルは平均して高いが、これを応用に展開する産業面での遅れは否めない。中国は、経済力を背景に研究を協力を推進しており、植物の研究に於いてもその発展ぶりは顕著である。数年後には、我が国の研究レベルに追いつくことは間違いなく、更に追い越す勢いである。ただ、中国の国内の研究レベルの格差は深刻で、今後国内の研究教育がどのように進むか注視したい。韓国も研究レベルアップが図られ日本のレベルに近づきつつある。この他の特筆すべき国はインドである。経済成長をバックに、様々な企業が育っており、この分野の特許数も非常に多く、先進国との連携研究も盛んなようである。今後、注目すべき国と考えられる。

「資源・エネルギー生産」分野は、バイオ燃料生産等のバイオマス関連の基礎研究では、DOEを中核に莫大な予算を投じる米国が世界をリードしている。バイオベンチャーも活発で産業展開も含めてこの分野の強さは揺るぎない。米国は付加価値の高いバイオ医薬品やワクチン生産などの研究でも他国を圧倒している。欧米はシェルのなどのメジャーがバイオエタノールの生産を手がけ、米国企業並みの競争力を有する。植物等の基礎研究も伝統的に強く、ドイツの植物生理、北欧の森林研究などが特筆される。日本は、植物生理分野

および微生物育種分野の研究レベルは平均して高く世界レベルを維持している。分野別にみると植物医薬品分野での基礎研究や植物工場のシステム研究などが、日本の強い研究として特筆される。中国・韓国は、優秀な留学生や欧米で実績を挙げた研究者が多数帰国しており、国全体の底上げが図られている。日本との間の技術格差はまだあるが、中国のバイオエタノール、韓国のメタン発酵研究などは極めて実践的であり、技術開発力、産業技術力共に予断を許さない。

「食料生産」分野は、全般的には、コムギ、ダイズ、トウモロコシなど主要穀物の品種改良技術に強みを持つ欧米が圧倒している。とりわけ米国は、大学、公立研究機関が連携し、トウモロコシ、ソルガムのゲノム解読を成功させるなど先駆的な取り組みが多い。欧州は基礎研究の分野では高い水準を保ち、研究開発力の高いバイオ企業を擁している。しかし、EU内でのGMに対する規制問題がネックとなり、EU内での商品栽培は必ずしも順調でなく、むしろ世界展開することで活路を見出そうとする傾向がある。欧州で特にみられる中堅・中小セクターの連携構築のアクティビティも注目される。我が国はイネ研究に強みを持ち、とりわけ収量に関する基礎研究でのレベルが高い。野菜などの先端研究も、欧米に比べ人的・資金的な研究リソースに乏しいなかで我が国独自の発展を遂げ、一定の研究・技術開発水準を確保しつつ高品質で高付加価値をもつ種苗開発へとつなげて国際競争力を確保してきている。しかし、急速に進むゲノム情報開発の高速化・個別化やそれに伴う研究開発トレンドの急激な変化への対応が遅れ気味であり、早急な対策が求められる。一方、近年、中国の植物研究レベルが遺伝子機能解析を中心に急速に高まっている。中国ではBGIに代表されるゲノム解読センターの台頭が注目され、国際的な共同研究開発におけるプレゼンスの向上が著しい。これをどのように自国の技術開発・産業技術力向上へつなげるかは今後の課題である。韓国はハクサイおよびトウガラシで国際的に高い基礎研究水準を維持していたが、その主導権を欧州および中国に奪われつつある。主要種苗メーカーのバイオメジャーへの吸収に伴い人的資源の流動化がみられ、技術水準も低下傾向にある。育種技術に関しては、インドやベトナムの取り組みも注目される。

5.2.9 倫理・ガバナンス・アウトリーチ分野

ライフサイエンスに包含される研究開発領域は発展を続けている。2000年代に入り、iPS細胞の作成、人工RNAの作成、ヒト脳の視覚野が認識する文字や記号の再現化、など従来は不可能と思われていたような技術の創出に成功し、それらを用いた新しい治療技術や作出技術への展開が期待されている。そして、ライフサイエンスをめぐるELSI（倫理的、法的、社会的課題）は人類にとって「未知の領域への進出」と「未知の技術の受容」に対する懸念、規制、理解、という要素を包含するものとして再構成されつつあると考えられる。

このような潮流を踏まえ、2011年版における大改訂に伴い、JST-CRDSでは当該分野に関して従来の「ケーススタディ（生命倫理・脳神経倫理）」というカテゴリーから「倫理・ガバナンス・アウトリーチ分野」として扱いを改めた。そして、実験系研究の観点からの分類や、生命倫理的観点からみた研究対象としての多様性を考慮し、「ヒト由来試料」「再生医科学・幹細胞」、そして「合成（構成）生物学・バイオセキュリティ」、「脳神経」と

いう4つの中綱目に細分化し、それぞれの国際動向の把握に取り組んだ。さらに、これまで「研究水準」「政策側の動き」の2段階であった中綱目比較表のフェーズに関して3段階に再編し、「学術研究水準」は倫理的な探究を含む学術研究としての生命倫理、「政策対応」に関しては各国あるいは国際機関の法規制や学会等のガイドライン制定等の動向、そして、「理解促進」については、一般市民や他分野のステークホルダーに対する啓発活動と、研究者コミュニティへの倫理教育、意識向上に関する取り組みに着目し、より具体的な情報の収集と分析を行った。上記の改訂に対応し、各中綱目について高い専門性を以って国際的な活動経験を有する外部有識者に協力を得て調査を行なった。その結果、以下のような傾向が明らかになった。

まず、「ヒト由来試料」については、全体傾向として1) 超高速シーケンサー導入の結果として蓄積される多様で多量な情報の管理、保護、そして2) 様々な採取技術によって得られる多様なヒト由来試料を収集・保管する「バイオバンク」や「死後脳バンク」の適切な運営・管理体制、という2つの課題が示された。同時に、これらの課題は今後のライフサイエンス研究基盤整備として各国ともに恒久的に取り組んでいく必要性も示唆された。米国では、国立衛生研究所において既に数的情報として管理が可能なデータベースの保管・公開（とアクセス制限）を管理する体制が整っている一方、バイオバンクに関しては個別のバンク組織が対象とする試料や潜在的提供者、受益者の特性に合わせて自律的な運営を行なっていることが明らかになった。前者については、政府資金による研究の成果は国全体に還元すべきという考え方を基に、国立衛生研究所における検討の結果、世界中が利用できる大型のデータベースとその運用のためのデータ共有ポリシーが実践されている。ただし、ヒト組織の財産的な価値の公的側面と私的側面のバランスについて、議論が続いている。欧州においては国による社会的・文化的背景からの違いを踏まえ、各国の現状に合わせた法規制が行なわれているが、特に英国のヒト組織に特化した法規制の制定は先進的な取り組みとして評価される。中国については、ライフサイエンス研究開発そのものの推進が先に立ち、倫理的課題に対応する学術研究や法整備が遅れている。韓国では既に「生命倫理および安全に関する法律」が制定されており、2010年にはその改正案が国会に上程された。このほか、「生命研究資源の確保・管理および活用に関する法律」も施行されており、欧米と同水準の法整備が進んでいる。我が国においては当該分野の規制管理は指針にとどまっており、特にバイオバンク運営に関する法整備の遅れが目立っている。また、種々のライフサイエンス研究成果を蓄積するデータベースについても、今後、その統合や情報保護に対する対応を、データベースの専門家と倫理の専門家が共同で発展させていく必要性、およびそのための人材育成と配置に必要性が示唆された。

「再生医科学・幹細胞」については、1) ヒト受精卵を滅失して得られるヒトES細胞の取り扱い、2) 幹細胞等を用いた再生医療を適用される疾患や被験者によるリスクと必要性のバランスの考え方、の2点が大きな課題である。1) について、米国では、NIHに代表されるように、資金配分機関が主導して設定したガイドラインを、資金を獲得している研究課題の実践において適用している。その一方、英国や韓国のように法律によって全ての研究課題が厳格に管理されている例もある。日本は法的拘束力のない指針によって規制されているが、研究実施の承認手続きが繁雑であったことから改正を進めている。全体的に、幹細胞研究の発展とともに再生医療に関する臨床研究、治験例が今後急増していくことが予想され、欧州で始まりつつある統一規制、指針の制定や、ISSCR（国際幹細

胞学会)による自主規制の制定などを参考に、規制当局と研究者コミュニティ、そして受益者や倫理学者などのステークホルダーが一体となった倫理と法のグローバルスタンダード化が、当該分野の研究開発や産業応用には特に必要であることが考えられる。目の前で動き出そうとしている臨床応用に向けたポリシーの作成に加えて、長期的視点から国際協調も意識した調査研究ができる層の厚い人材を配置することと、異分野の人材が交流しながら活動できる拠点的組織の整備を行うことが、この分野において、日本が国際的リーダーシップを取るために必要である。

「合成生物学・バイオセキュリティ」に関しては、近年特に研究開発が盛んになってきたが、研究者コミュニティの自発的な倫理対応や啓発活動が研究開発の初期段階から並行的に取り組みされているという特色が国際的に共通しており、日本においてもそのような取り組みが散見される。法規制の観点からは、当該分野の研究成果が既存の生物化学関連の規制によって十分制御可能な段階にとどまっているという見解が米国をはじめ大勢を占めている。しかしながら、研究成果の展開の速さや、応用可能性の一つとしてデュアルユース(研究成果の悪用)の可能性を考慮すると、合成生物学研究の社会実装の具現化を見据えた法規制の見直し時期の見極めが重要となっていくことが予想される。バイオセキュリティに関しては、医学・公衆衛生学的なアプローチのみならず、人文社会学的アプローチを取り入れた、実効性の高い取り組みの重要性が確認された。また、この分野に関しては、国際条約等を通じたグローバル化による統一、体系化されたガバナンスが特に必要であり、我が国の研究成果をグローバルスタンダードに結び付けていくために一層の努力が必要と考えられる。

