

令和 6 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(新技術シーズ創出)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 6 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 6 年度発足の新規 CREST、さががけ、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 6 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)
<u>さががけ</u> AI・ロボットによる研究開発プロセス革新のための基盤構築と実践活用(研究開発プロセス革新)	竹内 一郎 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授/理化学研究所 革新知能統合研究センター チームリーダー)	自律駆動による研究革新(令和 6 年度)
<u>CREST</u> 予測・制御のための数理工学的基盤の創出(予測数学基盤)	小谷 元子 (東北大学 材料科学高等研究所 主任研究者・教授/東北大学 理事・副学長)	新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学(令和 6 年度)
<u>さががけ</u> 未来を予測し制御するための数理を活用した新しい科学の探索(未来数理科学)	荒井 迅 (東京工業大学 情報理工学院 教授)	新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学(令和 6 年度)
<u>CREST</u> 光と情報・通信・センシング・材料の融合フロンティア(光融合)	中野 義昭 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)	持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓(令和 6 年度)
<u>さががけ</u> 光でつなぐ情報と物理の融合分野の開拓(光融合)	川西 哲也 (早稲田大学 理工学術院 教授)	持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓(令和 6 年度)
<u>CREST</u> 材料創製および循環プロセスの革新的融合基盤技術の創出とその学理構築(材料創製と循環)	岡部 朋永 (東北大学 大学院工学研究科 教授/東北大学 グリーン未来創造機構 グリーンクロステック研究センター長)	選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～(令和 6 年度)
<u>さががけ</u> 材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発(材料の創製・循環)	北川 進 (京都大学 高等研究院 特別教授)	選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～(令和 6 年度)
<u>CREST</u> 革新的な計測・解析技術による生命力の解明(生命力)	水島 昇 (東京大学 大学院医学系研究科 教授)	「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～(令和 6 年度)

<u>さががけ</u> 時空間マルチスケール計測に基づく生物の復元あるいは多様化を実現する機構の解明(生命力の二面性)	上村 匡 (京都大学 大学院生命科学研究科 教授)	「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～(令和6年度)
<u>さががけ</u> 細胞操作(細胞を遊ぶ)	<u>研究総括</u> 宮脇 敦史 (理化学研究所 脳神経科学研究センター・光量子工学研究センター チームリーダー) <u>副研究総括</u> 山本 卓 (広島大学 大学院統合生命科学研究科 教授)	細胞操作～革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明(令和5年度)
<u>ACT-X</u> 生命と情報(生命と情報)	杉田 有治 (理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員)	・「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～ ・自律駆動による研究革新 ・革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明 ・老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明 ・『バイオ DX』による科学的発見の追求 ・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 ・革新的植物分子デザイン ・細胞内構成因子の動態と機能
<u>ACT-X</u> AI 共生社会を拓くサイバーインフラストラクチャ(サイバーインフラ)	下條 真司 (青森大学 ソフトウェア情報学部 教授)	・持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓 ・新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術 ・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 ・情報担体と新デバイス ・最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成 ・次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術 ・Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出

(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(新技術シーズ創出)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 (2024年3月末時点)

	氏名(敬称略)	所属
議長	澤本 光男	中部大学 先端研究センター 特任教授
	五十嵐 道子	フリージャーナリスト
	熊ノ郷 淳	大阪大学大学院医学系研究科 研究科長
	辻井 潤一	産業技術総合研究所 フェロー
	平山 祥郎	量子科学技術研究開発機構 SIP 推進センター センター長 東北大学 名誉教授
	益 一哉	東京工業大学 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(2023 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(2024 年 3 月 15 日付、別添資料1)を受け、さらに調査(領域調査)を進めました。

(2) 研究領域及び研究総括の事前評価と決定

(ア) 研究主監会議(2024 年 3 月 28 日)を開催し、研究領域及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 が研究領域及び研究総括を決定しました(2024年 4 月 8 日)。

3. 新規研究領域及び研究総括とその設定の理由

新規研究領域及び研究総括と、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、2024 年 4 月現在のものです)

3-1 戦略目標「自律駆動による研究革新」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「AI・ロボットによる研究開発プロセス革新のための基盤構築と実践活用」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

AIやロボット技術の顕著な進展に伴い、科学研究や技術開発のプロセスを加速する自律駆動型の研究開発アプローチが世界的な潮流になりつつあります。AIやロボットを導入することで、研究開発現場の単純作業から研究者・技術者を解放することに加えて、研究者・技術者の認知機能・身体機能を越えた複雑な対象を扱うことが可能になります。研究者・技術者がAI・ロボットと連携しながら研究開発を進めることで、研究開発のあり方そのものが革新され、従来では不可能であった科学発見や技術革新が期待されます。

本研究領域では、自律駆動型の研究開発アプローチの確立を目指し、AI・ロボットを活用した研究開発プロセスの革新につながる基盤技術の創出、ならびに、AI・ロボットを活用した科学技術の発展を目指します。具体的には、研究開発プロセスの革新のための基盤技術として、AI・機械学習の方法開発、ロボットシステムの構築を進めます。また、AI・ロボット技術を活用した生命科学や材料科学等の科学分野、計測工学や機械工学等の工学分野の具体的な研究に取り組みます。基盤技術の開発と科学技術研究への活用を密接に連携させながら進めることで、新たな科学発見や技術革新の創出を目指しつつ、自律駆動型研究開発の汎用的な枠組を構築します。

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)に参画します。

(2)研究総括

たけうち いちろう
竹内 一郎 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授 / 理化学研究所革新知能統合研究センター
チームリーダー)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、研究開発の活動のあり方そのもののパラダイムシフトを目的とし、AI、シミュレーション、ロボット、データ、各研究分野別の知見を融合させ、特定の分野にとらわれず自律駆動型の研究アプローチを推進し、研究者あるいは自律駆動による科学的発見プロセスへの理解を深めるとともに、自律駆動型の研究アプローチの活用環境の醸成を図るものである。達成目標として、以下の 3 項目が設定されて

いる。

- (1) 自律駆動型の研究アプローチによる科学的発見の追及
- (2) 人間には理解困難な複雑現象の解明あるいは人間には到達困難な探索領域の開拓
- (3) 従来型では不可能な研究アプローチを実現するための要素技術の創出

本研究領域では、自律駆動型研究開発の枠組みを構築するために、AI とロボットが有する自律機能を科学研究および技術開発に活用する新しい方法論と、そのボトルネックとなる要素技術の創出を推進する。また、研究者や技術者の認知能力や身体能力を超える複雑な研究開発対象に対する自律駆動型の研究開発アプローチの実証研究を促進する。基盤技術の開発と実践課題への活用を密接に連携させながら進めることで、新たな科学発見や技術革新の創出を目指し、自律駆動型研究開発の汎用的な枠組みの構築を目指すものである。

世界的に自律駆動型の研究開発アプローチへの大規模な投資が行われている状況において、分野を超えた方法論などの創出に取り組む必要がある。ハイスループット実験の導入が進んでいる生命科学や材料科学以外の研究分野においても、技術を含めたネットワーク構築と、専門性を超えた知見の集約が重要である。この目的を達成するためには、様々な分野の個人研究者が独創的で挑戦的な研究により個々の特色を発揮することに加え、相乗効果を生み出す場が必要であることから、研究者間の融合が創発される「さきがけ」を選定することは適切である。また、その実施においては、AI やロボットなどの技術を横断的に活用し、分野にとらわれない多様な研究テーマが想定されるため、優れた研究提案が多数見込まれる。

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 竹内 一郎

竹内 一郎氏は、専門分野が統計的機械学習およびデータサイエンスであり、機械学習の信頼性理論において世界的な研究成果を持つトップクラスの研究者で、科学研究のための AI (AI for Science) に関する研究分野の発展を先導している。同氏は、これまでに、新学術領域研究やムーンショット研究などの多数のプロジェクトにおいて、AI や機械学習を生命科学や材料科学分野などで活用する研究を推進しており、AI や機械学習の理論研究と応用研究の両面に精通した数少ない研究者の一人であり、本研究領域運営に必要な高度な専門性、優れた先見性と洞察力を有していると認められる。

また、名古屋大学の本務以外に、理化学研究所革新知能統合研究センターにおいて、データ駆動型生物医科学チームのチームリーダーとして活動している。同チームでは、AI を生命科学に活用するための技術開発に対して国内外から集結した若手研究者の研究を率いており、本研究領域のマネジメントに関して十分な経験と能力を有していると認められる。

さらに、CREST「信頼される AI システムを支える基盤技術」研究領域では研究代表者を務め、さきがけ「計測・解析プロセス革新のための基盤の構築」研究領域では領域アドバイザーを務めており、戦略的創造研究推進事業への理解があるとともに、Asian Conference on Machine Learning において運営委員を務めるなど、関連分野の研究者から広く信頼され、公平な評価を行うことができると認められる。

以上より、同氏は研究総括として適任であると判断される。

3-2 戦略目標「新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学」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「予測・制御のための数理科学的基盤の創出」(CREST)

(1)研究領域の概要

複雑な要因が絡み合う地球規模課題や社会課題が顕在化・深刻化する中で、直面する脅威や先の見えない不確実な状況に対応していくためには、重要な兆し・変革点を的確に捉えて予測し、取り返しのつかない悪い状態への遷移を回避しなくてはなりません。また、そのような予測に基づいた事象への介入により、最終的により望ましい状態へと導く(もしくは良好な状態を維持する)制御ができる新たな社会基盤を構築していくことが必要です。

このためには、自然・社会現象に関わるあらゆる情報・データの活用に向けて様々な分野が融合して取り組むだけでなく、数理科学がもつ複雑な現象を抽象化して可視化できるという強みを生かすことで、これら現象の解明・理解の深化を図るとともに、それに基づく予測や制御に関わる新しい学理と革新的な技術を創出していくことが重要です。

本研究領域では、社会課題に関わるリアルタイムデータやビッグデータ等に対して、数学・数理科学と他分野との融合により先進的な数理解析・評価手法を開発し、その解析・評価結果を基にした予測・制御のための新たな基礎学理の創出と、実課題に適用するための基盤技術の確立を目指します。

具体的には、複数の現象が絡み合う社会課題を数理モデルや数学的記述により抽象化し、その因果関係や主要因となるパラメータを導出し、現象に関する各分野の専門的知見や AI・機械学習等を活用することで、その確からしさの検証や変化の予兆と変化後の状態の特定、そして現象への介入の試行に取り組めます。また、実課題に適用するために、各分野の専門的知見や社会・産業のニーズ等も踏まえた上で、予測プログラムの開発や新たな介入・制御手法の提案にも取り組めます。

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)に参画します。

(2)研究総括

小谷 ^{こたに もとこ} 元子(東北大学 理事・副学長／東北大学 材料科学高等研究所 主任研究者・教授)

研究領域 2「未来を予測し制御するための数理を活用した新しい科学の探索」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

様々な社会課題の地球規模での深刻化や新たな社会的問題の顕在化が起こる中、地球をグローバ

ル・コモンズとして守り、育てるとともに、人々の安全と安心を確保できる社会の実現が求められています。実現に向けては、あらゆる情報・データを駆使し、社会課題をはじめとした直面する脅威や状況の変化をできる限り早期に検知し、最適な意志決定と対応が可能な新たな社会基盤を構築していく必要があります。

そのためには、複雑な自然・社会現象を解明・解析し、その変化の重要な兆しや変革点を的確に捉え変化後の状態を事前に把握する「予測」と、予測結果へ介入し最終的により望ましい状態へと導く(もしくは良好な状態を維持する)「制御」に関わる新しい学理と革新的な技術を創出していくことが重要です。また、不可能な目標に向けてリソースを割くのは持続可能性の観点から望ましくないため、そもそも予測や制御が可能な現象なのかという問題も問わなくてはなりません。

本研究領域では、社会課題に関係する各分野における複雑な現象や多様なデータを、数学・数理科学によって抽象化及び可視化することで解明・解析し、その結果を現象の予測や制御に繋げるための新たな基礎学理の創出を目指します。

具体的には、社会課題を構成する様々な現象から数学的な構造を抽出し、現象の起点や変化点における因果関係や主要因を説明する変数を探索します。さらに、現象に関する専門的知見も活用しながら、その確からしさの検証・実証や、それに基づく予測・制御の実現可能性の検証に取り組みます。

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)に参画します。

(2)研究総括

荒井 迅(東京工業大学 情報理工学院 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 「予測・制御のための数理科学的基盤の創出」(CREST)

研究領域 2 「未来を予測し制御するための数理を活用した新しい科学の探索」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、Society5.0 の実現や、気候変動などが深刻化する中で地球をグローバル・コモンズとして守り育てるため、様々な分野が融合し、数理科学がもつ抽象性や強みを活かすことで、地球規模課題や社会課題の重要な兆し・変革点を予測・制御するための基礎学理・基盤技術を確立し、課題解決の加速につなげることを目的とするものである。

研究領域1は、社会課題に関わるリアルタイムデータやビッグデータ等に対して、数学・数理科学と他分野との融合により先進的な数理解析・評価手法を開発し、その解析・評価結果を基にした予測・制御のための新たな基礎学理の創出と、実課題に適用するための基盤技術の確立を目指した研究提案を対象としている。予測や制御に関わる情報科学・工学・生命科学・社会科学等をはじめ、対象とする社会課題を扱う様々な分野と数学・数理科学との融合が想定されるため、CREST チーム型研究として設定することが適切である。また、産業数理・応用数理分野において最も歴史と権威のある国際会議「国際産業数理・

応用数理会議(ICIAM)」が 2023 年に日本で初開催されたが、本会議での予測・制御に関連するプログラムが前回から倍増するなど、当該テーマに対する国内外の関心が高まっていることを踏まえ、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。

研究領域 2 は、社会課題に関係する各分野における複雑な現象や多様なデータを、数学・数理科学によって抽象化及び可視化することで解明・解析し、その結果を現象の予測や制御に繋げるための新たな基礎学理の創出を目指した研究提案を対象としている。さきがけでは社会課題を構成する様々な現象を主な対象としており、現象の解明やそれに基づく予測・制御に関する基礎的な知見は、社会課題そのものを対象とする CREST 研究に直接生かせる可能性があり、人材交流も含めた連携が期待できる。予測・制御というテーマの関心度に加えて、社会・産業・文化・自然・環境・生命などあらゆる現象を対象としており、独創的な研究提案が多数見込まれるように設定されている。

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 小谷 元子

小谷 元子氏は、微分幾何学・離散幾何解析学を専門とし、特に数学と材料科学の融合研究を牽引してきたトップ研究者の一人である。2005 年には「離散幾何解析学による結晶格子の研究」に関する優れた業績が認められ、第 25 回猿渡賞を受賞している。また、2014～2022 年内閣府総合科学技術・イノベーション会議議員(非常勤)や 2015～2017 年日本数学会理事長等を歴任しており、現在は日本人初となる国際学術会議理事会次期会長を務めるなど、国際的にも科学技術に対する見識の広さが評価されている。従って、数学と他分野の融合に基づく当該研究領域について、高い先見性と優れた洞察力を有していることが認められる。

同氏は、2012～2019 年まで東北大学材料科学高等研究所の所長を務め、「材料科学全般に数学を導入する」という方針の下、純粋から応用に渡る幅広い数学者と材料科学者との連携を促進し、予見に基づく材料科学のための新たな学術的基盤の整備に大きく貢献した。2017～2021 年には科研費の新学術領域研究(研究領域提案型)「次世代物質探索のための離散幾何学」の領域代表を務め、素粒子物理、計算科学、ナノ材料科学、統計物理などを専門とする多様かつ多数の研究者をまとめ上げ、先進的な成果を上げている。また、CREST「数学」領域の研究代表者を務めた実績などからも、研究課題の効果的・効率的な推進に資する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が認められる。

加えて、これまでさきがけの領域アドバイザーを 2 回務め、現在も CREST「数理的情報活用基盤」領域の領域アドバイザーや SATREPS 運営統括、京都賞基礎科学部門の審査委員を務めていることなどから、公平な評価を行いうると認められる。

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 荒井 迅

荒井 迅氏は、力学系・数理流体力学・計算トポロジーを専門とし、数学の理論研究だけでなく、理論を工学・化学・生物学などの異分野に適用する応用研究においても第一線で活躍する研究者の一人であ

