

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

研究開発の俯瞰報告書 概要版 (2017年)

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

Summary of Panoramic view report (2017)

Energy

Environment

Systems and Information

Nanotechnology/ Materials 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1

Life Science and Clinical Research 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0

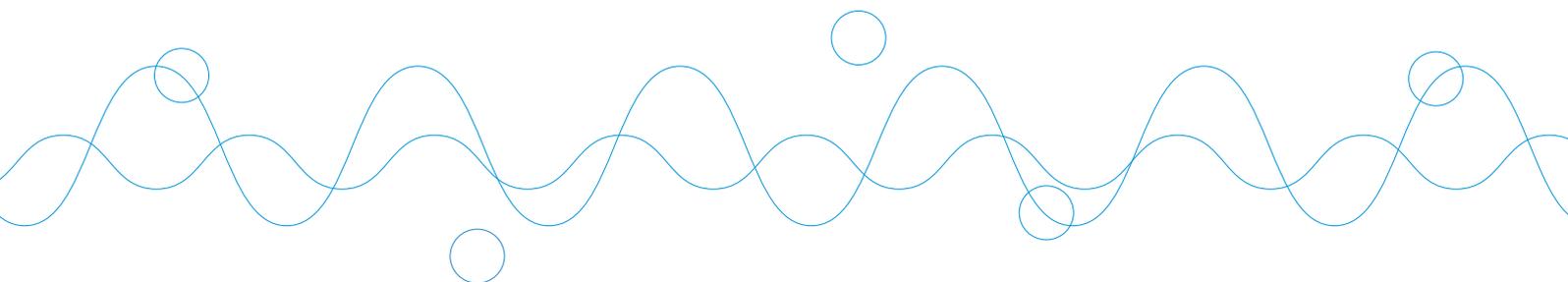
0 1 0 1 1 1

0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1

0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0

0 1 0 1 1 1

0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1



はじめに

JST 研究開発戦略センター（CRDS）は、国内外の社会や科学技術イノベーションの動向及びそれらに関する政策動向を把握・俯瞰・分析することにより、科学技術イノベーション政策や研究開発戦略を提言し、その実現に向けた取り組みを行っている。

「研究開発の俯瞰報告書」（以降、俯瞰報告書）は、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当該分野の研究開発状況に関して、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。

CRDS は 2003 年の設立以来、科学技術分野を広く俯瞰し、重要な研究開発戦略を立案する能力を高めるべく、その土台となる分野俯瞰の活動に取り組んできた。この背景には、科学の細分化により全体像が見えにくくなっていることがあげられる。社会的な期待と科学との関係を検討し、科学的価値を社会的価値へつなげるための施策を設計する政策立案コミュニティにあっても、科学の全体像を捉えることが困難になってきている。このような現状をふまえると、研究開発コミュニティを含めた社会のさまざまなステークホルダーと対話し分野を広く俯瞰することは、研究開発の戦略を立てるうえでは必須の取り組みである。

俯瞰報告書は、科学技術に関わるステークホルダーと情報を広く共有することを意図して作られた知的資産である。すでに多くの機関から公表されているデータも収録しているが、単なるデータレポートではなく、当該分野における研究開発状況の潮流を把握するために役立つものとして作成している。政策立案コミュニティでの活用だけでなく、研究者が自分の研究の位置を知ることや、他領域・他分野の研究者が専門外の科学技術の状況を理解し連携の可能性を探ることに活用されることを期待する。また、当該分野の動向を深く知りたいと考える政治家、行政官、企業人、研究者、学生などにも大いに活用していただきたいと考える次第である。

今回とりまとめた「研究開発の俯瞰報告書（2017年）」は、2013年、2015年に続くものである。個別の分野の報告書は大部であり、これらのエッセンスをまとめたものが本概要版である。科学技術の活動も内外の社会経済の情勢と分かち難く連動していることから、今回の俯瞰活動においては、科学技術と関係の深い内外の政治・経済・社会等の動きを CRDS 全体で共有して作業を行った。さらにこれらを前提として、個別分野の俯瞰報告書のポイントとして、「世界の技術革新の潮流」、「科学技術における日本の位置づけ」、そして「日本の挑戦課題」を抽出する試みを行った。読者のご批判を期待するものである。

2017年4月

国立研究開発法人 科学技術振興機構
研究開発戦略センター

目 次

はじめに

1 分野の俯瞰報告書結果から導出したポイント	1
2 各分野の俯瞰報告書の概要	19
2.1 エネルギー分野の概要	21
2.2 環境分野の概要	31
2.3 システム・情報科学技術分野の概要	41
2.4 ナノテクノロジー・材料分野の概要	49
2.5 ライフサイエンス・臨床医学分野の概要	57
（付録1）検討の経緯	65
（付録2）研究開発の俯瞰報告書（2017年）全分野を対象としている 俯瞰区分・研究開発領域一覧	66

1 各分野の俯瞰報告書結果から導出したポイント

俯瞰報告書（2017年）では、分野ごとに、俯瞰対象分野の全体像（俯瞰の構造と範囲、研究開発の歴史・変遷、研究開発を取り巻く現状、今後の展開と日本の研究開発戦略の方向性）を記述するとともに、全分野を通じて25俯瞰区分・168研究開発領域について、国内外の研究開発動向や科学技術的・政策的課題等とともに、日・米・欧・中・韓等の国際比較（基礎研究／応用研究・開発フェーズごとの現状・トレンド）などの情報をまとめている。

各分野の俯瞰報告書の概要は、第2章に示した。詳細な内容は各分野の報告書を参照いただきたい。

また俯瞰報告書（2017年）では、各分野の俯瞰報告書の結果から、「世界の技術革新の潮流」「科学技術における日本の位置づけ」「日本の挑戦課題」を抽出した（表1-2～1-6）。さらに各分野全体を俯瞰し導出されるこれらのポイントを抽出した（表1-1）。これらのポイントについては、関係ステークホルダーと共有するとともに、日本の挑戦課題として浮かび上がった項目については、今後、CRDSにおいて深掘検討を進めていく予定としている。

1. 世界の技術革新の潮流：現在における、世界の技術革新において注目すべき潮流
2. 科学技術における日本の位置づけ：現在における、科学技術における日本の位置づけ
3. 日本の挑戦課題：20年後をみすえ、今後取り組むべき日本の挑戦課題

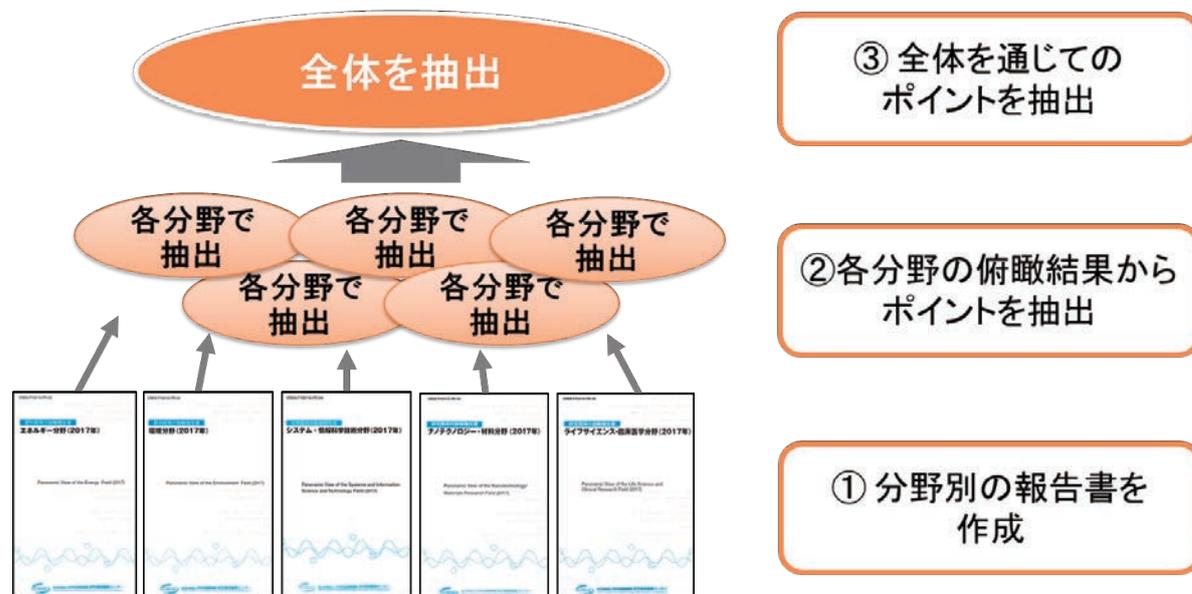


図1 分野別俯瞰報告書の作成とポイントの導出

表 1 - 1 科学技術分野全体のポイント

項目	内容
世界の技術革新の潮流	<p>① 情報技術の進展などにより、科学技術の革新のスピードは格段に増している。世界における科学技術の牽引役は米国であり、欧日が追随している。</p> <p>② SDGs（持続可能な開発目標； Sustainable Development Goals）のような人類的課題への科学技術の貢献が求められており、このような課題に対して、公的資金だけでなく民間資金の投資をいかに促すかが大きな課題になってきている。</p> <p>③ ビッグデータ、IoT（Internet of Things）、人工知能（AI）などの情報技術の急速な進展が、ナノテク、バイオ、エネルギーなど各分野における研究開発のパラダイムシフトを起こしている。</p> <p>④ 科学技術の世界では精緻化・先鋭化が進み、膨大な知見が蓄積されつつある。欧米では、基礎科学と科学の健全性を維持しつつ、それを社会にどう活かせるかという、システム化の考え方やELSI（倫理的・法的・社会的問題； Ethical, Legal and Social Issues）への取り組みが大事になってきている。</p> <p>⑤ 米国トランプ大統領就任や英国 EU 離脱などに見られる保護主義の台頭、世界第 2 位の GDP 大国となった中国の存在感の増大など、世界の政治・経済情勢が今後の科学技術に与える影響には注視を要する。</p>
科学技術における日本の位置づけ	<p>① 世界の牽引役である米国に続き、欧州や日本が部分的に強みを発揮しているが、中国は研究開発投資規模や論文数において米国に次ぐ世界 2 位となっており、日本の相対的地位が低下していることが懸念される。</p> <p>② 個別領域では、世界をリードする研究・技術開発が各分野に存在する。例えば、蓄電池や燃料電池、耐熱材料、温室効果ガス（GHG）観測衛星、情報セキュリティにおける暗号技術、物質創製・材料設計技術や計測・分析技術、免疫研究や iPS 関連研究などに世界をリードする強みを持つ。</p> <p>③ 研究開発の成果を社会ニーズに結び付けるためには産学官の協力や科学と社会の関係の深化などの取り組みが必要であるが、日本ではそれらの取り組みが不足している。</p> <p>④ 製品や研究開発手法における標準化など、国際的な枠組みの立案について、欧米などと比較して日本は遅れている。</p> <p>⑤ 日本は主要国の中で唯一博士号取得者数が減少傾向にあり、今後の研究開発人材への懸念がある。特に、全分野でインフラとなる計算・データ科学系の研究者の不足が大きなボトルネックになっている。</p>
日本の挑戦課題	<p>① 大きな進展や革新が求められる基礎研究・開発は以下のとおり。例えば、ポストリチウム電池などの蓄電技術、CO₂回収・利用技術、地球システムモデル（ESM）開発等の気候変動予測・影響予測・評価技術、サイバー・フィジカル融合サービスプラットフォーム構築技術、量子系の統合制御技術やマテリアルズ・インフォマティクス、生命科学・環境要因・臨床・社会データなどのデータ統合および診断・治療技術の個別化。</p>

- ② **AI/IoT時代**の本格化に備え、ムーアの法則の限界やコンピューティングアーキテクチャの行き詰まりなどに対する**技術革新**やプライバシー規制などの**法的整備**が重要課題となる。また、**計算・データ科学系の研究者の育成**が急務である。
- ③ 科学技術の成果を社会・経済的価値に転換するためには、規制緩和、法的整備、ビジネスモデルの創出、大学の体制整備などへの取り組みを強力に推進していく必要がある。
- ④ 科学と社会の関係に関する取り組みの必要性が増しており、**ELSIや自然科学と人文・社会科学の連携に関する取り組み**を強化する必要がある。
- ⑤ 技術革新の急速な進展や社会ニーズへの対応と、また基礎科学の維持・発展のためとの両面を見すえた**研究開発基盤の整備**が急務である。研究人材の育成はもとより、研究を支える多様な専門の人材配置、研究インフラ整備などが求められる。

表 1-2 エネルギー分野のポイント

項 目	内 容
世界の技術革新の潮流	<p>① 低炭素化への対応、再生可能エネルギー大量導入時への対応、利用しうるエネルギー資源の変遷への対応、原子力の安全性+廃炉などへの対応が共通した社会的課題である。</p> <p>② 短中期（向こう 10 年程度）では化石燃料の供給過剰が予想される。</p> <p>③ いずれの国においても研究開発の特徴は、可能性のあるすべての資源の活用・高効率化であるが、欧州においては、再生可能エネルギー開発への政府対応が相対的に大きい。</p> <p>④ 技術革新は大局で欧州（特に独）米日がリード。</p> <p>⑤ 米国では大統領府が基本的方向を決定し、DOE（米国エネルギー省）等行政府・研究機関が政策主導。再生可能エネルギー主体の「グリーンニューディール」から、シェール革命等を契機とした路線の転換がはかられている。</p> <p>⑥ EU はエネルギー効率の高い低炭素社会への変革が目標。 独の再生可能エネルギー重視、仏の原子力発電、英の風力重視など各国ごとに特徴がある。</p> <p>⑦ 科学技術力比較における国際的な状況は次のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー供給技術：「資源開発」「火力発電」「原子力安全」「太陽光発電」では欧米が、「地熱」では米が、「バイオマス」「風力」では欧州が強い。 ・エネルギー利用：「スマートビル」「燃焼」「トライボロジー」「高強度軽量材料」で欧米が、「断熱遮熱技術」「照明・ディスプレイ」「分離」で米が、「熱再生利用」「触媒」で欧州が強い。 ・エネルギーネットワーク技術：「エネルギーシステム」「分散型 EMS（エネルギーマネジメントシステム）」「パワーエレクトロニクス」は欧米が、「蓄電池」は中韓が、「蓄熱」は欧州が強い。 ・太陽電池、蓄電池、照明・ディスプレイなどエネルギーデバイスの応用研究においては韓国が世界トップクラス。
科学技術における日本の位置づけ	<p>① 3E（安定供給、経済効率性の向上、環境への適合）+S（安全性）の同時克服や 2030 年の電源構成を位置づけたエネルギー基本計画（2014 年 4 月）がある。</p> <p>② COP21 を受けて、「エネルギー・環境イノベーション戦略」（2016 年 4 月）がまとめられ、エネルギーシステム統合技術、超伝導、蓄電池、水素等製造・貯蔵・利用、太陽光発電等 11 の分野が指定されている。</p> <p>③ 科学技術力比較における日本の状況は次のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「火力発電」「蓄電池」「燃料電池」「磁石」「耐熱材料」では世界をリードしている。ただし、現在強い領域も、例えば、蓄電池は韓国が猛追により同等の実力を有し、磁石や火力発電は中国が猛烈な追い上げを見せている。

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「CCUS (CO₂ 回収・貯留・利用 ; Carbon Capture Utilization and Storage)」「太陽光発電」「地熱発電」「EMS (エネルギーマネジメントシステム)」「パワーエレクトロニクス」「蓄熱」「ヒートポンプ」「触媒」「燃焼」は世界のトップクラスである。 地熱、パワーエレクトロニクス、ヒートポンプ等、産業界の実力が大きい領域も多い。 ・ 「新型原子炉」「エネルギーシステム評価」「HEMS (ホームエネルギー管理システム ; Home Energy Management System) /BEMS (ビルエネルギー管理システム ; Building Energy Management system)」は弱い部分である。 システム的観点や IT の利活用が苦手といえる。 ・ なお、技術・研究としては強くても、市場では必ずしもシェアの大きくない領域があることに留意が必要である。
<p>日本の挑戦課題</p>	<p>① 2040-2050年の再生可能エネルギー大量導入時代（家庭レベルへの太陽電池や蓄電池（電気自動車含む）の普及やCOP21に対応した温室効果ガス80%削減）を見据えた課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 新しいエネルギーネットワークシステムを検討する。 技術課題は、自律分散型低圧配電系ネットワーク、エネルギー利用に関わる人間の行動科学、エネルギーと熱の総合利用など。 ・ 高度炭素・水素循環利用のための革新的な反応・分離技術を確立する。 技術課題は、CO₂分離・回収・化成品転換技術、太陽光や余剰の再生可能エネルギーを利用した水（水蒸気）からの水素製造技術、中温作動燃料電池技術など。 <p>② 持続的な工学（先進製造技術）の維持発展のための産学のシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギーの高効率利用（低炭素化）等に資する先進製造基盤研究をネットワーク化し進化させる。 技術課題は、材料技術、加工技術、トライボロジー技術、大規模構造体連成解析技術など。 ・ 原子力安全・新型原子炉・廃炉・最終処分など、原子力に関わる人材育成を維持する。 <p>③ 研究システム・制度の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 学問分野（領域）の縦割り、細分化と先端応用研究へのファンディングの集中傾向、大学における工学の再建など社会課題解決のための教育改革、研究システム構築が必要である。 ・ 教育と研究の連携、府省連携などが国としての構造的課題といえる。

表 1-3 環境分野のポイント

項目	内容
世界の技術革新の潮流	<p>① 6つのトレンド：1) 統合化（課題の複雑化を受け、気候変動・汚染・生態系・資源利用・社会・経済等を視野に入れた統合的研究へ発展。Food-Water-Energy Nexus（食料・エネルギー・水の連環）研究）等、2) 大規模化（温室効果ガスや雲・エアロゾル、森林、表層水・海洋等の衛星観測の飛躍的向上、人間活動データや地球観測・衛星観測などによるビッグデータの活用、コホート調査、多面的な健康影響把握、物質の全球動態モデル開発等）、3) 要素技術の高度化（物質への曝露から影響発現までの体内の経路を明らかにする AOP 研究、同位体分析技術の進展による物質循環理解の深化、医薬品および日用品等由来化学物質 PPCPs やマイクロプラスチックの汚染実態や生態影響解明、リサイクルの選別技術高度化等）、4) 意思決定のための可視化（モデル比較、解像度詳細化、価値評価、物質ストック・フロー解析、指標開発等）、5) 観測のネットワーク化・データの共有化、6) 研究スタイルの変化（共通設定の下で複数モデルを横断的に分析）。</p> <p>② 科学技術力比較における国際的な状況は次のとおり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気候変動：欧米がリードし日本も存在感を示している。温室効果ガス（GHG）観測衛星の打ち上げが続き、予測モデルの開発と相互比較が実施されている。対策を行うために、予測結果の時空間的詳細化（ダウンスケーリング）や極端現象予測等の不確実性の定量化（アンサンブルシミュレーション）が進められている。 ・環境汚染・健康：大気汚染で米国、水質汚染で欧州がリード。土壌・地下水汚染では欧米日が進展している。汚染の複雑化に伴い、気候変動やエネルギー、社会や経済との統合化が求められている。同位体比測定やノンターゲット分析、（体内または地球全体での）物質動態予測技術などが注目される。 ・生物多様性・生態系：欧米豪加がリード。把握においてはデータ取得や予測、情報基盤整備が、管理において生態系サービスの定量的評価が重要である。 ・循環型社会：水循環については米国が、農林水産業の環境研究では欧米が、リサイクル・廃棄物処理では欧州が、資源・生産・消費管理では欧米が、環境都市については欧州が進んでいる。
科学技術における日本の位置づけ	<p>① 日本はいずれの区分においても少数の研究者がレベルの高い研究開発を実施しているが、欧米と比べて、体制整備、システム化、新たな概念の創出等が課題となっている。</p> <p>② 科学技術力比較における日本の状況は次のとおり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気候変動：温室効果ガス（GHG）観測衛星で世界を先導している。気候変動影響研究では、農林業や健康・都市生活、極地において強みを持つ。 ・環境汚染・健康：大気中温室効果ガス濃度や同位体比測定、ノンターゲット分析、薬物の体内動態予測、出生コホート調査、大規模モデル開発など基礎研究の水準が高い。

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生物多様性・生態系：観測とデータ整備、システム開発や、その活用及び政策支援などが欧米加豪と比べた弱みといえる。 ・ 循環型社会：全体として欧米が進展しているが、日本においても水循環、農林水産業、リサイクル等で世界的に光る研究がある。
<p>日本の挑戦課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 今後国として取り組むべき研究開発課題 <ol style="list-style-type: none"> ① 人間活動も含め地球を一つのシステムとして理解し、人と自然の営みを維持・発展させるため、統合的な研究開発が求められる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 気候変動や汚染、健康、生態系、資源、経済、社会等の関連要素全体を視野に入れた研究開発への発展 ② 顕在化した事象への対処のみならず起こりうる事象を予測し対処するため、地球システムモデル (ESM)・気候変動影響予測モデルの開発と応用が求められる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 予測精度向上 ・ ダウンスケーリング等 ・ 影響予測・評価の強化と対象の拡大 ・ 気候変動以外の環境変動予測・評価 ③ 観測の対象・地点・頻度の増加が予測されるため、観測や評価の低コスト化・省力化が求められる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 効率的かつ省メンテナンスで統計学的にも優れた観測手法の開発 ・ 物質への曝露から影響発現までの体内の経路を明らかにする AOP 研究の推進（毒性試験の省力化・迅速化） ◆ 研究システム・制度の課題 <ol style="list-style-type: none"> ① 長期間の継続的な観測によるデータ蓄積が研究開発の深化と発展に不可欠である。そのためには、モニタリングやシステム開発の継続性と研究プラットフォーム（衛星や観測船等）の維持・強化が必要となる。 ② 計算機資源の拡充、社会受容のための評価などが求められる。 ③ 要素技術のみならずシステム化の研究開発の推進や、人文社会科学も含む学術性（interdisciplinarity）、あらゆる関係者が参加するトランスディシプリナリ（transdisciplinarity）も求められる。

表1-4 システム・情報科学技術分野のポイント

項目	内容
世界の技術革新の潮流	<p>① デバイスの性能向上や価格低下、クラウドコンピューティングやIoTなどの新たなコンピューティングパラダイムの進展、ビッグデータや人工知能などのデータ処理技術の高度化により、システム・情報科学技術が急速に進歩し、世の中に普及。一方で、ムーアの法則の限界、コンピューティングアーキテクチャの行き詰まりなども顕在化。</p> <p>② 情報科学技術とシステム科学技術が深く融合。</p> <p>③ ビジネス、他の科学技術分野、および社会への適用が進み、相互作用的にシステム・情報科学技術が進展。</p> <p>④ 上記進展は米国が主導的。政府だけでなく民間企業の役割も大きい。</p> <p>⑤ 欧州では社会的課題および産業界との関連付けを重視している。</p> <p>⑥ 中国、韓国でも社会適用が進む。</p> <p>⑦ 人工知能（AI）を代表とする新たな科学技術に対する ELSI への対処など国際的整備への取り組みが重要。</p>
科学技術における日本の位置づけ	<p>① 基礎研究においては米国には及ばないが、欧州と共に強みのある部分もある。日本は、量子コンピューティングの基礎理論の構築、セキュリティにおける暗号技術の研究開発、ビッグデータやAIにおける独自の機械学習アルゴリズム等において強みがあり、ロボット、言語処理へのアルゴリズムの適用などにおいても強みを有する。しかし、これら有力な技術は実用化を経てさらなる進歩が期待できるが、我が国においては新たな技術を活かした新規事業の創出が不活発であり、これが基礎研究にも悪影響を与えている</p> <p>② ビッグデータの蓄積・利用については官民ともに米国から水をあけられている。</p> <p>③ ビジネスにおける新たな技術の利活用が一部で進んでいるが、社会的な観点からは、規制緩和、法的整備、ビジネスモデルの創出ともに不十分である。</p> <p>④ Society 5.0 などの構想はあるが実現はこれからである。</p> <p>⑤ 国際的制度の枠組みの構築などに対して、日本の参画は不十分。</p>
日本の挑戦課題	<p>① システム・情報科学技術を社会に適用させ、また科学技術の進歩を図るためには、日本において以下の戦略レイヤーの設定が重要。戦略レイヤーの日本の課題は以下のとおり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 知のコンピューティング ・ CPS（サイバー・フィジカルシステム；Cyber Physical System）/IoT/REALITY 2.0 ・ 社会システムデザイン ・ ロボティクス ・ ビッグデータ ・ セキュリティ <p>② 戦略レイヤーの日本の課題は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 知のコンピューティング：合意形成と ELSI 対応 ・ CPS/IoT/REALITY2.0：サービスコンポーネント化とプラットフォーム構築技術

