ATTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

CRDS-FY2015-FR-01

TERET AATTAATA

TTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAAC

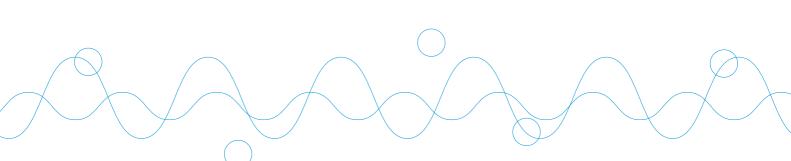
研究開発の俯瞰報告書

本編 概要版 (2015年)

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

Summary of Panoramic view report (2015)

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





はじめに

本冊子は、JST 研究開発戦略センター(CRDS)が2015年4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、ナノテクノロジー・材料分野、情報科学技術分野、システム科学技術分野)の概要をひとつにとりまとめたものである。

研究開発の俯瞰報告書は、2年の期間をかけて総勢500名を超える専門家の英知を結集し 学問領域を超えてとりまとめたもので、合計2,700ページにわたる内容になっている。本報 告書は、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に、コンパクトな概 要版として一冊に取りまとめたものである。政策立案者のみならず、研究者・技術者などに 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。

2015年4月

国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

研究開発の俯瞰報告書 本編 概要版 (2015年)

目 次

はじめに

1. 「俯瞰報告書」の目的と本概要版の構成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 1
1.1 俯瞰報告書作成の目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 1
1.2 俯瞰報告書・概要版の構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 1
1.3 俯瞰報告書で取り扱っている研究開発領域 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	. 2
2. 各分野の俯瞰の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 11
2. 1 環境・エネルギー分野 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 12
2.1.1 分野の範囲と構造・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.1.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 13
2. 2 ライフサイエンス・臨床医学分野 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2. 2. 1 分野の変遷・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2. 2. 2 分野の範囲と構造・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 42
2.2.3 分野の現状及び今後の方向性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.3 ナノテクノロジー・材料分野 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.3.1 分野の範囲と構造・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.3.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.4 情報科学技術分野 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
2.4.1 分野の範囲と構造・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.4.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	. 95
2. 5 システム科学技術分野 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 121
2.5.1 分野の範囲と定義・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.5.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付録 執筆協力者一覧・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 147
環境・エネルギー分野・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 147
ライフサイエンス・臨床医学分野・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 152
ナノテクノロジー・材料分野・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
情報科学技術分野・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
システム科学技術分野・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	

本編 概要版 (2015年)

1. 「俯瞰報告書」の目的と本概要版の構成

1.1 俯瞰報告書作成の目的

JST 研究開発戦略センター(CRDS)は、社会ニーズを充足し社会ビジョンを実現させる科学技術の有効な発展に貢献することを目指し、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している。「研究開発の俯瞰報告書」(以降、俯瞰報告書)は、CRDS が政策立案コミュニティおよび研究開発コミュニティとの継続的な対話を通じて把握している当該分野の研究開発状況に関して、研究開発戦略立案の基礎資料とすることを目的として、CRDS 独自の視点でまとめたものである。

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

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

1.2 俯瞰報告書・概要版の構成

CRDSでは、研究開発が行われているコミュニティ全体を5つの分野(環境・エネルギー分野、ライフサイエンス・臨床医学分野、ナノテクノロジー・材料分野、情報科学技術分野、システム科学技術分野)に分け、その分野ごとに俯瞰報告書を作成した。本報告書は、2年ごとを目途に改訂している。

概要版では、各分野における俯瞰の概要として、俯瞰報告書本編のエッセンスを抽出して取りまとめるとともに、研究開発領域ごとの全分野の国際比較表サマリーを添付した。本書は概要版であるため、5つの分野における俯瞰対象分野の全体像や研究開発領域の詳細について、さらに知りたい場合は、俯瞰報告書本編を合わせて参考にしていただきたい。

俯瞰報告書本編および『主要国編(主要国の研究開発戦略)』、『データ編(データで見る俯瞰対象分野)』は、CRDSのwebサイトからそれぞれ参照できる。

また付録として、総勢500名を超える外部執筆協力者一覧を掲載している。

1.3 俯瞰報告書で取り扱っている研究開発領域

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、ナノテクノロジー・材料分野、情報科学技術分野、システム科学技術分野)で取り扱っている355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-FY2015-FR-02) 92 研究開発領域

120.1	株況エキル 万宝 (ONDC)-FT20T3-FN-02/ 32 4/1 九州 光 快 浅
俯瞰区分		研究開発領域
	化石資源利用の高効率発電	高効率火力発電
	(省化石資源消費・高効率化)	高効率固体酸化物形燃料電池
	化石資源利用における 二酸化炭素排出削減 (低炭素化・温暖化抑制)	二酸化炭素回収・貯留システム (CCS)
		太陽光
	再生可能エネルギー導入による	風力
	低炭素化の推進	バイオマス(固体燃料、液体・気体燃料、生物設計)
	(低炭素化・温暖化抑制)	地熱
-		海洋エネルギー(波力、潮流、海流、海洋温度差)
工		重質油の高度利用
ルギー		低品位石炭資源の革新的な改質・輸送・転換技術とエネルギー・ 製鉄分野への利用
	高品位エネルギーの安定供給	天然ガスの高度利用(超高効率発電・天然ガスからのコプロダクショ
供給	(エクセルギー、セキュリティ、	ン (トリジェネレーション)・LNG 冷熱利用技術による高効率化)
	負荷平準化、環境負荷低減)	非在来型石油・天然ガス資源の採掘技術
		全負荷帯での超高効率発電による CO ₂ 排出量抑制
		中温作動の固体電解質による新規プロセス 分散電源と再生可能エネルギーとの融合システム
		排熱利用低温吸熱反応(吸熱反応による排熱回収のための低温作
	ものづくりの高効率化	動型触媒、低温排熱の高質化技術-エクセルギー再生)
	(製造業高効率化、低位熱高度利用)	産業分野における熱利用、未利用熱の効率的利用
		新規石油化学製品製造ルート
	輸送用燃料の低炭素化	バイオマス利活用とバイオ燃料製造技術
		安全安心を支えるエネルギー利用
	多様な社会的要請に応える	労働、雇用や生活スタイルとエネルギーサービス
	エネルギーサービス	健康、医療、介護、高齢者支援におけるエネルギーサービス
		省エネ対策がもたらすコベネフィットの評価と見える化
		エネルギー消費実態の把握
工		ネットワークとビッグデータの活用
ネ		需要側資源を活用したエネルギー需給マネジメントシステム
ルギ	エネルギー効率の高い	消費者行動に着目したエネルギー利用の高効率化
1	サービスの提供	熱利用実態を踏まえた機器高効率化
利用		建物躯体と建築設備の統合的高効率化
用		次世代交通・運輸システム
		新しいエネルギー利用を社会に定着させる技術
		次世代自動車の利用拡大と高効率化
	低炭素化を実現する	未利用中低温排熱源の効率的活用
	エネルギー利用	建築物における太陽エネルギー活用
		水素エネルギーの利用浸透
		リスク評価と管理の手法
		原子炉の設計・建設・維持
原	原子力をより安全に維持・ 活用する場合に取り組むべき	原子炉の保全学
原子力		原子力に関する防災
力	研究課題	過酷事故への対応
		原子力基盤技術の開発
		新型炉(核融合含む)の研究・開発
		核燃料サイクルの技術

		the second of th
		高レベル放射性廃棄物の管理・処分
		低レベル放射性廃棄物の管理
		使用済み核燃料の管理
		プルトニウムの管理手法
		ウラン廃棄物の管理手法
		原子炉の廃止措置(デコミ)
	原子力の将来にかかわらず	福島第一原子力発電所事故への対応
	取り組むべき研究課題	環境修復の手法
	174 7 ALL S C 1717 B 1710 C	環境・人体への放射線影響(防護含む)
		原子力に関するリスクと人間・社会
		原子力に関する規制
		3S(原子力安全、核セキュリティ、保障措置)
		原子力に関する国際的視野
		原子力の政治経済学
	原子力に依存しない場合に	
	取り組むべき研究課題	国際的視野、社会的視野を含んだ原子力に依存しないための戦略
		建築と住環境(室内環境、建物の環境性能、建物周辺の環境)
		都市・地域計画(コンパクトシティ、インフラ管理含む)
		モビリティとその管理
	持続可能な人間居住	安全な水の供給(水道と安全性確保)
	1寸がり形な八囘后注	水環境管理(下水道、浄化槽、湖沼、水辺創造など)
		人間居住による環境負荷(GHG排出、水、大気への排出、緑地の喪失)
		都市環境と健康影響(大気、化学物質、緑地、熱環境等)
		開発途上国の人間居住と適正技術
	生態系サービスの適正管理	生物多様性の保全と持続的利用
		陸域資源と生態系管理(含む陸水)
		沿岸域および海洋の資源と生態系管理
		流域レベルの生態系管理(森林から海まで)
		生物多様性及び生態系サービスの評価
		生態系サービスの管理システム・制度のための技術管理
		製造業におけるグリーン技術(ゼロエミッション、環境配慮設計、
		クリーナープロダクション)
		サプライチェーンの環境マネジメント
		LCA に基づく生産と消費管理
環		廃棄物の発生抑制
環境	持続可能な生産と消費	リサイクル技術(都市鉱山含む)
		水の循環利用技術
		有害物質のマネジメント(PRTR、RoHS 含む)
		元素の循環と利用(リン・窒素)
		開発途上国による循環型技術(農村型小規模バイオガス化装置)
		開発迷上国による循環型技術(展刊型小規模バイオガス化委員) 自然災害(地震、津波、台風、干ばつ、豪雨、豪雪、火山等)が
		目然灰舌(地震、洋波、台風、下はつ、家雨、家当、火山寺) が 地域環境へ及ぼすリスク
		人為的災害(工場等での事故、危険物質運搬時の事故等)が環境
	災害による環境への影響低減と 環境の再創造	へ及ぼすリスク
		災害のリスク(人間への被害、環境への被害)の予防対策
		災害発生直後の環境情報観測・把握手法とリスク軽減手法
		災害廃棄物処理と利活用
		自然環境の回復過程の促進
		社会環境の再創造手法
		社 云 塚 現 の 丹 即 垣 于 伝
		地域の環境と人間活動の把握(地域の環境計測、人間活動とその
	観測・計測とその情報に基づく 環境管理	地域の環境と人間活動の把握(地域の環境計測、人間活動とその 影響の把握)
		環境情報基盤の整備と活用(ユビキタス情報、環境ビッグデータ、
		環境情報基盤の整備と位用(ユピヤダス情報、環境とガグリーダ、 GIS)
	1	OTO/

表 1.3.2 ライフサイエンス・臨床医学分野(CRDS-FY2015-FR-03) 77 研究開発領域

			// 研究開発領域
俯瞰区分		月発領域	
	ゲノム		
	バイオインフォマティクス		
	エピゲノム		
並	老化		
磁機	免疫		
生	代謝		
命	発生・再生科学		
基礎生命科学	脳科学 臓器連関		
7	臓器連関		
	生物時計		
	バイオメカニクス		
	分子イメージング		
	in silico 創薬技術		
	構造生命科学		
	システムズバイオロジー (創薬)		
	トランスオミクス (統合オミクス解析)		
次	新規バイオマーカー		
世代	マイクロバイオーム		
基	創薬スクリーニング技術		
盤	メディシナルケミストリー ドラッグ・リポジショニング		
次世代基盤技術			
PIU	利望技術(様放化など) ゲノム編集		
	インム 棚果 モデル 細胞		
	モデル動物		
	生体イメージング		
	低分子医薬品		
	中分子医薬品		
	高分子医薬品(抗体医薬)		
医	高分子医薬品(核酸医薬)		
医薬品等	がん免疫治療		
等	治療ワクチン		
	遺伝子治療		
	再生医療		
	レギュラトリーサイエンス(医薬品)		
医福療	診断機器		
补 .	治療機器		
機介器護	介護・福祉機器		
器護	ウエアラブルデバイス		
•	レギュラトリーサイエンス (医療機器) 疫学・コホート		
	投字・コポート 循環器疾患		
	がん		
	免疫疾患		
	感染症		
	精神疾患		
	神経疾患		
健	感覚器疾患		
原医	運動器疾患		
療	小児疾患		
健康医療全般	希少疾患		
版	医療情報		
	臓器シミュレーター		
	個別化医療		
	予防		
	医療経済評価、医療技術評価		
	健診・健康管理		
	医療保障制度		

	作物增産技術
	持続型農業
2.5	高機能高付加価値作物
グリ	食料安全保障概念の変遷と政策対応の課題
ĺĺĺ	バイオリファイナリー
シ	化成品原料/バイオ化学品(再生可能化学品ならびにバイオプロセス製造品)
バ	バイオ医薬品・食品原料
イオ	資源・レアメタル回収
4	生物多様性・生態系
	生態適応
	環境浄化
	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
ヒ	脳・神経倫理
} L	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
社	研究倫理
と社会	リテラシー・アウトリーチ
	被験者保護
	終末期医療・ケア

表 1.3.3 ナノテクノロジー・材料分野 (CRDS-FY2015-FR-05) 41 研究開発領域

秋 1.3.3	ファファファロフー・例外が到(UNDS-F12013-FN-US) 41 柳九開光映域
俯瞰区分	研究開発領域
環境	太陽電池
境	人工光合成
工	燃料電池
ネ	熱電変換
エネルギ	蓄電デバイス
ギー	パワー半導体デバイス
1	グリーン触媒
	生体材料(バイオマテリアル)
健康	再生医療用材料
康	ナノ薬物送達システム(ナノ DDS)
· F	ナノ計測・診断デバイス
医療	ナノイメージング
/AT	バイオイメージング
	生体イメージング
4.1	構造材料 (4.15年1月18日 (
社会	構造材料(金属系)
云イ	構造材料(複合材料)
シ	水処理用分離膜
社会インフラ	高温超伝導(応用)
フ	センシングデバイス・システム
	放射性物質除染、減容化
エ	超低消費電力ナノエレクトロニクス
レカ情	二次元機能性原子薄膜
ーレクトロニクス 情報通信・	スピントロニクス フォトニクス
口煙	<u>フォトークス</u> 有機エレクトロニクス
二口	有候エレクトロークス MEMS/NEMS
クス	MEMS/NEMS 異種機能三次元集積チップ
- ,	英性機能二次元条債ケック
	空間・空隙構造制御
	全国
	バイオミメティクス
	分子ロボティクス
	元素戦略・希少元素代替技術
基	データ駆動型材料設計 (マテリアルズ・インフォマティクス)
盤	トップダウン型プロセス(LSI 超微細加工技術)
基盤科学技術	ボトムアップ型プロセス
技	ナノ計測
術	走査型プローブ顕微鏡
	電子顕微鏡
	放射光·X線
	超高速時間分解分光
	物質・材料シミュレーション
	リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケーションと社会受容
	/ / / H IIII

表 1.3.4 情報科学技術分野(CRDS-FY2015-FR-04) 91 研究開発領域

表 1.3.4	情報科字技術分野(CRDS-F	,
レイヤー	俯瞰区分名	研究開発領域名
		情報理論
		暗号理論
		離散構造と組合せ論
	All with wire = A	計算複雑度理論
	基礎理論	アルゴリズム理論
		最適化理論
		プログラム基礎理論
		データアナリシス
		集積回路技術
		来領国時が開 MEMS デバイス技術
		フォトニクス
		プリンテッドエレクトロニクス技術
		極低電力 IT 基盤技術
		量子コンピューティングデバイス
	デバイス・ハードウエア	メモリーとストレージ
		アクチュエーター
		センサー
		アナログ回路
		情報処理
		通信
		エネルギーハーベストデバイス
		電源
		光通信技術
		無線通信技術
		ネットワーク・エネルギーマネジメント
++-	通信とネットワーク	ネットワーク仮想化技術
基盤		通信行動と QoE (Quality of Experience)
金		情報ネットワーク科学
		新たな情報流通基盤
		ソフトウエア工学
	いつしカエフ	組込みシステム
	ソフトウエア	プログラミングモデルとランタイム
		システムソフトウエアとミドルウエア
		エンタープライズ・アーキテクチャー
		ソフトウエア定義型アーキテクチャー
	Tm - 1: - 1 d	クラウドコンピューティング
	IT アーキテクチャー	モバイルコンピューティング
		ワークロード特化型アーキテクチャー
		ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)
		ビッグデータの統合・管理・分析技術
		ユーザー生成コンテンツとソーシャルメディア
		センサーデータ統合検索分析技術
	IT メディアとデータマネジメント	時空間データマイニング技術
	-	次世代情報検索・推薦技術
		個人ライフログデータの記録・利活用技術
		The state of the s
		探索とゲーム機能が対象に最高を表現しています。
		機械学習、深層学習
		オントロジーと LOD
	人工知能	Web インテリジェンス
	/ V— AH III	知能ロボティクス
		統合的人工知能
		汎用人工知能
		認知科学

大規模言語処理に基づく情報分析 言語情報処理応用 (機械翻訳) 言語情報処理応用 (音声対話) 画像・映像の意味理解 言語と映像の統合理解 BMI (プレイン・マシン・インターフェース) 人間拡張工学 ハプティクス ウエアラブルコンピューティング HRI (ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア分野におけるビッグデータ シイフサイエンス分野におけるビッグデータ 教育とビッグデータ	
ビジョン・言語処理 言語情報処理応用(音声対話) 画像・映像の意味理解 言語と映像の統合理解 BMI(ブレイン・マシン・インターフェース) 人間拡張工学 ハプティクス ウエアラブルコンピューティング HRI(ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア分野におけるビッグデータ 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	
画像・映像の意味理解 言語と映像の統合理解 BMI (ブレイン・マシン・インターフェース) 人間拡張工学 ハプティクス ウエアラブルコンピューティング HRI (ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア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	
言語と映像の統合理解	
BMI(プレイン・マシン・インターフェース)	
人間拡張工学 ハプティクス ウエアラブルコンピューティング HRI (ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア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	
人間拡張工学 ハプティクス ウエアラブルコンピューティング HRI (ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア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	
インタラクション ウエアラブルコンピューティング HRI (ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア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	
ウエアラブルコンヒューティング HRI (ヒューマン・ロボット・インタラクション) グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア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	
グラフィックス・ファブリケーション ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア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	
ビッグデータ基盤技術 ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア分野におけるビッグデータ 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	
ビッグデータ解析技術 クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア分野におけるビッグデータ 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	
クラウドソーシング プライバシー保持マイニング技術 IT メディア分野におけるビッグデータ 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	
プライバシー保持マイニング技術 IT メディア分野におけるビッグデータ 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	
IT メディア分野におけるビッグデータ 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	
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	
教育とビッグデータ	
社会インフラとビッグデータ(交通、ヘルス、防災など)	
オープンデータ	
著作権とビッグデータ	
ビッグデータとプライバシー	
CPS/IoT アーキテクチャー	
M2M	
戦 略 CPS/IoT 社会システムデザイン	
CPS/IoT セキュリティー	
応用と社会インパクト	
ものづくりと IoT	
知のメディア	
知のコンピューティング 知のプラットフォーム	
知のコミュニティー	
次世代暗号技術および暗号プロトコル	
IT システムのためのリスクマネジメント技術	
要素別セキュリティー技術	
セキュリティー 認証・ID 連携技術	
サイバー攻撃の検知・防御次世代技術	
プライバシー情報の保護と利活用	
デジタル・フォレンジック	

表 1.3.5 システム科学技術分野(CRDS-FY2015-FR-06) 54 研究開発領域

俯瞰区分	研究開発領域
	先端的数理モデリング
	先端的統計モデリング
工	行動のモデリングとソフトコンピューティング
デ	エージェント・ベース・シミュレーション
íJ	データ設計
モデリング	データ同化
9	モデルの正則化・最適化
	機械学習・データマイニング
	モデル統合に基づくシステム設計とその評価
	学習制御/適応制御
	ロバスト制御
	最適制御/予測制御
	分散協調制御
制	確率システム制御
御	ハイブリッドシステム制御
	大規模ネットワーク制御
	異常検出
	環境エネルギーとシステム制御
	都市インフラとシステム制御
	最適化コアモデルと関連諸技術
最	連続的最適化
最適化	離散的最適化
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
ワネ	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
カック・	ネットワークに関する離散数学
ワーク論	ネットワーク解析用ソフトウェア
	複雑系生命科学
複	複雑系脳・神経科学
雑	複雑系数学
シュ	複雑系物理学
複雑システ	複雑系数理モデル学
Á	複雑系社会学
	複雑系経済学
	サービス価値創造基盤システム
サ	サービスシステムモデル
Ţ	価値共創過程のモデリング
ビスシステム	サービスデザイン
1	価値共創の測定・評価
ス	製品サービスシステム (Product-Service Systems)
テ	地域・コミュニティサービスシステム
4	対人サービスシステム
	IT サービスシステム
37	合意形成
	問題構造化技法
テ	高信頼要求工学
ム	システムアシュアランス コンセプトエンジニアリング
システム構築方法論	System of Systems (SoS) アーキテクチャ
	ライフサイクルマネジメント
法	プロジェクトマネジメント
誦	品質マネジメント
	明月、ヤマグマゴ

2. 各分野の俯瞰の概要

2.1 環境・エネルギー分野

2.1.1 分野の範囲と構造

地球温暖化問題に代表される地球的規模の環境問題と、エネルギー使用に起因した二酸化炭素 (CO₂) の排出削減などのエネルギー問題は、相互に深く関係しており一体不可分である。したがって、CRDSでは「環境」と「エネルギー」を「環境・エネルギー」という一つの科学技術分野として捉え、「環境制約や資源制約を克服し持続的な経済成長と人間社会の発展を図るために必要となる、広範で多様な学術分野を含む課題駆動の科学技術分野」と定義して俯瞰検討を進めた。

2.1.1.1 分野の範囲

2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画(第四次)」によれば、「安全性(Safety)」を前提として、「エネルギーの安定供給(Energy Security)」、「経済効率性の向上(Economic Efficiency)」による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に「環境への適合(Environment)」を図る、いわゆる「3E+S」を同時に克服するための取り組みを進めることの重要性が掲げられている。エネルギー分野の俯瞰では、このような我が国のエネルギー政策の基本的視点に立ちながら俯瞰を進める。

次に、環境分野では、まず、環境は人の健康を含む生命の持続性の基盤であることから「次世代のための環境」を俯瞰の際の前提とした。そして、環境に影響を及ぼす事象を予測し先手を打つという考え方が必要であり、対策が事後対応的であった異常気象や自然災害をも対象に含め、「環境設計・創造」という基本理念のもと、普遍的な課題解決型科学技術の記載を目指した。また、さまざまな社会状況が変化しつつある 2015 年という時点を強く意識することとした。なお、本報告書での環境分野の俯瞰については、環境を「人と関わりあう物理空間および生態系」と定義する。

2.1.1.2 俯瞰の枠組み

環境・エネルギー分野を「エネルギー供給」、「エネルギー利用」、「原子力」、「環境」の4区分に分類して俯瞰調査を実施し、今後取り組むべき主要な92の研究開発領域を抽出し、将来の社会的な期待や要請に基づいて整理した。

環境・エネルギー分野の俯瞰図を図 2.1.1 に示す。環境・エネルギー分野は、社会的期待を最上位層に配した階層構造をしており、階層の一つに技術課題・研究開発課題が組み込まれているものと捉えることができる。具体的には、「持続可能な社会の実現」という社会的期待(第1階層)を実現するために事業領域(第2階層)が存在し、その事業を実施するための手段が構成技術課題(第3階層)によって提供されている。これらの技術を実現するために共通要素技術課題(第4階層)や、それらを支える学術研究領域(第5階層)が存在している。

1. 社会的期待:

(第1階層)

持続可能な社会の実現

2. 事業領域(社会的期待実現):

(第2階層)

エネルギー産業、モノづくり産業、物流産業、建設産業、農林水産業、医療・健康産業、介護福祉サービス産業、 情報産業、他サービス産業、公共サービス、行政(法律、社会インフラ整備、国際戦略…)

3. 構成技術課題(事業手段提供):

エネルギー供給 化石資源利用の高効率発電

- ・化石資源利用における二酸化炭素排出削減
- ・再生可能エネルギー導入による低炭素化の推進
- ・高品位エネルギーの安定供給
- ・ものづくりの高効率化
- ・輸送用燃料の低炭素化

エネルギー利用

- ・多様な社会的要請に応える
 - エネルギーサービス
- エネルギー効率の高い
- サービスの提供 ・低炭素化を実現するエネルギー利用

(第3階層)

・原子力をより安全に維持・活用するために取り組むべき研究課題

- 原子力 ・原子力の将来にかかわらず取り組むべき研究課題
 - ・原子力に依存しない場合に取り組むべき研究課題
- 持続可能な人間居住 環境
- 災害による環境への影響低減と環境の再創造
- ・生態系サービスの適正管理 持続可能な生産と消費
- ・観測・計測とその情報に基づく環境管理

4. 共通要素技術課題(コア技術):

(第4階層)

変換技術、貯蔵技術、輸送技術、利用・環境適合技術、システム技術、 ICT、ネットワーク技術 等

5. 学術研究領域(理論、分析、設計):

(第5階層)

【社会科学】社会学、政治学(政策論、国際関係論)、エネルギー経済学、環境経済学 等 【応用科学】熱機関工学、機械工学、化学工学、プラント工学、材料工学、原子力工学、資源工学、電気電子工学、土木工学、 理築工学、環境学 等 【基礎科学】熱力学、燃焼学、伝熱学、流体力学、電磁気学、電気化学、触媒化学、原子核物理学、地球物理学、生態学 等 【基 盤 】物理学、統計力学、化学、生物学、情報学、計算科学 等

図 2.1.1 環境・エネルギー分野俯瞰図

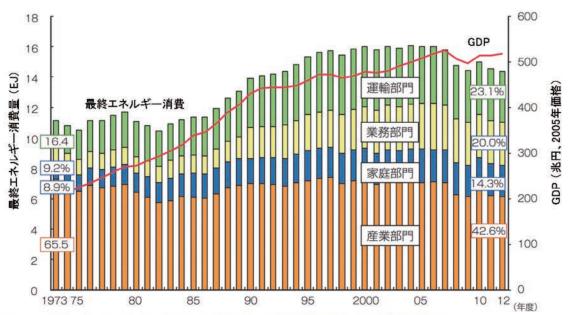
2.1.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性

2.1.2.1 分野の歴史と現状

(1) エネルギーに関わる日本社会の変化

図 2.1.2 に、我が国の近年の最終エネルギー消費量と GDP の推移を示す。70 年代の 2 度 の石油危機を契機に、政策効果も相まって産業部門を中心に省エネルギーが急速に進展し、 産業部門では、省エネルギーの徹底によるエネルギー消費原単位の改善および生産拠点の海 外移転の進行、産業構造の変化などにより、石油危機後大きく減少に転じ、その後緩やかな 増減はあるものの、2012年度の消費量は1973年を下回っている。一方、民生部門、運輸部 門は、利便性の追求、電化・情報化の進展、モータリゼーションの進展により、石油危機後 一貫して増加傾向にあったが、2000年以降は横ばいないしは微増で推移している。

エネルギー消費の変化にともなって一次エネルギー供給量も変化してきた。図 2.1.3 に示 すように、供給の総量は 2013 年には約 21.7EI となっている。その内訳では、石炭(16.7% → 21.6% → 23.9%)、天然ガス (10.2% → 17.3% → 22.6%) の割合が増加している。一方、原 子力は国内の原子力発電所が稼動していないことから大きく減少し、全体に占める割合は 0.4%となっている。化石燃料のシェアは依然として高く、1990年以降微減に留まっている。 また、全体のエネルギー消費量はここ数年減少傾向にあるが、2011年以降、原子力発電所 が停止している分のエネルギー供給を化石燃料で補っているために、CO2の総排出量および 一人当たり CO₂ 排出量は増加している (1990 年比で約 1.12 倍)。なお、同様の理由により、



- (注 1) J (ジュール) =エネルギーの大きさを示す指標の一つで、 $1MJ = 0.0258 \times 10^3$ 原油換算 kl。
- (注2) 「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。
- (注3) 構成比は端数処理(四捨五入)の関係で合計が100%とならないことがある。

出典: 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、内閣府「国民経済計算」、日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」を基に作成 図 2.1.2 最終エネルギー消費量の推移と経済成長



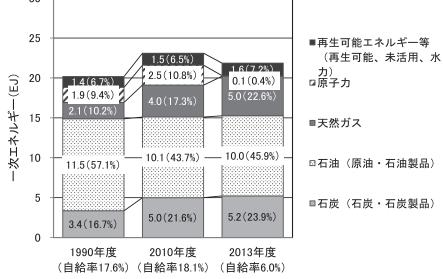


図 2.1.3 一次エネルギー量内訳とエネルギー自給率 (1EJ=1018J)

エネルギー自給率は 2010 年から 2013 年の間に大幅に低下している (18.1% \rightarrow 6.0%)。

熱量基準で見たエネルギーの流れ(図 2.1.4)を見ると、再生可能エネルギーについては、 2012年7月再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT: Feed In Tariff)の開始に伴い、 9% 増加している。FIT 開始後の設備導入容量および認定容量、発電電力量および買取金額を 見ると、2014 年 12 月末時点で、7.401 万 kW の設備認定がされ、そのうち 1.582 万 kW が稼動 している。認定設備のうち、太陽光が 7.088 万 kW (96%) を占め、特に非住宅用が 6.745 万 kW (91%) を占めている。一方、導入容量は、非住宅用の太陽光は、1,253万kWと認定容量

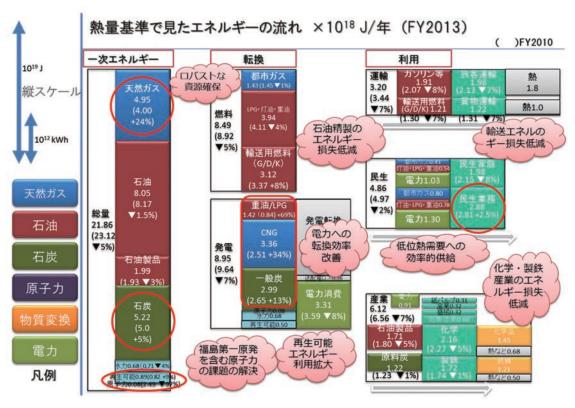


図 2.1.4 2013 年度の我が国のエネルギー・フローとそこから求められる主要課題 (赤枠部はエネルギー利用が増加している領域を示す。)

の19%にしかすぎない。買取発電量および買取金額は、2012年56億kWh(1,780億円)となっており、2014年度は約280億kWh(約1兆円)に達すると予想され、また、現状認定された全設備が稼動した場合の買取金額は、年間2.7兆円になると予想されている。再生可能エネルギー、特に太陽光の設備導入、認定の急拡大は、買取負担、系統接続容量の不足など、多くの課題が顕在化しており、経済産業省でも議論が行われている。FITの見直しを含め、我が国のエネルギーベストミックスがどうあるべきか、早急な議論が必要である。さらに、FITからの脱却、すなわちグリッドパリティ実現に向けて長期的な研究開発戦略を進めていく必要がある。

我が国は化石資源に乏しく、ほとんどのエネルギー源を海外からの輸入に依存している。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、エネルギー供給体制には根本的な脆弱性を抱えている。地政学的リスクを踏まえ、ロバストな資源確保のための対策強化が必要である。

また、2013年度は約28兆円もの国富を費やして輸入したエネルギー資源(約22 EJ/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、有効に使用される割合は4割程度と見積もられる。電力部門では、約9 EJ/年の一次エネルギー源から3.3 EJ/年の電力を得るに留まっており、発電や送配電における損失が大きい。電力への転換効率の改善が課題である。石油を燃料に転換する過程での損失も大きく、約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。同様の技術は、エネルギー多消費産業である化学産業の省エネルギーに大きく寄与すると考えられる。一方、運輸部門ではとりわけ自動車における熱としてのエネルギー損失が大きく(図2.1.4 右上の灰色部)、新技術

による高効率化が望まれる。暖房や給湯として使われる低位熱需要に対して多くの電力が使われている現状も改善の余地がある。

そして最後に、再生可能エネルギーは一次エネルギー源としては、いまだに 4% と小さな割合を占めるに過ぎないが、FIT が開始されて以降、太陽光発電を中心に飛躍的に拡大しており、FIT 賦課金による国民負担の抑制、系統連携技術やその貯蔵・利用を可能とする技術が必要である。

(2) 分野の政策・研究開発施策の推移

エネルギー政策の変遷

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危機を大きな区切りとして改編された。石油危機が発生した70年代から80年代にかけて、エネルギーの安全保障が重視されるようになり、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)。省エネ法の改正(1998年)により「トップランナー制度」が導入され、省エネ家電や自動車の普及が促進されることとなった。

2000年代からは新興国の急成長が目立ち始め、世界のエネルギー資源・環境問題はいっそう難しい局面となった。我が国ではエネルギー政策基本法が制定(2002年)され、それに基づくエネルギー基本計画(第一次)が閣議決定(2003年)されることにより、3Eの同

表 2.1.1	エネルギー・	環境政策の変遷
---------	--------	---------

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
~ 70·80年 代	背景: 石油危機(73年, 79年)を契機とした脱石油機運の高まり ・原子力基本法(55年) ・原子力委員会設置(56年)、日本原子力研究所設立(56年) ・公舎対験基本法(67年)	日本科学技術情報センター(JICST) 設立(57年) 新技術開発事業団(JRDC)設立	
	・大気浄化法改正法(マスキー法)(70年)・公害国会(70年)・環境庁発足(現環境省)(71年)	(61年)	公害への対応 エネルギー安全保障
	・国連人間環境宣言(ストックホルム)(72年) ・自然環境保護法(72年) ・資源エネルギー庁発足(73年) ・石油需給適正化法(73年)		
	・原子力エネルギー促進(電源三法)(74年) ・国立公害研究所発足(現国立環境研究所)(74年) ・省エネルギー促進(省エネ法)(79年)	サンシャイン計画(74年) ムーンライト計画(78年)	経済効率性の追求
	 ・石炭利用拡大に関するIEA宣言(石油火力新級の禁止等)(79年) ・核兵器不拡散防止条約発効(NPT)(70年)、日本批准(76年) ・代替エネルギー促進(代エネ法)(80年) ・日米原子力協定等効(88年) 	新エネルギー総合開発機構設立 (現NEDO) (80年) 地球環境技術研究開発(89年)	都市・生活型環境汚染への対応 地球規模環境問題への対応
90年代	背景: 温暖化対策の要請の高まり(地球サミット92年,京都議定書97年) ・地球サミット(リオデジャネイロ)(92年) ・温暖化対策本格化(環境基本法)(93年) ・新エネルギー促進(新エネ法)(97年) ・気候変動枠組条約COP3(京都)(97年) ・トップランナー制度導入(省エネ法改正)(98年)	ニューサンシャイン計画(92年) 科学技術基本法(95年) 第1期科学技術基本計画(96~00年) 科学技術振興機構(JST)設立(96年)	環境性の追加 原子力エネルギーの推進 国際的取組への貢献 3Eの同時達成 循環型社会・持続可能性の追求
00年代	背景: 安定供給・効率・環境の同時達成志向の高まり、資源価格の高騰・循環型社会形成促進基本法(の年)・エネルギー政策基本法(22年)・エネルギー基本計画(03年)、二次計画(07年)、三次計画(10年)・京都議定書発効(05年)、第一約束期間(08~12年)・気候変動枠組条約COP15(コペンハーゲン)(09年)・エネルギー供給構造高度化法(08年)・新成長戦略(10年)	研究開発プログラム方式(01年) 第2期科学技術基本計画(01~05年) 第3期科学技術基本計画(06~10年) (環境・エネルギー等の分野別推進)	電力市場の部分自由化 エネルギー安全保障の再認識 環境性の再認識
11年 以降	背景: リスク対応を含めた安全性の重視 ・生物多様性条約COP10(名古屋)(10年) ・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)、 グリーン政策大綱(骨子)(12年) ・再生可能エネルギー固定価格買取制度(12年) ・原子力安全・保安院解体、原子力安全規制委員会(12年) ・省エネルギー法改正(13年) ・エネルギー基本計画(四次計画)(14年) ・福島再生可能エネルギー研究所(産総研)(14年)	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) 日本再興戦略(13年) 科学技術イノベーション総合戦略(13年) SIP、ImPACT開始(13年)	安全性の追加(3E+S) 経済再生 東日本大震災からの復興 電力市場改革

時充足を基本方針とした総合的なエネルギー政策が進められるようになった。

2010年代からは、東日本大震災や福島第一原子力発電所事故などにより、国内外のエネルギーを取り巻く環境は大きく変化していった。そのため、これまでのエネルギー政策の見直しが図られるようになり、その検討をする上では、3EにS(安全性)を加えるということが基本方針となった。また、国民の間にも再生可能エネルギー導入、脱原発(原子力への依存度低下)、省エネルギー化への機運が高まっていった。

2014年4月にはエネルギー基本計画(第四次)が閣議決定された。同計画では、エネルギー政策の基本的視点(3E+S)を確認したうえで、各エネルギー源の位置づけと政策の基本的な方向が示されている。例えば、再生可能エネルギーについては、重要な低炭素の国産エネルギー源と位置づけられ、2013年から3年程度は導入を最大限加速していくとされている。原子力については、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源と位置づけられ、リスク最小限化のために万全の対策を尽くすといった方針が示されている。

エネルギー分野の主要な研究開発関連施策

政府はこれまで、通商産業省(当時)を中心に、第一次石油危機直後に始まった「新エネルギー技術開発計画(サンシャイン計画)」(1974~1992年)、続く「省エネルギー技術開発計画(ムーンライト計画)」(1978~1992年)、中央省庁再編により終了した「エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画(ニューサンシャイン計画)」(1993~2002年)と、エネルギー技術の開発に対して長期にわたる研究開発投資を行ってきた。これらの計画に含まれる合計 23の国プロに対する政府予算は総額1兆4千億円にも上る(2002年価格。導入普及対策費を含む)。

サンシャイン計画は石油代替を主な目的として、太陽エネルギー、地熱エネルギー、石炭エネルギー、水素エネルギーの4テーマを重点技術として推進された。ムーンライト計画は省エネルギー技術の開発を目的として、エネルギー転換効率の向上、未利用エネルギーの回収・利用、エネルギー利用効率の向上、エネルギー供給システムの安定化などを重点的に進めた。これらの計画は、当初は工業技術院(当時)が主体となって推進し、1980年に「新エネルギー総合開発機構(現在の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)」が設立されてからは NEDO が中心となって推進した。

ニューサンシャイン計画は、サンシャイン計画、ムーンライト計画および地球環境技術開発計画が、1993年の国立試験研究所の再編成にともなって統合され作られたものである。そこでは太陽光発電や燃料電池発電などに関する基本技術の確立、研究開発成果の実用化、ならびにその普及の加速化、持続可能な成長とエネルギー環境問題の同時解決を目指した革新的な技術開発などが取り組まれた。2001年の中央省庁再編で国プロとしてのニューサンシャイン計画は終了し、代わって「研究開発プログラム方式」と呼ばれる方式が導入された。これに伴ってそれまでのプロジェクトもこの新方式の下に再編された。我が国では「科学技術基本法」が1995年に制定され、第4期科学技術基本計画(2011~2015年)では、世界的なエネルギー需給逼迫や地球温暖化問題への懸念が高まる中、環境と経済の両立を図るため、エネルギーの安定供給確保や環境への負荷低減に貢献する省エネ技術、再生可能エネルギー技術、原子力技術などの研究開発を推進することとされた。現在、第5期基本計画(2016

年~)の策定に向けた議論が進められており、その中で地球の持続的発展を脅かす、資源・ エネルギー問題や地球温暖化・気候変動など諸課題の解決に世界各国との協調、協力の下で しっかりと取り組んでいくことの必要性が示されている。

また、2013年に閣議決定された「日本再興戦略」や「科学技術イノベーション総合戦略」などを含め、エネルギーに関連する科学技術関連施策は基本的にこれらの方針に従って検討が行われ、実施されている。

環境政策の変遷

明治以降の日本の環境対策の端緒は上水道の普及に始まる公衆衛生対策であろう。そして、 戦後に公害対策基本法(1967 年)などが制定されたが、当時の科学技術の水準では公害と 健康影響との因果関係に不確実性が大きく、実用的な公害対策技術も限定的であり、公害対 策が経済発展を阻害するという懸念が政府や財界に根強くあったために、本格的な公害規制 は行えなかった。政府が公害対策に本格的に着手したのは1970年に開催された公害国会以 降であり、現在の日本の環境対策の大枠はこの時点に作られた。

80年代に入ると、大気汚染、水質汚濁は一定の解決を見るようになる一方で、過去の廃棄物や排水の不適正処理などに起因する市街地での土壌汚染というストック型の汚染が顕在化してきた。このため、2002年には土壌汚染対策法が制定された。

さらに、80年代以降、地球規模の環境問題や越境する環境問題の重要性が広く認識されるようになり、国際社会は国際条約を制定して取り組みを行ってきた。1992年の地球サミットでは、持続可能な開発に向けての取り組みが議論され、リオ宣言やアジェンダ 21 が採択されたほか、気候変動枠組条約と生物多様性条約への署名が行われた。しかし、現実に対策を実施する段階に至ると、先進国と開発途上国との間での対立が解消されず、国際社会が一体となった取り組みが進められているという状況には至っていない。

政府は地球サミットの成果に基づき1993年に環境基本法を制定した。また、先進国の中で環境アセスメント法制化が遅れていたが、1997年に環境影響評価法を制定した。

環境問題は未然防止を最優先とすることは当然であるが、すでに起きてしまった問題の事後処理や今後想定される問題に対する対応策も適切に実施する必要がある。気候変動では、これまで緩和策が重視されてきたが、将来の気候変動が不可避と考えられるようになって適応策が注目されるようになり、2009年のコペンハーゲン・アコードでも言及された。生態系の回復も課題であり、2002年に自然再生推進法が制定されている。さらには、阪神淡路大震災や東日本大震災の経験を踏まえ、防災だけでなく減災のあり方が各方面で考えられるようになってきた。

環境分野の主要な研究開発関連施策

1993年に成立した環境基本法では、環境保全に関する基本的施策として、環境の変化の機構の解明や負荷の低減に関する技術に加えて、環境が経済から受ける影響等を総合的に評価する方法の開発等、自然科学のみならず、人文・社会科学の分野も通した環境保全に関する科学技術の振興を図ることを規定するとともに、そのために国が試験研究体制の整備や、研究開発の推進及びその成果の普及、研究者の育成等の措置を講ずることを定めている。また、環境の状況の把握などのための調査の実施や監視等の体制の整備についても、国が講ず

るべき施策として位置付けている。

環境基本法に基づいて 1996 年 12 月に閣議決定した「環境基本計画」では、科学技術の振興を環境保全に係る共通的基盤的施策の重要な柱と位置付けた。現在 2012 年に閣議決定された第四次環境基本計画が実施されており、9 つの優先的重点分野や震災復興、放射性物質による環境汚染対策が示されている。

また、第4期科学技術基本計画では、従来の「分野別推進戦略」から国が取り組むべき政策課題をあらかじめ設定する「課題解決型推進戦略」に転換し、「グリーンイノベーションの推進」を掲げている。

この基本計画の方向性のもと毎年策定される科学技術イノベーション総合戦略や、生物多様性国家戦略 2012-2020、第三次循環型社会形成推進基本計画、環境エネルギー技術革新計画などの国家戦略や計画でも、環境に関する研究開発の方向性について言及しており、こうした国家戦略や計画のもと、環境省による環境研究総合推進費のほか、各府省などによる競争的資金においてさまざまな研究開発が実施されている。

(3) 分野を取り巻く世界の動向

エネルギー需給

図 2.1.5 に示すとおり、世界のエネルギー消費量(一次エネルギー)は増加を続けている。 地域別で見ると、アジア大洋州の増加が顕著である。これは、著しい経済成長を示してきた 中国・東南アジアなどの新興経済圏の人口増加およびエネルギー消費量が増加したためと考 えられる。それとは対照的に、OECD 諸国のエネルギー消費量の世界全体に占める割合は、 年々減少する傾向にある。先進国では顕著な人口増加や経済成長はみられず、またエネルギー 消費効率の高い機器の普及が進んだためと考えられる。

2012年の一次エネルギーの内訳をエネルギー源別に見ると(図 2.1.6)、再生可能エネルギーは拡大しているものの、全体に占める割合は10%ほどであり、世界は依然として化石燃料に大きく依存していることが分かる。概況は表2.1.2のようにまとめられる。

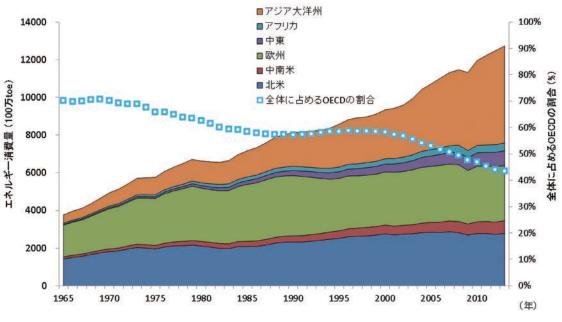


図 2.1.5 世界のエネルギー消費量の推移(エネルギー源別、一次エネルギー)

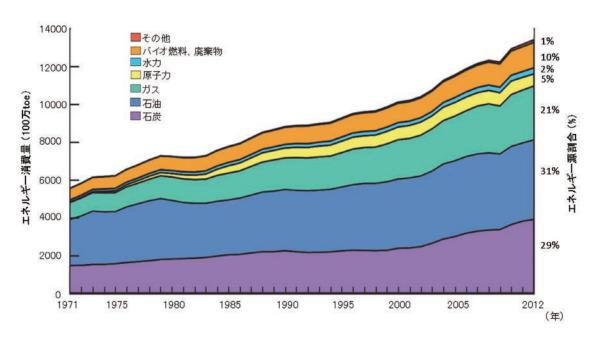


図 2.1.6 世界のエネルギー消費量の推移(地域別、一次エネルギー)

表 2.1.2 エネルギー源別の世界の一次エネルギー内訳とその概況

エネルギー源	供給量 (20 石油換算) Mtoe	百万トン	概況
石炭	3877.59	(29.0)	世界的に消費量が増加傾向にあり、需要は 2040 年までに 15%増加するといわれる。とりわけ途上国の発電を中心に増加している。日本でも増加している。米国では新設の石炭火力発電所設置の際の規制が強化されている。可採年数は石油よりも長い(109年)。
石油	4198.49	(31.4)	OECD 諸国の消費は減少傾向にあり、日本でも減少傾向にある。一方、途上国においては モータリゼーションの進展もあり消費量が増加しており、生産量もそれに合わせて増加 (中 東、ロシア等)。また、北米を中心にシェールオイル (タイトオイル) の生産も増加する 見通しである。地政学的リスクおよび価格の変化が大きい。可採年数は増加傾向。
天然ガス	2848.02	(21.3)	世界的に消費量が増加傾向にある。日本でも増加している。非在来型ガス (シェールガス) の供給量が増加する見込みである。他のエネルギー源に比べ、生産国が消費する割合が高い。可採年数は 56 年。
原子力	641.81	(4.8)	ここ数年、世界的に設備容量に大きな変化はみられない。日本では東日本大震災、福島第一原子力発電所事故以降大幅に減少。ドイツでは 2022 年までに段階的に全原子力発電所を停止する予定。中国、インド、ロシアなどでは原子力推進の政策が取られている。
再生可能 エネルギー など	1805.09	(13.5)	再生可能エネルギーによる供給量は世界的に増加傾向。電力においては、世界の発電容量増の半分以上(56%)を占めている(2013年)。ドイツ、スペインではFIT 導入により太陽光発電の導入が急速に増大。日本もFIT 導入以降急激に増大。 風力発電も増加傾向にある。最も導入量が多い国は中国(2013年)。欧州では洋上風力発電が急速に拡大。バイオマスは一次エネルギー供給量の10%ほどを占める。供給されるエネルギーの大半は熱利用。アメリカ、欧州が政策的に推進している。水力は新設の発電設備容量の3分の1を占める(2013年)など、拡大傾向。地熱発電も増加傾向。設備容量は米国、フィリピン、インドネシアの順(2013年)。日本は資源量で世界3位だが、発電容量は8位と利用率は低く、追加される設備容量も他国を下回っている。

各国のエネルギー政策比較

主な諸外国の一次エネルギー供給構造は図 2.1.7 のとおりである(データは 2013 年)。日本のエネルギー自給率は一部を除く原子力発電所の稼動停止により 6%(2012 年推計値)まで下がっており、先進諸外国の中でも際だって小さい。2014 年時点では原子力ゼロの状態

であり、エネルギー自給率はさらに低くなる。

また、安全保障上、エネルギー自給率の維持・改善はいずれの国にとっても至上命題の一つであるが、その取り組み内容は各国の諸事情に合わせてさまざまである。米国は、その国土に豊富な化石資源を保有しており、エネルギーミックスの大半が化石資源で占められている。石油輸入依存度の低減が長年の重要政策課題であったが、近年非在来型の天然ガスが市場に本格的に導入されたため、エネルギー安全保障上のリスクが軽減しつつある。のみならず、米国の天然ガスは日本をはじめ多くの国のエネルギー需給構造をも変える可能性があることが指摘されている。フランス、韓国は日本同様に国内資源に乏しく輸入に依存している。ただしエネルギーミックスの構成では両国とも原子力を強く推進しており、特にフランスは関連国内企業(アレバ社)の支援にも力を入れている。ドイツは国土に豊富にある石炭資源の利用を維持する一方で、2002年には原子力発電所の新設禁止、東日本大震災後間もない2011年6月には2022年までに脱原発を目指す決定を行っている。おのおの特色あるエネルギー政策ではあるが、欧州諸国は域内の電力流通が盛んであり、エネルギー安全保障を考える上では島国の日本とは異なる状況下にあるといえる。

エネルギー政策は安全保障のみならず、気候変動対策としても認識されている。各国・地域とも GHG 削減目標を定めており、自国の状況も勘案してそれに見合うエネルギーの低炭素化を進めている。そのために、各国とも省エネルギーや再生可能エネルギーを推進するとともに、クリーンコールや天然ガス、原子力も含めたベストミックスを目指している(表2.1.3)。COP21(2015 年に開催予定)までに、参加各国は 2020 年以降の GHG 削減目標を提出することが決められており、我が国でもそのためにエネルギーミックスの議論が行われているところである。科学技術政策という観点では、米国におけるグリーンイノベーションへ

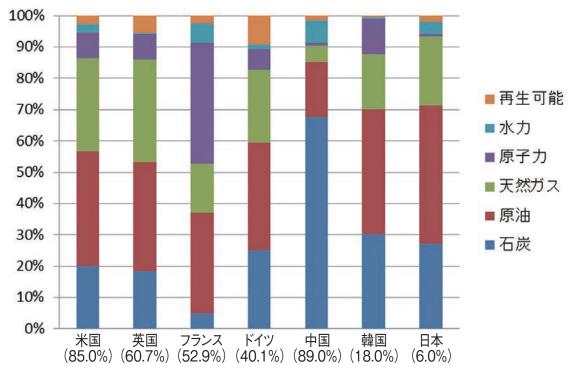


図 2.1.7 一次エネルギー供給構造と自給率の各国比較

の体系的かつ継続的な取り組みが顕著である。米国エネルギー省は、2001 年以降、10 年もの歳月をかけて、1000 名を大きく超える有識者の関与によって、グリーンイノベーションに関するビジョンと戦略を取りまとめた。またこのシナリオを実現する仕組みとして、エネルギー省の下に、「エネルギーフロンティア研究センター」、「エネルギー高等研究計画局」、「エネルギーイノベーション・ハブ」という3つの研究イニシアチブを立ち上げている。

各国の環境政策比較

多くの国・地域でエネルギー政策と同様に環境政策は重視されている。気候変動対策など の環境政策はエネルギー政策と連動する側面があり、産業との関わりも大きい。

米国では、毎年の科学技術関連予算における投資の優先順位が、大統領府の行政管理予算局(OMB)・大統領府の科学技術政策局(OSTP)の共同覚書で示され、研究開発予算を計上する各省庁はこの覚書に沿った予算案の作成が求められている。オバマ政権は環境・エネルギー分野における研究開発をイノベーション政策の中心に据え、とりわけクリーン・エネルギー技術の開発については政権発足以来一貫して重点投資分野としている。2016年度予算の科学技術優先事項覚書では、8つの優先分野のうち、クリーン・エネルギー、地球観測、気候変動が記載され、2016年度大統領予算教書では、温暖化対策技術に前年度を上回る74億ドルが提示された。

欧州連合 (EU) における環境分野の基本的なフレームワーク「第7次環境行動計画」(2014 ~ 2020 年) では、2020 年までの目標として9つの優先事項を掲げている。

EU の最も代表的な研究開発支援プログラムである Horizon2020 (2014 ~ 2020 年) では、

表 2.1.3 各国のエネルギーに関する中長期目標

地域•国		温室効果ガス 削減目標	エネルギー政策概要
米国		2025年までに2005年 比26~28%削減(米中 合意、2014年11月)	・石油依存度を下げ、クリーンなエネルギーに注力(原子力、再エネ、クリーンコール、非在来型石油・天然ガス) ・輸送用燃料の中東依存の低下
欧州	英国	(欧州全体) 2020年に1990年比 20%、2030年に同40%、 2050年に同80~95% 削減	・エネルギーの低炭素化(原子力、再エネ、CCSなど)
	ドイツ		・脱原子力(2022 年末までに段階的に閉鎖) ・再エネの導入拡大(2050年に一次エネルギーの60%、電力の80%) ・最終エネルギー消費量を2050年に2008年比50%削減
	フランス		・再エネ開発(2020年に最終エネ消費の23%、2030年に30~40%)・省エネ推進(2030年に2012年比20%、2050年に同50%削減)・電源多様化の観点から、原子力発電比率の低減(2025年に50%に低減)
中国		2020 年までに 2005 年 比 40~45%の削減、 2030年までの早い時 期に排出量をピークア ウトさせる(米中合意、 2014年11月)	・省エネ、再エネ、原子力開発推進 ・2015年までに、一次エネルギー消費に占める非化石エネルギー比率を 11.4%に引き上げ、GDP当たりのエネルギー消費量を2010年比16%、CO2 排出量を17%引き下げる(第12次エネルギー五か年計画) ・一次エネルギー消費に占める非化石燃料を2030年までに約20%(米中合意、2014年11月)
韓国		2020年に2005年比4% 削減(2009年現状の 30%削減)	 ・原子力は増やす(2035年に設備容量で電力の26~29%)が、前回計画の目標(2030年に41%)よりは下げる ・高効率システム化によるエネルギー低消費社会 ・積極的なエネルギー資源の自主開発(メタンハイドレートなど)

「卓越した化学」「産業界のリーダーシップ確保」「社会的な課題の取組」の3つの柱に沿って公募型の資金配分がなされるが、上記計画のもと、「産業界のリーダーシップ確保」では、 CO_2 の排出を抑える製造技術についての研究などが優先事項に、また「社会的な課題の取組」では、スマート・グリーン・統合的な輸送、気候変動対応・環境・資源効率・原材料において研究が推進されることとなっている。

中国では、国家中長期科学技術発展計画(2006~2020年)を柱とし、その方針を踏襲しつつその時代の趨勢に応じた五カ年計画が策定され、現在は第12次五カ年計画(2011~2015年)の期間に該当する。国家中長期科学技術発展計画では「水汚染」「地球観測システム」が重大特定プロジェクトに指定されている。第12次五カ年計画では7つの戦略的新興産業があげられ、環境分野に関わるものとして「省エネ・環境保護」、「新エネルギー」、「新エネルギー自動車」が指定されている。

韓国では、2013年2月に発足した朴政権のもと、「第3次科学技術基本計画」(2013~2017年) に沿って研究開発が推進されている。本基本計画では5大推進分野が掲げられ、そのうちの

表 2.1.4 主要な国・地域の主な科学技術政策における環境分野の位置づけ

国・地域	主な施策等	概要
日本	①第4期科学技術基本計画 ②科学技術イノベーション総合戦略 ③第四次環境基本計画	①グリーンイノベーションの推進 ②クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現 ③技術革新等を含むグリーンイノベーションの推進等の9 つの優先的重点分野や震災復興、放射性物質による環境 汚染対策
米国	①科学技術優先事項(2016 年度予算)	①8つの優先分野のうち、クリーン·エネルギー、地球観測、 気候変動を記載
欧州 (EU)	①第7次環境行動計画 ② Horizon2020	① 2020 年までの目標として 9 つの優先事項を指定 ②「産業界のリーダーシップ確保」: CO ₂ の排出を抑える製造技術についての研究等が優先事項、「社会的な課題の対応」: スマート・グリーン・統合的な輸送、気候変動対応・資源効率・原材料において研究を推進
英国	①成長のためのイノベーション・研究戦略 ②英国の低炭素経済への移行計画 ③ 2050 年までの展望 ④科学・研究資金配分計画	①優先投資対象とすべき4つの新技術分野のうち、環境発電を記載 ② 2020年までの気候変動とエネルギーに関する国家戦略 ③ 2050年までのGHGとエネルギーに関する分析 ④研究会議横断型研究プログラムで6分野のうち、エネルギー、環境変化との共生、世界の食糧保全を実施
ドイツ	①ハイテク戦略 2020	①5つの重点分野のうち、気候・エネルギーを記載 その気候・エネルギーの課題として、CO ₂ に毒されない エネルギー効率が高い気候に対応した都市、石油を代替 する再生可能な資源等を記載
フランス	① France Europe 2020	①資源マネジメントの改善と変化への対応、クリーン・安全・効率的なエネルギーという社会的課題を定義
中国	①国家中長期科学技術発展計画 ②第 12 次五カ年計画	①「水汚染」「地球観測システム」を重大特定プロジェクト に指定 ②7つの戦略的新興産業のうち「省エネ・環境保護」「新 エネルギー」「新エネルギー自動車」を指定
韓国	①第3次科学技術基本計画	①5大推進分野の「IT融合新産業の創出」では先端鉄道技術やエコ自動車技術、「未来成長動力の拡充」では太陽エネルギー技術やスマートグリッド技術、「クリーンで便利な生活環境の構築」ではCCS技術や汚染物質制御および処理技術、高効率エネルギー建築物技術を重点国家戦略技術として記載

「IT 融合新産業の創出」では先端鉄道技術やエコ自動車技術が、「未来成長動力の拡充」では太陽エネルギー技術やスマートグリッド技術が、「クリーンで便利な生活環境の構築」では CCS 技術や汚染物質制御および処理技術、高効率エネルギー建築物技術が重点国家戦略技術としてあげられている。

(4) 俯瞰区分ごとの技術の動向

エネルギー供給区分

エネルギー供給の観点からは、まず火力発電プラント効率の継続的な改善があげられる。蒸気タービンによるシンプルサイクル、ガスタービンコンバインドサイクルや石炭ガス化複合発電へと効率化が図られており、現在は固体酸化物形燃料電池を付加したトリプルコンバインドサイクルが開発段階に入っている。また、効率向上は CO₂ 排出量の削減にも寄与してきたが、さらに CO₂ 回収貯留技術の研究開発も進んでいる。

再生可能エネルギーでは、我が国における導入量は、2012年7月のFIT 開始以降2014年12月末までに、それまでの累積2,060万kWに加え、新たに1,582万kWが稼動し、7,401万kWの設備認定がされている。しかし、そのほとんどは太陽光が中心で、風力、地熱はわずかな導入にとどまっている。また、海洋エネルギーは小規模な実証試験が開始されているが、実用化にはさらに時間を要すると思われる。これまで技術開発だけではなく、社会への導入、普及に際してはコスト低減や系統連携の問題解決が必要である。

