

研究開発の俯瞰報告書

本編 概要版 (2013年) 第2版

環境・エネルギー分野、ライフサイエンス・臨床医学分野、電子情報通信分野、
ナノテクノロジー・材料分野、システム科学技術分野

Summary of Panoramic view report (2013) 2nd Edition

Environment and Energy Field
Life Science and Clinical Research Field
Information and Communication Field
Nanotechnology/Materials Field
Systems Science and Technology Field



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

はじめに

本冊子は、科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST-CRDS）が2014年3月に発行した研究開発の俯瞰報告書(2013年)第2版について、5つの専門分野（環境・エネルギー分野、ライフサイエンス・臨床医学分野、電子情報通信分野、ナノテクノロジー・材料分野、システム科学技術分野）の概要をひとつにとりまとめたものである。

CRDS では、社会的期待と研究開発課題を結びつける（“邂逅” させる）方法論の確立に現在取り組んでいるが、そのプロセスの中、科学技術分野における研究開発の現状の全体像を把握することは、極めて重要なファースト・ステップである。

研究開発の俯瞰報告書は、2年の期間をかけて約320人の専門家の英知を結集し学問領域を超えて取り纏めたもので、合計1670ページにわたる内容になっている。今回は、研究開発の俯瞰報告書(2013年)第2版のエッセンスを抽出し、わが国が進めている科学技術分野全般の現状を一覧できるよう、コンパクトな概要版として一冊にとりまとめたものである。政策立案者、研究者・技術者にとっては、自身の専門分野を超えた範囲の状況を知る上で有益であると確信している。是非、手にとってご覧いただきたい。

2014年6月

（独）科学技術振興機構 研究開発戦略センター

研究開発の俯瞰報告書 本編 概要版（2013年）第2版

目 次

はじめに

1. 俯瞰報告書の位置づけと、本概要版の目的と構成	1
1.1 俯瞰報告書の位置づけ	1
1.2 俯瞰報告書本編（概要版）作成の目的	7
1.3 構成	8
1.4 研究開発の俯瞰報告書で取り扱っている研究開発領域について	9
2. 各分野の俯瞰の概要	15
2.1 環境・エネルギー分野	17
2.1.1 分野の変遷	19
2.1.2 分野の範囲と構造（俯瞰図）	23
2.1.3 分野の今後の方向性	26
2.1.4 分野の国際比較	28
2.1.5 日本の課題	31
2.2 ライフサイエンス・臨床医学分野	35
2.2.1 分野の変遷	37
2.2.2.1 ライフサイエンステクノロジー分野	37
2.2.2.2 グリーンテクノロジー分野	38
2.2.2 分野の範囲と構造（俯瞰図）	40
2.2.2.1 ライフサイエンステクノロジー分野	41
2.2.2.2 グリーンテクノロジー分野	42
2.2.3 分野の今後の方向性	43
2.2.4 分野の国際比較	45
2.2.5 日本の課題	50
2.3 電子情報通信分野	51
2.3.1 分野の変遷	53
2.3.2 分野の範囲と構造（俯瞰図）	54
2.3.3 分野の今後の方向性	56
2.3.4 分野の国際比較	59
2.3.5 日本の課題	63

2. 4 ナノテクノロジー・材料分野	65
2. 4. 1 分野の変遷	67
2. 4. 2 分野の範囲と構造（俯瞰図）	69
2. 4. 3 分野の今後の方向性	71
2. 4. 3 分野の国際比較	73
2. 4. 4 日本の課題	78
2. 5 システム科学技術分野	81
2. 5. 1 分野の変遷	83
2. 5. 2 分野の範囲と構造（俯瞰図）	85
2. 5. 3 分野の今後の方向性	86
2. 5. 4 分野の国際比較	92
2. 5. 5 日本の課題	96
付録	97
付録1 専門用語解説	99
環境エネルギー分野	99
ライフサイエンス・臨床医学分野	103
電子情報通信分野	108
システム科学技術分野	116
付録2 執筆協力者一覧	125
環境エネルギー分野	125
ライフサイエンス・臨床医学分野	127
電子情報通信分野	130
ナノテクノロジー・材料分野	133
システム科学技術分野	138

1. 本概要版の目的と構成

1.1 俯瞰報告書の位置づけ

俯瞰報告書は、科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST-CRDS）が政策立案コミュニティおよび研究開発コミュニティとの継続的な対話を通じて把握している研究開発の大きな流れを、研究開発戦略立案の基礎資料とすることを目的として、CRDS 独自の視点でまとめたものである。その位置づけについて、本報告書における俯瞰の意味と各分野の動向と分野間の関係に基づいて説明する。

細分化した領域を再び一つに束ねる「俯瞰（ふかん）」

科学者はできるだけ多くの事象に当てはまる法則の発見を求め、常に真理を追究している。特に、現代の科学は、対象領域を限定し、仮説をたて、実験等の実証的な手段により、その中において現象を説明する理論や法則の定立を図りながら、飛躍的に知識体系を発展させてきた側面がある。相対性理論や遺伝子構造の解明のような画期的な理論や発見は、その研究領域の拡大を通じ、他領域との結合・再統合を引き起こす。しかし、このような形での異なる領域の結合・再統合は数十年に一度の頻度でしか発生せず、既存の学問領域が細分化されることにより、新たな領域が生まれる速度の方が早いのが現実である。

科学技術研究における細分化の弊害を補うための考え方が、「俯瞰（ふかん）」である。本報告書の「俯瞰」とは、細分化された領域をより上位の視点からまとめ上げる一種の活動で、領域の一つ一つの研究開発の方向性や日本の国際的なポジションを示すだけではなく、領域と領域を結合し、複数の領域を束ねたところに社会が求める意味を生み出すための手法である。俯瞰は、CRDS の研究開発戦略の立案プロセスにとって重要な活動である。

JST-CRDS では、研究開発領域の全体像を把握するために、「環境・エネルギー」「ライフサイエンス・臨床医学」「電子情報通信」「ナノテクノロジー・材料」「システム科学技術」の5分野で各担当ユニットが領域俯瞰を行っている。この5分野は、社会の科学技術に対する期待、各分野における研究開発の進展の度合い、他分野との結合・融合の可能性、科学技術政策との関連等の要素を勘案して決定されている。

各分野の動向と分野間の関係

「環境・エネルギー」「ライフサイエンス・臨床医学」「電子情報通信」「ナノテクノロジー・材料」「システム科学技術」の各分野における歴史、現状及び今後の方向性、ならびに各分野をさらに細分化した各研究開発領域の国内外の動向、課題、注目動向については、本編の各報告書で詳述しているので、本報告書では、各分野の将来動向における大きな潮流と、分野間の関係を概要として紹介する。

(1) 環境・エネルギー

人間が安全で、安心、快適な生活を追及する代償として環境・エネルギー問題は発生する。

環境・エネルギー分野は、この課題を解決するため、資源・環境の制約下で、伝統的な学問や科学技術の領域を超えて有用な知識を開発し、持続可能な社会の構築に向けて様々な技術を組み合わせて実世界に適用していく科学技術分野である。

2013年版では、エネルギー分野の俯瞰作業を先行させ、環境分野は2015年版に盛り込む予定であるので、以下はエネルギーを中心に、分野の動向と課題を紹介する。

エネルギー技術は、他の分野に比して、様々な分野からの技術の統合という側面が強く、また国の方針への依存も大きく、研究開発に当たって、以下のような基本方針が極めて重要になる：エネルギー消費総量の削減、化石エネルギーの高効率クリーン利用、再生可能エネルギー導入と付随する分散型エネルギー導入のためのシステムづくり、安全確保を大前提とした原子力利用と原子力依存からの脱却に向けたシナリオづくり。具体的には、民生・産業・運輸各部門におけるエネルギー利用プロセスの効率化や排熱利用、関連する触媒や超耐熱性、超耐腐食性の材料開発、未利用炭素資源の利用技術や次世代バイオ燃料の開発、エネルギーネットワークの構築などが今後の重要領域となる。

エネルギー問題については、伝統的に、(輸送を含む)供給側と需要側とで区分して議論されてきたが、再生可能エネルギーの導入から登場したエネルギーのプロシューマーという概念の登場とエネルギーの地域内融通の活発化により、供給と需要との区分けした議論のあり方も見直しが必要になってきている。市民や自治体の環境・エネルギー意識の高まりとともに、従来、国の政策課題となっていたエネルギー問題が地域レベルで議論されるようになってきており、それにより、技術開発の優先度が左右される局面が現れつつある。

(2) ライフサイエンス・臨床医学

ライフサイエンスはDNAの二重らせん構造の解明以降の塩基配列解析、遺伝子組換え技術やモノクローナル抗体の利用などにより飛躍的な進化を遂げた。計測・解析技術の発展とともに、ヒトゲノム解読計画のようなビッグプロジェクトが登場するようになり、現在は、脳の機能解明に向けて米欧日でビッグプロジェクトがスタートしている。近年では、次世代シーケンサーの普及、質量分析装置の高度化、イメージング技術の進歩により膨大なデータが産出されている。これにより、従来の「仮説検証型アプローチ」から、大量なデータから法則を見出す「データ駆動型」アプローチが生まれた。近年急速な進展がみられるビッグデータ解析技術は、この潮流形成に拍車をかける可能性があり、先制医療の観点からは、医療データの統合・活用や欧州に比べて立ち遅れているコホート研究の重要性が再認識されるものと思われる。別の潮流としては、遺伝子、タンパク質など個別要素的に行われてきた研究から、これらの要素を統合してシステムの的に理解し、組織、個体、行動など、より高次の生命現象の理解を目指す「システムバイオロジー」があげられる。

これらライフサイエンスの急速な進展を受けて、医療技術は大きく進歩した。まず、多くの患者を対象とした治療から、有効性と安全性が高い患者をターゲットとする個別化医療が大きな潮流となっている。また、疾患の発症経緯を示すバイオマーカー研究の進展は、個別化・層別化した対象者の発症予測を行ない、発症前（或いは重篤なイベント発生前）の適切な時期に適切な予防的治療を実施する“先制医療”の実現を強く期待させる（個別化“予防”）。医薬品においては、低分子医薬品から高分子医薬品へのシフトが進み、今後はバイオ医薬の特異性や有効性と、低分子化等による低コスト化とを同時に達成しうる次世代バイオ医薬の台頭が予想

される。また、医薬品、医療機器、介護・福祉機器、再生医療、医療 ICT など、それぞれの分野の枠を超えて融合した新たな医療技術の創出が期待される。特に医療 ICT の急速な進展は、在宅医療（遠隔医療）など、医療提供のあり方にも大きな変革をもたらすものと予想される。今後の医療技術開発を加速する重要な基盤となるものが、医療情報（レセプト、電子カルテほか）、健康情報（健康診断、健康モニタリング機器ほか）になると考えられる。これら医療技術の進展と並行して、例えば終末期医療のあり方や医療情報の取り扱い方などの倫理面の議論も十分に行なっていく必要がある。

一方、ライフサイエンスの進展がグリーンテクノロジーに与えた影響も大きい。例えば食料生産技術においても次世代シーケンサーの出現により、ゲノム情報や発現遺伝子情報の解読が加速化し、短期間での作物育種を可能とする技術として新しい植物育種技術(New Plant Breeding Techniques ; NBT)に対する関心が高まっている。また、フィールド栽培が必須な主要農作物については、化石燃料を消費して合成する窒素肥料、国際的資源の偏在による流通不安のあるリン鉱石やカリウムについて将来的な安定供給が懸念されているなかで、低肥料耐性植物の研究や、土壌微生物と作物生産性との関係解明も重要な研究課題になりつつある。

(3) 電子情報通信

20 世紀における半導体、通信、コンピュータ、ソフトウェア等の技術革新は、分子生物学の勃興と並んで、社会に大きな変化を及ぼした。21 世紀に入って、情報ネットワーク社会は、実世界と有機的に関係する動きが進んでいる。サイバーフィジカルシステムの名の下に、ITS やスマートグリッドなどのプロジェクトが進行中であり、全てのモノがインターネットに接続される IoT(Internet of Things)という言葉も生まれている。先進国では、生産のみならず、物流、消費までの情報を統合的に把握し、効率的な製造・生産管理システムを構築して製造業の競争力を高めようというプロジェクトも始まっている。実世界の情報を効果的に取得し、得られた実世界情報に基づき、適切な判断を下し、さらに実世界におけるモノへの制御機能を高めるためには、より高性能のセンサー、プロセッサー、アクチュエータが求められている。

大量データ情報処理のプラットフォーム技術と高度な分析技術の発達により出現した「ビッグデータ」は、各科学技術領域において、実験や観測技術の進展に伴って収集される膨大なデータを含めて解析することを可能にする。創薬、材料設計、生産管理等への応用だけでなく、既存の知識や学問体系とは違ったアプローチである、データに基づく科学を生み出す可能性を持っており、各学問領域に大きな影響を与える可能性がある。

高性能化により人間の脳の処理能力を超えたコンピュータの出現は、IT が得意な作業と、人間が得意な作業をうまく組み合わせ、最適な役割分担を設定するという課題を投げかけている。一方で、コンピュータによる脳のシミュレーションや脳や人間の認知機能を模したコンピューティングも模索されている。

(4) ナノテクノロジー・材料

ナノテクノロジーは、物理学、化学、生物学を横断して、原子分子レベルの微小世界を扱う最先端の科学技術分野である。物質科学や材料技術と不可分の領域である。ナノテクノロジーは最先端の科学技術そのものであるというばかりでなく、ライフサイエンス、環境、エネルギー、情報通信など、他の分野を横串的に横断し、これら諸分野に革新的な進歩をもたらす鍵

となる技術であり、異分野の融合を促進しつつ進化する技術分野である。融合による従来にな
い価値（知見、概念）の創造は競争力の源泉となるもので、今後の世界的動向として、産業創
出に向けてナノテクノロジーのシステム化が進んでいくことが予想される。「ナノのシステム化」
とは、要素の集積を通じて高度なシステム機能を生み出し、他技術と統合されて産業化に向か
う過程・結果のことである。

現代のスピードが要求されるグローバル競争下では、基礎研究成果（発見）を事業（産業）
につなげるまでの時間を徹底的に短縮することが必要となっている。この分野においては過去
10 数年にわたって「ナノの先鋭化」および「ナノの融合化」が重層的に進み、莫大な成果と知
見が蓄積された結果、「システム化」の機が熟し、「社会的期待」に応える技術のデザインが必要
な時期にきている。「社会的期待」を科学技術的要求機能に展開し、機能を満たす構造や材料
を、様々な制約条件のもと設計しなくてはならない。言い換えれば、今後の本分野では「デザ
イン型」研究開発の強化が肝要であり、「社会的期待」に具体的に応えつつ、設計の技術と能力
を高める施策が期待される。

本俯瞰ではシステム化の視点から、グリーンナノテクノロジー、バイオナノテクノロジー、
ナノエレクトロニクスと整理して俯瞰図を構成している。また、システム化を進めるために、
それを支援する施策として、融合や効率化のための共用施設・拠点の構築、融合・連携のイン
センティブを付与するファンディング制度や体制の整備、ナノテック関連産業を支える人材育成
策、標準化や環境・健康・安全の課題に対応する体制構築などの要点をまとめている。

グリーンナノテクノロジーにおける、再生可能エネルギーや省エネ・創エネ技術等に革新を
もたらすナノテック、元素戦略・希少元素代替技術などは、日本が競争力を保持する領域として、
確実な強化が求められる。バイオナノテクノロジーでは、ナノ薬物送達システム（ナノ DDS）
やバイオイメージング、生体材料（バイオマテリアル）、およびそれらを貫く共通的な課題とし
て、生体物質と人工物との界面制御の本質的問題に取り組む時期に来ている。診断や治療に不
連続な革新をもたらすバイオナノデバイスがこれらの研究開発から生み出されると期待される。
ナノエレクトロニクスでは、特に主戦場となっている超低費消費電力ロジック・メモリ、More
than Moore の中心技術である異種機能三次元集積チップ、センシングデバイス・システムなど、
今後実用段階で鍵となる回路・システム設計技術が重要となる。以上を進める上で共通基盤と
なる、合成・プロセス技術、ナノ計測装置、計算・データ科学など、日本が欧米に先んじて製
品化しているものもあるが、一方で研究室に設置された計測機器やシミュレーションソフトの
多くが海外製であり、ここに日本の基盤技術における課題が存在している。

(5) システム科学技術

「システム」は「独立した機能をもつ複数の要素が、ある目的を達成するために適切に結び
ついた複合体」であり、「システム科学技術」は、望ましいシステムを構築、管理するための科
学的基盤と、それを達成するための技術的手法の総体である。

1990 年代からの「デジタル化」と「システム化」の同時進行によって、世界では、付加価値
が要素からシステムへ移動しつつあることが顕著になっていった。一方、わが国においては、
伝統的な「ものづくり」においてしばしば見られる、要素技術、要素研究に対する強い執着と
保守性のために、新しい技術力と「産業エコシステム」を生み出していくことに遅れをとる結
果となった。このことは、最先端の科学技術における新しい研究成果を取り入れた望ましいシ

システムの構築・社会実装によって社会にイノベーションをもたらすことに失敗したと換言することもできる。多数の部品（要素）を一つの工業製品に統合するようなプロダクトシステムは世界的に競争力のある一部のわが国企業では高い水準にある。しかし、組織をまたがった業務手順、グローバルなサプライチェーンなどモノとしては認知されにくい人工物や組織・制度を対象としたプロセスシステムも考慮すると、わが国におけるシステム化は、全体として、欧米諸国に大きな遅れをとっている。

将来的に、あらゆる種類の情報がデジタル化されていく流れの中で、交通、エネルギー管理、統合防災、水循環、医療介護などの分野における社会インフラの改修・維持管理において効率的なシステム構築・運用は必要不可欠である。これらの分野では社会実装を強く意識した研究を進めていかなければならない。科学技術の領域を超え、企業や特定集団の内部に閉じない研究開発体制も重要となってくる。これからの社会インフラシステムには外部要因や状況の変化にうまく適応でき、かつ、将来的に改変可能な柔軟性をもつことが求められる。技術動向としては、大規模データ処理に関する「最適化」、Twitter や Facebook など人間どうしの動的な社会ネットワークも含む「ネットワーク論」、学習機能における「制御」、人の行動・移動・情報伝達までカバーする「モデリング」、ビッグデータや高速コンピューティングを活かした「意思決定支援技術」などが基盤的・萌芽的技術として注目すべき状況にある。この他にも、システム全体を統合的に管理するための「プロセス管理法」やシステム要素の「感度解析手法」など、システム構築において重要となる「システム構築方法論」を体系化し、それらを望ましいシステムの構築・社会実装に生かしていくことが重要である。

社会的価値の創出のために必要な領域の結合

領域俯瞰図は、領域の全体像を把握するための図面である。当該分野の他領域の研究者が専門外の科学技術の状況や、連携が図れそうな領域を探りたいときなどに利用できる。社会的な価値(社会にとって意味があるもの)を創り出すには結合(Connection)が必要であり、領域俯瞰図は結合を考える際の参考にもなる。

領域と領域の結合の身近な存在としては、例えば、バイオの研究においては、その測定に最新鋭の機器が必要だし、その機器を作るための工作機械がいる。

米インテュイティヴ・サージカル社が開発した内視鏡を使った「da Vinci (ダ・ヴィンチ)」は、手術のための医療用ロボットであり、また遠隔手術も可能にするシステムである。da Vinci では、執刀医が映像を見ながら手元の機器を操作すれば、別室(離れたところ)にいる患者に対しロボットが実際の手術を実施する。この仕組みを実現するためには、情報科学技術や人工知能、光学、機械制御、医療など、様々な研究専門領域の成果を結合させなければならない。この結合があって、初めて、「治癒率を高められる」「熟練の執刀医でなくても手術が可能になる」といった、一般にも分かる「研究開発の意味」を提示することができ、それが社会的価値を創造することである。

科学者を結合する「ネットワーク・オブ・エクセレンス」

領域をまたがったプロジェクトを推進するためには、そのプロジェクト全体に研究資金が用意されなければならない。しかし、現実には、各府省に研究プロジェクトの主たる担当が分けられる中で、各科学者は自分の担当分野に専念し過ぎてしまうという問題がある。2 つ以上の

府省の共同プロジェクトとなっても、各領域の管轄官庁の別にプロジェクトが分割されてしまい、領域の結合が生まれにくい構造になっている。ドラスティックな方法としては、担当府省やプロジェクト執行者を一本化するという方法があるが、短期的には顕著な効果が現れても、他府省からの協力が得られない場合や、関連する他領域との技術融合がなくなり、10年も経てば陳腐化するというのが過去の経験である。

CRDS では別冊で「主要国の研究開発戦略」を俯瞰報告書の一つとして発行している。主要国が重点的に推進している研究開発分野に目が行きがちだが、注目すべきなのは、近年、欧米諸国では、関係省庁が協力してファンディングする例が増えてきている。また、研究の現場では、複数大学の参加を推奨し、企業、特にベンチャーや中小規模の企業の積極的参加を促している。

米国では、エネルギー研究開発における国立科学財団(NSF)とエネルギー省(DOE)の連携プロジェクト、NSF、国立衛生研究所(NIH)、DOE の共同による Brain Initiative があり、英国では生物医学分野における資金配分機関間の連携、ドイツにおける連邦教育研究省と連邦経済省における Industrie4.0 次世代の製造業の研究開発がある。

かつて頻繁に登場した Center of Excellence(COE) という用語は Network of Excellence(NOE)によって代替されつつある。研究資源を限られた研究拠点に重点的に投下するのではなく、他の大学、研究機関や企業と積極的に連携している大学や研究機関にファンディングするという流れが始まっている。

すなわち、ばらばらに実施しがちな研究プロジェクトを、領域融合と役割連携とによって、研究成果が社会の期待に一致するようなネットワークに組む必要性が認識されるようになってきているのである。科学の新しい原理を生む可能性のある研究、新原理からある機能を実現させる技術をうみだすために領域を超えて行う研究、得られた科学的知見を製品あるいは社会技術として統合するような研究が一体として行われて、初めてイノベーションが可能になるのである。

どの分野にファンディングするのか、ということ以上に、どのようにファンディングするのか、ということが政策の現場では今後重要になってくることは明らかであろう。

1.2 俯瞰報告書本編（概要版）作成の目的

本書は、科学技術振興機構 研究開発戦略センター（JST-CRDS）が2014年3月に発行した『研究開発の俯瞰報告書(2013年 第2版)（本編）』（以下、「俯瞰報告書本編」）の概要版である。5つの専門分野（環境・エネルギー、ライフサイエンス・臨床医学、電子情報通信、ナノテクノロジー・材料、システム科学技術）の俯瞰報告書本編を元に、わが国が進めている科学技術分野全般の現状を一覧できるようにコンパクトにまとめた。

社会ビジョンの実現および科学技術の基盤充実とフロンティアの拡大を目指した研究開発戦略を提案するためには、科学技術に関する様々な研究開発全体を俯瞰する必要がある。

俯瞰報告書本編は、各分野における研究開発の方向性や主要な研究開発領域、さらには国際的なわが国のポジションを把握するために作成されている。対象分野は、CRDSの内部組織である「ユニット」に対応した形で、研究開発コミュニティ全体を便宜的に5つに分けている。

俯瞰報告書本編は、各分野の研究開発の大きな流れが示されている。CRDSが政策立案コミュニティおよび研究開発コミュニティとの継続的な対話によって導き出し、研究開発戦略立案の基礎資料にすることを目的に、CRDS独自の視点でまとめた。複数分野にまたがる新しい切り口から研究開発戦略を立案するためには、複数分野の報告書を使うことが有効である。本書は、複数分野の報告書を役立てるためのガイドブックでもある。

俯瞰報告書本編は、一義的には、CRDSにおける研究開発戦略立案に活用される。だが、研究者にとっても、自身の専門分野を超えた範囲の状況を知る上で大いに役立つはずだ。さらに、当該分野の動向を深く知りたいと考える政策決定者や、行政官、企業人、大学・独法関係者、学生などにも、それぞれの目的に合わせて有益に活用して頂きたい。

1.3 構成

本書は第1章と第2章からなっている。第1章では、俯瞰報告書の位置づけと、本書の目的と構成を説明している。併せて、『俯瞰報告書本編』の5つの専門分野（環境・エネルギー、ライフサイエンス・臨床医学、電子情報通信、ナノテクノロジー・材料、システム科学技術）で取り上げた研究開発の170領域を一覧表にして掲載している。

第2章では、各専門分野における俯瞰の概要として、俯瞰報告書本編のエッセンスを抽出して取りまとめるとともに、研究開発領域ごとの全分野の国際比較表サマリーを添付した。

本書は概要版であるため、5つの分野における俯瞰対象分野の全体像や研究開発領域の詳細について、さらに詳しく知りたい場合は、俯瞰報告書本編を合わせて参考にして頂きたい。俯瞰報告書本編および『主要国編（主要国の研究開発戦略）』『データ編（データで見る俯瞰対象分野）』は、以下のURLからそれぞれ参照できる。

研究開発の俯瞰報告書（2013年）第2版【本編】

環境エネルギー分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-02.pdf>

ライフサイエンス・臨床医学分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-03.pdf>

電子情報通信分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-04.pdf>

ナノテクノロジー・材料分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-05.pdf>

システム科学技術分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-06.pdf>

【主要国編】

主要国の研究開発戦略（2014年）

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-07.pdf>

【データ編】

論文の動向から見る俯瞰対象分野（2013年）

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-08.pdf>

付録として、各分野の主要専門用語解説と、総勢320人を超える外部執筆協力者一覧を掲載している。

1.4 研究開発の俯瞰報告書で取り扱っている研究開発領域について

俯瞰報告書本編の5つの専門分野（環境・エネルギー、ライフサイエンス・臨床医学、電子情報通信、ナノテクノロジー・材料、システム科学技術）で取り扱っている170の研究開発領域の一覧を以下に示す。

表 1.3.1 環境・エネルギー分野（CRDS-FY2012-FR-03）の25研究開発領域

俯瞰区分	研究開発領域
化石資源エネルギー	低品位・未利用固体炭素資源の革新的な改質転換・輸送・利用技術（短期）
	メタンハイドレート利用技術（中長期）
	超高温材料と伝熱技術（中長期）
	革新的電気化学的反応器の基盤技術（中長期）
	超高効率固体酸化物形燃料電池（短期）
	負荷運用性に優れ CO ₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術（短期）
	劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製銑技術（中長期）
	吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒（中長期）
	石油化学品の革新的製造プロセス（中長期）
	次世代型バイオ燃料（中長期）
再生可能エネルギー	浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術（短期）
	バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術（中長期）
	地域環境適合型高性能太陽光発電システム技術（短期）
	超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術（中長期）
	未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム（短期）
	高温地熱エネルギー革新的利用技術（中長期）
	太陽熱利用の革新的技術・システム（短期）
エネルギー利用技術・システム	低コスト・高効率燃料電池（短期）
	次世代二次電池（中長期）
	高効率ガソリンエンジン（短期）
	中低温熱利用基盤技術（短期）
	エネルギーキャリア基盤技術（短期および中長期）
	再生可能電力による化学品生産技術（中長期）
	次世代エネルギーネットワーク基盤技術（短期および中長期）
	電力国際ネットワーク基盤技術（中長期）

表 1.3.2 ライフサイエンス・臨床医学分野（CRDS-FY2012-FR-04）の 37 研究開発領域

俯瞰区分		研究開発領域
ヒトの理解に繋がる生物科学		ゲノム科学
		構造生物学
		分子・細胞生物学
		ケミカルバイオロジー
		発生・再生科学
		脳・神経科学
		数理情報生物学
		物理生物学（生物物理学）
医療・福祉	疾病	悪性新生物
		循環器・代謝疾患
		感染症
		免疫疾患
		精神・神経疾患
		疫学
	医療技術	医薬品創薬および開発研究
		医療機器開発
		再生医療
		医療 IT
		医療技術評価
ヒトと社会		ヒト由来試料
		幹細胞・再生医学に伴う倫理的、法的、社会的課題
		脳・神経倫理
		デュアルユース、バイオセキュリティ、生物化学兵器、バイオテロ対策、など
		被験者保護
		研究不正
		リテラシー・アウトリーチ
食料・バイオマス生産		作物増産技術
		持続農業
		機能性作物
物質・エネルギー生産		バイオ燃料
		化成品原料
		医薬品・食品原料
		資源回収・リサイクル
環境保全		微生物生態・環境ゲノミクス
		動物生態
		植物生理・生態
		生物多様性

表 1.3.3 電子情報通信分野（CRDS-FY2013-FR-04）の 44 研究開発領域

俯瞰区分	研究開発領域
デバイス／ハードウェア	アンビエント・アジャイル・プラットフォーム
	極低電力 ICT 基盤技術
	ハイパフォーマンスコンピュータ基盤技術
ネットワーク	エラスティックネットワーク
	グリーンネットワーク
	フィールド指向ネットワーク
ソフトウェア	ソフトウェア工学
	プログラミングモデルとランタイム
ロボティクス	リアルワールドにおける機能提供技術
	QoL を向上させるためのロボット技術(あるいはサービスを実現するためのロボット技術)
	ロボット技術の社会的受容
知能/インタラクション	知能システムの基礎
	言語、メディア理解
	ヒューマンインターフェイス・インタラクション
	データ認知科学またはソーシャル e サイエンス
	統合的人工知能
	強い人工知能
データベース	モバイル・センサデータベース
	トレーサビリティ、データプロヴェナンス、不確実データのためのデータベース技術
	グラフ・ストリームマイニング
	データのセキュリティとプライバシー
	ソーシャル・クラウドソース
	ポリシー（プライバシー）
	ポリシー（著作権）
IT アーキテクチャ	社会システムアーキテクチャ
	柔軟なアーキテクチャ
	CPS アーキテクチャ
レジリエント ICT	レジリエント・システムソフトウェア
	レジリエントネットワーク
	レジリエントデバイス
	レジリエント情報社会
CPS (Cyber Physical System)	センシング
	アクチュエーション
	プロセッシング
	人間・社会のモデリング
ビッグデータ	大量データ処理プラットフォーム技術
	データマイニングによるビッグデータ分析活用基盤技術
	ライフサイエンス分野におけるビッグデータ
	天文科学分野におけるビッグデータ
	IT メディア分野におけるビッグデータ
	ソーシャルコンピューティング
知のコンピューティング	知のメディア
	知のプラットフォーム
	知のコミュニティ

表 1.3.4 ナノテクノロジー・材料分野（CRDS-FY2012-FR-06）の 29 研究開発領域

俯瞰区分		研究開発領域
グリーンナノテクノロジー	エネルギーを創る	太陽電池
		人工光合成
		燃料電池
		熱電変換
	エネルギーを運ぶ・貯める	蓄電デバイス
		パワー半導体デバイス
		超伝導送電
	エネルギーを節約する	グリーンプロセス触媒
		ナノ組織構造制御材料
	環境を守る	元素戦略・希少元素代替
水処理		
放射性物質除染、減容化		
バイオナノテクノロジー		生体材料
		ドラッグデリバリーシステム（DDS）
		ナノ計測・診断デバイス
		バイオイメーjing
ナノエレクトロニクス		超低消費電力ナノエレクトロニクスデバイス
		異種機能3次元集積チップ
		センシングデバイス・システム
ナノテクノロジー・材料科学技術基盤		超微細加工技術
		MEMS／NEMS
		ボトムアップ型プロセス（原子・分子制御、自己組織化）
		分子技術
		表面・界面制御
		空間・空隙構造制御
		バイオミメティクス
		ナノ計測
		ナノ／マテリアルシミュレーション
		リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーション

表 1.3.5 システム科学技術分野（CRDS-FY2012-FR-07）の 35 研究開発領域

俯瞰区分	研究開発領域
意思決定とリスクマネジメント	意思決定
	リスク概念と尺度
	統合・複合リスク・その他リスク
	市場リスク・マーケットマイクロストラクチャー
	信用リスク
	リスクマネジメントの数値計算
モデリング	先端的数理モデリング
	Agent モデルとマクロ・ミクロ連携
	統計モデル
	動学的経済モデルと統計整備
	データ同化：新しい戦略分野の開拓
	データマイニング・機械学習
	モデル合成による社会課題解決の展望
	モデルの正則化・最適化
	モデル統合に基づくシステム設計とその評価
	モデルの評価技術
制御	学習制御／適応制御
	ロバスト制御
	最適制御／予見制御／予測制御
	分散制御／分布制御
	合意・同期・被覆制御
	大規模・ネットワーク制御
	確率システム制御
	故障検出／信頼性設計
	制御の基盤としてのシステム理論
最適化	基礎分野としての最適化
	連続的最適化
	離散的最適化
	最適化計算
	最適化モデリング
	最適化ソフトウェアと応用
ネットワーク論	複雑ネットワークおよび総論
	機械学習・データマイニング分野におけるネットワーク構造解析
	ネットワークに関する離散数学
	ネットワーク解析用ソフトウェア

2. 各分野の俯瞰の概要



研究開発の俯瞰報告書概要（2013）

環境・エネルギー分野

環境・エネルギー分野の範囲と構造

環境・エネルギー分野を下図のように設定し、とくに**エネルギー分野を中心に**「化石資源エネルギー」「再生可能エネルギー」「エネルギー利用技術・システム」の3区分について俯瞰検討を実施した。



取り組みを強化すべき研究開発領域

3区分において、現状の課題認識から将来の社会的要請を踏まえて、今後取り組むべき**25の研究開発領域**を抽出した。

短期: 今後10年以内に実用化に移行するか、理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる。

中長期: 今後10～30年の間に実用化に移行するか、理論や計測等の分野で手法が確立することが期待できる。

の視点で分類した。

俯瞰区分	短期	中長期
化石資源エネルギー	・低品位・未利用固体炭素資源の革新的転換・輸送・利用技術 ・超高効率固体酸化物形燃料電池 ・負荷運用性に優れCO ₂ の大幅低減が可能な石炭火力発電技術	・メタンハイドレート利用技術 ・超高温材料と伝熱技術 ・革新的電気化学反応器の基盤技術 ・劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術 ・吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒 ・石油化学品の革新的製造プロセス ・次世代型バイオ燃料
再生可能エネルギー	・浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術 ・地域環境適合高性能太陽光発電システム技術 ・未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム ・太陽熱利用の革新的技術・システム	・バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 ・超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術 ・高温地熱エネルギー革新的利用技術
エネルギー利用技術・システム	・低コスト・高効率燃料電池 ・高効率ガソリンエンジン ・中低温熱利用基盤技術	・次世代二次電池 ・再生可能電力による化学品生産技術 ・電力国際ネットワーク基盤技術
	・エネルギーキャリア基盤技術 ・次世代エネルギーネットワーク基盤技術	

社会的・経済的インパクト

環境・生態系の保全

- ・高効率火力発電の導入。
- ・再生可能エネルギー導入拡大。
- ・海外(特に新興国)への高効率エネルギー変換技術供与による温室効果ガス削減。

エネルギー自給率向上

- ・各種再生可能エネルギー技術の革新による、導入拡大と低コスト化。
- ・蓄電技術やエネルギーキャリア技術の向上による再生可能エネルギー供給の平準化。
- ・スマートなエネルギー需給技術による緊急時対応の強化。

国際貢献

- ・途上国に対し、高効率火力発電、再生可能エネルギー、省エネルギー技術供与による日本のプレゼンス向上。
- ・エネルギーシステム技術供与による、電力国際ネットワーク基盤の構築。
- ・上記による国際競争力強化。

新産業・雇用創出

- ・再生可能エネルギー関連産業の発展(エネルギー供給産業、エネルギー機器供給産業等)。
- ・次世代二次電池(EV、グリッド連携等)。
- ・次世代技術開発の先取り、当該技術での世界リード(国際標準化等)。

国際比較結果のポイント(概要)

日本…基礎・基盤的な研究・技術では諸外国に比べてきわめて高いレベルにあるが、石炭など一部の分野では研究者の減少が問題。分野間連携が弱く、異なる学問分野間での協働による新技術創出は米国と比べて遅れがち。応用開発では、産業界が国の補助のもとで精力的な展開を進めているが、広く普及されるものが少ない。

米国…DOEを中心とした巧みな研究開発体制のもとで新しい技術の芽を生む土壌があり、基礎、応用、産業化さらには海外展開による従来技術の拡大まで広く活発な取り組みがある。

欧州…FP7の下での大型プロジェクトの推進など、バランスよく基礎、応用、産業化を進める。研究者層も厚い。英国・ノルウェー・オランダを中心に洋上風力の研究開発が非常に進んでおり産業化も順調。東欧・ロシアも含めた電力・ガスの域内ネットワークを構築している。

中国…基礎研究レベルは現状それほど高いとは言えないが、応用、産業化と合わせて順調に伸びている。また海外からの技術移転のスピードが速く、国内研究体制も整備、拡充されつつある。他方、エネルギー利用においては環境問題も含めて問題が山積している。

韓国…中国と同様、基礎、応用、産業化はそれぞれ順調に伸びている。日米欧の個別要素技術の取り込みと産業化の能力は高く、輸出産業にも活かしている。国内のエネルギー関連のシステム構築は日本と同様にこれからだが、産業の集約と戦略的政策の実行に優れている点は注目すべき。

今後の研究開発の方向

化石資源エネルギー

- 1) 利用効率の格段の向上を目指す
- 2) 特定の化石資源に絞らず**ベストミックス**を基本とする
- 3) 化石資源の**種類ごとに必要な技術開発**をバランス良く進める

再生可能エネルギー

- 1) 再生可能エネルギー導入を**最大化**する次世代技術を開発する
- 2) 食糧資源と競合せずに**化石資源の代替**を促進する
- 3) **地域の特性**に適したエネルギーを導入する

エネルギー利用技術・システム

- 1) 再生可能エネルギーも含めた**エネルギー総合利用効率の向上**
- 2) 緊急時**エネルギー確保**を可能とする**スマートなエネルギー需給システム**の構築

要素技術から、社会制度も含めたシステム技術の研究開発

2.1 環境・エネルギー分野

「環境・エネルギー分野」は、資源制約・環境制約の下で持続可能な社会を構築していくために必要な課題駆動の科学技術分野である。材料科学からシステム技術まで、さまざまな科学技術を含んでいる。対象になる社会的範囲は幅広く、科学技術的にも、さまざまな知識の動員が必要である。

当該分野を俯瞰するに当たっては、エネルギー分野を中心に検討している。2011年3月11日に発生した東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、我が国のエネルギーに関して、さまざまな課題が明らかになったことや、エネルギー問題と一体不可分の関係にある地球温暖化問題の解決に向けた対応が求められていることなどを踏まえての判断である。ただし、原子力エネルギーに関しては、その位置付けについて国レベルの合意形成に至っていないことから、本書では取り上げず今後の課題として検討を続けることにした。

2.1.1 分野の変遷

日本のエネルギー分野の状況

図 2.1.1 に我が国の近年のエネルギー消費量と GDP（国内総生産）の推移を示す。1970年代の石油ショック以降、後述する政策的な対応もあって、エネルギー消費量を増やさずに経済成長をしばらくは続けたが、その後は増加に転じている。ただ 1995 年頃以降は経済の停滞もあり、現在まで微増に留まっている。この間、産業界における省エネルギーの徹底とは対照的に、電化・情報化が進む民生部門とモータリゼーションが進む運輸部門ではエネルギー消費量の増加が著しい。

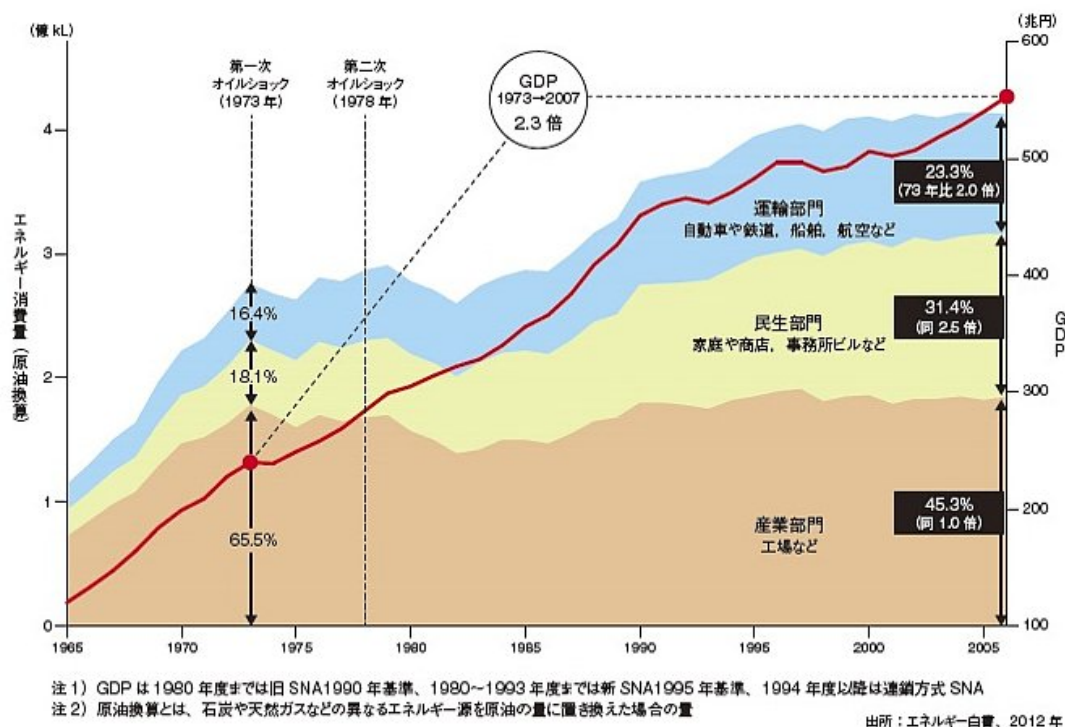
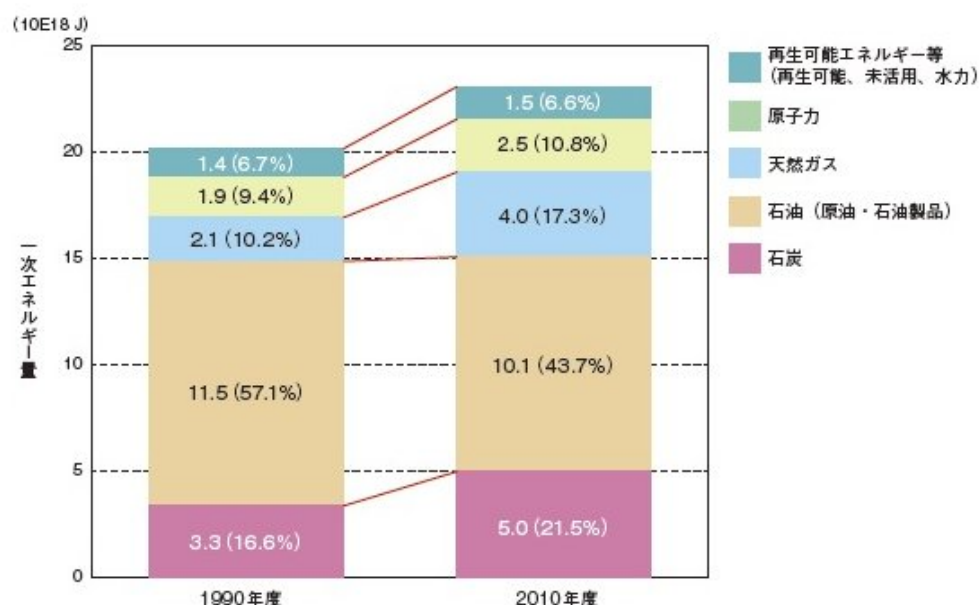


