

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC 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

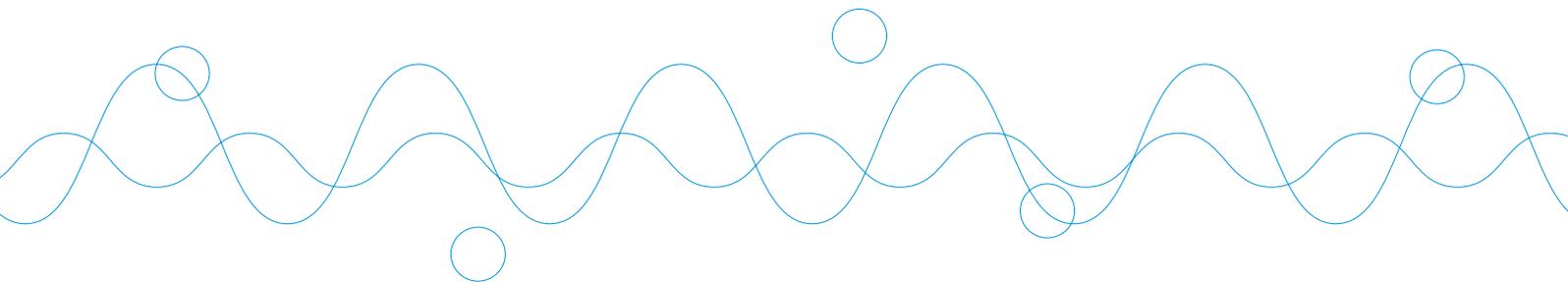
本編 概要版 (2013年)

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)

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

0 1 1 0 1 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 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

本冊子は、研究開発戦略センター（CRDS）が2013年3月に発行した研究開発の俯瞰報告書について、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、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。

2013年11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)

目次

はじめに

1. 目的と構成	1
1.1 俯瞰報告書本編 (概要版) 作成の目的	1
1.2 構成	2
1.3 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	3
2. 各分野の俯瞰の概要	9
2.1 環境・エネルギー分野	11
2.1.1 環境・エネルギー分野の変遷	13
2.1.2 分野の範囲と構造 (分野の俯瞰図)	17
2.1.3 国際比較結果のポイント	22
2.1.4 日本の課題	23
2.2 ライフサイエンス・臨床医学分野	27
2.2.1 分野の範囲と構造 (俯瞰図)	29
2.2.1.1 ライフサイエンステクノロジー分野	30
2.2.1.2 グリーンテクノロジー分野	30
2.2.2 分野の変遷	31
2.2.2.1 ライフサイエンステクノロジー分野	31
2.2.2.2 グリーンテクノロジー分野	32
2.2.3 俯瞰調査を通じた今後の方向性	33
2.2.4 国際比較	34
2.2.5 日本の状況・課題	36
2.3 電子情報通信分野	39
2.3.1 分野を取りまく環境変化	41
2.3.2 我が国の課題と今後の方向性	42
2.3.3 分野の範囲と構造	44
2.3.4 国際比較	50
2.4 ナノテクノロジー・材料分野	51
2.4.1 ナノテクノロジー・物質材料分野の俯瞰と位置づけ	53
2.4.2 研究開発動向	56

2.4.3	世界の国家戦略	59
2.4.4	日本の課題(研究開発と政策)	61
2.5	システム科学技術分野	63
2.5.1	システム科学技術について	65
2.5.2	システム科学技術の歩み	66
2.5.3	システム科学技術の俯瞰区分(構成要素)	67
2.5.4	研究開発領域	68
2.5.5	当該分野における各国の研究ビジョンと戦略	75
2.5.6	研究開発をとりまく状況と今後の方向性	76
	付録	77
	付録1 国際比較表まとめ	79
	環境エネルギー分野	79
	ライフサイエンス・臨床医学分野	80
	電子情報通信分野	82
	ナノテクノロジー・材料分野	84
	システム科学技術分野	86
	付録2 執筆協力者一覧	88
	環境エネルギー分野	88
	ライフサイエンス・臨床医学分野	90
	電子情報通信分野	93
	ナノテクノロジー・材料分野	96
	システム科学技術分野	101

1. 目的と構成

1.1 俯瞰報告書本編（概要版）作成の目的

この報告書は、JST 研究開発戦略センター（CRDS）が2013年3月に発行した、研究開発の俯瞰報告書（本編）（以下、「俯瞰報告書本編」と言う）の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、システム科学分野）の概要版である。今回、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、5つの専門分野をコンパクトにまとめた概要版を作成するに至った。

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、科学技術に関するさまざまな研究開発全体の俯瞰が必要である。俯瞰報告書本編は、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。

俯瞰報告書本編は、研究開発が行われているコミュニティ全体をCRDSの内部組織であるユニットに対応した形で、便宜的に5つの専門分野に分け、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、さらに国際的な我が国のポジションを把握するために作成している。また、複数分野の報告書を使うことで、複数分野にまたがる新しい切り口からの研究開発戦略を立案することにも役立つ。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が、当該分野の動向を深く知りたいと考える政策決定者、行政官、企業人、大学・独法関係者、学生などに大いに役立つはずである。また、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有益に活用頂きたい。

1.2 構成

本報告書の構成であるが、第1章では、俯瞰報告書（概要版）の目的、2013年3月に発行した俯瞰報告書（本編）の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、システム科学分野）で取り上げた研究開発領域の一覧（167領域）を掲載している。第2章では、各分野の俯瞰の概要として、俯瞰報告書（本編）のエッセンスを抽出し、分野別にとりまとめている。また、付録として、研究開発領域ごとの全分野の国際比較表サマリーと総勢320名以上の外部の執筆協力者の一覧を掲載している。

本報告書は俯瞰報告書本編の概要版であるため、各分野の俯瞰対象分野の全体像や研究開発領域の詳細について更に詳しく知りたい方におかれては、分野別の俯瞰報告書本編も合わせて参考にして頂きたい。俯瞰報告書本編、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に掲載している。

研究開発の俯瞰報告書（2013年）【本編】

環境エネルギー分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-03.pdf>

ライフサイエンス・臨床医学分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-04.pdf>

電子情報通信分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-05.pdf>

ナノテクノロジー・材料分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-06.pdf>

システム科学分野

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-07.pdf>

【主要国編】

主要国の研究開発戦略（2013年）

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-08.pdf>

【データ編】

データで見る俯瞰対象分野（2012年）

<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/FR/CRDS-FY2012-FR-01.pdf>

1.3 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、システム科学分野）で取り扱っている167の研究開発領域の一覧を以下に記す。

表 1.3.1 環境・エネルギー分野（CRDS-FY2012-FR-03） 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銹技術（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) 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・再生医科学に伴う倫理的、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-FY2012-FR-05) 41 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	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
	言語、メディア理解
	知能システムの基礎
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
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
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
CHS (Cyber-Human Systems)	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)
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
人工知能	統合的人工知能
	強い人工知能
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

表 1.3.4 ナノテクノロジー・材料分野 (CRDS-FY2012-FR-06) 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
		バイオイメージング
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 システム科学分野 (CRDS-FY2012-FR-07) 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・マイクロ連携
	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、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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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パ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 	<ul style="list-style-type: none"> バイオマスエネルギー増産加速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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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
	<ul style="list-style-type: none"> 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、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む、課題駆動の科学技術分野である。対象と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。当該分野の俯瞰を行うにあたり、東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故以降、我が国のエネルギーに関する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、エネルギー分野を中心に検討を行った。ただし、原子力エネルギーに関しては、その位置付けに関し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とした。

2.1.1 環境・エネルギー分野の変遷

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 の推移を示す。1970 年代の石油ショック後、後述の政策的な対応もあってしばらくはエネルギー消費量を増やさずに経済成長を続けたが、その後増加に転じ、1995 年頃以降は経済の停滞もあって現在まで微増に留まっている。この間、産業界での省エネルギーの徹底とは対照的に、電化・情報化による民生部門とモータリゼーションによる運輸部門での増加が著しい。

エネルギー消費の増加にともなって一次エネルギー供給量も増加した。1990 年と 2010 年と比較すると約 1.14 倍に増加した (図 2.1.2)。またその内訳にも変化がみられた。20 年間で石油が約 0.9 倍に減少する一方、石炭 (約 1.5 倍) と天然ガス (約 1.9 倍) はともにシェアを伸ばし、原子力は約 1.3 倍に増加して、石油代替エネルギーの導入が進んだ。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た。再生可能エネルギーなどは微増したが全体に占める割合では横ばいであった。

図 2.1.3 に主な先進諸外国の一次エネルギー供給構造とエネルギー自給率を示す。日本のエネルギー自給率は 20% となっているが、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は 4.4% であり先進諸外国の中でも際立って小さい。

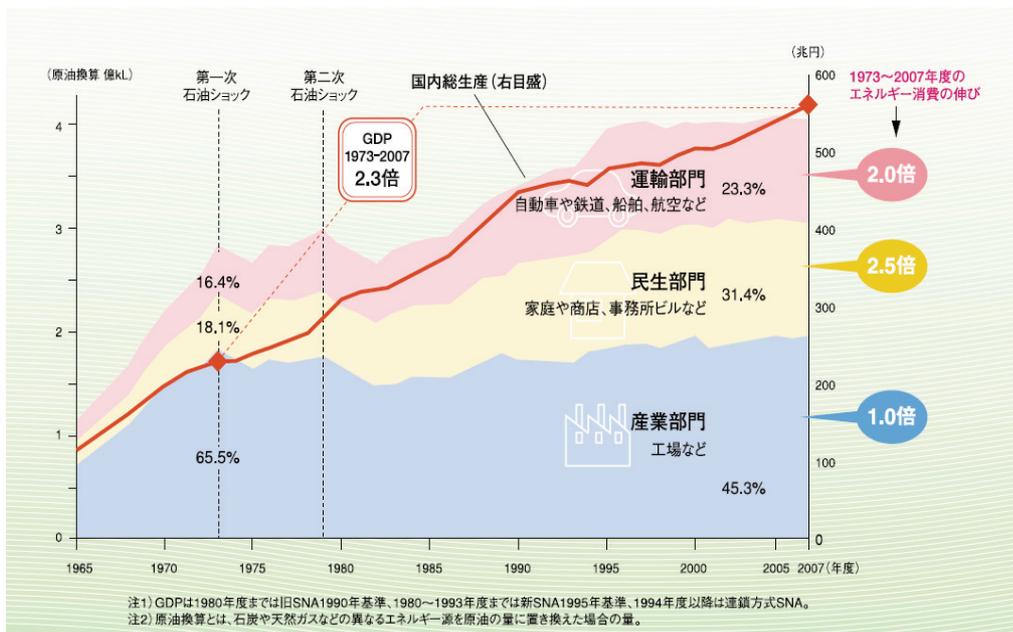


図 2.1.1 エネルギー消費量の推移と経済成長 (出典：エネルギー白書、2012年)

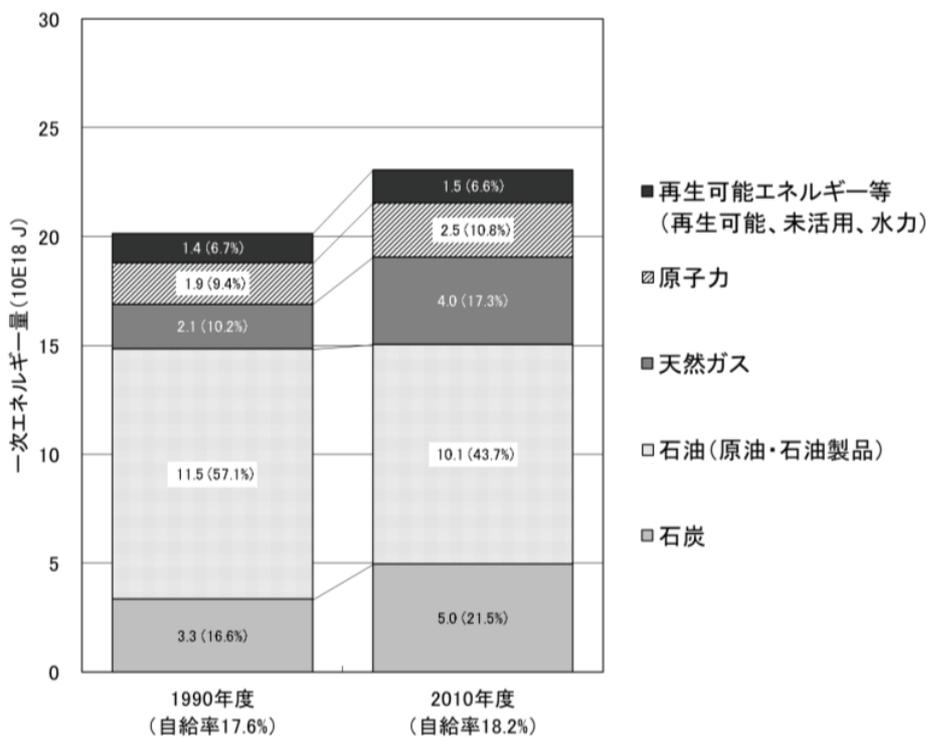


図 2.1.2 一次エネルギー量内訳
(総合エネルギー統計のデータを基に CRDS が作成)

