

## 令和 3 年度戦略的創造研究推進事業における 新規発足研究領域及び研究総括の設定について

本事業の新規研究領域(公募型研究)及びその研究総括は、科学技術振興機構(JST)の「戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発及び先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」に基づき、JST の研究主監会議が事前評価を行い、研究領域及び研究総括の設定を行います。

令和 3 年度の新規研究領域及び研究総括について、上記の手続きを経て、以下の表に示すとおり、令和 3 年度発足の新規 CREST、さきがけ、ACT-X の研究領域と、当該研究領域の研究総括を決定しました。研究主監会議における事前評価結果と、その設定理由は、別紙のとおりです。

表. 令和 3 年度新規発足研究領域、研究総括及び戦略目標 一覧

研究領域(略称)	研究総括	戦略目標(設定年度)
CREST 分解・劣化・安定化の精密材料科学(分解と安定化)	たかはら あつし 高原 淳 (九州大学 ネガティブエミッションテクノロジー研究センター 特任教授)	「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」
さきがけ 持続可能な材料設計に向けた確実な結合とやさしい分解(サステナブル材料)	いわた ただひさ 岩田 忠久 (東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授)	「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」
さきがけ 複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学(複雑流動)	ごとう すずむ 後藤 晋 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)	「複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化」
CREST 基礎理論とシステム基盤技術の融合による Society 5.0 のための基盤ソフトウェアの創出(S5 基盤ソフト)	おかべ やすお 岡部 寿男 (京都大学 学術情報メディアセンター 教授)	「Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術」
さきがけ 社会変革に向けた ICT 基盤強化(ICT 基盤強化)	ひがしの てるお 東野 輝夫 (京都橘大学 工学部情報工学科 教授(工学部長) / 大阪大学 大学院情報科学研究科 特任教授)	「Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術」
CREST データ駆動・AI 駆動を中心としたデジタルトランスフォーメーションによる生命科学研究の革新(バイオ DX)	おかだ やすし 岡田 康志 (理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー / 東京大学 大学院医学系研究科 教授)	「『バイオ DX』による科学的発見の追究」
CREST 未踏探索空間における革新的物質の開発(未踏物質探索)	きたがわ ひろし 北川 宏 (京都大学 大学院理学研究科 教授)	「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探索空間の開拓」

<p><u>さきがけ</u> 物質探索空間の拡大による 未来材料の創製(未来材料)</p>	<p>かげやま ひろし 陰山 洋 (京都大学 大学院工学研 究科 教授)</p>	<p>「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複 合・準安定物質探索空間の開拓」</p>
<p><u>さきがけ</u> パンデミックに対してレジリエ ントな社会・技術基盤の構築 (パンデミック社会基盤)</p>	<p>おしたに ひとし 押谷 仁 (東北大学 大学院医学系 研究科 教授)</p>	<p>「総合知」で築くポストコロナ社会の技術 基盤」</p>
<p><u>CREST</u> 生体マルチセンシングシステ ムの究明と活用技術の創出 (マルチセンシング)</p>	<p>いりき あつし 入来 篤史 (理化学研究所 生命機 能科学研究センター チ ームリーダー)</p>	<p>「ヒトのマルチセンシングネットワークの統合 的理解と制御機 構の解明」</p>
<p><u>さきがけ</u> 生体多感覚システム(多感覚 システム)</p>	<p>かんざき りょうへい 神崎 亮平 (東京大学先端科学技術 研究センター 所長 / 教授)</p>	<p>「ヒトのマルチセンシングネットワークの統 合的理解と制御機構の解明」</p>
<p><u>ACT-X</u> リアル空間を強靱にするハー ドウェアの未来(強靱化ハー ドウェア)</p>	<p>たなか しゅうじ 田中 秀治 (東北大学 大学院工学研 究科 ロボティクス専攻 教 授)</p>	<p>「総合知」で築くポストコロナ社会の技術 基盤」 「情報担体と新デバイス」(令和 2 年度) 「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技 術」(平成 31 年度) 「ネットワークにつながれた環境全体とのイ ンタラクションの高度化」(平成 29 年度) 「微小エネルギーの高効率変換・高度利用 に資する革新的なエネルギー変換機能の 原理解明、新物質・新デバイスの創製等の 基盤技術の創出」(平成 27 年度) 「情報デバイスの超低消費電力化や多機 能化の実現に向けた、素材技術・デバイス 技術・ナノシステム最適化技術等の融合に よる革新的基盤技術の創成」(平成 25 年 度)</p>

(別紙)

## 研究領域及び研究総括の設定の手順及び理由

### 1. 研究領域及び研究総括の設定のための事前評価の項目及び評価者

事前評価は、「戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発及び先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」に基づき行いました。公募型研究に係る研究領域及び研究総括の事前評価の項目及び評価者は以下のとおりです。

#### (1) 事前評価の項目

##### (ア) 研究領域

- ① 戦略目標の達成に向けた適切な研究領域であること。
- ② 我が国の研究の現状を踏まえた適切な研究領域であり、優れた研究提案が多数見込まれること。

##### (イ) 研究総括

- ① 当該研究領域について、先見性及び洞察力を有していること。
- ② 研究課題の効果的・効率的な推進を目指し、適切な研究マネジメントを行う経験、能力を有していること。
- ③ 優れた研究実績を有し、関連分野の研究者から信頼されていること。
- ④ 公平な評価を行いうること。

#### (2) 評価者

研究主監会議が評価を行う。

##### ◆研究主監会議 名簿 (2021年3月末時点)

	氏名(敬称略)	所属
議長	小安 重夫	理化学研究所 理事
	澤本 光男	中部大学 教授
	辻 篤子	科学ジャーナリスト/中部大学 特任教授
	辻井 潤一	産業技術総合研究所 人工知能研究センター センター長
	富山 和彦	株式会社経営共創基盤 IGPI グループ会長
	平山 祥郎	東北大学 教授
	保立 和夫	豊田工業大学 学長

(※)研究主監は、戦略的創造研究推進事業(CREST、さきがけ、ACT-X、ERATO 等)のプログラムディレクターです。

## 2. 研究領域及び研究総括設定の手順

(1) 文部科学省における戦略目標の検討状況を踏まえた、JST における事前調査

(ア) 文部科学省において、戦略目標等策定指針に従い、戦略目標の検討が行われました。

(イ) JST は、上記の戦略目標の検討段階から文部科学省より情報提供を受け(2020年10月)、戦略目標の達成に向けてイノベーション創出に資する研究領域設定のための事前調査を行いました。

(ウ) JST の事前調査は、以下の手法によりました。

① 上記の文部科学省における検討を踏まえ、関連分野に関する研究動向・技術動向や関連学会の状況等の情報の収集と分析を行いました。

② 関連分野における有識者へのインタビュー調査を行い、そのとりまとめと分析を行いました。

➤ インタビュー対象者は、上記の報告類からの関連科学技術分野をもとに、以下のデータベース等を用いて抽出。

◇ J-GLOBAL(科学技術総合リンクセンター。JST が運営する科学技術情報の連携サービス。国内研究者の情報、国内外文献の書誌情報を収録。)、JDreamⅢ(JST が運営する日本最大の科学技術文献データベース。)、Web of Science(Clarivate Analytics 社が提供する学術文献引用データベース。)等を用い、国内の研究者を俯瞰。

◇ JST 内部で構築している FMDB(ファンディングマネジメントデータベース)に蓄積された、過去のファンド状況や評価者としての活動状況などを確認。

(エ) 上記の事前調査の進捗を、戦略目標毎に定めた担当研究主監に報告し、議論を深めました。

(オ) 文部科学省からの戦略目標の正式通知(2021年3月12付、別添資料1)を受け、さらに調査(領域調査)を進めました。

(2) 研究領域および研究総括の事前評価と決定

(ア) 研究主監会議(2021年3月30日)を開催し、研究領域および研究総括の事前評価を行いました。

(イ) 上記の事前評価結果を受け、JST が研究領域および研究総括を決定しました(2021年4月12日)。

### 3. 新規研究領域及び研究総括とその設定の理由

新規研究領域および研究総括と、研究主監会議によるその設定の理由は以下の通りです。  
(研究総括の所属・役職は、2021年4月現在のものです)

#### 3-1 戦略目標「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」の下に設定した研究領域

#### [1]研究領域の概要及び研究総括

##### 研究領域 1「分解・劣化・安定化の精密材料科学」(CREST)

###### (1)研究領域の概要

本研究領域は、外部刺激により材料を自在に分解する手法を開発するとともに、分解を自在に制御できる材料の開発、それら材料の階層構造制御による高機能化に関する研究、材料における環境に優しい劣化や安定化の制御法の開発を通じて、材料の分解・劣化・安定化の精密制御を達成し、究極の相反する物性である分解性と安定性の自在制御が可能なサステナブル材料開発のための精密材料科学の確立を目指すものです。

研究分野としては高分子、有機、生体、無機および金属ならびにそれらの複合材料を対象とします。例えば(1)外部刺激により材料を原子・分子レベルだけではなく、中間・部分構造に戻して再利用できる技術およびそれを活かした材料化のための製造プロセス、ならびに分解生成物が環境に調和するサステナブル材料の設計、(2)材料の分子レベル、高次組織などの種々の階層における分解・劣化の制御法と分解機構を組み合わせた材料の開発、(3)分光学的な手法、クロマトなどの高度な分離手法、回折・散乱手法、顕微鏡的手法、計算科学的な手法による材料分解過程の可視化法の確立及びそのデータ蓄積による情報活用、(4)劣化した材料の高効率の自己修復と分解機構を組み合わせた材料の開発などがあげられます。これら研究分野の連携や各種材料で得られた知見を融合することによって、持続可能な循環型社会の実現に不可欠なサステナブル材料開発のために、これまで未解明であった「分解・劣化・安定化の材料科学」を分子レベルからマクロレベルまで多階層的に理解し、新たな学問領域として体系化することを目指します。

###### (2)研究総括

たかはら あつし  
高原 淳 (九州大学 ネガティブエミッションテクノロジー研究センター 特任教授)

##### 研究領域 2「持続可能な材料設計に向けた確実な結合とやさしい分解」(さきがけ)

###### (1)研究領域の概要

本研究領域では、資源の有効利用や持続可能な材料生産システムの構築を目指して、「確実な結合とやさしい分解」を兼ね備えたサステナブル材料の創製に向けた独創的な基盤技術の研究開発を目的とします。確実な結合とは、使用中は優れた機能や性能を安定的に発揮するための結合や構造で、やさしい分解とは、使用後は再利用可能な材料に変換するために、温和な条件下で原子・分子レベルあるいは中間・部分構造に速やかに分解することです。

具体的には、高分子、有機、生体、無機および金属材料ならびにそれらの複合材料を対象とし、高性能なサステナブル材料の設計・開発を目指した、結合と分解に関する精密制御技術の研究開発を行います。物性や構造を分解性と共に制御可能な結合を導入した材料合成、分解性セグメントを導入した材料設計、選択的に結合を切断できる触媒の開発、外部刺激等による有機・無機化合物における結合形成と開裂を自在に制御する技術、異種材料の接着界面における結合と分解を制御する界面制御技術、複合材料における分解リサイクル手法の確立を目指した相分離構造や階層構造などの高次構造制御技術の開発などを目指します。

また、長小角 X 線散乱、3 次元トモグラフィ、透過型電子顕微鏡などの手法を用いた複合材料におけるナノ・メソ・高次構造の可視化、理論化学およびコンピュータシミュレーションによる結合および分解の予測など、本分野で必要とされる計測および解析技術の開発にも合わせて取り組みます。さらに、材料学と生物学の融合を目指し、従来の触媒にとらわれず、生体触媒である酵素にも焦点をあて、水系・常温・常圧などの温和な条件下での結合と分解の実現に向けた研究も推進します。複合材料や製品の分解では、物理的な手法による材料間の分離や化学工学的な手法による効率的な分解を目指します。確実な結合の自在な制御と再利用を念頭に入れたやさしい分解手法の確立を通じて、持続可能な社会の実現に貢献します。

## (2) 研究総括

岩田 忠久 (東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授)

## [2] 研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域 1 「分解・劣化・安定化の精密材料科学」(CREST)

研究領域 2 「持続可能な材料設計に向けた確実な結合とやさしい分解」(さきがけ)

### (1) 研究領域選定の理由

本戦略目標は、結合活性化法・結合制御法の開発や材料の階層構造制御を通して、資源循環を実現するためのサステナブル材料の開発を目的とするものである。

研究領域 1 は、高分子、有機、生体、無機および金属ならびにそれらを複合的に用いる各種材料のサステナブル化に資する基礎的な研究提案を対象とし、サステナブル材料の設計・開発に必要な分解の科学の拡充および結合・分解制御法の深化に取り組むものである。分解の科学については、材料の分解・劣化機構の解明に加え、結合切断・解重合法、同種および異種界面剥離／分離法、相分離法および分解プロセス法の開発を通して、各種材料を原子・分子レベルまたは再利用に適した中間・部分構造に戻して再利用するために必要な基礎学理の体系化を目指す。また、結合・分解制御法については、我が国が強みを有する結合活性化・精密合成法、分子設計、界面制御法、階層構造制御法および接着・接合法に分解の科学を融合させることにより深化させ、寿命を制御可能なサステナブル材料創製を目指す。そのためには、各種材料を対象とする広範な学問、技術分野の融合が必要であり、研究推進体制として複数分野の研究者からなるチーム編成が可能な CREST 事業を選定することは適切である。

研究領域 2 は、研究領域 1 と同じく高分子、有機、生体、無機および金属ならびにそれらを複合的に用いる各種材料のサステナブル化に資する基礎的な研究提案を対象とするが、分解の科学の拡充、結合・分解制御法の深化、人為的な材料寿命制御の実現にかかる個々の反応、構造制御、設計、計測、計算および理論等の研究に独創的なアイデアで挑戦し、新規シーズの創出、新規手法の開発および既存手法の深化を目指す。本研究領域には各種材料を対象とする広範な学問、技術分野の研究者の参画が期待され、異分野間、異材料間研究者の相互交流による相乗的な発展が期待できるさきがけ事業を選定することは適切である。

以上のことから、研究領域 1 および研究領域 2 は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

### (2) 研究総括指定の理由

#### 研究総括 高原 淳

高原 淳氏は、高分子構造、高分子力学物性、高分子表面化学、量子ビーム科学が主な専門分野であり、高分子材料の疲労機構の解析、接着、摩擦・摩耗、界面計測などにおいて多くの功績を挙げている。特に、マクロな材料特性、量子ビームを用いた構造解析技術にも強みを持つ。1980 年代より高分子材料の力学的変形下における疲労寿命の予知、医用高分子材料の生体模擬環境下における劣化に関する先駆的な研究を行っている。プラスチックの資源循環の重要性などについて議論された国際化学サミット(CS3、2019 年英国)では日本の団長を務めるなど、大きな社会問題となっている環境プラスチック問題に強い関心を持ち、自らも分解研究に取り組むなど本研究領域の目標に先駆的な取り組みを行っている。また、2020 年に日本学術会議の公開シンポジウムにおいて環境プラスチック問題に関する講演を行うなど本分野の代表的な研究者である。

これらの業績に対する国内外での評価は高く、繊維学会賞、高分子学会賞、日本レオロジー学会賞、日本中性子科学会学会賞などを受賞するに加えて、「その専門分野において極めて高い業績を有し、かつ本学の研

究戦略の先導的な役割を担う者」として九州大学内で定められている主幹教授の称号を、2009年に付与されている。これまでに高分子学会会長、日本 MRS 会長などを歴任されたほか、ERATO「高原ソフト界面プロジェクト」では研究総括としてプロジェクトを主導し、「卓越した研究水準を示し、その戦略目標に資する十分な成果が得られたと判断」されるなど高い研究マネジメント能力を有している。また、公正公平なお人柄から関連分野の研究者から厚い信頼を得ている。

以上より、同氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

## 研究総括 岩田 忠久

岩田 忠久氏は、高分子材料学、環境関連高分子、高分子構造解析が主な専門分野であり、セルロース系材料の合成、微生物を利用した高分子合成、生分解性高分子の合成、単結晶構造解析、電子顕微鏡計測および大型放射光など各種分光学的手法による高分子の構造解析、生分解性高分子の分解挙動の解析、材料創製において多くの成果を挙げており、バイオマスプラスチックおよび生分解性高分子の分野の代表的な研究者の一人である。2019年度に終了した先端的低炭素化技術開発(ALCA)の研究開発課題「革新的合成法による高性能な高分子多糖類バイオプラスチックの創製と高機能部材化」では、期待を超える成果が得られたと評価されている。

これらの業績に対する評価は高く、高分子学会 高分子研究奨励賞、繊維学会賞、ドイツ イノベーション・アワード ゴッドフリード ワグネル賞、矢崎財団 矢崎学術賞、長瀬財団 長瀬研究振興賞、高分子学会賞を受賞している。学外では日本木材学会(理事)、繊維学会(副会長)、高分子学会エコマテリアル研究会(運営委員)において若手育成を意図した優秀女子学生賞、若手口頭発表表彰、若手・学生ポスター賞の創設、実行委員長として主催した国際学会(Modification, Degradation and Stabilization of Polymer 2018、International Conference of Bio-based Polymers)において、優秀口頭発表賞、優秀若手ポスター賞等の各種若手を対象とした賞の授与など、学内では国際交流室長として若手の海外留学の支援に携わるなど若手育成への実績も認められる。また、2018年度には東京大学総長補佐を務められたほか、現在は大型放射光施設 SPring-8 に設置されている日本初のソフトマター研究開発専用のビームライン産学連合体の運営委員長を務められており関連分野の研究者から厚い信頼を得ている。

以上より、同氏は研究領域2の研究総括として適任であると判断される。

## 3-2 戦略目標「複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化」

の下に設定した研究領域

### [1]研究領域の概要及び研究総括

#### 研究領域 1 「複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学」(さきがけ)

##### (1)研究領域の概要

本研究領域では、近年その発展が目覚ましい、流れの数値シミュレーションのための環境や手法、流れの計測技術、そして、これらにより得られた膨大なデータを解析する応用数学的手法を駆使し、これまで困難であった複雑な流動・輸送現象の抜本的な解明や、より正確な予測および高度な制御法の確立に向けた、新しい流体科学の基盤を構築することを目的とします。

具体的には、乱流による運動量・熱・物質輸送、燃焼などの化学反応を伴う流れ、環境流体の諸現象、生体内の流れと輸送現象、種々の複雑流体の輸送・移動現象、電磁場を伴う流れにおける輸送現象など、あらゆる流動およびそれによる輸送現象を研究対象とします。これらの現象に対して、伝統的な流体力学の解析手法はもちろん、応用数学解析、データ科学、数値シミュレーション、新しい実験・計測手法などを適用し、それぞれの研究を深化させつつ得られた知見を相互に活用することで、複雑な流動・輸送現象の解明の糸口を見出すとともに、各分野の強みを活かした新しい分野の開拓に貢献します。

複雑な流動と輸送をキーワードとし、広い意味での流体力学が関わる種々の分野を俯瞰する視点を導入し、若手研究者どうしの積極的な分野横断交流を推進します。

##### (2)研究総括

後藤 晋 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)

### [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

#### 研究領域 1 「複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学」(さきがけ)

##### (1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、実験的研究、数学的理論研究、数値計算的研究を組み合わせ、機械学習などデータ科学を用いた現象解明と、複雑な流れ現象の理論・モデル構築・普遍化を統合的に推進し、複雑な輸送・移動現象の解明を進めるとともに、その予測や制御を高度化することを目的とするものである。

研究領域 1 は、上記戦略目標を達成するために、流体力学とともに、数値シミュレーションや、計測技術、これらにより得られた膨大なデータを解析する応用数学的手法を駆使して、複雑な流動・輸送現象の抜本的な解明、その現象の正確な予測や高度な制御法を確立するための、新しい流体科学の基盤の構築を行う。具体的には、流動・輸送現象側に新たに、データ科学や応用数学の手法を取り入れるアプローチや、抽象的なアルゴリズムなどデータ科学から流体力学への展開、多くのデータから数理科学的な観点で流動現象の法則の発見・構築、などを行っていく必要があり、そのために各分野の研究の深化や個々の研究を結びつけるためのネットワークの構築、各分野の特色を發揮した共同研究への発展が重要である。当該の目的を達成するためには、流体研究者およびデータ科学や数学など、これまで主にそれぞれのコミュニティで活動していた様々な分野の個人研究者が独自に世界最先端の研究を進めることに加え、各自の特色を發揮しつつ相互交流を行う場が必要であり、研究者間の融合が創発されるさきがけ事業を選定することは適切である。

以上のことから、研究領域1は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

##### (2)研究総括指定の理由

研究総括 後藤 晋



後藤 晋氏は、機械学習を用いて、流体力学に現れるさまざまな非線形現象といった複雑な流れ現象の解明について実績を上げてきた。具体的には、高レイノルズ数の流れ、輸送混合現象、複雑流体の流れなどの数値シミュレートから普遍関数形などの構成則を見いだしてきた。これらの業績に対する評価は高く、流体力学会では若手研究者の登竜門といえる竜門賞を受賞している。

また、基礎工学研究科に所属する後藤氏は、理学部の出身であり数学にも理解のある研究者であり、関連分野の研究者からも流体だけでなく数学にも詳しいと厚く信頼されている。そのため、本領域の目指すこれまでの流体分野のみならず、データ科学、数学等の分野を横断したネットワークを構築し、新たな流体科学の基盤を構築するといった目的との親和性が高い。

さらに、温厚で明るい性格から、学生に慕われており、若手をエンカレッジしながらマネジメントを行うことが出来、年齢も比較的若く、若手の研究者とともに流体科学という新たな領域の芽を育むための活動を行うことも可能である。

以上より、同氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

### 3-3 戦略目標「Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術」の下に設定した研究領域

#### [1]研究領域の概要及び研究総括

#### 研究領域 1 「基礎理論とシステム基盤技術の融合による Society 5.0 のための基盤ソフトウェアの創出」(CREST)

##### (1)研究領域の概要

我が国が提唱するSociety 5.0が目指す社会は、人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すデータ駆動社会です。新型コロナウイルス感染症の拡大を契機として、社会のデジタル化、さらには社会全体のデジタル・トランスフォーメーションが一層進展すると考えられます。その結果、機密情報やプライバシーの侵害につながる可能性のある様々なデータがパブリッククラウドに置かれインターネットを介してやり取りされるようになることで、セキュリティリスクやプライバシーリスクの増大が懸念されています。

安心・安全で信頼できるデータ駆動型社会の実現には、自由なデータ流通と個人情報保護を両立する枠組みを実装することが必要になります。しかも、高度化・複雑化する社会システムの構築においては、「Security-by-Design」かつ「Privacy-by-Design」な基盤ソフトウェアを、様々な実行環境からなるハイブリッドなハードウェアやOS上で動作させることが求められています。とりわけ、近年報告されているハードウェアやOSの新たな脆弱性は、これらを海外技術に依存している我が国において深刻な課題であり、従来のような個別の対応では根本的な課題解決が困難となっています。社会システム全体をby-Designの観点で捉え、分散協調並列処理やAI等の理論との融合も視野においた革新的な技術の研究開発と、原理的に安心・安全で信頼できる、ブラックボックスを排除し他国に依存しないオープンな基盤ソフトウェアの創出が必須です。