図 2.1.1 エネルギー消費量の推移と経済成長

エネルギー消費量の増加に伴い、一次エネルギーの供給量も増加している。1990年と2010年を比較すると、約1.14倍に増えた（図2.1.2）。

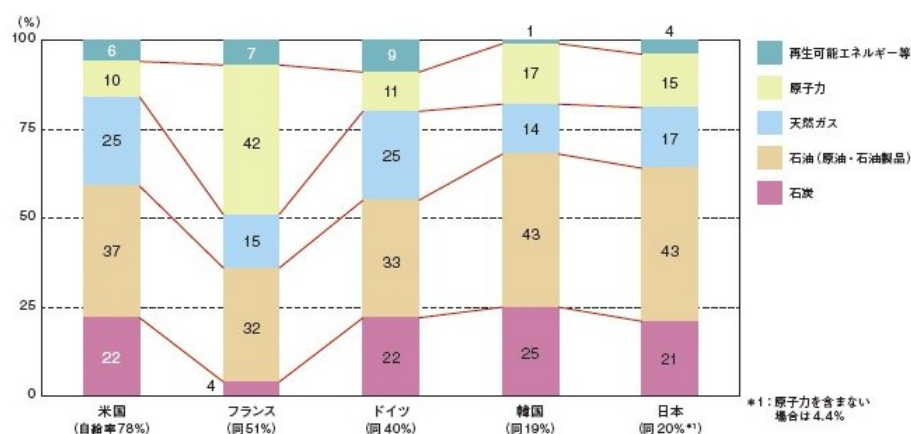


（総合エネルギー統計のデータを基に CRDS が作成）

図 2.1.2 一次エネルギー量内訳

その内訳にも変化が見られる。20年間で石油（原油・石油製品）が約0.9倍に減少した。一方で、石炭と天然ガスは、ともにシェアを伸ばし、それぞれ約1.5倍、約1.9倍に増えた。原子力も約1.3倍に増加しており、石油代替エネルギーの導入が進んだことにある。しかし、化石燃料のシェアは依然として高く、1990年度と比べても微減に留まっている。再生可能エネルギーなどは微増したものの、全体に占める割合は横ばいであった。

次に、主な先進諸国の一次エネルギー供給構造とエネルギー自給率を図 2.1.3 に示す。これによれば、日本のエネルギー自給率は 20%である。しかし、『平成 23 年度エネルギー白書』（2009 年の値）によれば、原子力を含まない場合、我が国のエネルギー自給率は 4.4%であり、先進諸国の中でも際立って小さくなる。



（IEA の Energy Balances of OECD Countries 2011 を基に CRDS が作成）

図 2.1.3 各国のエネルギー供給構造

エネルギー政策の変遷（歴史）

我が国の戦後のエネルギー政策は、1973 年と 1979 年の二度にわたる石油ショックを大きな区切りとして改編されている（表 2.1.1）。石油ショックが発生した 1970 年代から 1980 年代にかけて、エネルギー政策の重心は、それまでの石油依存からエネルギー資源の多様化に移り、代替エネルギーの導入や省エネルギーの促進による「脱石油」が進行した。高度経済成長の結果としての地域環境問題が顕在化し、化石資源の利用に伴う煤塵、SO_x、NO_x などの排出低減対策が進められることにもなった。

これらの資源・環境問題が顕在化する中、経済は安定成長から低成長の時代に移行した。少資源国である日本は、産官学が連携し、省エネ技術・環境対策技術の開発に戦略的に取り組んだことで、自動車ほか製造機器・設備で圧倒的な世界競争力を獲得した。

1990 年代に入り、地球温暖化問題への対応の必要性が国際的に高まってくる。金融の自由化や東西冷戦の終結により世界が急速にグローバル化すると同時に、ブラジル・リオデジャネイロで 1992 年に開催された国連環境開発会議（地球サミット）や、先進国の温室効果ガスの排出削減を定めた京都議定書が 1997 年に採択されるなどしたためである。めまぐるしく変化する世界情勢に対し、我が国はバブルの崩壊から立ち直す有効な手段を見出せず、日本経済は低迷を始めることになる。

2000 年代に入ると新興国の急成長が始まり、世界のエネルギー資源・環境問題はいつそう難しい局面を迎えることになった。情報化のさらなる進展は、さまざまな利便性をもたらす一方で、世界の金融不安定化を引き起こすなどの弊害も生み始めた。こうしたなかで、2002 年にエネルギー政策基本法が制定される。

表 2.1.1 エネルギー政策の変遷

年代	主な政策的取組み	科学技術関連の主な政策的取り組み	重視された側面
70年代 ～80年代	背景：石油危機(73年、79年)を契機とした脱石油機運の高まり		
	・資源エネルギー庁発足(73年)	サンシャイン計画(74年)	エネルギー安全保障
	・原子力エネルギー促進(電源三法、74年)	ムーンライト計画(78年)	
	・省エネルギー促進(省エネ法、79年)	新エネルギー総合開発機構(現NEDO)設立(80年)	経済効率性の追加
	・代替エネルギー促進(代エネ法、80年)	地球環境技術研究開発(89年)	
90年代	背景：温暖化対策の要請の高まり(リオサミット92年、京都議定書97年)		
	・原子力エネルギー促進	ニューサンシャイン計画(93年)	環境性の追加
	・温暖化対策本格化(環境基本法、93年)	科学技術基本法(95年)	
	・新エネルギー促進(新エネ法、97年)	第1期科学技術基本計画(96-00年)	3E(Energy、Environment、Economy)の同時達成
00年代	背景：安定供給・効率・環境の同時達成志向の高まり、資源価格の高騰		
	・循環型社会形成推進基本法(00年)	第2期科学技術基本計画(01-05年)	エネルギー安全保障の再認識
	・エネルギー政策基本法(02年)		
	・エネルギー基本計画(03年、一次改訂07年、二次改訂10年)	第3期科学技術基本計画(06-10年)	環境性の再認識
	・京都議定書の発効(05年)、第一約束期間(08-12年)		
	・新成長戦略(10年)		
10年代	背景：リスク対応を含めた安全性の重視		
	・エネルギー・環境会議発足(11年)	第4期科学技術基本計画(11-15年)	安全性の追加
	・革新的エネルギー・環境戦略(12年)	(グリーンイノベーション関連施策)	

エネルギー政策基本法に基づき、エネルギー基本計画が2003年、閣議決定された。これにより、エネルギー、環境、経済の3E（Energy、Environment、Economy）の同時充足を基本方針とした取り組みが進められ、現在へと続いている。

技術的観点からのエネルギー分野の特徴

エネルギー分野は経済、社会と直結する分野である。そのため関連する学術分野は、工学、農学、理学、経済学、行政学など多岐にわたる。技術開発のテーマも、社会における課題に立脚したものが大半である。実社会とのつながりが重要な意味をもつことが多く、社会への実導入時に直面する種々の課題が、技術開発における大きなボトルネックになる事例もしばしばみられる。

エネルギー分野における社会的な課題を考えると、「エネルギーそのものは目的ではない。地球環境が持続的であり、かつその中で人々が生き甲斐をもって暮らせる社会を築くための手段である」という点を常に留意すべきであろう。しかしながら、エネルギーを利用する実際の場面では一般に、その由来が問われることがないままに、大半が動力（電力）あるいは

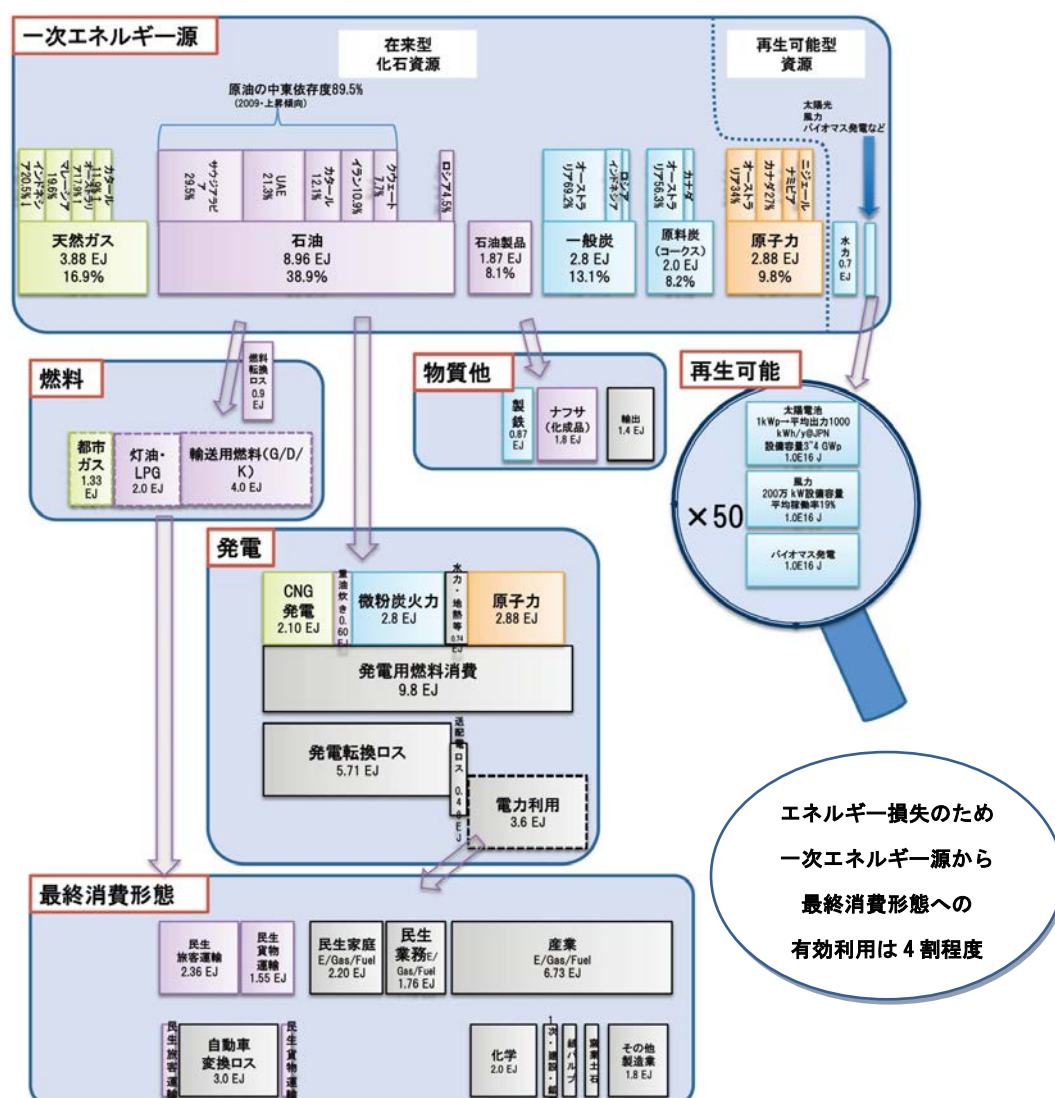
熱として最終消費されている。そのため、エネルギーに対する要件は、「安価で、大量で、かつ安定な供給」だけになりがちであるが、持続的なエネルギーの利用という観点を加えれば、環境に対する負荷の軽減や安全への配慮が欠かせない。

こうしたことから、エネルギー分野における科学技術と研究開発における目的は、安定かつ経済的なエネルギー需給を環境制約下で安全に実現することであろう。我が国におけるエネルギー分野の研究開発においては、上述したような経緯の中で、産官学が連携することで一定の技術進展を達成してきたといえる。

2.1.2 分野の範囲と構造（分野の俯瞰）

我が国のエネルギー・フロー

研究開発の面からエネルギー分野を俯瞰する際には、エネルギー需給構造全体を理解しておくことが重要である。図 2.1.4 に我が国のエネルギー・フローを示す。



(1EJ=10¹⁸J、2010 年度データ、政府公開資料を基に CRDS が作成)

図 2.1.4 我が国のエネルギー・フロー

図 2.1.4 は、一次エネルギー源が発電部門、非発電部門を経て、最終的な需要エネルギーとして消費されるまでの流れを示している。貿易統計によれば、各資源の輸入総額は 20 兆円にも及ぶ。これだけの国富を費やして得たエネルギー資源（約 23EJ/年）にもかかわらず、最終消費までには、さまざまなエネルギー損失が生じ、有効に使われる割合は 4 割程度である。

具体的には、2010 年度データにおいて、電力分野では 9.8EJ/年の一次エネルギー源から 3.6EJ/年の電力を得るに留まっている。発電や送配電の損失が大きく、効率改善が極めて重要である。石油を燃料に転換する過程においても、損失が大きく、1 割が排熱になっている。蒸留工程での熱回収利用技術などが必要だといえる。同様な技術は、エネルギー多消費産業と言われる化学産業の省エネルギーにも寄与が大きいと考えられる。

一方、運輸とりわけ自動車によるエネルギー損失も大きく、新技術による大幅削減が望まれる。暖房や給湯として使われる低位熱需要に対して、多くの燃料が直接使われている現状も改善の余地がある。

再生可能エネルギーについては、一次エネルギー源としては現状、極めて小さな割合を占めるに過ぎない。各種再生可能エネルギーの開発を目標を定めて進めると同時に、それらのエネルギーの貯蔵・輸送・利用を可能にする優れた技術の開発が必要である。

また一次エネルギー源の調達においても課題を抱えている。例えば、原油の中東依存度が約 90%に及び、地政学的リスクへの対策強化が必要である（図 2.1.5）。

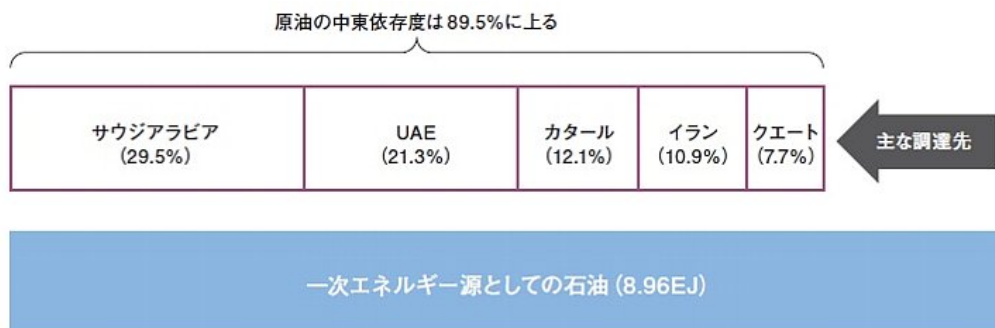


図 2.1.5 主要一次エネルギーである石油の調達先（概略版）2010 年度データ

日本のエネルギー需給バランスの現状から抽出される課題

我が国のエネルギー・フロー図を概観し、エネルギー需給構造全体を大局的に捉えたと、原理的な問題点が明確になってくる。主要な課題を整理すると、以下のようになる。

1. 安定した資源確保

- 資源供給国の偏りの改善：現状は、中東、オーストラリア、インドネシア、カナダ、ロシアへの依存度が高い

2. 電力への転換効率改善

- IGCC（高効率石炭ガス化複合発電）/A-USC（次世代超々臨界圧石炭火力）、1700℃級ガスタービン、送配電ロス低減、SOFC（固体酸化物形燃料電池）等

- 発電、送電、配電技術、ディマンド制御
- 3. 石油精製のエネルギー損失の削減
 - 蒸留工程を熱回収利用などにより効率を改善
- 4. 輸送エネルギー損失の削減
 - 熱機関の効率向上、車体の軽量化
 - 電動化、燃料電池、燃料の輸送・貯蔵技術
- 5. 低位熱利用（暖房・給湯等）の効率向上
 - ヒートポンプ、断熱／遮熱、蓄熱
- 6. 化学産業のエネルギー損失の削減
 - 蒸留プロセス（現状でエネルギー消費の4割）での熱回収利用
- 7. 再生可能エネルギー利用の拡大
 - 資源開発、創エネルギー、蓄エネルギー、多様な利用
- 8. 国際的な合意形成と適合対応

分野俯瞰における枠組み

環境・エネルギーユニットでは、エネルギー分野を「化石資源エネルギー」、「再生可能エネルギー」、「原子力エネルギー」、「エネルギー利用技術・システム」の4つの構成領域（俯瞰区分）としてとらえ、検討することにした。これは、広く共有される社会的期待であるだけでなく、かつエネルギー政策上の基本原則でもある「エネルギーの安定供給（Energy）」、「環境保全（Environment）」、「経済成長（Economy）」、「安全（Safety）」という、いわゆる「3E+S」が同時に成り立つよう研究開発を進める必要があるとの認識からである。

なお「原子力エネルギー」区分に関しては今回の検討では取り上げていない。他の3区分の技術開発の進捗に応じて、それらを補うものとして安全性を確保しながら利用していく領域であると想定することにした。

分野の範囲と構造

環境・エネルギー分野の研究開発あるいは技術の構造的な俯瞰図を図2.1.6に示す。

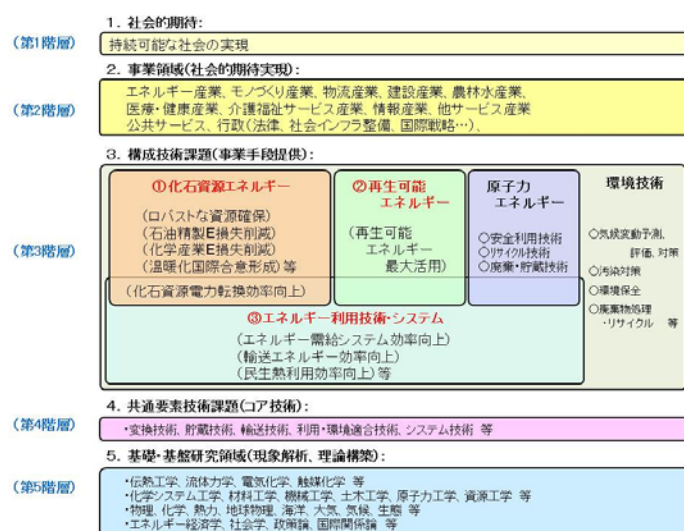


図 2.1.6 環境・エネルギー分野俯瞰の範囲と構造（俯瞰図）

社会的期待（第1階層）を実現するための産業（第2階層）があり、その手段を提供する構成技術・研究開発群（第3階層）が存在している。この構成技術は、前述したとおり、化石資源エネルギー、再生可能エネルギー、原子力エネルギー、エネルギー利用技術・システムの4つに区分され、全体を環境技術が覆っている。

さらにその下には、様々な要素技術（第4階層）とそれを支える知識体系としての学術分野（第5階層）が存在する。

2.1.3 分野の今後の方向性

国策として推進すべき研究開発領域を検討する視点

大局的観点から技術的な問題点をさらに深掘りし、国策として推進すべき研究開発課題を検討するに当たっては、検討のための観点を事前に明らかにしておくことが重要である。主な観点をまとめると以下ようになる。

1. 社会的期待（グリーン・イノベーションなどの国の政策方針）に応えられるか
2. エネルギー問題に顕著な量的貢献が期待できるか
3. 研究開発の成否が極めて不確か、研究投資額が巨額、実用までに長期間を要するなど、民間が開発に経済性を見通せるか（例：核融合、宇宙発電、海底資源開発など）
4. 既存のインフラやマーケット構造を大きく変えることが社会導入の前提となるか（例：分散エネルギー技術、パイプラインなど）
5. 地球規模の人類共通の問題であるか（例：気候変動、食料生産、生物多様性など）
6. 若手研究者の研究動機を育み、切磋琢磨を促し、人材育成に寄与するか

取り上げた研究開発領域

エネルギー分野の3つの俯瞰区分において、現状で対処すべき問題点を認識した上で将来の社会的要請を踏まえて、今後取り組みを強化していくべき主要な25の研究開発領域（研究開発課題群）を抽出した。それらを短期、中長期の視点で分類してまとめたのが表2.1.2である。

それぞれの研究開発領域については、専門家（CRDS環境・エネルギー研究戦略会議およびその分科会の委員、CRDS特任フェロー）の協力も得て、科学技術・研究開発の国際比較および注目すべき研究開発の動向などの調査を行い、その結果をとりまとめた。詳細な内容については、報告書本編を参照されたい。

表 2.1.2 取り組みを強化していくべき主要な研究開発領域

俯瞰区分	短期*1	中長期*2
化石資源 エネルギー	・ 低品位・未利用固体炭素資源の革新的転換・輸送・利用技術 ・ 超高効率固体酸化物形燃料電池 ・ 負荷運用性に優れCO₂の大幅低減が可能な石炭火力発電技術	・ メタンハイドレート利用技術 ・ 超高温材料と伝熱技術 ・ 革新的電気化学反応器の基盤技術 ・ 劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術 ・ 吸熱反応による排熱回収のための低温作動型触媒 ・ 石油化学品の革新的製造プロセス ・ 次世代型バイオ燃料
再生可能 エネルギー	・ 浮体式洋上風力発電システムの大規模普及に向けた革新的技術 ・ 地域環境適合高性能太陽光発電システム技術 ・ 未利用温泉エネルギーによるバイナリー発電システム ・ 太陽熱利用の革新的技術・システム	・ バイオマスエネルギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 ・ 超高効率太陽光発電の大規模広域普及に向けた基盤技術 ・ 高温地熱エネルギー革新的利用技術
エネルギー利用 技術・システム	・ 低コスト・高効率燃料電池 ・ 高効率ガソリンエンジン ・ 中低温熱利用基盤技術 ・ エネルギーキャリア基盤技術 ・ 次世代エネルギーネットワーク基盤技術	・ 次世代二次電池 ・ 再生可能電力による化学品生産技術 ・ 電力国際ネットワーク基盤技術

*1 今後 10 年以内に実用化に移行するか、あるいは理論や計測等の分野で手法の確立が期待できる

*2 今後 10～30 年の間に実用化に移行するか、あるいは理論や計測等の分野で手法の確立が期待できる

図 2.1.7 に、上記 25 の研究開発領域を時系列的な研究開発動向として示す。2030 年頃の社会経済情勢は不透明ではあるものの、必ずしも遠い将来とも言えない。1970 年代の石油危機以降のエネルギー関連技術の動向をみても分かるように、エネルギー分野の研究開発・市場導入には 10 年単位の時間を要するからである。数年程度の短期的な取り組みだけでなく、それらと並行して、将来を見据えた中長期の研究開発に対する戦略的な取り組みが強化されなければならない。

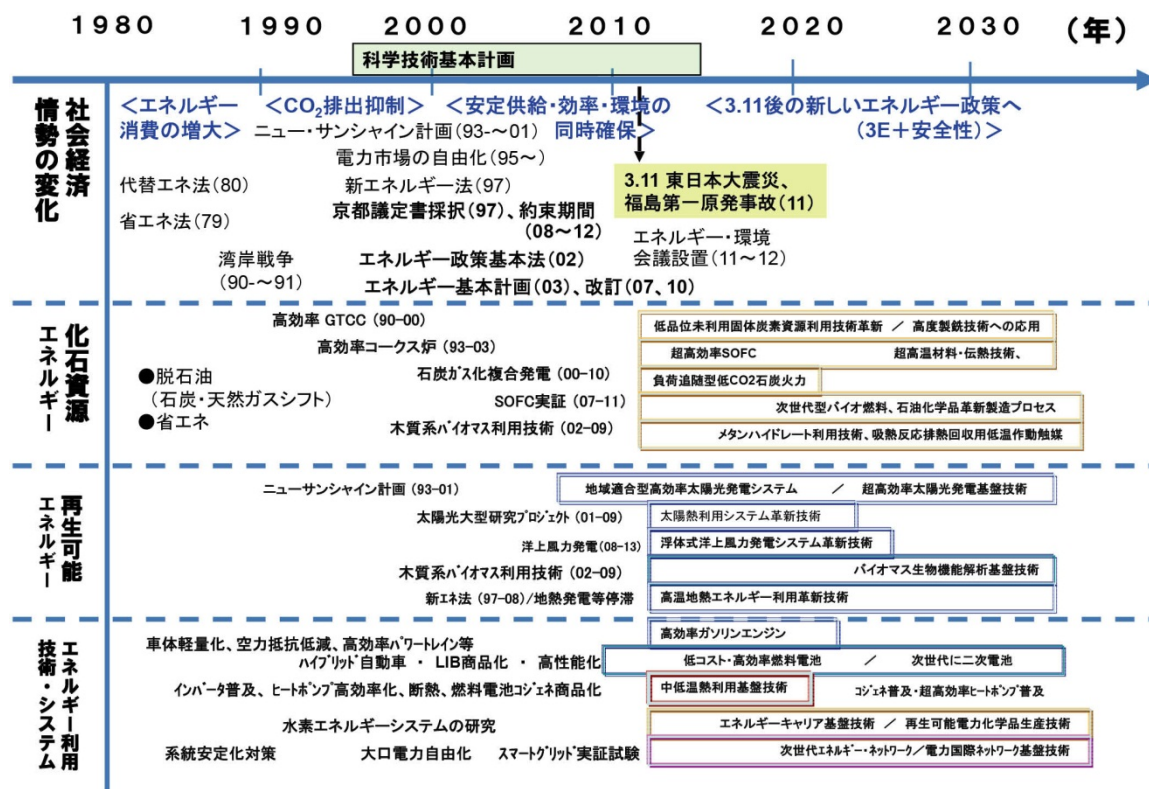


図 2.1.7 2030 年に向けたエネルギー分野の時間軸上の研究開発動向

2.1.4 分野の国際比較

科学技術・研究開発の国際比較結果について概要を示す。

<日本>

基盤的な技術では諸外国に比べ極めてレベルが高い。だが、石炭など一部の分野では研究者の減少が問題である。分野間連携が弱く、異なる学問分野間での協働による新技術の創出は米国に比べ遅れがちである。応用開発でも、産業界が国の補助のもとに精力的な展開を進めているにもかかわらず、広く普及している技術が少ない。

再生可能エネルギーに関しては、太陽光やバイオマスエネルギーの基礎・応用研究のプロジェクトが数多く実施され成果も出ている。しかし、産業化では諸外国に劣る。地熱も同様に基礎・応用研究が盛んである。技術は海外に展開されているが、国内での産業化は政策上の理由で停滞している。

エネルギー利用技術については、環境・省エネルギー技術は世界的競争力をもつ。それだけに、海外移転なども可能な革新的技術の研究開発に取り組まなければならない。利用システムについては、グローバルな視点から中長期的研究開発への取り組みが必要である。

<米国>

化石資源関連では基礎レベルは高いが、全体として研究者層が薄い。ただ、新技術の芽を育む土壌があり、新規技術については今後も有望である。応用研究・産業化の面では海外展

開によって、従来技術の拡大を進めている。

再生可能エネルギーに関しては、地熱や太陽熱については基礎・応用研究ともに最も盛んである。産業化も順調に進んでいる。バイオマスについては、巧みな研究開発体制のもとでレベルの高い基礎・応用研究を行い、産業化も進んでいる。

エネルギー利用技術・システムについては、基礎研究は進んでいるが応用開発・実用化は中位である。インフラが劣化していることもあり、また新産業育成の視点から、エネルギー省を中心に、基礎から応用までの戦略的取り組みが幅広く開始されている。

<欧州>

第7次研究枠組み計画（FP7）などにより大型プロジェクトが推進され、基礎・応用・産業化のすべてにおいてバランスがよく、研究者の層も厚い。

英国・ノルウェー・オランダを中心に洋上風力の研究開発が非常に進んでおり、産業化も順調である。アイスランドでは地熱の産業化が進むものの、研究開発へは注力が少ない。太陽熱では「サブサハラ・デザートック」に関連した研究開発が進められている。

東欧・ロシアも含め、電力・ガスの域内ネットワークを構築している。個別利用技術においては、輸送用エンジン技術は世界のトップクラスを維持している。再生可能エネルギーの導入に積極的で、社会システムとしての取り組みが進んでいる。

<中国>

化石資源分野の基礎研究レベルはあまり高くはないが、集中的な資金投入などによる海外からの技術導入が続いており、今後の進展が予想される。

従来型の太陽光技術については、基礎・応用研究、産業化のいずれも順調に伸びている。ただし、次世代型太陽電池の研究開発は少ない。太陽熱に関しては基礎研究から産業化まで盛んに行われている。韓国と同様に、海外からの技術移転のスピードが速い。国内研究体制も拡充しつつあり、将来的には質の面でも先進国に並ぶ可能性がある。

エネルギー利用においては、環境問題も含めて問題が山積しており、日本より20～30年遅れている。

<韓国>

化石資源関連においては、製鉄分野を除き存在感が薄い。

従来型の太陽光技術については、中国同様に、基礎・応用研究、産業化のいずれも順調に伸びているのに対し、次世代型太陽電池の研究開発はほとんど行われていない。日米欧の個別要素技術の取り込みと産業化の能力は高く、輸出産業にも活かしている。

国内の利用システム構築は日本同様に、これからである。ただし、産業の集約と戦略的政策の実行に優れている点は注目すべきである。

環境・エネルギー分野の研究開発動向を国際比較した結果を表2.1.3に示す。

表 2.1.3 環境・エネルギー分野の研究開発における国際比較結果

国	フェーズ	化石資源エネルギー														再生可能エネルギー									
		現状		トレンド		現状		トレンド		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	基礎	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	○	→	○	↗	○	→	○	↗	◎	→	◎	→
	応用	◎	↗	○	↗	◎	→	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	△	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	→
	産業	◎	↗	△	→	◎	→	○	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	△	→	○	↗	○	→	○	→	×	→
米国	基礎	◎	↗	◎	↗	△	↘	◎	→	○	→	◎	→	△	→	△	→	◎	↗	○	→	◎	→	○	→
	応用	○	→	○	↗	○	→	○	→	○	→	◎	→	△	→	△	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	○	↗
	産業	◎	↗	△	→	○	→	△	→	◎	↗	◎	→	△	→	△	→	◎	↗	△	↗	○	→	○	→
欧州	基礎	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	△	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗
	応用	◎	→	△	→	◎	→	◎	↗	○	→	○	→	◎	→	△	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗
	産業	◎	↗	△	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	△	→	△	↗	◎	→	○	→	×	→
中国	基礎	◎	↗	○	→	△	→	△	→	○	→	○	→	◎	↗	○	→	△	↗	△	→	○	↗	×	↗
	応用	○	↗	△	→	○	↗	○	→	○	→	△	→	○	→	△	→	◎	↗	△	→	○	↗	×	→
	産業	◎	↗	△	→	◎	↗	△	→	◎	↗	◎	↗	△	→	△	→	◎	↗	△	→	◎	↗	×	→
韓国	基礎	△	→	○	↗	○	→	△	→	○	↗	○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	↗	×	↗
	応用	○	→	○	→	△	→	△	→	○	↗	○	→	○	→	△	→	△	→	×	→	○	↗	×	→
	産業	○	↗	△	→	△	→	△	→	◎	↗	△	↗	◎	↗	△	→	×	→	○	→	△	↗	×	→

		再生可能エネルギー						エネルギー利用技術・システム																	
		システム（短期）		高温地熱エネルギー革 新的利用技術（中長 期）		太陽熱利用の革新的技 術システム（短期）		低コスト・高効率 燃料電池（短期）		次世代二次電池（中長 期）		高効率ガソリン エンジン（短期）		中低温熱利用 基盤技術（短期）		再生可能電力による化 学生産技術（中長 期）		次世代エネルギーネット ワーク基盤技術（短 期および中長期）（電力 輸送・変換技術）		次世代エネルギーネット ワーク基盤技術（短 期および中長期）（ネッ トワーク技術）		電力国際ネットワーク （中長期） （基盤技術）			
国	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
日本	基礎	○	→	◎	→	△	→	○	→	○	→	△	↗	◎	→	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	○	↗
	応用	○	→	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	△	→	◎	→	◎	→	○	→
	産業	○	↗	×	↘	×	↘	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	△	→	◎	→	◎	→	△	→	△	→
米国	基礎	△	↘	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	○	→	△	→
	応用	×	↘	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↗	○	↗	△	↘	○	↗	◎	↗	◎	→	○	→	○	→
	産業	×	→	◎	↗	◎	↗	△	↘	○	→	○	↗	○	→	○	→	◎	→	◎	→	△	→	△	→
欧州	基礎	△	→	△	→	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	○	↗
	応用	×	↘	△	→	○	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	○	→
	産業	×	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	△	→	△	→
中国	基礎	○	↗	△	→	◎	↗	△	↗	○	↗	×	↗	○	↗	△	↗	△	→	○	↗	○	↗	△	→
	応用	◎	↗	△	↗	◎	↗	△	→	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	○	↗	◎	↗	△	→	△	→
	産業	×	→	△	→	◎	↗	△	→	○	↗	×	→	△	↗	×	→	△	→	○	↗	◎	↗	△	→
韓国	基礎	○	↗	△	→	△	→	△	→	○	→	×	↗	◎	→	△	↗	△	→	○	↗	○	→	△	→
	応用	◎	↗	△	↗	△	→	◎	→	×	○	→	△	↗	△	→	△	→	○	↗	○	→	△	→	
	産業	△	→	×	↗	△	→	◎	↗	◎	↗	×	↗	△	→	△	↗	△	→	○	↗	○	→	△	→

注1：フェーズ 基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル
 応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル
 注2：現状 ※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。
 ◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、 ○：ある程度の活動・成果が見えている、
 △：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、 ×：特筆すべき活動・成果が見えていない
 注3：トレンド ↗：上昇傾向、 →：現状維持、 ↘：下降傾向

2. 1. 5 日本の課題

世界の懸念

エネルギーに関する世界の潮流は明確であり、以下のようにまとめられる。

1. 化石燃料は、今後数十年間は主たる一次エネルギー源として利用される
2. 原子力は、その安全性の向上と共に主要エネルギー源のひとつとして利用される
3. 各種再生可能エネルギーは、コストと供給安定性の改善と共に導入が増加する

このような中で、世界は次の懸念を共有していると考えられる。

1. 充足性：増加する人口、エネルギー、食料、水
2. 環境性：気候変動防止
3. 衡平性：途上国、新興国の発展

日本の懸念

日本においては現在、以下のようなことが大きな懸念材料になっている。

1. エネルギー自給率の低下と CO₂ 排出量の増加
2. 化石燃料の価格上昇と輸入増加に伴う貿易収支の赤字継続
3. 国際的に約束した 2020 年までの温室効果ガス削減目標（1990 年比 25%削減）の見直しおよび 2030 年における温室効果ガス排出削減方針への具体的な道筋の設定
4. 持続性のある FIT 買い取り価格の設定
5. 再生エネルギー関連技術の市場拡大とコモディティ化に対する国内関連産業の立ち後れ

ここで留意すべきは、日本が独自に国内のエネルギー対策に成功したとしても、本質的な解決にはつながらないということである。つまり、世界の枠組みの中で日本の積極的な技術的貢献を構想し、その上で日本がいかに独自の目標を実現していくかといった観点が極めて重要である。

エネルギー研究開発の基本的考え方

エネルギー分野の公的な研究開発の方向性は国の方針に大きく依存する。原稿執筆時点（2013 年 3 月）では、新政権下でエネルギー政策の詳細検討が改めて進められていた（東日本大震災以降のエネルギーをめぐる様々な環境変化を踏まえ、2014 年 4 月に新たなエネルギー基本計画が策定された）。こうした状況を踏まえた上で、エネルギーに関する研究開発を推進するに当たっては、次のような考え方が重要になる。

1. エネルギー消費総量の削減を最重要視する。あらゆるエネルギー利用プロセスの高効率化、省エネルギー、需給の平準化などの研究開発努力を継続する
2. 自然エネルギーの最大導入を図る。システム化によるエネルギーミックスにより導入を助ける
3. 電力供給を維持するために、当面、天然ガス、石炭の高効率クリーン利用を進める
4. 分散型エネルギーシステムを導入して、総合効率や危機対策上のメリットなどを生

み出す

5. 中長期の温暖化ガス排出削減シナリオを再構築し、国際的枠組み構築へイニシアチブをとる
6. エネルギー・物質資源の多様化により、供給安定性・持続性を確保する
7. 原子力は他のエネルギー源を補完するものとして位置付け、原子力への依存を減らす方向で現実的なシナリオを検討する。ただし、事故で学んだことを活かし、安全性確立のために技術の高度化への努力を続ける
8. 核燃料サイクル（燃料の再処理）の成否によりシナリオが変わることから、期限を決めて技術的な答えを出すことを前提に研究を推進する
9. 優れたエネルギー関連技術の海外普及に取り組み、世界の格差是正、温暖化対策に貢献する

目指すべき政策の方向性

上記の基本的考え方を踏まえて、俯瞰区分ごとに研究開発を進める政策の方向性を以下にまとめる。

化石資源エネルギー

1. 利用効率の格段の向上を目指す
2. 特定の化石資源に絞らずベストミックスを基本とする
3. 化石資源種ごとに必要な技術開発をバランス良く進める

再生可能エネルギー

1. 再生可能エネルギー導入を最大化する次世代技術を開発する
2. 食糧資源と競合せずに化石資源の代替を促進する
3. 地域の特性に適した再生可能エネルギーを導入する

エネルギー利用技術・システム

1. 再生可能エネルギーも含めた総合利用効率を向上させる。
2. 緊急時エネルギーの確保を可能にするスマートなエネルギー需給システムを構築する

以上に加え、要素技術から社会制度も含めたシステム技術の研究開発が肝要である。

エネルギー関連の戦略的な研究開発施策は、当然のことながら、国のエネルギー基本計画と連動して立案されることが望ましい。両者においては、将来に関する数理的な予測による支援が必須である。我が国の総合的なエネルギー計画、将来の技術開発、それらに伴って変化し得る温暖化ガス排出削減の見通し、エネルギー経済や産業構造、そして国民の生活などの把握が前提になるからである。

これらを数理的に予測するための「エネルギー政策のための科学」の構築も極めて重要な研究課題であることを指摘しておきたい。先端技術の開発に直接関係するものではないが、

忘れてはならない重要課題といえる。現状は、経済学や工学の一部として、少数の研究者によって開発された手法による具体的な予測結果が政策立案に採用されることがある。だが、継続的な研究開発プログラムとして取り上げられていないため、欧米諸国と比べて学術的にも人材的にも極めて手薄な状況にある。

今回抽出した主要研究開発領域は、極めて広い技術分野を包含している。財政的制約が増すなかで、主要研究開発領域の優先順位付けや産官学の役割分担については、国民のコンセンサスを得ながら明確にして推進していかねばならない。従って、国策上の各種目標技術の客観的評価、プライオリティセッティング、そして政策決定プロセスにも科学的方法の支援を導入し、賢い選択を導くことも不可欠な課題である。

エネルギー分野の科学技術・研究開発はこれまで、資源確保と環境課題への対応、そして経済原則に沿って、産官学の関係者により進められてきた。そこでの政策プロセスにおいては、客観的な評価と主観的な判断が混在した議論が重ねられた例が数多くあり、冷静な合意形成を困難にしてきた。こうした場にも、社会の期待に応えるべく科学の知識を活かすという大きな課題がある。



研究開発の俯瞰報告書概要（2013）

ライフサイエンス・臨床医学分野

ライフサイエンス・臨床医学分野の範囲と変遷

<調査範囲>

本報告書における「ライフサイエンス・臨床医学」分野の定義を以下の通り設定し、俯瞰調査を実施

ー生物圏におけるヒトを含む生物の生命現象の解明と、この知見をヒトおよび地球（環境）の「健康」につなげる科学技術（ジオヘルスイノベーション）

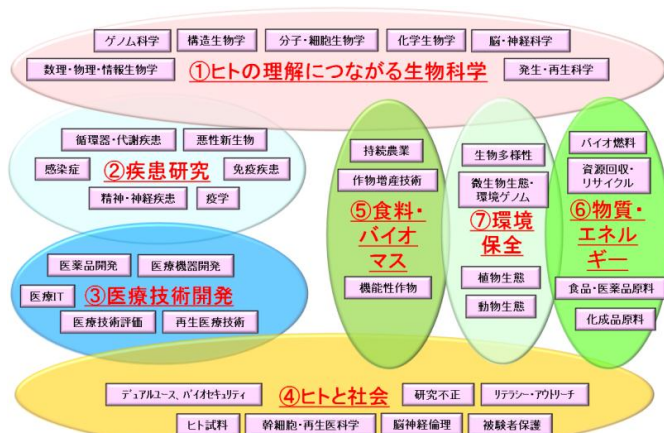


図. 調査範囲（計7区分、36領域）

<本分野の変遷>

- ・20世紀の分子生物学の勃興以降、急速に進展
- ・21世紀以降もその勢いは増しており、次世代シーケンサー等によって得られた大量の生命情報（ビッグデータ）から法則を見出す「データ駆動型研究」が、本分野全体にまたがる大きな潮流に（ヒトを含む、地球（環境）・生物全体の統合的な理解へ）

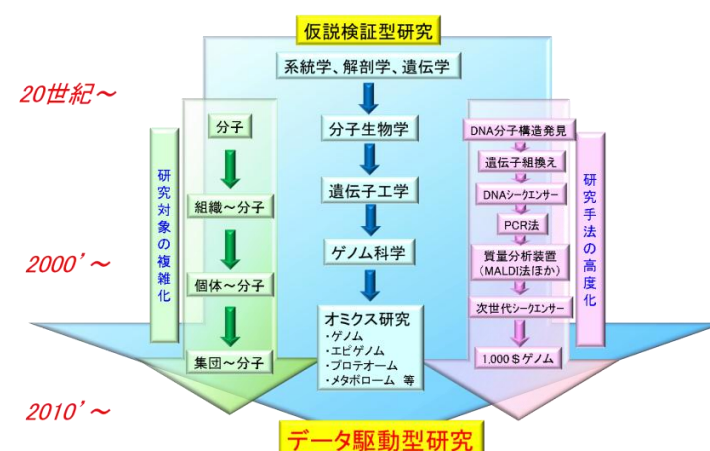


図. 本分野の変遷

今後の推進方策

①ライフサイエンス、臨床医学分野のビッグデータ活用

- ・将来的に、医療IDの整備、個人情報に配慮したデータ収集、データベースの統合化等が進展することで、大量の臨床情報、及び科学的知見の活用が可能になる
- 【研究開発の変革】
大規模データ解析に基づく、生命現象の理解、新規医療技術シーズの創出
- 【医療の変革】
医療の個別化（あるいは層別化）

②オープンイノベーションの推進

- ・【背景】医薬品開発の成功率の著しい低下
- ・近年欧米でPrecompetitive research collaborationが活発
- 単独の企業では解決が困難な医療技術創出のボトルネック部分に対し、産官学の複数の関係者が協同し研究開発を推進（基礎研究テーマも多く含まれる）
- （海外事例）欧州：IMI、米国：Biomarkers consortium

③早期～予防的な医療の推進（先制医療）

- ・先制医療とは、発症前の段階で科学的根拠に基づき診断、予測し、治療的介入を実施。発症の防止、遅延を目指す医療の方向性
- ・アルツハイマー病で先制医療実現に向けた取り組みが活発
- 診断：ADNI（日米欧豪）、治療：米国で複数の臨床研究
- ・大規模コホートで得られる健常～発症者の臨床情報（ビッグデータ）等の解析によるエビデンスの集積が期待

④未充足の医療ニーズ（アンメットメディカルニーズ）に対応する医療技術開発

- ・【疾患事例】世界中で精神・神経疾患研究が加速
- 世界の認知症患者の急速な増大：
3,560万人（2010年）→1億1,540万人（2050年）
- 精神神経疾患の多くは診断・治療法が未確立
- ・【医療技術の方向性（例）】
- 診断と治療の一体化（コンパニオン診断など）
- 医薬品、医療機器、医療ICT、再生医療などの融合
- ・【医療提供の方向性（例）】
- 医師とコメディカルの適切な役割分担と協同に基づく、最適な医療提供
- ・【生命倫理、医療倫理の観点から】
- ・先進医療、終末期医療のあり方に関する議論

国内外の動向（概要）

【日本】

- ・基礎研究の水準は2位グループ（発生・再生、化学生物学）
- ・研究基盤についても競争力有り（スパコン、X線重電子レーザー）
- ・応用研究、成果の産業化に弱み
- ・ものづくり基盤に強み

<わが国の課題は以下の通り>

- ・ヒトバイオロジー研究の加速
- ・橋渡し研究の加速
- ・個別要素技術の統合化
- ・ビッグデータの活用基盤整備
- ・府省間、企業間、大学間の枠を超えた産官学共同研究開発戦略（再生医療、バイオ医薬品ほか）
- ・生命倫理、医療倫理の議論（終末期のあり方など）
- ・医療技術の適切な評価（HTA）