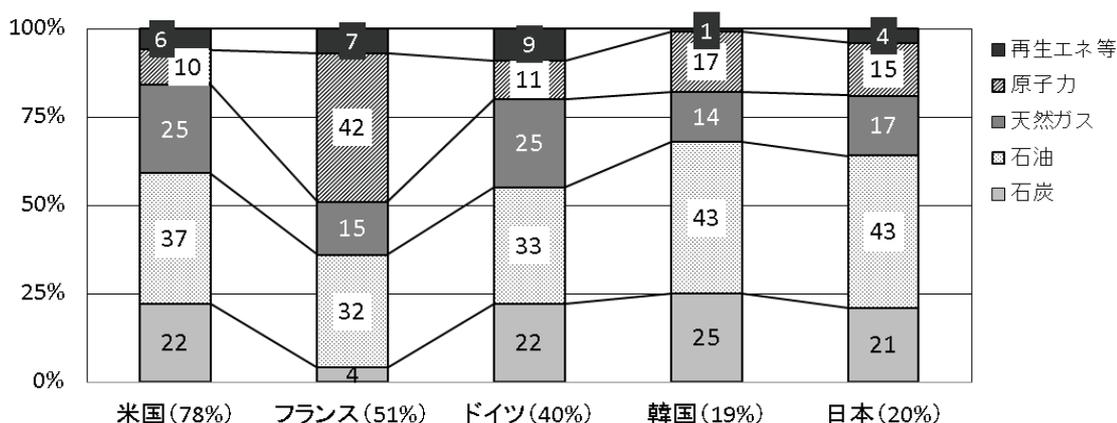


図 2.1.3 各国のエネルギー供給構造
(IEA の Energy Balances of OECD Countries 2011 を基に
CRDS が図作成、原子力を含まない場合の日本の自給率は 4.4%)

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た。石油ショックが発生した70年代から80年代にかけて、それまでの石油依存からエネルギー資源の多様化に重心が移り、代替エネルギーの導入、省エネルギーの促進によって脱石油が進められた(表 2.1.1)。また、高度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となった。こうした資源・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が、少資源国である日本は産官学が連携して省エネ技術・環境対策技術の開発に戦略的に取り組み、自動車ほか製造機器・設備で圧倒的な世界競争力を有するに至った。

90年代に入り、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、リオデジャネイロで開催された国連環境開発会議(地球サミット、92年)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の採択(97年)など、地球温暖化問題への対応の必要性が国際的に高まった。めまぐるしく変化する世界情勢に対し、日本はバブルの崩壊から立ち直る有効な手段を見出せず、日本の経済は低迷を始めることとなった。

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。また、情報化のさらなる進展は、さまざまな利便性をもたらすとともに、世界の金融不安定化を引き起こすなど弊害も生み始めた。こうしたなかで、エネルギー政策基本法が制定(02年)され、それに基づきエネルギー基本計画が閣議決定(03年)されることにより、エネルギー、環境、経済の3Eの同時充足を基本方針とした取り組みが進められた。

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組み	重視された側面
70年代	<p><u>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</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・資源エネルギー庁発足(73年) ・原子力エネルギー促進(電源三法74年) ・省エネルギー促進(省エネ法79年) ・代替エネルギー促進(代エネ法80年) 	<ul style="list-style-type: none"> サンシャイン計画(74年) ムーンスライト計画(78年) 新エネルギー総合開発機構設立(現NEDO 80年) 	<p>エネルギー安全保障</p> <p>経済効率性の追加</p>
90年代	<p><u>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)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力エネルギー促進 ・温暖化対策本格化(環境基本法98年) ・新エネルギー促進(新エネ法97年) 	<ul style="list-style-type: none"> 地球環境技術研究開発(89年) ニューサンシャイン計画(93年) 科学技術基本法(95年) 第1期科学技術基本計画(96-00年) 	<p>環境性の追加</p> <p>3Eの同時達成</p>
00年代	<p><u>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</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・循環型社会形成推進基本法(00年) ・エネルギー政策基本法(02年) ・エネルギー基本計画(08年、一次改訂07年、二次改訂10年) ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> 第2期科学技術基本計画(01-06年) 第3期科学技術基本計画(06-10年)(エネルギー等の分野別推進) 	<p>エネルギー安全保障の再認識</p> <p>環境性の再認識</p>
10年代	<p><u>背景: リスク対応を含めた安全性の重視</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー・環境会議発足(11年、革新的エネルギー・環境戦略12年) 	<ul style="list-style-type: none"> 第4期科学技術基本計画(11-15年)(グリーンイノベーション関連施策) 	<p>安全性の追加</p>

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。また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。それゆえに実社会とのつながりが重要な意味をもつことが多く、社会導入時の種々の課題が技術開発の大きなボトルネックと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く、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、という点は常に留意すべきと思われる。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のないままに、大半が動力(電力)あるいは熱として最終消費されることになる。したがって安価で、大量で、かつ安定な供給だけがエネルギーに対する要件となりがちであるが、持続的なエネルギーの利用という観点からは、環境に対する負荷の軽減や安全への配慮も欠かせない。

以上より、エネルギー分野における科学技術と研究開発は、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が目的といえる。我が国におけるエネルギー分野の研究開発においては、これまで述べてきたような経緯の中で産官学が連携して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 (分野の俯瞰図)

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。この図は、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たものである。貿易統計による各資源の輸入額 20 兆円にも及ぶ国富を費やして得たエネルギー資源 (約 23EJ/年) が最終消費されるまでには、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。これらの図を詳細にみると、さまざまな課題が浮かび上がる。一次エネルギー源の調達においては、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。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おり、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での損失も大きく、1 割が排熱となっていることから、蒸留工程での熱回収利用技術などが必要といえる。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。そして、再生可能エネルギーは現状では一次エネルギー源としてはきわ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もって進める一方、それらのエネルギーの貯蔵・輸送・利用を可能とする優れた技術の開発が必要である。

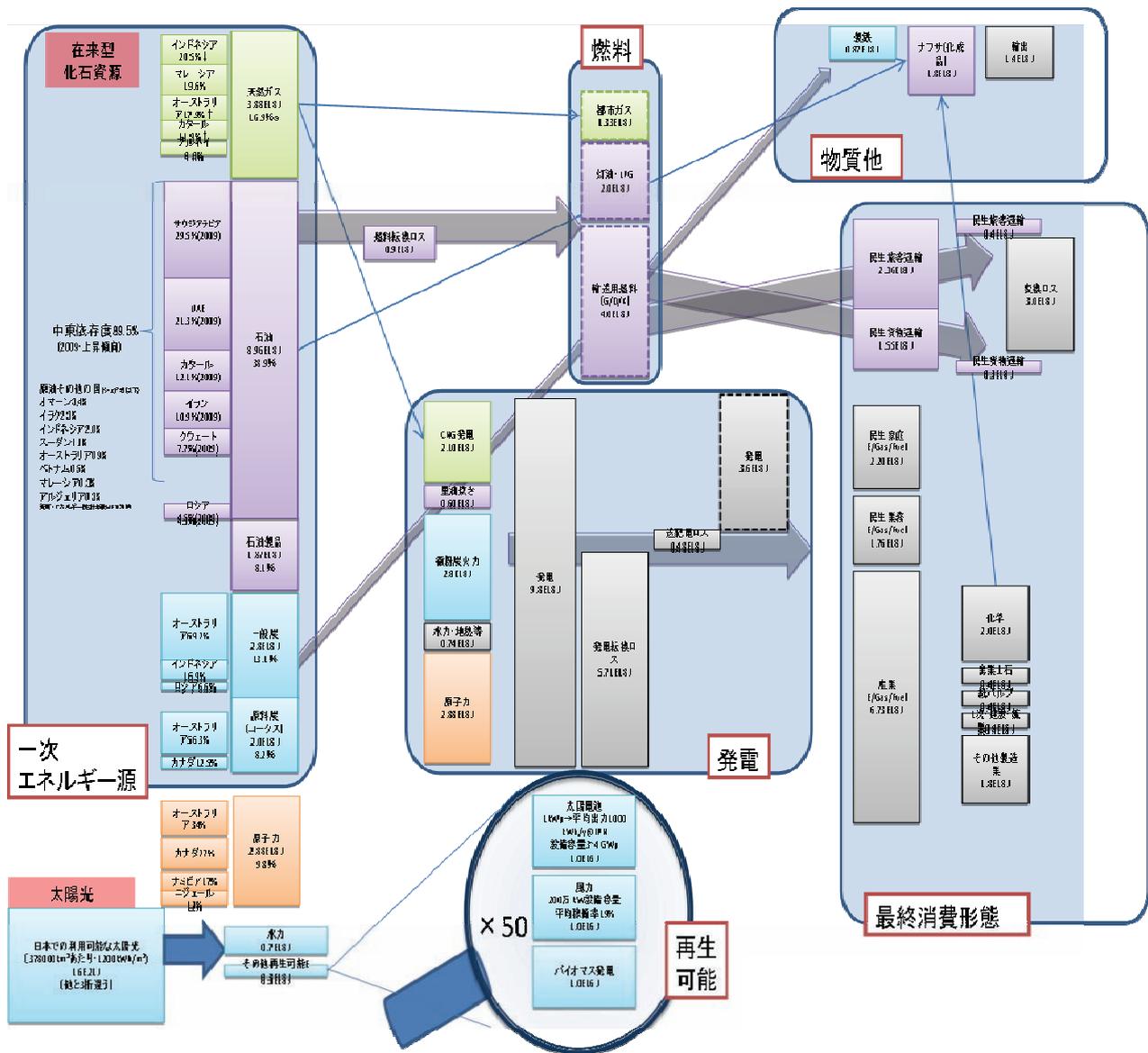


図 2.1.4 我が国のエネルギー・フロー

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

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ると、原理的な問題点が明確になってくる。主要な技術的課題を整理すると、以下ようになる。

1. 安定した資源確保
 - 今の資源供給国： 中東、オーストラリア、インドネシア、カナダ、ロシア
2. 電力への転換効率改善
 - IGCC/A-USC、1700°Cガスタービン、送配電ロス低減、SOFC 等
 - 発電、送電、配電技術、ダイヤモンド制御
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

本書では、広く共有される社会的期待であり、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）」の、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、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）として捉え、検討することとした。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ず、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ものと想定することとした。

分野の範囲と構造

この分野の研究開発あるいは技術の構造的な俯瞰図を図 2.1.5 に示す。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、前述のとおり、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）が存在するという構造である。

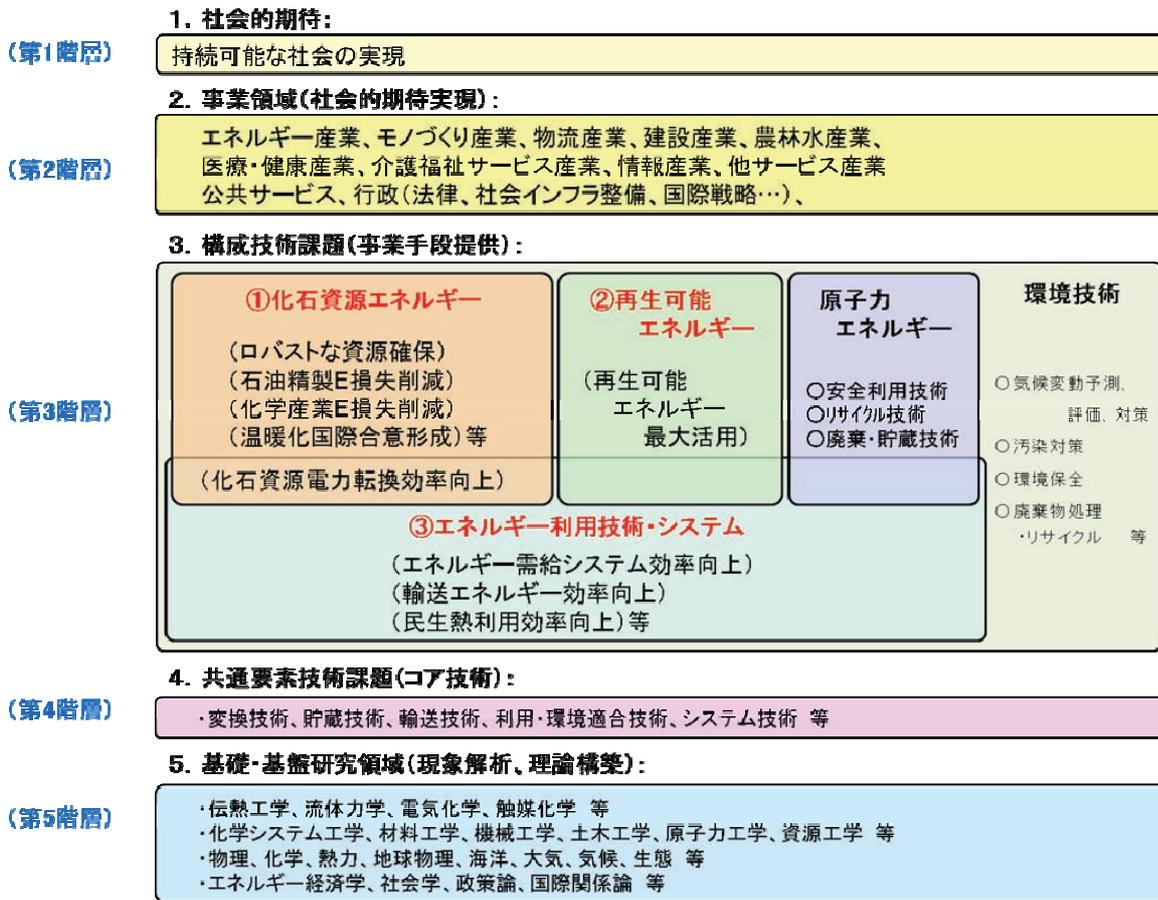


図 2.1.5 環境・エネルギー分野俯瞰の範囲と構造 (俯瞰図)