エネルギー供給側では、一次エネルギー源に占める原子力の割合増加や再生可能エネルギーの導入促進が図られ、バイオマスからの代替燃料製造に関する研究開発なども進められた。また利用側では、産業部門を中心に機器の効率向上などを通じて CO_2 排出削減が進められ、プラグイン・ハイブリッド自動車や電気自動車の普及に向けた研究開発も進められた。また、水素エネルギー社会の実現に向けた水素製造技術や、燃料油、水素と電力、蒸気を併産するコプロダクション技術などに関する研究開発が進められている。図 2.1.8 にエネルギー供給区分の現状俯瞰と課題を示す。

天然ガスは、コンバインドサイクル発電の発展に伴い利用が増加した。一方、石油危機以降、石油に代替資源としての石炭の直接液化や天然ガスあるいは石炭ガス化ガスからの間接液化が進められたが、いずれも商業化には至っていない。また、非在来型天然ガスとして、シェールガスの権益確保、輸入が検討されており、メタンハイドレートの試掘に関する研究、プロジェクトが進んでいる。石油は、発電用重油焚きの縮小と需要の白油化(=軽質化)に伴い、接触流動分解が進められ、ガソリン・ナフサ増産、重油減産の方向性がとられてきたが、石油需要の減少の中、従来は連産型として知られた石油精製を最上流とする化学産業は、原料調達の場の海外へのシフト、エタンクラッカーによるエチレンからのポリエチレン製造・輸入により、石油精製のバランスが大きく崩れることとなった。石炭は、超超臨界圧蒸気プラントによる高効率発電が拡大してきた。最近は海外一般炭・原料炭の山元寡占化が進み、褐炭など未利用低位石炭資源の利用拡大が進められてきた。インドネシアにおける褐炭アップグレーディングや SCOPE21 などのプロジェクト成果を基により高効率なコークス炉化が進められている。

バイオマスは、わが国では90年代にブームとなり、木質系については2000年代に入り急速に利用拡大が叫ばれたもののエネルギー分野で普及するに至っていないが、FITの開始に

天然ガス

石油

石炭

掘削•改質 般炭, 瀝青炭需要逼迫

再生可能エネルギー

FIT後の非住宅用認定容量が予想以上

材料・デバイス系のみの研究開発

地域環境適合型高性能太陽光発電

超高効率太陽光発電の大規模普及基盤技術

掘削•精製

シェールガス掘削・精製クリーン化・高度化 中東依存度の低減 国内におけるCBM開発 海外中小ガス田での資源確保 非在来型天然ガス(シェールガス)普及 メタンハイドレート利用

転換

FT液化低転換効率 天然ガス地下貯蔵技術 LNG冷熱利用技術による高効率化 海外バイオマス輸入・燃料転換 天然ガスパイプライン網の整備 革新的雷気化学反応 気体資源の液化

発電利用

GTコンバインドサイクルの 高温•高効率化 超高温GT用材料 SOFC超高効率化

都市ガス利用

非硫黄系付臭剤の開発 バイオマス系増熱剤の開発 天然ガス自動車(NGV)等LNG燃料化 新規石油化学製品製造ルート 石油化学分野での原料利用拡大 省エネ・高効率機器の展開 分散型電源

掘削•精製

BTX・プロピレン収率向上・高効率化 劣質・未利用固体炭素資源 出力変動対策(系統連携・蓄電技術) 招重質油利用による原料多様化 転換利用 高酸化劣質原油処理•未利用原料利用 非在来型(シェールオイル)普及

輸送用燃料利用

石油火力のコンバインド化・高効率化

ピーク電源としての重要性拡大

重質油等の低品位燃料の利用

化学・その他

FC/GE小型分散コジェネ技術の効率向上

分散電源と再生可能エネルギーとの融合システム

負荷平滑化のための分散電源運用の普及・産業用

廃熱利用低温吸熱反応

未利用排熱の効率的利用

アジア・中東との価格競争

余剰となる軽質ナフサの有効利用法

バイオマス由来油混合利用促進

エタノール直接混合(E-xx)利用・低炭素化 バイフュエル(CNG+ガソリン)自動車開発 バイオ航空燃料開発・低炭素化 舶用燃料の低硫黄化

転換

褐炭に対するCTL技術や SNG技術の開発 陸上•洋上風力普及拡大施策 地下ガス化による未開発 サイトの有効利用 溶剤抽出HPC製造

固体資源の液化・脱HO

アドバンスド超々臨界圧ポイラ(A-USC) IGCCの低コスト化・信頼性向上・高効率化(貯蔵・蓄電・輸送・系統連携) IGFC技術による効率向上 バイオマスの混焼率増大 ガス化複合発電との組合せ高効率化 FC-GTハイブリッド超高効率 燃料電池のLPG利用による分散型電源 全負荷帯での高効率・CO2排出量抑制 石炭灰有効利用

CO2回収型高度石炭燃焼・ガス化とCCS

製鉄利用

尘智石炭利用高度划件 革新的・環境調和型製鉄プロセス 低炭素燒結•凝結剤削減技術 CCS技術との統合による低炭素化

太陽熱, 地中熱利用 コジェネ・熱利用技術

出力変動対策(系統連携・蓄電技術) リモートセンシング, 大型化 洋上浮体式風力発電システムの

エネルギーネットワー

の大規模普及基盤技術

地熱

システム技術

小規模高効率温泉バイナリー発電 高温熱水(日本型EGS)発電 探查技術高度化 国立公園利用の規制緩和

エネルギーマネージメント技術

異周波数連携, 直流送電技術

海洋エネルギー

基礎研究•実証研究段階 波力・潮流・海流・海洋温度差

バイオマス

バイオマスガス化・発酵 バイオマス藻類 新型バイオ燃料 増産加速化に必要な生物機能性解析

図 2.1.8 エネルギー供給区分の現状俯瞰と課題

伴い、製紙業界や社有林を有する企業が、既存ボイラーでの混焼用燃料、新規ボイラーによ る専焼発電による計画が進んでいる。草本系はバイオマスエタノールがガソリン添加剤ある いは単独燃料として注目されてきた。現在は海洋系のバイオマスならびに淡水系の油産生藻 類が注目されるが、実用化には遠い。

太陽電池はこれまでシリコン系・化合物系・有機系が開発され、最近では、有機無機ペロ ブスカイトの新型太陽電池や集光型太陽電池など、高効率、低コスト太陽電池の開発も盛ん に行われている。人工光合成の研究は基礎研究段階であるが、我が国が世界をリードしてい る。太陽熱利用は、我が国では70年代後半から80年代にかけて家庭用太陽熱温水器の普及 が進んだが、その後急速に縮小した。一方、海外では我が国の技術を生かしたタワー集光型・ ダウンビーム集光型・トラフ型などの利用構想が拡大している。

風力は、長崎県五島市椛島沖、千葉県銚子沖、福島県沖や茨城県沖で洋上風力を中心に実 証試験が行われている。海洋エネルギーや地熱は我が国に豊富な資源が賦存するとされてい るが、海洋エネルギーは実証試験段階である。地熱は1990年以降発電プラントの新設が皆 無であったが、近年になって研究開発予算が措置されるようになった。

再生可能エネルギーを導入する上で重要となる系統連携技術については、制度の見直し、 技術課題の整理などを含めた検討が行われている。また、2014年4月のエネルギー基本計 画では、「水素社会の実現に向けた取組の加速」が示されており、家庭用燃料電池(エネファー ム)、燃料電池自動車導入促進のため水素ステーション整備、水素の大量貯蔵・長距離輸送、 燃料電池や水素の需要を促す水素燃焼タービンなどの技術開発、標準化、規制見直しが進め

られている。また、水素輸送技術開発として、戦略的イノベーション創造プログラムにおいて、2014年よりエネルギー・キャリアプロジェクトが開始されている。

エネルギー利用区分

日本のエネルギー消費は産業部門、民生部門、運輸部門に分けられる。

産業部門は最終エネルギー消費量全体の約4割を消費しているが、製造業を中心とした経済原理に基づいた消費エネルギーの削減や効率改善が継続的に行われてきた。今後も企業努力による消費エネルギーの削減は継続されていくものと考えられる。

民生部門や運輸部門については、高度経済成長時代からのライフスタイルの変化による快適性・利便性の追求や世帯数の増加など社会構造の変化によってエネルギー消費は増大した。これに対して政府は省エネ法を1998年に改正し、家電製品や自動車を対象にしたトップランナー制度を導入し、民生、運輸両部門の省エネが大いに進んだ。とりわけ2000年代以降は、増勢傾向にあった両部門のエネルギー消費は横ばいあるいは減少に転じた。なお、家電機器における省エネ性能ラベリング制度や自動車における燃費達成基準の環境ラベルなどの省エネ性能の「見える化」や、家電エコポイントやエコカー減税などの補助金や税制面における金銭的便益が、省エネ機器の普及を加速させた。2013年には、住宅や建築物の断熱性能底上げを目指したトップランナー制度の建築材料などへの拡大、および電気需要の平準化推進などを追加した省エネ法の改正が行われている。

民生家庭部門のエネルギー消費量は、機器のエネルギー消費効率向上などの影響などもあり、2000年以降は横ばいないしは微減傾向にある。家庭部門の用途別のエネルギー消費量の内訳は、動力・照明他4割弱、給湯3割弱、冷暖房が3割弱である。欧米の先進諸国と比べると、日本の世帯当たりの家庭のエネルギー消費量は少なく、特に暖房用途の消費量は極めて少ない。給湯や暖房用途の低品位の熱需要に対しては、分散型で需要端における総合的なエネルギー効率を改善できるコジェネレーション・システムの導入なども始まっている。技術面ではかなり確立されているが、普及拡大のためにはコスト面の課題が大きい。また、省エネルギーに大きく貢献する建築物の断熱対策が建築基準の強化とともに推進されているが、家庭における暖房需要が少なく、また工事費用に対する暖房費削減のようなエネルギー面での直接的な費用対便益が少ないため、断熱住宅・建築物の普及にはコストバリヤー面での課題がある。

民生部門へのエネルギー供給の約半分を占める電力について、電力事業としての発電効率の向上と系統送電ロスの低減が図られる一方で、大口の需要家から順に自由化が進められ、競争原理に基づく経済合理性の追求が始まっている。小口の需要家への供給に対しても競争原理を導入すること、分散型電源の普及促進、再生可能エネルギー由来の電力への変換、などが課題となってきている。エネルギー需給システム全体については、将来のスマートコミュニティ形成に向けた課題発掘のために、ここ数年の間に国内外で実証実験が多く行われてきた。今後はその実験から得られたデータや知見から、何が本当の課題で、研究開発をすべきかを検証した上で、世の中に広く普及させるための手段を考えていく段階である。

運輸部門については、供給面の内訳としては主に乗用車で使われるガソリンが部門全体の60%弱を占め、主に貨物用で使われる軽油が30%弱を占める。需要面においては、部門のエネルギー消費の40%弱を占める貨物用は1990年後半から減少に転じており、60%強を占

める旅客用も2000年以降に徐々に減少している。これは国内における乗用車の保有台数は 2000年以降も増え続けている一方で、トップランナー制度による燃費改善や、小型化、軽 自動車への乗り換えなどによるためと考えられる。石油危機以降、乗用車のエンジン改良な らびに軽量化や排気ガス浄化対策を中心とした省エネ・環境対策が大きく進展し、我が国は 技術を軸に事業面でも世界のトップに躍り出た。90年代以降に地球温暖化の問題が顕在化 してくるに従い、いっそうの省エネ・脱石油化を図るべく、電動化技術を用いる次世代自動 車の開発が進展した。ハイブリッド車(HV)が 1997年に市販化され、販売台数を伸ばし続 けてきた。一方で電気自動車(EV)は普及があまり進んでおらず、特に車両価格と航続距 離の面での課題が大きいと考えられる。さらに、プラグイン・ハイブリッド車(PHV)や、 燃料電池自動車(FCV)の市場導入も始まっている。これらの次世代自動車をガソリン自 動車並みの性能やコストを実現し普及させるためには、二次電池や水素貯蔵、軽量化、熱マ ネジメントなどの技術開発とともにインフラの整備が必要とされている。なお、2030年に おいても内燃機関を用いる自動車(HVやPHV等含む)の販売数が世界で約8割と予測さ れている。欧州では産学協同プロジェクトが先行しているが、日本でも2014年より内閣府 の SIP で産官学協同プロジェクトが始まっている。小型・軽量化やエンジンの高効率化によ る燃費向上について世界的に競争が激化している。

原子力区分

50年代に商業用原子炉(第1世代)が運転開始されてから、安全性の向上などを目的として、原子炉の開発は進展してきた。我が国初の商業用原子力プラントは東海原子力発電所(16.6万kW)であり、1966年に運転が開始された。その後、「軽水炉改良標準化計画」(1975~85年)のもと、使用済みウラン燃料の国内での再処理・リサイクル(準国産エネルギー資源化)のほか、原子力発電技術や原子力プラントなどの機器・設備を国産化して自主技術化しようとする取り組みを展開した。これを通じて、米国技術に依存していた軽水炉を、日本独自の技術や技術管理システムで置き換えるようになり、結果として日本型軽水炉とも言われる改良沸騰水型原子炉(ABWR)を営業運転させるなどに至った。

2010年3月(2009年度)時点での日本の原子力発電所は、総計54基、認可出力(設備容量)は4884.7万kW、設備利用率は65.7%だった。しかし、2011年3月11日に発生した東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、福島第一原子力発電所1号機~6号機が廃止となったため、2014年4月時点では、総計48基、許認可出力は4426.4万kWとなっている。なお、2014年12月現在、福島第一原子力発電所事故の影響により2013年9月の関西電力大飯原子力発電所3、4号機の停止以降、商用原子力発電所による発電が行われていない。

現在の世界の原子力発電は、最新原子炉は第3+世代炉であり、第2、第3世代炉と比較して先進的な安全方策を導入している。さらに、2030年以降の炉概念として、安全性、信頼性や核拡散抵抗性が高い第4世代炉の開発も行われている。この第4世代の炉としては、超高温ガス冷却炉、ナトリウム冷却高速炉、超臨界圧水冷却炉、ガス冷却高速炉、溶融塩炉などの実用化の取り組みが進展してきている。核融合炉に関しては、国際熱核融合実験炉(ITER)が、1985年の米ソ首脳会談が発端となり開始され、2007年にITER協定が発効し、2020年の運転開始を目指している。

安全性、信頼性の高い原子炉の研究開発が行われていることと並行して、福島第一原子力発電所の事故後には、特に深層防護の原則が再確認され、シビアアクシデントの防止およびアクシデントマネジメントの高度化が行われている。同時に、運転・保守管理を含めた保全についての定量的リスク評価手法の確立およびその信頼性向上が不可欠となっており、早急な対応、改善が求められている。

一方、我が国において、使用済み燃料の処分に関する問題を解決することは重要である。使用済み燃料の再処理技術については、湿式法と乾式法に分かれるが、大型商業施設では湿式法である PUREX 法が採用されている。濃縮技術については、「ガス拡散法」、「遠心分離法」が採用されている。また、これまで我が国では、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)プロジェクト」の中で、MA 回収も行う先進湿式法再処理の研究開発が行われてきた。使用済み燃料の貯蔵については、1990 年以降、経済的なコンクリートキャスク貯蔵技術が開発され、各発電所において、貯蔵設備の貯蔵能力変更や乾式貯蔵といった対策により、使用済燃料プールの空容量を計画的に確保してきているものの、六ヶ所再処理工場内の使用済燃料貯蔵量は、余裕がなくなってきており、更なる使用済燃料貯蔵の安全管理対策は、最重要課題となっている。同様に、これまでに発生したウラン廃棄物も保管貯蔵し続けているため、放射能レベルごとの処分・管理方策および資源としてのウラン回収など有効な方法について検討が進められている。プルトニウムについては、環境汚染や核拡散の観点からプルトニウム燃焼技術の研究開発が求められているものの、積極的には推進されていない。

また、高レベル放射性廃棄物については、長期地上管理、核種分離・変換、海洋底下処分、宇宙処分などの多様な処分方法が検討された結果、地層処分が最も有望との結果に至っているが、我が国に最終処分場が建設されていないことに加えて、非常に長い時間スケールの中で安全性の確保をどのように行うか、その基準、規制のあり方も含めこれからの課題となっている。さらに、使用済み燃料には原子炉級のプルトニウムが含まれているため、核不拡散、核セキュリティの観点からも国際関係に注視する必要がある。低レベルの放射性廃棄物については、濃縮処理、減容処理、溶融処理などが行われた後、安定な状態に固化されるが、我が国をはじめ多く採用されているのが、セメント固化である。処分場については、放射能レベルに応じて浅地中処分(トレンチ処分、ピット処分)、余裕深度処分などが採用、調査・検討が進められている。中でも放射能レベルが高く長寿命な核種が比較的多く含まれているものは、処分深度の検討もされている。

福島第一原子力発電所事故後、社会的関心が非常に高まっている放射線の人体への影響については、科学的な機構解明や線量効果関係の詳細検討が求められており、また、低線量領域を対象とした高性能測定器の開発や低線量内部被ばく検出器の整備も進められている。並行して、福島第一原子力発電所事故により環境に放出された放射性物質に起因する放射線量率の低減、土壌中の放射性物質の除去などの環境修復技術について、海外および国内で実績のあるものについて、福島への適用性の観点からの調査・検討もなされている。

2014年時点において世界全体で100基以上の商業炉が廃炉になっている。そのうち15基以上の原子力発電所の廃止措置が終了しており、廃止措置工事を進める上で、技術上の大きな障害はないと考えられているが、最適な廃止措置シナリオに基づく具体的な技術の改良および開発は必要不可欠である。福島第一原子力発電所の廃炉については、過酷な事故後のプラントの廃炉であり、世界にも例はなく極めて難しい技術課題が山積している。燃料デブ

リ取り出しに向けた研究開発、使用済み燃料プールの燃料取り出し、汚染水処理、地下水流 入抑制などの研究開発が進行中である。なお、2013年8月には技術研究組合国際廃炉研究 開発機構(IRID)が設立され、燃料デブリを炉心から回収技術開発、放射性廃棄物の処理・ 処分技術開発などを統合的に進める体制が整えられた。

環境区分

世界的な都市人口の増加に伴い、都市からの環境負荷やエネルギー消費の更なる増大が予想されている。先進国では過去に公害をもたらしたような高毒性物質の大量暴露やそれによる毒性影響の発現の可能性は減じている一方で、経済発展の著しい開発途上国を中心に都市の大気汚染や水質環境の問題が顕在化し、大気汚染物質の近隣国への越境汚染の問題も指摘されるようになった。また、環境中での残留性や生物蓄積性、人や生物への毒性が高く、長距離移動性が懸念される残留性有機汚染物質(POPs: Persistent Organic Pollutants)による健康影響(特に長期影響や経世代影響)や、低毒性物質の少量暴露、環境汚染物質の複合暴露、ナノマテリアルのような新規素材による健康影響など、未解決の課題も多く存在し研究開発が求められている。なお、今後の都市環境に関する研究開発では、健康維持など正の面の観点や高齢者への対応も求められ、Well-beingのための健康影響研究も連携して進める必要があると考えられる。

都市からの環境負荷やエネルギー消費の低減には都市構造からの観点も必要であり、コンパクトシティ(集約型都市構造)という考え方が注目されている。近年では、温室効果ガス(GHG: Greenhouse Gas)排出削減、QOL(Quality of Life)の変化や行政の財政負担の効率化、エネルギー分野からの低炭素化との関連など、さまざまな視点から研究開発が実施されてきており、実際の政策に生かすための実務的な視点からの研究開発も進みつつある。人口減少や超高齢化社会を迎える我が国では、賢い縮退(スマートシュリンク)の観点も必要となるが、土地を効率的に利用しながら自然環境を守り、狭いエリアで生活が充足する集約拠点の形成や、それらをつなぐ GHG 排出の少ない公共交通の配置は、人口減少と少子高齢化の時代に適合し、公共交通の採算性確保やインフラ整備・維持管理の効率化と費用縮小をももたらす可能性がある。こうした観点からの研究開発は始まったばかりである。

一方、都市を中心とした我々の生活は、食料や水の供給、気候の安定など、生物多様性を基盤とする生態系サービスにより支えられており、今後の世界的な人口増加や都市化などを考慮すると生態系サービスを持続的に利用していく観点も必須である。生物多様性と生態系機能ないしは生態系サービスとの因果関係に関する定量的な研究では、欧米を中心に90年代から小規模の野外や室内実験で主に一次生産量を目的変数とした研究が進められ、その後さまざまな機能についても研究が進んできたが、最近では実際の応用の観点から景観スケールで複数の機能やサービスを評価する研究が進んでいる。日本ではプロットスケールでの研究は進みつつあるが、大スケールでの研究は大幅に立ち遅れている。生物多様性条約(CBD)ではこれまで12回の締約国会議(COP)が開催され、2010年に名古屋で開催された COP10では、2011年以降の10年間における新戦略計画(愛知目標)が採択された。現在、その達成のための科学的評価と政策の実現が求められており、日本でも国内政策やIPBES(後述)などの国際事業への貢献を視野に入れた研究プロジェクトが実施されている。COP10で設立が合意された、生物多様性版 IPCC ともいわれる「生物多様性と生態系サービスに関する

政府間科学政策プラットフォーム (IPBES: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)」では、政策への活用を目的に地球規模での生物多様性の評価を定量的に実施することとなっており、今後その成果が期待されている。

生産と消費活動についても持続可能なものへと変換しなくてはならない。70年代の2度の石油危機や、80年代以降の地球規模環境問題の認識、それを受けた国際的取り組みなどの社会情勢を反映して、企業活動においても地球温暖化対策、循環型社会形成、化学物質管理などの取り組みが求められるようになり、それまでの排出物質への対応から、環境負荷の小さな生産プロセス導入などの対応へと変遷してきた。生産者は、ゼロエミッションや環境配慮設計(DfE: Design for Environment)、クリーナープロダクションなどのグリーン技術への転換や、サプライチェーンマネジメント、LCA(Life Cycle Assessment)などの導入、WEEE指令・RoHS指令・REACH規制をはじめとする有害物質規制・管理への対応に迫られている。こうした取り組みは主に欧米や日本で盛んに進められている。リサイクル関連技術は日本の水準が高く、基礎研究も多く実施され最先端にあるといえるが、中国でも多くの基礎研究が実施され日本の技術に競合するほどに活発となっている。

災害時の環境に関する研究開発については、欧米や災害リスクの大きい日本で基礎研究が活発に行われている。自然災害に関してはそのリスクが大きい日本で顕著であり、人為的災害や災害リスクに関しては欧米が進んでいる。他国に比べさまざまな自然災害の経験を甚大に有する日本において災害時の環境における研究開発を先導し、その技術普及により世界へ貢献することが求められる。人為的災害については、欧米がモデルやデータベース開発を推進し高い水準を維持しており、特に欧州が分析計測技術の国際標準化や認証制度などにより市場での優位性を保っている。日本では安全ガイドラインの作成、国や自治体などによる法規制などが進められてきたが、人為的災害の発生は依然として続いており、データベースの統合によるアクセスしやすいシステムの構築・運用や人材育成、シミュレーションモデルの基礎研究充実と実用化の推進が重要である。

環境に影響を及ぼす事象を予測し先手を打つという点において、情報に基づいた環境の管理は必要不可欠である。環境を把握するための観測・計測技術は古くから多くの研究開発が実施されてきた。人間活動の影響の定量的な把握については多種多様な方法が実用化されており、例えば、水質については生物化学的酸素要求量(BOD)や化学的酸素要求量(COD)、栄養塩類、大腸菌による把握などが利用されてきたが、汚染源の特定やそれに基づく発生源対策には不十分な点もある。これらを補完する先端的な指標の例として化学マーカーがあり、汚染源ごとに研究開発が進められている。

地球規模の環境モニタリングについても、地球規模環境問題の認識の高まりとともに実に多くの研究開発が進められてきた。米国や中国では地球観測を科学技術における国家の重点分野に特定しており、今後も大きな予算配分がなされるものと思われる。しかし、これまでの研究開発実施により膨大な種類・量の情報が蓄積しており、要素技術の更なる研究開発課題は残るものの、大量のデータを処理する技術、情報の信頼性や統一性、各種モデルとの統合など、今後はその有効活用に向けた対応がより重要となると考えられる。

2.1.2.2 今後の方向性

(1) 社会の方向

世界経済は緩やかな回復基調を示すが、依然として不透明感が残る。世界的なエネルギー需要は、新興国、特に中国、インド、中東諸国の経済発展に伴い引き続き増加が予想される。こうした需要に対し、今後数十年間、化石燃料は主たる一次エネルギー源として、また原子力もその安全性の向上とともに主要電力源のひとつとして利用されるとみられる。普及拡大が望まれる各種の再生可能エネルギーは、発電コストと供給安定性の改善が課題である。

また、こうしたエネルギー需給に対し、地球環境の問題もいっそう深刻化している。国際エネルギー機関 (IEA) 「世界エネルギー展望 (World Energy Outlook、WEO)」2014 年版では、エネルギー消費に伴う CO_2 排出量は 2040 年に現在より 20% 増える見通しで、緊急の行動が必要であると指摘している。

日本社会におけるエネルギーの状況にはまだ不透明な部分が多いが、3E+Sという基本的方針を維持し、これを将来にわたって追求すべきである。これに対して科学技術が果たすべき役割は大きい。

(2) 研究開発の方向性

環境・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。国の方針を踏まえ、今後、エネルギーに関する研究開発を推進するにあたっての重要な考え方をまとめると以下のようになる。

- 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、省エネルギーの強化、需給の平準化などに研究開発努力を継続する。
- 2. クリーンな再生可能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促進する。
- 3. 安定的かつ経済的な電力供給を維持するために、当面、石炭、天然ガス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. 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。
- 6. 原子力は安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源として位置付けるものの、原子力への依存度については可能な限り低減する方向で現実的なシナリオを検討する。並行して、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。
- 7. 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。
- 8. 優れたエネルギー・環境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。
- 9. 次世代のために、人の健康を含む生命の持続性の基盤となる環境への負荷を限りなく縮小するとともに、環境の改善・向上を目指す。
- 10. 将来顕在化しうる環境問題を事前に捉え先手を打つことにより、環境を設計・創造していく。

エネルギー供給区分

エネルギー供給では、日本の技術力、競争力を高め、基礎研究から実装まで繋げたシナリオ、技術革新による多様性を機軸とした新たなエネルギーベストミックスを展開し、3E+Sを達成しながら持続可能な社会を実現するためには以下を考慮する必要がある。

- ・多様性を基軸とした新たなベストミックスでは、量的規模・寄与、時間スケール、空間 スケールを踏まえた総合的判断が必要
- ・現在と将来を繋ぐシナリオと技術を俯瞰し、必要な科学技術をいつまでに実現しなけれ ばならないか、直ぐの実現は困難でも、革新的技術、技術の元になる科学的研究は何か。 一次エネルギー、二次エネルギー、エネルギーキャリア・貯蔵、タイムスケールに合わ せたベストミックス、電力改革が進む中、短期的にはスピード感が必要
- ・化石エネルギーと再生可能エネルギーのインテグレーションのフィージブルな姿を、科 学ベースの普遍的な主導原理、考え方に基づき示すことが必要
- ・国際的なバーゲニングパワーを持てる資源技術とビジネスモデルとは何か
- ・国内バイオマスの大規模利活用の可能性などの既存産業の転換が必要

省化石燃料・高効率化、低炭素化・温暖化抑制として、高効率火力発電、CO₂ 回収・貯蔵 (CCS)、再生可能エネルギー導入促進が必要である。エネルギーセキュリティに関しては、天然ガスの高度利用に加え、非在来型の台頭を視野に入れる必要がある。また、石油では重質油の高度利用、石炭では低品位炭資源は賦存量が多い亜瀝青炭や褐炭高度利用のための、改質・輸送・転換技術の開発が期待される。製造業高効率化、輸送用燃料の高度化としては、排熱利用低温吸熱反応を用いた省エネルギー化、産業分野における熱利用、未利用熱の有効利用やバイオマス利活用と燃料製造技術が期待される。また、今後自動車・航空・化学品原料に集約される中で、非在来型の石油化学製品製造ルートの開拓が期待されている。このほか、負荷平準化の観点から、火力発電の全負荷帯での超高効率化、分散電源と再生可能エネルギーとの融合システム技術が重要である。

再生可能エネルギーは太陽光を中心に導入が加速されているが、高効率化、低コスト化はもとより、先行しているドイツの例を十分参考にして適切なバランスで普及推進策を進めるべきである。風力は浮体式洋上風力のさまざまな技術開発が必要である。海洋エネルギーや地熱は中長期的に導入が進むと考えられるが、規制緩和を含む政策課題や利害関係者の調整など、社会的合意形成の課題も多く、低コスト化を中心に技術開発を着実に進めるべきである。バイオマスは原料の確保が最優先課題であり、その基礎となる遺伝子やタンパク質、代謝産物の解析やそれらのデータの活用が考えられる。再生可能エネルギーでは太陽光が偏重される傾向があるが、適切なバランスで普及推進策を進めるべきである。

エネルギー供給区分においては多くの課題があげられるが、我が国のエネルギー利用におけるベストミックスおよびカントリーリスク回避の視点で重要となる技術課題を精査し、とりわけ重要度の高いものとして 20 領域群を選定した。なお、ガス化技術、ガス化ガスの分離技術として研究開発領域として特に取り上げていないが、横断的な技術であり、研究開発項目の中に重要な研究開発項目として含まれている。

エネルギー利用区分

エネルギー利用の目的は、人類の生活を豊かにするさまざまなサービスを提供することで

ある。一方でエネルギー利用は多くの環境負荷を発生させる。したがってエネルギー利用に際しては、より豊かなサービスの提供と環境負荷の削減という2つの側面に留意することが必要である。ここでは環境負荷を CO_2 排出量で代表させる。茅恒等式などを参考にし、エネルギー利用全体を以下のように3つの社会的な期待として分類することとした。

$$CO_2 = \forall - \forall Z \times \frac{Z + \lambda V + - \langle CO_2 \rangle}{U + U + U + U + V} \times \frac{CO_2}{U + \lambda V + V}$$

右辺の第1項「サービス」は、多様な社会的要請に応えるエネルギーサービスのことである。ここでのエネルギーサービスとは、エネルギーを消費することで我々が得られる生活や仕事などのアクティビティに必要なサービスのことをさす。第2項の「エネルギー/サービス」は、エネルギー効率の高いサービスの提供である。第3項の「 CO_2 /エネルギー」は、低炭素化を実現するエネルギー利用である。

社会における課題には、地球環境問題の深刻化などのソーシャルな面と、脱物質化や個人の価値観の多様化などのパーソナルな面がある。加えて、ネットワーク・情報化社会や都市化への対応など、その両面を横断的に考えなければならない課題もある。

日本は人口減少と高齢化が進んでいく課題先進国である。人口構成や産業、都市と地方の関係などの社会・経済構造は、大きく変化していくことが予測される。このような変化の中で、特に重要な社会的な期待として「安全・安心な生活」「生き生きとした生活・雇用環境」「健康の維持」があげられ、これらを満たすためのエネルギーサービスを創出・強化するために必要な研究開発が重要である。またエネルギーの効率的利用は、健康改善などのコベネフィットをもたらす。その評価や見える化の研究も必要である。

日本では、省エネ家電の普及などにより世帯あたりのエネルギー消費量増加は近年頭打ち傾向であるが、世帯数は増え続けており、この傾向が続けば、家庭部門全体のエネルギー消費量はなかなか減っていかない。高効率なエネルギー利用推進には、エネルギー消費実態を把握し、前述の社会・経済構造の変化を踏まえた上で将来の需要構造を予測する必要がある。とりわけ、産業、民生、運輸部門を分類することでは捉えきれないエネルギーの横断的消費構造があることを認識すべきである。その場合の環境と社会、経済のトリプルボトムラインに着目する必要がある。また、エネルギー利用における消費者の行動パターンを把握・予測し、行動変容を促すシステムやサービスの開発、ネットワーク化やビッグデータを活用したエネルギーの高効率利用のためのサービス、需要側資源を活用したエネルギーマネジメントシステムの技術基盤の確立が必要である。

民生部門においては、熱の利用についての研究開発が必要である。日本の熱利用機器技術はすでに世界トップレベルであるが、利用実態を踏まえた更なる機器効率化が必要である。低炭素化のためには、中低温の未利用熱や太陽熱エネルギーを経済的合理性に沿って利用する必要がある。また、住宅部門におけるエネルギー消費量は増え続けており、ZEBや ZEHの普及拡大に向けて建物躯体と設備の統合的効率化が必要である。

運輸部門におけるエネルギー消費量の8割以上が自動車である。低炭素なエネルギー利用のためには、PHVやEV、FCVなどの次世代車を先進国で普及・拡大していくことは必然であり、その研究開発及び利用方法を考慮した充電インフラ整備の推進が重要である。またエネルギーの高効率利用という点では、自動車の走行・利用環境の改善やそれを実現する社

会システム、物流のあり方の研究開発も必要である。

また、日本の中長期的な将来を見据えた水素エネルギーの利用技術開発も必要である。 最後に、新しいエネルギー利用技術は普及しなければ効果は得られない。それを社会に普及・定着させるための社会的技術や制度作りが必要である。さらにいずれの技術においても、 海外展開や普及による国際貢献や国際競争力強化の視点が不可欠である。

原子力区分

2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」において、原子力は、「安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源」として位置づけられている。一方で、原子力発電への依存度については、「省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる」とも記載されている。原子力発電所の再稼働を進める際には、原子力規制委員会の判断を尊重し、「立地自治体等関係者の理解と協力を得るよう、取り組む」ことが言及されているものの、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故の影響により、長期的エネルギーとしての「原子力」の位置づけについて国民的なコンセンサスが得られているとは言い難く、2014年12月現在、原子力発電所の再稼働にまで至っていない状況である。さらに、使用済燃料問題については、「現世代の責任として、国際的なネットワークを活用しつつ、その対策を着実に進めることが不可欠である」とし、加えて、核セキュリティについては、「核不拡散や核セキュリティ強化に必要となる措置やそのための研究開発を進める」との方向性が示されている。

このような社会状況を鑑み、当区分では、原子力の利用を社会的な観点から俯瞰的に捉え、諸課題を抽出・整理するため、「原子力をより安全に維持・活用する場合に取り組むべき研究課題」、「原子力の将来にかかわらず取り組むべき研究課題」、「原子力に依存しない場合に取り組むべき研究課題」、の3つの観点から本報告書を構成することとした。エネルギーとしての原子力の今後のあり方について国論が二分している現在、原子力発電の将来について、その可能性を限定することなく幅広い選択肢を提示することを念頭に構成を考えた。また、本報告書の作成に当たっては、「原子力発電の社会的位置づけが明確となる目次構成とすること」、「持続可能な社会が実現していくためのグローバルな視点、地球全体の視点を入れること」、「社会がどう受け入れるか考慮すること」を基本的な方針とした。各観点における領域については、研究開発に関する問題点・課題を抽出した。

環境区分

環境区分の俯瞰では、環境問題をその取り組みの歴史から捉えることから始めた。まず、60年代から70年代にかけて行われた公害への取り組みは事後対応的・対処療法的なものであった。80年代以降、地球規模の環境問題が認識されるようになり、気候変動に対する緩和策・適応策などのように未然防止的な取り組みがなされているが、自然災害には事後対応的であるといえる。そして、今後予測される環境問題は、気候変動のような不確実性が高い事象や災害などの不連続性の高い事象が多く、従来の個別的対策ではなく包括的な取り組みが求められる。そして、環境に影響を及ぼす事象を予測し先手を打つという考え方が必要であり、対策が事後対応的であった異常気象や自然災害をも対象に含め、「環境設計・創造」という考え方が重要であると考え、これを環境区分の俯瞰における基本理念とした。さらに、

俯瞰にあたっては、環境は人の健康を含む生命の持続性の基盤であることから「次世代のための環境」を前提とすること、普遍的な課題解決型科学技術の記載を目指すこと、さまざまな社会状況が変化しつつある 2015 年という時点を強く意識することとした。

これらの考え方は今後の研究開発の方向性を考慮する上で重要な視点であり、この視点に 沿って検討し抽出された以下の5項目に関する研究開発の推進が必要と考えられる。

- 1. 持続可能な人間居住
- 2. 生態系サービスの適正管理
- 3. 持続可能な生産と消費
- 4. 災害による環境への影響低減と環境の再創造
- 5. 観測・計測とその情報に基づく環境管理

なお、環境分野における科学技術の研究開発においては、実現可能性や経済性と同時に社 会的受容可能性にも留意しなければならない。

国際比較表まとめ (環境・エネルギー分野)

[エネルギー供給区分]

				源利		化石資源利 二酸化炭素	用における 素排出削減		再生					-導 <i>.</i> 推進		よる							高			ネル・ 供糸		の					
		高交当ソブ多電	高功容とりを置		効率	回収・貯留システム	二酸化炭素	プ 段 デ		月 ブ		ノイオンブ		北 索	也共	海洋エネルキー	<u></u>	重質狂の高度利用) 高麦刂月	ルギー・製鉄分野への利用で質・軸送・車掛打術とユネ	女質・輸送・云梨支所・云木低品位石炭資源の革新的な	予約ガンの高度利用	ことがくのおをり目	ガス資源の採掘技術	非在来型石油·天然	量抑制に対して発力	発電ごよるこう 非出全負荷帯での超高効率	質による新規プロセス	中温作動の固体電解	融合システム	分散電源と再生可能		エネルギーネットワーク
国	フェー ズ	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド
	基礎	0	→	0	1	0	→	0	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	1	0	1	0	1	\circ	→	\circ	1	\bigcirc	\rightarrow	0	→	0	1	\circ	→	0	1
日本	応用	\bigcirc	1	0	1	0	→	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	→	\circ	\rightarrow	\circ	1	\triangle	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	1	\bigcirc	1	0	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	1
Ĺ	産業	\bigcirc	1	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\circ	1	×	→	\circ	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\circ	1	\bigcirc	1	0	1	\circ	→	\bigcirc	1	\triangle	1
N/C	基礎	\bigcirc	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	→	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\triangle	Ä	\bigcirc	V	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	0	\rightarrow	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1
米国	応用	0	→	\circ	\rightarrow	0	→	\circ	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	0	\rightarrow	\triangle	7	0	\rightarrow	\circ	V	\circ	1	\bigcirc	1	0	→	\circ	1	\triangle	7	0	1
	産業	\bigcirc	\rightarrow	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	\rightarrow	×	\nearrow	0	1	\bigcirc	1	\circ	1	\bigcirc	1	0	\rightarrow	\circ	→	\bigcirc	1	0	1
ret.	基礎	\bigcirc	→	0	1	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\triangle	\checkmark	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	1	\bigcirc	\rightarrow	\triangle	→	0	1	×	\searrow	\bigcirc	1
欧州	応用	\bigcirc	→	\circ	\rightarrow	Δ	→	0	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	0	\rightarrow	0	7	\circ	\rightarrow	0	→	\circ	1	\bigcirc	\rightarrow	0	7	\circ	1	\circ	→	0	1
	産業	\bigcirc	→	0	\rightarrow	Δ	7	\circ	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	0	\rightarrow	\triangle	→	0	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	0	→	\circ	1	\bigcirc	1	0	1
١.	基礎	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	Δ	→	\circ	1	\bigcirc	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	×	→	0	1	\circ	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\triangle	1	\triangle	7	\circ	1
中国	応用	\circ	1	\triangle	→	0	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\bigcirc	1	0	1	\triangle	1	\bigcirc	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	\checkmark	\triangle	1
	産業	\bigcirc	1	×	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	×	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1	×	\rightarrow	\bigcirc	1	0	\rightarrow	×	→	\bigcirc	→	\triangle	1
4-71.	基礎	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	Δ	→	\triangle	1	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\triangle	→	\circ	1	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	\triangle	1	×	¥	\circ	1
韓国	応用	\circ	→	\circ	1	0	→	\circ	1	\bigcirc	→	\bigcirc	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\bigcirc	\rightarrow	0	→	\triangle	1	\triangle	→	0	→	\triangle	→	\triangle	\checkmark	\circ	1
	産業	\circ	\rightarrow	0	7	\triangle	→	\triangle	1	\bigcirc	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	→	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	×	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\triangle	1	×	1	×	\searrow	\triangle	1

[エネルギー供給区分 (続き)] [原子力区分]

\		b	のづ	くり	の高	効率	化	輸送	送用燃料の低炭素化
		温		F 素()	判用、長利用热力業分野における	造ルート			バイオ燃料製造技術バイオマス利活用と
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
	基礎	0	→	0	→	\circ	→	\triangle	7
日本	応用	\triangle	→	\bigcirc	\checkmark	0	1	\triangle	→
·	産業	\triangle	→	\bigcirc	→	\triangle	→	×	→
ste	基礎	0	1	0	→	\circ	→	\circ	→
米国	応用	0	1	\triangle	→	0	1	0	→
_	産業	0	→	\triangle	1	0	1	0	→
	基礎	0	1	0	→	\triangle	→	0	→
欧州	応用	\bigcirc	1	0	→	0	1	0	→
7.1	産業	0	1	0	→	0	1	0	→
	基礎	Δ	→	\triangle	→	0	1	0	→
中国	応用	Δ	→	0	1	0	1	\triangle	→
	産業	\triangle	→	Δ	1	0	1	\triangle	7
	基礎	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	7
韓国	応用	Δ	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
	産業	\triangle	→	0	→	0	1	\triangle	→

L17	1/ 1		<i>-</i>	<u> </u>	, ,														
		原	子ブ	りを、	より	安全	主に着	維持	· 活	用	する	場合	に耶	ζŊ;	組む	べき	研究	定課	題
		管理の手法	ク 評	設			原子力の			対応	過酷事故への	術の開発			開発し			j	ナイヤル D
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	E	フェー ズ	現状	トレンド	現状	トレンド
	基礎	\circ	1	\circ	1	\triangle	→	0	1	\circ	1	0	→		基礎	0	→	\triangle	→
日本	応用	0	1	0	1	\triangle	7	0	1	0	1	0	→	日本	応用	Δ	7	0	\rightarrow
	産業	×	→	\circ	7	\triangle	→	0	→	0	1	0	→	.	産業	Δ	7	0	\rightarrow
	基礎	0	1	0	→	0	7	0	→	0	-	0	+		基礎	\triangle	→	\triangle	→
米国	応用	0	1	0	→	0	1	\circ	1	\circ	1	\bigcirc	→	米国	応用	0	→	0	†
	産業	\bigcirc	→	\circ	1	0	1	0	→	\circ	→	\circ	→	П	産業	0	→	0	→
⊢ 1	基礎	0	1	\circ	→	0	→	0	→	0	→	0	→	⊢ 1	基礎	\triangle	→	0	→
欧州	応用	\circ	1	\circ	→	0	→	0	1	\bigcirc	1	\circ	→	欧州	応用	0	1	0	→
	産業	×	→	\circ	→	0	→	\circ	1	0	1	\circ	\rightarrow		産業	0	→	\circ	\rightarrow
	基礎	×	→	\triangle	1	0	1	\triangle	\rightarrow	\circ	→	\circ	\rightarrow		基礎	0	1	\circ	1
中国	応用	×	→	\circ	→	0	1	\triangle	→	\circ	→	0	→	中国	応用	\triangle	1	0	→
	産業	×	→	\triangle	1	0	_	\triangle	→	\triangle	→	0	→		産業	\triangle	→	0	1
dett.	基礎	\triangle	→	\circ	→	0	1	\triangle	→	0	→	0	→	data.	基礎	\triangle	→	×	→
韓国	応用	\triangle	→	0	→	0	1	\triangle	→	0	→	0	→	韓国	応用	\triangle	→	0	→
	産業	\triangle	→	0	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→	0	→		産業	\triangle	→	\triangle	\rightarrow
										国際	基礎	0	→	口	基礎	\triangle	→		
										際機	応用	0	→	シア	応用	0	1		
										関	産業	-	_	/	産業	\triangle	→		
														イ	基礎	\triangle	→		
														シド	応用	0	1		
														1	産業	×	→		

[エネルギー利用区分]

		多				要請 - サ			.る			Ž	エネ	ルキ		効率	の高	当しょ	サー	ビ	スの	提供	ţ				低	炭素 エネ	化をルゴ	宇実	現す 利用	- る 	
		用	安全安心を支えるエ	ービス	タイルヒエネルギー労働、雇用や生活ス	ネルギーサービス	ケ匠	と見える化	コエ	握	ネ	の活用	ットワーク	ジメントシステム	るエネレギー県合マ需要側資源を活用す	Ŧ	世帯レギー利用	た機器高効率化	利用実態を踏まえ	統合	躯体	テム	次世代交通・運輸シ	技術会に気料さ	用を社会こ宣音させ新しいエネルギー利		-111-	効率的活用	未利用中低温排熱源	ギー活用	建築物における太陽	用浸透	水素エネルギーの利
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	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
	基礎	\circ	→	0	\rightarrow	0	1	0	→	0	1	\circ	\rightarrow	0	→	\triangle	1	0	1	0	→	0	1			0	1	0	→	0	→	0	1
日本	応用	\triangleright	1	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	→	\circ	1	0	→	0	1	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→	0	1
	産業	\circ	1	0	1	0	1	\circ	1	\circ	1	\triangleright	1	\bigcirc	→	0	1	\bigcirc	1	0	→	0	1			0	1	0	1	0	→	0	7
	基礎	0	→	0	1	0	→	0	→	0	→	0	1	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1			0	→	0	→	0	→	0	→
米国	応用	\circ	→	0	1	0	1	\circ	→	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	→	0	\rightarrow	0	→	0	→	0	1	0	→	0	→	0	→	\triangleright	→	0	→
	産業	\circ	1	0	1	\bigcirc	1	\triangle	→	\circ	1	\bigcirc	1	\bigcirc	→	0	1	\circ	→	\circ	→	\circ	1			\triangle	→	0	†	\circ	†	\circ	→
	基礎	\bigcirc	→	\circ	1	0	1	0	-	\circ	1	\circ	\rightarrow	0	→	0	1	0	→	0	→	0	→			\triangle	→	0	→	\bigcirc	1	0	1
欧州	応用	\bigcirc	1	\triangle	→	\circ	1	\bigcirc	→	0	1	\bigcirc	1	\bigcirc	→	\circ	1	\circ	1	0	→	0	1	0	→	\triangle	→	0	†	\bigcirc	1	0	1
	産業	\bigcirc	1	\triangle	\rightarrow	\circ	→	\circ	1	\bigcirc	1	\triangle	1	0	→	\circ	7	\circ	1	\circ	→	0	1			\triangle	→	0	→	\bigcirc	1	0	1
	基礎	-	-	0	1	\triangle	→	×	→	0	1	0	-	0	1	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	0	1			\triangle	1	0	1	×	→	\triangle	→
中国	応用	-	-	\triangle	→	\triangle	→	×	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	†	×	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	7	\triangle	†	\triangle	→
	産業	-	-	\triangle	→	\triangle	→	×	→	\triangle	1	\triangle	1	0	1	\triangle	→	0	→	0	→	\triangle	→			\triangle	1	\triangle	1	0	1	\triangle	→
-t-rt-	基礎	-	-	\triangle	→	×	→	×	→	0	1	\triangle	\rightarrow	0	1	\triangle	→	×	→	\triangle	→	\circ	→			\triangle	1	0	1	\triangle	→	\triangle	→
韓国	応用	-	-	0	→	0	→	\triangle	→	0	1	0	1	0	→	\triangle	1	0	→	\triangle	→	0	1	\triangle	→	0	1	0	1	\triangle	→	\triangle	→
	産業	-	-	\triangle	\rightarrow	×	→	×	→	\circ	1	\triangle	1	0	1	\triangle	\rightarrow	0	1	0	→	\triangle	→			0	1	0	1	×	→	0	1

[原子力区分 (続き)]

						(117			•																								
										原	子力	の湯	爭来	にカ	かね	bら	ず耶	又り;	組む	べ	き研	究語	思題										子力に依存しない場合に 取り組むべき研究課題
		分	レベル放射性廃棄	の	放射性廃棄		使用済み核燃料の管	手法	プルトニウムの管理		手法の異素物の管理	/ 巻き切り管里	<i>""</i>)	原子炉の廃止措置 (デ	所事故への対応	島第一	現場側役の 号沿		防護を含む	境・人体への放射	11 21	クと人間・社会 原子力に関するリス		原子力に関する規制		リティ、保障措置)	(原子力安全、核セ		子力に関する国際	原ラブの政治系治学	F b		ための戦略 原子力に依存しない であり視野、 を含めだ を含んだ
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	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
	基礎	\circ	→	0	1	0	→	0	1	基礎			×	-	-	-	\bigcirc	7	\circ	→	基礎				,	\triangle	→	0	1	\bigcirc	1	0	→
日本	応用	\triangle	→	0	1	Δ	→	0	→	応用	0	→	\circ	7	-	-	0	1	0	1	応用	0	→	\triangle	7	0	1	0	1	-	-	\triangle	→
.4.	産業	×	7	0	→	×	~	0	7	産業	0	→	0	7	-	1	\bigcirc	7	\circ	→	産業	0	→	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	-	-	-	-	×	7
	基礎	0	1	\triangle	→	0	1	0	→	基礎			×	→	-	- 1	0	→	\triangle	→	基礎		7	(\triangle	→	0	→	0	1	0	→
米国	応用	0	1	0	→	0	1	×	7	応用	-	-	0	1	-	-	0	\rightarrow	\triangle	→	応用	0		0	→	0	1	0	1	-	-	0	7
	産業	\circ	→	0	7	0	1	\triangle	7	産業	-	-	\bigcirc	→	-	-	\bigcirc	→	0	1	産業	\bigcirc	→	\bigcirc	→	0	1	-	-	-	-	×	7
	基礎	0	1	\triangle	→	Δ	→	0	1	基礎			×	→	-	-	-	-	0	1	基礎		7	\triangle	→	0	1	0	\rightarrow	0	1	0	1
欧州	応用	0	1	0	\rightarrow	\triangle	→	0	1	応用	-	-	0	1	-	1	\circ	→	\bigcirc	1	応用	0			_	\bigcirc	1	0	\rightarrow	-	-	0	→
	産業	0	→	0	\rightarrow	0	1	0	→	産業	-	-	0	-	-	-	\circ	1	\circ	→	産業	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	-	-	-	-	0	1
	基礎	0	1	×	\rightarrow	×	\searrow	0	1	基礎		_	×	→	-	-	-	-	\circ	→	基礎	\triangle	7	_		-	-	-	-	\circ	→	\circ	→
中国	応用	\circ	1	0	→	×	7	\triangle	1	応用	-	-	\triangle	→	-	-	-	-	\triangle	→	応用			-	-	-	-	-	-	-	-	\triangle	→
	産業	\circ	1	0	\rightarrow	×	\nearrow	×	→	産業	-	-	\triangle	\rightarrow	-	-	-	-	×	\rightarrow	産業	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	-	-	-	-	-	-	\triangle	→
4-71.	基礎	0	1	\triangle	\rightarrow	0	→	0	1	基礎		_	×	→	-	-	-	-	\circ	→	基礎	\cap	7	_		\triangle	\rightarrow	-	-	\circ	→	0	1
韓国	応用	\triangle	→	0	→	0	1	0	→	応用	_	_	\circ	1	-	-	-	-	\triangle	→	応用		_			\circ	1	-	-	-	-	\triangle	→
	産業	\circ	1	0	\rightarrow	×	1	×	\rightarrow	産業	-	-	\circ	7	-	-	-	-	\triangle	→	産業	\bigcirc	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	-	-	-	-	×	→
カ	基礎	0	1		基礎	\triangle	→						口	基礎	-	-	\triangle	7						オーフ	基礎	\triangle	→						
ナダ	応用	0	1	台湾	応用	\triangle	→						シュ	応用	-	-	\circ	\rightarrow						ストラリ	応用	\circ	1						
7	産業	0	1		産業	0	1						ア	産業	-	-	×	7						リア	産業	\triangle	\rightarrow						
															ウクライナ	基礎	×	-						力	基礎	\triangle	→						
																応用	\triangle	7						ナバ	応用	0	1						
															印連	産業	×	-						ダ	産業	\triangle	\rightarrow						

[環境区分]

\							持	続可	能な	人名	間尼	住								生	態系			スク					
		延 等と 信 事 均	± 年 1 元上 晋 元 元	者 F - 封 均 言 画	卜. 也或十	コピーラーとその管理	モジリティヒその夸里	安全だ力の住糸	安全なべり出合	プ班地管班	ド 景意 宇里	環境負荷	人間居住による	者可野均と復居景響	祁 方景竟 1 建長钐撃	住と適正技術	開発途上国の人間居		生物多様性の保全と	陸域資源と生態系管理	左收到京、正是安全里	資源と生態系管理	沿岸域および海洋の	が対してリの生意学管理	ベン	生態系サービスの評価	生物多様性及び	技術管理	則 受力
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
_	基礎	0	→	0	→	0	→	\circ	→	0	1	-	-	\circ	V	0	→	\circ	1	0	1	0	→	\circ	1	0	1	0	1
日本	応用	0	\rightarrow	0	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\circ	1	0	1	-	-	\circ	7	0	1	\circ	1	0	\rightarrow	0	1	0	1	\circ	1	0	1
	産業	0	→	\triangle	1	0	→	\circ	1	0	1	0	1	0	→	×	→	×	→	\triangle	1	0	1	0	1	\triangle	\rightarrow	0	1
N.	基礎	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	\rightarrow	\circ	→	0	1	-	-	0	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
米国	応用	0	→	0	→	0	→	0	→	0	\rightarrow	-	-	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	産業	0	→	0	1	0	1	0	→	0	→	0	1	0	1	×	→	×	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
17/m	基礎	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	-	-	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
欧州	応用	0	→	0	→	0	→	0	1	0	→	-	-	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1
	産業	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	×	→	×	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1
rts	基礎	0	1	×	→	\triangle	1	0	1	0	→	-	-	\triangle	1	0	→	\triangle	1	0	1	0	1	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→
中国	応用	0	1	\triangle	→	0	1	0	1	0	1	-	-	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	0	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→
	産業	\triangle	1	\triangle	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	\triangle	1	×	→	×	→	×	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→
盐	基礎	0	1	\triangle	→	0	→	0	1	0	→	-	-	\triangle	→	0	→	-	-	\triangle	→	0	1	\triangle	→	0	1	0	1
韓国	応用	0	1	\triangle	→	0	→	0	1	0	→	-	-	\triangle	1	\triangle	→	-	-	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→
	産業	\circ	1	\circ	1	\circ	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow	\circ	1	\circ	1	×	→	-	-	×	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→

(註1) フェーズ 基礎…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…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

技術開発(プロトタイプの開発含む)のレベル 産業…産業化フェーズ:量産技術・製品 展開力のレベル(環境区分では、競争力のある民間企業の活動のほか、各国・地域での特徴的な環境 問題の状況(大幅に改善された/ 悪化しているなど)、各種取り組 み、制度・事業の実施なども含めている) ている)

- (註 2) 現状 ※わ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

 - ・ 他国に比べて顕着な活動・成末が見えている、 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
 - 64

応用 〇

\								持級	可问	能な	生產	産と	消費	3								災領	害に.	よる!	環境		つ影響	響低	減と	環均	竟の	再創	造			そ	·の帽	観え		計測づく		管理	E
		グリーン	製造業	環境マネ	サプラィ	生産と	L C A	馬多叶	軽 耗勿	4	リサイク	スクショ	とり 重	マネジ	有害物質	(i) ン・	元素の紙	循環型	開発途-	及ばばず	自然災	リスクがほす	長為的	予防対策	災害の	とリスを	青災 長 見 発	処理と	災害廃		回復過程の	自然環		再創造手法	社会環	3	モニタ		,	人間活	地域の	整備と活用	景 完 青
		ーン技術	製造業における	環境マネジメント	ーチェーンの	生産と消費管理	基づく	る多点ま作	経耗勿り発上印引	1	-クル支析	 和	限刊月支衍	メント	質の		個環と利用	循環型技術	上国による	すリスク	: 害が	がほす	災害が	策	リスクの	とリスク軽減手法 指報手法	側・巴屋手法と生直後の環境	と利活用	棄物		程の促進	境の		手法	境の	センシング技術	に関するリモート地球規模の衛星	実測技術	温室効果ガス	活動の把握	環境と	- 5	報基盤の
I	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	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								
	基礎	\bigcirc	→	0	→	\bigcirc	7	\triangle	→	0	→	\circ	→	0	1	\bigcirc	1	X	†	\bigcirc	1	\circ	1	0	1	0	→	\circ	→		基礎	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	→	0	→	\bigcirc	→	0	→
E	応用	\circ	1	0	→	\circ	→	\circ	1	0	1	\circ	→	0	→	\bigcirc	1	×	→	\bigcirc	1	\circ	1	\circ	1	\bigcirc	→	\bigcirc	1	日本	応用	\triangle	→	\bigcirc	1	0	→	\circ	→	\circ	→	\circ	1
	産業	0	\rightarrow	\circ	→	0	→	\circ	1	0	1	\triangle	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1	\triangle	1	0	→	\circ	\rightarrow	0	1	\bigcirc	→	-	-		産業	×	\nearrow	\bigcirc	→	\circ	\checkmark	\triangle	\rightarrow	×	\rightarrow	0	→
	基礎	\bigcirc	→	0	→	0	→	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	\circ	→	0	1	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	0	1	\bigcirc	→	0	1	\bigcirc	→	\triangle	\rightarrow	사.	基礎	\bigcirc	1	\bigcirc	→	\bigcirc	→	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	→
) [応用	0	1	0	→	0	→	\circ	→	\triangle	→	0	1	0	→	\circ	→	X	\rightarrow	0	1	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	→	\bigcirc	→	米国	応用	0	1	\bigcirc	→	0	→	0	→	\bigcirc	1	0	→
L	産業	0	1	0	\rightarrow	0	\rightarrow	×	\rightarrow	×	\rightarrow	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	X	\rightarrow	0	→	\bigcirc	→	0	1	0	1	-	-		産業	0	\rightarrow	\bigcirc	→	0	1	0	1	\bigcirc	1	0	→
17	基礎	0	→	0	→	0	1	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	→	-	-	Π'n	基礎	0	1	\bigcirc	→	0	→	0	→	\bigcirc	1	0	→
Þ	応用	0	→	0	1	0	1	0	1	Δ	→	0	→	0	1	\bigcirc	→	\triangle	→	0	1	\bigcirc	→	0	→	0	→	-	-	欧州	応用	\triangle	→	0	→	0	1	0	1	\bigcirc	1	0	→
	産業	0	1	0	1	0	1	0	1	×	→	\circ	1	0	→	\bigcirc	A	\triangle	→	0	→	\bigcirc	1	0	→	0	→	-	-		産業	×	Ä	\triangle	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→	0	→
F	基礎	\triangle	1	0	1	\triangle	1	-	-	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	×	→	\triangle	1	0	→	0	1	0	→	中	基礎	×	-	\triangle	1	0	1	0	1	\triangle	→		→
E	1 IV/H	0	1	\triangle	→	\triangle	1	-	-	0	1	0	1	Δ	→	0	1	0	1	×	→	\triangle	1	0	1	\triangle	→	\triangle	→	国	応用	X	-	\triangle	1	0	1	\triangle	1	0	1	=	→
-	産業	0	1		1	×	→	-	-	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	×	→	\triangle	1	0	1	X	→	-	-		産業	X	-	\triangle	1	\triangle	1	×	→	\triangle	→	\triangle	1
古	基礎	0	1	\circ	Ä	Δ	1	-	-	0	→	\triangle	Ä	\triangle	→	\triangle	1	×	→	\triangle	→	\triangle	1	0	1	0	→	\triangle	→	槌	基礎	X	-	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	→	\triangle	1
卓		0	→	×	7	\triangle	<i>→</i>	-	_	\triangle	→	0	→	<u></u>	→	×	7	×	→	0	1	△	7	Δ.	→	\triangle	→	0	7	韓国	応用	X	-	0	7	0	1	0	7	Δ.	→	0	→
L	産業	\circ		×	→	0	/	0	7	×	7	0	→	\triangle	→	×	→	×	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	×	→	-	-		産業	X	-	0	/	\triangle	→	×	→	\triangle	→	\cup	A
										オース・	基礎	-	→		アジア		基礎	0	→							国際	基礎	0		欧 州 ···	基礎	0	7	1	基礎	-	1	\triangle	1				
										オーストラリア	応用産業	0	→		諸国		応用産業	0	1							[際機関	応用産業	0	_	英独仏	応用 産業	×	7	ンド	応用産業	0	1	×	<i>/</i>				
										É	基礎	-	→		1-25		Æ.A.		_							124	EE A		-	124	基礎	Δ	-* -→		EA				•				
										シンガポー	応用	_	→																	台湾	応用	\triangle	→										
										ホール	産業	_	→																	湾	産業	\triangle	→										