【米国】

- ・ほぼ全ての研究開発領域において基礎・応用・産業化が世界一
- ・豊富な資金力と研究人材
- ・ライフサイエンス研究の潮流の多くが米国発（データ駆動型研究等）
- ・「脳」に関する大型プロジェクトを実施予定（BAMP）
- ・ベンチャー基盤が充実、産学官連携、橋渡しも活発

【中国】

- ・若手人材の戦略的な留学、海外で成果をあげた中国人研究者の呼び戻し政策等により、研究開発の量（質）は上昇傾向
- ・ライフサイエンス分野に対する活発な取り組み（BGIなど）
- ・多数のグローバル製薬企業が中国をアジアの研究拠点として活用

【欧州】

- ・EU全体で研究開発戦略を策定し推進（FP7→Horizon2020（2014～））
- ・英独仏を中心に基礎研究が強い
- ・英独仏では大学再編も活発
- ・「脳」に関する大型プロジェクトを実施予定（HBP）
- ・基礎研究の産業化は、米国と同等かやや劣る
- ・臨床試験は国境を越えて行く実施

【韓国】

- ・日米欧に比して、基礎研究、応用研究とも競争力は劣る
- ・臨床研究を実施する環境は充実、大手製薬企業が臨床研究を推進
- ・再生医療に関して、ベンチャーでも治療を実施しやすい環境（18品目が既に薬事承認）

2.2 ライフサイエンス・臨床医学分野

ライフサイエンスは、医療をはじめ、環境、エネルギーなど広範な社会基盤の形成に寄与する研究開発領域である。その戦略的な推進は、国の医療政策やエネルギーなどの国家戦略などにも影響を及ぼす。諸外国の政策動向を含めたライフサイエンスの全体像を把握することは当該分野の研究開発戦略の立案において肝要である。

俯瞰に際しては、ライフサイエンスを「生物（ヒトを含む）の生命現象の解明とヒトおよび地球（環境）の健康持続に資する科学技術」と定義した。これを「ライフサイエンステクノロジー分野」と「グリーンテクノロジー分野」の大きく2分野に分類している。

2.2.1 分野の変遷

2.2.1.1 ライフサイエンステクノロジー分野

ヒトの理解につながる生物科学：

ライフサイエンスは、分子生物学の勃興により飛躍的な進化を遂げ、計測・解析技術の発展とともに進歩してきた。近年では、次世代シーケンサーの普及、質量分析器の高度化、イメージング技術の進歩により、膨大なデータが産出されている。これにより、従来の「仮説検証型」アプローチから、大量データから法則を見出す「データ駆動型」アプローチ（ビッグサイエンス）が生まれ、現在の潮流が形成されている。

一方で、重要な発見は依然として一研究室レベルの規模の研究（スモールサイエンス）から生まれることも多い。ビッグサイエンスとスモールサイエンスをバランスよく推進することが重要である。

別の潮流としては、より高次の生命現象の理解を目指す研究へとシフトしつつあることが挙げられる。遺伝子、タンパク質など個別要素的に行われてきた研究から、これらの要素を組織、個体、機能、行動などシステムの的に理解しようとする動きである。

医療・福祉：

ライフサイエンスに関する研究の急速な進展に伴って、その成果を医療技術の創出につなげるための研究開発も積極的に進められている。とりわけ、悪性新生物（がん）、脳血管疾患、心疾患は、患者数が多く重篤な合併症などの誘因になる。そのため、これらの疾患に対する重点的な取り組みが諸外国でみられる。高齢者に多く見られるアルツハイマー病、糖尿病、骨粗鬆症なども重要な疾患として注目されている。

注目動向としては、「橋渡し研究（TR）」と呼ばれる分野が重要視されてきたことがある。医療としての実用化が見込まれる有望な基礎研究をいち早く見出し、その成果を効率的に臨床へ橋渡しするための基盤整備や技術の評価するための取り組みである。我が国ではTRは、2000年ごろから注目され、重点的な推進プロジェクトが立ち上がっている。研究室で得られた疾患メカニズム解明の成果にもとづく萌芽的な治療技術を、ヒトでの治験につなぐ研究が推進されている。

ヒトと社会：

生命倫理では、医学、医療を超え広く生命に関する倫理的な問題を扱う。この問題は、ライフサイエンスとの関連がより密接にかかわるようになっている。

次世代／次次世代シーケンサーの導入に伴って遺伝子解析が高速化し、臨床現場においても個人の全ゲノム情報が利用可能になっている。また、バイオバンク制度やインフォマティクス技術の発展により、遺伝子情報のみならず、多種多様なヒト由来試料や観察データ、疫学データについて、当初想定されていた研究範囲を超えた保管や活用の機会を求められるようになった。

これらのことから、試料提供者、被験者へのインフォームド・コンセントにおいて想定外使用への配慮は必須である。加えて、非侵襲的計測、可視化技術が急激に進展しているヒト脳研究においては、研究対象そのものが個々人の価値観、倫理観、プライバシーなどに関わる事例も多く、その倫理的配慮の一層の充実が求められている。

一方で、研究成果のねつ造や研究費の不正使用の予防を目的とした取り組みも重要である。研究者本人の自律性（自覚、自省）によって守られるべき研究の公正性（Research Integrity）に関する説明責任や、デュアルユース問題と呼ばれる当事者の意図しない形での研究成果の悪用（バイオテロ、犯罪への成果転用）、誤用の防止などである。

2. 2. 1. 2 グリーンテクノロジー分野

グリーンテクノロジー分野の研究開発の進展には、計測技術と分析技術の進歩が深く関係している。とりわけ、大きな影響を与えた計測技術としては次世代シーケンサーが挙げられる。この技術の登場により、生物の全ゲノムの解析や有用遺伝子の探索が急速に進展した。特に有用生物ゲノムや微生物メタゲノムの網羅的な解析と機能の解明は、基礎研究の潮流を形成している。同技術を利用した比較ゲノム研究による有用遺伝子を同定する研究開発が活発となっている。

食料・バイオマス生産：

植物のフィールド環境下における応答機構を包括的に理解する研究開発が進展している。具体的には、光や水、大気中のCO₂濃度などの植物への影響を遺伝子や表現型の定量解析に基づいて経時的に解析する手法が確立され、これに基づく定量植物学の萌芽が確認されている。開花や成長に関係するホルモンを同定し、その構造や機能を統御システムとして解析する研究も行われている。いずれの研究も理論的なアプローチを基軸とし、大規模な情報解析を基盤とした数理計算科学によるアプローチが急速に展開されている。

一方、応用研究のフェーズでは、様々な新規育種技術（NBT）が開発されている。特に形質導入に使用した外来遺伝子が残留しない組み換え技術が特筆される。人や環境への影響が最小限に抑えられるため、このような技術で作製した新作物をGM作物として扱うべきかどうかの議論が先進国を中心に行われている。

物質・エネルギー生産：

物質・エネルギー生産区分の研究開発は、基礎研究から生産システムの精密な制御を基軸とした応用研究に軸足が移りつつある。バイオエタノールなどの液体燃料の生産系は、基礎

を含む研究開発の段階はほぼ終了している。基質から糖を生産する酵素の開発などで一部課題が残るものの、現在は、製造プロセスの徹底的な効率化が主な課題である。

一方、バイオガスや藻類油脂生産では生産システムに関する研究が盛んである。特に、原料（コンポストなど）の供給システムや生産された残渣の再利用が課題になっている。国内外で生産コストの低減を目的に試験プラントが整備されている。

食品原料、とりわけ発酵素材の開発では、化合物の新たな利用法の探索が行われている。例えばアミノ酸の利用については、これまで利用されてきた L 型に加え、D 型への展開が進展している。分岐型アミノ酸などの応用についての取り組みも検討されている。既知分子の新機能に関する探索研究は、発酵産業の起爆剤としての可能性を内包しており、今後の展開が注目される。

環境保全：

基礎研究の分野では、生物のゲノム情報と生態系機能の垂直統合に向けた取り組みの萌芽が確認されている。具体的には CO₂ 濃度の上昇による光合成の分子機構と植物群落での機能に関する定量的な研究が進む。土壌環境における環境ゲノム解析もシーケンシング技術の進展により急展開を示している。地球環境における生物の統合的理解の一層の深化が期待される。

ヒトや家畜へのリスクのある野生動物のサーベイランスについては OIE（国際獣疫事務局）が体制を構築中である。野生動物の生息密度情報と植生の影響を定量評価し、適正な生息数の指標を確立することが求められている。地理情報システム（GIS）を組み合わせた統合モデルの作成が課題である。

温暖化対応技術としては、CO₂ 濃度上昇に適応した有用遺伝子の探索、環境適応型植物の作出の努力が続いている。制度設計の観点からは、生態系の価値の内部化を目的に REDD（森林による CO₂ 排出削減）および熱帯林の REDD+プロジェクトが国際的な枠組みで進められている。このようなトレードオフの議論では、森林などの生態系サービスの社会および経済価値に関する指標の開発が求められる。

2. 2. 1. 3 これまでのファンディングと主な成果：

第 2 期科学技術基本計画以降、我が国ではライフサイエンス分野へ重点投資が行われてきた。その過程において、ライフサイエンス研究の規模が変化している。研究室ごとにテーマを進める研究（スモールサイエンス）のみではなく、幾つもの研究室が協働して実施する大型プロジェクト（ビッグサイエンス）が実施されるようになった。

我が国のライフサイエンス研究の大型化の転機となったのは、1999 年に提唱されたミレニアムプロジェクトである。同プロジェクトにより、2000 年度の経済新生特別予算のうち 640 億円が、ゲノム研究を中心としたライフサイエンス関連研究へ投資された（ミレニアム・ゲノム・プロジェクト）。この投資により、理化学研究所などに研究拠点が設立された。その後も各拠点を中心に、基礎または基盤領域のプロジェクト研究が実施された。

近年では、イノベーションへの意識が高まり、関係 3 省（文部科学省、厚生労働省、経済産業省）が連携し、応用を意識したライフサイエンス分野の各領域への大型研究投資が続いている。

これらプロジェクトの成果から生じた特筆すべき成果の1つが、ヒト iPS 細胞の作製技術である。2007 年に山中伸弥教授（京都大学）らにより、成人の皮膚細胞からヒト iPS 細胞が樹立されたことを契機に、患者自身の細胞を用いた再生医療実現への期待が一気に高まった。山中教授はジョン・ガードン博士（体細胞核を移植した除核卵から個体発生に初めて成功）とともに 2012 年ノーベル医学生理学賞を受賞している。

もう 1 つの成果が、各種臓器がんについての原因遺伝子同定とその治療法の進展である。代表的な成果としては、自治医科大学の間野博行教授らによる EML4-ALK というがん遺伝子の発見と、それに続く分子標的抗がん剤（EML4-ALK 阻害剤：クリゾチニブ）の迅速な開発である。間野教授らの発見により固形がん治療の新たな道が拓かれたと言える。

産業としてみると、我が国の医薬品メーカーは、欧米のメガファーマと呼ばれる巨大医薬品企業と比べ、規模が小さい。しかしながら、基礎研究から医薬品開発までの研究開発力を国内に保有している。欧米の先進諸国以外で、生薬以外の医薬品開発の実績があるのは日本のみである。我が国においても産官学の協同体制を強化できれば、医薬・医療周辺で、さらなるイノベーションを生みだせると考えられる。

2.2.2 分野の範囲と構造（分野の俯瞰）

ライフサイエンス分野の俯瞰に際しては、冒頭で述べたように、ライフサイエンスを「生物（ヒトを含む）の生命現象の解明とヒトおよび地球（環境）の健康持続に資する科学技術」と定義した。これを「ライフサイエンステクノロジー分野」と「グリーンテクノロジー分野」の大きく 2 つの分野に分類した（図 2.2.1）。

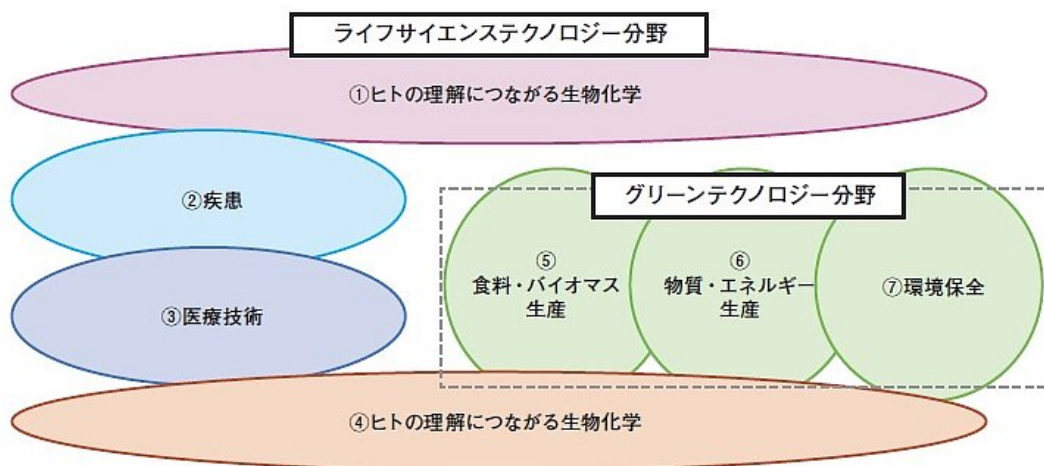


図 2.2.1：ライフサイエンス分野の対象分野（概略版）

「ライフサイエンステクノロジー分野」は、医療を通じた社会貢献に必要な分野と定め、4 つの俯瞰区分と 25 の俯瞰対象領域に細分化した。「基礎研究（①ヒトの理解につながる生物科学の 7 領域）」、「応用研究（②疾患の 6 領域と、③医療技術の 5 領域）」、「倫理に関する研究（④ヒトと社会の 7 領域）」である。

「グリーンテクノロジー分野」においては、生命活動の関わる生産、環境について、3 つ

の俯瞰区分と 11 の俯瞰対象領域に細分化した。「⑤食料・バイオマス生産：3 領域」、「⑥物質・エネルギー生産：4 領域」、「⑦環境保全：4 領域」である。

一度の俯瞰でライフサイエンスの多岐多様な研究開発領域の網羅的な調査は困難である。上で述べた俯瞰領域は、関連の深い領域を整理・統合した上で、俯瞰区分ごとに基準を設けて選定している。

2.2.2.1 ライフサイエンステクノロジー分野

基礎研究の俯瞰図では、文部科学省をはじめとする府省の最近 15 年の政策動向から、重点的に投資されている研究開発領域を抽出して整理した（図 2.2.2）。そこから、科学研究として進展が著しい領域と、医療技術開発の要素研究としてニーズが高いと考えられる領域の 2 つの視点を重視して調査対象を選定した。この区分に含まれる研究開発は、ヒトの生命現象の解明を目的とした生物科学研究が多いため、名称を「ヒトの理解につながる生物科学」区分とし、俯瞰調査を実施した。

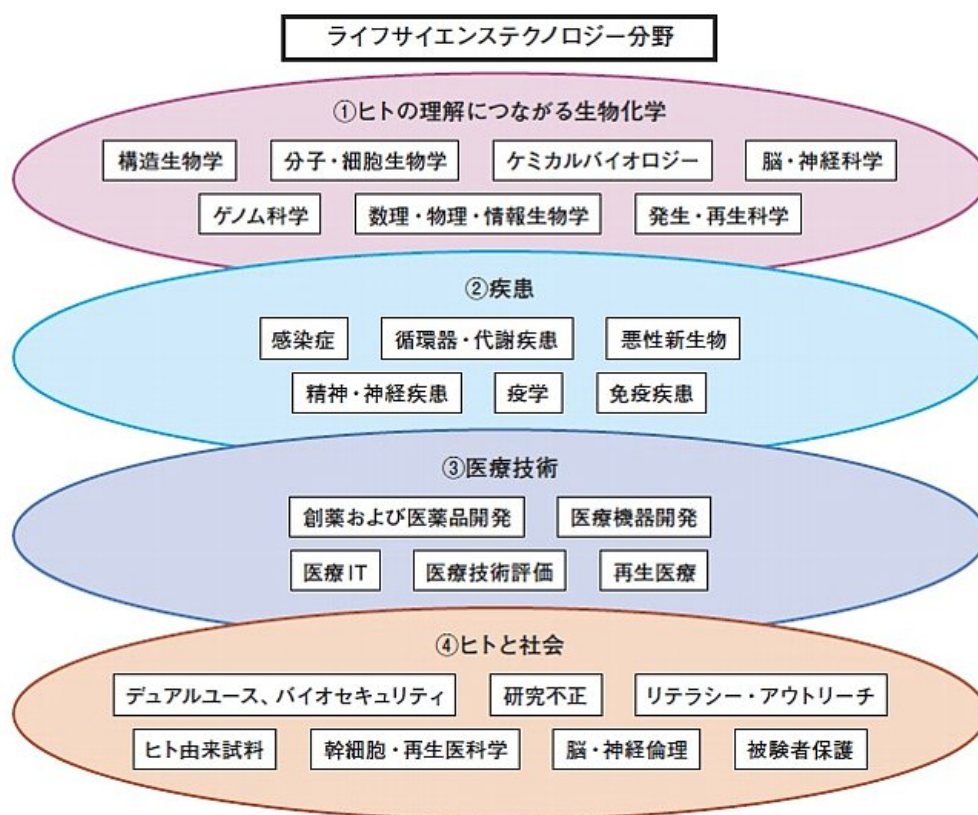


図 2.2.2 ライフサイエンステクノロジー分野の区分と主な研究開発対象（概略版）

応用研究では、主要な疾患とそれらの医療技術について調査を実施した。調査では、主要な疾患については国際疾病分類（ICD）を参考にした。医療技術については、経済産業省が作成している技術戦略マップを参照している。これらの調査から抽出・整理された研究開発領域は、「疾患」および「医療技術」のそれぞれで区分を設け、俯瞰図を作成した。

「疾患」区分は、患者数と医療費の多い疾患のうち、科学的な知見の蓄積が多く、新しい

治療技術につながる可能性の高い疾患を優先的に調査対象とした。「医療技術」区分は、開発する技術の種類と活用される場（自宅～高機能病院）の2軸を設定して主要な技術を展開している。この2軸によって研究手法が異なることを想定したためである。そこから、関連製品の国内外の市場規模と将来性、あるいは今後の医療制度に与えるインパクトの大きさなどを根拠に調査対象を選定した。

倫理や社会受容については、社会科学分野の有識者を含めた議論などの結果から関連する研究課題を抽出した。これら研究課題は、ヒトの恣意性と研究が対象とする階層（社会的階層およびヒトの生体階層）で分類できる。そのため、これらの軸上に主要な課題を展開し、近年進展が著しく、問題が顕在化している生命倫理分野から4領域を選定。成果の社会実装上の重要課題として、研究の健全性、研究応用、成果展開のそれぞれの観点から3領域を選定した。この区分は、ヒトの行動とその社会的な影響に主眼を置いているため、名称を「ヒトと社会」区分とし整理した。

2.2.2.2 グリーンテクノロジー分野

グリーンテクノロジー分野は、環境への負荷を低減させる食料生産や有用物質・エネルギー生産に関する研究開発が中心的な課題である。これら研究開発の要素は大きく3つに大別される。すなわち、植物の機能を活用した生物生産研究、バイオマスの生化学的な変換に基づく物質生産研究、そしてバイオマス生産などにおける環境保全技術などに関する研究開発である（図2.2.3）。これら3つの研究開発に包含される技術動向や関連府省の政策動向などを踏まえ、俯瞰図を作成した。

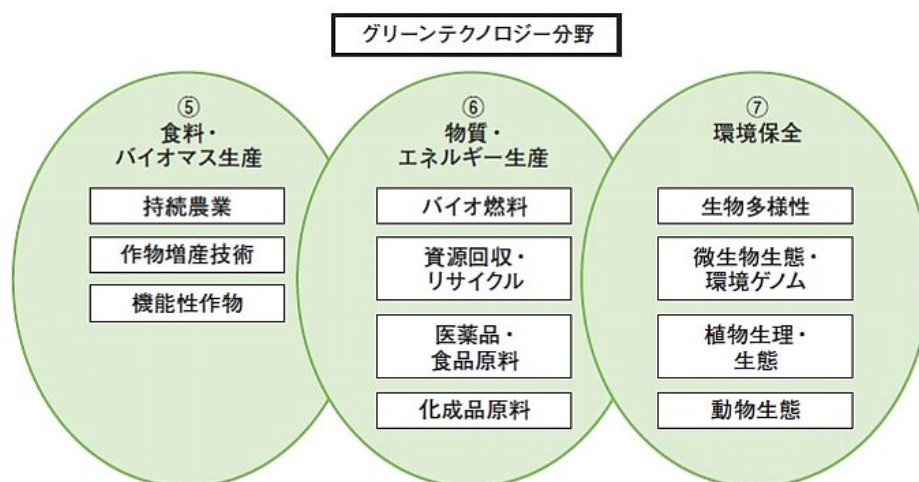


図 2.2.3 グリーンテクノロジー分野の区分と主な研究開発対象（概略版）

上記のうち生物生産研究は、農林水産省の実施プログラムを参考にした。ここでは現在、植物の遺伝子探索、機能解明、そしてそれらの成果を食料の増産などにつなげる育種・栽培技術に関する研究開発などが推進されている。そこで、これらの技術を研究から生産までの時系列に沿って列挙し俯瞰図とした。名称は「食料・バイオマス生産」区分と設定した。革新的な技術が期待される遺伝子解析やその制御に関する研究開発を主眼に置いて、3つの領

域を調査対象とした。

物質生産研究は、経済産業省のバイオ関連施策（技術戦略マップ）を基に作成した。この中では、生物機能を活用した有用物質やエネルギー生産に関する研究開発などが記載されている。最終生産物をもとにエネルギー・化成品原料と医薬品・食料原料に分け、それぞれの関連技術を俯瞰図へ展開した。名称は「物質・エネルギー生産」区分と設定した。市場が拡大基調であり生物機能の活用が期待される3つの領域を調査対象とした。

環境保全については、環境省の関連施策を参考にした。具体的には微生物を含む動植物の精緻な動態について、観察・計測、モデル・予測、対策・修復、そして評価のそれぞれの技術によって解析している。そこで俯瞰図の作成では、これらの技術と対象生物を抽出して展開し、名称を「環境保全」区分と設定した。生物種に限らず、環境の生物多様性の動態解析が環境保全政策などで求められていることから、生物多様性に関する科学的な知見の創出に関する研究開発を対象領域とした。

対策・修復の技術において「資源回収・リサイクル」の領域は、「物質・エネルギー生産」の対象領域とした。「環境保全」にとどまらない生産に関わる領域であり、リンやレアメタルなどの資源の供給や回収に関する国際規模の問題も対象になっているからである。

2. 2. 3 分野の今後の方向性

俯瞰調査を通じた今後の方向性としては今後、次の4項目の動向把握が重要であると考えられる。

1. ライフサイエンス、臨床医学分野におけるビッグデータの活用

当該分野では将来的に、大量の臨床情報・科学的知見などの活用が可能になると考えられる。医療IDの整備、個人情報に配慮したデータ収集、データベースの統合化などが進展するためである。研究開発の変革という点では、ビッグデータに基づく、生命現象の理解、新規医療技術シーズの創出が期待される。

医療変革のテーマとしては、データ利用による医療の個別化（あるいは層別化）に基づくオーダーメイド医療が実現し、副作用の回避・低減、医療費の最適化が期待される。医療提供体制そのものも、様々なICT技術の支援により大きく最適化が進展すると思われる。

グリーンテクノロジー分野においては、生態系・生物多様性の保全や利用に関わる科学技術的課題としての植物の化学的側面と生態系機能、遺伝子・生態系機能統合研究、並びにNBTプラットフォームの検討が重要になる。

2. オープンイノベーションの加速（知の集約）

創薬分野における臨床開発の成功率の著しい低下や、2015年問題とも呼ばれる大型バイオ医薬品の特許切れを背景に、欧米では、医療技術のイノベーション創出を目指した取り組みが活発化している。具体的には、単独の企業・機関では実施困難なテーマ（治療薬の安全性や有効性の評価研究、診断・治療のバイオマーカー確立など）を対象に、複数の企業や、大学、官、患者団体などが連携し、研究開発を推進している（基礎研究レベルのテーマを含む）。

グリーンテクノロジー分野においても、マイクロバイオーーム、微生物予報などの事例で

は、オープンイノベーションの検討が重要になる。

3. 先制医療（予防的な医療）の推進

“発症前”の段階で、科学的根拠に基づく診断、予測、治療的介入を実施することで、発症を防止ないし遅らせることを目指す新しい医療（先制医療）のますますの進展が予想される（参考：戦略イニシアティブ提言『超高齢化社会における先制医療の推進』、2011、JST-CRDS）。

4. 未充足の医療ニーズへの対応（アンメットメディカルニーズ）

世界中でアカデミア、企業による精神神経疾患の研究開発が加速している。その背景には、対象疾患事例として、世界の認知症患者が 3560 万人（2010 年）から 1 億 1540 万人（2050 年）に増加するといった試算がある。

医療技術の方向性の例としては、診断と治療の一体化（コンパニオン診断など）や、医薬品、医療機器、医療 ICT、再生医療などの医療技術の融合に関する議論が重要となる。医療提供の方向性の例として、医師とコメディカルの適切な役割分担と協同に基づいた、最適な医療提供の課題がある。そして、生命倫理、医療倫理の観点からは、先進医療、終末期医療のあり方に関する議論を進める重要性が高まっている。

このように、俯瞰報告書の作成においては、多岐に亘るテーマを内包するライフサイエンステクノロジー分野とグリーンテクノロジー分野の検討を踏まえ、具体的な研究課題の検討、期待される研究成果、国際競争力などを分析した。ライフサイエンステクノロジー分野においては、裾野の広いサイエンスの推進により、健康寿命の延伸、医療制度の持続性向上、そして医療産業の発展を同時に実現する研究開発戦略が強く求められている。グリーンテクノロジー分野においては、経済発展、食糧・資源エネルギーの安定供給、そして環境保全の実現をバランスよく目指す研究開発戦略が強く求められている。

2. 2. 4 分野の国際比較

世界各国・欧州地域は、それぞれライフサイエンス・臨床医学のイノベーションを目指す国家戦略を持ち、基礎研究推進を含めた研究開発に積極的に投資している。米国、欧州、中国、韓国の研究開発、科学技術戦略の概況を述べる。

<米国>

ライフサイエンステクノロジー分野では、ほぼすべての研究開発領域に関して、基礎研究、応用研究ともに世界のトップに位置する。圧倒的な資金力と豊富な人材により、最先端の研究が行われている。特に、オミクス研究などの「データ駆動型」アプローチが強く、現在のライフサイエンスの多くの潮流が米国から生み出されている。例えば、全ニューロン活動のマッピングをめざす「脳」に関する大型プロジェクト「Brain Activity Map Project」には、今後 10 年間で総額 30 億ドルの投資が予定されている。

ベンチャー企業を育てる経済的、文化的背景が醸成されており、ベンチャーを通じて基礎研究を産業化する能力にも長けている。次世代シークエンサーを製品化したのは米国企業のみであるように、最先端研究を支える基盤技術開発や国際展開にも強みを持つ。これらの傾

向は以前から続いており、今後も米国主導の時代が続くと思われる。

グリーンテクノロジー分野では、2008年の未曾有の金融危機に対し、就任直後のオバマ大統領がグリーンニューディール報告書に基づいた様々な政策を打ち出した。これを受け、世界各国で同様の政策が検討・推進されている。

<欧州>

ライフサイエンステクノロジー分野では、英国、独国、仏国を中心に、歴史的に基礎研究は強く、米国と比肩している。英国のサンガー研究所には、次世代シーケンサーが 50 台以上導入されており、国際的なゲノムプロジェクトへの貢献も高い。疫学も発展している。特に北欧はゲノムを含む疫学研究の実施体制の整備が進んでいる。

英・独・仏では、大学再編も活発化している（英・独・仏・スイスの国別動向に関しては、俯瞰報告書（CRDS-FY2012-FR04）で紹介している）。「脳」分野においては、ICT を用いて脳の理解を進める大型プロジェクト「The Human Brain Project」が、EU 全体の研究開発戦略のもとで進められている（FP7（～2013）、Horizon2020（2014～））。総投資額は 10 年間で 11.9 億ユーロに上る。産業化に関しても、米国と同等か、やや劣る程度の国際競争力を有している。多数のグローバル製薬企業も存在し、臨床開発においては、国境を越えた複数の医療機関で実施されることが多い。

グリーンテクノロジー分野では欧州も米国と同様、金融危機を機とする 2008 年 11 月に欧州経済回復計画を発表している。省エネ技術の開発をエンジンに産業振興と雇用創出を目指した施策を謳っている。2009 年 3 月に EU は、結束政策を通じて、環境に配慮した「グリーン経済」に 150 億ユーロを投資することを発表している。

<中国>

ライフサイエンステクノロジー分野では、欧米、日本に比して基礎研究の競争力は劣るものの、近年の進展は目覚ましい。論文数の面では日本を上回っている研究開発領域も多く、質についても向上中である。次世代シーケンサーの導入も進んでおり、BGI は世界一の導入数を誇る。現時点ではゲノム科学の水準は高くないものの、今後、BGI で経験を積んだ人材の輩出により、その水準は高くなると予想される。加えて、欧米で成果を挙げた中国人研究者を中国に呼び戻す政策が打たれており、研究の質的な向上も見られる。多くのグローバル製薬企業のアジア拠点が上海に集結しつつあるなど、臨床研究を行う環境も整っている。

グリーンテクノロジー分野においては、2006 年から 2020 年までの国の大綱を示す国家長期科学技術発展企画が策定されている。この中で、持続的な発展を可能にするエネルギー、水、環境技術の開発が重点課題の 1 つに取り上げられている。工業分野における汚染対策、廃棄物の循環利用、脆弱な生態区域における生態システムの機能回復なども重点領域課題に挙げている。

<韓国>

ライフサイエンステクノロジー分野では、欧米、日本と比して、基礎研究、応用研究ともに途上段階にある。新薬開発の中心は、改良医薬品やバイオシミラーであり、独自性のある新薬開発はほとんどない。しかしながら、臨床試験の整備は充実しており、外資系の製薬企

業による臨床研究が積極的に進められている。

再生医療製品の承認数が多いのも特徴の 1 つである。細胞、組織加工製品として 18 品目が薬事承認されており（日本は 2 品目）、ベンチャーでも治験を実施しやすい制度環境の整備が進んでいる。

ライフサイエンス分野の研究開発動向を国際比較した結果を表 2.2.1 に示す

表 2.2.1 ライフサイエンス分野の研究開発における国際比較結果

ライフサイエンステクノロジー分野

国	フェーズ	ヒトの理解につながる生物科学														医療・福祉									
																疾患									
		ゲノム科学	構造生物学	分子・細胞生物学	ケミカルバイオロジー	発生・再生科学	脳・神経科学	数理情報生物学	物理生物学（生物物理学）	悪性新生物	患循環器・代謝疾患	感染症	免疫疾患	精神・神経疾患	疫学										
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	基礎	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	△	↗
	応用	△	↗	○	↗	○	→	○	↗	○	→	○	↗	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	△	→
	産業	△	→	○	→			△	→	○	→	△	→	○	→	△	→	○	→	◎	→	◎	→	×	→
米国	基礎	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	産業	◎	↗	◎	→			◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用	○	↗	○	→	◎	→	○	↗	○	↗	○	↗	◎	→	○	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
	産業	○	↗	◎	→			△	↗	◎	→	○	↗	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→
中国	基礎	○	↗	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗
	応用	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	→			△	→	△	↗	△	↗	△	↗	△	→	◎	↗
	産業	△	↗	△	↗			△	↗	○	→			△	↗	○	→	△	↗	△	↗	△	→	○	↗
韓国	基礎	△	→	○	↗	○	↗			○	↗	△	→	○	↗	△	→	△	↗	△	↗	△	↗	○	↗
	応用	△	→	○	↗	△	→			△	↗			△	→	△	↗	△	↗	△	→	△	→	○	↗
	産業	△	↗	○	↗					○	↗			△	↗	○	→	△	↗	△	↗	△	→		
シンガポール	基礎							△	↘																
	応用							△	↘																
	産業							△	↘																

ライフサイエンス・臨床医学分野

		医療・福祉										ヒトと社会													
		医療技術										ヒト由来試料	幹細胞・再生医学に伴う倫理的・社会的課題	脳・神経倫理	化学兵器、バイオテロ対策、など	被験者保護	研究不正	アウトリーチ・リテラシー							
		創薬および医薬品開発	医療機器開発	再生医療	医療IT	医療技術評価																			
国	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
日本	基礎	◎	→	○	↗	◎	↗	△	→	△	→	○	→	◎	↗	○	→	△	↗	△	→	△	→	○	→
	応用	○	→	○	→	○	→	○	↗	○	→	△	→	○	↗	△	→	○	→	△	↗	△	→	△	↗
	産業	△	↘	○	→	×	↘	○	↗	△	↗	○	→	○	↗	△	↗	○	→	△	↗	△	→	△	→
米国	基礎	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→
	応用	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	↗	◎	→	○	→
	産業	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	△	→	○	→	○	↗	○	↗	○	→	◎	→	○	→	○	→
欧州	基礎	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	◎	→
	応用	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	→	○	↗	○	→	◎	↗	○	↗	○	→	◎	→
	産業	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	↗	○	→	○	↗	△	→	◎	↗	△	→	○	→	△	→
中国	基礎	○	↗	○	↗	△	↗	×	↗	○	↗	△	↗	○	↗	×	→	△	→	△	→	×	→	△	→
	応用	×	→	○	↗	△	↗	×	↗	△	→	△	→	△	→	×	→	○	↗	△	→	×	→	○	↗
	産業	△	↗	○	↗	△	→	×	↗	△	→	△	→	△	→	×	→	○	↗	×	→	×	→	○	↗
韓国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	↗
	応用	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	△	→	○	↗	△	→	○	↗	○	↗
	産業	△	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	△	→	○	↗	×	→	○	→	△	↗	△	↗	○	↗
カタール	基礎							○	↗	英国	基礎	◎	↗												
	応用							◎	↗		応用	◎	→												
	産業							◎	↗		産業	◎	→												

表 2.2.1 ライフサイエンス分野の研究開発における国際比較結果（続き）

グリーンサイエンステクノロジー分野

	国	食料・バイオマス生産								物質・エネルギー生産								環境保全									
		作物増産技術				持続農業	機能性作物	バイオ燃料	化成品原料	医薬品・食品原料	資源回収・リサイクル	微生物生態環境ゲノミクス	動物生態	植物生理・生態						生物多様性							
		穀物	野菜	地球環境変化が植物や生態系に及ぼす影響、高温・高CO ₂ 耐性植物、好高温・好CO ₂ 植物の創出										陸域生態系の保全、管理、再生													
				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	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	基礎	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	○	→	◎	↗	△	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→		
	応用	△	→	○	→	○	↗	△	→	○	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	○	→	○	→	○	↗	○	→		
	産業	×	→	△	→	×	→	×	→	△	→	○	↗	◎	→	○	↗	△	→	○	→	○	→	△	→		
米国	基礎	◎	↗	○	→	○	↗	◎	↗	○	↘	◎	↗	◎	→	△	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗		
	応用	◎	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗	○	→	△	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗		
	産業	◎	↗	○	→	△	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	→	△	↗	○	↗	◎	→	○	→	○	↗		
欧州	基礎	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	○	↗	◎	↗		
	応用	○	→	◎	↗	○	→	◎	→	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→		
	産業	○	→	◎	↗	△	↘	×	→	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	△	→		
中国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	△	→	○	↗	△	↗	○	↗	◎	↗	△	↗	○	↗	△	↗		
	応用	△	↗	△	↗	○	↗	○	↗	△	↗	△	↗	○	→	△	↗	○	↗	△	→	△	↗	○	↗		
	産業	△	↗	△	↗	△	↗	○	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	→	△	↗	△	→	△	→	△	↗		
韓国	基礎	○	→	○	↗	△	↘	○	↗	○	→	○	↗	○	→	△	→	○	↗	△	↗	△	→	△	↗		
	応用	△	→	○	→	△	↘	△	↗	△	→	○	↗	○	→	×	→	○	→	△	↗	△	→	○	↗		
	産業	×	→	△	→	△	↘	×	→	△	→	○	↗	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	↗		
豪州	基礎																					◎	↗				
	応用																					◎	→				
	産業																										

注1：フェーズ 基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

注2：現状 ※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。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

注3：トレンド ↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

注4：空欄部分は不明

2. 2. 5 日本の状況・課題

我が国のライフサイエンス研究の大型化の転機となったのは、1999年に提唱されたミレニアムプロジェクトである。このプロジェクトにより、2000年度の経済新生特別予算のうち、640億円がゲノム研究を中心としたライフサイエンス関連研究へ投資された（ミレニアム・ゲノム・プロジェクト）。これにより理化学研究所などに研究拠点が設立され、その後も各拠点を中心として、基礎または基盤領域のプロジェクト研究が実施された。近年では、イノベーションへの意識が高まり、関係3省（文部科学省、厚生労働省、経済産業省）が連携し、応用を意識したライフサイエンス分野の各領域への大型研究投資が続いている。

グリーンテクノロジー分野においても、科学技術基本計画が施行された1998年以降、我が国では積極的な研究開発投資が行われている。特に1997年の京都議定書を受け、地球温暖化に対応したプログラムが各省で施策化されている。2000年代初頭に発足したミレニアムプロジェクトでは、イネをはじめとしたゲノム研究が重点化されている。イネゲノムに関する研究開発は農林水産省の重点施策である。物質・エネルギー生産領域においては、NEDOを通じたファンディングの多くが、バイオ燃料の生産に関する技術開発である。環境保全に関しては、環境省が中心となり研究開発のプロジェクトが組まれている。

国際比較の観点から、我が国の基礎研究は、米国、欧州とともに三極を形成する競争力を有している。特に、発生・再生科学の研究水準が高く、2012年に山中伸弥教授（京都大学）がiPS細胞作製の業績を評価され、ノーベル生理・医学賞を受賞するなど、国際的な評価も高い。スーパーコンピューターや、X線自由電子レーザーなど、研究基盤についても競争力を有し、ものづくり基盤（エンジニアリング）に強みがある。

ただ、産業としてみると、我が国の医薬品メーカーは、欧米のメガファーマと呼ばれる巨大医薬品企業と比べ規模が小さい。また、我が国の多くの研究開発領域は応用面における国際競争力が弱く、発生・再生分野も同様である。この傾向は研究成果の社会実装に近いほど顕著である。これは以前から指摘されている問題であるが、いまだに改善されていない。将来の高齢化による医療費の増大への対応は喫緊の課題である。医療費は、2011年の37.8兆円から2025年には54.0兆円に達すると試算されている。そして、医薬品・医療機器の貿易収支の赤字が過去10年間で大幅に増加している背景もある。

ヒトの生命・健康を対象とした産業活動では、高い安全性・有効性や、ヒトの個性（例えば、人それぞれで薬の効果が異なる）を考慮した対応や、ヒトの疾患実態に基づいた研究（ヒトの実態とモデル動物双方向からのアプローチ）の加速など、多くの壁を乗り越えるための取り組みが必要である。ただし、1つの発明や発見が、そのまますぐに産業化・実用化されることはほとんどない。こうした開発の困難性は、程度の差こそあれ、医薬品、医療機器、あるいは食品も含めて、ヒトを対象とするすべての製品開発において、各国共通の問題であり、ライフサイエンス・臨床医学のイノベーションにおける深い“死の谷”を形作っている。

死の谷をいかに乗り越えるかという課題に対する取り組みにおいて、我が国に足りないものの1つが、産官学の有機的で密度の高いネットワークであろう。ライフサイエンス・臨床医学におけるイノベーションは、長い時間、大量の人材、膨大なコストを消費する。これを乗り越えるための方策として、欧米が進めているのは知的集約である。米国における国立先進トランスレーショナル科学センターも、スイス・バーゼルのバイオバレーも、知の集約が

ら効率的にイノベーションを生み出している。

我が国においては、関連府省の縦割り施策による研究開発の不連続性に問題があり、そのことが指摘され続けて久しい。研究者のネットワーク構築を強化し、プロジェクトを有機的に連動させる必要もある。また、各プロジェクト、各研究から生み出されるデータを構造化してデータベースを構築し、知識の二次活用を促進する必要もある。観察や分析によって得られた大規模情報（ビッグデータ）から新しい創薬コンセプトを創造する研究がこれまで以上に求められている。このためには、情報収集・集積基盤、解析技術開発、人材育成、法制度整備が重要となる。

このような課題を背景にしつつも、基礎研究から医薬品開発までの研究開発力を国内に保有しており、欧米の先進諸国以外で、生薬以外の医薬品開発の実績があるのは日本のみである。我が国においても産官学の協同体制を強化すれば、医薬・医療周辺で、さらなるイノベーションを生むことができると考えられる。例えば、再生医療、バイオ医薬品（抗体医薬、次世代タンパク医薬、核酸医薬など）である。

まずは、我が国のライフサイエンス・臨床医学に関わる行政の一本化と、研究開発領域としての規模と現状を踏まえたリサーチパーク構想など、我が国の総力を結集する取り組みが必要と考える。これには、ニーズとシーズのマッチング、目利き人材の育成、支援体制の構築により、個別要素技術の統合化が重要となる。新技術の普及・展開に向けては、試薬、機器、流通などの総合パッケージ戦略を展開すべきである。同時に、高度医療のあり方、終末期医療など、生命倫理、医療倫理の議論を進める必要もある。そこでは、医療技術の適切な評価（Health Technology Assessment）が不可欠である。

グリーンテクノロジー分野においても、ビッグデータをいかに活用するかが新たな潮流形成の鍵を握る。食料・エネルギー生産、物質・エネルギー生産、環境保全のすべての領域で関連する情報が蓄積され、統合されつつある。食料・バイオマス生産の分野では、植物や作物の遺伝情報の解読が進み、それらの機能が次々と明らかになっている。生育環境の物理化学的な知見の蓄積も進み、特定の環境下での作物の生育状況が解析できる状況にある。環境保全の領域でも地理・時間情報を伴う生物・環境情報の収集と蓄積が進んでいる。このような膨大な情報を活用したビッグデータ研究は、ゲノムシーケンサーの高度化や計算機の処理速度の高速化などでますます活発になるであろう。

今後、我が国には次の3つの課題が考えられるであろう。1つは、データを創出するための計測技術開発である。データ駆動型のアプローチによる成果は、そのデータの質に依存するが、生物の形態や機能の正確な計測は容易ではない。2つめはデータを処理・解析する情報科学者の不足である。質の高いデータをいくら蓄積しても、そのデータを処理・解析できなければ、データから意味を見出すことは不可能である。そして、3つめが異分野融合の問題である。多様な情報解析に基づく新たな知の創出では、それぞれの知の価値を共有し、新たな科学の価値を発見する必要がある。例えば、物質・エネルギー生産の研究では、環境科学、生物化学、生物工学、そしてシステム工学などの融合で、イノベーションのシーズが創出されている。

しかし、我が国では上記3課題における推進体制はほとんど整っていない。今後は、このような課題の政策上の位置付けや取り組む優先順位を検討する必要がある。課題に対する具体的な対応策（研究戦略）の検討も必要であろう。