る。10 年以上に渡り、数学的アプローチによる神経機構の解明、気象学の低次元空間解析と予測、化学反応経路網の理解、重力覚解明と感覚拡張世界創出など、数学の他分野への応用・課題解決に先駆的に取り組んでいる。従って、数学を社会課題解決に繋げようとする当該研究領域について、高い先見性と優れた洞察力を有していることが認められる。

同氏は、大学のテニユア・トラック制度の活用やさがしき研究課題の推進を通して、若手の頃から自立的に研究を推進する経験を積んできている。2017～2023 年まで在籍した中部大学では、新たな学術の創発を目指した先端萌芽的な研究の涵養を目指して 2016 年に総長直轄組織として設立された創発学院の運営委員を務め、その学際的な取組・活動を軌道に乗せる上で中核的な役割を果たした。また、CREST「数学」領域および CREST「マルチセンシング」領域の主たる共同研究者として研究チームを主導した実績等からも、研究課題の効果的・効率的な推進に資する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が認められる。

加えて、さがしき「数理構造活用」領域の領域アドバイザーや、米国応用数理学会 SIAM が発行する論文誌「SIAM Journal on Applied Dynamical Systems」の編集委員を務めていることなどから、公平な評価を行いうると認められる。

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。

3-3 戦略目標「持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓」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 「光と情報・通信・センシング・材料の融合フロンティア」(CREST)

(1)研究領域の概要

光科学やフォトンクスは、これまで情報・通信技術に多大に貢献し、今日の社会を支えています。一方、DX や AI が進展する中で、情報システムの格段の低消費電力化や、実世界とサイバー世界をつなぐ高度なインターフェースの必要性が顕在化してきました。本研究領域では、持続可能な社会を支える実世界と融合したグリーン情報システムの実現に必要な基盤技術を創出します。光／光子と電子との本質的な性質の違いに着目して、電子に対する光子の利点を最大限に活用した革新的情報処理、通信、センシングシステムを開拓することを目指します。また、そのために必要な新しい材料やプロセス技術開発にも取り組みます。目的達成には従来の常識から脱却して取り組む必要があり、その手段として、情報システム、デバイス、材料研究者等の分野融合のシナジーに期待しています。領域横断による相乗効果が存分に発揮されるような提案を求めます。

具体的には、(1)光の真価を発揮する原理・要素技術の創出、(2)光と異分野のハイブリッド技術の開発、(3)持続可能な情報社会へ向けた光の革新的利用技術の開拓、を目指す研究提案を想定していますが、これらの範疇に入り切らない自由な発想の独創的提案も対象とします。

(2)研究総括

なかの よしあき
中野 義昭(東京大学 大学院 工学系研究科 教授)

研究領域 2 「光でつなぐ情報と物理の融合分野の開拓」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

グローバルな情報通信ネットワークが最重要の社会インフラとして位置づけられ、DXによるさらなる生産性向上が期待されています。生成系AIに代表される高度な情報処理も身近になりつつありますが、他方、データセンタや通信システムにおける電力消費などの環境へのインパクトが顕在化しつつあります。また、環境から情報を収集する役割を担うセンサの性能向上も非常に重要です。

情報ネットワークでは仮想化技術などにより、物理実体を意識せずにシステム構築ができる部分が大きくなっていますが、環境との情報のやりとりと、環境に負荷をかける部分はすべて、ハードウェアが環境とのインターフェースとなっているという点は従来から変わりありません。持続発展可能な情報システムを構築するためには、ハードウェアの物理的性質の高度な理解と情報技術に基づくシステム設計の融合を進めていく必要があります。高効率・高速といった利点のある光を駆使して物理と情報を直結する世界を実現することが、情報通信システムの革新につながると考えています。また、性能の飛躍的向上には光の

発生・検出・伝達を担う新奇材料の実現が不可欠です。材料研究の段階からシステムのあり方を議論し、情報技術の研究者も材料や光を支配する物理を深く理解することが重要です。

これまでに光の性質を活用した情報処理に関する研究は長年進められてきましたが、既存の情報処理技術との融合や蓄積された知見の活用が十分ではなく、実用化が進んでいないといえます。逆に、既存の情報処理の手法を光技術で代替しようとするあまり光の性質を生かし切れていないといったケースが目立っていた印象です。AI技術の普及に伴い、情報処理を担うデバイスには、半世紀ほどまえのCPU開発以来の最大の変化が求められています。今こそ、光の性質を最大限活用した、革新的な情報システムの実現を目指して、分野横断的な取り組みを加速するべきタイミングであると考えます。

本研究領域では、持続可能な情報通信システムの実現を目指して、我が国が強い光科学と情報・材料等の科学を融合し、従来技術の限界を打破する革新的な融合技術のフロンティアを開拓します。基礎科学やデバイス・システムに関する要素技術の深掘りに加えて、利用技術開拓にわたり階層間の融合を推進し、革新的な技術創出と期待拡大の好循環を生み出していきます。

(2)研究総括

かわにし てつや
川西 哲也（早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 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 「光と情報・通信・センシング・材料の融合フロンティア」(CREST)

研究領域 2 「光でつなぐ情報と物理の融合分野の開拓」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、持続可能な社会を支えるグリーン情報システムの基盤技術の確立へ向けて、光科学と情報・材料等の科学を融合し、従来技術の限界を打破する革新的な融合技術のフロンティアを開拓することを目的としている。光と情報・材料等の分野間の融合と共に、基礎研究から利用技術開拓にわたり階層間の融合を推進することで、革新的な技術創出と期待拡大の好循環を生み出すことを目指す。

研究領域 1 は、光(光波・光子)と電子との本質的な性質の違いに着目して、電子に対する光子の利点を最大限に活用した革新的情報処理、通信、センシングシステムの開拓やそのために必要な新しい材料やプロセス技術開発にも取り組むものである。具体的には、(1)光の真価を発揮する原理・要素技術の創出、(2)光と異分野のハイブリッド技術の開発、(3)持続可能な情報社会へ向けた光の革新的利用技術の開拓の3つのテーマを対象としており、これらのテーマに係る研究を推進することで、現象・物性・材料・理論等に係る基礎科学の拡充や従来想定されていなかった応用を含む光技術の新しい潮流を創出することが期待され、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。また、本研究領域は、光科学だけでなく、数理・アーキテクチャを含む情報分野、機能材料・複合材料等材料分野の研究者、応用先となる環境・医療・化学等幅広い分野の研究者の参画が見込まれることから、先進的で優れた研究提案が多数見込まれると考えられる。

将来の社会で実用される情報システムを作り上げるには、光と異分野の英知を結集させ分野横断的且つ垂直統合的に研究開発を進める必要があり、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、高効率・高速といった利点のある光の性質を最大限に活用した革新的な情報システムの実現を目指し、光科学、情報科学、材料科学等の基礎研究及びこれらの融合分野に関する研究提案を対象としている。基礎科学やデバイス・システムに関する要素技術の深掘りに加え、利用技術開拓までの階層間の融合を推進し、革新的な技術創出と期待拡大の好循環を生み出すことから、戦略目標の達成に向けた適切な研究領域である。また、本研究領域は、光の潜在能力を最大限引き出せる究極的な光電変換・制御等の要素技術に関する研究のみならず、光や電子だけでは突破できなかった従来の性能限界を超える光×電子・量子等の光と異分野のハイブリッド技術に関する研究を想定しており、優れた研究提案が多数見込まれる。独創的で挑戦的なアイデアをもった多様な分野の研究者が集い、相互交流・触発を図ることで、分野を異にする科学技術の間から新しい研究分野の創出を目指すことから、さきがけを選定することは適切である。

さらに、CREST・さきがけの両領域間での連携を図り、それぞれがもつ知見や技術を共有することで、効率的な成果創出と異分野連携の促進が期待できる。

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 中野 義昭

中野 義昭氏は、光集積回路の研究にその黎明期から携わっており、日本の光エレクトロニクス分野を牽引してきた研究者の一人である。これまで、半導体に基づく発光・光制御デバイス、光集積回路、高効率太陽電池の研究といった幅広い分野に取り組まれており、本研究領域の趣旨や目的等に関して先見性と深い洞察力を有していると認められる。これらの研究については産学官連携功労者表彰 内閣総理大臣賞や電子情報通信学会 功績賞を受賞するなど高く評価され、本領域の総括を務めるために十分な知識・経験と実績を有している。また、同氏は、日本学術会議会員、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ会長、応用物理学会理事等を歴任しており、関連分野の研究者からの信頼も厚い。

過去には、NEDO「フォトニックネットワーク技術開発事業(2002～2006 年度)」のプロジェクトリーダー、NEDO「ポストシリコン超高効率太陽電池の研究開発(2007～2013 年度)」のグループリーダーとして、産学が協同する大型プロジェクトを指揮した経験があり、適切な研究マネジメントを行う経験と能力を有していると認められる。

さらに同氏は、過去には CREST「電子・光子等の機能制御」領域の研究代表者、現在は CREST「独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成」領域の領域アドバイザーを務め、CREST への理解も深く、公平な評価を行いうると認められる。

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 川西 哲也

川西 哲也氏は、高速光変調、光伝送、光無線融合システムを研究する研究室を主催しており、光変調器に係る研究の第一人者である。同氏は光の特性を活用した材料からデバイス、さらに光通信技術まで幅広い研究の経験と実績を持っており、最近では光変調による演算についても研究の幅を広げており、技術に対する幅広い知見と高い目利き力が期待される。

研究面においては、これまでに文部科学大臣表彰 科学技術賞や経済産業省産業標準化事業表彰 産業技術環境局長表彰を受賞するなど、その先見性や研究実績は高く信頼、評価されている。

また、科研費学術変革領域 A「光の極限性能を生かすフォトニックコンピューティングの創成」領域(2022～2027年)の領域代表者として、異分野連携や共同研究、人材育成等を図る大規模なグループ研究を主導しており、本研究領域のマネジメントについて、十分な経験、能力を有していると認められる。

さらに、IEEE Photonics Society 理事や電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ会長等を歴任するなど、関連分野を中心に研究者から信頼を得ている。また、創発事業「塩見（淳）パネル」では、創発アドバイザーを務めるなど、公平な評価を行いうると認められる。

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「選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～」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 「材料創製および循環プロセスの革新的融合基盤技術の創出とその学理構築」(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、世界中で顕在化している環境問題、資源問題のうち、物質・材料の持続可能性に着目し、材料創製研究および循環プロセス研究を融合した革新的な基盤技術の創出およびそこから見出される基礎学理の構築を目的とします。

欧州を始めとする国際的な環境規制強化、地下資源枯渇・原料調達リスク等の増大から、サーキュラーエコノミー、サプライチェーンマネジメントの重要性が増しており、これら種々の社会的制約に対応した新たな取り組みが求められています。

具体的には以下の通りです。

材料創製研究においては、原料として資源制約を受けにくい物質・材料の利用または将来的なアップサイクルを指向した再生材の利用を前提とし、使用時に求められる機能性の追求に加え、使用後の再利用を考慮した資源循環型材料設計指針の確立を目指します。たとえば、使用済みの材料・製品から分離・回収工程を経ずに、または、分離・回収工程の中で所望の新材料・新製品を創製する技術開発に期待します。

循環プロセス研究においては、材料創製が求める性能・機能を満足した再生材の大量かつ安定供給を可能にする技術、社会実装上、材料創製に必要な要求(価格や安全性など)を達成可能な選択的かつ効率的な分離・回収技術の開発を目指します。現在市場で流通している材料の多くは、その機能発現のために複合化・複雑化していることから、循環の高度化のため、その内部構造や界面といった制御因子を多面的に評価、計測、解析する技術への取り組みにも期待します。

以上、二つの研究を連携することにより、資源循環システムの構築を目指す研究を推進します。

また、これら知見を新たな学理として体系化し、持続可能な社会の実現に貢献することも重要です。従いまして、本研究領域で構築される新たな学理を国際的に発信することも目的とし、国際的な観点から見てプレゼンスの高い学術誌に公刊され得る基礎的かつ学術的な研究成果が期待されます。

(2)研究総括

おかべ ともなが
岡部 朋永 (東北大学 大学院工学研究科 教授)

研究領域 2 「材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、世界中で顕在化している環境問題や資源問題のうち材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発を目的とします。資源枯渇への対応や環境負荷の低減、再生材使用率の向上といった社会からの要請に応えるには、それらの制約を受け難い原料からの材料創製および使用済みの材料を望み通りに分離・回収・リサイクルするための基盤技術の創成が重要で、それらが互いに結びつき、循環サイクルとして機能することも重要です。これまでの物質科学の枠組みを超え、多様な学術知見をもとにした新たな材料創製と循環に関わる基礎学理を構築し、それらの基盤技術の開発に取り組むことで、これからの資源循環型社会の実現に貢献することを目指します。

具体的には、材料・化学、物理学、環境・エネルギー、バイオ、エレクトロニクス、原子力、地質・海洋など幅広い分野を対象とし、金属、無機、有機・高分子、バイオなどにおいてこれまで取り扱われてきた純粋な材料だけでなく、不純物を含む複雑系材料にも焦点を当てます。すなわち、汎用資源やユビキタスに存在する原料、不純物を含む複雑系(廃棄物・廃液)原料を対象とした、高機能・高性能かつリサイクル性を考慮した材料の創製、および材料創製に最適な形で再生材を供給可能とする分離、分解、回収といった循環技術に関する基礎研究を展開し、その基礎学理を構築すると共に、循環型社会の実現に貢献する基盤技術の開発を目指します。

(2)研究総括

きたがわすすむ
北川 進 (京都大学 高等研究院 特別教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域 1 「材料創製および循環プロセスの革新的融合基盤技術の創出とその学理構築」(CREST)

研究領域 2 「材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

研究領域 1 は、金属材料、無機材料、有機・高分子材料およびそれらの複合材料ならびにそれらからなる製品を対象に、研究分野としては、それらを扱う、材料・化学、環境・エネルギー、バイオ、機械、エレクトロニクス、原子力、地質・海洋、社会科学など幅広い分野を対象としている。材料創製と循環プロセスの連携により、環境制約、資源制約に対応した新規なモノ作りとその循環サイクルの構築に係る基礎研究を推進し、将来的なアップサイクルを可能とする斬新なコンセプト、新たな学術分野に挑戦することが求められ、その成果を国際的なプレゼンスの高い論文に公刊されることが期待できる学術性の高い研究提案を対象としている。材料創製においては、汎用元素や再生材を原料として、高機能、高性能材料かつ環境低負荷、リサイクル性も考慮した材料創製を目指す研究、使用済みの材料や製品から分離・分解・回収工程を経ずまたは最小化して、新材料創製を目指す研究、また、材料創製に最適化した再生品を望む形で分離・分解・回収し、安定かつ大量に効率よく提供する技術に関する研究を推進するため、広範な分

野から多くの研究提案が望まれるとともに、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 事業を実施することは適切である。

研究領域 2 は、材料・化学、物理学、環境・エネルギー、バイオ、エレクトロニクス、原子力、地質・海洋など幅広い分野を対象とし、金属、無機、有機・高分子、バイオなどにおいてこれまで取り扱われてきた純粋な材料だけでなく、不純物を含む複雑系材料にも焦点を当て、新たな材料創製と循環に関わる基礎学理を構築し、それらの基盤技術の開発に取り組むことで、これからの資源循環型社会の実現に貢献することを目指す。具体的には主に材料創製研究と分離・分解・回収法研究の2つの研究内容を想定しており、材料創製および分離・分解・回収法の基盤技術の開発に向けた基礎学理の構築を行う。資源枯渇への対応や環境負荷の低減、再生材使用率の向上といった社会からの要請に応えるには、それらの制約を受け難い原料からの材料創製および使用済みの材料を望み通りに分離・回収・リサイクルするための基盤技術の創成が重要で、それらが互いに結びつき、循環サイクルとして機能することも重要であるため、本研究領域は戦略目標達成に向けて適切に設計されている。これまでの物質科学の枠組みを超え、多様な学術知見をもとにした新たな材料創製と循環に関わる基礎学理を構築するためには独創的で挑戦的な提案が望まれるため、さきがけ事業を実施することは適切であり、幅広い分野・材料・アプローチを対象としているため、多数の提案が見込まれる。さらに CREST 領域の研究チームと密な連携をもつことで、それぞれで得られた知見や技術を共有し効率的に成果が得られることが期待できる。