研究開発の俯瞰報告書(2015) 環境・エネルギー分野の概要

JST 研究開発戦略センター 環境・エネルギーユニット

分野の範囲と構造

■ 分野の定義

資源・環境制約下で持続可能な人間社会を構築していくために必要となる、広範で多様なエネル ギー供給・利用および人間活動による環境影響に係わる科学技術分野

■ 俯瞰の視点

(第1階層)

(第2階層)

3E+S(エネルギー安定供給・経済効率性向上・環境への適合・安全性)の同時克服を基本方針と して、環境・エネルギー分野を下図のように設定し、「エネルギー供給」「エネルギー利用」「原 子力」「環境」の4区分について俯瞰検討を実施

1. 社会的期待:

持続可能な社会の実現

2. 事業領域(社会的期待実現):

エネルギー産業、モノづくり産業、物流産業、建設産業、農林水産業、医療・健康産業、介護福祉サービス産業、 情報産業、他サービス産業、公共サービス、行政(法律、社会インフラ整編、国際戦略…) 等

エネルギー利用

・低炭素化を実現するエネルギー利用

・災害による環境への影響低減と環境の再創造

エネルギーサービス

サービスの提供

・多様な社会的要請に応える

3. 構成技術課題(事業手段提供):

エネルギー供給 化石資源利用の高効率発電

- 化石資源利用における二酸化炭素排出削減 再生可能エネルギー導入による低炭素化の推進 ・エネルギー効率の高い
- ・ 高品位エネルギーの安定供給 ・ ものづくりの高効率化
- (第3四周) 輸送用燃料の低炭素化 ・原子力をより安全に維持・活用するために取り組むべき研究課題
 - 原子力 ・原子力の将来にかかわらず取り組むべき研究課題 ・原子力に依存しない場合に取り組むべき研究課題
 - ・生態系サービスの適正管理 ・観測・計測とその情報に基づく環境管理
 - 4. 共通要素技術課題(コア技術):

変換技術、貯蔵技術、輸送技術、利用・環境適合技術、システム技術、ICT、ネットワーク技術 等 (第4四回) 5. 学術研究領域(理論、分析、設計):

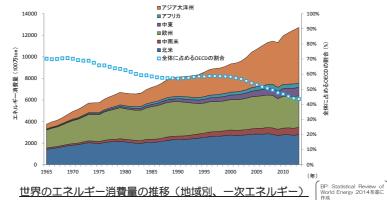
(第5階層)

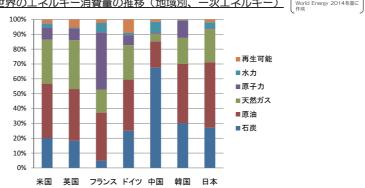
【社会科学】社会学、政治学(政策論、国際関係論)、エネルギー経済学、環境経済学 等 【応用科学】熱機関工学、機械工学、化学工学、ブラント工学、材料工学、原子力工学、資源工学、電気電子工学、土木工学、 建築工学、環境学 等 【星磁科学】熱力学、燃烧学、伝熱学、流体力学、電磁気学、電気化学、触媒化学、原子核物理学、地球物理学、生態学 等 【星 盤 】物理学、統計力学、化学、生物学、情報学、計算科学 等

環境・エネルギー分野の俯瞰区

分野を取り巻く世界の動向

- 世界のエネルギー消費量は増加。特にアジア大洋州の増加が顕著。 OECD諸国の割合は減少
- 日本のエネルギー自給率は先進諸外国の中でも際立って低い。 2014年時点ではさらに低下。





研究開発の国際比較

- 基礎・基盤的な研究・技術では諸外国に比べて極 めて高い。
- 一部の分野では研究者の減少が問題。分野間連携 日 が弱く、新技術創出が遅れがち。
 - 応用開発では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。
 - 要素技術のみならずシステム・パッケージでの海 外展開に向けた取り組みが課題。
- 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。
- ・ 大型プロジェクトの推進など、バランスよく基礎、 応用、産業化を進めている。研究者層も厚い。
- 社会的側面を取り入れた研究開発を実施し実社会 へ適応している。
- 基礎研究レベルは現状では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長。
- 海外からの技術移転のスピードが速く、国内研究 開発体制も整備、拡充されつつある。
- 環境と経済の両立を重視した政策を実施。
- 基礎、応用、産業化はそれぞれ順調に伸長。
- 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。
- 再生可能エネルギーのシステム構築は日本同様こ れからだが国の戦略的政策と企業の実行力は着目

社会・政策の変遷

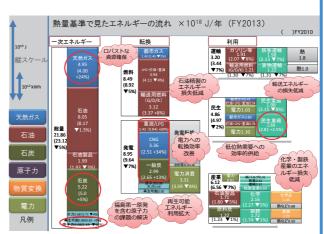
	社会情勢・主な出来事	重視された側面 【エネルギー分野】	重視された側面 【環境分野】
70s 80s	脱石油機運の高まり 公害・環境汚染対応の必要性 ・公害国会 (70年) ・石油危機 (73・79年) ・原子力エネルギー促進 (電源三法) (74年) ・サンティン計画 (74年) ・ムーンライト計画 (78年) ・省エネ法 (79年) ・代エネ法 (80年)	・エネルギー安全保障 ・経済効率性の追求	・公害への対応 ・都市・生活型環 境汚染への対応
90s	温暖化対策の要請の高まり ・地球サミット(92年) ・京都議定書(97年) ・省エネ法改正(98年)	・環境性の追加 ・原子力I礼ギーの推進 ・3Eの同時達成	・地球規模の環境 問題への対応 ・国際的取組への 貢献
00s	安定供給・効率・環境の同時達成志向の高まり 資源価格の高騰 ・循環型社会形成促進基本法(00年) ・エネルギー政策基本法(02年) ・京都議定書発効(05年)	・電力市場の部分自由化・エネルギー安全保障の再認識・環境性の再認識	•循環型社会・持続可能性の追求
11年 以降		・安全性の追加(3E+S)・経済再生・東日本大震災からの復興・電力市場改革	・東日本大震災からの復興

研究開発の重要な考え方

- 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、省エネルギーの強化、需給の平準化などに研究開発 努力を継続する。
- 2. クリーンな再生可能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促進する。
- 3. 安定的かつ経済的な電力供給を維持するために、当面、石炭、天然ガス 3. 安定的かつ経済的な電力供給を維持するために、当面、石炭、天然ガス ネ 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。

一次エネルギー供給構造と自給率の各国比較

- トなどを生み出す。 5. 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。
- 6. 原子力は安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与 する重要なベースロード電源として位置付けるものの、原子力への依存 度については可能な限り低減する方向で現実的なシナリオを検討する。 並行して、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。
- 7. 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。
- # イニシアチフをとる。 **通** 8. 優れたエネルギー・環境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。
- 9. 次世代のために、人の健康を含む生命の持続性の基盤となる環境への負 荷を限りなく縮小するとともに、環境の改善・向上を目指す。
- 環 荷を限りなく縮小するとともに、環境の改善・向上を日指9。 境 10.将来顕在化しうる環境問題を事前に捉え先手を打つことにより、環境を 設計・創造していく。



我が国のエネルギー供給に求められる主要課題

BP Global (2014) を基に作成 エネルギー自給率はEnergy Balance o OFCD Countries 2013 IFA 2013はり

2.2 ライフサイエンス・臨床医学分野

2.2.1分野の変遷

20世紀中頃の分子生物学の勃興により生命科学は飛躍的な進化を遂げた。しかし、従来の主な方法論である要素還元的な研究(個々の遺伝子や分子等に着目した研究)では、生命のもつ複雑性を解き明かすには至っておらず、また社会の抱える様々な問題を十分に解決してきたとは言い難い。一方、近年は次世代シークエンサーをはじめとした計測・解析技術の急速な進展によって、膨大な生命情報が次々と生み出され続けており、それらに基づいて複雑な生命現象の理解を進めようとする研究アプローチの進展は目覚ましい。また、それら生命情報データのみならず、保健医療行政で収集されているデータ(電子カルテほか)や、農林水産関連の生産活動を通じて得られるデータなど、現実社会における様々なビッグデータを活用する機運が大きく高まっている。そのような中、バイオインフォマティシャンに期待される役割は以前にも増して重要となっているが、わが国では未だ不足しており、その育成、確保が大きな課題となっている(図 2.2.1)。

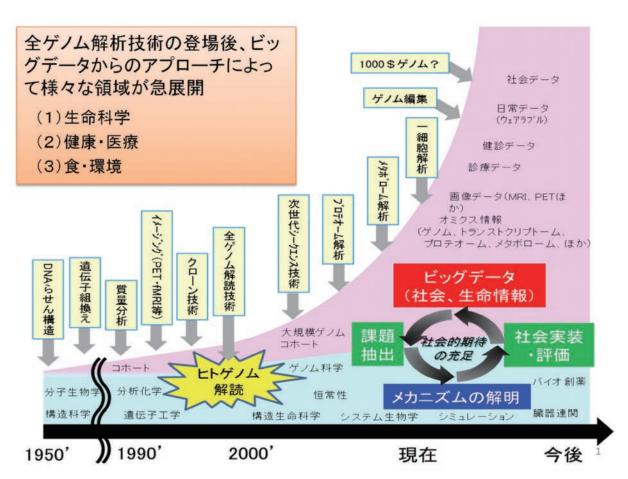


図 2.2.1 ライフサイエンス・臨床医学研究の変遷

2.2.2分野の範囲と構造(俯瞰図)

〈俯瞰の枠組み〉

ライフサイエンス・臨床医学分野は、自然科学のみならず人文社会系科学の諸領域を包含し、健康・医療、食料、環境、倫理的課題など、広範な社会基盤の形成に深く関係している。本分野の戦略的な推進はわが国の健康・医療政策や農林水産政策などの国家戦略などにも影響を及ぼすため、国内外の研究開発動向のみならず政策動向までを含めた全体像を俯瞰的に把握することは、当該分野の研究開発戦略の立案において肝要である。

まず、ライフサイエンス・臨床医学分野を「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、この定義に包含される研究開発を俯瞰調査の対象とした。基礎研究から応用研究、そして社会との関係性も含めた、一貫性・網羅性の高い俯瞰を行なうことは、俯瞰からわが国のこれからの研究開発戦略を抽出し検討する上で有効と考えられる。以上をふまえて、ライフサイエンス・臨床医学分野の研究開発の要素として、次の4つを設定した(図2.2.2)。

- ・「知的基盤・技術基盤」: 生物の生命現象の解明に関する基礎研究
- ・「健康・医療」: ヒトの健康持続を目的とした応用研究
- ・「食・環境」:環境低負荷型の食料・エネルギー生産に関する応用研究
- ・「ヒトと社会」: 研究倫理や社会と研究の関係性に関する取り組み

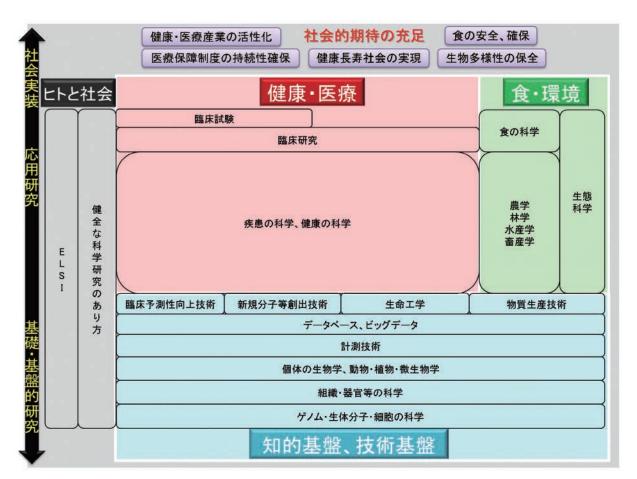


図 2.2.2 ライフサイエンス・臨床医学分野に含まれる研究開発の主な要素

〈俯瞰対象区分、領域の設定〉

先述の4つの研究開発要素について、より網羅性の高い俯瞰を実施するため、より詳細な枠組み(区分)の設定を試みた。まず、「知的基盤・技術基盤」では、生命現象の理解に主眼をおいた研究として「基礎生命科学」区分、そして基礎研究及び応用研究を大きく加速し変革をもたらしうるテクノロジーとして「次世代基盤技術」区分を設定した。次に「健康・医療」では、医療技術のタイプとして「医薬品など」区分および「医療・介護・福祉機器」区分、そして主に各種疾患や医療提供、医療 ICT などに着目した「健康医療全般」区分の3つを設定した。「食・環境」では、主に食料生産関連技術や生物多様性などに着目した「グリーンバイオ」区分を設定した。「ヒトと社会」では、研究倫理や ELSI(倫理的・法的・社会的問題)などに着目した「ヒトと社会」区分を設定した。

これら7つの俯瞰調査対象区分について、俯瞰調査のターゲットとする領域を見出すため、近年の主な研究開発動向や論文動向などに基づいて当ユニット内で議論を重ねた。区分毎の俯瞰図策定、それに基づく議論などを経て、7区分合計で77の俯瞰対象領域を設定した(図2.2.3)。

なお、複数の区分にまたがって類似の領域が一部存在しているが、それぞれ注目する切り口が異なっている。例えば、区分③:医薬品などの「高分子医薬(抗体)」と区分⑤:健康医療全般の「がん」領域では、前者は高分子医薬(抗体)の観点からあらゆる疾患を見ており、後者はがんの観点から様々な医療技術を見ている。このように、双方の視点で取り上げることで、

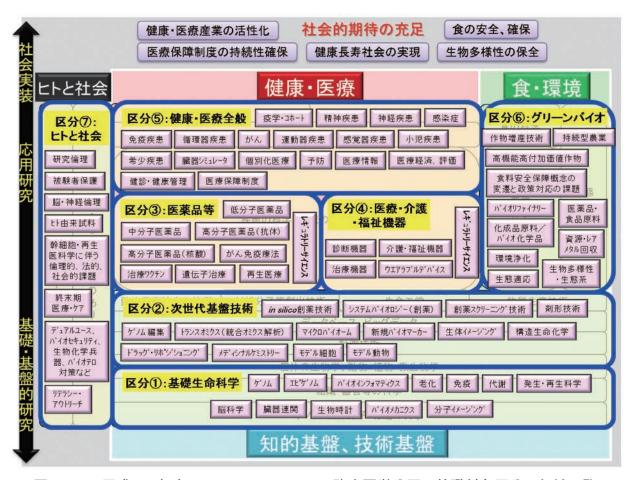


図 2.2.3 平成 26 年度 ライフサイエンス・臨床医学分野 俯瞰対象区分、領域一覧

情報の網羅性が高まるものと考えられる。

図 2.2.3 に示した、俯瞰区分ごとの俯瞰領域について概説する(詳細は、俯瞰報告書 本編を参照)。

区分①: 生命科学では、「ゲノム」、「エピゲノム」、「発生・再生科学」、「代謝」、「免疫」、「脳科学」、「バイオインフォマティクス」、「分子イメージング」、「臓器連関」、「老化」、「バイオメカニクス」、「生物時計」を選定した。選定にあたっては、進展が著しく、近年医療技術、食料生産など社会問題の解決にあたり貢献が見られる領域、要素研究としてニーズが高いと考えられる領域、の2つの視点を重視した。

区分②:次世代基盤技術では、「in silico 創薬技術」、「システムズバイオロジー(創薬)」、「トランスオミクス(統合オミクス解析)」、「メディシナルケミストリー」、「ドラッグ・リポジショニング」、「創薬スクリーニング技術」、「剤形技術(徐放化など)」、「構造生命科学」、「新規バイオマーカー」、「ゲノム編集」、「モデル動物」、「モデル細胞」、「マイクロバイオーム」、「生体イメージング」を選定した。選定にあたっては、生命科学研究、健康・医療技術開発研究、創薬研究の大きな加速につながりうる基盤技術を重視した。

区分③: 医薬品等としては、「低分子医薬品」、「高分子医薬品(抗体医薬)」、「高分子医薬品(核酸医薬)」、「中分子医薬品」、「治療ワクチン」、「遺伝子治療」、「再生医療」、「がん免疫療法」、「レギュラトリーサイエンス(医薬品)」を選定した。選定にあたっては、人々の生活の質(QOL)向上の観点から、今後も大きな位置付けを占めると思われる技術、或いは今後ますます重要に成ると考えられる技術を重視した。

区分④:医療・介護・福祉機器では、「診断機器」、「治療機器」、「介護・福祉機器」「ウエアラブルデバイス」、「レギュラトリーサイエンス(医療機器)」を選定した。選定にあたっては、区分③(医薬品等)と同様、人々のQOL向上の観点から、現在、そしてこれからの大きな潮流になると予想される技術を重視した。

区分⑤:健康・医療全般では、「がん」、「循環器疾患」、「臓器シミュレーター」、「神経疾患」、「感覚器疾患」、「運動器疾患」、「精神疾患」、「小児疾患」、「感染症」、「免疫疾患」、「希少疾患」、「疫学・コホート」、「個別化医療」、「予防」、「医療情報」、「医療保障制度」、「健診・健康管理」、「医療経済評価、医療技術評価」を選定した。選定にあたっては、今後わが国や世界の人々の大きな QOL 低下要因として考えれる疾患、これからの医療の方向性、および医療と社会との関係性などの観点を重視した。

区分⑥:グリーンバイオでは、「作物増産技術」、「持続型農業」、「高機能高付加価値作物」、「食料安全保障概念の変遷と政策対応の課題」、「生物多様性・生態系」、「生態適応」、「環境浄化」、「資源・レアメタル回収」、「バイオリファイナリー」、「化成品原料/バイオ化学品」、「バイオ医薬品・食品原料」を選定した。選定にあたっては、食料自給率の問題や愛知目標を含めた生物多様性保全の損失に対する危機といった、社会的な観点に対応する科学技術を重視した。また、生物機能の活用などについては、市場へのインパクトの大きさを重視した。

区分⑦:ヒトと社会では、「ヒト由来試料」、「終末期医療・ケア」、「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」、「被験者保護」、「研究倫理」、「リテラシー・アウトリーチ」、「デュアルユース・バイオセキュリティ」を選定した。選定にあたっては、近年問題が顕在化しているもの、或いは研究成果の社会実装にあたって大きな課題となっているものを重視した。

2.2.3 分野の現状及び今後の方向性

2.2.3.1 分野の今後の方向性

〈俯瞰対象区分(全7区分)ごとの概観〉

【区分①:基礎生命科学】

ゲノムおよびエピゲノム領域においては、疾患に関わるゲノム、エピゲノムの同定が進め られている。これに伴いゲノムにより生物学の理解を深化させる研究から、得られた知見を 医療に応用する研究へ重点が移る傾向にある。代謝領域は、ヒトにおける代謝が主に代謝性 疾患の観点から医学研究で進められている他、より基礎的な観点から、細胞におけるエネル ギー代謝、恒常性の維持などの研究が進められるとともに、代謝産物を解析する装置開発に おいて海外とも高い競争力を有している。免疫領域は、難治性疾患の原因解明に向けた基礎 医学的な観点からの研究が進められている他、例えば腸内細菌など、ヒトの臓器内部で共生 する微生物との関連(マイクロバイオーム研究)が注目されている。発生・再生科学領域では、 ヒト iPS 細胞の樹立以来、疾患の治療に向けた研究、細胞作製・培養技術の深化、これに伴 う様々な技術開発が進行している他、基礎的な分野においては、主としてゲノム科学的な観 点から発生・再生の仕組みそのものに対する理解を深める研究も進められている。脳科学領 域では、脳神経疾患であるアルツハイマー病やパーキンソン病の原因解明に向け、脳神経回 路のネットワークを解明するための研究が日本、米国、欧州の3つの拠点を中心として大型 の国家プロジェクトとして推進されている。老化領域では、老年性疾患(例えばアルツハイ マー病など)において積極的に研究が推進されている反面、老化に伴う酸化ストレス、慢性 炎症、細胞そのものの老化との関連に関する基礎研究は特筆すべき成果は出ているものの、 やや欧米に劣る傾向が見られる。バイオメカニクス領域では、運動器を対象とした研究、循 環器を対象とした研究、細胞を対象とした研究が平行して推進されている。特に「ロコモティ ブシンドローム」に関連して、ヒトの歩行メカニズムを力学的な観点から解析する研究に加 え、細胞の分化に対する力学的な影響を考慮して、分化制御を行う試み、手術などに用いる 血管形成に対して血管の「骨組み」を作る研究などが注目を集めつつある。生物時計領域は、 主にヒトの生活リズムの乱れに起因する様々な体調悪化の面から、医学的な側面での研究に 注目が集まっている他、近年では、代謝、栄養学との関連、薬理学的な観点など、様々な方 面へ波及することが報告されており、注目を集めている。分子イメージングにおいては、研 究及び医療機器で国内メーカーが全般的に海外メーカーに市場を押さえられている中で、光 学イメージングにおいては、世界で競争力の高い技術開発が推進され、海外との競争力が高 い製品を輩出している。臓器連関は、主にヒトという生物を個別の臓器・組織の機能面から ではなく、大きなシステムと捉える研究分野として勃興してきた分野であり、現在は単一臓 器レベルのシミュレーター開発の段階だが、生命を理解する上での新たな取り組みとして注 目される。

【区分②:次世代基盤技術】

これからの生命科学研究、そして健康・医療技術開発研究に大きな革新をもたらすと考えられる次世代基盤技術として、ゲノム編集が挙げられる。その背景には、ゲノム編集技術の近年の急速な進展(ZFN、TALEN、CRISPR/Cas9)があるが、わが国の取り組みは大きく

遅れている。そこで、新規国産ゲノム編集ツールの開発(新規の技術開発、既存技術の改良)、 応用化に向けた周辺技術の開発、そして知財戦略、安全性評価を含めた研究開発の全体戦略 の立案、実行可能な組織作りが喫緊の課題であると言える。

次に、疾患のトランスオミクス研究が挙げられる。これまでのゲノム科学研究を通じて、ゲノムだけで疾患の全貌を解明することは困難であることが明らかになっており、その他のオミクス情報(エピゲノム、プロテオーム、メタボロームほか)との統合解析によって突破口を開いていくことが期待される。本手法の実現により、多くの疾患の早期診断・病因の解明・リスクファクター検索による予防法の確立・創薬における臨床治験の効率化などが実現し、医療費の大幅な削減に寄与することが期待される。効率的・効果的にトランスオミクス研究を推進するためには、解析拠点を集約化し、国家レベルの研究の枠組みを整備すべきであると考えられる。

創薬をターゲットとした、構造生命科学の推進も重要なテーマである。現状、分子動態研究の成果が創薬を大きく加速させるレベルには至っていないが、今後の創薬において重要な方法論であることは疑う余地がない。近年稼動開始した SACLA などの世界に冠たる研究基盤がわが国には存在することから、それらを活用した創薬ターゲットの迅速な構造解析研究をさらに加速させ、固体 NMR を用いた天然状態での創薬ターゲット膜タンパク質の構造解析や、電子線単粒子解析で結晶なしで生体分子を構造解析する研究などの推進も期待される。また、構造解析の専門家と機能解明の専門家、化学研究者と生物研究者など、異なる専門分野間の連携を促進し、異分野融合を達成するための施策が必要である。

in silico DR(ドラッグ・リポジショニング)スクリーニングは、早く、安く、安全な医薬品開発を可能とする方法論であり、社会的・経済的課題を根本的に解決するポテンシャルをもっている。現状、既承認薬の適応拡大は、臨床現場で偶然見つかったケースが多いが、例えば既承認薬データベースと疾患データベースを融合し、in silico で特定の疾患に有効な既承認薬を予測する in silico DR スクリーニングシステムを構築することで、より効率的に適応拡大が期待されるシーズ探索が実施可能と考えられる。

腸内フローラの状態と疾患発症との関係を示す科学的エビデンスが近年急送に蓄積されつつある。一方、欧米はすでに本分野の研究を加速しつつあることから、わが国の強みを生かした独自の戦略を検討する必要がある。主要なテーマとしては、腸内フローラ構成菌の中から、『鍵』となる有効な生理活性をもつ細菌種の同定、菌種の機能解明、宿主生理機能との関連付けなどが重要であると考えられ、微生物学、免疫学、ゲノム科学、バイオインフォマティクス、メタボロミクス、臨床医学の研究者が一体となった研究が必要であろう。

これからの診断の方向性として、光を活用することも重要になると考えられる。例えば現在、臨床診断に使われる放射線診断機器は高コストであると同時に、被爆による身体的負担、経済的負担も大きい。可視化手法を用いることでこれら問題は解決すると考えられ、形態のみならず細胞機能そのものを可視化できれば、将来の疾患発症リスクを光で前もって評価し、予防、治療方針の決定にも活用可能である。そのためにクリアすべき科学的課題は多いが、例えば動的生体反応可視化デバイスによる心血管・代謝疾患早期診断と光先制医療(末梢血管機能の光診断による心血管リスク判定と予防医学への応用)、光化学反応による癌特異的診断・治療(癌標識抗体、ケージド小分子化合物、受容体・リン酸化阻害薬のハイブリッド型治療薬の開発と癌治療への応用)などのテーマを推進し、徐々に光を活用した健康・医療

技術基盤を構築していくことが重要と考えられる。

最後に、研究開発や臨床を通じて得られた多種多様かつ膨大な情報群を、効率的・効果的な活用を前提としたデータベースを、国家レベルで基盤として整備することが重要である。例えば、先述のゲノム、エピゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボロームなどのオミクスデータ、あるいは電子カルテのデータ(臨床表現型情報の抽出データも含む)などは、すべての健康・医療技術開発において重要であり、これからの基礎生命科学研究を推進する上でも不可欠な基盤情報である。

【区分③:医薬品など】

まず、数理科学的手法に基づく革新的バイオ医薬創出研究が重要と考えられる。数理科学的アプローチによって創薬が劇的に加速したとはまだ言えない状況ではあるが、将来的な同アプローチの重要性は間違いないと考えられる。やはり、革新的創薬には物性と機能のクロストークが必要であり、それら専門家間の連携がカギである。具体的に推進すべきテーマとしては、生体分子間相互作用のプロセスシミュレーション研究、細胞内/組織移行性予測研究、in silico 安全性評価/予測研究、システム生物学と物質科学研究の融合が挙げられる。

次に、医薬品などの安全性・有効性・経済性に資する基盤技術群の開発(アジュバント、DDS(ドラッグデリバリーシステム)ほか)が挙げられる。安全性、有効性の確保は、国民の健康長寿の実現のために必要不可欠なテーマであるが、一方でわが国は医療費の高騰が大きな問題となっており、その主因である、医療技術の高コスト化に対応する技術開発は極めて重要である。具体的に推進すべきテーマとしては、医薬品などの効果を増強させるアジュバントの基礎研究、医薬品などを適切に患部へ到達させる次世代 DDS 基礎研究、製剤化技術、医薬品など製造技術、レギュラトリーサイエンス、安全性評価技術などが挙げられる。

腸内細菌に着目した研究も重要である。腸内細菌とヒトの健康、疾患との関係がエビデンスとして徐々に蓄積しており、新規の健康・医療技術コンセプトとしての期待が高い。腸内細菌そのものの解析のみならず、栄養科学の観点からのアプローチ、そして腸内細菌の活動が宿主へとどのように反映されていくのか、といったアプローチなど、様々なアプローチが考えられる。具体的なテーマとしては、血中などの栄養プロファイル計測・解析、メタゲノム研究(腸、皮膚、口腔など)、栄養・生体内外の刺激・細胞外微粒子に応じた免疫応答の解析、コホート(和食、各種疾患、など)の活用・構築、食事改善/医薬品などによる効果予測研究などが挙げられる。

新たな生物学的知見に基づく、問題解決型の中核技術の開発を推進するための体制作りも重要である。製薬企業の国際競争が激化しており、また全体として研究開発費の高騰、臨床開発の成功率の低迷など、厳しい環境に置かれている。したがって、新しいコンセプトに基づいた創薬の重要性がこれからますます高まってくると考えられるが、それらはアカデミアに対する期待が大きい領域でもある。アカデミアで見出された有望な要素技術を集約させ、創薬を劇的に加速させる中核技術として育成するための研究プラットフォームの形成が求められる。

創薬においては、やはり医療情報は欠かせない基盤である。産学ともにアクセスしやすく、 質の高いデータベースの構築が期待される。また、医工連携のような横展開と、基礎から応 用に至る縦の展開、そしてそれら全体をマネジメントし、つなげていく人材がわが国では大 きく枯渇しており、その確保と育成は喫緊の課題であると言える。

【区分4:医療・介護・福祉機器】

医療・介護・福祉機器は主に、疾患の診断・治療を目的とした機器である「医療機器」、および、要介護者・心身障害者などの日常生活上の便宜を図る機器である「介護・福祉機器」で構成する。その歴史は古く、例えば医療用 X 線装置は 19 世紀終わり頃にはすでに存在し、20 世紀初頭には国産機も登場しており、その後も内視鏡、MRI など、新たな技術が生まれる度に数多くの医療機器が開発されてきている。近年では ICT などのキーテクノロジーの急速な発展による遠隔医療機器やウエアラブル機器、手術支援ロボットなど、高度な技術を組み合わせた機器も増えており、産業としても市場規模は国内で2兆円以上、世界ではその約10倍以上(約3,000億ドル以上)あり、今後もアジアを中心に拡大が予想されている。介護・福祉機器については詳細な統計資料が医療機器に比べて整備されていないが、国内の市場規模は約1兆円以上あると見られており、また特に介護ロボットについては、現在の市場規模はまだ小さいが、2020年には300億円以上、あるいは500億円以上になるとの予測も出ている。

このように世界的には大きな市場をもつ医療機器産業だが、わが国は多額の輸入超過(年により変動はあるが年間で約6,000億円)という状況が続いている。診断機器については従来からわが国は比較的強く、輸出額が輸入額を上回っている。取り扱う情報は形態学的情報・生理学的情報・生化学的情報など様々であり、これらの多くの情報を統合して診断や治療方針の判断を行うためのマルチモダリティに対応した機器が重要となってきている。一方、治療機器は圧倒的に輸入超過の状況となっている。輸入治療機器であっても日本製の部品が数多く使われているなど、要素技術、ものづくりの技術では強みを持ちながら、製品としては輸入額が輸出額の4倍以上あり、その金額は増加傾向にある。医療機器は認可までにかかる期間や開発費用が大きく、企業にとって負担が大きいことなど要因はいくつか考えられており、国としても「健康・医療戦略」において、その産業競争力の向上を目指すと定め、日本医療研究開発機構の設立、薬事法改正(医薬品医療機器等法)など、様々な関連施策も実施している。

介護・福祉機器では現在、国がロボット介護機器の重点分野を設定して開発促進の施策を 進めており、これには要介護者の支援だけでなく介助者の負担を軽減する機器も含まれてい る。また認知機能障害の支援機器が新たな分野として広がりを見せてきている。介護・福祉 機器は臨床評価の方法論がまだ確立されていないが、センサー技術やICT活用による臨床 評価への応用も始まっている。

今後もわが国は高齢者の割合の増加が続く超高齢社会であり、在宅での健康管理、身体的 負担(侵襲度)の少ない治療、高齢者の自立生活支援、介助者の負担軽減など様々なニーズ に応える機器の開発が進められていくと考えられる。またそのために、レギュラトリーサイ エンスの普及、医療や介護の現場を知りニーズに合った機器開発につなげられる人材の育成 も一層求められる。

【区分⑤:健康医療全般】

近年のライフサイエンス・臨床医学分野の急速な進展に伴って、本区分で取り上げた疾患

群についても多くの知見が得られている。これら知見を医療技術として実用可能なものとし、 効率的・効果的に必要とする人々へ提供することが求められており、様々な取り組みが進め られている。

疾患によって、医療技術開発の進捗は大きく異なっている。例えば、悪性新生物は世界中のアカデミアおよび企業で極めて活発に研究が行なわれており、近年では診断・治療の早期化、個別化が大きく進展している。循環器疾患は、例えば、急性心筋梗塞で致死的になることは珍しくなったが、その後心不全になってしまう可能性は高い。神経疾患では、認知症を例に取ると発症後の治療が極めて困難であることから、治療のタイミングを大きく遡り、発症前の段階で適切なバイオマーカーに基づく診断と治療の実施(先制医療)の実現が期待されている。精神疾患については、各国で研究が進められているものの、未だに客観的な診断法、治療法とも確立しておらず、現状のブレークスルーとなりうる科学的知見の創出が強く期待されている。その他疾患についても求められる科学技術はそれぞれ異なっており、それらを踏まえた研究開発戦略の立案と実行が求められる。

また、すべての疾患に共通する課題として、橋渡し研究(トランスレーショナルリサーチ)が挙げられる。従来、モデル動物やヒト培養細胞を用いた研究が多く進められてきたが、得られた知見を必ずしも実際のヒトに適用できないことも明らかになっている。そこで、コホート研究に医療技術シーズの源泉を見出そうとする動きがますます強まっており、大規模コホートの発足や、既存のコホートの統合化に向けた検討、などが行なわれている。

ICT 分野の急激な発展は、あらゆる分野へ大きな影響をもたらしており、健康・医療も例外ではない。電子カルテ、レセプトなどはすでにある程度医療現場への導入が進んでおり、近年はそれらデータ群の解析を通じた医療提供、健康管理が大きく注目されている。

【区分⑥:グリーンバイオ】

次世代シークエンサーによる全ゲノム解析、質量分析装置の高性能化によるメタボロミク ス解析の発展が当該区分の研究開発の推進に重要な役割を果たしている。また、データベー スの充実により、大量の生命情報をもとにした数理モデル、シミュレーションによる予測す る科学へと移行しつつある。「食料生産及び安全保障」サブ区分では、次世代シークエンサー による作物の全ゲノム解析によるマーカー開発やゲノムワイド予測技術、ゲノミックセレク ションによる最適な遺伝子型のモデル化、フェノーム解析による表現型の定量解析といった 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展開されている。また、応 用的な側面として、遺伝子変異を積極的に選抜できる TILLING 法が一般化し品種開発へと つながっている。新しい植物育種技術(NBT)が開発され、この中でもターゲット遺伝子 を特異的に改変するゲノム編集技術の急速な発展により、作物の品種改良も世界的に行われ ている。この技術を用いると外来遺伝子が残存しないことから、新作物をどのように扱うか、 戻し交配などで得られた分離個体で外来遺伝子を保持しないもの(null segregant)をどの ような基準で保証するかといった議論が各国で始まっている。本サブ区分ではまた、情報科 学、工学と融合した形で、ICT を活用したスマート農業、ヘリコプターや衛星を利用した 圃場管理、植物工場の展開がみられる。「物質生産・バイオリファイナリー」サブ区分では、 メタボロミクスやデータベースの充実から代謝経路予測及び人工酵素の創出といった合成生 物工学的手法が取り入れられ、微生物機能の向上に用いられている。また、これまでは微生 物を単培養して単体の機能を高めることがメインであったが、複合的に取り扱うことで難培養菌群の可培養化や効率化を目指す取り組みが行われている。医薬品、食品原料のバイオ技術を用いた様々な生産系が研究されており、後発類似品、発酵生産市場へのインパクトは大きい。「環境リノベーション」サブ区分では、未知生物由来のメタゲノム情報取得が可能となり、DNAバーコーディングに基づく同定システムが構築されつつある。また、バイオ技術を用いたレアアースなどの資源回収技術、環境浄化法の改良が行われている。

【区分⑦:ヒトと社会】

20世紀後半に、過去の非人道的な医学実験、生物兵器の試験的使用などの反省を踏まえ、ヒトそのものを研究対象とした生命科学研究、医療技術開発の倫理性に関して、生命倫理 (Bioethics)や医療倫理(Clinical Ethics)と呼ばれる学術領域が成立した。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、医療倫理との関連は密接である。また 多くの生命倫理問題は、国や地域における歴史的、社会的、宗教的な背景に依存して、多様であり、国際的に統一された法規制、方針の下で厳密に管理することは難しい。

近年、生物学的にも医学的にもヒト遺伝子配列情報の重要度が増している。次世代、次次世代シークエンサーの導入に伴って遺伝子解析が高速化し、臨床現場において全ゲノムシークエンスの解読ができるようになる可能性が指摘されている。今後、医療関係者のみならず、遺伝子研究従事者、そして患者になり得る一般市民に対し、遺伝子解析に関する理解増進と、その倫理問題に関するリテラシー教育の必要性が増すと考えられる。また、バイオバンク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、被験者に対するインフォームド・コンセントにおいて、提供試料の将来的な使用に関してより詳細な記述や配慮が求められている。

生命倫理、医療倫理の枠を超えたライフサイエンス・臨床医学研究遂行上の社会的課題としては、研究者の説明責任やデュアルユース問題(研究成果の悪用(バイオテロ、犯罪への成果転用))が挙げられる。前者は、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に関する問題が対象となり、研究成果のねつ造や研究費の不正使用、が含まれる。後者は、研究者個々人の自助努力だけではとどまらない、より組織的な対応、対策が求められる問題である。

前述のような専門領域内の倫理の枠を超えた、社会におけるライフサイエンス・臨床医学研究遂行上の課題としては、まず、誠実な科学(Research Integrity)実践のルール・方法論を確立してこれを遂行できる者を高め、遂行できない者に対処する対応法を確立することが挙げられ、また次に、研究成果が悪意に基づいて利用(バイオテロ、犯罪への成果転用)されないような規制の確立が挙げられる。前者は、「健全な科学である」ことの定義の再確立と認識が必要であり、科学者集団としての自律性の発揮が望まれる。後者は、科学者集団の自助努力だけではとどまらない、より組織的な対応や対策が求められる問題である。

〈産業ニーズ、社会ニーズの現状と将来展望〉

(A) 健康・医療

近代医学の勃興以来、医療はその歩みを止めることなく、人類のよりよい生き方(well being)というニーズや社会的生産性の向上といったニーズに対する貢献は大きい。世界的に見ると、Non Communicable Diseases(NCDs)(がん、糖尿病、循環器疾患、慢性閉塞性肺疾患(COPD)に代表される呼吸器疾患などの非感染性疾患)の予防、診断、治療への貢献が求められている。NCDs は世界の全死亡原因の6割を占め、その割合は特に途上国において増大していることから、それら疾患に関する研究は世界の多くの人々の高いニーズがあると言える。また、従来は希少疾患について必ずしも十分な取り組みが行なわれてこなかったが、近年海外の大手製薬企業などをはじめ、取り組みを強める動きが見られる。QOL向上はいうまでも無く、産業活性化の観点からもニーズの高い領域であると言える。高齢化は、わが国のみならず各国で問題となりつつあり、高齢者に多く見られる疾患に関する医療ニーズも増大している。

先進各国は、大規模かつ長期にわたる疫学研究(コホート研究を含む)を積極的に実施して自国民の健康状態を把握している。そして、得られた疫学データにもとに、優先度の高い対策・課題を抽出し、医療政策や健康科学、臨床医学に関連する研究開発戦略を策定する傾向にある。しかし、わが国の疫学研究、コホート研究は、欧米諸国に比べ量的、質的に十分でなく、改善すべき点が多い。医療・介護・福祉機器は、医師をはじめとした医療従事者、あるいは介護に携わる人々が現場で患者や被介護者に対し使用することではじめてその機能を発揮する。そのため、医療・介護の現場におけるニーズを重視した開発戦略が求められる傾向にある。例えば、検査や診断、治療の手間や時間の軽減など、医療従事者や介護者の日常業務の負荷や負担の軽減、使いやすさの向上につながるものへの期待が大きい。また、ICT の発展により、ライフサイエンス・臨床医学分野のあらゆる研究成果や健康・医療情報などのビッグデータの蓄積、管理が技術的には可能となりつつある現在、これらデータベースの整備、医療福祉の改善や医療技術開発の迅速化への活用に向けたルール作り、インフォマティクスをはじめとした研究開発の推進などに関する需要が高まっている。

産業ニーズという観点から医療産業の特性を見ると、自動車、電気、化学工業産業などに 比べて産業規模は大きくないが、各産業が創出する一人当たり付加価値額と出荷額に対する 付加価値比率では、主要産業の中で医薬品製造業が群を抜いている。また、景気に左右され にくいという安定性も医療産業の特性である。つまり、医療産業は患者やその家族への医療 上の貢献にとどまらず、日本経済全体にも非常に重要な役割を果たし得る。この点から、わ が国の成長戦略に欠かせない産業として、ライフサイエンス・臨床医学研究の成果の社会実 装に必要なプロセスの改善を図り、医薬品、医療機器をはじめとした医療技術に関連する産 業振興につながる施策を打ち出していくことは重要である。

(B)食・環境

社会ニーズとしては、食料自給率の上昇による食料安全保障、バイオテクノロジーの応用による産業振興、低炭素、生物多様性、資源循環や森林 ICT 管理による水質・環境保全といった環境的価値の創出などが挙げられる。

食料生産及び安全保障の観点からは、温暖化による食料生産減少の懸念が指摘されている。

特に東南アジアにおける水稲への影響として、10~50%の減少が予測されている。こうした温暖化への対策としては耐暑性、耐乾燥性、耐塩性、耐病性品種開発をにらんだ研究開発が必要となる。わが国の食料自給率はカロリーベースで39%(農林水産省資料による)であるが、日本国土だけで自給率100%を達成するのは難しい状況である。足りない部分は海外から輸入せざるを得ない。わが国において技術開発を行い、その技術をパッケージ化して輸出することで、国際貢献に役立つ。また、技術移転先から食料を輸入するという方策がわが国の食料安全保障を考える上でも重要である。技術面からはICT技術の発達により、無人飛行機や監視モニターによるモニタリングによる省力化が進んできている。農業人口の減少及び資源の枯渇の問題を加味すると、生産性向上に向けたICTとの融合した研究開発が今後重要になる。「和食」がユネスコ無形文化遺産に登録されたことから、高機能性食品への関心が高まっている。機能性成分の特定による高機能化や高品質化を行うことで輸出産業化の道が開ける。また、「和食」をブランド化するための疫学的研究も重要な課題である。

物質生産・バイオリファイナリーの観点からは、バイオ燃料といった再生可能エネルギーの開発や、その原料であるバイオマス増産技術開発が産業ニーズである。しかし、その生産コストが割高となるため、技術革新による生産コスト減が望まれている。また燃料としてではなく、プラスチックなどの工業原料の生産を目指したバイオリファイナリーが注目を集めている。合成生物学的手法を用いた人工酵素の開発により、目的代謝産物を効率的に作出する技術開発が進められており、人工代謝経路設計プログラムによる予測も可能となりつつある。また、微生物を単培養から複合微生物系として取り扱う技術開発が進んでおり、ものづくりへの応用のほか、植物根圏環境の改善、腸内細菌叢の調節による健康・医療への寄与が挙げられる。一方、医薬品原料や化成品原料などの付加価値の高い物質生産では、新たな化合物探索や上述のように人工酵素導入による化合物生成、化合物の修飾技術のニーズがある。特に、バイオ医薬品の1つ、初発抗体医薬に関しては特許権切れによる後発類似品(バイオシミラー)開発競争が激化している。CHO細胞や微生物のみに依存する現状から、用途や目的タンパク質によっては、食べるワクチンなどの植物を用いた研究開発にも注目する必要がある。

環境リノベーションの観点からは、生物多様性保全、生態系評価が重要な課題となっている。COP10 における愛知目標では生物多様性の持続可能な利用促進および生態系サービスから得られる恩恵の強化が求められている。生態系サービスとは食料や水の供給、気象災害の防御のほかにもリクリエーション、教育、共同体などの文化的価値も含まれる。この愛知目標達成のためには、生物多様性情報・生態系情報の整備が必要であるが、日本では研究データのオープン化や持続可能なデータリポジトリの確立が遅れている。また、環境破壊による持続的な生態系サービスの利用の問題が指摘されており、地球環境問題の解決に向けた世界的な枠組みとしてFuture Earth プログラムが 2013 年に開始した。このような世界レベルでの問題解決に向け、制度的な取り組みとともに、科学技術側の提案が今後ますます重要になると考えられる。

〈ファンディングの観点から〉

近年のライフサイエンス・臨床医学研究に関する施策は2つの大きな要因で変化を迎えようとしている。1つは、平成21年度に実施された「事業仕分け」により、研究開発に関す

る施策も効率化が求められ基礎基盤的な分野については予算の削減や期間の短縮などが進められてきた。そして「成果を早期に創出する研究開発施策」が近年増加する傾向にある。この中で、ライフサイエンス研究の予算は着実に確保されてきたが、新たに創設される研究プロジェクトは、国民の関心が特に高い医療面に偏りが見られる。

もう1つは「日本医療研究開発機構」(AMED: Japan Agency for Medical Research and Development)の設立である。この新たな法人は、国が新たに定めた「健康・医療戦略」の推進を担う中核的機関として位置づけられ、文部科学省、経済産業省、厚生労働省の3つの省庁の既存の研究プロジェクトを大別して9つに分類して再統合する形で研究開発を推進する。これらはいずれも医療を出口として意識しているが、個別の研究開発課題を見ると、開始時点では基礎研究レベルのものも含まれており、今後、新たな法人においてどのような戦略をもって健康・医療戦略の実現を目指した研究開発施策が推進するかが注目されるところである。

2.2.3.2 分野の国際比較

日本、米国、欧州、中国、韓国の主な特徴について本項に示す(国際比較の詳細は、本編を 参照のこと)。

〈日本〉

わが国の基礎研究は、米国、欧州とともに三極を形成する国際競争力を有している。例えば発生・再生科学領域では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・医学賞の受賞や、幹細胞からの卵子の作製が米 Science 誌の Breakthrough of the year 2012の1つに選出されるなど、わが国の基礎研究力の高さが伺える。しかし、基礎研究の成果の実用化が弱く、諸外国の後塵を拝している。大学/大学病院/企業の関係、社会における医療の位置付けなどは国によって異なっているため、国内外のそれらの状況を十分に認識した上で、わが国における適切な橋渡し研究、健康・医療産業の活性化に向けた取り組みが求められる。従来、関連府省がそれぞれ健康・医療に関する研究開発プロジェクトを推進してきたが、今後は2015年4月に設立された日本医療研究開発機構がそれらの効果的、効率的な推進にあたって大きな役割を担っていくものと考えられる。

〈米国〉

ほぼすべての研究開発領域に関して、基礎研究、応用研究ともに世界のトップに位置しており、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。圧倒的な資金力と豊富な人材によって最先端の研究が行われており、特に近年はビッグデータに基づく研究アプローチが大きく注目される。また、ベンチャー企業を育てる経済的、文化的基盤が確立されており、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の多くを製品化したのは米国企業であり、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もつ。国立衛生研究所(NIH)において、橋渡しを目的に近年組織改革が実施されている(NCATS設立)。また、遺伝情報、生活環境、ライフスタイルに関する情報を基に正確な医療を進める Precision medicine initiative(個別化医療、精密医療)が 2015 年大統領一般教書演説にて発表され、今後注目すべき方向性の1つになると考えられる。グリーンバイオ分野、バイオリファイナリー

関連では、エネルギー省(DOE)主導により、2014年セルロース系バイオエタノール製造プラントの生産が開始された。これは二酸化炭素排出量年間約21万トン削減につながる。また、DARPA主導により、1000分子プロジェクトが開始された。基幹となる化合物1,000種類をバイオテクノロジー技術により作製するプロジェクトである。

〈欧州〉

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。疫学研究も活発であり、特に北欧はゲノムを含むコホートの実施体制の整備が進んでいる。産業化に関しても、米国と同等か若干劣る程度の、高い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、日本はもちろん米国よりも行いやすい環境にある。

グリーンバイオ分野については、オランダのフードバレーの成功例が特に注目される。フードバレー財団によるコーディネートにより産学官による研究開発が推進された世界規模の食品研究開発拠点で、顧客志向の研究開発により商品やサービスを創出し、狭く肥沃ともいえない国土にも関わらず、加工貿易の振興で食料の輸出超過をもたらしている。Horizon 2020 における7つのプライオリティの中に "Foodsecurity, sustainable agriculture, marine and maritime research & the Bioeconomy" が取り上げられ、食料安全保障への意識が高い。また、バイオリファイナリー関連では、非可食バイオマス由来の商業化デモプラントが建設中である。特に、非可食バイオマス由来のエタノール生産技術を既に世界展開しているイタリア企業の例もある。

〈中国〉

欧米、日本と比して、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い。次世代シークエンサーの導入も進んでおり、Beijing Genomics Institute (BGI) は世界一の設置数を誇る。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整備も進んでいる。

〈韓国〉

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殆どない。しかし、臨床試験の整備は充実しており、外資系の製薬企業による臨床研究が積極的に進められている。再生医療製品の承認数が多いのも特徴の1つである。グリーンバイオ分野として注目すべきは、近年、国家プロジェクト(ゴールデンシードプロジェクト)が開始され、国内種苗企業の底上げを目指す試みがなされている。

〈その他〉

地球環境研究の国際プログラムの再編が進み、国際科学会議(International Council for Science: ICSU)関連プログラムを統合した、Future Earth とよばれる巨大な枠組みが 2013 年に作られた。このプログラムでは、地球規模での喫緊の課題として、省エネルギーと再生可能エネルギー源の開発による化石燃料消費抑制を挙げている。自然科学、社会科学、工学、人文学などの学術分野の垣根を越える「学際性」および、学術と社会の垣根を越える「超学際性」(すなわち社会の様々なステークホルダーの参加)が重要視されている。この Future Earth プログラムは、主要先進国の研究助成財団の連合体であるベルモントフォーラムも連動している。

2.2.3.3 日本の課題

CRDS ライフサイエンス・臨床医学ユニットでは、本章で述べた俯瞰調査に加え、重要領域群の抽出に向けたワークショップも12回開催し、述べ300名の有識者の協力を得ている。それら一連の調査・検討を踏まえ、本項ではライフサイエンス・臨床医学分野におけるこれからの課題とあるべき方向性について列挙したい。

〈これからの課題〉

ライフサイエンス・臨床医学分野全体にまたがる、共通課題として次の通り考えられた

①ゲノム解析拠点の整備、活用

ゲノム研究の推進(rarevariant の解析と意義の解明)、ゲノム解析拠点の形成(中国への発注から国内での受注へ)、インフォマティシャンの育成とポジション確保など、様々な重要課題が存在。

②大規模生命・臨床情報 (ビッグデータ) の活用

ヒトの phenotype と genotype の統合に向けた ICT 基盤の整備が急務、活用の方向性は幅広い(生命現象の統合理解(トランスオミクス)、健康・医療技術(ウェアラブル、モニタリング機器、医療機器)の創出、データに基づく医療提供や農林水産業の最適化等)。

③オープンイノベーションの加速 ~知の集約~

大学、大学病院、ナショナルセンター、附置研、大学附属農場におけるオープンイノベーション (大学病院、附置研、大学附属農場のあり方の検討など)、グリーンバイオクラスターの形成

④研究不正への対応 ~科学技術に対する国民の信頼回復~ 研究者教育の徹底と、研究者ノートの管理体制の整備が急務。

また、個々の重要研究テーマとしては、次の通り考えられた。

①ゲノム編集技術

基礎生命科学/創薬/治療技術/育種・物質生産などあらゆる分野の大変革をもたらしうる技術であり、国産ゲノム編集ツール開発(新規開発、改良)と知財戦略の重要性と緊急性は極めて高く、同時に適切なルール作りと社会実装も重要。

②生体上皮環境(腸内菌叢など)

生体上皮環境中の常在菌(例えば腸内菌叢)と健康・疾患との関係等に着目した研究を通じて、新しいバイオロジー/基盤技術の確立、革新的治療・予防技術や食品技術の創出など、

様々な方向性に大きなインパクトが予想され、最適な研究開発戦略の立案が急務。

③バイオメカニクス

"力"がヒトの生理的な機能に与える影響の理解にもとづく研究推進によって、例えば宇宙医学から老齢疾患への対処法など、多階層で多様な健康・医療技術への応用が期待され、最適な研究開発戦略の立案が急務。

④恒常性の理解の深化

例えば臓器間ネットワークなど、恒常性システムの理解を深めることによって、生命に関する知的基盤の構築と健康・医療技術創出の加速が期待される(既存の要素研究の統合化が必要(例:細胞・分子の品質管理、ncRNA、代謝、老化ほか))。

⑤生体リズム

時(空)間の概念が、分子・細胞~個体レベルのそれぞれの理解において重要であり、それらを通じて構築された知的基盤が、健康・医療技術開発、食料生産技術など、多くの分野と強く関係することが予想される。

⑥多階層情報の統合解析 (トランスオミクス)

オミクス情報 (ゲノム、エピゲノム、プロテオーム、メタボローム等) の統合解析を通じ、 生命の理解が深化し、また健康・医療研究や食料生産研究などの大きな加速が期待される重要な方法論。

(7)構造生命科学

わが国の競争力のあるインフラ(SACLA など)の活用によって、立体構造に基づく創薬 シーズ創出や新規バイオテクノロジー創出(ゲノム編集技術等)が期待。

⑧数理科学的アプローチによる創薬

スパコン(「京」等)を用いた分子動態シミュレーションの加速によって、将来的な創薬 の加速が期待。

9創薬関連技術

例えば DDS や剤形技術など、新規医療技術シーズや既存技術へ新たに価値を付加するという視点が重要であり、また医薬品等製造技術の革新も大きく期待。

⑩予防/治療ワクチン、アジュバント研究

作用機序等のメカニズムの理解が重要であり、経験ではなくデータベースに基づいたシーズ創出、安全性評価のためのデータベースの構築・活用、そして感染症のみならずがんや生活習慣病などの治療・予防技術として大きく期待。

①生体計測・イメージング技術

ヒトや動植物などを「生きたまま」「体の内部を」「実時間で」観測する技術への期待は高く、光学顕微鏡技術等わが国が有する世界をリードしうる先端計測技術を結集した、工学/ 生物学/医学、大学と企業等、研究開発コミュニティの連携に基づく研究開発が不可欠。

12作物增産技術

ゲノミックセレクション解析によるかけあわせ最適化とフェノーム解析の高度化、ゲノム 編集技術による品種開発。

③高機能高付加価値作物

ビタミン、カロテノイド、ポリフェノールなど機能性成分を強化した品種の開発、健康機能性表示制度の開始、「和食」の無形文化遺産への登録などの動き、メタボローム解析によ

臨床医学分野

る新品種の機能性・安全性の迅速評価。

⑭化成品原料/バイオ化学品

微生物や酵素などを活用した低環境負荷プロセスによる化学品生産の社会実装、化石資源 由来の化学品を代替する新規化合物生産経路の構築。

(E)生物多様性·生態系

バイオ技術を用いた貴金属・レアメタル等の無機物回収、DNA バーコーディングによる生物資源の探索、リスト化、生物模倣学への応用、メタゲノム解析による環境微生物叢の網羅的把握と複合微生物系の制御。

最後に、研究の社会実装の方向性として次の通り考えられた。

①個別化医療の更なる加速(予防、治療)

個人差に関する多岐にわたる情報の統合化(診療情報、健診情報、生活情報、ゲノム、各オミクス、生体画像、常在菌叢、その他バイオマーカーなど)を通じて対象の個別化・層別化の制度を高め、各対象ごとの予防法(重症化予防、先制医療、リハビリなど)および治療法の開発。

②レギュラトリーサイエンスの推進

最先端の健康・医療技術に対する、科学的エビデンスに基づいた QOL 向上と費用対効果などの客観的評価、および技術の適切な社会実装を進めることの重要性(例えば再生医療などの適切な評価・検証)。

③ビッグデータ時代のヘルスケア・医療・介護の提供体制のあり方

ビッグデータの活用により、ヘルスケア、医療、介護は大きな転換を迎えると考えられ、そのために整備・検討すべき事項としては、臨床ビッグデータの整備(電子カルテの標準化、介護のデータベース化など)、適切な個人情報保護体制および暗号化技術の実装、チーム医療のあり方(医師とコメディカルの協同)、医療資源配分の最適化(人、物、資金)、遠隔医療、在宅医療関連研究の加速と、提供体制の構築などが挙げられる。

④持続型・高効率型農業のあり方

ビッグデータの活用は、農林水産業にも大きな変革をもたらすと考えられ、例えば農業においては要素技術を結集した肥料・農薬低減、ストレス耐性賦与作物の確立、ヘリコプター、フィールドサーバーなどを用いた圃場観測システムなど、ICTを活用した農業の最適化などが挙げられる。

〈これからのあるべき方向性〉

近年、次世代シークエンサーをはじめとした計測・解析技術の急速な進展によって、膨大な生命情報が次々と生み出され続けている。また、保健医療行政で収集されているデータ(電子カルテほか)や、農林水産関連の生産活動を通じて得られるデータなど、現実社会における様々なビッグデータを活用する機運が大きく高まっている。これら状況を考慮すると、これからのライフサイエンス・臨床医学分野の推進方策について、あるべき方向性は次の通りと考えられる(図 2.2.4)。

現実の社会(集団)において得られるビッグデータの解析を通じ、取組むべき課題(テーマ)が抽出される。それら課題群に対応する生命科学研究を推進し、生命(ヒト、動物、植物、微

生物ほか)や病気のメカニズムの解明が行なわれる。そこで得られたシーズを、レギュラトリーサイエンスを十分に考慮した上で、トランスレーショナルリサーチ(橋渡し研究)によって実用可能な技術としていく。例えば、健康・医療技術であれば臨床試験/治験を推進し、食料・グリーンバイオ関連技術であれば、農作物やバイオマス植物での評価および圃場試験などを推進する。それらを通じて創出された技術は、例えば先進医療や特区における栽培などの形で小規模な集団において実践される。実践を通じて得られる様々なデータに基づいて技術やシステムはさらに洗練され、より大きな社会(集団)へ提供される。社会(集団)における実践によって生み出される多種多様なビッグデータを解析し、検証・評価を重ねることで、次の新たな課題(テーマ)が抽出され、新たな仮説が設定される。倫理面や社会における合意形成なども常に意識しながら、これら一連のサイクルを循環し続けることで、健康、医療、食、環境などの様々な分野におけるイノベーション創出が加速、最適化され、社会に与えるインパクトが最大化するものと考えられる。

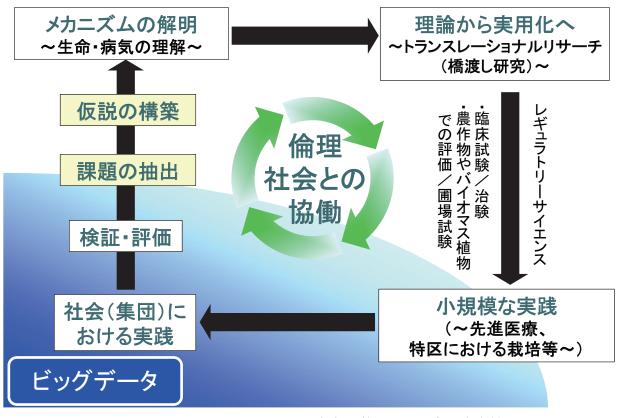


図 2.2.4 ライフサイエンス・臨床医学分野の研究の方向性

本項で概説した、ライフサイエンス・臨床医学分野の7区分、77領域が、図2.24に示すコンセプトに基づいて統合的に推進されることで、当該研究開発領域が継続的に発展・振興し、また得られた成果の社会への還元が最大のインパクトをもってもたらされるものと考えられる。

国際比較表まとめ(ライフサイエンス・臨床医学分野)