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してゆく場合、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。(ex. 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。(ex. 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。(ex. 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、短期、中長期の視点で分類して表 2.1.2 にまとめた。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	中長期
化石資源 エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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
	<ul style="list-style-type: none"> 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 	

- ▶ 短期：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、あるいは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。

図 2.1.6 に 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あるが、必ずしも遠い将来とも言えない。それは、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への戦略的取り組みが強化されねばならない。

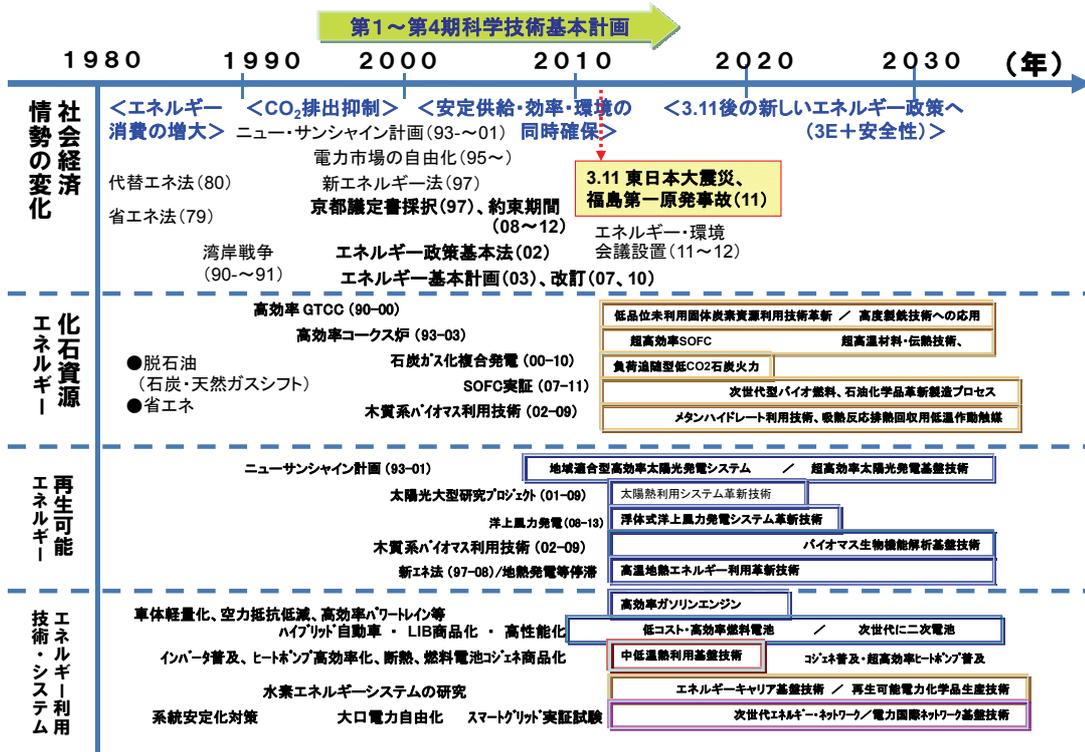


図 2.1.6 時間軸上のエネルギー分野研究開発動向の俯瞰

2.1.3 国際比較結果のポイント

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て極めてレベルが高いが、石炭など一部の分野では研究者の減少が問題である。また分野間連携が弱く、異なる学問分野間での協働による新技術創出は米国に比べて遅れがちである。応用開発では、産業界が国の補助のもとに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。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行われ成果も出ているが、産業化で諸外国に劣る。地熱も同様に基礎・応用研究が盛んで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が、海外移転なども可能な革新的技術の研究開発に取り組む必要がある。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、新しい技術の芽を育む土壌があり、新規技術は今後も有望である。応用・産業化の面では海外展開により従来技術の拡大を進めている。一方、再生可能エネルギーのうち地熱や太陽熱については基礎・応用研究ともにもっとも盛んで、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・応用研究が行われ、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。インフラの劣化もあり、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に至るまで、幅広く戦略的取り組みが開始されている。

<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んでいるが、研究開発へは注力が少ない。太陽熱では「サブサハラ・デザーテック」に関連した研究開発が進められている。東欧・ロシアも含めて、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も輸送用エンジン技術は世界のトップクラスを維持し、再生可能エネルギーの導入にも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のに対し、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、海外からの技術移転のスピードが早く、国内研究体制も拡充しつつあり、やがて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、日本よりも20～30年遅れる。

<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。また中国と同様、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。国内のシステム構築は日本と同様これからであるが、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である。

2. 1. 4 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

一方、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となっている。

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 買い取り価格の設計
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

なお、ここで留意すべきことは、日本が独自に国内のエネルギー対策に成功しようとしても、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の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が、現在は新政権下で改めてエネルギー政策の詳細検討が進められている。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今後推進するにあたっての重要な考え方をまとめると、次のようになる。

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、需給の平準化などに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. 緊急時エネルギー確保を可能と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、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す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」の支援は必須であり、そ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。現在は、経済学や工学の一部として少数の研究者により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が、継続的な研究開発プログラムに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。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。

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。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が、財政的制約が増すなかで、国民のコンセンサスを得ながら優先順位や産官学の役割分担を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。これまでのさまざまな政策プロセスにおいて、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。そうした場にも、社会の期待に応えるべく科学の知識を活かす大きな課題があるといえる。



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
 - 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)

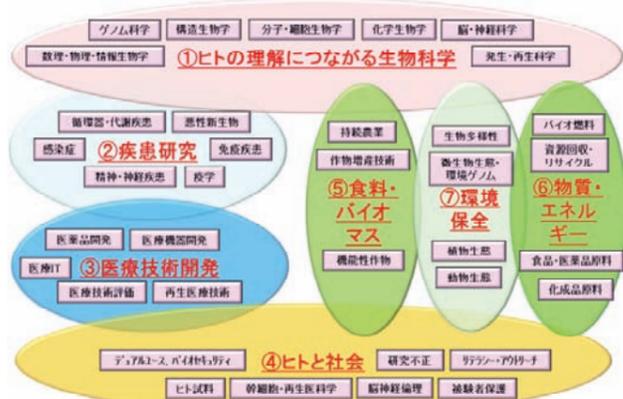


図. 調査範囲(計7区分、36領域)

<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)

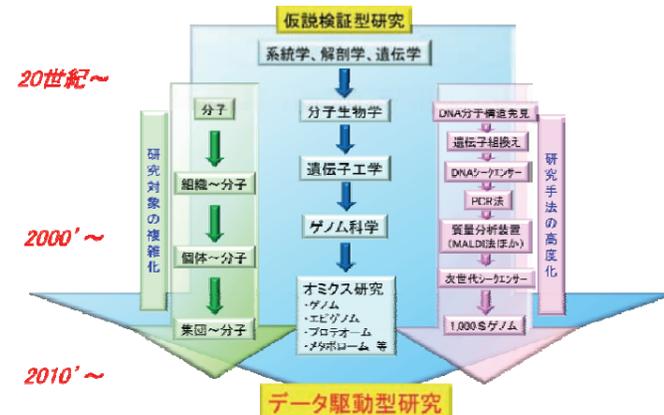


図. 本分野の変遷

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康～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、ベンチャーでも試験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

2.2.1 分野の範囲と構造（俯瞰図）

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ため、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、JST-CRDS では「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、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。「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、「基礎研究（①ヒトの理解につながる生物科学；7領域）」、「応用研究（②疾患；6領域、③医療技術；5領域）」、「倫理に関する研究（④ヒトと社会；7領域）」の4つの俯瞰区分と25の俯瞰対象領域に細分化した。「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「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」の3つの俯瞰区分と11の俯瞰対象領域に細分化した。これら俯瞰活動の対象となった領域の全体像を以下の図に示す。

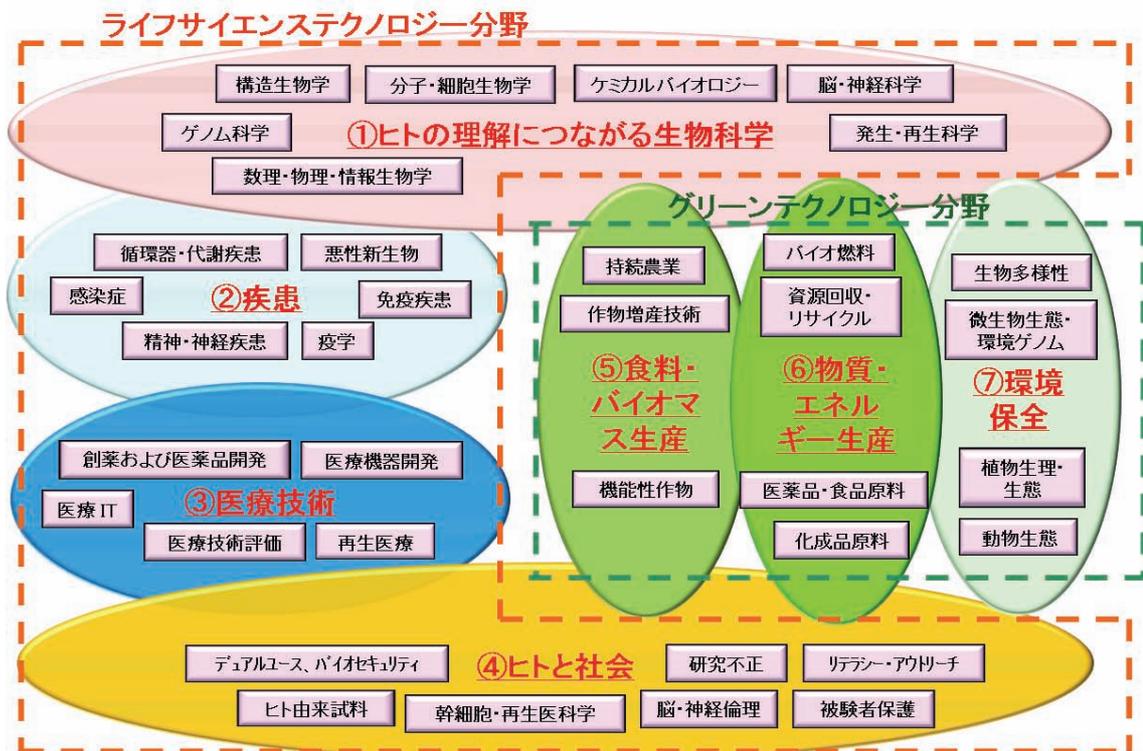


図 2.2.1: 平成 24 年度 ライフサイエンス俯瞰活動 対象分野、区分、領域

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り、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た。

2. 2. 1. 1 ライフサイエンステクノロジー分野

まず、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、重点的な投資が行われている研究開発領域を抽出して整理し、科学研究として進展が著しい領域、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。なお、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。

次に、応用研究では、主要な疾患とそれらの医療技術についての調査を行った。調査では、主要な疾患については国際疾病分類 (ICD) を参考とし、また、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た。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。このうち「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。また、「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) によって研究手法が異なることを想定し、これらの2軸を設定して主要な技術を展開し、関連製品の国内外の市場規模と将来性、或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の抽出を行った。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) で分類することが可能なため、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、また、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。なお、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. 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。このため、これらの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。

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、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現在推進されている。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、名称を「食料・バイオマス生産」区分と設定した。ここでは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。このため、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、名称を「物質・エネルギー生産」区分と設定した。ここでは、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。さらに、対策・修復の技術で、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とする「資源回収・リサイクル」の領域は、「環境保全」にとどまらない生産に関わる領域となるため、「物質・エネルギー生産」の対象領域とした。

2.2.2 分野の変遷

2.2.2.1 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、依然、重要な発見は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く、両者バランスよく推進することが重要である。また、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、これらの要素を系統的に理解し、組織、個体、機能、行動など、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。

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となることからこれらの疾患に対する重点的な取り組みが諸外国で見られる。この他、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、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取り組みが近年重要視されている。このような領域は、「橋渡し研究（TR）」と呼ばれる。わが国では2000年ごろからTRが注目され、重点的な推進プロジェクトが立ち上げられ、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が、ライフサイエンスとの関連は密接である。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となってきている。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り、それに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人々の価値観、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。また、研究成果のねつ造や研究費の不正使用の予防を目的に、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）、誤用の防止に向けた取り組みが含まれる。

2. 2. 2. 2 グリーンテクノロジー分野

本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。また、この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。また、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換え技術は特筆される。人や環境への影響が最小限に抑えられる新しい組換え技術といえる。現在、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：

当該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は残るものの、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。特にこの研究領域では原料（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となっている。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。また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められている。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。また、野生動物の生息密度情報と植生の影響の定量評価を行い、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）も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も行われている。一方、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ている。

2.2.3 俯瞰調査を通じた今後の方向性

俯瞰調査を通じた今後の方向性として、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、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ことで、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。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。また、医療変革のテーマとして、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ほか、様々な ICT 技術の支援により医療提供体制そのものの最適化も大きく進展するものと思われる。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となる。

- 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、欧米において、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、大学、官、患者団体などが連携し研究開発を推進 (基礎研究レベルのテーマも含まれる) している。また、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となる。
- 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き診断、予測し、治療的介入を実施し、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」(H23)、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) : 対象疾患事例としては、世界の認知症患者が 3,560 万人 (2010 年) から 1 億 1,540 万人 (2050 年) に増加するといった試算を背景に、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。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。また、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、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、国際競争力などの分析を行った。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、また、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 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投資を精力的に行っている。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、ほぼ全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、今後 10 年間で総額