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 岡部 朋永

岡部朋永氏は、複合材料工学が専門で、我が国が世界市場を席巻している最先端素材である炭素繊維複合材のマルチスケールシミュレーション手法の開発などを通して、炭素繊維複合材料の航空機用途拡大に大きく貢献した。また、分子レベルから航空機設計を一気通貫に可能にする手法の開発を手がけるなど、炭素繊維複合材研究の最前線に身を置いている。なお、炭素繊維複合材料のシミュレーション手法の開発や特性評価等において優れた業績を上げており、関連学会より論文賞、奨励賞等の受賞に加え、文部科学大臣表彰若手科学賞も受賞しており、複合材料のトップジャーナルの Composites Part A(I.F.8.7)である Asia and Australian editor、International Conference on Composite Materials (ICCM)における日本人唯一 Executive Council Members を務め、国際的にも高く評価されている。

一方、サーキュラーエコノミーの観点では、東北大学内に、グリーン分野の企業との共創の場として、先端計測・計算・データ科学融合を基盤とするグリーンクロスセクター研究センターの設立を主導するとともに、ソフトマテリアル、複合材料の循環性評価などを手がけている。SIP 第3期課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」においてもサブプロジェクトディレクター兼プロジェクトマネージャーを務めている。また、サーキュラーエコノミーに関して経済産業省 産業構造審議会臨時委員を務め、政府の資源循環経済政策に関する議論をリードする立場にある。さらに、東北大学総長特別補佐として大学内における共創研究所をはじめとする産学連携に関する取り組みのほか、NEDO 次世代複合材創製・成形技術開発プロジェクトリーダー、NEDO 経済安全保障重要技術育成プログラム プログラム・オフィサーなどを兼任す

るなど、高いマネジメント能力が評価されており、本研究領域のマネジメントについても、十分な経験、能力を有していると認められる。

さらに、CREST「革新的計測解析領域」では領域アドバイザーを努め、CREST への理解があり、公平な評価を行いうると認められる。

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 北川 進

北川進氏は、無機化学、配位空間の化学を専門とし、マイクロ孔を有する金属錯体である多孔性配位高分子の合成、その機能発現に関する研究を実施している。

多孔性材料の合成、軌道理論、物性評価、センサや燃料電池の研究開発、生物代謝など材料合成から資源循環まで基礎科学から産業応用まで幅広い知見をもち、その優れた研究実績は日本化学会賞、紫綬褒章、日本学士院賞といった国内賞の受賞だけでなく、米国化学会バソロ賞やエマニュエルメルク賞などの国際賞も受賞するなど高く評価されている。

また、錯体化学会の会長を務めるなど関連分野の研究者からの人望も厚く、また京都大学アイセムス(高等研究院 物質－細胞統合システム拠点)では拠点長としてアジアを中心とした数々の国々との学術交流を締結するなど組織運営、研究マネジメント、若手育成における熱意と能力が期待できる。

さらに、さががけ「超空間制御と革新的機能創成」領域では領域アドバイザーを務め、さががけ事業への理解があり、公平な評価や若手研究者の育成を行いうると認められる。

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。

3-5 戦略目標「「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～」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 「革新的な計測・解析技術による生命力の解明」(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、令和6年度戦略目標「「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～」に基づいて、ニーズ志向の分野横断アプローチを通じて、さまざまな計測パラメーターの重ね合わせによって「生命力(The power of life)」を解き明かすことを目標とし、「生命力」を可視化・浮き彫りにするための革新的な計測・解析技術の開発と、開発された技術を活用した「生命力」の解明を目指します。

本研究領域では、生体において、一定のアイデンティティを持ちながらダイナミックに変化できる力(ダイナミズム)、生命が過酷な環境に耐える力(ロバストネス)、外的刺激や内的要因によって生じる”揺らぎ”を一定の範囲にとどめる力(ホメオスタシス)など、生命に重要なこれらの性質を包括する概念を「生命力」として表現していますが、これらに限らず、本研究領域に参加する研究者自らが考える「生命力」を追求し、その解明と理解を目指します。なお、「生命力」には、生命が生み出す力と、生命を生み出す力のいずれもが含まれるものとします。

「生命力」を解明するため、研究者間で分野横断的な融合チームを組み、生命科学のニーズを見据えた革新的な計測・解析技術を開発します。また、生命に包含される幅広い時間・空間スケールに対応し、時にはスケールを横断するなど、さまざまなパラメーターを重ね合わせることで、これまで見えてこなかった「生命力」を浮き彫りにすることを目指します。

本研究領域にて生命科学のニーズに応える革新的な計測・解析技術が開発され、これまで見えてこなかった、もしくは顧みられてこなかった「生命力」の解明を通じ、本領域から新しい生命観が創造されることを期待します。

(2)研究総括

みずしま のぼる
水島 昇 (東京大学 大学院医学系研究科 教授)

研究領域 2 「時空間マルチスケール計測に基づく生物の復元あるいは多様化を実現する機構の解明」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、幅広い時空間スケールの中で生物が示す応答の二面性に注目し、分野横断的な計測・解析技術の最適化や開発を通して、この応答を実現する機構を解明し、さらに制御することを目指します。

生物界で見られる事象は、空間的には分子レベルから組織、個体、集団レベルまで、時間的には瞬時

に起こる化学反応から個体の成長や世代を越えた形質の発現まで、広範なスケールにわたります。この中で、外界からの刺激や時の移ろいの中で変化した生物は、元の状態に戻ろうとする(復元)一方で、さらに変化を推し進めて、元とは異なる状態で安定する(多様化)こともあります。生物が示すこれらの応答を、本研究領域では「生命力」として扱います。

生物の復元や多様化の機構を解明するには、広大な時空間スケールにまたがる事象間の因果関係を明らかにしなければなりません。そのため、生命力の解明に当たっては、取得すべき情報のモダリティやデータ量に応じて既存の技術を組み合わせる、あるいは新技術を開発することにより、目的に適した計測手法を構築する必要があります。さらに、近年はオミクス技術などの発展により、時空間スケール内の各座標について、膨大かつ複雑なデータの取得が可能になっているため、個々のデータあるいは複数のデータの中から生物学的意味を抽出・理解し利活用できる情報科学的手法を導入することも重要です。

計測、データ解析、仮説の立案と検証からなるサイクルを回して、様々な文脈において生命力を実現する機構を明らかにすることで、基礎生命科学における未解決の問題が解かれるのみならず、さらに未知の生命力の発見につながることが期待されます。

(2)研究総括

うえむら ただし
上村 匡 (京都大学 大学院生命科学研究所 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 「革新的な計測・解析技術による生命力の解明」(CREST)

研究領域 2 「時空間マルチスケール計測に基づく生物の復元あるいは多様化を実現する機構の解明」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、ライフサイエンス上のニーズを踏まえた目的志向の思考の下、「生命力」の解明を目指し、分野横断的挑戦により、幅広い時間・空間スケールを見据えた計測・解析技術開発を推進するものである。本戦略目標達成のため、下記の3項目が具体的な達成目標として設定されている。

- ① ライフサイエンス上のニーズを踏まえた計測・解析技術開発
- ② 分野横断的挑戦や要素技術の複合的な組み合わせを通じた、幅広い時間・空間スケールを見据えた計測・解析技術開発
- ③ 「生命力」の解明

上記の達成目標の実現を通じ、基礎生命科学において未解明な「生命力」を支える機構を理解し、さらに制御することを目指すものとしている。この課題の達成により、疾患の予防や健康寿命の延伸に科学的根拠を提供すると共に、第一次産業に革新をもたらし、持続可能な社会の実現に貢献することが期待される。

以上のような戦略目標を踏まえ、研究領域1は、生命科学分野に対するニーズ志向の分野横断アプローチを通じて、さまざまな計測パラメーターの重ね合わせによって「生命力(The Power of Life)」を解き明かすことを目標とし、「生命力」を可視化・浮き彫りにするための革新的な計測・解析技術の開発と、開発された技術を活用した「生命力」解明を達成目標の両輪としている。技術開発と「生命力」解明を両輪として進めることで、ニーズ志向の技術開発を実現し、開発された計測・解析技術を活用して未知の「生命力」が解明されることが期待される。研究領域 1 では、「生命力」の定義をあえて限定しないことから、幅広い分野の研究者から多数の応募が見込まれる。また、計測・解析技術の開発については、分野横断的なアプローチの必要性があることから、研究推進体制として異分野の研究者からなるチーム編成が可能な CREST 事業での実施は適切である。さらに、さきがけ領域の若手によるチャレンジングな個人型研究と協力することで、新規計測・解析技術の創出に繋がる可能性もあり、それぞれの成果が発展できる相互補完的な体制の構築が期待される。

研究領域 2 は、空間的には分子レベルから組織、個体、集団レベルまで、そして時間的には、瞬時に起こる化学反応から個体の成長や世代を越えた変化まで、広範な幅広い時空間スケールの中で生物が示す応答能力に関する未解明の問いを追究する提案を対象としている。外界からの刺激や時の移ろいの中で変化した生物は、元の状態に戻ろうとする(復元)一方で、さらに変化を推し進めて、元とは異なる状態で安定する(多様化)こともある。この二つを併せ持つ生命力を実現する機構を解明するため、取得すべき情報のモダリティやデータ量に応じて既存の技術を組み合わせる、あるいは新技術を開発することにより、目的に適した計測手法を構築して研究を進めるように設定されている。また、近年発展のめざましい情報科学的手法を活用し、オミクス技術などで得られた時空間スケール内の個々の座標における膨大かつ複雑なデータから、生物学的意味を抽出・理解し利活用するのかが重要視する。本研究領域では、微生物・植物・動物・ウイルス、さらにそれらの組み合わせを対象とすることから、幅広い分野から多数の優れた研究提案があることが見込まれる。さらに CREST 領域の研究チームと密な連携をもつことで、それぞれで得られた知見や技術を共有し効率的に成果が得られることが期待できる。

以上を総合すると、これら2領域は互いに連携し、それぞれが効率的に戦略目標の達成に寄与するように設計されており、革新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。

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 水島 昇

水島昇氏は、細胞内分解システムであるオートファジー研究の第一人者であり、世界で初めて生きた細胞内部のオートファジー現象を可視化したり、オートファジーを検出する活性レポーターを開発したりするなど、多様な計測・解析技術を駆使しながら、幅広くオートファジーの分子メカニズムや生理的な機能の解明に取り組んできた。また、ERATO「水島細胞内分解ダイナミクスプロジェクト」(2017年～2024年)の研究総括として異分野融合型プロジェクトを遂行した。その卓越した研究実績や人柄から、多くの研究者の信頼を集めており、ライフサイエンス分野全体を対象として分野横断的な挑戦を推進する本領域の研究総括として求められる、幅広い知見と高い目利き力を有していると期待される。

また、細胞生物学の専門家として卓越した研究業績が認められ、2006 年に文部科学大臣表彰若手科学者賞、2008 年に日本学術振興会賞、2021 年には紫綬褒章を受章している。さらに、2013 年にトムソン・ロイター引用栄誉賞を、2014～2023 年にかけて、Clarivate Analytics 社 Highly Cited Researchers を 10 年連続で受賞するなど、国際的にも非常に高く評価されている。加えて、日本生化学会にて会長(2016 年～2017 年)を、日本分子生物学会にて副会長(2021 年～2022 年)を務めるなど、関連分野の研究者コミュニティからの人望も集めている。

さらに、2011 年度から 2017 年度にかけて、2つのさががけ研究領域「細胞構成」および「恒常性」の領域アドバイザーを務めたほか、2021 年度からは創発的研究支援事業「水島パネル」の研究総括を務めており、本 CREST 領域のマネジメントについても、十分な経験と能力を有するとともに、公平な評価を行うと認められる。

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 上村 匡

上村匡氏は、細胞生物学・発生生物学を専門とし、組織の形づくりや神経回路の形成における細胞の極性や非対称性の形成メカニズムの解明など多くの研究実績を有し、2004 年に日本学術振興会賞、2009 年に井上学術賞を受賞するなど高く評価されている。近年は、発生生物学に栄養・代謝など幅広い視点を取り入れ、生体がどのように環境に応答し器官形成、成長、生殖、老化を調節しているのか、近縁種間比較やマルチオミクスを活用した独自性の高い研究を実施している。また、発生生物学分野のトップジャーナルである *Developmental Cell* 誌の Associate Editor を、20 年以上に渡って務めている。加えて、データ駆動型生命科学を牽引できる人材育成を目指して、京都大学大学院生命科学研究科 附属生命情報解析教育センターの設立に携わり、センター長を兼任している。

生命現象全般に対して幅広い視野を有しており、細胞生物学会、発生生物学会、分子生物学会等において年会運営委員、編集幹事、年会長、理事など多数の役職を務め、文部科学省研究振興局科学官の経験もあるなど、適切な領域マネジメントを行う十分な見識、経験、能力を有している。また、さががけ「脳神経回路の形成・動作と制御」領域アドバイザーを務めた経験の他、Human Frontier Science Program の Councils of scientists や国内連絡委員を務めており、公平な評価を行うと認められる。さらに、同氏の若手研究者育成への理解と熱意については研究者コミュニティから定評がある。

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。

3-6 戦略目標「「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～」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「細胞操作」(CREST・さがけ複合領域 ※令和6年度さがけ追加)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、細胞制御の機構に関する操作と理解をインタラクティブに進めることにより、ライフサイエンスの幅広い分野にインパクトをもたらす技術革新の創出を目指します。

ここでは「細胞制御」における細胞を、個体や組織を構成する要素、または各種オルガネラから構成される集合システムと捉えます。10の6乗個以上の細胞をすり潰して生化学実験に供するような従来の解析手法に対して、近年のシングルセルオミクス解析およびバイオイメーシング技術による時空間解析は、細胞個々のパーソナリティやインテグリティを尊重し、細胞制御機構に関するより詳細かつ多面的なデータをもたらしてくれています。こうしたデータ量の爆発的増大と歩調を合わせたかのように人工知能の基盤技術が広く伝播し、データ分析の高速化が実現しています。

ただしデータの量が増えても細胞制御機構の理解が深まるとは限りません。複雑なシステムを支配する因果関係を暴くには、ある特定の要素の働きを操作してシステム全体あるいは他の要素の振る舞いを調べるのが有効です。そこで本研究領域は、技術開発の側に立って、細胞制御機構の操作(以降、細胞操作と略称)に焦点を合わせる方針をとります。解析に伴って必然的に起こる対象への操作を定量的に扱う必要を認識しつつ、対象を自在に操作する技術の開発を鋭意進めます。既存の技術に潜むノビシロを粘り強く追及することは大切であり、現在の細胞操作の中心的要素技術、たとえば、ゲノム編集や光・化学遺伝学を、最先端技術を駆使して改善すれば、精度向上や多様化の点で相応の進歩が達成されるでしょう。細胞操作を支援するハードウェアやソフトウェアも併せて開発する必要があるでしょう。異種技術とのクロスオーバーを網羅的に行うことで飛躍的進歩を起こす試みも大切です。一方で、全く新しい細胞操作のための要素技術をゼロから創り上げ、細胞制御機構の新局面を開拓する試みが必要です。

細胞は面白い謎をたくさんはらんでいます。細胞は、科学の常識で凝り固まった研究者を避けて、無邪気に接する研究者に心を許してその制御機構を開示してくれるのでしょうか。細胞操作とは細胞を遊ぶことであると捉えていきます。参画研究者が失敗を恐れず細胞を遊びぬく環境を創りたいと思います。細胞遊びを巡って生まれる操作と理解のスパイラルが、領域の外とも相互作用しながら正に成長し、どこかでたとえ小さくても新しい渦を創ることを望みます。想定外の展開を積極的に取り込み、採択された各研究チームが設定目標を大胆に見直しながら研究を進めることで、領域自身もしなやかな成長を図ります。

<さがけ研究についての概要(補足)>

さがけ領域では、CREST「細胞操作」の方針を踏まえ、細胞制御機構に関する新たな知見の創出と革新的細胞操作技術の開発(操作ツールの開発を含む)を目指す意欲的かつ斬新な提案を期待します。

近年、オプトジェネティクスやゲノム編集を基盤技術として、細胞操作のための様々な発展技術（エピゲノム編集など）の開発が競って進められています。これら新規技術の開発は単なる要素技術の組み合わせでなく、未知の微生物種からの機能分子の特定や構造生物学的なアプローチ、進化工学を取り入れた機能の高度化が必要とされます。細胞制御機構の解明には、新規の細胞操作技術の活用に加えて、AI やビッグデータ解析などのデータ駆動型アプローチや数理モデル解析を融合したアプローチも重要であり、これにより様々な分野で応用可能な制御技術へ道が拓けるでしょう。