Λ_												並ん	 ₩ / 1.	命科	1.学										
		2	1	シ	バイオ	コピケンム		才	き 比	多鸦	É	イ 記		34、再生和学	Ė	届 利 学	当	肋岩道陽		4年 1	上勿寺十	(生体力学・生体工学)	バイオメカニクス	5コン シーミング	子子イメージング
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
_	基礎	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	1	0	\rightarrow	\circ	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	1	\bigcirc	1	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1
日本	応用	\triangle	→	0	1	\bigcirc	1	\circ	1	\circ	\rightarrow	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	0	1	0	1	0	1
Ċ	産業	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	\circ	1	\circ	1	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\circ	1	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1
NI.	基礎	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1
米国	応用	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow
	産業	\bigcirc	1	\bigcirc	→	\bigcirc	1	\circ	1	0	→	\bigcirc	7	\bigcirc	7	\bigcirc	1	\circ	7	\circ	→	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow
→ 1	基礎	\bigcirc	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1	0	1	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	1	\circ	\rightarrow	0	1
欧州	応用	\circ	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1
, ,	産業	\circ	1	\triangle	\rightarrow	\circ	1	\circ	\rightarrow	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1
,	基礎	\circ	1	0	1	\circ	1	\circ	1	\circ	1	0	1	\circ	1	\circ	1	0	1	0	1	×	1	\triangle	1
中国	応用	\triangle	1	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	\triangle	1	\circ	1	0	1	\circ	1	0	1	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	×	\rightarrow
	産業	\triangle	1	\circ	1	\triangle	-	\triangle	1	\triangle	1	\circ	1	\triangle	1	\circ	1	\bigcirc	\rightarrow	×	\rightarrow	×	→	×	\rightarrow
dete	基礎	\triangle	1	0	1	0	1	0	1	1	\triangle	1	\triangle	×	\triangle	→	1			0	1	×	1	0	1
韓国	応用	\triangle	→	0	7	\triangle	→	0	7	\triangle	7	0	→	0	→	0	1			\triangle	→	×	→	\triangle	→
	産業	\triangle	1	0	7	\triangle	→	0	7	\circ	7	Δ	7	0	→	\triangle	→			×	→	×	→	\triangle	→
																中国	FI .	0	1						

\													ì	次世	代表	志盤	技術	Ť											
		III SIIICO 倉事主初	cilian	村立生合和生	毒 告上方斗学		ステム	(統合オミクス解析)	トランスオミクス	親 オノイストーカー	ヾイナマー ゥ	Z	マイケコベイ	技術		ケミストリー	メディシナル	リポジショニング	ドラッグ・	(徐放化など)	剤形技術	クッ 4 練身	ノ - ^ 三 一	7	モデレ田包	ヨラル重物	デ レ 仂	1 3 3	メ
E	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
	基礎	×	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	\circ	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→
日本	応用	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	\circ	→	0	→	0	1	0	V	\triangle	→	0	1	0	→	0	→
	産業	0	1	×	7	\triangle	→	\triangle	→	0	1	\triangle	→	\circ	1	0	1	\triangle	1	0	V	×	7	\triangle	→	0	→	\triangle	1
	基礎	0	1	0	1	0	1	\circ	1	0	1	0	1	0	1	0	1	\circ	→	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	1	0	1	\bigcirc	→
米国	応用	\circ	→	0	1	0	7	0	1	0	7	0	1	0	1	0	V	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→
	産業	0	1	0	1	0	7	0	1	0	7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
	基礎	\circ	→	0	1	0	7	0	1	0	7	0	1	0	1	0	→	\circ	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→
欧州	応用	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	\rightarrow	\triangle	→	0	\rightarrow	0	→	0	1	0	→	0	→
711	産業	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	→	\circ	1	0	1	0	→	0	1	\triangle	→	0	1
	基礎	×	→	0	1	0	1	\triangle	1	0	1	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	0	1	0	→	\circ	→	\triangle	1	\bigcirc	1
中国	応用	0	1	\triangle	→	\triangle	→	×	→	0	1	-	不明	0	1	\triangle	1	\triangle	1	×	→	0	1	0	1	\triangle	1	\circ	1
100	産業	×	→	Δ	→	0	1	×	→	0	1	-	不明	0	1	Δ	1	0	1	\triangle	1	0	→	Δ	→	\triangle	1	0	1
	基礎	×	→	0	1	\triangle	→	×	→	0	1	0	1	×	→	Δ	→	\triangle	1	0	1	0	1	0	→	×	→	\triangle	1
韓国	応用	×	→	×	→	\triangle	→	×	→	\triangle	→	-	不明	×	→	\triangle	→	\triangle	1	0	1	0	1	0	→	\triangle	→	0	1
12	産業	×	→	×	→	Δ	→	×	→	\triangle	→	-	不明	0	1	\triangle	→	\triangle	1	0	1	0	1	\triangle	→	×	→	\triangle	1

Λ									-	医薬	品色								
		化分子医孪品	玉子子 医 裏 目	5年 5年	户子子 医 裏 10	高分子医妻岳(<u></u> (14 个)	高子子/毛素品 (元本)	高分二'医享告(木酉)	高子子医裏目	オノラ羽	がし色安原去	治療エグラン		近代二 治療	貴云子台寮	平 生 医 物	E	サイエンス(医薬品)	ギュラトリー
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
	基礎	0	→	\triangle	1	0	1	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1
日本	応用	0	→	\triangle	→	0	1	0	1	0	1	0	→	\triangle	→	0	→	0	1
	産業	0	→	\triangle	→	0	1	\triangle	1	0	1	0	1	×	7	\circ	1	\bigcirc	1
	基礎	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1
米国	応用	0	→	\circ	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
	産業	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→
	基礎	0	→	0	→	0	→	0	7	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1
欧州	応用	0	†	\circ	→	\circ	†	\circ	→	\bigcirc	1	0	→	0	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1
	産業	0	→	0	→	\circ	→	\circ	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1
	基礎	0	1	×	→	\triangle	\rightarrow	×	→	0	1	×	→	\triangle	→	\circ	1	\triangle	\rightarrow
中国	応用	\triangle	1	×	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	1	\circ	→	\triangle	→	\triangle	1	×	→
	産業	×	→	×	→	\bigcirc	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	-	×	→
skata.	基礎			×	→	\triangle	→	\triangle	→	×	→	×	→	×	→	0	1	×	→
韓国	応用			×	→	\triangle	→	0	1	×	→	0	→	\triangle	→	\circ	1	×	→
	産業			×	→	\circ	1	\triangle	→	×	→	\triangle	→	\triangle	→	0	1	×	→
ア	基礎	0	1																
ジア	応用	\triangle	1																
Ľ	産業	×	\rightarrow																

$\overline{}$						3	医療	・介	产護	· 福	祉格	総器			
		言图材岩	参 折幾器	治療材岩	ムコミア・東文皇子	グ記 ネネ 材 岩	度 畐 止						(医療機器)	7 \]	
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
_	基礎	\triangle	\checkmark	\circ	1	\circ	→		基礎	\circ	→		制度検討	\circ	1
日本	応用	0	→	\circ	→	0	→	日本	応用	0	→	日本	研究の推進	0	1
	産業	\circ	→	\circ	→	\circ	1		産業	\circ	→		産業動向	\triangle	→
,te	基礎	\bigcirc	→	\bigcirc	1	\circ	→	str.	基礎	0	1	NI.	制度検討	0	1
米国	応用	0	→	0	→	0	→	米国	応用	0	1	米国	研究の推進	0	1
	産業	0	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow		産業	0	1		産業動向	0	
rst.	基礎	0	→	0	1	0	1	rd.	基礎	0	1	ret.	制度検討	0	1
欧州	応用	0	1	0	1	0	1	欧州	応用	0	1	欧州	研究の推進		1
	産業	0	→	0	1	0	→		産業	0	1		産業動向		_
,-t-	基礎	0	1	\triangle	1	\triangle	1		基礎	\triangle	→	ア	制度検討	0	1
中国	応用	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1	中国	応用	\triangle	→	ジア	研究の推進		1
	産業	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1		産業	0	\rightarrow	/	産業動向		ĺ
skata	基礎	0	1	0	1	\triangle	1	北加	基礎	0	→				
韓国	応用	\triangle	1	0	1	0	1	韓国	応用	0	1				
	産業	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1		産業	0	1				
								4	基礎	0	→				
								台湾	応用	0	1				
									産業	0	1				

$\overline{\ }$																						健身	€医;	寮全	般																				\neg
		疫学	:	彷	f	カ		5	Ž.	厅	戍	*	青	礻	申	児	ţ,	į	Ē	肴]	5	Ē	シ	臓	個 另	1	う	چ ا-	医	医	傾	Ė	区	1.01				刁	1.児	疾息	長			
	\	学・コホー		循環器務患	Ē	ム		光光点	毛 支 矣 丰。	当	或杂定	不	甲矣患	本糸 彩見	圣矣甚	原覚岩彩見	言品ラミ	運動者物思	カトミュ	沙彩悬	くにと言う	医 療情幸	沃青収	ミュレーター	谷	万什医猪		P	יט י	療技術評価	医療経済評価、			医猪货隆带度	た意りを	①才児カム	% E 1%	腎疾患	②小児	発達障害	③小児神経・	アレルギー		循環器領域	⑤小児
国	71-	現状	トレ	現状	トレ	417 H3	トレンド	現状	トレ	現状	トレンド	XH 4T/	トレンド	現状	トレ	現状	トレ	2H 4Lb	トレンド	2H 4.D	トレ	現状	トレ	2H 4LL	トレンド	現状	トレンド	XH 4T/	トレ	2H 4D	トレンド	現状	トレ	現状	トレンド	現状	トレンド	20H 4LD:	トレンド	現状	トレ	2H 4Lb	トレンド		トレ
国	フェーズ	JR11	ンド	JR1N	ンド	現状	ンド	現仏	ンド	現八	ンド	·現1人	ンド	(R1)	ンド	·現1八	ンド	現状	ンド	現状	ンド	以(人)	ンド	(D)	ンド	(D)	ンド	現状	ンド	現状	ンド →	現仏	ンド	現仏	ンド	以 人	ンド	現状	ンド	·現1人	ンド	現状	ンド	現状	ンド
日本	応用	Δ	<i>→</i>		→		<i></i>	0	<i>→</i>		<i>→</i>	0	<i>→</i>	0	<i>→</i>	0	<i></i>		7		→	\bigcirc	7	0	7		<i>→</i>		<i>→</i>	\triangle	<i>→</i>		7	Δ	1	Δ	7		7		7		7		<i>→</i>
本			→	Δ	7		<i>→</i>	_	<i>→</i>			0	_	0	,	0		Δ	1		→	0	7	Δ			7		7		7		7	Δ	1	×		Δ	Ĥ	×		\wedge	<i>/</i>	\triangle	→
-	産業	X (th	-	\triangle		U	_	\circ	_	0	→	0	7	0	7	0	/	\triangle	/	\triangle	_	0	/	\triangle	→	O		0	/	\triangle		\cup	/	\triangle		×	→		→	$\stackrel{\sim}{\vdash}$	→		_	\triangle	_
	基礎	○ (出 生コホー トは○)	1	0	→	0	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	→	\triangle	→	0	1	0	1	0	→	0	1	0	\rightarrow	0	1
米国	応用	◎ (出 生コホー トは○)	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	7	0	7
	産業	0	1	\circ	1	0	1	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	0	1	\circ	7	\bigcirc	→	\triangle	1	\bigcirc	→	\bigcirc	1
	基礎	0	1	0	→	0	1	0	1	\circ	→	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	\bigcirc	→	0	→	\bigcirc	\rightarrow	0	1	\triangle	→	0	1	0	1	\circ	→	0	1	\bigcirc	→	\triangle	→
欧州	応用	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	1	0	→	0	1	0	7	0	1	0	\rightarrow	0	1	\circ	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	1	\circ	1	\triangle	→	\bigcirc	1	\circ	1	0	→	0	1	0	7	\bigcirc	1
/	産業	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	7	0	→	0	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\circ	1	\triangle	1	\triangle	→	\circ	1	0	→	×	→	0	→	\bigcirc	1
	基礎	0	1	\circ	1	\triangle	1	0	1	\triangle	1	\triangle	1	\circ	7	0	1	\triangle	\rightarrow	0	1	×	-	\circ	1	\bigcirc	→	\triangle	1	\circ	1	\triangle	1	\bigcirc	1	\triangle	1	0	1	\triangle	→	×	-	\triangle	→
中国	応用	-	-	0	1	\triangle	1	Δ	1	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	0	→	\triangle	→	\circ	1	×	-	\triangle	→	\bigcirc	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	7	\triangle	1	\triangle	→	×	-	\bigcirc	1
	産業	0	1	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	Δ	1	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	Δ	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	×	-	\triangle	\rightarrow	0	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	\triangle	1	×	\rightarrow	×	→	×	→	×	-	\triangle	→
	基礎	0	1	\circ	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	1	0	→	\bigcirc	→	\circ	1	\triangle	1	×	→	\bigcirc	1	\triangle	1	\bigcirc	1	\triangle	1	\circ	1	\triangle	7	\triangle	→	×	→	×	1	\triangle	→
韓国	応用	-	-	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	0	→	0	1	\circ	1	0	1	\triangle	→	\bigcirc	1	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1	\triangle	1	\circ	1	\triangle	1	×	→	×	→	×	-	\triangle	1
	産業	-	-	\triangle	7	\triangle	→	\triangle	→	0	→	\triangle	1	\triangle	1	0	1	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	→	0	→	0	1	0	1	\circ	1	\bigcirc	1	×	→	×	→	×	→	×	-	\triangle	→
																															7														_

CRDS-FY2015-FR-01

										グリ	- 3	/J:	イオ	-								
		作物増産技術	糸刃	守売利主農業	高核育高 作力 作作 作物	熋岜哥寸旧田直乍勿	変遷と政策対応の課題	料安全保障概念の	ノイスリンこうイブリー	イナリファイトリー	バイオ化学品	成品原料/	品原料	オ医薬品・	レアメタル回収		他一生食艺	多兼生 . 生態系	生息证 应	5		
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
_	基礎		0	→	0	→	\circ	→	0	1	\circ	1	0	→	0	1	0	→	0	→	\circ	V
日本	応用		0	→	\circ	→	0	→	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→	0	×
	産業		\triangle	→	0	→	0	→	\triangle	→	0	1	0	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→	0	→
米	基礎		0	→	0	1	\triangle	→	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→
国	応用		0	→	0	1	\triangle	→	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→
	産業		0	→	0	1	\triangle	\rightarrow	0	1	0	1	0	→	\triangle	1	0	→	0	→	0	A
欧	基礎	右表	0	1	0	→			0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
州	応用	参照	0	1	0	→			0	1	0	1	0	→	0	1	\circ	→	0	1	0	→
	産業		\triangle	→	0	→			0	1	0	1	0	→	0	1	\triangle	1	0	→	\circ	→
中	基礎		\bigcirc	1	0	1	最	下段	0	1	0	1		1	0	1	0	1	\triangle	1	×	Ä
国	応用		\circ	1	0	1	参		0	1	0	1	0	→	\triangle	→	0	1	0	1	_	1
	産業		0	1	0	1			0	1	0	1		→	Û	1	\triangle	→	Δ Λ	→	Δ	1
韓	基礎		×	→		→			0	1	0	1	0	→	\triangle	→	0	1		1	×	→ →
玉	応用産業		×	<i>→</i>	Δ	_			\triangle	<i></i>		1	Δ	→		→	Δ	<i>↑</i>	Δ	<i>≯</i>	0	<i>→</i>
	座米		^	_	\triangle	_	0	7		_	0							7			0	<i>→</i>
						英		<i>→</i>								豪州	0	<i>′</i>		その		1
						玉	Δ	<i>-</i>								州		<i>-</i>		他		1
							0	1											ļ			
						FAO		→														
						0	0	→														
						01	0	→														

		穀物	_			穀物	_			穀物	_
	基	0			基	0			基	\triangle	
	礎研	野菜	→		礎研	野菜	1		礎研	野菜	Т
	究	果樹	→		究	果樹	→		究	果樹	ī
		☆穀物								穀物	
		☆	→			秋初	→			☆	-
日	応用	野菜		欧	応用	野菜		韓	応用	野菜	
本	研究	0	→	州	研究	0	→	玉	研究	0	
	76	果樹	→		76	果樹	→		76	果樹	_
		穀物				穀物				穀物	
		×	_			0	→			×	
	産業化	野菜	→		産業化	野菜	→		産業化	野菜	7
		果樹				果樹				果樹	
		×	_			0	_			\triangle	
		穀物	7			穀物	7				
	基	0			基	0					
	基礎研究	野菜	→		基礎研究	野菜	1				
	九	果樹	→		九	果樹	7				
		0				0	_				
		穀物	1			穀物	1				
米国	応用研	野菜	→	中国	応用研	野菜	7				
	究	果樹	→		究	果樹	→				
		穀物				穀物					
		0	→			\(\triangle \)	1				
	産業化	野菜	7		産業化	野菜	7				
	10	果樹	→		10	果樹	1				

作物増産技術

							ヒ	トと	社会	Š							
		ヒト由来試料		社会的課題	半) 論里り、たり、 幹細胞・再生医科学に	肝·		学兵器、バイオテロ対策	バイナセキュリティ、上勿ヒデュアルユース、	石多作五		アウトリーチ	リテラシー・	被馬老伊記	安安全不生	糸 ラ 其 B 男 ・ メ ご ・	冬末明医療・アア
	研究水準	0	→	0	1	0	7	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	1	\triangle	1
日本	政策対応	Δ	→	0	1	\triangle	→	0	→	0	1	\triangle	→	\circ	1	\triangle	→
	社会対話	0	→	\triangle	1	\triangle	→	\bigcirc	7	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→
NI.	研究水準	0	→	\bigcirc	1	0	→	0	1	\circ	\rightarrow	п-	r- κπ.	\bigcirc	→	\triangle	→
米国	政策対応	0	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow		F段 照	\bigcirc	→	\triangle	→
	社会対話	0	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	_	,,,,,	\bigcirc	→	\triangle	→
→	研究水準	0	→	\bigcirc	1	0	→	0	1	\circ	\rightarrow	0	→	\bigcirc	→	0	→
欧州	政策対応	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	→	0	→	\bigcirc	→	\bigcirc	-	\bigcirc	1	\bigcirc	→
	社会対話	0	→	\circ	1	\triangle	→	0	1	\circ	\rightarrow	0	-	\circ	→	\triangle	→
	研究水準	Δ	1	\bigcirc	1	×	→	\triangle	→	×	→	0	1	\triangle	→	×	→
中国	政策対応	△ (一部○)	→	-	\rightarrow	×	→	0	→	0	→	0	1	\triangle	→	×	→
	社会対話	Δ	→	-	-	×	→	0	→	×	→	\bigcirc	1	×	→	×	→
dorte	研究水準	\triangle	7	\circ	1	\triangle	7	\triangle	†	\triangle	→	0	1	\triangle	1	\triangle	→
韓国	政策対応	0	1	\bigcirc	1	\triangle	†	0	†	0	1	0	1	\bigcirc	1	\triangle	→
	社会対話	\triangle	→	\bigcirc	1	×	†	0	→	\triangle	1	0	1	\triangle	1	\triangle	→

(註1) フェーズ 基礎…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…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…産業化フェーズ:量産技術・製品展開力のレベル

(註 2) 現状 ※わ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。

②:他国に比べて顕著な活動・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 フ:上昇傾向、→:現状維持、\\\ :下降傾向



研究開発の俯瞰報告書(2015) ライフサイエンス・臨床医学分野の概要

JST 研究開発戦略センター ライフサイエンス・臨床医学ユニット

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」分野の定義を次の通り設定し、俯瞰調査を実施
- ー生物圏におけるヒトを含む生物の生命現象の解明 と、この知見をヒトおよび地球(環境)の「健康」につな げる科学技術(ジオヘルスイノベーション)

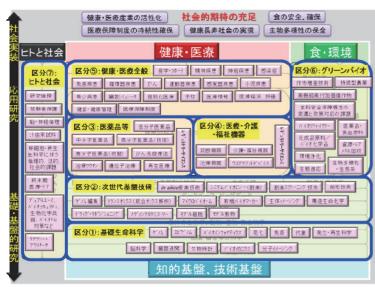


図. 調査範囲(計7区分、77領域)

<本分野の変遷>

構造科学

1950'

1990

全ゲノム解析技術の登場以降、 ビッグデータに基くアプローチ

によって、基礎生命科学、



図. 分野の変遷

ヒトゲノム

解読、艺

2000'

本分野のあるべき方向性

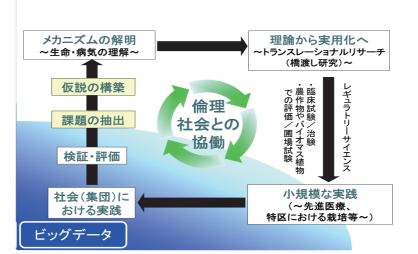


図. 現実の社会(集団)で得られるビッグデータ解析を起点とした、これからのライフサイエンス・臨床医学研究開発のあるべき方向性

わが国におけるこれからの重要項目

<本分野全体の共通事項>

| ①ゲノム解析拠点の整備、活用

rare variantの解析と意義の解明、ゲノム解析拠点の形成(国内受注)、インフォマティシャンの育成とポジション確保など

②大規模生命・臨床情報(ビッグデータ)の活用

ヒトのphenotypeとgenotypeの統合に向けたICT基盤整備など

③オープンイノベーションの加速 ~知の集約~

大学、大学病院、ナショナルセンター、附置研、大学附属農場に おけるオープンイノベーション

④研究不正への対応 ~科学技術に対する国民の信頼回復~研究者ノート管理体制の整備、研究者教育など

<個別重要項目>

- ①ゲノム編集技術、②生体上皮環境(腸内菌叢など)
- ③バイオメカニクス、④多階層情報の統合解析(トランスオミクス)
- ⑤恒常性の理解の深化、⑥生体リズム、⑦構造生命科学
- ⑧数理科学的アプローチによる創薬
- ⑨予防/治療ワクチン、アジュバント研究
- ⑩生体計測、イメージング技術、⑪作物増産技術
- (12) 高機能高付加価値作物、(13) 化成品原料/バイオ化学品
- (4)生物多様性/生態系、(5)個別改良の更なる加速
- (16)レギュラトリーサイエンスの推進
- ①ビッグデータ時代のヘルスケア/医療/介護の提供体制
- ®持続型/高効率型農業のあり方

国際比較、主な動向(概要)

В

本

- ・基礎研究の水準は2位グループ
- ┃・研究インフラには一定の競争力(SACLA、スパコンなど)
- ┃・応用研究、成果の産業化が弱い
- ・健康・医療関連のファンディングを担うAMED:日本医療研究開発機構 が発足(2015年4月)
- ・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
- ・ベンチャー基盤が充実、産学官の活発な連携(AMPほか)、NIHによる 橋渡し加速(NCATS設立、2011年)
- Precision medicineの推進(大統領一般教書演説、2015年)
- 欧州全体で研究開発戦略を策定し推進(Horizon2020(2014~)
- 英独仏を中心に基礎研究が強い
- ・基礎研究の産業化は米国と同等か若干劣る程度だが、近年産学官 連携が盛ん(IMIほか)
- ・臨床試験は国境を越えて実施
- ・オランダのフードバレーは、産学官連携の研究開発を顧客志向で行
- い、農産物輸出超過の原動力に

・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などにより、研究開発の量(質)は上昇傾向

メカニズムの解明

現在

建岩油型

今後

- ・ライフサイエンス分野に対する活発な取り組み(BGIなど)
- ・諸外国の企業や研究機関が、 中国を研究拠点として活用
- ・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
- ・国内種子企業の事業加速の ため、ゴールデンシードプロ ジェクトが開始

2.3 ナノテクノロジー・材料分野

ナノテクノロジー・材料分野は、環境、エネルギー、健康・医療、社会インフラ、情報通信・エレクトロニクスなどの分野に対し、横断的技術として革新をもたらすイノベーションのエンジンである。また、多様な産業分野の未来を先導する基盤技術としてのポテンシャルも有しており、大きな社会的期待を担う。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、その結果をベースにして、さらにグローバルな社会的期待や研究開発動向等を踏まえて、今後の日本の諸課題や進むべき研究開発戦略の方向性について言及している。

2.3.1 分野の範囲と構造

2.3.1.1 定義と特徴

■ナノテクノロジーの定義と特徴

ナノテクノロジーの特徴を明確に表現するため、ナノテクノロジーを以下のように定義する。

[ナノテクノロジー]

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

上記の定義にかかわる学術領域はすべてナノテクノロジーとして融合の対象となることから、異分野の融合はナノテクノロジーの最も大きな特徴であり、融合によって新しい技術領域が生まれる。正確には、学術的領域をナノサイエンス、技術的領域をナノテクノロジーと呼ぶべきであるが、一般的に、両方をあわせてナノテクノロジーと称することが多く、本報告書でもこの考え方を採用する。

上記の定義にかかわる学術領域はすべてナノテクノロジーとして融合の対象となることから、異分野の融合はナノテクノロジーの最も大きな特徴であり、融合によって新しい技術領域が生まれる。正確には、学術的領域をナノサイエンス、技術的領域をナノテクノロジーと呼ぶべきであるが、一般的に、両方をあわせてナノテクノロジーと称することが多く、本報告書でもこの考え方を採用する。

■材料の定義と特徴

材料とは何らかの有用な機能を有する物質であり、材料技術は、物質科学をベースに工学的 応用を図る技術である。工業で用いられる材料は、元の原料によって大きく次の4つに分けら れる。

- 1. 「金属材料」: 鉄鋼やアルミニウムなどの金属、ステンレスなどの合金、アモルファス合金、あるいは、金属ガラスなど
- 2. 「無機材料」: セラミックスやガラス、非金属元素単体または金属元素と非金属元素の化合物など
- 3. 「有機材料」: 炭素を主要元素として、酸素、水素、窒素原子などで構成される物質の総称。プラスチックを中心とした高分子物質や有機 EL などの電子材料、自

己組織化を利用した超分子集合体やゲル等を含む。

4. 「生物材料」: 生物に由来する材料。主にタンパク質や核酸、糖鎖など

今日において材料技術は、ナノメートルの領域にまで踏み込んだ組織制御技術、高分解能電子顕微鏡・走査型プローブ顕微鏡などのサブナノメートルにおよぶ高精度計測、第一原理電子 状態計算による構造および機能の予測、シミュレーションによる解析技術を柱として、さらに 進化し続けている。

2.3.1.2 俯瞰図

ナノテクノロジー・材料分野は、物質科学、光科学、生命科学、情報科学、数理科学といった基礎科学をベースに、ナノスケールで生ずる現象を取り扱う科学として発展してきたナノサイエンスを土台に置いている。ナノサイエンスという土台の上に、共通基盤技術が構築され、それが具体的に物質・材料へと適用されることで、デバイス・部素材が開発され、最終的に環境、エネルギー、健康・医療、社会インフラ、情報通信・エレクトロニクスなどの分野に対し、横断的に革新をもたらすイノベーション・エンジンとして機能している。これらの全体像を俯瞰図として図 2.3.1 に示す。

近年になってナノテクノロジーの進展と同期して、物質科学、情報科学、生命科学、光科学、 数理科学におけるナノスケールの現象に関係した知識体系が組み合わさったナノサイエンスが 構築されている。ナノサイエンスという土台の上に展開される共通基盤は、製造・加工・合成、



図 2.3.1

計測・解析・評価からなる技術群、さらには理論・計算から構成されている。その上位レイヤーとして設計・制御があり、そこに分子技術や、界面・空間制御、インフォマティクスなどのナノテクノロジー・材料全体に関与する特有の概念を位置付けている。これらの共通基盤は、物質・材料に具体的に適用されていくものである。物質・材料のレイヤーは、ナノテクノロジー・材料分野における基本的な物質・材料群である基盤領域と、新たに登場してきたナノテクノロジー特有の複合化や階層化、あるいは機能化した物質・材料群である新興・融合領域から構成される。

物質・材料を組み合わせることでデバイス・部素材が構築され、多様な部素材・デバイスを応用目的に応じて、エネルギー・環境分野、健康・医療分野、社会インフラ分野、情報通信・エレクトロニクス分野に分類、配置している。個々の部素材・デバイスの中には、複数の分野で役割を果たすものも多く存在するが、ここでは代表分野に集約して記載している。社会インフラ(水、電力、交通、通信)としては、当然、エネルギー分野、情報通信分野とも重なってくるが、ここではシステムとしてのウエイトの高いものを社会インフラ分野に分類している。

部素材・デバイスは最終的にはシステムとして組み上げられ、製品性能、量産性、コスト競争力、信頼性、安全性はもとより、環境負荷、省エネ、リサイクルといった特性も視野にいれ、市場あるいは社会が受容できるかの判断がなされる。そこを通過することで、初めて社会実装がなされ、地球規模の課題解決、国際的な産業競争力、我々の生活の質の向上といった目的を果たすことになる。

なお、俯瞰図には、研究・技術開発を進める上で施策として重要となる、融合連携促進策や

俯瞰区分	研究開発領域	植	区分	研究開発領域						
ベル ヤー	太陽電池 人工光合成 燃料電池 熱電変換 蓄電デバイス パワー半導体デバイス グリーン触媒			界面制御 空間・空隙構造制御 バイオミメティクス 分子技術 分子ロボティクス 元素戦略・希少元素代替技術 マテリアルズ・インフォマティクス						
Marine Committee	生体材料 (バイオマテリアル) 再生医療材料 薬物送達システム (DDS) 計測・診断デバイス バイオイメージング 分子イメージング	共通書盤/科学技術	プロセ	トップダウン型プロセス(半導体超微細加工) ボトムアップ型プロセス(自己組織化等) 走査プローブ顕微鏡 電子顕微鏡						
社会イン フラ	構造材料(金属) 構造材料(複合材料) 分離機能材料 放射性物質除染、減容化 高温超伝導(線材)		理論、 計算 EHS、 ELSI	放射光・X線 その他の主要な計測技術 物質・材料シミュレーション リスク評価・リスク管理・リスクコミュニケー ションと社会受容						
俯瞰区分										
I C T・ 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 スピントロニクス 二次元原子薄膜 フォトニクス 有機エレクトロニクス MEMS 異種機能三次元集積チップ	発	グローバル、国内の社会的期待や研究発動向等を踏まえ、3章の研究開発的として41領域を選定							

図 2.3.2

インフラ整備、人材育成策、EHS(環境・健康・安全)および ELSI(倫理的・法的・社会的課題)などの共通課題を、図面右の欄に「共通支援策」としてまとめて記述してある。

本報告書では、本文中に記載した国内外の研究開発動向、環境動向などを全体的に把握した うえで、ナノテクノロジー・材料分野において少なくとも今後10年間定常的に注視すべき研 究開発領域として、41の領域を抽出した(図2.3.2)。

2.3.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性

2.3.2.1 分野の変遷

■材料の進化

金属、プラスチック、セラミックス、半導体など、多様な材料が新たに出現することにより 社会の変革がもたらされてきた。鉄鋼を中心とする構造材料が18世紀の産業革命を支え、ジュ ラルミンなど軽量合金が航空機時代をもたらした。ナイロンの発明は日常生活とりわけ衣料・ 服飾界に革命を招来し、半導体を始めとする電子材料は情報通信の飛躍的発達をもたらした。 「材料科学技術」が新しい機能を持つ材料や飛躍的な性能向上をもたらす材料を生み出し、時 代を切り拓いてきたと言えよう。幸い、日本はこれまで、物質・材料研究を積極的に進め、新 材料技術の開発では世界に先行する場面が多く、部素材の基幹産業を支え、新しい産業を生み 出してきた。図 2.3.3 には、日本が誇る材料研究による社会的・経済的なインパクトの大きな 主要事例、図 2.3.4 には、世界が注目する代表的な日本の科学技術成果例を示す。

希土類元素や希少金属のように埋蔵量が少なく産出国が限定される元素が、日本の産業に

日本が誇る材料研究による社会的・経済的なインパクト

磁石

本多光太郎(世界初合成磁石@1917) 佐川眞人(世界最強の永久磁石@1984) →モーター、電気自動車、風力発電、HDD

超伝導材料

前田弘(Bi系110K超伝導、線材応用@1988) 秋光純(40K金属系超伝導@2000) 細野秀雄(32K鉄系超伝導@2008)

→超電導線材、超高磁場NMR

カーボンナノチューブ

飯島澄男(カーボンナノチューブ発見@1991) 遠藤守信(CVDによる大量合成)

→Liイオン電池材料、タッチパネル

スピントロニクス

岩崎俊一(垂直磁気記録方式@1977) 宮崎照宣(TMR素子室温動作@1995) 湯浅新治(MgOバリアで巨大MR@2004) →超高密度磁気ストレージ、MRAM

光触媒

本多健一、藤嶋昭(TiO2光触媒@1968) →光触媒コーティング、環境浄化 (@1994 by橋本和仁)

触媒(有機合成)

根岸英一、鈴木章(クロスカップリング反応@ 1970年代)

野依良治(不斉合成反応@1986)

→創薬、農薬、香料、アミノ酸

青色LED, LD

赤崎勇、天野浩(GaN単結晶、p型ドープ @1989)

中村修二(高輝度青色LED、LD@1993)

→LED照明、ディスプレイのバックライト、信号機

酸化物材料

細野秀雄(IGZO材料開発、TFT動作@2004)
→透明電極、LCD・OLEDディスプレー駆動TFT

その他にも、リチウムイオン電池(吉野彰)@1983、Erドープ光ファイバー増幅器(中沢正隆)@1989等。 これまでにノーベル物理学賞受賞者10名、化学賞受賞者7名。

図 2.3.3



図 2.3.4

とって重要な電子部品、触媒材料、構造材料、磁性材料の性能や機能、コストを決定づけているケースが多い。2006 年、中国が資源保護計画を発表したこともあり、これらの材料の使用量削減、代替を進める必要性が、クローズアップされ、緊急の課題になった。翌2007 年には、省庁間で本格的に連携する初めての共同プロジェクトとして文部科学省の「元素戦略プロジェクト〈産学官連携型〉」と、経済産業省の「希少金属代替材料開発プロジェクト」がスタートした。2012 年には「元素戦略プロジェクト〈研究拠点形成型〉」という大型プロジェクトを新たに開始している。

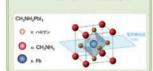
一般に、物質・材料の発見から応用技術が開発され、試作品の完成、信頼性の確保、量産化技術の開発を経て世に出るまでは通常 15~30年といった長い年月を要する。最近、大規模に構築されつつある材料のデータベースをより充実させ、進展著しい計算科学や情報科学を駆使することで物質・材料に関する未知の知識発見を可能とし、材料科学に革新をもたらすマテリアルズ・インフォマティクスと呼ばれる効率的な新物質探索・材料設計の新しい手法確立の動きが欧米で盛んになっている。米国ではマテリアル・ゲノム・イニシアチブという国家プロジェクトが打ち立てられ、年間 100 億円規模の資金が投じられている。これらの動向に対する日本の戦略的な取組みが早急に必要になっている。

今、地球規模での持続性に関わる課題解決に向け、材料技術によるイノベーションへの期待は高いが、それを牽引するキーテクノロジーとしてナノテクノロジーの果たすべき役割は大きい。物質中のナノスケールでの現象の理解、制御をベースにメソ、マクロのスケールへと発展させる技術開発、ナノスケールでの要素機能を複合化し、新たな機能を生み出す複合材料の技術開発が求められている。図 2.3.5 には、現在における世界的な研究開発トレンドを挙げている。

世界的な研究開発トレンド

有機無機ペロブスカ イト太陽電池

有機-無機複合物質 による太陽電池の新 しい可能性に期待。



臓器チップ

複数の臓器チップを 組み合わせ創薬、病 態解析に向けた 「Body-on-a-Chip」 の実現も期待される。

トリリオンセンサ

IoT社会(社会インフラからヘルスケアまで)の多様な革新的センサデバイスの開発が期待される。

量子コンピュータ

量子アニーリングに 基づく量子コンピュー タが実用化。今後最 適化問題等で劇的な 高速化の期待も。

多孔性材料(金属有機構造体)

構造に高い空隙率を有し、 ポーラス性と電子伝導・イオン伝導特性を両立した革新 的な機能材料が期待される。



二次元原子薄膜材料 (グラフェン等)

電子の高移動度等からポストシリコンとして、精力的な研究対象となったグラフェンから、h-BN、MoS2などの機能性原子薄膜とグラフェンとのヘテロ接合による、いわゆるポストグラフェン研究へ。

トポロジカル絶縁体

三次元物質の表面に中身(絶縁体)と異なる二次元電子状態が自発的に現れる。グラフェンと同様な電子が示す高移動度だけでなく、スピン方向の揃った流れを発生でき、beyondグラフェンとして期待される。

図 2.3.5

■ナノテクノロジーの進化

科学技術の進歩により、20世紀後半は驚異的な経済発展が遂げられた世紀である。その先駆けとなったのが量子力学という物理学上の新概念の登場であろう。量子力学をベースに物理や化学といった学問分野に大きな発展があり、特に第2次世界大戦後はそれらの学問をベースにした工学が発展し、新技術が生まれ、半導体産業をはじめ多くの産業が開花した。

このような先端技術の流れの中で、ナノレベルのサイズを意識した先見性のある言葉としてノーベル物理学賞を受賞した米国のファインマンのコメントが良く引用される:"There's a plenty of room at the bottom"。1959 年、米国物理学会の講演で原子分子レベルの現象を扱う科学の可能性を予告したものである。その3年後の1962年、久保亮五(当時、東京大学)は金属微粒子における量子サイズ効果を理論的に計算し、ナノサイズになると通常のバルク(体積の大きな)金属とは異なる性質が現れることを示した。これは、ナノ効果の最初の具体的な理論予測といえる。他にも1960年代には、日本の大きな貢献として、トンネルダイオードでノーベル物理学賞を受賞した江崎玲於奈の半導体超格子の提案と実験(当時、米国IBM研究所、1969年)がある。1974年の生産技術国際会議において、谷口紀男(当時、東京理科大学)が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を用いて、技術の概念提唱を行っている。

1990年代になると、冷戦構造が終結し、米国における軍用技術であった GPS や ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) と呼ばれる通信ネットワーク技術などが民用化された。アーパネットはインターネットに進化して人々の生活に大きな影響を与えるようになる。先に述べた半導体の微細化技術の進展により、電子機器のデジタル化とともに、イン

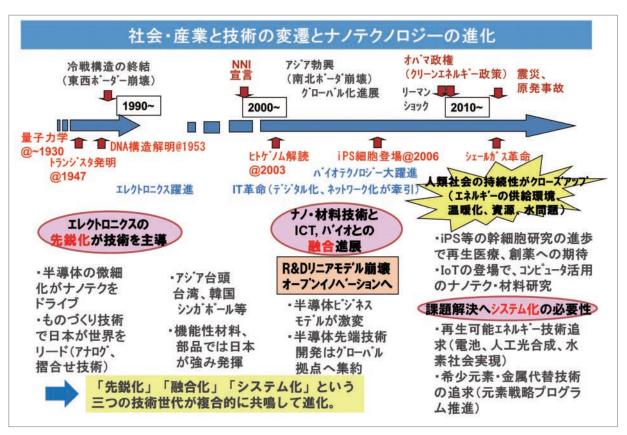


図 2.3.6

ターネットを中心に進展する情報のネットワーク化が、その後のIT革命の牽引役を務めた。 1000年代後半以降、半道体の微細化限界が顕在化するにつれ、それを空破する技術革新

1990年代後半以降、半導体の微細化限界が顕在化するにつれ、それを突破する技術革新が求められるようになる。同様にハードディスクなどのストレージの世界でも半導体の Moore の法則を上回るスピードで、記憶ビット領域の微細化、記憶容量の大規模化が進み、技術革新が常に求められた。これらがナノテクノロジーの研究開発をドライブしており、IT 革命を支えるナノエレクトロニクスの研究がこの時代の中心的テーマでもあった。

2000年になると米国クリントン大統領が「国家ナノテクノロジーイニシアチブ(National Nanotechnology Initiative: NNI)」宣言を発する。米国は当時のIT 革命を支える情報通信技術やソフトウェア技術やバイオテクノロジーの分野で、他国の追随を許さず、それらの技術が生み出す産業分野で独走状態にあった。一方で、21世紀の先端技術産業を展望すると、物質科学に裏打ちされたナノスケールのものづくり技術の重要性がクローズアップされつつあった。当時、既に物質科学をベースとする新しい技術として、カーボンナノチューブや GaN 青色発光素子などが日本で生まれており、21世紀も米国が経済的、軍事的な覇権を握るためには物質科学をベースとするナノテクノロジー分野の技術開発競争で世界をリードすべきとの強い危機意識が、NNI 宣言につながっている。

2000年頃から、バイオ分野において、ヒトゲノムの解読をきっかけにして、科学技術の大きな躍進が見られるようになってくる。この生命科学の進展に対して情報科学、物質科学の研究者達が関心を持ち始め、多くの研究者がバイオ分野における研究開発に参加するようになる。その後の生命科学分野の進歩は著しく、iPS細胞の創出を始め、教科書を書き換えるような新しい発見や新しい技術の獲得が次々と起こっており、まさに100年前の量子力学の創生期を彷

佛させる。現在の先端技術産業を支える物質科学の源に量子力学のベースがあることを考えると、この生命科学分野の膨大な知の蓄積が人類にもたらす恩恵は計り知れない。量子力学という新しい学問分野の出現からそれを産業として現在まで発展させるのに人類は100年余を要したが、これまでに物質科学をベースに発展してきた分子・原子レベルの計測技術、シミュレーション技術、ナノスケール微細加工や物質合成技術といったナノテクノロジーが強力な研究開発支援ツールとして機能し、はるかに短い時間スケールで、生命科学における知の蓄積が、医療・診断・健康といった社会・産業技術として開花するものと期待される。遺伝子、RNA、タンパク質、代謝産物等から得られる生体情報を数値化・定量化するための技術やデバイス・装置のほとんどが、ナノテクノロジーや材料技術の寄与なくしては実現不可能なものである。

IT 革命の恩恵を受けて、この 20 年間に我々の生活は驚くほど豊かになったが、一方で、人類社会の持続性に関わる重大で根源的な課題に我々は直面している。それらは化石燃料から発せられる CO_2 をはじめとした温室効果ガスに起因する地球温暖化問題、地球全体のスケールでの人口増大や経済活動のグローバル化に起因するエネルギー、食糧、資源の枯渇問題、環境汚染問題などである。この解決には科学技術の総力をあげた取組みが不可欠であり、中でも物質科学をベースに情報科学、生命科学を融合して技術的なイノベーションを引き起こそうとするナノテクノロジーの役割がとりわけ大きい。

以上のように、時代の要請、技術の進展に伴って、ナノテクノロジーの役割は進化していった。その進化の過程は技術の先鋭化→融合化→システム化と辿っていくが、新しい技術の登場、新しい社会的課題の顕在化によって、上記の過程が繰り返され、それらは重層的、階層的に世代推移をしていく。

ナノテクノロジー進化の第一は、「ナノの先鋭化」であり、各要素技術のナノスケールの極限性能への追求であり、新しい概念も登場させながら、不断に研究開発を継続していく必要がある。

第二は、「ナノの融合化」で、極限にまで先鋭化された要素技術同士の学際的な研究を通して異分野融合が惹起され、他の技術と結合して新機能を有する新しい融合ナノテクノロジーに進化する段階であり、個々の材料の性能追求だけではなく、デバイス、あるいはシステム全体の性能向上に向けた構成要素材料群の最適化が必要であり、融合化技術が不可欠となっている。第三の「ナノのシステム化」は、先鋭化した諸々の要素技術やそれらが融合して新しく生まれた融合ナノ技術をシステムへと統合的に構成していく進化の段階である。「ナノシステム」は、ナノテクノロジー・材料分野の要素概念・要素技術と他分野の概念・技術とを集積(統合・融合)し、全体として重要課題の解決に資する高度な機能を提供する部品・装置・システムとして定義される。これは、ナノテクノロジーの要素概念ではなく、要素が集積されてひとつのシステムとしての機能を持つに至る過程と結果を含む概念であり、価値創出の最終ステージと位置づけられる。

2.3.2.2 主要国の基本政策

図2.3.7 に、世界主要国の2011年以降のナノテクノロジー・材料に関する国家計画をまとめた。 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。米国ではイノベーションのエンジンとして位置付けた。2006年以降、

	主要国の国家戦略
国	ナノテクおよび材料の基本政策
日本	◆第4期基本計画では共通基盤として位置づけ/特化したイニシアチブは無かったが、イノベーション総合戦略(2014)において新たに横断領域として位置づけ。2015年以降の扱いが鍵
米国	◆National Nanotechnology Initiative(2001-) -第4期新戦略プラン(2014-)。省庁横断テーマとして5つの重点領域「シグニチャーイニシアチブ」を設定
**************************************	◆Materials Genome Initiative (2011-) -実験ツール、計算機、データの連携により、研究室での新材料の発見から製造までの時間を半減
欧州	◆Horizon 2020 (2014-) -産業課題のKey Enabling Technologies (KETs) として、ナノテクノロジー、先進材料、マイクロ・ナノエレクトロニクス、フォトニクス、先進製造が選定
中国	◆国家中長期科学技術発展計画網要(2006-2020) -先端技術8分野の一つに「新材料技術」、重大科学計画4分野の一つに「ナノ研究」 -第12次5か年計画の戦略的新興産業の一つに「新素材」
韓国	◆第三次科学技術基本計画(2013-2017) -30重点国家戦略技術の一つに「先端素材技術(無機、有機、炭素等)」 ◆ナノテクノロジー総合発展計画(2001-)2011年から3期目(ナノ融合2020) -研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の3つの柱。

図 2.3.7

アジア諸国、BRICs など、多くの新興国が同様にナノテクノロジー国家計画を策定し、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。マレーシア、ベトナム、タイ、イランも同様のナノテクノロジー国家計画を策定しており、現在は数十か国に達している。

(1) 日本

2000年に入ってから世界の主要国でナノテクノロジーへの大規模な国家投資戦略がスタートしたが、それに先立ち、日本は、1980年代から科学技術庁と通商産業省が重層的にナノテクノロジーの国家プロジェクトを走らせていた。具体的には、科学技術庁所管の新技術事業団(現在の科学技術振興機構)が1981年から創造科学技術推進事業(後に戦略的創造研究推進事業 ERATO)として始めた林超微粒子プロジェクト(1981~1986年)と他10件以上のプロジェクト、そして通商産業省所管の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が大型プロジェクトとして1992年に発進させた「原子分子極限操作技術」(アトムテクノロジープロジェクト)(1992~2002年、260億円/10年)がある。これらは、いずれも、日本政府が科学技術戦略を本格的に構築し始めた第1期科学技術基本計画策定(1996年)以前にスタートしたプロジェクトである。

日本では上記のような経緯があったため、米国 NNI の発進とほぼ同時期にナノテクノロジー・材料の国家計画が比較的順調にスタートした。内閣府に総合科学技術会議が設置されて以後、第2期科学技術基本計画(2001~2005年度)と第3期科学技術基本計画(2006~2010年度)においては、「ナノテクノロジー・材料」を含む重点推進4分野および推進4分野が選定され、ライフサイエンス、情報通信、環境とともに、10年にわたって優先的な資源配分を受けた(図2.3.8)。

これら重点4分野が政策課題対応型の研究開発として重点化されていたにもかかわらず、分野別推進戦略が強調されて、政策も分野ごとに独立に立案される弊害があった(科学技術・ 学術審議会基本計画特別委員会中間報告/2009年12月25日)。このような縦割りを解消す るための総合調整を図る機能が、行政システムとして十分に働かなかったという指摘がある。これにより、それぞれの分野別推進戦略が総合戦略化されず、このことが、第3期科学技術基本計画の3つの理念、6つの大目標という政策目標を達成する上で支障をきたした可能性が高い。特に本来の「ナノテクノロジー・材料」は、ライフサイエンス、情報通信、環境など、他の分野を横串的に横断する融合分野となることを期待されており、戦略遂行上の影響は大きかった。

第3期(2006~2010年度)は、5領域「ナノエレクトロニクス領域」、「ナノバイオテクノロジー・生体材料領域」、「材料領域」、「ナノテクノロジー・材料分野推進基盤領域」、「ナノサイエンス・物質科学領域」に重要な研究開発課題を設定し推進し、主な成果・取組として、下記のものが挙げられている。

- ●国家基幹技術「X線自由電子レーザー」、「ナノテクノロジー・ネットワーク」等のインフラの整備
- ●日本初のオープンイノベーション拠点「つくばイノベーションアリーナ」(TIA nano) による産学官連携の強化
- ●府省連携プロジェクト:『元素戦略プロジェクト』(文部科学省)と『希少金属代替材料 プロジェクト』(経済産業省)の着実な進捗等

分野推進戦略の縦割りという弊害にもかかわらず、日本は連綿として継続してきたナノテクノロジーへの投資効果がようやく諸所に顔を見せ始めている。

第4期基本計画(2011~2015年度)においては、第3期の反省に立って、科学技術の重

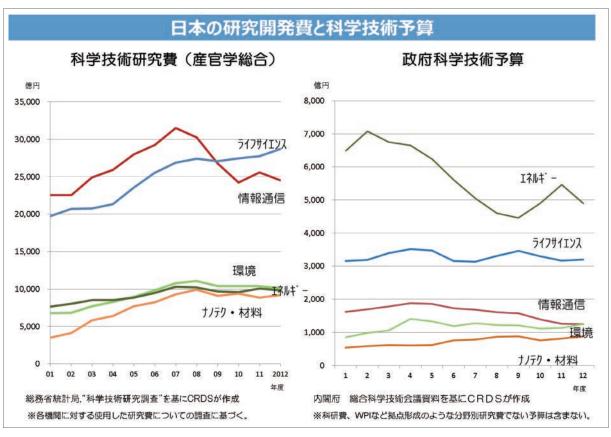


図 2.3.8

点領域型(ボトムアップ型)から社会的期待に応える課題解決型(トップダウン型)の政策へと舵が切られた。その中で、ナノテクノロジー・材料領域は、政策課題三本柱の横串的横断領域と位置付けられている。このことは領域の横断的な性格から考えれば妥当な位置づけであり、第3期の反省の上に立った改善になっている。しかしながら、このような横断領域は、第4期基本計画においては独立した戦略イニシアチブとして設定されなかった。そのため、日本の第4期基本計画においては、横断的な基盤科学技術が三つの戦略政策課題ごとに個別に貼り付けられることによって過去10年にわたってイニシアチブとして形成されてきた学術・技術分野のネットワークが分断されたおそれがある。このことは、国際的にも「日本では基本政策においてナノテクノロジーが重点化されなくなった」と諸外国が認識する事態ともなった。各政策課題と、それらを解決する技術分野群とをマトリックスとしてどうバランスよく結合させ、ネットワークを維持しつつ全体を推進していくのか、関係部署での協調と調整が必須である。

その後、日本再興戦略にともなって閣議決定された科学技術イノベーション総合戦略2014では、ナノテクノロジーは産業競争力を強化し政策課題を解決するための分野横断的技術として重要な役割を果たすという旨が明記された。第5期科学技術基本計画においても、科学技術政策体系における位置付けを明確にした上で一層の強化を図ることが求められる。

(2) 米国

National Nanotechnology Initiative : NNI

20 省庁が参加する省庁横断の国家イニシアチブであり、大統領府に存在する OSTP (Office of Science and Technology Policy) に設置された「NSET (Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommittee」で、OMB(行政管理予算局)も参加の下、企画・推進されている。2001 ~ 2005 年度の第 1 次 NNI 戦略プランに始まり、2014 年度から第 5 次の新たな NNI 戦略プランが発進している。戦略目標は一貫して、①世界トップの知識・技術創出、②産業への技術移転支援、③教育、将来の熟練労働力の確保、インフラ整備、④ EHS・ELSI 対策、である。

NNI の 2015 年度予算は約 15 億ドル(要求額 / 26 省庁・部局)である(図 2.3.9)。連邦政府の総投資額は 120 億ドル(約 1 兆円)に達している。とくに、グリーン・ニューディールでエネルギー関係に大きな予算が組まれた 2010、2011 年度においては、NNI の予算は 17 億 5000 万ドル前後の予算レベルになっている。

Materials Genome Initiative : MGI

材料・ゲノム・イニシアチブ MGI は、NSTC (国家科学技術会議) / OSTP (科学技術政策局) に向けてジョン・ホルドレンから提案された (2011 年 6 月)、国際競争力強化のための新しい材料戦略であり、DOE、NSF、DOD、NIST が参加している。材料の基礎研究から社会への実装および普及にいたるまでの開発期間を二分の一に短縮し、しかも低コスト化することを目的とし、そのためのインフラとトレーニングの機会を提供しようとするものである。初年度 2012 年度予算では 100 百万ドルが手当てされ、これまでに 250 百万ドル以上、2014年度は5つの省庁で 150 百万ドル以上の投資が計画されている。

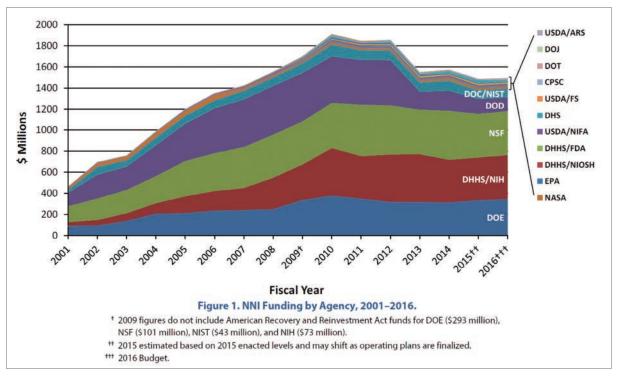


図 2.3.9

(3) EU27

欧州では、2000 年以降、EUのフレームワークプログラム(FP6、FP7)の中でナノテクノロジーを重要戦略と位置付けて具体的な計画を実行してきた。特にEU第7次欧州研究開発フレームワークプログラム(FP7:2007~2013年)においては、ナノ科学から新生産技術にいたるまで、FP6(2001~2006年)の2倍近い年間予算5億ユーロが7年間投入されている。欧州のナノテクノロジー戦略の目標には、(1)計画と戦略投資/EU諸国横断で産学共働、(2)イノベーションと大中小企業の競争力強化のための知財、規制緩和、標準化、(3)新しいナノ科学教育とナノテクトレーニング、(4)EHSなど社会受容に向けて情報共有、リスク評価、官民の信頼関係確立、が主に挙げられていて、これらは「EUナノテクノロジー政策(2004年5月)」、「ナノ粒子の健康および環境への影響に関する欧州ナノテクノロジー研究開発(2008年1月)」などの報告書で述べられている。ただし、日米と比較して欧州の弱点は、産業界のナノテクノロジーへの投資が公的投資に追いついていないことである。産業界からは、環境リスクを重視するあまり研究基盤開発に後れをとるのではないかとの不安も指摘されている。一方、ナノテクノロジー分野についての欧州外との国際協働プログラムには多くの予算を充当し、多様な戦略が実施されている。

この方向性は、FP7 の次の Horizon 2020 においても引き継がれている。Horizon 2020 は経済成長と科学技術・イノベーションの強化を目指して、2014 年から 2020 年までの 7 年間に 770 億ユーロ(110 億ユーロ/年)の予算で、教育、研究、イノベーションを一つのプログラムの中で一体的に進めていく(図 2.3.10)。この中では、次の 3 つの優先領域が設定されている。

- ① Excellent science: 240 億ユーロ (~ 30 億ユーロ @2014)
- ② Industrial leadership: 170 億ユーロ (~ 18 億ユーロ @2014)



Horizon 2020 (CIP + R&D FW)

Total indicative budget: 77 Bio. €*

Excellent science Industrial leadership

- > European Research Council
- > Future and Emerging **Technologies**
- Marie Curie actions
- > Research infrastrutures

Indicative Budget: 24.4 Bio. €*

- > Leadership in enabling and industrial technologies
- > Access to risk finance
- > Innovation in SMEs

Indicative Budget: 17.0 Bio. €*



* 2014-20, actual budget includes EIT, JRC activities, "Spreading excellence / Widening participation", "Science with and for society"

Societal challenges

- > Health, demographic change and wellbeing
- Food security, sustainable agriculture, marine and maritime research and the bioeconomy
- Secure, clean and efficient energy
- Smart, green and integrated transport
- Climate action, resource efficiency and raw materials
- Inclusive, innovative and reflective societies
- Secure societies Indicative Budget: 13 29.7 Bio. €*

図 2.3.10

300 億ユーロ (~28 億ユーロ@2014) ③ Societal challenges:

EUの特徴として、米国と同様に社会受容への関心が高く、リスク評価と管理の研究に 2007 ~ 2008 年の 2 年間で 5000 万ユーロを投入したが、これはナノテクノロジーへの全投 資額の5%に相当している。

(4) 中国

中国の科学技術・イノベーション政策の基本方針は、2006 年に国務院から発表された「国 家中長期科学技術発展計画綱要(2006~2020) に記載されている(以下、中長期計画)。 これに沿って、直近の計画は、国全体の5か年計画によって与えられる。第 11 次5ヵ年計 画(2006~2010年)では、科学技術投資額を GDP 比で 2%に、第 12 次 5 ヵ年計画(2011 ~ 2015年)では科学技術投資額を GDP 比で 2.2%に、そして中長期計画の 2020年までに GDP 比で 2.5% に上げることを目指している。この計画は、中国を 2020 年までに世界トッ プレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とすることを目標としている。

中長期計画における、中国の科学技術行政の特徴は、欧米に後れを取っているサイエンス に重点を置いていることで、「世界の工場」から「自主イノベーション」に国家科学技術戦 略を転換しつつある。特に、先端科学技術インフラの建設が計画的に進められ、重イオン加 速器 (蘭州 CAS)、シンクロトロン放射光施設 (上海)、スーパーコンピューター「天河 2 号 | (天津 2013 年 6 月にスパコンランキング TOP500 で 1 位を獲得。以来 4 年連続 1 位)、次世 代 DNA シーケンサー(北京他、日本を凌駕)、核融合施設(ITER にも参加)など、急速に 充実してきている。これらは、ナノサイエンスの研究の質を押し上げる上で大きな効果をも つと予測される。

(5) 韓国

韓国の科学技術・イノベーション政策は、2013年7月に NSTC(National Science and Technology Council)において承認された「第3次科学技術基本計画(2013-2017)」を主軸に推進されており、具体的な研究開発投資分野としては、IT 融合新産業の創出をはじめとする「5大推進分野」を掲げ、120の国家戦略技術及び30の重点技術の研究開発を推進する方針を掲げている

ナノテクノロジーについては、「ナノ技術開発促進法(2003 年制定)」に基づき、「第 2 期 ナノ技術総合発展計画(2006 ~ 2015 年)」(注:10 年間を見据えた 5 年計画)が実施されていて、ナノテクノロジー技術競争力について 2015 年までに Global Top Three になる、米日に次いで世界 3 位の地位を占めることを目標としていた。2001 ~ 2011 年の 11 年間で 23 億 US ドルが 7 省庁に配算され、学術成果として Science Citation Index(SCI)の韓国ナノテクノロジー論文数は、2011 年に中国、米国に次いで第 3 位に浮上し、また、被引用論文数も 2009 ~ 2011 の積算で第 3 位になった。(ただし、発表論文あたりの被引用率では、米、独、仏、日、中、韓の順)。

「第3期ナノ技術総合発展計画(2010~2020)」においては、さらにナノテクノロジー戦略の目標が強化され、(1) 2020年までに米国のナノテクノロジー技術水準の90%にまで追い上げ、ナノテクノロジー先導国家となること、(2)統合(convergence)およびグリーン産業への波及効果の大きいナノ統合基幹技術を30件以上確保し、新未来産業を創出すること、(3) EHS 予算をナノテクノロジー国家投資全体の7%に引き上げ、社会的・倫理的責務を強化すること、(4)ナノテクノロジー関連の優秀な人材を2020年までに2万人育成するとともにインフラ活用を極大化すること、などが掲げられている。