研究開発の俯瞰報告書概要（2013）

電子情報通信分野

社会的期待・課題

<自然>

- ・資源の枯渇
- ・自然災害の脅威
- ・感染症の脅威

<社会>

- ・社会インフラ老朽化
- ・少子高齢化、過疎化
- ・労働力の減少
- ・社会保障費の増大
- ・ICTの社会への浸透

<産業>

- ・グローバル化、新興国の台頭
- ・多様化、ロングテール化、個別化
- ・商品の製品×サービス化

社会・ビジネスの要請とITの変遷

<ビジネス>

- ・グローバル化、スピード、柔軟性、イノベーション、協業と競争（エコシステム）、アカウントビリティー

<サービス>

- ・コスト、品質、オープン、アカウントビリティー

<リソース>

- ・多様性、分散、オープン、複雑

<ITの変遷>

2000年代初期

- ・コンポーネント化と標準化（SOA）
- ・サービスインフラとSLA保障（グリッドコンピューティング、オートノミックコンピューティング）

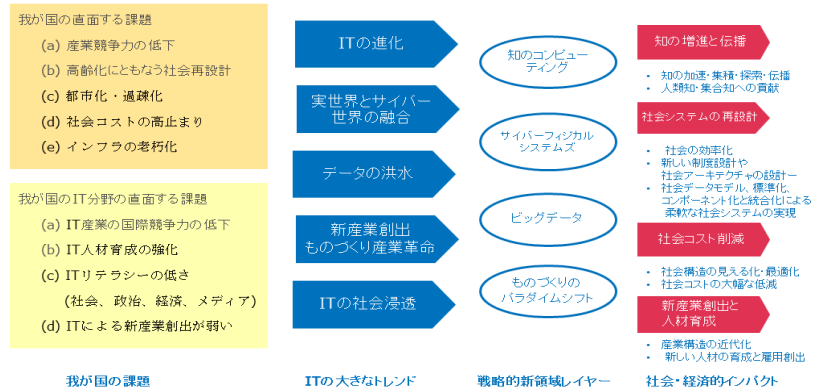
2000年代中期

- ・協調インフラとグローバルなサービスインフラ（クラウドコンピューティング、Web 2.0）

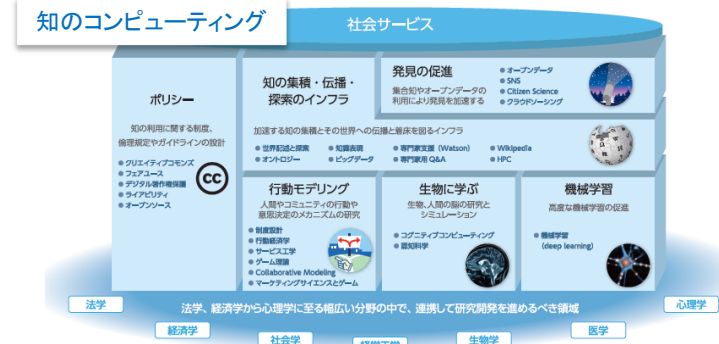
2010年代前後

- ・モバイルと個人、コミュニティの台頭（SNS、モバイル）
- ・社会システム・社会サービス（サイバーフィジカルシステムズ、モノのインターネット）
- ・ビッグデータ

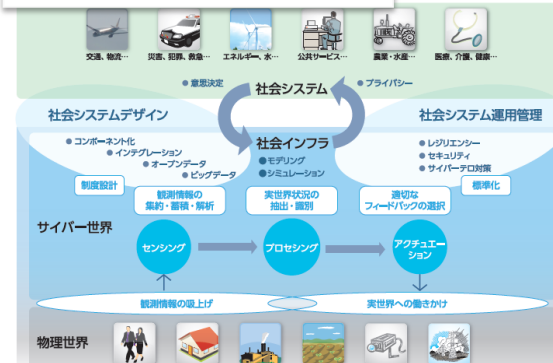
戦略的研究領域の抽出



戦略的研究領域と期待される成果



サイバーフィジカルシステム(CPS)



	<取り組むべき課題>	<期待される成果>
知のコンピューティング	・機械と人間・集団の協調により可能となる新たなコンピューティングパラダイムの探索との実現 ・新たなパラダイムによる科学的発見の促進、知の蓄積・伝播・探索・社会への適用を促進する場の構築 ・国内外の脳神経科学研究と相互に連携し、問題解決における人間および集団の知の姿を明らかにする	・蓄積された知や集合知を活用した納得性のある合意形成等による未解決問題の解決や社会コストの削減、QOLの向上 ・過去と現在行われている科学技術の巨大な研究投資の成果の集積と共有・活用による新たな科学的発見の加速 ・脳神経科学の方法論と相補的な問題解決の観点から人間・集団の知の姿の解明
サイバーフィジカルシステム(CPS)	・社会システムのライフサイクルにまたがる開発方法論とツール。人間系や外部サービスなどオープンなシステムの設計と検証。 ・複数のシステムで共通的に用いることのできる基本的システムアーキテクチャ。それらを統合する統一的な情報アーキテクチャ ・簡便に設置可能なセンサ、柔軟かつ効率的なネットワークとデータ処理。センタに依存しない自律分散的データ収集・分析	・全体で設計、開発、運用・管理コストを半減するとともに、システムの脆弱性を同定しリスクを低減 ・新たにシステムを設計することに比べて開発コストを半減。サービス連携に関わるコストを1/10に ・従来に比べて1/100以下のコストでのデータ収集を実現。多様なデータ収集を実現
ビッグデータ	・ビッグデータを活用した価値創造：異種分野応用（グリーン、ライフ、防災・社会インフラ等）、オープンデータ活用 ・ビッグデータの特性（4V）に対応したデータ処理技術基盤、第4の科学としてデータの科学の確立 ・今後あらゆる分野で必要となると見込まれるデータサイエンティストの育成	・ビッグデータを活用した新たなソリューションによる産業競争力強化、新産業創出、および社会コスト削減 ・大量・リアルタイム・非定型・不正確なデータを対象としたデータ処理技術の確立、新たなサイエンスフロンティアの拡大 ・専門学科の新設、産業界との相互交流等の実データを使った実践教育による即応力のあるデータサイエンティスト育成
ものづくりのパラダイムシフト	・複雑な形状や機能を作りこむことを可能にするデジタル製造技術のフロンティア開拓 ・製品の形状、構成材料、製造方法、履歴、ディペンダビリティといった情報を製品上に表現させるための技術 ・デザインデータのコンポーネント化やインテグレートのための設計技術	・今まで作ることができなかった複雑な形状、複雑な機能を作り出すことが可能になる ・デザイン、製造、流通、使用、そこからの新たなデザイン、という新しい産業エコシステムが生み出される ・モノのデザインと製造がオープンになり、さまざまな分野で「生産者と消費者の共創(Co-production)」が始まる

社会的・経済的インパクト

社会システムのデザインと運用

- ・適切な社会モデルに基づく公共サービスの質の向上。戦略的な制度・法律整備による日本の競争力向上
- ・社会のデータモデルやプロセスの標準化、コンポーネント化などによる柔軟でロバストな社会システムの実現

社会コスト削減

- ・社会構造の見える化やビッグデータに基づく制度設計と社会実装による社会コストの大幅な低減（物流、医療・介護、エネルギー分野など）（12～15兆円規模*）

知の増進と伝播

- ・科学的発見の加速、科学技術研究からイノベーションまでの時間短縮を行い、科学研究→社会的価値の創出→科学研究への還元という持続的なイノベーションを可能とする
- ・新しいコンピューティングのフロンティアの開拓

新産業創出

- ・ビッグデータの流通、加工により付加価値が向上する。これらのビジネスの基盤となるデータのトレーサビリティ確保等の技術開発により、新たな産業の展開を促す（10兆円規模*）
- ・社会のメタデータの整備とデータ基盤の上のオープンデータの利活用の促進による研究や産業促進
- ・ICTを活用した新たなものづくりのパラダイムの先取り、サービスとしてのものづくりを見直すことにより、産業競争力の維持・強化を図る

(*)「ビッグデータの活用のあり方について」情報通信審議会ICT基本戦略ボード、H24.5.17

2.3 電子情報通信分野

電子情報通信分野は、電子部品・デバイスから情報通信機器や組み込み機械、さらには情報サービスまでの広範な事業を支える技術分野である。同時に、その汎用工具的な性質から第二次産業、第三次産業はいうに及ばず、これまで直接関係ないと思われていた第一次産業や社会インフラ、社会システムの実装にまで深くかかわっている。

以下では、電子情報通信分野の技術を、社会と IT (Information Technology) の観点、特に、社会システムをデザインするという観点から、今後注目すべき研究開発領域に関する調査結果をまとめている。そこでは対象領域を、戦略的に取り組むべき新領域レイヤーと、それを下支えする基盤レイヤーに整理している。

2.3.1 分野の変遷

電子情報通信分野においては、1965 年にゴードン・ムーア氏が「集積回路上のトランジスタ数は 18 カ月ごとに倍になる」という法則を提唱して以来、50 年にわたって、その傾向が脈々と続いている。ソフトウェアの進歩も著しく、ビジネスから個人の生活を支えたり、官公庁が提供したりする多くのサービスが実現されている。さらには、科学的な発見に役立ったり、将棋やクイズの世界で人間を上回ったりするような成果も出ている。

社会的な観点から見ると、携帯電話やセンサーといった多くのデバイスが広まったことで、さまざまなデータが得られるようになってきた。それが「情報爆発」、「情報大航海」などの国家プロジェクトにつながり、さらには世界的なトレンドである「ビッグデータ」という流れにつながっている。そこでは、「社会と IT」という関係が、これまでになく重要になってきた。従来の IT は、ビジネスの生産性を上げることに使われてきた。それが、ここにきて社会インフラの一つとして考えざるを得なくなった。電子情報通信分野において、社会デザインという観点の必要性が高まっている。

IT は単独では存在しない。交通やエネルギー、都市といった実社会のシステムと連携し、それらの価値向上を実現している。米国におけるサイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber Physical Systems) や欧州のモノのインターネット (IoT: Internet of Things) というとらえ方が出てきている。これも、IT が社会のインフラとして活用されるようになってきたという事実を示している。

IT が社会においてクリティカルなインフラになるということは、それだけ大きな影響力を IT が持つということである。サイバー攻撃などのセキュリティ問題だけでなく、リテラシーや国益に関する配慮など、IT が持つ“光と影”については、より注意が必要である。

社会やビジネスとの関係の観点から、IT のここ 10 年の大きな流れを概観したのが図 2.3.1 である。ビジネスはグローバル化が進み、より速く、柔軟に対応しなければならなくなっている。そこでの IT は、国際的な影響力を持たない限り、生き残れなくなっている。

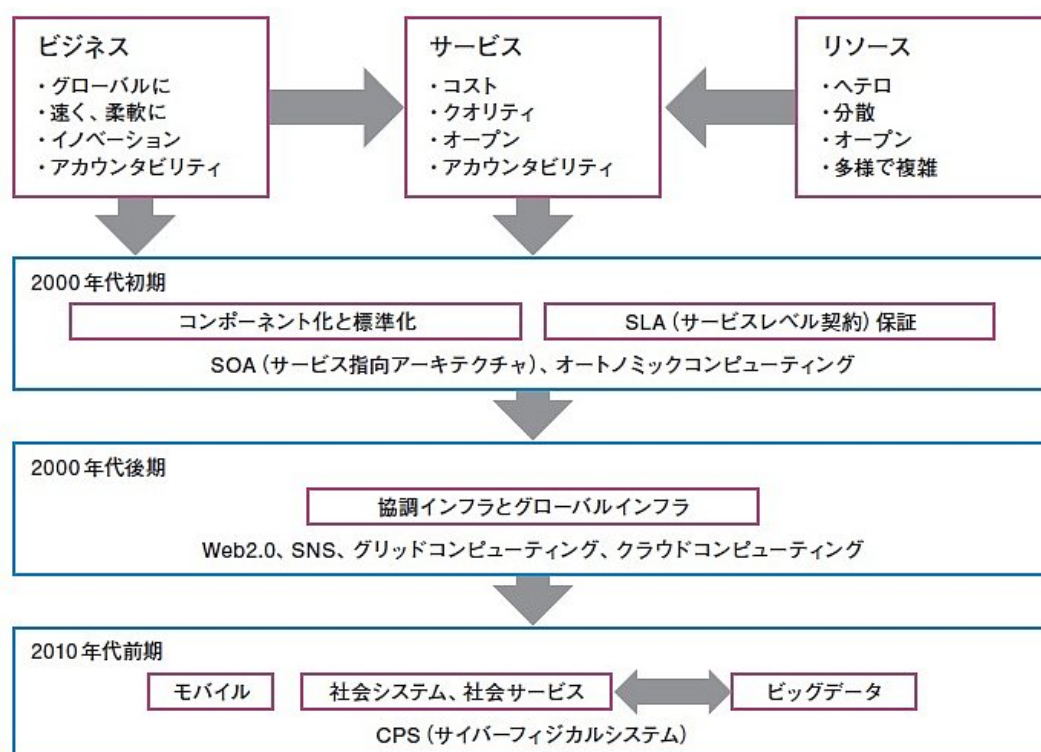


図 2.3.1 社会・ビジネスの要請と IT の変遷（概略版）

ハードウェアの低価格化やインターネットの普及に伴い、サービスをいかに統合していくかが重要になっている。これまでの“閉じたサービス”、すなわち一つの会社の中で利用されるサービスと、現在の一般消費者を対象にした“開かれたサービス”の間には、根本的な違いがある。社会的なサービスにおいては、開かれた系におけるサービスレベルの担保、アカウントビリティ、社会的責任を持つということが大きな課題になる。

ストレージやプロセッサ、ネットワークなど数々のリソースがサービスに接続されるようになってきた。それらは多様性をもち、分散され、さまざまなところに置かれている。それらをサービスとして統合化を図るためには、コンポーネント化と標準化、インテグレーションが重要になる。

Web2.0、SNS (Social Networking Service)、グリッドコンピューティング、クラウドコンピューティングなどが台頭してからは、世界の知恵を集めながら協調作業が行われ、その結果が世界に影響を与えるようになってきている。モバイルの進展が背景にある。世界中で多くの人々がネットワークに接続されるようになってきたからだ。

2.3.2 分野の範囲と構造(分野の俯瞰)

電子情報通信分野で俯瞰する対象は、電子部品・デバイスから情報通信機器や組み込み機械、さらには情報サービスまでの広範な事業を支える技術分野である。

実際の俯瞰においては、図 2.3.2 に示すように、これまでのとらえ方である基盤レイヤーと、戦略的新領域レイヤーに分けている。

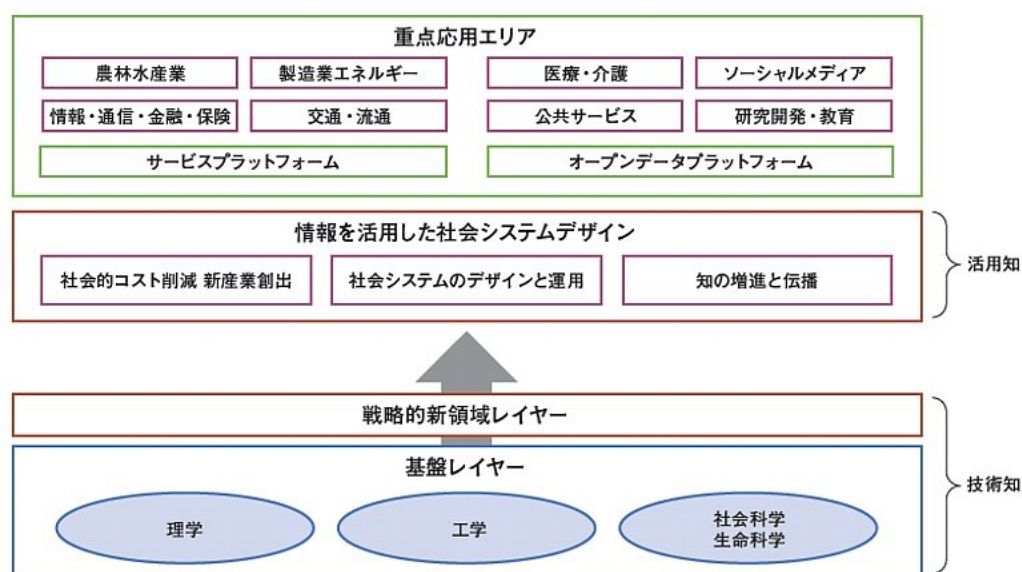


図 2.3.2 電子情報通信分野の範囲と構造（概略版）

基盤レイヤーにおいては、デバイス／ハードウェア、ネットワーク、ロボティクス、ソフトウェア、データベースのほかに、知能／インタラクションというカテゴリを明示した。人工知能の研究や、機械と人間とのインターフェイスを意識した研究にも注目が集まり始めていることを考慮したためである（図 2.3.3）。

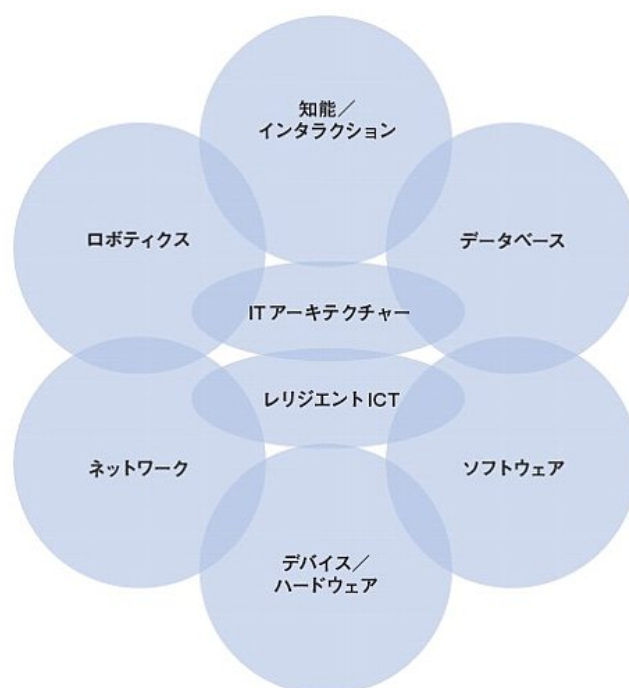


図 2.3.3 基盤レイヤーとその研究開発領域（概略版）

これら基盤技術に加えて、横断的に関係付ける技術としての IT アーキテクチャと、非機能要件としてのレジリエンスにかかわる技術となるレジリエント ICT を領域として集約し

た。それぞれの領域において、世界の動きを考慮して、ディシプリンベースにやるべきことを抽出している。

2.3.3 分野の今後の方向性

電子情報通信技術の進展にともない、新しい社会的価値を創造するため重要な技術開発領域が登場してきている。2013年の調査では、ビッグデータ、サイバーフィジカルシステムズ（CPS: Cyber Physical Systems）、および知のコンピューティングの3区分を新たに定義し、戦略的新領域として、基盤レイヤーの上位レイヤーに配置した（図 2.3.4）。

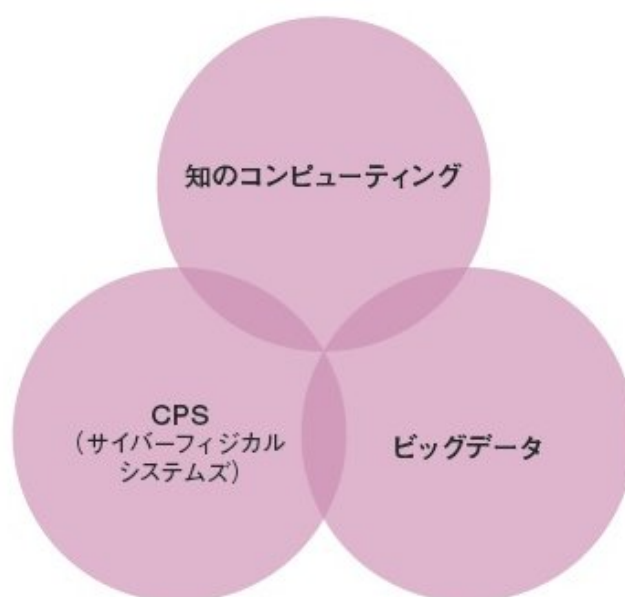


図 2.3.4 戦略的新領域を形成する3領域（概略版）

1. ビッグデータ

ビッグデータは、デジタル化の進展と実世界の融合、および ICT の社会浸透が生み出す大量データを対象にした処理と活用に係る研究開発課題である。

指数関数的に増大するデータは、発生の頻度も形式、信頼性もまちまちである。現状ではデータを蓄積できても、大量データを適切な時間内に処理したり、そこから新たな知見や洞察を抽出したりすることはできない。ビッグデータを様々な分野へ応用し、新産業の創出を目指した価値創造に向けた研究開発と、ビッグデータを活用するための基盤および量的な変化に対応した新たなデータ関連科学の確立が必要である（図 2.3.5）。

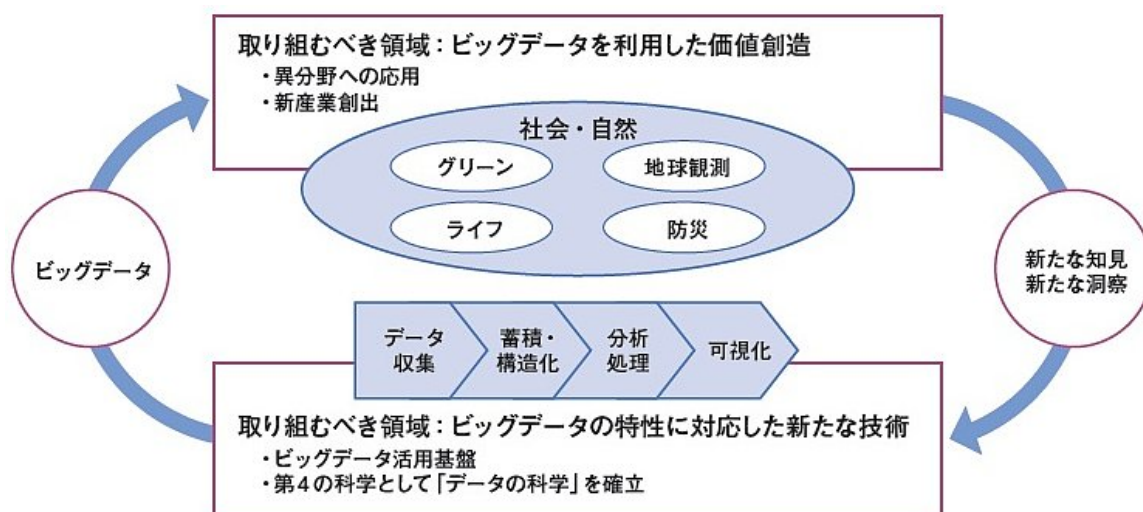


図 2.3.5 ビッグデータ分野における研究開発対象（概略版）

ビッグデータの研究開発においては、単にデータの解析だけでなく、社会構造の中でいかに社会的コストを削減するかという課題に向けて、データの収集と流通のプラットフォームまでを含めた社会基盤として検討する必要がある。

2. CPS（サイバーフィジカルシステム）

CPS は、様々なハードウェアを構成要素とする社会インフラシステムの構築と運用に係る研究開発課題である（図 2.3.6）。ICT の社会浸透と、デジタル化の進展、実世界との融合によってもたらされる。

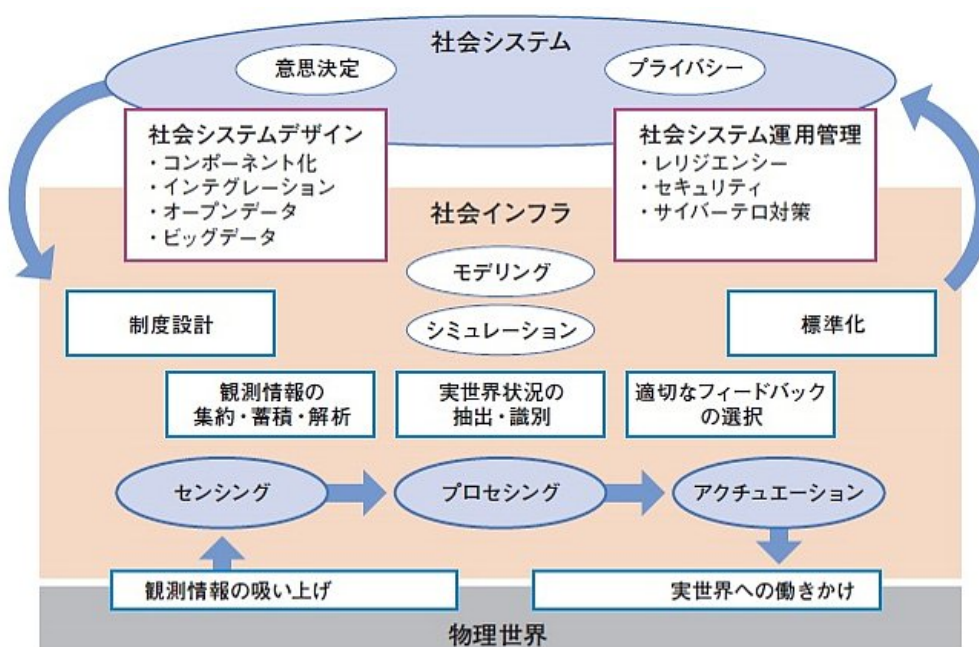


図 2.3.6 サイバーフィジカルシステム分野における研究開発対象（概略版）

CPS は、狭義には物理世界のハードウェアとそれを動かす組み込みソフトウェアである。だが、広域ネットワークの発展により個々の機器がネットワーク側のサイバーシステムと高度に融合することで ITS（Intelligent Transport Systems）やスマートグリッドなど、これまで実現できなかった新たな価値を生み出す。このような広義の CPS においては、センシングやアクチュエーションといった研究課題が浮上してくる。

ここでの課題は、複数の社会システムにまたがる社会実験と学際的分野融合である。そのため、制度設計、社会アーキテクチャ、データモデル、標準化、コンポーネント化と統合などが重点領域になる。

3. 知のコンピューティング

知のコンピューティングは、人間とコンピュータの新たな形態のコラボレーションに係る研究開発課題である。ICT の社会浸透とその背後にある IT 技術の進歩により可能になるであろうと考えられている。

その実現には、知の発見と伝播・活用を促進し、科学的発見や社会への適用を加速するための科学が必要である。それにより、過去から現在にかけて行われた科学技術への巨大な研究投資の成果を集積し、その共有・活用による新たな科学的発見を加速できる。また、例えば臨床医による最先端の医学的知識の習得支援など最先端の専門知識を効果的に実務家や市民に提供したり、ソーシャルコミュニティの力で未解決問題の解決や社会コストの削減、QOL(Quality of Life) の向上を図ったりできるようになる。

知のコンピューティングにおける具体的な研究テーマについては検討中である。だが、知の集積・伝播・探索のインフラを構築し、そのうえで知の創造・発見を促進できるように、集合知や人類知の向上を目指すことになるであろう（図 2.3.7）。

その際に注意しなければならないのが、倫理や法制度、社会的な課題などである。これらの視点については、研究を開始する時点から十分に配慮することが必須である。

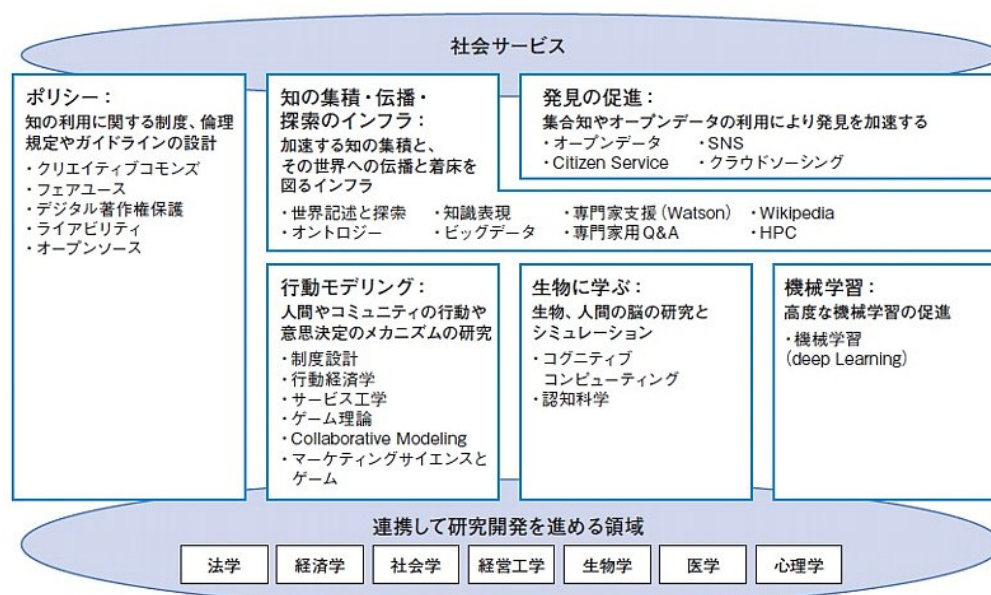


図 2.3.7 知のコンピューティング分野における研究開発対象（概略版）

2.3.4 分野の国際比較

国際動向を以下に簡単にまとめ、その中から特徴的なプロジェクトを紹介する。日本はディシプリンベースでみると世界最高水準の技術をたくさん持っている。しかし、IT が社会にどれだけのインパクトを与えるかという勝負になってきたとき、総合的に考えていくアーキテクチャ的な研究開発がまだまだ弱く、強化が必要である。

<日本>

特定の技術は世界最高水準にあるものの、電子政府や ICT 企業の競争力は低落している。

- ・スパコンの「京」、大規模データ処理、自然言語処理、ロボット、組み込みシステムなどの技術は世界最高水準にある

- ・ICT 企業の輸出額や存在感の低落、ICT 開発指標や電子政府で韓国に後れを取るなど、下げ止まらない日本の ICT 国際競争力が指摘されている

<米国>

すべての情報通信技術分野で世界をリードし、市場を牽引している。

- ・大統領命のイニシアティブによる研究開発が強力に主導されている。CPS（2006 年）、ロボット（2011 年）、ビッグデータ（2012 年）、先端製造業（2012 年）、BRAIN（2013 年）などである。DoD（国防省）中心から NIH（国立衛生研究所）や DoE（エネルギー省）が管轄する投資が増えている

- ・IT 企業の競争力が非常に高い。IBM（スパコン、Watson、Smarter Planet）、Google（検索、Android）、Facebook/Twitter（SNS）、Amazon（ネット通販）、Microsoft（OS、アプリ）などである

<欧州>

言語も文化も異なる複数の国家からなることから、欧州連合の枠組みを共有している。

- ・高速インターネットに支えられたデジタル単一市場から、持続可能な経済的・社会的利益の提供（Digital Agenda for Europe）を目標に、欧州委員会のファンディングの枠組み（FP7：the 7th Framework Program）において、産官学の協働を活発に実行している。2013 年には Human Brain プロジェクトが始動した

<中国>

スパコン「天河」が世界最速を記録するなど政府主導で研究開発成果を着実に挙げている。

- ・物聯網（ウーレンワン、モノのインターネット）は、第 12 次五カ年計画における戦略的新興産業策の目玉である。各地に産業連盟が次々と設立され、交通や物流など急成長する都市が抱える問題を解決するための活動が各地で実行されている

<韓国>

サムスンなど複数分野で高いシェアを確保する企業が登場し、基盤技術の競争力が急上昇

している。

・成長戦略のキーワードとして、既存の産業技術と IT の融合を意味する「IT Convergence」を掲げる。IT Convergence は、中国の「物聯網」や米国の「CPS」にも共通する概念である

電子情報通信分野の研究開発動向を国際比較した結果を表 2.3.1 に示す

表 2.3.1 電子情報通信分野の国際比較

国	フェーズ	デバイス/ハードウェア						ネットワーク						ソフトウェア				ロボティクス					
		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
日本	基礎	◎	↗	◎	↘	◎	↗	○	→	◎	→	○	→	△	→	○	→	○	→	○	→	○	↘
	応用	◎	↗	○	↘	◎	↗	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業	○	↗	○	↘	○	→	◎	↗	△	→	○	↗	◎	→	○	↗	△	→	○	→	○	→
米国	基礎	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→
	応用	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗
	産業	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→
欧州	基礎	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→
	応用	○	↗	△	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	○	→	○	→
	産業	○	↗	△	→	○	→	◎	↗	△	→	◎	→	△	→	○	↗	○	↗	◎	↗	○	↗
中国	基礎	×	→	△	→	△	→	○	→	○	↗	△	→	○	↗	○	↗	△	↗			△	↗
	応用	×	→	○	↗	○	↗	◎	→	△	→	○	↗	△	↗	△	→	△	↗			○	↗
	産業	△	→	○	↗	×	→	◎	→	○	→	△	→	△	↗	○	↗	△	↗			○	↗
韓国	基礎	○	↗	○	→	×	→	△	→	○	↗	△	→	×	→	○	↗	○	→	○	→	○	→
	応用	○	↗	◎	↗	△	→	○	→	△	↗	△	→	△	→	△	→	○	↗	○	→	○	→
	産業	○	↗	◎	↗	△	→	△	→	△	→	△	↗	△	↗	○	↗	○	→	○	→	○	↗
韓国	基礎													×	→								
	応用													△	↗								
	産業													○	↗								

国	フェーズ	知能/インタラクション						データベース						ITアーキテクチャ					
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	基礎	○	↗			◎	→	○	↗	△	→	△	↘	○	→	△	→	◎	↗
	応用	◎	↗			○	↘	◎	→	△	↗	△	→	○	↗	△	→	◎	↗
	産業	○	→			○	→	◎	↗	○	↗	○	→	○	↗	△	→	○	→
米国	基礎	◎	↗			◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→
	応用	◎	↗			◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗
	産業	◎	↗			◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	◎	↗			◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	○	↗	△	↗	◎	↗
	応用	○	↗			○	→	○	→	○	→	◎	↗	○	↗	△	↗	○	↗
	産業	○	↗			○	→	◎	↗	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	◎	→
中国	基礎	◎	↗			◎	↗	◎	↗	×	→	◎	↗	△	→	×	↗		△
	応用	△	↗			◎	↗	△	↗	△	↗	○	↗	△	→	×	↗	○	↗
	産業	△	↗			◎	↗	△	↗	×	↗	△	↗	△	→	◎	↗	○	↗
韓国	基礎	△	→			△	→	△	→	×	→	○	↗	△	→	×	↗		△
	応用	◎	↗			○	→	○	→	△	→	△	↗	△	→	×	↗	○	↗
	産業	○	↗			○	→	○	↗	△	↗	○	↗	△	→	○	↗	◎	↗

表 2.3.1 電子情報通信分野の国際比較（続き）

		CPS (Cyber Physical Systems)						CHS (Cyber-Human Systems)								ビッグデータ											
		センシング		アクチュエーション		プロセッシング		人間・社会のモデリング		ソーシャルコンピューティング		ポリシー（プライバシー）		ポリシー（著作権）		技術プラットフォーム		データマイニングによるビッグデータ分析活用基盤技術		野におけるビッグデータ		ライフサイエンス分野におけるビッグデータ		天文学分野におけるビッグデータ		ITメディア分野におけるビッグデータ	
国	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	◎	→	◎	↗	○	→	○	↗	△	↗	○	→	○	→	○	→	○	↗	○	↗	○	→	○	→	○	→
	応用	○	→	○	↗	◎	→	◎	↗	△	→	○	→	○	→	○	→	○	↗	○	↗	○	→	○	→	○	→
	産業	◎	→	△	↗	◎	↗	○	→	△	→	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	△	→	△	→	○	→	○	→
米国	基礎	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→
	応用	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→
	産業	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	→
欧州	基礎	○	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→
	応用	○	→	○	↗	○	→	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	△	→	○	↗	○	↗	◎	→	○	→	○	→
	産業	◎	→	○	↗	○	→	○	→	△	→	○	→			○	→	○	↗	○	→	△	→	○	→	○	→
中国	基礎	△	→			○	↗	△	→	△	→	△	→	○	→	◎	↗	◎	↗	△	↗	○	→	○	→	○	↗
	応用	○	↗			○	→	△	→	○	↗					○	→	◎	↗	○	↗	△	→	△	→	△	→
	産業	○	↗			◎	↗	×	→	○	↗	○	↗			○	→	○	↗	△	↗	△	→	○	→	○	→
韓国	基礎	△	↘	○	↗	○	↗	△	→	△	→	○	↗	○	→	○	→	△	→	△	↗	△	→	○	→	○	↗
	応用	△	→	◎	↗	○	→	○	↗	△	→	○	→	○	→	△	→	○	→	△	↗	△	→	△	→	△	→
	産業	○	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	→			○	↗	◎	↗	△	↗	△	→	○	→	○	→
台湾	基礎	○	→			○	↗															◎	→				
	応用	△	→			○	→															◎	→				
	産業	○	↗			◎	↗															△	→				

国	フェーズ	人工知能				レジリエント ICT							
		統合的人工知能		強い人工知能		レジリエント・システムソフトウェア		レジリエントネットワーク		レジリエントデバイス		レジリエント情報社会	
		現状	トレンド	現状	トレンド	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	基礎	○	↗	△	→	△	→	△	↗	○	→	○	→
	応用	○	↗	○	↗	○	→	○	→	◎	↘	○	→
	産業	○	→	△	→	◎	→	△	→	○	→	○	→
米国	基礎	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	○	↗	◎	↗
	応用	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗
	産業	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	◎	↗	△	→	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	↗
	応用	◎	↗	△	→	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	↗
	産業	○	↗	△	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→
中国	基礎	△	→	○	↗	◎	↗	△	↗	△	↗	△	↗
	応用	○	↗	○	↗	○	→	△	↗	×	→	△	↗
	産業	○	↗	○	↗	△	→	△	↗	×	→	△	→
韓国	基礎	△	→	△	→	○	↗	○	↗	○	↗	△	→
	応用	△	↗	△	→	△	→	○	→	○	→	△	→
	産業	△	→	△	→	◎	→	○	↗	○	↗	△	→

注1：フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究レベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

注2：現状 ※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。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている

○：ある程度の活動・成果が見えている

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

注3：トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

注4：空欄部分は不明

2.3.5 日本の課題

環境変化からみて、今後も継続するであろうトレンドを5つにまとめたのが図2.3.8である。そこでは同時に、我が国が直面する課題と、特にIT分野が直面する課題もまとめている。

特に、我が国のIT産業は危機的な状況にあると言わざるを得ない。IT産業の国際競争力が低下しているからだ。ソフトウェア、ミドルウェアを単にシステム構築の付属品のように取り扱い、標準化やコンポーネント化をグローバルに追及してこなかったのが、その理由である。

同時に人材育成も問題だ。IT分野の人气が落ちており、結果として優秀な人材を輩出できていない。一方、例えばアメリカでは、データサイエンティストが高給の職業になり、その結果コンピュータサイエンスの人气が上がり、優秀な人材が集まっている。

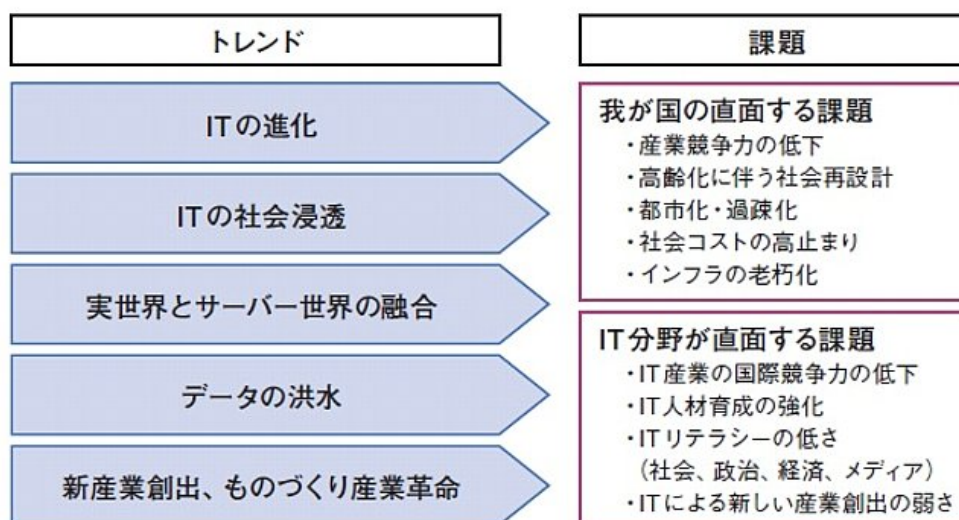


図 2.3.8 電子情報通信分野のトレンドと我が国の課題

もう一つの問題が、ITの持つ影響力が世の中には十分に理解されていないという点である。これからのITは、社会デザインに直結して考えられなければならないにもかかわらずだ。

では、これらの課題にITはどう立ち向かえばよいのだろうか。その指針を図2.3.9に示す。

今求められていることのひとつに、知の増進と伝播がある。これらはITの進歩によって加速されているものの、社会への還元にはまだ行きついていない。あらゆる領域で知の集積が起きているにもかかわらず、社会的還元は不十分である。人類知、集合知を底上げし、知の加速・集積・探索をしていく必要がある。世界に先駆けて、この領域の技術開発を加速するべきである。

もう一つは、社会システムの再設計である。それには、ITのアーキテクチャと社会システムのアーキテクチャから制度設計する必要がある。さらに、社会コストの削減という課題もある。ビッグデータは企業のコストを削減するだけではなく、社会コストを大きく下げることができるを持っている。

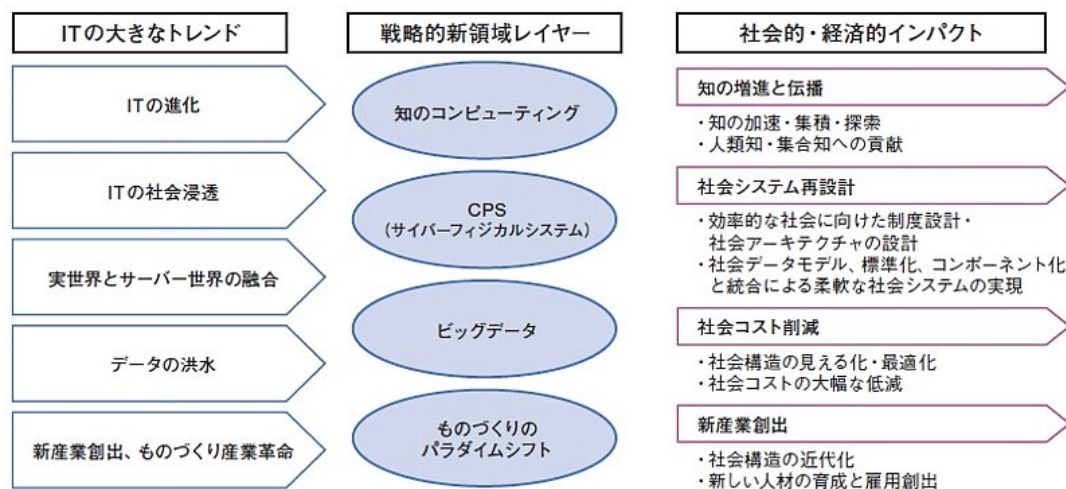


図 2.3.9 取り組むべき分野と期待されるインパクト

例えば、医療、介護、物流など数十兆円規模で動いている社会活動において、数兆円規模の変化が起きる可能性がある。

また 3D プリンタのように、モノづくりやサプライチェーンにおいてパラダイムシフトが起きる可能性がある。例えば、精度が大きく向上すれば、新産業を創出する可能性を持っているがある。