30 億ドルを投じ、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) の実施も予定されている。また、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り、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は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これに沿った政策が検討、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、50 台以上の次世代シークエンサーが導入されており、国際的なゲノムプロジェクトへの貢献も高い。疫学も発展しており、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) において紹介されている)。「脳」分野においては、10 年間で総額 11.9 億ユーロを投じ、ICT を用いた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~))。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、金融危機を機に、2008 年 11 月に欧州経済回復計画を発表している。ここでは、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。また、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、近年の進展は目覚しく、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。次世代シークエンサーの導入も進んでおり、BGI は世界一の導入数を誇る。現在の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。また、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行われており、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、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 つとして取り上げられている。また、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が重点領域課題として挙げられている。

<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、応用研究ともまだ途上段階にある。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。また、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。

2.2.5 日本の状況・課題

第2期科学技術基本計画以降、わが国においてもライフサイエンス分野への重点投資が行われてきた。その中で、ライフサイエンス研究の規模が変化し、研究室毎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、2000年以降は複数の研究室が協働する大型研究プロジェクトが実施されるようになった(ビッグサイエンス)。わ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。また、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、わ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。また、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。また、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、わが国の基礎研究は、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、わ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、わ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。また、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り2011年は37.8兆円の医療費が2025年には54.0兆円に達するという試算がある。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り、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。このような開発の困難性は、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、ヒトを対象とする全ての製品開発において、各国に共通する問題であり、ライフサイエンス・臨床医学におけるイノベーションに対する深い“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、わが国に足りないものの 1 つは、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、知の集約から効率的にイノベーションを生み出している。わが国においては、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。そのように、観察や分析から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としつつも、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。わが国においても産官学の協同体制を強化すれば、医薬・医療周辺で更なるイノベーションを生むことができると考えられる（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））。まずは、わ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、わ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。そして、新技術の普及・展開に向けて、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、医療技術の適切な評価（Health Technology Assessment）が必要となる。

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。また、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今後もますます活発になるであろう。

今後、わが国には次の3つの課題が考えられるであろう。1つめ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、わが国では上記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。また、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)

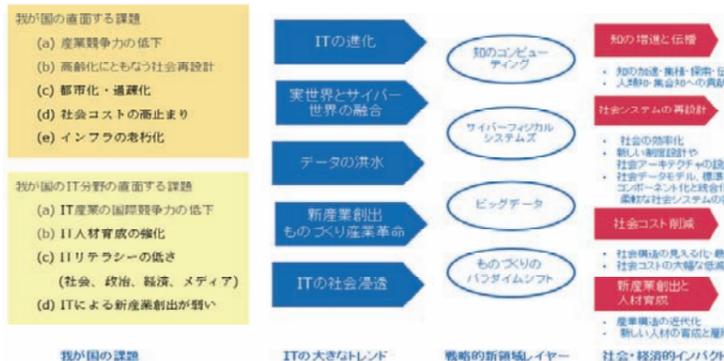
2000年代中期

- ・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)

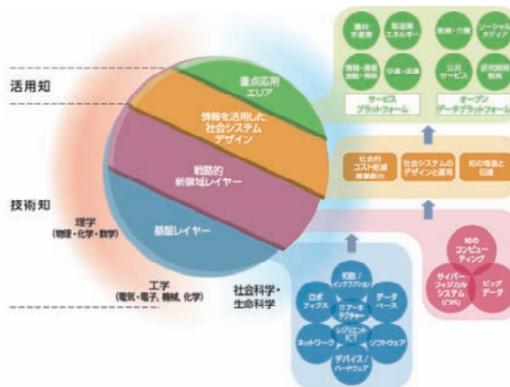
2010年代前後

- ・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

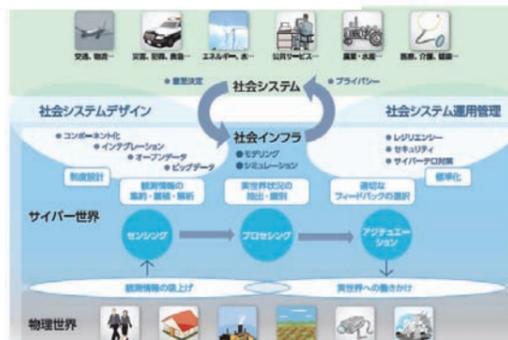
戦略的研究領域の抽出



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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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)	<ul style="list-style-type: none"> ・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。センターに依存しない自律分散的データ収集・分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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ー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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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ー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

2.3.1 分野を取りまく環境変化

電子情報通信分野においては、1965年にゴードン・ムーアが「集積回路上のトランジスタ数は18か月ごとに倍になる」という法則を提唱して以来、脈々と50年にわたってその傾向が続いている。また、ソフトウェアの進歩も著しく、ビジネスから個人の生活、あるいは官公庁が提供するものなど多くのサービスが実現されている。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など、多くのデバイスが広まり、そこから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」などのプロジェクトにつながり、さらにはビッグデータという流れにつながっている。ここでは、「社会」と「IT」という関係が非常に重要である。これまでITはビジネスの生産性を上げることに使われてきたが、ここに来て社会インフラの一つとして考えざるを得なくなり、社会デザインという観点の必要性が高まっている。

また、ITは単独で存在するのではなく、交通やエネルギー、都市などの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)や欧州の物のインターネット(IoT: Internet of Things)というとらえ方が出てきた。これは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ことを示している。

ITが社会のクリティカルインフラになるということはそれだけの影響力を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の持つ光と影については注意が必要である。(図2.3.1)



図 2.3.1 電子情報通信分野を取り巻く環境

社会やビジネスとの関係の観点で、ここ 10 年の大きな流れを概観する (図 2.3.2)。ビジネスはグローバル化が進み、早く、柔軟に対応しなければならなくなった。特に 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。

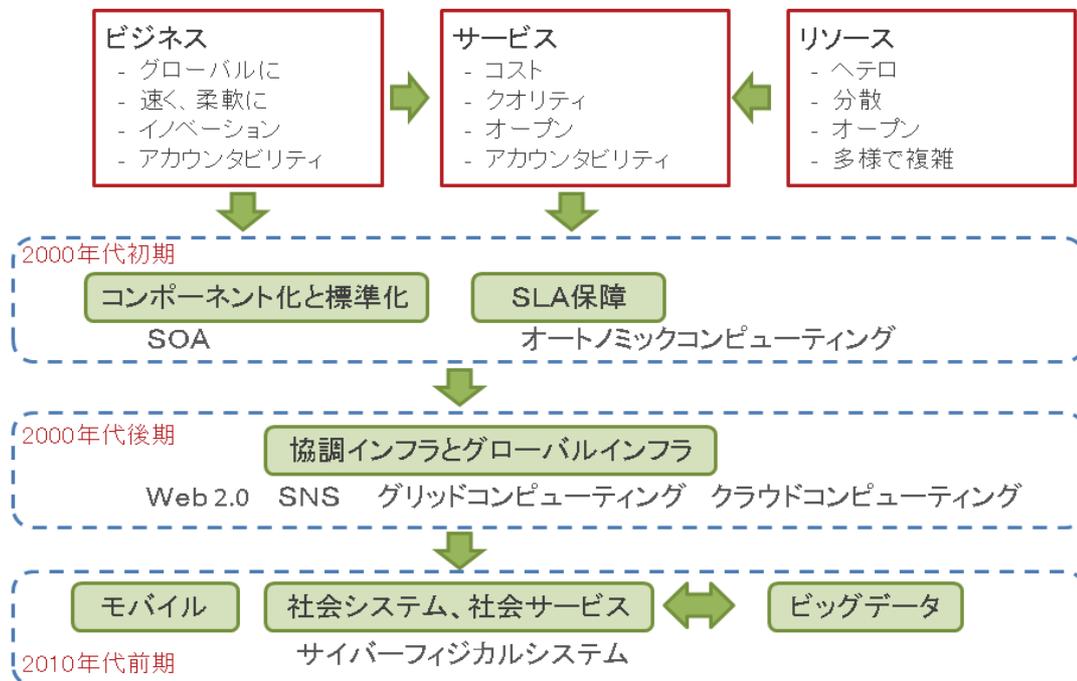


図 2.3.2 社会・ビジネスの要請と IT の変遷

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化するかが重要になってきた。これまでの閉じたサービス、すなわち一つの会社の中のサービスであったものと、現在の一般大衆を対象とした開かれたサービスには、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、アカウンタビリティ、社会的責任を持つということが大きな課題となってきている。

また、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、分散されて、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するためには、コンポーネント化と標準化、インテグレーションがキーである。

Web2.0、SNS(Social Networking Service)、グリッド、クラウドコンピューティングなどにおいては、世界の知恵を集めて協調作業が行われ、その結果が世界に影響を与えるようになってきた。この背景にはモバイルの進展がある。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。

2.3.2 我が国の課題と今後の方向性

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 (図 2.3.3)。また、同時に、我が国の直面する課題と、特に、IT 分野が直面する課題をまとめた。

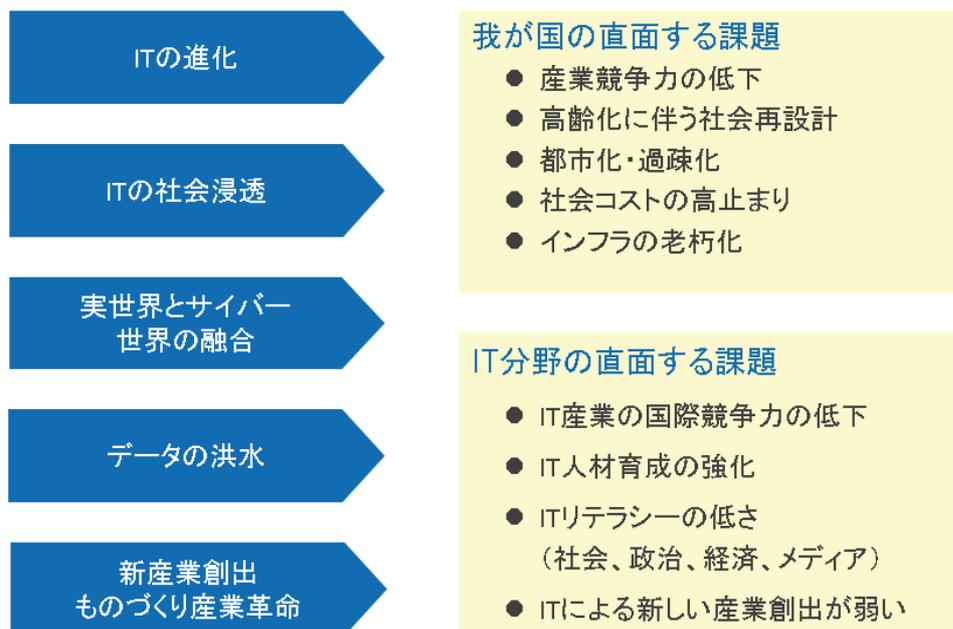


図 2.3.3 電子情報通信分野のトレンドと我が国の課題

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。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ために、IT 産業の国際競争力が低下している。

同時に人材育成も問題である。IT 分野の人気の落ちており、結果として優秀な人材が輩出できていない。一方、たとえばアメリカではデータサイエンティストが高給になり、その結果コンピュータサイエンスの人気の上がり、優秀な人材が集まっている。

もう一つの問題が、IT は社会デザインに直結して考えなければならないのだが、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。

IT はこれらの課題にどう立ち向かえばいいのかということを図 2.3.4 に示す。

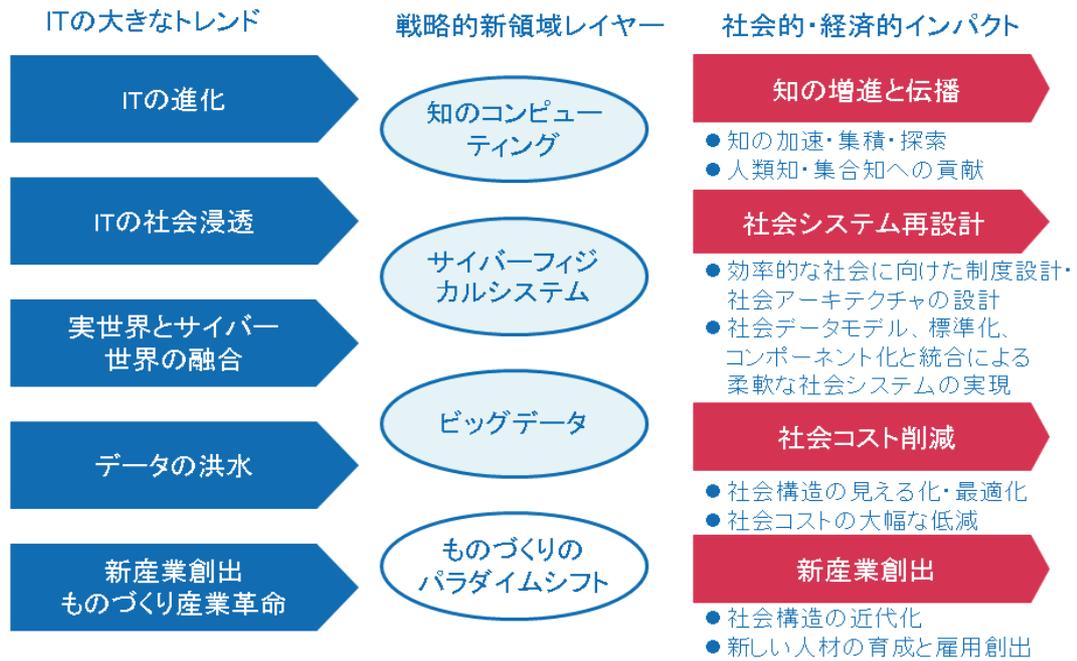


図 2.3.4 取り組むべき分野と期待するインパクト

今求められていることの一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はいるが、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のに社会的還元が不十分である。人類知、集合知を底上げし、知の加速・集積・探索をしていくことが必要である。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がある。IT のアーキテクチャ、社会システムのアーキテクチャから制度設計を行い、社会システムを再設計しなければならない。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というだけでなく、社会コストを大きく下げる可能性を持っている。たとえば医療、介護、物流など数十兆円が動いている中の、数兆円を変える可能性を持っている。