革新的細胞操作技術の開発には、地球上の多様な生物のもつ優れた機能に注目することも重要です。この生物種特有の機能を発揮させるためには、人工染色体技術や合成生物学的手法の導入も有効です。さらに、操作した細胞の個体レベルでの活用や個体内での細胞操作を目指す課題設定も重要であり、それらの研究成果が創薬や品種改良に直結する革新的なイノベーションにつながるものと期待されます。

以上を踏まえ、さきがけ領域では、領域内での異分野連携を積極的に推進することにより、次世代のライフサイエンスの基盤技術となる新規の細胞操作技術の創出を目指します。

(2) 副研究総括(さきがけ担当)

やまもと たかし
山本 卓 (広島大学ゲノム編集イノベーションセンター 教授・センター長)

[2] 研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域「細胞操作」(CREST・さきがけ複合領域 ※令和6年度さきがけ追加)

(1) 研究領域選定の理由

本戦略目標は、これまでに明らかとなった細胞制御機構に関する知見などを基盤として、様々な分野で応用される革新的な細胞操作のための基盤技術の開発と、それらを用いた細胞制御機構の解明を目指すものである。研究分野や手段、扱う生物を制限せず、革新的細胞操作技術の開発（操作ツールの開発を含む）に軸を置くアプローチを広く対象とし、技術開発と機構解明の両輪を縦横無尽に行き来しながらライフサイエンスの幅広い分野にインパクトをもたらす技術革新の創出を目的とするものである。

上記戦略目標の達成に向け、地球上の多様な生物のもつ優れた機能探索や、未知の微生物種からの機能分子の特定や構造生物学的なアプローチ、進化工学を取り入れた機能の高度化、AI やビッグデータ解析などのデータ駆動型アプローチや数理モデル解析を融合したアプローチ等、日本の科学の叡智を結集し、異分野融合研究を推進する。細胞操作に係る多くの分野や階層を有機的に融合させ、既存のオプトジェネティクスやゲノム編集技術を超える新規の革新的操作ツールの開発や新たな生命現象の解明に繋げるためには、異分野融合のチームを組むことができるチーム型研究の CREST と、若手研究者の尖った発想を支援する個人型のさきがけ研究を一体的に運用する複合領域の設定が適切である。

(2) 副研究総括指定の理由

副研究総括 山本 卓

山本卓氏は、2000 年代からいち早くゲノム編集技術の理論と基盤技術開発に取り組む当該分野の第一人者である。様々な細胞や生物種を超えて利用可能なゲノム編集ツールと遺伝子改変の基盤的な技術開発～応用研究までを幅広く手掛けている。Crisper-Cas が報告され、ゲノム編集技術が細胞操作ツールとして急激に広まってきた 2016 年には、「ゲノム編集学会」の立上げをはじめ、ゲノム編集技術の普及活動を精力的に展開することを通じて、研究コミュニティから厚い信頼が寄せられている。また、基盤的な研究開発を続ける傍らで、2016 年度～2020 年度には JST OPERA 事業にて大学等8機関、企業等11機関が参画するゲノム編集の産学連携拠点をづくりあげ、2020 年度より COI-NEXT 事業(2022 年度に本格型に昇格)にてその拠点を更に発展させる等の実績があり、組織運営や研究開発マネジメントに対しても熱意と能力が期待できる。さらに、広島大学における卓越大学院プログラム「ゲノム編集先端人材育成プログラム」の運営にあたって、プログラムコーディネーターを務め、若手研究人材の育成に取り組んでいる。加えて、2023 年度に新規発足した CREST「細胞を遊ぶ」研究領域の領域アドバイザーとしても、日本の研究力向上を目指した公正な評価を行い、宮脇敦史研究総括と協力して領域の地盤固めに尽力した。

以上より、同氏は(1)の研究領域の副研究総括(さきがけ担当)として適任であると判断される。

3-7 次の戦略目標の下に設定した研究領域

- ・自律駆動による研究革新
- ・「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～
- ・革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明
- ・老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明
- ・『バイオ DX』による科学的発見の追求
- ・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
- ・革新的植物分子デザイン
- ・細胞内構成因子の動態と機能

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域「生命と情報」(ACT-X)

(1)研究領域の概要

生命科学は、健康で長寿な社会を実現するための創薬・医療への応用だけでなく、持続可能な社会経済を実現するためのバイオテクノロジーの基盤としても重要です。近年の生命科学研究では、従来からの実験を中心としたアプローチに加え、物理モデルを用いたシミュレーションや理論、ビッグデータを用いた機械学習・AI など、広い意味での情報科学の重要性が増しています。生命科学と情報科学の両方が分かる研究者の育成は急務であり、両分野にまたがって独創的なアイデアを持つ優秀な若手研究者を支援し輩出していくことが不可欠です。

本研究領域は、「生命」と「情報」という2つのキーワードの融合研究を企図し、広く生命科学に関わる研究分野において、情報科学を用いた研究の革新を目標とします。ここでは、ビッグデータを用いた機械学習・AI だけでなく、数理科学や物理モデルを用いたシミュレーションなどの計算科学を含む広い意味での情報科学を用いた研究課題を対象にします。研究を推進するために取り扱われる多岐にわたる「データ」は、独自の実験から得られたものに限らず、共同研究者等によって得られた「データ」や公共のデータベース等で公開されているものを含みます。研究対象は、分子・細胞生物学や生物物理学などの基礎生命科学から、創薬、メディカル、バイオテクノロジーなどへの応用課題も含みます。

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、社会に貢献する先端研究を推進する研究者の育成、及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積極的に図ります。

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)に参画します。

(2)研究総括

^{すぎた ゆうじ}
杉田 有治 (理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員)

※2024 年 4 月 1 日より理化学研究所 計算科学研究センター 副センター長(兼務)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域「生命と情報」(ACT-X)

(1) 研究領域選定の理由

「バイオ戦略2019」や「統合イノベーション戦略2023」に述べられているように、バイオテクノロジーは持続可能な社会経済を実現する重要な基盤技術である。特に、最新の計測技術や解析手法によって得られる膨大な情報に対しデータ駆動型の研究手法を適用し、従来のアプローチでは得られなかった生命の新たな特徴や仕組みの解明を、世界に先んじて実践することが求められている。

このためには、生命科学と情報科学にまたがる学際分野における研究と、それを担う人材の継続的育成を強力に推進することが重要である。また、この取り組みは、戦略目標「自律駆動による研究革新」、「「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～」、「革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明」、「老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明」、「『バイオDX』による科学的発見の追求」、「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」、「革新的植物分子デザイン」、「細胞内構成因子の動態と機能」の目標達成の基盤である。

生命科学の研究は、これまで主に仮説と実験検証の繰り返しにより発展してきたが、近年では遺伝子解析や空間オミクス解析に代表されるような、取得される膨大な情報に基づくデータ駆動型のアプローチが新たな潮流となっている。一方で、データだけでは取り組めない問題に対しては、最新の物理モデルや数理科学を含む広義の情報科学の手法を用いることも有効である。そのため、「生命」、「情報」という2つの分野にまたがる幅広い範囲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、適切である。

本研究領域では、提案者自身が研究対象としている分野から一歩踏み出す挑戦的・独創的な研究提案を奨励し、ライフ系や数理・情報・AI系の幅広く多様な分野の研究者が、問題点、解決すべき点、研究の視点の差異を共有し、互いに触発する場を提供する。そのネットワークの中で若手研究者が、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、自身の研究に還元しつつ研究者としての個の確立を達成することによって、生命科学と情報科学をまたいだ理解を通じて、生命科学研究の革新に寄与することを目指している。このことから、人材育成の観点からも ACT-X 事業の趣旨に見合った領域設定であると言える。

以上のことから、本研究領域は複数の戦略目標の達成に向けて、従来の専門分野やアプローチ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 杉田 有治

杉田有治氏は、理論化学的手法を用いた生体分子機能の研究に取り組んできた。スーパーコンピュータ等を用いた分子レベルでのシミュレーションによる生命機能の理解という意味で、まさに情報科学の手法を活用しつつ、生命科学の問題に取り組んできた先駆者の一人である。タンパク質、核酸、糖鎖やその複合体などの生体内高分子を対象にした分子動力学計算により、医療、環境、エネルギー問題に応用可能な分子の構造・ダイナミクス・機能の関係の解明で、数々の研究成果の創出に貢献してきた実績から、世界的な研究者コミュニティから多くの尊敬を集める存在である。

2022 年「細胞内環境における生体分子動的構造の理論研究」にて、文部科学大臣表彰・科学技術省を受賞し、2024 年には、スーパーコンピュータ「富岳」上で動作する分子動力学ソフトウェア GENESIS の開発を主導すると共にオープンプラットフォーム化を推進した功績において、第 6 回日本オープンイノベーション大賞文部科学大臣賞を共同受賞している。これらの業績は、本研究領域運営に必要な高度で幅広い専門性、優れた先見性と洞察力並びに研究成果の創出と社会実装に至るまでの豊富な経験を有していることを示している。

同氏は、研究の過程で多くの若手研究者の育成に関わってきたほか、研究室には多国籍の若手研究者を受け入れ、また分子シミュレーション学会では国際連携担当幹事を担うなど、グローバル視点での人材育成に積極的に取り組んできており、経験に基づく建設的、効果的な指導を期待できる。また、今春から理化学研究所・計算科学研究センターの副センター長を兼務するなど、広範な研究領域を適切にマネジメントする能力を有していると認められる。また、JST においてもさきがけ「高次構造体」の領域アドバイザーを務め、運営、推進、評価等につき豊富な経験を有している。さらに、一般社団法人日本生物物理学会理事、米国生物物理学会 サブグループ (Theory & Computation) の執行評議会メンバーを務めるなど、関連分野を中心に研究者からも信頼され、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

- ・持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓
- ・新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術
- ・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
- ・情報担体と新デバイス
- ・最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成
- ・次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術
- ・Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域「AI 共生社会を拓くサイバーインフラストラクチャ」(ACT-X)

(1)研究領域の概要

将来世界的に「AI と共生する社会」となりネットワーク上を流通するデータ量が爆発的に増えていくことが予想されます。そのため、今後、AI をより広く社会で利用していくためには、このデータ流通の中核となる次世代のサイバーインフラストラクチャ(CI)を構築するための様々な課題に対応し、通信や計算における様々な技術的限界やサービス・アーキテクチャの変化による従来の考え方・原理の限界を打破するような独創的なアイデアを持ち、技術と社会の新たな分野を切り拓いていける優秀な若手研究者を育成していくことが不可欠です。

本研究領域は、現段階での応用への道筋は問わず、「将来的に情報通信・情報科学の革新につながる技術」というキーワードのもとに、若手研究者の新たな発想に基づいた、次世代の CI の創造につながる挑戦的な研究を推進します。具体的には情報、通信、システムアーキテクチャ、セキュリティ、AI、量子、デバイス、ソフトウェア、数理、工学、社会科学等多様な分野にわたる研究を推進し、自身の専門性に立脚しつつも情報通信の幅広い階層を視野に入れた研究を支援します。従来の情報通信の範疇にとどまらない新たな発想も歓迎します。

研究推進にあたっては若手研究者育成の観点を重視し、異分野交流の場を設けることで、研究推進においては、人材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人材の育成や、将来の連携につながる人的ネットワーク構築を図ります。

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)に参画します。

(2)研究総括

しもじょう しんじ
下條 真司 (青森大学 ソフトウェア情報学部 教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域「AI 共生社会を拓くサイバーインフラストラクチャ」(ACT-X)

(1) 研究領域選定の理由

第 6 期科学技術・イノベーション基本計画において、デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI利活用技術の整備・研究開発や、デジタル社会を担う人材育成が謳われている。また、基盤モデルの構築とそれを活用した生成 AI サービスの急速な流行や、社会インフラの IoT 化等、ICT の革新的な進展は、大きな社会変革を起こす鍵となるが、それを支える情報通信インフラには省電力性、信頼性、リアルタイム性など数多くの課題が指摘されている。通信や計算における様々な技術的限界や、サービスやアーキテクチャの変化による従来の考え方・原理の限界を打破するためには、情報や通信のみならず、システムアーキテクチャ、AI、量子、デバイス、ソフトウェア、数理、工学、社会科学等多様な分野の融合や、通信の幅広い階層を視野に入れたアプローチが求められる。新しい発想による、情報通信・情報科学の革新をターゲットにした挑戦的な研究および高度研究人材の育成を強力に推進することを目指した本研究領域を設定することは、戦略目標「持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓」、「新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術」、「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」、「情報担体と新デバイス」、「Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出」、「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成」、「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」の達成の基盤であり、ACT-X 事業の趣旨に合致している。

この分野は技術進展が極めて速いため、基礎・応用研究の垣根を超え、革新的・機動的な研究開発を実施しうる人的ネットワークの形成をめざすことも重要である。本研究領域では、提案時点では必ずしも通信の幅広い階層についての専門性や研究実績を求めないが、提案者自身が研究対象としている分野から一歩踏み出す挑戦的・独創的な研究提案を奨励する。そして、幅広い専門分野からの多様な若手研究者の交流を促し、互いに触発する場を提供する。そのネットワークの中で若手研究者が成長し、研究者としての個を確立することで、情報通信システム全体を俯瞰的に捉える視野を持ち研究を推進できる、将来の情報通信・情報科学を担う中核的な研究人材となることが期待される。人材育成の観点からも ACT-X 事業の趣旨に見合った領域設定であると言える。

以上のことから、本研究領域は複数の戦略目標の達成に向けて、従来の専門分野やアプローチにとら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 下條 真司

下條真司氏は、インターネットの黎明期よりアーキテクチャの実践的研究を中心に幅広い分野の基礎・

応用研究に従事。その業績により電子情報通信学会から「インターネットの応用に関する学際的展開とその研究」への貢献によりフェローの称号を贈呈されているほか、情報処理学会からも「メディアネットワーク技術の応用に関する研究と学際的展開」への貢献に対しフェローの称号を贈呈されているなど、情報通信と情報科学の双方に精通している希有な人材である。

さらに、研究の傍ら、数々の実証実験事業、次世代インターネット関係のプロジェクトにも関わり、研究成果の産業界への展開を積極的に行った。これらの業績により、平成 17 年度第 23 回大阪科学賞、平成 28 年度情報化促進貢献個人等表彰総務大臣表彰、2023 年 SCA HPC Distinguished Service Award などを受賞した。これらの業績は、本研究領域運営に必要な高度で幅広い専門性、優れた先見性と洞察力並びに研究成果の創出と社会実装に至るまでの豊富な経験を有していることを示している。

同氏は研究の過程で多くの若手研究者の育成に関わるなど人材育成に積極的に取り組んできており、経験に基づく建設的、効果的な指導を期待できる。大学や公的研究機関において研究センター長を歴任するなど広範な研究領域を適切にマネジメントする能力を有していると認められる。また、JST においても CREST「ポストペタ」の領域アドバイザーを務め、運営、推進、評価等につき豊富な経験を有している。さらに、一般社団法人 HPCI コンソーシアム理事、大阪府市特別参与/スーパーアーキテクト、アジア太平洋研究所上席研究員、Asia Pacific Advanced Network (APAN) Chair を含め多くの役職を務めるなど、多くの関係者からも信頼され、公平な評価を行いうると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

(別添資料1)

戰略目標

令和6年度 戦略目標

- 自律駆動による研究革新
- 新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学
- 持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓
- 選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～
- 「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～

令和5年度 戦略目標

- 新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術

令和4年度 戦略目標

- 老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明

令和3年度 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
- 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
- 『バイオ DX』による科学的発見の追究

令和2年度 戦略目標

- 情報担体と新デバイス
- 革新的植物分子デザイン
- 細胞内構成因子の動態と機能

令和元年度 戦略目標

- 最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成
- 次世代IoTの戦略的活用を支える基盤技術

平成30年度 戦略目標

- Society5.0を支える革新的コンピューティング技術の創出

令和6年度戦略目標

1. 目標名

自律駆動による研究革新

2. 概要

AI やロボティクスなどの技術進展や高度化に伴い、研究プロセスそのものを AI やロボットで加速する自律駆動型の研究アプローチが世界的な潮流になりつつある。自律駆動型の研究アプローチは人の認知限界・認知バイアスを超えて複雑現象の解明や探索領域の開拓が可能であり、科学研究の方法論を革新させる可能性を持つ。本戦略目標では、特定の分野にとらわれず自律駆動型の研究アプローチを推進することにより、科学的発見プロセスへの理解を深めるとともに、自律駆動型の研究アプローチの活用環境の醸成を図る。これにより、研究活動のあり方そのもののパラダイムシフトが起こり、イノベーションの創出が加速されることを期待する。