- ・社会システムデザイン：実システムの分析に基づく課題抽出
 - ・ビッグデータ：実問題に対応する人工知能技術と新計算原理の確立
 - ・ロボティクス：システム化技術とソフトロボティクス
 - ・セキュリティー：IoTに向けた対象の拡大、実課題に対応した国産技術の育成
- ③ その他の重要な要素技術として、量子コンピュータ技術の進展、説明可能な機械学習方式の実現等の加速。実用化、事業化が研究にフィードバックが挙げられる。
- ④ 官製データベースの開放促進、改正個人情報保護法の適正運用などの規制緩和の実施が求められる。
- ⑤ 民間企業による企業データベースの蓄積と所有権・運用権の議論の推進とオープンサイエンスに向けた学術データベースの基盤整備が必要。
- ⑥ システム・情報科学技術（特にAI、ビッグデータ）に特有なSSH（人分社会科学 Social Science and Humanities）、ELSI問題の取り上げが課題。

表1-5 ナノテクノロジー・材料分野のポイント

項目	内容
世界の技術革新の潮流	<p>① 各国でナノテク政策が開始されてから15年が経過。この間、ナノテクは技術の先鋭化、融合化、システム化へと向かう流れのなかにあり、2010年代以降は特に異分野技術の融合化と、製品化・社会実装を指向した技術のシステム化・市場浸透が強調されるようになってきた。ナノテクで新たに実現された製品（nano enabled products）市場は1.6兆ドルに成長（2012-14年で2倍、米LuxResearch社）</p> <p>② 来たるIoT/AI時代に活躍するデバイスおよびその構成素材は先端ナノテクの塊になる。AIチップ、IoTセンサ、クラウドサーバ、自動車・輸送機器、ロボット、モバイル、エネルギー変換デバイス、診断・治療・計測デバイスなど、ハード側は先端ナノテクが競争を左右。</p> <p>③ 新コンピューティング／新アーキテクチャへの挑戦が本格化。ポストムーア時代への技術潮流。</p> <p>④ これらに使われる新素材は、データ駆動型の材料設計（マテリアルズ・インフォマティクス）から生み出そうとする大きな流れ。しかし勝者はまだ不在。近年のコンピュータの能力向上が、材料、部品、さらには複合システム品の設計開発を行うシミュレーション技術の可能性を大きく広げている。ICTの進展がナノテク・材料技術を含むものづくり全般に革新をもたらし始めている。</p> <p>⑤ 政府投資について、米国は国家ナノテクイニシアティブ戦略計画を更新（2016）、欧州はEUのファンディング枠組「ホライゾン2020」において、ナノテクや先端材料技術をKET's（ブレイクスルー技術；key enabling technologies）の一つとして位置づける。アジアでは、中国・台湾・韓国・シンガポールを始め、ナノテクの研究開発拠点を築き、世界の研究開発を吸引しようとしている。</p>
科学技術における日本の位置づけ	<p>① 元素戦略・希少元素代替技術、分子（制御）技術、再生可能エネルギー・蓄電池材料、電子材料、パワー半導体、先端構造材料、結晶成長・薄膜・真空技術など、物質創製・材料設計技術に長期間の蓄積に基づく強みがあり、日本の特徴となっている。</p> <p>② そこで用いられる計測評価・分析・品質管理（電顕、NMR、X線等）も強い。これらが活きるかたちで省エネ・低環境負荷技術に優位性がある。</p> <p>③ 一方、弱点は、計算・データ科学、ソフト・標準化・規制戦略、医療応用や、水平連携・産学連携にある。これらは研究開発の枠組みを構築して実行するまでの問題の共有や意志決定スピードに課題がある。</p> <p>④ またナノテク特有のELSI・EHS（Environment, Health and Safety；環境・健康・安全面）、教育・コミュニケーションに課題あり。ナノテクの標準化・規制に関する国際的な枠組みへの戦略的な対応や、ナノ物質の安全性評価・管理研究の産学官連携体制、データ蓄積、国際連携などが継続的になされていない点が課題である。</p>

<p>日本の挑戦課題</p>	<p>① 異分野融合／深みのある研究開発と水平／垂直連携の両立策</p> <p>② 府省連携・産学連携／研究開発フェーズや時間ギャップの解消 → 先端研究開発と、事業化・実証トライアルのエコシステム形成が必要</p> <p>③ 10の挑戦課題（グランドチャレンジ）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. データ駆動型新材料設計（マテリアルズ・インフォマティクス） 2. IoT/AI チップ革新（新コンピューティングアーキテクチャ・ハード・センサデバイス→ニューロモルフィック、量子コンピューティング等の新機軸） 3. 量子系統合制御技術（トポロジカル量子、スピン、フォノン、フォトン、エレクトロニクスの統合制御・変換、フォノンエンジニアリング） 4. スマート・ソフトロボット基盤技術 5. 分離技術・物質精製技術 6. ナノスケール界面の動力学制御に基づくスーパー複合材料研究開発 7. 生体／人工物間相互作用を自在制御するバイオ材料・デバイス開発 8. オペランド・ナノ計測 9. ナノ ELSI/EHS 産学官国際戦略対応 10. 世界の知を吸引する R&D 拠点・プラットフォーム形成、技術専門人材の長期確保
----------------	---

表1-6 ライフサイエンス・臨床医学分野のポイント

項目	内容
世界の技術革新の潮流	<p>① 精緻化・先鋭化： 生命現象を、時間軸、空間軸で精緻に観察し、高精度に予測し、自由自在に操作し、人工的に創り出す技術が大きく進展している。最も注目すべき技術は、クライオ電子顕微鏡（単粒子解析技術）、ゲノム編集技術である。他にも、個体透明化技術、光スイッチ技術、高速AFM（原子間力顕微鏡）技術、分子・細胞内動態シミュレーション技術、人工生命・分子の創成、8Kイメージング技術、実験ロボット技術等が挙げられる。</p> <p>② 多様化・複雑化： モデル生物（マウス等）以外を対象とした研究手法や、生命の複雑系を対象とした解析手法の開発が大きく進んでいる。例えば、ヒト <i>in vitro</i> 実験技術（オルガノイド技術、臓器チップ技術）、農水畜産物の改変技術、複雑系生命システム解析技術（微生物叢、多臓器連関）、アグリフィールド（圃場）解析技術等が挙げられる。</p> <p>③ 統合化・システム化： 統合ビッグデータに基づく、個別化／予測が大きく進展している。例えば、ビッグデータ解析技術（人工知能、ベイズ解析等）、ウェアラブル技術、トランスオミクス解析（ゲノム～フェノーム）、マルチスケール解析（分子～個体）、マルチモダリティ解析、大規模データ通信（SINET 5.0など）、デジタル農業、等が挙げられる。</p>
科学技術における日本の位置づけ	<p>① これから全てのライフサイエンス・臨床医学分野に共通する今後の潮流である「データ駆動型」の研究アプローチへの取り組みが諸外国と比して遅れており、早急な対応が必要である。</p> <p>② 基礎科学面では、生命科学（免疫科学、分子細胞生物学、植物科学等）では世界トップレベルである。ただし、ヒトを対象とした研究や、農業現場を対象とした研究等、応用研究は遅れが見られる。</p> <p>③ 技術においては、イメージング技術、顕微鏡技術、培養技術など、我が国が長年にわたって世界トップレベルの位置にある。また iPS 関連技術についても、国の重点的な投資の結果、大きな強みを有する。あらゆるライフサイエンス・臨床医学分野でバイオインフォマティクス技術へのニーズが高まっているが、我が国は遅れが見られる。</p> <p>④ 様々な学術・技術分野において優れた研究者が存在し、科学技術の新たな潮流を生み出すことが可能な、人的インフラが存在する。しかし、データ科学関連の人材が大きく不足している。また若手（臨床）研究者の大幅な減少や、若手研究者の閉塞感などが問題である。</p> <p>⑤ 我が国の強みとして、電子カルテ、レセプト、介護データ、健康診断などの膨大な臨床情報の存在が挙げられる。一方で、それらばらばらに存在する臨床情報の統合解析に向けた基盤整備がこれからの課題となっている。</p>

<p>日本の挑戦課題</p>	<p>① 基礎研究の成果が社会（集団）へ実装され、社会における実践から新たに設定された課題を元に再度基礎研究が推進される。これら一連の循環構造の加速がこれから重要であり、データ科学の適切な推進がカギとなる。</p> <p>② データ統合医学（IoMT）による個別予見医療（Precision Medicine） →バイオマーカー（遺伝子、生体内分子、脈拍・血圧等）や様々な活動においてデジタル記録情報として得られるライフログ等の個々人データを統合的に解析し、疾患の発生・進行を予見する。費用対効果を考慮した上で対象（患者など）を層別化・個別化し、予防的な介入を実施することで疾患の発症／重症化／再発を予防する医療、およびその基盤となる生命科学／医科学研究</p> <p>③ デジタル統合アグリバイオ技術（IoAT）による超スマート生産（Precision Agriculture and Bio-production） →土壌／環境条件等、微生物叢／昆虫／寄生虫等のセンシング・統合的情報解析によって、作物の成育環境を定量的に評価する。成育環境や生育状況を適切に監視・制御する技術を開発し、農作物／生産物の品質および生産効率の最大化を目指す研究、ならびにその基盤となる植物・微生物科学研究。</p>
----------------	---

参考 科学技術と関係の深い政治・経済・社会等の動き

前述したように今回初めての試みとして、俯瞰を行うにあたり科学技術に関係の深い内外の政治・経済・社会等の動きを共有することを行った。これを一覧したものが表 1-7 である。政治・経済・社会等の捉え方や見方は個人や組織によっても様々であるが、今回の俯瞰では、今後 5 年程度を見通すうえでの前提として以下のような点を共有した。

表 1-7 （科学技術と関係の深い）政治・経済・社会等の動き

世界	① 世界経済成長は年 2-3%と低成長、需要拡大の妙手なし、中国経済変動の影響大
	② 民主主義の揺らぎ（ポピュリズムの台頭）
	③ 米・EU の相対的地位低下
	④ 地球規模ないし一国内での格差問題の提起、SDGs ニーズの市場化
	⑤ 市場主義の揺らぎ、特に金融市場主義への反発
	⑥ 中国・ロシア・イスラム世界など地政学リスク高水準、テロ増加
	⑦ 温暖化、地球環境リスク、自然災害リスクの増加
	⑧ IoT（Internet of Things）・AI・ビッグデータ等による産業構造、労働構造、人間行動の変化、意志決定システムの変化
	⑨ 先進国、新興国の消費・サービス構造の変化
日本	⑩ 少子高齢化（役割担い手の減少）
	⑪ 経済低成長と財政の行き詰り
	⑫ 社会・インフラ老朽化
	⑬ 原子力発電の位置づけとエネルギー問題
	⑭ 自然災害の脅威
	⑮ 地方創生への期待
	⑯ 社会保障費の増大、介護・教育・安全安心への期待
	⑰ 働き方の変革、一億総活躍
科学技術・その他	⑱ 科学技術の急激な進展と歓迎と拒否の二極化、デュアルユース
	⑲ 人工知能・生命科学と人間尊厳、ELSI
	⑳ 技術を持つ者と持たざる者
	㉑ 国家・国際機関の相対的予算不足
	㉒ パワーの根源としての科学技術の争奪・伝播（国・企業・組織）

コラム 科学技術と関係の深い政治・経済・社会等を共有する際に提示された予測

世界

- ・世界経済の予測がなぜ重要かという点と需要の規模が決められて経済活動の活況が類推できるからである。20世紀の最後の30年の経済成長は3%くらいで2000年から2007年（リーマン危機前年）までは5%くらいの伸びだった。2008年から低成長に移行、2015年までで3%くらいになっている。2016年以降の5年間の世界は中国がソフトランディングに成功して3%、失敗すれば2%台という低さであろう。
- ・この数字は原油価格、鉱物資源価格は基本的に低位にとどまることを意味する。原油は大きな政治的危機がない限り30～70ドルくらいの低水準。これは再生可能エネルギーの技術革新が民間主導で行われる可能性を低くする、と考えられる。先進国政府の意欲も同様であり巨額の予算はつかないだろう。
- ・民主主義は、そもそも効率は悪いが他よりはましな体制と呼ばれてきたが、ここへ来てポピュリズムの脅威にさらされている。米国でのトランプ政権誕生などミーイズムが受け入れられ世界や国家の大義にお金を使いにくい雰囲気になると考えられる。英国のEU脱退やギリシャでの国民投票、また、中南米だけでなく東南アジアの急速なポピュリズム化の指摘されている。このことは中間層の分解、それによる一国内格差の問題の惹起につながっており政府の統治手法にも大きな影響を及ぼしている。日本への影響も考える必要がある。
- ・またこのことは民主主義よりも独裁、全体主義その他の体制のほうが効率がよいと判断される危険性もある。中国が科学技術予算をトップダウンで決められるのに先進民主主義国が決められないという可能性を指摘しておく（極端な例では北朝鮮がある）。アフリカ諸国の中で中国式統治のほうが国家発展に役立つと考える国が出てきているのも気になる。先進民主主義国の財政は厳しく、科学技術予算を確保できず、また国際機関への拠出も増やせない可能性がある。
- ・このことは科学技術に資金が回るかどうかは民間の金融や産業の果たす役割がどうなるかということに依拠することを暗示している。民間金融資産は一説では280兆ドルといわれる。この資金を科学技術の進歩に向けないと、地政学的要因を考えると国際的にも非民主主義国が科学技術をより主導するという事態がおきかねない。要するに市場をどう利用して企業や金融ファンドからの投資を増やすということが重要となるだろう。
- ・米国とEUの次の5年の成長率はせいぜい2%しか期待できない。世界経済における日・米・EUのシェアは現在より低下して4割強程度になろう。あらゆる分野でヘゲモニーの低下が予想される。自国の需要開発はひとまずおいても戦略的な金遣いはロシア、中国などの体制国家のほうが機敏ということになる。
- ・この中でSDGs（持続可能な開発目標）、持続的成長の課題は重要である。科学技術に何ができるかとともに市場で何ができるかという組み合わせを見つけなくてはならない。南北問題は国連の票数からも途上国の論理がまかり通る可能性があり、要求や対立が下火になることはないと予測される。それより自分の一生のうちに格差を解消すべきだ、というような感じ方をしている人が世界中で増えてきている。また、同一国内の格差もより固定化が指摘されるようになっている。政治への関与、市場の利用、科学技術の利用の複合化がないと持続的成長課題への貢献にならない時代になっていくと見られ

る。

- では市場原理はどうなっているか？リーマンショックでわかったことは、特にお金が商品である金融市場の場合は、金融商品の中身の吟味が難しく、本当に市場としての原理が有効に働いているのかという疑問が突きつけられた。銀行などのプレーヤーの財務健全性、ファンドの情報公開、商業銀行で集めた金の投資銀行への流用の禁止などはこの経験を得て改善された金融改革だが、ファンドそのものへの規制、市場そのものへの規制、格付け機関の評価、牽制などは主として英米の考え方によりまったく進んでいないのが現状である。また **FINTECH** と呼ばれる IT 活用による金融市場の現出は市場原理といえるのかという根本的議論とともにこれにより相場性、投機性が強まる可能性がある。
- 市場原理はさらに政府との関係など多くの問題を内包しており、客観的に言って金融危機の教訓による改革は道半ばだ。政府との関係では米国で危機のときに製造業を救済したこと、中国で上海株式市場に対する政府の介入などが法的にも道義的にも決着がついていない。
- ただ自由世界の科学技術にとっては市場性をどう生かすかというのは大きな課題であるとともに希望でもある。企業が、例えば **SDGs** のような人類的課題を解決するために科学技術に対する研究開発投資を促進できるようにすることが重要。そのためには会計制度、株式市場、**PPP** (パブリックプライベートパートナーシップ) をどのように改革できるかが次の 5 年の課題。
- このように世界では民主主義・市場原理・科学技術 [科学技術についてはもう一度後述] のグローバリズムの支配力が緩んでいく方向にあることを自覚すべき。従って、地政学リスクはここ数年と同じで高水準が予想される。中国、ロシア、イスラム世界でグローバリズムに対する明示的、潜在的反発があり、シリア、イラク [IS 問題] ウクライナ、南シナ海、東シナ海などで問題が起きている。EU のガバナンス能力が落ちてくることが考えられると新たな要因となる。また東南アジア、アフリカなどで中国の影響力増大の試みが続けられよう。中国は人民を観客とする劇場国家の要素が強まっており対外政策は常に国内対策をかねていることに注意。
- 国対国の問題のほかにテロの問題がある。根幹にグローバリズムの問題があるが貧困、移民、差別などの問題もあり根本的解決は難しい。当面、アジアへのテロの拡散、ネットによるリクルートが課題。
- 地球環境問題の高まりは数年前のデータ捏造事件のほとぼりが冷めたこと、明らかに異常な自然災害が起きていること、などで過去 5 年よりは次の 5 年のほうが高まりを見せよう。しかし、ポピュリズムの進展からトランプ政権など地球規模の問題に対する相対的軽視も観察されまた、前述のようにエネルギー価格の低位安定が盛り上がりを冷ます要因ともなっており予断がならない。
- 科学技術の中で最も注目されるのは IoT、AI、ビッグデータなど IT の進展だろう。これはこの分野の科学技術要素の発展期であるとともに様々な需要分野と結びついて機能するので社会的なインパクトが強い、ということが出来る。個人の発信が容易になるので社会にとっての自由度は増えるがプライバシー問題に象徴されるように公共利益との間にどのようなルールを作らなくてはいけないかなどの規制の問題はその程度も含めて難しい問題になろう。この技術革新による労働市場の喪失が議論になっているが、確か

に消える職種もあるだろうが、新たに生まれる職種や需要もあり、労働市場の変質という言葉のほうが正しいだろう。産業構造の変化は市場を通して行われるだろうが企業家の戦略により個別企業の盛衰に大きく関わるだろう。

- 先進国、新興国での消費・サービス構造に変化が続いており今後もそれが持続するだろう。まず、ものからサービスへと消費の流れが大きく変わってきている。これは価値観を人生の時間そのものにおく、という考え方の現れであり、必ずしも物の所有にこだわることを最優先としない考え方である。シェアリングなどのビジネス・モデルもこうした流れだ。さらに背景には先進国における中流階層の崩壊によって、ものの所有に経済的限界が出てきているという見方があり、ものは安価な機能志向に大勢が移っている。また、ものの消費では自分の趣味の1点のみ豪華にするT字型消費も特徴的である。アメリカに端を発した大メーカー、量販店型スーパー、TVコマーシャルなどの広報の3つを核とするマーケティングのやり方は時代遅れ感が益々進む。同一国内格差やジェンダー問題などが消費構造変化のその他の要因である。

日本

- 日本の場合は上記の世界の流れの中に基本的に入るわけだが、いくつかの特徴的事象もあり、また日本としてある程度政策遂行の余地があり、それをどう見るかが重要。最大の問題は人口減少と財政危機だというのは大方の見るところだ。
- 少子高齢化の問題は政策が効くまでの時間がかかる。まず少子高齢化を前提としたその対応策を考えるということも重要だが少子化の流れを転換するのだ、という前向き対応も必要で世論も早晚そちらに転換するのではないか。少子化の反転はフランス、北欧などで成果が上がっているが移民の影響を指摘する向きもあり、諸外国の政策精査が必要だろう。
- 実質成長を平均で2%を維持するのは難しい課題。そうした基調の下で財政の問題は依然深刻。なかでも社会保障費の問題が大きく、ここを削る抜本的合意を得るのは難しい。一方で教育、科学技術、防衛などの分野に予算を回せるような論理構築が急がれる。技術革新による医療費、介護費の削減を前提にした科学技術予算の増加など。
- 社会インフラの老朽化や自然災害の脅威の拡大などは所与のものと受け取る必要がある。一方でこの分野での技術革新や防災学などの比較的新しい学際分野の進展を視野に入れる必要がある。
- 原子力発電の位置づけとエネルギー問題については、今後とも議論を続けていくことが必要。
- 働き方改革、一億総活躍、女性進出、地方創生など反対する人は少ない。競争力を強化しつつこれらの政策実施手法のアイデア出しはまだ充分ではない段階である。

科学技術・その他

- 科学技術のいわゆるデュアルユースについての問題意識が高まる。また生命科学や人工知能を含む情報科学の進歩を脅威と考える人たちが増加しているとの声もある。従って人間の尊厳といった哲学的問題からプライバシー問題などの社会問題、自動運転などの法律問題などいわゆる ELSI が重要視されている流れはさらに大きくなる。
- ELSI を科学技術の側から超えねばならぬ手続きとして理解するのではなく、これから

の科学技術が社会的に支持されるためにも中心となる課題である。その為にも自然科学と人文社会科学の問題意識の融合や対話が喫緊の課題である。

- なお、異分野の意見をわがことのように理解するのがリベラルアーツの本質だとすれば、自然科学〔理科〕と人文社会科学〔文科〕の壁を越えること、地域文化の壁を越えて納得できるグローバリズムを考えること、産学の協同を進めて理論と実践の壁をこえることの3分野こそが現代におけるリベラルアーツではないか。
- 人工知能や生命科学は研究者の倫理を確立するのはもちろんのこと、社会としての倫理の確立が要求される。これをなしうるのが現代のリベラルアーツであるべきだ。
- 前述したが民主主義先進国や国際機関が相対的に科学技術予算をこれまでと同じように確保できるかどうかわからない。体制国家との比較や市場原理の上手な使い方を議論すべき時代だ。
- 国・企業・組織がパワーの根源としての科学技術の争奪になるような状況を考えておくべきだ。10年前の中国とグーグルの戦いはこの先鞭だと考えるべきだ、従って企業の脱国籍化などが科学技術の開発競争を契機として起こることもありうる。
- 情報化の進展はいわゆる「フラット化する世界」を生まなかった。技術にアクセスできる者とできない者の分断は次の5年でより大きな問題になるだろう。

以上

2. 各分野の俯瞰報告書の概要

俯瞰報告書（2017年）では、分野ごとに、俯瞰対象分野の全体像（俯瞰の構造と範囲、研究開発の歴史・変遷、研究開発を取り巻く現状、今後の展開と日本の研究開発戦略の方向性）を記述するとともに、全分野を通じて25俯瞰区分・168研究開発領域について、国内外の研究開発動向や科学技術的・政策的課題等とともに、日・米・欧・中・韓等の国際比較（基礎研究／応用研究・開発フェーズごとの現状・トレンド）などの情報をまとめている。