2.3.2.3 研究コミュニティと研究者の動向

日本における最大の問題の一つは、若者の理科離れ、工学部志望学生の急減、若手研究者の 国内志向など、ナノテクノロジー・材料の発展の上でも大きな障害になる教育・人材育成上の 諸課題に対して、長期的視野に立った対応策を有していないことである。人材育成に関するプログラムは、そのほとんどが一過性で短期的なプログラムであり、戦略の体をなしていない。 これは、異分野間を横断して俯瞰的な視野を持つ人材を必要とするナノテクノロジー・材料分野にとっては、長期的に見て最大の問題と言える。

■学会の動向

図 2.3.11 は、日本と米国のナノテクノロジーや材料に関連する主要学会について、近年の全会員数の増減について示したものである。米国の学会が会員数を増やしているのに対し、日本では、応用物理学会、日本化学会、日本物理学会とも会員数を減らしている(日本化学会は10年で約 6,000 人減、日本物理学会と応用物理学会は約 2,000 人減)。特に企業会員数が減っているとの認識である。

研究者コミュニティ(主な学会動向)

- 日本の学会員数は減少傾向
- 昨年度の主要5学会の参加者数は延べ2.4万人弱(重複有り)。

学会名	会員数(最新)	年会参加者 数(24年度)	会員数(過去)
応用物理学会	21,029名(2013年末)	約6,700名	23,109名(2002年末)
日本物理学会	16,998名(2012年末)	約3,700名※	19,396名 (2002年末)
日本化学会	30,055名(2013年2月末)	約8,100名	32,263名 (2008年)
高分子学会	11,283名 (2013年度末)	約3,400名	12,148名(2003年度末)
日本金属学会	5,877名 (2013年2月末)	約1,500名	7,421名(2006年2月末)

※物性関係のみ

学会名	会員数(最新)	会員数(過去)
American Physical Society (APS)	50,578 (2014)	46,269 (2008)
Materials Research Society (MRS)	16,600 (2013)	16,000 (2008)
American Chemical Society (ACS)	161,000 (2013)	158,422 (2005)

図 2.3.11

また、自国以外の(外国人)会員数の割合については、日本の学会が1%前後であるのに対して、米国は40%前後であり、日本は比較にならないほど国際化の面で遅れをとっている。特に、ナノテクノロジー・材料分野の政府の投資は、今、欧米よりもアジアが増えている。アジアに重心が移っているにも関わらず、先端科学でリードしてきた日本が国際化に遅れ、アジアの研究者を吸収できないのは、アカデミアとしては課題があると言わざるを得ない。経済がグローバル化するはるか以前に、科学の世界ではグローバル化が進むはずである。

国際交流について、この数年間の数少ない成功例として、物質・材料研究機構の ICYS(英語を公用語とする国際若手研究者センター)が将来のテニュアトラックと結び付けて海外研究者の定着を考慮した運営を実施し、世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI: World Premier International Research Center Initiative)で 10 年続く「国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)」の国際化につなげることに成功している。

■論文から見る研究コミュニティの動向

日本のナノテクノロジー・材料分野の論文執筆研究者数(図 2.3.12)は、2013 年に約 3.5 万人で、中国、米国に次ぐ第 3 位となっている。しかし、ここ 10 年、世界的にナノテクノロジー・材料分野で論文を執筆している研究者数は欧米諸国が約 2 倍、中韓が 3 倍以上の伸びを見せる中、日本のみが 1.5 倍弱の伸びに留まる。なお、データベースへの収録誌自体も増加しているため、上述の増加率がそのまま研究者人口の増加率に比例しているわけではないことには留意が必要である。

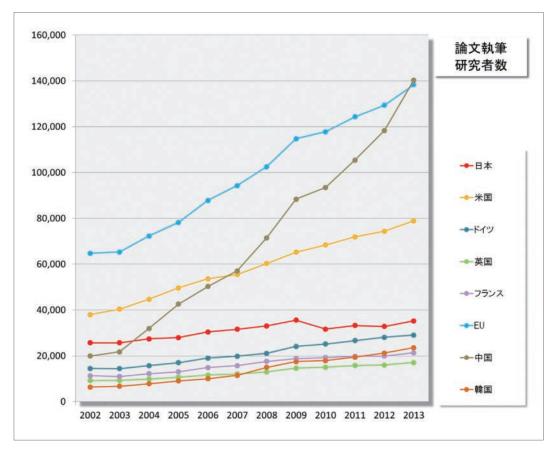


図 2.3.12

日本は企業研究者が論文を書かなくなったと言われている。参考として各国の統計による主要国の研究者数は、過去 20 年以上に亘って、米、欧、日を中心にして増加傾向にあり、21 世紀に入ってからは、中国と韓国の伸び率が目立っている。

2010 年時点で、各国の研究者数は、米国(141.3 万人)、中国(121.1 万人)、日本(84.3 万人)、ドイツ(32.7 万人)、韓国(26.4 万人)、英国(23.5 万人)の順となっている。各国の研究者の割合を組織別にみると、企業研究者の割合は、米国(81.6% / 1999 年)、韓国(76.5% / 2010 年)、日本(74.8% / 2011 年、専従換算)の順に高く、欧州の主要国、英国(34.2% / 2010 年)、フランス(57.0% / 2009 年)、ドイツ(56.8% / 2010 年)は低めである。中国(61.1% / 2010 年)はドイツ、フランスに近い。

■教育政策の動向

ナノテクノロジーは、異分野融合と組織連携を促進させて新しい領域や産業技術を生み出すことが期待されている分野で、米国や台湾ではそのための小中高一貫教育システム(K-12)の構築に向けて諸施策が講じられている。

米国は、ナノテクノロジーを科学技術の小中高一貫教育(K-12)の軸に据える計画で、カリキュラムや教科書の作成、教員の養成プログラムを NNIN などの共用施設を優先的に使用して実施している。この K-12 を米国よりも早く進めているのが台湾で、すでに教科書(中国語版、英語版)が作成されている。韓国でも大学院学生・若手研究者向けのナノサイエンスをベースとした物理(Introductionto Physics of Nano-Science)、化学(Nanochemistry)、電子デバイ

ス(Nanoelectronic Devices)などの英文版の教科書(後述 KoNTRS の責任編集)が作成されている。

日本は、人材育成プログラムは総じて一過性で、教育についてはほとんど長期的・系統的なプログラムは存在しない。大阪大学ナノサイエンスデザイン教育研究センターは、文部科学省の科学技術振興調整費の新興分野人材養成プログラムによって2004年に設立され、5年間に大学院学生の履修者1100名、修了者700名を数え、社会人にも多数教育訓練を施している。継続性を維持するため、別のプログラム(特別教育研究経費)で2009年から4年間延長することに成功し、社会受容まで含めたナノテクノロジー教育訓練の充実を図っている。これは現場の自主努力によるところが大きく、そのあとの継続的な運営が保証されているわけではない。今後は、マッチングファンドなど、自主努力のインセンティブを付与する政策が必要である。

2.3.2.4 世界の研究開発の動向

今回抽出した5つの区分ごとに国際比較結果を記す。詳細については本編を参照されたい。

環境・エネルギー分野に関わるナノテクノロジー・材料

太陽電池、人工光合成、燃料電池、熱電変換、蓄電デバイス、パワー半導体、グリーンプロセス触媒といった領域においては、再生可能エネルギー利用、効率的なエネルギー蓄積・変換、 CO_2 削減に密接につながるため世界的な関心が高く、研究活動が「上昇傾向」にあるものが多い。特に蓄電デバイスは世界的に研究が強化傾向にある。

玉	概 要
日本	基礎研究から産業化まで世界を牽引。特に電池(太陽、燃料、蓄電)は強い。 ただし、太陽電池およびグリーン触媒の産業化において中韓との競争により状況が停滞傾向、今後の開発 強化が課題
米国	パワー半導体が強く、熱電変換や蓄電デバイスでは基礎研究から産業化まで上昇傾向。グリーン触媒はシェールガス革命を背景に産業化の力が強いが、電池に関しては産業化が弱い。
欧州	太陽電池、パワー半導体、グリーン触媒が強く、熱電変換、蓄電デバイスは基礎研究から産業化まで上昇傾向。特に、パワー半導体においては極めて高い競争力を有しており、勢いもある。
中国	熱電変換およびグリーンプロセス触媒の基礎研究と応用研究が強い。太陽電池は産業化が強いが下降傾向。
韓国	全体的に日米欧に比べて基礎研究で劣勢とされるが、蓄電デバイスは基礎研究から産業化まで上昇傾向に あると同時に、グリーンプロセス触媒とあわせ応用研究と産業化は強い。

健康・医療分野に関わるナノテクノロジー・材料

ナノ薬物送達システム(ナノ DDS)が基礎研究から産業化のフェーズまで「上昇傾向」にある。 ナノ DDS 製剤の臨床試験や上市が進み、活況を呈している。造影剤を搭載したナノ DDS の 進展により、生体イメージングも「上昇傾向」にある。

玉	概要
日本	基礎研究で高いレベルを維持。バイオイメージングでは世界と伍しているが、他領域では基礎研究の強みを産業化フェーズの競争力に確実につなげられていない。生体物質と人工物との界面制御・形成技術が今後重要ターゲット
米国	基礎研究から産業化に至るまで強い。応用研究・開発フェーズにベンチャー等多様なプレイヤーが存在し層も厚い。国の支援体制も整備されており、基礎研究から産業化へのスピードが速い。
欧州	基礎研究で高いレベルを維持するとともに、応用研究・開発フェーズで異分野連携、産学連携を積極的に 進めており、産業化フェーズでは米国に次ぐ競争力を維持。
中国	ナノ DDS では主要雑誌で米国と争うレベルに到達。自国内の大きな市場や臨床研究の容易さを背景に産業化も加速。
韓国	再生医療用材料、バイオデバイス、ナノ DDS に注力し競争力を増している。生体イメージングでは欧米からの帰国者を中心に基礎研究が活発。

社会インフラ分野に関わるナノテクノロジー・材料

世界的に構造材料や分離膜材料、センサデバイスについての取組みが盛んになっている。

国	概要
日本	構造材料(金属系)で基礎研究から産業化まで強い。複合材料(CFRP)、水処理膜に強み。センサーデバイスの応用・産業化では欧米が先行。
米国	基礎研究から産業化に至るまで強い。膜素材に関する研究から工業化に至る幅の広い研究を推進。センシングデバイスの代表的なベンチャー企業が成功を収めている。
欧州	基礎研究から産業化に至るまで競争力を維持。特に構造材料(CFRP)の応用について各国で研究が盛んである他、IMEC やフラウンホーファーなどでセンサデバイスに関する基礎研究から産業化までの研究が活発。
中国	構造材料に国として精力的に取り組んでおり、応用研究・産業化においては日米欧に比肩。膜材料についても国として重点的に取り組み、急速にレベルを上げている他、センサデバイスについても今後上昇の兆し。
韓国	浦項製鉄(POSCO)が浦項工科大学(POSTECH)を創立して鉄鋼材料研究を一手に引き受けていることや、RO 膜や水処理に関する大型プロジェクトなどにより膜研究が非常に活発。

情報通信・エレクトロニクス分野に関わるナノテクノロジー・材料

従来から取り組まれてきた技術(例えば超低消費電力ナノエレクトロニクスや MEMS など)のトレンドは現状維持が多いものの、新規技術(例えば二次元原子薄膜)は「上昇傾向」にある。

玉	概要
日本	伝統的にスピントロニクスや有機エレクトロニクスに強い。二次元機能性原子薄膜、特にグラフェンでは 欧米の着手が先行したが、2014 年開始の CREST・さきがけ等による巻き返し・新基軸が期待される
米国	量子情報、二次元機能性原子薄膜、フォトニクス、MEMS/NEMS、三次元集積チップと全般にわたって 強みを発揮。ファブレスやベンチャー企業のビジネスモデルが機能して産業化フェーズでも高いレベルを 維持。
欧州	グラフェンなどの二次元機能性原子薄膜に強いが、一般的に産業化フェーズでの活動が日米韓に比して劣勢。ただし、MEMS/NEMS に関しては、フラウンホーファーや ST マイクロ、Bosch などが精力的。
中国	トレンドは「上昇傾向」が多く、特にグラフェンなどの二次元機能原子薄膜や有機エレクトロニクスに注力。
韓国	基礎研究フェーズでは日米欧に比して劣勢であるが、Samsungを中心に、スピン(STT-MRAM)、有機エレクトロニクス(ディスプレイ)など応用展開では日米欧を凌ぐレベルにある。

ナノテクノロジー・材料の基盤科学技術

物質・材料の設計・制御技術、合成・加工、計測・解析、計算など幅広い研究領域が含まれる。特に空間材料やフォノンエンジニアリング、バイオミメティクス、データ駆動型材料設計などが世界的にホットな領域となっている。

玉	概要
日本	基礎研究は高いレベルを維持。元素戦略やナノ計測(電子顕微鏡、放射光・X線)が強い。空間空隙制御やフォノンエンジニアリング、データ駆動型材料設計(マテリアルズ・インフォマティクス)といった世界的な注目領域が今後の競争に大きく影響すると予想
米国	基礎研究から産業化まで世界をリード。新しいアイデアや概念は、ほとんどが米国から出てきている。空間制御材料やバイオミメティクスに強い他、EHS、ELSIについてもきちんと取り組まれている。
欧州	日米と並び基礎研究から産業化まで取り組まれているが、米国と同様、空間制御材料やバイオミメティクスに強い他、EHS、ELSIについての意識が高い。
中国	バイオミメティクスに優れた成果が出ている他、電子顕微鏡の一部で世界と伍している。
韓国	基礎研究から産業化まで満遍なく平均的な取り組みがなされているが、日米欧に比して特別に強みを発揮している領域は認識されていない。

2.3.2.5 今後の展望と日本の課題

ここでは、現状の日本が抱える社会的課題の解決に向けて、各区分に関してナノテクノロジー・材料技術がどのような役割を果たせるのか述べる。

■環境・エネルギー、社会インフラ

2011年の福島第一原子力発電所事故以降、長期的には太陽光や風力などの再生可能エネルギーが重要な位置を占め、太陽光発電に対しては高効率太陽電池や次々世代蓄電池の開発が、また風力発電に対しては高強度軽量の複合材料の開発が必要となろう。短中期的にはコンバインドサイクル運転やより高温での燃焼運転などによる火力発電の徹底的な高効率化に期待せざるを得ない。高効率火力発電においては、燃焼温度の高温化を目指して、高温耐熱材料やコーティング材料の開発が重要となろう。

また CCS(CO₂ Capture & Storage)の技術が進んでくると化石燃料から多くの CO₂ を大気に放出することなく水素を生成することも可能となってくる。燃料電池の開発とあいまって、長期的には究極のクリーンエネルギーである水素燃料の利用が次第に進んでくると予想される。

一方でエネルギーの利用側面では、固体照明、低消費電力のエレクトロニクスシステム、高 効率パワーエレクトロニクス製品、断熱材料、低摩擦材料、軽量・高強度の複合材料、さらに は廃熱から電気エネルギーを生みだす熱電素子などの開発が必要となってくるだろう。これら の先端技術の導入を前提に我々の生活様式を見直し、ICTを駆使した省エネルギー型の生活様 式に切り変えていくことが何にも増して重要となる。

環境を守るという視点では各種環境センシングシステムの開発と、身の回りへの設置が必要である。世界に目を転じてみれば、飲料に用いることのできる水は限られており、海水からの飲料水生成、またシェールガス産出の際に大量に発生する放射性物質や毒性物質を含んだ汚染水の浄化は喫緊の課題であり、低コストで量産可能な吸着剤や浄化膜の開発は急務となっている。

以上、ここに挙げた環境やエネルギーに関わる社会的あるいは技術的な課題は、学際的なアプローチや複数の技術分野の連携によって解決すべきである。米国のオバマ政権が打ち出したグリーン・ニューディール政策をはじめ、各国の様々なエネルギー・環境政策では、ナノテクノロジーをベースとした技術開発が重要な役割を果たすと期待されている。

■健康・医療

近年のライフサイエンスの進展は著しく、DNA やタンパク質、細胞などの生体由来物質を 半導体チップ上に搭載し、生体由来物質の精密な計測、正確な操作を行うことで、膨大な知の 集積と最先端の半導体技術、電子・光技術との融合が可能となり、そこから生まれるイノベー ションへの期待は大きい。

医療費の増大に対しても、健康管理の観点からも、半導体チップによって特定の疾患につながるバイオマーカの高感度検出を実現する事への期待は高い。高感度検出が可能な半導体チップを超小型のウェアラブル機器に組み込むことで、日常的な健康診断が可能になり、予防医学の進展にもつながってくる。検出対象をウィルスなど病原体に拡大できれば、環境中の病原体を常時監視するシステムの構築が可能になり、感染症の流行防止に貢献できる。

医療の現場で活用されるには、検体の前処理、物質検出を一体化した集積化デバイスの開発が必要になる。最近では、微細加工技術によって形成されたマイクロ流路などの人工的なマイクロさらにはナノ構造体上に DNA や単一細胞、単一分子を持ち込み、それらの検出や同定を通じて医療・診断応用に供しようとの研究も進んでいる。これらは半導体チップに新たな付加価値を提供するという意味で、半導体ビジネスとしても大きなチャンスを生み出すであろう。

ナノ粒子を Drug Delivery System (DDS) の輸送物質として活用し、患部へ効率的に薬物を到達させ、医療を施そうとの研究も進みつつある。ナノ DDS は核酸医薬の実用化に不可欠であると認識されており、体内動態や細胞内挙動を制御できるナノ粒子の材料設計に向けた研究開発が必要である。生体イメージングに必要な増感剤を治療薬とともに搭載したナノ DDS は、診断と治療の一体化を具現化した技術として臨床応用に進むことが期待される。また、光、超音波、中性子線等の物理エネルギーとナノ DDS の組み合わせは低侵襲治療を可能にする。

iPS 細胞の出現以来、個別化医療にもつながる創薬スクリーニングや再生医療への期待が高まっているが、iPS 細胞を所望の組織に分化誘導し、成長させていくには、それを実現させる足場材料が必要になってくる。細胞と接する材料の力学的性状や微細な形状などが、細胞の増殖や分化に影響を及ぼすことが明らかになっており、細胞の培養・加工技術に新たな方法を提供するものと期待される。複雑な構造と機能をもった細胞集合体の形成技術は、再生医療だけでなく創薬にも大きな意味をもつものであり、そこで必要とされる材料やデバイスに関する研究開発が必要になる。ここでも物質科学と生命科学の融合が求められており、これを診断、医療、創薬の革新に結び付けていく事はこの分野の重要な挑戦課題である。

実用化された医用材料においても、患者の QOL の観点から改善が必要なものは多く、更なる開発が必要である。

■情報通信・エレクトロニクス

IoT (Internet of Things) の世界では各種センサデバイスや通信機能を搭載した超小型で安価なチップが必要となる。これらのチップは我々の身の回りの物に埋め込まれるため、それに

電力を供給する超小型電池や身の周りに存在する様々なエネルギーを電気エネルギーに変換するエネルギーハーベスト技術が必要になる。これにより、健康で快適な生活を実現し、さらには防災、防犯にも適用され、安全で安心な社会を実現することが期待される。このような社会を実現するうえで、ナノエレクトロニクスへの期待は大きく、素子の微細化極限の追及(ナノの先鋭化)から、新材料導入による光・スピン・バイオ・MEMS との結合による多機能化(ナノの融合化)、さらには高精細ディスプレイやウェアラブル情報端末、さらには IoT 応用(ナノのシステム化)へと進化していくと予想される。

この中で、特にナノスケール熱制御の重要性につき述べておく。ナノスケールの領域で重要な役割を果たしているのは、電子、スピン、フォトン(光子)、フォノンといった量子力学的な波動粒子的存在であるが、デバイス応用に目を転じてみれば、微細 CMOS デバイスに見られるように、チャンネル中を走行する電子が発生する熱により、デバイス性能は大きく制約を受ける。デバイス構造上も多くの異種材料が半導体の微細構造中に持ち込まれ、フォノンの複雑な伝搬を誘起し、局所的に高い温度のホットスポットが形成される危険性もある。熱を電気エネルギーに変換する熱電素子においては、電子とフォノンの流れを同時に制御することが要求され、互いに相反する輸送に関する要請を材料やデバイス構造の工夫によりどのように実現するかが高性能化の鍵を握っている。また次世代の磁気ストレージとして期待される熱アシストの磁気記録書き込み方式では、ナノスケールの領域におけるナノ秒オーダーの熱の制御が、微小磁区領域でのスピン制御と並んで実行されなければならない。このように、ナノスケールでの熱(フォノン)の制御が応用上、重要になっている。今や、電子、スピン、フォトンに、フォノンも含めた総合的なナノスケール構造体の設計手法の確立が求められている。

■材料、ものづくり

情報通信技術の進展はナノテクノロジー・材料技術に関する研究開発の様相をも大きく変える可能性がある。デバイスの性能、信頼性追及の中で、それを支える材料はより一層、複合化、多元化の方向に進むと同時に必要な機能を自然界に豊富に存在する元素の組合せで実現することが求められているが、対象となる物質の組合せは膨大であり、従来の実験的あるいは理論的手法による材料探索、材料開発は困難になりつつある。一方で、コンピュータの飛躍的な能力と情報技術の進展により、ビッグデータと呼ぶにふさわしい大規模な材料データの中から、材料の性能、機能に関する系統的な法則を発見し、材料の開発を短時間で効率的に行うアプローチが現実のものになりつつある。これを推し進めるためには、膨大な材料データを整理、検索し、新たな知識を発見する最先端の情報技術、さらにはそれらを新材料の開発につなげる研究者集団、それぞれの存在が必要である。このような領域はマテリアルズ・インフォマティクスと呼ばれ、日本の産業競争力の源泉である材料開発力の維持・強化のためにも各要素が結集する拠点の構築が求められている。

欧米を中心に製造技術の復権を目指す動きが顕在化している。米国ではシェールガスの登場により、電力コストが低下したこともあり、海外に展開していた工場を米国に戻そうとするリショアと呼ばれる動きがある。また、米国ではインダストリー・インターネット、ドイツではインダストリー 4.0 という情報通信技術を活用した新たな時代の製造業のモデルが打ち出されている。コンピュータの飛躍的な能力向上は、シミュレーション技術の可能性をも大きく広げており、上記のマテリアルズ・インフォマティクスの進展とあいまって、ものづくりにおける

設計技術の革新につながると期待される。そのひとつの現れが、コンピュータを駆使した3D造形技術の進展である。製造物の形状に関するデジタル化された3次元情報と3D造形装置があれば、誰でも複雑な形状の製造物を同じ様に作りだすことができるようになっている。多様な材料の適合化、3次元形状のデジタル情報をベースにしたコンピュータによる自由な設計、造形装置の発展により、ものづくりの新たな展開が期待される。

ものづくりに関しては、これまでの電力多消費、資源多消費の方向から、バイオミメティクスのような低環境負荷で人と調和性の高いものづくりをめざそうとの動きが顕在化してくると予想される。バイオミメティクスとは、生物の組織構造、機能、生産プロセスに学び、新しいモノづくり技術として応用しようとするものである。生物学と工学(ナノテクノロジー、材料、機械、電気)との融合分野であり、未来のロボット技術、医療技術など、多くの産業分野に新機軸を打ち立てる可能性がある。生物学とナノテクノロジー・材料分野の研究者との連携による体系的な取り組みが必要となっている。

■ナノテクノロジー・材料イノベーション・プラットフォームの構築

日本の産業競争力の源泉としても、そして地球規模課題への対応の上でも、ナノテクノロ ジー・材料における研究開発力の維持・強化は生命線である。ナノテクノロジー・材料基盤技 術を常に世界最高レベルに保ち、アカデミア、産業界が共にいつでも最先端の基盤技術にアク セス可能とし、そこから実用化・産業化につながるイノベーションを創出できる体制を構築す る必要がある。ナノテクノロジーによる微小領域の観測、そこで起きている現象の理解、制御 には、高度で巨額の装置が必要であり、それを運用する専門性の高い技術者が必要である。ま た現象の理解には、膨大なスケールのシミュレーションが必要であり、そこから生み出される 膨大の情報を整理、統合し、新たな知識発見につなげる仕組みも必要である。これらを実行す るためには、高速のシミュレーションを可能とするスーパーコンピューター、物質・材料の計測・ 加工・合成を可能とするナノテクノロジープラットフォーム、さらには膨大な材料データを管 理・提供できる材料情報基盤を整備する必要があり、これらが各々で拠点を形成しつつも、全 体が密に連携を取り合って活動する「ナノテクノロジー・材料イノベーション・プラットフォー ム」を構築することが急務である。このプラットフォームは日本のナノテク・材料技術に対す る国際的な窓口として機能させ、人材交流の役割を果たす事も期待される。また、ナノテクノ ロジープラットフォームと同様、ナノテクノロジー・材料イノベーション・プラットフォーム においても地方にサテライト拠点を設け、地方にいても、日本の最先端技術にアクセスでき、 また研究者間の交流も可能とすることで、地域産業の活性化にもつながると期待される。以上 の概念をまとめたものを図 2.3.13 に示す。

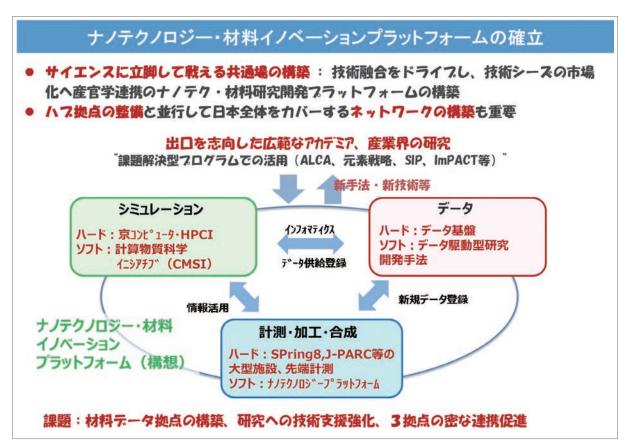


図 2.3.13

国際比較表まとめ(ナノテクノロジー・材料分野)

[環境・エネルギー]

			太陽電池								太陽電池		太陽電池		太陽電池		太陽電池		太陽電池		太陽電池		太陽電池		太陽電池			炒米電池	然 半 電 也	素冒 変拍	丸、三下とた	著電ラクッジ	皆電デ ベイス	ノビー当導作	7 I	触媒	グリーンプロセス
国	フェー ズ	現状	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド																						
	基礎	\bigcirc	→	0	7	0	V	0	→	0	7	0	→	0	→																						
日本	応用	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→	0	×																						
'	産業	\bigcirc	7	×	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	×																						
	基礎	\circ	1	0	1	0	→	0	→	0	1	0	→	0	→																						
米国	応用	\circ	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→	0	→																						
-	産業	\triangle	\rightarrow	×	→	0	7	0	1	\triangle	1	0	→	0	1																						
	基礎	0	\rightarrow	0	\rightarrow	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→																						
欧州	応用	0	\rightarrow	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→																						
''	産業	\bigcirc	×	×	→	0	1	0	1	0	1	0	1	\bigcirc	→																						
	基礎	\triangle	1	\triangle	1	0	→	0	1	\triangle	1	\triangle	1	0	1																						
中国	応用	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	0	1	0	1	\triangle	1	0	1																						
	産業	0	7	×	→	\triangle	→	0	1	0	1	\triangle	1	0	1																						
	基礎	\triangle	→	0	1	0	→	0	1	0	1	\triangle	1	Δ	7																						
韓国	応用	0	1	\triangle	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	0	→																						
	産業	\circ	1	×	→	\bigcirc	1	\triangle	7	0	1	\triangle	1	0	→																						

[社会インフラ]

		(金属系)		(金属系)		構造材料(金属系)		村		スダ野月分离胆	 	高温速化學沒冒		システム	センシングデバイス・	除染・減容化	比牧付生物質の除
国	フェー ズ	現状	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレ ンド				
	基礎	0	1	0	→	0	1	0	→	0	×	\triangle	1				
日本	応用	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	1	0	→	\triangle	1				
	産業	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	→	0	→	Δ/0	1				
	基礎	\bigcirc	→	0	→	0	1	0	→	0	→	\triangle	×				
米国	応用	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	\triangle	×				
-	産業	0	1	0	1	0	7	0	→	0	→	0	7				
	基礎	\bigcirc	1	0	→	0	1	0	→	0	→	\triangle	×				
欧州	応用	\bigcirc	7	0	1	\circ	1	0	7	\bigcirc	†	\triangle	×				
7.1	産業	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	0	1	0	×				
	基礎	\triangle	1	0	→	0	1	\triangle	→	0	1	×	→				
中国	応用	0	1	0	1	0	1	0	→	\triangle	1	×	→				
	産業	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	\triangle	1	×	→				
	基礎	\triangle	1	\triangle	→	0	1	\triangle	→	0	→	×	→				
韓国	応用	0	1	0	→	\triangle	1	0	1	\triangle	→	×	→				
	産業	0	1	0	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→	×	-				

[健康・医療]

		(バイオマテリアル)	生体材料	再生医療用材料		(ナノ DDS) 薬物送達システム		デバイス		ノ十則・含		左位とう。こう	
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
	基礎	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1
日本	応用	0	7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	産業	\triangle	→	0	1	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	→
	基礎	\circ	→	0	→	\bigcirc	7	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1
米国	応用	\bigcirc	→	0	→	\bigcirc	7	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1
	産業	\bigcirc	→	0	\rightarrow	\bigcirc	1	0	1	\circ	→	0	1
1-01	基礎	\bigcirc	→	0	†	\bigcirc	†	\circ	→	0	1	0	1
欧州	応用	0	→	0	→	0	1	\circ	→	0	1	0	1
	産業	0	→	0	→	0	1	\triangle	1	0	→	0	1
	基礎	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	\triangle	→	0	1
中国	応用	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	\triangle	→	0	1
	産業	0	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→	×	→	\triangle	→
4-7	基礎	0	→	\circ	1	0	1	\circ	1	\triangle	1	0	1
韓国	応用	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	0	1
	産業	\circ	1	\circ	1	\circ	1	\triangle	1	×	→	\triangle	→

[情報通信・エレクトロニクス]

		(ロジック、メモリ)ナノエレクトロニクス超低消費電力		ニクス		ニクス		、ロジック、 メモリ)ナノエレクトロニクス超低消費電力		「ロジック、メモリ)ナノエレクトロニクス超低消費電力		(量子情報)		機能性原子薄膜	二次元	l Division of the control of the con	スピントコニケス		フォトニアス	有様コレクーロニクシ	一可髪エンフトコニアス	CINETAI > CINETIAI	VENC / NEVC	集積チップ	異種機能三次元
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								
	基礎	0	\rightarrow	0	→	0	1	0	→	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	0	→	0	→								
日本	応用	0	→	×	→	0	1	0	1	\circ	→	0	1	0	→	0	1								
	産業	\circ	\rightarrow	×	→	\circ	1	0	→	\circ	→	\triangle	1	\circ	→	\triangle	1								
	基礎	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	0	1	0	→	\bigcirc	7	\bigcirc	→	\bigcirc	→	0	→								
米国	応用	0	1	0	1	0	1	\triangle	V	0	→	0	→	0	→	0	→								
	産業	0	→	×	→	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	1								
	基礎	0	\rightarrow	0	→	0	1	0	1	\bigcirc	\rightarrow	0	→	0	→	0	→								
欧州	応用	0	\rightarrow	×	→	0	1	0	1	\circ	\rightarrow	0	→	\bigcirc	→	0	→								
7.1	産業	\triangle	\rightarrow	×	→	0	1	0	×	\triangle	\rightarrow	0	1	\bigcirc	1	0	1								
	基礎	0	\rightarrow	\triangle	1	0	1	\triangle	1	\triangle	1	0	1	0	1	×	→								
中国	応用	0	→	×	→	0	1	\triangle	1	\triangle	1	0	1	Δ	1	×	→								
	産業	0	→	×	→	0	1	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	1	×	→								
	基礎	0	→	×	→	0	→	0	→	\triangle	→	0	→	0	×	\triangle	1								
韓国	応用	0	1	×	→	0	1	\triangle	7	\circ	→	0	1	\triangle	→	0	1								
	産業	0	1	×	→	\bigcirc	7	0	7	\triangle	→	0	7	\triangle	→	\bigcirc	1								

[基盤科学技術]

	界面制御		ij ·		分子技術		バイオミメティクス		分子ロボティクス		元素戦略		マティクス)マティクス)データ駆動型材料研究		(半導体超微細加工)トップダウン型プロセス		(自己組織化)		(走査プローブ顕微鏡)ナノ計測		(電子顕微鏡)		(放射光・X線計測) ナノ計測		(超高速時間分解分光)ナノ計測		シミュレーション物質・材料		リスク管理・		
国	フェー ズ	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド
	基礎	0	1	0	1	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	1	\triangle	1	0	7	0	1	0	→	0	\rightarrow	0	→	\circ	1	0	1	\circ	→
日本	応用	0	→	0	1	0	\rightarrow	\circ	1	×	\rightarrow	0	1	\triangle	1	0	1	\circ	→	0	1	0	\rightarrow	0	1	\circ	→	\circ	1	×	→
	産業	\circ	\rightarrow	\circ	1	\circ	\rightarrow	\circ	1	×	\rightarrow	\bigcirc	1	\triangle	1	\circ	→	\circ	→	\circ	→	0	7	\bigcirc	1	\triangle	→	\circ	1		
	基礎	\bigcirc	1	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	1	0	7	0	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	1	0	→	0	→	\bigcirc	→	0	→	0	→	0	1
米国	応用	\bigcirc	→	0	1	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	→	\circ	1	\bigcirc	1	0	1	0	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1	0	→	0	1	0	1
	産業	\bigcirc	→	0	7	0	→	0	7	×	→	0	→	\triangle	7	\bigcirc	7	0	7	0	7	0	1	0	→	0	→	0	1		
	基礎	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	\circ	1	\circ	1	0	1	0	→	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	1	0	→
欧州	応用	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	→	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	1	\bigcirc	1	0	→	0	→	0	→	\bigcirc	1	0	1	0	1	0	1
''	産業	0	→	0	1	0	→	0	1	×	→	0	→	\triangle	1	0	→	0	1	0	→	0	→	0	→	0	1	\circ	1		
	基礎	0	1	\circ	1	\circ	1	\bigcirc	1	\triangle	1	\triangle	1	×	1	×	→	\triangle	1	×	→	\triangle	1	\circ	1	\triangle	1	\triangle	1	\circ	1
中国	応用	\triangle	1	\triangle	→	\circ	7	0	1	×	→	0	→	\triangle	1	×	→	\circ	1	0	1	0	7	\triangle	1	0	→	0	1	\triangle	1
1-2	産業	\triangle	1	Δ	→	\circ	1	0	1	×	→	\triangle	1	×	→	\triangle	1	\circ	1	×	1	×	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→		
	基礎	0	→	Δ	→	\triangle	→	0	1	×	→	0	→	×	1	0	→	\circ	→	\triangle	7	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	1
韓国	応用	0	→	Δ	→	0	→	0	1	×	→	0	→	\triangle	1	0	1	0	1	0	→	\triangle	1	0	1	\triangle	→	0	1	0	→
Щ	産業	0	1	\triangle	→	0	→	0	1	×	→	0	→	×	→	0	1	0	→	0	→	×	→	×	×	\triangle	→	\triangle	→		

(註1) フェーズ 基礎…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…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…産業化フェーズ:量産技術・製品展開力のレベル

- (註 2) 現状 ※わ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



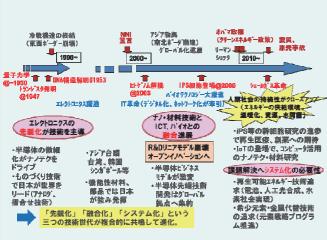
研究開発の俯瞰報告書(2015) ナノテクノロジー・材料分野の概要

JST 研究開発戦略センター ナノテクノロジー・材料ユニット

ナノテクノロジー・材料の位置づけと俯瞰

- ナノテクノロジー・材料分野は、環境、エネルギー、健康・医療、社会インフラ、情報通信・エレクトロニクスなどの他分野に対し、 横断的に革新をもたらすイノベーションのエンジンとして機能
- 日本は世界有数のナノテクノロジー・材料研究開発先進国といえるが、近年のアジア諸国の台頭・急追によって今後も現在の地 位を維持できるかは予断を許さない状況
- ナノテクノロジーは、原子・分子レベルの微小領域で生ずる現象の理解をベースに、ナノスケールでの制御や新しい機能の実現 を目指す科学技術であり、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している。「ナノのシステ ム化」とは、要素の集積を通じて高度なシステム機能を生み出し、他技術と統合されて産業化に向かう過程・結果のことを指す

ナノテクノロジー・材料科学技術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年でその役割と概念は段階的に、着実に進化している





社会・産業と技術の変遷とナノテクノロジーの進化

ナノテクノロジー・材料分野の俯瞰図

国家戦略(国際比較)

冬国は産業競争力の強化を図るため国家難略として位置づけ 投資を強化

国 多 积	中・韓を始め今後アジア諸国の科学技術力の急激な進展が予想される							
国	ナノテクおよび材料の基本政策							
日本	◆第4期基本計画では共通基盤として位置づけ/特化したイニシアチブは無かったが、イノベーション総合戦略 (2014)において新たに横断領域として位置づけ。2015年以降の扱いが鍵							
	◆National Nanotechnology Initiative (2001-) -第4期新戦略プラン(2014-)。省庁横断テーマとして5つの重点領域「シグニチャーイニシアチブ」を設定							
米国	◆Materials Genome Initiative(2011-) -実験ツール、計算機、データの連携により、研究室での新材料の発見から製造までの時間を半減							
欧州	◆Horizon 2020(2014-) -産業課題のKey Enabling Technologies(KETs)として、ナノテクノロジー、先進材料、マイクロ・ナノエレクトロニクス、フォトニクス、先進製造を選定							
中国	◆国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020) -先端技術8分野の一つに「新材料技術」、重大科学計画4分野の一つに「ナノ研究」 -第12次5か年計画の戦略的新興産業の一つに「新素材」							
韓国	◆第三次科学技術基本計画(2013-2017) -30重点国家戦略技術の一つに「先端素材技術(無機、有機、炭素等)」 ◆ナノテクノロジー総合発展計画(2001-)2011年から3期目(ナノ融合2020) -研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の3つの柱							

日本の研究開発の現状 日本は基礎研究は総じて強いが、ビジネス 化で後塵を拝す傾向。科学技術と工学、ビ ジネス・社会とのエコシステム形成が鍵 環境・エネ ・ 基礎研究から産業化まで世界を牽引している • 特に、電池(太陽、燃料、蓄電)は強い ルギー • 太陽電池およびグリーン触媒の産業化において中韓との競争により状況 が停滞傾向、今後の開発強化が課題 健康・医療 ・ 基礎研究で高いレベルを維持 • バイオイメージングでは世界と伍しているが、他領域では基礎研究の強み を産業化フェーズの競争力に確実につなげられていない。生体物質と人工 物との界面制御・形成技術が今後重要ターゲット 社会インフ ・ 特に構造材料(金属系)で基礎から産業化まで強い。 • 複合材料(CFRP)、水処理膜に強み。センサーデバイスの応用・産業化で は欧米が先行 情報通信・ ・ 伝統的にスピントロニクスや有機エレクトロニクスが強い。 エレクトロ ・ 二次元機能性原子薄膜、特にグラフェンでは欧米の着手が先行したが、 ニクス 2014年開始のCREST・さきがけ等による巻き返し・新基軸が期待される • 基礎研究は高いレベルを維持 基礎科学 • 元素戦略やナノ計測(電子顕微鏡、放射光・X線)に強みを有している。 技術 • 空間空隙制御やフォノンエンシ・アリング、データ駆動型材料設計(マテリアルス・インフォ マティクス)といった世界的な注目領域が今後の競争に大きく影響すると予想

今後の課題と方向性

基礎研究から産業化まで

のスピードを加速させる

ためには、多様な専門化

集団を集結させ、最先端

設備・知識インフラの共同

利用可能な全国的プラッ

トフォームを形成すべき

- グローバルで競争の激化する研究開発において、基礎研究成果(科学的発見)を事業(産 業)につなぐまでのスピードへの要求が一段と高まっている。
 - コスト・リスクシェアによる技術開発コストの分担、リスク低減、集中拠点化による多様な専 門家集団の集結、共通研究開発インフラ、基礎基盤技術開発への公的投資・支援、知的 財産の相互利用などの、メリットを享受するための拠点型オープンイノベーションへの取り 組みが世界各地で実践され、国際競争を左右する大きな流れとなっている
- 日本では、TIA-nanoやナノテクノロジープラットフォームなど、一部の拠点・ネットワークが 機能しつつあるが、専門人材の不足やキャリアパス整備に課題があり、産学官いずれに おいても、人材を長期的・安定的に確保するための充実した施策が必要。
- 日本のナノテクノロジー・材料における研究開発力を世界最高レベルに保ち、アカデミア、 産業界が共にいつでも先端基盤技術へアクセス、技術的イノベーションを創出し、実用化・ システム化・産業化へつなげていく新時代の体制(ナノテクノロジー・材料イノベーションプ ラットフォーム:下記)を日本全体にわたって構築すべき



ナノテクノロジー・材料研究開発のイノベーションプラットフォーム(構想)

2.4 情報科学技術分野

2.4.1 分野の範囲と構造

2.4.1.1 分野の範囲

情報科学技術分野は、科学としてよって立つ基礎理論から、その実装としての電子部品・デバイスや情報通信機器・組込み機械、さらには情報システム・情報サービスまでの広範な産業を支える技術分野である。同時に、その汎用ツール的な性質から第二次、第三次産業はいうに及ばず、従来は直接関係ないと思われていた第一次産業や社会インフラ、社会システムの実装にまで深くかかわっている。本書では情報科学技術分野の技術を、社会とIT(Information Technology)の観点から、特に、社会システムをデザインするという観点で戦略的に取り組むべき戦略レイヤーと、それを下支えする基盤レイヤーに整理し、それぞれのレイヤーで今後わが国として注目すべき研究開発領域を特定した。

2.4.1.2 俯瞰の枠組

情報科学技術分野の範囲と構造を図 2.4.1 に示す。情報科学技術分野の知見は、要素技術としての技術に関する知見、それを社会システムデザインとして活用するための知見、および重点応用エリアとしての事業に関する知見に大別できる。

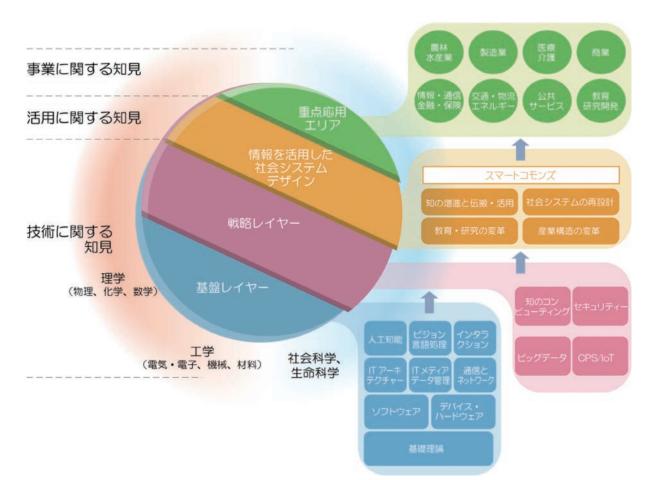


図 2.4.1 情報科学技術分野の俯瞰図

技術に関する知見は、学問的に体系化された研究開発領域からなる「基盤レイヤー」と、個 別の要素技術だけではとらえられない時代の変化に対応するための研究開発領域からなる「戦 略レイヤー」の二つに分けた。

活用に関する知見は、当分野の将来展望において、情報科学技術が社会基盤として広く浸透 し、その発展が社会に及ぼす影響が非常に大きいことから、情報通信技術そのものだけでなく、 社会システムデザインという文脈での研究開発領域からなる「情報を活用した社会システムデ ザイン」とした。

事業に関する知見は、情報通信技術を重点的に応用すべき事業ドメインでの事業化に関する 研究開発領域からなる「重点応用エリア」に整理した。

2.4.1.3 研究開発領域

戦略レイヤーで抽出された研究開発領域と、それを支える基盤レイヤーにおける研究開発領 域を図 2.4.2 と図 2.4.3 に示す。

基盤レイヤーは、情報科学技術にかかわる既存の学問領域を俯瞰したものとするために、国 内外の学会の組織構造の調査に基づき、基礎理論から、ソフトウエア、デバイス・ハードウエア、 IT アーキテクチャー、メディアとデータマネジメント、通信とネットワーク、さらに、イン タラクション、ビジョン・言語処理、人工知能を積み上げた。

これに加えて、情報科学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

インタラクション

- RMI
- 人間拡張工学
- ハプティクス
- ウエアラブル
- Human-Robot Interaction
- グラフィクス・ファブリケーション

ビジョン・言語処理

- 大規模言語処理に基づく情報分析
- 言語情報処理応用(機械翻訳)
- 言語情報処理応用(音声対話)
- 言語と映像の統合理解 ● 画像映像処理・理解

人工知能

- 探索とゲーム 機械学習
- 知能ロボティクス ● 統合的人工知能
- オントロジーとLOD 汎用人工知能
- Webインテリ ジェンス
- 認知科学

ITアーキテクチャ·

- エンタープライズアーキテクチャー
- ソフトウェア定義型アーキテクチャー
- クラウドコンピューティング
- 干バイルコンピューティング
- ワークロード特化型アーキテクチャー

ITメディアとデータ管理

- 個人ライフログデータの記録・利活用技術
- 次世代情報検索•推薦技術
- センサーデータ統合検索分析技術
- ビッグデータの統合・管理・分析技術 時空間データマイニング技術
 - ユーザ生成コンテンツとソーシャルメディア

通信とネットワーク

- 光通信技術
- 無線通信技術
- ネットワーク・エネルギー管理 ネットワーク仮想化技術

● 通信

● 極低電力

量子コンピューティ

- 通信行動とQoE
- 情報ネットワーク科学
- 新たな情報流通基盤

ソフトウェア

- システムソフトウエアとミドルウエア
- プログラミングモデルとランタイム
- 組込みシステム
- ソフトウェア工学

デバイス・ハードウェア

- 集積回路 • センサー ● MFMSデバイス
- アクチュエーター ● フォトニクス

● 電源

- アナログ回路
- 情報処理
- エネルギーハーベ メモリー·ストレージ

スティング 基礎理論

• プリンタブル

- 情報理論
- 暗号理論
- 離散構造と組合せ論
- 計算複雑度理論
- データ構造 •
- アルゴリズム理論
- 最適化理論
- プログラム基礎理論
- データアナリシス

図 2.4.2 基盤レイヤーの研究開発領域

知のコンピューティング

- 社会に新たな価値をもたらす 知の集積・伝播・探索
- 知の予測・発見の促進
- 知のアクチュエーション (社会行動変容を含む)
- 知の社会エコシステム・プラットフォーム
- 社会への影響・普及促進のための 倫理・法的・社会的課題
- 応用(超高齢社会、スマーターシティ、予防・未病ヘルスケア、・・・)

セキュリティー

- 次世代暗号技術および暗号プロトコル
- ITシステムのためのリスクマネジメント技術
- 要素別セキュリティー技術
- 認証・ID連携技術
- サイバー攻撃の検知・防御次世代技術
- プライバシー情報の保護と利活用
- デジタルフォレンジック

ビッグデータ

- ビッグデータ基盤技術
- ビッグデータ解析技術
- クラウドソーシング
- プライバシー保持マイニング技術
- ITメディア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
- 教育とビッグデータ
- 社会インフラとビッグデータ
- オープンデータ
- 著作権とビッグデータ
- プライバシーとビッグデータ

CPS/IoT

- CPS/IoTアーキテクチャー
- M2M
- 社会システムデザイン
- CPS/IoTセキュリティー
- 応用と社会インパクト
- ものづくりとIoT

図 2.4.3 戦略レイヤーの研究開発領域

しつつある重要なコンセプトとして、サイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber Physical Systems) と IoT (Internet of Things)、知のコンピューティング、ビッグデータ、及び、セキュリティーという区分を新たに定義し、戦略レイヤーとして基盤レイヤーの上位に配置した。

なお、基盤レイヤーにある俯瞰区分の技術は原則として排他網羅的な包含関係にある。一方、 上位レイヤーにある俯瞰区分の技術は、他の俯瞰区分と相互に関連しあうことがわかっており、 厳密な分類は行わないことにした。

以下、本報告書にて報告する研究開発領域は、技術知に含まれる二つのレイヤーに関して設 定している。

2.4.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性

2.4.2.1 分野の歴史

コンピューターは、1960年代のメインフレームと呼ばれる大型計算機に始まり、1970年代にはミニコンが実用化され、1980年代にはマイクロプロセッサーの進展によりワークステーションが登場し、1990年代にはパーソナルコンピューターが普及した。この進歩は半導体集積回路技術の発展によるところが大きい。この結果、コンピューターとネットワークはコスト、性能面で格段の進歩を遂げ、広く社会に浸透している。

ネットワークでは、ARPANETの研究に端を発するインターネットが、1990年代のWWW (World Wide Web) により、爆発的な広がりを見せた。その背景には、光通信技術などの進展により高速大容量通信が可能となったことがある。また、無線通信技術により、携帯電話や高速無線LANなどの普及から、すべての機器がネットワークにつながる時代となってきた。通信速度の飛躍的な向上が、電子メールから動画コンテンツへと変遷を下支えし、放送と通信の融合が始まっている。

システム的観点から見ると、メインフレーム全盛から、ミニコンの登場による分散システム、 さらにパソコンとサーバーによるクライアントサーバー型システム、そして今日のクラウドコ ンピューティングへと、集中と分散を繰り返す歴史となっている。

また、SNS(Social Networking Service)や Wikipedia に代表されるような、ソーシャルコンピューティングと呼ばれる、人々が参加する形でのネットワーク上のコミュニケーション活動が非常に活発になっている。ユーザーの役割が利用者であり、かつ、提供者であるというプロシューマーの形へ大きく変化している。さらに、2011年の東日本大震災時の迅速な情報共有など新たなメディアとしての役割を生み出した。

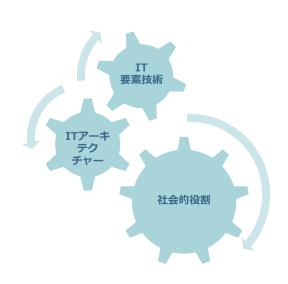
情報サービスに着目すると、インターネットやクラウドコンピューティングの登場によってサービスデリバリーの形態が一変してきている。つまり、IT 基盤やビジネスプロセスに基づいたソフトウエアやアプリケーションを所有することから、標準化されたプラットフォーム上に準備されているソフトウエアやアプリケーションを使用する形態へと移っている。これにより、所有することによる技術の陳腐化やセキュリティーの脆弱さから解放されるだけでなく、標準化と組み合わせによるビジネスプロセスの変化への柔軟な対応、品質の担保、さらには、コストの低減など多くのメリットがもたらされる。

クラウドコンピューティングは、サービスデリバリーの形だけではなく、社会におけるコミュニティーのあり方、協業の仕組み、企業活動形態にも影響を与えている。グリッドコンピューティングが提唱した仮想組織を実現化するインフラといってよいだろう。さらに、質の高い新しいサービスを素早く展開するために、コンポーネント化と統合化の技術が2000年代に推進されてきた。その一つが、企業のビジネスプロセスを標準化し、コンポーネント化し、それを組み合わせるというサービスオリエンティッドコンピューティング(SOA: Service Oriented Architecture)である。この考えは、後ほどふれる社会システムの構築にも生かされつつある。カーナビや携帯電話による位置情報サービスは、ユーザーの所有する端末や、その場所での状況を判断したサービス、いわゆるコンテクストアウェアサービスとして広まる状況にあり、ITS(Intelligent Transport System)などとも連携し、スマートコミュニティーでの展開が期

20世紀後半に生まれた情報ネットワーク社会(サイバー社会)は、21世紀に入り、実世界と有機的に連携、統合化する動きが出てきた。米国では、サイバーフィジカルシステム(CPS: Cyber Physical Systems)のプロジェクトが進められ、すべてのモノがインターネットに接続される IoT(Internet of Things)という言葉も生まれた。

コンピューターとネットワークは、あらゆる社会情報システムを構成し、我々の日々の生活になくてはならない社会インフラとなった一方で、個人情報流出やコンピューターウイルスの流布による従来起こり得なかった事故や、災害、人為の結果発生したシステムの停止や誤動作が社会の機能を大きく停滞させるような事象が発生するようになってきた。このようないわば

待されている。



IT要素技術の進化

- 高性能計算、高速大容量通信
- ビッグデータ、ロングテール、リアルタイム処理
- 数値計算から事務処理、知識処理へ
- モジュール化とミドルウェアの発展

ITアーキテクチャーの変化

- 集中と分散の動的バランス
- 実世界とサイバー世界の融合
- 人がつながる、モノがつながる
- 産業のサービス化を支える

社会的役割の拡大

- ビジネスのクリティカルインフラから 社会のクリティカルインフラに
- 森羅万象(人、集団、機械)を支える技術に

図 2.4.4 IT の社会的役割の変化

負の側面に対処できるような研究開発の研究も進んでいるがまだ十分とはいえない。

その昔、コンピューターは、一部の人しか扱えないものであり、クローズドなシステムとして構築・運用されてきた。しかし、今日では複雑で、予測不可能なオープンなシステムとなっている。このように、情報科学技術分野の技術開発や研究の対象は、半導体、ソフトウエア、通信ネットワークから人間の行動様式や社会活動そのもののデザインにまで広がりつつある。

これを、ITの社会的役割の変化という視点で見ると次のように言える。IT要素技術の進化は、ITを使う仕組み(ITアーキテクチャー)の変化を促し、それにより新たなITのアプリケーションが生まれ、社会的役割が拡大する。役割の拡大が、要素技術やアーキテクチャーの重要性を増大させ、それが次の進化に向けた技術革新を加速する(図 2.4.4)。

コンピューターの能力は、IT 要素技術の進化により、より高速により大量の情報を処理できるようになり、その結果、情報処理システムは、企業のクリティカルな業務から、社会を支えるさまざまなクリティカルインフラへと、その領域と重要性を拡大する。新たな需要にこたえるために、時代と要求に合致した新たな情報システムの構造(アーキテクチャー)が考案され実装される。すると、その過程で明らかになった技術的課題が新たなドライバーとなって更なる要素技術の進展を促す。いわば、IT 要素技術、IT アーキテクチャーは社会システムと三位一体となって進化し続けているのである。

2.4.2.2 分野の現状 ~社会とのかかわりを深める IT ~

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。

まず、ビジネスのグローバル化が進み、迅速かつ柔軟な対応が必要となっている。特にIT 企業は国際的な影響力を持たない限り生き残れなくなってきた。また、ハードウエアの低価格 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となっている。

また、これまでの一企業の中で閉じたサービスであったものと、社会的なサービスとして一般大衆を対象として開かれたサービスでは、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ー、社会的責任を持つこ

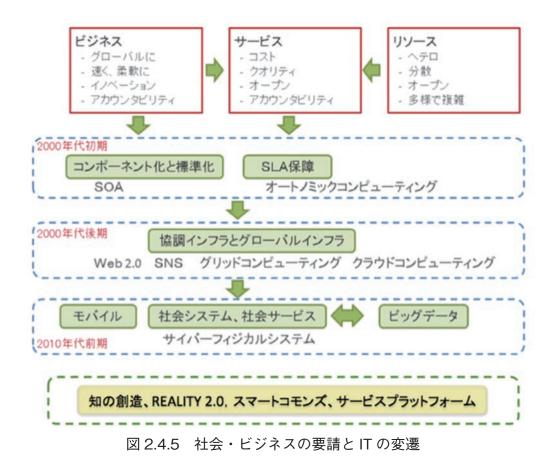
とが大きな課題となる。

さらに、ストレージやプロセッサー、ネットワークなど様々なリソースがサービスに接続されるようになっており、それらは多様性を持ちつつ様々なところに分散しておかれている。

こうしたことを背景として、2000年代初期に、コンポーネント化と標準化、インテグレーションのためのSLA保証といった技術開発が盛んに行われるようになった。

2000年代後期になると、こうした技術を基盤として Web 2.0、SNS、グリッド、クラウドコンピューティングなどが進展し、世界の知恵を集める協調インフラが構築され、グローバルインフラとして広く世界に影響を与えるようになってきた。例えば、企業のあり方もネットワークを介した連携が進んできた。グリッドコンピューティングのもたらした仮想組織(Virtual Organization)の考え方に代表されるように、仮想的に機能を連携させることが可能になり、それがビジネスモデルに大きな変革をもたらしてきた。

さらに、近年、仮想化、コンポーネント化などの考え方が、企業の機能だけでなく社会の機能として位置づけられるようになってきた。サイバーフィジカルシステム、スマータープラネットなどに代表される社会システム・社会サービスへの期待である。このような社会のクリティカルインフラとしての期待に応えるためには、情報技術が単に技術の進展だけを狙うのではなく、社会性、倫理性などにもとづいた社会デザインまで関与しなければならない。また、このようにして情報技術により実現される社会システム・社会サービスを支えるデータ、インフラ、サービスにより構成されたプラットフォームを社会共通資本(スマートコモンズ)と考え、継続的な投資の必要性、セキュリティーに係る問題をはじめとして社会的・経済的に捉えることが急務である。



CRDS-FY2015-FR-01

このような情報技術の直接的な社会貢献だけでなく、情報技術の進展がライフサイエンス、ナノテクノロジー、マテリアルサイエンス、宇宙科学、地球科学、社会・人文科学など、ほとんどの分野にもたらしている革新的な変化も見逃せない。研究開発の革新的加速、網羅性、シミュレーションなどの影響を捉えることが国力にも影響を与えつつある。また、大量のデータを捕捉し、解釈し、自動的に学習する技術の進展の目覚しさをみると、機械と人間の関係を新たに考え、社会的な仕組みを作り出す必要性がある。

これまで、物理世界を現実世界、サイバーの世界を仮想的な世界として捉え、その関係を議論してきた。その時代感を Reality 1.0 と呼べば、いまや物理世界とサイバー世界が一体となったところに現実があるという認識も必要になってきている。まさに Reality 2.0 の時代の到来であろう。本報告書はこのような時代の潮目の変化を捉えようとするものである。

2.4.2.3 分野を取り巻く環境変化と IT のチャレンジ

汎用技術として社会とのかかわりを深める IT は当然のことながら取り巻く環境変化の影響を受ける。図 2.4.6 には環境変化(トレンド)と、その結果として IT に求められるチャレンジ (挑戦課題) をまとめた。

第1のトレンドは技術進歩である。加速度的なITの進歩によりIT機器の小型化・遍在化とクラウドシステムの巨大化・集中化が同時進行している。その結果さまざまなモノや人がネットワークで繋がり、これらが生み出す膨大なデジタルデータ(ビッグデータ)が利用可能となっている。これが意味することは、森羅万象が発する大量の異種データをタイムリーに処理する

100	L1 × L9	MP NO EM HA
	トレンド	挑戦課題
技術	● ITの加速度的進歩が続く● 様々なモノ・人が繋がる● ビッグデータ処理技術が進む● クラウド化の進展	 森羅万象を対象とした処理形態 異種データ、大量データ処理 データの信頼性、プライバシー保護 社会基盤に求められるディペンダビリティー
経済	● ITによる新ビジネス創出● 市場のグローバル化● インターネットを介したサービスの進展● ロボットによる効率化● 機械による雇用の喪失	 ● ビッグデータによる社会コスト低減や付加価値の創造 ● クラウド基盤によるサービス経済の進化 ● ITを他の領域の基盤とする ● 社会・経済インパクトの評価とモデル化
社会・環境	 ● ITの社会浸透(社会インフラ化)の進展 ● 少子・高齢化 ● インフラ老朽化と自然災害の脅威 ● 資源の不足・枯渇 ● 社会的格差の拡大と社会の不安定化 ● セキュリティーの脅威 	社会システムの統合と再構築防災・減災・復旧の高度化社会制度、倫理の研究(ELSI)人間と共存するロボット
人間・文化	教育の新たな試み (MOOCs)ネット依存症 (スマートフォン、ゲーム)人間と機械の融合 (ウェアラブル、インプランタブルデバイス)グローバル化に伴う稀少文化の消失	◆ 人と機械の新たな関係◆ 多様性・個別性に対応した質の高い教育・再教育・学習◆ 文化、知の理解と継承◆ 人・集団を賢くするIT