3. 趣旨

自然科学の研究は、現象の解明と探索空間の拡張の両輪で進められており、その現象が人の理解を超えるほど複雑で、その探索空間が広く未開拓であるほど、インパクトが高い科学の発見と進展が見込める。この解明や拡張は主に勘・コツ・経験に基づいた仮説駆動型の研究アプローチで進められてきた。近年では、研究現場におけるデータやシミュレーション、AI、ロボットの活用が進み、蓄積されたデータによって研究を推進するデータ駆動型の研究アプローチに続いて、研究プロセスそのものを加速する自律駆動型の研究アプローチに移行する動きがある。日本が国際社会をリードしている物理、生理・医学、化学、材料などの分野においても、世界的に自律駆動型の研究アプローチに多くの研究者・資金が投入され、データや基盤設備を大規模に取り揃えた超ハイスループットな実験環境も構築されつつある。

これまでの仮説駆動型の研究アプローチは、本来複雑な世界の物理的な事象をより単純な要素に分割して理解する手法に基づいて進められ、これまで世界を紐解くのに大きく貢献してきた。一方で、分割してしまうと全体としての性質を失ってしまうような、非線形、非平衡、励起状態、動的変動などを含む複雑な事象の理解はあまり進んで来なかった。これに対して、自律駆動型の研究アプローチは、膨大な数のパラメータやデータを扱うことができるため、未開拓の探索領域で本来の複雑な事象を複雑なまま記述することが可能、すなわち、人には理解できなかった事象も捉えることができる可能性がある。ただし、自律駆動型の研究アプローチを用いて複雑な事象を探索するには、事象の全体を捉えて関係性を炙り出すことや、従来は困難であった調査や観測が必要で、専門性を超えた知見の集約が重要となる。また、全体を捉えるにあたっては、研究者が仮説を立てて実験を設計し大規模なデータを収集して解釈する、あるいは、観測された新たな事象からそれを説明する仮説を作って検証するなどの、研究プロセスを統合・最適化する必要もある。さらに、研究を加速するという観点で、文献やデータだけでなくプラッ

トフォームもオープン化するなど、多くの分野の研究者が参入しやすい環境の構築もまた重要である。

科学研究における AI やロボットとの融合、さらには計測・解析技術の高度化は本来の事象を紐解くための重要な鍵であり、100 年に一度の科学研究の方法論を根本的に変革させるゲームチェンジャーになり得る。そこで、研究活動のあり方そのもののパラダイムシフトを目的として、AI、シミュレーション、ロボット、データ、各研究分野別の知見を融合させ、情報が不足した中でも適切に処理して自律的に研究プロセスを駆動させる方法論およびその活用環境の創出を目指す。

4. 達成目標

本戦略目標では、特定の分野にとらわれず自律駆動型の研究アプローチを推進し、研究者あるいは自律駆動による科学的発見プロセスへの理解を深めるとともに、自律駆動型の研究アプローチの活用環境の醸成を図る。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) 自律駆動型の研究アプローチによる科学的発見の追求

予測、実験、知識の獲得、仮説生成といった一連の研究プロセスを自律的に駆動させる方法論を用いた研究活動を推進し、特定の分野にとらわれることなく自律駆動型の研究アプローチによる新たな科学的発見の追求を図る。

(2) 人には理解困難な複雑現象の解明あるいは人には到達困難な探索領域の開拓

自律駆動型の研究アプローチを用いて、人には理解困難な複雑現象の解明あるいは人間には到達困難な探索領域の開拓を行うための手法およびその周辺システムの構築を図る。

(3) 従来型では不可能な研究アプローチを実現するための要素技術の創出

自律駆動型の研究アプローチにより、新たな科学的発見を追求する、あるいは複雑現象の解明や探索領域の開拓を行うにあたって、ボトルネックとなる課題を解決する要素技術の創出を図る。

※ 自律駆動型の研究アプローチの構成要素については、プラットフォームを含めてオープン化を見据えて取り組むものとする。

5. 見据えるべき将来の社会像

4.「達成目標」の実現を通じ、自律駆動型の研究アプローチを一般化させ、研究者が行う研究活動のあり方そのもの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。

- ・研究活動の中での仮説の発見や予測、実験の計画、具体的な作業、結果の解析、論文の読解ないし執筆等を自律駆動させることで、研究者がより創造性の必要な作業に注力できるようになり、よりインパクトの高い科学的発見が誘起される。
- ・自律駆動型の研究アプローチを介して研究内容の比較が容易になることで、科学コミュニティにおける研究の位置付けが把握し易くなり、共同研究の円滑化や研究ネットワーク

の構築が促進される。

- ・自律駆動型の研究アプローチの発展により、過酷な環境下での実験、特定用途の機能性材料の研究、希少疾患に対する特効薬の開発など、多大な投資が必要であるがリターンが小さいため見送られてきた研究開発が一気に進み、様々な研究領域の発展が加速される。
- ・自律駆動型の研究アプローチが産業界にも波及することで、化学、材料、創薬などの開発や改良が効率化され、新規化合物や新材料などの発明が加速されるなど、社会課題の解決や生活の豊かさにつながるイノベーション創出が加速される。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

AI やロボティクスの進展、IT 化やデジタル化の普及、さらには計測・解析技術やコンピューティング技術の高度化に伴い、研究プロセスを刷新しようという試みが世界的な潮流になりつつある。特に ChatGPT をはじめとする様々な処理を行うことができる大規模言語モデルの出現で「研究活動における AI 活用」が急激に進んでおり、これらの技術は最先端の研究競争における強力な支援ツールになるものと認識されている。

（国内動向）

令和3年度戦略目標「『バイオ DX』による科学的発見の追究」に紐づく CREST 領域等において、生命科学研究における DX が推進されている他、ムーンショット目標3において、人と対話しながら自律的に研究できる AI ロボットの開発が進められている。また、未来社会創造事業探索研究において、データ駆動型の研究アプローチによる研究生産性の飛躍的向上を目指した課題に取り組んでいる。さらに、材料分野では、データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクトが進められている。その他、自律駆動型の研究アプローチを実施する上で重要となる要素技術への支援として、研究データ基盤の活用に資する環境整備や科学基盤モデルの研究開発及び利活用、AI 研究開発力の底上げ、計算環境の構築、若手研究者に対する人材育成などを推進している。

（国外動向）

米国では AI やロボットを導入して材料研究のペースを 100 倍に加速させることに成功した他、中国では文献読解や実験設計等を可能とする「ロボット化学者」を開発、韓国の Samsung は自動粉体合成・評価ラボを構築、英国では AI ロボットのイノベーション工場に 150 億円の投資を決め、加国ではトロント大学の「self-driving labs」の研究に年 2 億ドルを 7 年間助成する動きが見られている。

6-2. 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 戦略プロポーザル「人工知能と科学」、専門家へのヒアリング結果等を参考にして分析を進めた結果、AI やロボット等の技術を駆使した研究プロセスの刷新が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「自律駆動型の研究活動に向けた技術革新」を特定した。
3. 令和 5 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「自律駆動型の研究活動に向けた技術革新」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、研究領域の軸とするべき観点や期待される成果、多くの研究者に裨益させるための仕組み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へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（令和 3 年 3 月 26 日閣議決定）

第 2 章 2. 知のフロンティアを開拓し価値創造の源泉となる研究力の強化

（2）新たな研究システムの構築（オープンサイエンスとデータ駆動型研究等の推進）

（b）あるべき姿とその実現に向けた方向性

社会全体のデジタル化や世界的なオープンサイエンスの潮流を捉えた研究そのものの DX を通じて、より付加価値の高い研究成果を創出し、我が国が存在感を発揮することを目指す。

（中略）

以上の質の高い研究データの適切な管理・利活用や、AI を含めた積極的なデータサイエンスの活用、そして先進的なインフラ環境の整備は、単に研究プロセスの効率化だけではなく、研究の探索範囲の劇的な拡大、新たな仮説の発見や定時といった研究者の知的活動そのものにも踏み込んだプロセスを変革し、従前、個人の勘や経験に頼っていた活動の一部が代替されていくことになる。これにより、データを用いたインパクトの高い研究成果の創出につなげるほか、研究者の貴重な時間を、研究ビジョンの構想や仮説の設定など、より付加価値の高い知的活動へと充当させていく。同時に、グローバルな視点からも、オープンサイエンスの発展に貢献する。

7. その他

自律駆動型の研究アプローチを実現するにあたっては、大きな投資が必要な大型・専用の設備やシステムを用いるのではなく、大学や企業などでも現実的に導入可能な予算規模で活用できるプラットフォームを様々な工夫で自律化させることを主眼とする。必然的に複数のプラットフォームを連携させることが必要になるため、それに適した方法論の構築や研究領域内での連携・協力に期待する。また、各種機器メーカーと連携・協力するなど、産業基盤の強化につながることを期待する。さらに、CREST「バイオ DX」領域やムーンショット目標3の他、AIP センター、TRIP-AGIS、Dx-MT などの文科省で実施されている関連事業とも連携されることを期待する。

最後に、自律駆動型の研究アプローチには、得られた情報から研究者が刺激を受けて画期的な発見を目指す考え方もあれば、研究者が介在することなく目標の達成を目指す考え方や、自律的に自然の原理を発見し続けるシステムを生み出す考え方もある。本戦略目標の推進に併せて、自律駆動型の研究アプローチにおける研究者のあり方に対する議論が進むことを期待する。

令和6年度戦略目標

1. 目標名

新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学

2. 概要

Soceity5.0の実現や、気候変動などが深刻化する中で地球をグローバル・コモンズとして守り、育てるためには、複雑な要因が絡み合う地球規模課題や社会課題の重要な兆し・変革点を的確に捉えて予測し、制御できる新たな社会基盤を構築していくことが必要である。このような兆し・変革点を的確に捉えるためには、数理科学と様々な分野が融合し、数理科学がもつ抽象性や強みを活かすことが有用である。このため、リアルタイムデータを、数理と異分野の融合により、次世代の社会・産業の基盤への適用も見据えて、先進的な数理解析・評価手法、新たな量子計算アルゴリズム等を駆使して解析し、予測・制御に係る基礎学理の創出及びそれを高信頼・高効率で実現する基盤技術の構築を行うことで、複雑で不確実な世の中の課題解決の加速につなげる。

3. 趣旨

直面する脅威や先の見えない不確実な状況に対し、持続可能性と強靱性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せを実現できる社会を目指し、また、地球規模課題が深刻化する中で、地球をグローバル・コモンズとして守り育てていくためには、複雑な要因が絡み合う地球規模課題や社会課題の重要な兆し・変革点を的確に捉えて予測し、その予測をもとに、取り返しのつかない悪い状態への遷移を回避しなくてはならない。こうした予測に基づいた事象への介入（例：良好な状態を維持するための対策）によって状態を制御するために、人々のより良い行動変容を促す新たな社会・産業の基盤を構築していくことが必要である。

このような兆し・変革点を的確に捉えるためには、様々な分野がもつリアルタイムデータを、数理科学の強みを活かして解析し、マルチフィジクス等の複雑現象における因果関係、主要因となる変数の導出や、平均から外れた極端な現象を予測することなどが不可欠である。また、例えば、ここ数年で、数理分野では、予測・制御に係る新たな数学的システムが確立するなどの研究の進展がみられる。さらに、欧米諸国においても、数理科学を活用した社会課題解決に向けた研究が活発である。

こうした状況を踏まえ、地球規模課題や社会課題の重要な兆し・変革点を的確に予測し、制御につなげるため、数理と異分野との融合により、リアルタイムデータを活用した先進的な数理解析・評価手法・新たな量子計算アルゴリズム等の開発、予測・制御に係る基礎学理の創出及びそれを高信頼・高効率で実現する基盤技術の構築、先進的手法等から得られた理論及び基礎学理（以下「予測・制御に係る理論」という。）を次世代の社会・産業の基盤へと適用させることを見据えた研究開発を行う。

4. 達成目標

本戦略目標では、数理科学と地球規模課題や社会課題に関連する分野・ドメインとの融合により、数理科学の抽象性や強みを活かした先進的な数理解析・評価手法、新たな量子計算アルゴリズム等の開発、予測・制御に係る基礎学理の創出及びそれを高信頼性・高効率で実現する基盤技術の構築を目指す。さらに、これらの学理や基盤技術で得られた理論の実社会への適用を見据えた研究開発を行うことで、地球規模課題・社会課題の解決の加速につなげたい。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 特定の地球規模課題や社会課題の重要な変革点を予測・制御する先進的な数理解析・評価手法等の開発

最先端の計測技術等によりフィジカル空間で得たリアルタイムデータを、数理と異分野(例えば、防災(インフラ管理を含む)、環境、医学、エネルギー、経済等)の融合領域で研究することにより、環境問題、食料問題、自然災害などの地球規模課題や、健康、国土強靱化、金融・経済などの社会課題の重要な兆し・変革点の予測・制御を実現する先進的な数理解析・評価手法、新たな量子計算アルゴリズム等を開発する。

- (2) 予測・制御に係る横断的な基礎学理の創出と基盤技術の構築

数理科学がもつ抽象性や強みを活かし、様々な地球規模課題・社会課題に応用可能な予測・制御に係る基礎学理の創出を目指す。あわせて、予測・制御の精度評価のための数学的理論や、検証等を通じて、予測・制御を高信頼・高効率で実現する基盤技術を構築する。

- (3) 予測・制御に係る理論を次世代の社会・産業の基盤へと適用させるための研究開発

予測・制御に係る理論を次世代の社会・産業の基盤へ適用するため、情報科学などとの連携により、予測・制御に係る理論のアルゴリズム化や、社会実装のためのプログラム開発、ソフトウェア化の研究を実施する。

5. 見据えるべき将来の社会像

4.「達成目標」の実現を通じ、地球規模課題や社会課題の重要な兆し・変革点の予測・制御に係る理論が確立され、その理論は、アルゴリズム化などにより、次世代の社会・産業の基盤として活用される。これにより、複雑で不確実な世の中の仕組みを理解し、後戻りができない悪化をたどるシナリオを自らの行動変容によって回避することで、国民が安全と安心を確保し、一人ひとりが多様な幸せを獲得できる社会の実現が期待される。加えて、気候変動などが深刻化する地球をグローバル・コモンズとして守り、育てることができる社会の実現が期待される。

また、学術コミュニティとして、数理と異分野が融合することで、新たな学理が創出されるとともに、学問の体系的な進展と新しい価値の創造を目指していく。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

ここ数年で、数理分野では、「Rate induced tipping theory」や「Dynamic Network Marker」などの予測・制御に係る新たな数学的理論が確立するなどの研究が進展している。このような予測・制御に係る数学的理論は適用分野の範囲も広く、米国では Mathematics of Planet Earth という更なる動きとして広がってきている。

（国内動向）

平成 26 年度戦略目標「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」、令和元年度戦略目標「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への展開」等に基づく CREST/さきがけの研究領域により、数理科学と異分野の融合などによる研究が進められてきた。

また、内閣府のムーンショット型研究開発事業では、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」及び目標 8「2050 年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」により、医療分野や気象分野における予測・制御に係る研究が進められている。

（国外動向）

米国では 2020 年に、新たな滞在・訪問型研究拠点として数理統計イノベーション研究所（The Institute for Mathematical and Statistical Innovation: IMSI）をシカゴ大学に設立した。また、応用数理及び統計の手法を緊急性の高い科学的及び社会的課題に適用し、解決に導くプラットフォームを構築している。

英国では、「数学はすべての科学技術の発展に不可欠であり、健康・安全から環境に至るまで、幅広い研究の下支えとなる分野」としており、2020 年に EU 離脱に伴う数学者の囲い込み政策のため、数理科学に対する投資を新たに 3 億ポンド（約 450 億円）に倍増している。

EU では、産業とイノベーションのための数学のネットワークである EU-Maths-IN により、産業や行政向けのプラットフォーム、OpenDesk が 2022 年 9 月に設立された。これにより、アプリケーション駆動の数学研究を推進し、産業、科学、社会におけるイノベーションを促進している。