最後に、「脳神経」に関しては、2010年版までのケーススタディ「脳神経倫理」を発展させた動向調査を行なったが、「精神疾患への治療的介入研究」「意識障害者を対象とした治療における説明と同意」「脳神経系の再生医療に関わる倫理」等、個別課題に対する学術研究や政策対応が各国で進み始めている現状が明らかになった。一方、国際協調に関しては、DBSの精神疾患への適用範囲や実施要領に関する倫理的課題への対応を除いては、研究交流、共同研究の域にとどまっているものが多く、体系だてた動きには至っていないことも示された。これらの現状は、当該分野の国際学会である International Neuroethics Society の会員数の伸び悩みや、哲学的探求を求める人文科学者と、法規制等の制定、実施による実験室の倫理的課題の解決を求めている脳神経科学者、あるいは実践倫理研究者の間の議論の乖離からも伺える。他の中綱目は「グローバルスタンダード化」の実践段階に入っているが、脳神経分野に関しては、各国の研究開発の現状を踏まえた個別の対応をまず整頓し、それらの集約を経て国際協調のあり方を検討していく段階であると言える。その他、脳神経倫理の理解促進や市民参加には、脳神経科学そのものの理解促進が必要であるという認識が脳神経倫理の研究者のみならず脳神経科学分野の研究者にも共有されつつある現状が確認された。我が国においては、散発的な学術研究プロジェクトが多く、統一的な学術コミュニティの維持が課題となっている中、文部科学省「脳科学研究推進戦略プログラム」における先駆的な取り組みによる脳神経科学研究の適切な実施を支えるガバナンス体制の構築が期待されている。

全ての中綱目を総合して国別の傾向を見ていくと、英国の国際的優位性が高いことが改めて確認された。英国に次いで活動が活発なのは、カナダ、米国と地域連合としての EU である。これらの国ないしは地域の特徴は、特に大学等を中心とした研究活動のレベルが

高く、学術研究活動と政策側の活動が、相補的に機能するシステムができていることである。また、研究費配分機関が主導して倫理やガバナンスのための研究を推進している点も特筆すべき点の一つである。これに対し、我が国に関しては、学術研究と政策対応、そして研究者への実践のプロセスを調整し、全体をつなぐ機能の欠如やそれを支える人材の不足が指摘されており、バイオバンク整備に伴う規制対応をはじめとして、研究そのものの発展と足並みをそろえた倫理、ガバナンス、アウトリーチを効率的に実現するための基盤体制の構築が求められている。人材育成については教育拠点の整備も含めて長期的視野に基づいたプラン策定が必要であり、諸外国ではそうした意識に基づいて大学に研究拠点が置かれる例が多数見られる。日本でも研究推進という側面に加えて、長期的な人材育成という視点がこの分野でも重視されることが期待される。

他のアジア諸国については、欧米の先進国ほどの実装がなされていないものの、学術面、政策面の双方が活性化する方向にあり、韓国では法整備も進んでおり、シンガポールでは医療・生命倫理の研究拠点が整備されている。また、インド、台湾などでも再生医科学をはじめとするライフサイエンス研究の進展がみられ、今後の ELSI 全般の発展が予想される。

ライフサイエンス研究における、倫理、ガバナンス、そしてアウトリーチについては、実験研究そのものの進展と社会的影響の大きい成果の公表、さらなる野心的な挑戦を支える技術の革新により、益々その重要性を高めていることは明白である。これまで我が国では、倫理やガバナンスへの取り組みを強化することは研究開発に不要なブレーキをかけることだと認識されることが多かった。しかし、研究開発のできるだけ初期から課題を抽出し、先回りして対応することで、最終的な社会への実装も、より早く、スムーズに実現できる、という考えが諸外国では標準的になっている。今後も、各中綱目に紹介された個別課題別に、研究開発の現状に見合った学術的検討の変遷、それにもとづく政策対応や理解促進の戦略の動向を継続的に調査し、我が国が取るべき生命倫理戦略を柔軟かつ即時的に見直していくことが、倫理・ガバナンスの強化を通じたライフサイエンス分野の国際競争力の維持に必要であると言える。

5.3 ライフサイエンス 総合比較表

分野	ゲノム科学・融合分野																																																										
	DNA解析技術			ゲノム学・疾患			パーソナルゲノム・メタゲノム			比較ゲノム・メタゲノム			エピゲノム			バイオマーカー			プロテオミクス			メタボローム・その他のオミクス			ジーン・創薬基盤			ケミカルバイオロジクス			バイオクラウド			バイオリソース			イメージング			生体イメージング			代謝・パスウェイ			計算生物学			構成生物学			システム生物学			計算生物医学			構造生物学	
中綱目	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	△	→	×	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→																				

シンガポール

インド
イスラエル

分野	脳神経分野																																				
	分子神経科学		細胞神経生物学		神経回路の機能と構造		神経再生と可塑性		自律機能・内分泌の調節		感覚・運動系		高次脳機能・行動の神経基盤		神経変性疾患		精神疾患		アルツハイマー病とその他の認知症		広汎性発達障害		計算論・ニューロインフォマティクス		新規技術・他分野との連携・融合		ブレインバンク・ヒト脳組織リソース										
中綱目	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		
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
オーストラリア
ブラジル

オーストラリア

(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]
※上記以外のフェーズが設定されている場合は本編を参照
(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]

分野		発生・再生分野									
中綱目	フェーズ	生殖幹細胞		iPS細胞		組織幹細胞		発生プログラマ		組織・器官の形成	
		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	○	→	○	↗
								○	↗	○	↗
								○	↗	○	↗

分野		免疫分野																					
中綱目	フェーズ	ERK1/2抑制剤	増殖因子	ガンサイトカイン	抗体	基礎分野(免疫系)	基礎分野(シグナル伝達系)	構築(細胞分化と器官)	基礎分野(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	神経・免疫統合		腫瘍免疫			
											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	△	↗	○	↗	X	↗	○	↗	○	→	◎	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗
	技術開発水準	△	↗	△	↗	X	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗
	産業技術力	△	↗	△	↗	X	↗	X	↗	○	→	△	↗	△	↗	△	↗	X	↗	△	↗	△	↗
韓国	研究水準	△	→	△	→	X	↗	X	→	△	↗	○	→	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗
	技術開発水準	△	→	△	→	X	↗	X	→	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗
	産業技術力	△	→	△	→	X	↗	X	→	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗

分野		がん分野																											
中綱目	フェーズ	発がん(がんゲノム)		発がん(がん遺伝子)		発がん(感染、炎症)		がん細胞内シグナル異常		がん細胞の特性(悪性化機構)		がん細胞の特性(接着、運動)		がん細胞の特性(血管リンパ管)		がん細胞の特性(免疫回避)		疫学・コホート研究	がんの診断(イメージング)	がんの診断(バイオマーカー)	がん治療(ケミカル)	がん治療(分子創薬)	がん治療(遺伝子治療)	がん治療(免疫療法)	がん治療(放射線・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			
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	△	↗	X	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗
韓国	研究水準	○	→	△	↗	△	↗	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	技術開発水準	○	→	△	↗	△	↗	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業技術力	△	↗	X	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	↗

分野		健康分野											
中綱目		先端医療技術		外科手術低侵襲		予防医学		RNA創薬技術・ドラッグターゲット		医療データベース			
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	フェーズ	現状	トレンド	トレンド
日本	研究水準	◎	↗	△	↘	○	↗	○	↗	DB構築	×	↗	↗
	技術開発水準	◎	↗	△	↘	△	↗	○	→	DB活用体制	×	→	→
	産業技術力	○	→	○	↘	△	→	△	↗	産業応用体制	×	→	→
米国	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	DB構築	○	→	→
	技術開発水準	◎	↗	○	→	○	→	◎	↗	DB活用体制	○	→	→
	産業技術力	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	産業応用体制	△	→	→
欧州	研究水準	◎	↗	○	→	○	↗	○	→	DB構築	△	↗	↗
	技術開発水準	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	DB活用体制	×	→	→
	産業技術力	○	→	○	→	△	→	◎	→	産業応用体制	×	→	→
中国	研究水準	○	→	×	↘	-	-	○	↗	DB構築	×	→	→
	技術開発水準	○	→	×	↘	-	-	△	↗	DB活用体制	×	→	→
	産業技術力	△	→	×	↘	-	-	×	→	産業応用体制	×	→	→
韓国	研究水準	○	→	△	↘	△	↗	○	↗	DB構築	○	→	→
	技術開発水準	○	→	×	↘	△	↗	△	↗	DB活用体制	○	→	→
	産業技術力	△	→	×	↘	△	↗	×	→	産業応用体制	×	→	→

分野		グリーン・テクノロジー分野																			
中綱目		バイオマス生産		生物多様性利用		環境修復		バイオ燃料		化成品原料		医薬品原料・酵素等		植物工場		作物増産技術		持続農業		機能性作物	
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		倫理・ガバナンス・アウトリーチ分野							
中綱目		ヒト由来試料		細胞再生医学・幹細胞		キユリテイ物学・バイオセ合成(構成)生		脳神経科学*	
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
日本	研究水準	○	→	△	↗	○	↗	○	↗
	政策対応	△	→	○	↗	○	→	△	↗
	理解促進	○	→	○	→	○	→	△	↗
米国	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	政策対応	○	→	○	→	◎	↗	○	→
	理解促進	○	→	○	↗	○	→	○	↗
欧州	研究水準	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
	政策対応	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→
	理解促進	○	→	○	↗	◎	↗	△	→
中国	研究水準	△	↗	○	↗	△	→	×	→
	政策対応	△(前)	→	△	→	△	→	×	→
	理解促進	△	→	△	→	×	→	×	→
韓国	研究水準	△	↗	○	↗	△	→	△	↗
	政策対応	○	↗	○	↗	○	→	△	→
	理解促進	△	→	○	↗	○	→	×	→

※米国はカナダを含む

(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]
 ※上記以外のフェーズが設定されている場合は本編を参照
 (註2) 現状について [◎：非常に進んでいる、○：進んでいる、△：遅れている、×：非常に遅れている]*
 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。
 (註3) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

6. 臨床医学

6.1 臨床医学の特徴・トピックス

国民の健康の維持、向上や疾病の治療の重要性は、少子高齢化が進む日本のみならず世界においても増している。加えて日本では、医薬品や医療機器などの医療産業が次世代の成長けん引産業として大きく期待されており、医療、介護、健康分野における技術革新、いわゆるライフ・イノベーションの推進が課題となっている。