さらに 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。たとえば、精度が大きく向上することによって、新産業創出の可能性がある。

2.3.3 分野の範囲と構造

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 2.3.5 に示すように今までの基盤レイヤーと戦略的新領域レイヤーに分けている。

電子情報通信分野の知見を、要素技術としての技術知、それを活用するための社会システムデザインとしての活用知、および重点応用エリアとしての事業知に大別

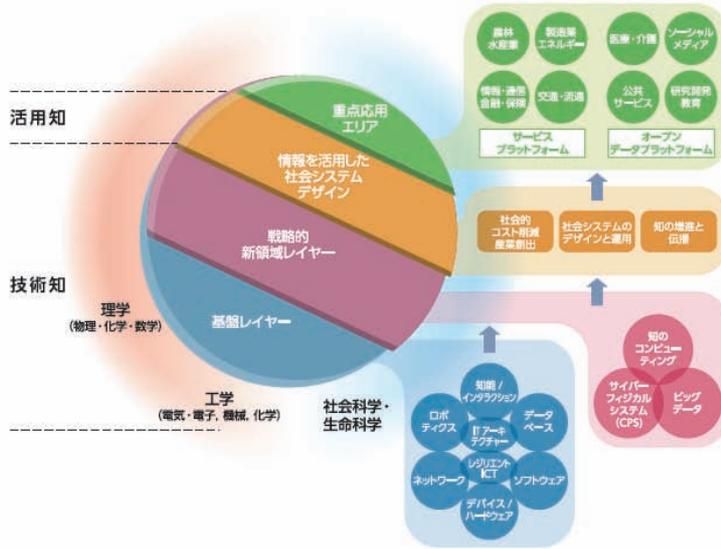


図 2.3.5 電子情報通信分野の範囲と構造

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、データベースの上に、知能／インタラクションというカテゴリを明示し、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。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 IT アーキテクチャに、また、非機能要件としてのレジリエンスにかかわる技術をレジリエント ICT に集約した。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た (図 2.3.6)。

学問的に体系化された領域

- デバイス／ハードウェア
- ネットワーク
- ソフトウェア
- データベース
- 知能／インタラクション
- ロボティクス

横断的に関係付ける技術

- IT アーキテクチャー

非機能要件

- レジリエント ICT

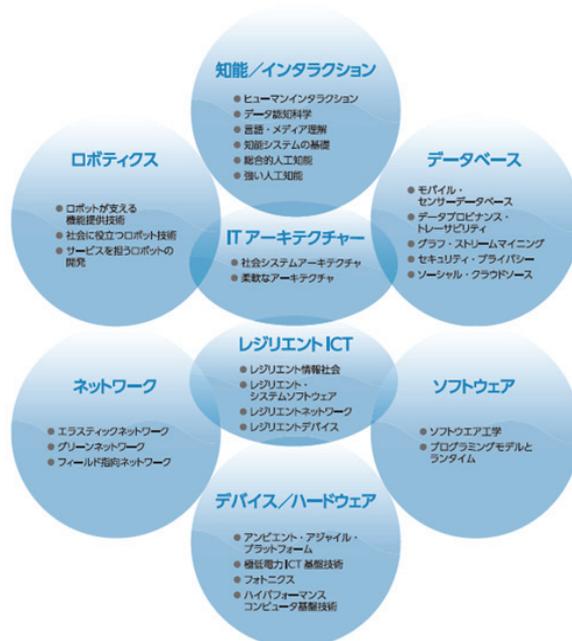


図 2.3.6 基盤レイヤーとその研究開発領域

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に出現しつつある重要な技術開発領域として、サイバーフィジカルシステムズ (CPS: Cyber Physical Systems)、知のコンピューティング、およびビッグデータという区分を新たに定義し、戦略的新領域として上位レイヤーに配置した (図 2.3.7)。

電子情報通信技術の進展に伴い、
新しい社会的価値を創造するため
に出現しつつある重要な技術

- 知のコンピューティング
- サイバーフィジカルシステム
- ビッグデータ



図 2.3.7 戦略的新領域とその研究開発領域

(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との融合、ICT の社会浸透が生み出す大量のデータの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り、現状ではデータを蓄積することはできても、大量データを適切な時間内で処理したり、そこから新たな知見や洞察を抽出することはできない。ビッグデータの様々な分野への応用や新産業の創出を目指した価値創造のための研究開発と、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の科学の確立が必要である (図 2.3.8)。

単にデータの解析ということだけではなく、社会構造の中でいかにして社会コストを削減するかということに向けて、データの収集と流通のプラットフォームまで含めて、社会基盤として検討する必要がある。

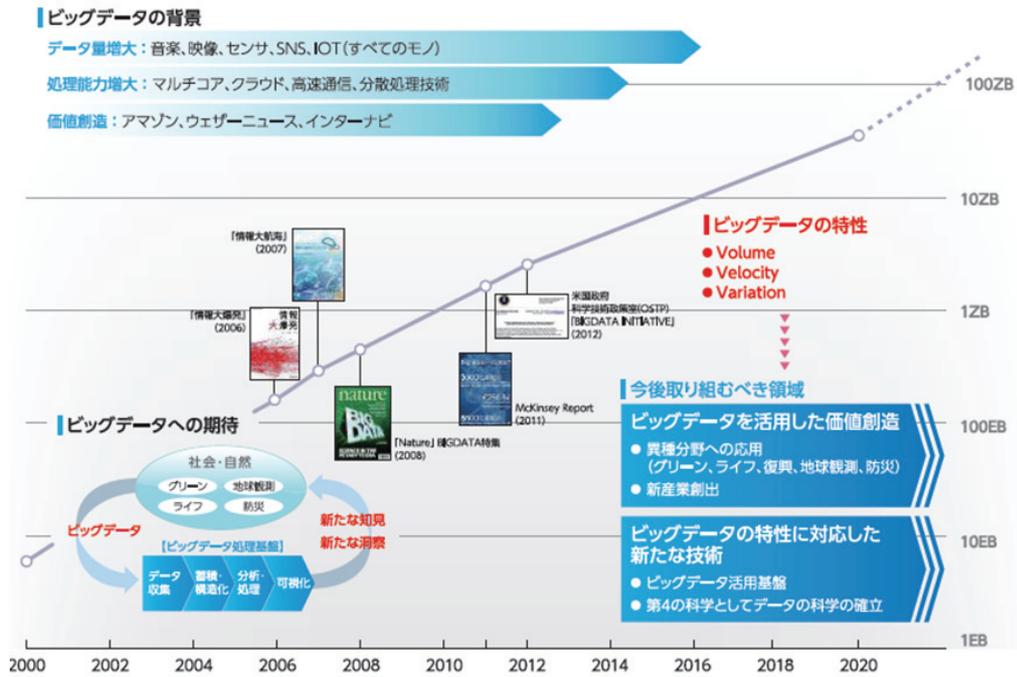


図 2.3.8 ビッグデータ

(2) CPS

CPS は、ICT の社会浸透、デジタル化の進展、実世界との融合がもたらす、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 2.3.9)。

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従来実現できなかった新たな価値を生み出す。図にこのような広義の CPS の全体像と取り組むべき研究課題を示す。

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り、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となる。



図 2.3.9 サイバーフィジカルシステム

(3) 知のコンピューティング

知のコンピューティングは、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 (図 2.3.10)。

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、最先端の専門知識を効果的に実務家や市民へ提供 (例えば、臨床医による最先端の医学的知識の習得支援)、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) の向上を図ることが可能になる。

具体的な研究テーマについては検討中であるが、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、発見の促進を行う。集合知や人類知の向上を目指すことになるであろう。ここで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、研究を開始する時点から十分な配慮をすることが必須である。



図 2.3.10 知のコンピューティング

2.3.4 国際比較

国際動向を簡単にまとめる。特に、特徴的なプロジェクトを紹介する (表 2.3.1)。

日本はディシプリンベースでみると世界最高水準のものがたくさんある。しかし、いかに IT が社会にインパクトを与えるかという勝負になってきたときに、総合的に考えていくアーキテクチャ的なものがまだまだ弱く、強化が必要である。

表 2.3.1 国際動向

日本：特定の技術は世界最高水準にあるもものの電子政府や ICT 企業競争力は低落
<ul style="list-style-type: none"> ・ スパコン(京)、大規模データ処理、自然言語処理、ロボット、組込みシステムなどの技術では世界最高水準 ・ 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：全ての情報通信技術分野で世界をリードし、市場も牽引するリーダー
<ul style="list-style-type: none"> ・ CPS (2006)、ロボット(2011)、ビッグデータ(2012)、先端製造業(2012)、BRAIN(2013) など大統領命のイニシアティブで研究開発を強力に主導。DoD 中心から NHI や DoE も増加 ・ 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、IT 企業の競争力が非常に高い
欧州委員会：言語も文化も異なる複数の国家から成る欧州連合は枠組みを共有
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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・社会的利益を提供すること (Digital Agenda for Europe)を目標に、産・官・学の協働が欧州委員会のファンディングの枠組み (FP7: the 7th Framework Program) で活発に実行。2013 年から Human Brain プロジェクトも始動した。
中国：スパコン天河の世界最速など政府主導で研究開発成果を着実に挙げる
<ul style="list-style-type: none"> ・ 物聯網 (ウーレンワン、モノのインターネット) は、第 12 次五カ年計画にて戦略的新興産業の目玉。各地に産業連盟が次々と設立され、交通や物流など急激に成長する都市の問題を解決するための活動が各地で行われている。
韓国：サムスンなど複数分野で高いシェアを確保し、基盤技術の競争力が急上昇
<ul style="list-style-type: none"> ・ 韓国の情報通信技術の成長戦略におけるキーワードは既存の産業技術と IT との融合を意味する「IT Convergence」である。これは中国の「物聯網」や米国の CPS にも共通する概念である。

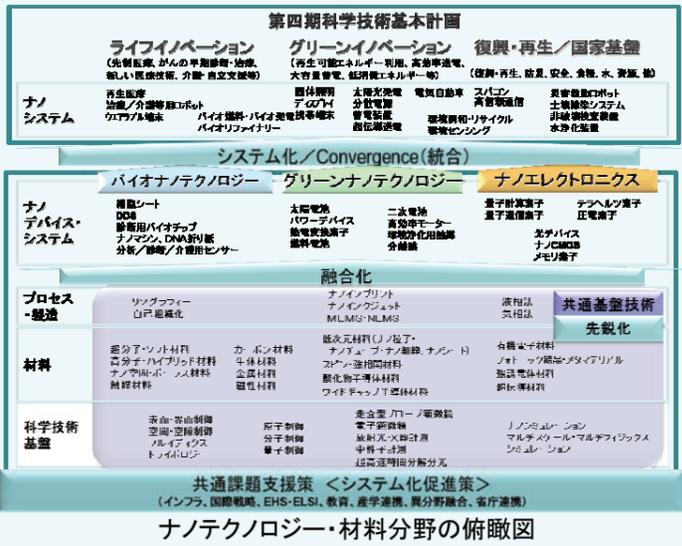


研究開発の俯瞰報告書概要 (2013) ナノテクノロジー・材料分野

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。



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やバイオイメージ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、技術的に優れた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(専門領域のタコツボ化)。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」。

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・プラットフォーム(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
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分野の一つ	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本柱の一つ 教育科学技術部2センター、知識経済省3センター

2.4 ナノテクノロジー・材料分野

21世紀に入って科学技術と社会の距離は急速に縮まり、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。我々は、ナノテクノロジーが、そのような「社会的期待」に迅速に応える「課題解決型」科学技術基盤の一つであると確信するに至っている。本編では、世界のナノテクノロジー・材料分野における技術進化、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しており、その結果をベースにして今後の日本の諸課題について言及している。

2.4.1 ナノテクノロジー・物質材料分野の俯瞰と位置づけ

「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た。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、次世代パワーエレクトロニクス材料の切り札の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ってよいであろう。パソコンにもテレビにも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である。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、自動車への導入も近い。

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り、物質合成、微細構造解析、微細加工技術などからなる横断的な領域である。ナノテクノロジーは、それ自身が最先端の科学技術であるというばかりでなく、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、競争力の源泉となってきた。



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

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、これまで技術進化してきたナノテクノロジーの先鋭化、融合化だけでは不十分であり、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今後求められている。「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。いま、まさに「社会的期待」に応える技術、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に来ているといえよう。