なお研究開発領域ごとの国際比較については、2015年版までは基礎研究／応用研究・開発／産業化の三つのフェーズで評価をしていたが、2017年版では産業化を開発に含め基礎研究／応用研究・開発の二つのフェーズで評価することとした。評価は、一つの研究開発領域あたり2～3名程度の専門家の評価に加え、CRDSでの調査結果を踏まえて総合的に評価した。各国の状況や評価の際に参考した根拠などは、各分野別の俯瞰報告書に記載している。

次頁以降は、分野毎に俯瞰報告書の概要をとりまとめたものである。詳細な内容は各分野の報告書を参照いただきたい。

エネルギー分野	: 3 俯瞰区分・31 研究開発領域
環境分野	: 4 俯瞰区分・15 研究開発領域
システム・情報科学技術分野	: 6 俯瞰区分・36 研究開発領域
ナノテクノロジー・材料分野	: 7 俯瞰区分・37 研究開発領域
ライフサイエンス・臨床医学分野	: 5 俯瞰区分・49 研究開発領域

なお、研究開発戦略を立案する際に参考になる重要な主要国の研究開発戦略については、「主要国の研究開発戦略」として別冊で作成した。「主要国の研究開発戦略」では、主要国の政府機関が公表する文書等の中から、日本の研究開発戦略を作る上で最低限知っておくべき重要な文書等を抽出し概説しているので合わせて活用いただきたい。

研究開発の俯瞰報告書概要

エネルギー分野 (2017年)

JST研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット

① 分野の範囲と構造

■ 分野の特徴と俯瞰の基本方針

- 持続可能な社会の実現 (社会的期待) に向けて、3E+S の同時克服を目指した研究開発が必要
- エネルギー分野は社会課題解決に向けた総合的分野であり、関係する科学技術 (構成要素) は広範に亘る (機械工学、電気工学、化学工学をはじめ、ナノテク・材料、ICT、バイオすべてを含む)



■ 31 研究開発領域を設定し俯瞰分析

- 資源開発技術
- 火力発電
- CCUS
- 原子力炉
- 核融合炉
- 原子力安全
- 燃料管理・処分
- 太陽光
- 風力発電
- 地熱発電
- バイオマス
- エネルギーシステム評価
- 分散協調型EMS
- スマートビル・ハウス
- 断熱・遮熱・調光
- 蓄電技術
- 蓄熱技術
- 熱再生・利用技術
- エネルギーキャリア
- 燃料電池
- パワーエレクトロニクス
- 直流送電・超電導送電
- モーター・トランス磁石材料
- 照明・ディスプレイ
- 触媒
- 分離
- 燃焼 (全般)
- エンジン燃焼 (自動車)
- トライボロジー
- 耐熱材料
- 高強度軽量材料

③ 科学技術トピックス

これまでの歴史を見ても、時間をかけて効率を上げていくという側面が強い分野。その中でも世界で新しい、あるいは注目を集めているものは下記の通り。

- 空中風車：空中に浮遊させる形の風力発電
- バーチャルパワープラント (VPP)：多数の小規模な発電所や、電力の需要抑制システムを一つの発電所のようにまとめて制御を行うシステム
- ペロブスカイト太陽電池：ハロゲン化鉛系ペロブスカイトを利用した太陽電池。変換効率は2009年の3.9%から2016年には最大21.0%に著しく性能向上
- 全固体電池：ポストリチウムイオン電池。硫化物系、イオン液体、濃厚電解液系などの電解質
- 太陽熱発電プラントに併設する化学蓄熱：溶融塩や化学反応を利用した中温潜熱蓄熱システム
- 調光窓 (ガラス)：スイッチで太陽光・熱を効果的に遮って冷暖房負荷を低減する省エネルギー型ガラス
- ケミカルループ燃焼：金属酸化物を酸化剤として媒介利用し、CO2分離回収
- 高エントロピー合金：多種類の元素をほぼ等原子量含む合金。優れた高温強度、拡散速度などの物理特性を有する。
- セルロースナノファイバー：植物由来の素材で、鋼鉄より軽く、数倍の強度等の特性を有する。

② 研究開発動向・研究開発 (科学技術) 政策

国	研究開発	政策
日本	基礎研究、応用開発を総合的に考えた際に、世界を先導している研究領域としては、火力発電、蓄電池、燃料電池、磁石 (モーター・トランス)、耐熱材料。	「エネルギー・環境イノベーション戦略」において、エネルギーシステム統合技術、パワエレ、センサ、超電導、革新的生産プロセス、超軽量・耐熱構造材料、蓄電池、水素等製造・貯蔵・利用、太陽光発電、地熱発電、CO2固定化・有効利用を革新技術として指定。
米国	高いレベルにある領域は、シェール開発に代表される探掘技術、CCUSにおける燃焼前CO2回収技術、それに関連する分離技術、地熱発電、原子力安全、燃焼やトライボロジーなど。またICT活用という点で分散協調型EMS、スマートビル・ハウスなどにも優位性。遮熱、調光、有機ELに強み。	基礎における重点分野は、水素、太陽エネルギー利用、超伝導体、固体発光素子、核エネルギー、輸送燃料のクリーン高効率燃焼、ジオサイエンス、蓄電、材料、炭素回収など。最近の注目動向としてものづくり回帰の傾向、先進製造技術 (パワエレや構造材料など) も注力
欧州	全領域で研究開発レベルが高く活発。技術優位性に貢献する国は、主に独、次いで仏英。アイスランド、イタリアなどでの地熱発電、オランダ、ベルギー、ノルウェーが太陽光発電、ヒートポンプ技術では、デンマークが貢献。高強度軽量材料のセルロースナノファイバーでは森林国のフィンランド、スウェーデンが積極的に研究を推進	2015年新SETプラン上の焦点分野は、再生可能エネルギー、消費者向けスマートエネルギーシステム、エネルギー効率向上、持続可能な輸送技術、そして特にCCSと原子力の安全強化
ドイツ	「10のエネルギーアジェンダ」にて、①エネルギー貯蔵、②未来の送電ネットワーク、③スマートシティの重点分野の研究開発を推進。2016年、BMBWFが「エネルギー転換に関するコベルニクス・プロジェクト」を発表。新ネットワーク構造、余剰電力の貯蔵「Power-to-X」、社会的受容も含めた産業化プロセス、エネルギーシステム・インテグレーションの4つの領域。	何れの区分も研究開発レベルが高く、注目すべき活動を多数展開。
英国	「成長計画」で今後投資すべき「八大技術」の一つとして、エネルギー貯蔵。産学協同の研究開発拠点である「カタリットセンター」では、海上再生可能エネルギー、エネルギーシステム、未来都市、輸送システムの4つ。	
フランス	原子力全般 (新型原子炉、核融合炉、原子力安全) において世界の研究開発をリード。結晶Si太陽電池、スーパーキャパシタ、PtCo合金およびカーボンアロイ触媒など燃料電池、磁石などの材料・デバイス開発に強み	2016年「国家エネルギー研究戦略」を策定
中国	火力発電、A-USC、IGCC、国産ガス化炉の技術開発に積極的。核融合炉領域では、核融合工学試験炉の建設を政府に提案中。キャパシタ技術に関して、車載用蓄電池の研究に強み	「エネルギー技術革命イノベーション行動計画 (2016-2030年)」及び「エネルギー技術革命重点イノベーション行動ロードマップ」を発表し、15項目の重点イノベーション領域を提示
韓国	ペロブスカイト太陽電池、リチウムイオン電池、超電導、有機EL材料や有機ELディスプレイに強み	「エネルギー革新技術プログラム」の推進の方向性として、分散化、クリーン化、効率化、安全、知能化。17の技術プログラムを指定

④ 日本の大学等の強み

- [核融合] レーザー核融合については阪大が国内で唯一取組み
- [CCU] 光触媒コミュニティの論文が世界的に引用
- [バイオマス] バイオリファイナリに関して神戸大学に拠点が形成
- [パワエレ] パワー半導体について京大と名大に拠点が形成。京大はSiC、名大はGaNに強み。
- [蓄電池] ポストLIBについて、NEDO-RISING、ALCA次世代蓄電池、元素戦略 (触媒・電池拠点) により、オールジャパンで推進。
- [燃料電池] PEFCの触媒について低 (非) 白金化の研究開発が盛ん。同志社大、山梨大、東工大、群馬大、横浜国大、九大が優位。
- [磁石] NIMSおよび東北大に拠点が形成。NIMSは評価技術、東北大は材料技術に強み。
- [調光] 産総研がガスクロミック方式調光ミラーシートやブルシアンプルーを用いた調光材料、千葉大学が銀の電解析出を用いた調光材料、NIMSが金属錯体を用いた調光材料の開発。
- [照明・ディスプレイ] 有機ELについて、山形大および九大に拠点が形成。山形大はデバイス技術に、九大は材料技術に強み。
- [耐熱材料] Ni基超合金、Ti-Al合金、Mo-Si-B合金に関して、各々国際的にも見ても優位な研究拠点が、NIMS、東工大、東北大に形成。
- [高強度軽量材] 京大は低コストのセルロースナノファイバー新製造方法。東大は、触媒を用いてセルロース解糖を促進、効率よく製造する技術を確立。

⑤ 世界の技術革新の潮流

研究開発の特徴は、“all of the above”

- 低炭素化 (エネ高効率化・省エネ化) への対応
 - 火力、CCS (二酸化炭素の回収・貯蔵)
 - 原子力、核融合
 - 太陽光、風力、地熱
 - 熱再生利用、蓄熱、断熱・遮熱
 - 燃焼、トライボロジー
 - 耐熱材料、高強度軽量材料
 - BEMS/HEMS, ZEB/ZEH
- 再生可能エネルギーの大量導入時 (負荷変動、分散、直流など) への対応
 - 調整力付火力
 - 分散型EMS
 - 直流送電 (超電導含む)
 - エネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクス、磁石 (モーター)
- エネルギー資源 (石炭、石油から天然ガス、バイオマス資源、再生可能E由来電力) 変遷への対応
 - エネルギーキャリア、燃料電池
 - CCU (二酸化炭素の有効活用)、バイオマス、触媒
- 原子力の安全性や廃炉などへの対応

⑥ 日本の挑戦課題

- 再生可能エネルギー大量導入時代 (2040~2050年) を見据えた研究
 - 新しいエネルギーネットワーク
 - ICTを利用した分散管理型の電力潮流制御方法
 - 電力の市場取引メカニズム
 - 将来のエネルギー需給構造変化に呼応したモデル開発と評価
 - エネルギーと熱の総合利用
 - エネルギー利用に関わる人間の行動科学
 - 高度炭素・水素循環利用のための革新的反応・分離
 - CO2分離・回収技術
 - CO2変換技術
 - 水素製造 (水分解)・貯蔵技術 (エネルギーキャリア)
 - 燃料電池 (中温作動電解質、水素以外の燃料等)
 - メタン等変換技術
 - バイオリファイナリ (ホワイトバイオ)
 - エネルギーの高効率利用 (低炭素化) に資する先進製造基盤研究
 - 材料技術の耐熱性・耐衝撃性向上、高強度軽量化、マルチマテリアル化
 - 加工技術、トライボロジー技術、振動抑制技術の高機能化・高精度化
 - 大規模構造体連成解析技術 (熱流体、燃焼、構造強度、振動、潤滑、材料、電磁気、化学等要素技術の統合化)
- 体制面の課題
 - ◆ 縦割り、細分化された教育、研究体系
 - ◆ 大学における工学のあり方
 - ◆ ファンディングが先端応用研究に偏重
 - ✓ 先端研究と同時に基盤研究にも取組めるような仕組み (体制) づくり
 - ◆ 教育と研究の連携、基礎研究と応用研究・開発の一層の連携 (府省の連携)

2.1 エネルギー分野の概要

エネルギーは人類が社会・経済活動を営む上で必要不可欠なものである。持続可能な社会の実現に向けて、3E+Sの同時克服を目指した研究開発が必要となる。

※ 3E+S：安全性 (Safety)、エネルギーの安定供給 (Energy security)、経済効率性の向上 (Economic efficiency)、環境への適合 (Environment)

エネルギー分野は社会課題解決に向けた総合工学分野であり、関係する科学技術（構成要素）は広範に亘る（機械工学、電気工学、化学工学をはじめ、ナノテク・材料、ICT、バイオすべてを包含）。

ここでは、「エネルギー供給」、「エネルギー利用」、「エネルギーネットワーク」の3区分を勘案して俯瞰調査を行った。今後も定期的に動向を把握すべき主要な31の研究開発領域を抽出し、研究開発の動向やトピックス、研究課題、国際ベンチマークを整理した。



図2-1 エネルギー分野の俯瞰図

日本、米国、欧州、ドイツ、英国、フランス、中国、韓国の1地域・7国において、31の研究開発領域を中心に研究開発動向（直近2-3年程度）と現在の研究開発（科学技術）政策をまとめたものが次の表となる。

国・地域	概 要	
日 本	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> 基礎研究、応用開発を総合的に考えた際に、世界をリードしている研究領域としては、火力発電、蓄電池、燃料電池、磁石、耐熱材料。 世界トップクラスにあるものとしては、CCUS、太陽光発電、地熱発電、分散協調型 EMS、パワエレ、蓄熱、ヒートポンプ、触媒、燃焼などが該当。 逆に欧米に比して、日本が弱い領域として、新型原子炉、エネルギーシステム評価（モデル）、HEMS/BEMS (ZEB/ZEH) などが該当。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> 科学技術・イノベーション戦略で「エネルギーバリューチェーンの最適化」において、エネルギープラットフォームの構築、およびクリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化、水素社会の実現に向けた新規技術や蓄電池の活用等によるエネルギー利用の安定化、新規技術によるエネルギー利用効率の向上と消費の削減、革新的な材料・デバイス等の幅広い分野への適用、が挙げられている。 「エネルギー・環境イノベーション戦略」において、エネルギーシステム統合技術、パワエレ、センサー、超電導、革新的生産プロセス、超軽量・耐熱構造材料、蓄電池、水素等製造・貯蔵・利用、太陽光発電、地熱発電、CO₂ 固定化・有効利用が革新技術として指定。
米 国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> 高いレベルにある領域は、シェール開発に代表される採掘技術、CCUS における燃焼前 CO₂ 回収技術、それに関連する分離技術、地熱発電、原子力安全、燃焼やトライボロジーなど。また ICT 活用という点で分散協調型 EMS、スマートビル・ハウスなどにも優位性。 デバイス等の要素技術については、必ずしも多くないが、遮熱、調光、有機 EL に強み。またパワエレのように多数の大学に研究センターが設立され、研究開発に企業も巻き込んで活発に展開。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> 基礎における重点分野は、水素、太陽エネルギー利用、超伝導体、固体発光素子、核エネルギー、輸送燃料のクリーン高効率燃焼、ジオサイエンス、蓄電、材料、炭素回収などである。研究アプローチの方法としては計算材料科学などシミュレーションを基盤とする技術やナノ・マイクロからマクロをつなぐメソスケール科学の視点を重視。 応用分野では、車両技術、バイオエネルギー技術、水素・燃料電池技術、太陽光・風力・水力・地熱による発電技術、家庭・ビル・産業での効率向上として先進製造、ビルディング技術、CCS 技術、電力グリッド近代化、燃料サイクルなど幅広い分野にまたがる。 最近の注目動向としてもものづくり回帰の傾向があり、先進製造技術（パワエレや構造材料など）に対して DOE（エネルギー省）等がファンディング
欧 州	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> 世界トップクラスにある技術として、資源開発、核融合、原子力安全と使用済燃料処理、結晶 Si 系の太陽光発電、洋上風力、地熱、バイオマスの燃焼とガス化、エネルギーシステム評価技術、分散協調型 EMS、直流送配電等、パワエレ、蓄電、蓄熱、エネキャリ、ZEB、断熱・遮熱、高温ヒートポンプ、触媒、随伴水・汚染水、希少金属の分離、エンジン燃焼、燃焼技術、トライボロジー、耐熱材料、CFRP、セルロースファイバーなどの高強度軽量材料。 これらの技術優位性に貢献する国は、主に英仏独であるが、それ以外では、アイスランド、イタリアなどでの地熱発電、オランダ、ベルギー、ノルウェーが太陽光発電、ヒートポンプ技術では、デンマークが貢献。高強度軽量材料のセルロースナノファイバーでは森林国のフィンランド、スウェーデンが積極的に研究を進める。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> 2015 年新 SET プラン (Integrated Strategic Energy Technology [SET] plan) を採択。この焦点分野は、再生可能エネルギー、消費者向けスマートエネルギーシステム、エネルギー効率向上、持続可能な輸送技術、そして特に CCS と原子力の安全強化。 Horizon 2020 : 3 本柱 (卓越した科学、産業界のリーダーシップ確保、社会的課題への取り組み) で構成。エネルギー分野は、「社会的課題への取り組み」に属し、ゼロ・エミッションに近い建物、低価格かつ低環境影響の電力供給、分散された再生可能エネルギー源をつなぐ欧州レベルでの送電網といったテーマが挙げられている。

		<ul style="list-style-type: none"> • JTI (Joint Technology Initiative) : 産業界が研究プロジェクトの資金の 50%以上を拠出。総額は 30 億 € 超。6 テーマの内、エネルギー関連は、燃料電池と水素。
ドイツ	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 高い研究開発レベルを維持している領域は、太陽光発電、風力発電、直流・超電導送配電、パワエレ、蓄電デバイス、蓄熱、照明・ディスプレイ、熱再生利用、触媒、エンジン燃焼など幅広い。 • 太陽光発電では、フラウンホーファー研究所を中核に、結晶 Si 系の要素技術や CIS 太陽電池、ペロブスカイト太陽電池等の基礎研究や集光型太陽電池モジュール開発など、非常に高い研究水準を維持。 • 風力発電では、将来的な風車設計技術確立に向けた風車後流や乱流に関する研究などフレームワーク計画の多様な研究開発プロジェクトを分担実施しつつ、積極的に洋上風力の研究開発も進め、シーメンスなどの有力なプレーヤが実用化につなぐ。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 2014 年発表「10 のエネルギーアジェンダ」のエネルギー研究 (2011 年「第 6 次エネルギー研究プログラム」の継続) にて、①エネルギー貯蔵、②未来の送電ネットワーク、③高効率エネルギーを利用したスマートシティの重点分野の研究開発を推進。 • その他のエネルギーアジェンダは以下の通り。グリーンエコノミー、バイオエコノミー、持続可能な農業生産、資源の確保、都市のエネルギー消費効率化、エネルギー高効率な建築、持続可能な消費。 • 2016 年 4 月に、連邦教育研究省が、4 つの「エネルギー転換に関するコペルニクス・プロジェクト」を発表。プロジェクトは、マックスプランク研究所により発案され、新ネットワーク構造、余剰電力の貯蔵“Power-to-X”、社会的受容も含めた産業化プロセス、エネルギーシステム・インテグレーションの 4 つの領域。今後 10 年間、アーヘン工科大などのアカデミア、シーメンス社などの産業界、市民社会が連携してエネルギーシステムの転換に必要な技術的、経済的解決策を生み出していく。研究参加者の 1 割は社会学者。
英国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 風力発電では、風車・タービン設計や風洞試験などの基礎研究、ケーブル敷設、発電量予測評価、浮体式洋上風力発電の実証プロジェクトなど、各成熟段階において先駆的な位置づけにある。 • ケンブリッジ大学やリーズ大学など複数の大学がリードするトライボロジー研究開発があり、グリーン・トライボロジーは、今後の研究開発動向に注目
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 成長計画で今後投資すべき八大技術 (Eight Great Technologies) の一つとして、エネルギー貯蔵。 • 地理的・気候的特徴を生かした海洋エネルギーを重要な位置付け、特に洋上風力の開発推進後押し。 • 産学協同の研究開発拠点であるカタパルトセンターが、主要企業や大学等と分野横断的な産業クラスターを形成し、研究成果とイノベーションの架け橋として機能。エネルギー関連では、海上再生可能エネルギー、エネルギーシステム、未来都市、輸送システムの 4 つ。
フランス	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 原子力全般 (新型原子炉、核融合炉、原子力安全) において世界の研究開発をリード。特に新型原子炉では、ナトリウム冷却高速炉 ASTRID プロジェクトや欧州を中心に進められているガス冷却高速炉 ALLEGRO の研究開発を推進。 • 結晶 Si 太陽電池、スーパーキャパシタ、PtCo 合金およびカーボンアロイ触媒など燃料電池、磁石などの材料・デバイス開発に強み。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 「国家研究戦略」(France Europe 2020 SNR) の 10 の社会的課題のうち、①持続可能な資源開発と気候変動への適応、②安全・クリーン・効率的なエネルギー、③交通と持続可能な都市システムがエネルギー関連。 • 「イノベーションのための原則と 7 の大志」の 7 つの戦略分野：エネルギーの貯蔵 • 公的研究機関と民間企業の連携を進め、基礎研究成果の産業活用を目的とした「カルノー機関」である Énergies du Futur が、再生エネルギー供給、水素システム、送配電、蓄電、CO2 貯蔵、材料開発等のエネルギー新技術開発に取り組む。

中 国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> 火力発電領域では、A-USC、IGCC、国産ガス化炉の技術開発に積極的。核融合炉領域では、核融合工学試験炉の建設を中国政府に提案中。 キャパシタ技術に関して、車載用蓄電池の研究に強み。 真空断熱材の長寿命・低コスト化、高性能低放射ガラス等の安定生産と大規模化、希少金属の分離技術の選鉱プロセス開発などに積極的。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> 『第 13 次 5 ヵ年』科学技術発展計画 (2016-2022 年) における「国家重点研究開発プログラム」では、「新エネルギー自動車」が掲げられる。また、「第 13 次 5 ヵ年科学技術イノベーション計画 (2016-2020 年)」では、イノベーション重点プロジェクトとして「航空機エンジンおよび内燃タービン」が、イノベーション重点事業として「石炭のグリーン化・高効率利用」の研究開発が掲げられる。 「エネルギー技術革命イノベーション行動計画 (2016-2030 年)」などを発表し、水素エネルギー及び燃料電池技術イノベーション、先端エネルギー貯蔵技術イノベーションなどの 15 項目の重点イノベーションを提示。
韓 国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> ペロブスカイト太陽電池の研究開発では世界のトップレベル。また、核融合原型炉 K-DEMO の設計が開始されている点の特徴。 リチウムイオン電池についてサムソン、LG を中心に応用開発に関する実力は非常に高い。政府として電池材料の国産化にも注力。また超電導においても 2016 年に入り Y 系線材の価格が、Bi 系と同等かそれ以下を実現したとの報道もある。より長いケーブルプロジェクトの検討も進む。 有機 EL 材料や有機 EL ディスプレイ、量子ドットディスプレイについてもサムソンや LG が国内外の大学に資金を出し、精力的に研究開発に取り組んでおり、世界でトップ。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー革新技術プログラム “Energy Innovation Architecture 2025” の推進の方向性として、分散化、クリーン化、効率化、安全、知能化。17 の技術プログラムを指定: 1. 次世代戦略資源開発、2. 高効率クリーン火力発電、3. 国民安心原子力発電、4. 再生可能エネルギーのハイブリッドシステム、5. 次世代クリーン燃料、6. 次世代送配電、7. スマートホーム・ビル、8. スマート FEMS、9. スマートマイクログリッド、10. エネルギーネガワットシステム、11. 需要対応型 ESS (エネルギー貯蔵システム)、12. CCUS (CO2 捕集 / 活用 / 保存)、13. 未来のエネルギー発電、14. ワイヤレス電力送受信、15. 未来高効率エネルギー変換 / 保存、16. 3D プリンティングベース最新の製造プロセス技術、17. エネルギー IoT+ ビッグデータプラットフォーム