図 2.4.6 環境変化と IT に求められるチャレンジ

能力がITに求められているということであり、その際には、扱うデータの信頼性や個人データの保護などの社会受容や、社会基盤に求められるディペンダビリティがITにも不可欠になるということである。

第2のトレンドは経済への波及である。企業のIT環境はインターネットを基盤とする大量のユーザー(顧客)ベースを取り込むことで従来とは異なる収益モデルをもつIT(活用)企業を生み出した。一般の企業も特に米国を中心に、ITをビジネス展開に活用することが事業規模と生産性を劇的に変化させるキーであることに気づき始めている。また、進化を続ける人工知能の機能を取り込んだロボットやソフトウエアが、人間の定型的作業を置き換えるレベルに達しつつある。今後求められるのは、ITを、単に社会コストの削減や付加価値の創造に活用するという視点だけでなく、人間と機械との新たな関係に基づく豊かな社会を実現するという視点である。

第3の視点は社会や環境への浸透の進展である。我が国の課題は山積しており、それに対するITの貢献が強く期待されている。また、社会のあらゆる階層で大きなリスクとなっているセキュリティー問題や、ITの機能不全がインフラサービスの停止に至るといった状態はITが責任を持って対応すべき課題である。このような中、ITを活用した社会システムの統合や再構築、防災・減災・復旧の高度化などの実現が今後ますます求められる。その際には社会制度の見直しやそのための倫理の研究が必要である、と同時に、社会的・経済的インパクトの評価とモデル化の研究がそのベースとなる。

最後のトレンドは人間・文化への貢献である。IT の最後のフロンティアは人間であるといわれる。IT は人間社会を豊かにするものでなければならない。人間の新たな役割を生み出し、そのために必要なスキルや知識を効率的に人間に提供し続け、個人や集団が今までよりも賢い意思決定ができるよう支援することが IT の究極の役割である。

2.4.2.4 我が国の課題と分野の方向性

IT の大きなトレンドを図 2.4.7 にまとめた。

IT の発展は指数関数的であり、近年ますますその進歩の度合いを高めている。ムーアの法則に代表される半導体デバイスの進歩だけでなく、ソフトウエアやシステムのレベルにおいても急速な進化を遂げている。従来は困難であろうといわれていた自動車の自律運転が可能になり、チェスや将棋、あるいはクイズでも人間チャンピォンにまさるコンピューターが出現している。これらは、IT の技術的な進歩と、IT の社会浸透の結果としての豊富なデータ、すなわちデータの洪水の結果として現れている。IT が社会にとって十分に役立つレベルになったために、その社会浸透がいたるところで進んでいる。IT なしでは、銀行の業務や航空券の予約、会社の経営などは考えることもできない。このように、IT はますますその存在感が大きくなっている。

しかも、その進歩は情報の世界だけにはとどまっていない。もののインターネットやサイバーフィジカルシステムに代表されるように、従来は情報化とは関連のなかった実世界にもITの効果が現れるようになってきた。これまでも列車や航空機の運航、製造現場の機械などはコンピューター制御が普通に行われていたが、それらがITとしてネットワーク化され、他の機器やサービスと連携することによって、さらに高度で複雑な機能を果たすようになってきている。これらのトレンドを踏まえた上で、今後戦略的に取り組むべき技術区分として、「知のコンピューティング」、「セキュリティー」、「ビッグデータ」、「サイバーフィジカルシステム、

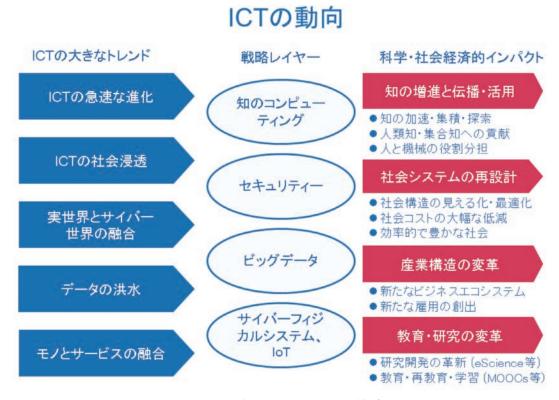


図2.4.7 ICTの大きなトレンドと戦略レイヤー

IoT」の4つを挙げている。

IT の進歩によって、人間がより知的な生活を送ることと、より豊かで効率的な社会を築くことが可能になる。つまり精神的な面と、物理的な面での人類の進化である。精神的な進化を助長するために「知のコンピューティング」を提唱し、人間と機械の創造的な協力関係を打ちたてようとしている。物理的には、「サイバーフィジカルシステム、IoT」によって、サイバーの力によってリアルの世界の進化を実現しようとしている。

これらの動きを支えるものとして、「ビッグデータ」と「セキュリティー」を取り上げている。知の向上のためには、ますます増大するデータを活用し、ビッグデータに関連する情報収集、分析能力を有効に活用しなければならない。また、ものに関する情報も増加の一途をたどるので、ビッグデータが基盤として重要になる。技術の進展は機能の向上、複雑で高度なサービスを提供するが、一方ではいろいろな意味での脆弱性を社会にもたらすことになる。この脆弱性がリスクとして顕在化しないように、セキュリティー技術の進化が期待されている。

以上、述べたように戦略レイヤーの4つのテーマを進めることによって、数々の科学・社会経済的なインパクトをもたらすことができる。知の増進と伝播・活用によって、人類はより知を活用し、機械との新たな関係において、創造的な生活を送ることができるようになる。また、従来の社会システムではなく、ITを使うことを前提に社会システムを再設計すれば、社会システムの最適化、社会コストの低減、効率的で豊かな社会が実現できる。現状の社会システムをコンピューター化するのではなく、ITから発想することが重要である。知識の活用や、リアル世界の情報化、ものの情報の利活用が進めば、従来の産業構造にも大きな影響を与えると思われる。よりダイナミックで柔軟なビジネスエコシステムが実現され、新たな雇用や就業形態が生まれる可能性がある。影響は産業界にとどまらず、教育や研究にも波及するであろう。

データに基づく新たなサイエンスや、オープンな学習環境が実現する。IT をベースにすることによって、これらの変革が促されるであろう。

IT は基盤的な技術であり、さまざまな分野において、さまざまな効果を発揮し、多様な領域のイノベーションを加速することが期待される。エネルギーや交通などの社会インフラや行政、住民サービスといった社会システムを改善したり、情報通信産業のみならず、製造業やサービス業、農業などの効率化・高付加価値化を実現することも可能である。さらに、ナノテクやライフサイエンスなどの科学技術の発展に大きく貢献する。

その研究開発領域は図に示したように、大きく4つの区分で考えるべきであろう。

- 1. 技術の社会適用や、その効果の計量に係る領域
- 2. 他分野と情報科学技術の融合領域
- 3. 情報科学技術そのものに関する領域
- 4. 大きな変化を引き起こす可能性のある領域

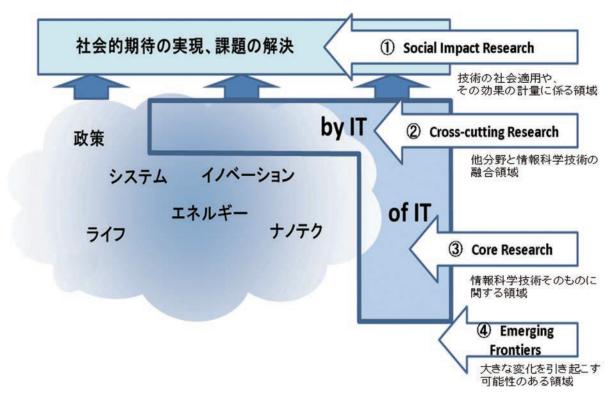


図 2.4.8 多様な領域に影響を与える IT

これらの区分に応じて、テーマやゴール、研究期間の設定など、研究開発の進め方や、成果の出し方などを工夫しなければならない。

IT のインパクトは、それまでの業務をより効率的に行うことによってコストを抑える、という面と、それまでのやり方ではできなかった新たな価値を創造する、と言う面がある。また、インパクトを与える領域として、大別して産業と社会が考えられる。

●効率的な社会にむけては、社会システムのデザインと運用が重要である。ここでは、デザインの段階から IT を意識し、公共サービスの質を向上し、社会の成長とともに進化する、柔軟でロバストな社会システムの運用・管理によって、社会的なコストの低減を実現する。

- ●産業競争力の強化に向けては、ITによる見える化や効率的な設計、実装により企業コストの大幅な低減が実現される。
- ●新産業の育成においては、ITによる従来産業の付加価値向上とともに、新たなビジネス モデルへの対応による新産業の開拓が行われる。
- ●豊かな社会の実現に向けては、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

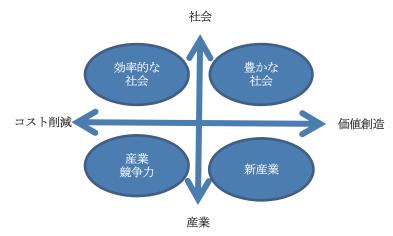


図 2.4.9 IT のもたらすインパクト

このように、ITの進化はさまざまな影響を社会に与えるであろう。

(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、IT 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。

昨今のデータは、指数関数的な増大(Volume:量)、発生の頻度(Velocity:頻度)、構造型、 非構造型などのデータ形式(Variety:種類)というVで始まる3つのベクトルすべてで急激 に上昇しており、また、これら大量に発生しているデータの信頼性は、まちまちである。

大量のデータを蓄積し、適切な時間内で処理することは、ハードウエアの処理能力の増大、 クラウド、高速ネットワーク通信、分散処理などのインフラを活用することで可能になってき ているが、ある目的に特化したデータ分析や、夜間バッチでの処理などに止まっており、多種 多様なデータから新たな知見や洞察を抽出することや、リアルタイムでの処理という点は、今 後の課題となっている。

オープンデータ、ソーシャルメディアデータ、パーソナルデータ、音楽や動画などのコンテンツデータ、様々な機器からのセンサーデータなど多種多様なデジタルデータを活用することで、新たなサービス創出、既存事業の刷新による高付加価値化、社会・企業コスト低減を実現することができる。

異種データの統合技術、迅速な意思決定のためのリアルタイム解析技術、データ共有基盤の整備、が必要である。また同時に、ビッグデータが広く活用されるための社会受容、ステークホルダー同士の連携を促進するための技術や社会的仕組み、分析対象のデータに関する著作権

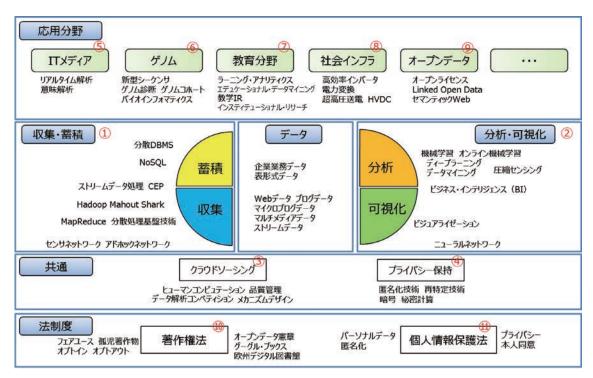


図 2.4.10 ビッグデータの俯瞰図

や個人情報の保護に関する技術面、政策面での整備、が必要である。

(2) CPS / IoT

CPS(サイバーフィジカルシステム、Cyber Physical Systems)とは、ネットワーク化されたコンピューティングによる処理と物理的な要素が統合されたものを指す。実世界や人間から得られるデータを収集・処理・活用し、社会インフラの効率化、新産業の育成、知的生産性の



図 2.4.11 CPS/IoT の俯瞰図

向上などに資すると期待されている。一方、似た概念として IoT (Internet of Things) がある。これは、パソコンやサーバー、携帯電話などの情報・通信機器だけでなく、家電製品や自動車、機械など、様々なモノに通信機能を持たせ、インターネットに接続し、モノの制御や周囲の状況の計測などを行うことである。人、モノ、コンピューターなどが有機的に結合することによって、社会、経済、産業の効率化と付加価値の向上を実現する。

CPS/IoT はすべての産業セグメントに関わる。適用領域を考慮せずに CPS/IoT の研究開発を進めることはできない。このため、CPS/IoT 分野を俯瞰するにあたっては、社会という視点を盛り込みながら、「アーキテクチャー」、「M2M」、「社会システムデザイン」、「IoT セキュリティー」、「応用と社会インパクト」、「ものづくりと IoT」に分類した。

これらの項目に応じた研究開発とともに、全体を見通した考え方が重要になる。

(3) 知のコンピューティング

知のコンピューティングは、情報科学技術を用いて社会に新たな価値をもたらす「知」の創造を促進し、その知価に関する科学的発見と社会実装を加速することを目指した活動全般に関わる研究分野である。知価創造を促進する知の集積・伝播・探索、知の予測・発見の促進、知のアクチュエーション(社会行動変容を含む)、および、知の社会エコシステム・プラットフォーム、社会への影響・普及促進のための ELSI に関する研究領域を含む(図 2.4.12)。

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

①知の集積・増幅・探索

加速する知の集積とその世界への伝播増幅、環境状況に合った検索

- Web-enableオントロジー
- ◆ 体験共有知Co-experience Knowledge and Wisdom
- ●ビッグデータ分析
- ●マルチモーダル知識
- ●五感・ジェスチャ検索

②予測、発見の促進

集合知やローカル・データベース をオープンデータにして新たな予 測と発見を加速する

- ●機械学習、ベイズ推定
- ●推論、ルール発見
- ●Web推論
- ●ヒューマンコンピュテーション
- ●クラウドソーシング

③知のアクチュエーション

集積した知等を行動変容を含めて、 個人・社会に普及・啓蒙する

- ●ヒューマン・ロボット・インタラクション
- ●マルチ・ロボット・システム
- ●テレオペレーション
- ●知識ネットワークロボティクス
- ●BS を考慮して知価を上げる行動
- ●知価の合意形成・購買行動モデル

4)知の社会エコシステム・プラットフォーム

集積した知、生み出された価値等を社会に還元・共有・普及・促進を加速しやすくする社会エコシステム・プラットフォームを構築する

⑤個人・集団・生物に学ぶ

人(々)、生物の対話・集団行動を科学する

●環境知能

生物学

- ●ソーシャルネットワーク分析 ●合意形成
- ●行動経済学 ●集団認知科学
- ●脳と心の見える化、シミュレーション
- ●人間やコミュニティの行動や意思決定 メカニズム研究
- ●数理統計と計算機科学の基礎と応用

心理学

⑥知価の日日と適用領域

知の集積・増幅・検索・予測・発見・アクチュエーションを可能にする倫理的・法的・社会問題の整備、ガイドライン設計

- BSI(倫理·法的·社会問題)
- RoboEthics(ロボット倫理学)

経済学

- ●オープンソースソフトウェア、・オープン・プラットフォーム
- ●超高齢社会、スマーターシティ、予防・未病ヘルスケア

経営工学

認知科学

図 2.4.12 知のコンピューティングの俯瞰図

脳科学

社会学

法学

哲学

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ー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。

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、発見の促進を行い、さらに、集合知や人類知の向上を目指す。ここで注意しなければならないのが、いわゆる ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) と呼ばれる研究開発を進めるに当たって遭遇するさまざまな倫理や法制度、社会的な課題である。これらの視点についても研究を開始する時点から十分な配慮をしておくことが必須である。

(4) セキュリティー

現代社会は、ICT システムに深く依存するようになってきており、ICT システムの安全性の確保は非常に重要な課題になってきている。このような問題を解決するために必要となるのが、情報セキュリティーである。情報セキュリティーの研究分野は広く、縦軸に基礎か応用かを、横軸に要素技術的かシステム技術的かをとり、図 2.4.13 に示すように整理することができる。セキュリティーは多様な技術をベースにしながら、それらが複雑に関連し、社会的な影響も大きくなっている。さらに、技術だけではなく、法制度や教育、あるいは社会システムといった視点での検討も重要である。総合的な取り組みが期待される。

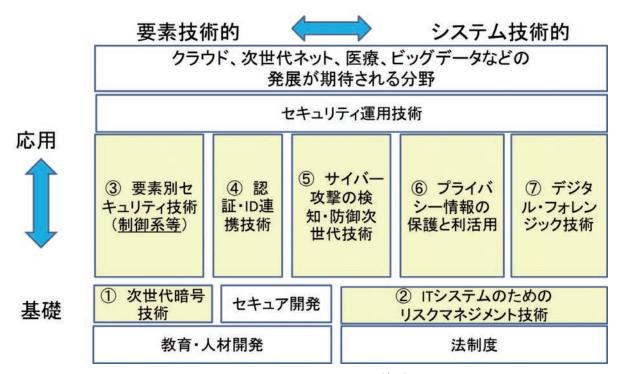


図 2.4.13 セキュリティーの俯瞰図

2.4.2.5 諸外国・地域における研究ビジョンや戦略

(1) 米国

オバマ政権において 2009 年に策定され、2011 年 4 月にアップデートされた米国イノベーション戦略では、次世代の教育と労働力創出、基礎研究のリーダーシップ強化と拡大、先進的な社会インフラ構築、先端情報技術のエコシステム構築をイノベーションの基盤と位置づけ投資対象に挙げている。また、試験研究費税額控除によるビジネスイノベーション加速、起業支援、

イノベーションハブと起業エコシステム育成を通じたマーケットベースのイノベーション促進と同時に、クリーンエネルギー革命、バイオテクノロジー・ナノテクノロジー・先端製造の加速、宇宙空間の利用、ヘルスケア技術、教育技術といった国家的重要テーマにおけるブレークスルー促進を掲げている。エコシステムを構築すべき先端情報技術として、高速インターネットへのアクセス拡大、電力グリッドの近代化、高付加価値利用のための無線スペクトルの可用性拡大、セキュアなサイバー空間を具体的に挙げている。

こうしたイノベーション戦略の下、情報科学技術の研究開発に対する公的投資は、省庁横断の枠組みであるネットワーキング情報技術(NITRD)プログラムを中心に戦略的に取り組まれている。NITRD プログラグラムは国家科学技術会議(NSTC)の NITRD 小委員会により統括されているが、プログラムの進捗と方向性について 2005 年以降は大統領科学技術諮問会議(PCAST)が評価を実施することになっている。PCAST によるプログラムレビュー(2010年)や米国イノベーション戦略(2011年)を受け、NITRD 戦略計画が 2012年に策定されている。戦略計画は研究開発の5ヵ年計画であり、米国がリーダーシップを確保しつづけるために強化すべき3つの広範な領域を挙げ、省庁連携の一層の推進、新たな産学連携や学際的な取り組みが必要と指摘している。

【強化すべき3つの領域】

- ①拡張された人とコンピューターの連携・協調 (WeCompute)
- ②生活を任せられる安心・安全なシステムの設計・構築(Trust and Confidence)
- ③サイバー能力を最大限に活用するための教育・訓練の変革(Cyber Capable)

なお、2010年の更新版となるプログラムレビュー(2013年)が公表されている。

次に技術領域別に眺めると、NITRD プログラムでは技術領域を 8 つのプログラム・コンポーネント・エリア(PCA)にカテゴライズして、研究開発内容の分析・重要度付けなどを行っている。また、新しい課題に柔軟に取り組むための 4 つの上級運営グループ(SSGs)のほか、参加機関の CIO が実務に関する情報共有を行うための Community of Practice (PoC) が組織されている。

【プログラム・コンポーネント・エリア】

- ①ハイエンド・コンピューティング基盤とアプリケーション(HECI&A)
- ②ハイエンド・コンピューティングの研究開発(HECR&D)
- ③サイバーセキュリティーと情報保証(CSIA)
- ④ヒューマン・コンピューター・インタラクションと情報管理(HCI&IM)
- ⑤大規模ネットワーキング(LSN)
- ⑥ソフトウエアの設計と生産性 (SDP)
- ⑦ IT が及ぼす社会、経済、労働力への影響と IT 人材育成(SEW)
- ⑧高信頼ソフトウエアとシステム (HCSS)

【上級運営グループ】

- ⑨ビッグデータ R&D
- ⑩サイバーフィジカルシステム R&D
- ①サイバーセキュリティーと情報保証 R&D
- 迎医療情報技術 R&D
- ①無線スペクトル R&D

(2) 欧州

I. 欧州委員会

2010年に発表された欧州の中長期成長戦略 Horizon 2020の7つのフラッグシップイニシアチブの一つが情報通信戦略である欧州デジタルアジェンダである。デジタルアジェンダは高速インターネットと相互運用可能なアプリケーションに支えられたデジタル単一市場から持続可能な経済的・社会的便益を提供することを目的に掲げ、次の7つの行動領域を定めている。

- ①活気に満ちたデジタル単一市場
- ② ICT 標準と相互運用性
- ③信頼性·安全性
- ④高速・超高速インターネット
- ⑤研究開発とイノベーション
- ⑥デジタルリテラシー向上と社会的包摂
- ⑦ ICT を活用した社会的課題への対応

研究開発とイノベーションの行動領域では、米国と比較して欧州における IT 投資、R&D 投資が不充分であり、FP7 の終了する 2013 年までに R&D 予算を年間 20% 増とし、公共調達(pre-commercial procurement)や官民連携(public private partnership)により民間投資へ、てこ入れすることを掲げている。

さらに、2012年に公表された欧州デジタルアジェンダー欧州の成長をデジタルにより促進 $^{15.16}$ では、2010年の欧州デジタルアジェンダと相互に補完・強化する 7 つの重要領域を掲げている。

- ①国境の無いデジタル経済の促進
- ②公的部門のイノベーションの加速
- ③超高速ネットワーク接続
- ④クラウドコンピューティング
- ⑤信頼性・安全性の保証
- ⑥ Web を用いた起業、雇用とスキル
- ⑦重要技術に対する産業界の取り組み

こうした戦略を背景として、Europe 2020 のフラッグシップイニシアチブの一つであるイノベーションユニオン(研究の成果をイノベーション・経済成長・雇用につなげる)を推進するものとして、2014 年より FP7 の後継枠組みプログラムとして Horizon 2020 がスタートした。Horizon 2020 は、卓越した科学(Excellent Science)、産業界のリーダーシップ確保(Industrial Leadership)、社会的課題への取り組み(Societal Challenges)の3つの柱の下で公募の年次計画(Work Programme)が立てられている。2014 年~2015 年の Work Programme には次のように情報科学技術そのものに関する研究および社会的課題への取り組みに情報科学技術を活用する研究領域が含まれている。

・卓越した科学

Future Emerging Technologies (FET)

Research Infrastructure

・産業界のリーダーシップ

ICT

Factories of the Future

・社会的課題への取り組み

Health, Demographic Change and Wellbeing

Secure, Clean and Efficient Energy

Smart, Green and Integrated Transport

Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials

Europe in a changing world - Inclusive, innovative and reflective societies

Secure societies – Protecting freedom and security of Europe and its citizens その他に欧州イノベーション技術機構(EIT)

知識・イノベーションコミュニティー (KIC)

欧州委員会や欧州委員会の執行機関以外による Horizon 2020 の資金配分 欧州技術プラットフォーム (ETP)

バイオ、エネルギー、環境、情報通信技術、生産・プロセス、輸送の6分野 情報科学技術に関連の深いものとして、

ARTEMIS

ENIAC

EPoSS

ETP4HPC

euRobotics [AISBL]

NEM

NESSI

Networld2020

Photonics21

共同技術イニシアチブ(ITI)

情報科学技術に関連の深いものとして、

Embedded Computing Systems (ARTEMIS)

Nanoelectronics Technologies 2020 (ENIAC)

Ⅱ. 英国

 $2015 \sim 2016$ 年を対象にした複数年度予算計画「スペンディング・ラウンド 2013^{24} 」が 2013 年 6 月に財務省から発表された。計画では、カタパルトセンターやバイオメディカルカタリスト基金を含めイノベーションの支援を行っている技術戦略会議(TSB、2014 年 8 月より Innovate UK と改称)に対して 185 M \pounds の資源予算を追加配布することが明記されている。また、資本予算を 2012 年~ 2013 年の 6 億 \pounds から 2015 年~ 2016 年には 11 億 \pounds に増額することが明記されている。

また、2014年12月にビジネス・イノベーション・技能省(BIS)から科学・イノベーション戦略「成長計画:科学とイノベーション」が発表された。計画のなかで、科学とイノベーションの強みを維持するものとして、8大技術(Eight Great Technologies)への重点化と産業戦略、デジタルスキルも含む科学的才能の育成、科学研究インフラへの投資、研究へのファ

ンディング、イノベーションの促進、グローバルな科学研究やイノベーションへの参加を掲 げている。ここで8大技術とは英国が強みを持つと考えられる①ビッグデータとエネルギー 効率の高いコンピューティング、②人工衛星と宇宙空間の商業利用、③ロボティクスと自律 システム、④合成生物学、⑤再生医療、⑥アグリサイエンス、⑦先進材料とナノテクノロジー、 ⑧エネルギーと蓄積である。また、特筆すべきものとして、科学研究インフラへの今後5年 間(2016年~2021年)で59億ポンドの投資のなかで、ビジネス利用を目的とした6つの 新たな投資の一つとして、ハートレーセンターのコグニティブコンピューティング研究セン ターに 113M £投資し、計算機の専門家でなくてもビッグデータからの知見を得られるよう にすることを目指している。また、イノベーションの促進として、Innovate UK が管理運営 するカタパルトセンターは産学連携の拠点を形成し、企業、科学者、エンジニアが研究開発 を行い、アイデアを新たな製品やサービスに転換することを目指している。①細胞治療、② 連結デジタル経済、③未来都市、④高付加価値製造、⑤オフショア再生エネルギー、⑥人工 衛星応用、⑦輸送システムのカタパルトセンターに加えて、⑧エネルギーシステム、⑨精密 医療のカタパルトセンターを新たに発足させること、④高付加価値製造を強化することを掲 げている。②連結デジタル経済カタパルトセンターは、信頼できる手段による私有データの 早期の共有を図り、2018年までに365M よの経済的付加価値を生み出すことを目指している。 このために多くの中小企業が迅速かつ低リスクでイノベーションを実現するためのプラット フォームを構築する。なお、Innovate UK は 2011 年にオープンデータを活用したスタート アップの育成、スキルアップ、経済インパクトの分析とビジネスモデル開発を目標に掲げて 10M £/5年のファンドにより Open Data Institute を設立している。

Ⅲ. ドイツ

科学技術イノベーション基本計画が 2010 年に更新され、連邦教育研究省(BMBF)より「新ハイテク戦略 2020」として 2014 年に発表された。新ハイテク戦略 2020 では、グローバルな課題である 5 つの重点分野(①気候・エネルギー、②健康・栄養、③輸送、④安全、⑤通信)を掲げるとともに、課題解決型アクションプランとして 11 の未来プロジェクトを策定している。11 の未来プロジェクトとは、① CO_2 ニュートラル社会の実現、②エネルギー供給構造改革、③再生可能エネルギー、④個別化医療・よりよい治療、⑤最適な栄養摂取と健康増進、⑥自立した高齢者の生活、⑦持続可能な輸送・電気自動車導入、⑧通信ネットワーク・個人情報の安全、⑨インターネットベースのサービス、⑩世界の知識へのデジタルによるアクセス・体験、⑪明日の労働環境と労働体制であり、⑩⑪は後に統合され Industrie 4.0 のイニシアチブへと発展している。Industrie 4.0 では、製品輸出及び製造技術輸出により生産拠点としての競争力を確保しつづけること、モノとサービスのインターネットの生産過程への活用、Cyber-Physical Systems でネットワーク化された考える工場の実現などを目標に掲げている。

なお、連邦政府のハイテク戦略の重要なプロジェクトである先端クラスターコンペティションのうち情報科学技術に深く関連するものとして、it's OWL (Ost Westfalen Lippe、インテリジェント技術システム)があるが、「考える工場」のモデル運用を主な研究内容としており、Industrie 4.0 の重要な産学連携拠点の一つとなっている。

一方で、情報通信政策を担当する連邦経済エネルギー省(BMWi)より「ドイツ・デジ

タル 2015」(2010 年)として 2015 年までに実施すべき取り組み・プロジェクトの重要度付けを行っている。このなかで、①経済活動の全局面で ICT の活用を通じて企業の競争力を強化すること、②将来の課題に応えるため ICT に係るインフラやネットワークを拡大すること、③利用者の個人的な権利を保護すること、④ R&D の促進と成果の迅速な商業化、⑤ ICT 活用に関する学校教育・職業教育・生涯教育の強化、⑥環境・気候変動・健康保健・モビリティー・行政・市民の QoL 向上に取り組むとしている。また、2014 年には、連邦経済エネルギー省(BMWi)、連邦内務省(BMI)、連邦交通デジタルインフラストラクチャー省(BMVI)の連名による「ディジタル・アジェンダ 2014 ~ 2017」が連邦政府より公表されている。アジェンダでは7つの主な行動エリアとして、①デジタルインフラストラクチャー、②デジタル経済と職場、③イノベーティブな行政機関、④社会におけるデジタル環境の形成、⑤教育・科学・研究・文化・メディア、⑥社会・経済におけるセキュリティー・保護・信頼の構築、⑦欧州及び国際的協調を掲げている。

Ⅳ. フランス

高等教育・研究法が 2013 年 7 月に施行され、これを踏まえて研究戦略 France Europe 2020 が策定されている。戦略では、①社会的課題への取り組み、②研究戦略策定機能の刷新、③技術研究の促進、④デジタル教育とインフラの充実、⑤イノベーションと技術移転の推進、⑥科学文化の涵養、⑦ファンディングプログラムの最適化、⑧研究主体の連携強化、⑨フランスのプレゼンス向上を 9 つの戦略領域として挙げている。上記①社会的課題への取り組みとして、9 つの社会的挑戦(合理的な資源管理と気候変動への対応、クリーン・安全・効率的エネルギー、製造業の復興、健康と福祉、食の安全と人口問題、持続的なモビリティーと都市、情報通信社会、イノベーティブで適応力ある統合社会、宇宙利用)を挙げている。特に情報通信社会に向け、ビッグデータ、サイバーセキュリティー、IoT、インテンシブコンピューティング、ロボティクスが戦略的重要性を持つとしている。また、上記④デジタル教育とインフラの充実のなかで、シミュレーションやビッグデータマイニングは、科学技術研究・イノベーション・競争力にとって重要なキー技術であるとし、研究用 e-インフラの強化、研究データのためのクラウド開発が不可欠だとしている。

(3) 中国

2006年からの15年間の科学技術政策の方針を示す国家中長期科学技術発展計画概要では、2020年までに世界トップレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とすることを目標に掲げており、経済社会の発展、国防にとっての重要分野を特定し、比較的短期間で技術的に解決できる可能性の高い項目を優先テーマに設定している。情報産業及び近代的なサービス業が重要分野の一つとなっており優先テーマは次の通りである。

- ①近代的なサービス業の情報支援技術及び大型応用ソフト
- ②次世代のネットワークのコア技術及びサービス
- ③高効率で信頼性の高いコンピューター
- ④センサーネットワーク及びインテリジェント情報処理
- ⑤デジタルメディア・プラットフォーム
- ⑥高解像度の大スクリーン薄型ディスプレー

(7)重要システム向けの情報安全

また、 $2006 \sim 2020$ 年国家情報化発展戦略では次の項目を 2020 年までの戦略目標として掲げている。

- ①総合情報インフラの基本的普及を目指す
- ②情報技術の独自開発能力を大きく向上させる
- ③情報産業の構造を全体的に改善する
- (4)情報セキュリティー保護のレベルを大幅に向上させる
- ⑤国民の経済や社会の情報化で顕著な成果を目指す
- ⑥新しい形の工業発展モデルの基本的確立を目指す
- ⑦情報化の推進に向けた国の制度・環境・政策の基本的整備を目指す
- ⑧国民の情報技術の応用能力を大きく引き上げる
- ⑨情報社会への移行の基礎づくりをする

さらに、国全体の方針を示す国民経済・社会発展第12次5ヵ年計画(2011年~2015年)において、消費者主導型成長への転換、新しい成長産業の育成・サービス業の強化、都市化の推進による地域振興を重視している。さらに、戦略的新興産業として①省エネルギー・環境保護、②新世代情報技術、③バイオ、④最先端の製造業、⑤新エネルギー、⑥新素材、⑦新エネルギー自動車を育成すること、サービス業の強化、都市化の推進による地域振興を重要な目標としている。国民経済・社会発展第12次5ヵ年計画の科学技術分野の政策は多くが国家中長期科学技術発展計画概要の内容を踏襲している。

国民経済・社会発展第12次5ヵ年計画を受け、国務院の科学技術部が国家第12次5ヵ年科学技術発展計画を公表しており、さらに詳細な分野別の専門計画が策定されている。情報科学技術に関連する専門計画は次の通りである。

- ①現代サービス業科学技術発展専門計画
- ②スマート製造科学技術発展専門計画
- ③サービスロボット科学技術発展専門計画
- ④スマートグリッド重大科技産業化行程専門計画
- ⑤新型ディスプレー科学技術発展専門計画
- ⑥ナビと位置情報サービス科学技術発展専門計画
- (7)中国クラウド科学技術発展専門計画
- (8)国家ブロードバンドネットワーク科学技術発展専門計画

科学技術部のほかに、工業・情報化部が情報科学技術関連の次のような計画を策定している ⁴¹。

- ①電子認証サービス業の第12次5ヵ年計画
- ②物聯網の第12次5か年計画
- ③電子情報製造業の第12次5か年計画
- ④集積回路の第12次5ヵ年計画
- ⑤ソフトウエア及び情報技術サービスの第12次5か年計画
- ⑥情報通信産業の第12次5か年計画

(4) 韓国

国民の創造的なアイデアが、科学技術・ICTと結び付き、創業、新産業、新市場開拓につながり、質の高い雇用を生み出す「創造経済システム」を醸成する計画として「創造経済実現計画」が2013年6月に国務会議において決定されている。創造経済実現計画では「創造経済を通じて国民の幸福と希望に満ちた新時代を実現する」というビジョンの下、次の6つの戦略を掲げている。

- ①企業しやすい環境づくり
- ②ベンチャー・中小企業支援
- ③成長動力の創出
- ④グローバル創意人材養成
- ⑤科学技術と ICT のイノベーション革新力強化
- ⑥創造経済文化の醸成

さらに、この計画の下、科学・ICTと既存産業を融合させ、対象産業の高度化と問題解決を支援する全省庁による「創造ビタミンプロジェクト」が打ち出され、引き続く「創造ビタミンプロジェクト推進計画」において次の重点7分野で2013年度より模範事業として開始した。2014年には対象がエネルギー・交通・環境等にも拡大している。

- 1. 融合の早期活性化が期待できる分野:農畜水産食品、文化観光
- 2. 融合を通じた戦略産業化が必要な分野:保健医療、主力・伝統産業、教育学習
- 3. 早急な社会問題解決が必要な分野:小商工業創業、災害安全

こうした創造経済システムを実現する中核機関として 2013 年 3 月に未来創造科学部が新設されている。さらに 7 月の臨時国会において「情報通信の振興及び融合の活性化に関する特別法案(ICT 特別法案)」が可決された。この特別法では、ICT の活用を阻害する規制の緩和、未来創造科学部長官が 3 年ごとに ICT 政策に関する基本計画(ICT 基本計画)を策定・実施すること、国務総理の所轄の下に ICT 政策の統合調整機能を担う「情報通信戦略委員会」(未来創造科学部長官が幹事)を設置すること、未来創造科学部によるソフトウエア産業及びデジタルコンテンツ産業の振興や ICT を活用した新しい技術・サービス等への支援などが掲げられている。

また、2013年12月には2017年までの国家情報化戦略として「国民の幸福のためのデジタル創造韓国の実現」を目標に掲げた第5次国家情報化基本計画を発表した。目標実現に向けて4大戦略として以下の「CORE」及び15個の戦略別課題を提示している。

- ①情報化を通じた創造経済の牽引 (Creative Economy)
- ②国家社会の創意的情報通信技術の活用(Optimized Society via ICT)
- ③国民の想像力強化(Renewed Human Capacity)
- ④デジタル創造韓国のインフラ高度化(Enhanced ICT Infrastructure)

一方、科学技術・イノベーション政策の主軸となる「第3次科学技術基本計画(2013年~2017年)では創造経済の実現に向け、科学技術とICTの融合による新産業創出、国民の生活の質向上等のための具体策として次の5つの戦略分野を高度化する「High5」を掲げている。

(High1) 国の研究開発投資の拡大と効率化

(High2) 国家戦略技術の開発

(High3) 中長期的な創意力の強化

(High4) 新産業創出支援

(High5) 科学技術基盤の雇用創出

「High2 国家戦略技術の開発」では研究開発投資すべき分野として5大推進分野とその下の20推進課題を挙げ、各推進課題を活用するための30の重点国家戦略技術、120の国家戦略技術の研究開発を推進する方針を掲げている。

- ① IT 融合新産業の創出
- ②未来成長動力の拡充
- ③クリーンで便利な生活環境の構築
- ④健康長寿時代の実現
- ⑤安全安心な社会の構築

重点国家戦略技術として、知識情報セキュリティー技術、知識基盤ビッグデータ活用技術、次世代有無線ネットワーク技術(5G など)、融合サービスプラットフォーム技術、知能型インタラクティブ技術、スマートグリッド技術、健康管理サービス技術、自然災害モニタリング・予測・対応技術などが挙げられており、いずれの推進分野においても情報科学技術が重要な役割を果たすものとして位置づけられている。

「High5 科学技術基盤の雇用創出」では、創造経済を支えるものとして、ロボット、情報セキュリティー、ビッグデータ、認知脳科学、老人医療、医工学、文化コンテンツといった新産業分野の専門家・職業群の育成に取り組もうとしている。

情報科学技術分野の全体像

国際比較表まとめ (情報科学技術分野)

\								į	基礎	理論	N H						
		竹幸玛雷	青段里侖	田 5 五 計	音子里全冊	离昔様 近と糸 合せ部	隹攵毒 当い且 かと命	言拿在杂月五部	十拿复隹麦里侖	1	レゴリズム	東 近个五言	<u> 受商</u> と里侖	こ に グミジ 妻 破野 語	プコグラム芸歴里侖		デ タ ト リ ノス
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
_	基礎			\circ	1	0	1	\circ	1			0	1	0	→	\circ	1
日本	応用			0	1	0	1	0	1			0	\rightarrow	\triangle	1	0	\rightarrow
	産業			0	→	\triangle	→					\triangle	1	\triangle	→	\triangle	1
NZ.	基礎			0	→	0	1	0	1			0	1	0	→	0	1
米国	応用			0	→	0	1	0	→			0	→	0	→	0	1
	産業			0	→	0	1					0	\rightarrow	0	→	0	1
欧	基礎			0	→	0	1	0	→			0	1	0	→	0	→
州	応用			0	→	0	1	\triangle	→			0	1	0	1	0	1
	産業			0	→	0	→					0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow
中	基礎			0	1	\triangle	V	0	→			\triangle	→	\triangle	1	0	1
国	応用			\triangle	→	\triangle	V	0	→			×	→	\triangle	1	0	1
	産業			\triangle	7	×	7					×	→	\triangle	→	\triangle	1
古办	基礎			0	→	0	→	\triangle	→			\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
韓国	応用			\triangle	→	\triangle	¥	0	\rightarrow			×	\rightarrow	0	\rightarrow	\triangle	→
	産業			\triangle	→	×	7					×	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	\rightarrow

\						通	信と	ネ	ット	ワー	・ク							ソ	フト	ウュ	-ア		
		う 近 信 主 術	匕 通言支衍	無務 近信主術	無泉甬]言支 桁	マネージメント	ネットワーク・エネルギー	仮想化技術		道信を重さられ	通言 丁功 (る) E	竹幸ラ、一下・ノ利益、	青根ネツ、フーフ斗学	業プライヤー おい 近妻 暦	折こな青段だ重志盆	とうプロ学	ノフトウエアニタ	糸、みみことラム	且入しメンステム	ランタイム	プログラミングモデルと	ミドルウエア	システムソフトウエアと
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
	基礎	\bigcirc	1	\triangle	\rightarrow	0		0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	\triangle	→	\circ	→	0	1
日本	応用	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→	0	→	0	1	\circ	→	0	→
	産業	\bigcirc	1	0	→	00	<i>></i>	0	1	0	→	×	1	0	1	0	→	0	1	\circ	1	0	→
	基礎	\bigcirc	→	\triangle	→	\circ	1	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→	0	→
米国	応用	\bigcirc	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	産業	\bigcirc	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	1	0	1	0	\rightarrow	×	→	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	1	0	1
	基礎	0	\rightarrow	0	→	0	1	0	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	→
欧州	応用	\bigcirc	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	\circ	1	0	1	\circ	1	0	→
	産業	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→	×	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→
	基礎	0	1	0	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
中国	応用	\circ	1	0	1	0	1	0	→	×	\rightarrow	×	\rightarrow	0	1	0	1	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	1
	産業	\bigcirc	1	0	\rightarrow	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	×	→	\triangle	→	\triangle	1	\circ	1	\circ	1	\circ	1
	基礎	\triangle	→	0	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	0	→	×	→	\triangle	→	0	1	0	1
韓国	応用	\triangle	→	0	→	\triangle	→	0	→	×	→	×	→	0	→	\triangle	→	0	→	\triangle	→	\triangle	→
	産業	\bigcirc	\rightarrow	0	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	×	\rightarrow	0	1	\triangle	1	0	\rightarrow	\circ	1	\circ	1

イ ン ド 産業 ○ ノ

\															デノ	バイ	ス・			ウュ	こア													
		集積巨路技術	三、三、三、三、大、三、三、三、三、三、三、三、三、三、三、三、三、三、三、三	IVIDIVIO ラノイン打領	≓ '\	ラグン	フォーニッス	クス技術	プリンテッドエレクトロニ	術	極低電力IT基盤技	デバイス	量子コンピューティング	ノモーーとフーレーシ	į,	アクラニーター	7 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	サンナー	27	アプログ回路お祈	ト コ デ 引	竹幸久丑	青报几)里		(シリコンフォトニクス)通信	STEP) (INT	(メタマテリアルアンテナ)	通信	(ミリ波デバイス技術)	通信	ハーベストデバイス	エネルギー	電	配合外
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	国	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
	基礎	\triangle	×	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	→	0	7	0	×	\bigcirc	1	\circ	V	0	\rightarrow	\bigcirc	→	\circ	→	\circ	→		0	→	0	→	0	→	\circ	1	0	→
日本	応用	\triangle	×	\bigcirc	1	0	1	0	1	0	7	\circ	7	\circ	→	0	\rightarrow	\circ	1	0	\rightarrow	0	→	日本	0	1	0	→	0	→	\bigcirc	1	0	→
.4.	産業	×	×	\bigcirc	1	\triangle	1	\bigcirc	7	\circ	\rightarrow	×	7	\bigcirc	→	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	→	\circ	1	\circ	1	7	\triangle	→	0	1	\circ	→	\triangle	→	0	→
	基礎	0	\checkmark	\triangle	7	\bigcirc	→	0	7	0	7	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	\rightarrow	0	→	0	7		0	7	0	→	0	→	\bigcirc	→	0	→
米国	応用	0	→	\circ	\rightarrow	\bigcirc	7	0	7	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	0	→	0	7	米国	0	7	0	1	0	→	\bigcirc	→	0	→
	産業	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	7	0	7	0	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	\rightarrow	0	→	0	→		0	7	0	1	0	1	\bigcirc	1	0	→
	基礎	\circ	→	\triangle	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	→	0	→	0	→		0	1	0	→	0	1	0	1	0	→
欧州	応用	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	×	7	\triangle	7	0	1	0	→	0	→	0	1	欧州	0	1	0	→	0	→	0	1	0	→
711	産業	\triangle	→	\bigcirc	1	\circ	→	0	7	\triangle	→	×	7	×	7	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	0	→	0	→	711	0	7	×	→	\circ	→	\bigcirc	1	0	→
	基礎	\triangle	1	\triangle	1	\circ	7	\triangle	→	\triangle	→	\bigcirc	1	0	1	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	7	0	→		\circ	7	0	→	×	\rightarrow	\triangle	1	0	→
中国	応用	×	→	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1	\triangle	7	0	→	×	7	\circ	1	0	1	\circ	1	0	1	0	1	中国	0	1	0	→	0	→	\triangle	→	\triangle	→
1-4	産業	×	→	0	7	×	→	\triangle	1	0	1	×	7	\circ	1	\circ	1	\circ	1	\triangle	1	0	→		0	1	×	→	0	→	\triangle	→	\triangle	→
	基礎	0	1	\triangle	→	\bigcirc	→	\triangle	→	0	→	\circ	→	0	1	\triangle	1	\triangle	7	0	→	0	→		_	_	0	→	×	→	\triangle	1	0	→
韓国	応用	0	1	\triangle	7	\triangle	7	0	1	0	→	×	7	0	1	0	→	\triangle	→	0	1	0	1	韓国	\triangle	→	0	→	\triangle	7	\triangle	1	\triangle	→
	産業	0	→	×	→	×	7	0	1	0	→	×	7	0	1	0	→	0	→	\triangle	→	0	→		_	_	×	→	\triangle	7	×	→	\triangle	→
	基礎	0	1		シ	0	1			r						Δ	7	0	→			0	→	シ	Δ	→		r				基礎	0	1
台湾	応用	0	1		シンガポ	0	→								台湾	\triangle	1	\triangle	→		台湾	0	1	ブガポ	0	7					台湾	応用	\triangle	→
付	産業	0	1		シル	0	1								行	0	1	0	1		付	0	→	ルル	0	1					得	産業	0	1

Ī.					ΤT	-	J	- h	T. 1						T	г.,		っし		<i>h</i> ,		28.	2 3 /	1	
\		_	-	_		· -		テク			ы	, 0	2.	Anh-	ľ	_	ディ		デー		マネ			<u>۲</u>	Itert
		アーキテクチャー	エンタープライズ・	アーキテクチャー	ソフトウェア定義型	コンピューティング	クラウド	アーキテクチャー	モバイル	アーキテクチャー	ワークロード特化型	ピューティング(HPC)	ハイパフォーマンスコン	管理·分析技術	ビッグデータの統合・	とソーシャルメディア	ユーザー生成コンテンツ		センサーデータ	データマイニング技術	時空間	薦	次世代情報検索・		個人 ライフログデータの
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
	基礎	\triangle	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	→	0	\rightarrow	0	→	0	→	\circ	→	\circ	1	0	1	\triangle	1	0	1	\circ	→
日本	応用	\triangle	→	0	1	0	→	0	→	\triangle	→	0	1	0	→	\triangle	1	0	1	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\circ	→
	産業	0	1	\bigcirc	→	0	1	0	1	\triangle	1	\triangle	→	0	1	\triangle	7	0	7	\triangle	→	×	\rightarrow	\circ	1
	基礎	0	1	0	1	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1	\circ	→
米国	応用	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1	\circ	→
122	産業	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	0	1
	基礎	0	1			0	1	0	1			0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	0	→
欧州	応用	0	1	0	→	0	1	0	1			\triangle	1	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	1	0	→
711	産業	0	7	0	→	0	→	0	1			0	→	0	→	0	1	0	7	\triangle	→	×	→	0	→
	基礎	\triangle	7			\triangle	→	0	1			\triangle	1	0	7	0	1	0	1	0	7	×	→	×	→
中国	応用	Δ	1	0	→	Δ	→	0	1			0	1	0	1	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	1	×	→
国	産業	\triangle	1	0	7	0	→	0	1			\triangle	1	0	1	\triangle	1	0	→	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→
	基礎	0	1			Δ	→	0	→			×	→	Δ	1	0	1	0	1	\triangle	7	×	→	×	→
韓国	応用	0	1	0	→	0	1	0	→			×	→	0	1	\triangle	1	Δ	1	\triangle	→	\triangle	1	×	→
酉	産業	0	7	0	1	0	1	0	1			×	→	\triangle	→	\triangle	1	0	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→

\								,	人工	知育	E E						
		打算とグラ	元本に、こだー・コ	榜 村 守 習 一 沒 層 守 習		i i i i	トノトコジー こうう	Ve l	いつインテリジェンス	矢育ロスラージャン	印能コドテイクス	新 (自) 二 矢 育	充合句人口印它	/	凡月人口印管	言矢乘号	忍口斗之
国	フェー ズ	現状	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレドンド	現状	トレンド
_	基礎	\triangle	7	\circ	1	\triangle	†	\circ	→	0	1	\circ	1	\triangle	7	0	×
日本	応用	\triangle	1	\circ	→	\circ	1	\circ	→	\bigcirc	1	\circ	1	×	1	\circ	1
	産業			0	1	\triangle	1	×	1	0	1	0	→	\triangle	1	\circ	→
	基礎	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	1
米国	応用	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	\circ	→	0	1
	産業			\circ	→	\bigcirc	7	\bigcirc	→	0	1	\bigcirc	1	×	†	0	1
	基礎	0	→	0	→	0	→	\bigcirc	→	0	1	0	1	0	→	0	1
欧州	応用	\circ	†	\triangle	1	0	7	\circ	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1	×	†	\circ	1
	産業			\triangle	\rightarrow	\circ	1	\bigcirc	1	0	→	\circ	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow
	基礎	×	\rightarrow	0	\rightarrow	\triangle	1	0	1	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1			\triangle	→
中国	応用	\triangle	1	0	1	\triangle	\rightarrow	0	1	0	1	0	1			×	→
	産業			0	1	×	→	0	1	0	1	0	1			×	→
4-71.	基礎	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	→	\triangle	1	\bigcirc	1			×	→
韓国	応用	0	1	\triangle	→	0	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	1			\triangle	1
	産業			\triangle	→	\triangle	→	×	→	0	→	\triangle	→			×	\rightarrow
													基礎	0	→		
												豪州	応用	\triangle	→		

\				ピ	ジョ	ン・	・言	語処	1理						イ	ン	タラ	クシ	/ ヨ	ン			
		쒺	規模言	(機械翻訳)	言語情報処理応用	(音声対話)	言語情報処理応用	1	画象・央象の意未屛斤	映像の統合理解	言語と	インターフェース)	BMI (ブレイン・マシン・) 情拍克二学	人引広長匚学	7. 37.7.27	プテイクス	ティング	ウエアラブルコンピュー	ト・インタラクション)	HRI (ヒューマン・ロボッ	ファブリケーション	グラフィックス・
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
	基礎	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1	0	7	0	→	0	1	0	→	0	7	\triangle	→
日本	応用	0	1	0	→	\circ	1	0	→	\triangle	→	\circ	→	\bigcirc	1	\circ	1	0	→	0	1	\circ	→
ľ	産業	0	→	0	1	\circ	1	0	→	×	→	0	1	\circ	1	\triangle	1	0	→	0	1	0	→
	基礎	0	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	→	0	→	0	1	0	→	0	1	0	1
米国	応用	0	→	0	→	\bigcirc	1	0	→	\triangle	→	\bigcirc		\bigcirc	→	0	1	0	→	0	1	\bigcirc	1
	産業	0	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1	0	→	×	→	\circ	→	\circ	→	0	1	0	→	0	1	0	1
rst.	基礎	0	\rightarrow	0	\rightarrow	\bigcirc	1	0	→	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	1	0	1	0	→	0	1	0	1
欧州	応用	0	→	0	→	\circ	→	0	→	\triangle	→	\circ	1	\circ	1	\circ	1	0	1	0	→	0	1
	産業	0	→	0	→	\triangle	→	0	→	×	→	0	→	\triangle	→	0	1	0	→	0	1	0	1
	基礎	0	1	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→	×	→	-		\triangle	1	×		0	1
中国	応用	0	1	0	→	\triangle	→	0	1	×	→	×	→	×	→	-		×	1	×		0	1
	産業	0	→	0	→	\circ	1	0	1	×	→	×	→	×	→	-		0	1	×		0	1
北加	基礎	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	1	0	→	\triangle	→	×	→	0	1	0	\rightarrow	0	1	\triangle		\triangle	\rightarrow
韓国	応用	0	1	\triangle	→	0	1	\triangle	→	×	→	×	→	0	1	0	→	0	1	×		0	→
	産業	0	\rightarrow	\triangle	→	\circ	1	0	→	×	→	×	\rightarrow	\triangle	1	0	\rightarrow	0	1	×		0	\rightarrow
																				中	基礎	0	1
																				l III	ete mi		78

\											ビ	ッグ	デー	- タ									
		と、グラータ基盤技術	ジジデニタ 長盆支河	と グラータ角 村 打 衍	ごのグデータ解斤支 桁	グニューシーシング	フラクミノーノノブ	マイニング技術	プライバシー保持	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	ライフサイエンス分野に	教育とせいグラータ	牧育 ニブラブデータ	ビッグデータ	社会インフラと	7 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	オープノデータ	著作材とせ、グラーク	左手を推 こごソブ データ	プライバシー	ビッグデータと
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
	基礎	\circ	1	\triangle	→	\circ	1	0	1	\circ	→	0	1	\triangle	1	\circ	→	\triangle	→	\circ	→	\circ	→
日本	応用	\circ	\rightarrow	\circ	1	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	\circ	→	\triangle	1	\circ	1	\circ	→
	産業	\circ	\rightarrow	\circ	1	\circ	1	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	→	\triangle	→	\triangle	1	\circ	1	\circ	→
N.	基礎	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	7	0	7	0	→	\bigcirc	7	0	1	0	→	\circ	→	\bigcirc	→	\circ	→
米国	応用	\bigcirc	→	\bigcirc	1	0	7	0	→	0	→	\bigcirc	7	0	1	0	→	\circ	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1
	産業	\bigcirc	1	\bigcirc	1	0	1	0	\rightarrow	0	→	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	1	\bigcirc	1	\circ	1
	基礎	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	1	0	→	\bigcirc	1
欧州	応用	\triangle	→	\circ	1	\triangle	1	0	\rightarrow	0	1	\circ	1	0	1	0	1	0	1	\bigcirc	1	\bigcirc	1
''	産業	0	→	\circ	1	\triangle	1	0	\rightarrow	0	→	\circ	\rightarrow			0	→	0	1	\circ	1	\circ	\rightarrow
	基礎	\bigcirc	→	\circ	1	0	1	0	\rightarrow	0	→	\triangle	1	\triangle	1	0	1	\triangle	→	\circ	→	\triangleright	\rightarrow
中国	応用	0	\rightarrow	\bigcirc	1	\triangle	1	0	1	\triangle	→	\bigcirc	1	\triangle	1	0	1	×	→	\circ	1	\triangle	→
	産業	0	1	0	1	\triangle	1	0	1	0	→	\triangle	1		1	\triangle	1	×	→	\circ	1	\circ	1
	基礎	0	→	×	→	\triangle	→	0	→	0	→	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→	0	→	\circ	1
韓国	応用	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	→	0	1	\circ	→
	産業	\circ	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	\bigcirc	→	\circ	→	\triangle	1			\triangle	→	\triangle	1	\bigcirc	1	\bigcirc	→

\						(CPS.	/Io7	Γ				
	\	LOTアーキテクチャー	CPS/	Ņ N	Л 2 Л	社会ミンラムラオーへこ	土金ノスニーデザイン	LoTセキュリティー	CPS/	応用と礼会/こ/21	応用 こ土 会インパフト	\$ 0 \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	
国	フェー ズ	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレドンド
	基礎	0	→	0	\rightarrow	0	1	\triangle	1	\circ	→		
日本	応用	\circ	1	\circ	1	0	1	\triangle	\rightarrow	\circ	→	\circ	1
	産業	0	1	0	\rightarrow	\triangle	1	×	\rightarrow	\circ	1	0	1
NZ.	基礎	0	→	0	\rightarrow	0	1	0	1	\circ	→		
米国	応用	0	1	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	1	0	1
	産業	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
□#Å.	基礎	\circ	→	0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	0	→		
欧州	応用	0	1	0	1	0	1	0	1	\circ	1	0	1
	産業	\triangle	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1
	基礎	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	0	1	×	\rightarrow	\triangle	1		
中国	応用	\triangle	→	0	→	0	1	×	→	0	1	0	1
	産業	\triangle	\rightarrow	0	1	×	1	×	\rightarrow	0	1	\circ	1
4-72	基礎	\triangle	\rightarrow	0	V	×	1	×	\rightarrow	\triangle	1		
韓国	応用	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	0	1	×	\rightarrow	0	1	\triangle	1
	産業	\triangle	→	0	→	0	1	\triangle	→	0	→	\triangle	1

		コ	ンピ	知って	のーテ	イン	グ						セキ	고 1	Jテ	ィー	-				
		矢のシラニア	∏ O ₹ f	矢の 音 3]	印のプラットフォーム	矢のこうごうラー	110111111111111111111111111111111111111	および暗号プロトコル	次世代暗号技術	リスクマネジメント技術	ITシステムのための	セキュリティー技術	要素別	言言:『耳頭抄抄術	[)	世	-	用	プライバシー情報の	ラミタル・ニット	デジタレ・フォンンジソフ
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
	基礎	\bigcirc	1	\triangle	→	\circ	1	0	→	\circ	1	\circ	7	\circ	→	\triangle	7	\circ	1	\triangle	→
日本	応用	0	1	\triangle	→	0	1	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	\triangle	1
ľ	産業	0	→	0	→	0	1	0	1	—	1	0	1	0	1	\triangle	1	×	Ä	0	1
	基礎	0	→	\circ	→	0	1	0	→	0	1	\bigcirc	7	0	7	\bigcirc	†	\circ	→	0	→
米国	応用	\bigcirc	→	0	1	0	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	0	1
	産業	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	→	—	1	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	→	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1
rst.	基礎	\bigcirc	\rightarrow	0	1	0	1	0	→	\circ	\rightarrow	0	1	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	1
欧州	応用	\bigcirc	→	\circ	→	0	1	0	→	0	1	0	1	\circ	\rightarrow	0	1	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow
	産業	\circ	→	\circ	1	\circ	1	0	→	—	1	0	1	\circ	→	\circ	→	\circ	1	0	\rightarrow
	基礎	\bigcirc	1	×	→	0	1	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1			0	→
中国	応用	0	1	\triangle	1	0	1	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	→			0	1
	産業	\bigcirc	1	×	1	0	1	\triangle	→	_	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1			0	1
picts.	基礎	0	→	×	→	\triangle	→	\triangle	1	0	→	0	→	\triangle	→	0	1			0	→
韓国	応用	0	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	0	→	0	→	\triangle	→	0	→			0	1
	産業	\bigcirc	→	\triangle	7	\triangle	7	\triangle	-	-	→	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\circ	7			0	1

(註1) フェーズ 基礎…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…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…産業化フェーズ:量産技術・製品展開力のレベル

(註 2) 現状 **わ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

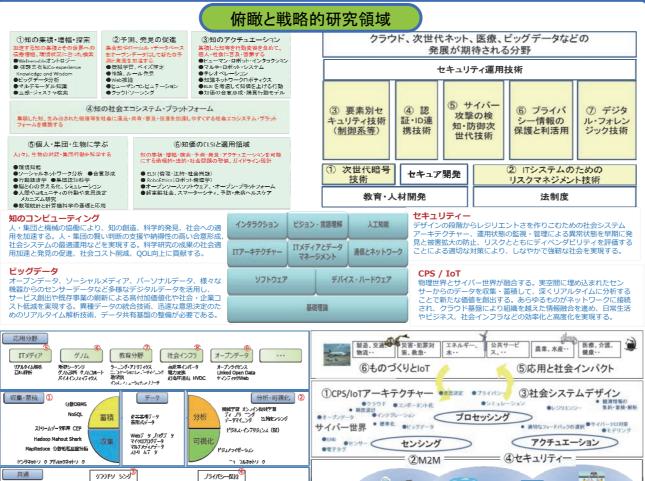
(註3) トレンド フ:上昇傾向、→:現状維持、\\\\ :下降傾向



研究開発の俯瞰報告書(2015) 情報科学技術分野の概要

JST 研究開発戦略センター 情報科学技術ユニット





ビジョン

CRDSが考えるビジョン (出典:社会的期待と研究開発領域 の邂逅に基づく「課題達成型」研究 開発戦略の立案)