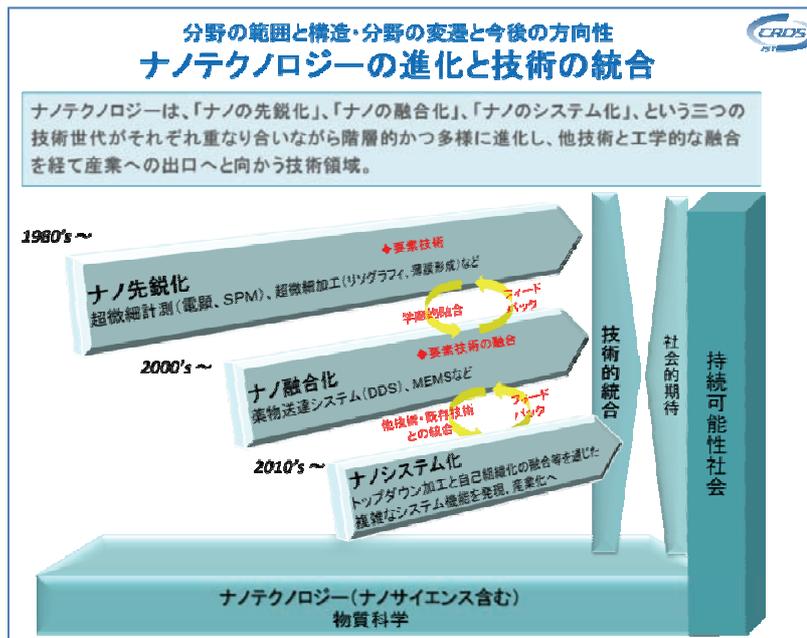


図 2.4.2 ナノテクノロジーの進化と技術の統合

本報告書に掲げる俯瞰図では、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、「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、「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」にほぼ対応するといえる。

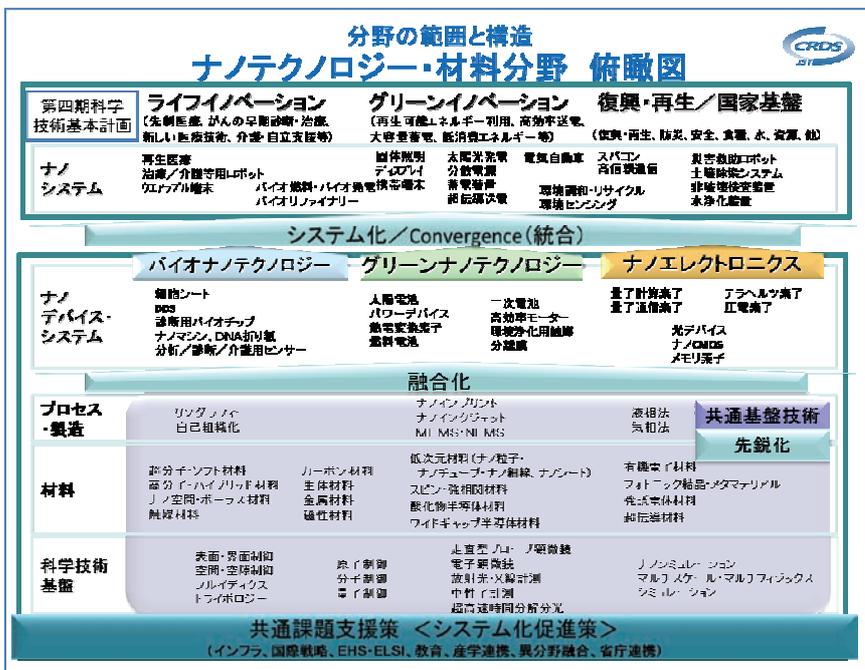


図 2.4.3 ナノテクノロジー・材料分野 俯瞰図

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。このプロセスは“Needs-driven”とも表現でき、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て、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」に具体的にこたえつつ、設計の技術と能力を高めることが肝要である。

ナノテクノロジー・材料分野

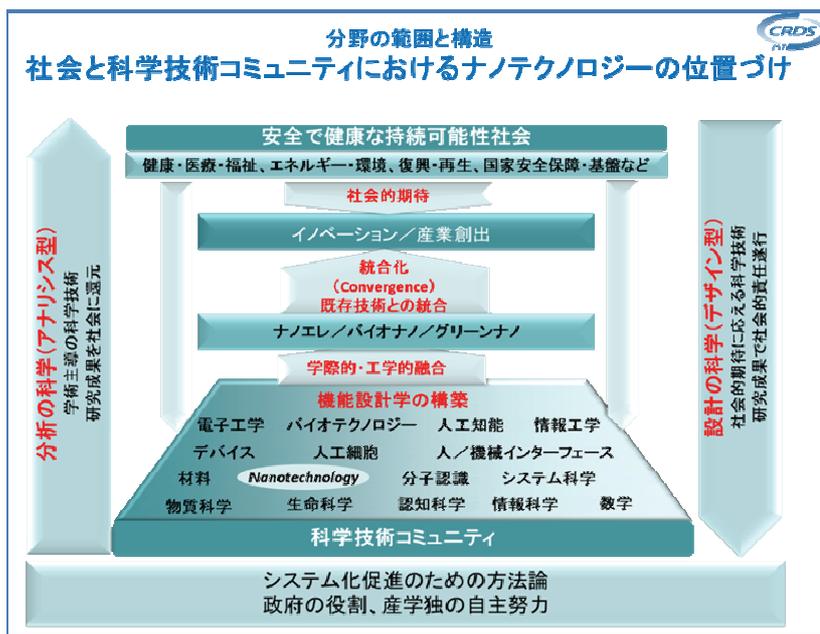


図 2.4.4 社会と科学技術コミュニティにおけるナノテクノロジーの位置づけ

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る。

2.4.2 研究開発動向

ワークショップ等を通じた有識者による議論および研究開発戦略センターに蓄積された知見を元に検討した結果、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 29 の領域について、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、バイオナノテクノロジー、ナノエレクトロニクス、およびそれらを支える共通基盤技術の順で以下にまとめている。

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 ■ 生体材料 ■ ナノ薬物送達システム ■ ナノ計測・診断デバイス ■ バイオイメージング	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 ■ 二次電池・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 ■ 元素戦略・希少元素代替技術 ■ 分離機能材料による水処理 ■ 放射性物質の除染・減容化等技術	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 ■ 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 ■ バイオミメティクス		
■ 表面・界面制御 ■ 空間・空隙構造制御 ■ ナノ計測 ■ 物質/材料シミュレーション ■ リスク評価・管理・コミュニケーションと社会受容		

図 2.4.5 抽出した 29 の主要研究開発領域

(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り、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。

このような状況の打開には、例えば、従来の 1/10 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、人工光合成研究、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、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。その一方で、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み、また、中国と韓国は追い上げに力を入れている。しかし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、将来はまったく楽観できない。特に主戦場となっている超低費消費電力ロジック・メモリについては、研究開発段階から既に欧米の後塵を拝しており、韓国と中国の躍進も急である。その原因としては、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であり、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にあるという指摘もある。

「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」における分野別の諸重要課題について、実用水準に達するであろう時期を 20 年先まで時間軸上に示す。

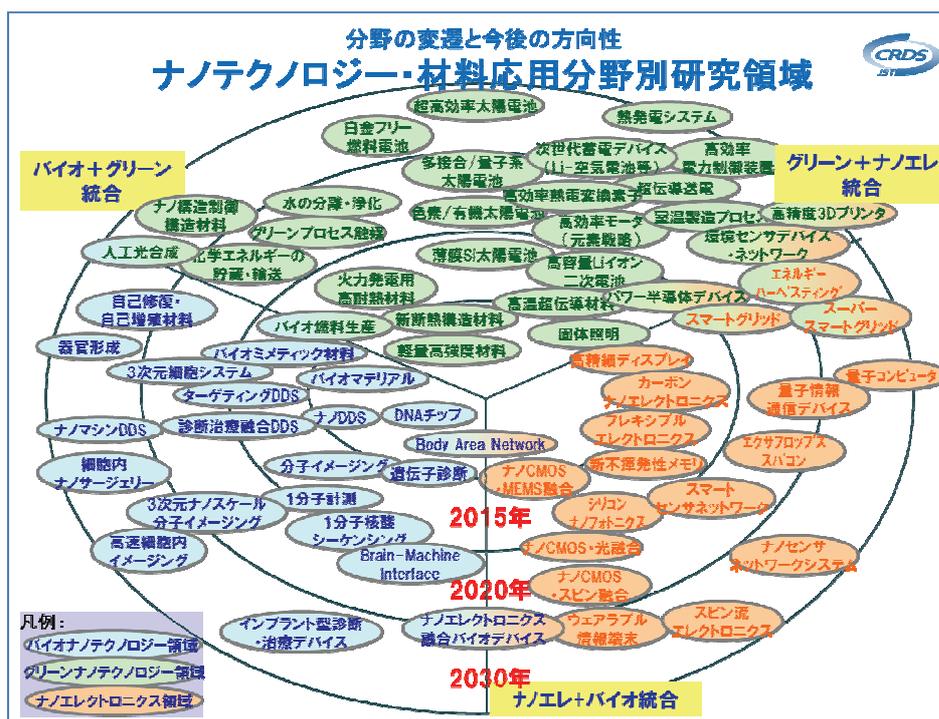


図 2.4.6 ナノテクノロジー・材料応用分野別研究領域

2.4.3 世界の国家戦略

いま、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として位置づけ、多額の国家予算を投入し続けていることがわかる。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 5 千億円を超えている (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 兆円の範囲とされている。

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た。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か国に達している。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。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。

ナノテクノロジー・材料分野

国家政策		
国	ナノテク国家戦略(基本政策)	トレンド
日本	・「第三期科学技術基本計画」(2006-2010)では重点推進4分野の一つ。分野別推進戦略「ナノテクノロジー・材料分野」 ・(2011以降)第4期では共通基盤に変更/特化したイニシアティブは無し	?
米国	・National Nanotechnology Initiative(2001-) -2011年2月第3期新戦略プラン発表。NNI継続して重点施策に決定(2012)。	→
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的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分野の一つ Nano-INNOV計画(2010-) 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) 先端技術8分野の一つ「新材料技術」でナノテク強化。第12次5カ年計画/新材料	↗
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。 -5年ごとに見直し。2011年から3期目に突入(ナノ融合2020)。	→

図 2.4.7 ナノテクノロジー・材料分野の国家政策

(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が、米国、EU、中国、韓国、台湾はこの共用施設ネットワークへの投資を戦略的にを行い、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、蘇州に広大な産官学工業園区を構築した。遅ればせながら、わが国でも、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して理系の小・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。これに比し、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り、早急に手が打たれるべきである。

2.4.4 日本の課題(研究開発と政策)

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組みを増加させる。

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。そのためには、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り、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。また、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。

以上、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こと、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ことを一定のエビデンスをもって記述してきた。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

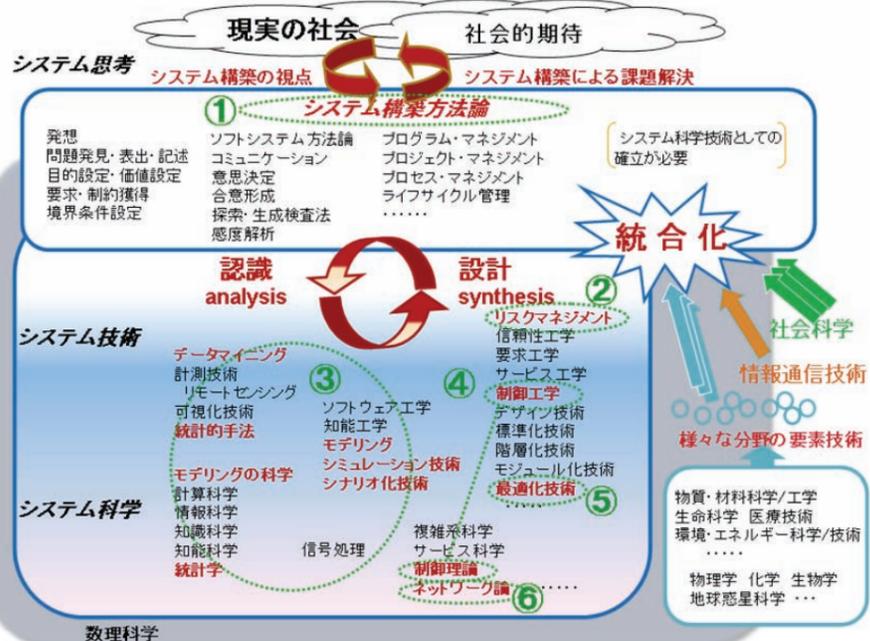
CRDS-FY2011-GR-01



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) リスクマネジメントの数値計算

③モデリング

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

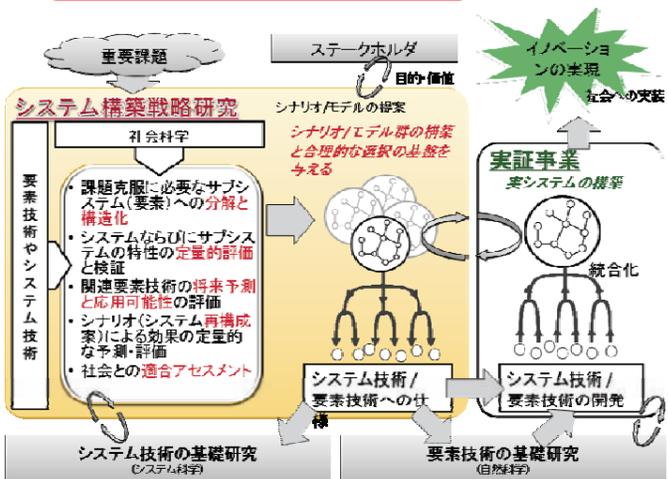
1) 基盤分野としての最適化 2) 連続的最適化 3) 分散的最適化 4) 最適化計算 5) 最適化モデリング 6) 最適化ソフトウェアと応用