このような中、臨床医学に関しては、ライフサイエンスの基礎研究、橋渡し研究、および臨床研究の推進や、臨床研究の基盤整備、治験環境の充実などを通じて、医薬品開発や医療機器開発におけるイノベーションの創出に向けた集中投資が行われてきた。一方で、日本では臨床研究に係る制度や研究体制等、様々な側面に課題が存在する。そのため、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であるとして、政策立案や行政の場において様々な取組みが模索されているところである。

今回の調査では、臨床医学を、「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」、「規制」の6分野に分け、結果をまとめた。

全体を俯瞰すると、日本は優れた技術や高い基礎研究水準を有し、いく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。またレギュラトリーサイエンスの重要性が指摘され、種々の活動が開始するなど臨床研究を取り巻く環境にも変化が見られはじめている。しかしながら、基礎研究の成果を実用化につなげていく推進力は依然として欧米に劣る面もあり、複数の分野において臨床研究の振興、産学・医工連携の推進、人材育成、制度改革、グローバル化あるいは海外展開への対応、その他の研究開発基盤整備等への取組みが課題となっている。以下に個々の分野の国際比較結果概要を示す。

「医薬品開発」分野は、まず創薬に関しては、研究開発、バイオ産業の育成、臨床開発環境の整備等、イノベーション創出に向けた積極的な取組みが各国で行われている。また人材のボーダレス化をはじめとする研究開発の国際化が、先進国に限らず新興国でも加速している。欧米では主要なブロックバスター品が次々と特許切れを迎えているが、産学官の効果的な連携により基礎研究の成果を速やかに実用化につなげていく仕組みは依然として機能している。一方、日本は基礎研究では欧米と比肩しうるものの、応用研究や臨床開発を支える基盤の整備が未だ十分とは言えない状況にある。制度面では新薬創出・適応外薬解消等促進加算が2010年度から試行的に導入された。中国は、国際的な研究開発拠点となるべく、政府主導で人材教育や環境整備の推進、基礎研究への投資を積極的に行っている。韓国は、バイオテク、創薬・医薬産業基盤が依然として発展途上にあるが、国家戦略として力を入れている。次に国際共同治験に関しては、医薬品開発のグローバル化に伴って欧米以外の地域でも、ときには同時並行して、多くの臨床試験が行われるようになった。東アジア地域では韓国が主要な治験国となっている。日本での取組みもここ数年で急増しているが、1施設あたりの症例数の少なさや高額な治験コストといった課題も残る。こ

うしたグローバル化の一方で、アジア等の新興国での治験実施の増加に伴い、疾患の特性や薬の効果を規定する人種的要因にも注目が集まっている。最後にマイクロドーズ臨床試験、早期探索的臨床試験に関しては、欧米が主導している。2009年には日米欧の三極による医薬品規制調和国際会議で早期探索的臨床試験の実施要件を含む非臨床試験ガイダンス（ICH-M3）の改訂が合意され、2009年から2010年にかけて日米欧の国内で規制化された。この分野で日本は、技術力は高いものの実施の面で欧米に遅れている。

「医療機器開発」分野は、まずイメージング機器を除く診断装置に関しては、先行する欧米に比べ、日本はカバーしている領域の数は少ないものの個々の研究では引けをとらない水準を保っている。しかし基礎研究の成果を実用化につなげる推進力に欠けるため、産業化という点では欧米に劣る。中国、韓国では医療機器の輸入による市場形成が進んでいる。また手術ロボット等の治療用医用機器に関しても日本の基礎研究は世界的にも高い水準にあるが、臨床研究基盤が弱い。米国は、手術支援ロボットに限定せず低侵襲治療を推進するというより広い視野からロボットに搭載する種々の治療デバイスの開発、ロボットを画像誘導治療と接続するためのソフトウェアの標準化戦略、などを欧州とも協力して進めている。アジア地域でも研究が盛んになりつつあり、特に韓国は先端的な医療機器を開発するという国の方針が明確化している。

「再生医療」分野では、日本は細胞治療の研究水準が高い。特にiPS細胞の創出に見られるように幹細胞生物学等の基礎研究や、少数例ではあるが臨床研究で国際的にも高い競争力を有している。しかし開発研究は弱く、産業化へ向けた企業への技術移転が限定的となっている。これに対し米国では基礎から実用化までの学際的な取組みが活発に行われている。Geron社など多数のベンチャー企業の活動も活発である。欧州は米国に次ぐ競争力を有する。中国や韓国は現状では独創的研究は少ないものの、欧米の技術を迅速に導入するなど今後の動向が注目されている。また移植医療に関しては、臓器移植は欧米が臨床および研究分野で先行してきたが、2008年の国際移植学会によるイスタンブール宣言以降、アジア地域でも症例数が増えてきている。日本は、脳死臓器移植の臨床研究水準は下降傾向にあるものの、生体ドナーからの移植に関する研究では世界をリードしている。また日本で開発され世界で使用されている免疫抑制剤「タクロリムス」は特許期間が過ぎ、市場にはジェネリックも現れてきているため、自己免疫疾患への適応拡大や徐放剤などの剤形開発に力が注がれている。また欧米企業は次の薬剤開発として抗体およびタンパク質製剤の開発を競っている。日本は欧米と比較するとこの分野での研究開発は遅れている。

「遺伝子治療」分野は、大学等の研究機関における基礎研究、初期臨床研究は依然として活発に行われているが、商業化という観点ではグローバルに低迷傾向にある。当面のリターンが期待できないという理由で投資が敬遠される傾向にあり、米国では遺伝子治療に特化したバイオテック企業の数が増減した。欧州は安定的に取り組みを行っている。中国は臨床応用に取り組み始めたが、科学的には安全面からの懸念もあるようである。他方、遺伝子治療の有効性が認められる疾患が着実に増えてきており、遺伝子治療を再評価する動きも見られはじめている。

「イメージング」分野では、まず CT 装置の現在の世界標準や最先端機種で日本企業の技術が採用されており、世界の中で日本は技術的優位性を有している。MRI 装置は、2010 年から国産装置が発売となったものの、先行する欧米企業の装置と比べると技術的な改善の余地がある。PET に関しては、装置開発では検出器等の要素技術に関する研究が世界でもトップレベルにある。半導体 PET や DOI-PET 等、日本が得意とする分野に注力する企業も複数ある。薬剤開発では新しい標識合成反応法の開発など独自の成果が出ている。一方、欧米ではグローバル企業体が世界戦略としてシームレスな総合研究開発体制を構築し、医薬品開発への分子イメージングの応用も高いレベルで行っている。中国、韓国は欧米からの技術導入により体制整備を進めている。その他のイメージング機器については、日本は個々の領域で高い研究水準を有するものの、研究領域間や産学間の連携不足等により基礎研究の成果を実用化につなげる推進力に欠けている。これに対し中国、韓国は欧米からの技術導入により着実に基礎技術や開発力、生産力を上げてきている。

「規制」分野は、確立した医薬品開発手法に基づき先端医療に資する研究が実施されている日米欧では、研究や開発領域の多様性に合わせたレギュラトリーサイエンスの重要性が認識されている。日本ではレギュラトリーサイエンスは萌芽期にあるが、重要性の認識と注目度は高まっている。米国では関連予算が大きく計上されている。欧州では comparative effectiveness research (CER) を柱とした health technology assessment (HTA) が各国の保険医療事情を踏まえて試行錯誤されつつ強力で推進されている。医薬品開発の経験が浅い中国は、GCP 対応や GMP および GLP の実施を可能とするための安全性担保の認識の啓発を行っている。韓国は臨床試験の体制整備といったレベルにある。

以上のような科学技術・研究開発状況の国際比較に加え、本報告書では各分野の視点から注目すべき研究開発動向を章ごとにまとめた。主要な政策動向についても一部を付録にて紹介した。さらに、イメージングなど本報告書に含まれるいくつかの項目については、他の領域でも関連する国際比較を実施している（ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料等）。必要に応じてご参照いただきたい。

6.2 臨床医学の各分野の概観

6.2.1 医薬品開発分野

本章では「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。

創薬に関しては、各国とも研究開発、バイオ産業の育成、あるいは臨床開発環境の整備等、イノベーション創出に向けた積極的な取り組みを行っている。また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、その動きは先進国だけでなく新興国にも広がっている。

欧米では、主要ブロックバスター品が2010年から2013年にかけてさらに特許切れを迎える一方、少数ではあるが将来のブロックバスター候補となり得る新薬が米国において承認されている。これら新薬は基礎研究からバイオテック企業への速やかな技術移転、その後の技術開発とそれを支援する体制、ベンチャーファンドによる積極的な投資等の成果によるものである。オーファンドラッグの研究開発では欧米の製薬企業数社が、バイオテック企業との提携を通じて、同領域に本格参入することを表明した。

日本は、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依然として十分に整備されておらず、技術移転や技術の製品化が効率的とは言い難い状況にある。制度面の動きとしては、特許期間中は薬価を据え置き、特許期間が満了し後発医薬品が発売された場合は一気に薬価を下げる制度である“新薬創出・適応外薬解消等促進加算”が2010年度から試行的に導入されたことが挙げられる。新薬開発型の企業は残されたアンメットニーズの領域へ新薬開発をシフトしているが、この領域の新薬開発は一般的に困難を伴うことが多く、研究開発費も年々増加している。そのため、事業収益を新薬開発に投資できるような、製薬企業が創薬を行うための資金面の充実が急務となっており、同制度が関連業界から一定の評価を受けている。一方、既に長期の臨床使用実績があり安価かつ一定の評価が確立している長期収載品では薬価の引き下げが行われており、市場の健全化に向けた薬価の算定方法の策定が必要との指摘もある。

中国は、国際的な研究開発拠点となるべく国家中長期科学技術発展計画に基づく政府主導での人材教育や環境整備の推進、基礎研究への投資が積極的に行われている。医薬品市場の急速な伸長もあり、国内の医薬研究・産業基盤は着実に力を増大している。またアジアに多い疾病の研究のために中国に基礎・開発研究所を開設する欧米製薬企業も多く、今後、創薬にかかわる基礎開発研究基盤が急速に充実することは必至と見られている。