- 国際連携ができる社会
- 地球環境・エネルギー問題 への対応力がある社会
- 社会インフラの保守・補 修・構築力がある社会
- 心身の健康寿命がのばせる 社会
- 一人ひとりが能力を発揮で きる社会



ビジョン達成のためにITが社 会・経済・文化・人類に影響 を与える

- ITの継続的な進展を図る
- ITによる経済発展を本格的 にする
- ITを社会基盤の一つとする
- ITの研究フロンティアとし て、人・集団の精神や行動 原理を探求し、知の向上を めざす

諸外国のR&D動向

ITの社会的役割

IT要素技術の進化は、ITの使い方(ITアーキテクチャー)の変化を促し、それに より新たなITのアプリケーションが生まれ、社会的役割が拡大する。役割の拡大 が、要素技術やアーキテクチャーの重要性を増大させ、それが次の進化に向けた 技術革新を加速する。

社会的役割

IT要素技術の進化

- 高性能計算、高速大容量通信
- ビッグデータ、ロングテール、リアルタイム処理
- 数値計算から事務処理、知識処理へ
- モジュール化とミドルウェアの発展

ITアーキテクチャーの変化

- 集中と分散の動的バランス
- 実世界とサイバー世界の融合 ◆ 人がつながる、モノがつながる
- 産業のサービス化を支える

社会的役割の拡大

- ビジネスのクリティカルインフラから 社会のクリティカルインフラに
- 森羅万象 (人、集団、機械) を支える技術に

社会的・経済的インパクト

社会と産業・経済へのインパクトを コスト削減という守りと、価値創造 という攻めからとらえる。



物理世界

モノの世界

社会システムのデザインと運用による効率的な社会の実現

- デザインの段階からITを意識し、公共サービスの質を向上
- 防災・減災に向けた、柔軟でロバストな社会システムの構築

パーソナルデータ 個人情報保護法 プライパシー 木人口菜

社会・企業コストの低減による産業競争力の強化

● ITによる見える化や効率的な設計、実装による企業コストの大幅 な低減

新しい価値の創造による新産業の育成

- ITによる従来産業の付加価値向上
- 新たなビジネスモデルによる新産業開拓

知の創造と伝播による豊かな社会の実現

● 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、持続的イノベーションを可能とする (科学研究→社会的価値の創出→科学研究への還元のサイクル)

く米国>

個人

• Cyber Physical Systems (2009年)

2/373

産業

NSFを中心にCPSを構築するためのサイエンスと基盤技術の研究開発を支援。 規模:2012年までに73プロジェクトに65百万ドル

ME

公共

● ビッグデータイニシアチブ(2012年)

ビッグデータから知見を引き出すための技術開発。規模:総額200百万ドル

● 製造革新機構と全米イノベーションネットワーク (NNMI) 構築 (2012年) 産学コンソーシアムとネットワークを通じた新技術の拡散と技術導入を加速 規模:各コンソーシアムに70百万ドルの政府資金と同額の外部資金 <欧州>

• Internet of Things and Platforms for Connected Smart Objects(2014年) IoTプラットフォームのアーキテクチャと相互運用性に係る研究開発 規模:51百万ユーロ (Work Programme 2014-2015)

- FI-PPP: Future Internet Public-Private Partnership(2011年) インターネット技術による公共サービスのインフラと業務プロセスのスマート化 規模:5年で総額3億ユーロ
- Digital Catapult (2014年)

私有データの共有促進により、中小企業が迅速かつ低リスクでイノベーションを 実現することを可能とするプラットフォームを複数の都市に開設

 Industrie 4.0 (2013年) 生産拠点としてのドイツの未来を実現するアクションプラン。規模:2億ユーロ

〈中国〉 ● ハイテク・サービス業の研究開発と産業化に関する通知(2012年)

- <韓国>
- スマート国家具現のためのビッグデータマスタープラン(2012年)

システム科学技術分野

2.5 システム科学技術分野

科学技術の成果を、社会的価値を実現するイノベーションにつなげるには、多くの場合、システムを介することが必要である。工業製品だけでなく、交通機関や電気、水道、ガス等のライフライン、電話やインターネット等の通信など、さまざまな形のシステムがあらゆる側面でわれわれの生活を支えている。このような状況の中で、システムに要求される機能や性能は社会が発展していくにつれて高まり、それを満たすシステムはより複雑かつ大規模なものとなり、「よいシステム」を社会に構築していくためには数多くの新しい問題を解決しなければならなくなってきている。この解決を担う科学技術が「システム科学技術」である。

2.5.1 分野の範囲と定義

2.5.1.1 分野の定義

(1) システムとは何か

「システム」という言葉は日常的にもよく使われており、その使われ方は極めて多義的である。外来語にありがちなことであるが、頻繁に使っていながらあらためてその意味を問い直してみると漠然としていて日本語で表現することが難しい事に気がつく。おそらくその理由は、言葉のもつ多義性と同時に、システム自体は通常、目で見ることができないことにあると思われる。しかし、ある問題意識のもとで対象をシステムとしてひとたび認識すると、それによってそのシステムに対する新しい視点と知見が生まれてくる。

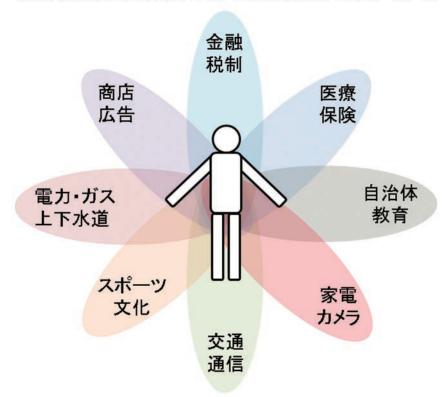
システムという言葉の多義性を反映してシステムの定義は数多くある。例えばシステムに関する国際規格の一つである ISO/IEC 15288 では、システムを「1つ以上の明記された目的を達成するために組織された相互に作用する要素の組合せ」と定義している。それと大きく異なるものではないが、システム科学ユニットではシステムを次のように定義している。

システムとはある目的を達成するために機能要素が適切に結びついた複合体である。

(2) システム科学技術とは何か

現在、私たちの身の回りには沢山の人工のシステムがある。まさに「システムの時代」である(図 2.5.1)。これらのシステムはインターネット等のネットワークシステムを通じて互いにつながりわれわれに多くの恩恵をもたらしてくれているが、それと同時にさまざまなリスクを伴う問題も引き起こしている。また、システムの中には使いにくい上にコストばかりかさんで目的をなかなか達成できないシステムもあれば、安全に使いやすく低コストで目的を容易に達成してくれるシステムもある。私たちは通常、後者のような「よいシステム」を求めている。また、そうしたよいシステムを効率的に運営・管理していく上でのシステムも必要としている。しかしながら、よいシステムを構築することは決して容易なことではない。その大きな理由として次の3つが挙げられる。まず、システムに対する人々の要求のレベルが高まってきたことである。次にシステムが複雑・大規模になってきたことである。このことはシステムを全体として捉えることを難しくし、また、システムの細部にわたる性能の検証を困難にさせる要因となっている。システムの解析が複雑で難しくなってきているとも言える。最後にシステムが社会に深く組み込まれていくにつれてシステムに関わるステークホルダーの数が増え、それらの間の調整が難しくなってきたことである。物理的な部品や、陽に定義された手順などの集合

私たちはさまざまなシステムに囲まれて生きている



私たちは「システムの時代」に生きている

図 2.5.1 さまざまなシステムに取り囲まれた「システムの時代」

を超えた不定形の人間にかかわる要素が加わってきたのである。これらの3つの理由をさらに要約すると、システム科学技術に求められている主要な役割として以下の2つがあることが分かる。

- (i) システムをよく理解する(正確なシステム解析)
- (ii) よいシステムをつくる(望ましいシステム構築)

これら2つの役割は現代社会が直面しているさまざまな困難を解決することと密接にかかわっていると同時に、それらを解決すること自体がシステム科学技術分野における先端的な研究課題となっている。

以上のような観点に基づき、システム科学ユニットではシステム科学技術を次のように定義 している。

システム科学技術は、システムを正確に解析し望ましいシステムを構築・管理するための科 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である。

(3)システム構築の手順

システム科学技術を駆使して実際によいシステムを構築するには多くの人と年月、コストを要する。システム科学ユニットではよいシステムを構築するための効果的な手順についてさまざまな検討を行ってきた。その結果、現時点では次のような手順が望ましいと考えている。ま

ず対象システムの大枠の構想とそれにもとづく構築のためのツール(プラットフォーム)をつくり上げること(フェーズ 1)、次いでそれを用いた詳細なシステム設計と実証試験(フェーズ 2)、そして最後に設計されたシステムを社会に実装しそれを運用管理すること(フェーズ 3)である(図 2.5.2)。このように 3 フェーズに分けて戦略的にシステムを構築するプロセス、研究開発手法をシステム科学ユニットでは「システム構築戦略研究」とよんでいる。より詳しい内容については俯瞰報告書『本編』第 2 章を参照していただきたい。

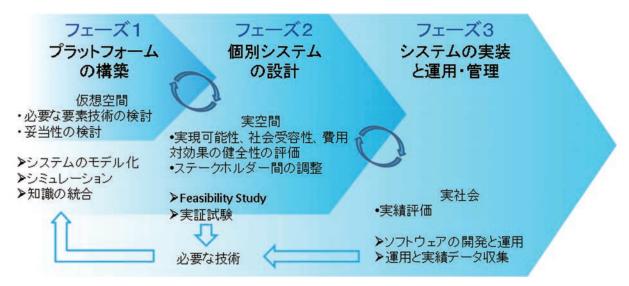


図 2.5.2 システム構築の手順

2.5.1.2 俯瞰の枠組

(1)システム科学技術分野の俯瞰区分と研究開発領域

本俯瞰報告書ではシステム科学技術分野における俯瞰区分として「モデリング」、「制御」、「最適化」、「ネットワーク論」、「複雑システム」、「サービスシステム」、「システム構築方法論」の計7つを抽出した。俯瞰報告書『本編』第3章では各俯瞰区分で設定された研究開発領域の内容を詳述しているが、以下では各研究開発領域の内容について俯瞰区分ごとに概括する。

モデリング

システム科学にあって、現象や行動のモデル化のプロセス自体を対象とする横断的学術領域が「モデリング」である。対象の適切なモデル化は、現象の制御、将来予測、科学的意思決定の前提である。多くの学術的、社会的課題は、多くのモデルを適切に合成し、モデルのパフォーマンスを与えられたさまざまな課題に対して多目的最適化するようなソリューションを発見することを通じて達成される。

図 2.5.3 のモデリング区分俯瞰図では、モデリング・プロセスをその時間軸で表現した。

第1ステージはモデルの表現の選択と設計である。ここでは、分野固有の演繹的モデル表現の知に基づく「数理モデリング」(①先端的数理モデリング)と分野固有の事実(データ)から帰納的にモデルを構築する「統計(計量)モデリング」(②先端的統計モデリング)が2つの伝統的アプローチである。しかし、今回はこれに新しく2つのアプローチを追加して俯瞰を行った。すなわち、モデリングの対象となる事象やプロセスの明確な定義が困難な「人間行動のモデリング」(③行動のモデリングとソフトコンピューティング)とモデリングによって理

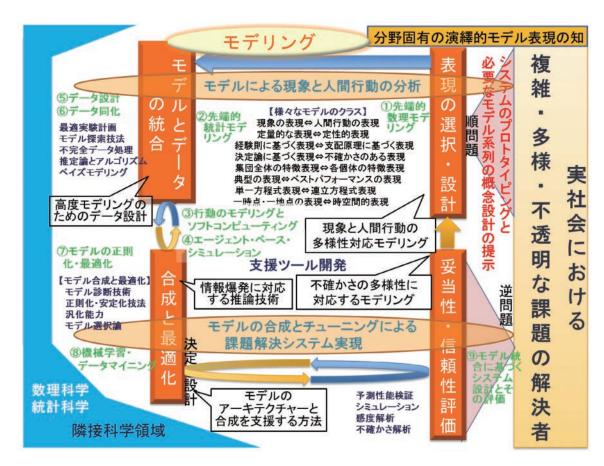


図 2.5.3 モデリング区分俯瞰図

解したい世界を支配するマクロな構造が未知の場合のミクロなモデリングに基づく全体理解としての「④エージエント・ベース・シミュレーション」である。後者は、シミュレーション科学を出発点とするモデリングと位置づけることもできよう。いずれにせよ、第一ステージの各項目の俯瞰の意義は、モデラーがモデリングの目的や対象、それに対する事前知識に応じてどのようなモデルを選択できるかを示すことにある。

モデリングの第2ステージとしてのモデルとデータの統合は、次の2項目を設定した。まず、事実としてのデータと高度モデリングとの統合を前提にしたとき、最適にデータを収集する方法論を俯瞰した。これは古典的には実験計画法とよばれるもので、ここでは「⑤データ設計」と名づけた。次に収集したデータとモデルとの乖離を最小化する計算科学的方法論としての「⑥データ同化」であり、これはデータを用いてモデルを改善する学習理論と考えることもできる。モデリングの第3ステージは、モデル自身を予測や制御のために合成、最適化するステージである。ここでは、モデルに含まれる多くのパラメータをスパース化しモデルの性能を向上させる正則化技術等の「⑦モデルの正則化・最適化」理論を研究開発領域として設定するとともに、多くの複雑な現象に基づく予測精度向上技法としての「⑧機械学習・データマイニング」自体をモデルの合成や最適化の有力な方法論として取り上げることとした。

モデリングの最終ステージとしてモデルの妥当性・信頼性評価を掲げたが、当然このステージはモデルが如何に利用され効果を発揮するかという意味で、予測・制御や意思決定・リスクマネジメント分野で十分議論されるべきである。ここではシステム科学におけるモデリングという意味で、「⑨モデル統合に基づくシステム設計とその評価」を研究項目として設定した。

複雑なシステムのモデル合成による近似がどのように実現し、その動的ふるまいはどのような ものになるかを検討することを重視した。

制御

「制御」は、電気、機械、科学、航空、自動車等、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するなかでそれぞれに発展し、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、数理科学にほとんど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 の制御区分俯瞰図では、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、安全性や信頼性等を評価しながら、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、制御仕様と制御対象で分類した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

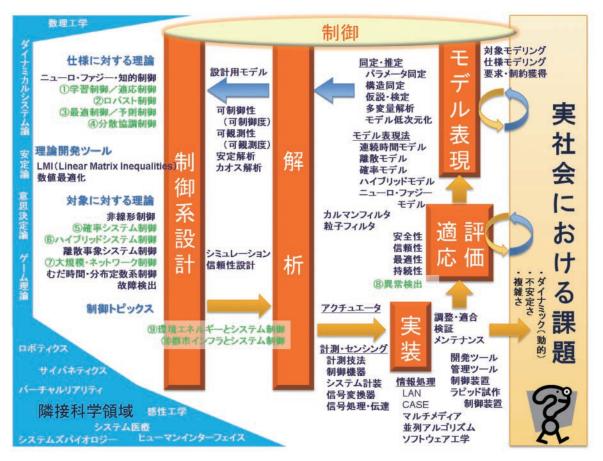


図 2.5.4 制御区分俯瞰図

て、制御区分の基軸である制御系設計の領域から8つ、具体的課題に的を絞った領域から2つ を選んだ。

「①学習制御/適応制御」、「②ロバスト制御」、「③最適制御/予測制御」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を続けている領域である。「④分散協調制御」は、特に現代社会の大規模化、ネットワーク化を伴うさまざまなシステム構築における新たな制御の必要性から生まれ、急速に展開している研究開発領域である。この領域は、分散/分布等の制御形態・構造に着目する従来の分散制御/分布制御の機能に加えて、制御形態・構造の変更も含めた協調や合意等の新たな機能を実現する制御の研究開発領域である。現代の課題における対象システムの固有性と構造の特徴に注目した研究開発領域としては、「⑥ハイブリッドシステム制御」、「⑦大規模・ネットワーク制御」を俯瞰した。「⑤確率システム制御」、「⑧異常検出」はシステムの大規模化及び複雑性の増大、並びに環境との接触面の拡大に伴う不確かさに由来する課題の解決に向けた研究開発領域である。

目的の機能を実現するために高度の制御が不可欠となる大規模、複雑かつネットワーク化された具体的なシステムとして、環境エネルギーシステムと都市インフラシステムという現代社会を支える二つのシステムを取り上げた。「⑨環境エネルギーとシステム制御」、「⑩都市インフラとシステム制御」は、二つのシステムそれぞれに対して、そのシステムの個別性及び課題の個別性に適合した制御を研究開発する領域である。これらの研究開発領域は、対象や課題の個別性に左右されない普遍的な制御設計に関する研究開発領域の成果に基礎を置くと同時に、「④分散協調制御」、「⑦大規模・ネットワーク制御」等を典型例とするように、個別課題を解決する過程の中から新たな制御の研究開発領域を生み出しながら進展している領域である。

最適化

システムデザインやモデリングの大きな目的は「現実システムをできるだけ適切にモデル化」して「同定されたシステムやモデルに基づく最適な意思決定を行う」ことである。それゆえに「最適化」はシステム科学で基本的な手法の一つとなる。そして、最適化を「計算手段」と捉えるだけではなく、「システム/モデル構築技術」と関連付けて俯瞰することが重要である。図 2.5.5 の最適化区分俯瞰図における研究開発領域「①最適化コアモデルと関連諸技術」、「⑤最適化モデリング」、「⑥最適化ソフトウェアと応用」はシステム構築やモデル構築の立場から最適化を俯瞰したものである。一方、「②連続的最適化」、「③離散的最適化」、「④最適化計算」は、最適化を、関数を最適化する手法として捉え、その現状を俯瞰したものである。以下では各研究開発領域を「コア」、「モデル」、「ソフト」、「連続」、「離散」、「計算」と略して参照する。

まず、最適化コアモデルについて説明する。モデル記述力があり、効率的に大域的最適化が可能であり、モジュール化されている最適化問題のクラスに、線形計画問題、凸2次計画問題、半正定値計画問題、劣モジュラ最適化、ネットワーク流等の最適化問題がある。これらを最適化コアモデルと呼ぶ。これらの問題は豊富な数理的構造を有し、その構造をモデリングに有効に生かすことができる。「緩和」や「分解」等の手法を駆使して、現実の問題をうまくこれらの定番問題に帰着させることが、最適化モデリングの核心である(関連項目:コア、モデル、ソフト)。これらの最適化コアモデルでは解法の研究もさることながら、モデリングの道具立てを磨くことも重要となる。その観点からは、半正定値計画問題によるモデリングが重要な研究テーマである(関連項目:コア、連続)。また、劣モジュラ関数の最適化は機械学習等の分



図 2.5.5 最適化区分俯瞰図

野で注目されている (関連項目:コア、離散)。

より難しい問題ではあるが、非常に強力なモデル記述力を有する問題として、連続的最適化では非線形計画問題(関連項目:コア、連続)、離散的最適化では(混合)整数計画問題がある(関連項目:コア、離散)。最近は、実用レベルで混合整数計画問題が解けるようになりつつある(関連項目:離散、ソフト、計算)。(凸最適化を含む)非線形最適化においては、機械学習等をはじめとする応用分野の広がりによる大規模化に対応するためにさらなる研究の深化が必要である(関連項目:連続)。そのために、勾配法等の一次法系統の方法が見直されている。

また、計算機の発展は目覚ましく、10年前のスパコンが研究室あるいは一般企業レベルで利用可能という状況にあり、スパコンによる超大規模最適化問題、大規模グラフ計算、混合整数計画や半正定値計画問題への挑戦は重要である(関連項目:計算)。

最適化モデリングは、最適化の考え方や基本的最適化問題を徹底的に利用してモデルを立てる。近年、計算機やソフトウェアの性能が格段に向上し、現実問題を解くという実践を通じてかえってモデリングの重要性が際立ってきている。現在は、曖昧な目的関数を扱う需要が増大しており、利用者が潜在的に考えている真の評価尺度と定式化された目的関数にずれが生じる、という問題に取り組むことが重要である(関連項目:モデル)。

最適化ソフトウェアと応用、最適化計算の俯瞰においては、モデル・データ・アルゴリズムの摺合せ技術の重要性が指摘されている。これは、モデリング言語の登場により、モデル・データ・アルゴリズムをより整理して分離した形で扱うことが可能になったこと、最適化手法を適用する前提となるデータの取得についての環境が大きく改善されつつあることを背景としてい

る(関連項目:モデル、ソフト)。しかし、モデル・データ・アルゴリズムの摺合せ技術は学問として体系化されたものではなく、その体系化が必要である。これは、最適化分野のみではなく、システム科学全体の大きな課題である。

本俯瞰区分では、米国が総合的に見て研究の厚み等で疑いなくトップを走っている。また、欧州もEUによる連携の枠組みを生かして、混合整数計画を中心とした分野で、トップレベルの研究と応用の実践が進められている。中国は、現段階では欧米のレベルには及ばないが、米国一流大学の中国系の教授の下に優秀な学生を留学させて教育することで優秀な人材が育ってきており、研究のレベルはかなりの速度で上昇している。

総じていえば、わが国においては、過去20年のスパンで見れば、内点法と関連ソフトウェア、非線形最適化と関連ソフトウェア、相補性問題や変分不等式、劣モジュラ関数最適化や離散凸解析、スパコンによるグラフ解析や半正定値最適化等の分野で世界トップレベルの成果がある。総合力で米国には譲るものの、一国の水準としては米国以外の他国に引けをとらないものである。この伝統と財産を足掛かりに、システム科学他分野との有機的な結び付きを意識し、さらに、統合的・横断的に研究を展開していく必要があろう。半正定値計画や混合整数計画・非線形混合整数計画等の分野は今後力を入れて研究を展開してもよい分野である。

本俯瞰では横断的分野としての最適化において簡単に取り上げるに留めたが、遺伝的アルゴリズムに代表されるシミュレーションベースの最適化手法の工学的分野への浸透には目覚ましいものがある。また、目的関数が陽に計算できない状況での最適化等も重要な研究分野であろう。この問題に挑戦するには、システム科学各分野の垣根を越えた共同研究体制が必要である。

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、社会等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。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、二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、ケーブル等をリンクとするネットワークである。俯瞰区分「ネットワーク論」では、そのようなネットワークに関わる理論や技術を開発する。要素が持つ個別の情報を取り除き、具体的対象をネットワークという抽象化されたシステムとして扱うので、対象の分野を問わない解析や技術の適用が可能である。そのため、さまざまな分野と隣接し、諸分野の問題解決のためのプラットフォームとしての機能を果たしている。この様子を図 2.5.6 のネットワーク論区分俯瞰図で表現した。

本俯瞰区分の要となるネットワーク科学は、1998 年以降、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、さらに、さまざまな応用が進んだことで形成された。分野横断的にネットワークを解析することによって、スケールフリー性に代表される普遍性や、各分野におけるネットワークの個別性を明らかにしてきたこと、統計物理学者や工学者、応用数学者が参入することによりネットワーク構造の解析、ネットワークの生成の理論やネットワーク上のダイナミクスを解析する技術が一挙に発展したことが特徴的である。例えば基礎理論を土台に、感染症制御、生態系保全、電力網のコントロールなどの研究が行われている。図2.5.6における研究開発領域「①複雑ネットワークおよび総論」は、そのようなネットワーク科学の



図 2.5.6 ネットワーク論区分俯瞰図

発展を概括し、本俯瞰区分の総括を行う。

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、ネットワークの膨大なデータ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。具体的にはノードの分類やランク付け、リンク構造の予測や特徴的な部分構造パターンの発見といった技術の開発を基本タスクとし、その技術はオンラインショッピングモールの推薦システムや創薬等に活かされている。「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」ではこうした領域を概括する。

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。グラフに関する数学の歴史は17世紀にまで遡る。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。「③ネットワークに関する離散数学」がこの領域を概括する。

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・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。「④ネットワークを扱うソ

フトウェア」は、ネットワークが持つ性質を統計的・数値的に評価するための計算機能や複雑に結合したネットワークをなるべく自然な形で二次元空間に埋め込むための可視化機能をもつソフトウェアの開発、競走、淘汰を概括する。

複雑システム

「複雑システム」は、一般に多種多様な非線形要素が非線形相互作用するシステムであり、要素群と全体の間に階層的フィードバックを生じる。すなわち、全体は部分が集まって構築されるが、各部分は全体の性質で規定されるという階層的循環を生じる。したがって、要素還元論的理解も全体還元論的理解も、どちらか一方だけでは複雑システムを理解するために不十分である。

歴史的には、複雑システム研究の重要な背景となったのは、1948年に出版された W. Weaver の論文である(W. Weaver, Science Complexity, American Scientist, 36, 536 - 544, 1948)。Weaver はこの論文の中で、17世紀以降の自然科学研究を、以下の3つに分類した。

- (1) 17世紀から 19世紀にかけて主として行われた、少数変数の決定論的法則を研究する「単純さの問題」(Problems of Simplicity)、
- (2) 1900 年前後から行なわれた、無数の変数からなる系の平均的挙動の確率・統計的法則を 研究する「組織されない複雑さの問題」(Problems of Disorganized Complexity)、
- (3) この論文が出版された1948年の時点において今後本格的に研究すべき問題として挙げ

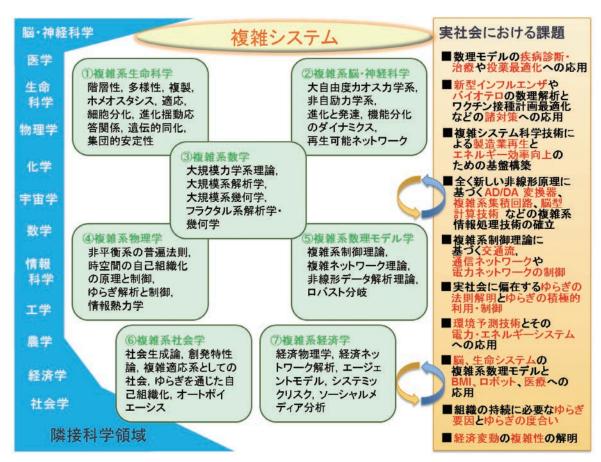


図 2.5.7 複雑システム区分俯瞰図

られた「組織された複雑さの問題」(Problems of Organized Complexity)。

この(3)の「組織された複雑さの問題」が、今日的意味での複雑システムの研究に対応している。Weaver は、その具体例として、生命システム、経済システム、社会システム等を挙げるとともに、その研究のためには、第2次世界大戦中に開発が加速された電子計算機が重要な役割をはたすだろうと述べている。

この Weaver の予想通りに、複雑システムは世界中で活発に研究されている。また、本俯瞰報告書のモデリング、制御、最適化、ネットワーク論等の俯瞰区分とも密接に関係しながら、複雑システム研究が発達してきている。

本俯瞰区分「複雑システム」では、以上の点を踏まえて、「①複雑系生命科学」、「②複雑系脳・神経科学」、「③複雑系数学」、「④複雑系物理学」、「⑤複雑系数理モデル学」、「⑥複雑系社会学」、および「⑦複雑系経済学」の7つの研究開発領域を設定し、各領域の第一人者による調査を行なった。図2.5.7 に複雑システム区分俯瞰図を示した。

サービスシステム

サービス研究開発は、1980年代から、ホテル、旅行、交通、教育等の既存のサービス業を対象に、サービスの効率化、高収益化を狙ったマネジメントやオペレーションズ・リサーチの研究として、主にマーケティング分野で行われてきた(第1世代)。サービスマーケティングに代表されるように、この時代のサービスの研究は経営分野が対象である。1990年代に入り、IT技術の進展に伴い、情報ビジネスでサービスが注目を浴びてきた。ITサービスマネジメント、Service Oriented Architecture(SOA)等、情報分野のサービス研究が始まり、情報技術者がサービス研究に取り組みだした(第2世代)。サービスは、マーケティングやIT等、システム科学とは異なる分野の研究開発領域と捉えられてきた。

21世紀に入り、Service-Dominant Logic(S-D Logic)というサービスに関する新しい概念が提案された。そこでは、サービスはサービス提供者とサービス利用者が価値を共創する行為と定義されている。サービスをサービス提供者とサービス利用者が価値を共創するサービスシステムとして捉え、システムの目的をサービス価値の最大化とすれば、サービスに対して、さまざまなシステム科学的な研究開発を行うことができ、これによってサービス化する産業の進展に大きな貢献ができると考える。すなわち、サービスを、顧客価値を最大化するサービスシステムと捉え、システム科学として研究開発しようというアプローチである(第3世代)。「サービスシステム」俯瞰区分では、この第3世代のサービス研究を対象にする。

本俯瞰報告書では、サービスシステムの研究開発を俯瞰するに当たり、既存の業種別の具体的なサービスやこれまでに開発が行われている個別の要素技術とは独立した、サービス価値創造システムを考える。そして、サービス価値創造システムの構造を明らかにして、その構成要素を研究開発領域名とする。図 2.5.8 にサービスシステム区分俯瞰図を表した。ここでは、サービスシステムを、3 つの階層(レイヤ)で構成する。第 1 レイヤは、センシング等の要素技術と価値創造システムのインタフェースを構成する「①サービス価値創造基盤システム」である。サービス価値創造に必要なデータを収集しそれらを処理するツール群で構成する。第 2 レイヤは、中核としての価値創造プラットフォームであり、価値創造を実現するシステム的な要素技術群として、「②サービスシステムモデル」、「③価値創造過程のモデリング」、「④サービスデザイン」、「⑤価値共創の測定・評価」の 4 つの要素で構成する。第 3 レイヤは、価値創造プラッ

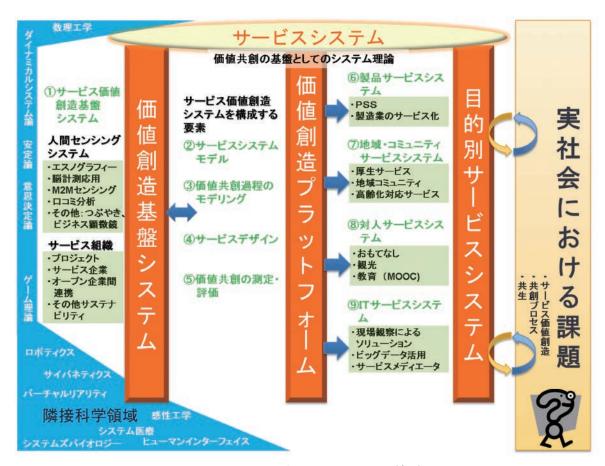


図 2.5.8 サービスシステム区分俯瞰図

トフォームの上位レイヤとして、さまざまなサービスの価値創造メカニズムの共通性に着目したタイプ別サービス価値創造システムを考える。ここでは、「⑥製品サービスシステム」(モノとサービスの融合による価値創造)、「⑦地域・コミュニティサービスシステム」(地域・コミュニティにおける価値創造)、「⑧対人サービスシステム」(対人サービスにおける価値創造)、「⑨ITサービスシステム」(ITサービスシステム」の4つの価値創造パターンを研究開発の対象とする。サービスシステム区分では、こうした視点に立って、国内外の研究開発動向を俯瞰する。

システム構築方法論

「システム構築方法論」の分野は、1950年代にシステム工学(System Engineering)の名の下で始まり、それ以降システム構築に関わるさまざまな方法、認識モデル、ツールが提示されているが、いまだに一つの学問体系として整理されておらず、また明文的に定義、統一され、定着した技術用語でもない。しかしながら、今日、システムは、巨大化、複雑化し、社会の隅々にまでますます深く浸透し、日々、われわれ人間の生活を豊かにしている。そのため社会にとって真に必要とされるよいシステムを構築し、適正に運用していくことが、これまで以上に強く求められている。その際、今日のシステムを取り巻く環境を次の3つの視点から認識することが重要である。

(1) 価値の転換・創造:社会が豊かになりモノが溢れる時代となり、人々の要求や満足は、

単なるモノの所有から、モノの使用やイベントの体験等から生み出される精神的満足感 (これらはモノに対してコトと言われる)へと移っており、それら多くのコトはシステム構築によって実現されている。すなわち、システム構築が今日の価値創造の源泉となっている。

- (2) 社会技術との接点:システムが社会に広範に普及するに連れ、システムを取り巻く利害関係者(Stakeholders)が膨大となり、その要求も多様化する。環境や技術制約を考慮しつつ、これら膨大な数の多様な要求をバランス良く満たすシステム構築が求められ、システムの設計、社会実装に当たり利害関係者との関係性マネジメントが重要となっている。
- (3) SoS(System of Systems)の時代:システムは単に巨大化、複雑化するだけでなく、これまで単独で機能していたシステムもネットワークを介して相互に接続し、新しい機能・付加価値を生み出す一方、他のシステムとの相互作用や他のシステムを介して想定外のトラブルが拡大伝播するリスクが増大し、これまでと異なる様相を示している。

したがって、今日のシステム構築方法論は従来のシステム工学の範疇では説明しきれず、システム関連の国際協議会 INCOSE (The International Council on Systems Engineering) においても、システム工学 (System Engineering) ではなく、システムズエンジニアリング (Systems Engineering) と、複数形で呼称するようになっている。

システム構築は現実の課題に対してある種のソリューションを提供するものである。現実の社会における課題をどのような対象システム(System-of-interest)として捉え、どのように分析し(認識)、構成し(設計)、導入し(社会実装)、運用・保守するかについては、システムの目的、規模や複雑さ、システムの動作環境に大きく依存し、本質的に状況依存の傾向が強い。そこで、本俯瞰の中では、システム構築方法論をシステム構築の3つの側面、(i) 社会的側面、(ii) 技術的側面、(iii) マネジメント的側面から捉え、図2.5.9 に示すように9つの研究開発領域を設定して、それぞれの領域において最新の動向を俯瞰した。いずれも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、また更なる深化が期待される一方で、その適用がシステム構築の段階や対象システムの特性・環境等に大きく依存するため、成熟した領域とそうでない領域との差が見られる。

この中で、(i) 社会的側面とは、現実の社会とシステムの工学的な設計(技術的側面)とをつなぐために必要となる方法論群である。具体的には、社会の期待やニーズを捉え、工学的仕様へと変換する局面、また具現化した実システムを社会に提供して社会的経済的価値を生み出す局面で、さまざまな利害関係者との関係を調整する活動・プロセスを支える科学技術の体系である。本俯瞰区分の研究開発領域としては、実社会の課題について、システム概念やシステムモデルを用いて、組織や集団・社会等、多様な意思決定主体を含む複雑な問題状況の把握・改善・解決を支援する「②問題構造化技法」と、人々が有する多様な見解や選好に関して相互理解を図りながら共通の理解や解決策に繋げる実践的かつ系統的な取り組みとそのプロセスとしての「①合意形成」の2つを取り上げた。

(ii) 技術的側面とは、実際にシステムを工学的に設計し、製造し、運用する際に必要となる方法論群である。設計、製造の面ではソフトウェア開発技法として体系化されてきた方法論を中核に取り上げつつ、システム構築への適用可能な方法論群を俯瞰した。実社会の課題解決には、課題の把握や利害関係者の特定を行い、SoS を考慮し対象システムが意図しない機能性を

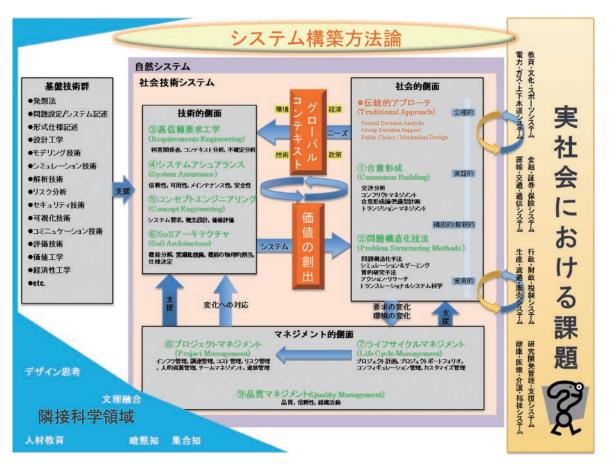


図 2.5.9 システム構築方法論区分俯瞰図

もつことを防ぎつつ、価値の最大化をもたらす全体アーキテクチャを設計することが重要である。通常であれば、システム境界(boundary)を定め、コンテキスト分析を行うことが可能であるが、対象システムの外側にある複数のシステムが不確定性をもって相互作用するため、グローバルにコンテキスト分析を行ない、不確定性を分析する「③高信頼要求工学」が必要となる。また、SoSとしての信頼性、可用性、メンテナンス性、安全性、セキュリティ、ディペンダビリティを確保する「④システムアシュアランス」により、リスクの分析やマネジメントが求められる。利害関係者の要求が明確化になると、価値創出の枠組みを形成する「⑤コンセプトエンジニアリング」が必要となる。続いて、システム間の相互作用、対象システムの機能特定、機能分析、実現化技術を考慮したシステム機能の物理的割当と、不確定性や変更対応に配慮した設計を導く「⑥ SoS アーキテクチャ」が必要となる。

(iii) マネジメント的側面とは、システム構築のすべてのフェーズで、構築プロセスに関わる人や組織の活動をマネジメントする方法論群である。複雑で大規模なシステムの構築は、システムの計画段階と運用(オペレーション)段階に大別できる。計画段階では、対象システムに求められる機能を満足するシステム構成(アーキテクチャ)を構想・設計し、実システムを製造・設置する。システムの運用段階では、さまざまに変化する環境において実システムを稼働させ、常に要求を満たす機能の実現を図る。「⑦ライフサイクルマネジメント」は、システム機能を具現化する際の企画、設計、製造、運用、廃棄といったライフサイクルの各段階において、システムの実現性を確認し、進捗を管理するものである。「⑧プロジェクトマネジメント」

は、システム構築プロジェクトを組織として成功へ導くための技術の体系である。「⑨品質マネジメント」は、顧客や社会のニーズを満たすシステム価値の提供と質の維持および構築プロセスで働く人々の満足を通して、組織の長期的な成功を目的に、各プロセスの維持向上、改善、革新を組織の全部門・全階層の参加を得て、内外の環境変化に適した効果的かつ効率的な組織運営を実現する活動である。

(2)システム科学技術分野俯瞰図

システム科学技術には諸分野を統合する横断的な学術としての性格、実用性を重視する性格等、多様で複雑な側面があり、システム科学技術分野の位置づけを1枚の図で端的に表現することは至難の業である。しかしながら、あえてそれを行ったのが図2.5.10のシステム科学技術分野俯瞰図であり、ここでは社会におけるシステム、システム科学技術分野の各俯瞰区分、およびその他の科学技術の相対的な関係が表現されている。縦軸は、システム科学技術を通してさまざまな科学技術が社会に活用される道筋を表している。すなわち、下に配置した各分野の科学技術を中央にあるシステム科学技術が分野横断的にまとめあげ、最終的には上部に配置したような多様なシステムが構築され、社会に実装される様子を表している。横軸は、客観的な側面をもつシステムの機能が主観的な側面をもつ価値に移行する道筋を表している。すなわち、システムがさまざまな機能を効率的に果たすことが価値創出につながっていく様子を表している。縦軸と横軸は必ずしも直交するものではないが、この2軸を設定することにより、システム科学技術の役割と各俯瞰区分の特性に関する相対的位置づけを方向性とともに表現した。

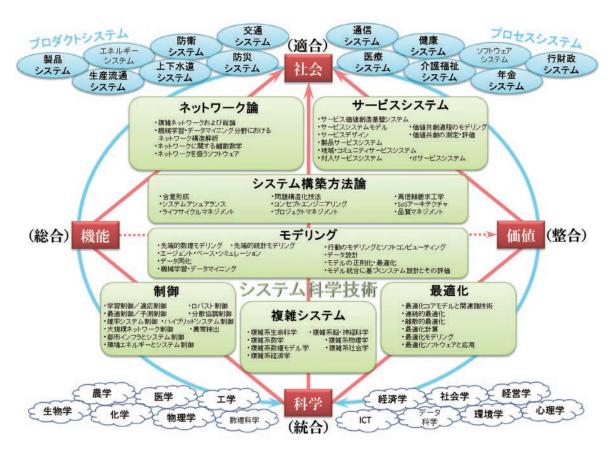


図 2.5.10 システム科学技術分野俯瞰図

(3) システムドメイン

わが国が現在直面している問題をシステム構築の視点から考えると、幾つかの主要な課題領域が浮かび上がってくる。システム科学ユニットでは「よいシステム」を構築することが社会的な価値に結び付く度合いの大きい7つの課題領域を「システムドメイン」として選び、重点的にファンディングを行うことを提案している(図 2.5.11)。これらのドメインは、いすれも「人間」、「社会」が主役を演じ、その意味で、物理的には割り切れない不定形な要素を含むシステムからなる。これら以外にも重要なシステムドメインは存在するが、現在の日本が直面している少子高齢化やエネルギー問題、インフラの老朽化やパッケージ輸出等の深刻な課題を優先し、また、限られている予算を考慮し、この7つを最重要なシステムドメインとして抽出した。

図 2.5.11 はこれらのシステムドメインにおけるシステム構築が、今回俯瞰したシステム科学技術の7つの俯瞰区分の各領域と交差していることを示している。縦の柱であるシステムドメインと横の柱であるシステム科学技術の俯瞰区分の交差点がシステム科学技術の社会的、実用的な適用の場であり、同時にシステム科学技術が学術としての養分を得る場所でもある。図 2.5.11 には 7 × 7 = 49 個の交差点が存在するが、それぞれの交差点は多彩な特徴や性格をもっているはずである。ただし、俯瞰報告書『本編』の第3章で詳述する各研究開発領域においては性質的には「横方向」の俯瞰を試みているが、それらのシステム科学技術の7つのシステムドメインにおける役割に関する具体的な俯瞰はまだ途上であることに注意しておく必要がある。また、各システムドメインからの視点、つまり「縦方向」の俯瞰も、あるシステムにおいて各俯瞰区分のシステム科学技術がどのように用いられているかを知る上で興味深い。これも今後の課題として残されている。

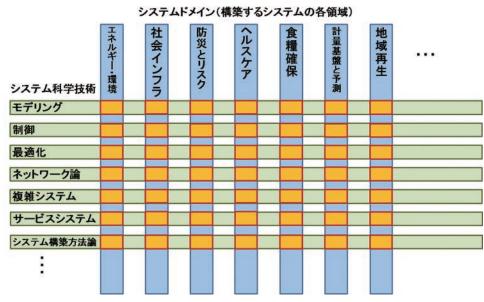


図 2.5.11 システムドメインとシステム科学技術

2.5.2 分野の歴史、現状及び今後の方向性

2.5.2.1 各国における研究開発のためのビジョン、戦略、およびファンディングの 状況

システム科学技術は分野横断性が高く、また、世界共通の定義が存在するわけでもないため、その研究開発に関する各国の研究ビジョン等を明確に知ることには困難が伴う。また多くの場合、システム構築の研究開発の中にシステム科学技術が埋め込まれている。したがって本節ではシステム構築とシステム科学技術に関する各国の研究開発の状況を合わせて概括する。

(1) 日本

わが国では、過去5年ほどの間に新成長戦略(2010年6月)、第4期科学技術基本計画(2011年8月)、日本再生戦略(2012年7月)、科学技術イノベーション総合戦略(2013年6月)、日本再興戦略(2013年6月)、科学技術イノベーション総合戦略2014(2014年6月)、日本再興戦略改訂2014(2014年6月)等が閣議決定されているが、そのいずれにおいても科学技術による社会的な「課題解決/達成」が掲げられている。こうした課題解決/達成を実現する上では、社会や人間に対して開かれた「オープン型」システムの構築が大きな役割を果たすであろう。

科学技術イノベーション総合戦略および科学技術イノベーション総合戦略 2014 においては、5つの政策課題(エネルギー、健康寿命、次世代インフラ、地域資源、復興再生)の解決に向けて、「スマート化」、「システム化」、「グローバル化」の3つの戦略的視点を踏まえて取り組みを実行していくこと、とされている。この中で、システム化については製品・技術を単体ではなく、組み合わせてシステム化し、高付加価値化して市場展開を進めていくべきことが指摘されている。

2014年より科学技術イノベーション総合戦略等に基づき2つの大型のファンディングプログラム、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)と革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)が創設された。これらのプログラムにおいても実用化までを見通した課題解決型の研究開発が求められており、わが国の研究開発において、システム化の重要性に対する認識は高まってきていると言える。SIPにおける10課題のうちの一つ「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」に関して言えば、高度なインフラマネジメントの実現ためにシステム化が重要であることが科学技術イノベーション総合戦略2014にも記されている。

一方で、わが国においてはシステム化に必要となるシステム科学技術そのものに関する認識はそれほど高いとは言えない。システム科学技術分野の一部としてもみなせる領域、例えば制御工学やサービス科学といった領域へのファンディングは独立行政法人日本学術振興会(JSPS)や JST 等により行われているが、システム科学技術全般を対象とした総合的な施策は存在しない。システム技術に関しては、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による事業等で行われているが、環境・エネルギー、電子・情報通信、機械システム分野等における実用化段階に近い個別的な領域に対してのものが多い。

このような中、第4期科学技術基本計画においては「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、融合領域の科学技術として、その研究開発を推進していくことの重要性が指摘された。このことや東日本大震災の影響もあり、2012年度文部科学省戦略目標の一つとして「再生可能エネルギーをはじめとした多様なエネルギーの需

給の最適化を可能とする、分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論、数理モデル及び基盤技術の創出」が設定され、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」領域が発足した。システム構築のための理論、数理モデルといった、システム科学技術と密接に関係するキーワードが明示的に入った戦略目標や CREST 領域は初めてであり、システム科学技術を今後振興していく上で大きな一歩となった。また、本 CREST 領域の研究開発の推進方法においては、ステージゲート方式等、よいシステムの構築を目指した統合的・競争的なスタイルが新しく試みられており、今後の成果が期待される。

(2) 米国

システムの複雑性の際限ない増大についての問題が注目されてきており、それに対応するための概念の構築や手法の開発が近年活発に進められている。「システムのシステム」、「ビッグデータ」、「サイバーフィジカルシステム」等はシステムの複雑性、オープン型システムに関連する典型的な研究対象である。

近年、米国科学財団(National Science Foundation; NSF)は、複雑化する社会的課題に対応するために、組織や分野の境界を越えたシームレスな研究支援を目指す「OneNSF フレームワーク」を導入した。この枠組みの中で「Cyber-enabled Materials, Manufacturing, and Smart Systems(CEMMSS)」プログラムが 2012 年度から運営されており、2014 年度は 2.6 億ドルの予算が割り当てられている。理学、工学分野のさまざまな研究活動を統合化することによって、物質科学、先進製造技術、ロボティックス、サイバーフィジカルシステム等の領域におけるブレークスルーを見出すことが目的とされている。

NSF の工学局にはシステム科学(Systems Science)を一つの領域としてとらえたファンディングプログラムが存在する。工学局の 2015 年度予算要求 8.6 億ドルのうち、2.1 億ドルは Civil, Mechanicaland Manufacturing Innovation(CMMI)Division に割り当てられている。また、CMMI Division の下にある 4 つの分野のうち、Systems Engineering and Design(SED)では、設計・制御・最適化といった工学における意思決定に関する基礎研究を支援している。 2014 年現在、SED では以下の 5 つの領域に対してファンディングが実施されており、この中に Systems Science がある。

- · Engineeringand Systems Design
- · Operations Research
- · Sensors, Dynamics, and Control
- · Service Enterprise Systems
- · Systems Science

前回の2013年版俯瞰報告書作成時点では上記のSystems Science 領域はなかったことから、この領域追加はNSFのシステム科学に対する認識の高まりを示している。

NSF の Engineering Research Centers (ERC) プログラムは米国の産業競争力強化のために、大学に拠点を設立し、異分野融合を促進しつつ効率的なシステム構築を目指す特色あるプログラムである。1985年の創立以来、時代の変化に応じてその内容を徐々に変更しつつも現在まで続いており、NSFを代表するファンディングプログラムの一つとなっている。このプログラムでは最大で10年間という長期間にわたって、1年あたり約400万ドルの支援が続けられる。

米国大統領への科学技術に関する勧告機関である PCAST (President's Council of Advisors on Science and Technology) は、2014年5月に "Better health care and lower costs: Accelerating improvement through systems engineering" と題する勧告書をオバマ大統領に提出した。現代の米国が直面する最も深刻な社会問題の一つである医療制度に関連して、Systems Engineering (日本語のシステム工学よりも広い意味を含む)を活用し、医療費の低減と医療の質を高度化させることを勧告している。

(3) 欧州

欧州では、欧州委員会による第7次研究枠組み計画(FP7、2007年~2013年)において、FuturICT プロジェクトが2011年から開始された。このプロジェクトでは、持続可能性やレジリエンスの観点を重視した上で、複雑かつグローバルで、社会との相互作用があるシステムを理解、構築し、さらに管理することを目的としていた。FP7におけるパイロット研究の後、FP7の後継プログラムである Horizon 2020(2014年~2020年)において、10年間で10億ユーロ規模のファンディングプログラムである Future and Emerging Technologies(FET)Flagships の獲得を目指して活動が進められていたが、その選考においては落選することになった。しかしながら、FuturICT全体構想の一部であった地球社会シミュレーターに関するプロジェクトは Horizon 2020 FET Proactive のカテゴリーにおける3つの Initiatives の一つである Global Systems Science(GSS)において引き継がれることになった。Horizon 2020 のWork Programme 2014-2015において GSS は1,000 万ユーロの予算を獲得している。

ドイツでは、教育研究省(BMBF)による研究開発およびイノベーションのための包括的な戦略である 2011 年からの「ハイテク戦略 2020」におけるアクションプランとして、未来プロジェクト「Industrie 4.0」が推進されている。Industrie 4.0 ではサイバーフィジカルシステムを基盤とし、工場内外のモノやサービスを連係させることで、新しい価値やビジネスモデルを創出する次世代製造業のための研究開発が進められている。Industrie 4.0 における分野横断的な課題として、「標準化」や「複雑なシステムのモデル化」等が掲げられており、まさにシステム科学技術が必要とされるプロジェクトとなっている。なお、ハイテク戦略 2020 の後継にあたる、2014 年に発表された「新ハイテク戦略」においても Industrie 4.0 は引き続き推進されている。

Industrie 4.0 に関連して実施されている代表的なファンディングプロジェクトの一つとしては、連邦政府による先端クラスター競争プログラム it's OWL(Intelligent Technical Systems Ost-Westfalen Lippe)がある。スマートファクトリー構築等の主要な研究課題に対して、システム工学や自己最適化等に関する、システム科学技術とも関連性の高い研究プロジェクトが推進されている。連邦政府からは5年間で計2億ユーロが支援され、参加企業には同額以上の出資が求められるマッチングファンドである。

フランスでは、「国の研究・イノベーション戦略」(SNRI、2009 年~2012 年)における「保健、福祉、食糧、バイオテクノロジー」優先分野の中で「シミュレーションや予測に向けた生命組織のモデル化」が、「情報、通信、ナノテクノロジー」優先分野の中で「複雑なシステムの小型化」、「スマートシステムの開発」が、重要トピックスとして掲げられた。これらのトピックスは、国立研究機構(ANR)により、ICT分野の「デジタルモデル(MN)」というファンディングプログラム領域で2013年まで公募の対象になっている。MNプログラムでは複雑システムのモデリング、シミュレーションやデザイン、最適化等の研究が特に求められている。

SNRI が分野別振興型の戦略であったのに対し、それに続く戦略として位置づけられている 2013 年および 2015 年に発表された France Europe 2020 では社会的課題の解決に向けた戦略 がとられている。システム科学技術が特に必要とされる社会的課題としては「省資源管理と気 候変動への適応 | や「持続可能な輸送・都市システム | などがある。また、5 項目のテーマ別 計画の一つとして「システム生物学とその応用」が取り上げられている。

(4) 中国

中国では、国家中長期科学技術発展計画(2006年~2020年)および第12次5ヵ年計画 (2011年~2015年) に国の科学技術政策に関する重要な方針が示されている。国家中長期科 学技術発展計画においては、科学における先端的課題として「純粋数学及びその学際分野で の応用し、国家の重大な戦略ニーズに対応した基礎研究として「複雑システム、突発災害およ びそれらに対する予測制御」など、システム科学と関連の深いテーマも掲げられている。中国 国家自然科学基金委員会(NSFC)ではシステマティックなアプローチが重要課題の解決に不 可欠という認識が定着しており、NSFCの Department of Information Science と Department of Management Science が一般プログラムにおけるシステム科学分野のファンディングを 担当している。過去には NSFC による意思決定に関するシステム研究の大型プロジェクト Metasynthetic systems with combination between man and machine for decision support of macroeconomics」(1999年~2003年)が実施されている。

区分	分名	モデ!	Jング	制	御	最流	商化	ネットワ	フーク論	複雑シ	ステム		ビス テム		テム 方法論
国・地域	フェーズ	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
	基礎	0	→	0	1	0	→	0	1	0	7	0	1	0	→
日本	応用	0	→	0	1	0	→	\triangle	→	0	7	0	7	0	→
	産業	0	→	0	7	0	→	0	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
	基礎	0	1	0	1	0	7	0	1	0	1	0	1	0	1
米国	応用	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1
	産業	0	1	0	→	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1
	基礎	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
欧州	応用	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1
	産業	0	→	0	1	0	1	0	→	\triangle	→	0	1	0	→
	基礎	0	1	0	1	\triangle	1	\triangle	1	0	1	\triangle	→	\triangle	→
中国	応用	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
	産業	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	×	→	\triangle	→	\triangle	→
	基礎	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	0	→	\triangle	→	×	→	\triangle	→
韓国	応用	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
	産業	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	×	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	→

表 2.5.1 俯瞰区分ごとの国際比較表

エ へ 基礎・・ 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・・・ 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・・・産業化フェーズ:量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※わ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

才:上昇傾向、→:現状維持、△:下降傾向

⁽註1) フェーズ

(5) 韓国

韓国では、第2次科学技術基本計画(2008年~2012年)に基づき、次世代を主導する融合技術(Converging Technology)を体系的に発展させ、医療・健康、安全、エネルギー・環境問題の解決、融合新産業の育成などを目的とした「国家融合技術発展基本計画(2009年~2013年)」が策定された。融合技術は統合化のために必要となるシステム科学技術と重なっている部分が多い。第3次科学技術基本計画(2013年~2017年)では「スマート物流・交通システムの構築」、「国土インフラの先進化」、「社会的災害対応システムの確保」などの推進課題がシステム科学技術と関連して注目される。

なお、国・地域ごとの各俯瞰区分における研究開発の現状の全体的な傾向を把握するために、 俯瞰報告書『本編』第3章における各研究開発領域の国際比較表の結果を俯瞰区分ごとに平均 化したものを表 2.5.1 に示す。

2.5.2.2 研究開発をとりまく状況と今後の方向性

科学技術がシステムを介して社会の隅々まで浸透するにつれて、その進歩が生み出す付加価値の重心が要素からシステムへ移りつつある。システム科学技術は「ものからコトへの価値の移動」、「要素からシステムへの課題の移動」、「ハードウェアからソフトウェアへの機能の移動」に象徴される現代科学技術の主要な転換を推し進める上でも重要な役割を果たす。しかしながら、近年のわが国は、システム科学技術に対する理解がまだ十分ではないこともあって、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生かすことが不得手であり、この変化にうまく対応できていない。先に述べたようなシステム危機の弊害が海外よりも厳しい形で現れている。また、一時は世界を制覇した非常に高い要素技術力やものづくり力を有していながら、それらを経済価値の実現にうまく結びつけることができないでいる。例えば、現在の研究開発 – 産業問題に関して、

- (1) 個別要素の研究開発は優位であるが、製品のシステム化が遅れる
- (2) システムを製品とする産業が弱く、システム技術をコアコンピテンスとする企業が少ない。また、産業競争力に対するシステム科学の寄与が小さい
- (3) システムを製品とする産業 (多くの情報産業等) の競争力が弱い
- (4) 医療システム等、公共的システムの構築運用が遅れている
- (5) 公文書管理、統計管理、コホート等のようなシステムに対する認知度が低い
- (6) 巨大システムの安全・保全管理の体系が記述、記録、伝承できない
- (7) 大型のシステム(ex. 新幹線) 開発の記憶が新しいシステム構築に生かされていないなど、システムの目標実現とそのためのシステム構築に必要な方法論や制度について数多くの遅れが現存しており、国家的習熟がない。これらは、縦割行政や分野別ファンディング、規制、産業構造、企業文化、教育体制、最終的には日本特有の文化と歴史にまで絡む根の深い問題であり、それがシステム的発想やシステム科学技術の弱さとして表れている。システムの複雑化・巨大化によって、属人的な能力に頼ってきたこれまでのやり方は限界を超えている中で、システム化の遅れは深刻な問題となっている。日本の成長戦略はシステム科学技術の振興を欠いては成り立たない。

社会で生じる解決すべき課題は、科学技術における分野や規範の細分化とは全く無関係に発

生する。単一の科学領域だけの研究で課題解決が達成できるものではなく、複数領域の協力に基づく研究開発が必要である。同様に、単一の省庁の所掌範囲で完結する社会システムは現状ではほとんどなく、決して整合的ではない。今後、関連する各省庁の所掌に基礎を置く価値基準や法制度などを調整し、合意を得る必要がある。さらに、社会への実装を最後に担う企業の利益追求方針との乖離を解消していなければならない。

システム構築によるイノベーションの重要性は、総論としては共通認識となりつつあり、各種の官庁文書ではこれについての言及が目立つようになった。例えば、内閣府の総合科学技術会議(現:総合科学技術・イノベーション会議)が策定し2013年6月に閣議決定された「科学技術イノベーション総合戦略」では、スマート化、グローバル化と並んでシステム化が科学技術イノベーション政策推進のための3つの戦略的視点の一つとして挙げられている。これに駆動されて戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)や革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)等の新しい大型ファンディングプログラムが府省庁連携により立ち上がったが、システム化に関してさらに一歩踏み込んだ施策が提示されることを期待したい。

日本の科学技術がシステム化に熟達するために、産学官が協調し、必要な技術を決め、集め、統合していく行動や仕組、そのための科学技術の振興が今まさに切実に求められている。特定の分野や対象に依存しない普遍的な科学技術であるシステム科学技術は、要素間の不整合や無意味な競合を取り除き、要素が最大限の力を発揮するように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研究者、技術者を結びつけつつ、全体の利益を最適化するポテンシャルを有している。現代社会における課題を解決していく上で、システム科学技術の果たすべき役割はますます大きくなってきている。

今後、実際のシステム構築プロジェクトのなかで実効をあげながら、(i) 課題解決型の科学技術としてのシステム科学技術を発展させること、(ii) 異なった専門分野を統合することのできる見識、システムの目標を達成するための要素研究を適切な形、タイミングで実施することのできる能力、部分と全体の関係をよく理解できる高度の解析能力、などのシステム的発想を備えた人材を育成すること、(iii) プロジェクトの成功を他の事例に展開できる形で蓄積していくこと、などの強化策を推進することがわが国の科学技術行政に望まれる。

国際比較表まとめ (システム科学技術分野)