本研究領域では、基礎理論分野とシステム基盤技術分野を横断的に融合・統合する研究開発の推進により、Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える革新的な基盤ソフトウェアの創出を目指します。具体的には、以下の3つの達成目標に取り組みます。

- (1) 信頼できないハードウェアやOSを含む計算環境で安全なシステムを構築可能とするセキュリティ技術の創出
- (2) オープンな環境でもプライバシーを確保するデータ収集・解析技術の創出
- (3) データの自由な流通と個人情報の安全性確保を両立するシステム実装技術の確立

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト(AIPプロジェクト)の一環として運営します。

##### (2)研究総括

おかべ やすお  
岡部 寿男 (京都大学 学術情報メディアセンター 教授)

#### 研究領域 2 「社会変革に向けた ICT 基盤強化」(さきがけ)

##### (1)研究領域の概要

我が国が提唱するSociety 5.0が目指す社会は、人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すデータ駆動社会です。その実現には、人々の社会活動を安全かつ持続的に発展させていくためのICT基盤強化とデジタル変革の推進が求められています。

新型コロナウイルス感染症の流行とその対策過程において、ICT基盤やデジタル変革に関する様々な課題が露呈しました。社会生活のデジタル変革は、人々の生活をコロナ禍の状況に適応させ、社会経済活動を活性化し、社会のレジリエンス性を強化する意味を持ちますが、その実現にはセキュリティ

強化や個人のプライバシー保護が重要であり、「Security-by-Design」や「Privacy-by-Design」の考えに基づくソフトウェアやシステムの開発が必要です。

近年、スマートシティや自動運転、IoTを活用した健康・医療、GIGAスクール構想など、新たな社会システムの開発が進んでいます。AIやビッグデータ、IoT技術の進展に伴い、情報基盤を取り巻く環境は大きく変化しています。システム全体をby-Designの観点で捉えた研究開発、安心・安全で信頼できる国産システムソフトウェアやICT基盤整備が必須です。

そのため本研究領域では、理論（数学や計算機科学の基礎）と社会システムの基盤技術（アルゴリズム・アーキテクチャ・OS・ネットワーク・データベース・IoT・セキュリティ・言語等）の研究者の領域内の交流・触発により国際競争力を強化した科学技術イノベーションの創出を実現し、社会変革に向けたICT基盤の強化を目指します。さらに、将来の社会システムの課題解決や社会変革を意識した研究開発を通して、by-Designに資する人材の育成を推進します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト（AIPプロジェクト）の一環として運営します。

## (2) 研究総括

ひがしの てるお  
東野 輝夫（京都橘大学 工学部情報工学科 教授(工学部長) / 大阪大学 大学院情報科学研究科 特任教授）

## [2] 研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域 1「基礎理論とシステム基盤技術の融合による Society 5.0 のための基盤ソフトウェアの創出」(CREST)

研究領域2「社会変革に向けた ICT 基盤強化」(さきがけ)

### (1) 研究領域選定の理由

Society 5.0 が目指す、様々な知識や情報が共有され今までにない新たな価値を生み出すデータ駆動社会では自由なデータ流通と個人情報保護を両立する枠組みを実装することが求められる。そのため、機密情報やプライバシーを侵害する可能性のある様々なデータの流通、情報処理が可能となる「Security-by-Design」かつ「Privacy-by-Design」な基盤ソフトウェアを、様々な実行環境からなるハイブリッドなハードウェアや OS 上で安心・安全にかつ信頼をもって動作させることができる環境を構築することが急務である。これらを踏まえ、本研究領域にかかる戦略目標は、基礎理論分野とシステム基盤技術分野を横断的に融合・統合する研究開発の推進により、従来の対処療法から脱却する、Society 5.0時代の安心・安全・信頼を支える革新的な基盤ソフトウェアの創出を目指している。そのため、達成目標として、以下の3項目が設定されている。

(1) 信頼できないハードウェアや OS を含む計算環境で安全なシステムを構築可能とするセキュリティ技術の創出

(2) オープンな環境でもプライバシーを確保するデータ収集・解析技術の創出

(3) データの自由な流通と個人情報の安全性確保を両立するシステム実装技術の確立

以上を踏まえ、研究領域 1 では、戦略目標の3つの達成目標に対応した研究提案を対象とし、更に「トラスト空間を跨った分散協調アーキテクチャ技術」「プライバシー保護データマイニング並列処理技術」「ゼロトラストアーキテクチャに基づくセキュリティポリシーのAI自動化」等の研究課題例を追加し優れた研究提案が多数見込まれるように設定されている。これらの研究課題の多くは、システム全体としてセキュリティとプライバシーの要件を満たしていることが理論によって保証できるような融合・統合型の研究推進が必要となることから、複数分野の研究者からなるチームの編成が可能な CREST の研究領域として選定することが適切である。

研究領域 2 は、戦略目標の3つの達成目標に対応しつつ、スマートシティ、自動運転、IoTを活用した健康・医療、GIGAスクール構想など、高度化・複雑化し続ける社会システムの課題解決や社会変革につながる情報技術の創出を目指すように設定されている。将来社会を見据えた広範囲な研究課題によ

り、優れた研究提案が多数見込まれるとともに、アーキテクチャから OS、ソフトウェア、ネットワーク、データベース、IoT、セキュリティ、言語などの研究者を結集させ、交流し、触発する場が設定されている。これにより CREST 成果とは相補的な、斬新的アイデア創発や競争優位性の高い学術成果創出を推進し、情報処理研究の国際協調・連携を牽引するリーダー人材を育成することとしており、本研究領域は「さきがけ」の研究領域として適切である。

以上のことから、研究領域1および研究領域2は、CREST およびさきがけがプログラムの特性を踏まえつつ効果的・相補的な役割を担い、2 領域全体として社会実装に資する多数の先進的な成果を見込めるよう、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

## (2) 研究総括指定の理由

### 研究総括 岡部 寿男

岡部 寿男氏は、インターネットアーキテクチャ、分散アルゴリズム、ネットワークセキュリティに関する先駆的な研究に取り組み、インターネット発展期においてネットワーク制御技術の発展を支えてきたトップ研究者の一人である。研究開発のみならず、学術情報メディアセンターでの大学間相互接続における認証基盤の整備やセキュリティ運用の高度化にも長年に渡り取組んでおり、学術面とエンジニアリング面の双方において、幅広い知見と鋭い先見性、深い洞察力と着実な実行力を有していることが認められる。

研究面においては、2007 年に電子情報通信学会・通信ソサエティ功労顕賞を受賞、2012 年に電子情報通信学会においてフェロー称号を贈呈されており、開発面では 2018 年に科学技術分野の文部科学大臣表彰・科学技術賞(開発部門)を受賞しており、その先見性と研究業績は高く信頼・評価されている。

研究課題の効果的・効率的な推進を行う研究マネジメントにおいては、日本学術振興会未来開拓学術推進事業、情報通信研究機構高度情報通信研究開発委託、総務省戦略的国際連携型開発推進事業等において研究代表者としてプロジェクト運営を行っており、本研究領域の運営に必要な研究マネジメントの知見・経験・能力を有していることが認められる。

更に、2018～2019 年度は情報処理学会副会長として選出され、学会運営に尽力するとともに、31 ある研究会を束ね情報処理分野の中長期に渡る重点研究テーマを抽出し基盤ソフトウェア技術のセキュリティ・プライバシー課題に向けた取組みの検討を推進した。これらの業績はコミュニティで高く評価されており、研究者から広く信頼され、また、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

### 研究総括 東野 輝夫

東野 輝夫氏は、分散システム、コンピュータネットワーク、サイバー・フィジカル・システムなど、高度情報化社会の基盤となる技術の確立に大きく貢献してきた。都市のモビリティを現実環境で効率的に推定するモバイルネットワークシミュレータの開発や、災害時に傷病者の位置やバイタルサインを一括で監視する救命救急医療システムの開発など、学術的に高く評価される研究を社会的な要請に応える成果として発信する実行力と幅広い知見が認められる。

文部科学大臣表彰・科学技術賞「モバイルネットワークの性能解析技術とその応用に関する研究」、情報処理学会功績賞といった受賞歴や、情報処理学会フェロー、IEEE Senior Member への認定から、研究業績が高く信頼・評価されていると考えられる。また、IEEE Intelligent Transportation Systems (ITS) Society の Technical Committee on Mobile Communication Networks 委員長、ICNP2010、P2P2011、ICDCS2016 の国際学会での General Co-chairs や多数の国際学会におけるプログラム委員を歴任し、関連分野の研究者から広く信頼を得ていると判断できる。

また、大阪大学 Society 5.0 実現化研究拠点支援事業ライフデザイン・イノベーション研究拠点の副拠点長として、若手研究者を対象としたグラントチャレンジ研究プロジェクトの公募運営に尽力しており、研究者を育成する手腕が認められ、本研究領域の運営でも公平な評価と適切なマネジメントが期待できる。

以上より、同氏は研究領域2の研究総括として適任であると判断される。

### 3-4 戦略目標「『バイオ DX』による科学的発見の追究」の下に設定した研究領域

#### [1]研究領域の概要及び研究総括

##### 研究領域 1「データ駆動・AI 駆動を中心としたデジタルトランスフォーメーションによる生命科学研究の革新」(CREST)

###### (1)研究領域の概要

情報技術を、作業の単なる効率化を目指すのではなく、作業プロセスそのもののありかた、組織のありかた、そしてそれぞれの分野の文化にまで踏み込んだ包括的かつ革新的な飛躍を目的に導入することをデジタルトランスフォーメーション(Dx)と呼びます。Dxが革新すべき対象の一つに科学研究、特に生命科学分野があります。実際、ディープラーニングの登場以降、バイオ分野とAI研究の融合は目覚ましく、画像解析、疾患リスク予測、新薬探索、タンパク質三次元構造予測などの研究が世界中で活発化しています。

生命科学においてDxが特に期待される理由の一つには、生命システムがタンパク質分子1個から生態系にいたるまで、生命科学研究の対象は数千種類あるいはそれ以上の構成要素が互いに相互作用する大規模複雑系であるという特性があります。計測・実験の自動化や計算機技術の進展により、このような複雑な系から膨大なデジタルデータがハイスループットに取得可能となりつつある一方で、すでに人間の思考能力ではもはや全てを解析しきれない状況となっています。

そこで本研究領域は、情報科学・工学・生命科学が三位一体となって生命科学研究におけるDxを推進する、いわば「データ駆動型・AI 駆動型」の研究によりこれまででは手が届かなかったような高度な科学的発見を目指します。

具体的には、(1)多様、大量のデータセットからAIなどデジタル情報処理技術を活用することでデータ取得・解析の質的・量的限界を超えて、新しい生命現象とそのモデル化を可能とするための研究開発を行い、次世代型生命科学研究のモデルケースを示すことを目指します。また、そのために必要な要素課題として(2)革新的なデータ駆動型研究手法やAI駆動型研究の手法の確立に向けた研究開発もサポートします。

上記により、生命科学研究におけるパラダイムシフトの潮流を作ると共に、複雑な生命システムの解明が可能な社会、研究者が真に創造的な活動に取り組むことが出来る社会の実現を目指します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト(AIPプロジェクト)の一環として運営します。

###### (2)研究総括

岡田 康志 (理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー/東京大学 大学院医学系  
研究科 教授)

#### [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

##### 研究領域 1「データ駆動・AI 駆動を中心としたデジタルトランスフォーメーションによる生命科学研究の革新」(CREST)

###### (1)研究領域選定の理由

本研究領域にかかる戦略目標は、データ駆動、AI 駆動型の生命科学研究の推進により、従来の方法論や人間の認知能力では辿り着かなかった科学的発見を目的としている。加えて、本研究領域の推進により、研究の自動化から研究プロセス全体の自動化・自律化へとつながる礎を築き、研究者が真に創造的な活動に取り組む事のできるニューノーマルな研究環境の創成へとつなげることを目指しており、達成目標として、以下の3項目が設定されている。

- (1) 多様、大量のデータセットから新しい生命現象やその法則発見
- (2) データ駆動型研究に資する革新的なデータ取得・解析技術の開発

(3) 仮説生成、推論の自動化等、生命科学現象に関する実験自動化を超えた AI 駆動型研究手法の確立  
これらを踏まえ、本研究領域では、「多様、大量のデータセットから AI などデジタル情報処理技術を活用することでデータ取得・解析の質的・量的限界を超えて、新しい生命現象とそのモデル化を可能とするための研究開発」「革新的なデータ駆動型研究手法や AI 駆動型研究の手法の確立に向けた研究開発」の 2 項目を領域の柱としている。これはまさに戦略目標の 3 つの達成目標を包含するものであり、適切な設計といえる。また、本領域は情報科学・工学・生命科学が三位一体となって生命科学研究における Dx を推進する、いわば「データ駆動型・AI 駆動型」の研究によりこれまでは手が届かなかったような高度な科学的発見を目指すことを謳っている。広範な分野に関わる学問・技術分野の融合を目指す上で、研究推進体制として前述の複数分野の研究者からなるチームの編成が可能な CREST を選定することは適切である。加えて、生命科学研究におけるデジタルトランスフォーメーションの推進は我が国にとって喫緊の課題であり、これまでに個々に研究を進めていた様々な分野の研究者が、その分野の垣根を越えて参画することで多岐にわたる新しい視点が加わった独創的・革新的な提案が多数見込まれる。

以上のことから、研究領域1は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

## (2) 研究総括指定の理由

### 研究総括 岡田 康志

岡田康志氏は、一分子生物学やバイオイメージインフォマティクスの研究に関する先駆的な研究に取り組み、高速高分解能イメージングと非平衡系における「ゆらぎの定理」を組み合わせることで細胞内の力を非侵襲的に測定出来ることを示すなど、生命科学分野におけるトップサイエンティストの一人である。「共焦点顕微鏡をベースとした超解像顕微鏡の開発」というテーマにおける文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)の受賞や、「超解像顕微鏡による神経細胞軸索輸送の研究」というテーマにおける生命科学の分野において優れた独創的な研究を行っている 50 歳以下の研究者に与えられる塚原伸晃記念賞の受賞など顕著な成果も挙げている。以上の観点から本研究領域運営に必要な先見性および洞察力を有していると認められる。

さらに JST CREST や新学術領域研究(研究領域提案型)における研究代表者としての数多くの経験に加え、JST さきがけの領域アドバイザーを勤めるなど、本研究領域の運営においても適切なマネジメントを行う経験、能力を有していることが認められる。また、これらの豊富な経験が本研究領域の効果的・効率的な運営にも発揮されると期待される。

上述のような卓越した研究実績やマネジメント経験等に加え、日本生物物理学会や日本顕微鏡学会における代議員、日本細胞生物学会における理事、新学術領域研究専門委員会主査などを歴任するなど、関連分野の研究者から広く信頼され、また、公平な評価を行いうると認められる。

以上より、同氏は本研究領域 1 の研究総括として適任であると判断される。

### 3-5 戦略目標「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探索空間の開拓」の下に設定した研究領域

#### [1]研究領域の概要及び研究総括

##### 研究領域 1 「未踏探索空間における革新的物質の開発」(CREST)

###### (1)研究領域の概要

本研究領域は、元素の潜在能力を最大限に引き出すと共に、元素の組み合わせがもたらす膨大な物質探索空間を開拓することにより、複数元素のシナジー効果による革新的な機能・物性を有する新材料を創出することを目的とします。具体的には、無機物質、有機物質を問わず、物質探索空間を複合化・多元素化・準安定相等の未踏の領域に拡大し、効率的に物質探索を進める戦略的な取り組みを重視します。

複合化では、未開拓な元素の組み合わせによる新規な分子や固体、異種材料接合からなるナノシステム等の革新的機能・物性発現が期待されます。多元素化では、様々な相(結晶相、アモルファス相、電子相、スピン相など)の発見や、多様な欠陥種を利用した材料設計等が期待されます。準安定相では、速度論的制御法である非平衡合成による新物質相の発見や所望の結晶相や物性の実現、イオン拡散や触媒能の促進、可逆的な相制御等が期待されます。また単純な系であっても、ダイヤモンドやフラーレンのような新たな同素体の発見があるかもしれません。これら以外に新たな材料設計の概念、例えば人間のひらめきや直感、感性を取り入れたプロセス・インフォマティクスの開発等を打ち出すことも歓迎します。

各研究チームのゴールとして期待することは、元素の高度利用を基軸に新材料を効率的に探索するため、計算科学/データ科学/高スループット評価/非平衡プロセス/プロセス・インフォマティクスに直結させたその場計測などを含む材料創製手法を開発し、新機能の発見や、信頼性・耐久性の飛躍的な向上を実証することです。それにより本研究領域は元素高度利用の科学と新機能材料創製の開発基盤を構築します。

###### (2)研究総括

きたがわ ひろし  
北川 宏(京都大学 大学院理学研究科 教授)

##### 研究領域 2 「物質探索空間の拡大による未来材料の創製」(さきがけ)

###### (1)研究領域の概要

本研究領域は、我々が直面する環境・資源・エネルギー、医療・健康等に代表される社会課題を解決するために、従来技術とは異なる非連続な概念・コンセプトを探求したシンプルかつ斬新なアイデアにより、これまでの物質探索空間の枠を超えた、革新的な新機能性材料の創出を目指します。

具体的には、異なる元素同士のシナジー効果を解明した上での元素の複合化による「多元素化」、元素の配置制御等による材料システムとしての「機能複合化」、非平衡状態や速度論的制御を利用する「準安定相」の活用等の視点で、環境・エネルギー関連材料、エレクトロニクス材料、医用材料、構造材料等への利用に向けて夢のある材料・プロセス研究を推進します。

さらに、将来的な素材化、プロセス化技術の流れも意識し、物質創製技術やプロセス制御技術確立のために、計算科学や機械学習等のデータ駆動科学、最先端オペランド計測技術等との融合による原理解明、学理構築等、広い視点を背景とした挑戦的なアプローチでの研究を目指します。

###### (2)研究総括

かげやま ひろし  
陰山 洋(京都大学 大学院工学研究科 教授)

## [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

### 研究領域1「未踏探索空間における革新的物質の開発」(CREST)

### 研究領域2「物質探索空間の拡大による未来材料の創製」(さきがけ)

#### (1) 研究領域選定の理由

本戦略目標は、従来の元素戦略で実践してきた物質創製・計算科学・解析評価の融合に加え、データ科学的手法や先端的計測技術等を積極的に取り入れることで、未踏の多元素・複合・準安定物質探索空間を効率的に開拓、新機能性材料を創出することで、元素間の相互作用などを活用する元素科学を世界に先駆けて構築することを目的とするものである。

研究領域 1 は、元素の潜在能力を最大限に引き出すと共に、元素間のシナジー効果がもたらす膨大な物質探索空間を開拓することにより、革新的な機能・物性を有する新材料の創出を目指す。無機物質、有機物質にかかわらず、物質探索空間を複合化・多元素化・準安定相等の未踏の領域に拡大し、これら以外の新たな材料設計の概念を打ち出すことも奨励、元素高度利用の科学と新機能材料創製の開発基盤を構築していく。元素の高度利用を基軸に新材料を効率的に探索し、新機能を発見し信頼性・耐久性の飛躍的な向上を実証して産業利用可能な材料を創出するには、計算科学/データ科学/高スループット評価/非平衡プロセス/プロセスインフォマティクスに直結させたその場計測などを含む材料創製手法の開発が求められる。それを実現するには、複数分野の研究者からなるチーム編成が可能な CREST 事業を選定することが適切である。

研究領域 2 においては、従来の物質探索概念の枠では到達できない革新的な新機能性物質群の創製を合言葉に、研究者個人が温めてきた幅広い独創的で挑戦的なアイデアを持ち寄って、個人型の研究を推進する。多元素化、複合化、準安定相等による機能発現、非平衡状態や極端反応条件下での物質探索・設計には計り知れない未知の可能性が秘められており、多くの研究提案も見込まれ、新たな科学技術イノベーションの源泉になる先駆的な研究成果を期待することができる。個人の力、異分野融合によるシナジー効果により次世代を担う強いつながりを持った研究者ネットワークの形成にもつながるものと期待されることから、さきがけを選定することが適切である。

以上のことから、研究領域1および研究領域2は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

#### (2) 研究総括指定の理由

##### 研究総括 北川 宏

北川 宏氏は、無機化学・固体物性化学・錯体化学・分子科学を基礎として、低次元電子系物質の開拓、固体プロトニクス創成、機能性ナノ材料の開発、電気伝導性錯体の開発、元素間融合による革新的触媒の開発に取り組んでいる。それらの成果は国内外で高く評価され、European Advanced Materials Award (2014)、文部科学大臣表彰 (2016 年) 等を受賞している。本研究領域の戦略目標が基軸に据える「元素戦略」に関しても、北川氏は希少なロジウムを代替するルテニウム・パラジウムのナノ合金とそれを合成可能とするプロセス技術を開発し、ロジウムと同等以上の触媒機能を実現するなど優れた業績を挙げている。北川氏は元素戦略の成果を産業界へ展開しつつ、従来の元素戦略を超えた新機軸の打出しによる日本発の革新的機能材料の実現とそれを促進する基盤学理・技術の構築に強い意欲を示している。また北川氏は CREST・ACCEL 等の大型プロジェクトのマネジメント経験が豊富で、錯体化学会の会長や日本学術会議の連携会員を務めるなど学会運営の経験・科学技術の振興施策への見識を有し、公平・温厚な人柄でアカデミアの指導者・若手研究者、産業界からの信頼も厚い。

以上より、北川氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

##### 研究総括 陰山 洋

陰山 洋氏は、低温反応を利用した遷移金属酸化物ベースの新物質を創成し、超伝導・磁性・イオン伝導・誘電体・触媒等の幅広い材料機能の開発を推進している。その業績により日本化学会学術賞、井上学術賞を受賞するなど高く評価されており、当該研究分野における国内外の動向を把握し、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有していると認められる。また、近年では CREST「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製」研究代表者、新学術領域研究「複合アニオン化合物の創製と新機能」領域代表者など、本研究領域に関係性の高いプロジェクトを推進している。これらのプロジェクトで優れたマネジメント力を発揮しており、温厚かつ公正な人柄で若手研究者育成についてもコミュニティからの信頼も厚い。



以上より、同氏は研究領域2の研究総括として適任であると判断される。

### 3-6 戦略目標「総合知」で築くポストコロナ社会の技術基盤」の下に設定した研究領域

#### [1]研究領域の概要及び研究総括

##### 研究領域1「パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤の構築」(さきがけ)

###### (1)研究領域の概要

本研究領域は、幅広い分野の研究者の結集により、パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤を構築するとともに、緊急時の分野横断的対応を可能とする研究者ネットワークを形成することを目的とします。