韓国は、バイオテック、創薬・医薬産業基盤が依然として発展途上にある。現状のバイオ産業の技術水準は先進諸国に一步譲ると分析されているが、一方では抗体バイオ後継品の製造・開発に特化した野心的なバイオテック企業の設立、あるいは同国のグローバル電子産業が抗体製造ジョイントベンチャーに参入するなどの、新たな動きもある。

国際共同治験に関しては、医薬品開発のグローバル化に伴って、欧米中心の医薬品規制調和国際会議（ICH）外の地域でも多くの臨床試験が行われるようになった。東アジア地域では韓国が国際共同治験の主要国となっている。日本は、規制当局による国際共同治験の推奨や審査機関である独立行政法人 医薬品医療機器総合機構（PMDA）によるガイド

ラインの公表を背景に、ここ数年で国際共同治験が急増している。中核拠点病院を中心にインフラ整備や英語対応の改善等も進みつつあるが、1施設あたりの症例数の少なさや高額な治験コスト等、課題は残っている。またグローバル化の中で臨床データの人種的要因に注目が集まっているが、東アジア地域は類似性が比較的高いと考えられている。そのため日本、中国、韓国で人種的要因に関する研究が実際の薬剤を用いて進められている。今後のアジア治験の増加へ向け、日本の企画・マネジメント力等も含めた競争力の向上が求められている。

マイクロドーズ臨床試験・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EUでマイクロドーズ臨床試験（MD試験）のガイダンス、2006年に米国で早期探索的臨床試験（ex-IND）のガイダンス、2008年に日本でMD試験のガイダンスが出された。さらに2009年には医薬品規制調和国際会議（ICH）の三極で早期探索的臨床試験の実施要件を含む非臨床試験ガイダンス（ICH-M3）の改訂が合意され、2009年から2010年にかけて日米欧の国内で規制化された。これにはMD試験の欧州と日本における大型研究事業の成果も推進力となっている。中国、韓国は自国の技術力は十分でないが、国主導の産業推進の一環として早期探索的臨床試験の環境整備が進められている。日本は、技術力は高いものの製薬企業による実用化の面では欧米に遅れているのが現状である。しかし、各企業のMD試験に対する期待は確実に高まっており、国内での実施の直前まできている状況である。

6.2.2 医療機器開発分野

本章では、光学装置（内視鏡、眼科向け検査装置など）、検査室用検体検査装置（IVD機器など）、心電図、脳波計、パルスオキシメーターなどを含む「イメージング機器以外の診断装置」、「手術ロボット等の治療用医用機器」の2項目を設定した。MRI、CT、PET等のイメージング機器は後段の章にて別途項目立てを行った。

「イメージング機器以外の診断装置」に関しては、産業化という点で米欧が進んでいる。とりわけ米国では、NIHが主導する技術開発重点化、産業化加速を念頭においたNIHとFDAの密接な連携および企業の参画による技術開発、そしてFDAと産業界の密な連携下での効率的な認可シナリオに基づく製品化検討など、基礎から実用化までを体系的に進めるための体制整備がなされている。また欧州では、文化的背景が多様であるため、技術開発が常に標準化を前提として進められている。製品開発では世界市場も念頭におかれているため米国など圏外での市場展開の方が先行するケースもある。中国やインドなどに向けた開発も活発化している。一方、中国では輸入機器による市場形成が進んでおり、これに伴うニーズの明確化、顕在化が進むことで今後は産業技術力を急激に向上させる可能性もあるとの見方がある。研究面では血液関連医療技術を幅広く進めており、重点分野とする遺伝子解析等の基礎研究が将来的には個別化医療の診断技術、診断機器へと具体化する可能性もある。韓国では一部の国際的な大学がライフサイエンス研究を着実に進めており、血液関連医療技術のレベルが高い。カプセル内視鏡は既に開発上市されている。産業面では米国とのハーモナイゼーションが進み、輸入機器による市場形成が進んでいる。

日本の診断装置開発に関しては、米欧に比べてカバーできている領域の種類は少ないものの、それら個々の領域の研究水準自体は遜色ない。ただし基礎から実用化までをつなぐ推進力に欠けるため、産学官の連携や制度面の改善などによる体系的な取り組みが課題となっている。

診断装置ごとに見ると、内視鏡では診断だけでなく治療まで行うための技術の複合化が必要とされており、ソフト等も含めた専門分野を持つ企業間での技術協力が重要になってきている。また遺伝子およびプロテオーム研究の成果を活用した新規の診断機器の開発にも注目が集まっている。迅速で高信頼性の遺伝子解析・診断機器の発展普及に向け欧米で開発が進む一方、日本では医療経済性や体制作りが課題があり取り組みが大きく立ち遅れている。

「手術ロボット等の治療用医用機器」に関しては、日本の研究開発能力は依然として世界的に高いレベルにある。しかし低侵襲手術支援のための自動縫合器、自動吻合器の開発や、レーザメス、電気メス、超音波メスなど治療を支える周辺機器の開発はやや弱い。またロボット手術そのものに取り組み臨床研究基盤も日本は弱い。ただ、現時点で世界で唯一市販されている低侵襲手術支援ロボットである Da Vinci システム（米国 Intuitive Surgical 社）が、欧米に 10 年近く遅れたものの、2009 年に日本でも医療機器として承認された。そのためロボット手術に関する臨床研究が今後は増えていくものと期待されている。臨床研究が進まない現状は基礎研究の成果が実用化、臨床応用までなかなかつながらない原因となっている。これに対しレギュラトリーサイエンスの重要性と規制のあり方が指摘され種々の活動が開始されているが、主要な阻害要因と言われる臨床研究に対するインセンティブの低さ（研究業績が評価されない、医療経済性がない、病院における工学系研究者の恒常的なポスト設置が進んでいないなど）の改善は引き続き課題となっている。

また技術開発に関しては、アジア地域における内視鏡手術、手術支援ロボット、画像誘導治療の研究振興が盛んになってきている。とりわけ韓国では、医療機器法が制定され先端的な医療機器を開発する方針が明示されており、ロボット手術の臨床展開へ向けた低侵襲手術用ロボットの集中的な導入や、韓国企業によるマスタースレーブマニピュレータ開発が進められている。その他、台湾においてもフランスの IRCAD（消化器がん研究所）の支部を誘致し、低侵襲手術の臨床展開や研究開発の振興を図っている。中国もやや遅れて手術支援ロボットの開発に人材と資源を投入し始めている。

技術開発における視点の転換も動向として見られる。米国では手術支援ロボットという狭い概念に囚われることのない、低侵襲治療の推進という立場からの研究開発が進められている。そのためロボットに搭載する自動吻合器や、レーザメス、電気メスなどの種々の治療デバイスの開発、ロボットを画像誘導治療と接続するためのソフトウェアの標準化などが NIH の研究資金等により行われており、さらに欧州とも協力体制を構築している。このような転換傾向は、現在の手術支援ロボットシステムには画像誘導との統合、コスト、各種計測機能の欠如などいまだ多くの問題点があり、期待したほどにロボット手術が普及していないことによるとの分析も一部ではある。

標準化の動向も見られる。Da Vinci システムを製造する Intuitive Surgical 社は、秘密保持契約を結んだ上でロボット制御ソフトウェアの API を公開し、大学研究機関が研究目的で開発する画像誘導システムや手術ナビゲーションシステムなどとのシステム統合を

実験的に検討できる環境を提供している。日本では NEDO「インテリジェント手術機器開発プロジェクト（現、内視鏡下手術支援システムの研究開発）」がこの動きに参加し、世界的な標準化動向への情報発信と整合性維持に取り組んでいる。

その他、米国では医療機器開発規制が患者の安全性確保の視点に立って強化される方向にあり、治療用医療機器の研究開発に与える影響への懸念から今後の規制動向に注目が集まっている。欧州では、柔軟構造を有する低侵襲手術用ロボットシステムなどの挑戦的な研究開発や MEMS ロボットの医療応用に関するプロジェクトが推進されている。

6.2.3 再生医療分野

本章では「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、膵臓、ラ氏島など）」の2項目を設定した。

まず「細胞治療（血管、心筋、肝臓、神経系、ラ氏島など）」に関しては、日本は再生医療が国の重点課題となっていることもあり研究水準が高く、成長傾向も見られる。特に iPS 細胞の創出に見られるように幹細胞生物学等の基礎研究、および少数例ではあるが臨床研究では国際的にも高い競争力を有している。しかし臨床開発研究は弱く、特に産業化を目指した企業への技術移転は非常に弱い。また欧米に比べて工学と、医学や生命科学との間に高い壁があり、材料科学分野の強みを十分に活かしきれていない。ベンチャー企業の育成も不十分である。

米国は細胞治療に関する全ての研究分野、および基礎から実用化までの全ての研究開発フェーズで活発な取組みがなされ、世界に先行している。大学と企業の連携が大変良好なため、ES 細胞を細胞ソースとする脊髄損傷の治験も含め、体性幹細胞を中心とした多数の治験が行われている。新規技術を確実に治験まで持ち込む力も強く、Geron 社など多数のベンチャー企業が活発に活動している。

欧州は米国に次ぐ競争力を有する。英仏の ES 細胞研究などは世界トップレベルにある。EU は再生医療分野に大きな予算を組み、FP7 が企業治験にも充当できるなど柔軟性が高い。米国同様に大学と企業の連携も良好で、中小企業の治験相談費用を大幅にディスカウントする SME 制度や、EU による先端医療技術開発への支援があるため、産業化を目指した技術開発が盛んに行われている。ベンチャー企業も多数活発に活動しており英 ReNeuron 社は同種神経幹細胞の治験を米国で進行中である。TiGenix 社の ChondroCelect は EMA による欧州中央審査が採用されて以降、最初の組織工学製品として欧州医薬品局（EMA）の承認を受けた。

中国や韓国は、現状では独創的な研究は少ないが、欧米からの技術導入は迅速である。今後は欧米の技術を間髪入れずにアジアで展開するセンターとしての役割を果たすようになるのではないかとの見方もある。

「移植医療（肝、肺、膵臓、ラ氏島など）」に関しては、まず臓器移植では米欧が臨床および研究分野で世界をリードしてきたが、国際移植学会によるイスタンブール宣言（2008年4月）以来、アジア地域でも自国で行う臓器移植の症例数が徐々に増加している。しかし韓国、中国等のアジア諸国は研究開発力や企業の産業技術力が弱い。韓国では移植施設