以上、世界の研究開発 (科学技術) 政策、および研究開発動向から総合的に判断するとエネルギー分野における世界の研究開発の主な潮流は下記の 4 点に集約されるといえる。

1. 低炭素化 (エネルギー高効率利用・省エネルギー) への対応
2. 再生可能エネルギーの大量導入時への対応
3. エネルギー資源 (石炭、石油から天然ガス、バイオ資源、再生可能エネルギー由来電力) 変遷への対応
4. 原子力の安全性や廃炉などへの対応

1. は、火力、CCS、原子力、核融合、太陽光、風力、地熱、熱再生利用、蓄熱、燃焼、トライボロジー、耐熱材料、高強度軽量材料、BEMS/HEMS といった研究開発領域が、2. は、調整力付火力、分散協調型 EMS、直流送電 (超電導含む)、エネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクス、磁石 (モータ・トランス) が、3. は、エネルギーキャリア、燃料電池、CCU、バイオマス、触媒といった領域が該当する。4 は福島事故を受けて、世界的に取り組みが実施されている。

上記及び、社会・経済の動向や現在の国のエネルギー分野の研究開発ファンディングの状況、CRDSで開催したワークショップの結果も踏まえ、日本がこの2～3年の間に国として重点的に大学・国研等を中心とした取組みを検討すべきエネルギー分野の研究開発テーマは下記の通りとした。

1. 再生可能エネルギー大量導入時代に向けた

- ・新しいエネルギーネットワーク（システム）
- ・高度炭素・水素循環利用（電力・基幹物資コプロダクション）のための革新的反応・分離

2. エネルギーの高効率利用（低炭素化）に資する先進製造基盤技術

2. の例としては、「材料技術の耐熱性・耐衝撃性向上、高強度軽量化、マルチマテリアル化」、「加工技術、トライボロジー技術、振動抑制技術の高機能化、高精度化」、および「大規模構造体連成解析技術」等が挙げられる。

なお、今後の再生可能エネルギー大量導入を見据え、エネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクスなどが、また省エネルギーに向け、構造材料をはじめその他の領域も重要であり、現在内閣府、経済産業省、文部科学省で取組まれているプログラムやその発展・深化が必要である。

国際比較表まとめ (エネルギー分野)

【エネルギー供給(製造・転換)】

国	フェーズ	エネルギー資源開発技術		火力発電		CCUS(Carbon Capture Utilization and Strage)		新型原子力炉		核融合炉		原子力安全		使用済燃料等の処理処分・廃止措置		風力発電		地熱発電	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	◎	→	◎	↑	◎	→	△	↓	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	→	◎	→	○	→	△	→	○	↓	◎	→	○	→	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	○	↑	○	↑	◎	↑
欧州	基礎	◎	→	◎	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→
	応用・開発	◎	→	◎	→	△	↓	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑
中国	基礎	○	→	○	→	○	→	△	→	○	↑	○	↑	○	↑	△	→	△	→
	応用・開発	○	→	◎	↑	○	→	○	↑	◎	↑	○	↑	△	→	△	→	△	→
韓国	基礎	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	○	→	○	→	△	↓	△	→
	応用・開発	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	○	↑	○	↑	△	↓	△	→

国	フェーズ	太陽光発電												バイオマス	
		結晶Si太陽電池		化合物薄膜太陽電池		有機薄膜型太陽電池		超高効率集光型		ペロブスカイト太陽電池		太陽光発電システム		現状	トレンド
日本	基礎	○	↑	◎	↑	○	↓	◎	↑	○	↑	○	↑	◎	→
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	△	→	○	↑	○	→
米国	基礎	○	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	○	→	○	→	◎	↑
	応用・開発	○	↑	◎	↑	○	→	○	↓	△	→	○	→	○	→
欧州	基礎	◎	→	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	→
	応用・開発	◎	→	△	→	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	→
中国	基礎	△	↑	△	→	○	↑	×	→	○	↑	—	—	○	↑
	応用・開発	○	↑	△	→	△	→	△	→	—	—	△	→	○	↑
韓国	基礎	△	↓	△	→	○	→	×	→	◎	↑	—	—	○	→
	応用・開発	○	↓	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→

【エネルギーネットワーク(貯蔵・輸送)】

国	フェーズ	エネルギーシステム評価		分散協調型エネルギーマネジメントシステム		直流送配電・超電導送配電		パワーエレクトロニクス		蓄電デバイス						蓄熱技術		エネルギーキャリア	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	リチウムイオン		フロー電池		キャパシタ		現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	○	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	○	→	○	↑	◎	↑	○	↑
	応用・開発	○	→	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	→	◎	→	○	→	◎	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	○	↑	○	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	△	↑	◎	↑	○	→	○	→	○	↑
欧州	基礎	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	○	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	△	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	↑	○	↑	○	→	○	↑	△	↑	◎	↑	○	↑	△	→
	応用・開発	○	↑	○	→	○	↑	△	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	○	→	△	→
韓国	基礎	○	→	△	→	○	↑	△	→	○	↑	△	→	△	↓	○	→	△	→
	応用・開発	○	→	△	→	◎	↑	△	→	◎	↑	△	→	△	↓	○	↑	△	→

【エネルギー利用(省エネ)】

国	フェーズ	燃料電池		モーター・トランス磁石材料		スマートビル・ハウス		断熱・遮熱・調光				照明・ディスプレイ				熱再生利用技術			
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	断熱・遮熱		調光		有機EL		量子ドットLED等		理論		ヒートポンプ	
								現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	◎	↑	○	→	△	↓	◎	↑	×	→	△	↓	△	→	△	↓	◎	→
米国	基礎	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	→	○	↑	◎	→
	応用・開発	○	→	○	↓	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	△	→	○	→
欧州	基礎	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	○	→	○	↓	○	→	◎	↑
	応用・開発	○	→	△	↓	◎	↑	◎	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑
中国	基礎	△	↑	○	↑	○	→	△	↑	○	↑	×	→	○	↑	○	→	△	→
	応用・開発	△	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	○	↑	△	↑	×	→	◎	↑	△	↑
韓国	基礎	△	→	△	→	○	→	○	↑	○	→	○	↑	◎	↑	△	→	×	→
	応用・開発	○	↑	△	↑	○	↑	○	→	×	→	◎	↑	○	→	△	→	○	→

国	フェーズ	触媒		分離技術						燃焼(全般)		エンジン燃焼(自動車)		トライボロジー	
		現状	トレンド	CO ²		随伴水		希少金属		現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	○	↑	◎	→	○	↑	○	→	◎	→	○	→	○	→
米国	基礎	○	→	○	→	◎	→	△	↓	◎	→	○	↑	◎	→
	応用・開発	○	→	◎	→	◎	↑	○	→	◎	→	◎	↑	◎	→
欧州	基礎	◎	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→
	応用・開発	◎	→	△	↓	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	→	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	→	○	→	○	↑	○	↑	△	↑	○	↑
	応用・開発	○	↑	○	→	○	→	◎	↑	△	↑	△	→	△	↑
韓国	基礎	△	→	△	→	△	↓	△	→	○	→	△	→	△	→
	応用・開発	△	→	△	→	○	→	△	↓	△	→	△	→	△	→

国	フェーズ	耐熱材料				高強度軽量材料					
		新材料開発技術		材料損傷・劣化評価技術		炭素繊維複合材料(CFRP)等		アルミニウム合金		セルロースナノファイバー	
		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
日本	基礎	◎	→	◎	↑	○	→	○	↓	◎	↑
	応用・開発	◎	→	○	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑
米国	基礎	○	→	◎	↑	◎	↑	△	↓	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑
欧州	基礎	○	→	◎	↑	◎	↑	△	→	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	△	↑	○	↑	○	→	○	↓	◎	↑
	応用・開発	△	↑	—	—	○	→	○	↑	○	↑
韓国	基礎	△	↓	○	→	△	→	○	↓	△	↑
	応用・開発	△	→	—	—	○	→	○	↑	△	↑

(註1) フェーズ
 基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発（プロトタイプの開発含む）・量産技術のレベル
 (註2) 現状（日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価）：
 ◎：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
 (註3) トレンド：直近2年程度の取り組み状況。↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

エネルギー分野の概要

2.2 環境分野の概要

環境分野を「人が関わる空間および生態系を一つのシステムとして理解し、顕在化した事象への対処のみならず起こりうる事象を予測し対処することで、人と自然の営みを維持・発展させるための研究開発分野」と定義し、「気候変動区分」、「環境汚染・健康区分」、「生物多様性・生態系区分」、「循環型社会区分」の4区分を設定し俯瞰調査を行った。動向を把握すべき主要な15の研究開発領域を抽出し、研究開発の動向やトピックス、研究開発課題、国際ベンチマークをまとめた。

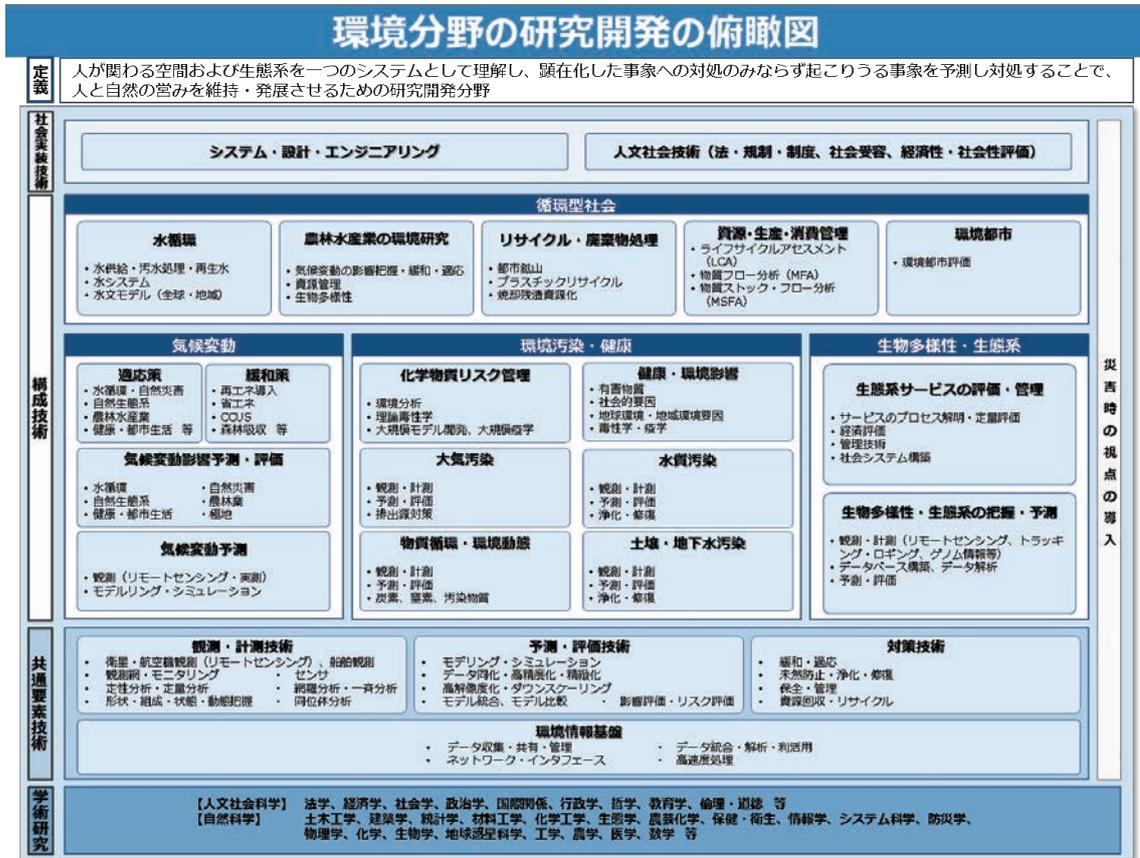


図2-1 環境分野の俯瞰図

日本、米国、欧州、ドイツ、英国、フランス、中国、韓国の1地域・7国について、15の研究開発領域を中心とする研究開発動向 (直近2-3年程度) と現在の研究開発 (科学技術) 政策を以下に示す。

国・地域	概 要	
日 本	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 全体的に研究開発レベルは高いが少数精鋭。生物多様性・生態系区分では欧米豪加が優位。 • 気候変動区分では、温室効果ガス (GHG) 観測衛星、農林業や健康・都市生活、極地への気候変動による影響研究において強み。 • 環境汚染・健康区分では、土壌汚染に関するコンソーシアムが設立。大気中 GHG 濃度や同位体比測定、ノンターゲット分析、薬物の体内動態予測、出生コホート調査、大規模モデル開発など基礎研究が高水準。 • 循環型社会区分では、農業で多面的機能評価や水循環モデル、水管理等が世界を先導。LCA、MFA (物質フロー分析)、MSFA (物質ストック・フロー分析) とともに基礎研究が進展し応用の基盤が強化。様々な評価手法が都市研究に展開、レジリエンス等を含む包括的な定量化理論開発なども拡大。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 第5期科学技術基本計画では、エネルギーの安定的確保とエネルギー利用の効率化、資源の安定的な確保と循環的な利用、持続可能な都市及び地域のための社会基盤の実現、食品安全・生活環境・労働衛生等の確保、地球規模の気候変動への対応、生物多様性への対応を提示。地球環境情報プラットフォームの構築を推進。 • 第四次環境基本計画では、震災復興、放射性物質による環境汚染対策も提示。
米 国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 全ての領域において高い研究開発レベルを維持。 • 気候変動区分は、気候変動予測で基礎・応用ともに世界を先導。気候変動影響では基礎研究が強い。 • 環境汚染・健康区分では、大気汚染や土壌・地下水汚染に強み。物質循環・環境動態では特に衛星観測で世界を先導、モデル研究でも長い歴史。環境・健康影響や化学物質リスク管理も強い。 • 生物多様性・生態系区分では、モニタリングとデータ整備の国際的な発信源であり、衛星観測も世界を先導。InVEST など生態系サービス評価ツールの開発、Eco-DRR など気候変動関連の基礎研究が進展。 • 循環型社会区分では、Food-Energy-Water Nexus の概念のもとパシフィック・ノースウェスト国立研究所 (PNNL) などで全球水文モデルを開発。農林水産業の環境研究は基礎・応用ともに強い。LCA や MFA、MSFA など資源・生産・消費管理では議論の中心であり、戦略物質の優先順位評価と意思決定への活用などの応用研究・開発が進展。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 2017年度における科学技術関連予算の編成方針を示す覚書には、9つの優先分野のうち、気候変動、クリーンエネルギー、地球観測、海洋・北極問題が記載。各省庁で本覚書に基づいた研究開発への予算配分が考慮。 • 環境保護庁 (EPA) では、複合的・複雑化している環境の研究や対策技術について、システムアプローチによる研究開発を推進。エネルギー省 (DOE) や国立科学財団 (NSF) でも食糧・エネルギー・水の複合問題について分野融合の研究を推進。
欧 州	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 全区分で研究開発レベルが高く活発。技術開発だけでなく規格化や政策決定に資する情報構築を進め、ビジネス展開までを視野に入れた戦略を持つ。 • 気候変動区分では様々な EU プロジェクトにて活発な研究開発を推進、基礎・応用ともに強い。 • 環境汚染・健康区分では、越境汚染に敏感で北欧、オランダ、英国を中心に大気汚染モデル研究を推進。水質汚染など問題発掘に積極的に関与。エクスポソームに着目した出生コホート調査を実施中。 • 生物多様性・生態系区分では、基礎から応用まで研究者層が厚い。世界規模のデータベースを維持。生態系サービス評価に関する様々な指標を提案。 • 循環型社会区分では、人間活動を含む複数の全球水文モデルを開発。ウォーターフットプリントなど新概念の提唱と普及には圧倒的な伝統と力がある。リサイクル・廃棄物処理ではプロジェクトが多数発足。特に個別選別技術が世界トップ水準で技術のシステム化にも優れる。資源・生産・消費管理では評価指標を継続的に開発し応用も拡大。気候変動対応のための都市研究や事業化も進む。

	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • Horizon2020 の3本柱の1つ「社会的課題への取り組み」で「気候への対処、資源効率および原材料」を設定（7年間で31億ユーロ）。優先テーマとして、気候変動への挑戦と適応、自然資源・水・生物多様性・生態系の持続可能なマネジメント、非エネルギー系・非農業系の原材料の持続可能な供給、エコ・イノベーションを通じた環境配慮型経済社会への移行、包括的かつ持続的な地球環境観測および情報システムを設定。 • 第7次環境行動計画（2013年）のもと、循環型経済、グリーン経済、競争力のある低炭素経済への転換を推進。
ドイツ	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 何れの区分も研究開発レベルが高く、注目すべき活動を多数展開。 • 気候変動区分として、気候変動予測、気候変動影響予測・評価の領域で高い研究開発レベルを維持。マックスプランク研究所などが中核となり、気候変動モデル開発のEUプロジェクトCRESCENDOに参画。 • 環境汚染・健康区分では、水質汚染、土壌・地下水汚染などで強み。 • 循環型社会区分では、水循環、農林水産業の環境技術、リサイクル・廃棄物処理、資源・生産・消費管理などの領域で優位。全球水文モデル開発では世界を先導。リサイクル・廃棄物処理では、世界トップの都市鉱山向け粉碎・選別技術を有し、国としてのポテンシャルは極めて高い。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 第6次連邦政府エネルギー研究プログラム（2011年）で掲げたビジョン「環境適合性及び信頼性を備えたエネルギー供給構想」に基づき課題や優先事項を設定。低炭素化、エネルギー高効率化、再エネ導入、省エネ、高効率都市、気候保全（炭素管理へのスマートアプローチ）等が該当。その他、放射線防護、気候・気候保護・地球変動、沿岸・海洋・極地・地球科学、環境・持続性の研究、エコロジー・自然保護・持続的利用の分野の研究を推進。 • 気候変動対策の中に、資源効率性の向上、森林管理、草原・湿原保全なども位置付け、気候変動と他の課題を一体的に捉えた対策を実施。
英国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 環境分野の研究開発に歴史と蓄積があり、特に気候変動や生物多様性・生態系などの区分で強み。 • 気候変動区分ではハドレーセンター等が早くから地球システムモデル（ESM）開発を手がけ国際的牽引役。 • 環境汚染・健康区分では、大気モデル開発のレベルが高い。土壌・地下水汚染ではサステイナブルレメディエーションの研究開発が加速、ISO規格提案が進行中。国際窒素管理システム（INMS）を主導。 • 生物多様性・生態系区分では、長期モニタリングと解析から温暖化による生態系変化を明らかにしている。市民によるデータ蓄積、観光統計による生態系サービス情報収集、生態系サービスの貨幣換算評価も推進。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • 地球温暖化の緩和に向けた低炭素社会の構築を国家としての主要な取り組みとして推進。 • 自然環境研究会議（NERC）の主要テーマとして、気候システム、生物多様性、天然資源の持続可能な使用、地球システム科学、自然災害、環境・公害・健康、（環境関連）技術が該当。 • 都市大気汚染と人体影響との関係、レジリエンス、環境破壊に伴い発生する貧困問題、温暖化に伴う諸影響の評価などについて、先進的かつ時勢を得たテーマ抽出とファンディングを実行。
フランス	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> • 特に水循環や農業の領域で存在感を示す。 • 循環型社会区分の水循環では、水メジャーが中東、アジア、アフリカへの展開を意識した応用研究を推進。農業における環境研究では各種予測技術に強み。農業水資源の解析技術では国立科学研究センター（CNRS）や国立環境・農業科学技術研究所（IRSTEA）の活動が代表的。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> • EUのHorizon2020との整合性を重視したSNR France Europe 2020では、社会的課題として、資源管理および気候変動への対応、持続可能な輸送と都市システム、横断的テーマとして、地球系：観測、予測、適応などが記載。

		<ul style="list-style-type: none"> GHG削減努力とともにEUも推し進める循環型経済（Circular Economy）への移行も推進。 3大水メジャーのうちの2つ（スエズ、ヴェオリア）を創出し世界水フォーラムを間接的に主催するなど各国の水政策に影響力を保持。
中 国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> 全体的に他国・地域と比較して顕著な成果はみられないものの、精力的に研究開発を推進。 気候変動区分では観測衛星打ち上げや地球システムモデル（ESM）開発など国家的にテコ入れ。北極では砕氷船整備や小型衛星開発を進め応用研究が進展。 環境汚染・健康区分では、中国科学院傘下の研究所や大学で「国家重点実験室」研究が進行中。 生物多様性・生態系区分では、近年急速に研究者人口が増加しデータベース整備も組織的に実施。生態系サービスの評価研究も上昇傾向。 循環型社会区分では、膜分離活性汚泥法（MBR）などの実証規模研究を実施。政府が関心を持つ希少資源についてはMFA研究が活発化。LCAなどの手法を用いた都市の評価研究が急速に進展。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> 「国家イノベーション駆動発展戦略綱要」（2016～2030年）では戦略的ミッションを設定。「知的・グリーンな製造技術の推進」「グリーン・安全・高効率な現代農業技術の推進」「グリーン・安全・高効率なエネルギー技術の推進」「資源の高効率利用技術と生態保護技術の推進」などが記載。 グリーン・低炭素という循環型発展モデルの推進が求められているとの認識において、エネルギー開発一辺倒ではなく環境配慮を重視。
韓 国	研究開発動向	<ul style="list-style-type: none"> 環境都市領域において基盤整備や評価研究、気候変動影響の展開が顕著とされている。それ以外に、世界を先導する研究開発や成果、大きな特徴はみられない。
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> 第3次科学技術基本計画（2013-2017年）における環境関連項目では、①クリーンで便利な生活環境の構築として、気候変動対応力の強化（CCS）、環境保全・復元システムの高度化（汚染物質制御および処理技術）、生活空間の便利さの向上（高効率エネルギー建築物技術、未来先端都市建設技術）、②安全安心な社会の構築として、自然災害予防と被害の最小化（自然災害モニタリング・予測・対応技術）、社会的災害対応システムの確保（原子力安全確保技術、社会的複合災害予測・対応技術）を提示。

以上、世界の研究開発（科学技術）政策および研究開発動向から総合的に判断し、環境分野における世界の研究開発の主な潮流を6点抽出した。

1. 統合化

- 気候変動や汚染、生態系、資源利用なども含めた統合的研究への発展
- 地球システムモデル（ESM）への関連要素の取り込み
- Food-Energy-Water Nexus 概念の反映
- 環境面・社会面・経済面を考慮した持続可能性の概念の反映

2. 大規模化

- 衛星観測による情報の質・量・種類の飛躍的向上
- 人間活動データや地球観測データを活用した健康影響の把握
- 出生コホート調査やエクスポソームの把握
- 水銀などの有害物質の全球動態モデル

3. 高度化

- 代謝研究・分析技術の進展によるAOP（Adverse Outcome Pathway）への注目
- 同位体研究の進展による物質循環理解の深化
- 医薬品および日用品等由来化学物質（PPCPs）やマイクロプラスチックなど新たな

- な汚染物質の認識と対応
- ・選別技術をはじめとするリサイクル技術の高度化
- 4. 可視化
 - ・モデル比較、ダウンスケーリング、アンサンブルシミュレーションの実施
 - ・生態系サービスの定量評価
 - ・リサイクル技術のデータベース構築とデータベース連携、物質フローの可視化
 - ・環境的側面に加え社会的側面のインパクト評価技術の開発と応用
- 5. ネットワーク化・共有化
 - ・衛星や地上局等の観測ネットワーク構築と得られたデータの共有
- 6. 研究スタイルの変化
 - ・問題設定とデータ収集、シミュレーション設定を共通化し、参加モデルを横断的に分析して論文を執筆する形式に変化