6-2. 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、「2030 年に向けた数理科学の展開（令和 4 年 7 月 文部科学省研究振興局）」、JST - CRDS 研究開発の俯瞰報告書・システム・情報科学技術分野（2023 年）、有識者インタビュー等を参考にして分析を進めた結果、数理の強みを活かして、異分野との融合により、複雑な要因が絡み合う地球規模課題や社会課題の重要な兆し・変革点を予測し、制御する科学が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学」を特定した。
3. 令和 5 年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「新たな社会・産業の基盤となる予測・制御の科学」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、関連分野の研究動向、創出される科学的価値や社会的インパクト、数理と異分野が広く連携することによる効果、連携するための仕組み、若手研究者の育成等の仕組み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へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（令和 3 年 3 月 26 日閣議決定）

第 1 章 基本的な考え方

（2）Society 5.0 の実現に必要なもの

① サイバー空間とフィジカル空間の融合による持続可能で強靱な社会への変革

Society4.0（情報社会）から Society 5.0 への移行は、既存の政策の延長線上の政策では不可能である。移行のためには、新たな未来社会像を前提にして、バックキャスト的アプローチにより、社会全体の再設計（リデザイン）を行うことが不可欠である。

その際、鍵となるのが、Society 5.0 の前提となる「サイバー空間とフィジカル空間の融合」という手段と、「人間中心の社会」という価値観である。Society 5.0 では、サイバー空間において、社会のあらゆる要素をデジタルツインとして構築し、制度やビジネスデザイン、都市や地域の整備などの面で再構成した上で、フィジカル空間に反映し、社会を変革していくこととなる。その際、高度な解析が可能となるような形で質の高いデータを収集・蓄積し、数理モデルやデータ解析技術によりサイバー空間内で高度な解析を行うという一連の基盤（社会基盤）が求められる。

第 2 章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

2. 知のフロンティアを開拓し価値創造の源泉となる研究力の強化

(2) 新たな研究システムの構築（オープンサイエンスとデータ駆動型研究等の推進）(c) 具体的な取組

② 研究DXを支えるインフラ整備と高付加価値な研究の加速

・データ駆動型の研究を進めるため、2023 年度までに、マテリアル分野において、良質なデータが創出・共用化されるプラットフォームを整備し、試験運用を開始する。また同様に、ライフサイエンス分野においても、データ駆動型研究の基盤となるゲノム・データをはじめとした情報基盤や生物遺伝資源等の戦略的・体系的な整備を推進する。さらに、環境・エネルギー分野、海洋・防災分野等についてもデータ駆動型研究の振興に向けた環境整備を図る。加えて、プレプリントを含む文献など、研究成果に係る情報を広く利用できる環境の整備を推進するとともに、これらを支える基盤分野（OS、プログラミング、セキュリティ、データベース等）を含めた数理・情報科学技術に係る研究を加速する。

7. その他

本戦略目標では、数理学と防災（インフラ管理を含む）、環境、医学、エネルギー、経済などの幅広い分野との融合を強く期待する。本戦略目標に関連する研究分野の研究者層を対象に、関連学会などのワークショップや特別セッション等を設定することで潜在的な応募者への宣伝や連携の促進等を行うことが期待される。

また、上記 4. (1) ～ (3) の課題が効果的に連携できる仕組み（例：公募時に 4. (1) ～ (3) を組み合わせた応募を可能とする仕組み、事業途中での課題間連携を可能とする仕組み、課題間会合の開催）や人材育成（例：プログラムを横断して、若手研究者が相互に関わる仕組み）などを検討し、効果的に事業を進めていくことが期待される。

さらに、本戦略目標の実現においては、上記 6. (国内動向) に示したムーンショット型研究開発制度（目標 2 及び目標 8）と連携・情報共有することにより、新たな研究進展や成果創出の加速を促すことが望まれる。

令和6年度戦略目標

1. 目標名

持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓

2. 概要

AI・DXの進展に伴うエネルギー消費の急増が問題となる中、従来技術での効率化には限界が近く、光を駆使した情報技術の刷新が必要である。さらに将来の様々な社会課題解決につなげるには、情報システムで実世界のあらゆる情報を収集・活用する機能の拡張が望まれ、このためにも光を駆使した技術革新が鍵となる。こうした技術刷新へ向け、従来の光技術のみに頼ると物理的な限界がありえるが、光と情報・材料等の科学的英知を結集できれば、その限界をも超えられると期待できる。そこで、持続可能な社会へ向けて情報システムの在り方を刷新すべく、光と情報・材料等の科学を融合し、従来限界を超える革新的な融合技術のフロンティアを開拓する。

3. 趣旨

AI活用やDXの進展に伴って、情報処理・通信に係るエネルギー消費量の急増が世界的な問題となりつつあるが、従来の電子技術に頼った効率化には限界が近づいている。このため、高効率・高速といった利点のある光を駆使して情報システムの電力効率を抜本的に改善できるよう情報処理・通信技術を革新し、カーボンニュートラルを実現するグリーン情報システムにつなげる必要がある。さらに将来、こうした技術を様々な社会課題解決に結びつけるには、実世界のあらゆる情報をサイバー世界であるコンピューター内に収集し、分析した後に実世界へフィードバックして活用できるように情報システムを拡張していくことが望まれる。しかし、このように情報システムを実世界と密に連携させるには、実世界のあらゆる情報を収集・活用するための入出力機能が圧倒的に不足しており、この解消のためにも高精細・リモートといった光の利点を発揮・利用する技術の革新が重要である。

こうした光を活用した情報システムの刷新へ向けて、従来の光技術のみに頼っていたのでは効率性・高速性・集積性等に係る物理的なトレードオフに制約され、やはり限界があると考えられる。このような限界を極めることはもちろん重要であるが、光科学と情報・材料等の異分野の科学の英知を結集すれば、互いの科学の力を相補的に発揮してその限界を超えることも可能と期待できる。実際、欧米では分野横断的な事業体制が複数組織され、その下に光と情報等の研究者が集まりデバイス等の開発を加速している。しかしながら我が国では、個々の分野の研究は強い一方で、分野融合的な枠組みや取り組みは欠如しており、本来の強みやポテンシャルを生かし切れていない。

そこで本戦略目標では、持続可能な社会を支える将来のグリーン情報システムの実現に必要な基盤技術を創出するため、我が国が強い光科学と情報・材料等の異分野の科学を融合し、従来

技術の限界を打破する革新的な融合技術のフロンティアを開拓する。この際、分野融合に基づき大小のデバイス・システムに係る要素技術を開発すると共に、この革新につながる現象・物性・材料・理論等に係る基礎科学を探究し、両者を有機的に結合することで、この新たな融合領域における知識・技術の基盤体系を構築していく。さらに、このような融合的な研究が将来、より広範な分野へと拡大していくように、本融合領域で創出される知識・技術の潜在的な利点を明示し、それらの利用を促進するための革新的な利用技術も開拓する。このように、分野間と階層間の融合を組み合わせ、革新的な技術創出と期待拡大の好循環の実現を目指す。

4. 達成目標

本戦略目標では、持続可能な社会を支える将来のグリーン情報システムの基盤技術の確立へ向けて、光科学と情報・材料等の異分野の科学との融合と基礎研究から利用技術開拓までの階層間の融合を通して、革新的な技術創出と期待拡大の好循環の実現を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) 光の真価を発揮する原理・要素技術の創出

将来のグリーン情報システムでの活用を見据えて、光の潜在能力を最大限引き出せる究極的な光電変換・制御等の要素技術を、新たな理論・材料等を導入して創出する。また、光の基礎原理・新現象等を物性や量子性に踏み込んで追究する。

なお、本項目には、光デバイスのスケーラビリティ・制御性・効率等を極限まで高めるための原理・要素技術の創出が含まれる。

(2) 光と異分野のハイブリッド技術の開発

光科学と情報等の異分野の科学との融合により、電子技術のみでは突破できなかった情報システムの性能や機能に係る従来限界を超える光×電子・量子等のハイブリッド技術を開発する。この際、物性物理・材料科学等に基づく光デバイスに係る研究と情報科学に基づく数理モデル・アーキテクチャ・ソフトウェア等に係る研究の相補的な協調・融合が欠かせない。このような異分野科学の融合により、光と電子・量子等の従来は個別に扱われていた物理系を統一的に扱える設計理論・実装方法等を創出し、それらを適材適所で活用することで従来限界を超えられる革新的な知識・技術の基盤体系を構築していく。

なお、本項目には、光と他方式の計算資源の協調により従来計算機の効率・速度を圧倒する技術、光と電子の自在な相互変換により有線と無線の光通信をシームレスにつなぐ技術、従来未利用の光の性質・波長帯等を活用可能とする新たなデバイスとアルゴリズムが融合したセンシング等の技術の開発が含まれる。

(3) 持続可能な社会へ向けた光の革新的利用技術の開拓

将来のグリーン情報システムにおいて重要となるコンピューター・通信・IoT デバイス等の要素間の連携やサイバー空間と実世界の連携を強化するため、光の革新的な利用技術を開拓する。さらに、環境・食料・医療・製造等の様々な分野に関する社会課題を、光を駆使した情報システムで解決するコンセプトを提示する。

なお、前者には、クラウド側とエッジ側のコンピューティングやセンシング及びそれらをつなぐネットワークが融合した大きな情報システムにおいて、光を適材適所に活用して情報システム全体を効率化する技術の開拓が含まれる。後者には、本融合技術に基づく大小の情報システムと様々な社会課題に係る研究の融合による課題解決策の提示が含まれる。

5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、光科学と材料・量子等の異分野の科学との融合により、新たな原理・現象の発見や革新的デバイスの創出が期待される。これら要素技術を活用して将来のグリーン情報システムの在り方を研究する過程で、情報科学上の重要な成果の創造が期待される。さらに、ムーアの法則から飛躍的な進歩を遂げた超高速かつ超省エネルギーなグリーン情報システムや光の新現象に基づき格段に高度化された IoT デバイス等の応用上も重要な基盤技術の創出が期待できる。

これらの要素技術・基盤技術は将来、サイバー空間と実世界の連携を可能とする CPS（サイバー・フィジカル・システム）の高効率化・高度化・大規模化等の進展を通して、環境保全を前提とした社会課題解決や経済成長へとつながりえる。つまり、本融合技術の開拓と CPS への利活用により、自然と人が共生・共栄する持続可能な社会が実現しうる。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

光を利用するコンピューティングに関して世界的に様々な方式の研究が、異分野連携のチームで活発に行われている。それに応じて、学問的な注目度が高まると共に、実用性が議論される状況も整いつつある。例えば、実用化の鍵となるシリコンフォトニクス等の光集積回路の技術発展が著しく、このような要素技術を活用した通信・センシング等の用途へ展開できる光デバイス等の研究も活発である。

光科学分野においては、次々と新しい現象やデバイスが提案・実証されている状況である。例えば、フォトリソグラフィ結晶やトポロジカルフォトニクス等のナノフォトニクス、量子光学、テラヘルツ・非線形光学、メタサーフェス、光渦、光コム等の長期的には様々な用途への展開が期待されるシーズが生まれている。また、光音響・光散乱・近接場等の光の新奇な性質を利用して従来は観察不可能であったものをセンシング・イメージングする技術の研究も進展している。

材料科学分野においては光デバイスへの活用が期待できる材料として、量子ドット・ナノチューブ・ナノシート等の低次元材料、発光・受光・変調等に有用な半導体・強誘電材料、相転移材料等の光機能材料等の幅広いシーズが形成されている。

情報科学分野においては、脳型計算・近似計算・リザバー計算等の新たな計算方式が注目され、関連する数理モデリング・アーキテクチャ等の研究が進展している。また、CPS 実現へ向けて IoT・センシングやネットワーク コンピューティングに関連する要素技術の研究開発が進展している。例えば、AI を活用した信号処理技術や制御最適化技術は急速に発展しており、材料・

デバイス・システムの最適化・設計等へ応用するための研究開発も進んでいる。

（国内動向）

これまでの戦略的創造研究推進事業・科学研究費助成事業等により、大学等の研究機関を中心として、光科学・情報科学・材料科学に関する幅広い基礎研究が実施され、知識が蓄積されてきている。

また、総務省の通信用途へ向けた「Beyond 5G 研究開発促進事業」「革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業」、経済産業省の計算環境に関する「次世代デジタルインフラの構築」の事業、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施している事業・プロジェクト等において、それぞれ社会実装に近い研究開発が複数進められている。

（国外動向）

米国では、フォトリソの製造の強化や計算・通信のパフォーマンス向上を目的に国防総省（DoD）の後援で設立された公共-民間コンソーシアム「AIM Photonics（American Institute for Manufacturing Integrated Photonics）」がこの分野の研究開発基盤の一つとなり、その後の国防高等研究計画庁（DARPA）等のもとで立ち上がった複数の大型プロジェクトと相まって、光技術に関する研究開発が活発化している。また、民間企業（Lightmatter 等）による光コンピューティングの実用化へ向けた開発も加速している。

欧州では、Horizon2020 の枠組みで集積フォトリソに関する大型プロジェクトが進んでいるほか、コンピューティング応用に関するプロジェクトも複数動いている。

6-2. 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戦略的創造研究推進事業・科学研究費助成事業等での研究テーマ、著名な科学誌、有識者ヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、光科学と異分野科学との連携・融合が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓」を特定した。

3. 令和 5 年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓」に関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、取り組むべき研究領域や課題設定の観点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へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（令和 3 年 3 月 26 日閣議決定）

第 2 章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(1) サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出

(c) 具体的な取組

④ デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI 利活用技術の整備・研究開発

- 国土全体に網の目のように張り巡らされた、省電力、高信頼、低遅延などの面でデータや AI の活用に適した次世代社会インフラを実現する。このため、5G/光ファイバの整備を進め、5G については、2023 年度末には 98%の地域をカバーし、光ファイバについては、2021 年度末には未整備世帯数が約 17 万世帯に減少すると見込まれる。さらに、宇宙システム（測位・通信・観測等）、地理空間（G 空間）情報、SINET、HPC（High-Performance Computing）を含む次世代コンピューティング技術のソフト・ハード面での開発・整備、量子技術、半導体、ポスト 5G や Beyond 5G の研究開発に取り組む。

「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略」（令和 5 年 7 月 28 日閣議決定）

2. エネルギー安定供給の確保を大前提とした GX に向けた脱炭素の取組

10) 脱炭素目的のデジタル投資

デジタル化や電化等の対応に不可欠な省エネ性能の高い半導体や光電融合技術等の開発・投資促進に向けた支援の検討を進める。

「半導体・デジタル産業戦略」（令和 5 年 6 月経済産業省改定）

5. 個別戦略

(1) 半導体分野

先端ロジック半導体戦略

次世代ロジック半導体技術を活用し、通信量が大幅に拡大するポスト 5G 時代において不可欠な、高度な処理機能・省エネ性能を有する次世代の情報通信技術を実現。グリーン・省エネ分野で世界の主導権を握り、市場にゲームチェンジを起こす。

- ✓ 高度な処理機能・省エネ性能を有する光電融合（パッケージ内光配線、光コンピュー

ーティング等）の実用化に向けた技術開発

- ✓ アカデミアの中核となる拠点における先端技術開発（革新的設計技術、2D 材料技術等）

先端パッケージ戦略

- ✓ ゲームチェンジ技術として光チップレット、デジタルチップとアナログチップを混載するアナデジ混載 SoC 技術を確立。
- ✓ こうした先端パッケージング技術をグリーンデータセンター、基地局、自動運転等に社会実装。

(2) 情報処理分野

(i) 情報処理基盤産業政策の方向性

- ✓ 様々に高度化していく計算需要に対して、多くの需要家を使いやすい形でその需要に応える計算能力を提供することで、持続的に成長していく産業の絵姿を目指していく。
- ✓ 情報処理の高度化は、低消費電力化を大前提としつつ、需要家視点で、大量・高速処理、低遅延性、セキュリティの観点で大別される。

「量子未来社会ビジョン」（令和 4 年 4 月統合イノベーション戦略推進会議決定）

I. 各技術領域の取組

(1) 量子コンピュータに関する取組

(iii) 量子コンピュータの大規模化・実用化に向けたブレークスルー技術の戦略的な研究開発や基礎研究の推進

- ✓ また、レーザー等の光科学技術は、量子状態の高度な制御、高精度な微細加工や材料開発等に大きな革新をもたらし、量子コンピュータ、量子ネットワーク、量子計測・センシング等の研究開発・実用化や、これらの部品・材料（量子チップや量子中継器等）や周辺半導体の製造など、量子技術を横断的に支える不可欠な重要な技術基盤であることから、戦略的な研究開発や人材育成も含む裾野の広い基礎研究の充実・強化を図っていく。