が拠点化され、一施設あたりの症例数は多く臨床実績は高くなっているものの、基礎研究およびトランスレーショナルリサーチは少ない。他方、韓国、中国は国主導でバイオクラスタの構築を進めており、数年後には一定の開発レベルにまで到達すると見られている。特に米国のFDAシステムを導入してKFDA（韓国）、SFDA（中国）をそれぞれ設立し、国際共同治験を含めた治験の活性化に努め、企業の産業力強化を後押ししている。

日本は脳死臓器移植数は増加しているものの絶対数は国際的に見て極めて少ない。2010年の臓器移植法の改正に伴って移植実施施設が増えたが、一施設あたりの規模は小さい。細胞移植や再生医療が臓器移植と融合した研究も行われているが、幹細胞、ES細胞、iPS細胞の基礎研究レベルが高いため今後に期待が持たれている。技術能力や機器開発力は欧米と比べて同等以上だが技術移転と機器輸出に対する取り組みが遅れている。

次に免疫抑制剤の日本および世界の市場の大部分を占めてきたのはアステラス製薬とスイスNovartis社のカルシニューリン阻害薬である。依然としてこの薬が免疫抑制剤の中心的役割を担っているが、タクロリムス、シクロスポリンともに特許が切れ、ジェネリックが出現している。現在両社とも自己免疫疾患への適応拡大や徐放剤などの剤形の開発に力を注いでいる。

また薬剤開発として欧米の企業は抗体およびタンパク質製剤の開発を競っている。いくつかの製剤は米国および欧州で認可され臨床応用されている。一方、日本は欧米と比べてこの分野は遅れている。また欧米では、臓器移植と関連する新規の免疫抑制剤、抗ウイルス製剤や血液凝固系薬剤等の多施設共同研究が大規模で行われているため、企業の産業技術力も高く、市場化も早い。ベンチャー企業が開発した新薬をメガファーマに技術移転することで市場化へとつなげている。

6.2.4 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、がんが主な対象疾患であったことなどから十分な成果が得られず、また一方で、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、現在は商業化という観点ではグローバルに低迷が続いている。当面のリターンが期待できないという理由で投資が敬遠される傾向にあり、米国では遺伝子治療に特化したバイオテック企業数が激減し、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と見られている。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、まだ確立されていない遺伝子治療を受けるといった動きも出ている。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。また最近では研究費も尻すぼみとなり、若手研究者の参入もますます減少している。

しかしながら、遺伝子治療の有効性が認められる疾患が近年着実に増えており、遺伝子治療を再評価する動きも見られるようになってきている。たとえば安全性の高いアデノ随伴ウイルス(AAV)ベクターは、パーキンソン病や網膜疾患(レーバー先天性黒内障)などで臨床的有効性が認められ始めている。このベクターは神経細胞・視細胞・肝細胞などの分化した非分裂細胞に効率良く遺伝子導入することができ、パーキンソン病や網膜疾患などのように、局所的な遺伝子導入で治療効果が得られる場合に適している。一方、全身性

疾患で治療効果を得るのはまだ困難であるが、血友病 B に対しても、肝細胞への遺伝子導入効率の高い 8 型 AAV ベクターを用いることにより、臨床的有効性が期待できそうな結果が出始めている。

造血幹細胞を標的とした遺伝子治療は最も可能性が高いと当初は考えられていたが、挿入変異による幹細胞のがん化（白血病の発生）を防ぐことは現在の技術では理論的に難しく、むしろハードルが高いものと認識されるようになってきている。ただし、アデノシンデアミナーゼ（ADA）欠損症や白血病の発生した X 連鎖重症複合免疫不全症（X-SCID）に対する遺伝子治療の長期フォローアップの成績が報告され、予想以上に良好な経過を辿っていることが示されている。このような疾患に対する造血幹細胞移植は、現在の技術レベルでは決して安全な治療法と言えないため、限られた状況においては遺伝子治療が治療法の選択肢になる場合もあると考えられている。また最近では、副腎白質ジストロフィー（ALD）やサラセミアに対して造血幹細胞遺伝子治療の臨床的有効性が報告されている。これらはレンチウイルスベクター（HIV ベクター）を用いており、従来のレトロウイルスベクターよりも安全性が高いとされている。

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は更なる発展も期待される。近年話題となっている 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 1 つとも考えられる。

6.2.5 イメージング分野

本章では「MRI・CT」、「PET」、「その他のイメージング機器」の 3 項目を設定した。

現在使用されている臨床用 MRI、CT 装置の製作は、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。

現在の CT 装置の世界標準は、螺旋軌道で放射線を照射するヘリカル撮像という日本発（東芝）の技術と、検出器を体軸方向に幾列にも並べて多列化し、複数のスライス像を同時に収集できる Multi-Detector CT である。また世界最先端機種は日本の 320 列 CT（Aquilion ONE、東芝）であり、0.5mm スライス厚で 16cm の広領域を心臓・脳全体を 1 回転（0.35 秒）で撮像できることから、冠動脈血管造影スクリーニング検査を代替する可能性も示唆されている。320 列 CT は 2008 年の発売以降、現在も最先端機種として使用され、日本や欧州だけでなく米国の NIH やジョンズ・ホプキンス大学、ハーバード大学を始めとする世界中の大学病院などに導入されている。日本も参加するマルチセンター研究も始まっている。

このような世界的にも先行する技術を持つ国内企業の優位性を活かしつつ、如何にして国内産業の国際競争力を維持・発展させるかが日本の大きな課題となっている。一般に日本企業は、少数の例外を除いて国際的な事業展開を得意としていないと言われる。そのた

め技術的側面を中心とした従来の医療産業振興政策に加え、今後は世界を対象とした事業展開をシステムとして支援するフレームワークの構築が必要と考えられている。世界的に見ても重要な新技術を開発し製品化する日本企業のいわば「点」の能力を、継続的に国産の技術や企業を成長させる「線」へとつなげるための体制を整えることが重要になっている。

一方、MRI装置の開発は、日本では事業展開以前の技術開発の段階に多くの課題がある。これまで大学をはじめとする国内施設へ国産MRI装置を導入する動きは限定的であった。これは臨床用最先端装置である静磁場強度が3テスラ(3T)の国産MRI装置が発売されていなかったことが原因の1つである。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の研究開発支援によって東芝が2010年から発売した3T-MRI装置の普及が今後は期待されるが、先行する欧米企業と比較すると画質や最新撮像技法の導入において依然として改善の余地が大きいと見られている。

日本と欧米ではMRIに関する研究、技術レベルの格差が大きい。欧米では研究者・技術者の交流が盛んで、企業間や企業・大学間の異動や兼任が比較的多い。こうした交流の中に、中国や韓国の研究者は見受けられるが日本の研究者、技術者は少ない。結果として、日本では研究開発を通じて優れた基礎研究の成果を実用レベルにまで育て上げるために必要な具体的なノウハウなどの収集が不十分となっている可能性がある。

欧米では医工・産学が連携した研究開発の推進のため、医用工学講座・学科が設置されており、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できる体制がある。他方、日本では、医療が将来的な基幹産業として期待されているにも関わらず、大学の工学部において医用工学に重点を置いた研究体制はあまり見られない。医学部も、大学法人化に伴い収益改善を目的とした診療負担が大きくなっており、産学連携へ貢献するための余地が著しく低下している。医工・産学連携による医療産業振興という大局的視点からの体制改善や支援の必要性が求められている。

中国の研究者は米国への留学によりMRIの研究開発に必要な教育・経験を得ることが多く、将来的には世界市場を狙う新たな医療機器メーカーを誕生させる可能性もあると見られている。韓国も、国内にはMRI、CT製造メーカーは無いが、中国と同様に米国を主な留学先とした海外経験を有し、高い医用工学技術を持つ研究者が多い。今後は、両国の動向を見守るとともに、こうした人材を日本の大学や企業において活用するような国際的な人材活用が、働く環境を支援する体制の考慮とともに重要になる。

PETは、臨床現場で活躍する診断技術として産学連携のもと各国で研究開発競争が盛んに行われている。まず米国、欧州ではPET装置開発企業、合成装置開発企業、医薬品開発企業の全てを保有するグローバル企業体が世界戦略としてシームレスな総合開発体制を構築している。これにより医薬品開発への分子イメージングの応用も高いレベルで行われている。またグローバル企業と大学等との連携が非常に強く、国家戦略による体制整備も進んでいる。装置に関しては実用化を視野に入れた要素技術の開発が行われている。例えば画像処理、画像融合技術等のソフトに関する優れた研究基盤があり、PET-CT、PET-MRIなどの融合技術開発も進んでいる。薬剤については大学、製薬企業ともに高い研究水準を有し、密な連携のもと、臨床研究への利用を前提とした開発体制を整備している。

日本は、比較的初期から自国開発が実現し世界とは異なる独自の体制を持ったため、結果的にグローバル・ハーモナイゼーションが遅れた。現在はこのことが国際共同治験などへの参画の障害となりつつあり、早急な解決が求められている。装置開発に関しては検出器などの要素技術でこれまでの実績を踏まえた世界トップレベルの研究がなされている。欧米のグローバル企業と比べて体力面で劣る多くの企業の装置開発への投資は全体的に少ないが、半導体 PET や DOI-PET 等、日本が得意とする分野に注力する企業も複数あり今後の展開が期待されている。薬剤開発では新しい標識合成反応の開発など独自の成果が出ている。

韓国、中国では、欧米からの直輸入による体制整備が急速に進められている。韓国では薬剤開発が活発に行われており、研究レベルでは日本に匹敵する水準にまで達している。米国との共同研究体制構築や産学官連携が積極的に行われ、大学発の合成装置・標識前駆体開発企業などもある。中国は現状では欧米技術の輸入による研究がほとんどであり水準は低い。