上記及び、社会・経済の動向も踏まえ、日本が現在、国として、大学等を中心に取り組むべき環境分野の研究開発の内容として、以下を提案する。

1. 統合的な研究開発の実施
 - 気候変動や環境汚染、健康影響、生態系管理、資源利用と循環、経済、社会等の関連要素全体を扱う統合的な研究開発への発展
 - ・対策間のトレードオフ・シナジー効果の解明
 - ・社会的側面も含む多面的な影響や価値の可視化、経済や社会への反映
 - ・社会・経済データを含むビッグデータや地球観測データの活用
 - ・エクスポソーム（化学的、物理的、生物学的、精神的、社会的環境ストレスへの生涯曝露）の把握
 - ・持続的な土地、水、生物資源の利用
 - ・資源循環研究や技術の高度化・システム化（水、希少資源、廃プラ、廃素材や廃機器等）
2. 地球システムモデル（ESM）・気候変動影響予測モデルの開発と応用
 - ・予測精度向上（人間活動を含む多様な要素取り込み、ESMでは炭素排出に対する気候過渡応答（TCRE）の評価精度向上、高度な海洋生態系モデルの結合等）
 - ・データ保管・配信・解析やモデル結合作業を支援するシステム開発
 - ・ダウンスケーリング、アンサンブルシミュレーション
 - ・影響予測・評価の強化と対象の拡大
 - ・その他の環境変動予測・評価
3. 観測や評価の低コスト化・省力化
 - ・効率的かつ省メンテナンスで統計学的にも優れた観測手法の開発
 - ・AOP研究の推進（毒性試験の省力化・迅速化）

また、体制面における課題として以下を示す。

- ・モニタリングやシステム開発の継続性と研究プラットフォーム（衛星や観測船等）維持・強化（長期間の継続的な観測によるデータ蓄積が研究開発の進化と発展に不可欠）

- 要素技術だけでなくシステム化の研究開発の推進
- 計算機資源の拡充
- 社会受容のための技術評価とリスク評価
- 技術資源のデータベース化

国際比較表まとめ (環境分野)

【気候変動】

国	フェーズ	気候変動予測				気候変動影響予測・評価											
		観測		ESM		水循環		自然災害		自然生態系		農林業		健康・都市生活		極地	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	○	→	○	→	○	→	○	→	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	→	○	↑	○	→	○	→	○	→
欧州	基礎	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑
中国	基礎	○	↑	△	↑	△	→	○	↑	○	↑	○	→	△	→	△	→
	応用・開発	△	→	△	↑	○	→	○	↑	△	→	△	→	○	↑	◎	↑
韓国	基礎	○	→	△	→	△	→	△	→	△	→	x	→	○	↑	△	→
	応用・開発	△	↑	△	→	△	→	△	→	△	→	△	→	○	↑	○	→

【環境汚染・健康】

国	フェーズ	大気汚染		水質汚染		土壌・地下水汚染		物質循環・環境動態		健康・環境影響		化学物質リスク管理	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
		日本	基礎	○	↓	○	→	◎	→	◎	→	○	→
応用・開発	-		-	○	↓	◎	→	-	-	○	→	○	→
米国	基礎	◎	↑	○	↓	◎	→	○	→	◎	→	◎	→
	応用・開発	-	-	○	→	◎	→	-	-	◎	→	◎	→
欧州	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↑	○	→	◎	↑
	応用・開発	-	-	◎	↑	◎	↑	-	-	○	→	◎	↑
中国	基礎	○	↑	△	↑	○	↑	○	↑	○	↑	○	→
	応用・開発	-	-	○	↑	△	↑	-	-	△	↑	△	↑
韓国	基礎	○	↑	△	↓	○	→	△	→	△	↑	△	↑
	応用・開発	-	-	△	→	△	→	-	-	△	→	△	→

【生物多様性・生態系】

国	フェーズ	生物多様性・生態系の把握・予測		生態系サービスの評価・管理	
		現状	トレンド	現状	トレンド
		日本	基礎	○	→
応用・開発	○		↑	◎	↑
米国	基礎	◎	→	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	○	↑
欧州	基礎	◎	→	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	↑
	応用・開発	○	↑	○	↑
韓国	基礎	△	↑	△	→
	応用・開発	△	↑	△	→
豪州	基礎	◎	→		
	応用・開発	◎	↑		
カナダ	基礎	◎	→		
	応用・開発	◎	→		

【循環型社会】

国	フェーズ	水循環		農林水産業の環境研究						リサイクル・廃棄物処理		資源・生産・消費管理		環境都市	
		現状	トレンド	農業		林業		水産業		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
		日本	基礎	○	→	◎	↑	○	→	○	→	○	→	◎	→
応用・開発	○		→	○	↑	○	↑	○	→	○	→	○	→	○	↑
米国	基礎	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	○	→
	応用・開発	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	→	△	→	◎	↑	○	↑
欧州	基礎	○	→	○	↑	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	○	→	○	→	△	→	○	→	○	↑	○	↑	△	↑
	応用・開発	○	↑	○	→	△	→	△	→	△	↑	○	↑	◎	↑
韓国	基礎	○	→	△	→	△	→	○	→	△	→	○	→	◎	→
	応用・開発	△	→	△	↑	△	→	△	→	△	→	△	→	○	↑

(註1) フェーズ
 基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発（プロトタイプの開発含む）・量産技術のレベル
 (註2) 現状（日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価）：
 ◎：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
 (註3) トレンド：直近2年程度の取り組み状況。↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

研究開発の俯瞰報告書概要

トレンド

システム・情報科学技術に関わりの深い政治・経済・社会の
トレンドとシステム・情報科学技術のトレンド

世界のトレンド

- 地球規模乃至一国内での格差問題の提起、SDGsエーズの市場化
- 市場主義の揺らぎ、特に金融市場主義への反省
- 経済活動のデジタル化と持続的発展への要求
- 温暖化、都市化、地球環境リスク、自然災害リスクの増加
- IoT・AI・ビッグデータ等による産業構造、労働構造、人間行動の変化、意思決定システムの変化
- 先進国、新興国の消費・サービス構造の変化
- 個人・コミュニティの力の拡大

日本のトレンド

- 少子高齢化（役割の担い手が減少）
- 経済低成長、財政の行き詰まり
- 社会インフラの老朽化
- 原発の位置づけとエネルギー問題
- 自然災害の脅威の拡大
- 社会保障費の増大、介護・教育や安全・安心への期待
- 働き方の変革、一億総活躍

システム・情報科学技術のトレンド

社会に浸透するIoT、ビッグデータと人工知能

コンピューターが小型軽量高性能になることで、機器のスマート化とデータのデジタル化が進み、大量のデータの収集と解析が可能になった。ビッグデータと機械学習を組み合わせたサービスやアプリケーションも普及。IoTは世の中は大きく変える新たなパラダイムである。特に人工知能の進歩・社会浸透に対しては倫理的、法的、社会的観点での懸念に対する事前の対策が急務となる。

- Internet of Things and Digitalized Data (Smartphone, Camera, Sensor, Appliance)
- User Generated Content (SNS, Blog, Wikipedia)
- AIアプリ (画像・音声認識や自動翻訳)

システム化、複雑化する世界

情報通信の無線化・大容量化・グローバル化は、機器や人をクラウドにリアルタイムにつなぐことを可能にし、今や情報システム、制御システムを問わず世界中のあらゆるシステムは全地球を覆う巨大かつ複雑なシステムの一部となった。安全を脅かすセキュリティ脅威やシステム不全の連鎖的な波及への対応が不可欠になっている。

- Cyber Physical Systems ● Industrie 4.0 ● Industrial Internet
- SNS ● 高速株取引 ● 制御システムセキュリティ ● Connected Car ● Society 5.0 ● Smart & Connected Communities

ソフトウェア化、サービス化する世界

仮想化の考え方がハードウェアの隠蔽・共有からソフトウェアやサービスのコンポーネント化、再利用に広がり、FinTechなどの新たなIT活用技術を実現した。また、人や資産をサービスコンポーネントとして共有するシェアリングエコノミーというサービス形態も出現した。システムにITを取り込んだ社会システムデザインやサービス科学が重要になる。

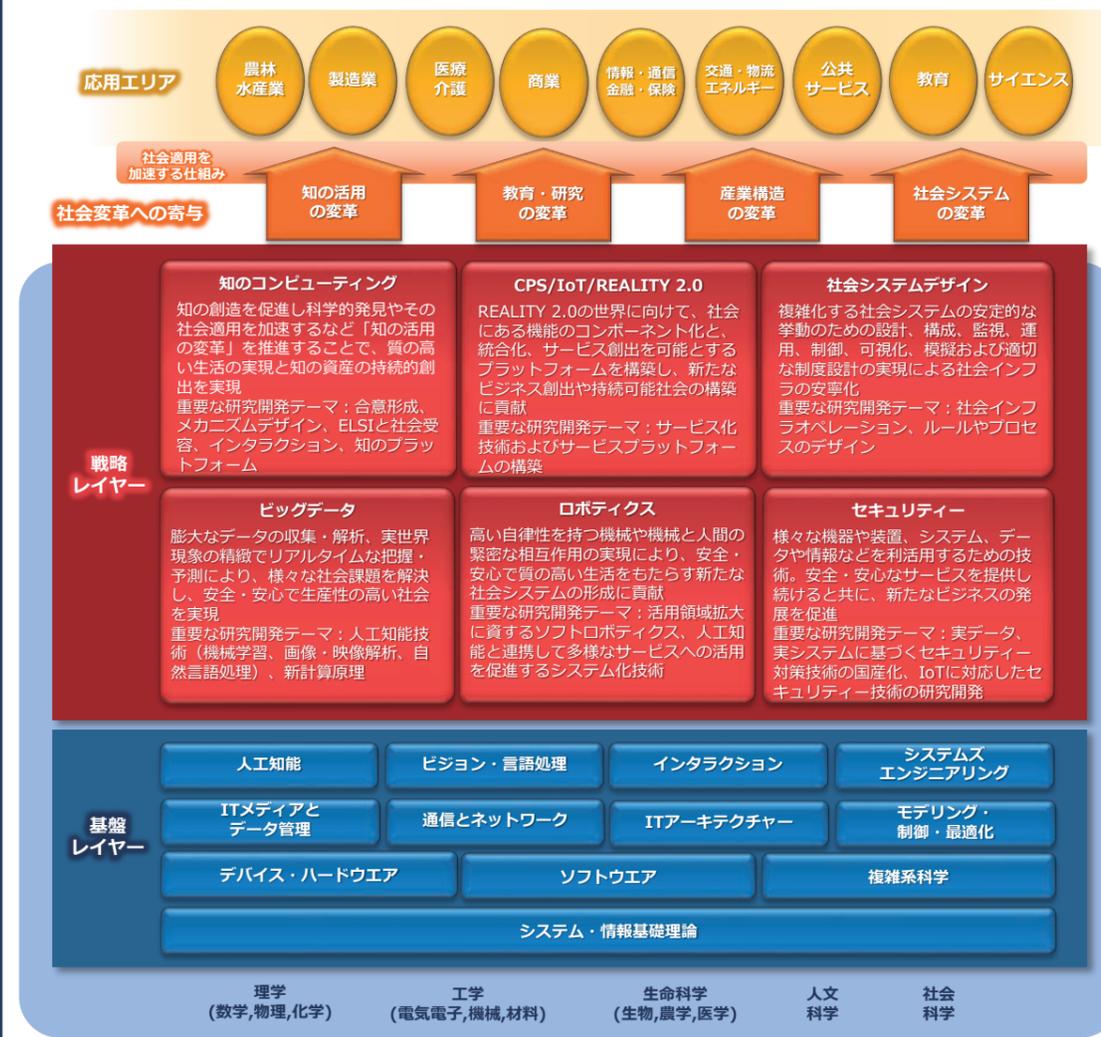
- Software Defined Society ● FinTech ● API Economy
- Sharing Economy

システム・情報科学技術分野 (2017年)

JST研究開発戦略センター
システム・情報科学技術ユニット

分野の俯瞰と戦略的研究領域

技術や社会・経済のトレンドを的確にとらえ、システム・情報科学技術を俯瞰し、
あるべき姿(Society 5.0)の実現に寄与する

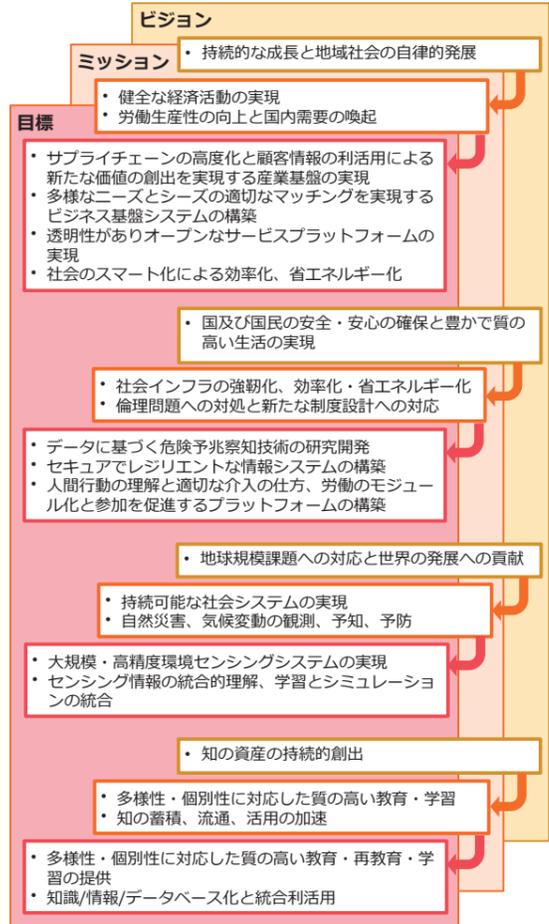


ビジョンとミッション

ビジョン = 第5期科学技術基本計画における目指すべき国の姿 (Society 5.0)

ミッション = 目指すべき国の姿を目指して、超スマート社会を実現するためにシステム・情報科学技術が実現すべきこと

目標 = システム・情報科学技術が具体的に達成すること

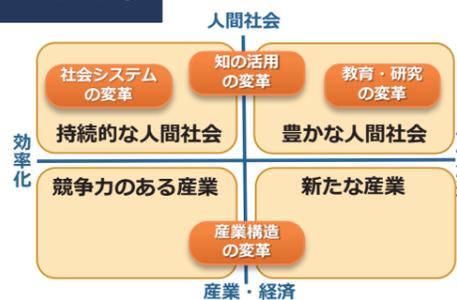


社会経済インパクトの広がり

システム・情報科学技術は汎用的な性格を持ち、情報通信産業のみならず、あらゆる産業・経済や人間社会に影響を与える

また、コスト削減に視点が広がったが、従来のサービスの効率化にとどまらず、新たなサービスや産業の創造などの新しい価値の創造にも大きな役割を果たすことが期待されている

- 社会システムの再デザインによる効率的な社会の実現・・・(例)効率的な電子政府
- コストの低減による産業競争力の強化・・・(例)サプライチェーンの最適化
- 新しい価値の創造による新産業の育成・・・(例)シェアリングエコノミーの出現
- 知の創造と伝播による豊かな社会の実現・・・(例)オープンサイエンス



主要国・地域の施策・取り組み

日本

基礎研究を含む大型の研究開発プロジェクトを推進。特に近年では人工知能やロボットの基礎技術への取り組みを強化。また、IoT推進コンソーシアムなど国際連携、制度改革、標準化などの取り組みも強化されている。

- 人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合(AIP)プロジェクト (2016年～)
- 革新的人工知能技術の開発・活用、科学データ解析による新たな価値創造、ビッグデータ活用のための高度なセンサー/IoT技術とセキュリティの研究開発。規模：54.5億円/年(文科省)
- 次世代人工知能・ロボット中核技術開発(2015年～)
- 場面に合わせて柔軟に対応できる人工知能、環境変化に影響されない視覚・聴覚、自律的に多様な作業を実現するスマートアクチュエーション及び共通的手法、技術の開発。規模：30.6億円/年(経産省)
- SIP、ImpACT(2014年～)
- 自動走行、インフラ維持管理、防災・減災機能、サイバーセキュリティ、海洋資源調査、量子人工知能、サイバネットシステム、タフロボティクス、超ビッグデータプラットフォームなど。規模：総額約30億円/5年・プロジェクト(内閣府)
- IoT推進コンソーシアム(2015年～)
- 産学官の参画・連携により、IoTに関する技術の開発・実証及び標準化、IoTに関する各種プロジェクトの創出及び当該プロジェクトの実施に必要となる規制改革等の提言等を推進。

世界

- タバコ会議(World Economic Forum) 2016年の会議では、第4次産業革命を統一テーマに掲げ、その意味と対応を議論。
- 国連における自律型致死兵器システム(LAWS)の制限に関する議論(2014年～) 特定通常兵器禁止制限条約(CCW)の枠組みで、定義、国際人道法上の課題などについて議論が開始。
- 米国 情報科学技術の基礎研究と人材育成に継続的に投資。また、コミュニティごとの社会的課題へ取り組むための産学官の連携による研究開発が活発化。政府による投資だけでなく、民間の自発的な投資も増加。
- Computer Science for All Initiative(2016年～) Computer Science (CS)を経済機会と社会の流動性に必要な基本的スキルと認識。米国全体で40億ドル、学区ごとに1億ドルを配分し、K-12期間にCS教育を担う教員の育成、教材へのアクセス拡大、地域パートナーシップ構築を行う。
- National Smart Cities Initiative(2015年～) 地域共同体による交通渋滞、犯罪、経済成長、気候変動対応、公共サービス提供などの課題への取り組みを共同研究により支援。NITRDが省庁連携の枠組みSmart and Connected Communities Frameworkを策定。NSFではSmart Service SystemsのPFIPプログラムを開始。総額1.6億ドル
- Big Data R&D Initiative (2012年～) ビッグデータから知見を引き出すための技術開発。2015年には米国4地域で、アカデミア、産学、政府の新たな協同コンソーシアムBig Data Regional Innovation Hubsが立ち上がり、重要課題解決に取り組む。総額2億ドル
- Industrial Internet(2012年～) GE社が打ち出したコンセプトで、製品に取り付けたセンサーからの稼働情報のビッグデータを分析して、運用・保守や新製品開発に活かす。2014年にIndustrial Internetの方向性とアーキテクチャーを定めるコンソーシアム設立。

欧州

アカデミア研究の強みや欧州連合の巨大市場を産業競争力に結びつけることを目指した取り組みを推進している。倫理的・法的・社会的問題(ELSI)を扱うプロジェクトや域内での標準化を見据えた取り組みなどが特徴的。

- Factories of the Future PPP(2014年～) 適応的な機械、ICT、先進材料のハンドリングなどの技術開発と統合化により、欧州の製造業の技術基盤強化を目指す。11.5億ユーロ/7年
- FET Flagship Human Brain(2013年～) 脳科学の研究活動やデータを新しいICTプラットフォーム上に集約して人間の脳を単一の多層システムとして描きだすことを目指す。12億ユーロ/10年
- Industrie 4.0(2013年～、ドイツ) 生産拠点としてのドイツの未来を実現する産学官共同のアクションプラン。Bosch、Siemens、SAP等の企業を中心として推進。政府は産学官連携の先導クラスター競争プログラムで地域の企業や大学の強みを活用。IT's 4.0: 5億ユーロ/5年(産業界3億ユーロ、BMBF2億ユーロ)
- 中国 国際競争力を維持・強化する観点から製造業の高度化に取り組む。
- 中国製造2025(2015年～) 高効率で持続可能な製造業への転換、高付加価値化、需要に応じた迅速で柔軟性の高い生産、専門技術人材・マネジメント人材の育成を目指す、技術開発の拠点整備と人材育成を強化。
- 韓国 少数企業が研究開発や市場化を牽引しており、幅広い産業の育成を目指す。
- ビッグデータ産業発展戦略(2013年) 医療や交通・物流等の有望6業種でビッグデータ活用プロジェクトを進め、データ駆動型や分散型技術などコアの中核技術開発に取り組む。2017年までに国内ビッグデータ市場の拡大、高度人材確保、グローバル専門企業育成を目指す。

2.3 システム・情報科学技術分野の概要

システム・情報科学技術は汎用的な基盤技術であり、さまざまな分野において、さまざまな効果を発揮し、多様な領域のイノベーションを加速する。エネルギーや交通などの社会インフラや行政、住民サービスといった社会システムを改善し、情報通信産業のみならず、製造業やサービス業、農業などの効率化・高付加価値化を実現する。さらに、ナノテクノロジーやライフサイエンスなどの他分野の科学技術の発展にも大きく貢献する。

システム・情報科学技術分野の研究開発成果は、知の活用の変革、教育・研究の変革、産業構造の変革、社会システムの変革を促し、農林水産業、製造業、医療、介護、商業、情報・通信・金融・保険、交通・物流、エネルギー、公共サービス、教育、サイエンスを高度に進化させる。そのためには、社会適用を加速する仕組みも重要である。

さまざまな形で社会に幅広い影響を与えるシステム・情報科学技術分野の研究開発戦略を立案するにあたっては、基盤技術として世界に通用するものを生み出すことに加えて、社会価値として大きなインパクトを生み出す戦略シナリオが必要である。当分野では、単一の基盤技術だけで大きな社会価値を生み出すことは難しく、強い基盤技術を中核とした複数技術のインテグレーション、システムアーキテクチャやビジネスモデルも含めた社会価値創出・社会適用に向けた研究開発が重要になる。

海外の動向に目を向けると、米国では、GAF Aとも呼ばれる Google、Apple、Facebook、Amazon など大手インターネット関連企業や Microsoft、IBM などの伝統的 IT 企業が市場と技術開発をリードしている。Airbnb、Uber 等ベンチャーなどの起業も盛んであり、起業から市場展開に至るエコシステムが構築されている。GE の Industrial Internet などいわゆる IT ベンダーだけでなくユーザー側が主導する IT を活用した産業構造を変革するような取り組みが活発化している。情報科学技術の研究開発に関する省庁連携の枠組み NITRD プログラムにおいて特に NSF のファンディングを中心に基礎研究に対して継続的な投資がなされており、大学や公的研究機関における基礎研究レベルもハードウェア、ソフトウェア、情報システムに至るまで幅広く強みを持っている。ビッグデータや AI、ロボティクス、セキュリティ、CPS/IoT など広範な分野において産官学の連携が有効に働き、基礎から応用研究、ビジネス展開に大きな力を有している。

欧州では、欧州委員会が、中長期成長戦略 Europe 2020 の下、欧州デジタルアジェンダを立ち上げ、活気に満ちたデジタル単一市場の実現を含めた 7 領域で持続可能な経済的・社会基盤を ICT により構築しようと活動している。FP7 や後継の Horizon 2020 はその一環である。一方で、各国でも、CPS/IoT や人工知能・ロボットによる産業変革や社会的課題への対応の取り組みが活発化している。ドイツにおいては、Bosch、Siemens、SAP 等の企業が中心となり Industrie 4.0 を推進して、製造業やエネルギーの分野におけるサービスとの融合が進んでいる。英国においても 2016 年には IoT の実証に向けた支援を行う IoTUk が設立され、デジタル・カタパルト、未来都市カタパルトとも連携して取り組みが進んでいる。

アジアにおいては、中国の盛んな研究開発投資と巨大データ集積による AI 実用化能力が脅威である。海外で経験を積んだ研究者の帰国や招聘により国際化と研究水準の向上が図られている。社会課題にソリューションを与える社会基盤を構築する物聯網を政府が支援しており、投資が加速している。また、機械学習について国際学会でのプレゼンスが高