研究開発の俯瞰報告書概要（2013）

ナノテクノロジー・材料分野

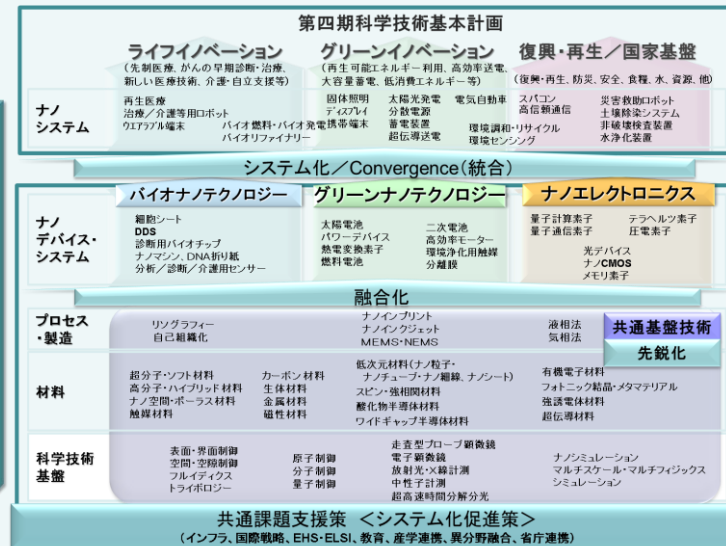
ナノテクノロジー・材料の位置づけと俯瞰

- ナノテクノロジーは、世界各国がイノベーションのエンジンとして認識。
- 日本は過去20年以上にわたって世界を先導してきたナノテクノロジー・材料技術のリーダー国。近年、アジア諸国を中心に国家投資が急増し、日本に肉薄。
- ナノテクノロジーは、物理学、化学、生物学を横断して、原子・分子レベルの微小世界を扱う最先端の科学技術であり、物質科学や材料技術と不可分の分野。
- 「ナノの先鋭化」、「ナノの融合化」、「ナノのシステム化」という三つの技術世代が複合的に共鳴して進化。「ナノのシステム化」とは、要素の集積を通じて高度なシステム機能を生み出し、他技術と統合されて産業化に向かう過程・結果。
- ナノテクノロジー・材料は、ライフサイエンス、環境、エネルギー、情報通信など、他の分野を横串的に横断し、これらの分野に革新的な進歩をもたらす共通の鍵となる技術。

ナノテク・材料は分野横断の共通基盤技術であり、他分野の発展に貢献する形で成果が活かされる。この20年で役割と概念は段階的に着実に進化。



ナノテクノロジーの進化と技術の統合



ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰図

国家戦略と拠点政策（国際比較）

各国は産業競争力の強化を図るため国家戦略として位置づけ、投資を強化。中・韓以外にも今後アジア諸国の科学技術力の進展が予想される。基礎から出口までの加速や新たな価値の創出を促進する拠点構築が鍵。

国		ナノテク国家戦略	共用インフラ・研究拠点政策
日		・ 第二期・第三期科学技術基本計画(2002-2010)では重点推進4分野の一つ。2011年以降特化したイニシアティブは無し	・ ナノ・ネット(2007～11)⇒ナノ・プラット(2012～)増強 ・ TIA-nano(2009-)を国際拠点にできるか
米		・ National Nanotechnology Initiative(2001-) -国の重点施策。2011 年第3期新戦略プラン発表。	・ インフラ整備はNNIの8重点領域の一つ ・ NSF/NNIN、DOE /NSRCなど拠点・ネットワーク化 ・ Albany NanoTech (ANT) ／産学ナノエレ研究拠点
欧	独	・ Nano Initiative—Action Plan2015(2005-) -ハイテク戦略の一環。BMBF中心に7省が連携。2010年に更新。	・ 独KIT-KMNF オープンプラットフォーム ・ フラウンホーファーのネットワーク
	英	・ UK Nanotechnologies Strategy(2010-) -BISが中心となった省庁横断の国家戦略	・ 英MNT-Network 中小企業からアクセス、全国24の共用施設を整備
	仏	・ Nano-INNOV計画(2010-) -国家研究・イノベーション計画における重点3分野の1つ	・ 仏RTB ネットワーク、CNRS/LETIの連携強化 ・ MINATEC、IMEC(ベルギー)(集中型研究拠点)
中		・ 国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020) -先端技術8分野の一つ。第12次5か年計画／新材料	・ ナノ科学技術センター(NCNST)(2003-) ・ 蘇州工業団地SIP(産学連携研究拠点)
韓		・ ナノテクノロジー総合発展計画(2001-) -2011年から3期目に突入(ナノ融合2020)	・ ナノテク国家計画の3本柱の1つ ・ 教育科学技術部2センター、知識経済省3センター

日本の研究開発の現状

日本は基礎研究は総じて強いが、企業化では後塵を拝す傾向。科学技術と工学、ビジネスの間の谷は依然として深い。

領域	概要
グリーンナノテクノロジー	人工光合成、パワー半導体デバイス、グリーンプロセス触媒などの基礎研究で日本が先行。元素戦略・希少元素代替技術では、基礎研究から産業化まで圧倒的優位。 太陽電池や二次電池の製品シェアは中国と韓国に奪われ、基礎研究や応用研究・開発においても急激な追上げを受けるが、強みを保持。 急速に進む欧米や中国の研究開発拠点構築に比較して日本の遅れが懸念。
バイオナノテクノロジー	DDSやバイオイメーシングの基礎研究と応用研究・開発において高い独自性・優位性。 バイオマテリアルのうち市場規模の大きな応用では競争力は低く、応用研究開発力も低下傾向。 背景には、法制度整備の遅れやベンチャー企業環境の未成熟さが存在。
ナノエレクトロニクス	半導体分野で主戦場となっている超低消費電力ロジック・メモリについては、研究開発段階から欧米との競争において苦戦。 More than Mooreの中心技術である異種機能三次元集積チップ、センシングデバイス・システムなどについては、基礎研究水準は世界的に見て高く、技術的に優位な大型プロジェクトも進行。 世界規模で研究開発の拠点化とアライアンスが進んでいる。
共通基盤	本分野の共通基盤となるプロセス、計測、計算などについても、基礎研究の水準は世界的に見て高いが、やはり産業応用で欧米にリードを許す。研究室に設置された計測機器やシミュレーションソフトには海外製品が増加しており、深刻な問題になるおそれ。 異分野や産学間の定常的なコミュニケーションやベンチャーの活躍が望まれる。

今後の方向性

施策立案、研究開発プログラムの設計に際して、3つの戦略的視点が重要。

- スピードが要求されるグローバル競争下で、基礎研究成果(発見)を事業(産業)につなげるまでの時間を徹底的に短縮することが必要。
 - 科学・技術・工学・事業、各セクター間のコミュニケーション(衝突頻度)が決定的に不足。アカデミアでも研究コミュニティが分断(専門領域のタコソボ化)。グローバルコミュニケーションの不足も深刻。
- ⇒上記の解決には、大学や学会、産業界の自主努力も必要だが、まず政府の施策でインセンティブを付して、環境を醸成する。

戦略的視点	概要
1. ナノの「システム化」	融合・統合による従来にない価値(知見、概念)の創造は競争力の源泉。これまでに、本分野に蓄積された莫大な成果と知見を、産業創出に向け「システム化」。 先行例としては、H25のJST戦略事業である、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術等の融合による革新的基盤技術の創成。
2. 「設計型」物質・材料研究開発	社会的期待を科学技術的要求機能に展開し、機能を満たす構造や材料を、様々な制約条件のもと設計する「デザイン型」研究開発の強化。 先行例としては、H24のJST戦略事業、分子の自在設計「分子技術」の構築や、H25の物質中の「超空間制御」による新機能材料の創製。
3. 異分野融合、産学連携を促進する方策の整備	異分野融合と産学連携を効率よく促進する共用施設ネットワークや産学官連携拠点の構築、異分野連携・融合のインセンティブを付与するファンディング制度の整備。 先行例としては、電子論、材料創製、機能評価の3グループの研究者を結集した異分野協働「元素戦略＜拠点形成型＞」や産学官の多様な利用者による設備の共同利用を促進する「ナノテクノロジープラットフォーム」。

2.4 ナノテクノロジー・材料分野

21 世紀に入り、科学技術と社会の距離は急速に縮まってきた。科学技術には、新たな産業や社会的価値の創出ばかりでなく、自らが生み出したグローバル課題の解決に対しても大きな貢献が求められている。ナノテクノロジーは、そのような「社会的期待」に応える「課題解決型」科学技術の基盤の一つである。以下では、世界のナノテクノロジー・材料分野における技術の進化、国家計画・投資戦略、研究ポテンシャルを含むナノテクノロジー・材料分野全体を俯瞰した結果を記述する。その結果をベースに、今後の日本の諸課題について言及する。

2.4.1 分野の変遷

ナノメートルは、1 メートルの 10 億分の 1 の長さである。物質中の最小構成単位である原子が数個並んだくらいに相当する。一般的に、ナノサイエンスあるいはナノテクノロジーは、1～100 ナノメートル程度の範囲を対象にしている。三次元の世界で考えれば、原子が数個から数万個集まった分子が、この領域に入る。

人間の目で観察できる巨視的な世界では、全く異質でつながりのない人工物と自然物（生体など）であっても、ナノの世界に入ると共通の原子が見え、類似の分子が確認できる。人工物と生体との融合はナノの視点を以って初めて可能になる。こうした異分野の融合はナノテクノロジーの最も大きな特徴といえる。この特徴を明確に表現するため、ナノテクノロジーを以下のように定義する。

ナノテクノロジー: 1 ナノメートルから 100 ナノメートルの領域において物質を成長させ、加工し、そしてそのサイズのパルク・表面・界面の構造や、そこで生ずる諸物性現象を原子・分子レベルで観測し、理解し、制御し、それら諸要素を組み合わせることで応用することにより、あるいは他の知識・技術と組み合わせることにより、新しい知と機能を創出しようとする学術的・技術的領域

正確には、学術的領域をナノサイエンス、技術的領域をナノテクノロジーと呼ぶべきだが、一般に、両方をあわせてナノテクノロジーと称することが多い。本報告書でも、この考え方を採用する。

ナノテクノロジーの前史になったのは、20 世紀初頭に現れた量子力学という全く新しいパラダイムに基づく固体科学（物理学）が 1947 年に生み出したトランジスタである。以後、半導体は、人々の生活スタイルを変えるほどに発展した。象徴である CMOS トランジスタの微細加工技術は 20 世紀の終わりに 100 ナノメートルを切る分解能を確保している。

真のナノサイエンスが、現実の学術領域として市民権を得たのは、1980 年代の走査型トンネル顕微鏡と、それに続く原子間力顕微鏡の発明により、個別原子や個別分子を観察し操作する基本技術が実現した頃であろう。1990 年代には、ナノサイエンスの理論計算の環境が整い始めた。その結果、ナノサイエンスとナノテクノロジーが合体し、物理学、化学、生

物理学をベースに、電子工学やバイオテクノロジー、材料工学などを横断する新しい学術・技術領域が誕生した。これが、本報告書で定義するナノテクノロジーである。

ナノテクノロジーは 20 世紀に急速に発展した科学技術群に直結して発展し、しかも技術は階層的に進化してきた。具体的には、「先鋭化」→「融合化」→「システム化」の順に、重層的かつ階層的な世代推移を見せている。

ナノテクノロジー進化の第一は、「ナノの先鋭化」である。ナノレベルの微小化極限に向かって要素技術が先鋭化した。1980 年代に始まり、その後絶え間なく各種要素技術において進展していると考えられる。

第二は、「ナノの融合化」だ。極限にまで先鋭化された要素技術同士を学際的に研究することで、異分野融合が惹起され、新機能を有する新しい融合ナノ技術が生まれる段階だ。2000 年代に入り、欧米・アジアの主要国は、ナノテクの国家戦略を打ち立て、重点的に促進・加速を図った。現在も、より新しい産業を目指して多様な進化が続く。

第三は、「ナノのシステム化」である。先鋭化した諸々の要素技術や、それらが融合して新しく生まれた融合ナノ技術をシステムへと統合的に構成していく段階だ。ナノエレクトロニクスに加え、ナノテクノロジーを駆使した太陽電池や燃料電池、分離膜技術などが新しいエネルギーシステムを生み出し。バイオテクノロジーにおいては、材料科学も巻き込んだ再生医療技術や、DDS（薬物送達システム）技術などが医療システムに組み入れられ、臨床応用が進んでいる。

米国 NSF の調べによれば、2000 年における世界のナノテクノロジーへの総投資額（民間投資を含む）は約 120 億ドル（1000 億円弱）であった。それが 2010 年には、約 180 億ドル（1 兆 5000 億円弱）に達している。年平均成長率は 31% と非常に高い。日本の国家投資は相対的に飽和傾向にあるが、人口当たりの投資額ではトップである。また、他国に比べ民間投資が国家投資をはるかに上回っているのも特徴だ。

この 10 年のナノテクノロジー分野の研究開発成果（Outcomes）は以下の通りである。

1. めざましい学術上の発見や新材料の開発が、ナノデバイスやナノシステム設計の可能性を拡大し、一部は事業化された。単層グラフェンとそのエピタキシャル成長膜、ブロックコポリマーによる低誘電率薄膜材料、透明アモルファス酸化物半導体（TAOS）、透明導電膜（IGZO）、鉄系超電導体、細胞シート（再生医療）などである。

2. 新しい科学技術領域が台頭した。スピントロニクス、プラズモニクス、炭素系ナノエレクトロニクス、メタマテリアル、ナノメディシン、デンドリマーや DNA 折り紙を含む分子設計、ナノ流体力学、ナノ製造などである。

3. 技術的なブレイクスルー（先進材料におけるナノシート、二次電池における新触媒、フラーレン分子 C60 導入による有機薄膜太陽電池の進展など）が、資源・エネルギー分野、水浄化などの環境技術分野に大きく波及した。情報科学、認知科学、合成生物学、システム生物学といった新分野とナノテクノロジーとの融合が始まった。

一方、期待ほど進まなかったナノテクノロジーの課題は、以下の通りである。

1. 社会が要請する課題に対応して必要な機能を設計する手法である、いわゆる「材料設計学」は道半ばである。

2. ナノ製造については、ナノインク印刷技術や 3 次元集積化技術を用いたエレクトロニ

クスなどに進展は見られるが、原子・分子や超微粒子から出発して自己組織的にナノ構造を作り上げる「ボトムアップ型」プロセスは、実用化への道筋は未だ不透明である。

3. エネルギープロジェクトへの貢献に比較して、気候変動問題に対するナノテクノロジーの貢献度が少ない。

4. ナノテクノロジーの一般市民レベルの認知度が低い。一種のブームが去って真のイノベーションを目指して努力を継続すべき技術蓄積期に入っているとの見方もある。

2. 4. 2 分野の範囲と構造（分野の俯瞰）

「ナノテクノロジー・材料」は、日本が世界の先頭に立って、研究開発をリードしてきた分野である。ナノテクノロジーに基づく材料開発は、グリーン・ライフ・ICTのあらゆる分野に大きなイノベーションをもたらしてきた。宇宙開発で不可欠な高効率化合物太陽電池は、ナノサイズで制御された薄膜成長技術によってもたらされている。照明の世界に大きなイノベーションをもたらした青色LEDや、次世代パワーエレクトロニクス材料のSiC（炭化ケイ素）などは日本のナノテクノロジーの蓄積によって産まれたと言える。パソコンやテレビに不可欠なハードディスクの磁気ヘッドに使われるトンネル磁気抵抗素子もナノテクノロジー研究の成果だ。日本で開発されたカーボンファイバーは、今では世界の航空機に使われ、自動車への導入も始まっている。

ナノテクノロジーは、物理学、化学、生物学を横断して、原子・分子レベルの微小世界を扱う最先端の科学技術分野である。その領域は、物質合成、微細構造解析、微細加工技術などからなり、横断的だ。ナノテクノロジー自身が最先端の科学技術であるだけでなく、異分野の融合を促進しつつ進化する技術分野でもある。融合による従来にない価値（知見、概念）の創造こそが、競争力の源泉になってきた（図2.4.1）。

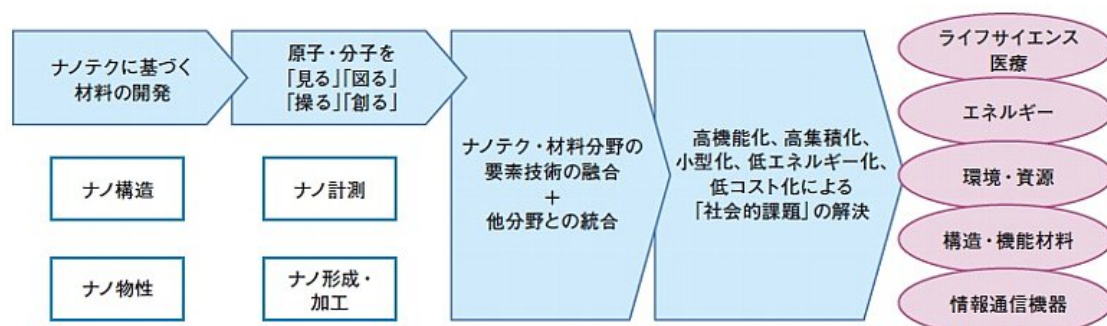


図 2.4.1 ナノテクノロジー・材料の構造・諸機能の利用・応用分野（概略版）

しかし、第四期科学技術基本計画で求められる課題解決型の研究開発のためには、これまでのナノテクノロジーの先鋭化と融合化だけでは不十分である。既存技術と結びつくナノテクノロジーの融合・統合化（Technology Convergence）による、ナノのシステム化が求められている。「ナノの先鋭化」および「ナノの融合化」が過去10年にわたって重層的に進んだ結果、我が国には、ナノテクノロジーに関する莫大な成果と知見が蓄積されている。「社会的期待」に応えるための技術としてのナノが、「システム化」する機が熟し、そのためのデザイ

ンが必要な時期を迎えているといえる。

本報告書では、俯瞰の範囲を、ナノテクノロジー・材料分野を「グリーンナノテクノロジー」、「バイオナノテクノロジー」、「ナノエレクトロニクス」の3領域に整理している。そのうえで、「先鋭化」、「融合化」、「システム化」の重層的な関係を表現するよう試みた。これらの3領域は、第四期科学技術基本計画の3つの目標である「グリーンイノベーション」、「ライフイノベーション」、「復興・再生」に、ほぼ対応しているといえる（図 2.4.2）。

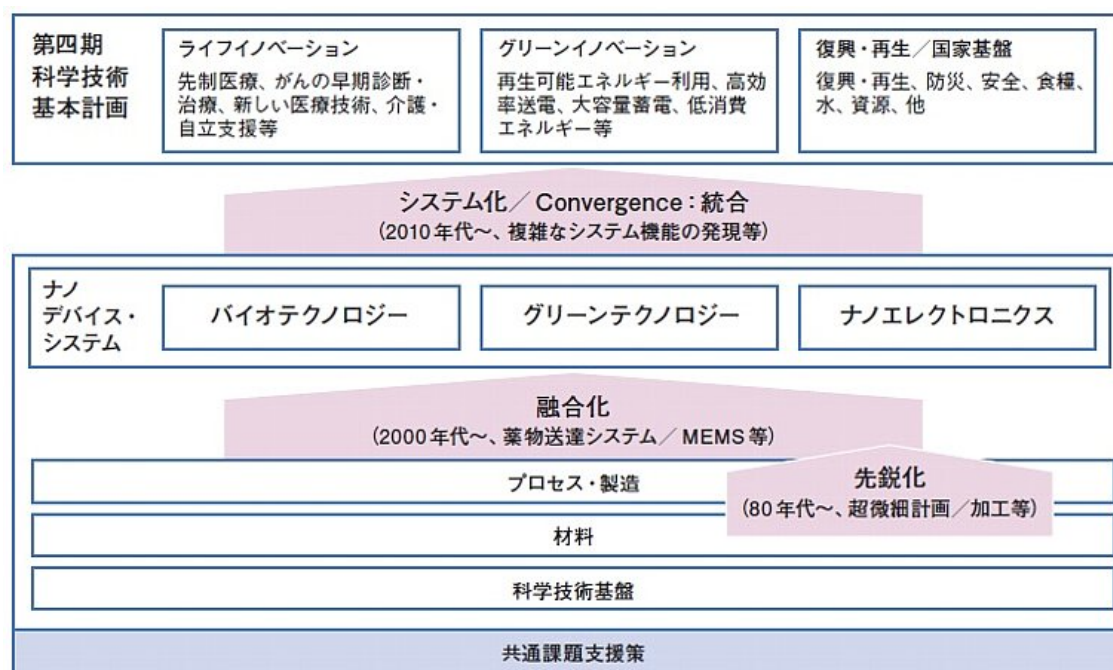


図 2.4.2 ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰による全体像（概略版）

ナノのシステム化のプロセスは、社会的期待（課題）に応える技術を合目的的に具現化するような進化を意味する。このためには、社会ニーズとしての課題を解決するための機能を概念的・技術的に設計する手段、つまり「設計（デザイン）」の科学が不可欠である。

本プロセスは“Needs-driven”とも表現できる。ナノの先鋭化や融合化で生まれた新技術・新概念ばかりでなく、既存概念や既存技術も含めた工学的に最適な組み合わせによって「ナノシステム」を構築し、課題解決の機能を実現する道筋である。

Needs-driven の研究開発を進めるためには、「社会的期待」を科学技術的要求機能に展開し、機能を満たす構造や材料を、様々な制約条件のもと設計しなくてはならない。言い換えれば、「デザイン型」研究開発の強化が今後の科学技術政策の根幹であり、「社会的期待」に具体的に答えつつ、設計の技術と能力を高めることが肝要である（図 2.4.3）。

もちろん、科学技術そのものの深化がなければ、システム化の前提となる先鋭化・融合化の深化は進まない。したがって、イノベーションへの距離を短縮する「デザイン型」が強調されつつも、科学技術コミュニティ側からの発想である「アナリシス型」研究開発も不可欠であると考ええる。

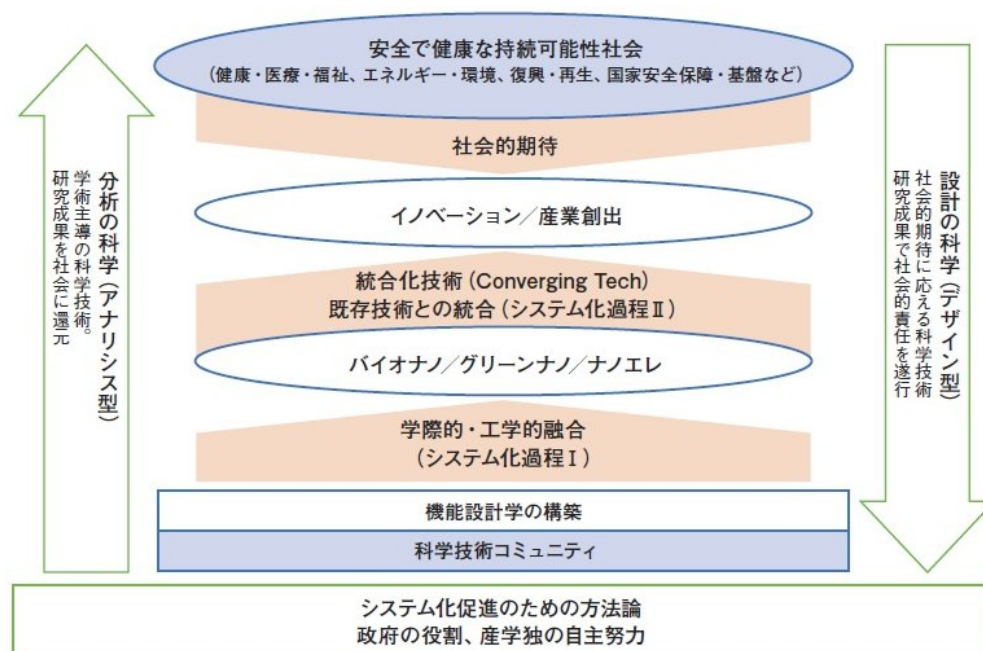


図 2.4.3 社会と科学技術コミュニティにおけるナノテクノロジーの位置づけ（概略版）

2.4.3 分野の今後の方向性

有識者による議論および CRDS に蓄積された知見を元に、少なくとも今後 10 年間程度、定常的に注視すべきであろう研究開発領域として 29 領域を挙げている。

表 2.4.1 抽出した 29 の主要研究開発領域

バイオナノテクノロジー	グリーンナノテクノロジー	ナノエレクトロニクス
・生体材料 ・ナノ薬物送達システム ・バイオナノデバイス ・バイオイメージング	・太陽電池 ・人工光合成 ・燃料電池 ・熱電変換 ・二次電池・蓄電デバイス ・パワー半導体 ・超伝導送電 ・グリーンプロセス触媒 ・ナノ組織制御構造材料 ・分離機能材料による水処理 ・元素戦略・希少元素代替技術 ・放射性物質の除染・減容化等技術	・超低消費電力ナノエレクトロニクス ・異種機能三次元集積チップ ・センシングデバイス・システム
共通基盤技術		
・超微細加工技術 ・MEMS・NEMS ・ボトムアップ型プロセス	・分子技術 ・バイオメティックス ・ナノ表面・界面制御 ・空間・空隙構造制御	・ナノ計測 ・ナノ／マテリアルシミュレーション ・ナノテクノロジーのリスク評価 ・リスク管理 ・リスクコミュニケーションと社会受容

これら 29 領域について、国際比較を含む現状分析の結果概要を、グリーンナノテクノロジー、バイオテクノロジー、ナノエレクトロニクス、および、これらを支える共通基盤技術の順に以下にまとめる。

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世界的に高い関心を集めており、基礎研究から産業化に向けて各国が精力的に取り組んでいる。全体的に見ると、我が国は基礎研究から産業化までのいずれの段階でも、欧米と肩を並べてこの領域を先導してきた。しかし、グローバル化が進んだ現在、ビジネスの速度は政治や科学技術の速度をはるかに上回る。太陽電池や二次電池のトップシェアは中国と韓国に奪われ、基礎研究や応用研究・開発においても急激な追い上げを受けている。

このような状況を打開するには、例えば、従来の 10 分の 1 のコストで 10 倍の容量をもつ革新的次世代二次電池のような競争力ある製品の迅速な実用化など、ビジネスと研究開発の好循環を生み出す必要がある。

このことは、人工光合成、パワー半導体デバイス、グリーンプロセス触媒など、日本が先行してきた基礎研究分野に対する警告にもなっている。基礎研究で先行しても、産学連携の大型プロジェクト、研究開発拠点の形成、および層の厚い人材育成などの支援策で遅れを取ると、システム化や産業化で容易に逆転される。今回の国際比較では、急速に進む欧米や中韓の研究開発拠点構築に比較して日本の遅れが懸念材料であることが明らかになった。

一方で、元素戦略・希少元素代替技術のように、今も我が国が基礎研究から産業化まで圧倒的優位を保っているものもある。同技術については、米国エネルギー省（DOE）の研究拠点が始動し、ドイツで計算科学の積極的活用が進む。中国と韓国は追い上げに力を入れている。我が国でも大型プロジェクトが進行し、理論・材料開発・評価の密な連携によって研究の加速が図られている（元素戦略プロジェクト【研究拠点形成型】文部科学省 H24-）。

2. バイオナノテクノロジー

バイオナノテクノロジーでは、薬物送達システム（ナノ DDS）やバイオイメージングについては、我が国が独自性・優位性の高い研究を進めている。一方、産業化では、生体材料（バイオマテリアル）に関して市場規模の大きな応用では日本の競争力が低く、その結果、応用研究開発力も低下傾向にある。

これらの背景には、法制度整備の遅れやベンチャー企業環境の未成熟さが原因として存在する。中国と韓国は、基礎研究、応用研究・開発の全般的水準で日米欧には及ばないものの、特定分野では公的支援によって急速に力を付けつつある。半導体デバイス産業の競争力を背景にした韓国のバイオナノデバイスのように、産業化で日本を凌駕しつつある分野もある。

3. ナノエレクトロニクス

ナノエレクトロニクスにおいて我が国は総じて高い技術水準を保つ。だが、半導体分野で研究開発の拠点化とアライアンスが世界規模で進んでいる状況を見ると、将来は全く楽観視できない。特に主戦場となっている超低費消費電力ロジック・メモリーについては、研究開発段階から既に欧米の後塵を拝している。韓国と中国の躍進も急だ。原因としては、我が国

の半導体関連産業の競争力低下によるところが大きい。

この状況を打破するためには、産学共同体制の抜本的な見直しと、根治療法として中長期的な視野での人材育成策が必須である。More than Moore の中心技術、具体的には異種機能三次元集積チップ、センシングデバイス・システムなどについては、我が国の基礎研究水準は世界的に見て高く、いくつかの大型プロジェクトも進行している。問題は今後の実用化段階だ。鍵となる回路・システムの設計技術に代表される上位技術の開発に日本の弱点があることを認識し手を打つべきである。

4. ナノテクノロジーの共通基盤

ナノテクノロジー・材料技術の共通基盤となるプロセス、計測、計算などについても、我が国の基礎研究の水準は世界的に見て高い。だが、やはり産業化で欧米のリードを許している。高分解能・高機能原子間力顕微鏡など、我が国が欧米に先んじて製品化しているものもあるが、研究室に設置された計測機器やシミュレーションソフトの多くが海外製である。

このことは明瞭に日本の現実の深刻さを物語っている。欧州の研究者が新しい計測技術を長い時間をかけて生み育てるのに対して、我が国の研究者は論文にしやすい基礎研究に止まる傾向が強いとの指摘もある。

2. 4. 4 分野の国際比較

世界を見渡してみると、多くの国がナノテクノロジーを国家戦略に位置づけ、多額の国家予算を投入し続けていることが分かる。ナノテクノロジー分野への官民併せた世界の総投資額は 2010 年時点までで 1 兆 5000 億円を超えている（NSF の調査）。各種予測による 2015 年時点のナノテクノロジー産業の市場規模は、85 兆円～270 兆円の範囲とされる。

2001 年に、米国、日本、韓国、次いで台湾、中国、EU がそれぞれ独自のナノテクノロジー国家計画を立ち上げた。2006 年以降、アジア諸国、BRICs など、多くの新興国がイノベーションを目指して先端科学技術に国家投資を開始している。その象徴がナノテクノロジー国家計画である。マレーシア、ベトナム、タイ、イランも参入して世界で数十カ国に達している。タイは本格的にナノテクノロジーに国家投資を開始。イランも中東ではトップの高い学術成果を生み出している。ロシアはナノテクノロジー公社を設立し、海外の拠点に資金を投入している。

以下に、日欧・アジアの主要国の取り組みを挙げる。

<日本>

「第三期科学技術基本計画」（2006～2010）で重点推進 4 分野の一つに取り上げられる。

2011 以降は、分野別推進戦略に位置付けられる。共通基盤に変更／特化したイニシアティブはない

<米国>

「National Nanotechnology Initiative」（2001～）。2011 年 2 月に第 3 期新戦略プランを発

表。2012 年には継続して重点施策に決定

<欧州>

独：「Nano Initiative Action Plan2015」（2005～）。ハイテク戦略の一環として BMBF を中心に 7 省が連携して策定。2010 年に 5 カ年計画として更新

英：「UK Nanotechnologies Strategy」（2010～）。BIS が中心となって省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略を公表

仏：国家研究・イノベーション計画における重点 3 分野の 1 つとして「Nano-INNOV 計画」（2010～）を推進。ナノテクによるイノベーション創出に向け産学官連携・協力を加速

<中国>

「国家中長期科学技術発展計画綱要」（2006～2020）における先端技術 8 分野の一つとして「新材料技術」でナノテクを強化。第 12 次 5 カ年計画では「新材料」に

<韓国>

「ナノテクノロジー総合発展計画」（2001～）。研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の 3 つの柱からなる。5 年ごとに見直し。2011 年から「ナノ融合 2020」として 3 期目に突入

2011 年以降も日本と中国を除き、ナノテクノロジー国家計画が更新・継続されている。米国と韓国は、” Technology Convergence”（技術の融合・統合）を前面に出し、システム化の加速を狙う。

これらに関連して、世界各国で進められてきたナノテクノロジーに関する特筆すべき各種取組みの推移については下記のとおりである。

1. スピードが要求されるグローバル競争下で、発見・発案から産業化までの時間を短縮するため、異分野融合と産学連携を効率よく促進する共用施設ネットワークの構築が重要である。米国、EU、中国、韓国、台湾は、この共用施設ネットワークへ戦略的に投資し、相当の充実度を達成している。中国は、北京に国際的なナノテクノロジー学術拠点を、蘇州に広大な産官学工業園区をそれぞれ構築した。遅ればせながら、我が国でも、2012 年文科省の主導で「ナノテクノロジープラットフォーム事業」がスタートし、共用施設新事業で追い上げを図っている。
2. ナノサイエンス・ナノテクノロジーをベースに、理系の小・中・高一貫教育（K-12）システムの構築を図り、そのための教科書作成、教員養成プログラムなどを促進している（米国、台湾）。韓国はナノテクノロジーをベースにした高等教育用英文テキストを作成した。米国、韓国ではナノテクノロジー学部を設置した大学もある。
3. 新産業の社会受容に向けて、EHS（環境・健康・安全）や ELSI（倫理・規制・社会上の課題）、それにかかわる国際標準・規格（ISO、IEC）に関する議論と枠組みの構築が活発化している。米国、EU、韓国、台湾、タイは国策として重点化を公表している。台湾はナノテクノロジー製品の認証制度に成功している。

特筆すべきは、米国、韓国、台湾においては、共用施設などのインフラ構築、教育・人材

育成プログラム、社会受容や EHS のような取り組みに対し、ナノテクノロジー全体計画予算からの配分比率を決めて投資するという形で長期の投資目標を設定していることである。これに対し、日本の科学技術基本計画には定量的な配算目標が設定されておらず、戦略として脆弱にならざるを得ない。このことは、ナノテクノロジーに限ったことではなく、今後の科学技術政策の策定における一般的な課題である。早急に手が打たれるべきである。

ナノテクノロジー・材料科学技術分野の研究開発動向を国際比較した結果を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 ナノテクノロジー・材料科学技術分野の研究開発動向を国際比較

		グリーンナノテクノロジー																							
		太陽電池		人工光合成		燃料電池		熱電変換		蓄電デバイス		パワー半導体		高温超伝導送電		グリーンプロセス触媒		ナノ組織制御構造材料		少元素戦略・希土元素代替技術		分離機能材料による水処理		放射性物質の除染・減容化	
国	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
日本	基礎	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	○	↑	△	↑
	応用	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	○	→	△	↑
	産業	◎	↓	×	→	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↑	○	→	△	↑
米国	基礎	○	↑	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↓	◎	↓	◎	→	○	↑	◎	↑	△	↓
	応用	○	↑	○	↑	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	○	→	△	↓
	産業	△	→	×	→	○	↓	○	↑	△	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→	○	→	◎	↑	○	↓
欧州	基礎	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→	○	↑	◎	↑	△	↓
	応用	◎	→	◎	↑	○	→	◎	↑	○	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	○	↑	△	↓
	産業	◎	↓	×	→	○	↑	○	↑	○	→	◎	→	△	→	◎	↑	○	→	○	→	◎	↑	○	↓
中国	基礎	△	↑	△	↑	○	→	◎	↑	○	↑	△	↑	△	→	○	↑	△	↑	△	→	○	↑	×	→
	応用	○	↑	△	↑	△	→	○	↑	○	↑	×	↑	○	→	◎	↑	△	↑	○	↑	○	↑	×	→
	産業	◎	↑	×	→	△	→	○	→	○	↑	△	↑	△	→	△	→	○	↑	△	→	○	↑	×	→
韓国	基礎	△	→	○	↑	○	→	○	↑	○	↑	△	↑	△	→	△	→	△	↑	○	→	△	↑	×	→
	応用	○	↑	△	→	○	↑	○	→	◎	↑	△	↑	○	↑	◎	↑	○	→	○	↑	△	↑	×	→
	産業	○	↑	×	→	○	↑	△	→	◎	↑	△	↑	○	→	◎	↑	○	↑	△	→	○	↑	×	→

		バイオナノテクノロジー								ナノエレクトロニクス							
		生体材料（バイオマテリアル）		ナノシステム（DDS）		診断・計測・バイオ		シグナリング・イメージ		超低消費電力 ナノエレクトロニクス		元異集種機能 三次チップ		μバセンシング システム			
国	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	○	→	◎	→	◎	→	◎	→
	応用	○	↓	◎	↑	○	↑	◎	↑	○	↑	×	→	○	→	○	→
	産業	△	→	○	↑	△	↑	◎	↑	○	→	×	→	△	↓	○	↓
米国	基礎	○	→	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	→
	応用	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→
	産業	◎	→	◎	→	◎	↑	○	→	○	↑	×	→	○	↑	○	→
欧州	基礎	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	→
	応用	○	→	◎	→	○	→	◎	↑	○	↑	×	→	◎	→	◎	↑
	産業	◎	→	◎	→	△	→	◎	↑	△	→	×	→	△	↑	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	↑	△	↑	△	→	○	↑	△	↑	×	→	△	↑
	応用	○	↑	○	↑	△	→	△	→	△	→	×	→	×	→	△	→
	産業	○	↑	△	↑	△	→	×	→	△	→	×	→	×	→	×	→
韓国	基礎	○	→	○	↑	○	↑	△	→	○	↑	×	→	△	→	○	→
	応用	○	→	○	↑	○	→	△	→	○	↑	×	→	○	↑	○	→
	産業	○	↑	△	↑	○	→	×	→	◎	↑	×	→	○	↑	△	↑
台湾	基礎									○	→			○	↑		
	応用									○	→			○	↑		
	産業									◎	↑			○	↑		

表 2.4.2 ナノテクノロジー・材料科学技術分野の研究開発動向を国際比較（続き）

国	フェーズ	技術超微細加工		MEMS / ME		ボトムアップ型プロセス 化自己組織 制御原子・分子		分子技術		界面制御		造空間・空隙構		バイオミメテ		ナノ計測							
																顕微鏡		顕透鏡電子		線放射測光・X		光間超高分速分時	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	基礎	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→
	応用	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	△	→	◎	↗	○	→
	産業	○	→	○	↘	○	↗	×	→	○	→	○	→	○	↗	○	↘	×		○	→	○	→
米国	基礎	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→
	応用	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→
	産業	◎	↗	◎	→	○	↗	×	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	×				◎	→
欧州	基礎	○	↗	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	→
	産業	○	→	◎	↗	○	↗	×	→	○	→	○	→	◎	↗	◎	↗	×				○	→
中国	基礎	×	↗	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	×	→			△	↗	△	↗
	応用	×	→	△	→	○	↗	×	→	○	↗	△	↗	△	↗	△	↗			○	↗	×	→
	産業	×	→	×	→	△	→	×	→	○	↗	△	↗	△	↗	×	→					△	→
韓国	基礎	○	→	○	→	○	↗	○	↗	△	→	○	↗	◎	↗	△	↗			△	↗	○	→
	応用	○	→	○	→	○	↗	△	→	○	→	◎	→	○	↗	○	↗	×	→	△	→	○	→
	産業	○	→	△	→	△	↗	×	→	○	→	◎	↗	△	↗	○	→					△	→
台湾	基礎	△	↗																				
	応用	△	→																				
	産業	△	→																				

		物質・材料 シミュレーション		リスク管理・評価	
国	フェーズ	現状	トレンド	フェーズ	トレンド
日本	基礎	◎	↗	取組水準	△ →
	応用	○	→	実効性	△ →
	産業	○	→		
米国	基礎	◎	→	取組水準	◎ ↗
	応用	○	↗	実効性	○ →
	産業	○			
欧州	基礎	◎	↗	取組水準	◎ →
	応用	○	↗	実効性	◎ ↗
	産業	○	↗		
中国	基礎	○	↗	取組水準	△ ↗
	応用	△	↗	実効性	△ →
	産業	△	→		
韓国	基礎	○	↗	取組水準	△ ↗
	応用	○	↗	実効性	○ ↗
	産業	△	↗		

注1：フェーズ 基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル
 応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル
 産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

注2：現状 ※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。
 ◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、
 △：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

注3：トレンド ↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

注4：空欄部分は不明

2. 4. 5 日本の課題

スピードが要求されるグローバル競争下で、今後なお一層、基礎研究成果（発見）を事業（産業）につなげるまでの時間を徹底的に短縮することが求められる。その実現には、下記のような課題がある。

- 科学－技術－工学－事業、各セクター間のコミュニケーション（衝突頻度）が決定的に不足しており、これを意図的に増やす仕組みを構築すること
- アカデミアにおける研究コミュニティの分断（専門領域のタコソボ化）の打破
- 研究開発上のグローバルコミュニケーションや共同した取り組みの増加

これらを解決するために、大学や学会、産業界の自主努力、あるいはそのインセンティブを与える政府の施策が重要となる。具体的には、下記に示すような融合・連携のインセンティブを付与するファンディング制度や体制の整備、融合や効率化のための共用施設・拠点の構築、ナノテクノロジー関連産業を支える人材育成策、標準化や環境・健康・安全の課題に対応する体制構築などが必要である。

1. ナノの「システム化」を目的とした「設計型」物質・材料研究開発

これまでに、本分野に蓄積された莫大な成果と知見を、産業創出に向け「システム化」していかななくてはならない。そのために、社会的期待を科学技術的要求機能に展開し、機能を満たす構造や材料を、様々な制約条件のもと設計する「デザイン型」研究開発を強化する必要がある。そこでは、分野融合・統合による従来にない価値（知見、概念）の創造が求められる。ただし「アナリシス型」とのバランスが重要である。

2. 融合と連携を促進する共用施設・研究拠点ネットワーク

今後の科学技術政策において投資効率を上げるための最重要インフラである。2012年度に新たに発進したナノテクノロジープラットフォームの状況を常に注視し、その運用を継続・発展させる必要がある。光量子科学研究拠点、X線自由電子レーザー（XFEL）のような大型施設、およびスーパーコンピューターも含む形で、ワンストップの共用制度の導入の是非を検討する時期に来ている。

3. 大学および中核・共同研究拠点の国際化

喫緊の課題である。事務部門を含む現場の英語公用語化を進め、アジア諸国を含む世界から人材を吸引し、また、他国のネットワークと接続する環境を整える必要がある。また、そのような国際的環境で、異分野知識の吸収・融合、グローバル視点での社会ニーズの把握、急変する環境に対応した状況判断などを涵養する高等教育を行っていく必要がある。「つくばイノベーションアリーナ（TIA）」などのオープンイノベーションによる産学官連携の共同研究拠点の実践に期待したい。

「システム化」を目指すナノテクノロジーは、これらを実施するためのよい土俵であり、

環境の整備に向けて、政府だけでなく、アカデミア側の自主努力が強く求められるところである。

ナノテクノロジー・材料分野の少なからぬ領域で、日本は「システム化」と産業化で欧米に遅れをとっている。さらに一部の分野では、アジア諸国の急進にも脅かされている。大きな課題として指摘されていることは、研究成果を素早く社会に実装していくための推進方策の未熟であり、システム化に向かう産官の仕組みの問題であり、科学技術に関わる人々のマインドセットの問題である。

【参考】俯瞰報告書作成の過程で実施した主な調査や関連報告書

本報告書は CRDS における下記の報告書および関連する諸活動に基づいている。作成過程において、調査・ワークショップ等にご協力いただいた外部識者は約 200 名である。

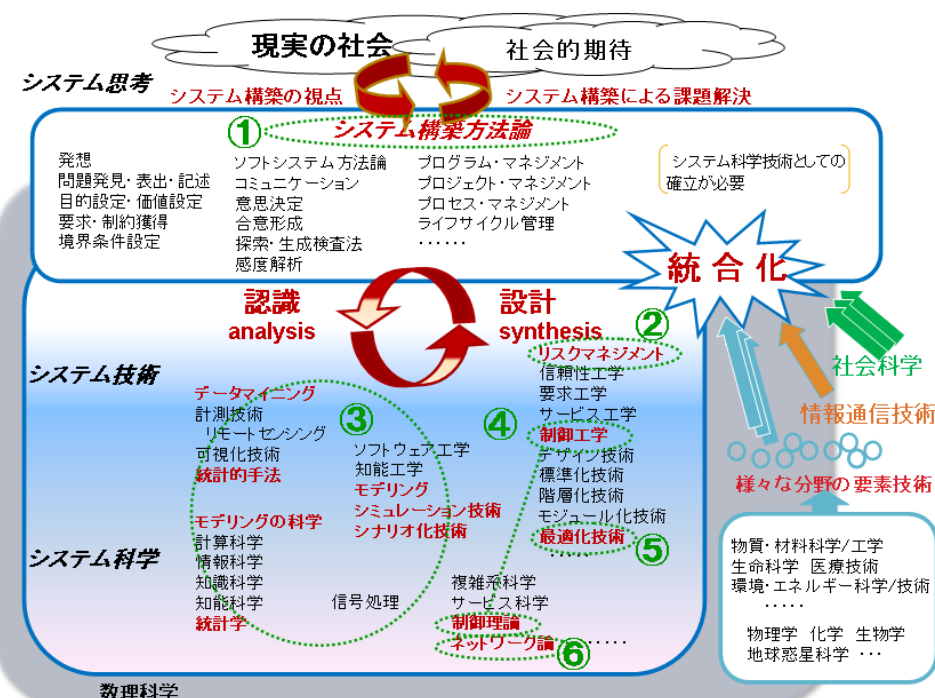
1. ナノテクノロジー・材料分野俯瞰ワークショップ 報告書（研究領域別分科会）
CRDS-FY2012-WR02
2. ナノテクノロジー・材料分野俯瞰ワークショップ報告書（全体会議）
CRDS-FY2012-WR05
3. 社会的便益に向けた統合化技術の国際研究に関する日米韓国際ワークショップ報告書
CRDS-FY2012-WR09
4. ナノテクノロジーの未来を展望する日米韓台ワークショップ報告書
CRDS-FY2010-WR-06
5. 研究開発の俯瞰報告書 データで見る俯瞰対象分野（2012 年）
CRDS-FY2012-FR-01
6. G-Tec 報告書 主要国のナノテクノロジー政策と研究開発・共用拠点
CRDS-FY2011-GR-01