COVID-19 感染拡大は、経済社会活動全体だけでなく個々人の日常生活へ長期的かつ甚大な影響を与えています。このパンデミックにあたっては、臨床医学・ウイルス学・公衆衛生学のみならず、情報科学や計算科学、材料・デバイス工学、環境科学など多様な分野における研究が実施されていますが、同時に、各分野において不足している技術や課題が明らかとなりました。また、複雑化した社会において人々の活動がどのように感染を拡大させるのかを正しく把握し、社会・経済活動とのバランスを保ちつつ柔軟かつ適確な感染症対策をとるためには、それぞれの自然科学分野における研究だけでは限界があり、人文学・社会科学を含めた積極的な異分野連携による「総合知」の活用が不可欠であるとの認識が高まっています。

そこで本領域では、繰り返される感染症の脅威に人類がどのように対応してきたのか長い歴史を振り返るとともに、COVID-19 対応により見えてきた社会的・技術的課題の本質を見極め、様々な専門性を持った研究者が結集しネットワークを形成しながら、あらゆる立場の人々が共生しつつ感染状況に応じた適切な対策をとることを可能とする持続可能な社会を作り出すための社会・技術基盤の構築を目指します。

###### (2)研究総括

押谷 仁 (東北大学 大学院医学系研究科 教授)

#### [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

##### 研究領域1 「パンデミックに対してレジリエントな社会・技術基盤の構築」(さきがけ)

###### (1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、我が国の科学的知見を研究機関・分野を超えて結集させ、COVID-19 や将来のパンデミック等による社会変化に対応しながら経済社会活動を維持・発展させていくための基盤構築に資するシーズ創出を目的とするものである。

本研究領域は、パンデミックにおける社会的・技術的課題の解決を目指すあらゆる分野の研究提案を対象とする。さきがけ事業の下、臨床医学・ウイルス学・公衆衛生学だけでなく、情報科学や計算科学、材料・デバイス工学、環境科学、医療社会学、経済学など、様々な専門性を持った若手研究者が結集して研究を進めることで、各々の研究を多角的に発展させるとともに、緊急時の分野横断的な対策を可能とするネットワークを形成できるように設定されている。COVID-19 感染拡大に際し、各分野において不足している技術や課題が顕在化し、また、複雑化した社会における感染症対策には人文学・社会科学を含めた異分野連携が不可欠であるとの認識が高まっていることから、幅広い分野の優れた研究提案が多数見込まれる。

また、本研究領域は、2020 年度に発足した CREST「異分野融合による新型コロナウイルスをはじめとした感染症との共生に資する技術基盤の創生(コロナ基盤)」領域との相互交流を図ることにより、新たな研究シーズの創出や共同研究の促進が期待される。

以上のことから、本研究領域は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

###### (2)研究総括指定の理由

## 研究総括 押谷 仁

押谷仁氏は、ウイルス学を専門として、JICA 感染症対策プロジェクト長期専門家としてザンビアに赴き、麻疹、B 型肝炎、C 型肝炎に関するフィールドワークを行いながら、ザンビア大学ウイルス研究所の立ち上げに尽力した。その後、米国テキサス大学にて公衆衛生修士の学位を取得し、帰国後インフルエンザワクチン等の研究を続けた。WHO 感染症地域アドバイザーとしてフィリピンに赴任し、西太平洋 37 の国と地域における新興感染症対策プロジェクトの責任者として 2003 年 SARS 流行と 2004 年に始まる鳥インフルエンザ流行の対応にあたった。国内では、内閣官房、宮城県と東京都における新型インフルエンザ等対策有識者会議に参加するなど、感染症対策のマネジメント能力と経験は広く認められており、COVID-19 感染症拡大にあたっては内閣官房の新型コロナウイルス感染症対策分科会委員も務めている。同氏の長年における新興・再興ウイルス感染症の応用研究の成果に対し、日本熱帯医学会学会賞が贈られるなど高く評価されている。

同氏は、ウイルス学、公衆衛生学、感染症学、実地疫学、分子疫学など幅広い学識を持つだけでなく、僻地や途上国の保健医療にも深い関心をよせており、研究の成果を社会に還元することの重要性について折に触れて発信している。また、自然科学の社会貢献のためには人文・社会科学分野との連携が必須であるとの強い信念をもっており、2020 年 9 月に所属する東北大学においてコロナと共に生きる時代の世界と人間のありようを模索する学際的な研究組織として設置された「感染症共生システムデザイン学際研究重点拠点」の拠点長を務めるなど、自然科学から人文・社会科学の研究者までを巻き込んで研究開発を推進していくために必要な強いリーダーシップと研究者コミュニティでの人望を有していると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

### 3-7 戦略目標「ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明」

の下に設定した研究領域

#### [1]研究領域の概要及び研究総括

##### (1)本戦略目標下における研究領域体制と概要

本研究領域は、生体感覚システムおよび末梢神経ネットワークを包括した「マルチセンシングシステム」の統合的な理解、および可視化・制御法の開発を目標とします。これを達成するために、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)と国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)が4プログラム(CREST、さきがけ、AMED-CREST、PRIME)を同時に立ち上げ、互いに連携しながら研究を進めます。

感覚機能と自律神経系は、生体が恒常的に機能を果たすためのフィードバック系として重要な役割を担っています。一方、加齢をはじめとする内的・外的ストレス等による感覚機能の低下や喪失、さらに末梢神経系の障害は、健康障害と慢性疾患発症の大きなリスク要因です。そこで生体感覚システム・末梢神経ネットワークを包括した「マルチセンシング」の生理機構を統合的に理解することにより、全身臓器の関わる疾患を標的とした新規治療法の開発や、生活の質(QOL)の向上、ひいては健康寿命の延伸が可能になると期待されます。また、マルチセンシングシステムを介した革新的技術の社会実装は、感覚代行、感覚シェアなど、より豊かで幸福な社会の実現に貢献することができます。

JST では基礎原理の解明および基盤・応用技術の開発を軸として、センシング機能の拡張や新たな機能の獲得を目指します。一方、AMED では健康・医療への出口を見据えた基礎研究から医療応用を軸に、失った機能の回復・維持、すなわちセンシングと調節機能の回復・維持・予防を目標とします。

具体的には、マルチセンシングシステムの動作機構の解明、病態解明、活動状態を可視化・定量化する技術開発、およびそれらを基にした副作用の少ない治療法や予防法の開発、個人に適した医薬品、医療機器、低侵襲性デバイスの創出等を目指し、同時に、生体のマルチセンシング機能の拡張や高度なセンシングメカニズムの応用によるイノベーション・シーズの創出を出口としてとらえ、JST と AMED が両輪となって推進します。

本研究領域では、4プログラムの研究者がネットワーク型研究所を構成することによって、相互連携と若手研究者のステップアップ、さらに研究の発展を促します。また、ムーンショット型研究開発制度(令和2年度～11年度)目標2「2050年までに超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」、AMED 脳とこころの研究推進プログラム(精神・神経疾患メカニズム解明プロジェクト、領域横断的かつ萌芽的脳研究プロジェクト、革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト、戦略的国際脳科学研究推進プログラム、脳科学研究戦略推進プログラム)(令和3年度～令和11年度)との連携も視野に入れて活動していきます。

##### (2)研究領域統括(PS)

永井 良三 (自治医科大学 学長)

#### 研究領域 1「生体マルチセンシングシステムの究明と活用技術の創出」(CREST)

##### (1)研究領域の概要

本研究領域では、感覚生理学・分子細胞生物学・神経科学等のライフサイエンス分野を超えて、電子/機械工学・情報/数理科学・認知/心理学等との異分野融合を推進することにより、多種感覚受容システムおよび末梢神経ネットワークを総合した「生体マルチセンシングシステム」の動作原理を解明し、日常生活に実装する基盤・応用技術を創出します。

近年、計測技術の発展により新たなセンシング機能やメカニズム解明への切り口が得られつつあります。また種々の感覚情報が、免疫・代謝・内分泌などを含む他の生体システムと相互作用して恒常性が維持されたり、意識下で統合されて多様な知覚・情動が生み出されて人間観や世界観に影響することも分かりつつあります。さらに、仮想/拡張現実で代表される ICT 技術やウェアラブルデバイス等の開発から得られた生体感覚研究の知見を、再びフィードバック・融合することにより、ヒトの持つセンシング機能を生体の内外で拡張すること

も期待されます。

これらの背景をもとに、本研究領域では、従来の各感覚モダリティや生物階層の境界条件内に特化した要素還元的な研究ではなく、生体内外からの様々な環境情報入力<sup>1</sup>が全身生理機能に与える影響とそのメカニズム・ネットワークを解明する研究や、それらを活かしてマルチモーダルな感覚情報を統合的に理解し、生体センサーフュージョンを実現するための技術開発を推進します。また、マルチセンシングメカニズムを可視化、操作、伝送、提示するための基盤・応用技術の創出も目指します。加えて、ヒトには本来備わっていない多彩なセンシング能力(多様な生物が進化の過程で獲得した能力や、現代科学技術が可能にした能力など)を解明し、ヒトのセンシングシステムの新たな理解の切り口とし、これらを活用可能とする原理や有用なデバイスの開発を推進します。

## (2) 研究総括

入来 篤史 (理化学研究所 生命機能科学研究センター チームリーダー)

## 研究領域 2「生体多感覚システム」(さきがけ)

### (1) 研究領域の概要

生体内では、インプットされた外的・内的な刺激はさまざまな感覚受容器で特殊感覚・内臓感覚・体性感覚などの感覚情報として符号化され、電気信号に変換されたのち、末梢神経を経て中枢神経に伝達されます。本研究領域は、そのような多様な生体感覚と末梢神経のネットワークを統合した生体多感覚システムの包括的な解明を目指します。

生体における感覚研究は、特に視覚や聴覚の解析が他の感覚解析に先立つ形で研究が進展しました。近年、シングルセルオミクス解析技術やタンパク質の機能・構造解析の進展により、味覚や嗅覚に関する新規受容体が同定され、その作動原理が明らかになるなど、他の感覚についても徐々に新しい知見が得られはじめています。一方で、これまでの感覚研究はそれぞれの感覚に特化する形で進められてきており、異なる感覚間の協調など、感覚システムを統合したメカニズムといった観点からは十分に解析されていません。また近年、情報科学や工学デバイスなどの発展に伴い、それらを生体に対して適用することで、新たな生体センシング機能も解明されつつあります。このような生体多感覚システムの解明に加えて、仮想現実や拡張現実<sup>2</sup>に代表される ICT 技術の飛躍的な進展に伴い、生体感覚の研究でこれまで得られた知見を ICT 技術などと融合し、ヒトの持つセンシング機能の拡張や感性の向上に資する技術についても、学術的・産業的重要性が高まっています。

以上を踏まえ、本研究領域では生命活動における生体多感覚システムの機能解明とその機能や作動原理を応用した技術開発を推進します。

## (2) 研究総括

神崎 亮平 (東京大学先端科学技術研究センター 所長 / 教授)

## [2] 研究領域選定及び研究総括等指定の理由

研究領域 1 「生体マルチセンシングシステムの究明と活用技術の創出」(CREST)

研究領域 2 「生体多感覚システム」(さきがけ)

### (1) 研究領域選定の理由

本戦略目標では、生体感覚システム・末梢神経ネットワークを包括したマルチセンシングシステムの統合的な理解と、その可視化・制御法の開発を目指す。

研究領域 1 は、感覚生理学・分子細胞生物学・神経科学などのライフサイエンス分野を超えて、電子/機械工学・情報/数理科学・認知/心理学などを多岐に横断する大規模な異分野融合を推進します。これにより多種感覚受容システムおよび末梢神経ネットワークを総合して「生体マルチセンシングシステム」として機能する

動作原理を解明し、それを日常生活に実装するための基盤・応用技術を創出する。すなわち本プログラムは、これまでの感覚器・末梢神経研究の延長線上にはない新概念の研究パラダイムを構築して、免疫系や代謝系などを含む多様な生体システムとの相互連関をも包括する新たなセンシング研究分野を創出するもので、人間の感覚世界を豊かに健やかにし、そしてさらに広げるための次の一步を踏み出しイノベーションを引き起こすことを目指す。

そのためには、生物学・工学・情報科学・認知科学などの広範な分野に関わる学問・技術分野の融合が必要であり、研究推進体制として複数分野の研究者からなるチーム編成が可能な CREST 事業を選定することは適切であり、優れた研究提案が多数見込まれる。

また、本領域は同戦略目標の下、JST において新規に設置されるさきがけ研究領域のみならず、同じく同戦略目標の下、国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)にて実施される AMED-CREST および PRIME との連携を見込んでいる。これまで融合研究の経験がない研究者も歓迎し、異分野の研究者らがオープンなマインドで積極的に交流できる場を構築し、融合的な研究が推進できるように設定されている。

研究領域 2 は、生体内の感覚システムや、感覚器間の協調関係を明らかにし、多様な生体感覚と末梢神経ネットワークを統合した生体多感覚システムの包括的な解明を目的としている。その解明のために、基盤計測技術や、大規模データの解析手法の開発も行う。そして、生体多感覚システムの機能や動作原理を応用した技術を創出することを目指している。具体的には、以下の4つの達成目標を設定している。

ア 生体多感覚システムの受容・処理・動作機構の解明

イ 生体多感覚システムの計測・制御等の基盤技術開発

ウ 感覚ネットワーク機構の解明

エ 生体多感覚システムを活用した人に資する応用技術開発

ア・ウでは基礎生物学・医学等の知見に基づく機能解明が、イでは生物物理学や工学を用いた技術開発が、エではア～ウで得られた知見を活かした異分野融合による研究開発が見込まれる。さらに、本研究領域は、マルチセンシング研究における解析技術を主軸とした研究開発を推奨することから、研究領域1で行われる研究の技術基盤提供に位置づけられる、領域設定となっており、両研究領域が相補に連携することで、マルチセンシングにおける機能解析-技術基盤間の構築が期待されることから、さきがけ事業を選定することは適切である。

以上を総合すると、これらの2領域は互いに連携し、それぞれで得られた知見や技術を共有することで、それぞれが効率的に戦略目標の達成に貢献できるように設計されており、異分野の研究者の参画による野心的かつ先進的な研究提案が多数見込まれると考えられる。

また、これら JST で立ち上げる 2 領域と AMED で立ち上げられる領域との連携を強化し、一体的に運営するにあたり、これらを俯瞰する研究領域統括(PS)を設定することは効果的と考えられる。

## (2) 研究総括等指定の理由

### 研究領域統括 永井 良三

この度、文部科学省として初めて1つの戦略目標の下で、JST と AMED にて4つのプログラム(3つの領域)が立ち上げられ、研究領域統括にはその 4 プログラムを束ねる方向性を示し、4 人の PO を取りまとめ、プログラム間・研究課題間の連携を推進していくことが求められている。

永井良三氏は、循環器内科が専門であり、長年に亘り基礎研究から臨床までヒトの全身に関わる研究を推進し、その研究実績が高く評価され、これまでに国内外で多数の著名な賞を受賞している。また、多くの学会での会長職を務めてきていることが示すように、研究者コミュニティでの人望及び人脈があり、そのマネジメントの手腕やリーダーシップに定評がある。さらに、文部科学省ライフサイエンス部会の主査をはじめとして、複数の政府の審議会委員及び宮内庁皇室医務主管を務めるなど、政府内での信頼も厚い。永井氏は AMED-CREST 「恒常性」研究領域(当初は JST-CREST。その後 AMED に移管)のプログラムスーパーバイザー(PS)を務めた経験も有し、JST と AMED のプログラム運営の手法にも精通している。

以上より、同氏は優れた研究業績及び研究者コミュニティからの人望、ならびに本研究領域に係る広範かつ俯瞰的な視野を持っていることに加え、2 法人の 4 プログラムを統括するに十分なマネジメント経験を有していることから、研究領域統括として適任であると判断される。

### 研究総括 入来 篤史

入来 篤史氏は、神経生理学的解析を軸として、多種多彩な先端技術を動員して得られたデータの複雑系数理解析などを駆使した研究を行っており、デジタル脳構造画像解析技術(VBM)を用いて、難易度の高い訓練を達成するほど、報酬ややる気に関わる脳部位の体積増加が起こることを発見するなど、多種感覚とその統合機能を中心とした優れた研究成果を挙げている。そして、これらの成果による新概念の人間進化論を提案し、それに基づいて科学研究費補助金の新学術領域研究が創設されている。さらに、心-身相関の観点から脳神経と全身臓器との機能的関連性などヒトの全身について幅広い知見があり、研究範囲が広い本領域の研究を見られる専門性および総括に求められる先見性および洞察力を有している。

また、ロンドン大学の客員教授やカナダ高等研究所のフェロー、International Council for Laboratory Animal Science の Vice President を務めるなど、日本のみならず複数の国の大学や国際協会の職にも就いており、多くの研究者を牽引する強いリーダーシップにくわえて国際的な視点・見地も兼ね備えている。

以上より、同氏は優れた研究業績や豊富な研究マネジメント経験のほか、広範かつ俯瞰的な視野を有し、研究者コミュニティからの信頼も厚い。よって広範囲の研究開発を対象としたマネジメントが必要となる研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

### 研究総括 神崎 亮平

神崎 亮平氏は、感覚入力から行動発現にいたる神経回路の解明を研究テーマとして掲げ、カイコガの匂い源探索行動をモデルとして、神経回路を構成する個々の神経細胞から実際の行動までの機構を分子遺伝学・神経生理学・イメージング・行動学、さらにロボティクスなど様々な手法を用いて解析を行っている。これまでの研究により、一見複雑なカイコガの匂い源探索行動が、プログラム化されたパターンから構成されていること、そしてそれらの行動を司る神経回路を神経細胞のレベルで明らかにしてきた。神経生理学だけでなく、スーパーコンピュータ(京、富岳)を用いた全脳シミュレーションやロボット操作、デバイス開発など新しい手法を用いて意欲的に研究を進めるなど、幅広い知見と手法を持っていることから、多様な研究者を統括・評価する総括にふさわしい。

以上により、同氏は本研究領域における高い先見性や洞察力が認められ、これまでに日本味と匂学会中西賞や日本比較生理生化学会賞、ミラノビコッカ大学から名誉学位などを受賞している。さらに同氏は、日本比較生理生化学会の学会長、東京大学先端科学技術研究センター所長などの経験を通して関連分野の研究者から広く信頼されている。同研究所の運営において高い研究マネジメント能力を発揮するとともに、さきがけ領域アドバイザー等の経験もあることから、研究提案に対する審査では公正な評価ができると考える。また、同研究所は数多くの若手研究者をリクルートし、その中から複数の独立 PI が輩出されているなど、若手研究者の育成にも優れている。

以上を総合すると、同氏は本さきがけ研究領域について適切な研究マネジメントを行う経験・能力を有していると認められ、研究領域2の研究総括として適任であると判断される。

### 3-8 次の戦略目標の下に設定した研究領域

- ・「総合知」で築くポストコロナ社会の技術基盤
- ・情報担体と新デバイス
- ・次世代IoTの戦略的活用を支える基盤技術
- ・ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化
- ・微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明、新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出
- ・情報デバイスの超低消費電力化や多機能化の実現に向けた、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術等の融合による革新的基盤技術の創成

## [1] 研究領域の概要及び研究総括

### 研究領域1 「リアル空間を強靱にするハードウェアの未来」 (ACT-X)

#### (1) 研究領域の概要

第5期科学技術基本計画で提唱された「Society 5.0」は、サイバー空間とリアル空間の融合によって、持続的かつ強靱な「人間中心の社会」を創り上げるとともに、科学技術とそれがもたらすイノベーションの力によって、我々が直面する難局や迫りくる社会的課題を乗り越えるための理念です。その後、新型コロナウイルス感染症の困難が訪れ、感染症や災害等による社会変化への対応力強化が必要になり、同時に、カーボンニュートラルの実現への取り組みが待ったなしの状況になり、この理念を強靱社会「Society 5.x」としてより発展的に掲げていく必要が出てきました。

前述のように、「Society 5.0」は、サイバー空間とリアル空間の融合によって実現していくものです。近年、デジタル技術やAI技術が注目され、サイバー空間に関する研究開発や研究/技術者教育が強化されてきました。しかし、長期的な社会目標の達成には、リアル空間側でも同じような研究教育の強化が必要であることは言うまでもありません。そこで、本研究領域では、将来の強靱社会を構成するリアル側の技術、より具体的には、ハードウェア、デバイス、モジュールなどと言われる「もの」に関する先進的かつ挑戦的なアイデアを持つ若手研究者を支援します。

研究推進にあたっては、研究者育成の観点を重視し、異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、未来に貢献する先端研究を推進する研究者の育成、および将来の連携につながる幅広い人的ネットワークの構築をはかります。

#### (2) 研究総括

田中 秀治 (東北大学 大学院工学研究科 ロボティクス専攻 教授)

## [2] 研究領域選定及び研究総括指定の理由

### 研究領域1 「リアル空間を強靱にするハードウェアの未来」 (ACT-X)



## (1) 研究領域選定の理由

統合イノベーション戦略2020や戦略目標「総合知」で築くポストコロナ社会の技術基盤」で述べられている通り、感染症や災害等のような厄災による社会変化に対応しながら経済社会活動を維持・発展させていくための革新的な技術シーズの創出が求められている。社会変化を引き起こすような厄災に対抗し、経済社会活動を維持・発展させていくためには、その活動の基盤であるリアル空間の守りと進化、すなわち、リアル空間の強靱化が必要である。そのために創出される技術シーズは、リアル空間で展開され、活用されるものである。従って、リアル空間に直接関わり、それを支えるデバイス・システムを中心としたハードウェアが技術分野として注目される。創出された技術シーズに基づくハードウェアがリアル空間を強靱化すれば、強靱社会 (Society 5. x) の実現に近づくことができる。他の戦略目標「情報担体と新デバイス」、「次世代IoTの戦略的活用を支える基盤技術」、「情報デバイスの超低消費電力化や多機能化の実現に向けた、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術等の融合による革新的基盤技術の創成」、「ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化」、「微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明、新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出」もハードウェアが基盤技術として密接に関わっており、デバイス・システムを中心としたハードウェアを研究領域として選定することは戦略目標の達成に対し、ACT-X事業である研究領域として適切に設定されている。

求められる技術シーズを創出し続けていくためには、人材を育成し、若手研究者を輩出する必要がある。そのためにはハードウェアの中核であるデバイス・システムに係る多様な分野で挑戦的なアイデアを持つ若手研究者を支援することが重要である。そして、若手研究者が研究者として成長し、個の確立を達成することによって、優れたアイデアが技術シーズにつながり、ハードウェアの実現を通して、リアル空間の強靱化に展開されていくことが期待できる。若手研究者の発掘と育成という観点に立つことによって、性別を問わず大学院生や企業・地方大学からの積極的な応募が期待され、実用化重視ではなく、優れた研究へのチャレンジを通じて人材が育成される。そして、幅広い専門分野からの多様な若手研究者が集うことによって、強靱社会 (Society 5. x) の実現を支える研究者ネットワークの形成につながることも期待できる。理工学以外の研究者、例えば、社会科学、芸術・デザイン等の研究者からの研究提案も取り入れ、更には大学院生を含んだ多様な若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、異なるバックグラウンドを基盤とする研究の重要性を理解し、自身の研究に還元することが出来る研究人材の育成も目的とし、人材育成の観点からも ACT-X 事業である本研究領域の趣旨に見合った領域設定であると言える。