7. その他

本戦略目標の推進のためには、これまで蓄積してきた光科学・情報科学・材料科学に関する取り組みやプロジェクトの知見を最大限に活かすことに加え、電子技術・数理科学・物理・化学等の各種科学技術や応用先となりえる環境・食料・モビリティ・医療・製造等に係る多岐にわたる研究分野間の連携が必要である。また、光デバイス・システムの作製・計測・分析、シミュレーション、プロトタイプの試作・検証が行えるような共通設備の活用が重要であり、例えば国立研究開発法人産業技術総合研究所「プラットフォームフォトニクス研究センター」・文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」等の先端設備の利用が想定される。

本戦略目標においては、光科学・情報科学・材料科学に係る戦略的創造研究推進事業（例えば、「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成」、「情報担体と新デバイス」、「新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術」等）や、科学研究費助成事業（例えば、学術変革領域研究(A)「光の極限性能を生かすフォトニックコンピューティングの創成」等）との密接な連携により、新たな研究進展や成果創出の加速を促すことが望まれる。併せて、諸外国の動向等に応じて、国外の研究者との積極的な連携も期待される。

令和6年度戦略目標

1. 目標名

選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～

2. 概要

持続可能な発展型社会の実現には循環経済への移行が重要視されており、従来のモノづくり・物質循環の在り方にも変革が求められている。本戦略目標では、モノづくり・物質循環のパラダイムシフトに大きく寄与する学術分野として「選択」と「多機能制御」を追求する物質科学に注目する。これらの追究により、資源制約・環境規制から脱却した高機能マテリアルや超高エネルギー効率/資源効率を達成する循環・プロセス技術を創出するとともに、これらの技術を、エネルギー、LCA といった社会的な観点などを含む多様な視点で高度に分析・評価するためのプラットフォームを構築することで、実環境にある多様な物質が混在した複雑・混合系からのモノづくり・物質循環の技術基盤の確立を目指す。(300 字以下)。

3. 趣旨

持続可能な社会の実現へ向け、「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、循環経済（サーキュラーエコノミー）を確立する必要性が大きくクローズアップされている。近年、世界的環境規制強化（欧州 ELV 指令、PFAS 規制等）や資源枯渇・調達リスクが増大しており、経済安全保障の観点からも、種々の制約に対応した国内の物質循環システムの自律化・強靱化が求められている。また、これら複雑化する社会課題に対応しつつ、社会全体としては発展・成長を続け、新たな価値を生み出すこと（「持続可能な“発展型”社会」）が求められている。持続可能な発展型社会を見据えた場合、単なる資源の循環にとどまらず、高機能な素材としての再生（リソーシング・アップグレード）を可能とするような循環システムの構築が重要と考えられる。同時に、機能・性能の価値基準だけでなく、新たに経済合理性と環境適合性を両立するモノづくり・物質循環の発展も重要と考えられる。

これらのことは、我々の生活を取り巻く製品（モノ）が多種多様な物質・材料から構成されている中、その製品や利用する物質・材料として何を「選択」し、資源の循環と社会の成長を両立させるべきかについての問いを投げかけている。つまり、持続可能な発展型社会を実現する上で、物質・材料を高度に利用し循環させるための「選択」的な生成・分離・回収・変換などの精緻なメカニズム解明や革新的技術の確立、実社会での循環可能性等の検証を進めることが必要である。その際、複数のモノが複雑なシステムの中で混在していることから、一つの要素だけではなく多数の異なる要素を理解し、それらの要素にそれぞれ対応しコントロールする、「多機能制御」が重要である。この「選択」・「多機能制御」は、化学、物理学、生物学、各工学分野、人文科学分野等の幅広い分野で共通のキーワードであり、持続可能な発展型社会を実現する上で重要な物質循環を達成するために、重要な基本概念である。

以上より、本戦略目標では、学術分野として「選択」と「多機能制御」を追求する物質科学に注目するとともに、実環境にある物質循環とそこからのモノづくりのボトルネック課題を抽出し、複雑・混合系に関わる対象領域を開拓する。特に、資源制約・環境規制から脱却した高機能マテリアルの創製や超高エネルギー効率/資源効率を達成する多機能性を活用した循環・プロセス技術の創出を目的とする。このため、原子・分子レベルの相互作用やナノ反応場、相界面、外場、生物などを利用/融合し、また、資源制約や環境規制を考慮した、選択と多機能制御を追求する学理を構築し、複雑現象の多元的な理解と制御のもと、複雑な構造・エネルギー状態・非平衡性を選択的に精密制御可能な循環・プロセス技術を創出することを目指す。また、実環境にある様々な要素から持続可能な発展型社会の実現に必要な最適解を見出すため、物質循環技術の高度な分析・評価を可能とするプラットフォームの構築を目指す。加えて、モノづくり・物質循環の間の融合を進めることで、物質循環は最先端・新規モノづくりのインフラであるという認識を研究者間で共有し、既存のモノづくり・物質循環のアプローチや概念を刷新し得る基礎学術を体系化することを目的とする。

4. 達成目標

本戦略目標では、材料・プロセス性能だけでなく新たな価値基準のもと、持続可能な発展型社会に資する複雑・混合系からのモノづくり・物質循環を実現するため、これらの基盤となる「選択」と「多機能制御」を追求する物質科学の確立を目指す。具体的には、マテリアル創製、循環・プロセス技術、システム設計・評価の各項目について以下の達成を目指す。

(1) 資源制約・環境規制から脱却した高機能マテリアルの創出

発展的持続可能性の前提条件の下、元素戦略的な観点から資源制約がなく、低環境負荷かつ高機能なマテリアルを創出する。例えば、複雑系材料のリソーシング・アップグレード、不純物を含む再生材の理解・制御による高機能材料の創製、選択的反応・構造制御による未踏多機能性物質の創製、多元素・複雑系材料による圧倒的な機能創出、非平衡性の制御による高機能材料や準安定物質の選択合成、易分解性材料の創出、可逆的接合界面の設計、超長寿命材料の創製、生分解性マテリアルの高機能化などが挙げられる。また、計算科学・情報科学（機械学習、AI、シミュレーション等）、先進実験手法（その場計測、ロボット等による自動化）を積極的に活用し、効率的な研究開発を推進する。

(2) 超高エネルギー効率/資源効率を達成する循環・プロセス技術の創出

実環境にあるような複雑・混合系の学術的理解を深めるとともに、循環プロセスの高度化、高選択性かつ多機能性を持つ新規マテリアル創製・変換・分離・回収法の開発を進め、生成・処理量と選択性のトレードオフに見られるような従来困難であった「相反する特性の両立」を実現する。これにより、省エネルギー・高精度な物質循環を目指す。循環システム全体で超高エネルギー効率/資源効率を達成するための循環・プロセス技術として、例えば、反応選択的な（外場駆動型）多機能プロセス技術、未使用エネルギーの別システムへの積極利用による高効率プロセス技術、未利用資源の効率的活用・再資源化の技術、混合物からの選択的かつ高効率な分離

回収技術、大量利用されている基盤素材のリサイクル技術、環境親和性の高い循環・プロセス技術などが挙げられる。

(3) 物質循環技術を高度に分析・評価するためのシステム設計・評価プラットフォームの構築
循環・プロセス技術の高度な予測・診断・解析技術や複雑系における非平衡熱力学、ダイナミクスに関する理論モデルの構築に加え、コスト、エネルギー、LCA といった社会科学的な観点を含む多様な視点での評価法など、物質循環技術を分析・評価するためのプラットフォームを構築し、全体最適化による新しい材料・プロセス技術の価値基準を確立する。例えば、種々の循環・プロセス技術の優位性を多面的（社会科学的な観点も含む）・定量的にサイクル全体で評価する手法の確立、選択性・多機能性を設計・解析するための原子・分子スケールの精密分析法の開発、複雑・混合系の理論解析モデルの構築などが挙げられる。

5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、高度なモノづくり・物質循環技術として、例えば、ありふれた元素を用いた高機能代替材料の開発、複雑・混合系からの最先端・新機能材料の創製、超省エネルギー分離による高付加価値な元素・有用物質の回収再利用、精緻で選択的な分離による高価値な材料とその機能の再活用、環境負荷低減・再利用を事前に考慮したマテリアル設計による永続的な物質循環、複数プロセスの融合による超効率アップサイクル技術、計算科学やAI を活用した物質・材料創製、循環プロセスの高度な予測・診断・評価による迅速な社会実装などとしての活用が期待できる。これにより、サーキュラーエコノミー実現への貢献や人類の Well-being と経済性との両立への寄与だけでなく、国内の物質循環システムの自律化・強靱化と経済安全保障リスクの低減、我が国の強みである最先端マテリアル産業の更なる活性化、国内産業の中長期的な競争力の強化にも貢献できる。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

我が国は元来、材料創製関連の研究開発および産業に強みを有している。また、多孔性分離吸着材料や非熱駆動型の分離膜、プラスチック資源循環技術など循環技術でも世界トップの技術がある。一方、近年は関連分野において、日本の論文数、研究者数の減少が見られ、2050 年に中心的活躍が期待される次世代人材の育成、産業界への人材供給の面で課題もある（関連学会での会員数減少、各大学での関連学科の縮小傾向）。一方、国外では、関連分野への大規模な投資や産業政策が実行されており、研究開発が急激に活発化している。

（国内動向）

関連事業として、JST CREST「革新的触媒」、CREST「革新的反応」、CREST「分解と安定化」、さきがけ「調和物質変換」、ERATO「野崎樹脂分解触媒」などがあり、持続可能な発展型社会に貢献する重要な関連要素技術（反応、触媒、分解等）が進展している。特に、CREST「分解と安定

化」は、従来型の高機能・最先端を目指したモノづくりに対して、循環利用や環境配慮の重要性を提言するもので、主に高分子関連の循環技術の開発が進められている。また、CREST「未踏物質探索」では、物質探索域を複合化・多元素化・準安定相等に拡張することで、複雑・混合系に対する物質創製の基盤が確立しつつある。

応用物理学会、化学工学会、日本化学会、高分子学会などの学会でも資源循環やグリーントランスフォーメーションに関するシンポジウムが数多く開催されており、持続可能な発展型社会に貢献する物質・材料創製や循環・プロセス技術に関する研究開発は近年ますます盛んに行われている。

（国外動向）

循環経済の考え方は世界中で主流になりつつあり、諸外国でも関連技術の研究開発が活発に行われている。米国では希少鉱物に関する大統領令が多数発令され、希少元素のサプライチェーン強化に向けた研究開発プロジェクトが進められている。また、CO₂をはじめとするガス分離技術への投資も盛んで研究開発も活発になっている。欧州でも、フレームワークプログラム Horizon 2020、Horizon Europe を通じて希少元素の持続可能な供給の促進、資源循環効率の向上を掲げたプロジェクトや、反応分離プロセスに関する研究など多数推進している。中国では、関連研究分野での学術論文発表件数の世界シェアが高く、新製品、新材料、新技術の研究開発と産業化を目指した取組も活発化している。

6-2. 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 戦略プロポーザル「分離工学イノベーション」、「環境調和型プラスチック戦略」、「物質循環を目指した複合構造の生成・分解制御」、「材料創製技術を革新するプロセス科学基盤」等を参考にして分析を進めた結果、持続可能な発展型社会を実現するためには、実環境である複雑・混合系を理解し制御することや環境規制・資源制約の下で高機能材料を創製することが重要であることが明らかとなった。また、日本の強みであるモノづくり要素技術や先端素材産業分野での国際的プレゼンスを確固たるものにするため、複雑・混合系からのモノづくり・物質循環を目指す研究を加速することが必要

であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「(仮) 選択の物質科学 ～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～」を特定した。

3. 令和5年12月に、文部科学省は、注目すべき研究動向「(仮) 選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～」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、持続可能な発展型社会に必須で未開拓な領域、技術課題注目すべき国内・国外の動向、想定される研究内容・成果のイメージやそれらの学術的・社会的インパクトや波及効果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へのインタビュー、アンケート等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」(令和3年3月26日閣議決定)(抄)

第2章 Society 5.0の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(1) 地球規模課題の克服に向けた社会変革と非連続なイノベーションの推進

(c) 具体的な取組

① 革新的環境イノベーション技術の研究開発・低コスト化の促進

○循環経済への移行に向けて、環境配慮型の設計推進、使用済製品の選別効率化等の高度リサイクル基盤技術開発、海洋生分解性プラスチック等環境負荷の低い革新素材の研究開発やイノベーション推進のための投資等を推進する。

「マテリアル革新力強化戦略」(令和3年4月27日統合イノベーション戦略推進会議決定)(抄)

第5章. アクションプラン

1. 革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装

【目標】重要なマテリアル技術・実装領域での戦略的研究開発の推進

(2) 具体的取組

- ✓ マテリアルが社会課題解決や産業競争力強化に資する重要な技術領域において、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)や科学技術振興機構(JST)等を通じた、国内外・産学官の英知を結集したプロジェクトを推進
- ✓ 中長期的な観点から、基礎基盤研究・実装領域での戦略的研究を支援。競争的研究費改革や資金配分機関間の連携を適切に進め、戦略型研究と創発型研究の双方を充実
- ✓ サイエンスに基づくボトルネック課題のブレークスルーをもたらす新たな手法や技術シーズの創出、革新的マテリアルと既存技術の組み合わせによる飛躍的な性能向上、次世代スピントロニクス技術等の新たな原理・発想に基づく革新的技術の創出等、脱炭素化に向けた革新的技術シーズ創出のための研究開発を加速

【目標】サーキュラーエコノミーの実現

(2) 具体的取組

① 「プラスチック資源循環戦略」におけるマイルストーン達成に必要なルール及び社会インフラ環境の整備

✓ リサイクル可能な材料・製品設計

リユース・リサイクルを前提とした材料・製品設計技術（モノマテリアル）の確立及び製品設計指針の策定

✓ 環境負荷低減材料の導入

代替材料（再生材・バイオマス材・生分解性材等）の技術及び評価方法の確立並びに利用を促すための政府率先調達等での需要喚起を実施

② サーキュラーエコノミー実現のための技術開発・社会実装の促進

✓ プラスチックリサイクル技術の開発・実装

カーボンニュートラルとの両立を図るためのマテリアルリサイクル・ケミカルリサイクル技術の効率化・高度化を実施

✓ 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）及びそのトレース技術（識別・承認、追跡等）

✓ 製造過程での環境負荷を低減した材料、未使用資源（建設副産物等）を有効利用した材料の技術開発と実装推進（品質評価、設計施工マニュアル等）

✓ 雑電線を始めとする低品位スクラップの有効利用に向けた技術開発・設備導入支援

【目標】資源制約の克服

(2) 具体的取組

② 代替・省資源化・リサイクル等の技術開発

✓ 希少元素の特異な機能を、豊富に存在する元素で置き換える元素代替を目指した研究開発の実施

「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 3 年 6 月 内閣官房他）

4. 重要分野における「実行計画」

(13) 資源循環関連産業

リデュース、リユース、リサイクル、リニューアブルについては、法律や計画整備により技術開発・社会実装を後押ししている。廃棄物発電・熱利用、バイオガス利用については、既に商用フェーズに入っており普及や高度化が進んでいる。今後、これらの取組について、「国・地方脱炭素実現会議」等における議論を踏まえつつ、技術の高度化、設備の整備、低コスト化等により更なる推進を図る。循環経済への移行も進めつつ、2050 年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする。

7. その他

本戦略目標は、応用・開発研究の土台となる複雑・混合系からのモノづくり・物質循環を実現する基礎学理を構築することを目的としており、応用研究事業として国内で進められている JST ALCA-Next「資源循環」、ムーンショット目標 4「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」、開発研究として NEDO「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」などの関連施策や各関連学会との緊密な連携が期待される。また、領域設定の留意点として、材料・化学、環境・エネルギー、バイオ、機械、エレクトロニクス、原子力、地質・海洋、社会システム、経済など多分野の研究人材が知識やアイデアを共有し合うことによる連携・融合を進め、新しい科学技術が生まれる構造を醸成することが期待される。本戦略目標は困難かつ最重要社会課題を対象としているため、研究者の持つ学術的好奇心と応用への方向性を合致させる仕組み、目標を共有するための場の形成など事業運営側からの様々なアプローチも期待される。