い。2020年までに世界トップレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とすることを目標に掲げており、情報産業および近代的なサービス業が重要分野の一つとなっている。韓国では、少数企業が研究開発や市場化をけん引している。モノのインターネット拡散計画（2015年）が発表され、IoTプラットフォーム開発、ベンチャーの育成、技術開発促進のほか、2017年までに製造、ヘルスケア/医療、エネルギー、ホーム、自動車/交通、都市/安全の6分野でIoT事業化の支援強化を図っている。

これらを踏まえ、当分野の俯瞰は、基盤レイヤーと戦略レイヤーという2層で捉えることにした。基盤レイヤーは、既に学問分野として確立された区分に基づき、基盤技術として世界に通用するものを生み出すための研究開発に着眼する。その上位層として設けた戦略レイヤーは、基盤レイヤーで生み出される強い基盤技術を中核に、社会価値として大きなインパクトを生み出す研究開発領域からなる。



図2-3 システム・情報科学技術分野の俯瞰図

戦略レイヤーで狙う社会価値としてどのようなターゲットを設定するかは、わが国で目指すべき社会のビジョンに直結する。よって、第5期科学技術基本計画で掲げられているSociety 5.0、超スマート社会のビジョン実現に向けて、技術や社会・経済のトレンドを的確に把握した上で、当分野が果たすべき役割（ミッション）および、その役割を果たすために達成しなければならない具体的な目標を定めた。戦略レイヤーは、その目標を達成するための研究開発領域である。六つの俯瞰区分と重要な研究開発テーマは以下の通り。

- 知のコンピューティング（用語解説参照）

知の創造を促進し科学的発見やその社会適用を加速するなど「知の活用の変革」を推進することで、質の高い生活の実現と知の資産の持続的創出を実現。

重要な研究開発テーマ：合意形成、メカニズムデザイン、ELSI と社会受容、インタラクション、知のプラットフォーム
- CPS/IoT/REALITY 2.0（用語解説参照）

REALITY 2.0 の世界に向けて、社会にある機能のコンポーネント化と、統合化、サービス創出を可能とするプラットフォームを構築し、新たなビジネス創出や持続可能社会に貢献。

重要な研究開発テーマ：サービス化技術およびサービスプラットフォームの構築
- 社会システムデザイン

複雑化する社会システムの安定的な挙動のための設計、構成、監視、運用、制御、可視化、模擬および適切な制度設計の実現による社会インフラの安寧化。社会システムの大規模化・複合化・複雑化が高度に進展する中、システムに IT を取り込んだ社会システムデザインの必要性が増してきていることから独立した俯瞰区分とした。

重要な研究開発テーマ：社会インフラオペレーション、ルールやプロセスのデザイン
- ビッグデータ

膨大なデータの収集・解析、実世界現象の精緻でリアルタイムな把握・予測により、さまざまな社会課題を解決し、安全・安心で生産性の高い社会を実現。

重要な研究開発テーマ：人工知能技術（機械学習、画像・映像解析、自然言語処理）、新計算原理
- ロボティクス

高い自律性を持つ機械や機械と人間の緊密な相互作用の実現により、安全・安心で質の高い生活をもたらす新たな社会の形成に貢献。IT との融合により、ロボットの自律化による適用領域の拡大、ネットワーク化やシステム化による多様なサービスへの組み込みが進みつつあり、今回戦略レイヤーにおいて取り上げることにした。

重要な研究開発テーマ：活用領域拡大に資するソフトロボティクス、人工知能と連携して多様なサービスへの活用を促進するシステム化技術
- セキュリティー

さまざまな機器や装置、システム、データや情報などを利活用するための技術。安全・安心なサービスを提供し続けると共に、新たなビジネスの発展を促進。

重要な研究開発テーマ：実データ、実システムに基づくセキュリティー対策技術の国産化、IoT に対応したセキュリティー技術の研究開発

〈用語解説〉

- 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の提供、ソーシャルコミュニティの力による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。H26 年度には JST にて戦略的創造研究推進事業

（CREST「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」）が開始した。

・ REALITY 2.0

現在の物理世界を REALITY 1.0 と呼ぶとすると、物理世界とサイバー世界の融合の進展により、二つの世界が融合して一つの有機体として機能する新しい実体世界を REALITY 2.0 と呼ぶ。REALITY 2.0 の社会では、社会・産業の構成要素が機能コンポーネントとなり、それらが動的に組み合わせられ、仮想的な経済単位や社会システムが形成される。さらに価値は従来モノに存在していたが、モノと融合したサービスや、どのエコシステムに位置づけられるかという関係性に存在するようになる。

国際比較表まとめ (システム・情報科学技術分野)

【知のコンピューティング】

国	フェーズ	知の集積・増幅・探索		予測と発見の促進		知のアクチュエーション		認知科学		知的インタラクション	
		現状	トレンド	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・開発	○	→	○	↑	○	↑	○	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→
	応用・開発	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑
欧州	基礎	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	○	→	△	↑	◎	↑	◎	↑	○	→
中国	基礎	△	→	○	↑	○	↑	△	→	△	→
	応用・開発	△	→	○	↑	△	→	×	→	×	→
韓国	基礎	△	→	×	→	△	→	×	→	○	→
	応用・開発	△	→	×	→	△	→	△	↑	○	→
				シンガポール	基礎	◎	↑				
				応用・開発	△	→					
				オーストラリア	基礎	◎	↑				
				応用・開発	△	→					

国	イシュー	知の倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) と社会適用	
		現状	トレンド
日本	倫理的	○	→
	法的	○	↑
	社会的	◎	↑
米国	倫理的	○	↑
	法的	○	→
	社会的	◎	↑
欧州	倫理的	◎	↑
	法的	◎	→
	社会的	◎	↑
中国	倫理的	×	→
	法的	△	↑
	社会的	×	→
韓国	倫理的	△	→
	法的	×	→
	社会的	△	↑

【CPS/IoT/REALITY 2.0】

国	フェーズ	モノ・ヒト・コトのインターフェイス		CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャー		モノ・ヒト・コトのスマートなサービス化技術		ソフトウェアデファインドソーサティのサービスプラットフォーム		REALITY 2.0 による社会デザイン	
		現状	トレンド	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・開発	○	→	△	↓	○	↑	○	↑	△	↑
米国	基礎	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→	○	→
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑
欧州	基礎	◎	↑	○	→	○	→	◎	→	○	↑
	応用・開発	○	→	○	↑	○	→	○	→	◎	↑
中国	基礎	△	→	○	↑	○	↑	-	-	◎	→
	応用・開発	○	↑	△	↑	○	↑	-	-	○	↑
韓国	基礎	○	→	△	↑	△	→	-	-	○	→
	応用・開発	◎	→	△	↑	△	→	-	-	○	→

【ビッグデータ】

国	フェーズ	ビッグデータ処理基盤技術		機械学習技術		画像・映像解析技術		自然言語処理技術		ビッグデータ活用促進技術		ビッグデータによる価値創造		ビッグデータに関わる制度設計		新計算原理	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	○	→	○	↑	○	↑	○	→	○	↑	○	↑	○	→	○	→
	応用・開発	○	↑	○	↑	○	→	○	↑	○	↑	○	↑	○	↑	○	↑
米国	基礎	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→
欧州	基礎	◎	→	○	→	◎	↑	○	→	○	→	○	↑	◎	↑	○	↑
	応用・開発	○	↑	○	↑	○	↑	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	△	↑
中国	基礎	◎	→	○	↑	○	↑	○	↑	○	→	○	↑	△	→	△	↑
	応用・開発	○	→	○	↑	○	↑	○	↑	△	→	○	→	△	→	◎	↑
韓国	基礎	○	→	△	→	○	→	△	→	△	→	△	→	○	↑	×	→
	応用・開発	△	→	△	↑	△	↑	○	↑	△	→	△	→	○	↑	△	→

【ロボティクス】

国	フェーズ	ロボティクスと社会		空中ロボット		生活支援・福祉ロボット		システム化技術		ソフトロボティクス		認知発達ロボティクス	
		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
日本	基礎	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	→	◎	↑
	応用・開発	○	→	◎	↑	○	↑	○	↑	○	→	-	-
米国	基礎	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	◎	→	○	↑
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	-	↑
欧州	基礎	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	→	◎	※注
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	→	△	→	-	-
中国	基礎	△	→	◎	↑	×	→	○	↑	△	→	-	-
	応用・開発	○	↑	◎	↑	×	→	○	↑	×	→	-	-
韓国	基礎	○	→	○	→	△	→	○	→	○	↑	△	↑
	応用・開発	△	→	◎	↑	×	→	◎	↑	×	→	-	-

国	フェーズ	モビリティ・フィールドロボット						医療ロボット				産業用・研究開発用ロボット			
		インフラ検査・保守ロボット、建設ロボット		災害調査・レスキューロボット		海中ロボット		手術支援とリハビリテーション		ナノロボティクス		産業用ロボット		研究開発用ロボット	
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
日本	基礎	○	→	◎	→	○	↓	○	→	○	→	△	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	○	→	○	→	◎	↑	○	→	△	→	◎	↑
米国	基礎	○	→	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	△	↑	△	→
	応用・開発	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑
欧州	基礎	△	→	○	→	○	↑	○	→	◎	↑	△	→	○	→
	応用・開発	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	△	↑	○	→
中国	基礎	-	-	△	→	△	→	△	→	△	↑	△	→	-	-
	応用・開発	-	-	○	↑	◎	↑	○	↑	△	↑	○	↑	-	-
韓国	基礎	-	-	○	→	×	↓	○	→	○	→	△	→	-	-
	応用・開発	-	-	△	↑	△	→	○	→	△	→	△	→	-	-

【セキュリティ】

国	フェーズ	IoTセキュリティー		サイバー攻撃の検知・防御		認証・ID連携		プライバシー情報の保護と利活用		セキュリティーアーキテクチャー		運用・監視技術		ITシステムのためのリスクマネジメント	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	◎	↑	○	→	△	↑	○	→	△	↑	△	→	○	↑
米国	基礎	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	↑	◎	↑
欧州	基礎	○	→	○	→	△	→	○	→	◎	→	○	↑	○	→
	応用・開発	◎	↑	○	↑	○	→	○	→	◎	↑	△	→	◎	→
中国	基礎	△	→	△	↑	△	→	○	→	○	→	-	-	○	↑
	応用・開発	○	→	△	↑	△	→	○	↑	○	↑	-	-	△	→
韓国	基礎	△	→	○	↑	△	→	○	→	×	→	○	↑	○	→
	応用・開発	△	→	○	→	△	→	△	→	×	→	△	→	○	→
イスラエル	基礎	○	↑												
	応用・開発	△	→												

※注
認知発達ロボティクス

スイス	↓
イタリア	→
英国	→
ドイツ	→
フランス	↑

(註1) フェーズ

基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発（プロトタイプの開発含む）・量産技術のレベル

(註2) 現状（日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価）：

◎：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

(註3) トレンド：直近2年程度の取り組み状況。↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

研究開発の俯瞰報告書概要

ナノテクノロジー・材料分野 (2017年)

JST研究開発戦略センター
ナノテクノロジー・材料ユニット

ナノテクノロジー・材料分野の研究開発俯瞰図 (2017年版)



社会課題
システム化 量産化 高機能/コスト 信頼性 環境負荷 安全性 省エネ・省資源プロセス リサイクル

環境・エネルギー 太陽電池 人工光合成、光触媒 燃料電池 熱電変換 蓄電デバイス(電池、キャパシタ) パワー半導体 グリーン触媒 分離材料・分離工学 エネルギーキャリア 超電導送電、バイオマス	ライフ・ヘルスケア 生体材料(バイオマテリアル) 再生医療材料 ナノ薬物送達システム(DDS) バイオ計測・診断デバイス 脳・神経計測 バイオイメージング	社会インフラ 構造材料(金属、複合材料、マ ルチマテリアル) 非破壊検査 腐食試験法 劣化センシング技術 劣化予測・シミュレーション 接合・接着・コーティング	ICT・エレクトロニクス 超低消費電力 IoT/AIチップ スピントロニクス 二次元機能性原子薄膜 フォトニクス 有機エレクトロニクス MEMS・センシングデバイス エネルギーハーベスト 三次元ヘテロ集積 量子コンピューティング ロボット基盤技術	共通支援策 産学官連携・オープンイノベーション 国際連携グローバル戦略 府省連携 異分野融合の促進策
---	--	---	--	---

デバイス部材

機能と物質の設計・制御

機能設計・制御 超分子 分子マシン ナノ熱制御 ナノライボロジー マイクロ・ナノfluidics 量子ドット バイオ・人工物界面 ナノ界面・ナノ空間制御 バイオミメティクス 金属有機構造体(MOF)	物質設計・制御 元素戦略 分子技術 マテリアルズ・インフォマティクス トポロジカル絶縁体 ナノカーボン メタマテリアル 低次元物質 ハイブリッド材料 ナノ粒子・クラスター
--	---

共通基盤科学技術

製造・加工・合成 フォトリソグラフィ ナノインプリント ビーム加工 インクジェット 自己組織化 結晶成長 薄膜、コーティング 付加製造(積層造形)	計測・解析・評価 電子顕微鏡 走査型プローブ顕微鏡 X線・放射光計測 中性子線計測 先端光計測(超短パルス、時空間分解) 元素分析・組成分析・質量分析	理論・計算 第一原理計算 分子動力学法 分子軌道法 モンテカルロ法 フェーズ・フィールド法 有限要素法 マルチスケールシミュレーション
--	--	---

基礎技術

科学
ナノサイエンス
物質科学、量子科学、光科学、生命科学、情報科学、数理科学

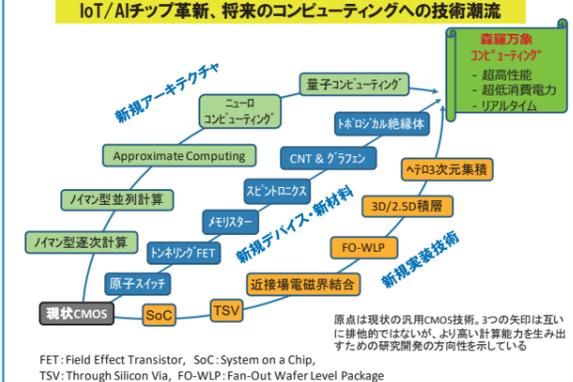
技術革新の世界的潮流

- ◆ 来たIoT/AI時代に活躍するデバイスおよびその構成素材は先端ナノテクの塊になる。AIチップ、IoTセンサ、クラウドサーバ、自動車・輸送機器、ロボット、モバイル、エネルギー変換デバイス、診断・治療・計測デバイスなど、ハード側は先端ナノテクが競争を左右。
- ◆ 新コンピューティング/新アーキテクチャへの挑戦が本格化。ポストムーア時代への技術潮流。
- ◆ これらに使われる新素材は、データドリブンの材料設計(マテリアルズ・インフォマティクス)から生み出そうとする大きな流れ。しかし勝者はまだ不在。近年のコンピュータの能力向上が、材料、部品、さらには複合システム品の設計開発を行うシミュレーション技術の可能性を大きく広げている。ICTの進展がナノテク・材料技術を含むものづくり全般に革新をもたらしている。
- ◆ 各国でナノテク政策が開始されてから15年が経過。この間、ナノテクは技術の先鋭化、融合化、システム化へと向かう流れのなかにあり、2010年代以降は特に異分野技術の融合化と、製品化・社会実装を指向した技術のシステム化・市場浸透が強調されるようになってきた。ナノテクで新たに実現された製品(nano enabled products)市場は1.6兆ドルに成長(2012-14年で2倍,米LuxResearch社)

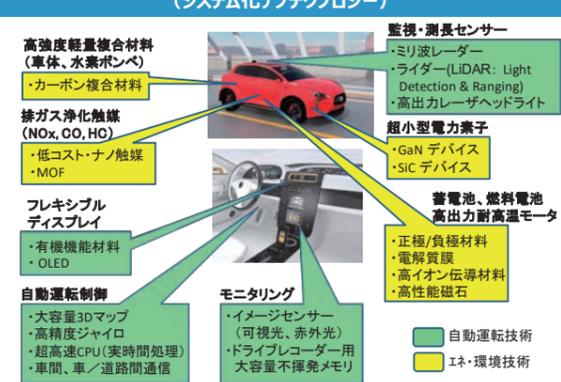
世界的な研究開発トレンド・技術開発の潮流

次世代パワー半導体 早期実用化を目指すSiCやGaNなどのワイドギャップ半導体基板・素子開発が活発化	次世代蓄電デバイス 全固体型、多価カチオン型、金属・空気電池、Li硫黄など、次世代の高性能電池に期待が集まる。	バイオファブリケーション バイオマテリアルや細胞を自在配置するバイオ3Dプリントが出現。組織・臓器構築、創薬、再生医療への応用が期待される。	脳計測 脳を電氣的・光学的に計測する技術の目覚ましい進展により脳機能・情報処理の仕組み解明が期待される。	IoT×人工知能デバイス AIやディープラーニング技術に基づくスマート社会の到来へ向け、IoT/AIチップのデバイス技術革新が期待される。	量子コンピューティング 量子力学で演算を高速化。「量子ゲート方式」と「量子アニーリング方式」がある。人工知能への応用が期待される。
多孔性構造体(PCP/MOF/COF) 規則的なナノ空間を有し、高選択的な吸脱着場や電子・イオン伝導性、特異反応空間としての革新機能に期待。	データ駆動型材料設計 材料DBと機械学習など情報科学的手法を併用することで物質探索・設計手法を革新。開発期間を極端に短縮するマテリアルズ・インフォマティクス	トポロジカル絶縁体 物質の境界(3次元系では表面、2次元系ではエッジ)に内部(絶縁体)と異なる特殊な金属状態が自発的に現れ、無散逸な電流が流れる。次世代電子デバイスの候補として期待。	フォノンエンジニアリング ナノスケールの熱をフォノンとして理解し、熱を発生起源から制御する新材料・デバイス創出の研究が活発化。	オペランド計測 物質から生物にわたる広範囲の対象に対してオペランド(実動作下)計測への期待が増し、技術開発が活発化	

ポストムーアに向けた次世代のナノエレクトロニクス



エコ・安全・快適な移動を実現するナノテク・材料 (システム化ナノテクノロジー)



主要国におけるナノテク・材料科学技術の基本政策・国家戦略動向

◆ 米国では国家ナノテクイニシアティブ戦略計画を更新(2016)、欧州ではHorizon2020において、ナノテクや先端材料技術をKETs (key enabling technologies) の一つとして位置づける。アジアでは、中国・台湾・韓国・シンガポールを始め、ナノテクの先端研究開発拠点を築き、世界のR&Dを吸引し、ナノテク・材料科学技術の研究開発を強化している。

日本	◆第5期基本計画では、Society5.0の実現に向けた11のシステムの一つとして「統合型材料開発システム」を特定。「素材・ナノテクノロジー」は新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術の一つ
米国	◆National Nanotechnology Initiative (2001-) -第6次NNI戦略プラン(2016-) 省庁横断テーマ NSI (Nanotechnology Signature Initiative) を更新 -National Strategic Computing Initiative やBRAIN Initiativeと連携し、新コンピューティング開発 ◆Materials Genome Initiative(2011-) -実験ツール、計算機、データの連携により、研究室での新材料の発見から製造までの時間を半減させることを狙う
EU	◆Horizon 2020 (2014-) -Key Enabling Technologies (KETs)として、ナノテクノロジー、先端材料、マイクロ・ナノエレクトロニクス、フォトニクス、バイオテクノロジー、先進製造を選定。 -FET (Future and Emerging Technologies) プロジェクトの一つ、Graphene Flagship プロジェクトを開始
独	◆Action Plan Nanotechnology 2020 を開始(2016-) -新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
英	◆UK Nanotechnologies Strategy (2010-) -ビジネス・イノベーション・技能省 (BIS) が中心となった省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略 ◆UK COMPOSITES STRATEGY(2009-) -BISを中心に航空機、自動車向けの耐久性が高く軽量かつ高性能な複合材料の開発
仏	◆France Europe 2020(2013-) -先端材料、ナノエレクトロニクス、ナノマテリアル、マイクロ・ナノ流体工学が優先領域
中国	◆国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020) -先端技術8分野の一つに「新材料技術」、重大科学研究4分野の一つに「ナノ研究」 -第13次5か年計画 2030年を見据えた15の重大科学技術プロジェクトに「重点的新材料」「量子通信・量子コンピュータ」「スマート製造・ロボット」「航空エンジン・ガスタービン」等を指定
韓国	◆第三次科学技術基本計画(2013-2017) -30重点国家戦略技術の一つに「先端素材技術(無機、有機、炭素等)」 ◆Korea Nanotechnology Initiative (2001-) は第4期目に(2016-2025) -製造業のリーディング技術開発、ナノテク産業のグローバルリーダーとなることを目標

日本の位置づけ

- ◆ 元素戦略・希少元素代替技術、分子(制御)技術、再生エネ・蓄電池材料、電子材料、パワー半導体、先端構造材料、結晶成長・薄膜・真空技術など、物質創製・材料設計技術に日本の歴史的特徴にもとづく強みがある。
- ◆ そこで用いられる計測評価・分析・品質管理(電顕、NMR、X線等)も強い。これらが活きるかたちで省エネ・低環境負荷技術にアドバンテージがある。
- ◆ 一方、弱点は、計算・データ科学、ソフト・標準化・規制戦略、医療応用や、水平連携・産学連携にある。これらは研究開発の枠組みを構築して実行するまでの問題の共有や意志決定スピードに課題がある。
- ◆ また、ナノテク特有のELSI・EHS、教育・コミュニケーション、に課題あり。ナノテクの標準化・規制に関する国際的な枠組みへの戦略的対応や、ナノ物質の安全性評価・管理研究の産学官連携体制、データ蓄積、国際連携、などが継続的になされていない点が課題。

挑戦課題・今後のグランドチャレンジ

- ◆ 異分野融合/深みのある研究開発と水平/垂直連携の両立策
- ◆ 府省連携・産学連携/研究開発フェーズや時間ギャップの解消→先端研究開発が行える環境と、事業化・実証トライアルとを結びエコシステム形成が必要
- ◆ 10の挑戦課題(グランドチャレンジ)
 - ① データ駆動型材料設計(マテリアルズ・インフォマティクス)
 - ② IoT/AIチップ革新(新コンピューティングアーキテクチャ・ハード・センサデバイス→ニューロモルフィック、量子コンピューティング等の新機械)
 - ③ 量子系統制御技術(トポロジカル量子、スピンフォノン、フォトン、エレクトロニクスの統合制御・変換、フォノンエンジニアリング)
 - ④ スマート・ソフトロボット基盤技術
 - ⑤ 分離技術・物質精製技術
 - ⑥ ナノスケール界面の動力学制御に基づくスーパー複合材料研究開発
 - ⑦ 生体/人工物間相互作用を自在制御するバイオ材料・デバイス開発
 - ⑧ オペランド・ナノ計測
 - ⑨ ナノELSI/EHS産学官国際戦略対応
 - ⑩ 世界の知を吸引するR&D拠点・プラットフォーム・エコシステム形成、技術専門人材の長期確保

2.4 ナノテクノロジー・材料分野の概要

本分野の俯瞰報告書では、物質・材料研究開発の最先端を担う象徴的技術がナノテクノロジーであるとの立場をとる。現在の材料技術は、ナノメートルの領域に踏み込んだ組織制御技術、高分解能顕微鏡などサブナノメートルにおよぶ計測、第一原理電子状態計算による物質構造と機能の予測、シミュレーションやモデリングによる解析技術などを柱として、進化を続けている。これらはいずれもナノスケールの物質構造に起因する機能発現に関わるナノテクノロジーであり、様々な新材料を開発する分野横断のコア技術である。このような技術をベースとして、生命科学分野や臨床医学分野、環境・エネルギー分野、情報科学技術分野等の多様な分野の先端を拓く、異分野融合の技術領域がナノテクノロジーである。