以上を総合すると、本研究領域は複数の戦略目標の達成と同時に、それらの枠を越えた新たな価値が創造されるような研究課題が推進されると期待され、また、従来の文系・理系の観念にとらわれない研究を推進する多様な若手研究者からの独創的・挑戦的な研究提案が多数見込まれると判断でき、ACT-X の研究領域として適切に設定されている。

## (2) 研究総括指定の理由

### 研究総括 田中 秀治 (ACT-X)

田中秀治氏は、半導体微細加工技術を発展させた MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 分野の研究者である。その研究分野はセンサー、アクチュエーター、発電機、燃料電池応用と幅広く、また、その集積化、パッケージング、微細加工装置、システム化にも注力し、産学連携による実用化においても実績がある。MEMS 分野で確立した技術に留まることなく、機能材料応用、集積回路との一体化、ナノテクノロジーやバイオ分野への応用研究にも取り組まれている。そのように、微細加工技術を基盤としたハードウェアの研究開発を主導し、研究成果を上げられているだけでなく、人間共生ロボット等への展開を始め、リアル社会へのハードウェア導入にも努力されている。それらの功績から日本機械学会のみならず、IEEE でもフェローとして認定されており、学術業績は原著論文 220 件、国際会議プロシーディングス 320 件、解説・総説 150 件 (うち日経 xTECH70 件程度) を数える。以上から、ハードウェアの研究において幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有していると認められる。

また、同氏は所属する東北大学の微細加工ラインである大学院工学研究科のマイクロ・ナノマシニング研究教育センターや西澤潤一記念研究センターの装置群の管理や教育や試作を通じ、学生のみなら

ず、後進の研究者や産学連携を通じた企業への指導を行うだけでなく、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業」への協力によって、日本の MEMS 技術の進展にも寄与しており、運営マネジメントの実績があり、領域運営や ACT-X 事業の目的である若手人材の育成においても適切に実施する能力を有していると認められる。

顕著な業績のため、先に示した IEEE や日本機械学会のフェロー認定のみならず、German Innovation Award, Gottfried Wagener Prize や日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門 部門賞 研究功績賞を受賞しており、学会の General Chair (IEEE NEMS) や Editor (IEEE Journal of Microelectromechanical Systems) を務める等、関連分野を中心に国内外の研究者から信頼を得ていると同時に、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

(別添資料1)

# 戦略目標

### 令和3年度 戦略目標

- 資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御
- 複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化
- Society 5.0時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術
- 『バイオ DX』による科学的発見の追究
- 元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓
- 「総合知」で築くポストコロナ社会の技術基盤
- ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明

### 令和2年度 戦略目標

- 情報担体と新デバイス

### 平成31年度 戦略目標

- 次世代IoTの戦略的活用を支える基盤技術

### 平成29年度 戦略目標

- ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化

### 平成27年度 戦略目標

- 微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明、新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出

### 平成25年度 戦略目標

- 情報デバイスの超低消費電力化や多機能化の実現に向けた、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術等の融合による革新的基盤技術の創成

## 令和3年度戦略目標

### 1. 目標名

資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御

### 2. 概要

材料の使い捨てから再利用へのシフトに関心が高まっており、使用後に原料などへ分解できる材料の開発が望まれている。本戦略目標では、材料における結合制御法の開発や、それにより寿命を自在に制御できる材料の開発、さらには高機能を発現する材料階層構造の分解制御に関する研究を通じて、結合・分解の精密制御を達成し、安定性と分解性の自在制御を可能にするサステイナブル材料を開発することを目的とする。持続可能な循環型社会の実現に不可欠な「分解の科学」を分子レベルからマクロレベルまで多階層的に理解し、学問的に体系化することを目指す。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、結合活性化法・結合制御法の開発や材料の階層構造制御を通して、資源循環を実現するためのサステイナブル材料の開発を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 結合活性化法・結合制御法の開発
- (2) 寿命を制御できるサステイナブル材料の設計
- (3) 材料分解のための階層構造制御

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3.「達成目標」の実現を通じ、材料の安定性と分解性を制御するための結合活性化法や階層構造制御法を見出し、分子レベルからマクロレベルまでのマルチスケールでの「分解の科学」の理解と新たな学理の構築を通じて、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・材料の使い捨てから再利用へシフトし、地球環境負荷を低減することにより、豊かな生活と自然の豊かさを両立させる持続可能な社会
- ・材料の寿命を任意に制御する技術を開発することにより、省資源化や資源の回収・分離・再生技術力を備えた循環型社会

### 5. 具体的な研究例

#### (1) 結合活性化法・結合制御法の開発

安定結合を活性化する手法や結合形成・開裂を自在に制御する技術など、サステイナブル材料開発に資する結合制御法を開発する。

- ・炭素-炭素結合などの安定結合を活性化し、選択的に結合切断できる触媒反応の開発
- ・外部刺激等により有機・無機化合物における結合形成・開裂を自在に制御する技術の開発

#### (2) 寿命を制御できるサステイナブル材料の設計

種々の制御可能な結合を導入した材料を設計し、安定性と分解性を兼ね備えたサステイナブル材料を開発する。

- ・分解性セグメントを導入した材料の設計・合成及び分解挙動評価
- ・自在に制御できる結合を組み込むことにより必要なタイミングで必要なレベルまで分解できる材料の開発

#### (3) 材料分解のための階層構造制御

ヘテロ界面や接着界面において結合・分解を精密に制御可能な階層構造をデザインしたサステイナブル材料を開発する。

- ・無機フィラーと分解性樹脂からなる複合材料の分解を可能にする界面設計
- ・マルチスケールな「分解の科学」の学理構築と機能材料創製

## 6. 国内外の研究動向

日本は材料創製、有機合成などの結合形成のための科学は伝統的に強く、関連する戦略目標や科学研究費助成事業の新学術領域研究（研究領域提案型）が展開され、関連分野の知見が蓄積されている。国外では材料の循環に資する研究が注目を集めているが、原子・分子レベルから階層構造まで着目している本戦略目標のような全体での取組はない。我が国の強みを活かして本戦略目標を推進する絶好のタイミングである。

### （国内動向）

平成 27 年度新学術領域研究「精密制御反応場」、平成 27 年度戦略目標「多様な天然炭素資源を活用する革新的触媒の創製」、平成 30 年度戦略目標「持続可能な社会の実現に資する新たな生産プロセス構築のための革新的反応技術の創出」など、本戦略目標に関連する結合形成に関する研究が実施され、知見が蓄積されている。

また、平成 24 年度戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計「分子技術」の構築」、平成 25 年度戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」、平成 30 年度新学術領域研究「ミルフィーユ構造の材料科学」、令和 2 年度戦略目標「自在配列と機能」において、材料の階層構造制御が可能な材料が生み出されている。これらの知見を「分解」の観点から見直すことで本戦略目標の達成に貢献できると考えられる。

資源循環の社会ニーズからのバックキャスト型研究として、平成 29 年度未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」、令和元年度未来社会創造事業「低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製」、令和 2 年度ムーンショット目標「2050 年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」などにおいて研究開発が開始されている。本戦略目標ではシーズに基づく基礎科学の立場で研究を進めるが、将来の社会像としては共通しており、領域・事業間の情報共有によって本戦略目標の達成に近づくと期待される。

### （国外動向）

米国では、DOE（エネルギー省）が令和元年 11 月に「Plastics Innovation Challenge」の開始を発表し、令和 2 年 2 月に DOE と ACC（米国化学工業協会）でプラスチックリサイクル技術開発の協力覚書を締結した。同年 3 月より、プラスチックリサイクルの研究開発プログラム BOTTLE を開始した。同年 7 月には、DOE エネルギーフロンティア研究センター下にアップサイクリング（高付加価値物質への転換）に焦点を当てた科学研究に取り組む研究所を設立した。NSF（国立科学財団）の申請研究領域では、解重合を標的とした領域が設定された。

欧州では、平成 26 年～令和 2 年にかけての研究開発枠組みプログラム「Horizon 2020」において、EIT（欧州イノベーション・技術機構）の資金提供の下、産学官コンソーシアム EIT Raw Materials が研究開発、教育、起業育成等を推進してきた（イノベーション領域として探査、採鉱、プロセッシング、代替、リサイクル、循環経済の 6 つを設定）。

令和元年の国際化学サミット白書「Science to Enable Sustainable Plastics」によると、今後重要となる挑戦的研究課題として「新しい持続可能なプラスチックの開発」や「循環型プラスチックリサイクル」などが挙げられ、同分野の国際的な注目度が高まっている。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

- （1）科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、

注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

(2) 上記アンケートの結果及び JST-CRDS で行われた「俯瞰ワークショップ ナノテクノロジー・材料分野 区分別分科会「機能と物質の設計・制御～材料科学の未来戦略～」」等を参考にして分析を進めた結果、材料循環を実現するためのサステナブル材料の開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「材料循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」を特定した。

(3) 令和元年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行った。そこでの議論を踏まえ検討を進めた。

(4) さらに、「イノベーション政策強化推進のための有識者会議「マテリアル戦略」」において、リサイクルとカーボンニュートラルの両立に向けた基盤技術の開発と実装に向けての議論が行われ、リユース・リサイクルを前提とした材料・製品設計技術（マルチマテリアル、接着、内容物の分離、印刷、劣化抑制等）と主要金属や希少金属の国内での最大限の資源循環に向けたリサイクル技術の開発・実装の重要性に関して、内閣府・経済産業省とも共通の認識が得られたことを踏まえて、本戦略目標の策定に至った。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第 5 期科学技術基本計画」（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）

第 2 章（3）〈2〉 ii) 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

・革新的な構造材料や新機能材料など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「素材・ナノテクノロジー」

第 3 章（1）① ii) 資源の安定的な確保と循環的な利用

・省資源化技術や代替素材技術、環境負荷の低い原料精製技術、資源の回収・分離・再生技術の研究開発を推進

「ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略」（平成 30 年 8 月ナノテクノロジー・材料科学技術委員会策定）

4（1）ii) 戦略的・持続的に取組を進めるべき研究領域

・分子技術：（前略）「分子技術」による物質・材料開発へのブレークスルーを志向して、新たな視点を加味しながら推進し続けることが重要である。

・革新的な分離技術を生み出すマテリアル：（前略）分離の鍵を握るマテリアルの研究開発は、引き続き進めていくべき重要な研究領域である。

「統合イノベーション戦略 2020」（令和 2 年 7 月 17 日閣議決定）

第 5 章 戦略的に取り組むべき基盤技術

（4）マテリアル

○マテリアルの知が高確率でスピード感を持って実装され、AI、バイオ、量子技術、環境といった重要政府戦略の実現の加速や、国内外の重要課題の解決に貢献するとともに、我が国発のマテリアルから新しい価値、研究領域、産業領域が創出されることを実現

○我が国の強みをいかした循環経済の実現に向けて、資源循環に関する情報プラットフォーム構築などデジタル技術等を活用した革新的な資源循環ビジネスの創生・普及、代替素材、次世代リサイクル等の革新技術の研究開発や実証・社会実装等に取り組む。

「第 3 回イノベーション政策強化推進のための有識者会議 「マテリアル戦略」 中間論点整理（令和 2 年 12 月 18 日）」



## ② 本質研究の追及

＜フォアキャスト型で取り組むべき技術領域の例＞

- ✓ これまでの材料開発で探索されていない多元素系、複合系、準安定相といった未踏領域を対象とし、計測、計算、プロセス、データ駆動といった技術革新を用いた新機能材料開発

## 9. その他

本戦略目標は、将来の循環社会を見据えた基礎研究という位置付けであり、精緻なサイエンスに基づく画期的な反応・材料設計・機能材料創製を視野に入れていることから、産業界からの注目度が極めて高い。結合制御法に関連して、日本化学会や有機合成化学協会などの学協会において大きなコミュニティが形成されており、本戦略目標においても多くの提案が期待される。また、高分子学会や日本 MRS などの学会では持続可能なプラスチックに関連する研究会やシンポジウムが活発に行われており、本戦略目標の実現に向けたコミュニティ間の融合研究が期待される。加えて、無機材料や複合材料分野においても寿命を制御したサステナブル材料の開発とリサイクル手法に関して注目が集まっている。これらの分野の研究者が連携し、基礎研究をベースにした研究を展開することで、本戦略目標におけるブレークスルーが期待される。

本戦略目標ではシーズに基づく基礎科学の立場で研究を進めるが、社会ニーズからのバックキャスト型研究である未来社会創造事業、ムーンショット目標と将来の社会像としては共通しており、本戦略目標の実現には、緊密な連携が求められる。

## 令和3年度戦略目標

### 1. 目標名

複雑な輸送・移動現象の統合的理解と予測・制御の高度化

### 2. 概要

運動量・熱・物質の輸送・移動は、環境中や生体内の対流ないし拡散など、私たちの身の回りのあらゆるところで生じる動的な現象である。これらはエネルギー、環境、医療、ものづくり、防災・減災など幅広い分野に関係しているが、現状では、その現象の理解、予測、制御は初期条件や境界条件等を限定した比較的単純なものにとどまっている。一方、データ駆動科学の隆盛や産業ニーズを背景に、より複雑な輸送・移動現象の詳細な計測や解析、それに基づく現象解明を進め、高度な予測・制御につなげていくことへの機運・期待が高まっている。

そこで本戦略目標では、実験的研究、数学的理論研究、数値計算的研究を組み合わせる統合的に推進することで、従来の演繹的方法論だけではなく帰納的方法論も取り入れた新たな視点や横断的な研究から複雑な輸送・移動現象の解明を進め、予測や制御の高度化を目指す。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、数値計算、物理化学的な法則、数理的な構造などを用いて複雑な輸送・移動現象の解明を進め、それらを様々な輸送・移動現象の予測や制御の高度化に繋げていくことを目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 複雑な輸送・移動現象の原理解明とその手法開発
- (2) 複雑な輸送・移動現象のモデル・予測の高度化
- (3) 複雑な輸送・移動現象の制御方法の創出

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

複雑な輸送・移動現象の解明に向けた新手法開発や流体科学・化学・物理学・生物学・応用数学等各分野で開発された要素技術の融合等により、異分野に共通する課題や様々な物質等の流れを軸とした現象を明らかにし、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・カーボンニュートラル・脱炭素を支える、輸送・移動現象の理解・制御によりエネルギーの高効率化等を可能とする社会
- ・気候・気象等の予測精度向上により防災・減災が可能となる、安全・安心な社会
- ・環境、物質、生体等、広義の輸送・移動現象を高精度で計測・予測できる社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 複雑な輸送・移動現象の原理解明とその手法開発

複雑な輸送・移動現象の原理を解明するためのシミュレーション技術や輸送・移動現象の計測方法等の基盤技術を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・機械学習や深層学習を用いた輸送・移動現象のシミュレーション技術の開発
- ・機械学習等で得られた解と数理科学的な観点を融合した、輸送・移動現象の理論の構築及びそのための手法開発
- ・非接触かつ非定常な流体応力場の計測手法の開発

- (2) 複雑な輸送・移動現象のモデル・予測の高度化

各現象モデル・予測を高度化するための技術開発や、各現象の共通性を見だしモデル化などを行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・シミュレーションにおける不確かさの評価・低減
- ・感染症と換気・ろ過の関係の解明（数理モデル化）
- ・鉛直渦管構造メカニズム解明による雲解像モデルの高度化

### (3) 複雑な輸送・移動現象の制御方法の創出

これまで解析・予測が困難であった輸送・移動現象の原理解明・計測手法の発展に基づいた革新的な制御技術の開発を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・不確かさを許容した制御系の構築
- ・複雑な輸送・移動現象の特性を理解し所望の流れをつくり出す制御方法の開発

## 6. 国内外の研究動向

運動量・熱・物質の輸送現象の本質的な理解を深めることで、運動量輸送、熱物質輸送、化学反応など、現象のモデルや予測の高度化が可能となり、様々な社会課題解決の鍵としての役割を果たすことができる。以下の国内動向からもわかるように、基盤となるツール（計算流体力学・計測/実験流体力学・大型計算機）の進歩によってより高度で複雑な輸送・移動現象解明へのアプローチが可能となってきた。

### (国内動向)

平成 23 年度戦略目標「エネルギー利用の飛躍的な高効率化実現のための相界面現象の解明や高機能界面創成等の基盤技術の創出」、平成 25 年度戦略目標「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」、平成 28 年度戦略目標「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」、平成 31 年度戦略目標「数理学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」等に基づく CREST・さきがけの関連プロジェクトにより、ビッグデータ利用に向けた基盤技術、計測分析技術、数理流体分野の研究が実施されており、複雑な流れ現象を取り扱うための基盤が整備され、現象解明へのアプローチが可能となってきている。

### (国外動向)

アメリカ物理学会 (APS) 流体力学部門 (DFD) 年会では、令和元年には「乱流のデータ駆動型および機械学習手法の最近の進歩」が、令和 2 年には「実験および計算流体力学における深層学習」がフォーカスセッションとして設けられ、注目を集めている

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

(1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

(2) 上記アンケートの結果及び JST-CRDS 調査報告書「環境・エネルギー分野における非連続的なイノベーションを支える工学研究基盤強化」等を参考にして分析を進めた結果、物質の移動、流体原理の解明は、エネルギー効率の高い社会の実現、感染症対策、気象予報など様々な出口が想定できる基盤的な知見であり重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「複雑な流れ現象の解明と統合的制御」を特定した。

(3) 令和 2 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、対象とすべき研究テーマ、国内外の動向、研究成果や将来の社会的・経済的に与え得るインパクト、研究の推進体制等について議論を行い、ワーク

シヨップにおける議論や有識者へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「革新的環境イノベーション戦略」（令和2年1月12日統合イノベーション戦略推進会議決定）  
カーボンニュートラルを可能とする革新的技術確立に向けて16の技術課題を設定しており、  
その中でも本研究動向は以下の3つの技術課題を支える基盤技術と位置付けられる。

1. 再生可能エネルギーを主力電源に
6. 多様なアプローチによるグリーンモビリティの確立
12. GHG削減効果の検証に貢献する科学的知見の充実

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和2年12月25日）

14の重要分野のうち、水素、蓄電池、カーボンリサイクル、洋上風力等における技術確立と  
社会実装を加速していく必要があり、その基盤となる技術を創出する本研究動向の重要性が増  
している。

「AI戦略2019」（令和元年6月統合イノベーション戦略推進会議決定）

研究開発の現場でのAIの品質確保や新たな工学的アプローチ、分野融合的アプローチが不  
可欠としており、本研究動向における流体分野の機械学習等を推進することで本戦略の推進に  
寄与することが見込まれる。

## 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、国内では、平成31年度に発足したCREST「数学・数理科学  
と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開」、平成29年度  
に発足したCREST「実験と理論・計算・データ科学を融合した材料開発の革新」や「ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出」、平成28年度に発足したCREST／さきがけ「計測  
技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」などの領域に  
おいて、情報科学・統計数理を高度に融合した技術研究が推進されている。複雑な流れ現象を対  
象とする本戦略目標が、これらを含む関連の領域の基盤として知見をフィードバックする等、連  
携して研究を推進することによって、効果的に技術シーズを創出することが望まれる。

欧州や米国新政権でも、産学が連携して脱炭素化の取組を加速しているが、日本国内の流体力  
学分野は数値解析手法の開発、大規模数値解析技術やデータ同化技術に強みを有しており、基礎  
研究から、製品化、事業化を担う企業までプレイヤーが国内に存在し、産業競争力強化が可能で  
ある。また、このような日本の強みを活かした国際研究を戦略的に進め、相手国の強みを学ぶこ  
とも重要である。

## 令和3年度戦略目標

### 1. 目標名

Society 5.0時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術

### 2. 概要

我が国が提唱する Society 5.0 が目指す社会は、人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すデータ駆動社会である。データ駆動社会では自由なデータ流通と個人情報保護を両立する枠組みを実装することが求められる。これを実現するため、我が国においては、デジタル庁設置に向けた基本的考え方等を示した「デジタル社会の実現に向けた改革の基本方針（令和2年12月25日閣議決定）」において、日本が抱えてきた多くの課題の解決と今後の経済成長のため、社会経済活動全般のデジタル化、言わば社会全体のデジタル・トランスフォーメーションを推進することが謳われている。

一方で、新型コロナウイルス感染症拡大を踏まえ、Society 5.0 の実現に向けては社会のデジタル化が一層飛躍的に進み、機密情報やプライバシーを侵害する可能性のある様々なデータがパブリッククラウド等の上に置かれることが想定される。そのため、きめ細かいセキュリティ要件とプライバシー保護を担保したデータの流通、情報処理が可能となる「Security-by-Design」かつ「Privacy-by-Design」な基盤ソフトウェアを、様々な実行環境からなるハイブリッドなハードウェアや OS 上で安心・安全にかつ信頼をもって動作させることができる環境を構築することが急務である。

また、近年報告されているハードウェアや OS の新たな脆弱性は、これを海外技術に依存している我が国においては深刻な課題になっている。計算環境は変化し続けているため、従来のような個別の対応では対処しきれない。システム全体を by-Design の観点で捉えた研究開発や安心・安全で信頼できる国産システムソフトウェアの整備が必須である。

そのため本戦略目標では、理論（数学や計算機科学の基礎）とシステム基盤技術（アルゴリズム・デバイス・アーキテクチャ・OS・ミドルウェア等）の研究者の連携により、科学技術・イノベーションの源泉である研究力を質・量ともに向上させ国際競争力を高める。さらに、これらを通して、by-Design に資する人材を育成する。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、基礎理論分野とシステム基盤技術分野を横断的に融合・統合する研究開発の推進により、Society 5.0 時代の安心・安全・信頼を支える革新的な基盤ソフトウェアの創出を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 信頼できないハードウェアや OS を含む計算環境で安全なシステムを構築可能とするセキュリティ技術の創出
- (2) オープンな環境でもプライバシーを確保するデータ収集・解析技術の創出
- (3) データの自由な流通と個人情報の安全性確保を両立するシステム実装技術の確立