その他のイメージング機器、例えば X 線装置（循環器装置、マンモグラフィなど）、超音波診断装置、光イメージング装置（光トポグラフィなど）、診断用画像ワークステーションや画像診断用ソフトウェア（CAD など）等についての全体的な傾向は、まずこれらのイメージング機器と各種診断情報や治療との融合の方向性が顕著になり、それに適した装置の開発が進んでいる。例としては大型モニターへの各種画像情報や心電図等の診断情報の並列表示や、CB-CT の 3D 画像と透視画像の融合による IVR 支援、CT 画像や MRI 画像と超音波画像との融合による生検やアブレーション治療の支援、MRI 画像ガイド下の冷凍治療や収束超音波治療が挙げられる。また事業領域の拡大や新規参入も見られる。X 線フィルムメーカー各社の医療情報システムや X 線装置への事業領域拡大、総合電機メーカーの超音波事業や医療 ICT 事業への参入などがある。そして、各国において医療の ICT 化が国家的な政策として進められており、それに応えるべく画像診断領域でも遠隔読影の事業化や他の医療情報との統合 PACS（医用画像診断支援システム）などが出てきている。

日本は、個々の領域の研究水準は優れているが、領域間や産学の連携が不足している。また各企業においても先端的な技術開発は行われているが、欧米と比較すると全体的に大学や公的研究機関との連携が不足しており、実用化につながる開発推進力に欠ける。そのため基礎から実用化までの体系的な取り組みや審査・承認の迅速化など実用化を促進するための課題が指摘されている。

米国は基礎研究に対する NIH 主導の重点的なファンディング、医療画像システムに対する教育環境の整備、産業化を念頭においた産学官連携コンソーシアム等による効率的な技術開発、さらに産と規制当局（FDA）の密な連携による迅速な実用化など、基礎から実用化までの体系的な取り組みが進んでいる。また米国とならび先進的な取り組みを進める欧州は、米国やアジア諸国などとの国際的な研究連携や技術開発における標準化を進め、それらの市場へ向けた製品の開発も活性化させている。

日米欧企業の生産拠点となっている中国では自国企業が装置生産力を備えつつある。先進技術の導入が早く、基礎技術が育っている。合弁企業を通じた技術導入を進める一方、育った人材が欧米企業の開発力として吸収される傾向も生じている。画像処理ソフトウェ

アや自国に適した装置改良等では独自技術の開発も力をつけてきている。韓国は、医療の産業化、ICT化といった国策を背景に、医療ICT技術など個々の領域で優れたものを持つ。また医用画像システムやPACSの領域では優れた技術開発力も持つため、欧米との技術連携も進む。半導体や家電領域で世界的となった総合電機メーカーの医療機器分野への参入も起こっている。

6.2.6 規制分野

世界的に、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（医薬品規制調和国際会議（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。中でも米国は関連予算も大きく計上して4領域（バイオマーカー、バイオイメージング、臨床試験解析、薬剤疫学）に注力することを決定するなど大きくリードしている。欧州では comparative effectiveness research（CER）を柱とした health technology assessment（HTA）が各国の保険医療事情を踏まえて試行錯誤されつつ強力に推進されている。米国においても現政権下でHTA領域の研究の強化が始まった。日本ではレギュラトリーサイエンスは萌芽期であるが、今後の研究の発展と行政との連携が期待される。ただしHTA領域や薬剤疫学の実例研究はまだ少ない。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、規制当局は原薬品質の担保や偽薬取締りと開発環境、保険制度の整備という課題を抱えており、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、risk based approach などのようにまだ承認されていない医薬品等に対しての支援的、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。

6.3 臨床医学 総合比較表

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				規制分野							
	創薬(とくにオーファンドラッグとバスター)	国際共同治験		臨床試験・早期探索的臨床試験	マイクロドーズ臨床試験	以外の診断装置	イメージング機器	手術ロボット等の治療用医用機器	心筋(肝臓、神経系、ラ氏島など)	細胞治療(血管、心筋、肝臓、神経系、ラ氏島など)	肺臓、脾臓、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	遺伝子治療	MRI・CT	PET	その他のイメージング機器	規制科学										
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	フェーズ	現状	トレンド	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	フェーズ	現状	トレンド								
日本	創薬基盤	○	↘	実施基盤	△	↗	研究水準	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	→	△	↘	◎	→	△	↗	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	△	→	○	↗	○	→	×	↘	○	↘	△	→	○	→	○	→	○	↗	政策側の動き	◎	↗
米国	創薬基盤	◎	→	創薬基盤	◎	→	研究水準	○	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	→	◎	↗	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	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	政策側の動き	◎	↗
欧州	創薬基盤	◎	→	創薬基盤	◎	→	研究水準	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	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	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	政策側の動き	○	↗
中国	創薬基盤	△	↗	創薬基盤	△	→	研究水準	×	→	○	↗	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	×	↗	△	↗	△	↗	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	×	↗	○	→	○	↗	△	↗	×	→	○	↗	△	↗	×	→	△	↗	政策側の動き	×	→
韓国	創薬基盤	△	↗	創薬基盤	◎	↗	研究水準	△	↗	○	→	◎	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	→	◎	↗	△	↗	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	△	↗	○	→	○	↗	◎	↗	△	↗	△	→	×	→	◎	↗	△	↗	政策側の動き	△	→

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

(註2) 近年のトレンド [↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向]

(註3) 創薬基盤 基礎医学研究・臨床研究の研究レベル。ライフサイエンス予算、研究者数、ライフサイエンス論文数(基礎・臨床)、特許数(ポストゲノム等)、バイオベンチャー(企業数、ベンチャーキャピタル)、アライアンスなどの要素を加味。

(註4) 産業 市場規模や生産現場の研究開発レベル。新薬上市数、開発品目数、日本オリジンの品目数、開発品目の種類内訳、国内市場規模、企業数、研究開発費、医薬品関連特許数などの要素を加味。

(註5) 場の競争力 治験への取組みや環境整備状況。売上高上位品目の未上市数、治験環境(治験届出数、届出から承認までの期間、世界初上市からの期間差、国際共同治験への参加割合ほか)などの要素を加味。

(註6) 実施基盤 受入れ体制や取組みのレベル。スタッフの英語力、医療機関や医師の受入れ体制(人数、病床数など)、審査官の数および質、規制当局や行政の対応、などの要素を加味。

(註7) 場の競争力 治験への取組みや環境整備。試験計画数、国際共同治験への参加割合、治験コスト、環境整備などの要素を加味。

(註8) 研究水準 大学・公的研究機関の研究レベル

(註9) 技術開発水準 企業における研究開発のレベル

(註10) 産業技術力 企業における生産現場の技術力

(註11) 政策側の動き 規制などの環境整備状況

◆ 2011年版執筆者・協力者一覧 (分野毎、敬称略)

※所属・役職は本調査実施の時点

環境・エネルギー

全体総括：笠木伸英 (JST 研究開発戦略センター上席フェロー)

■ エネルギー分野

笠木 伸英	JST 研究開発戦略センター上席フェロー【分野総括責任者】
小久見善八	京都大学産官学連携本部特任教授
金子 祥三	東京大学生産技術研究所特任教授
幸田 栄一	電力中央研究所エネルギー技術研究所上席研究員
小林 茂樹	豊田中央研究所先端研究部門総括室 GeneralManager
田中 知	東京大学大学院工学系研究科教授
谷口 治人	東京大学先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター特任教授
堤 敦司	東京大学生産技術研究所教授
茂木 源人	東京大学大学院工学系研究科准教授
山地 憲治	地球環境産業技術研究機構理事・研究所長
吉野 博	東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻教授

■ 環境保全分野

岡田 光正	広島大学大学院工学研究科教授【分野総括責任者】
栗本 洋二	社団法人日本環境アセスメント協会会長／いであ株式会社取締役
小林 伸治	国立環境研究所社会環境システム研究領域交通・都市環境研究室客員研究員
古米 弘明	東京大学大学院工学系研究科教授
白石 寛明	独立行政法人国立環境研究所環境リスク研究センター長
西尾 匡弘	産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門 エネルギー社会システムグループ長
西川 雅高	国立環境研究所環境研究基盤技術ラボラトリー環境分析化学研究室長
林 陽生	筑波大学生命環境科学研究科教授
平田 健正	和歌山大学システム工学部教授
丸山 康樹	電力中央研究所首席研究員

■ 資源循環分野

森口 祐一	国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長【分野総括責任者】
大迫 政浩	国立環境研究所企画部次長
岡部 徹	東京大学生産技術研究所教授
平尾 雅彦	東京大学大学院工学研究科教授
藤江 幸一	横浜国立大学大学院環境情報研究院教授

松藤 敏彦 北海道大学大学院工学研究科教授

■自然生態管理分野

矢原 徹一 九州大学大学院理学研究院生物科学部門教授【分野総括責任者】
 石井 励一郎 海洋研究開発機構地球環境変動領域物質循環プログラム研究員
 梶 光一 東京農工大学農学部地域生態システム学科教授
 竹中 明夫 国立環境研究所生物圏環境研究領域領域長
 中静 透 東北大学大学院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研究院教授
 和田英太郎 海洋研究開発機構地球環境変動領域物質循環プログラム特任上席研究員

電子情報通信

全体総括：丹羽邦彦（JST 研究開発戦略センター上席フェロー）

■エレクトロニクス分野

桜井 貴康 東京大生産技術研究所 教授【総括責任者】
 木本 恒暢 京都大学大学院工学研究科 教授
 嘉田 守宏 技術研究組合超先端電子技術開発機構三次元集積化技術研究部 部長
 黒田 忠広 慶応義塾大学理工学部 教授
 染谷 隆夫 東京大学工学系研究科電気系 教授
 竹内 健 東京大学大学院工学系研究科 准教授
 平本 俊郎 東京大学生産技術研究所 教授
 原 和裕 東京電機大学工学部 教授
 藤田 昌宏 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター 教授
 松澤 昭 東京工業大学大学院理工学研究科 教授
 最上 徹 株式会社半導体先端テクノロジーズ 第四研究部 部長
 安浦 寛人 九州大学大学院システム情報科学研究院 教授
 伊東 義曜 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 主任調査員