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。

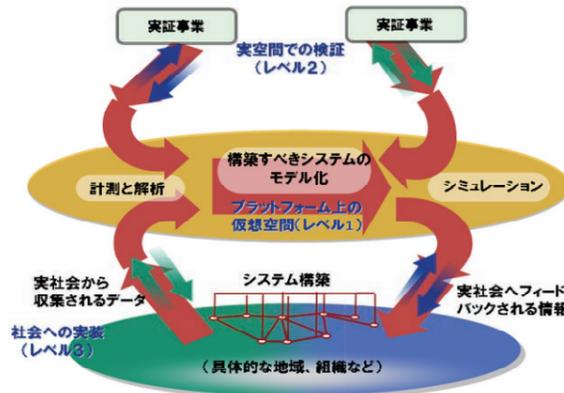
システム構築戦略研究



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

各俯瞰区分を統一的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

2.5.1 システム科学技術について

現代社会で「システム」は日常語としてもさまざまな意味で多用されているので、科学技術の文脈でシステムを議論するときはこの語のもつ多義性が災いして混乱を招くことも少なくない。本報告書においてはシステムを「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、また我々はさまざま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となっている。そして、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の科学技術の分野と異なる幾つの特徴をもつ。まず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するから、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ことから、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となり、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、その抽象性ゆえに分かりにくいとの批判が絶えない。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ために、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。

システム科学技術は他の分野に比べて科学としては比較的新しく未成熟な部分を含んでいる。そのため、分野として俯瞰するには困難があり、これまでこの分野の俯瞰は国内外を通じて行われていない初の試みである。

2. 5. 2 システム科学技術の歩み

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。生物のもつたくさん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ることができない、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。やがてシステム概念は生物学の領域を越えて一般システム理論の誕生を促し、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。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その背景にある。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、さまざま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もな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となってきてからである。別の言い方をすれば、システム化の度合いが、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り、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となった。しかしながらこの時期、わが国では「ものづくり」の技術文化が支

配的であり、この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、わ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、わが国におけるこのような科学技術の弱点を克服することが期待される。

2.5.3 システム科学技術の俯瞰区分(構成要素)

システム科学技術には体系化された研究分野はすでに多く存在する。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殊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。したがって、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あたり、優先して調査を行うべき俯瞰区分として設定した。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。俯瞰区分にしたがってシステム科学技術の領域俯瞰構造を示したものが図 2.5.1 である。ただし、後で述べ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。

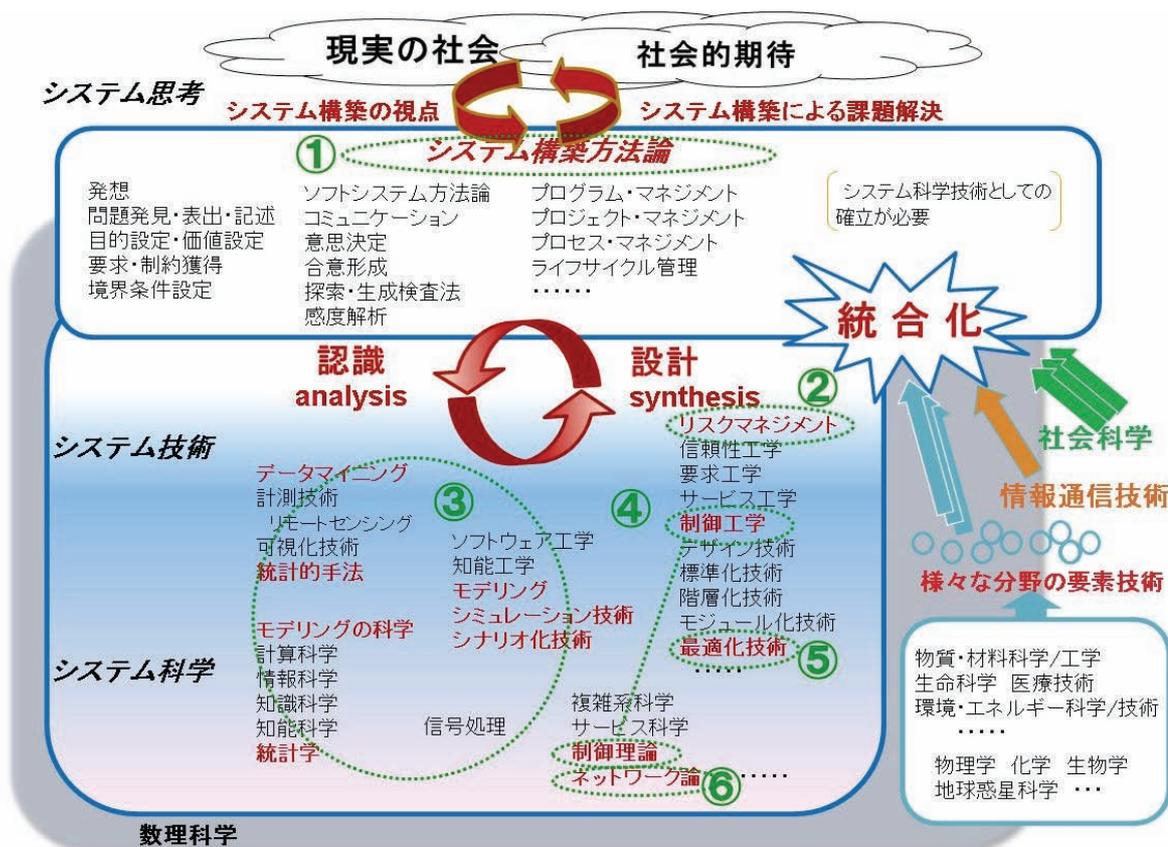


図 2.5.1 システム科学技術分野 領域俯瞰図

2.5.4 研究開発領域

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が、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、それらは以下の 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ひとつである、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 に俯瞰図を示した。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り、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」とも総称されるものの、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とする。

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、さまざま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となっている。

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。



図 2.5.2 俯瞰図 (俯瞰区分レベル) 意思決定とリスクマネジメント

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。

図 2.5.3 に示した俯瞰図では、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イズと、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イズとの二つに大きく分けた。

さらに、順問題フェイズを、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、現象の数理科学的表現を目指す①先端的数理モデリング、現象の計算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、現象の帰納的表現を目指す③統計モデリングの統合、に加えて④動的統計モデルとその適用を設定した。また、「データとの同化」に関しては、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⑤データ同化、⑥機械学習を設定した。

また、逆問題フェイズを、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「合成と最適化」、合成されたモデルの「妥当性・信頼性評価」の2プロセスからなるものとした。「合成と最適化」にかかわる研究開発領域として、社会課題解決システム合成戦略を導く、⑦モデル合成による社会課題解決の展望、システム合成方法論の数理科学的高度化を目指す⑧モデルの正則化・安定化・最適化を設定した。また、「妥当性・信頼性評価」と合成との境界プロセスに⑨モデル統合に基づくシステム設計とその評価、そして「妥当性・信頼性評価」自体の基盤統計数理科学的高度化を目指す学術研究開発領域として⑩モデル評価技術を設定した。

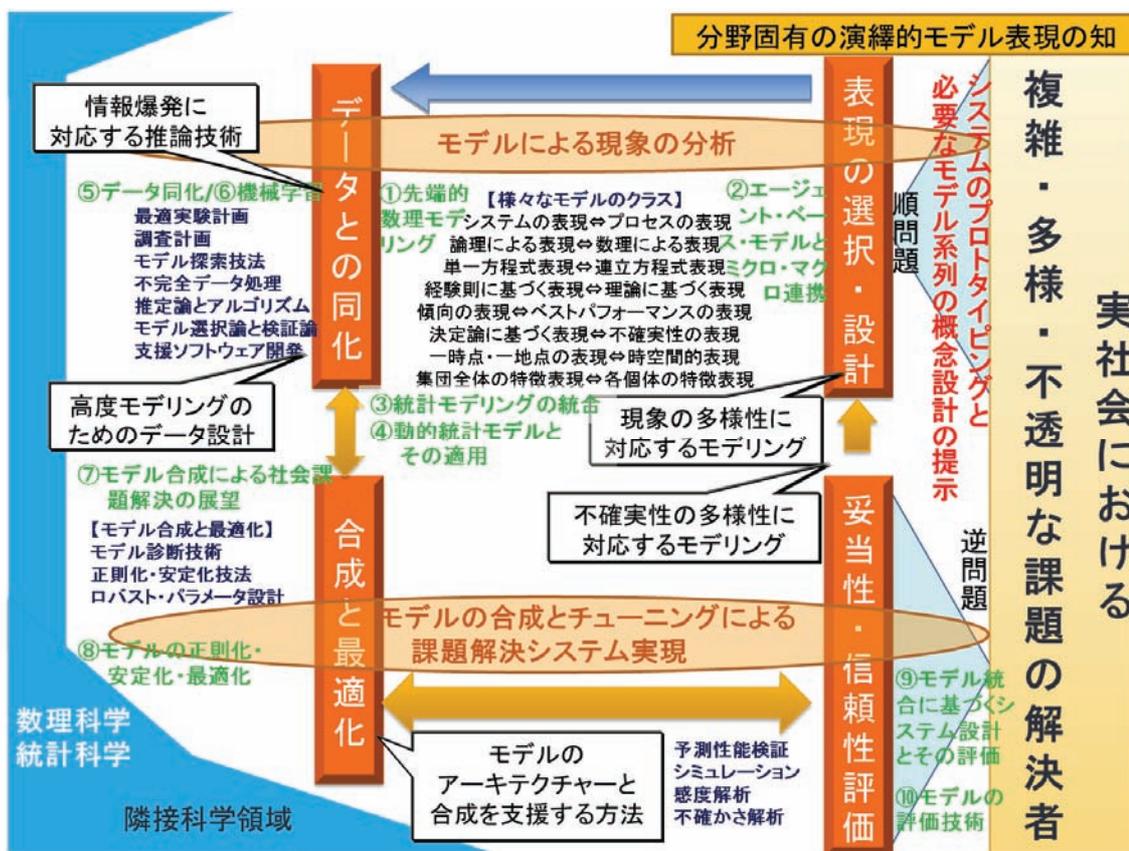


図 2.5.3 俯瞰図 (俯瞰区分レベル) モデリング

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によって、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。したがって、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 に示した俯瞰図では、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・運用につなげるという、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。研究開発領域は、基本的な研究課題群に近年注目され始めている新しい研究課題を付け加えて整理している。隣

接科学領域も併せて示した。

制御は、実社会における課題、個別の対象や個別の工夫の必要性を核として生まれる課題解決型の学問領域である。現代の課題の特徴は、対象とするシステムの大規模化、ネットワーク化であり、もう一つの特徴はシステム内部の不確かさの増大と、システムと変動する環境との接触面の拡大である。今回の俯瞰における研究開発領域は、現代の課題に対するこのような認識に基づいて、制御俯瞰図の基軸である制御系設計の領域から選んだ。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」、⑨「制御の基盤としてのシステム理論」は制御の基本的な研究開発領域であるが、現代の課題の解決に向けた新しい展開が始まった領域でもある。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」はシステムの大規模化、ネットワーク化に伴う制御の課題に直接挑戦している研究開発領域である。この三つの領域は重なる部分もあるが、分散／分布など制御形態・構造に着目する「分散制御／分布制御」領域、新たな制御機能の実現を図る「合意・同期・被覆制御」領域、対象システムの固有性に重点を置いた「大規模・ネットワーク制御」領域と分類できる。⑦「確率システム制御」、⑧「故障検出／信頼性設計」はシステムの不確かさという現代の課題の解決に向けた研究開発領域である。