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」の実現を通じ、強靱かつ柔軟な基盤ソフトウェアによって持続的な社会・経済構造を支え、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・データ駆動により様々な社会課題を解決し、より人間的で幸福な社会（Society 5.0）
- ・人々の行動が制限されても、国民の生活や経済活動に大きな影響なく、速やかに復旧できる社会
- ・プライバシーの侵害やセキュリティの不安なくデータの活用があらゆる場面で享受できる安心・安全で信頼できる社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 信頼できないハードウェアや OS を含む計算環境で安全なシステムを構築可能とするセキュリティ技術の創出
  - ・ OS の権限分散・階層化等による安全性指向コンピュータアーキテクチャ技術
  - ・ 信頼できる隔離実行環境の構築技術（次世代 TEE 等）
  - ・ エッジからクラウドまでの総合的なセキュリティを実現するセキュア OS 技術
  - ・ 安全な実行環境を実現するための形式検証技術
- (2) オープンな環境でもプライバシーを確保するデータ収集・解析技術の創出
  - ・ 準同型暗号やマルチパーティ計算等の秘密計算によるトラスト確保技術
  - ・ 相互に信頼できる範囲や開示レベルを動的に制御可能な分散認証技術
  - ・ 差分プライバシーやローカル差分プライバシーを用いた分散データ収集・解析技術
- (3) データの自由な流通と個人情報の安全性確保を両立するシステム実装技術の確立
  - ・ 様々な実行環境（CPU、OS、仮想化）からなる分散データ処理環境の管理・制御技術
  - ・ セキュリティ・プライバシー処理の高性能実装技術
  - ・ データの真正性証明や来歴保証技術
  - ・ ハードウェアの直接監視によるソフトウェア実行時の異常・攻撃検知

## 6. 国内外の研究動向

### (国内動向)

情報処理学会では、ユーザブルセキュリティ、オープンソースソフトウェアセキュリティ技術等がトレンドになっている。また、データを秘匿したまま解析を行うプライバシー保護データ解析（準同型暗号）や複数の参加者がデータを隔離したまま計算することで秘匿性を担保するマルチパーティ計算の研究が盛んになっている。

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期「ビッグデータ・AI を活用したサイバー空間基盤技術」では、ビッグデータ・AI を活用したサイバー・フィジカル・システムの社会実装を目指し、分野を越えたデータ共有と利活用のための分野間データ連携基盤技術とこれらデータをワンストップで供給する分散型分野間データ連携の促進に係る研究開発を行っている。

また、同「IoT 社会に対応したサイバー・フィジカル・セキュリティ」では、セキュアな Society 5.0 の実現に向けた社会全体の安全・安心の確立を目指し、IoT 機器やサプライチェーンの各要素について、セキュリティ確保とその確認を繰り返し行い信頼のチェーンを構築することで、IoT システム・サービス及びサプライチェーン全体のセキュリティを実現するための研究開発を行っている。

### (国外動向)

IEEE（米国電気電子学会）Micro Top Pick（毎年最重要トピック）では、Security、Safety、Privacy に関する技術が近年毎年選ばれ、重要性が高まっている。また、複数企業で1つのクラウドを共有するマルチテナントや複数のクラウドを組み合わせるマルチクラウド環境で悪意のある特権ソフトウェアやハードウェアへの攻撃からアプリケーションを守る仕組みとして、アーキテクチャレベルで信頼できる隔離実行環境を実現する動きが出てきた。

Google は、高速検索のアルゴリズムやビッグデータ処理基盤、カスタムサーバーやカスタム OS による最先端のデータセンターにてサービスのスケーラビリティと可用性を強化しているほか、独自のセキュリティ対策により外部からの攻撃や転送中のデータを保護している。Amazon は、自らが提供するウェブサービス上に、高度な仮想化基盤とインフラセキュリティを実現している。

欧州においては、令和2年、ネットワーク相互接続、クラウドソリューション、ハイパフォーマンスコンピューティング等の機能を提供するフェデレーション型のプラットフォームを目指す GAIA-X というクラウドプロジェクトを正式に発表した。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

- (1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
- (2) 上記アンケートの結果及び有識者ヒアリング並びに JST-CRDS で行われた「科学技術未来戦略ワークショップ「Society 5.0 システムソフトウェア」」等を参考にして分析を進めた結果、Society 5.0 時代の人々の安心・安全・信頼のためにセキュリティとプライバシーの確保が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「Society 5.0 システムソフトウェア」を特定した。
- (3) 令和2年12月に、文部科学省と JST は共催で、当該研究動向に関係する産学官の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、情報科学の基礎分野を振興することの重要性や産業界、他省庁との連携等について議論を行い、当該議論等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「統合イノベーション戦略 2020」（令和2年7月17日閣議決定）

第Ⅲ部第1章（2）信頼性のある自由なデータ流通の実現及びデータ駆動型社会の社会実装

②目標達成に向けた施策・対応策<信頼性のある自由なデータ流通の実現及びデータ駆動型社会の社会実装>

- 個人情報を含む取扱データの複雑化、高度なセキュリティ、信頼性、エネルギー効率向上等に対応可能な基盤技術を構築するため、Society 5.0 時代の大規模社会システムをターゲットとしたソフトウェアシステムの研究開発を進めるとともに、情報学分野と応用分野との密な連携の下、各種データを基盤とするイノベーション創出を加速する大規模研究プラットフォームの構築を進める。

「デジタル社会の実現に向けた基本方針」（令和2年12月25日閣議決定）

Ⅲ. 3. (3) ⑤安心して参加できるデジタル社会の形成

国民一人ひとりが安心して参加できるデジタル社会を形成するためには、デジタル技術の悪用への対応や、災害時も機能するネットワーク環境が重要である。

このため、サイバーセキュリティ、個人情報の保護、信頼性のある情報の自由かつ安全な流通の確保や、災害対策の促進を図る。

なお、プライバシーやセキュリティの確保を通じて、国民の重要な情報資産を保護し、人々や企業間の信頼を醸成することで、信頼性のある情報の自由かつ安全な流通を確保し、データの国際的な流通を促すことが期待される。

「科学技術・イノベーション基本計画について（答申素案）」（総合科学技術・イノベーション会議、令和3年1月20日）

第2章1. (1) (b) あるべき姿とその実現に向けた方向性

信頼性のあるデータ流通環境の整備、セキュリティやプライバシーの確保、公正なルール等の整備を図ることで、企業によるデータの相互提供・活用、様々な分野で開発・提供される国民の利便性と安全な暮らしを支える利便性の高いサービスを活性化するとともに、多様な人々の社会参画が促され、国内外の社会の発展が加速する。

## 第2章 1. (1) (C) ⑥ デジタル社会の在り方に関する国際社会への貢献

データ流通に関するグローバルな枠組みを構築するため、データ品質、プライバシー、セキュリティ、インフラ等の相互信頼やルール、標準等、国際的なデータ流通を促進する上での課題について、2021年度までに方向性を示し、解決に向けた方策を実行する。

## 第2章 1. (5) (a) 現状認識

スマートシティを支える都市データや都市OSは、限られた者に独占されることなく、セキュリティの確保や個人情報の適切な扱いを前提とした上で、地域住民や新規ビジネス等に対して広く開かれることが必要である。

「サイバーセキュリティ研究・産学官連携戦略ワーキンググループ中間報告」(令和2年11月25日サイバーセキュリティ戦略本部研究開発戦略専門調査会研究・産学官連携戦略WG)

## 第3章 3.2 重点的な研究領域

### [安全・安心な社会基盤]

経済社会の安全・安心な社会基盤を支える研究領域

- ・ デジタルインフラ (IoT、5G、クラウド、都市OS等) セキュリティに係る研究領域
- ・ サプライチェーンセキュリティ研究領域
- ・ データセキュリティ及びプライバシー保護研究領域
- ・ 実装セキュリティ (ハードウェアセキュリティ含む) 研究領域

## 第3章 3.3 取り組むべき研究構想の具体例

### (取り組むべき研究構想の具体例)

- ・ 信頼ある分散型データの活用を実現するセキュリティ基盤技術 (DFFT 関連技術)  
プライバシー等を保護しつつ分散型データを活用するためのセキュリティに関する基盤技術の確立を目指す研究構想

## 9. その他

令和2年度「Society 5.0 システムソフトウェアに関わるワークショップ (主催: JST-CRDS、共催: 国立情報学研究所、情報処理学会、文部科学省)」にて、アカデミアや産業界からの参加を得て、システムソフトウェアに関する議論と研究成果の応用に関する議論を実施し、「理論×システム基盤技術」で安心・安全な Society 5.0 情報基盤を構築するという考え方が導出された。

事業の推進に当たっては、大学や国立研究所のテストベッドの利活用を含む情報研究エコシステムを構築し、若手研究者や学生、民間企業等を巻き込んで先導的な取組に挑戦できる環境を整備し、社会実装を進めることも検討する。

本事業で構築した Society5.0 時代に必要なアプリケーションを支える基盤技術 (セキュリティやプライバシー保護の技術を含む) については、要素技術ごとに、またはパッケージ化して、例えば GitHub 等でオープンソースとして公開・活用促進する社会実装も視野に入れる。

システムソフトウェア領域の基礎研究は、設計段階からバイデザインでセキュリティやプライバシーを組み込むという挑戦的な課題があり、その要素技術であるセキュリティ・プライバシー・トラストは国際的にもデジタル社会における長期的な協調領域であることから、他府省や民間独自ではなく文部科学省で行うことが適当である。アカデミックな基礎研究者と産業界等の実用化研究者の総力を結集して研究開発を実施することで、幅広いシステム基盤技術を俯瞰しイノベーションを創出しうる人材の育成を進めつつ、革新技術創出と技術競争力強化を目指す。



## 令和3年度戦略目標

### 1. 目標名

『バイオ DX』による科学的発見の追究

### 2. 概要

AIによる画像解析、新薬探索、タンパク質三次元構造予測等、AI・ビッグデータの活用を中心としたデジタルトランスフォーメーション（DX）は、生命科学研究の在り方に大きな変革をもたらそうとしている。ヒト等の生命システムは、絶えず変動するオープンな複雑系システムであることから、生命科学研究において、従来の生化学的・分子生物学的研究手法と並び、データ駆動型、AI駆動型の研究手法が必須となりつつある。

我が国では、AIを用いた自動計測装置の開発や、生命科学研究の実験ロボットの開発など、世界を先導する計測・機械化技術を有している。また、自然言語処理技術による既存の領域知識獲得や強化学習を通じた自動仮説生成、能動推論についても研究が進められており、良質・大量データ取得やビッグデータ解析だけでなく、新たな知見の獲得やモデリングの自動化が期待される場所である。これら技術の活用によるデータ駆動型、AI駆動型研究の推進により、生命科学研究の新しいスタンダードを確立できるものと考えられる。

膨大な背景知識やビッグデータの適切な利活用は人間の認識能力や認知バイアスを越えた未知未踏な現象の発見をもたらす大きな可能性を秘めている。本戦略目標では、データ駆動、AI駆動型の生命科学研究の推進により、従来の方法論や人間の認識能力では辿り着かなかった科学的発見を目的とする。加えて、本研究領域の推進により、研究の自動化から研究プロセス全体の自動化・自律化へとつながる礎を築き、研究者が真に創造的な活動に取り組む事のできるニューノーマルな研究環境の創成へとつなげる。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、データ取得の在り方を含めた新しいデータ駆動型・AI駆動型の生命科学研究を推進し、従来の方法論、人間の認識能力では辿り着かなかった科学的発見を目指す。

具体的には、以下の3つの達成を目指す。（※）

- (1) 多様、大量のデータセットから新しい生命現象やその法則の発見
- (2) データ駆動型研究に資する革新的なデータ取得・解析技術の開発
- (3) 仮説生成、推論の自動化等、生命科学現象に関する実験自動化を越えた AI 駆動型研究の手法の確立

※ただし、(2)、(3)は(1)の達成を目的とするものであり、(2)、(3)の技術や手法開発そのもののみを目的とする課題は認めない。

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3.「達成目標」の実現を通じ、複雑な生命システムを解明するとともに、生命科学研究のパラダイムシフトを起こし、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・複雑な生命システムの解明が可能な社会
- ・予防、検査・診断、創薬及び治療技術の効率的な創成が可能な社会
- ・研究者が真に創造的な活動に取り組む事のできる社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 多様、大量のデータセットから新しい生命現象やその法則の発見

自動化機器や高度な分析機器等の活用により、均質、リアルタイム、マルチモーダルなデータを取得し、AIを活用することで、人間によるデータ取得・解析の質的・量的限界を超えて、新たな生命現象の発見とそのモデル化を可能とするための研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・大規模反復試験により、偶然に起こる生命現象をモデル化する研究
- ・細胞や組織の活動を、リアルタイム・自動で計測し、さらには摂動を加える等により、疾病の数理的理解等、生命現象の解明につなげる研究
- ・DBTL [設計 (Design) - 構築 (Build) - 試験 (Test) - 学習 (Learn)] サイクルの自動化・高度化により、細胞内の代謝システムを数理的に理解し、物質生産への応用に資する研究
- ・DMTA [デザイン (Design) - 合成 (Make) - 試験 (Test) - 解析 (Analysis)] サイクルの自動化・高度化により、創薬の新規標的探索等に資する研究

(2) データ駆動型研究に資する革新的なデータ取得・解析技術の開発 (※)

マルチモーダル解析や分析装置の自動化等、均質かつ大量のデータを取得するための革新的技術や実験計画を自動で柔軟に判断し遂行する AI 技術の開発等により、データ駆動型研究の加速に資する基盤技術研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・イメージング情報とオミクス情報の融合解析等により、細胞や組織、個体から非侵襲でリアルタイムのデータ取得を可能とする技術の開発
- ・フロー合成法、インライン分析、ロボット等と AI の組み合わせにより、従来法では実現不可能な化合物合成やアッセイ系構築、予測を可能とする技術の開発
- ・得られた実験データや文献データ等から、次に施行すべき最適な実験条件を導き出す AI 技術の開発

(3) 仮説生成、推論の自動化等、生命科学現象に関する実験自動化を越えた AI 駆動型研究の手法の確立 (※)

生命科学における研究プロセスにおいて、人間の認識能力・バイアスを本質的に越えた発見に向けては、実験データに基づく解釈・モデリングの網羅性及びそれらの妥当性の評価が重要となる。これらのアプローチには様々な AI 技術の開発が不可欠であり、生命科学分野におけるこれまでの膨大な知の蓄積を踏まえた新たな科学的発見の在り方を確立する。具体的には、以下の研究・開発を想定。

- ・自然言語処理技術に基づいた、先行研究からの領域知識の抽出と、それらを利用した研究方針策定を補助するシステムの開発
- ・実験結果の自動解析結果に基づいた、自動仮説生成・能動推論の手法の研究
- ・これらのシステムや手法を研究開発する中で得られる、科学的発見につながるモデルを網羅的に自動評価することが可能となるシステムの開発

※ (2)、(3) は (1) の達成を目的とするものであり、(2)、(3) の技術や手法開発そのもののみを目的とする課題は認めない。

## 6. 国内外の研究動向

### (国内動向)

科学技術振興機構 (JST) が未来社会創造事業「共通基盤」領域において平成 30 年度から実施する「ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速」では、ロボットを活用した研究自動化について、一部取り組まれている。平成 28 年度戦略目標「急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術」や、平成 25 年度戦略目標「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」等において、生命科学分野における AI 研究やビッグデータの利用研究が一部取り組まれている。また、日本医療研究開発機構 (AMED) が平成 29 年度から実施する創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業において、共通基盤技術の自動化や AI 創薬に関する研究が進められている。

令和元年には「ラボラトリーオートメーション研究会」が発足する等、生命科学分野を含めた研究手法における DX が、新たな研究領域として確立しつつある。

## (国外動向)

平成 24 年に畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を多層ニューラルネットワークとして用いた画像解析技術が登場し、平成 28 年頃から網膜や皮膚がんの画像診断にディープラーニングを用いた論文が発表され、注目を集めるようになった。こうした技術の進展の結果、イメージング画像のハイスループットな取得や超解像化、三次元化が可能になった他、平成 30 年には、FDA (米国食品医薬品局) が世界で初めて自律型 AI 診断システムを承認した。

平成 26 年に敵対的生成ネットワーク (GAN) が登場し、本物に見えるが実在しないデータ (フェイク画像等) の自動生成といったことができるようになった。様々な進展を経て、同じ「生成モデル」として平成 29 年には、変分オートエンコーダ (VAE) に基づき化合物を生成する技術が登場した。こうした技術が創薬に展開されている。令和 2 年には、大手製薬企業による AI を活用して創製された新薬候補化合物の臨床試験の開始が公表された。

平成 30 年頃から、AI との相性の良さから、化合物合成や代謝工学などにおいて、実験の自動化 (ロボット利用)、ハイスループット化の研究発表が目立つようになってきている。

令和 2 年 11 月には、英国に拠点を置くディープマインド社が、タンパク質構造予測「アルファ・フォールド・システム」を発表し、AI 活用による生命科学研究の可能性の拡大が示された。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」(令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定) に基づき、以下のとおり検討を行った。

(1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や JST 研究開発戦略センター (CRDS) の各分野ユニット、AMED のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

(2) 上記アンケートの結果及び JST-CRDS の俯瞰報告書や「AI×バイオ DX 時代のライフサイエンス・バイオメディカル研究」報告書等を参考にして分析を進めた結果、生命科学研究におけるデジタルトランスフォーメーションが重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「生命科学研究の DX」を特定した。

(3) 令和 2 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の方向性、研究期間中に達成すべき目標等について議論した。ワークショップにおける議論や JST-CRDS のライフサイエンス・臨床医学ユニット等の提案を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「AI 戦略 2019」(令和元年 6 月 11 日統合イノベーション戦略推進会議)

別表 1、4-1

- ・ AI による科学的発見の研究 (具体的取組内容：細胞レベルでの実験検証を対象として、仮説生成、実験計画立案、実験の自動実施、結果の検証などを行う AI サイエнтиストの開発)

「統合イノベーション戦略 2020」(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)

第 II 部第 2 章 3 ①

- ・ 全国規模で研究開発をシームレスに連動させ、その活動を継続できる環境の実現に向け、AI、ロボット技術を活用した実験の自動化などスマートラボの取組や、遠隔地からネットワークを介して研究インフラにアクセスし分析等を実施する取組の推進、高速通信ネットワークの整備、大規模な計算資源の徹底活用、研究データ等の効果的・効率的な創出・共用・利活用環境の整備等、研究開発環境と研究手法のデジタル転換を推進する。更に、オープンサイエ

ンスの推進を図る。

#### 第Ⅲ部第2章（1）②

- ・最適な研究設備・機器へのアクセスの確保に向けた、各施設・設備のネットワーク化、共用プラットフォーム構築を進めるとともに、研究室におけるAI・ロボット等の活用によるスマートラボトリ化を促進する。

#### 第Ⅲ部第5章（2）

- ・バイオとデジタルの融合を全ての土台とし、生物活動のデータ化等も含めてデータ基盤を構築しそれを最大限活用することにより産業・研究を発展させることで、世界最先端のバイオエコノミー社会を実現

「バイオ戦略2020」（令和2年6月26日統合イノベーション戦略推進会議）

#### 3 3.1 ②バイオとデジタルの融合

- ・市場領域・科学の発展に必要なビッグデータ収集・バイオデータ基盤構築の方向性と持続可能な方策を提示。測定機器やバイオデータ基盤を活用し、我が国の強みや匠の技をAI化。これを支える研究開発人材等を、質を重視して育成

### 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、未来社会創造事業「共通基盤」領域「ロボティックバイオリジーによる生命科学の加速」において、研究の自動化に向けた取組が行われることから、本戦略目標との技術連携等により効率的・効果的な研究推進が期待される。

本戦略目標の下で行われる研究によって得られたデータや開発された技術等については、領域内外における適切な活用や共有を推進するとともに、科学研究費助成事業の新学術領域研究・学術研究支援基盤形成「先端バイオイメージング支援プラットフォーム」（平成28～令和3年度）や金沢大学のナノ生命科学研究所の「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」事業及びAMED「創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム(BINDS)」事業等の世界を牽引する計測・解析技術の研究開発基盤との連携が期待される。

また、本戦略目標では、研究体制の中にデータサイエンス人材を適切に組み込むことを応募の要件とすること等により、生命科学分野におけるデータサイエンス人材の育成も図ることとする。

## 令和3年度戦略目標

### 1. 目標名

元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓

### 2. 概要

近年、政情不安の地域に偏在する資源供給のリスクに加えて、米中貿易摩擦やパンデミックに伴うサプライチェーン断絶等の新たなリスクが顕在化しており、元素に関する科学をベースとして発展した元素戦略の概念の重要性がますます高まっている。また、知的集約型社会の進展により、材料に求められる機能や役割がより一層高度化・多様化しており、革新的機能を有する新物質・新材料を創出する研究基盤の構築が望まれている。

従来、限られた元素の組み合わせと安定相を基軸とする希少元素の使用量削減や元素代替と性能改良に重点を置いた研究は豊富に存在する。一方、材料に求められる機能や役割が高度化・多様化する中で、革新的な機能や相反する機能の両立が求められており、その実現に向けては、多元素化・複合化や準安定相等の未踏物質探査空間を開拓する必要性が高まっている。物質を構成する元素の組み合わせはほぼ無限であるため、元素に関する科学に立ち返って元素の役割・元素間の相互作用などを理解しながら、効率的に物質探査を進めて新機能性材料を創出するための戦略的な取組が重要である。

本戦略目標では、従来の元素戦略で実践してきた物質創製・計算科学・解析評価の融合に加えて、データサイエンス的手法や先端の計測技術などを積極的に取り入れることで、未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間を効率的に開拓し、新機能性材料を創出することで、元素間の相互作用などを活用する元素科学を世界に先駆けて構築する。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、物質探査空間を未踏領域に拡張し、多元素化、複合化、準安定相などを活用した未踏材料を開拓するための高度な物質創製技術やプロセス技術を通じて、革新的機能を有する新物質・新材料の創出を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 未踏物質探査空間の探索指針の構築
- (2) 新物質・新材料創出のための物質創製技術やプロセス制御技術の確立
- (3) 革新的機能を有する多元素・複合・準安定等の新物質・新材料の創出

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」の実現を通じ、元素の役割・元素間の相互作用を理解して未踏の物質探査空間を開拓し、従来の性能・機能を凌駕する高機能デバイス材料・量子マテリアル・ナノ材料・エネルギー変換材料・構造材料等、高度な社会ニーズに応える新機能性材料を創製し、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・高度な材料創製・製造プロセス技術と、それを支える計測・分析技術、加工技術を基にして、高度化する社会ニーズに応える材料を数多く生み出せる社会
- ・貿易摩擦やパンデミック等のリスクによるサプライチェーンの断絶に対し、早期の材料開発により柔軟に対応できる強靱な社会
- ・我が国の目指す Society 5.0 や安全・安心な社会の実現に対して、革新的な機能を持つ材料の開発を通して人類の Well-being に貢献する社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 多元素化・複合化における機能発現メカニズム解明と物質創製・プロセス技術の確立  
先端プロセス等により、多元素化・複合化における機能発現メカニズム解明の研究を行う。
- ・ハイスループット実験・機械学習等のデータ駆動科学を活用することによる探索可能な材料空間の拡張と機能発現メカニズムの解明に関する研究

- ・ マルチスケール・マルチモーダル計測と材料組織形成過程の理解による高機能化の指針を構築する研究
- ・ 革新的機能を持つ多元素化・複合化を活用した未踏材料を創製する精密熱制御、混合制御等の先端プロセスに関する研究