■フォトニクス分野

中野 義昭 先端科学技術研究センター 所長【総括責任者】
 伊藤 雅英 筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授
 井元 信之 大阪大学大学院基礎工学研究科 教授
 小柴 正則 北海道大学大学院情報科学研究科 教授
 後藤 顕也 前東海大学開発工学部 情報通信工学科 教授
 小山 理 キヤノン株式会社基盤技術開発本部オプティクス技術開発センター 専任
 主席
 進藤 典男 ソニー株式会社技術戦略部 担当部長
 馬場 俊彦 横浜国立大学大学院工学研究院 知的構造の創生部門 教授

桃井 恒浩 シャープ株式会社 LED 照明事業推進センター 副所長
 宮本 裕 NTT 未来ねっと研究所フォトニクストランスポートネットワーク研究部
 特別研究員

■コンピューティング分野

石塚 満 東京大学大学院工学研究院知的構造の創生部門 教授 【総括責任者】
 相澤 清晴 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
 上田 和紀 早稲田大学理工学術院情報理工学科 教授
 尾内理紀夫 電気通信大学大学院情報理工学研究科総合情報学専攻 教授
 喜連川 優 東京大学生産技術研究所 教授
 坂井 修一 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
 高木 英明 筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授
 近山 隆 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
 辻井 潤一 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
 平木 敬 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
 本位田真一 国立情報学研究所アーキテクチャ科学研究系 研究主幹・教授

■セキュリティ・ディペンダビリティ分野

古原 和邦 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター主幹研究員 【総括責任者】
 井沼 学 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター招聘研究員
 今福健太郎 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター物理解析研究チーム長
 衛藤 将史 独立行政法人情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター 主任研究員
 光来 健一 九州工業大学大学院情報工学研究院 情報創成工学研究系 准教授
 須崎 有康 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター 主任研究員
 田沼 均 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター 主任研究員
 南谷 崇 キヤノン株式会社総合 R&D 本部 顧問
 堀 洋平 独立行政法人産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センター 研究員

■ネットワーク分野

市川 晴久 電気通信大学情報通信工学科 教授 【総括責任者】
 新 善文 アラクサラネットワークス(株) 先端技術企画部 主任技師
 稲垣 博人 日本電信電話株式会社サイバースペース研究所 主席研究員
 笠原 正治 京都大学大学院情報学研究科 准教授
 金子 正秀 電気通信大学大学院電気通信学研究科 教授
 桑名 栄二 日本電信電話株式会社情報流通プラットフォーム研究所 所長

桑原 秀夫	株式会社富士通研究所 フェロー
岸上 順一	日本電信電話株式会社サイバーソリューション研究所 所長
森川 博之	東京大学先端科学技術センター 教授
三次 仁	慶応義塾大学環境情報学部 准教授
和田山 正	名古屋工業大学大学院工学研究科 教授

■ロボティクス分野

小菅 一弘	東北大学大学院工学研究科 教授 【総括責任者】
浅間 一	東京大学人工物工学研究センター 教授
石黒 浩	大阪大学大学院工学研究科 教授
鈴森 康一	岡山大学大学院自然科学研究科 教授
平井 慎一	立命館大学理工学部 教授
松日楽信人	株式会社東芝研究開発センター 技監
水川 真	芝浦工業大学工学部 電気工学科 教授
中内 靖	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 准教授
油田 信一	筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授

ナノテクノロジー・材料

全体総括：田中 一宜（JST 研究開発戦略センター上席フェロー）

≪ 1. ナノテクノロジー・材料の応用 ≫

■ 1.1 グリーンナノテクノロジー

一木 修	(株) 資源総合システム 代表取締役社長
乾 晴行	京都大学 大学院工学研究科 教授
井上 晴夫	首都大学東京 大学院都市科学環境研究科 教授
河本 邦仁	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
北野 彰彦	東レ(株) 複合材料研究所 所長
近藤 道雄	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
佐藤 謙一	住友電気工業(株) フェロー
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) 先端技術開発部 エグゼクティブ・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
津崎 兼彰	物質・材料研究機構 新構造材料センター センター長
堂免 一成	東京大学 大学院工学系研究科 教授
徳田 君代	九州工業大学 大学院情報工学研究院 教授
長井 龍	日立マクセル(株) 開発本部 副本部長
西村 睦	物質・材料研究機構 燃料電池研究センター センター長
羽田 肇	物質・材料研究機構 センサ材料センター センター長

原田 幸明	物質・材料研究機構 材料ラボ	ラボ長
福岡 淳	北海道大学 触媒化学センター	教授
辺見 昌弘	東レ(株) 地球環境研究所	所長
本間 格	東北大学 多元物質科学研究所	教授
町田 正人	熊本大学 大学院自然科学研究科	教授
桃井 恒浩	シャープ(株) LED 照明事業推進センター	副所長
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
柳下 立夫	産業技術総合研究所 バイオマス研究センター	主任研究員
横山 伸也	東京大学	名誉教授
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
石原 聡	科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー

■ 1.2 ナノバイオテクノロジー

大串 始	産業技術総合研究所 健康工学研究部門	招聘研究員
杉山 滋	農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所	ユニット長
田畑 泰彦	京都大学 再生医科学研究所	教授
民谷 栄一	大阪大学 大学院工学研究科	教授
鄭 雄一	東京大学 大学院工学系研究科	教授
都甲 潔	九州大学 大学院システム情報科学研究院	主幹教授
西山 伸宏	東京大学 大学院工学系研究科	准教授
馬場 嘉信	名古屋大学 大学院工学研究科	教授
馬渡 和真	東京大学 大学院工学系研究科	講師
宮原 裕二	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所	教授
島津 博基	科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー

■ 1.3 ナノエレクトロニクス

安達千波矢	九州大学 未来化学創造センター	教授
粟野 祐二	慶応大学 理工学部	教授
安藤 功兒	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
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
大橋 啓之	日本電気(株) ナノエレクトロニクス研究所	主席研究員
笠原 二郎	北海道大学 触媒化学研究センター	特任教授
木村紳一郎	(株) 日立製作所 中央研究所	主管研究長
高木 信一	東京大学 大学院工学系研究科	教授
二瓶 瑞久	産業技術総合研究所 連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンター	主任研究員
藤巻 朗	名古屋大学 大学院工学研究科	教授
藤原 聡	日本電信電話(株) 物性科学基礎研究所	グループリーダー
屋上公二郎	ソニー(株)	主任研究員
河村誠一郎	科学技術振興機構 研究開発戦略センター	フェロー／エキスパート

≪ 2. 基盤科学・技術 ≫

■ 2.1 新物質・新材料

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
香川 豊	物質・材料研究機構 フェロー
黒田 一幸	早稲田大学 理工学術院 教授
鯉沼 秀臣	物質・材料研究機構 特別顧問
下山 淳一	東京大学 大学院工学系研究科 准教授
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
寺西 利治	筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授
西 敏夫	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授
福山 秀敏	東京理科大学 副学長
宝野 和博	物質・材料研究機構 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
松田亮太郎	京都大学 物質・細胞統合システム拠点 特任准教授
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
魚崎 浩平	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー／物質・材料研究機構 主任研究者
島津 博基	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
平野 正浩	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 2.2 ナノサイエンス

安藤 泰久	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
石井 由晴	科学技術振興機構 CREST 技術参事 (大阪大学 大学院生命機能研究科)
栗原 和枝	東北大学 多元物質科学研究所 教授
蔡 兆申	理化学研究所 巨視的量子コヒーレンス研究チーム チームリーダー
佐野 伸行	筑波大学 大学院数理物質科学研究科 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
田中 一義	京都大学 大学院工学研究科 教授
十倉 好紀	東京大学 大学院工学系研究科 教授
長谷川修司	東京大学 大学院理学系研究科 教授
長谷川 剛	物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 主任研究者
馬場 嘉信	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
宮本 明	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長
森田 清三	大阪大学 大学院工学研究科 教授
魚崎 浩平	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー／物質・材料研究機構 主任研究者
品田 賢宏	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 特任フェロー／早稲田大学 准教授

渡辺 正裕 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 2.3 ナノ加工プロセス

居城 邦治 北海道大学 電子科学研究所 教授
 岡崎 信次 (株) 日立製作所 中央研究所先端技術研究部 主管研究員
 酒井 真理 セイコーエプソン (株) 富士見事業所 生産技術センター
 下村 政嗣 東北大学 多元物質科学研究所 教授
 廣島 洋 産業技術総合研究所 集積マイクロシステムセンター 研究チーム長
 前田龍太郎 産業技術総合研究所 集積マイクロシステムセンター 研究センター長
 宮内 昭浩 (株) 日立製作所 材料研究所 ユニットリーダー
 宮下 永 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 2.4 計測・評価・解析

新井 正敏 日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター ディビジョン長
 川越 毅 大阪教育大学 教育学部 教授
 小林 慶規 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 室長
 末永 和知 産業技術総合研究所 ナノチューブ応用研究センター 研究チーム長
 田原 太平 理化学研究所 基幹研究所 主任研究員
 堀内 伸 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 主任研究員
 松林 信行 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 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 主任研究員
 三宅 康博 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授
 森田 清三 大阪大学 大学院工学研究科 教授
 山下 幹夫 北海道大学 大学院工学院 特任教授
 中本 信也 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

《関連共通課題》

■ 3.1 共用拠点・研究開発拠点

小出 康夫 物質・材料研究機構 ナノテクノロジー融合センター 統括マネージャー
 永野 智己 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 3.2 教育・人材育成

伊藤 正 大阪大学 ナノサイエンスデザイン教育センター センター長
 村上 浩一 筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授
 安田 哲二 産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 グループリーダー
 永野 智己 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 3.3 国際標準・工業標準

藤本 俊幸 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 室長
 永野 智己 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 3.4 リスク評価、EHS

岸本 充生 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 グループ長
永野 智己 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 3.5 ELSI・社会受容

鈴木達治郎 内閣府原子力委員会 委員長代理
吉澤 剛 東京大学 公共政策大学院 特任講師
永野 智己 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

■ 3.6 国際プログラム・国際連携

小笠原 敦 産業技術総合研究所 イノベーション推進本部 総括主幹
竹村 誠洋 物質・材料研究機構 企画部国際室 室長
永野 智己 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