世界各国でナノテクノロジーの国家政策が開始されてから、およそ15年が経過した。この間、ナノテクノロジーは技術の先鋭化、融合化、そしてシステム化へと向かう流れのなかにあり、2010年代以降は特に異分野技術の融合化と、製品化・社会実装を指向した技術のシステム化が強調されるようになってきた。米LuxResearch社によれば、ナノテクによって新たに実現された製品（nano-enabled products）市場は、2012-2014年の2年間で8,500億ドル/年から1.6兆ドル/年へ急成長したとしている。今や研究開発の現場だけでなく、多くの製品あるいは産業技術として、ナノテクノロジーが実際に活用されるようになっている。

世界で最初にナノテクノロジーの国家イニシアティブ（NNI）を開始した米国では、これまでのNNIをどのように総括するかを2016年に議論した。それをもとに、今後は研究開発投資によって生み出した知見や技術を商業化していくために、あらゆる分野の連携が必要とし、社会への周知と参画、教育の充実、ナノ物質が使用された製品の健康や安全性・環境に対するリスク評価・管理、倫理的・法的・社会的課題を広く知らせるべきとした。これらによって商業化を促進し、国民が経済的な恩恵を得るようにすべきと謳っている。2017年からの新政権下でこの方向性がどのようになっていくかが注目される。他方、欧州では新たな研究枠組みであるHorizon2020が開始され、ナノテクノロジーや先端材料技術はKET's（key enabling technologies）の一つとして位置づけている。自動運転システムの将来像を象徴とし、ナノテクノロジー・材料の要素技術の統合化を掲げている。アジア地域では、中国・台湾・韓国・シンガポールを始めとして、ナノテクノロジーの研究開発拠点を築き、世界のR&Dを吸引しようとしている。特に、中国における本分野への莫大な研究開発投資は、論文動向等に結果として現れている。

産業動向に目を向ければ、Industrie 4.0のコンセプトがドイツから発信され、IoTやAIなどの科学技術が、世界の社会・経済に大きな影響を与え始めている。来たるIoT/AI時代に活躍するデバイスおよびその構成素材は、先端ナノテクノロジーの塊になるだろう。将来、私たちの身の回りの製品機器に埋め込まれるIoTデバイスは、多様なセンシング機能と、収集したデータを処理するコンピューティング機能、情報をクラウド側とやりとりするネットワーク機能とを持ち、使われる場面によっては自らを動作させるための電力をその場で獲得するエネルギーハーベスト機能を具備する。社会生活に入り込むロボットや自動車などは、リアルタイムの情報処理やアクションが求められる。ネットワークの負荷低減のために、大量のデータ処理が必要になる。このようなとき、IoTデバイス自身

に AI を含む高度のコンピューティング機能が搭載されると考えられる。AI は従来のコンピュータでは困難な大量の画像・音声・動画の処理、自然言語処理、最適化・推論などの多様な領域で力を発揮することが期待され、従来のコンピュータの能力を補完するアクセラレータとして機能する。フォン・ノイマン型のコンピューティングを超える新たなアルゴリズム、それを実行するハードウェアへの期待が世界的に高まっており、この解決がナノテクノロジー・材料技術の発展によってなされることが求められている。半導体が微細化限界を迎えつつあるなかで、ポストムーアを担う新技術体系の必要性は広く認識されている。生物が行う低エネルギーでの情報処理の仕組みを取り込もうとするニューロモルフィックコンピューティングや、量子力学の原理に則り基本素子を動作させ、現状のコンピュータでは実質的に解く事が難しい最適化問題に解を与える量子コンピューティングなどがその候補とされる。これらをデバイスとして実装することが、ナノテクノロジー・材料科学技術の発展に課せられている。

一方、ビッグデータを活用した情報科学技術の進展は、ナノテクノロジー・材料の研究開発方法自体にも大きな影響を与え始めている。日々更新され、新たに生み出される大量の実験データが蓄積されることで、そこから新材料に関する知識発見が可能となり、所望の特性を持つ材料の効率的な設計・探索、開発が可能になる。このためには材料技術と最先端の情報技術の融合が必要であり、データ駆動型材料設計（マテリアルズ・インフォマティクス）と呼ばれる材料開発の新しいアプローチへの取り組みが、世界で始まっている。近年のコンピュータの能力向上は、材料、部品、さらには複合システム品の設計開発を行うシミュレーション技術の可能性を大きく広げている。量子力学が支配するナノスケールの物質構造から始まり、最終製品に近いマクロスケールの複合システム品までを一貫して設計するマルチスケールシミュレーションが徐々に実現してきている。さらに、これらデジタル化された設計データを基に、目的の構造物を自在に作成する 3D プリンティング技術の進歩も著しく、情報科学技術の進展がナノテクノロジー・材料技術を含むものづくり全般に革新をもたらし始めている。

前作の俯瞰報告書 2015 年版では、環境・エネルギー分野やライフサイエンス・医療分野への応用にやや重きを置きまとめた。今回の 2017 年版ではこれらすべての最新情報、技術進展をアップデートしつつ、IoT/AI 時代を牽引するナノテクノロジー・材料の方向性や、社会インフラに求められる構造材料、センシング、接合・接着技術等についても、十分な項数を割いて記述した。分野別報告書第二章では、こうした内外の研究開発動向の全体像と将来の展望、特にこの分野における日本の課題とグランドチャレンジについて、CRDS における関連ワークショップやインタビュー調査にもとづき俯瞰的にまとめている。ナノテクノロジー・材料の研究開発俯瞰図を新たに見直し、そこから 37 の主要な研究開発領域を抽出した。そのうえで、本分野の具体的な「10 のグランドチャレンジ (P.49 参照)」として整理した。分野別報告書第三章では 37 の主要研究開発領域について、各々 10 ページ程度の項数を割き、当該領域の進展に関する歴史的背景から、現在の先端技術動向、今後の科学技術的課題、政策的課題、国際比較（日米欧中韓）の結果についてそれぞれ概略をまとめている。これらの検討過程において、本分野では、約 240 名の産学官の専門家の協力によって、情報・意見を収集し、ワークショップ等での議論を重ねた上で、CRDS の視点から見解をまとめた。



図2-4 ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰図

国際比較表まとめ (ナノテクノロジー・材料分野)

【環境・エネルギー応用】

国	フェーズ	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		グリーン触媒		分離材料・分離工学	
		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
日本	基礎	◎	→	◎	↑	○	→	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	○	→
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→
米国	基礎	○	↑	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	◎	→	○	→	○	→
	応用・開発	○	↑	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	→	◎	→
欧州	基礎	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	→
	応用・開発	◎	→	○	↑	○	→	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	→	○	↑
中国	基礎	△	↑	△	→	○	↑	◎	↑	○	↑	○	→	○	↑	○	→
	応用・開発	○	↑	×	→	○	↑	◎	↑	○	↑	△	↑	○	↑	○	→
韓国	基礎	△	→	△	→	△	→	○	↑	○	→	△	→	△	→	△	→
	応用・開発	○	↑	×	→	△	↑	○	↑	◎	↑	△	→	△	→	○	→

【ライフ・ヘルスケア応用】

国	フェーズ	生体材料(バイオマテリアル)		再生医療材料		ナノ薬物送達システム(DDS)		計測・診断デバイス		脳・神経計測		バイオイメーjing			
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	○	↓	○	↑	○	↑	○	→	○	→	◎	↑	○	↑
米国	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑
欧州	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	↑	◎	↑	○	↑	△	→	△	→	○	↑
	応用・開発	○	↑	○	↑	○	↑	○	↑	△	→	△	→	○	↑
韓国	基礎	○	→	○	↑	○	→	○	↑	△	→	△	↑	◎	↑
	応用・開発	○	→	○	↑	○	→	○	→	△	→	×	→	○	↑

【ICT・エレクトロニクス応用】

国	フェーズ	超低消費電力(ナノエレクトロニクスデバイス)		スピントロニクス		二次元機能性原子薄膜		フォトニクス		有機エレクトロニクス		MEMS・センシングデバイス		エネルギーハーベスティング		三次元ヘテロ集積		量子コンピュータ		ロボット基盤技術	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	○	→	○	↓	○	↑	◎	→	◎	↑	○	→	○	↑	○	↑	○	↑	◎	→
米国	基礎	○	→	◎	→	◎	↑	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→
	応用・開発	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→
欧州	基礎	○	→	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→
	応用・開発	○	→	×	→	◎	↑	○	↑	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	→	◎	↑	◎	→
中国	基礎	○	→	○	↑	○	↑	△	→	○	↑	○	↑	○	↑	×	→	○	↑	○	→
	応用・開発	○	→	△	↑	○	↑	○	↑	○	↑	○	↑	×	→	△	→	△	↑	○	↑
韓国	基礎	○	→	○	↑	○	→	△	→	○	→	△	↓	△	↑	△	→	×	→	○	→
	応用・開発	○	↑	○	↑	◎	↑	○	→	◎	↑	△	→	△	↑	○	↑	×	→	○	→
台湾	基礎	○	→													○	→				
	応用・開発	◎	↑													◎	↑				

【社会インフラ応用】

国	フェーズ	構造材料				非破壊検査・劣化予測		接合・接着・コーティング					
		構造材料(金属系)		構造材料(複合材料)				溶接・接合		接着		コーティング	
		現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	→	○	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	↑	○	→	○	→	◎	→	◎	→	○	↑
	応用・開発	○	→	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	○	↑
欧州	基礎	◎	↑	○	→	○	↑	○	↑	◎	→	○	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑
中国	基礎	△	→	○	→	△	→	△	↑	○	↑	△	→
	応用・開発	○	→	◎	↑	△	↑	△	↑	◎	↑	○	→
韓国	基礎	○	↑	△	→	△	→	△	→	○	↑	○	↑
	応用・開発	○	↑	○	→	△	→	△	→	△	↑	◎	↑

【機能と物質の設計・制御】

国	フェーズ	空間・空隙設計制御		バイオメテイクス		分子技術		元素戦略・希少元素代替技術		データ駆動型物質・材料開発(マテリアルズ・インフォマティクス)		フォノンエンジニアリング	
		現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	↗	○	↗
米国	基礎	◎	↗	◎	↗	◎	↘	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用・開発	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	○	→	◎	→
欧州	基礎	◎	↗	◎	↗	◎	→	○	→	○	↗	◎	↗
	応用・開発	◎	→	◎	↗	○	→	△	↗	○	↗	○	→
中国	基礎	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
	応用・開発	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	△	→	○	↗
韓国	基礎	○	→	◎	↗	△	→	△	→	○	↗	△	→
	応用・開発	△	→	○	↗	○	→	×	→	×	→	△	→

【共通基盤科学技術】

国	フェーズ	加工・プロセス		オペランド計測 (SPM、TEM、放射光・X線、分光、etc)		物質・材料シミュレーション	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	○	↘	◎	↗	◎	↗
	応用・開発	○	→	○	↗	○	↗
米国	基礎	◎	→	○	→	◎	↗
	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	↗
欧州	基礎	○	→	◎	↗	◎	↗
	応用・開発	◎	↗	◎	→	◎	↗
中国	基礎	△	→	△	→	△	↗
	応用・開発	○	↗	○	→	○	↗
韓国	基礎	△	→	△	→	△	→
	応用・開発	◎	↗	△	→	△	→
台湾	基礎	△	→				
	応用・開発	◎	↗				

【共通支援策】

国	フェーズ	ナノテクノロジーの ELSI/EHS、国際標準	
		現状	トレンド
日本	取組	○	→
	実効性	×	→
米国	取組	◎	↗
	実効性	◎	↗
欧州	取組	◎	→
	実効性	◎	→
中国	取組	○	↗
	実効性	△	↗
韓国	取組	△	↗
	実効性	△	→

(註1) フェーズ

基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発（プロトタイプの開発含む）・量産技術のレベル

(註2) 現状（日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価）：

◎：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

(註3) トレンド：直近2年程度の取り組み状況。↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

研究開発の俯瞰報告書概要

社会ニーズ

社会ニーズを充足しうる研究開発戦略が必要。

- ◆国連の持続可能な開発目標 (SDGs)のうち、次の2項目がライフ・臨床分野と極めて密接に関係
 - 「2. 飢餓をゼロに」
 - 「3. すべての人に健康と福祉を」
- ◆わが国における主な社会ニーズと、科学技術への期待
 - 高齢化による医療・健康ニーズ多様化・増大
 - 治療から疾病管理への転換
 - 経済性、安全性、有効性の高い医療技術へのニーズ
 - 対象群の個別化・層別化
 - 食料自給率低迷
 - 新品種開発、農作業の最適化技術
 - 研究不正(臨床研究、基礎研究)
 - 研究者教育、臨床研究の支援等
 - 研究結果の再現性の確保
 - 実験手法の標準化等

ライフサイエンス・臨床医学分野 (2017年)

分野俯瞰図

「技術」と「学術」で、ライフ・臨床分野の研究開発を構造化し、技術革新の潮流の調査および今後推進すべき方向性を検討。

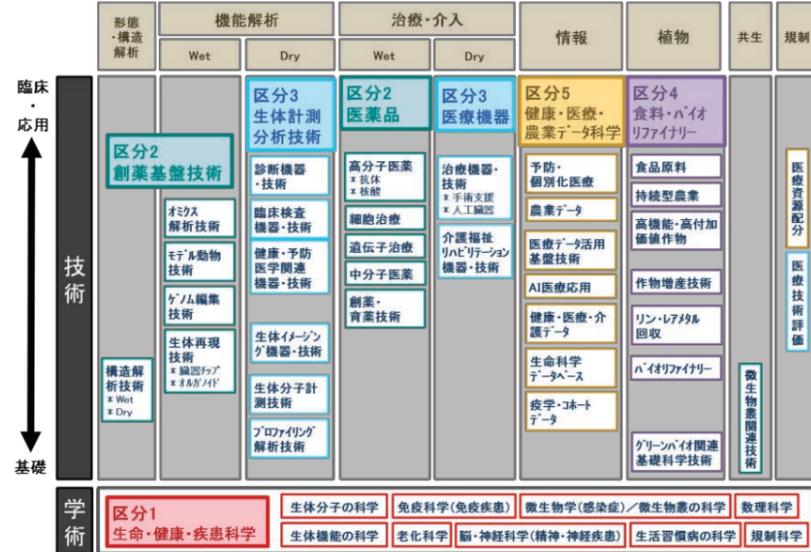


図. ライフサイエンス・臨床医学分野の俯瞰図

技術革新の潮流

近年の注目すべき技術を、I)精緻化・先鋭化、II)多様化・複雑化、III)統合化・システム化の3つに整理。これら革新的技術によって、様々な事象の高精度な記述にとどまらず、「予測」が可能となってきた。

I) 精緻化・先鋭化: 生命の時空間観察および操作/創成

- ①クライオ電子顕微鏡技術(単粒子解析)、②ゲノム編集技術、③個体透明化技術、④ライブイメージング技術(超解像技術、8Kイメージング技術、⑤一細胞解析技術、⑥シミュレーション技術(分子、細胞環境、臓器、個体)、⑦人工分子・人工生命技術、⑧オプトジェネティクス技術、⑨実験のロボット化

II) 多様化・複雑化: 研究対象の拡大および複雑系の解析へ

- ①ヒト*in vitro*実験技術(オルガノイド技術、臓器チップ技術等)、②微生物培養技術、③微生物叢解析技術(メタゲノム、メタトランスクリプトーム等)、④アグリフィールド解析技術、⑤オミクス解析技術(ゲノム等)、⑥非モデル生物の改変技術(作物・家畜、ヒト)

III) 統合化・システム化: 統合ビッグデータに基づく個別化/予測へ

- ①多階層オミクス/臨床情報解析技術、②マルチスケール解析技術(分子~個体)、③マルチモダリティ解析技術、④モニタリング・ウェアラブル技術、⑤植え込み型医療機器技術、⑥ビッグデータ解析技術(人工知能含む)

今後推進すべき方向性

データ駆動型の研究開発の推進および研究プラットフォーム、社会システムの整備

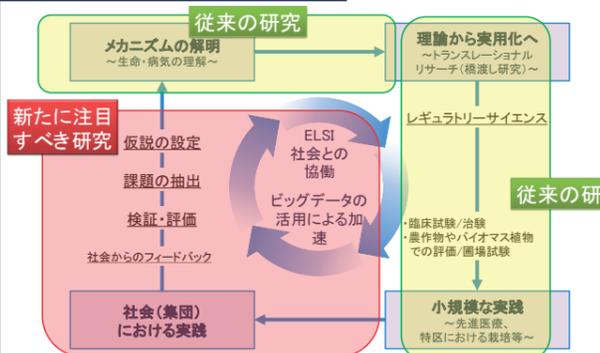


図. 研究開発の循環。基礎研究の成果が社会へ実装され、新たに設定された課題を元に再度基礎研究が推進される。これら一連の循環構造の加速がこれから重要であり、データ科学の適切な推進がカギとなる。

戦略①: データ統合医学 (IoMT) による個別予見医療 【Precision Medicine】

定義: 個々人のバイオマーカー(遺伝子、生体内分子、脈拍・血圧等)とライフログ等を統合的に解析し、**疾患の発生・進行を予見**する。費用対効果を考慮した上で対象を**層別化・個別化**し、予防的な介入を実施することで疾患の重症化/再発を**予防する医療**、およびその**基盤となる生命科学/医学研究**。

戦略②: デジタル統合アグリバイオ技術 (IoAT) による超スマート生産 【Precision Agriculture and Bio-Production】

定義: 土壌/環境条件等、微生物叢/昆虫/寄生虫等のセンシング・統合的情報解析によって、作物の**育成環境を定量的に評価**する。**育成環境や生育状況を適切に監視・制御**する技術を開発し、農作物/生産物の**品質および生産効率の最大化を目指す研究**、ならびにその**基盤となる植物・微生物科学研究**。

データ統合医学 (IoMT) による個別予見医療 【Precision Medicine】

デジタル統合アグリバイオ技術 (IoAT) による超スマート生産 【Precision Agriculture and Bio-Production】

計測	①生体計測技術の開発 (微量分子センシング、ライブイメージング、3次元動的構造計測等)	②アグリフィールド計測技術の開発 (植物育成状態のセンシング、圃場・耕作地全体の微小環境計測等)
情報基盤	③データの蓄積・管理・共有化の加速: データ科学の基盤整備 (データベースの構築(集約と分散)、データのキュレーション、大容量データの通信、データ標準化、データ匿名化、セキュリティ、データシェアのルール策定等)	
情報解析	④データ解析技術(人工知能含む)の開発、インフォマティクス人材の育成 (画像/非画像データ統合解析、マルチスケール(分子~個体)解析、臨床データと生命・疾患研究データの統合解析、数理モデル、人工知能(AD)の適切な活用、インフォマティクス育成等)	
理解/予測/制御	⑤恒常性研究の推進 (加齢、構造生命・医学、合成生物、生体組織モデリング、臓器~細胞連関機能地図等)	⑥植物・微生物ダイナミクス研究の推進 (植物全身シグナル、生物叢相互作用、合成生物学(有用物質生産)、環境適応品種開発等)
予測/介入/実用化	⑦個別予見医療技術の開発 (発症・重症化・発作等の予測診断、治療介入、医療技術開発プロセスの効率化等)	⑧超スマート生産技術の開発 (作物・微生物の育成と最終産物の品質予測・介入、環境と品種のマッチング、省労力化等)
研究開発プラットフォーム/社会システム	⑨研究基盤の整備、体制・制度改革 (大学病院・附属研の活用、オープンイノベーションの加速、ELSIの議論(生命の操作、医療技術や生産技術のたまたみ価値とコストの総合評価、個人情報保護等)、研究成果の再現性確保、研究プロトコルの標準化等)	

図. 具体的な研究開発事項および体制・制度面の重要事項

2.5 ライフサイエンス・臨床医学分野の概要

本分野の俯瞰報告書は、JST-CRDS が、国内外の最先端で活躍する研究者の協力を得て、ライフサイエンス・臨床医学分野の全体像を俯瞰的に調査した結果をまとめたものである（200名以上の有識者ヒアリング、約10回の議論の場（ワークショップ）の設定、120名以上の有識者の協力による本報告書の作成など）。結論を述べると、俯瞰調査活動全般を通じ、わが国のライフサイエンス・臨床医学分野のあるべき方向性として、次の2点が重要であると考えられた。

戦略① データ統合医学（IoMT）・個別予見医療：【Precision Medicine】

戦略② デジタル統合アグリバイオ技術（IoAT）による超スマート生産：【Precision Agriculture and Bio-Production】

（社会動向）

健康・医療、食料・環境のいずれにおいても世界は大きな問題を抱えている。例えば、「持続可能な開発目標（SDGs）」として17項目が示され、その中には「健康と福祉」「食料確保」など、ライフサイエンス・臨床医学分野との関連の深い項目も掲げられている。わが国および世界が抱える問題を科学技術で解決するための研究開発戦略が必要である。

（俯瞰対象の設定）

ライフサイエンス・臨床医学分野は、研究対象はマイクロ（原子、生体分子）からマクロ（集団、社会）まで多岐に亘り、様々なかたちで社会実装（医薬品、医療機器、新品種など）がなされている。俯瞰にあたって、技術がどのような対象（ヒトを含む動物、植物、微生物、それらと関連するデータ群等）に、どのような目的（形態・構造解析、機能解析（Wet、Dry）、治療・介入（Wet、Dry））で使われるか、さらに技術のフェーズ（基礎～応用）およびレギュラトリーサイエンス領域、そして関係する主な学術領域を抽出し整理した。以上を踏まえて作成した俯瞰図を図1に示す。同図中には、JST-CRDSが俯瞰対象とした5つの区分なども掲載している。

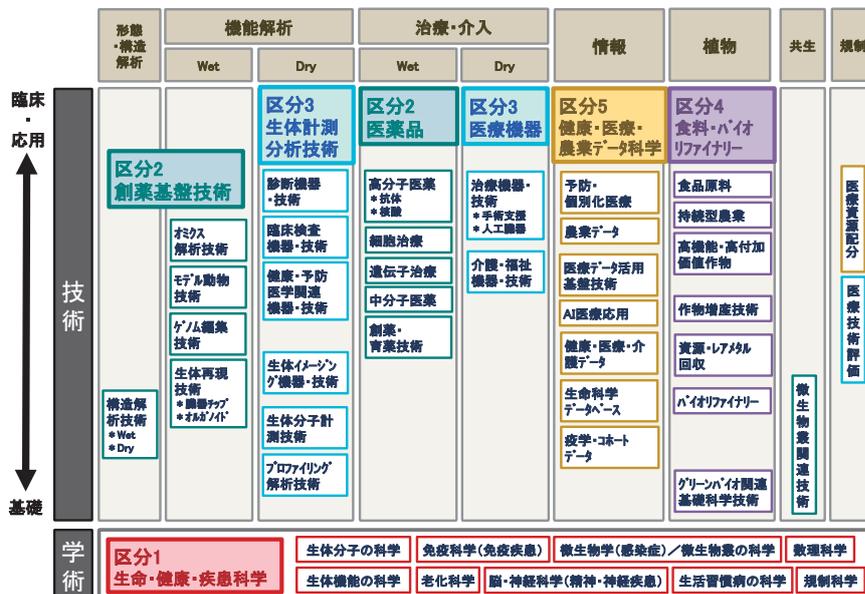


図2-5 ライフサイエンス・臨床医学分野の俯瞰図

〈技術革新の潮流〉

俯瞰対象とした5つの区分について調査を実施したところ、近年特筆すべき技術の潮流として次の3点が見出された。

I) 技術の精緻化・先鋭化：生命の時空間観察および操作／創成

生命を「見る」そして「操作」という観点で、きわめて大きなブレイクスルーが近年次々と起こっている。まず1点は、ゲノムの自由自在かつ簡便な操作を可能とした、「ゲノム編集」技術の登場である。当該技術は、基礎研究のツールとして爆発的に普及するのみならず、治療応用においても目覚ましい展開が見られている。続いて、タンパク質等の構造解析に新たな展開をもたらした「クライオ電子顕微鏡（単粒子解析）」技術である。当該技術は、結晶化困難なサンプルであっても精緻な構造解析を可能とするもので、基礎研究および産業応用の両面から世界中で注目されている。他にも、個体透明化技術、ライブイメージング技術、一細胞解析技術、分子～個体シミュレーション技術、光制御技術、人工分子・生命関連技術など開発が見られる。