## (2) 高度プロセス制御による準安定相の創製

温度、圧力、雰囲気等の精密制御により、準安定相の創製の研究を行う。

- ・ 雰囲気ガスなど、プロセス環境を非平衡条件、極端反応条件などに制御することによる、新物質合成手法を確立する研究
- ・ 基板からの応力などを利用し、通常プロセスでは合成できない多様な相を安定化する研究
- ・ 高度なオペランド計測技術、及びプロセス中の現象を可視化するイメージング計測技術とデータ科学との融合により、材料創製プロセスを最適化し、産業化につながる革新的なプロセスを実現する研究

## 6. 国内外の研究動向

### (国内動向)

平成 28 年度戦略目標「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」において、主に計測技術とデータ科学の融合に取り組んでおり、平成 29 年度戦略目標「実験とデータ科学等の融合による革新的材料開発手法の構築」において、主に計算科学とデータ科学の融合が行われつつある。これらの戦略目標と連携しつつ、物質・材料創製と表裏一体であるプロセス技術に取り組むことが今後必要とされている。

科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) の第 11 回科学技術予測調査によると、本戦略目標に関連する「新規構造・機能の材料と製造システムの創成」、「ICT を革新する電子・量子デバイス」、「計測と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術」等の領域は分野融合のポテンシャルが高く、推進すべき領域であるとの記述がある。

また、「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」において、電子材料・磁石材料・触媒・電池材料・構造材料の研究が推進されており、その中から新進気鋭の若手研究者や新たなシーズが生み出されつつある。科学研究費助成事業の新学術領域研究 (研究領域提案型) では、平成 28 年度「複合アニオン化合物の創製と新機能」、平成 30 年度「ハイエントロピー合金」、「ハイドロジェノミクス」等の研究領域において、複雑な組成を持つ物質の利用や、新しいプロセス技術を活用した新物質相の創製などの研究シーズが蓄積されつつある。

さらに、令和元年度以降、複数の学会で多様な安定相のエンジニアリングに関するシンポジウムが開催され、コミュニティ形成が活発化している。

### (国外動向)

元素戦略に類似した政策として、米国では、平成 23 年に DOE (エネルギー省) が「Critical Materials Strategy」を発表し、現在まで積極的な投資や拠点形成が行われている。

欧州では、平成 26 年～令和 2 年にかけての研究開発枠組みプログラムである「Horizon 2020」において、希少鉱物関連プロジェクトに大規模な投資が行われてきたことに加え、次期プログラムである「Horizon Europe」では、第 2 の柱 (社会的課題の解決) 中の 6 つの社会的課題群の一つ「デジタル・産業・宇宙」の一部に Raw Materials を位置づけており、欧州圏の循環型経済確立に向けた取組が活発化していくと思われる。

中国は令和 2 年にレアアースを使った新材料や応用技術開発の拠点の設立許可を発表した。中国産の「戦略資源」であるレアアースを使って磁石、発光体、合金など高機能材料を開発し、自国のハイテク産業を強化しようとするもので、脱輸出依存モデルを目指す取組の一環とも指摘されている。

データ駆動型の材料探索に関する研究については、米国では Materials Genome Initiative (MGI) が平成 23 年から開始されており、今後さらなる加速が予測される。また、中国では、平成 26 年から中国版 MGI が継続している。欧州では Horizon 2020 の下で NOMAD (The Novel

Materials Discovery Laboratory、平成 27～30 年) が行われてきた。

さらに、新機能材料の創製に関連した海外の動向としては、エネルギー関連材料、構造材料など応用分野を横断した多元素材料やハイエントロピー材料の国際会議が活発化している。例えば、多元素材料の国際会議として、「21st International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-21)」が開催されており、応用分野としては太陽光発電、熱電発電、電池、発光体、機能材料、超伝導体にわたり、3 元及び多元素の化合物に関連するすべてのトピックをカバーしている。平成 30 年のテーマは非平衡プロセスとなっており、材料そのものの特性だけでなく、多元素系の作製プロセスへの関心も高まっている。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」(令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定)に基づき、以下のとおり検討を行った。

- (1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構(JST) 研究開発戦略センター(CRDS)の各分野ユニット、日本医療研究開発機構(AMED)のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
- (2) 上記アンケートの結果及び平成 31 年度 JST-CRDS の戦略プロポーザル「未来材料開拓イニシアチブ ～多様な安定相のエンジニアリング～」等を参考にして分析を進めた結果、今後未来の材料を開拓する上で材料探索空間の拡張が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「未踏材料空間の開拓による新元素戦略」を特定した。
- (3) 令和 2 年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、材料の多元素化、複合化、準安定相の活用の必要性に加え、意義、価値、タイミング、日本独自のインフォマティクス開発の方向性等について議論を行った。ワークショップにおける議論や有識者に対するヒアリング等を踏まえ、検討を進めた。
- (4) さらに、「イノベーション政策強化推進のための有識者会議 「マテリアル戦略」」において、フォアキャスト型で取り組むべき技術領域について議論を行い、これまでの材料開発で探索されていない多元素系、複合系、準安定相といった未踏領域を対象とし、計測、計算、プロセス、データ駆動といった技術革新を用いた新機能材料開発が重要であることとの認識を得て、本戦略目標の策定に至った。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第 5 期科学技術基本計画」(平成 28 年 1 月 22 日閣議決定)

第 2 章 (3) ② ii) 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

・革新的な構造材料や新機能材料など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「素材・ナノテクノロジー」

第 3 章 (1) ③ ものづくり・コトづくりの競争力向上

・計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料、構造材料等の創製

「統合イノベーション戦略 2020」(令和 2 年 7 月 17 日閣議決定)

第 5 章 戦略的に取り組むべき基盤技術

(4) マテリアル

○マテリアルの知が高確率でスピード感を持って実装され、AI、バイオ、量子技術、環境といった重要政府戦略の実現の加速や、国内外の重要課題の解決に貢献するとともに、我が国

発の材料から新しい価値、研究領域、産業領域が創出されることを実現

- 高品質な材料データを用いて優れた研究成果を創出することを目的とした、重要技術・実装領域に狙いを定めた、データ収集・活用と理論・計算・実験が融合する戦略的な研究開発プロジェクトについて、2020年度から検討を進め、必要となる取組を速やかに実施する。

「第3回イノベーション政策強化推進のための有識者会議 「材料戦略」 中間論点整理 (令和2年12月18日)

＜フォアキャスト型で取り組むべき技術領域の例＞

- ✓ これまでの材料開発で探索されていない多元素系、複合系、準安定相といった未踏領域を対象とし、計測、計算、プロセス、データ駆動といった技術革新を用いた新機能材料開発

## 9. その他

目的とする機能を制限せず、革新的な物質創製・プロセス技術に注目した本戦略目標は、広い研究者層が関連しており、基礎研究ではあるものの、新物質・新材料の創製という意味で、産業界からの注目度が極めて高い。革新的な物質創製・プロセス技術を構築するためには、多様性の確保と継続性の維持が重要である。



## 令和3年度戦略目標

### 1. 目標名

「総合知」で築くポストコロナ社会の技術基盤

### 2. 概要

新型コロナウイルス感染症に対しては、ワクチン、治療薬、診断技術等の研究開発が国内外で強力に進められている。他方、感染拡大による社会的影響の長期化に対応し、安全安心な日常生活を取り戻し、新たな経済社会を切り拓いていくためには、医療分野にとどまらず、関連する分野の叡智を結集・融合させていく必要がある。

今般の感染拡大を機に、様々な分野で異分野融合研究の機運が高まっており、海外でも主要国や OECD 等の枠組みで異分野融合研究の重要性が示されている。また、我が国では、科学技術・イノベーション基本計画の検討において、複雑化する現代の諸課題に対応するため、人文学・社会科学も含めた「総合知」の創出・活用が掲げられている。

本戦略目標では、こうした状況を踏まえ、我が国の科学的知見を研究機関・分野を超えて結集させ、将来のパンデミック等に備え、ポストコロナとも言われる新たな社会における基盤の構築に向けた研究を推進する。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、以下の3つの観点から、将来のパンデミック等による社会変化に対応しながら経済社会活動を維持・発展させていくための基盤の構築に資する革新的な技術シーズの創出を目指す。

- (1) 感染拡大を防止するための異分野融合研究
- (2) データを活用した予測・分析手法等の研究
- (3) 人文学・社会科学分野との連携による知見の活用

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」への取組を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・ 将来のパンデミック等に対応して安全・安心を担保しつつ日常生活や経済社会活動を維持・発展できる社会
- ・ 分野を超えた研究者の協働が一般化することで「総合知」の創出・活用が進み、社会課題の解決が促進される社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 感染拡大を防止するための異分野融合研究

将来のパンデミック等への対応を見据え、医療分野にとどまらず情報学、環境科学、工学、物理学、化学、計算科学等との融合研究を行う。

- ・ ウイルス検出・モニタリング用の新規材料・デバイスに関する研究
- ・ ウイルス不活化・除去技術に関する研究
- ・ 産業の遠隔化・省人化・バーチャル化に関する研究

- (2) データを活用した予測・分析手法等の研究

ビッグデータ等を活用した統計解析やシミュレーション技術による感染予測・分析手法等に係る研究を行う。

- ・ 感染拡大等に係る各種データや数理モデルを活用した感染予測に関する研究
- ・ 密を発生させない人流管理、感染拡大下の行動変容等を踏まえた要因分析に関する研究
- ・ AI を活用した画像診断や重症化予測技術に関する研究

### (3) 人文学・社会科学分野と自然科学分野の連携による知見の活用

人文学・社会科学系と自然科学系の研究者・研究課題との積極的な連携により、感染症拡大下等において人や集団・社会との接点で取り組むべき技術課題に対応した研究を行う。

- ・集団の感染拡大防止に資する行動やコミュニケーションに関する研究
- ・複雑社会における意思決定支援に関する研究
- ・社会的孤立の予防・評価・解消に寄与する技術に関する研究

## 6. 国内外の研究動向

新型コロナウイルス感染拡大に対応し、医療分野はもとより、情報科学や計算科学、材料・デバイス工学、環境科学、公衆衛生学などが寄与する多様な研究が国内外で実施されている。感染拡大の初期にはウイルスや病状・病態そのものを対象とする研究が多くを占めていたが、長期化に伴い、国内外の社会変化が引き起こされるにつれ、感染を取り巻く環境や社会を研究対象とした研究が増大する傾向にあり、人文学・社会科学系も含めたより多様な分野の連携が不可欠となっている。

### (国内動向)

国内の複数の大学等において、新型コロナウイルスの感染拡大に対応し、人文学・社会科学系を含めた異分野融合研究のプロジェクトが立ち上がっている。学内公募による研究支援や研究テーマのマッチングを始めとする独自の取組が開始されるなど、従来の専門分野を超えた異分野融合研究の機運が高まっているほか、組織をまたいだ積極的な連携も散見される。

令和3年2月には、戦略的創造研究推進事業のCRESTコロナ対策臨時特別プロジェクトとして、幅広い分野の研究者の結集と融合により、新型コロナウイルスの感染拡大に対応する新たな戦略や、それに繋がる革新的な技術シーズの早期創出を目指したチーム型研究が開始されている。

また、同1月には、「ムーンショット型研究開発制度」において、新型コロナウイルス感染症で変容する社会像を明確化し、情勢の変化に対応する新たな目標を検討する複数のチームが採択され、将来の社会経済の課題やあるべき姿（ビジョン）について今後さらに議論・調査を進めることとなっている。

### (国外動向)

米国では、新型コロナウイルス感染への対応を、様々な分野の科学者、工学者、教育者からの取組が必要かつ緊急性の高い問題と認識し、例えばNSF（国立科学財団）の緊急対応研究のための資金配分メカニズム（RAPID）の中で、分野を問わず広範囲の取組を結集し、コロナ後の社会も見据え、多岐に亘る研究課題に助成を実施している。

また、欧州では、令和3年から開始する新たな研究・イノベーション支援の枠組み「Horizon Europe」において、経済復興と合わせて、コロナ禍からの復興、ヘルス、グリーン、デジタル分野への重点投資を実施している。

さらに、OECD等の多国間の枠組みにおいても、感染拡大への備えや関連する技術の融合等に関する課題、持続的な連携方策等について活発な議論が行われている。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

- (1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

(2) 上記アンケートの結果及び JST-CRDS「感染症に強い国づくりに向けた感染症研究プラットフォームの構築に関する提言」及び関連するワークショップ並びに科学技術・学術政策研究所による新型コロナウイルス感染症関連の研究成果等を参考にして分析を進めた結果、将来のパンデミック等に対応しながら経済社会活動を維持・発展させていくため、分野を超えた研究が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「感染症等に対して強靱な社会の実現に向けた異分野結集・融合による革新的シーズ創出」を特定した。

(3) この他、当該研究動向に関係して、取り組むべき研究テーマやその喫緊性、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクト等について、関連する多様な研究分野の有識者からのヒアリングや、新型コロナウイルス感染症の拡大に対応して異分野融合研究に取り組む大学関係者等との議論を行い、これらの結果を踏まえて本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「新型コロナウイルス感染症に関する今後の取組」（令和2年8月28日新型コロナウイルス感染症対策本部決定）

- ・新型コロナウイルス感染症対策、ポストコロナへの移行を突破口とし、新たな技術開発・イノベーションを強力に推進する。

「科学技術・イノベーション基本計画について（答申素案）」（総合科学技術・イノベーション会議、令和3年1月20日）

### 2（1）多様で卓越した研究を生み出す環境の再構築

#### （c）具体的な取組

#### ④ 基礎研究・学術研究の振興

○戦略的創造研究推進事業については、2021年度以降、若手への重点支援と優れた研究者への切れ目ない支援を推進するとともに、人文・社会科学を含めた幅広い分野の研究者の結集と融合により、ポストコロナ時代を見据えた基礎研究を推進する。

#### ⑦ 人文・社会科学の振興と総合知の創出

○「総合知」の創出・活用を促進するため、公募型の戦略研究の事業においては、2021年度から、人文・社会科学を含めた「総合知」の活用を主眼とした目標設定を積極的に検討し、研究を推進する。

## 9. その他

新型コロナウイルス感染拡大に際し、広く分野を超えた科学的知見や情報を活用する重要性が認識された一方で、将来のパンデミック等に対応していくために必要な基礎研究を、異分野横断的かつ長期的に進める取組は国内では存在しない。令和2年度より JST が開始した CREST コロナ対策臨時特別プロジェクトと連携しつつ、より長期的に基礎研究段階から取り組むべき研究課題や、人文学・社会科学系を含めた異分野融合に取り組む重要性を踏まえ、本戦略目標のもと研究を推進するとともに、将来に向けたネットワーク形成も含めた人材育成が極めて重要である。

研究の推進に当たっては、関連する諸外国の動向等を踏まえて、国内外の幅広い研究者との連携や共同研究を必要に応じて効果的に取り入れつつ取り組むことが期待される。

## 令和3年度戦略目標・研究開発目標

### 1. 目標名

ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明

### 2. 概要

感覚器（眼、耳、鼻、口）や全身の皮膚、身体の深部臓器（胃腸や肝臓等の内臓）とそれらに幅広く分布する末梢神経は各々が協調的に作用することで全身の機能維持に作用している。加齢やストレス等の環境要因に誘発される感覚機能の低下・喪失や末梢神経障害は、健康障害や慢性疾患発症のリスク要因であり、これら生体感覚システム・末梢神経ネットワークを包括したマルチセンシングの生理機構の統合的な理解は、全身の様々な臓器または疾患を標的とした新規治療法の開発による生活の質（QOL）や健康寿命の延伸につながる。

本目標では、生体感覚システムや末梢神経ネットワークを包括したマルチセンシングシステムの動作機構解明、病態解明、活動状態を可視化・定量化する技術開発及びそれらをもとにした副作用の少ない治療法や予防法の開発並びに個人に適した医薬品、医療機器、低侵襲性デバイスの創出を目指す。また、生体のマルチセンシング機能の拡張や高度なセンシングメカニズムの応用によるイノベーションシーズの創出を目指す。

### 3. 達成目標

本目標では、生体感覚システム・末梢神経ネットワークを包括したマルチセンシングシステムの統合的な理解と、その可視化・制御法の開発を目指す。具体的には、以下の4つの達成を目指す。

- (1) 末梢神経ネットワーク機構の理解と疾患克服に向けた病態解明
- (2) 末梢神経活動の可視化と制御手法・新規治療法の開発
- (3) 生体感覚システムの受容・処理・動作機構の解明と応用
- (4) 生体感覚システムの可視化と制御法の基盤技術開発

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3.「達成目標」の実現を通じ、マルチセンシングシステムを介した革新的技術の社会実装が広く進むことで、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・生体感覚システム・末梢神経ネットワークの制御を通じた、副作用の少ない治療法や予防法・低侵襲性デバイス・医療機器の開発による健康長寿社会
- ・長期的には感覚を統合的に理解することにより「感覚代行」や「感覚シェア」が実現する社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 末梢神経ネットワーク機構の理解と疾患克服に向けた病態解明
  - ・末梢神経ネットワークの恒常性維持機構と病態の解明
  - ・末梢神経の刺激制御に基づく各臓器の機能調節機構の解明
  - ・末梢神経の障害機構の解明
- (2) 末梢神経活動の可視化と制御手法・新規治療法の開発
  - ・末梢神経ネットワークの活動状態を検知・可視化し、定量化する新たなセンサーデバイス開発
  - ・疾病克服に資する末梢神経活動制御手法の開発・医療応用
- (3) 生体感覚システムの受容・処理・動作機構の解明と応用
  - ・イメージング技術等を用いた感覚器～末梢神経～中枢神経における情報受容・情報処理メカニズムの解明や応用

- ・嗅覚、味覚、触覚等における細胞・分子レベルでの生体感覚システム動作機構の解明や応用
- ・人工感覚器等のデバイスへの応用可能な生体感覚システム機構の解明や応用
- ・認知、行動に影響を与える生体感覚システム機構の解明

#### (4) 生体感覚システムの可視化と制御法の基盤技術開発

- ・生体感覚システムの活動状態を広範囲・リアルタイムで可視化・定量化する基盤技術の開発
- ・生体感覚システムの制御・利用に向けた基盤技術の開発

## 6. 国内外の研究動向

近年、生体感覚システム及び末梢神経ネットワークの障害は単に QOL の低下だけでなく、直接あるいは間接的に生活習慣病や認知症、癌などの発症・進展にも関係することが明らかになってきた。今後、オプトジェネティクス、ゲノム編集、感覚器オルガノイド、高感度 Ca<sup>2+</sup>イメージングなどの技術革新により、感覚システムの受容・処理・動作機構の解明及び末梢神経が司る臓器間ネットワーク機構の解明が飛躍的に進展し、それにより医療への応用が急速に発展することが期待される。

### (国内動向)

これまで生体感覚システムや末梢神経ネットワークに関する研究は主に個々の研究者が個別研究として進めてきた。近年、我が国の世界トップレベルの技術であるイメージング、遺伝子工学、再生医療、オミックス解析、材料、超微細加工、ロボティクスなどの分野の技術革新を活用してさらなる成果が創出されている。このような個々の研究を包括した大規模な研究開発領域を打ち立てることで、個々の研究の連携・融合が促進し、動作機構解明、病態解明、革新的な低侵襲医療機器やデバイス、ヘルスケアシステムの創出が期待できる。

### (国外動向)

海外においては、平成 26 年より、NIH（米国国立衛生研究所）やグラクソ・スミスクライン株式会社（GSK 社）が、「Electroceuticals」という医学・生物学・工学の融合研究領域を立ち上げ、末梢神経の生理機構の解明とそれに基づく新規治療法開発を目指した研究を推進している。GSK 社は平成 28 年に Google との合弁会社（GALVANI BIOELECTRONICS）を設立し、現在までに多数の特許を出願している。欧米の研究機関でも研究が活発化している。WHO（世界保健機関）では、低視力に関する初の世界レポートを発行（令和元年）し、難聴については準備中であり、それぞれ予防や治療の必要性を訴えている。さらに、令和元年より、Gordon Conference において「Bioelectronics」をテーマにした会議が開催され、海外においては末梢神経とそれを介したデバイス開発は話題性のある新たな研究領域となっている。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

(1) 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

(2) 上記アンケートの結果及び有識者ヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、生体感覚システム・末梢神経ネットワーク機構の統合的な理解とその可視化・制御法の開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「末梢神経ネットワークの網羅的理解と生体制御機構の解明」を特定した。

(3) 令和2年11月に、文部科学省とJST、AMEDは共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、国内外の最新の動向、研究や技術開発の方向性、想定される社会・経済的インパクト等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者ヒアリング等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「健康・医療戦略」（令和2年3月27日閣議決定）

### 3. 基本方針

開発目的（予防／診断／治療／予後・QOL）にも着目し、健康長寿社会の形成に向けた健康寿命延伸という目標のために最適なアプローチを選択する

## 9. その他

本目標に関連して、これまで平成24年度研究開発目標「先制医療や個人にとって最適な診断・治療の実現に向けた生体における動的恒常性の維持・変容機構の統合的解明と複雑な生体反応を理解・制御するための技術の創出」及び「多様な疾病の新治療・予防法開発、食品安全性向上、環境改善等の産業利用に資する次世代構造生命科学による生命反応・相互作用分子機構の解明と予測をする技術の創出」のほか、科学研究費助成事業の新学術領域研究（研究領域提案型）「温度を基軸とした生命現象の統合的理解」が存在しており、これらの成果から本研究動向への発展できる研究課題が想定される。

本目標を推進するため、ムーンショット型研究開発制度における目標2「2050年までに超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」やAMED脳科学研究戦略推進プログラム、革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト、戦略的国際脳科学研究推進プログラムとの積極的な相互連携を予定している。

今回、JSTとAMEDが共通の本目標の下でそれぞれの戦略領域を同時に立ち上げ、連携を強化しつつ研究を推進するという初の試みを行う。これによりマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明が効果的に推進されることに加えて、相互の研究者同士の連携強化、若手研究者のステップアップ、申請等の事務作業の簡素化・利便性向上等が図られ、我が国における本研究領域の土壌や法人間の連携が急速に発展することを期待する。

また、諸外国の動向等を踏まえて、国内外の幅広い研究者の共同研究を積極的に進めることにより、効率的・効果的に研究を推進することを想定している。

## 令和2年度戦略目標

### 1. 目標名

情報担体と新デバイス

### 2. 概要

次世代情報化社会においてサイバー空間とフィジカル空間をつなぐデバイスやシステムには、省エネルギー性・高機能性など多くの優れた特性を共存させることが求められている。一方で、電子を情報担体（※）とした従来型の半導体デバイスですべての要求を満たすことは難しくなりつつある。そこで、本戦略目標では、情報の取得・変換・記憶・演算・伝達・出力等の機能を担う情報担体を、これまで主に利用されてきた電子の状態や動きに加えて、量子、スピン、イオン濃度、分子構造、物質相変化、物理系ネットワーク構造等へと多様化し、その制御技術とデバイス動作原理を確立するとともに、革新的な機能・性能を有するデバイスを創出する。さらに、それぞれの情報担体の特性とそこから得られる機能を追究し、学理を構築することを目指す。