ライフサイエンス

全体総括：浅島誠（JST 研究開発戦略センター上席フェロー）

■ゲノム・機能分子・融合分野

油谷 浩幸 東京大学先端科学技術研究センター 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
伊藤 武彦 東京工業大学大学院生命理工学研究科 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
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
黒川 顕 東京工業大学大学院生命理工学研究科 教授
黒田 真也 東京大学大学院理学系研究科 教授
白髭 克彦 東京大学分子生物学研究所 エピゲノム疾患研究センター 教授
菅 裕明 東京大学大学院理学研究科 教授
菅野 純夫 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
曾我 朋義 慶應義塾大学先端生命科学研究所 教授
角田 達彦 理化学研究所 ゲノム医科学研究センター チームリーダー
永井 健治 北海道大学 教授
中村 幸夫 理化学研究所 バイオリソースセンター 整備戦略コーディネーター
西村 善文 横浜市立大学大学院 生命ナノシステム科学研究科 教授
平岡 泰 大阪大学大学院生命機能研究科 教授
藤谷 秀章 東京大学先端科学技術研究センター 教授
吉田 稔 理化学研究所 ケミカルゲノミクス研究グループ グループディレクター

■脳神経分野

辻 省次 東京大学大学院医学系研究科 教授 【総括責任者】

入來 篤史	理化学研究所 脳科学総合研究センター 象徴概念発達研究チーム チームリーダー【総括責任者】
磯村 宣和	玉川大学 脳科学研究所 教授
伊藤 啓	東京大学大学院
井上 治久	京都大学 iPS 細胞研究所 准教授
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 プロジェクトリーダー
岩坪 威	東京大学大学院薬学系研究科 教授
梅田 聡	慶應義塾大学 文学部 准教授
漆谷 真	滋賀県立医科大学 分子神経科学センター 准教授
大隅 典子	東北大学大学院 医学系研究科 教授
岡野 栄之	慶應義塾大学大学院 医学研究科 教授
岡村 康司	大阪大学大学院 医学系研究科 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
加藤 忠史	理化学研究所 脳科学総合研究センター 疾患メカニズムコア コア長
兼子 直	弘前大学大学院 医学系研究科 教授
加野 真一	ジョンス・ホプキンス大学 研究員
上口 裕之	理化学研究所 脳科学総合研究センター 神経成長機構研究チーム チームリーダー
河野 憲二	京都大学大学院 医学系研究科 教授
神作 憲司	国立リハビリテーションセンター研究所
北澤 茂	順天堂大学医学部 生理学第一講座 教授
窪田 芳之	自然科学研究機構 生理学研究所 准教授
蔵田 潔	弘前大学大学院 医学系研究科 教授
坂上 雅道	玉川大学 脳科学研究所 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
白尾 智明	群馬大学大学院 医学系研究科 教授
鈴木 則宏	慶應義塾大学大学院 医学研究科 教授
鈴木 隆文	東京大学大学院 情報理工学系研究科 講師
高橋 良輔	京都大学大学院 医学系研究科 教授
遠山 育夫	滋賀県立医科大学 医学部 教授
丹羽 美苗	ジョンスホプキンス大学医学部精神医学 ポストドクトラルフェロー
深井 朋樹	理化学研究所 脳科学総合研究センター 脳回路機能理論研究チーム チームリーダー
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
福田 正人	群馬大学大学院 医学系研究科 教授
古市 貞一	理化学研究所 脳科学総合研究センター 分子神経形成研究チーム チームリーダー
星野 晴彦	慶應義塾大学大学院 医学研究科 准教授

本間 さと	北海道大学大学院 医学系研究科 教授
前田 正信	和歌山県立医科大学 医学部 教授
南本 孝史	放射線医学総合研究所 分子神経イメージング研究グループ 主任研究員
里宇 明元	慶應義塾大学大学院 医学研究科 教授
和田 圭司	国立精神・神経医療研究センター神経研究所 疾患研究第四部 部長

■発生・再生分野

須田 年生	慶應義塾大学 医学部 発生・分子生物学 教授【総括責任者】
岩間 厚志	千葉大学大学院 医学研究院先端応用医学講座 教授
上野 直人	基礎生物学研究所 形態形成研究部門 教授
奥田 晶彦	埼玉医科大学 ゲノム医学研究センター 発生・分化・再生部門 教授
斎藤 通紀	京都大学大学院医学研究科 生体構造医学講座 教授
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

■免疫分野

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【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
河上 裕	慶應義塾大学医学部 先端医科学研究所 教授
熊ノ郷 淳	大阪大学免疫学フロンティア研究センター 感染免疫部門 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
烏山 一	東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科 教授
長澤 丘司	京都大学再生医科学研究所 生体システム制御学分野 教授
平山 良孝	アステラス製薬株式会社 薬理研究所 主任研究員
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
松本 満	徳島大学分子酵素学センター情報細胞学部門 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
吉開 泰信	九州大学生体防御医学研究所 感染制御学分野 教授

■がん分野

牛島 俊和	国立がん研究センター エピゲノム解析分野 分野長【総括責任者】
石岡千加史	東北大学加齢医学研究所 臨床腫瘍学分野 教授
稲澤 譲治	東京医科歯科大学 難治疾患研究所 教授
近藤 科江	東京工業大学大学院生命理工学研究科 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
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
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
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
浜島 信之	名古屋大学大学院医学系研究科社会生命科学講座 予防医学 教授
藤田 直也	公益財団法人がん研究会 がん化学療法センター 基礎研究部 部長

堀部 秀俊	日本製薬工業協会研究開発委員会 創薬研究部会一同代表
松岡 雅雄	京都大学ウイルス研究所ウイルス制御研究領域 教授
森 正樹	大阪大学大学院医学系研究科外科学講座消化器外科学 教授

■健康分野

永井 良三	東京大学大学院医学系研究科 教授 【総括責任者】
今井 靖	東京大学トランスレーショナルリサーチセンター 特任講師
岩中 督	東京大学大学院医学系研究科小児外科分野 教授
興梠 貴英	東京大学健康医科学創造講座 特任助教
真鍋 一郎	東京大学大学院医学系研究科 特任准教授
宮田 敏男	東北大学大学院医学系研究科 教授
武藤 真祐	祐ホームクリニック千石 院長
森田 啓行	東京大学健康医科学創造講座 特任准教授
八木 信宏	協和発酵キリン株式会社 研究本部創薬化学研究所

■グリーン・テクノロジー分野

福田 裕穂	東京大学大学院 理学研究科 教授 【総括責任者】
赤間 一仁	島根大学 生物資源科学部 准教授
五十嵐泰夫	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
伊藤 昭彦	国立環境研究所 地球環境研究センター
井藤賀 操	理化学研究所 植物科学研究センター
江面 浩	筑波大大学院 生命環境科学研究科 教授
大川泰一郎	東京農工大学 農学研究院生命農学部門 准教授
後藤 英司	千葉大学大学院 園芸学研究科 教授
近藤 昭彦	神戸大学 工学研究科 教授
斉藤 和季	千葉大学大学院 薬学研究院 教授
篠崎 一雄	理化学研究所 植物科学研究センター センター長
篠原 健司	森林総合研究所 研究コーディネーター
妹尾 啓史	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
高岩 文雄	農業生物資源研究所 遺伝子組換え作物開発センター センター長
中静 透	東北大学大学院 生命科学研究科 教授
平山 隆志	岡山大学 資源植物科学研究所 教授
福岡 浩之	農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所
福澤 秀哉	京都大学大学院 生命科学研究科 准教授
藤原 徹	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授
松岡 信	名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 教授
松村 健	産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 グループリーダー
持田 恵一	理化学研究所 植物科学研究センター
矢野 昌裕	農業生物資源研究所 QTL ゲノム育種研究センター センター長

■倫理・ガバナンス・アウトリーチ分野

梅垣 昌士	大阪大学 未来医療センター 特任講師
加藤 和人	京都大学人文科学研究所 准教授
河原 直人	早稲田大学総合研究機構 主任研究員
洪 賢秀	東京大学医科学研究所 ヒトゲノム解析センター 特任助教
佐倉 統	東京大学大学院 情報学環 教授
佐藤雄一郎	神戸学院大学 法学部 准教授
富田 博秋	東北大学大学院 医学系研究科 准教授
増井 徹	医薬基盤研究所 難病・疾患資源研究部 部長
水島 希	東京大学大学院 情報学環 特任助教
吉澤 剛	東京大学 公共政策大学院 特任講師

臨床医学

全体総括：井村裕夫（JST 研究開発戦略センター首席フェロー）

■医薬品開発分野

浅田 誠	エーザイ株式会社、Eisai Product Creation Systems Product Creation Head Quarter、チーフサイエンティフィックオフィサー付担当部長
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
杉山 雄一	東京大学、大学院薬学系研究科 分子薬物動態学／医薬品評価科学講座、教授
松森 浩士	ファイザー株式会社、取締役執行役員 エスタブリッシュ医薬品事業部門長
山下 伸二	摂南大学、薬学部、教授
吉武 新次	エーザイ株式会社、Eisai Product Creation Systems Product Creation Head Quarter、ポートフォリオ戦略・予算管理部、担当部長
吉松賢太郎	エーザイ株式会社、常務執行役 チーフサイエンティフィックオフィサー

■医療機器開発分野

石川 謙	日立メディコ、総務本部 経営サポート部、課長
佐久間一郎	東京大学、大学院工学系研究科 精密機械工学専攻（2011年4月より精密工学専攻に名称変更）／バイオエンジニアリング専攻、教授
古屋 進	日立メディコ、総務本部 経営サポート部、医学連携担当 部長／日本医療機器産業連合会 産業戦略委員会／日本画像システム工業会 新成長戦略と5カ年戦略推進WG

■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
田中 紘一	神戸国際医療交流財団、理事長

大和 雅之 東京女子医科大学、先端生命医科学研究所 教授

■遺伝子治療分野

小澤 敬也 自治医科大学、医学部 内科学講座 血液学部門、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 放射線医学講座（画像診断学・核医学）、
教授

藤林 靖久 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 薬剤疫学分野、教授

CRDS-FY2011-IC-01

概要版

科学技術・研究開発の国際比較

2011年版

平成 23 年 6 月 June 2011

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

〒 102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地
電 話 03-5214-7481
ファックス 03-5214-7385
U R L <http://crds.jst.go.jp/>
© 2011 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.
Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA C CT
GA C CTA ACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