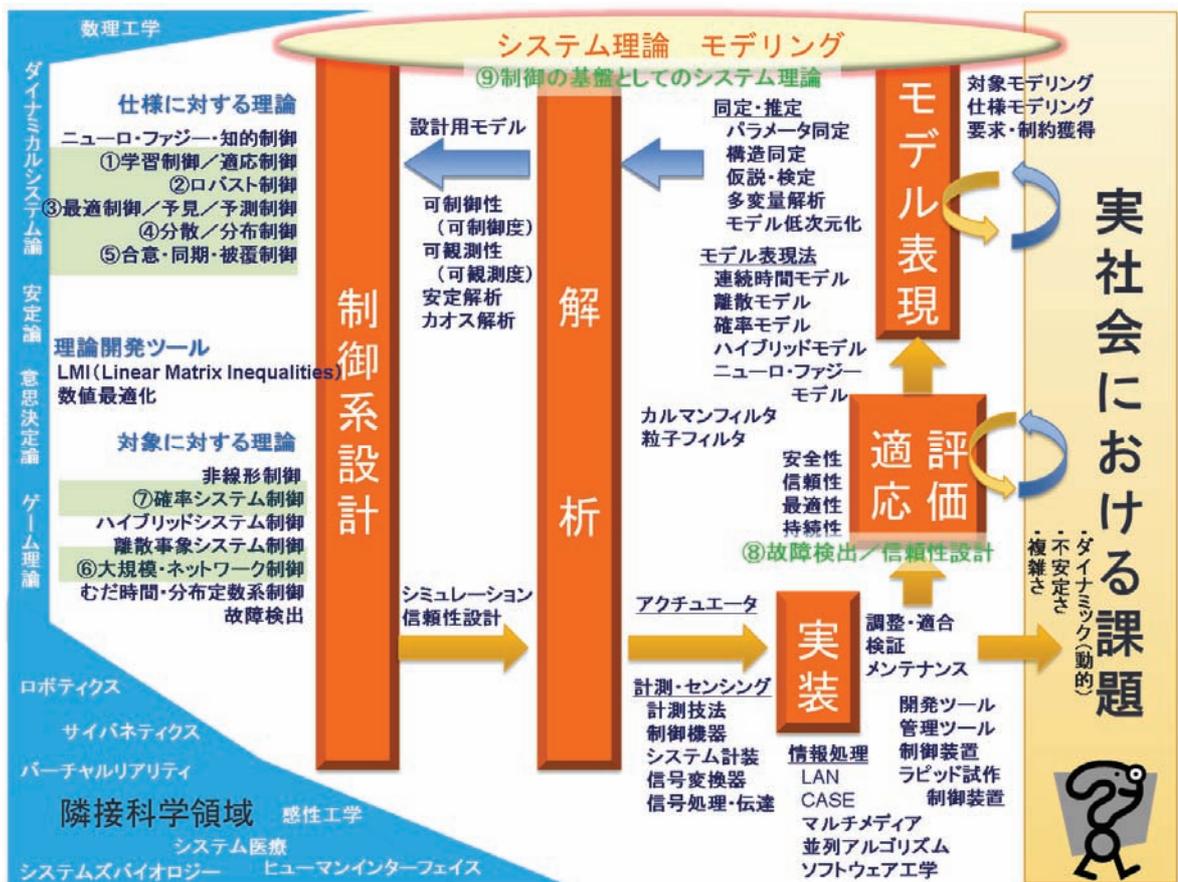


図 2.5.4 俯瞰図 (俯瞰区分レベル) 制御

⑤ 最適化

「最適化」という分野は、歴史の古い分野ではあるが、近年、計算機の発展と相俟って急

速に発展し、現在、システム科学技術も含め、あらゆる科学技術の基盤となっている。

最適化においては、図 2.5.5 の俯瞰図にもあるように、実社会における課題（最適化を必要とする実問題）を定式化してモデルに表現し（この際、さまざまな最適化モデルと呼ばれる規範モデルが準備されており、通常これらの規範モデルに表現する）、そして、これらの規範モデルに適した最適化アルゴリズムを利用して最適解を求め、その解を課題に照らして評価し、必要があればモデルを改良する、という流れで課題解決が行われる。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として、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）。つぎに、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技術の研究と開発）。また、最適化技術の普及のために重要な研究開発領域として、⑥「最適化ソフトウェアと応用」。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。この最適化分野の分野融合的な基礎研究を促進する）。

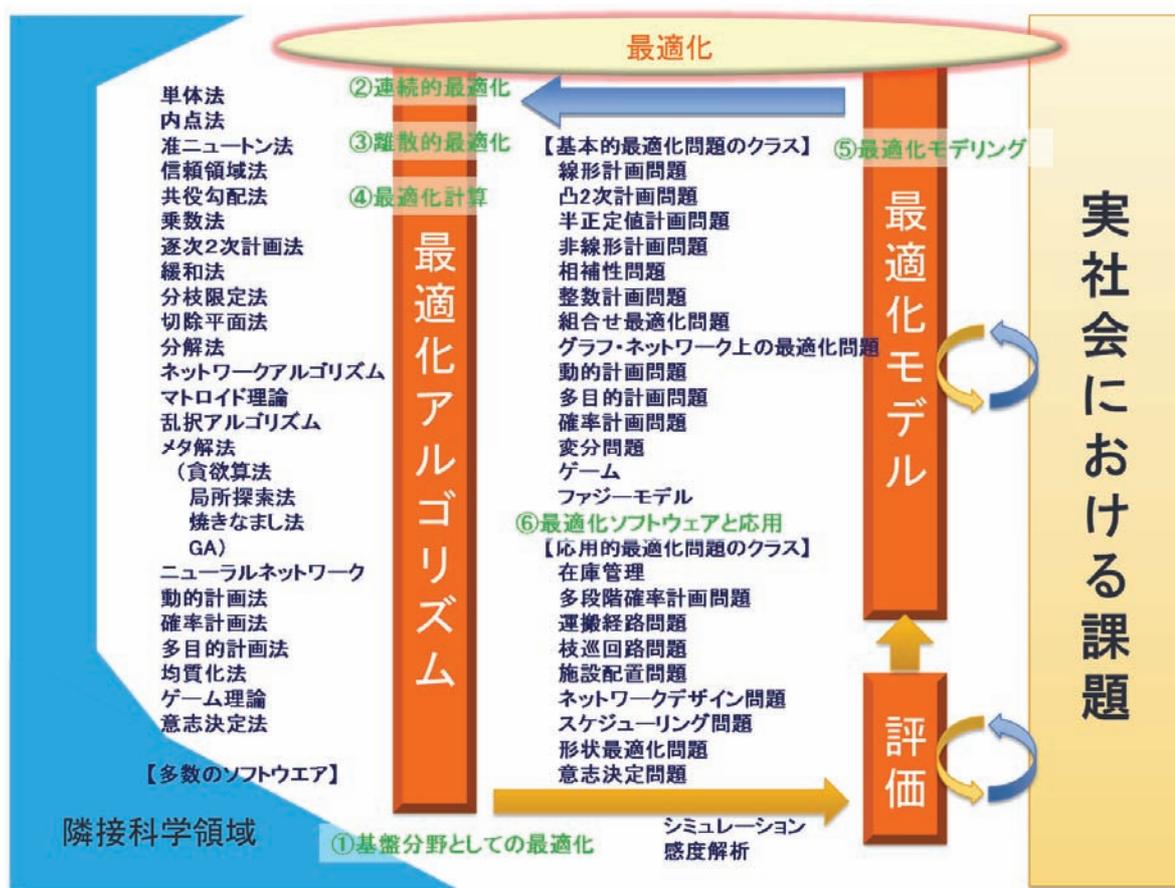


図 2.5.5 俯瞰図（俯瞰区分レベル） 最適化

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、そのような混同は学問の世界においてすらしばしば起こる。しかしながら、本俯瞰区分の指す「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、そ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、さまざまな応用が進んだ。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 に俯瞰図を示した。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、本俯瞰区分の総括を行う領域である。

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。統計科学や機械学習が一般的にこの役割を担うが、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」領域では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）。③「ネットワークに関する離散数学」がこの分野を概括する領域である。

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」領域ではこの分野を概括する。



図 2.5.6 俯瞰図 (俯瞰区分レベル) ネットワーク論

2.5.5 当該分野における各国の研究ビジョンと戦略

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。

米国では、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。また、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。

欧州は、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おり、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。

中国は、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。また、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。

日本は、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、論文数は増えておらず、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、さらに一步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。

2.5.6 研究開発をとりまく状況と今後の方向性

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り、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、近年のわが国は要素技術／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が、さらに一步踏み込んだ施策を期待したい。

今、わ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達成されることから、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グレスレポート「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。また、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り、俯瞰報告書と合わせて是非ともご覧になっていただきたい。

付録1 国際比較表まとめ
付録2 執筆協力者一覧

付録 1 国際比較表まとめ

環境エネルギー分野

国	フェーズ	化石資源エネルギー														再生可能エネルギー																			
		低品位・未利用固体炭素資源の革新的な改質・輸送・利用技術 (短期)		メタンハイドレート (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)		発電技術 (短期)		CO ₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術 (短期)		負荷運用性に優れたC ₂ の大幅低減が可能な高効率石炭火力発電技術 (中長期)		劣質・未利用固体炭素資源を使用した高度製鉄技術 (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)		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)		バイオマスイエネギー増産加速化のための生物機能解析基盤技術 (中長期)		性能太陽光発電システム技術 (短期)		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)	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	○	→	○	↗	○	→	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
米国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
欧州	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
中国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
韓国	基礎	△	→	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗		

国	フェーズ	再生可能エネルギー		エネルギー利用技術・システム																							
		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 (短期)		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)		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製品生産技術 (中長期)		電力国際ネットワーク基盤技術 (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 (短期)			
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
米国	基礎	△	↘	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業	×	↘	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
欧州	基礎	△	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→	○	→
	産業	×	↘	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
中国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
	産業	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
韓国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	↗
	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

ライフサイエンス・臨床医学分野 (ライフサイエンステクノロジー)

国	フェーズ	ヒトの理解につながる生物科学														医療・福祉											
		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)		疾患									
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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						
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									△	↘																

国	フェーズ	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、法的、社会的課題	脳・神経倫理	デジタルユース、バイオセキリティ、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									
		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									現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状
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	△	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	△	→	○	↗	×	→	○	→	△	↗	△	↗	△	↗	○	↗
カナダ	基礎							○	↗			基礎	◎	↗													
	応用							◎	↗			英国	応用	◎	→												
	産業							◎	↗			英国	産業	◎	→												

ライフサイエンス・臨床医学分野（グリーンサイエンステクノロジー）

国	フェーズ	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	機能的作物	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									好高温・好CO ₂ 植物の創出	高CO ₂ 耐性植物、ぼす影響、高温・地球環境変化が植物や生態系に及ぼす影響	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	現状	トレンド	現状	トレンド	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																								

- (註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
- (註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
- (註3) トレンド ↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向
- (註4) 空欄部分は不明。

電子情報通信分野

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						
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	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	○	↗			○	→	○	↗	△	↗	○	↗	△	→	△	→	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	○	↗

電子情報通信分野 (続き)

国	フェーズ	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		プロセス		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		大量データ処理		データマイニング		分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	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	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 IGT							
		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	△	→	△	→	◎	→	○	↗	○	↗	△	→

- (註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
- (註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
- (註3) ティレンド
↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向
- (註4) 空欄部分は不明。

ナノテクノロジー・材料分野 (ナノテク・材料の応用)

		グリーンナノテクノロジー																											
		太陽電池		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		触媒		グリーンプロセス		ナノ組織制御構造		元素戦略・希少元素代替技術		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	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											
		リアル生体材料(バイオマテ)		ナノ薬物送達システム(ナノDDS)		診断デバイス		ナノ計測		バイオイメージング		超低消費電力ナノエレクトロニクス				チップ		異種機能三次元集積		センシングデバイス・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	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									◎	↗			○	↗						

ナノテクノロジー・材料分野（基盤科学・技術）

国	フェーズ	超微細加工技術		MEMS/MEMS		ボトムアップ型プロセス		分子技術	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											
		現状	トレンド	現状	トレンド	自己組織化						原子・分子制御		顕微鏡	走査プローブ	透過電子顕微鏡		放射光・X線計測		分光			
						現状	トレンド					現状	トレンド			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	物質・材料 シミュレーション		リスク評価・ リスク管理	
		現状	トレンド	現状	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	△	↗		

(註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
 ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。
 (註2) 現状 ◎：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) ティレンド ↗：上昇傾向、 →：現状維持、 ↘：下降傾向
 (註4) 空欄部分は不明。

システム科学技術分野

国	フェーズ	意思決定とリスクマネジメント												モデリング																		
		リスクの下での意思決定		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		信用リスク		リスクマネジメントの数値計算		先端的数理モデリング		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		機械学習		データマイニング		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		
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	モデリング						制御															
		評価		モデル統合に基づくシステム設計とその		モデルの評価技術		学習制御/適応制御		ロバスト制御		最適制御/予見制御		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	
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	△	↗	○	↗	△	→	△	→	△	→	○	↗	×	→	○	↗	×	→	○	↗	△	↗

システム科学技術分野 (続き)

国	フェーズ	最適化										ネットワーク論											
		最適化：分野融合的な視点から		基盤分野としての最適化		連続的最適化		分散的最適化		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
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	△	→	△	→	△	→	△	→	×	↗	×	→	×	→	△	→	△	→	△	→	△	→

- (註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
- (註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
- (註3) ティレンド ↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向
- (註4) 空欄部分は不明。

付録2 執筆協力者一覧

《 環境・エネルギー分野 》

※五十音順、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 》

※五十音順、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R D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
札幌 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 理学研究院生態科学研究室 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クマネジメント専攻 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 》

※五十音順、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 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	大阪大学、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
大石 雅寿	国立天文台 天文データセンター センター長 准教授
鬼塚 真	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
佐藤 真一	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系教授
高木 利久	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
山西 健司	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	統計数理研究所 副所長、CRDS 特任フェロー【総括責任者】
新井 紀子	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
宮尾 祐介	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	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】
片下 敏宏	産業技術総合研究所 セキュアシステム研究部門 研究員
須崎 有康	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
南谷 崇	キヤノン株式会社 総合 R&D 本部 顧問
吉岡 克成	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 》

※五十音順、敬称略、所属・役職は俯瞰報告書(本編)作成時点

■全体総括

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)

〈 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
宇佐美徳隆	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 コ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/ 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
山田 裕久	
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 先導物質化学研究所 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)
榊 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
福岡 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 先端の共通技術部門 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

《 システム科学分野 》

※五十音順、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 正顕	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
中妻 照雄	應義塾大学 経済学部 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
大島 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（本編）、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）

※五十音順、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
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
宮下 永	フェロー

■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
川口 哲	フェロー
鈴木 響子	フェロー
辻 真博	フェロー
西村 佑介	フェロー
福士 珠美	フェロー（2013年1月まで）
森 英郎	フェロー

■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
桜井 貴康	特任フェロー
中野 義昭	特任フェロー
西尾 章治郎	特任フェロー
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
鈴木 慶二	フェロー

高島 洋典	フェロー
高野 良太郎	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
石原 聰	特任フェロー
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
豊内 順一	フェロー
武内 里香	フェロー
藤井 新一郎	フェロー
鈴木 久敏	特任フェロー
椿 広計	特任フェロー
津田 博史	特任フェロー
増田 直紀	特任フェロー
本間 弘一	特任フェロー

CRDS-FY2013-FR-01

研究開発の俯瞰報告書

本編 概要版

2013年

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

平成 25 年 11 月 November 2013

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>
©2013 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