※ここでは情報担体（Information Carrier）を、電子やイオンなどの実体だけではなく、状態変数として定義される情報を表す物理量や、物理系のネットワーク構造・分子構造等、広く情報を担い得る自由度を包含した概念としている。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、情報の取得・変換・記憶・演算・伝達・出力等の機能をデバイス内部で担う情報担体を、要求される性能に応じて探索及び最適配置することで、新たな機能デバイスの開拓や、システムとしての大幅な性能向上を実現することを目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 多様な情報担体の探索及びその特性と機能に関する学理の構築
- (2) 情報担体の制御手法確立と革新的デバイス動作原理の創出
- (3) 革新的デバイスの創出

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3.「達成目標」の実現を通じ、革新的な機能・性能を有するデバイスやシステムを開発し、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・高効率の計算技術、AI 技術、センサ技術等の発展による革新的 IoT 機器の開発を通して、Society 5.0 を実現する社会
- ・ポスト 5G など通信、情報処理の高速化や人間社会と調和する機能の開拓、医療技術の高度化などによる快適で持続可能な生活を実現する社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 多様な情報担体の探索及びその特性と機能に関する学理の構築

革新的デバイスの創出に資する多様な情報担体を探索し、その特性と機能に関する学理を構築するための研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・量子、スピン、イオン濃度、分子構造、物質相変化、物理系ネットワーク構造等の特性を物理的・数理的に理解し、情報担体の多様化に資する研究
- ・情報担体を特徴づける、物質の組成、構造、物理量、状態変数等と、特定の環境下において発現する機能・現象の関係性について解明する研究

- (2) 情報担体の制御手法確立と革新的デバイス動作原理の創出

情報担体の特性を最大限に引き出すための制御手法を確立し、革新的なデバイス動作原理を創出するための研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・情報担体やその状態を把握・制御するために必要な計測技術、情報入出力技術、アルゴリズム等の開発
- ・電子・スピン・光・量子等の情報担体間で情報を高効率に相互変換する技術の開発
- ・情報担体の最適化による環境・生体などの外部情報を効率的に取得・変換・記憶・演算・伝達・出力等するデバイス動作原理の創出

### (3) 革新的デバイスの創出

物質科学、材料科学からデバイス技術、さらにはシステム工学などの関連分野を垂直統合し、情報担体を適切に活用することによりサイバー空間とフィジカル空間をつなぐ革新的デバイスやシステムを創出・実装することを目指した研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・大規模なデータを高速かつ省エネルギーでリアルタイムに処理するデバイスの開発
- ・単一デバイス内において情報の取得・演算や制御を同時に実現するアクチュエータ等の自律型デバイス開発

## 6. 国内外の研究動向

Society 5.0 や IoT 社会の実現のために、デバイス科学分野では、サイバー空間とフィジカル空間を繋ぐセンサ・アクチュエータ技術、省エネルギーかつ高機能なコンピューティング技術、インテリジェントで堅牢・省スペースなデバイスなどへの注目が高まっている。また、集積回路の微細化限界に直面しつつある中、飛躍的な性能向上を実現する革新的なデバイス動作原理の研究が盛んに行われている。特に近年では、柔らかい材料の非線形な動き等を利用する物理系コンピューティングや、分子吸着によるひずみを利用した五感センサ、熱勾配を利用して自律的に動くアクチュエータなど多様な情報担体を活用する、これまでとは本質的に異なるデバイス動作原理が生み出されつつある。

### (国内動向)

平成 25 年度戦略目標「情報デバイスの低消費電力化や多機能化の実現に向けた、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術の融合による革新的基盤技術の創出」や平成 28 年度戦略目標「量子状態の高度制御による新たな物性・情報科学フロンティアの開拓」などを基に、CREST、さきがけの研究が推進され、スキルミオンを用いたメモリ技術や、ナノロッドを用いたセンサ等、国内発の革新的なデバイス動作原理が創出されている。また、平成 30 年度新学術領域「ソフトロボット学の創生」などにより、柔らかい材料の構造ダイナミクス等、新しい情報担体を利用して、アクチュエータなどデバイス側で情報処理を効率的に行う技術の研究が進められている。

また、平成 29 年度戦略目標「Society 5.0 を支える革新的コンピューティング技術」や平成 31 年度戦略目標「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」等の CREST、さきがけにおいても、主に情報科学的なアプローチによる研究が進められている。

### (国外動向)

海外でも従来の半導体技術を中心とした情報処理技術の進歩が限界を迎えつつあるとの認識のもと、米国の DARPA (国防高等研究計画局) の Nanoelectronics Research Initiative を始めとしたプロジェクトにおいて、非ノイマン型のコンピューティング手法やセンサ融合、AI エレクトロニクスなど、新しい情報担体とデバイス動作原理を活用してデバイスの性能を革新しようという研究が盛んに行われている。また、特に、量子技術においては、米国・中国を中心に各社が巨額の投資を行い、量子コンピュータの実現に向けた研究が精力的に進められている。さらに、光技術やスピン技術においても、欧米等で革新的なデバイスを実現するための投資が積極的に行われている。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」(令和元年 7 月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定)に基づき、以下のとおり検討を行った。



1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び JST 戦略研究推進部との議論や JST CRDS の戦略プロポーザル「革新的コンピューティング」、平成 30 年度新学術領域「ソフトロボット学の創生」、応用物理学会等の学会におけるシンポジウム等を参考にして分析を進めた結果、デバイスの内部において情報を担う情報担体の多様化と体系化、最適化が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「多様な情報担体の活用と体系化による革新的デバイス動作原理の創出」を特定した。
3. 令和元年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「多様な情報担体の活用と体系化による革新的デバイス動作原理の創出」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、科学的知見の革新性や社会・経済に与える影響の大きさ、国際情勢を踏まえた適時性等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者に対するヒアリング等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第 5 期科学技術基本計画」（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）

第 2 章 (3) <2> i) スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要な基盤技術

- ・（前略）サイバー空間における情報の流通・処理・蓄積に関する技術は、我が国が世界に先駆けてスマート社会を形成し、ビッグデータなどから付加価値を生み出していくうえで不可欠な技術である。
- ・大規模データの高速・リアルタイム処理を低消費電力で実現するための「デバイス技術」
- ・大規模化するデータを大容量・高速で流通するための「ネットワーク技術」
- ・IoT の高度化に必要な現場システムでのリアルタイム処理の高速化や多様化を実現する「エッジコンピューティング」

第 2 章 (3) <2> ii) 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

- ・人やあらゆる「もの」から情報を収集する「センサ技術」
- ・サイバー空間における情報処理・分析結果を現実世界に作用させるための機構・駆動・制御に関する「アクチュエータ技術」
- ・革新的な構造材料や新機能材料など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「素材・ナノテクノロジー」

「ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略」（平成 30 年 8 月ナノテクノロジー・材料科学技術委員会策定）

4 (1) ii) 戦略的・持続的に取組を進めるべき研究領域

- ・IoT/AI 時代の革新デバイス：（前略）Society5.0 時代の高度なサイバー・フィジカルシステムの実現には、（中略）こうしたデバイスに用いられる半導体、MEMS/NEMS や量子科学技術といった先端技術の飛躍的な進展に必要なマテリアルの革新を推進することが重要である。
- ・ロボットを革新するマテリアル：（前略）軽量で柔軟かつ環境の変化に対応した動作が可能なアクチュエータや、（中略）多様な臭い物質の検知や皮膚表面での圧力検知が可能なインテリジェントセンサ、（中略）人間と円滑にコミュニケーションするためのデバイス等の新たなマテリアルの開発が重要である。

## 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、国内では、平成 29 年度に発足した CREST/さきがけ「革新的コンピューティング」や「トポロジー」、平成 28 年度に発足した CREST/さきがけ「量子技術」・「量子機能」などの領域において、コンピューティングや物質科学・量子技術に注目した研究が推進されている。より広くサイバー空間とフィジカル空間を繋ぐデバイスを対象とする本戦略目標が、これらを含む関連の領域と連携して研究を推進することによって、効果的に技術シーズを創出することが望まれる。また、デバイス開発までを効率的に進めるために、必要に応じてデータサイエンスなども活用することが考えられる。

日本は、素材・電子部品・ナノテク・デバイス・微細加工・ロボティクス等で一定の地位を有しており、これらの分野が一丸となって情報と実社会との融合を目指した研究を行うことで、国際的にも次世代の高度情報化社会を先導していくことが期待される。また、海外動向を踏まえ、必要に応じた欧米などとの国際連携（2 国間の産産学学連携なども含む）の推進を期待する。

## 令和元年度戦略目標

### 1. 目標名

次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術

### 2. 概要

Society5.0 においては、IoT (Internet of Things) でつながった人や機器から生み出される大量かつ多様なデータを、AI やビッグデータ処理等の情報科学技術により分析・活用し、インテリジェントな機器等をニーズに合わせて制御することで、機器単体では決して得られない新しい価値やサービスを創発することが期待される。今後数十年先を見据えた次世代 IoT 基盤は、従来の IoT 基盤と比べ、量的にも質的にも全く異なるものとなることが予想される。

また、我が国の強みとして、各企業等が質の高いデータを所有していることが挙げられるが、セキュリティやプライバシーへの配慮から、流通は進んでおらず、IoT 機器の脆弱性から外部からの攻撃も危ぶまれる。

今後、日本が世界に打ち勝つためには、この急速に進展する IoT 環境の戦略的活用を支援する基盤技術の研究開発を促進することが重要である。特に、企業秘密や個人情報保護等への制約をテクノロジーで超え、高度な攻撃にも耐えうる IoT セキュリティの開発は必須である。このため、本戦略目標では、IoT 機器から得られる多種大量のデータをリアルタイムに連携・統合するための基盤構築と、IoT 機器の脆弱性・データの保全性等を担保するセキュリティのための基盤技術の構築を目指す。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、スマートシティの実現やインダストリアル IoT 等、具体的な社会実装も視野に入れ、今後ますます複雑化、大規模化することが想定される IoT 基盤（次世代 IoT 基盤）を活用するための研究開発を推進する。具体的には、以下の2つの達成を目指す。

- (1) IoT 機器から得られる多種大量のデータを、リアルタイムに分散多段処理する基盤構築のための要素技術の開発
- (2) IoT 機器に対する AI 等による高度化した攻撃への対処や機密情報の保護等、IoT セキュリティのための要素技術の開発

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」の実現を通じ、膨大な数のセンサーがフィジカル空間の情報をリアルタイムに知的センシングし、自動的により広範囲、多頻度にサイバー空間へデータを吸い上げ、フィジカル空間の人間、機械等に様々な形で最適な動作・行動を起こさせるための情報をフィードバックすることを可能にする。また、上記のように生成された高付加価値のデータを蓄積し、匿名化等のプライバシー保護を施したうえでセキュアに社会へ提供することを可能にする。これにより、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・ これまでには存在しない新しい価値、サービスが生まれ、経済活性化に繋がるスマート社会 (Society5.0)
- ・ 新しい無限のデジタル情報財の生産を可能とし、セキュリティ強化、プライバシーの確保等が可能となる社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) IoT 機器から得られる多種大量のデータを、リアルタイムに分散多段処理する基盤構築のための要素技術の開発
  - ・ ネットワーク上において計算資源を最適利用しながらデータをリアルタイムに分散多段処理する超分散自律制御技術
  - ・ IoT 機器から得られる大量のデータの連携・統合を高精度高性能に実現する技術

- (2) IoT 機器に対する AI 等による高度化した攻撃への対処や機密情報の保護等、IoT セキュリティのための要素技術の開発
- ・相互接続された IoT 機器のセキュリティ状況把握を行うための IoT 機器探索・特定・情報収集技術
  - ・IoT 機器に対するサイバー攻撃やその防御に関する技術及び機器の安全性の担保に関する技術
  - ・データの保全性やプライバシー等の秘匿性を保証するデータ処理技術

## 6. 国内外の研究動向

### (国内動向)

IoT に関連する要素技術としては、様々なデバイスやセンサー、通信、セキュリティ等多岐にわたる。これらの技術は JST の「先進的統合センシング技術」や、経産省の「機器間相互認証に用いる LSI のセキュリティ対策に関する研究開発」(2012~2013 年) 等多くの取り組みがなされてきた。

しかし、IoT 基盤の構築には、要素技術を統合化、システム化するとともに、アーキテクチャやアプリケーションに踏み込んだ研究開発が重要であるが、我が国においては、アプリケーション等に踏み込んだプロジェクトが少ない。そのような中、文科省は「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築」(2012~2016 年) において安全・安心な社会、あるいは社会システム全体の高効率化を実現するための研究開発を、経産省においては「機器間相互認証に用いる LSI のセキュリティ対策に関する研究開発」(2012~2013 年) が実施されてきた。

一方、民間においては、IoT はデバイスから通信、コンピューティング、ネットワーク、アプリケーション等多岐にわたる技術の集積であることから、複数の企業や官も含めたコンソーシアム活動が活発である。例えば、製造業向けのエッジコンピューティングプラットフォームである FIELD System や、生産現場向けのシステムのコンソーシアムである Edge Cross 等が組織されている。

### (国外動向)

次世代 IoT に関する基礎研究の動向として、米国では、アプリケーションやサービスにまで踏み込んだ基礎研究が幅広く進められている。Google 等において、革新的なセンサー技術や AI 技術の本格応用の研究開発が順調に進んでいる。また、欧州は、EU による継続的な支援により、アーキテクチャに関する研究開発等に強い傾向がある。一方、中国は、アーキテクチャの研究開発に弱い面がある一方、独自のアーキテクチャや他国に依存しないサービス実現の必要性から、麒麟等のシリコンチップ及び端末製造技術の進展が著しい。

応用研究については、米国では、産業界のコンソーシアムの動きが活発である。欧州では、ドイツ企業を中心として盛んに研究開発を進めており、Industrie4.0 等、コンソーシアムの作り方の作り方が優れている点の特徴である。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標等策定指針」(2015 年 6 月 8 日科学技術・学術審議会戦略的基礎研究部会決定) に基づき、以下のとおり検討を行った。

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (GRDS) の各分野ユニット、日本医療研究開発機構 (AMED) のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケート結果や、有識者へのインタビュー等の情報を踏まえて、注目すべき研究動向

として「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」を特定した。

3. 2018 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」に関係する産学官の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標、国際戦略等について議論を行った。本ワークショップにおける議論等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第 5 期科学技術基本計画」(2016 年 1 月 22 日閣議決定)

### 第 2 章 (2) 2

国は、産学官・関係府省連携の下で、超スマート社会の実現に向けて IoT を有効活用した共通のプラットフォームの構築に必要となる取組を推進する。

具体的には、複数システム間のデータ利活用を促進するインターフェースやデータフォーマット等の標準化、全システムに共通するセキュリティ技術の高度化及び社会実装の推進、リスクマネジメントを適切に行う機能の構築を進める。

### 第 2 章 (2) 3

このため、国は、特に以下の基盤技術について速やかな強化を図る。

- ・設計から廃棄までのライフサイクルが長いといった IoT の特徴も踏まえた、安全な情報通信を支える「サイバーセキュリティ技術」
- ・ハードウェアとソフトウェアのコンポーネント化や大規模システムの構築・運用等を実現する「IoT システム構築技術」  
(略)
- ・IoT の高度化に必要となる現場システムでのリアルタイム処理の高速化や多様化を実現する「エッジコンピューティング」

また、これらの基盤技術を支える横断的な科学技術として数理科学が挙げられ、各技術の研究開発との連携強化や人材育成の強化に留意しつつ、その振興を図る。

「統合イノベーション戦略」(2018 年 6 月 15 日閣議決定)

### 第 2 章 (1) 1

こうしたイノベーションの創出を実現するためには、これまでのように分野ごとのデータのみならず、分野の垣根を越えてデータを連携させることが重要である。

### 第 2 章 (1) 2

誰もが安全・安心にデータの利活用等を行い、グローバルなデータ流通を確保するためには、サイバーセキュリティ、個人情報保護等の課題への対応が必要である。

### 第 2 章 (1) 3

データ連携基盤の整備に当たり必要となる、サイバーセキュリティ、個人情報保護等の課題への対応については早急に検討を進め、欧米等との相互運用性を確保しつつ、データ連携基盤を整備する。

## 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、CREST「人工知能」(2016～2023 年度)では、AI 技術を用いた多種膨大な情報の利活用を可能とする技術に関する研究が、CREST/さきがけ「革新的コンピューティング」(2018～2024 年度)では、情報処理の効率化、高速化を目指したコンピューティング基盤に関する研究がそれぞれ行われており、本戦略目標で行われる異種データ連携を加速する多種多量な情報の最適処理や、スケーラブルなデータ連携・統合処理を行う基盤の確立等を

目指した研究開発と相互に連携を行うことで、効率的・効果的な研究の推進が期待される。国際戦略としては、我が国として、先行する諸外国と協調して行うべき領域については、国内外の幅広い研究者による国際的なコンソーシアムの形成等により、積極的に共同研究の実施等を進めることにより、効率的・効果的な研究の推進が望まれる。

## 平成 29 年度戦略目標

### 1. 目標名

ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化

### 2. 概要

人工知能技術・ビッグデータ解析技術等が広範に用いられ、サイバー空間と現実社会が高度に融合した取組により、あらゆる人々が自然な形で最適かつ高品質なサービスを受けることが可能な「超スマート社会」の実現が求められている。このために欠かせない技術として、現在まで、「人間と人間」、また「人間と機械」等とのインタラクションに関する研究開発が多様に取り組みられてきたが、この研究分野をさらに発展・高度化させることにより超スマート社会の実現に向けた大きな飛躍が期待される。

そのため、本戦略目標ではインタラクションの研究分野をより広く“ネットワークにつながれた環境全体との相互作用”として捉え、「人間と人間」・「人間と機械」・「人間と環境全体」の多様な形態でのインタラクションを高度に支援し、その振る舞いを理解し制御することにより、社会構造や人間行動の最適化を促すような革新的なシステムのデザインへとつなげることで、急速に進展している人工知能技術等の恩恵を誰もが最大限享受出来、高度に最適化された社会の実現に資することを目指す。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、社会の様々な場面での活用に向けたインタラクション高度化のための新たな技術の創出や、インタラクションの理解の更なる深化を図ることを目的とする。具体的には、情報科学技術を中心に、認知科学、心理学、脳科学等の学問分野と連携し、以下の達成を目指す。

- (1) インタラクションを支援するための、インターフェースや人間能力の拡張に関する技術開発
- (2) インタラクションを理解するための、原理・機構の解明とそれに資する情報の収集・分析に関する技術開発
- (3) インタラクション技術の活用による、社会構造や人間行動の最適化を促すような環境をデザインする技術開発

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3.「達成目標」に記載した事項の達成を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・発展が進む革新的な人工知能技術・ビッグデータ解析技術・IoT 技術等の社会への幅広い実装と産業化を支える基盤技術として、インタラクションの高度化が超スマート社会の実現に寄与し、様々な分野に波及している社会。
- ・様々なドメインにおける「人間と人間」・「人間と機械」・「人間と環境全体」との相互作用データが活用されることにより、クラウドソーシングを含む様々な人的・経済的・社会的資源の活用が最大限になされ、社会のありかた、人々の仕事の仕方、働き方等にも大規模な転換をもたらす社会。
- ・インタラクションの高度化によるパーソナルファブリケーションの進展により、従来の大量生産大量消費社会モデルでは不可能な、個人の多様な生活形態等に沿って自然な行動変容を促進しつつ、全体として最適化された社会。

### 5. 具体的な研究例

- (1) インタラクションを支援するための、インターフェースや人間能力の拡張に関する技術開発

場・状況や過去の記憶に応じて人や集団と持続的に深いインタラクションを行う知的エージェントの実現に向けた研究や、人間の身体に適合したウェアラブルデバイス等を使った非言語的コ

コミュニケーションの高度な支援のための研究開発。

(2) インタラク션을理解するための、原理や機構の解明とそれに資する情報の収集・分析に関する技術開発

生活・医療・介護・流通・ものづくり・インフラ等の具体的ドメインにおける人々の行動に関するデータや様々な社会的な現象の過程に関するデータの収集・解析や、人間と人間のインタラクシヨンのモデル化に関する研究開発。

(3) インタラクシヨン技術の活用により、社会構造や人間行動の最適化を促すような環境をデザインする技術開発

リアルタイムでインタラクティブなデザインが可能な創造的活動を支援するための研究開発や、グループやコミュニティの形成と高度な協働活動の支援に関する研究開発。

## 6. 国内外の研究動向

(国内動向)

- ・脳科学研究などに基礎付けられた分析的研究に加えてインタラクシヨンをデザインする観点からは科研費・新学術領域「認知的インタラクシヨンデザイン学 (2014年度～2018年度)」など研究コミュニティが活発化している。
- ・人間や人工物をエージェントとして捉えて、その集団的振る舞いの分析・構成を行うマルチエージェント・システムの研究コミュニティが従来から活発に活動が続けている。
- ・人間とインタラクシヨンを行うエージェントとして、VR・音声対話技術を用いたバーチャル・エージェントだけでなく、身体を備えたコミュニケーションロボットの研究も活発に活動が続けている。

(国外動向)

- ・米国ではマルチモーダルインタラクシヨンの研究として、鬱・不安・PTSDなど精神的苦痛の緩和支援システム SimSensei (南カリフォルニア大)、看護師・患者を支援するカウンセリング・行動変容を促す バーチャル・エージェント (ノースイースタン大) 等が DARPA や NIH などの資金によって継続的に支援されている。
- ・欧州では職を得るために必要な社会的スキル強化を支援する TARDIS (仏 UPMC が幹事機関)、ソーシャルシグナルのモデリング・解析・活用の技術基盤を整備・共有する SSPNET (英グラスゴウ大が幹事機関) 等がフレームワークプログラムにより支援されている。実用的な研究とともに認知科学・発達科学など学術的アウトカムも狙った取り組みが活発である。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標等策定指針」(平成27年6月8日科学技術・学術審議会戦略的基礎研究部会決定)に基づき、以下のとおり検討を行った。

(科学研究費助成事業データベース等を用いた科学計量学的手法による国内外の研究動向に関する分析資料の作成)

科学研究費助成事業データベース等を用いて、研究論文の共引用関係又は直接引用関係の分析等の科学計量学的手法を活用することにより、国内外の研究動向に関する分析資料を作成した。

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センターの各分野ユニット」、「日本医療研究開発機構のプログラムディレクター等」及び「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクシヨンの高度化」を特定した。



(ワークショップの開催及び戦略目標の作成)

注目すべき研究動向「ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「日本再興戦略 2016 -第 4 次産業革命に向けて-」(平成 28 年 6 月 2 日閣議決定)

第 2 1-1. (2)-1) <2>オ)

複数のロボットが周囲の環境等も認識した上で、自律的に連携していくといった新たなロボット社会の実現に向け、緊急時を含む人の移動・物の輸送、災害対応、インフラ維持管理などをはじめ、幅広い分野における技術開発・実証を進める。

「第 5 期 科学技術基本計画」(平成 28 年 1 月 22 日閣議決定)