研究開発の俯瞰報告書概要（2013）

システム科学技術分野

俯瞰区分の抽出



②意思決定とリスクマネージメント

1) リスクの下での意思決定 2) リスク概念と尺度 3) 統合・複合リスク・その他リスク 4) 市場リスク 5) 信用リスク 6) リスクマネージメントの数値計算

③モデリング

1) 先端の数値モデリング 2) エージェント・ベース・モデルとマイクロ・マクロ連携 3) 統計モデル 4) 動学的経済モデルと統計整備 5) データ同化 6) データマイニング・機械学習 7) モデル合成による社会課題解決の展望 8) モデルの正則化・最適化 9) モデル統合に基づくシステム設計とその評価 10) モデルの評価技術

④制御

1) 学習制御／適応制御 2) ロバスト制御 3) 最適制御／予見制御／予測制御 4) 分散制御／分布制御 5) 合意・同期・被覆制御 6) 大規模・ネットワーク制御 7) 確率システム制御 8) 故障検出／信頼性設計 9) 制御の基盤としてのシステム理論

⑤最適化

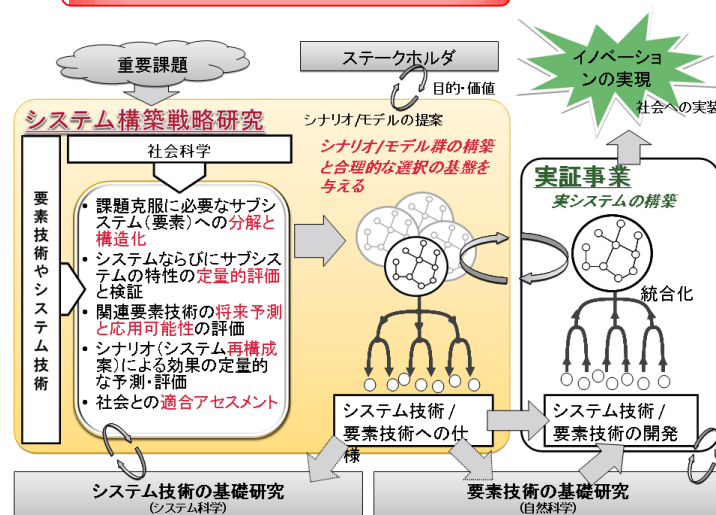
1) 基盤分野としての最適化 2) 連続的最適化 3) 分散的最適化 4) 最適化計算 5) 最適化モデリング 6) 最適化ソフトウェアと応用

⑥ネットワーク論

1) 複雑ネットワークおよび総論 2) 機械学習・データマイニング分野におけるネットワーク構造解析 3) ネットワークに関する離散数学 4) ネットワーク解析用ソフトウェア

将来は「システム構築方法論」「複雑系」「自己組織系」「社会システム」なども取り上げる必要がある。

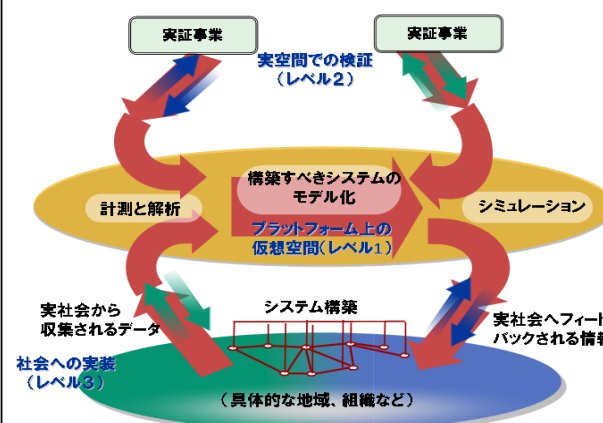
システム構築戦略研究



Kimura, H. Toyouchi, J., etc (2012) 「Proposal of strategic research on building systems」
『Systems Conference (SysCon), 2012 IEEE International』

各俯瞰区分を統一にとらえる方法論としてシステム構築方法論を考察。
サブシステム（要素）への分解と構造化、システム特性の定量的評価など学問的な研究課題が抽出される。
各分野にまたがる問題を解決するため、共用プロトコルやプラットフォームを確立するための研究も必要。

システム構築方法論



国際比較総括

各分析領域の国際比較から強みなどをキーワード化

日本	強み: モデリング、最適化 中位: マルチエージェントシミュレーション、ネットワーク 弱点: システム化、大規模システム制御、リスク管理、データマイニング
米国	すべての分野で圧倒的に優位。特に制御、システム化、計算機ネットワーク、経営システムとリスク管理、ソーシャルメディアなど
欧州	強み: リスク理論、予測理論、システム理論 弱み: 産業化
中国	システム科学分野の研究予算、論文数が急激に増加。実問題の解決に注力、スパコンも強い。
韓国	情報公開は不十分、国際的研究への参加も非積極的、応用統計の基礎／応用研究は、日本より優勢

2.5 システム科学技術分野

現代社会において「システム」は、日常語としても様々な意味で多用されている。そのため、科学技術の文脈でシステムを議論するときは、この語がもつ多義性が災いし、混乱を招くことも少なくない。本報告書ではシステムを「機能を実現するために要素を適切に結び付けた複合体」と定義する。

すべての工業製品は高度なシステムであり、また我々は様々な社会システムの要素として生きている。現代は「システムの時代」であり、システムは科学技術を社会に結びつける枠組みになっている。システムの時代を支える「システム科学技術」は「望ましいシステムを構築するための科学的な基盤と、それを達成するための技術的な手法の総体」として定義される。

システム科学技術は、他分野と比べ、科学としては比較的新しく未成熟な部分を含んでいる。分野として俯瞰するには困難を伴う。そのため、システム科学技術分野の俯瞰は国内外を通じて行われてこなかった。本報告が初の試みである。

2.5.1 分野の変遷

システム科学技術は他の科学技術分野と異なる幾つの特徴をもっている。第一に、その研究対象がシステムという目に見えないものであることからくる抽象性である。システムとして作り上げられた結果としての製品は目に見え、業務の体系のようなプロセスとしてのシステムは実感できる。だが、それらに内包されたシステム原理は目に見えない。

第二にシステム科学技術は、システムを構築することを第一義的な目標とし、実践性を重んじる学術である。システムが実際に動くかどうかを見極めるところまでやりぬくことに大きな価値を置く。抽象性と実践性は通常は相反する性質である。だが、システム科学技術はその両翼を含むことをむしろ特徴としている。

抽象性と実践性を結び付ける第三の性質が横断性である。システムにおける要素はそれぞれ異なる専門分野の知を背負っている。システム科学技術が、それらの異なる分野を実践によって結び付ける横断性を強くもつことは自然の成り行きである。

システムを取り扱う上での重要な課題は要素（部分）と全体の調和である。これはシステム科学技術の最大の研究課題であると言ってよい。機械は部品の組み合わせからなることは技術では常識であり、要素と全体の調和は昔から設計の眼目であった。しかし、機械が複雑になり部品の数が多くなるとシステムの性質が自然に立ち現われてくる。システムが研究の対象になり、システム科学技術が発展する。

科学技術が社会に浸透すると、技術システムは社会システムとしての様相を帯び、人間を要素として取り込むことが必要になる。システム科学技術が直面している最も深刻な課題は、行動や意識が多様であるがゆえに、その性質が捉えにくい社会・人間と科学技術をシステムの文脈でつなぎ調和させることである。システム科学技術の本来の課題である部分と全体の調和は、現代技術の位相のもとでは人間・社会の全体性と科学技術の部分性の調和という形で現われている。

システムはどの分野でもさまざまな研究課題を提起しており、それがシステム科学技術の横断性となって現れている。それゆえ、システム科学技術固有の規範が見えにくくなっており、その重要性が時として見過ごされる原因となっている。

また、その抽象性がゆえに分かりにくいとの批判が絶えない。逆にシステムを実際に構築する際は極めて実践的な手法が表に出てくる。そのため、その科学としての実体が理解されにくい。しかし、すべてのものがシステム化される巨大な現代技術の流れの中で、システム科学技術の果たすべき役割はますます重要になりつつある。

システムが科学の研究対象として浮かび上がってきたのは、20 世紀半ばの理論生物学においてである。生物のもつ多くの機能を個々に取り上げて深く探求しても、「生命とは何か」という疑問には答えられないという古くて新しい問題が、部分の総和を超えたシステムという概念を科学研究の対象に据えるきっかけとなった。

やがてシステムの概念は生物学の領域を越え、一般システム理論の誕生を促す。一般システム理論は物理学や化学にも持ち込まれることになった。背景には、力学的世界観と要素還元主義のもとで進んできた近代科学のある種の限界が顕在化し始めたことがある。

また、科学の細分化や行き過ぎた還元主義に対する批判を軸とした一般システム理論の主張は、計算機技術が発展していく中で一部の科学者の注目を集めるようになった。そのきっかけになったのは、ローマクラブが 1972 年に出版した「成長の限界」である。その悲観的な予測結果とともに、世界を思い切って簡略化した定量モデルで記述するシステムダイナミクスの方法論の斬新さは、学問的にも大きな注目を集めた。

その後、システム科学の研究において重要な役割を果たしたのが、1984 年に設立され、複雑適応系という新しい分野を開拓した米国のサンタフェ研究所である。複雑適応系の研究は、新しいシステム科学の必要性を明らかにするとともに、フラクタル、カオス理論、ニューラルネットワーク、複雑系経済システムなど、様々な分野に大きな影響を与えた。現在もこれらの分野における研究は活発である。

一方、システムが技術の問題として顕在化し始めたのは、製品が複雑になり、それにとまって製造方法や製造工程が複雑になり、全体の調和が困難な課題になってきてからである。別の言い方をすれば、システム化の度合が、その分野の技術の成熟度を表す指標になっているといってもよい。

部分と全体の問題が技術において特に意識されるようになったのは、オートメーションが大きく進んだ第二次世界大戦直後からである。オートメーションの発展は製品のシステム化に対応する製造工程のシステム化をさらに進めることになる。システムという概念が技術の中で占める位置の大きさを明らかにし、「システムの時代」を切り開く先導役となった。

システム構築にかかわる工学が急速に進んだのもこの頃である。サイバネティックスはフィードバック制御に新しい広がりを与え、人間と社会の全体システムが機械間の通信に支えられて進化する新しい未来展望を提示した。さらにこの頃、計算機技術の発展に伴ってモデリングの理論と技術が飛躍的に進展した。モデリングは制御や予測の精度を大きく改善し、システム化のキーテクノロジーとなった。最適化と意思決定の技法を含むオペレーションズリサーチも同時期に急速な進歩を遂げたシステム化を担う分野である。これらの分野の発展により、システム技術の体系的、科学的基盤が整備されていった。

ICT の発達に伴って 1990 年代の初めに技術の地殻変動をもたらした「デジタル化」は「シ

システム化」の延長上にある。デジタル化の進展は付加価値を要素からシステムへ大きく移動させる引き金になった。しかしながらこの時期、我が国では「ものづくり」の技術文化が支配的であった。同文化が作り出す個別分野に限定された要素技術、要素研究への強い執着と保守性のために、当時進行しつつあった科学技術の地殻変動に対応する新しい技術力の養成と「産業エコシステム」を生み出すことに失敗した。このことが、我が国の産業競争力が減退していった一因にもなっていることが指摘されている。

システム科学技術の進展によって、我が国における、このような科学技術の弱点が克服されることが期待される。

2. 5. 2 分野の範囲と構成（分野の俯瞰）

システム科学技術にはすでに、体系化された研究分野が多く存在する。これらの中から、本報告書では「意思決定とリスクマネジメント」、「モデリング」、「制御」、「最適化」、「ネットワーク論」の5分野を詳しい俯瞰と評価を行う具体的な対象として取り上げる。

しかし、これらのすでに体系化された研究分野が生み出した知を動員するだけでは、システム構築という困難な課題を達成することはできない。特に、構成しようとするシステムが巨大かつ複雑で、しかも社会に実装することが要請されている場合はなおさらである。対象としているシステムの特異性に依存する具体的な判断や処理を行うことを通じて、システムを組み上げていく必要が往々にして生じる。従って、システム科学技術として普遍性を抽出し、一般的な設計の手法を確立していくことが肝要である。

このような状況の下、本報告書ではシステム構築において実用上は重要であるが未だ確立、体系化されていない手法、方法などをまとめて「システム構築方法論」と名付けた。システム構築方法論には現実の社会における課題を抽象化し一般化する過程で使われる方法論や操作手法が主に含まれる。

システム構築方法論と上記の5分野を合わせた計6分野を、最初の俯瞰報告書を作成するに当たり、優先して調査すべき俯瞰区分として設定した（図 2.5.1）。この俯瞰区分はワークショップやアンケートにおける有識者の意見にもとづいて設定されている。

ただし、後述するシステム構築方法論については、詳細な俯瞰対象とはせず、方法論の概略を記述するのみに留めた。これは、他の5分野については、すでにある程度確立している学問領域であり、エビデンスに基づいた歴史的考察や国際比較が可能であるが、システム構築方法論に関してはそのような比較が困難なためである。

また、前節で述べた複雑適応系も重要な分野であるが、その研究対象は極めて広い範囲に及んでいることから、次回以降の俯瞰報告書で詳しく取り上げることにした。

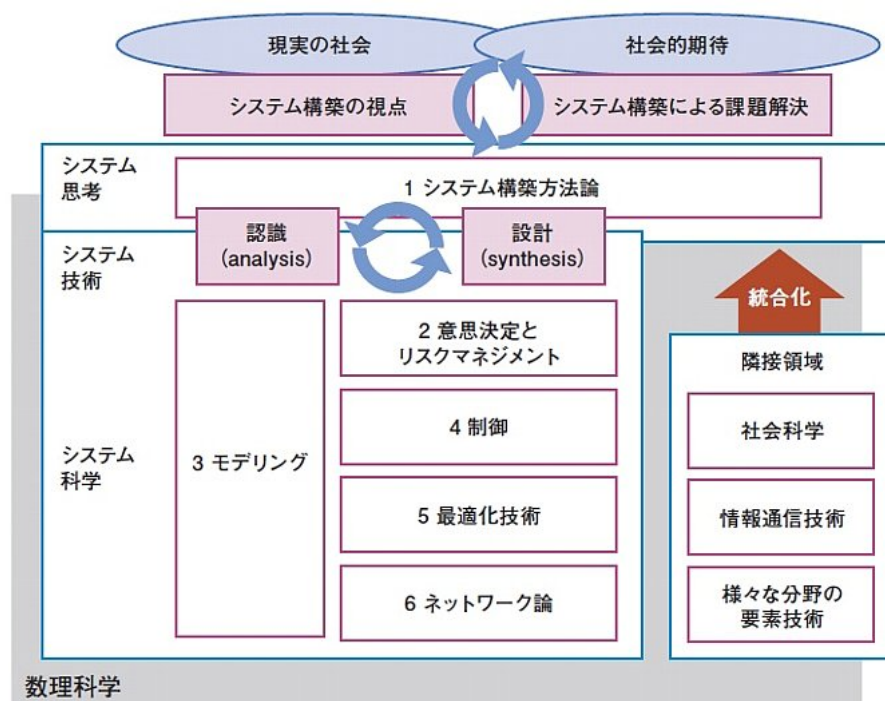


図 2.5.1 システム科学技術分野の俯瞰による全体像（概略版）

2. 5. 3 分野の今後の方向性

以下に、各俯瞰区分における研究開発領域の概要を示す。

1. システム構築方法論

「システム構築方法論」は、学問体系としてのシステム科学技術と現実の課題を解決するためのシステム構築をつなぐ方法論として位置づけられる。だが、システム科学技術の一分野としては未だ確立されていない。特に、現実の社会において対象となるシステムをどのように分析し（認識）、また構成するか（設計）については、試行錯誤の状態を本質的に抜け出していない。

ここで取りあげる方法論は現状では学問領域としては未成熟である。しかし、システム科学技術の将来の発展に大きく貢献することが期待され、また将来の俯瞰対象となる可能性が高いものである。一方で、その適用がシステム構築の段階や対象とするシステムの特性などに依存するため、やや雑多な感が免れない。このような状況ではあるが、システム構築方法論は、以下の3つのカテゴリーに大別される。

- (i) 現実の社会とシステム科学技術をつなぐために必要となる方法論（プログラム・マネジメント、ライフサイクル管理手法、ソフトウェア開発手法など）
- (ii) システム科学技術の方法論として開発されてきたが、未だ方法論としては確立しておらず体系化されていない方法論（システムダイナミクス、ソフトシステム方法論など）
- (iii) システム科学技術以外の分野で確立された方法論であり、システム科学技術の方法論としても期待されているが、まだシステム科学技術としての位置づけが明確になってい

ない方法論（ゲーム理論や学習など）

2. 意思決定とリスクマネジメント

システム科学技術の特徴の一つである、対象を計測し、モデル化し、さらにその評価や予測に基づいて、対策立案、施策にまで結びつける横断性を端的に表す分野として「意思決定とリスクマネジメント」分野があげられる。図 2.5.2 に本文を俯瞰した結果を示す。

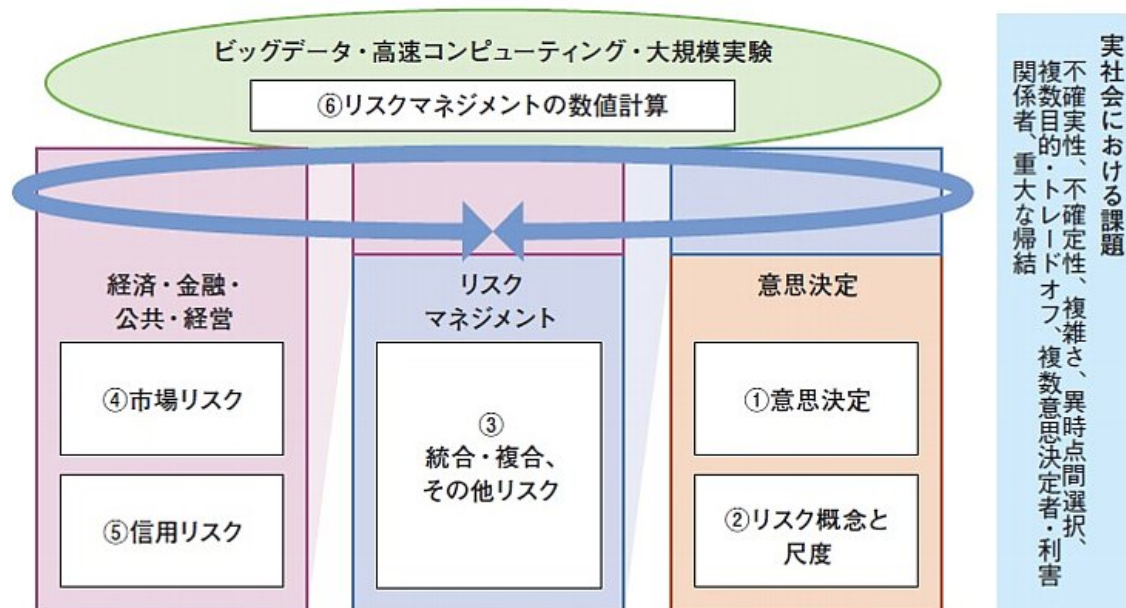


図 2.5.2 意思決定とリスクマネジメント区分の全体像（概略版）

意思決定は、個人生活のみならず組織や社会全体にとって極めて重要である。これまでに、意思決定の研究は多様な学問分野で進められてきている。これらの研究は「意思決定科学」とも総称される。ただ、その多様性ゆえ、各分野に共通の基盤となるような体系が整備され一つの学問分野として確立されているとは言い難い状況である。こうした背景から、ここでは意思決定分野として、経済・金融・公共・経営に関するリスクマネジメントを対象にする。

リスクのある対象に対して適切な意思決定を行うためには、対象のリスク特性を「発生頻度」と「重大性」という二軸を中心に、金融機関や一般事業会社が内包する個々のリスク要素のみならず、それらが結びついた複合リスク、もしくは統合リスクを定性的あるいは定量的に把握し、評価することが重要である。こうした点から、金融領域と保険領域で個別に取り扱われていたリスクマネジメントが最近では統合した概念で取り扱われつつある。

またネット技術の革新により、以前よりもはるかに容易に大量のデータを収集することが可能となったことから、大量のデータをさまざまな意思決定とリスクマネジメントに活用する動きが実業界で広がりを見せている。経済・金融市場のグローバル化と複雑な金融商品の登場に加え、様々な個々のリスクと、それらの統合リスクを評価、把握するための莫大なデータが入手可能な状況になりつつあることから、それらビッグデータから効率的にリスクを算出するための数値計算アルゴリズムの開発をハードウェア開発と共に進めていくことが重要な研究領域になっている。

以上の点を踏まえて、意思決定とリスクマネジメントの重点的研究領域として、①意思決定、②リスク概念と尺度、③統合・複合・その他リスク、④市場リスク、⑤信用リスク、⑥リスクマネジメントの数値計算を設定する。

3. モデリング

システム科学技術において、現象や行動のモデル化プロセス自体を研究対象とする横断的学術領域が「モデリング」である。対象の適切なモデル化は、現象の制御、将来予測、科学的意思決定の前提であり、多くの学術的、社会的課題は、パラメータなどモデルの要素の条件付き最適化を通じて達成される。

俯瞰によって得た全体像を図 2.5.3 に示す。ここでは、モデリング・プロセスを対象分野固有のモデル表現の知を活用して現象の分析を深化させる順問題的フェーズと、数理科学領域（特に数理最適化）の支援を受けて課題解決に資するモデルを設計・合成する逆問題的フェーズの二つに分けている。

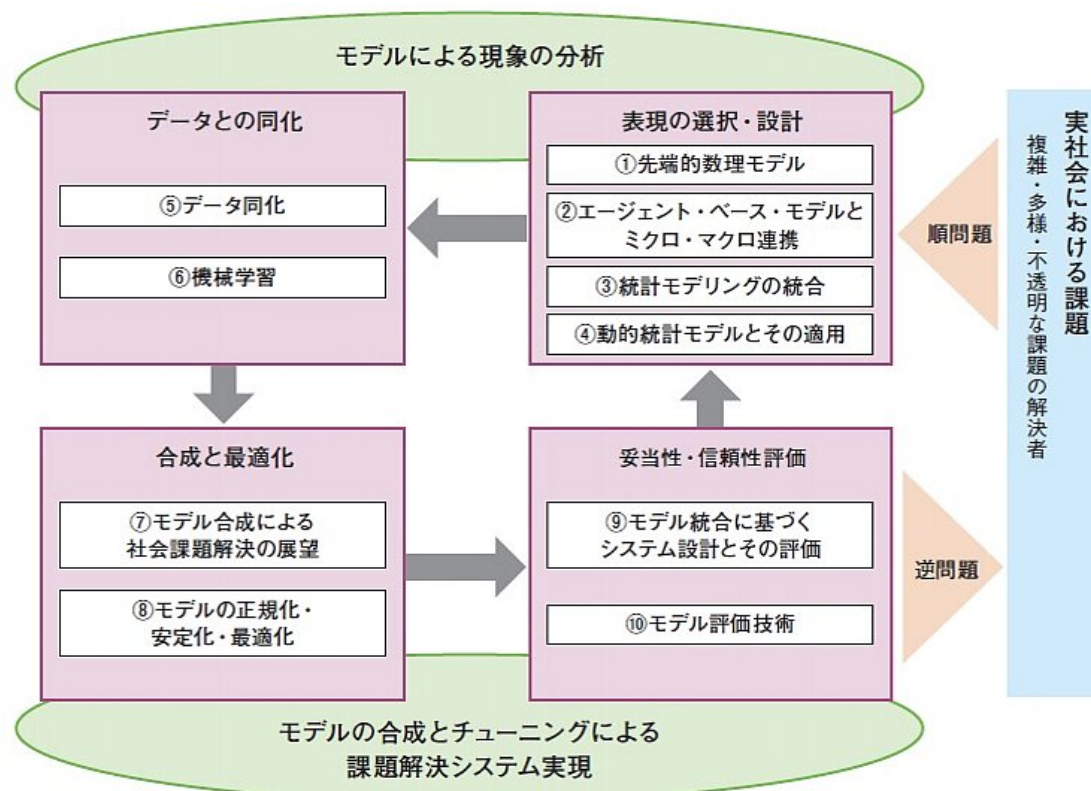


図 2.5.3 モデリング区分の全体像（概略版）

順問題フェーズは、対象の「表現の選択・設計」、モデルの「データとの同化」の 2 プロセスとした。多様な現象の「表現の選択・設計」にかかわる横断的研究開発領域として、①先端的数理モデリング、②エージェント・ベース・モデルとマイクロ・マクロ連携、③統計モデリングの統合、④動的統計モデルとその適用を設定した。①先端的数理モデリングは、現象の数理科学的表現を目指す。②エージェント・ベース・モデルとマイクロ・マクロ連携では、現象の計算科学的表現を目指す。③統計モデリングの統合は、現象の帰納的表現を目指す。

「データとの同化」に関しては、⑤データ同化と⑥機械学習を設定した。⑤データ同化では、超大規模不完全データに対する推論技術やデータ設計などの高度化を目指す

逆問題フェーズは、「合成と最適化」と、合成されたモデルの「妥当性・信頼性評価」の2プロセスからなるとした。合成と最適化とは、現象や行動が因果ネットワーク上に複雑に絡む対象に関する学術・社会課題解決システムのモデル表現の設計、すなわちアーキテクチャーと合成を支援することである。

「合成と最適化」にかかわる研究開発領域としては、⑦モデル合成による社会課題解決の展望、⑧モデルの正則化・安定化・最適化を設定した。⑦モデル合成による社会課題解決の展望で社会課題解決システム合成戦略を導く。⑧モデルの正則化・安定化・最適化では、システム合成方法論の数理科学的高度化を目指す。

「妥当性・信頼性評価」と合成との境界プロセスには、⑨モデル統合に基づくシステム設計とその評価を、「妥当性・信頼性評価」自体の基盤統計数理科学の高度化を目指す研究開発領域として⑩モデル評価技術を設定した。

4. 制御

「制御」は、電気、機械、化学、航空、自動車など、あらゆる分野で個別システムに求められる制御課題を解決していく過程で発展し、それが抽象化されることで、どの対象システムにも普遍的に使える理論が形成されてきた領域である。従って、ほとんど数理科学に近いような研究から、現場で制御機器の調整を行うような開発まで、非常に幅広い活動を含む。

図 2.5.4 に、俯瞰によって導いた全体像を示す。ここでは、制御系設計を基軸として、関与する研究課題を記載している。実社会における課題を定式化してモデルを表現し、解析、制御系設計を経て、安全性や信頼性などを評価しながら、システムの実装・運用につなげる。

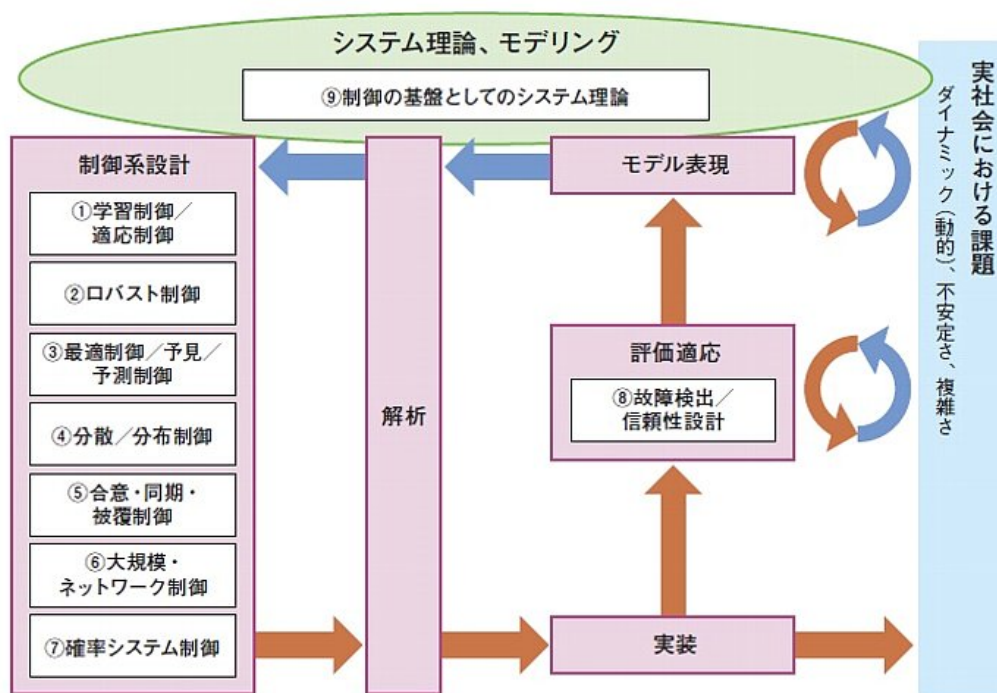


図 2.5.4 制御区分の全体像（概略版）

最適化分野の研究開発領域としては、この流れを踏まえて、以下の6つの領域を設定している。まず、最適化分野の基本的な研究開発領域は、②「連続最適化」（連続変数の最適化問題とその解法の研究）、③「離散最適化」（整数変数を扱う整数計画法、グラフやネットワークに代表される離散構造を扱う組み合わせ最適化の研究）である。

次に、実社会の複雑かつ大規模な最適化問題に対応するための研究開発領域として、④「最適化計算」（複雑かつ大規模な最適化問題を解くための大規模計算技術の研究と開発）、⑤「最適化モデリング」（実社会の複雑、かつ、曖昧な問題をいかに最適化問題に定式化するかの方針の研究と開発）がある。

最適化技術の普及のために重要な研究開発領域は、⑥「最適化ソフトウェアと応用」である。さらには、①「基盤分野としての最適化」（最適化分野は、応用分野は言うに及ばず、数学などの基礎的分野とも融合し、科学技術の基礎として発展してきた）もある。最適化分野の分野融合的な基礎研究を促進する。

6. ネットワーク論

「ネットワーク」は日常語としては、インターネット、地域コミュニティ、組織、社会などの意味に多義的に用いられる。こうした混同は、学問の世界においてすら、しばしば起こる。しかし、本俯瞰区分が指す「ネットワーク」は、明確に、複数の要素（ノード、頂点などと呼ぶ）と、2つの要素間を結ぶ関係（リンク、枝などと呼ぶ）の集まりからなるシステムを表す。

例えば、ソーシャル・ネットワークは人間をノード、二者の間の人間関係をリンクとするネットワークである。インターネットは、コンピュータをノード、ケーブルなどをリンクとするコンピュータ・ネットワーク同士がリンクしたネットワークのネットワークである。

1998年以降、このような種々のネットワークの複雑、かつ秩序だった構造が急速に明らかにされ、かつ、様々な応用が進んだ。応用分野を問わぬ普遍性と、統計物理学者や応用数学者が多く参入して一挙に分野が発展したことが特徴的である。図2.5.6に俯瞰による区分の全体像を示す。

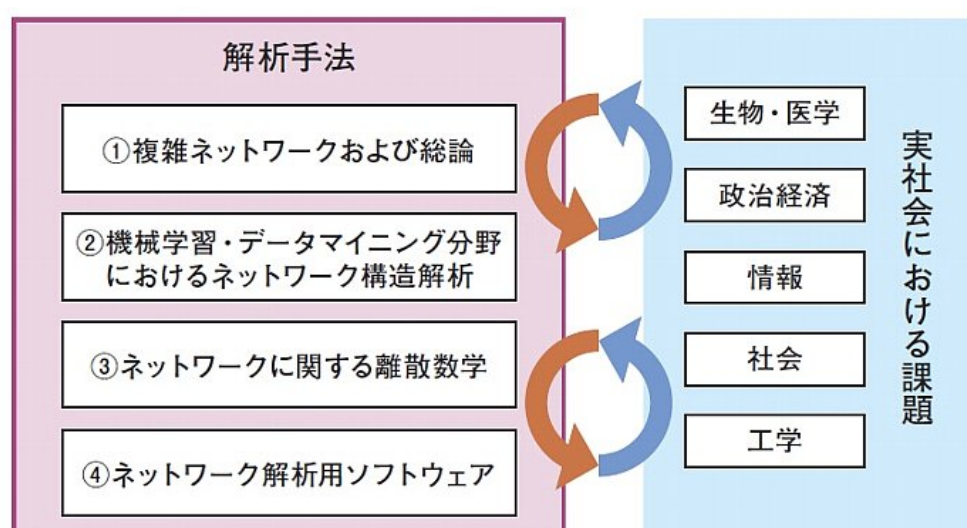


図 2.5.6 ネットワーク論区分の全体像（概略版）

①「複雑ネットワークおよび総論」は、ネットワーク科学の軸に位置しているそのような発展を概括し、かつ、本俯瞰区分を総括する領域である。

近年、多くの研究開発分野において大規模データの存在と可用性が認識され、その意義や解析手法が問われている。ネットワーク科学もこの流れの中にある。すなわち、ネットワーク上で収集できる膨大なデータが急速に整備され、その中から有用な情報を抽出するデータマイニングの需要が高まっている。この役割は一般的に、統計科学や機械学習が担う。それらのネットワーク解析に特化したものは、それだけで一研究領域を築いている。②「機械学習・データマイニング分野におけるネットワーク構造解析」領域が、この分野を概括する。

ネットワーク研究の歴史は17世紀の数学にまで遡る。その現代版はグラフ理論と呼ばれ、これを含むグラフに関する純粋数学理論は離散数学、応用数学の主要な一翼を成し、産業応用にも到達している。数学の世界の指すグラフと、本稿の指すネットワークは同義である（学術的にはグラフのノードやリンクに量的関係が付されたものがネットワークであり、グラフとネットワークは区別されるが、本稿では敢えて区別していない）。この分野を概括する領域が③「ネットワークに関する離散数学」である。

ネットワーク研究は、検索エンジン、ソーシャル・ネットワーキング・サービス、人材支援、マーケティング、環境保護、製薬、など多様な分野へと応用されている。個別応用分野の専門家は、通常、ネットワークについては非専門家である。したがって、ネットワーク科学が世の中で有用たるためには、非専門家がネットワークの可視化や指標解析などをグラフィカル・ユーザー・インターフェイスのもとで行えるソフトウェアが必須である。実際に、最近10年程度に限っても新規ソフトウェアの開発、競争、淘汰が健全な形で起こっている。④「ネットワーク解析用ソフトウェア」領域で、この分野を概括する。

2. 5. 4 分野の国際比較

システム科学技術に関して、各国の研究ビジョンと戦略は明確には現れていない。ただし、論文数やその増減から、研究領域の重要度を推察することができる。

<日本>

制御やモデリング、最適化の分野では一定の成果を出しているが、論文数は増えていない。米国、欧州、中国の論文数が急増していることから、残念ながら相対的な存在感が低下している。システム構築の重要性は、総論としては共通認識となりつつあるが、さらに一歩踏み込んだ施策を提示することができずに、足踏みしている状態である。

第4期科学技術基本計画において初めてシステム科学技術が言及され、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術として、その研究開発を推進することが明記された。だが、そのための政策主体は依然として存在しておらず、システム科学技術を成熟させる研究システムもまだ確立できていない。

<米国>

リスクマネジメント、モデリング、最適化、制御、ネットワークのいずれの研究領域においても論文数のシェアは高く、数の伸びも大きい。データマイニング・機械学習なども同様

である。伝統的に航空・宇宙・軍事研究の分野への利用を考慮した応用研究と、これを可能にするための基礎研究が盛んである。だが、計算機ネットワークやエネルギーマネジメント分野での予算措置も強化され、研究成果が顕著に現れてきている。

システムの複雑性の際限ない増大についてはアメリカでも大きく問題視されており、それに対決する概念構築や手法の開発への挑戦が始まっている。「システムのシステム」や「ビッグデータ」などの概念はこの分野の研究の方向性を示唆している。

<欧州>

全般的に米国に次ぐシェアを占め、また論文数の伸びも同様に高い。特にリスクマネジメントや制御、最適化の領域での存在感が大きい。政府や公共団体さらに企業などとの連携により、交通政策、金融、エネルギー、製造業、環境、農業、情報通信、医療などの分野に、最適化技術や大規模計算などのシステム科学技術を導入して解決する試みが積極的に推進されている。携帯電話による社会ネットワークのデータの取得と解析も進んでいる。

<中国>

21世紀に入って、急速に論文数を増やしている。特に制御や最適化、数理モデリング、データマイニング・機械学習の伸びは著しく、論文数では2010年前後に米国を上回った領域もある。数理系専門家育成のために300大学に研究拠点を設置しており、数学レベルの向上が顕著である。

エネルギーや交通、環境問題などが経済成長とともに深刻化しており、これらの諸問題の解決のために、実現象の数理モデリング、最適化計算などの新しい問題解決の手法が重要視される傾向が高まっている。

システム科学技術分野の研究開発動向を国際比較した結果を表2.5.1に示す。

表 2.5.1 システム科学技術分野の研究開発動向を国際比較

		意思決定とリスクマネジメント												モデリング																		
		リスクの意思決定		リスク概念と尺度		統合・複合リスク・その他		市場リスク		信用リスク		リスクマネジメントの数値計算		先端的な数理モデリング		エージェント・ベース・モデルとマイクロマクロ連携		統計モデル		動的経済モデルと統計整備		野の開拓		新しい戦略分野		データ同化・機械学習		データマイニング・機械学習		モデル合成による社会課題解決の展望		モデルの正則化・最適化
国	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	基礎	△	→	○	→	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	◎	↗	◎	→	×	→	○	↗	○	→	○	→	○	→	○	↗	△	↗	
	応用	△	→	○	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	↗	◎	→	△	→	◎	↗	○	↗	○	→	○	→			△	↗	
	産業	△	→	○	↗	△	→	△	→	○	→	△	→	○	↗	○	→	×	↘	×	→	○	→	○	→	△	→			△	→	
米国	基礎	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗			
	応用	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗			◎	↗	◎	↗	
	産業	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→	○	→	○	→	◎	↗			◎	↗	◎	↗	
欧州	基礎	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗			
	応用	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	→			○	↗			
	産業	○	→	○	→	△	→	○	→	○	↗	◎	↗	○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→			△	→	△	→	
中国	基礎	△	↗	△	↗	×	→	○	↗	△	↗	△	→	○	↗	○	→	○	↗	△	→	△	→	△	→	○	↗	△	↗			
	応用	△	↗	△	↗	×		△	→	△	↗	△	→	△	↗	△	→	△	↗	△	→	△	→	○	→			△	↗			
	産業	×	↗	×	→	×		△	→	×	→	△	→	×	→	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→			×	↗			
韓国	基礎	×	→	△	↗	×	→	△	→	△	↗	△	→	△	→	○	↗	△	→	△	→	△	→	△	→	△	↗	○	↗			
	応用	×	→	△	↗	×		△	→	△	↗	△	→	△	→	△	↗	△	→	△	→	△	→	△	→			○	↗			
	産業	×	→	×	→	×		△	→	×	→	△	→	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→			×	→			
台湾	基礎															○		↗														
	応用															○		↗														
	産業															△		→														

		モデリング				制御																			
		計とその評価		モデル統合に基づくシステム設計		モデルの評価技術		学習制御／適応制御		ロボスト制御		最適制御／予測見制御		分散制御／分布制御		合意・同期・被覆制御		大規模・ネットワーク制御		確率システム制御		故障検出／信頼性設計		御の基盤としてのシステム理論	
国	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
日本	基礎	○	→	○	→	◎	↗	○	→	○	↗	○	↗	○	→	○	↗	◎	↗	○	↘	○	↘		
	応用	○	→	○	→	○	↗	○	→	○	↗	○	↗	△	↗	○	→	○	↗	○	↗	○	↘		
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	→	○	→	○	↗	×	→	○	→	△	↗	○	↗	◎	→		
米国	基礎	○	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→		
	応用	○	→	◎	↗	○	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	△	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	→		
	産業	○	→	◎	↗	○	→	○	→	◎	→	○	↗	×	→	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	↗		
欧州	基礎	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→		
	応用	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	×	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→		
	産業	○	↗	○	→	◎	↗	△	→	◎	→	○	↗	×	→	○	→	◎	↗	○	→	○	→		
中国	基礎	△		○	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	→	○	↗	○	↗	○	↗	△	↗	△	↗		
	応用	△		○	↗	○	→	△	→	△	↗	△	→	×	→	○	↗	△	→	○	↗	△	↗		
	産業	△		○	↗	△	→	△	→	△	→	△	→	×	→	△	→	×	→	△	↗	△	↗		
韓国	基礎	△		○	↗	△	→	○	→	◎	→	△	↗	○	↗	△	→	○	↗	○	↗	△	↗		
	応用	△		○	↗	△	→	△	↗	○	→	△	↗	×	→	△	→	△	→	○	↗	△	↗		
	産業	△		○	↗	△	→	△	→	△	→	○	↗	×	→	○	↗	×	→	○	↗	△	↗		

表 2.5.1 システム科学技術分野の研究開発動向を国際比較（続き）

国	フェーズ	最適化												ネットワーク論											
		最適化分野としての 最適化分野融合 的な視点から		基盤分野としての 連続的最適化		離散的 最適化		最適化計算		最適化モデリング		最適化ソフトウェア と応用		複雑ネットワーク および総論		機械学習・データ マイニング分野に おけるネットワー ク構造解析		ネットワー クに関する 離散数学		ネットワー ク解析用 ソフトウェア					
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	基礎	○	→	◎	→	○	↗	◎	→	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	△	→	△	→	△	→
	応用	○	→	○	↗	○	→	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
	産業	○	→	△	→	○	→	○	↗	△	↗	△	↗	△	→	○	↗	○	→	△	→	△	→	△	→
米国	基礎	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	△	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	△	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	産業	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	△	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	○	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	△	↗	○	↗	◎	→	○	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用	○	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
	産業	○	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	△	↗	○	↗	○	→	△	↗	○	→	○	→	○	→	○	→
中国	基礎	△	↗	×	↗	△	→	○	↗	×	↗	△	↗	×	↗	△	↗	△	→	×	↗	×	↗	×	↗
	応用	△	→	×	→	△	→	○	↗	×	↗	△	→	×	↗	△	↗	△	→	×	↗	×	↗	×	↗
	産業	△	→	△	→	△	→	○	↗	×	↗	△	→	×	↗	○	↗	△	→	×	↗	×	↗	×	↗
韓国	基礎	△	→	○	→	△	→	△	→	×	↗	×	→	○	→	△	→	○	↗	△	→	△	→	△	→
	応用	△	→	△	→	△	→	△	↗	×	↗	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→
	産業	△	→	△	→	△	→	△	→	×	↗	×	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→

注1：フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

注2：現状

※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。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている

○：ある程度の活動・成果が見えている

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

注3：トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

注4：空欄部分は不明

2. 5. 5 日本の課題

システム科学技術は、特定の分野や対象に依存しない普遍的な科学技術である。効率的な要素間の関係、あるいはつなぎ方を求め、特性や機能の違う要素をシステムとして統合する手法を提供する。同時に、専門の違うさまざまな人々を結びつけつつ、一部に恣意的に集中することなく全体の利益を最適化するポテンシャルを保有している。

しかし残念ながら、近年の我が国は要素技術／製品の開発には強いが、その成果をシステムとして統合して社会に十分に生かすことができない状況が続いている。各種の官庁文書ではシステム構築が重要であることへの言及が増えてきた。しかし、さらに一步踏み込んだ施策を期待したい。

今、我が国が国家として直面している重要課題には、エネルギー、社会インフラ、医療・健康、防災、地域振興などシステムにかかわるものが多い。これらの課題は望ましいシステムを構築することによって解決されることから、そのための科学技術の振興が切実に求められている。

システム科学ユニットでは、システムを実際に構築していく際の開発段階から実装までの効果的な手順を示した「システム構築戦略研究」を提唱している。俯瞰報告書においても概説しているが、より詳細な内容をプロGRESSレポート「システム構築型イノベーションの重要性とその実現に向けて」で紹介している。俯瞰報告書とは相補的に、社会におけるシステム科学技術の今日的な役割が記述されている。システム構築がイノベーションとどのようにかかわるかを示した報告書でもあるので、俯瞰報告書と合わせて是非ともご覧いただきたい。

付録1 専門用語解説

付録2 執筆協力者一覧

付録 1. 専門用語解説

1.1 環境・エネルギー分野

ウィンドファーム (wind farm)

集合型風力発電所とも呼ばれる。多数の風力タービンを一箇所に集めて発電する施設。陸上でも洋上でも設置可能で、陸上は米国で、洋上は欧州で先行している。

エネファーム

家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの愛称（「エネルギー」と「ファーム＝農場」の造語）。2008年6月25日に燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）が家庭用燃料電池の認知向上を推進する取り組みとして統一名称を決定した。都市ガス等から改質器を用いて水素を取り出し、空気中の酸素と反応させて電気と熱をつくる熱併給発電システム。

エネルギーキャリア (energy carrier)

エネルギーの供給と需要の空間的・時間的ギャップを克服するために、化学エネルギーの形で輸送あるいは貯蔵する媒体となる物質。

温室効果ガス (greenhouse effect gas; greenhouse gas と書かれることが多い)

大気中で赤外線を吸収・射出する気体分子。そのうち気候変動枠組み条約の京都議定書で排出量削減対象となっている物質は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O、亜酸化窒素)、ハイドロフルオロカーボン類(HFCs)、パーフルオロカーボン類(PFCs)、六フッ化硫黄(SF₆)の6種類である。

環境税 (炭素税、地球温暖化対策税)

経済活動がもたらす環境悪化の費用を価格に反映させるため、環境負荷の大きさに応じてかけられる税。特に地球温暖化の対策として二酸化炭素排出量に応じた税をかけることが提案されている。

カントリーリスク (country risk)

ここでは、一次エネルギー資源供給国の政治・経済・社会の変化やその不確実性に伴うリスク。

高位発熱量 (higher heating value : HHV) と低位発熱量 (lower heating value : LHV)

燃料がもつエネルギーの値を評価する際の2種類の基準の取り方。発熱量は、燃料を乾燥空气中で燃焼させて燃焼ガスをもとの温度に戻す過程で発生する熱として定義される。その際に、燃焼ガス中の水蒸気が凝縮するとしてその潜熱を勘定に入れた発熱量を高位発熱量、水蒸気のままと考えて潜熱を除外したものを低位発熱量という。

高温岩体 (hot dry rock)

高温ではあるが、熱水や蒸気を自噴するほど圧力が高くない地熱資源。熱源はあるが水分がないことが多く、そのままでは地熱発電には使えない。

コジェネレーション (cogeneration; コージェネレーションとも書かれる)

燃料を用いて発電し、同時にその排熱を冷暖房や給湯などに利用する仕組み。大型火力発電システムの多くでは発電後の排熱は環境に捨てられるが、これを有効に利用して、全体としてエネルギーの高効率利用が可能になる。

固定価格買取制度 (Feed-in Tariff)

再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、国が定める固定価格で一定の期間電気事業者が調達を義務づけるもの。日本では2012年7月1日に全量固定価格買取制度がスタートした。

コンバインドサイクル発電 (combined-cycle power generation)

複数の熱機関を組み合わせる発電技術をさす。通常は、火力でガスタービンを駆動し、その排熱を利用して蒸気タービンを駆動することをさす。

再生可能エネルギー (renewable energy)

太陽・風・海（波や海流）・地球内部の熱（地熱）といった、自然界から持続的に得られる力を利用して産生・供給されるエネルギーで、「自然エネルギー」とも呼ばれる。これらは化石資源と異なり、人間社会にとって枯渇しない（流量は有限だが累積供給量は無限とみなせる）エネルギーでもある。

在来型、非在来型

石油・天然ガスの採取技術の観点からの分類。在来型は地中からそのまま採取できる場合、非在来型は吸着・錯体・重合などを解いてやる必要がある場合。非在来型の石油にはオイルサンド、シェールオイル、天然ガスにはシェールガス、CBM、メタンハイドレートなどがある。

資源賦存量

潜在的に利用可能な資源量。再生可能エネルギーの場合は設備容量と同じ単位時間当たりの仕事量の値で示される。理論的に有用でないと判断されるものは除く（例えば、風力エネルギーの資源賦存量の評価では風速 5.5m/s 未満の場合が除かれた）が、種々の制約要因（土地用途、法令、利用技術、施工性など）によって利用が不可能になるかどうかは考慮しない。

質量分析 (mass spectrometry)

分子やイオンの質量電荷比を求める時に使用される分析法。既知物質の同定、未知物質の構造決定、物質の供給源や移動速度の推定が可能になるため、有機化学・生化学・地球科学の分野でよく利用される。

蒸気フラッシュ発電

地熱発電において、熱水を減圧して蒸気を得てタービンを回し、発電する方式。通常は熱水の状態では発電に使えずそのまま地中に戻されるが、この方式により発電効率は向上する。

新エネルギー

「再生可能エネルギー」の広い意味の同義語であるが、正確には「新エネルギー法」（「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」、1997年成立）に基づき政策上の支援対象として指定される石油代替エネルギー（太陽光、風力、バイオマス、廃棄物など）をさす。2008年に同法が改正され、中小水力と地熱（バイナリー方式）が追加された。

スマートメーター（smart meter）

スマートグリッド（smart grid：2.2.2(2)節の「エネルギー利用技術・システムの項」参照）の需要家末端で用いられる通信機能を備えた電力自動検針メーターで、電力会社と需要者とのデータのやり取りのほか、家電製品などと接続してそれを制御したりすることができる。

石炭ガス化燃料電池複合発電（integrated (coal) gasification fuel-cell combined cycle, IGFC）

石炭からガスを生成し、それを燃料として、燃料電池による発電と、ガスタービン・蒸気タービンによるコンバインドサイクル発電を行う、複合技術。

石炭ガス化複合発電（integrated (coal) gasification combined cycle, ・IGCC）

石炭からガスを生成しそれを燃料としてコンバインドサイクル発電を行う複合技術。

設備（総）容量

発電設備における単位時間当たりの最大仕事量。単位はワット（W）あるいは実用的にキロワット（kW）が用いられる。

総合エネルギー効率（total energy efficiency）

燃料が実際に使用されて生じるエネルギー量と、実際に利用できるエネルギー量（エネルギーの変換や輸送などによって生じる損失量を差し引いた量）が比率で表された数値のこと。

超臨界圧火力発電（supercritical steam power generation）

蒸気タービンによる発電で、ボイラーでの水の気化を水の臨界圧（22.1 MPa）を超える高温・高圧条件で行う技術。

超々臨界圧火力発電（ultra-supercritical steam power generation）

超臨界圧火力発電のうちで、温度 593℃以上、圧力 24.1 MPa 以上のもの。

低位発熱量 → 高位発熱量

熱効率 (thermal efficiency)

熱が仕事や電力に変換される割合。熱力学第2法則による限界値がある。熱機関の性能の代表的指標である。ヒートポンプの性能の指標は COP(成績係数) である。

二酸化炭素回収貯留 (carbon dioxide capture and storage, CCS)（「二酸化炭素 (carbon dioxide)」のところを「炭素 (carbon)」とする場合、「貯留 (storage)」のところを「隔離 (sequestration)」とする場合もある。）

地球温暖化の緩和のために、二酸化炭素を大気に出ていかないように長期的に閉じ込める技術。典型的な技術構成では、化石燃料の燃焼によって生じる排気から二酸化炭素を化学反応によって吸収し、二酸化炭素に戻してパイプラインで輸送し、液体または超臨界流体の形で地下(海底下を含む)の地層中に注入する。

排出量取引 (キャップ・アンド・トレード cap and trade)

環境負荷物質の排出枠 (キャップ) を設定、排出者に初期配分し、排出者間で取引 (トレード) を可能とすることによって、排出削減を確実にかつ効率的に実施しようとするしくみ。

特に、国際的に約束した日本の温室効果ガス削減の数値目標を達成するための国内対策として、個々の企業に排出枠を設定する国内排出量取引制度が検討されている。

ハイパーコール

石炭の有効成分を溶剤で抽出し再固化して作った超低灰分炭。

パワーコンディショナー (power conditioner, パワコン)

太陽光発電システムや家庭用燃料電池から得られる電力を家庭などの環境で使えるように変換する機器であり、インバータの一種である。ソーラーパネルなどで発電される電力は通常直流であるが、これを交流に変換することで一般家庭等の電気機器に利用可能な電力になる。パワコンの性能は直流から交流に変換する変換効率と、一度にどれだけの電力を変換できるか (容量) によって決まる。

浮体式洋上風力発電 (floating wind turbine)

洋上風力発電の一種で、洋上に浮かんだ浮体式構造物を利用する風力発電を指す。これに対して海底に基礎を据えるのが着床式風力発電で、英国やデンマークで設置が進んでいる。水深 50m を超えると着床式ではコスト高になるため、浮体式が利用される。また、浮体にはいくつかの形式 (種類) があり、単純円筒形のスパー型や構造物の下半分が水中に潜るセミサブ型 (半潜水型) が代表的である。

バイナリー発電 (binary power generation)

一般に地熱発電は、温度が 150℃以上の地下からの蒸気でタービンを回して発電するが、より温度の低い蒸気の持っている熱を水よりも蒸発しやすい流体 (例: ペンタン、沸点 36℃)

に熱交換させ、ペンタン等の蒸気をつくりタービンを回して発電する方式。水とペンタン等の二つの流体を利用することから「バイナリー」の言葉が使われる。これにより、従来利用できなかった低温の蒸気や熱水が有効利用できる。

ベースロード (base load)

電力、ガスなどの事業において、ある期間における、最低の変動することのない稼働状態のこと。

マイクログリッド (microgrid)

小規模な電力系統。再生可能エネルギーを中心とした地域分散型エネルギー供給源と、住宅、オフィス、学校などのエネルギー需要群を、情報通信技術を利用して自立的ネットワークとして管理運転する。平常時は広域の電力系統に依存しない。

ランキンサイクル (Rankine cycle、蒸気サイクル)

地熱発電では、火力発電や原子力発電と同様に蒸気タービンを回して発電するが、作動流体である水はボイラーとタービンの間を循環する過程で、昇圧・加熱・膨張・凝縮を繰り返しながら熱の吸収と放熱を行う熱機関サイクルを構成する。このような水の熱力学的な状態変化の過程を利用して、熱を仕事に変換するサイクルをさす。

リグノセルロース (lignocellulose)

リグニンとセルロースの結合した物質で、植物の木質部にみられる。リグニンは木質とも呼ばれる高分子物質で、木材では 20～30% を占める。セルロースは繊維素とも呼ばれる有機化合物で、植物の約 3 割を占める。

1.2 ライフサイエンス・臨床医学分野

1.2.1 ヒトの理解につながる生物科学

次世代シーケンサー

Sanger シーケンシング法を利用した蛍光キャピラリーシーケンサーである「第 1 世代シーケンサー」と対比させて使われている用語。米国を中心に 50 機関（チーム）以上のベンチャー企業や研究組織がしのぎを削って、次世代シーケンシング技術の開発を行った結果、多様な機器や技術が誕生した。これらの機器や技術の特徴を比較するために、次世代シーケンサー、次々世代シーケンサーなど、分類しようという試みがなされている。

スーパーコンピュータ (supercomputer)

科学技術計算を主要目的とする大規模コンピュータである。日本国内での略称はスパコン。また、計算科学に必要となる数理からコンピュータシステム技術までの総合的な学問分野を高性能計算 (High Performance Computing, HPC) と呼ぶ。

メタボローム

ある生物が持つ全ての代謝産物。分子生物学の一研究領域で、新陳代謝の実態および細胞、組織、器官、個体、種の各階層でそれぞれ微妙に異なる代謝経路の多様性の総体を、バイオインフォマティクス的手法を基に研究する。

オープンイノベーション

自社技術だけでなく他社が持つ技術やアイデアを組み合わせ、革新的な商品やビジネスモデルを生み出すこと。自社の研究開発力だけに頼るやり方と対比される。

ダイレクトリプログラミング

皮膚線維芽細胞などの組織に分化した細胞から、分化を初期化したiPS細胞（新型万能細胞）を介さずに、他の組織の細胞（神経細胞や心筋細胞など）を作成する手法。トランスディファレンシエーションと呼ばれることもある。

ブレイン・マシン・インターフェイス（Brain-machine Interface：BMI、脳介機装置）

人と機械の意思や情報の仲介のためのプログラムや機器であるマン・マシン・インターフェイス（人介機装置）のうち、脳の信号を解析して機械との間で電気信号の形で出入力するためのプログラムや機器である。出力先がコンピュータである場合にはブレイン・コンピュータ・インターフェイス（Brain-computer Interface：BCI、脳介電装置）とも呼ばれる。共に想念技術の一形態である。

バイオインフォマティクス（bioinformatics）

計算機科学の技術を応用して生物学の問題を解こうとする学問である。生物情報科学とも訳される。主な研究対象分野に、遺伝子予測、遺伝子機能予測、遺伝子分類、配列アラインメント、ゲノムアセンブリ、タンパク質構造アラインメント、タンパク質構造予測、遺伝子発現解析、タンパク質間相互作用の予測、進化のモデリングなどがある。

1.2.2 医療・福祉

1.2.2.1 疾患

上皮間葉転換（EMT）

上皮細胞が、間葉細胞様に形質を変化する現象であり、浸潤や転移を可能にするだけでなく、がん幹細胞発生を促す重要なメカニズム。

日本臓器移植ネットワーク

死後に臓器を提供してもよいという人（ドナー）やその家族の意思を生かし、臓器を提供してもらいたいという人（レシピエント）に最善の方法で臓器が贈られるように橋渡しをする日本で唯一の組織である。

レギュラトリーサイエンス

レギュラトリーサイエンス

「1987 年山内充博士（国立医薬品食品衛生研究所名誉所長）が提唱した、「科学技術を品源との調和の上で、最も望ましい形に調整するための科学」とされ、実証科学と異なり、未実証の治験も踏まえて社会のリスクレベルを決定するときの手法となる科学。

移植片対宿主病（graft versus host disease; GVHD）

臓器移植に伴う合併症のひとつ。ドナー（臓器提供者）により提供された移植片（グラフト）にとって、レシピエント（臓器受給者）の体は異物であり、移植片が、免疫応答によってレシピエントの臓器を攻撃することがある。移植片によってレシピエントに起こる症状の総称である。

GWAS（Genome-Wide Association Study、ゲノムワイド関連解析）

ゲノム全体をほぼカバーするような、50 万個以上の一塩基多型（single nucleotide polymorphism: SNP）の遺伝子型を決定し、主に SNP の組み合わせ頻度（対立遺伝子や遺伝子型）と、疾患や量的形質との関連を統計的に調べる方法

FFQ（Food Frequency Questionnaire、食事摂取頻度調査票）

研究用の食事データを採取するためのアンケート調査を指し、数十項目から成る調査結果をもとに、およその栄養素の摂取量が推定できるように設計されている。

1.2.2.2 医療技術

ドラッグ・ラグ（drug lag、新薬承認の遅延）

新たな薬物が開発されてから、治療薬として実際に患者の診療に使用できるようになるまでの時間差や遅延のことである。また、他の国や地域における使用の承認からの遅延を指して使われることもある。これらはいずれも、主として規制当局による承認の遅れに起因するものを指している。

FDA（Food and Drug Administration、米国食品医薬品局）

米国の食品、医薬品、医療機器、化粧品等の品質、衛生管理などについての規制を行なう政府機関。

GMP（Good Manufacturing Practice、製造品質管理基準）

FDA が、1938 年に連邦食品・医薬品・化粧品法に基づいて定めた医薬品等の製造品質管理基準。各国がこれに準ずる基準を設けており、日本においては、薬事法に基づいて厚生労働大臣が定めた、医薬品等の品質管理基準をいう。

オーダリングシステム

「検査・処方などに係る情報伝達システム」のこと。医療現場の一部業務を電子化し、病院業務の省力化と、サービス提供の短縮化を目指すもの。

HRQOL（Health Related Quality of Life、健康に関連した生活の質）

QOLのうち人の健康に直接影響する部分。身体的状態、心理的状态等が含まれ、医療における QOL 研究のほとんどは、この HRQOL 研究。一方、健康と直接関連のない QOL（non-health related QOL）は、環境や経済や政治など、QOLのうちで人の健康に間接的に影響するが、治療などの医学的介入により直接影響を受けない部分を意味する。

1.2.3 ヒトと社会

Biopiracy（バイオパイラシー）

植物性物質や遺伝細胞情報といった自然由来の生物資源を、それらを保有する国や人々の合意なしに商業利用する行為。

ヒト幹細胞を用いる臨床研究に関する指針 H22

iPS 細胞などの新たな幹細胞技術の研究開発に伴い、ヒト幹細胞臨床研究が社会の理解を得て、適正に実施・推進されるよう、個人の尊厳と人権を尊重し、かつ、科学的知見に基づいた有効性及び安全性を確保するために、厚生労働省による平成 18 年指針を改定し策定された指針。

認知エンハンスメント

脳科学の発展に伴い、脳に作用する薬物を服用、若しくはその他の介入方法を利用することで、治療を超えて、人間のもつ知的能力の増強（例、記憶力や集中力の向上）させる行為。

生物兵器禁止条約（Biological Weapons Convention : BWC）

正式名称「細菌兵器（生物兵器）及び毒素兵器の開発、生産及び貯蔵の禁止並びに廃棄に関する条約」は、生物・毒素兵器を包括的に禁止する唯一の多国間の法的枠組みである。化学兵器及び生物兵器の戦時における使用を禁止した 1925 年のジュネーブ議定書を受け、生物兵器の開発、生産、貯蔵等を禁止するとともに、既に保有されている生物兵器を廃棄することを目的とする。

CIOMS（国際医科学団体協議会）

医学研究分野における生命倫理、保健、並びに創薬政策の改善の補佐を目的に、1949 年に世界保健機関（WHO）と国際連合教育科学文化機関（UNESCO）により共同設立された、国際的非政府・非営利機関。

統一投稿規定（医学雑誌編集者国際委員会（ICMJE）による）

近年、多重出版、オーサーシップ、利害の衝突といった、論文発表をめぐる科学者の不正行為が大きな問題となったことから、1978 年に欧米の総合医学雑誌編集者がバンクーバーで会議を開き、翌年、統一的な投稿規定「生物医学雑誌に関する統一投稿規定」Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals（URM）を発表。

リスクコミュニケーション

社会を取り巻くリスクに関する正確な情報を、行政、専門家、企業、市民などのステークホルダーである関係主体間で共有し、相互に意思疎通を図るための合意形成の方法。

1.2.4 食料・バイオマス生産

QTL (Quantitative Trait Locus) 量的形質遺伝子座

農業上有用な生産物の形質（形や大きさ、特定の物質の含有量など）の多くは、複数の遺伝子の効果の組み合わせによって決定される。このような形質を総称して量的形質（quantitative trait）とよび、量的形質を決定している遺伝子座を QTL (quantitative trait locus) とよぶ。QTL で決定される形質はメンデルの法則が適用しづらいことから、遺伝研究が遅れていたが、近年 DNA マーカーを用いて QTL を染色体上に位置づける理論的基盤が確立し、作物における量的形質の遺伝学が大きく進展した。

TILLING (Targeting Induced Local Lesions in Genomes) 法

植物で開発された品種改良技術で、突然変異育種法の 1 つ。具体的には、植物の種子を EMS のような変異誘発性化学薬品に浸漬して突然変異を誘発し、この種子を植え、成長した変異体の遺伝子を解析し、有用な形質に関連する遺伝子変異を特定するとともに、品種を作出する。本手法は植物に適しているが、技術的には動物にも応用できる。魚類では、実験魚のメダカ、ゼブラフィッシュで確立されている。

NBT (New Plant Breeding Techniques、新しい植物育種技術)

2011 年に EU は、植物育種技術の現状と展望、商業開発に関する報告書において、人工ヌクレアーゼによる塩基配列の改変（ゲノム編集）、オリゴヌクレオチドによる変異誘発、遺伝子の交換導入、RNA 依存 DNA メチル化（エピゲノム編集）、組換え体の地下部への接ぎ木、復帰育種（ホモ接合体の選抜技術）、アグロバクテリウム注入、合成ゲノミクス等の育種関連技術に関する報告を行った。品種改良にかかる期間が短縮されるだけでなく、最終的に作出された植物体に遺伝子組換えの痕跡が残らない技術や、一過性遺伝子発現などは、遺伝子組換え植物として規制対象になるかの議論が行われている。

1.2.5 物質・エネルギー生産

バイオマイニング

微生物の作用で鉱石等から金属を溶出して回収し、溶液処理、精錬、環境修復まで含めた生物機能を利用した金属精製プロセス。ヨーロッパで低品位銅鉱石からどう資源を取り出す BioMinE プロジェクトが産学官の連携により実施されている。

シアン生成細菌

アミノ酸のグリシンを分解して、シアン酸、二酸化炭素と反応性水素を生成する細菌。シアンがプリント基板から金を溶出させるため、廃棄 PC 基盤からのレアメタル回収への利用が試行されている。

1.2.6 環境保全

TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectrometry、近赤外波長可変半導体レーザ吸光分光法)

波長可変ダイオードレーザ吸光分光法では単色光というレーザの性質を利用して、各波長における試料ガスの吸収を測定する。この測定を用いることで、オンラインの記録をとりながら安定同位体の存在比を測定できる。

REDD (Reduced Emissions from Deforestation and forest Degradation、レッド)

開発途上国における森林の破壊や劣化を回避することで温室効果ガス（二酸化炭素）の排出を削減しようとする、またはそのプロジェクトで、炭素が森林やその土壌に固定された状態を保つことで森林伐採による大気への炭素の排出が起らないようにする。

TEEB (the Economics of Ecosystems and Biodiversity、ティーブ)

経済学的な観点から生物多様性の喪失について経済学の視点から世界レベルで研究された成果を取りまとめた報告書。2010年10月に愛知県名古屋市にて開催された生物多様性条約（CBD）第10回締約国会議（COP-10）で公開された。統合報告書以外に、基礎、政策決定者向け、地方行政担当者向け、ビジネス向け、があり、5部構成となっている。

PES (Payments for Ecosystem (もしくは Environmental) Services、生態系（もしくは環境）サービスへの支払い)

受益者負担の原則に基づき、生態系（もしくは環境）サービスを受ける受益者がその受益に応じて支払いをする制度や仕組みを構築することにより、生態系（もしくは環境）の使用を適正化すること。まだ世界的な標準政策としては確立されていない。そのため、日本を含め各国で政策的・具体的な実現手法に関して様々な研究が進められている。

1.3 電子情報通信分野

サイバーシステム (Cyber System)

情報ネットワークシステム、特に、インターネットを介して人々やプログラムが相互に情報交換するシステムの総称。2006年に提唱されたCPS (Cyber Physical Systems) では、実世界をあらわすPhysical Systemに対応した、物理的実体を持たない仮想的な世界を意味する。

3D プリンティング (Three-dimensional Printing)

三次元のデザインデータを設計図として、断面形状の積層や切削により立体的な形状を成型するプロセスの総称。積層プロセスには、液状の樹脂の紫外線硬化や熔融樹脂の積層など、多様なバリエーションがある。近年3Dプリンティングのための機器（3Dプリンタ）が安価で市場に出回り、個人が複雑な形状の製品を簡単に製造できるようになりつつある。

デザインデータ (Design Data)

データ化された設計情報。特に、3D プリンティングにおいては、コンピュータ上で設計・流通される3次元の設計図面を“印刷”して、所望の形状の製品を得るという、新しいものづくり工程における設計図面に該当し、製品の設計・製造・流通・利用を媒介する知的財産ともいえる。このデザインデータを共通資産としてオープン化する動きもみられる。

ビットとアトムの世界 (the Bit world and the Atom world)

コンピュータ上の情報世界と物理世界を構成の最小単位で象徴的に表現したもの。1990年代中頃、米国マサチューセッツ工科大学メディアラボの創立者で初代所長の Nicholas Negroponte が情報世界と物理世界の界面の重要性を唱えた際に使われた。デジタル技術を活用した製品製造は、ビットの世界で表現された設計情報をアトムの世界で表現された製品に変換するプロセスであるとも言える。

第3の産業革命 (Third Industrial Revolution)

デジタル技術とデスクトップ製造技術（3D プリンティング等）の融合により進展しつつある新しい産業構造変革のこと。The Economist 誌が 2012 年 4 月 21 日号の特集「Manufacturing and innovation」で提唱した。大企業の量産工場からユーザへの一方通行であった製品供給が、ネット上でのデザインデータの共有と必要に応じた個人製造というスタイルに変わりつつある。18 世紀の英国における繊維産業の機械化を第 1 の産業革命、20 世紀初頭のフォードによる大量生産の実現を第 2 の産業革命として対照させ、大きな産業構造の変革であると言われている。

知のコンピューティング (Wisdom Computing)

知の発見と伝播・活用を促進し、科学的発見や社会への適用を加速するための活動全般を指す造語。過去と現在行われている科学技術の巨大な研究投資の成果の集積と共有・活用による、新たな科学的発見の加速や、最先端の専門知識の効果的な実務家や市民へ提供、ソーシャルコミュニティの力で未解決問題の解決や社会コストの削減、さらには、人類知の向上を図る。

集合知 (Collective Intelligence)

意識的あるいは意識されない形での人々の共同作業により生み出される知。Wikipedia は変化し続ける事物についての集合知を活用して形成された巨大な百科事典である。また、市民参加による銀河の分類など科学的発見へ貢献する取組みなどもある。オープンソフトウェア開発も集合知を活用する例といえる。参加を促す仕組み、知の集積と構造化の手法などが研究対象となっている。

コグニティブ・コンピューティング (Cognitive Computing)

IBM が提唱するコンピューティングの第 3 のパラダイム。第 1 は作表機の時代、第 2 はプログラム可能なシステムの時代、第 3 がコグニティブ・コンピューティングの時代。第 3 のパラダイムではシステムは経験から学習し、記憶し、仮説を立て、結果から再び学習する。

自律的に新たなアイデアを想起するシステムの実現を目指して脳を模倣した SyNAPSE プロジェクトなどが進んでいる。

3.1 デバイス／ハードウェア

アンビエント・アジャイル・プラットフォーム（Ambient Agile Platform）

多種多様な実世界（実空間）の情報を収集するために、空気のように（アンビエント）散在させるセンサネットワーク無線端末を、小型・低消費電力・低コストに、短納期で素早く（アジャイルに）提供し、実空間アプリケーションの実用化を促進する枠組みのこと。要素技術としては、製造後にプログラム可能なデバイス、デバイスの知識がなくてもサービス提供者がデバイスを使いこなせるソフトウェア環境、少量生産を低コストに実現する 3D プリント技術、異種デバイスの集積技術、小型化技術、極低電力技術等が考えられる。

極低電力 ICT（Extreme Low Power ICT）

情報通信システムの低電力化の限界を打破し、エネルギー効率を極限まで追究するために、デバイスから回路・システムのみならず、ソフトウェアからサービスまでの広範な技術連携・融合により実現する電力技術のこと。デバイス自身を極低電力化して IT の省エネに貢献（of IT）したり、極低電力情報デバイス等によって、照明、空調、物流等を最適化して、社会のグリーン化を促進（by IT）することが可能となる。

3.2 ネットワーク

エラスティックネットワーク（Elastic Network）

弾力性や融通性のあるネットワーク。通信能力を柔軟に融通・制御可能とする新しいアーキテクチャやネットワーク制御方式を持つ。ネットワークサービスやネットワーク構成の制御を抽象化、モデル化し、モデル化されたネットワークをソフトウェアにより制御する。

グリーンネットワーク（Green Network）

低炭素化、低消費電力化を目指すネットワーク。デバイス単体での低消費電力化から、システム全体での低消費電力化に研究開発の流れが移りつつある。グローバルなコンソーシアムにおける、国際協調による研究開発が行われている。

フィールド指向ネットワーク（Field Oriented Network）

ネットワークを適用するフィールドに存在する、情報通信の課題を発見し、解決することによって研究開発がすすめられるネットワーク。実世界情報を活用する M2M（Machine to Machine）、IoT（Internet of Things）、CPS（Cyber Physical Systems）などの領域において、活発に活動が進んでいる。

3.3 ソフトウェア

プログラミングモデル (Programming Model)

コンピュータのプログラムの表現手段。アルゴリズムをどのように記述し、実行するかということを規定する。具体的にはプログラミング言語そのものである場合もあれば、ライブラリーないしはフレームワークである場合もある。時代と共に変化しており、近年では、大規模並列計算のためのプログラミングモデルや、大規模データ処理のためのプログラミングモデルの研究が盛んである。

ソフトウェア工学 (Software Engineering)

ソフトウェアの設計・構築・運用に関する工学的手法。対象となるシステムの要求定義から、設計、製造（プログラミングとテスト）、運用・保守にいたる開発プロセスの全範囲にわたる。ソフトウェアの研究開発の主体は、スマイルカーブ (Smiling Curve) の両端にあたる付加価値の高い、要求分析・設計と運用・保守にフォーカスされる傾向にある。

クラウドコンピューティング (Cloud Computing)

アプリケーションの実行を、インターネットを代表とするネットワーク上で行うシステムの利用形態のひとつ。システム構成図においてインターネットを雲（クラウド）形で表現することからこう呼ばれるようになった。それ以前の利用形態と比べて所有から利用へ変化したといわれる。米国アマゾンが自社のデータセンターを Amazon Web Service として一般向けに賃貸しするサービスを開始したことから急速に全世界に広まった。

3.4 ロボティクス

リアルワールド (Real World)

産業用ロボットが製造現場で動作するためには、そのための環境を前もって構築していた。リアルワールドは、そのような目的遂行のための特別な変更を加えない状況のことを指す。リアルワールドでロボットが機能を提供するためには、時々刻々変化する動的環境を認識しなければならないし、対象物を操作するための制御系にも多くの制約が存在する。

サービスロボット (Service Robot)

一般生活に密着する応用に供せられるロボットのこと。ロボットが提供する機能を時間的・空間的に組み合わせて、サービスとして利用する。サービスの受け手は人並びに社会であり、サービスの受け手の多様性に適応することが必要である。

生活支援ロボット (Life Support Robot)

個々人の生活の中に入って活躍するロボットのこと。安全性が重視され、簡明な操作技術が重要である。さらに、社会に受容される制度も併せて作っていかなければならない。

3.5 知能／インタラクション

オープンデータ (Open Data)

行政機関、大学、企業等の保有するデータのうち企業や一般の市民まで広く活用ができる

よう公開されたもの。これらの活用により、行政の透明性の向上、他のデータとも組み合わせることによる新ビジネス創出、企業活動の効率化などを目指している。科学データのオープン化も進みつつあり、論文等の科学的知見の第三者による検証、異分野融合による新たな知の創出などを目的としている。

機械学習（Machine Learning）

あらかじめルールやプログラムを明示的に与えるのではなく、具体例などをデータとして与えることで、具体例に含まれない新たなデータに対してもコンピュータが適切な処理を行えるようにする技術。ニューラルネットや分類器など多様な技術がある。近年ではスマートフォンの音声アシスタントなど様々なサービスに組み込まれて活用されたり、大量データからのルール発見といった目的にも使われようになっている。

ヒューマンインターフェイス（Human Interface）

人間とコンピュータなどの機械との間で情報のやりとりを実現するための技術。視覚、聴覚以外に触覚を使った人に対する新たな情報提示、音声やジェスチャによる効果的な情報入力技術の研究に加えて、人の創造性を引き出したり、共同作業を効果的に支援したり、災害時の効果的な避難誘導の手段を提供するなどといった社会的な文脈の取組みも包含している。

強い人工知能（Strong Artificial Intelligence）

人間のように考え、自律的に行動し成長する人工知能。正確な定義はできないが、人間と同様に自我意識を持ったり、プログラミングや発明などの創造的な知的作業を行う機械知性として捉えられる。発明家・人工知能研究者の Ray Kurzweil は著書の中で、機械知性が人間のそれを越える日が近いと予測した。遺伝子学、ナノテクノロジー、それにロボティクスの三分野の急速な進展がある一点で昇華して強い人工知能になるとしている。

IBM ワトソン（IBM Watson）

IBM が開発した人工知能コンピュータ。自然言語で記述された問題に対して短時間で回答する。2011 年にクイズ番組（Jeopardy!）で人間のチャンピオン二人と対戦して勝利を収めたことで有名になった。当初は Jeopardy! に特化した開発されたが、勝利後はヘルスケア分野でのデシジョンサポートシステムとしての応用に向けた開発が進められている。

3.6 データベース

データマイニング（Data mining）

大量のデータから、それまで知られてなかった特定の意味や情報を発掘（マイニング）すること。具体的には、典型的なパターンやクラス分け、そこに含まれない外れ値の検出、回帰分析など。古典的には、数値や文字列を対象にしていたが、データの多様化に伴い、グラフ解析・マイニング、データストリームマイニングなど、様々な形態のデータを扱う研究開発が盛んに行われている。

クラウドソーシング（Crowd Sourcing）

IT を活用して不特定多数の人（群衆）に仕事を委託すること。群集（Crowd）と外部委託（Outsourcing）を合成した言葉である。WWW 上に構築されてソーシャルメディアと通じたクラウドソーシングをソーシャルソーシングと呼ぶこともあるがほぼ同義である。事例としては、Wikipedia（百科事典）に代表される非営利活動から、Amazon が提供する産業向けのプラットフォーム上の営利活動まで多数出現してきた。また、東日本大震災のときに災害関連情報の収集がボランティアベースで行われたがこれもクラウドソーシングの一例といえる。

データプロヴェナンス（Data Provenance）

データベース中のデータがどこから来たかといった情報も含めて管理しようとする考え方。製品のライフサイクル管理などにおいて物品の生産・製造から流通、廃棄にいたるまで追跡可能にするトレーサビリティの考え方をデータ管理に応用したもの。データの信頼性の向上を目指すものである。データプロヴェナンスは特に e サイエンス分野での取組みが重要といわれている。

ポリシー（Policy）

IT が提供するサービスやインフラの運用について、その方針や情報の取り扱いなどを規定したもの。統一的なポリシーの下でサービスの開発や運用を行うことで、様々な機能・非機能要件を保つことができる。プライバシー、セキュリティ、サービスの品質などは、そうした要件の重要な例である。

3.7 IT アーキテクチャ

社会システムアーキテクチャ（Social System Architecture）

金融や流通、公共サービスなどの社会システムの構造や実装、処理の流れなどを決定づける基本設計や設計思想のこと。よいアーキテクチャがあると、利用者や構築者にとってシステムがわかりやすく、見通しが良い。信頼性や効率の向上、拡張性なども期待できる。これからの社会システムは IT を考慮したうえで設計しなくてはならないし、IT における技術を用いることによって社会システムの設計を行うことが可能になってきた。IT アーキテクチャと社会システムアーキテクチャが不可分のものになってきている。

ワークロード（Workload）

コンピュータの処理対象となる負荷のこと。コンピュータの当初の目的であった科学技術計算から企業における事務計算などのバッチ処理、在庫管理や生産管理などのトランザクション処理へと移ってきた。その後、コンピュータの利用の拡大に伴い、音声や画像、映像などのメディア・信号処理などのリアルタイム処理へと発展し、さらに近年では大量の Web や実世界データの処理を対象としている。社会の要求に応じて、多様な処理対象・処理形態、さらに時間的に変化するワークロードへの対応が必要になってきている。

CPS アーキテクチャ (CPS Architecture)

CPS を構築するうえで、基本的な考えとなる設計思想のこと。CPS はサイバーであると同時に物理的な世界を対象としており、両者の橋渡しが重要である。物理的な世界をモデル化してサイバーの世界に取り込むとともに、両者を一体化するためのアーキテクチャが重要である。

3.8 レジリエント ICT

ディペンダビリティ (Dependability)

提供するサービスが良質で信頼でき、人間と社会の活動が安心してそれに依拠できるという情報システムの性質。自然現象、経年劣化、設計ミス、操作ミス、システム不整合など、予測不能で偶発的に生じる物理的、人為的な障害原因の存在を前提として、いつでも正常にサービスできる可用性、正常なサービスを継続できる信頼性、ユーザや周辺に破局を及ぼさない安全性、システムに不適切な変更が生じない完全性、システムを容易に修復・改良できる保守性、を総合した概念として定義される。

情報セキュリティ (Information Security)

情報やシステム・サービスをその生産者、所有者、運用者、利用者が合意した意図のとおり利用しつづけることを保障すること。より具体的には、意図的な不正アクセス、データの盗用・改ざん・消去・記録などの不正利用や、システム・サービスの停止・拒否・不能・妨害などの様々な攻撃から、元々の情報やシステムを守る技術。半導体チップから回路、ネットワーク、システム、基本ソフトウェア、応用ソフトウェアなど様々なレベルでの実装が行われている。情報セキュリティ技術の発展はこのようなダークサイドとの終わりのない戦いの結果といえる。

レジリエンシー (Resiliency)

環境の大きな変動に対して、システムが抵抗してその機能を維持するとともに、万一機能を失った場合でも早急にその障害から柔軟に回復することができる、強靱でしなやかな能力のこと。その能力が情報システムに備わることにより、障害を未然に予測してシステム障害に至る致命的なエラーを回避するとともに、万一障害に陥った場合でも早急にシステムを復帰させることが可能となる。

3.9 CPS

CPS (サイバーフィジカルシステム、Cyber Physical Systems)

ネットワーク化されたコンピューティングによる処理と物理的な要素が統合されたもの。実世界や人間から得られるデータを収集・処理・活用し、社会インフラの効率化、新産業の育成、知的生産性の向上などに資すると期待されている。

センシング (Sensing)

外界の様々な情報を取得して、機械可読な形式に変換すること。さらにデータ収集が競争力の源泉であることから、様々な領域でのデータ収集を推進することが必要である。

アクチュエーション (Actuation)

環境や人間から抽出されたデータに基づいて、人間および環境、物質に働きかけることを指す。中でも人間の感覚に働きかけて人間の行動に直接的に作用するとともに、それらの物理的なインタラクションを共有するサイバーフィジカルシステムは、従来は困難であった人間支援を可能にする重要な研究開発領域である。

プロセッシング (Processing)

ハードウェアとしてのプロセッサとそのプロセッサで実行されるソフトウェアの組み合わせによるデータ処理・情報処理全般の機能。サイバーフィジカルシステムにおいては、ネットワークで結合されたサーバやクラウドと、センサネットワークノードが分担してプロセッシング機能を担う。サーバやクラウドでは収集されたデータの大規模・高速・高度処理が行われる。センサネットワークノードにおいては、データの入力・処理・加工やアクチュエーション機能の制御を行う。

CHS (Cyber Human Systems)

IT が社会に深く浸透したため、もはやコンピュータシステムは人間・社会を系の一部として含むものとして捉える必要がある。Cyber Human Systems とは、こうしたサイバーと人間・社会が密接に影響を及ぼしあうシステムを指す。

行動モデリング (Behavioral Modeling)

人間の行動を、ある観点から投影、抽象化してコンピュータ上に記述して再現すること。モデリングは、行動の機能構造のモデル化とモデルのパラメータ同定により実現される。モデルを内包するシステムにおいて、人間観測からサービス提供までのフィードバックが短時間に可能になってきており、エネルギーの効率的利用に向けて行動変容を促すスマートハウス、消費者行動のモデリングにもとづくマーケティングなど多様なサービスに活用されはじめている。

3.10 ビッグデータ

ビッグデータ (Big Data)

IT の社会への普及により生み出される膨大なデジタルデータそのものを指す。定量的な定義はない。コンピュータを使ったシステムや CPU を内蔵する機器やセンサの類、人間の活動などが生成する様々なデータから成る。ビッグデータの特徴を、3V (Volume: 規模、Velocity: 生成速度、Variety: 多様性) あるいは、Veracity (あいまい性) を加え 4V で表すことが多い。経済的なインパクトに関してはマッキンゼーのレポート (2011) がある。2012 年 3 月 29 日にオバマ政権が BIGDATA INITIATIVE として大々的な取組みを発表したことで一躍脚光を浴びた。

ストリーム処理 (Stream Processing)

センサや twitter などのマイクロログなど刻一刻と生成されるデータを対象として高速

な検索処理などを行う技術。ストリーム処理は、従来のデータベースが事前に登録された過去のデータに対して入力される検索要求を処理するのに対して、事前に登録された検索要求に対して入力されるデータを処理する。ビッグデータの出現により重要性が高まり研究開発と産業化に向けた開発が盛んである。日本ではプリファードインフラストラクチャ社と NTT が、機械学習処理に特化したストリーム処理エンジン Jubatus（ユバタス）を世界に先駆けて OSS 公開している。

ソーシャルネットワーキングサービス（SNS: Social Networking Service）

インターネット上で個人や組織が相互に交流する場を提供するサービスやサイトのこと。米国発祥の Twitter や Facebook などが全世界を席卷しているが、Qzone（中国）や CyWorld（韓国）、mixi（日本）など、特定の国でシェアの高いサービスもある。当初は趣味や興味など限定された使われ方が主流であったが、東日本大震災時の災害情報の流通、あるいは、アラブの春での情報伝達など、社会に大きな影響を与える存在になっている。

MapReduce、Hadoop

MapReduce は複数のコンピュータを用いて大規模データ処理を行うためのプログラミングモデル。Google 社が関数言語 Lisp にある Map 関数と Reduce 関数の考え方を分散処理に応用した MapReduce としてリリースした。Hadoop はフリーソフトウェアの名称。MapReduce に触発されて、Apache ソフトウェア財団がリリースした。どちらもビッグデータ分析に大きな貢献を果たしている。

Key-Value ストア（Key-Value store）

データをキー（Key）と値（Value）の組み合わせで保存するデータベース、または、データベース管理システム。銀行などの大規模トランザクション処理で使われるリレーショナルデータベースシステムが主に集中的にデータを保存するのに対し、Key-Value ストアは複数のサーバや記憶装置上に分散してデータを保存するため巨大なデータストアが実現できる。Google 社の Bigtable、Amazon 社 Dynamo、Microsoft 社 Windows Azure Table Storage などが有名。

ソーシャルコンピューティング（Social Computing）

コンピュータシステムが人の社会的振る舞いを媒介する技術。Facebook などコミュニティ形成のためのソーシャルネットワーキングサービス、Wikipedia など人々の相互作用を媒介してコンテンツを形成するソーシャルメディアが注目されている。プライバシーや情報の信頼性といった観点からの媒介のあり方や半構造化データの集積としての活用に関する研究が進んでいる。

1.4 システム科学技術分野

■システム構築方法論

感度解析

材料特性、幾何学特性、境界条件などのパラメータの変更によって、モデルの構造的応答がどのような影響を受けるかを推定する計算技術。

システムダイナミックス（SD）

図式でモデルの要素間因果関係を記して、ソフトウェアにより数値シミュレーションモデルを自動生成する。要素間の関係を把握しやすく、個々の理解している問題現象や因果関係をダイレクトにモデルにできる。