II) 対象の多様化・複雑化：研究対象の拡大および複雑系の解析へ

従来、モデル生物（マウス、シロイヌナズナなど）を中心に研究がなされてきたが、社会実装を加速させるためにはヒトや実用作物などとの種差の壁を乗り越えなければならない。そのアプローチの1つとして、例えばヒト *in vitro* 実験系としてオルガノイド技術、臓器チップ技術などが大きな進展を見せている。先述のゲノム編集技術を、ヒトを含め様々な生物種においても実践可能とする技術改良の動きも活発である。従来は個別の分子や生命現象に限定した研究が中心であったが、解析技術の高度化によって、より複雑な系を解析可能となっている。近年進展著しいのが、メタゲノム解析やメタトランスクリプトーム解析をはじめとした微生物叢（マイクロバイオーム）解析技術である。このような、複雑な対象を、実験技術およびインフォマティクス技術の融合によって複雑なまま全体像を捉えようとする方向性が活性化している。

III) データの統合化・システム化：統合ビッグデータに基づく個別化／予測へ

「精緻化・先鋭化」「多様化・複雑化」によって生み出されるデータは膨大であるが、それらデータ群の解析技術の進展も目覚ましい。まず、複数の計測技術から得られるデータを統合解析（マルチモダリティ解析）しようとする潮流が挙げられる。例えば、従来は単独のオミクス（ゲノム、メタボローム）の解析が中心であったが、近年ではそれらを統合した解析技術の開発が大きく進展している。また、分子レベルの情報から個体レベルの情報まで、全てを統合解析しようとする動きも見られる。ウェアラブルデバイスなどの進展によって、様々な時系列データの収集が可能となり、データ解析に時間軸の概念が積極的に取り込まれつつある。統合ビッグデータ解析によって、生命現象を精緻に記述するのみならず、高精度な「予測」も可能となりつつあることは、これからのライフサイエンス・臨床医学分野の大きな方向性を示す、注目すべき動向である。

〈国内外の政策動向〉

米国は、NIH 単独で3兆円を越える投資を行なうなど、他国を圧倒する予算規模となっている。近年重点化している研究開発の方向性としては、精密医療の推進に係る「Precision Medicine Initiative (2015～)」、がん研究の大幅な加速を目指した「Cancer Moonshot (2016～)」、脳機能の全貌解明を目指した「BRAIN Initiative (2013～)」が挙げられる。また NIH/FDA/製薬企業が協働した取り組み「Accelerating Medicines Partnership (2014

～)」が発足した。

欧州は、Hoirizon2020の枠組みの中で、例えば Social Challenge の1つとして個別化医療の推進に係る「Personalized Medicine (2014～)」、Excellent Science の1つとして脳科学研究に係る「Human Brain Project (2013～)」などの大型プロジェクトが進められている。

中国では、「科学技術イノベーション2030」の一環として、「脳科学と類脳研究」「育種技術」「環境保全技術」「健康福祉技術」などが推進されている。また、「精密医療」に着目した取り組みも始まっている。中国のライフサイエンス臨床医学分野への投資はもはや日本を越える規模となっている。

韓国は、第2次バイオテクノロジー育成基本計画（BIO-Vision 2016）の一環として、国内の臨床試験の活性化、オープンイノベーション支援等に対し活発な投資がされている。また、遺伝子治療・幹細胞治療関連研究、医療機器開発、精密医療・再生医療関連産業の国家産業化に向けた支援も進められている。

日本の動向としては、2015年にAMEDが発足し、再生医療、がんなど、9つの重点プロジェクトに対し、年1,000億円を越える研究開発投資が実施されている点が注目される（H29予算要求：1,528億円）。

〈これからのライフサイエンス・臨床医学分野の方向性〉

健康・医療における課題は、治療から疾病管理への転換、対象の個別化・層別化を通じた安全性・有効性・経済性の向上、医療費・介護費の最適化などと考えられる。また、食料・環境における課題は、世界の食料問題への対応、国内の自給率向上、農作業等における省労力・省コスト・省資源投入化の推進等が挙げられる。一方で、前述の3つの潮流に集約される近年の目覚ましい技術革新によって、生命現象等の「理解」にとどまらず、「予測」と「予測に基づく制御」が可能となってきており、これら社会的課題の解決に科学技術が大きく貢献可能な時代となっている。推進すべき研究開発戦略の要素は次の通りである。

- (1) 精緻かつ膨大な実験データの取得、ビッグデータ解析、実験系における検証の一連のサイクルの構築、加速を通じた、高精度な理解と予測
- (2) 予測に応じた、適切な介入による事象の制御
- (3) 推進にあたっての研究基盤整備（設備／情報／人材／規制等）

また、これからのライフサイエンス・臨床医学研究を推進するにあたって、「研究開発の循環」を強く意識する必要がある。基礎研究の成果が小規模な集団で検証され、社会で実際に使用されたデータに基づき技術が評価・検証された後、新たな仮説が見出され、再度基礎研究が推進される。この循環構造を加速させる駆動力がビッグデータに基づくデータ科学であり。以上を踏まえ、わが国において健康・医療、食料・環境の観点から推進すべき中長期戦略として、次の2点を提案する。（図2参照）

戦略①：データ統合医学（IoMT）による個別予見医療：【Precision Medicine】

→個々人のバイオマーカー（遺伝子、生体内分子、脈拍・血圧等）とライフログ等を統合的に解析し、疾患の発生・進行を予見する。費用対効果を考慮した上で対象（患者など）を層別化・個別化し、予防的な介入を実施することで疾患の重症化／再発を予防する医療、およびその基盤となる生命科学／医科学研究。

戦略②：デジタル統合アグリバイオ技術（IoAT）による超スマート生産：【Precision Agriculture and Bio-Production】

→土壌／環境条件等、微生物叢／昆虫／寄生虫等のセンシング・統合的情報解析によって、作物の成育環境を定量的に評価する。成育環境や生育状況を適切に監視・制御する技術を開発し、農作物／生産物の品質および生産効率の最大化を目指す研究、ならびにその基盤となる植物・微生物科学研究。

戦略①、②は、それぞれ、これからのわが国の健康医療研究開発、および食料環境研究開発の大きな方向性を示すものであり、その具体的な構想については次年度以降、JST-CRDS において検討を予定しているが、概観のみ下図に示す。

	データ統合医学 (IoMT) による個別予見医療 【Precision Medicine】	デジタル統合アグリバイオ技術 (IoAT)による超スマート生産 【Precision Agriculture and Bio- Production】
計測	①生体計測技術の開発 (極微量分子センシング、ライブイメージング、3次元動的構造計測等)	②アグリフィールド計測技術の開発 (植物成育状態のセンシング、圃場・耕作地全体の微小環境計測等)
情報基盤	③データの蓄積・管理・共有化の加速: データ科学の基盤整備 (データベースの構築(集約と分散)、データのキュレーション、大容量データの通信、データ標準化、データ匿名化、セキュリティ、データシェアのルール策定等)	
情報解析	④データ解析技術(人工知能含む)の開発、インフォマティクス人材の育成 (画像／非画像データ統合解析、マルチスケール(分子～個体)解析、臨床データと生命・疾患研究データの統合解析、数理モデル、人工知能(AI)の適切な活用、インフォマティクス人材の確保と育成等)	
理解／予測 ／制御	⑤恒常性研究の推進 (加齢、構造生命・医科学、合成生物、生体組織リモデリング、臓器～細胞連関機能地図等)	⑥植物・微生物ダイナミクス研究の推進 (植物全身シグナル、生物叢相互作用、合成生物学(有用物質生産)、環境適応品種開発等)
予測／介入 ／実用化	⑦個別予見医療技術の開発 (発症・重症化・発作等の予測診断、治療介入、医療技術開発プロセスの効率化等)	⑧超スマート生産技術の開発 (作物・微生物の成育と最終産物の品質予測・介入、環境と品種のマッチング、省労力化等)
研究開発 プラットフォーム ／社会システム	⑨研究基盤の整備、体制・制度改革 (大学院・附置研の活用、オープンイノベーションの加速、ELSIの議論(生命の操作、医療技術や生産技術のもたらす価値とコストの総合評価、個人情報保護等)、研究成果の再現性確保、研究プロトコルの標準化等)	

図 2-6 健康・医療分野および食・環境分野におけるデータ駆動型科学の推進と、具体的な研究開発課題イメージ

国際比較表まとめ (ライフサイエンス・臨床医学分野)

【生命・健康・疾患科学】

国	フェーズ	生体分子の科学 (RNA、糖鎖、エクソソーム等)		生体機能の科学 (時間科学、性差医学・生物学等)		免疫科学		脳・神経科学		老化科学		微生物叢 (マイクロバイオームの科学)		数理科学	
		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
日本	基礎	◎	→	◎	↗	○	↘	◎	→	○	↗	○	↗	○	→
	応用・開発	○	→	○	→	○	→	○	→	○	↗	△	→	○	↗
米国	基礎	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	→
	応用・開発	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	◎	↗	○	↗	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→
	応用・開発	○	↗	○	↗	◎	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	↗
中国	基礎	○	↗	△	↗	◎	↗	△	↗	○	↗	◎	↗	△	↗
	応用・開発	○	↗	×	↗	○	↗	△	↗	△	↗	-	-	-	-
韓国	基礎	○	↗	△	→	○	↗	△	↗	○	↗	○	↗	△	→
	応用・開発	○	↗	△	↗	△	→	△	↗	○	↗	-	-	-	-
台湾	基礎	○	→											△	↗
	応用・開発	○	→											-	-
												インド	基礎	△	↗
												インド	応用・開発	-	-

国	フェーズ	生活習慣病 (がん、代謝疾患、腎疾患)		精神・神経疾患		免疫疾患		感染症	
		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・開発	○	→	○	↗	○	→	○	→
米国	基礎	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	→
	応用・開発	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→
欧州	基礎	◎	→	◎	→	◎	→	○	→
	応用・開発	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→
中国	基礎	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗
	応用・開発	○	↗	△	→	△	↗	△	↗
韓国	基礎	○	↗	△	↗	△	→	△	→
	応用・開発	△	↗	△	→	△	↗	○	→

【創薬基盤技術、医薬品】

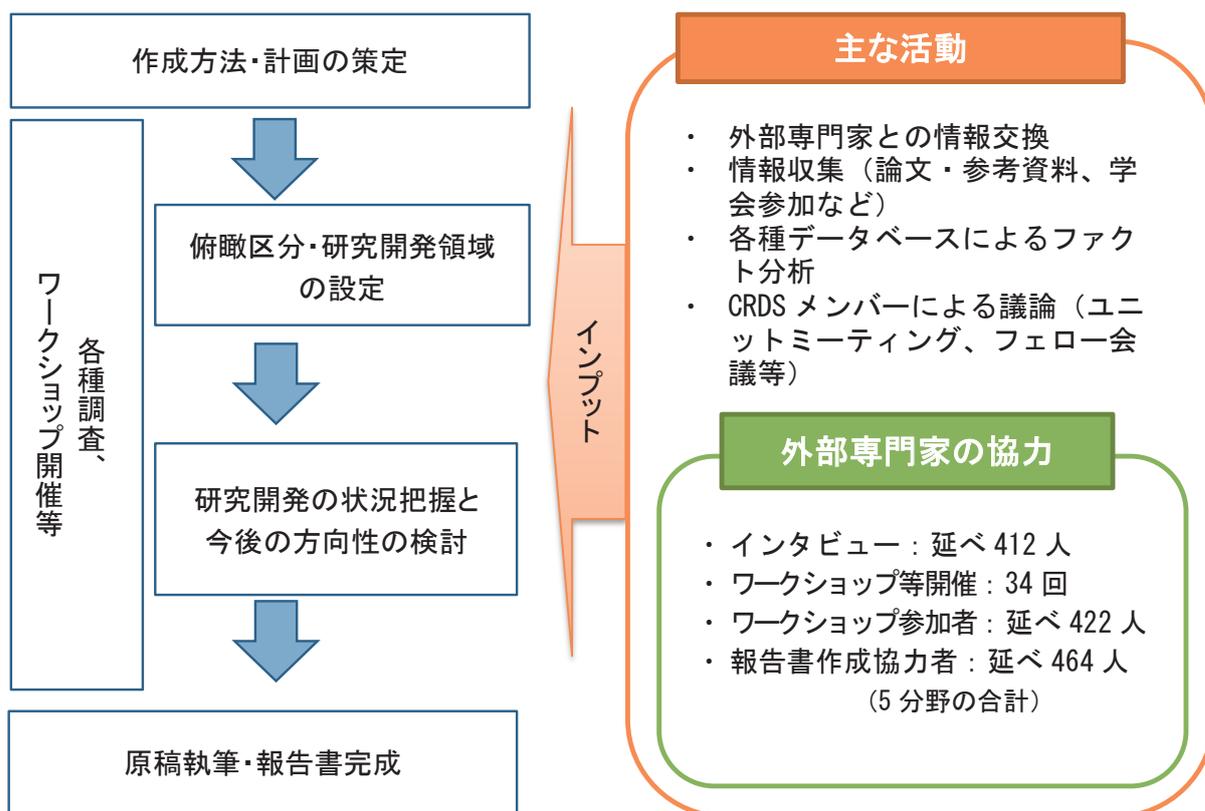
国	フェーズ	ゲノム解析・オミクス解析		生体再現技術 I (臓器チップ)		生体再現技術 II (オルガノイド)		モデル動物		ゲノム編集		構造解析技術 I (Wet)		構造解析技術 II (Dry)	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	◎	→	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↘	○	→
	応用・開発	△	→	△	↗	○	↗	○	→	△	↘	△	→	○	→
米国	基礎	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
	応用・開発	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	→
	応用・開発	△	→	◎	↗	◎	↗	○	→	△	→	◎	↗	○	→
中国	基礎	○	↗	△	↗	○	→	△	→	○	↗	△	↗	○	↗
	応用・開発	○	↗	△	→	×	→	△	→	◎	↗	-	-	△	↗
韓国	基礎	×	→	○	↗	△	→	△	→	◎	↗			△	↗
	応用・開発	△	→	○	↗	×	→	×	↘	○	↗			△	→
英国	基礎	◎	↗							アジア	基礎	○	↗		
	応用・開発	○	→							アジア	応用・開発	-	-		
				シンガポール	基礎	○	→								
				シンガポール	応用・開発	△	→								

国	フェーズ	創薬・育薬技術 (バイオマーカー、ドラッグリポジショニング等)		バイオ医薬 (抗体医薬等)		核酸医薬		中分子医薬		細胞治療		遺伝子治療	
		現状	トレンド	現状	トレンド	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・開発	△	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	△	→
米国	基礎	◎	↗	◎	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	↗
	応用・開発	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	○	↗	○	→	◎	↘	○	→	○	→	◎	↗
	応用・開発	○	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	↗	◎	↗
中国	基礎	○	↗	△	→	○	→	×	→	○	→	○	↗
	応用・開発	-	-	△	→	△	↗	×	→	○	→	◎	↗
韓国	基礎	△	→	△	→	△	→	×	→	○	↗	×	→
	応用・開発	-	-	△	→	○	↗	×	→	◎	→	△	→

ライフサイエンス・臨床医学分野の概要

（付録1）検討の経緯

分野ごとに、国内外の研究機関・研究者への訪問調査・意見交換、各種学会・文献等調査、および各ワークショップ開催、関連施策調査等を行い、これらの俯瞰調査活動の結果をとりまとめて、俯瞰報告書を作成した。検討の経緯の主なプロセスは以下のとおりである。ワークショップ参加者や作成協力者の詳細は分野ごとの俯瞰報告書に記載している。



（付録2）研究開発の俯瞰報告書（2017年）全分野で対象としている俯瞰区分・研究開発領域一覧

1. エネルギー分野（CRDS-FY2016-FR-02）〈3 俯瞰区分 31 研究開発領域〉

俯瞰区分	研究開発領域
エネルギー供給	エネルギー資源開発技術
エネルギー供給	火力発電
エネルギー供給／利用	CCUS(Carbon Capture Utilization and Strage)
エネルギー供給	新型原子力炉
エネルギー供給	核融合炉
エネルギー供給	原子力安全
エネルギー供給	使用済燃料等の処理処分・廃止措置
エネルギー供給	風力発電
エネルギー供給	地熱発電
エネルギー供給／利用	太陽光発電
エネルギー供給／利用	バイオマス
エネルギー供給／ネットワーク／利用	エネルギーシステム評価
エネルギーネットワーク／利用	分散協調型エネルギーマネジメントシステム
エネルギーネットワーク／利用	直流送配電・超電導送配電
エネルギーネットワーク／利用	パワーエレクトロニクス
エネルギーネットワーク／利用	蓄電デバイス
エネルギーネットワーク／利用	蓄熱技術
エネルギー供給／ネットワーク／利用	エネルギーキャリア
エネルギー供給／ネットワーク／利用	燃料電池
エネルギーネットワーク／利用	モータ・トランス磁石材料
エネルギー利用	スマートビル・ハウス
エネルギー利用	断熱・遮熱・調光
エネルギー利用	照明・ディスプレイ（有機EL、量子ドットLED等）
エネルギー利用	熱再生利用技術
エネルギー供給／利用	触媒
エネルギー利用	分離技術
エネルギー供給／利用	燃焼（全般）
エネルギー利用	エンジン燃焼（自動車）
エネルギー供給／利用	トライボロジー
エネルギー供給／利用	耐熱材料
エネルギー利用	高強度軽量材料

2. 環境分野（CRDS-FY2016-FR-03）〈4 俯瞰区分 15 研究開発領域〉

俯瞰区分	研究開発領域
気候変動	気候変動予測
	気候変動影響予測・評価
環境汚染・健康	大気汚染
	水質汚染
	土壌・地下水汚染
	物質循環・環境動態
	健康・環境影響
	化学物質リスク管理
生物多様性・生態系	生物多様性・生態系の把握・予測
	生態系サービスの評価・管理
循環型社会	水循環
	農林水産業の環境研究
	リサイクル・廃棄物処理
	資源・生産・消費管理
	環境都市

3. システム・情報科学技術分野 (CRDS-FY2016-FR-04) (6 俯瞰区分 36 研究開発領域)

俯瞰区分	研究開発領域
知のコンピューティング	知の集積・増幅・探索
	予測と発見の促進
	知のアクチュエーション
	ELSI と社会適用
	認知科学
	脳情報システム
	知的インタラクション
CPS/IoT/REALITY 2.0	REALITY 2.0 による社会デザイン
	ソフトウェアデファインドソサエティのサービスプラットフォーム
	モノ・ヒト・コトのスマートなサービス化技術
	CPS/IoT/REALITY 2.0 アーキテクチャー
	モノ・ヒト・コトのインターフェース
社会システムデザイン	—
ビッグデータ	ビッグデータ処理基盤技術
	機械学習技術
	画像・映像解析技術
	自然言語処理技術
	ビッグデータ活用促進技術
	ビッグデータによる価値創造
	ビッグデータに関わる制度設計
	新計算原理
ロボティクス	ロボティクスと社会
	モビリティ・フィールドロボット
	空中ロボット
	生活支援・福祉ロボット
	医療ロボット
	産業用・研究開発用ロボット
	システム化技術
	ソフトロボティクス
	認知発達ロボティクス
	セキュリティー
サイバー攻撃の検知・防御	
認証・ID 連携	
プライバシー情報の保護と利活用	
セキュリティーアーキテクチャー	
運用・監視技術	
IT システムのためのリスクマネジメント	

4. ナノテクノロジー・材料分野 (CRDS-FY2016-FR-05) <7 俯瞰区分 37 研究開発領域>

俯瞰区分	研究開発領域
環境・エネルギー応用	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
	グリーン触媒
	分離技術
	ライフ・ヘルスケア応用
	再生医療材料
	ナノ薬物送達システム（ナノ DDS）
	バイオ計測・診断デバイス
	脳・神経計測
	バイオイメーキング
ICT・エレクトロニクス応用	超低消費電力（ナノエレクトロニクスデバイス）
	スピントロニクス
	二次元機能性原子薄膜
	フォトニクス
	有機エレクトロニクス
	MEMS・センシングデバイス
	エネルギーハーベスティング
	三次元ヘテロ集積
	量子コンピューティング
	ロボット基盤技術
	社会インフラ応用
	非破壊検査・劣化予測
	接合・接着・コーティング（溶接・接合、接着、コーティング）
機能と物質の設計・制御	空間・空隙構造制御
	バイオミメティクス
	分子技術
	元素戦略・希少元素代替技術
	データ駆動型物質・材料開発（マテリアルズ・インフォマティクス）
	フォノンエンジニアリング
共通基盤科学技術	加工・プロセス技術
	ナノ・オペランド計測技術
	物質・材料シミュレーション
共通支援策	ナノテクノロジーの ELSI/EHS、国際標準

5. ライフサイエンス・臨床医学分野 (CRDS-FY2016-FR-06) (5俯瞰区分 49研究開発領域)

俯瞰区分	研究開発領域
生命・健康・疾患科学	生体分子の科学 (RNA、糖鎖、エクソソーム等)
	生体機能の科学 (時間科学、性差医学・生物学等)
	免疫科学
	脳・神経科学
	老化科学
	微生物叢 (マイクロバイオーーム) の科学
	数理科学
	生活習慣病 (がん、代謝疾患、腎疾患)
	精神・神経疾患
	免疫疾患
	感染症
	創薬基盤技術、医薬品
生体再現技術 I (臓器チップ)	
生体再現技術 II (オルガノイド)	
モデル動物	
ゲノム編集	
構造解析技術 I (Wet)	
構造解析技術 II (Dry)	
創薬・育薬技術 (バイオマーカー、ドラッグリポジショニング等)	
バイオ医薬 (抗体医薬等)	
核酸医薬	
中分子医薬	
細胞治療	
遺伝子治療	
生体計測分析技術・医療機器	診断機器・技術
	臨床検査機器・技術
	治療機器・技術 (手術支援システム、ロボット・デバイス)
	治療機器・技術 (人工臓器、生体機能補助・代行装置)
	介護福祉・リハビリテーション支援機器
	健康・予防医学関連機器
	医療技術評価 (医療機器)
	生体イメージング機器・技術
	生体分子計測技術
	プロファイリング・解析技術
食料・バイオリファイナリー	グリーンバイオ関連基礎科学
	バイオリファイナリー
	作物増産技術
	持続型農業
	高機能高付加価値作物
	食品原料 (機能性成分)
	リン・レアメタル回収
健康・医療・農業データ科学	生命科学データベース
	医療データ活用基盤技術
	疫学・コホート
	健康・医療・介護情報
	AI 医療応用
	予防・個別化医療
	医療資源配分
	スマート農業

CRDS-FY2016-FR-08

研究開発の俯瞰報告書

概要版(2017年)

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

平成 29 年 3 月 March 2017

ISBN: 978-4-88890-556-5

国立研究開発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>

©2017 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA

TAAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GACCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