第 2 章 (2) 2

(中略) 超スマート社会の実現には、様々な「もの」がネットワークを介してつながり、それらが高度にシステム化されるとともに、複数の異なるシステムを連携協調させることが必要である。それにより、多種多様なデータを収集・解析し、連携協調したシステム間で横断的に活用できるようになることで、新しい価値やサービスが次々と生まれてくる。

「科学技術イノベーション総合戦略 2016」(平成 28 年 5 月 24 日閣議決定)

第 1 章 (3) [A]2)

ヒューマンインターフェース技術：仮想現実 (VR) や拡張現実 (AR)、感性工学、脳科学等に加え、個々のデバイスや技術の進展を考慮し、ロボットに代表される知的機械と人間が共生するために、人間と同等なのか道具なのか、といった社会的受容の相違などの研究も重要となる。

## 9. その他

○平成 21 年度戦略目標「人間と調和する情報環境」や平成 26 年度戦略目標「知的情報処理技術」では人間や集団の高度な把握技術の研究開発の取組がなされてきた。

○また、ERATO「浅田共創知能システム」(平成 17 年度～平成 22 年度) やグローバル COE「認知脳理解に基づく未来工学創成」(平成 21 年度～平成 26 年度) において高度なインタラクションの基礎となる人間理解の研究が取り組まれてきた。

○さらに、これらを支える基盤として生体と調和するハードウェアやロボットの研究が ERATO「染谷生体調和エレクトロニクス」(平成 23 年度～平成 28 年度) や ERATO「石黒ヒューマンロボットインタラクション」(平成 26 年度～平成 31 年度) において取り組まれている。

本戦略目標では、これらの取組における成果を活用しつつ、マルチモーダル化や言語・非言語の統合化の取組等、インタラクションの高度化と統合化により、人・集団・環境・社会全体との持続的インタラクションと行動変容を実現する取組が進展することが期待される。

## 平成 27 年度戦略目標

### 1. 目標名

微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明、新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出

### 2. 概要

自然界の中で未利用のエネルギーは数多くあり、これらを電気エネルギーに変換して利用する技術が盛んに研究されている。その中でも、微小なエネルギーから  $\mu\text{W}\sim\text{mW}$  程度の出力ができる電気エネルギーへの変換技術の開発が欧米諸国で注目を集め、環境に存在するエネルギーを常に利用可能とすることで、社会の中で数億～数兆と利用されることが想定されるセンサーや、更には系統電源からの電源供給が不可能な環境下で用いることが想定されるモビリティ用デバイスや生体用デバイス等の自立的な電源として活用することを目的とした投資が強化されている。

一方、自然界の中で未利用の微小エネルギーを電気エネルギーに高効率に変換するための新原理と、それに基づく新たな物質の創製が必要とされている中で、我が国は、新しい原理（一例として、スピンゼーベック効果など）や、新物質創製（一例として、高 ZT 物質、マルチフェロイック物質など）に関する革新的な研究シーズを有している。

そのため、本戦略目標では、我が国の強みを活かし、微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明及び新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出に取り組むことで、大量のエネルギーを必要としないセンサー等の様々な環境への普及を加速し、世界に先駆けた Internet of Things (IoT)、ビッグデータの活用による次世代型の環境保全・ものづくりの実現を目指す。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、基本的な原理の解明や新物質・新構造デバイスの創製だけでなく、基盤的解析・設計技術や理論的アプローチを含めて戦略的に研究を推進することで、現在ある原理や変換材料を凌駕する、微小なエネルギーから電気エネルギーへの変換技術を創出することを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- ①微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術に資する新原理の解明及び革新的な物質・デバイスの創製
- ②微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術創出のための理論及び基盤的解析・設計技術の開発

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3. 「達成目標」に記載した事項の達成を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- 微小エネルギーからの電気エネルギー創出が可能となることにより、系統電源への接続による電源供給には適さないものの大量のエネルギーを必要としないセンサー、モビリティ向けデバイス、生体デバイス等の普及が加速し、IoT、ビッグデータの活用による次世代型の環境保全・ものづくりが実現している社会。

### 5. 具体的な研究例

- ①微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術に資する新原理の解明及び革新的な物質・デバイスの創製

熱、光、電波、振動、生体やフォノン、スピン等のエネルギーを電気エネルギーに高効率に変換または高度に利用するための基盤技術の構築とその源となる基本的な原理の解明を行い、従来の特長や機能を飛躍的に凌駕する、優れた物性を有する新物質・デバイスを創生する。具体的には、スピンとトポロジーの相関等革新的なエネルギー変換に資する原理の解明及びそれらを活用した新物質の創製や、無機化合物や有機化合物または無機・有機ハイブリ

ッド化合物による機能性物質の創製、環境負荷の軽減を考慮した革新的なエネルギー変換に資する新物質の創製等を行う。

## ②微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術創出のための理論及び基盤的解析・設計技術の開発

新原理の解明や革新的な材料創製のために必要な、エネルギー変換時における物理現象(材料物性、界面、輸送現象等)の解析基準や新しい解析技術を創出する。具体的には、新原理・新物質創製に貢献する理論計算・計算機シミュレーション手法の確立や、新原理や新物質に基づいた革新的なデバイスの原理や設計指針の創成を行う。また、2つのエネルギー形態(例えばフォノンとスピン流の輸送)を独立に制御するなど相互作用の制御や、電子とフォノン、マグノンとフォノンの分離による解析等を行う。

## 6. 国内外の研究動向

### (国内動向)

我が国では微小エネルギーの活用に注目した大型プロジェクトは実施されておらず、研究投資は大幅に出遅れている。一方で、我が国は、強誘電体等の物理分野や熱電変換をはじめとした変換材料等の基礎的研究開発に強みを持っていることから、異分野の融合、基礎分野と応用分野の融合により、革新的技術を創出するポテンシャルを有している。

### (国外動向)

欧州では、多数の微小エネルギーの活用に関連する事業が進行中である。2014年、英国ではエマージング・テクノロジー7分野に対し、4年間で5,000万ポンド(約89億円)のファンディングを決定している。7分野にはエナジー・ハーベスティングが含まれており、ワイヤレスセンサーや自立電源等の商品化を目指している。また、米国では、2013年にFairchild Semiconductor、University of California, Berkley校等が、毎年1兆個規模のセンサーを使う社会を目指すプロジェクト「Trillion Sensors Universe」を立ち上げ、産学連携の取組が加速している。

## 7. 検討の経緯

「戦略的な基礎研究の在り方に関する検討会 報告書」(平成26年6月27日)に基づき、以下の通り検討を行った。

(サイエンスマップ及び科学研究費助成事業データベースを用いた国内外の研究動向に関する分析資料の作成)

「サイエンスマップ2012&2010」(平成26年7月31日科学技術・学術政策研究所)及び科学研究費助成事業データベースにおける情報を用いて、国内外の研究動向に関する分析資料を作成した。

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センター」や「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「小型・分散型電源構築に向けた高効率エネルギー変換・利用に係る基盤的技術の創出」を特定した。

(ワークショップの開催及び戦略目標の作成)

注目すべき研究動向「小型・分散型電源構築に向けた高効率エネルギー変換・利用に係る基盤的技術の創出」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標などについて議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

第4期科学技術基本計画（平成23年8月19日閣議決定）

Ⅲ. 2. (2) i)

付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する。

科学技術イノベーション総合戦略（平成26年6月24日閣議決定）

第2章第1節Ⅰ. 3. (7) ①

さらなるエネルギー利用効率の向上のため、熱と電気を併産するコージェネレーションの活用や、これまで利用されていなかった低温排熱等のエネルギーを活用する技術の向上に取り組む。

## 9. その他

○以下の関連する研究開発と本戦略目標下で行われる研究の連携を確保しながら、微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する基盤技術の創出及び成果の実用化を目指すことが重要である。

- ・平成23年度戦略目標「エネルギー利用の飛躍的な高効率化実現のための相界面の解明や高機能界面創成等の基盤技術の創出」、平成24年度戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計「分子技術」の構築」、平成25年度戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」の下で行われている一部の研究では、エネルギー変換・輸送に関わる基盤の科学技術の創出に取り組んでいる。また、平成26年度戦略目標「二次元機能性原子・分子薄膜による革新的部素材・デバイスの創製と応用展開」の下で行われている一部の研究では、トポロジカル絶縁体を用いたデバイス設計技術の創出に取り組んでいる。その他、平成25年度戦略目標「情報デバイスの超低消費電力化や多機能化の実現に向けた、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術等の融合による革新的基盤技術の創成」の下で行われている研究では、新機能性材料・電子デバイス・システム最適化を連携・融合することに取り組んでいる。
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）においては、「クリーンデバイス社会実装推進事業」（2014年から2年間）が実施されている。この事業の目的は、省エネルギーに資するクリーンデバイス（環境発電デバイス等の省エネルギーに資する革新的デバイス）が、従来利用を想定してきた機器等だけではなく、様々な製品・サービスへと新規用途の拡大を図ることにより、省エネルギー効果を最大限に活用することであり、デバイスの実装・実証および信頼性・安全性や標準化・共通化の方針策定がターゲットとなっている。
- ・センター・オブ・イノベーション（COI）プログラムにおいては、「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」等でナノセンシングデバイスの開発及び活用などに取り組んでいる。

## 平成 25 年度戦略目標

### 1. 戦略目標名

情報デバイスの超低消費電力化や多機能化の実現に向けた、素材技術・デバイス技術・ナノシステム最適化技術等の融合による革新的基盤技術の創成

### 2. 達成目標

従来のシリコンデバイスによる微細化，集積化が限界を迎える中，現在より 2 桁以上低い消費電力と 2 桁以上高速の情報デバイスを開発することを共通目標とし，将来のエレクトロニクス産業の基盤を確立するため，新規機能性材料の適用可能性の追求等による素材技術（先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術）の創出，新材料・新原理・新構造の論理素子・記憶素子の動作検証等によるデバイス技術の構築，先進的なナノテクノロジー等の実装に向けたナノシステム<sup>※</sup>最適化技術の創出，そしてそれら技術の融合に取り組むことにより，以下の目標を達成することを旨とする。

- 革新デバイスを下支えする新規機能性材料の創製及び適用可能性の追求による素材技術の創出
- 超低消費電力，超高速，超大容量等を可能にする新材料・新原理・新構造の論理素子・記憶素子等による革新デバイス技術の創出
- 異分野の要素技術を集積・統合・融合することによるナノシステムの最適設計に向けた基盤技術の創出

※本戦略目標においては，ナノテクノロジーを基軸として他分野の要素技術を集積・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ことが可能で，かつ社会的に認知される部品・装置・システムのことと定義する。

### 3. 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標において「2. 達成目標」に記載した研究成果を企業等の実用化研究につなげることにより，その諸技術を活用した革新的なデバイスが開発され，情報通信機器やシステム構成機器の超低消費電力化，高機能化や多機能化の実現が可能となる。

これにより，具体的には以下のような社会の実現につなげ，第 4 期科学技術基本計画（平成 23 年 8 月 19 日閣議決定）に掲げられた「エネルギー利用の効率化及びスマート化」，「産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化」，「領域横断的な科学技術の強化」等の達成に貢献することを目指す。

- (1) あらゆる情報通信端末，情報デバイス等が超低消費電力化されることにより，省エネルギー時代に適合した持続可能な高度情報通信ネットワーク社会の形成に大きく貢献する。
- (2) 新たな動作原理に基づくデバイスの融合による，タッチパネル，フレキシブルディスプレイ，太陽電池，バイオセンサ等，多方面での応用が可能となり，真のユビキタス社会が実現される。
- (3) 知識基盤社会，低炭素社会，高度情報化社会等に対応した社会的付加価値を有する最終製品を生み出すことにより，我が国の国際競争力を堅持し，新たな産業構造を切り拓（ひらく）基幹産業が育成される。

### 4. 具体的内容

（背景）

現在，半導体産業は世界的に厳しい競争に直面しているが，最近の予測<sup>※1</sup>では，2012 年の市場規模は 2, 899 億ドルと過去最高であった前年度をわずかに下回ったものの，今後も緩やかな成

長を継続していくと予想されており、その位置付けについては、例えば「半導体産業は「見えるインパクト」と「見えざるインパクト」を通して、日本の社会、経済、環境に大きな影響を与えている」と紹介<sup>※2</sup>されるなど、産業競争力の基盤としての役割を果たしている。また、今後の本格的な IT 化に伴い、我が国の情報量は爆発的に増大（情報爆発）し、試算では 2025 年には現在の 100～200 倍もの情報がインターネット上を行き交う時代となり、こうした情報爆発に対応すべく、情報を処理する IT 機器の台数が大幅に増加するとともに、各機器の情報処理量が急増し、今後の IT 機器による消費電力量の急増が深刻な課題になると指摘されている（消費電力量が 2025 年には 2006 年比で約 5.2 倍、2050 年には 2006 年比で約 12 倍になると推計されている。）<sup>※3</sup>。また、民間調査機関の推計<sup>※4</sup>によれば、世界の情報量は、2020 年には約 40 ゼタバイト（2010 年度時の約 50 倍）へ拡大する見込みであり、この増え続ける情報を処理するために、現在のシリコンデバイスの集積化、微細化は今後も必須の流れとなっている。しかし、現状のシリコンデバイスでは、集積化に伴う素子の消費電力増大、微細化の物理的限界、特性ばらつきの増大等が喫緊の課題となっている。これらの制約を突破する方策として、近年、世界的に進展の著しいナノエレクトロニクス技術を駆使して、従来の CMOS（相補性金属酸化膜半導体）技術に沿って新たな機能を持った材料及びデバイスを付加し性能向上を図る方向と、従来の CMOS を超える新しい動作原理に基づくデバイス及びシステムの実現を目指す方向とが模索されている。

（研究内容）

このような現状において、本戦略目標では、微細化・高速化や低消費電力・多機能化を個別に追及するのではなく、先進的なナノテクノロジー等の要素技術を糾合することにより、革新的なシーズを創出し、将来のエレクトロニクス産業の基盤を確立することを目的として、具体的には、以下のような研究を行う。なお、本戦略目標では、材料、デバイス、システム等、それぞれの分野の専門家がプロジェクトの早期の段階から連携・協働できる体制を構築し、現在より 2 桁以上低い消費電力と 2 桁以上高速の情報デバイス（携帯電話、パソコン、ストレージ等をはじめとする ICT 機器全般）を開発するという共通目標の達成に向け、戦略的かつ機動的な研究を実施することが求められる。具体的には、以下の研究を想定する。

- ① 革新デバイスを下支えする新規機能性材料の創製及び適用可能性の追求による素材技術の創出
  - ・ 新規機能性材料の構造や物性に関する計測・解析・加工プロセス技術の創出
  - ・ 革新デバイスになることが期待されるグラフェン等の原子薄膜の結晶実現・機能解明・学理構築に関する研究
- ② 超低消費電力、超高速、超大容量等を可能にする新材料・新原理・新構造の論理素子・記憶素子等による革新デバイス技術の創出
  - ・ 優れた物性を有する新物質・新規機能性材料をデバイスに応用する技術に関する研究
  - ・ 異種材料の接合等による新機能デバイスの提案と原理実証
  - ・ 微細化・高集積化を可能とする革新的なデバイス・アーキテクチャ技術の創成
- ③ ①、②をはじめとする要素技術を集積・統合・融合することによるナノシステムの最適設計に向けた基盤技術の創出
  - ・ デバイス機能を発現・最適化するための物質構造及びデバイス構造の設計及び計算機シミュレーション技術の創出
  - ・ 素材、回路等の様々な階層の連携・協調による超低消費電力化技術の創出

※1 世界半導体市場統計（WSTS: World Semiconductor Trade Statistics）, “WSTS Semiconductor Market Forecast Autumn 2012”, 2012. 11

※2 一般社団法人半導体産業研究所（Semiconductor Industry Research Institute Japan）, 「半導体産業が日本の社会・経済・環境に与えるインパクトの社会科学分析 最終報告書」, 2009. 7

※3 経済産業省「情報通信機器の省エネルギーと競争力の強化に関する研究会」

※4 IDC, “Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East”, 2012. 12

## 5. 政策上の位置付け（政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等）

「第 4 期科学技術基本計画」では、エネルギー利用の高効率化及びスマート化に向け、「情報

通信技術は、エネルギーの供給、利用や社会インフラの革新を進める上で不可欠な基盤的技術であり、次世代の情報通信ネットワークに関する研究開発、情報通信機器やシステム構成機器の一層の省エネルギー化、ネットワークシステム全体の最適制御に関する技術開発を進める」こととされ、また、産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化のため、「付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する」こととされている。

総合科学技術会議においても、「平成 25 年度科学技術重要施策アクションプラン」（平成 24 年 7 月 19 日総合科学技術会議 科学技術イノベーション政策推進専門調査会）において、「大幅なエネルギー消費量の削減を目指す「エネルギー利用の革新」が政策課題として掲げられ、「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」が重点的取組とされた。また、「平成 25 年度重点施策パッケージの重点化課題・取組」（同上）では、我が国で発見されたカーボンナノチューブやグラフェン等のナノカーボン新材料を、世界に先駆け様々な部材・製品（熱交換器、電池、エレクトロニクスデバイス、複合材料等）へ応用することにより、幅広い産業で部材、部品及び製品の産業競争力を高めるとともに、新たな成長産業を創出することなどから、我が国の産業競争力の強化に向けた重点的取組として、「ナノカーボン新材料（CNT（Carbon Nano Tube）・グラフェン等）の様々な分野への応用／商用技術の開発」が提示された。

以上のとおり、「グリーンイノベーションの推進」や「我が国の産業競争力の強化」に向け、革新的な材料による省エネデバイスの開発が政策的にも求められているところである。

## 6. 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

大学等におけるこれまでの取組や既存の戦略的創造研究推進事業等の成果を積極的に活用するとともに、関連するプロジェクト間と緊密な連携を確保し、速やかに成果の実用化を図る。具体的には、本戦略目標において創出される成果については、将来のエレクトロニクス産業の基盤を確立する観点から、研究期間中であっても、知的財産を適切に確保した上で、研究成果の実用化を目指す産学連携事業等や民間企業のプロジェクトへ速やかに展開する。特に、幅広い産学官の研究者が集結する TIA（つくばイノベーションアリーナ）やその他の研究開発拠点等の枠組みを最大限に活用し、本戦略目標における基礎研究の成果を、我が国の産業競争力の強化に直結させる体制を構築する。

## 7. 科学的裏付け（国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等）

米国では 2011 年 2 月に改定された「米国イノベーション戦略」において重点項目として「ナノテクノロジーを加速化する」との表現が盛り込まれ、特にナノエレクトロニクスへの投資の必要性が謳（うた）われている。また、欧州においては、長期的かつ多額の資金が必要なハイリスク研究で、産業界の支援が明確な領域を優先的に支援する「ジョイント・テクノロジー・イニシアティブ（JTI）」を立ち上げており、その中に、「ナノエレクトロニクス」が含まれている。中国においては、国家中長期科学技術発展計画綱要（2006～2020 年）に基礎研究分野の重点科学研究のテーマとしてナノテクノロジー研究が盛り込まれており、具体的な重点課題として「コンセプト及び原理段階のナノデバイス、ナノエレクトロニクス、ナノバイオ・医学」が挙げられている。

一方、我が国の現状については、「ナノエレクトロニクスでは日本は総じて高い水準を保つが、世界のアクティビティと比較すると必ずしも楽観できるものではない。特にナノエレクトロニクスを牽引（けんいん）するナノ CMOS 技術においては、世界的に研究開発の拠点化とアライアンスが進む中、日本メーカーの研究開発アクティビティは大幅に低下している。深刻なのはアカデミアの基礎研究・開発も他国に遅れ始めたことであり、今後、長期的観点に立った人材育成策や産学協同体制の構築を図らない限り、やがては韓国あるいは中国に追い抜かれることは避けられないだろう」と、諸外国との国際比較に基づき分析している\*。

このような状況を踏まえ、本戦略目標を通じて、ナノエレクトロニクスに関わる研究開発が進

展することで、大幅な低消費電力化、小型化、新機能を有するデバイスが実現し、ビッグデータ時代に不可欠な省エネシステムを達成するとともに、エレクトロニクス産業等の競争力強化を実現することが求められる。

※独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター、「ナノテクノロジー・材料分野 科学技術・研究開発の国際比較 2011年版」, 2011

## 8. 検討の経緯

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（JST/CRDS）が開催した科学技術未来戦略ワークショップ「次世代を拓くナノエレクトロニクス～2030年の先を求めて」（平成21年3月）において、①微細化、集積化の限界を突破又は回避するためのナノエレクトロニクス基盤技術の研究開発、②ナノエレクトロニクスデバイスのための新材料探索とデバイス適用可能性の実証の推進の重要性が改めて確認された。上記ワークショップの議論も踏まえ、JST/CRDS戦略プロポーザル「ナノエレクトロニクス基盤技術の創成－微細化、集積化、低消費電力化の限界突破を目指して－」（平成21年7月）が策定され、新原理、新構造、新材料の探索と、それらを用いたデバイスの研究開発に対する長期にわたる取組が必要であることが提言された。グラフェンを始めとする二次元薄膜が注目を集めている中、JST/CRDS科学技術未来戦略ワークショップ「機能性原子薄膜／分子薄膜の創生と展開」（平成24年2月）が開催され、エレクトロニクス動作に際してのエネルギーロス最小化には、究極的に薄い膜、つまり原子薄膜、分子薄膜が理想的であることが指摘された。上記ワークショップの議論を踏まえ、JST/CRDS戦略プロポーザル「二次元機能性原子薄膜による新規材料・革新デバイスの開発」が策定され、「アプリケーションニーズに応える機能性原子薄膜による革新デバイス基盤技術の創出」と「シーズ技術の先鋭化に資する新構造原子薄膜の機能研究とデバイス設計学理の創出」が、具体的な研究開発課題として提言された。

以上の議論も踏まえ、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会が取りまとめた「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について<中間取りまとめ>」（平成23年7月）において、「エレクトロニクスの省エネルギー化、多機能化」が課題解決に向けた重点研究開発課題とされ、省エネルギー性能の向上やグローバルな競争環境を注視しながら研究開発を加速することが重要であるとされた。また、情報科学技術委員会が取りまとめた「情報科学技術に関する推進方策（中間報告）」（平成23年9月）において、情報科学技術に今後求められる方向性として、「ITシステムの超低消費電力化（グリーン化）」が挙げられた。以降、両委員会において継続的に議論が重ねられた。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

## 9. その他

世界各国がしのぎを削る中、我が国としてもこれまでの学術的・技術的・人的蓄積を最大限生かし、TIAなどの世界的な産学官集中連携拠点等とも連携して、本戦略目標における基礎研究の成果を、我が国の産業競争力の強化に直結させる体制を構築させることが重要である。そのため、本戦略目標では、大学等におけるこれまでの取組や既存の戦略的創造研究推進事業等の成果を積極的に活用するとともに、関連するプロジェクト間と緊密な連携を確保し、速やかに成果の実用化を図ることが求められる。