\									モラ	デリン	グ	区分							
	\	学站 自 数五 ヨラーミア	勺汷里Eデリング	分頭自糸言コラーミア	上 帯 勺 充 十 日 デ リンデ	トコンピューティング	行動のモデリングとソフ	シミュレーション	エージェント・ベース・	ラータ部中部	だーフル文十	2 	データ司と	最適化	モデルの正則化・	データマイニング	機械学習·	テム設計とその評価	モデル統合に基づくシス
国	フェー ズ	現状	トレ ンド	現状	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレ ンド
п	基礎	0	1	×	→	0	→	0	→	0	→	0	1	0	1	0	1	0	→
日本	応用	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	\rightarrow	0	→
	産業	0	1	×	7	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1
N/.	基礎	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
米国	応用	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→
	産業	0	1	0	1	0	→	0	1	0	→	0	→	0	1	0	1	0	→
ret.	基礎	0	1	0	1	0	1	0	→	0	→	0	1	\circ	1	0	→	0	1
欧州	応用	0	1	\circ	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	0	1	\circ	1	0	\rightarrow	0	1
	産業	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\circ	1	\circ	→	\circ	→	\circ	→	\triangle	→	\circ	1
_	基礎	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	0	1	0	→	\triangle	
中国	応用	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	0	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	\triangle	
	産業	×	→	\triangle	\rightarrow	×	→	×	→	\circ	1	\triangle	→	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	
skets	基礎	\triangle	→	\circ	1	\triangle	\rightarrow	\circ	→	\triangle	→	\triangle	→	\circ	1	\triangle	→	\triangle	
韓国	応用	×	→	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	1	\triangle	→	\triangle	→	\circ	1	\triangle	→	\triangle	
	産業	×	→	\triangle	\rightarrow	×	→	×	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	

\										f	引御	区分	ř								
		生 習 集 名 / 道 加 集 名	学習刊即/ 宽芯刊即	17.7 俳	コベスト刊卸		削卵/み	ク 背板 言作 省	協同 削	何至ミンラム特征	権区/スト・7川申	制御	ハイブリッドシステム	制御	大規模・ネットワーク	事 作 札 上	里、岩石 今天 日	システム制御	環境エネルギーと	システム制御	都市インフラと
E	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
	基礎	0	1	\circ	1	\circ	1	\circ	7	\circ	1	\circ	→	\circ	→	0	7	\circ	7	\bigcirc	1
日本	応用	0	1	\circ	→	\circ	1	\circ	1	\circ	1	\circ	\rightarrow	\circ	→	\circ	1	\circ	1	\circ	\rightarrow
Ľ	産業	0	1	\circ	→	\circ	1	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	¥	\circ	1	\circ	1	\circ	1	×	1
N.	基礎	0	1	\circ	→	\bigcirc	→	0	7	0	1	\bigcirc	7	0	1	0	7	\bigcirc	7	\bigcirc	1
米国	応用	0	→	\circ	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	→	0	1	0	1	\bigcirc	1
	産業	\circ	→	\circ	→	\bigcirc	\rightarrow	\circ	1	\circ	1	\triangle	\rightarrow	0	\rightarrow	0	1	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow
rst.	基礎	0	1	\bigcirc	→	0	\rightarrow	0	1	0	1	0	\rightarrow	\circ	1	0	1	0	\rightarrow	\bigcirc	1
欧州	応用	0	1	\circ	→	\bigcirc	1	\circ	1	0	1	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	1	0	1	\bigcirc	\rightarrow
	産業	0	1	\triangle	→	\bigcirc	\rightarrow	\circ	1	\circ	1	0	\rightarrow	\circ	\rightarrow	0	1	0	1	\bigcirc	\rightarrow
١.,	基礎	0	→	\circ	1	\circ	1	\circ	1	\circ	1			\circ	1	\circ	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	1
中国	応用	\circ	→	\circ	1	\triangle	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow			\circ	1	\circ	1	\circ	1	\triangle	1
	産業	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	×	→			\triangle	→	\triangle	1	\triangle	1	\triangle	1
derte	基礎	\triangle	→	\circ	→	0	→	\triangle	\rightarrow	\circ	1			\triangle	→	0	1	\triangle	→	\triangle	→
韓国	応用	\triangle	→	\triangle	→	\circ	→	\triangle	1	\triangle	→			\triangle	→	0	1	\circ	\rightarrow	\circ	1
	産業	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	1	×	→			0	1	0	1	\triangle	→	0	1

\ _						最	:適(区区	分				
\		関連諸技術	最適化コアモデルと	过彩自 弄过 イ	車売勺受適 と	离青白 青近 イ	惟女勺壹適匕	事 述 个 言 筝	灵 <u>商</u> 七十字	電通イモラーご ク	麦筍と言ざ リノデ	応用	最適化ソフトウェアと
E	フェー ズ	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレドンド	現状	トレンド	現状	トレンド
_	基礎	\circ	→	\circ	→	\circ	1	0	→	\triangle	→	\circ	1
日本	応用	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\circ	→	0	1	\triangle	→	\circ	1
	産業	\circ	†	\triangle	†	\circ	→	\circ	7	\triangle	1	\triangle	1
	基礎	\bigcirc	→	\bigcirc	7	\bigcirc	→	0	1	\triangle	→	\circ	1
米国	応用	0	\rightarrow	0	1	0	→	0	1	\triangle	→	\circ	1
	産業	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	0	1	0	1	\triangle	→	\circ	1
₩1	基礎	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	0	→	\bigcirc	1	\triangle	1	\circ	1
欧州	応用	\circ	\rightarrow	0	1	\circ	1	0	1	\triangle	→	\circ	1
	産業	0	→	0	1	0	1	0	1	\triangle	→	0	1
	基礎	\triangle	1	0	1	\triangle	→	0	1	×		\triangle	1
中国	応用	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→	0	1	×		\triangle	→
	産業	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	0	1	×		\triangle	→
4-ts.	基礎	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	×		×	→
韓国	応用	\triangle	\rightarrow	×	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	×		×	
	産業	\triangle	\rightarrow			\triangle	-	\triangle	\rightarrow	×		×	

\			ネ		ワー	ーク	論区	分	
\		および総論	複雑ネットワーク	トワーク構造解析	が分野こおするネッは械学習・データマイニ	離散数学	ークに関する	ソフトウェア	ネットワークを扱う
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	トレント
_	基礎	\circ	7	\circ	1	0	7	\triangle	→
日本	応用	\triangle	→	\triangle	→	0	1	\triangle	→
·	産業	\triangle	→	0	1	0	→	\triangle	→
	基礎	0	→	0	1	0	7	0	7
米国	応用	0	→	0	1	0	→	0	1
	産業	0	1	0	1	0	\rightarrow	0	→
	基礎	0	\rightarrow	0	1	0	\rightarrow	0	7
欧州	応用	0	1	0	1	0	1	0	1
7'1	産業	\triangle	→	\triangle	1	0	→	0	→
	基礎	×	1	0	1	\triangle	→	×	
中国	応用	×		\triangle	1	\triangle	→	×	
	産業	×		0	1	\triangle	→	×	
	基礎	0	\rightarrow	\triangle	→	0	1	Δ	→
韓国	応用	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	→
1	産業	×		\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→

\						核	雜:	シス	テノ	·区;	分				
\	\	有架子与 <a>合	复性长上方斗之		长 凶 · 申	- ヤーカ本・ア・オタム・	复维系效学	有杂字 物型:学	复隹系勿里≥	を発送して ラングで、	复隹系攻里丘デレ学	有架デネシニ、	复维系士云学	有杂"另条"的些"	复作长文主文可之
H	フェー ズ	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレドンド
_	基礎	\bigcirc	7	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	7	0	1	0	7
日本	応用	\circ	1	0	→	0	1	0	1	0	1	×	→	0	→
ľ	産業			×	_	0	→	0	→	0	\rightarrow	×	→	0	1
	基礎	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	7
米国	応用	0	7	0	7	0	→	0	→	0	→	0	→	0	→
	産業					0	1	0	1	0	7	×	→	0	/
	基礎	0	1	0	7	0	1	0	1	0	1	0		0	1
欧州	応用	0	1	0	→	0	→	0	1	0	→	×	→	0	1
711	産業					0	→	0	1	0	\rightarrow	×	→	0	\rightarrow
	基礎	0	1	\triangle	1	0	→	0	1	0	1			0	1
中国	応用					×	→	0	1	0	1			Δ	
凹	産業					×	→	×	→	×	→			\triangle	
	基礎	\triangle		×	→	0	→	0	→	0	→			0	→
韓国	応用					×	→	0	→	0	→			\triangle	
122	産業					×	→	×	→	×	→			Δ	

\								サー	- ビ	スシ	ステ	- ム	区分							Ī	\							ž	/ス:	テム			法諸	区	分			_		
		ステム	サービス価値創造基盤	サービスミングルコラリ	i	モデリング	価値共創過程の	1334	サービスデザイン	作作書館の選気・言作	り則定・平		ジョロナーごスノステム	ビスシステム	地域・コミュニティサー	文 ノ + 「 ヒノミンラム	+	1	[[ナーごえンステム				台意开房	ヘコ と言い ワンプセス	B 是样 近 们 打 注	引着があることと	高信 刺 要 才 工 学	司言可見せるくころ	ミンフムフシェフェイン	ノステータノエアラノス	エンジニアリング	コンセプト		SOSアーキテクチャ	マネジメント	ライフサイクル	マネジメント	プロジェクト	正日だり、ころこうこう	日日行のクレンジとノー
国	フェー ズ	現状	レドン	現状	トレ ンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレド	現状	レドン	現状	トレ ンド	現状	トレドンド		国	フェー ズ	現状	トレドンド	現状	トレ ンド	現状	トレ ンド	現状	ンド トン	現状	トレド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレドンド	現状	トレンド
	基礎	\circ	7	\bigcirc	→	\triangle	→	\triangle	1	\circ	1	\circ	→	0	7	\circ	1	\circ	→		_	基礎	\circ	→	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\circ	7	\circ	\searrow	×	\rightarrow	\triangle	\checkmark	\triangle	→	\triangle	→
日本	応用	\bigcirc	1	\triangle	→	\circ	\rightarrow	0	1	\bigcirc	→	\triangle	→	0	1	\circ	1	0	1		日本	応用	\circ	1	\circ	\rightarrow	\circ	\rightarrow	\circ	1	\triangle	→	0	\rightarrow	0	→	\triangle	→	0	→
	産業	\circ	1	×	→	\triangle	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\circ	1	×	→	\circ	\rightarrow	\circ	1	\circ	1		·	産業	\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	7	\circ	7	\triangle	→	\triangle	\searrow	\triangle	→	\circ	→	\bigcirc	→
14	基礎	\bigcirc	→	\bigcirc	→	\bigcirc	1	\triangle	1	\bigcirc	1	×	→	0	7	\circ	1	\circ	→		12	基礎	\bigcirc	→	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\circ	1	\circ	→	\triangle	→
米国	応用	\bigcirc	7	\circ	1	\bigcirc	1	\circ	→	\circ	1	\triangle	→	0	7	\bigcirc	11	\circ	1		米国	応用	\bigcirc	→	\circ	1	\bigcirc	1	\bigcirc	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	0	1	0	→	0	1
	産業	\bigcirc	1	\bigcirc	→	0	1	0	-	\bigcirc	1	\triangle	→	0	1	\circ	1	0	1			産業	\circ	\rightarrow	\triangle	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\triangle	→	0	1	0	1	0	1	0	1
	基礎	\bigcirc	→	\circ	→	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1			基礎	\bigcirc	†	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	→	0	1	0	7	0	1	0	→	\triangle	→
欧州	応用	\circ	1	0	→	\bigcirc	1	0	1	\bigcirc	1	0	1	0	1	\triangle	→	\circ	1		欧州	応用	\bigcirc	→	\bigcirc	1	\bigcirc	1	\bigcirc	7	0	1	0	1	0	1	\bigcirc	→	\circ	\rightarrow
	産業	\circ	7	\circ	→	\circ	1	\circ	→	\circ	1	\circ	1	\circ	7	\triangle	1	0	1		,	産業	\triangle	→	\circ	\rightarrow	\bigcirc	1	\bigcirc	7	\triangle	→	\bigcirc	1	\circ	→	0	→	\circ	→
١.	基礎	×		\triangle	→			×	-	\bigcirc		\triangle	→	\triangle	\rightarrow	×	1					基礎					\triangle	\nearrow	×	→	\triangle	→	×	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
中国	応用	×		\circ	1			\circ	1	\triangle		\circ	→	\triangle	\rightarrow	\circ	1				中国	応用							\triangle	\rightarrow	\triangle	→	\circ	\rightarrow	×		\circ	1	\triangle	1
	産業	×		\triangle	1			\triangle	\rightarrow	\triangle		\circ	1	\triangle	\rightarrow	\triangle	1					産業					0	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→			×		0	1	\triangle	1
	基礎	×						\triangle	1	\circ		×	→	\triangle	→							基礎					\circ	\rightarrow	×	→	\triangle	→	×	\rightarrow	\triangle	→	\triangle	→	\triangle	→
韓国	応用	×						0	1	0		\triangle	→	\triangle	†						韓国	応用					\triangle	V	\triangle	†	\triangle	→	0	→	0	1	0	→	0	1
	産業	0	1					\triangle	1	\triangle		×	→	\triangle	→							産業					\triangle	7	\triangleright	→	\triangle	→			0	→	\circ	→	0	→
													香港、台湾)	守ジア	基礎応用産業	× ○ △	1 1 1																				インド他	基礎応用産業	△ ○ ◎	→ 1 1

(註1) フェーズ

正1) ユニース 基礎…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…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…産業化フェーズ:量産技術・製品展開力のレベル

(註 2) 現状 ※わ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

研究開発の俯瞰報告書(2015) システム科学技術分野の概要

JST 研究開発戦略センター システム科学ユニット

システムの進化の歴史と課題

歴史

- エジソンの発送配電網(1890) 白熱電球はシステムの要素
- フォード生産システム
 - 大量生産大量消費の出現
- ・電信電話ネットワークの発展 通信によるシステム化の促進
- 各種管理技術の発達
- 生産、品質、経営のシステム化
- ・レーダ早期警戒システム(1939) 意思決定支援
- ・システム科学の誕生 システム理論、予測、OR
- サイバネティックス、通信理論 ENIAC 計算機利用システム化(1946)
- ・アポロ計画(1960)
- システム工学の発展
- ・新幹線予約/運行システム(1965/72) 日本における先進的システム
- トヨタ生産システム(1973)
- インターネットの普及(1990s)
- •GPS運用開始(1993)
- ・ネット検索システムの普及(2000s)
- ・世界金融システム危機(2008)

現代はシステムの時代

私達はさまざまのシステムに囲まれて生きている



各システムは 単独で存在 ではない 相互依存、

相互連携は 急激に増大 パーチャル 世 臾 でのシステム

の重要性増大 私達は「システムの時代」に生きている

直面する困難

学問分野

・システムの大規模化・複雑化

国際比較と海外動向

** すべての分野で圧倒的に優位。特に、制御、最適化、システム化、スパコン、ネットワーク科学、ソーシャルメディアなど

中 中 国 コパールを発生した。中国科学院には数学・システ ム科学研究院が設置されており、この分野の振興が活発。

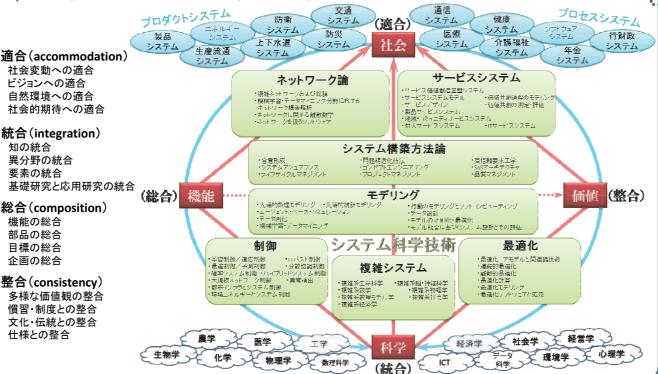
欧 全般的に米国に次ぐ力。 強み:予測理論、システム理論、サービスシステム 弱み:産業化

日本本 強み:モデリング、最適化、複雑システム 弱み:産業化、システム化

- ⇒ SoS (Systems of systems)
- ・ステークホルダの多様化、価値観の対立 ・リスク(外来リスク、内在リスク)への対応

システム科学技術分野の俯瞰と戦略的研究領域

「システム科学技術は望ましいシステムを構築・管理するための科学的な基盤と、それを達成するための技術的な手法の総体」・・・ □シンステム構築で必要な二つの側面: 科学・技術と社会実装、総合的機能(プロダクト)と整合的価値(プロセス)



システム構築の3フェーズ方式

個別システム システムの実装 自然 の構築 の設計 上運用,管理 仮想空間 社会 実空間・実現可能性、社会受容性、費用 対効果の健全性の評価・ステークホルダー間の調整 経済環境 ▶シミュレーション▶知識の統合 実社会 ・実績評価 > 要素研究/統合化研究 >ソフトウェアの開発と運用 >運用と実績データ収集 必要な技術 抽象化モデルが大きな役割

教育•基礎研究分野

・カリキュラム、人材育成制度作り ・システム構築型プロジェクトの設定

システム科学技術の振興策

・システム科学技術研究機関の新設 対応する行政組織の指定

産業分野

- ・総合システム産業の育成
- ・企業のシステム技術部門の拡充
- 技術研究組合制度の活用
- ・シンクタンクの振興

システム科学関連の研究機関

社会変動への適合

自然環境への適合

ビジョンへの適合

知の統合

異分野の統合

要素の統合

機能の総合

部品の総合

目標の総合

企画の総合

慣習・制度との整合 文化・伝統との整合

仕様との整合

■米国

- ・サンタフェ研究所(SFI) ・ニューイングラント 複雑系研究所(NECSI)
- ・国際一般システム研究研究所(IIGSS)
- ・国際システム研究所(ISI) ·RAND Corporation【米】

■欧州

・国際応用システム解析研究所(IIASA)【欧】 ・フラウンホーファー協会システム・イノヘーション研究所【独】 ・マックスプランク複雑技術システム研究所【独】

■アジア

・中国科学院(CAS)システム科学研究所【中】 ・インドエ科大学(IIT)システム科学センター【印】

■日本

・情報・システム研究機構(システム科学部門なし)

産業分野

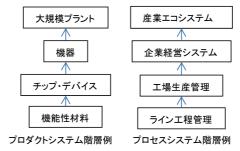
- ・システム思考の弱さ
- ・要素技術で勝ってシステム製品で負ける
- 半導体 液晶など
- ・Bechtel等欧米はシステム産業隆盛 ・国際標準化(ISO15288.etc.)で立ち遅れ
- ・欧米は製造過程の一層のシステム化を推進している
- (GEのIndustrial Internet, ドイツのIndustrie 4.0, EUのARTEMIS, etc.)

システム科学関連のファンディング ・Future Earth プログラム

- ・NSF Engineering Research Centers (ERC) プログラム
- •NSFにおけるSystems Science領域へのファンディング
- *Global System Science (EU H2020-FET-PROACTIVE トピック、1,000万€) ・T-AREA-SoS プロジェクト(FU FP7-ICT 55万€ 2011-2013)
- ・CPSoSプロジェクト(EU FP7-ICT, 69万€, 2013-2016)

システムとは何か?

- 「システムとはある目的を達成するために
- 機能要素を適切に結びつけた複合体」 ▶ システム研究の今日的意義は社会課題解決にある
- ■システムの二大分類
- プロダクトシステム: 要素が目に見えるシステム (ex. 工業製品、社会インフラ、社会組織、etc.) プロセスシステム: 要素が目に見えないシステム
- (ex. 金融システム、ソフトウェア、法制、etc.) ■システムの階層性 すべての階層でシステム化が必要



- ■情報(ICT)システム ≠ システム(社会、製品、生物、etc.) 情報(ICT)システムは実現手段であり、かつ重要要素
- ■自然システム(気象、etc.)も、分析対象として含む

価値創造を担うシステム

「デジタル化」の波から「システム化」の波へ



社会的・経済的インパクト

乗り越えるべき壁

• 要素技術偏重

・縦割り行政

・システム思考の弱さ

・学問の細分化の進行

・システム産業の未成熟

・ソフトウェア技術の弱体化

・基礎研究と応用研究の断絶

<u>専門研究分野</u> のシステム化研究

- ・バイオテクノロジー ex システムバイオロジー
- ・ナノテクノロジー ex.マテリアルインフォマティクス ・環境・エネルギー
- •情報科学 ・ソーシャルメディア
- ・インフラ 都市工学

・再生可能エネルギーを含むエネルギー・環境システム ロバストかつレジリエントな社会インフラシステム

日本が直面する課題の解決 -社会システム構築による-

- 国レベルの統合防災システム
- •高齢化社会に対応したヘルスケアシステム
- ・高付加価値農業を含む食料生産システム 統合的なリスクの予測と管理システム
- ・人口減少が進む中での地域再生システム

価値創造による産業競争力の向上

- ・社会動向予測に基づいた新しい価値の創造
- ・総合システム産業向けの基盤技術、標準化戦略支援
- ・総合システム産業による社会インフラ輸出 分野横断

(付録) 執筆協力者一覧

※五十音順、敬称略、所属・役職は俯瞰報告書(本編)の作成にご協力いただいた時点

《環境・エネルギー分野》

■全体総括

笠木 伸英 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 副センター長/上席フェロー

■環境・エネルギー研究戦略会議委員

相澤 益男 独立行政法人科学技術振興機構 顧問

岩崎 一弘 内閣府政策統括官(科学技術政策・イノベーション担当)付

参事官(グリーンイノベーショングループ)

大垣眞一郎 公益財団法人水道技術研究センター 理事長

岡崎 健 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授

岡本 孝司 東京大学 大学院工学系研究科 教授(2014年4月~)

岡島 博司 トヨタ自動車株式会社 技術統括部 主査・担当部長

柏木 孝夫 東京工業大学 特命教授/先進エネルギー国際研究センター長

/東京都市大学 教授

加藤 信介 東京大学 生産技術研究所 教授

篠崎 資志 独立行政法人科学技術振興機構 科学技術プログラム推進部

研究振興事業グループ 参事役

須田 義大 東京大学 生産技術研究所 先進モビリティ研究センター センター長・教授

田中 知 東京大学 大学院工学系研究科 教授 (~2014年3月)

瀬川 浩司 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

橋本 和仁 東京大学 大学院工学系研究科/先端科学技術研究センター 教授

牧野 尚夫 一般財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 首席研究員

松尾 浩道 文部科学省 研究開発局環境・エネルギー課 課長

松橋 降治 東京大学 大学院丁学系研究科 教授

村上 周三 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構 理事長

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

渡邊 昇治 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長

渡辺 政廣 山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター センター長・教授

■エネルギー供給専門会議委員

岡崎 健 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授【主査】

赤井 誠 独立行政法人産業技術総合研究所 招聘研究員

/ Global Carbon Capture and Storage Institute 理事

内田 友申 JX 日鉱日石エネルギー株式会社 常務執行役員

瀬川 浩司 東京大学 先端技術研究センター 教授

林 潤一郎 九州大学 先導物質化学研究所 教授

松村 幸彦 広島大学 大学院工学研究院 教授

村岡 洋文 弘前大学 北日本新エネルギー研究所 所長・教授

門出 政則 九州大学 水素材料先端科学研究センター 特任教授

矢加部久孝 東京ガス株式会社 基盤技術部 エネルギーシステム研究所 所長

渡邊 裕章 九州大学 大学院工学研究院 准教授

■エネルギー利用専門会議委員

村上 周三 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構 理事長【主査】

秋澤 淳 東京農工大学 大学院工学研究院 教授

秋元 孝之 芝浦工業大学 工学部 教授

浅野 浩志 一般財団法人電力中央研究所 社会経済研究所 副研究参事

石川 直明 一般社団法人日本ガス協会 業務部 業務推進グループ マネジャー

岡島 博司 トヨタ自動車株式会社 技術統括部 主査・担当部長

鹿園 直毅 東京大学 生産技術研究所 教授

下田 吉之 大阪大学 大学院工学研究科 教授

大聖 泰弘 早稲田大学 創造理工学部 教授

高口 洋人 早稲田大学 創造理工学部 教授

松橋 隆治 東京大学 大学院工学系研究科 教授

■原子力専門会議委員

岡本 孝司 東京大学 大学院工学系研究科 教授【主査】(2014年4月~)

田中 知 東京大学 大学院工学系研究科 教授【主査】(~2014年3月)

小澤 守 関西大学 社会安全学部 教授

尾野 昌之 電気事業連合会 原子力部 部長(2014年7月~)

寿楽 浩太 東京電機大学 未来科学部 助教

白鳥 正樹 横浜国立大学 名誉教授

富岡 義博 電気事業連合会 原子力部 部長(~2014年6月)

峯尾 英章 独立行政法人日本原子力研究開発機構 事業計画統括部 上級研究主席·部長

山本 章夫 名古屋大学 大学院工学研究科 教授

■環境専門会議委員

大垣眞一郎 公益財団法人水道技術研究センター 理事長【主査】

花木 啓祐 東京大学 大学院工学系研究科 教授【主査代行】

加藤 博和 名古屋大学 大学院環境学研究科 准教授

塚田 高明 鹿島建設株式会社 顧問

常田 聡 早稲田大学 先進理工学部 教授

中静 透 東北大学 大学院生命科学研究科 教授

藤倉 良 法政大学 人間環境学部 教授

松藤 敏彦 北海道大学 大学院工学研究院 教授

■執筆協力者

秋澤 淳 東京農工大学 大学院工学研究院 教授

秋元 孝之 芝浦工業大学 工学部 教授

浅野 浩志 一般財団法人電力中央研究所 社会経済研究所 副研究参事

浅見 泰司 東京大学 大学院工学系研究科 教授

荒巻 俊也 東洋大学 国際地域学部 教授

安 俊弘 カリフォルニア大学 バークレー校 教授

飯田 誠 東京大学 先端科学技術研究センター 特任准教授

飯本 武志 東京大学 環境安全本部 主幹/准教授

井口 幸弘 福井大学 附属国際原子力工学研究所 客員教授

石川 直明 東京ガス株式会社 技術戦略部 技術企画チームリーダー

石原 達己 九州大学 大学院工学研究院 教授

井上 正 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー

伊原 賢 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 調査役

指宿 堯嗣 一般社団法人産業環境管理協会 常務理事

内田 友申 JX 日鉱日石エネルギー株式会社 常務執行役員

蛯江 美孝 独立行政法人国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員

岡崎 健 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授

岡本 孝司 東京大学 大学院工学系研究科 教授

荻本 和彦 東京大学 生産技術研究所 特任教授

小熊久美子 東京大学 大学院工学系研究科 講師

小野田 崇 一般財団法人電力中央研究所 システム技術研究所 副研究参事

小野田弘士 早稲田大学 大学院環境・エネルギー研究科 准教授

片谷 教孝 桜美林大学 リベラルアーツ学群 教授

加藤 和之 日本原燃株式会社 埋設事業部 埋設計画部 部長

加藤 博和 名古屋大学 大学院環境学研究科 准教授

金子 祥三 東京大学 生産技術研究所 特任教授

工月 良太 東京ガス株式会社 エネルギー企画部 副部長

久野 祐輔 東京大学 大学院工学系研究科 教授

黒坂 俊雄 神戸リサーチ株式会社 代表取締役

小林 拓朗 独立行政法人国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター

環境修復再生技術研究室 研究員

小宫山涼一 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

齊藤 修 国際連合大学 サステイナビリティ高等研究所 学術研究官

齋藤 潔 早稲田大学 基幹理工学部 教授

三枝 利有 一般財団法人電力中央研究所 首席研究員

酒井 伸一 京都大学 環境安全保健機構 教授

独立行政法人産業技術総合研究所 上席イノベーションコーディネータ 坂西 欣也 東京大学 生産技術研究所 教授 鹿園 直毅 芝田 隼次 関西大学 環境都市工学部 教授 柴田 英昭 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 教授 下田 吉之 大阪大学 大学院工学研究科 教授 寿楽 浩太 東京電機大学 未来科学部 助教 徐 開欽 独立行政法人国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 環境修復再生技術研究室 室長 杉本 純 京都大学 大学院工学研究科 教授 鈴木 規之 独立行政法人国立環境研究所 環境リスク研究センター 副センター長 /リスク管理戦略研究室長 東京大学 先端科学技術研究センター 教授 瀬川 浩司 大聖 泰弘 早稲田大学 創造理工学部 教授 東京都市大学 大学院共同原子力専攻 教授 高木 直行 早稲田大学 創造理工学部 教授 高口 洋人 高崎みつる 石巻専修大学 理工学部 教授 高田 秀重 東京農工大学 農学部 教授 高野 裕久 京都大学 大学院工学研究科 教授 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 准教授 高橋 史武 田中宏明 京都大学 大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター 教授 株式会社住環境計画研究所 研究所長 鶴崎 敬大 仲岡 雅裕 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 教授 長崎 晋也 マックマスター大学 教授 中谷 東京大学 大学院工学系研究科 助教 隼 東京工業大学 大学院理工学研究科 助教 中道久美子 中村愼一郎 早稲田大学 政治経済学術院 教授 中村 太士 北海道大学 大学院農学研究院 教授 林潤一郎 九州大学 先導物質化学研究所 教授 京都大学 防災研究所 巨大災害研究センター センター長・教授 林 春男 原田 達朗 九州大学 炭素資源国際教育研究センター 教授 平井 康宏 京都大学 環境安全保健機構 准教授 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 深堀 智生 原子力基礎工学センター 研究推進室長 福十 謙介 東京大学 国際高等研究所 教授 藤倉 良 法政大学 人間環境学部 教授 船坂 英之 独立行政法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 企画調整室長 古米 弘明 東京大学 大学院工学系研究科 教授 独立行政法人日本原子力研究開発機構 安全研究 · 防災支援部門 本間 俊充 安全研究センター長

班目 春樹

東京大学 名誉教授

松永 恒雄 独立行政法人国立環境研究所 環境計測研究センター 環境情報解析研究室 室長 東北大学 大学院工学研究科 准教授 松八重一代 松橋 隆治 東京大学 大学院工学系研究科 教授 松村 幸彦 広島大学 大学院工学研究院 教授 東北大学 大学院環境科学研究科 准教授 馬奈木俊介 宮下 東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授 直 向井 人史 独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター センター長 村岡 洋文 弘前大学 北日本新エネルギー研究所 所長・教授 村上 周三 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構 理事長 村上 朋子 一般財団法人日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット 原子力グループグループマネージャー 名古屋大学 未来社会創造機構 教授 森川 高行 森口 祐一 東京大学 大学院工学系研究科 教授 門出 政則 九州大学 水素材料先端科学研究センター 特任教授 東京ガス株式会社 基盤技術部 エネルギーシステム研究所 所長 矢加部久孝 柳原 福井大学 附属国際原子力工学研究所 客員教授 敏 山野 秀将 独立行政法人日本原子力研究開発機構。高速炉研究開発部門。次世代高速炉 サイクル研究開発センター 設計・規格基準室 副主任研究員 山本章夫 名古屋大学 大学院工学研究科 教授 芳川 恒志 東京大学 公共政策大学院 特任教授 林道 独立行政法人日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 寛

放射性廃棄物対策·埋設事業統括部

山形大学 農学部 准教授

一般財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 上席研究員 渡邊 裕章

渡部

徹

《ライフサイエンス・臨床医学分野》

■全体総括

浅島 誠 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー

永井 良三 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー

■基礎生命科学

榊 佳之 (前)豊橋技術科学大学 学長・東京大学 名誉教授【総括責任者】

石井 優 大阪大学大学院 医学系研究科 感染免疫医学講座 免疫細胞生物学教室 教授

入來 篤史 (独) 理化学研究所脳科学総合研究センター シニアユニットリーダー

牛島 俊和 国立がん研究センター分子診断・個別医療開発グループ エピゲノム解析分野 分野長

小安 重夫 (独) 理化学研究所統合生命医科学研究センター センター長代理

佐藤 正明 東北大学 学際科学フロンティア研究所 所長・総長特命教授

管野 純夫 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻

ゲノム制御医科学分野 教授

竹田 潔 大阪大学 大学院医学系研究科 予防環境医学講座 免疫制御学研究室 教授

武田 洋幸 東京大学 大学院理学系研究科 生物科学専攻 教授

但野 茂 北海道大学 大学院工学研究院 教授

津本 忠治 (独) 理化学研究所 脳科学総合研究センター

神経回路メカニズム研究グループ ユニットリーダー

鍋島 陽一 (公財) 先端医療振興財団 先端医療センター センター長

深水 昭吉 筑波大学 大学院生命環境科学研究科 教授

本間 研一 北海道大学 大学院医学研究科 時間医学講座 客員教授

松本 健郎 名古屋工業大学 おもひ領域 教授

森下 真一 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

■次世代基盤技術

坂田 恒昭 塩野義製薬㈱ 大阪大学 大学院基礎工学研究科

シニアフェロー・客員教授【総括責任者】

岡部 降義 東京大学 創薬オープンイノベーションセンター 特任教授

奥野 恭史 京都大学 大学院 / (株) 京都コンステラ・テクノロジーズ 教授 / 取締役

落谷 孝広 国立がん研究センター研究所 分野長

小山 裕雄 (独) 理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター

創薬化学基盤ユニット ユニットリーダー

黒田 真也 東京大学 大学院理学系研究科生物化学専攻 教授

高田 寛 京都薬科大学 薬物動態学教室 教授

田畑 泰彦 京都大学 再生医科学研究所 教授

中村 幸夫 (独) 理化学研究所 バイオリソースセンター 室長

濡木 理 東京大学 大学院理学系研究科 生物化学専攻 教授

野村 龍太 公益財団法人実験動物中央研究所 理事長

畑澤 順 大阪大学 大学院医学系研究科附属 PET 分子イメージングセンター センター長

本田 賢也 (独) 理化学研究所 統合生命医科学研究センター チームリーダー

水島 徹 慶応大学 薬学部 教授

宮野 悟 東京大学 医科学研究所 教授

山本 卓 広島大学 理学研究科 数理分子生命理学専攻生命理学講座 教授

■医薬品など

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】

阿久津英憲 国立成育医療研究センター 室長

小比賀 聡 大阪大学 大学院薬学研究科 生物有機化学分野 教授

河上 裕 慶應義塾大学 医学部先端医科学研究所 教授

桐野 豊 徳島文理大学 学長

榑林 陽一 医薬基盤研究所 創薬支援戦略室 室長

珠玖 洋 三重大学 大学院医学系研究科 病態解明医学講座 教授

菅 裕明 東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻生物有機化学研究室 教授

杉山 治夫 大阪大学 医学系研究科 免疫造血制御学研究室 教授

津本 浩平 東京大学 医科学研究所 疾患プロテオミクスラボラトリー 教授

■医療・介護・福祉機器

佐久間一郎 東京大学 大学院工学系研究科 医療福祉工学開発評価研究センター センター長・教授【総括責任者】

井上 剛伸 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 福祉機器開発部 部長

大西 昭郎 東京大学 公共政策大学院 特任教授

增澤 徹 茨城大学 工学部 教授、副工学部長

三林 浩二 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 副理事(企画・大学改革)

■健康・医療全般

中尾 一和 京都大学 大学院医科学研究科 メディカルイノベーションセンター 特任教授【総括責任者】

五十嵐 隆 国立成育医療センター 総長

石井 健 医薬基盤研究所 アジュバント開発プロジェクト プロジェクトリーダー

磯 博康 大阪大学 大学院医学系研究科 社会環境医学講座公衆衛生学 教授

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

岡 明 東京大学 大学院医学系研究科 生殖·発達·加齢医学専攻小児医学講座 教授 神庭 重信 九州大学 大学院医学研究院臨床医学部門内科学講座 教授

北風 政史 国立循環器病研究センター 臨床研究部 部長

後藤 励 京都大学 白眉センター 准教授

佐田 文宏 国立保健医療科学院 特任研究員

佐藤 敦志 東京都立神経病院 医員

佐谷 秀行 慶應義塾大学 医学部先端医科学研究所 遺伝子制御研究部門 教授

杉浦 清了 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 特任教授

高戸 毅 東京大学 大学院医学系研究科 外科学専攻 教授

高橋 正紀 大阪大学 大学院医学系研究科 神経内科学 講師

高橋 良輔 京都大学 大学院医学研究科 臨床神経学 教授

田中 敏博 東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 教授

津金昌一郎 国立がん研究センター がん予防・検診研究センター センター長

辻 一郎 東北大学 大学院医学系研究科 公衆衛生学分野 教授

戸口田淳也 京都大学 大学院再生医科学研究所 組織再生応用分野 教授

張田 豊 東京大学 大学院医学系研究科 生殖·発達·加齢医学専攻小児医学講座 講師

平田陽一郎 東京大学 大学院医学系研究科 生殖·発達·加齢医学専攻小児医学講座 助教

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

古井 祐司 東京大学政策ビジョン研究センター 健康経営研究ユニット 特任助教

松田 晋哉 産業医科大学 医学部・公衆衛生学教室 教授

松原 洋一 国立成育医療研究センター 研究所長

光山 正雄 京都大学 大学院総合生存学館 総合生存学専攻 特定教授

望月 秀樹 大阪大学 大学院医学系研究科 神経内科学 教授

安戸 裕貴 東京大学 大学院医学系研究科 生殖·発達·加齢医学専攻小児医学講座 助教

山本 一彦 東京大学 大学院医学系研究科 生体防御腫瘍内科学講座 アレルギー・リウマチ学 教授

■グリーンバイオ

江面 浩 筑波大学 生命環境系 生物圏資源科学専攻 教授 / 研究科長【総括責任者】

赤間 一仁 島根大学 生物資源科学研究科 教授

安東 郁男 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所 稲研究領域 領域長

伊藤 元己 東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 教授

今井 真介 ハウス食品グループ本社株式会社 研究主幹

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

小田 俊介 農業:食品産業技術総合研究機構 作物研究所 麦研究領域 領域長

川端 潤 三菱化学科学技術研究センター バイオ技術研究所 グループリーダー

小西 康裕 大阪府立大学 工学研究科 物質化学系専攻 教授

高村 典子 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター センター長

田川 大輔 (株)森下仁丹 カプセル開発部 基礎開発グループ グループリーダー

中井 覚 住友林業株式会社 環境経営推進室 チームマネージャー

羽鹿 牧太 農業:食品産業技術総合研究機構 作物研究所 畑作物研究領域 領域長

福岡 浩之 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所 野菜育種・ゲノム研究領域 領域長

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

藤原 徹 東京大学 大学院農学生命科学研究科 応用生命科学専攻 教授

室岡 義勝 大阪大学 名誉教授

矢野 昌裕 農業:食品産業技術総合研究機構 作物研究所 所長

山本 俊哉 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所 果樹ゲノム研究領域 領域長

山(師)万里 食品総合研究所 食品機能研究領域 領域長

渡部 靖夫 法政大学 生命科学部 教授

■ヒトと社会

笹栗 俊之 九州大学 大学院医学研究院生体情報科学講座 臨床薬理学分野 教授【総括責任者】

五十嵐 隆 (独)国立成育医療研究センター 総長

梅澤明弘 (独)国立成育医療研究センター 再生医療センター 部長

洪 賢秀 東京大学 医科学研究所ヒトゲノム解析センター 公共政策研究分野 特任助教(研究倫理支援室付)

佐倉 統 東京大学大学院 情報学環 教授

佐古田三郎 国立病院機構 刀根山病院 院長

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

四ノ宮成祥 防衛医科大学校 分子生体制御学講座 教授

田中 幹人 早稲田大学 政治経済学術院 准教授

田代 志門 昭和大学 研究推進室 講師

中島 民恵子 ラトガーズ大学 非常勤講師

中西 三春 公益財団法人東京都医学総合研究所 主任研究員

《ナノテクノロジー・材料分野》

■全体総括

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー 曽根 純一

■環境・エネルギー

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

魚崎 浩平 物質・材料研究機構 フェロー

名古屋大学 大学院工学研究科 教授 宇佐美徳隆

梶野 株式会社豊田中央研究所 主席研究員

首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授 金村 聖志

葛原 正明 福井大学 大学院工学研究科 教授

物質・材料研究機構 ナノ材料科学環境拠点 運営総括室長/主席研究員/ 久保 佳実

蓄電池基盤プラットフォーム長

久保田 純 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

佐々木一成 九州大学 水素エネルギー国際研究センター センター長

京都大学 大学院工学研究科 准教授 須田 淳

早稲田大学 理工学術院先進理工学部 教授 関根 泰

辰巳 国昭 産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門 主幹研究員

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 錦谷 禎節

エグゼクティブリサーチャー

産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 グループリーダー 西澤 伸一

本間 東北大学 多元物質科学研究所 教授 格

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 孝雄 森

グループリーダー

東京大学 大学院工学系研究科 准教授 山口和也

大阪大学 大学院工学研究科 教授 山中 伸介

■健康・医療

青木伊知男 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター チームリーダー

岡部 弘基 東京大学 大学院薬学系研究科 助教

長田 健介 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

加地 範匡 名古屋大学 大学院工学研究科 准教授

梶弘 和 東北大学 大学院工学研究科 准教授

川下 将一 東北大学 大学院医工学研究科 准教授

櫻木 誠 東京大学 大学院薬学研究科 特任助教

大阪大学 産業科学研究所 教授 谷口 正輝

陳 国平 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ユニット長

永井 健治 大阪大学 産業科学研究所 教授 西山 伸宏 東京工業大学 資源化学研究所 教授原島 秀吉 北海道大学 大学院薬学研究院 教授藤田 克昌 大阪大学 大学院工学研究科 准教授松崎 典弥 大阪大学 大学院工学研究科 助教

松永 行子 東京大学 生産技術研究所 講師

馬渡 和真 東京大学 大学院工学系研究科 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

グループリーダー

山本貴富喜 東京工業大学 大学院理工学研究科 准教授

■社会インフラ

大橋 啓之 早稲田大学 ナノ理工学研究機構 研究院教授

佐藤 謙一 住友電気工業株式会社 フェロー

下山 淳一 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

武田 展雄 東京大学 大学院新領域創成科学研究科教授

竹村 誠洋 科学技術振興機構 産学基礎基盤推進部 主任調査員

田中 秀治 東北大学 大学院工学研究科 教授

松山 秀人 神戸大学 大学院工学研究科 教授

山田 裕久 物質・材料研究機構 環境再生材料ユニット グループリーダー

■情報通信・エレクトロニクス

浅野 種正 九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授

内田 建 慶應義塾大学 理工学部 教授

賣野 豊 技術研究組合 光電子融合基盤技術研究所 主幹研究員

榎 敏明 東京工業大学 名誉教授

尾辻 泰一 東北大学 電気通信研究所 教授

加藤雄一郎 東京大学 大学院工学系研究科 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

齊藤 英治 東北大学 金属材料研究所 教授

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 東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 副センター長

田中 秀治 東北大学 大学院工学研究科 教授

中村 泰信 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

中山 健一 山形大学 大学院理工学研究科 准教授

納富 雅也 NTT 物性科学基礎研究所 上席特別研究員

長谷川雅孝 産業技術総合研究所 ナノチューブ応用研究センター チーム長

廣岡 俊彦 東北大学 電気通信研究所 准教授

宗片比呂夫 東京工業大学 像情報工学研究所 教授

安田 琢麿 九州大学稲盛フロンティア研究センター 教授

湯浅 新治 産業技術総合研究所 ナノスピントロニクス研究センター センター長

■基盤科学技術

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

安達 修一 相模女子大学 栄養科学研究科・管理栄養学科 教授

有賀 克彦 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 MANA 主任研究者

市原 学 東京理科大学 薬学部 教授

魚谷 信夫 京都大学 物質-細胞統合システム拠点 特任教授

内橋 貴之 金沢大学 大学院自然科学研究科 准教授

蒲生 昌志 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 グループ長

北川 進 京都大学 物質-細胞統合システム拠点 拠点長

北川 宏 京都大学 大学院理学研究科 教授

小長谷明彦 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授

小林 隆弘 物質·材料研究機構 先端的共通技術部門

小林 由佳 物質·材料研究機構 先端的共通技術部門 主幹研究員

小山 敏幸 名古屋工業大学 環境材料工学科 教授

齊藤 準 秋田大学 大学院工学資源学研究科 教授

齊藤 博英 京都大学 iPS 細胞研究所 准教授

重田 育照 筑波大学 大学院数理物質科学研究科 教授

柴田 直哉 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

清水 智子 物質:材料研究機構 先端的共通技術部門 主任研究員

下村 政嗣 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授

関谷 瑞木 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 PEN 編集長

田中 功 京都大学 大学院工学研究科 教授

田中 信夫 名古屋大学 エコトピア科学研究所 教授

谷口 彰良 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 グループリーダー

田原 太平 理化学研究所 基幹研究所 主任研究員

知京 豊裕 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 MANA 主任研究者

千葉 光一 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 研究部門長

鶴岡 秀志 信州大学 アクア・イノベーション拠点 研究員

長嶋 泰之 東京理科大学 大学院理学研究科 教授

萩谷 昌己 東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授

秦信 宏 産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 研究主幹

濵口 宏夫 台湾国立交通大学 理学院 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

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 室長

福井 賢一 大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授

福間 剛士 金沢大学 大学院自然科学研究科 教授

藤田 大介 物質・材料研究機構 先端的共通技術部門 部門長

1	ব
4	渌
	•

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

松下 伸広 東京工業大学 応用セラミックス研究所 准教授

三沢 和彦 東京農工大学 大学院工学研究院 教授

箕田 弘喜 東京農工大学 工学府 教授

宮澤 薫一 物質・材料研究機構 先端的共通技術部門 グループリーダー

村田 智 東北大学 大学院工学研究科 教授

柳田 剛 大阪大学 産業科学研究所 准教授

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

《情報科学技術分野》

■全体総括

岩野 和生 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー

■基礎理論

徳山 豪 東北大学 大学院情報科学研究科 教授【総括責任者】

松嶋 敏泰 早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 教授

國廣 昇 東京大学 大学院新領域創生科学研究科 准教授

河原林健一 国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 教授

渡辺 治 東京工業大学 大学院情報理工学研究科 教授

岩間 一雄 京都大学 大学院情報学研究科 教授

岡本 吉央 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授

小林 直樹 東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授

住井英二郎 東北大学 大学院情報科学研究科 准教授

鹿島 久嗣 京都大学 大学院情報学研究科 教授

■デバイス・ハードウエア

桜井 貴康 東京大学 生産技術研究所 教授【総括責任者】

高木 信一 東京大学 大学院工学系研究科 教授

年吉 洋 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

岩本 敏 東京大学 生産技術研究所 准教授

関谷 毅 大阪大学 産業科学研究所 教授

竹内 敬治 (株) NTT データ経営研究所 社会・環境戦略コンサルティング

ユニット シニアスペシャリスト

澤田 和明 豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授

大村 一郎 九州工業大学 工学研究院 電気電子工学研究系 教授

石黒 仁揮 慶應義塾大学 理工学部電子工学科 教授

清水 徹 慶應義塾大学 理工学部電子工学科 特任教授

竹内 健 中央大学 理丁学部電気電子情報通信丁学科 教授

高宮 真 東京大学 生産技術研究所 准教授

田原 修一 NEC(株) 中央研究所理事兼スマートエネルギー BU 主席技術主幹

黒田 忠広 慶應義塾大学 理工学部電子工学科 教授

伊藤 公平 慶應義塾大学 理工学部物理情報工学科 教授

■通信とネットワーク

村田 正幸 大阪大学 大学院情報科学研究科 教授【総括責任者】

原井 洋明 情報通信研究機構 光ネットワーク研究所 室長

村田 英一 京都大学 大学院情報学研究科 通信情報システム専攻 准教授

松岡 茂登 大阪大学 大学院情報科学研究科 教授

NEC(株) クラウドシステム研究所 技術主幹 桐葉 佳明

中村 元 KDDI(株) 技術統括本部 技術開発本部 技術戦略部長

新井田 統 (株) KDDI 研究所 開発センター 開発マネージャー

阿多 信吾 大阪市立大学 大学院工学研究科 教授

■ソフトウエア

柴山 悦哉 東京大学 情報基盤センター 情報メディア教育研究部門

教授【総括責任者】

河野 健二 慶應義塾大学 理工学部情報工学科 教授

日本 IBM(株) 東京基礎研究所 部長 小野寺民也

枝廣 正人 名古屋大学 大学院情報科学研究科 教授

青山 幹雄 南山大学 情報理工学部 教授

■ IT アーキテクチャー

丸山 宏 統計数理研究所 教授·副所長【統括責任者】

情報システム構造設計(株)客員研究員 エンタープライズアーキテクト 山下 眞澄

山下 克司 日本IBM(株)グローバルテクノロジーサービス事業本部

ディスティングイッシュト・エンジニア(技術理事)

浦本 直彦 日本IBM(株) 東京基礎研究所ク ラウド・テクノロジー 部長

浅井 信宏 日本 IBM(株) ソフトウェア開発研究所

ディスティングイッシュト・エンジニア(技術理事)

松岡 聡 東京工業大学 学術国際情報センター 教授

■ IT メディアとデータマネジメント

田中 克己 京都大学 大学院情報学研究科 教授【総括責任者】

相澤 清晴 東京大学工学部 教授

酒井 哲也 早稲田大学 理工学術院 准教授

情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 所長 木俵 豊

是津 耕司 情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所

情報利活用基盤研究室 室長

京都大学 大学院情報学研究科 教授 吉川 正俊

櫻井 保志 熊本大学 大学院自然科学研究科 教授

角谷 和俊 関西学院大学 総合政策学部メディア情報学科 教授

京都産業大学 コンピュータ理工学部 准教授 河合由起子

■人工知能

山口高平 慶應義塾大学 理工学部管理工学科 教授【総括責任者】

松原 仁 公立はこだて未来大学教授

岡野原大輔 (株) Preferred Infrastructure 取締役副社長

来村 徳信 大阪大学 産業科学研究所 准教授 松尾 豊 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

新井 紀子 国立情報学研究所 社会共有知研究センター センター長・教授

山川 宏 (株)ドワンゴ 人工知能研究所 所長

岡田 浩之 玉川大学 工学部機械情報システム学科 教授

鈴木 宏昭 青山学院大学 教育人間科学部教育学科 教授

■ビジョン・言語処理

黒橋 禎夫 京都大学 大学院情報学研究科 教授【総括責任者】

鳥澤健太郎 情報通信研究機構 情報分析研究室 室長

渡辺 太郎 情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所

東中竜一郎 NTT (株) メディアインテリジェンス研究所

乾 健太郎 東北大学 大学院情報学研究所 教授

佐藤 真一 国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授

■インタラクション

曆本 純一 東京大学 大学院情報学環 教授【総括責任者】

牛場 潤一 慶應義塾大学 理工学部生命情報学科 准教授

稲見 昌彦 慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 教授

篠田 裕之 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

塚本 昌彦 神戸大学 大学院工学研究科 教授

松山 洋一 早稲田大学 理工学術院情報理工学科 次席研究員

五十嵐健夫 東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授

■ビッグデータ

喜連川 優 東京大学 生産技術研究所 教授 国立情報学研究所 所長【総括責任者】

鬼塚 真 大阪大学 大学院情報科学研究科 教授

杉山 将 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

鹿島 久嗣 京都大学 情報学研究科 教授

佐久間 淳 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 准教授

山名 早人 早稲田大学 理工学術院 教授

津田 宏治 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

船守 美穂 東京大学 教育企画室 特任准教授

丸山 宏 統計数理研究所 教授·副所長

武田 英明 国立情報学研究所 情報プリンシプル研究系 教授

城所 岩生 国際大学 グローバル・コミュニケーション・センター 客員教授

村上康二郎 東京工科大学 教養学環 准教授

■ CPS/IoT

森川 博之 東京大学 先端科学技術研究センター 教授【総括責任者】

藤田 隆史 NTT(株) ネットワーク基盤技術研究所 主任研究員

栗原 聡 電気通信大学 大学院情報システム学研究科 教授

草場 英仁 東京大学 先端科学技術研究センター 森川研究室 協力研究員

川原 圭博 東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授

南 悦郎 新日鉄住金ソリューションズ(株) 執行役員

■セキュリティー

佐々木良一 東京電機大学 未来科学部 教授【総括責任者】

古原 和邦 産業技術総合研究所 セキュアシステム研究部門 制御システム研究グループ

研究グループ長

金野 千里 情報処理推進機構 技術本部 セキュリティセンター

情報セキュリティ技術ラボラトリー長

下道 高志 東京電機大学 未来科学部 情報セキュリティ研究室 研究員

井上 大介 情報通信研究機構 ネットワークセキュリティ研究所

サイバーセキュリティ研究室 研究室長

菊池 浩明 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科 教授

上原哲太郎 立命館大学 情報理工学部 教授

《システム科学技術分野》

■全体総括

木村 英紀 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー

■モデリング

椿 広計 情報・システム研究機構 統計数理研究所 教授【総括責任者】

池田 思朗 情報・システム研究機構 統計数理研究所 准教授

大畠 明 トヨタ自動車株式会社 理事

小野田 崇 電力中央研究所 システム技術研究所 領域リーダー

片桐 英樹 広島大学 大学院工学研究院 准教授

鎌倉 稔成 中央大学 理工学部 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

田中 剛平 東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授

吉田 亮 情報・システム研究機構 統計数理研究所 准教授

■制御

内田 健康 早稲田大学 先進理工学部 教授【総括責任者】

石井 秀明 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 准教授

大塚 敏之 京都大学 大学院情報学研究科 教授

加嶋 健司 京都大学 大学院情報学研究科 准教授

金子 修 金沢大学 理工研究域 准教授

加納 学 京都大学 大学院情報学研究科 教授

滑川 徹 慶応義塾大学 理工学部 教授

畑中 健志 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 助教

平田 研二 長岡技術科学大学 工学部 准教授

藤崎 泰正 大阪大学 大学院情報科学研究科 教授

藤田 政之 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授

■最適化

土谷 隆 政策研究大学院大学 政策研究科 教授【総括責任者】

池上 敦子 成蹊大学 理工学部 教授

田辺 隆人 株式会社 NTT データ数理システム 取締役

藤澤 克樹 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 教授

村松 正和 電気通信大学 情報工学科 教授

■ネットワーク論

長谷川雄央 東北大学 大学院情報科学研究科 助教【総括責任者】

鹿島 久嗣 京都大学 大学院情報学研究科 教授 橋本 康弘 筑波大学 システム情報系 助教

■複雑システム

合原 一幸 東京大学 生産技術研究所 教授【総括責任者】

今田 高俊 東京工業大学 大学院社会理工学研究科 名誉教授

金子 邦彦 東京大学 大学院総合文化研究科 教授

佐野 雅己 東京大学 大学院理学系研究科 教授

髙橋陽一郎 東京大学 生産技術研究所 名誉教授

高安 秀樹 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 シニアリサーチャー

田中 剛平 東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授

津田 一郎 北海道大学 電子科学研究所 教授

■サービスシステム

小坂 満隆 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 教授【総括責任者】

内平 直志 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 教授

神田 陽治 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 教授

木嶋 恭一 東京工業大学 大学院社会理工学研究科 教授

澤谷由里子 早稲田大学 研究戦略センター 教授

下村 芳樹 首都大学東京 大学院システムデザイン研究科 教授

白肌 邦生 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 准教授

戸谷 圭子 明治大学 専門職大学院グローバル・ビジネス研究科 教授

原 良憲 京都大学 経営管理大学院 教授

舩橋 誠壽 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 シニアプロフェッサー

■システム構築方法論

鈴木 久敏 科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー【総括責任者】

青山 和浩 東京大学 大学院工学系研究科 教授

木嶋 恭一 東京工業大学 大学院社会理工学研究科 教授

木野 泰伸 筑波大学 ビジネスサイエンス系 准教授

木下 佳樹 神奈川大学 理学部 教授

榊原 弘之 山口大学 工学部 准教授

白坂 成功 慶応義塾大学 大学院システムデザイン・マネジメント研究科 准教授

武山 誠 神奈川大学 理学部 研究員

田名部元成 横浜国立大学 大学院国際社会科学研究院 教授

中條 武志 中央大学 理工学部 教授

西村 秀和 慶応義塾大学 大学院システムデザイン・マネジメント研究科 教授

堀田 昌英 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授

山本修一郎 名古屋大学 情報連携統括本部 教授

《研究開発の俯瞰報告書(本編)作成メンバー》

(科学技術振興機構 研究開発戦略センター)

※敬称略、ユニット・メンバー・所属・役職は2015年3月時点

■環境・エネルギー分野(環境・エネルギーユニット)

笠木 伸英 副センター長/上席フェロー

田中 知 上席フェロー (~2014年8月)

伊藤 浩吉 特任フェロー

菊池 康紀 特任フェロー

久保田 純 特任フェロー (~2014年3月)

鹿園 直毅 特任フェロー

増田 耕一 特任フェロー (~2014年3月)

宮下 永 特任フェロー (~2014年3月)

緒方 寛 フェロー

尾山 宏次 フェロー

斎藤 広明 フェロー

鈴木 至 フェロー

鈴木 康史 フェロー

関根 泰 フェロー

徳山 亜季 フェロー (~2014年10月)

中村 亮二 フェロー (~2014年4月)

福田 哲也 フェロー

松本麻奈美 フェロー

山田 直史 フェロー

渡辺美代子 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

永井 良三 上席フェロー

江面 浩 特仟フェロー

木村 廣道 特任フェロー

榊 佳之 特任フェロー

坂田 恒昭 特任フェロー

佐久間一郎 特任フェロー

笹栗 俊之 特任フェロー

中尾 一和 特任フェロー

児山 圭 フェロー

辻 真博 フェロー

飛田 浩之 フェロー

三浦 謙治 フェロー

```
峯畑昌道フェロー矢倉信之フェロー
```

■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)

```
上席フェロー
曽根 純一
魚崎 浩平
       特任フェロー
川合 知二
       特任フェロー
河田 聡
       特任フェロー
北澤宏一
       特任フェロー (~2014年9月)
       特任フェロー(2014年11月~)
竹村 誠一
田中一官
       特任フェロー
田中 秀治
       特仟フェロー
       特任フェロー
松下伸広
村井 眞二
       特任フェロー
河村誠一郎
       フェロー/エキスパート
佐藤 勝昭
       フェロー
島津博基
       フェロー
永野 智己
       フェロー
       フェロー
中本信也
中山 智弘
       フェロー/エキスパート
馬場寿夫
       フェロー
```

■情報科学技術分野(情報科学技術ユニット)

上席フェロー

岩野和生

```
喜連川優
       特任フェロー
木村 康則
       特任フェロー
桜井 貴康
       特任フェロー
志度 昌宏
       特任フェロー
竹内 健
       特任フェロー
徳田 英幸
       特仟フェロー
西野 壽一
       特任フェロー(~2014年8月)
       特任フェロー
丸.山
    宏
森川博之
       特仟フェロー
       特任フェロー (2014年12月~)
山口高平
嶋田 一義
       フェロー(~2014年3月)
鈴木 慶二
       フェロー
高島 洋典
       フェロー
土井 直樹
       フェロー
的場 正憲
       フェロー
宮下
    哲
       フェロー
```

茂木 強 フェロー

■システム科学技術分野(システム科学ユニット)

木村 英紀 上席フェロー

シン ジャワ フェロー

鈴木 久敏 フェロー

富川 弓子 フェロー

長須賀弘文 フェロー

藤井新一郎 フェロー

CRDS-FY2015-FR-01

研究開発の俯瞰報告書

本編 概要版 (2015年)

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

> 平成 27 年 4 月 April 2015 ISBN: 978-4-88890-450-6

国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町7番地

電 話 03-5214-7481 ファックス 03-5214-7385

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

© 2015 JST/CRDS

許可無く複写/複製することを禁じます.

引用を行う際は、必ず出典を記述願います.

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

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

ATTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

ISBN978-4-88890-450-6

LI LILGILL AAIIAAIA

T A A T A A T C

TTGCAATTGGA CCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA C CTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

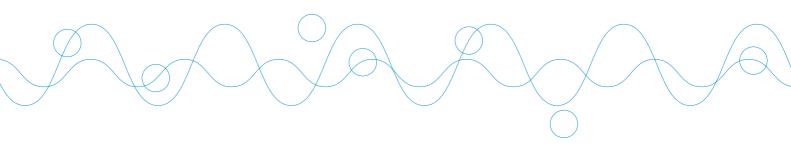
0011 1110 000

0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1

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

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

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



「書本編を概要版(2015年 成27年4月 JST/CRD