ソフトシステム方法論（SSM）

かかわる人々の立場によって、見方や考え方が違うような状況の時に、何が問題か、あるいは何を目標とすべきかを明らかにするため、立場によって異なる、考え、思いなどの世界観を調整し、合意形成や折り合いを付ける方法論。

■意志決定とリスクマネジメント

CVA（Credit Valuation Adjustments）

取引相手のデフォルトリスク（カウンターパーティーリスク）を時価価値する手法、金利スワップなどの店頭デリバティブ契約やレボ取引などの証券金融取引に際し、取引相手が将来デフォルトした際に受ける期待損失の現価値。

OR（Operations Research、オペレーションズ・リサーチ）

数学的・統計的モデル、アルゴリズムの利用などによって、さまざまな計画に際して最も効率的になるよう決定する科学的技法。

ゲーム理論

相互作用を及ぼしあう複数、又は単独の主体の振る舞いに関して、戦略的な状況における未来の行動を予測したり、過去の行動を客観的に評価することを目的とする。

期待効用

市場において不確実性が存在し、複数の状態があり、それぞれの状態が起きる確率が与えられている場合の効用の期待値。

アノマリー

ある法則・理論からみて異常、または説明できない事象や科学的常識、原則からは説明できない逸脱、偏差を起こした現象。

確率ポラティリティモデル

確率的な価格変動率のモデル。

ダウンサイドリスクモデル

積立不足になる確率とその大きさ（ダウンサイドリスク）が最も小さくなるようなポートフォリオ（資産配分）を導き出すモデル。

システミックリスク

ひとつの金融機関や証券会社の決済不履行が他の金融機関や証券会社の流動性リスクを顕在化させて決済不履行を引き起こし、その決済不履行がさらに他の金融機関や証券会社の決済不履行の原因となるといったように、決済不履行がドミノ倒しのように連鎖してしまうリスク。

プロスペクト理論

不確実性下における意思決定モデルのひとつ。選択の結果得られる利益もしくは被る損益および、それら確率が既知の状況下において、人がどのような選択をするか記述する。

バーゼル

バーゼル銀行監督委員会による新しい規制枠組み。

コピュラ

変数間の相互依存関係を表す関数。

バリューアットリスク（VaR）

現有資産の損失可能性を時価推移より測定する分析指標。

期待ショートフォール（ES）

Expected shortfall: 数理ファイナンスにおいて、確率変数 X に関してある閾値 μ を超える部分の期待値。損失が VaR（Value at Risk）を超える場合の平均損失となる。CVaR（Conditional Value at Risk）と呼ばれることもある。

■モデリング

ロバスト・パラメータ設計

田口玄一博士が体系化した、品質を向上させるための技術方法論で、使用環境条件などの誤差因子に対してロバスト（頑健）になるように制御因子を設計することにより、特性や機能性のばらつきを低減する方法。田口メソッドとも呼ばれる。

ミーム

文化を形成する、習慣や技能、物語といった様々な情報であり、人々の間で、会話や文字、振る舞い、儀式等によって人心から心へとコピーされる情報のこと。

マルチエージェントモデル

複数の異なった判定アルゴリズムなどの特徴を持ったエージェントから構成されるシステムであり、個々のエージェントやモノリシックなシステムでは困難な課題をシステム全体として達成する。

状態空間モデル

システムや力学系の状態を完全に記述可能な変数系をとり、その変数系が満たす（微分方程式などの）力学的方程式によってシステムを記述したモデル。

動学的一般均衡モデル Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) model

リアルビジネスサイクル理論などマイクロ経済学的基礎付けを持つマクロ経済学のモデルを、新ケインズ学派の立場から発展させたもの。さまざまな仮定を設定してモデルを構築し、経時的变化を考慮する動学的分析を行う。ケインズ学派と古典学派の考え方を統合するもので、金融・財政政策の提言などに用いられる。

データ同化

観測データとシミュレーションを統合し、より精度の高いシステムの再現、適切な諸変数の推定や初期値の構成を行なうこと。

データマイニング

統計学、パターン認識、人工知能等のデータ解析の技法を大量のデータに網羅的に適用することで知識を取り出す技術。

サポートベクターマシン

教師あり学習を用いる識別手法のひとつ。訓練サンプルから、各データ点との距離が最大となるマージン最大化超平面を求めるという基準（超平面分離定理）で線形入力素子のパラメータを学習する。

カーネル法

パターン認識において使われる手法のひとつで、判別などのアルゴリズムに組み合わせて利用するもの。サポートベクターマシンと組み合わせて利用する方法が良く使われている。

アンサンブル学習

個々に学習した識別器を複数個用意し、それらを、単純には出力の平均を用いるなどをして、まとめ合わせてひとつの識別器を構築する学習法。

ベイジアンネットワーク

因果関係を確率により記述するグラフィカルモデルのひとつで、複雑な因果関係の推論を有向グラフ構造により表すとともに、個々の変数の関係を条件つき確率で表す確率推論のモデル。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

気候変動に関する政府間パネル、国際的な専門家で作る、地球温暖化についての科学的な研究の収集、整理のための政府間機構。

LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)

統計や機械学習において、過学習を抑止する正則化の一種で、パラメータベクトルの絶対値の和を正則化項とする。

AIC (Akaike's Information Criterion : 赤池情報量規準)

統計モデルの良さを評価するための指標で、モデルの複雑さと、データとの適合度とのバランスを取るために使用される。

■制御

ニューロ制御

人間の脳を模した神経回路網 (neural network) を制御装置に導入したもので、最適化機能・学習機能のうち多層神経回路網を用いた学習機能を主に用いる。

ファジー制御

点がある集合に属するか属さないかのいずれかとなる通常の集合と異なり、中間の状態を許容したファジィ集合 (fuzzy set) を利用して制御モデルや制御系を構成した制御。

知的制御

ニューラルネットワーク、ファジィ論理、学習、遺伝的アルゴリズムなど、ソフトウェアアルゴリズムを使用した情報工学を発祥とした制御手法。

LMI (Linear Matrix Inequalities : 線形行列不等式)

変数に関して線形な対称行列が (半) 正定値となるような解を見つけるもの。

VRFT (Virtual Reference Feedback Tuning)

データ駆動型制御器設計法のひとつ。

FRIT (Fictitious Reference Iterative Tuning)

擬似参照信号を使い、運転データからプロセスモデルを用いないで直接、制御パラメータを調整する方法。

ロバスト制御

制御対象の実際の特性が、制御系設計の際想定したモデルと多少異なっても制御性を余り損なわない制御。

H ∞ 制御

制御入力、外乱入力、制御出力、評価出力の 4 つの入出力を持つ汎用的な制御モデルを対象に、制御出力から制御入力に適切なフィードバックを施すことで外乱入力から評価出力までの伝達関数の H ∞ ノルムを小さくするという制御系設計手順を取る外乱信号の影響を抑制する制御系を構築するための制御理論。

被覆制御

効率的なセンサネットワークの構築や可動ロボットによる危険場所の探索、施設の監視など重要度の異なる領域を効率よく覆うように、複数の移動体を配置するための制御。

ランダムイズドアルゴリズム

乱択アルゴリズム、論理の一部に無作為性を導入したアルゴリズムである。通常、このようなアルゴリズムは擬似乱数を使うよう実装される。ランダムなビット列を補助入力とし、アルゴリズムの動作を誘導することで「平均的に」よい性能を実現することを目的としている。

CPS (Cyber Physical System)

実世界（フィジカル）と IT（サイバー）空間のコンピューティング能力を組み合わせることで、社会にとって有益となるシステムを構築しようとする試み。

焼きなまし法

Simulated annealing：大域的最適化問題への汎用の確率的メタアルゴリズムである。広大な探索空間内の与えられた関数の大域的最適解に対して、よい近似を与える。

MSPC (Multivariate Statistical Process Control)

多変量統計的プロセス管理。変数間の相関関係を考慮して高度な管理を実現するための方法。

VM (Virtual Metrology)

仮想計測。半導体製造装置/ プロセスパラメータおよび製品に関するコンテキスト情報、それ以前の工程の情報などを活用して、実際に計測を行わずウェハの加工特性を予測するもの。

■最適化

最適化

関数・プログラム・製造物などを最適な状態に近づけること。システムの構成要素間の調和をとって、システムの状態や動作を最適に近づけること。

准ニュートン法

最適化問題のアルゴリズムのひとつ。可変計量法とも呼ばれる。ニュートン法と同様な手法で最小値を探す。ただし、2 階偏微分であるヘッセ行列を直接計算するのではなく、1 階

偏微分を使い更新公式からヘッセ行列の逆行列を近似する。

マトロイド理論

マトロイド (matroid) という言葉は、マトリックス (matrix) のようなもの、という意味で、線形独立性のもつ性質を抽出した抽象的な離散構造のこと、大規模システムの設計や解析において有効な理論。

乱択アルゴリズム

ランダムイズドアルゴリズム。論理の一部に無作為性を導入したアルゴリズムである。通常、このようなアルゴリズムは擬似乱数を使うよう実装される。ランダムなビット列を補助入力とし、アルゴリズムの動作を誘導することで「平均的に」よい性能を実現することを目的としている。

線形計画

いくつかの 1 次不等式および 1 次等式を満たす変数の値の中で、ある 1 次式を最大化または最小化する値を求めることで線型計画問題を解く手法。

凸 2 次計画問題

資産運用のポートフォリオ選択など一般の非線形最適化問題では、大域最適解を求めるのが難しいが、目的関数が凸関数となる二次計画問題では、極小値が最小値になることで、大域最適解を求める手法。

半正定値計画問題

Semidefinite Program、SDP : 凸 2 次計画問題の一種で、線形計画問題を拡張したもの。多項式最適化問題への応用で、ロバスト最適化、量子化学などへの適応もなされている。

EM (Expectation Maximization) アルゴリズム

期待値最大化アルゴリズム。統計学において、確率モデルのパラメータを最尤法に基づいて推定する手法のひとつであり、観測不可能な潜在変数に確率モデルが依存する場合に用いられる。その一般性の高さから、音声認識、因子分析など、広汎な応用がある。

NP 困難

NP とは、計算量理論における問題の集まりで、Non-deterministic Polynomial time (非決定性多項式時間) の略。NP 困難問題は、yes となる証拠が与えられた時、その証拠が本当に正しいかどうかを多項式時間で検算可能な問題で、現実的な時間で解を求めることができない問題である。

PCP (Probabilistically checkable proof) 定理

確率的検査可能証明、決定問題の複雑性クラスで、た、可能な近似度の下界値を示す近似不可能性に関する定理。

GPGPU (General-purpose computing on graphics processing units)

GPU の演算資源を分子動力学法、格子ボルツマン法などのシミュレーションや、機械学習、音声処理、最適化問題など画像処理以外の目的に応用する技術。

暗黙知

経験や勘に基づく知識のことで、言葉などで表現が難しいもの。

DF0 (Derivative Free Optimization)

微分情報を用いず関数値の値のみを用いる最適化技術。

fleet スケジューリング

航空産業におけるクルースケジューリング問題。まずは複数の機体の集合（fleet）を運行便（fright leg）の集合に割り当てたのち、fleet に属する各機体のメンテナンスを考慮した機体のスケジュール、クルーの勤務地や移動を考慮したスケジュールを時系列ネットワークの巡回路を作成する問題として解く。

VR (Vehicle Routing)

複数のサービス車（Vehicle）がスタート地点から需要のある地点の巡回を行いゴール地点へ向かうようなケースにおいて、全ての需要を満たし、総経路コストを最小化することを考える問題。

SAT (Satisfiability)

命題論理の充足可能性判定問題。与えられた命題論理式の充足可能性を判定する問題であり、最初に NP 完全性が証明された問題でもある。

RCPSP (Resource Constrained Project Scheduling Problem)

資源制約付きプロジェクトスケジューリング問題。資源に関する条件がある中で各作業の開始時刻および終了時刻を決定する問題。

■ ネットワーク論

スモールワールド現象

もともと社会心理学の分野で生まれた概念だが、自然界、人工物、社会における多くのネットワークに共通する性質である。旅先やパーティーなどで、初めて会った人と思いがけず共通の知人を発見して、「せまい世界ですね。(It's a small world!)」と驚いた経験などが、スモールワールド現象と呼ばれる。

クラスター近似

距離（非類似度）関数に基づいたデータ要素の近似集団を表すクラスターと呼ばれるグループに分類し、複雑な現象の近似解を求める方法。

カスケード故障

連鎖故障、小さな故障が故障を呼び、ネットワークの大部分が死滅するというもの。

big data

情報通信、とくにインターネットの発達にともなって爆発的に増大した構造化されていない莫大な量のデータ。それら様々な局面に発生した巨大データの集まりを分析することでビジネス傾向の特定、病気の予防、犯罪の対策などにメリットがあると言われている。スケールフリー一部のノードが膨大なリンクを持つ一方で、ほとんどはごくわずかなノードとしか繋がっていないようなネットワーク構造。新しいノードが次々に参入しても、ネットワークの形状が変化しないフラクタル性をもっている。

データマイニング

統計学、パターン認識、人工知能等のデータ解析の技法を大量のデータに網羅的に適用することで知識を取り出す技術。

グラフマイナー理論

複雑なグラフに対し、頂点を取り除く、辺を取り除く、辺を縮約することで、グラフの性質がどのようになるのかを調べ、定理化するもの。

ページランク

ウェブページの重要度を決定するためのアルゴリズムであり、検索エンジンの Google において、検索語に対する適切な結果を得るために用いられている中心的な技術。名称の由来は、ウェブページの" ページ" と、Google の創設者の一人、ラリー・ペイジの姓をかけたもの。

GML (Graph Modeling Language)

グラフのモデリング言語、グラフを記述する ASCII ベースの階層のファイル形式で、グラフ メタ言語ともいう。

付録2 執筆協力者一覧

《 環境・エネルギー分野 》

※敬称略、所属・役職は俯瞰報告書（本編）作成時点

■全体総括

笠木 伸英 （科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー）

〈 環境・エネルギー研究戦略会議 〉

■外部委員

飯山 明裕 （日産自動車株式会社 総合研究所 EV システム研究所 エキスパートリーダー）
 柏木 孝夫 （東京工業大学 ソリューション研究機構／先進エネルギー（AES）国際研究センター 特命教授／センター長）
 金子 成彦 （東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授）
 金子 祥三 （東京大学生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 特任教授・副センター長）
 木下 健 （東京大学 生産技術研究所 教授）
 田中 知 （東京大学 大学院工学系研究科 原子力国際専攻 教授）
 橋本 和仁 （東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 教授）
 藤井 康正 （東京大学 大学院工学系研究科 原子力国際専攻 教授）
 牧野 尚夫 （財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 副所長）
 丸山 康樹 （財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 主席研究員）
 持田 勲 （九州大学 炭素資源国際教育研究センター 特任教授）
 山地 憲治 （公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長）
 横山 明彦 （東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授）
 横山 伸也 （鳥取環境大学 環境学部 環境マネジメント学科 教授）

■化石資源分科会【主査：牧野 尚夫】

青木 秀之 （東北大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授）
 天野 寿二 （東京ガス（株）基盤技術部 技術研究所 所長）
 菊地 隆司 （東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 准教授）
 野村 誠治 （新日本製鐵（株）技術開発本部 製鉄研究開発部 部長）
 畑中 重人 （JX 日鉱日石エネルギー（株）中央技術研究所 所長）
 藤岡 祐一 （福岡女子大学 教授（前 RITE／三菱重工業））
 渡邊 裕章 （財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 主任研究員／主査補佐）

■再生可能エネルギー分科会【主査：木下 健】

植弘 崇嗣	（一般社団法人 国際環境研究協会 プログラムオフィサー）
岡田 茂	（東京大学 農学生命科学研究科 水圏天然物化学研究室 准教授）
黒川 浩助	（東京工業大学 ソリューション研究機構／先進エネルギー（AES）国際研究センター 特任教授）
齊藤 哲夫	（一般社団法人 日本風力発電協会 企画局長）
瀬川 浩司	（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）
丸山 康樹	（財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 首席研究員）
圓山 重直	（東北大学 流体科学研究所 教授）

■エネルギー利用技術・システム分科会【主査：金子 成彦】

浅野 浩志	（財団法人電力中央研究所 社会経済研究所 所長）
飯山 明裕	（日産自動車（株）総合研究所 EV システム研究所 エキスパートリーダー）
壺岐 英	（JX 日鉱日石エネルギー（株）研究開発本部 中央技術研究所 水素・新エネルギー研究所 水素貯蔵・輸送グループマネージャー）
神本 武征	（東京工業大学 名誉教授）
久保田 純	（東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 准教授）
鹿園 直毅	（東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 教授）
日高 邦彦	（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

《 ライフサイエンス・臨床医学分野 》

※敬称略、所属・役職は俯瞰報告書（本編）作成時点

■全体総括

浅島 誠 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー)

■ヒトの理解に繋がる生物科学

西田 栄介 京都大学大学院生命科学研究科多細胞体構築学教室教授【総括責任者】
 油谷 浩幸 東京大学 先端科学技術研究センターゲノムサイエンス分野 教授
 萩原 正敏 京都大学 医学研究科形態形成機構学教室 教授
 岩田 想 京都大学大学院医学研究科 分子細胞情報学教室 教授
 影山 龍一郎 京都大学 ウイルス研究所増殖制御学研究分野 教授
 水島 昇 東京大学 大学院医学系研究科分子生物学分野 教授
 上野 直人 (独)基礎生物学的研究所 形態形成研究部門 教授
 大和 雅之 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 教授
 松田 秀雄 大阪大学大学院 情報科学研究科 バイオ情報工学専攻 教授
 松田 道行 京都大学大学院 生命科学研究科生体制御学教室 教授

■医療・福祉（疾病）

永井 良三 自治医科大学 学長【総括責任者】
 佐谷 秀行 慶應義塾大学医学部 先端医科学研究所遺伝子制御部門 教授
 平岡 真寛 京都大学大学院 医学研究科 放射線腫瘍学画像応用治療学分野 教授
 富樫 かおり 京都大学大学院 医学研究科放射線医学講座 教授
 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
 小川 佳宏 東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科 分子内分泌代謝学分野 教授
 鈴木 亨 東京大学大学院 医学系研究科ユビキタス予防医学講座 特任准教授
 佐田 政隆 徳島大学大学院 ヘルスバイオサイエンス研究部循環器内科学 教授
 津金 昌一郎 (独)国立がん研究センター がん予防・検診研究センター 予防研究部 部長
 辻 一郎 東北大学大学院 医学系研究科 社会医学講座公衆衛生学分野 教授
 岡部 信彦 川崎市衛生研究所 所長
 坂田 恒昭 塩野義製薬株式会社 Global Development Office イノベーションデザイン 部門長
 松岡 雅雄 京都大学 ウイルス研究所・所長 ウイルス制御研究領域 教授
 石井 健 (独)医薬基盤研究所 アジュバント開発プロジェクト リーダー
 山本 一彦 東京大学大学院 医学系研究科内科学専攻 アレルギーリウマチ学 教授
 高橋 聡 東京大学 医科学研究所附属病院 血液内科 准教授
 河上 裕 慶應義塾大学大学院 医学研究科 先端医科学研究所 細胞情報研究部門 教授

平山 良孝 アステラス製薬株式会社薬理研究所 主席研究員
 祖父江 元 名古屋大学大学院 医学系研究科神経内科学 教授
 樋口 輝彦 (独)国立精神・神経医療研究センター 総長
 日本製薬工業協会

■医療・福祉（医療技術）

木村 廣道 東京大学大学院 薬学系研究科 ファーマコビジネス・イノベーション
 教室 特任教授【総括責任者】
 加藤 益弘 アストラゼネカ株式会社 代表取締役会長
 春山 英幸 第一三共ＲＤノバーレ株式会社 代表取締役社長
 藤堂 具紀 東京大学 医科学研究所先端医療研究センター先端がん治療分野 教授
 大西 昭郎 東京大学公共政策大学院 客員教授
 佐久間 一郎 東京大学大学院 工学系研究科精密工学専攻／バイオエンジニアリング
 専攻 教授
 清水 公治 京都大学大学院 医学研究科 特任教授／京都大学 医学部附属病院先
 端医療機器開発・臨床研究センター医療機器開発支援室 室長
 大和 雅之 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 教授
 宇治 則孝 日本電信電話株式会社 代表取締役副社長
 大江 和彦 東京大学大学院 医学系研究科医療情報経済学分野 教授
 福田 敬 国立保健医療科学院研究情報支援研究センター 上席主任研究官

■ヒトと社会

四ノ宮 成祥 防衛医科大学校 分子生体制御学講座 教授【総括責任者】
 佐藤 雄一郎 東京学芸大学 人文社会科学系 法学・政治学分野 准教授
 洪 賢秀 東京大学 医科学研究所 特任助教（研究倫理支援室付）
 佐藤 恵子 京都大学 エコチル 京都ユニットセンター 研究員
 増井 徹 (独)医薬基盤研究所 難病・疾患資源研究部 政策・倫理研究室 部長
 加藤 和人 大阪大学 医学系研究科 教授
 隅蔵 康一 科学技術政策研究所 第2研究グループ 総括主任研究官
 梅澤 明弘 (独)国立成育医療センター 生殖・細胞医療研究部 部長
 松山 晃文 先端医療センター 再生医療研究開発部門 グループリーダー
 河原 直人 東京女子医科大学 リサーチアドミニストレーター
 吉澤 剛 大阪大学大学院 医学系研究科 准教授
 峯畑 昌道 ブラッドフォード大学 軍縮研究所 研究員
 田代 志門 昭和大学 研究推進室 講師
 鈴木 美香 (独)理化学研究所発生・再生科学総合研究センター 研究推進部
 辰井 聡子 明治学院大学 法学部 教授
 稲葉 一人 中京大学法科大学院 教授
 笹栗 俊之 九州大学 医学研究院 基礎医学部門 教授
 札野 順 金沢工業大学 基礎教育部 修学基礎教育課程 教授

佐倉 統	東京大学大学院 情報学環 教授
田中 幹人	早稲田大学 政治経済学術院 准教授

■食料・バイオマス生産

佐々木 卓治	東京農業大学 総合研究所 教授【総括責任者】
江面 浩	筑波大学生命環境系 生物圏資源科学専攻 教授
藤原 徹	東京大学大学院 農学生命科学研究科 応用生命化学専攻 教授
赤間 仁	島根大学生物資源科学部 生物科学科 教授
山根 精一郎	日本モンサント株式会社 代表取締役社長

■物質、エネルギー生産・利用

大竹 久夫	大阪大学大学院 工学研究科生命先端工学専攻 教授【総括責任者】
五十嵐 泰夫	東京大学 生物生産工学研究センター長 大学院農学生命科学研究科 教授
大政 健史	徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 教授
片岡 道彦	大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科応用生命科学専攻 教授
小川 順	京都大学大学院 農学研究科応用生命科学専攻 教授
黒田 章夫	広島大学大学院 先端物質科学研究科 分子生命機能科学専攻 教授
福崎 英一郎	大阪大学大学院 工学研究科生命先端工学専攻 教授

■環境保全

矢原 徹一	九州大学大学院 理学院生態科学研究室 教授【総括責任者】
服部 正平	東京大学大学院 新領域創成科学研究科自然環境学専攻 教授
高見 英人	(独)海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域 深海・地殻内生物圏研究プログラム 上席研究員
奈良 一秀	東京大学大学院 新領域創成科学研究科自然環境学専攻 准教授
梶 光一	東京農工大学大学院 農学研究院野生動物保護学研究室 教授
松田 弘之	横浜国立大学 環境情報研究院自然環境と情報部門環境情報学府環境リスキュマネジメント専攻 教授
五箇 公一	(独)国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 首席研究員
寺島 一郎	東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻 教授
中村 太士	北海道大学大学院 農学研究院森林生態系管理学研究室 教授
中静 透	東北大学大学院 生命科学研究科 教授
伊藤 元己	東京大学大学院 総合文化研究科・教養学部 教授
松浦 啓一	(独)国立科学博物館 動物研究部長
山野 浩哉	(独)国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 主任研究員
中野 伸一	京都大学 生態学研究センター 主任研究員

《 電子情報通信分野 》

※敬称略、所属・役職は俯瞰報告書（本編）作成時点

■全体総括

岩野 和生 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー)
 丹羽 邦彦 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー) (2012年9月まで)

■デバイス／ハードウェア

桜井 貴康 東京大学 生産技術研究所 教授、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
 黒田 忠広 慶應義塾大学 理工学部電子工学科 教授
 高宮 真 東京大学 大規模集積システム設計教育研究センター (VDEC) 准教授
 中野 義昭 東京大学 先端科学技術研究センター 所長・教授
 中村 宏 東京大学 情報理工学系研究科 システム情報学専攻 教授

■ネットワーク

森川 博之 東京大学 先端科学技術研究センター 教授、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
 今泉 英明 トヨタ IT 開発センター 開発・調査部 シニアリサーチャー
 桐葉 佳明 日本電気株式会社 クラウドシステム研究所 技術主幹
 鈴木 誠 東京大学 先端科学技術センター 助教

■ソフトウェア

丸山 宏 統計数理研究所 副所長、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
 青山 幹夫 南山大学 情報理工学部 ソフトウェア工学科 教授
 小野寺 民也 日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所 ミドルウェアSW&システムズ担当部長

■ロボティクス

新井 民夫 芝浦工業大学 工学部 教授、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
 大場 光太郎 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 副部門長
 松日楽 信人 芝浦工業大学 工学部機械機能工学科 教授
 油田 信一 芝浦工業大学 工学部電気工学科 教授

■知能／インタラクション

石塚 満 東京大学 情報理工学系研究科 教授【総括責任者】
 石田 亨 京都大学 情報学研究科 社会情報学専攻 教授
 黒橋 禎夫 京都大学 大学院情報学研究科 教授
 橋田 浩一 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 上席研究員
 美濃 導彦 京都大学 副理事、学術情報メディアセンター教授

山口 高平

慶應義塾大学 理工学部 管理工学科 教授

■データベース

西尾 章治郎

大阪大学大学院情報科学研究科 教授、CRDS 特任フェロー【総括責任者】

天笠 俊之

筑波大学 システム情報系情報工学域 准教授

石川 佳治

名古屋大学 情報基盤センター 教授

川島 英之

筑波大学 システム情報系情報工学域 講師

北川 博之

筑波大学 システム情報系情報工学域長 教授

高橋 克己

N T T セキュアプラットフォーム研究所 情報セキュリティプロジェクトマネージャー

原 隆浩

大阪大学大学院 情報科学研究科 准教授

森嶋 厚行

筑波大学大学院 図書館情報メディア研究科 准教授

■ITアーキテクチャ

丸山 宏

統計数理研究所 副所長、CRDS 特任フェロー【総括責任者】

青山 幹夫

南山大学 情報理工学部 ソフトウェア工学科 教授

新井 民夫

芝浦工業大学 工学部 教授、CRDS 特任フェロー

瀬尾 義樹

日本電気株式会社 C&C イノベーション推進本部 イノベーションプロデューサー

竹内 健

中央大学 理工学部 電気電子情報通信工学科 教授

中村 宏

東京大学 情報理工学系研究科 システム情報学専攻 教授

■CPS

桜井 貴康

東京大学 生産技術研究所 教授、CRDS 特任フェロー【総括責任者】

森川 博之

東京大学 先端科学技術研究センター 教授、CRDS 特任フェロー

澤田 和明

豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授

篠田 裕之

東京大学 情報理工学系研究科 システム情報学専攻 准教授

清水 徹

ルネサスエレクトロニクス株式会社 技術開発本部 技術企画統括部 主管技師長

■CHS (Cyber-Human Systems)

丸山 宏

統計数理研究所 副所長、CRDS 特任フェロー【総括責任者】

生貝 直人

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 新領域融合研究センター 特任研究員

岡田 仁志

国立情報学研究所 情報社会相関研究系 准教授

中山浩太郎

東京大学 知の構造化センター 特任講師

松尾 豊

東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構 准教授

持丸 正明

産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター センター長

■ビッグデータ

西尾章治郎
大石 雅寿
鬼塚 真
佐藤 真一
高木 利久
山西 健司

大阪大学、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
国立天文台 天文データセンター センター長 准教授
NTT ソフトウェアイノベーションセンタ 主幹研究員 特別研究員
国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系教授
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
東京大学 情報理工学系研究科 数理情報学専攻 教授

■強いAI

丸山 宏
新井 紀子
宮尾 祐介

統計数理研究所 副所長、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
国立情報学研究所 社会共有知研究センター長/情報社会相関研究系 教授
国立情報学研究所 国立情報学研究所コンテンツ科学研究系 准教授

■レジリエント ICT

古原 和邦

片下 敏宏
須崎 有康
南谷 崇
吉岡 克成

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】
産業技術総合研究所 セキュアシステム研究部門 研究員
産業技術総合研究所 セキュアシステム研究部門 主任研究員
キヤノン株式会社 総合 R&D 本部 顧問
横浜国立大学 学際プロジェクト研究センター 環境情報研究院 准教授

《 ナノテクノロジー・材料分野 》

※敬称略、所属・役職は俯瞰報告書（本編）作成時点

■全体総括

曾根 純一 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー)
 田中 一宜 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー) (2013年12月まで)

〈 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

飯山 明裕 日産自動車株式会社 総合研究所 EVシステム研究所
 エキスパートリーダー
 石原 一彰 名古屋大学 大学院工学研究科 教授
 一ノ瀬 泉 物質・材料研究機構 先端的共通技術部門 高分子材料ユニット
 ユニット長
 井上 晴夫 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 特任教授
 今西 誠之 三重大学 大学院工学研究科 教授
 今堀 博 京都大学 大学院工学研究科 教授
 宇佐美德隆 東北大学 金属材料研究所 准教授
 大村 孝仁 物質・材料研究機構 元素戦略材料センター 構造材料ユニット
 強度設計グループ グループリーダー
 折茂 慎一 東北大学 金属材料研究所 教授
 梶野 勉 株式会社豊田中央研究所 主席研究員
 金村 聖志 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授
 河西 純一 物質・材料研究機構 企画部門 企画調整室 次長
 北野 彰彦 東レ株式会社 複合材料研究所 所長
 工藤 昭彦 東京理科大学 理学部第一部 教授
 河本 邦仁 名古屋大学 大学院工学研究科 教授
 佐々木一成 九州大学 大学院工学研究院 教授、
 水素エネルギー国際研究センター センター長
 佐藤 謙一 住友電気工業株式会社 フェロー
 佐藤 努 北海道大学 大学院工学研究院 教授
 下山 淳一 東京大学 大学院工学系研究科 准教授
 鈴木 淳市 総合科学研究機構 東海事業センター 利用研究促進部 部長、主任研究員
 須田 淳 京都大学 大学院工学研究科 准教授
 辰巳 国昭 産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門 主幹研究員
 佃 達哉 東京大学 大学院理学系研究科 教授
 津崎 兼彰 物質・材料研究機構 元素戦略材料センター□センター長
 寺崎 一郎 名古屋大学 大学院理学研究科 教授
 西 敏夫 東京工業大学 国際室 特任教授

錦谷 禎範	JX 日鉱日石エネルギー株式会社 研究開発本部・中央技術研究所 エグゼクティブリサーチャー
西澤 伸一	産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 電力エネルギー基盤グループ グループリーダー
橋本 秀樹	大阪市立大学 大学院理学研究科 教授
原 亨和	東京工業大学 応用セラミック研究所 教授
原田 幸明	物質・材料研究機構 元素戦略材料センター 招聘研究員
辺見 昌弘	東レ株式会社 地球環境研究所 所長
正岡 重行	分子科学研究所 錯体物性研究部門 准教授
御手洗容子	物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 先進高温材料ユニット 構造機能融合材料グループ グループリーダー
森田 靖	大阪大学 大学院理学研究科 准教授
矢板 毅	日本原子力研究開発機構 量子ビーム反応制御・解析技術研究ユニット／
山田 裕久	物質・材料研究機構 環境再生材料ユニット／ジオ機能材料グループ グループリーダー
渡辺 正裕	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 准教授

■1.2 バイオナノテクノロジー

一木 隆範	東京大学 大学院工学研究科 准教授
大槻 主税	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
田中 賢	山形大学 大学院理工学研究科 教授
玉田 薫	九州大学 先端物質化学研究所 教授
西山 伸宏	東京大学 大学院工学研究科 准教授
馬場 嘉信	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
藤田 克昌	大阪大学 大学院工学研究科 准教授
馬渡 和真	東京大学 大学院工学研究科 准教授
山本 玲子	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 ナノバイ オ分野 バイオメタルグループ グループリーダー

■1.3 ナノエレクトロニクス

秋永 広幸	産業技術総合研究所 ナノデバイスセンター センター長
浅川 鋼児	株式会社東芝 研究開発センター 有機材料ラボラトリー 研究主幹
浅野 種正	九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授
一木 正聡	産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター 研究チー ム長
伊藤 公平	慶應義塾大学 理工学部 教授
内田 建	慶應義塾大学 理工学部 教授
内山 貴之	ルネサスエレクトロニクス株式会社 プロセス技術統括部プロセス加工技術部 課長
遠藤 哲郎	東北大学 大学院工学研究科 教授

大友 明	東京工業大学 大学院理工学研究科 教授
大橋 啓之	日本電気株式会社 グリーンプラットフォーム研究所 主席研究員
小野 輝男	京都大学 化学研究所 教授
嘉田 守宏	超先端電子技術開発機構 研究部長
河野 行雄	東京工業大学 大学院理工学研究科 准教授
木村紳一郎	超低電圧デバイス技術研究組合 研究企画部長
木村 剛	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
酒井 真理	セイコーエプソン株式会社 技術開発本部 生産技術センター エキスパート
酒井 忠司	株式会社東芝 研究開発センター 電子デバイスラボラトリー 研究主幹
笹川 崇男	東京工業大学 応用セラミックス研究所 准教授
品田 賢宏	産業技術総合研究所 ナノデバイスセンター集積実証室 主幹
白石 賢二	筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授
田中 秀治	東北大学 大学院工学研究科 准教授
中村 泰信	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
西山 伸彦	東京工業大学 大学院理工学研究科 准教授
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 俊彦	横浜国立大学 大学院工学研究科 教授
廣島 洋	産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター 副研究センター長
屋上公二郎	ソニー株式会社 コアデバイス開発部セミコンダクタテクノロジー開発 部門 主任研究員
若林 整	ソニー株式会社 半導体事業本部 技術マネジメント推進室
若林 克法	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 独立研究者
渡部 平司	大阪大学 大学院工学研究科 教授

〈 2. 科学・技術基盤 〉

浅川 鋼児	株式会社東芝 研究開発センター 有機材料ラボラトリー 研究主幹（再掲）
阿部 真之	大阪大学 大学院工学研究科 准教授
居城 邦治	北海道大学 電子科学研究所 教授
一木 正聡	産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター 研究チーム長
伊藤 耕三	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
魚谷 信夫	京都大学 細胞-物質統合システム拠点 特任教授
内山 貴之	ルネサスエレクトロニクス株式会社 プロセス技術統括部プロセス加工技術部 課長（再掲）
尾方 成信	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
小柳津研一	早稲田大学 理工学術院 教授
加藤 隆史	東京大学 大学院工学系研究科 教授
加納 博文	千葉大学 大学院理学研究科 教授

蒲生 昌志	産業技術総合研究所 安全科学研究部門 リスク評価戦略グループ グループ長
北川 進	京都大学 大学院工学研究科 教授
北川 宏	京都大学 大学院理学研究科 教授
久保 百司	東北大学 大学院工学研究科 教授
栗原 和枝	東北大学 多元物質科学研究所 教授
黒田 一幸	早稲田大学 理工学術院 教授
酒井 真理	セイコーエプソン株式会社 富士見事業所 生産技術センター エキスパート（再掲）
榎 茂好	京都大学 福井謙一記念研究センター 特任教授
下村 政嗣	東北大学 多元物質科学研究所／原子分子材料科学高等研究機構 教授
白石 賢二	筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授
高原 淳	九州大学 先導物質化学研究所 教授
竹村 誠洋	物質・材料研究機構 企画部調査分析室 室長
田中 功	京都大学 大学院工学研究科 教授
田中 秀治	東北大学 大学院工学研究科 准教授（再掲）
田原 太平	理化学研究所 基幹研究所 主任研究員
玉作 賢治	理化学研究所 播磨研究所 放射光科学総合研究センター 専任研究員
玉田 薫	九州大学 先導物質化学研究所 教授
常行 真司	東京大学 大学院理学系研究科 教授
寺西 利治	京都大学 化学研究所 教授
長嶋 泰之	東京理科大学 大学院理学研究科 教授
林田 美咲	産業技術総合研究所 計測標準研究部門 ナノ材料計測科 研究員
一杉 太郎	東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 准教授
廣島 洋	産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター 副研究センター長（再掲）
広瀬 明彦	国立医薬品食品衛生研究所 安全性生物試験研究センター 総合評価研究 室 室長
福島 孝典	東京工業大学 資源化学研究所 教授
福間 剛士	金沢大学 大学院自然科学研究科 教授
藤田 大介	物質・材料研究機構 先端的共通技術部門 部門長
藤本 俊幸	産業技術総合研究所 計測標準研究部門 副研究部門長
宝野 和博	物質・材料研究機構 フェロー
松井 真二	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 教授
松浦 和則	鳥取大学 大学院工学研究科 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 アクチノイド錯体化学研究グループ 主任研究員・グループリーダー
安田 琢磨	九州大学 未来化学創造センター 准教授
山田 啓文	京都大学 大学院工学研究科 准教授
山本 剛久	名古屋大学 大学院工学研究科 教授

山本	尚	中部大学 総合工学研究所 所長／分子性触媒研究センター センター長
吉田	博	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授

《 システム科学技術分野 》

※敬称略、所属・役職は俯瞰報告書（本編）作成時点

■全体総括

木村 英紀 （科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー）

〈 俯瞰対象分野の全体像 〉

■研究開発領域

津田 博史	同志社大学 理工学部 教授
椿 広計	情報・システム研究機構 統計数理研究所 副所長
内田 健康	早稲田大学 理工学術院 教授
杉原 正顯	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授
増田 直紀	東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授

〈 3. 研究開発領域 〉

■3.1 意思決定とリスクマネジメント

林 高樹	應義塾大学 大学院経営管理研究科 教授
中川 秀敏	一橋大学大学院 国際企業戦略研究科 准教授
津田 博史	同志社大学 理工学部 教授
室町 幸雄	首都大学東京 大学院社会科学系研究科 教授
中妻 照雄	應義塾大学 経済学部 教授
中川 秀敏	一橋大学大学院 国際企業戦略研究科 准教授

■3.2 モデリング

田中 剛平	東京大学 生産技術研究所 特任准教授
倉橋 節也	筑波大学 大学院ビジネス科学研究科 准教授
椿 広計	情報・システム研究機構 統計数理研究所 副所長
櫻庭 千尋	日本銀行 調査統計局 審議役
吉田 亮	情報・システム研究機構 統計数理研究所 モデリング研究系 准教授
小野田 崇	電力中央研究所 領域リーダー
増井 利彦	国立環境研究所 社会環境システム研究領域 統合評価研究室長
池田 思朗	情報・システム研究機構 統計数理研究所 数理・推論研究系 准教授
大畠 明	トヨタ自動車株式会社 理事
鎌倉 稔成	中央大学 理工学部 教授

■3.3 制御

金子 修	金沢大学 理工研究域 電子情報学系 准教授
藤崎 泰正	大阪大学 大学院情報科学研究科 教授
大塚 敏之	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
滑川 徹	應義塾大学 理工学部 准教授

藤田 政之	東京工業大学 大学院理工学研究科 教授
石井 秀明	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 准教授
加嶋 健司	大阪大学大学院 基礎工学研究科 准教授
加納 学	京都大学 大学院工学研究科 教授
平田 研二	長岡技術科学大学 機械系 准教授

■3.4 最適化

土谷 隆	政策研究大学院大学 教授
村松 正和	電気通信大学 情報工学科 教授
岩田 覚	京都大学 数理解析研究所 教授
藤澤 克樹	中央大学 理工学部 教授
池上 敦子	成蹊大学 情報科学科 教授
田辺 隆人	株式会社数理システム 数理計画部 部長

■3.5 ネットワーク論

増田 直紀	東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授
鹿島 久嗣	東京大学 情報理工学系研究科 准教授
岩田 覚	京都大学 数理解析研究所 教授
橋本 康弘	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 講師

《 研究開発の俯瞰報告書 2013 年第 2 版（本編）、概要版作成メンバー 》

（科学技術振興機構 研究開発戦略センター）

※敬称略、所属・役職は俯瞰報告書（本編）作成時点

■環境・エネルギー分野（環境・エネルギーユニット）

笠木 伸英	上席フェロー
荻本 和彦	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
久保田 純	特任フェロー
鹿園 直毅	特任フェロー
鈴木 至	フェロー
関根 泰	フェロー
中村 亮二	フェロー
福田 哲也	フェロー
増田 耕一	フェロー（2013 年 3 月まで）
宮下 永	フェロー（2013 年 3 月まで）

■ライフサイエンス・臨床医学分野（ライフサイエンス・臨床医学ユニット）

浅島 誠	上席フェロー
及川 智博	フェロー（2012 年 9 月まで）
大嶽 浩司	フェロー（2013 年 10 月まで）
川口 哲	フェロー（2013 年 3 月まで）
鈴木 響子	フェロー（2014 年 3 月まで）
辻 真博	フェロー
西村 佑介	フェロー（2014 年 4 月まで）
福士 珠美	フェロー（2013 年 1 月まで）
森 英郎	フェロー（2013 年 3 月まで）

■電子情報通信分野（電子情報通信ユニット）

岩野 和生	上席フェロー
丹羽 邦彦	上席フェロー（2012 年 9 月まで）
新井 民夫	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
桜井 貴康	特任フェロー
中野 義昭	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
西尾 章治郎	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
丸山 宏	特任フェロー
森川 博之	特任フェロー
嶋田 一義	フェロー（2014 年 3 月まで）
鈴木 慶二	フェロー
高島 洋典	フェロー

高野 良太朗	フェロー（2012 年 12 月まで）
的場 正憲	フェロー
茂木 強	フェロー

■ナノテクノロジー・材料分野（ナノテクノロジー・材料ユニット）

田中 一宜	上席フェロー
河村 誠一郎	フェロー／エキスパート
島津 博基	フェロー
永野 智己	フェロー
中本 信也	フェロー
中山 智弘	フェロー／エキスパート
馬場 寿夫	フェロー
宮下 永	フェロー（2013 年 3 月まで）
石原 聰	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
魚崎 浩平	特任フェロー
川合 知二	特任フェロー
曾根 純一	特任フェロー
田中 秀治	特任フェロー
村井 眞二	特任フェロー

■システム科学技術分野（システム科学ユニット）

木村 英紀	上席フェロー
安岡 善文	フェロー
金子 健司	フェロー
シン ジャワ	フェロー
富川 弓子	フェロー
豊内 順一	フェロー
武内 里香	フェロー（2013 年 3 月まで）
藤井 新一郎	フェロー
鈴木 久敏	特任フェロー
津田 博史	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
椿 広計	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
増田 直紀	特任フェロー（2013 年 3 月まで）
本間 弘一	特任フェロー

CRDS-FY2013-FR-09

研究開発の俯瞰報告書

本編 概要版

2013年(第2版)

環境・エネルギー分野、ライフサイエンス・臨床医学分野、電子情報通信分野、
ナノテクノロジー・材料分野、システム科学技術分野

Summary of Panoramic View of the Environment and Energy Field, the Life Science and Clinical Research Field, the
Electronics, Information and Communication Field, the Nanotechnology/Materials Field and the Systems Science
and Technology Field (2013) 2nd Edition

平成 26 年 6 月 June 2014

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

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

<http://www.jst.go.jp/crds>

©2014 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 CCTAACT 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 CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA CCTAACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