令和6年度戦略目標

1. 目標名

「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～

2. 概要

近代のライフサイエンスの進展は計測・解析技術の革新の歴史であり、今なお、多くの「生命の神秘」が人類の挑戦を待っている。このため、本戦略目標では、複雑なシステムである生体が、外的刺激や時間経過に応じて発揮する未知の生体応答能力、いわば「生命力」の解明というライフサイエンスのフロンティアに挑戦する。「生命力」の解明を通じ、基礎生命科学における未解明の問の解明や、健康寿命の延伸や持続可能な社会の実現などの社会課題の解決へ貢献できるよう、ライフサイエンス上のニーズを踏まえた目的志向の思考の下、分野横断的挑戦により、幅広い時間・空間スケールを見据えた計測・解析技術開発を推進する。

3. 趣旨

生命現象の計測・可視化はライフサイエンスの根幹であり、近代のライフサイエンスの進展は計測・解析技術の革新の歴史である。計測・解析技術が革新されるたびに、新たな事実が明らかになり、また新たな問が生まれてきた。そして今なお、多くの「生命の神秘」が人類の挑戦を待っており、本戦略目標では、今まで見えてこなかった未知の生体応答能力、いわば「生命力」の解明というライフサイエンスのフロンティアに挑戦する。複雑なシステムである生体が、外的刺激や時間経過に応じて発揮する応答能力である「生命力」を解明することには、基礎生命科学における未解明の問の解明や、健康寿命の延伸や持続可能な社会の実現などの社会課題解決への大きな貢献が期待される。

これまでに設定された戦略目標の中でも、「生体制御の機能解明に資する統合1細胞解析基盤技術の創出」（平成26年度～令和3年度）「量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明」（平成29年度～令和4年度）「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」（令和4年度～）等において、計測・解析技術に注目した目標設定がなされてきた。他方、これまで開発した技術を生かしつつ、「生命力」を解明し、基礎生命科学の進展や社会課題解決に繋げていくためには、個々の技術が何を実証することに繋がるのか、実証することによりどのように課題解決に貢献していくか、といった目的志向の思考を促し、その目的に資する技術を複合的に組み合わせていくことが重要である。

また、ライフサイエンス分野の計測対象は、時間的には、瞬時に起こる生体内の化学反応から個体の成長や世代を越えた変化まで、空間的には、分子レベルから個体・集団レベルまで、幅広い時間・空間スケールにわたるとともに、計測により取得可能な情報の種類は、ゲノム配列・遺伝子発現情報から糖や代謝物の状況や立体構造・修飾、さらには機械的力、熱、電磁場等の物理情報まで非常に多様である。このため、「生命力」の解明に当たっては、目的に応じて最適な技

術を選択し、必要に応じて組み合わせていく発想が重要である。

このような目的志向の組み合わせを実現するためには、幅広い時間・空間スケールにわたる計測を可能とする光技術、従来技術では極低温等でのみ得られていた感度を室温で可能にする量子技術、クライオ電子顕微鏡等の細胞・生体分子計測を可能にするナノテクノロジーなどの様々な研究分野の要素技術をライフサイエンスへ応用していくことが重要である。

あわせて、fMRI や網羅的遺伝子発現解析、空間オミクス等の高度な計測技術により、今までのライフサイエンスでは扱ってこなかったような膨大・複雑なデータの取得が可能となっているため、情報科学と組み合わせ、データから意味を引き出す取組の必要性が高まっている。AlphaFold2 の登場により、広範囲の複雑な生体分子の構造予測が可能になったことから、深層学習モデルや AI・データサイエンス等の情報科学をライフサイエンスにおけるデータ解析へ応用する国際的な研究開発競争が加速しており、近年発展著しい情報科学の活用先としてのライフサイエンスの重要性も高まっているところである。このため、ライフサイエンスの根幹である生命現象の計測・可視化に向けて、ライフサイエンスと情報科学の融合が今後ますます重要になると考えられる。

このような背景から、本戦略目標では、「生命力」の解明に向けて、ライフサイエンス上のニーズを踏まえた目的志向の思考の下、分野横断的挑戦や要素技術の複合的な組み合わせにより、分子動態から生体システムまで幅広い時間・空間スケールを見据えた計測・解析技術開発を推進する。

4. 達成目標

本戦略目標では、複雑なシステムである生体が発揮する「生命力」を解明するため、ライフサイエンス上のニーズを踏まえた目的志向の思考の下、分野横断的挑戦により、幅広い時間・空間スケールを見据えた計測・解析技術を開発する。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) ライフサイエンス上のニーズを踏まえた計測・解析技術開発

「未知の生命資源の「探索」、「時間・空間を超えたより複雑な生命現象の計測による生命現象の「解明」、「計測に基づく生命現象への「介入」」の3つの観点を意識して計測・解析技術の開発を推進する。その際、計測そのものを目的化せず、基礎生命科学における未解明の問の探求や社会課題の解決など、ライフサイエンス上のニーズを意識し、それらに資する計測・解析技術の開発を目指す。

(2) 分野横断的挑戦や要素技術の複合的な組み合わせを通じた、幅広い時間・空間スケールを見据えた計測・解析技術開発

幅広い時間・空間スケールにわたる生命現象について、(1)のような目的志向の思考の下で計測・解析技術の開発を推進するためには、目的に応じて最適な技術を組み合わせることが重要であることから、光技術、量子技術、ナノテクノロジーなどの様々な研究分野の要素技術のライフサイエンスへの応用や、情報科学と組み合わせた解析手法の開発を推進する。

(3) 「生命力」の解明

(1) (2) の取り組みを通じ、①外的刺激や時間経過によって生じる「揺らぎ」を一定の範囲内に留める「恒常性・復元力」、②細胞レベルから個体・集団レベルまでの様々なスケールでバラつきが生じ、時には進化や適応に繋がっていく「多様性・不均一性」の2つの側面から「生命力」の解明に迫る。その際、このような「生命力」は時間的にも空間的にもマルチスケールであることから、生物総体としての網羅的計測とその多元的情報解析に取り組む。

5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、「生命力」というライフサイエンスのフロンティアへの挑戦から「生命の神秘」に挑戦していく。具体的には、基礎生命科学においては、未だ多くが未解明な脳の機構・動態や、細胞ごと、微生物ごとの遺伝子発現の不均一性といった未解明な問の解明が進む。また、少子高齢社会や感染症の世界的流行、地球環境問題等のリスクが顕在化する中、ライフサイエンスには社会課題解決への貢献も期待されており、診断技術等の進化、創薬の加速化等による健康寿命の延伸や、エネルギー・農業等の革新による持続可能な社会の実現など、これまでにない新たな技術等の創出を通じ、安全安心で持続可能な社会を実現する。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

(国内動向)

JST-CREST「多細胞間での時空間的相互作用の理解を目指した定量的解析基盤の創出」(令和元年度～)やJST-CREST「生命科学分野における光操作技術の開発とそれを用いた生命機能メカニズムの解明」(平成28年度～)等において、新規定量的解析技術の開発や、オプトジェネティクスに関して様々な研究成果を挙げている。

例えば、生体分子を生きた状態で観察可能な計測技術の開発が世界的に注目を集める中、我が国においては、溶液中におけるタンパク質の微小な構造変化をサブピコニュートン精度で検出する高速原子間力顕微鏡を世界で初めて開発するなど世界をリードする研究成果を挙げている。

また非侵襲な計測技術として、ウェアラブルデバイスが挙げられ、低ノイズの心電計測シートの開発など、計測可能な生体情報が広がりつつある。また、ウェアラブルでは実現していないものの、呼気による糖尿病早期診断などの開発も行われている。

(国外動向)

2017年にノーベル化学賞を受賞したクライオ電子顕微鏡の改良により、より天然に近い状態でタンパク質の三次元構造解析が可能となった。また、蛍光イメージングでは、超解像顕微鏡や光シート顕微鏡において、高性能化の研究開発と並行して、普及に向けた市販化やチューリッヒ大などによるオープンプラットフォームの取り組みが行われている。

さらに、近年大きく進展している研究動向として、各種オミクスなどを計測、ビッグデータを

収集・解析し、意味付けする技術が挙げられる。例えば、CT 検査画像からの臓器病変の高精度な検出・分類や、英国における 100K ゲノム研究のパイロットスタディ結果からの希少疾患変異の同定、ウェアラブルデバイス等で得られたデータを用いた糖尿病の検出など、集約されたビッグデータと深層学習モデルを組み合わせた分野横断的な研究が行われている。

6-2. 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、近代のライフサイエンスの進展は計測技術の革新の歴史であるが、依然としてライフサイエンス分野には技術革新により解決可能な課題が多く存在しており、更なる技術開発が望まれていることから、ライフサイエンス上のニーズを踏まえた分野横断的な計測・解析技術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「「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～」を特定した。
3. 令和 5 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「「生命力」を測る～未知の生体応答能力の発見・探査～」に係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、最新の研究動向、意義ある解明対象、「生命力」の解明により期待されるライフサイエンス上のブレイクスルーや、そのために必要な計測・解析技術、計測・解析技術の開発に効果的なアプローチ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。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「経済財政運営と改革の基本方針 2023」（令和 5 年 6 月 16 日閣議決定）

第 2 章 新しい資本主義の加速

2. 投資の拡大と経済社会改革の実行

（4）官民連携を通じた科学技術・イノベーションの推進

科学技術・イノベーションへの投資を通じ、社会課題を経済成長のエンジンへと転換し、持続的な成長を実現する。このため、AI、量子技術、健康・医療、フュージョンエネルギー、バイオ

ものづくり分野において、官民連携による科学技術投資の抜本拡充を図り、科学技術立国を再興する。(略)

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」(令和3年3月26日閣議決定)

第2章 Society 5.0の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(6) 様々な社会課題を解決するための研究開発・社会実装の推進と総合知の活用

(c) 具体的な取組

①総合知を活用した未来社会像とエビデンスに基づく国家戦略の策定・推進

AI、バイオテクノロジー、量子技術、マテリアルや、宇宙、海洋、環境エネルギー、健康・医療、食料・農林水産業等の府省横断的に推進すべき分野について、国家戦略に基づき着実に研究開発等を推進する。(略)

7. その他

本戦略目標は、ライフサイエンス上のニーズを踏まえた目的志向の思考による計測・解析技術開発を推進するものであり、これまでに設定された戦略目標に基づく研究成果を含め、我が国が優位性を持つ要素技術を目的に応じて組み合わせることが期待されるとともに、必要に応じ、開発初期から産業界とも対話し連携することも期待する。

その際、ライフサイエンス上のニーズとしては、「未病」状態の把握などの健康・医療上のニーズも重要であるが、生命現象の不均一性への理解の深化などの基礎生命科学におけるニーズや、未知・未利用の植物・微生物資源の活用などによる持続可能な社会の実現など、幅広いニーズが考えられることに留意する必要がある。

また、本戦略目標は、ライフサイエンス分野への応用可能性が注目されている他分野の技術も活用した分野横断的な挑戦を推奨することから、本戦略目標を通した新たな連携により、革新的な研究課題の提案及び成果が創出されることを期待する。

令和5年度戦略目標

1. 目標名

新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術

2. 概要

デジタル社会の根幹を担う半導体集積回路には更なる低消費電力化・高速化・高集積化が求められ、そのために新たなトランジスタ構造が必要とされている。将来的には、極薄のナノシート、二次元物質、一次元物質といった低次元マテリアルがトランジスタのチャネル材料として用いられることが期待されている。また、低次元マテリアルは、特異な電子構造を活用した新たな半導体デバイス（各種センサ、光デバイスなどの半導体素子）のコア材料として利用されることが期待されている。本戦略目標では、低次元マテリアルを新たな半導体デバイス構造に活用するために必要な基盤技術の確立を目指す。

3. 趣旨

ビッグデータ、人工知能、IoT などに関する技術やサービスが進展するなか、デジタル社会の根幹を担う半導体集積回路には更なる低消費電力化や高速化が求められている。半導体集積回路の低消費電力化・高速化はトランジスタ構造の微細化と高集積化により実現されるが、既に平面内での微細化には限界が迫っており、新たなトランジスタ構造が必要とされている。将来的に、極薄のナノシート、二次元物質（グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイドなど）、一次元物質（ナノチューブなど）といった低次元マテリアルがトランジスタのチャネル材料として用いられることが期待され、世界的に研究開発が活発化してきている。また、低次元マテリアルは集積回路以外にも、特異な電子構造を活用した新たな光デバイス、テラヘルツデバイス、スピントロニクスデバイス、ガスセンサ、バイオセンサなどのコア材料として利用されることが期待され、それらデバイスの実用化が強く望まれている。国内でも、二次元物質をはじめとする低次元マテリアルの作製方法や新たな機能性の発現などに関する知識が蓄積されてきたが、今後は、新たな半導体デバイス構造の創製を目指し、低次元マテリアルを活用するための基盤技術を確立する必要がある。特に、日本の強みである材料に関する研究開発力や結晶成長・成膜に関する技術を活かして、良質な低次元マテリアルを効率的に作製する技術や低次元マテリアルと異種材料（基板材料・電極材料等）の界面を高度に制御するための学理や技術を構築することが非常に重要である。このような低次元マテリアルの活用基盤技術を確立することは、将来的に我が国の半導体産業基盤の強化に繋がる。このため、低次元マテリアルを新たな半導体デバイス構造に活用するための基盤技術にフォーカスした戦略目標の設定が重要かつ効果的である。

4. 達成目標

本戦略目標では、低次元マテリアルを新たな半導体デバイス構造に活用するために必要な基盤技術の確立を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) 高品質な低次元マテリアルを効率的に作製する技術の確立

新たな低次元マテリアルの開発に加え、高品質な低次元マテリアルを効率的に作製するための結晶成長・成膜・転写等のプロセス技術を発展させる。特に、新たな半導体デバイスを実現するためには低次元マテリアルの大面積化、欠陥濃度の制御、電子構造の制御、選択成長等が重要であるため、これらを具現化するための基盤技術を確立する。

(2) 低次元マテリアルと異種材料の界面を制御するための学理や技術の構築

低次元マテリアルを活用した半導体デバイスの特性は、低次元マテリアルと異種材料の界面の状態に大きく依存するため、界面制御に関する学理や基盤技術の構築が必須である。例えば、理想的なデバイス特性を得るためには、低次元マテリアルと基板の間に原子レベルの凹凸や欠陥の無い良質な界面を形成することや、低次元マテリアルと電極の間に低抵抗なオーミック接合を形成することが重要である。また、積層した二次元マテリアルでは界面を高度に制御することにより新たなデバイスの開発につながるような物性発現が期待できる。これらのような界面形成プロセス技術を発展させるとともに、界面に関する高精度な計測・解析技術、理論計算、モデル化、シミュレーションなどを通して、デバイス応用を前提とした界面設計・制御のための学理や技術を構築する。

(3) 低次元マテリアルを活用した新たなデバイス構造の提案

高性能デバイス、新機能デバイス、集積回路応用を目指して、低次元マテリアルの特徴を活かすような新たなデバイス構造を提案する。特に、低次元マテリアルと異種材料の界面に関する知見を最大限活かすとともに、製造プロセスにおける課題の明確化、デバイス特性の理解を通じて、実現可能なデバイス構造を設計することが重要である。

5. 見据えるべき将来の社会像

4.「達成目標」の実現を通じ、低次元マテリアルを利用した超低消費電力かつ高速な集積回路を可能とし、実世界と仮想世界をシームレスにつなぐ Society 5.0 の実現に貢献する。特に我が国の強みである材料や結晶成長・成膜技術の分野で半導体産業におけるプレゼンスを再び向上させる。また、低次元マテリアルを用いた革新的デバイスは、センサネットワークにおいて必要なセンサ、通信、コンピューティングに利用される可能性があり、高度デジタル社会、安全・安心な社会、Well-being が実現できる社会に資するものである。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

日本は材料の創製や機能に関する分野は伝統的に強く、低次元マテリアルに関連するこれまでの戦略目標の設定や科学研究費助成事業の新学術領域研究及び学術変革領域研究により、二

次元物質の作製方法や新たな機能性の発現などに関する知識が蓄積されてきている。一方、国外では、特にロジック半導体の主要メーカーを中心に産業界での低次元マテリアルのデバイス化に関する研究開発が強力である。

（国内動向）

平成 25～29 年度に科学研究費助成事業の新学術領域研究「原子層科学」によってグラフェンを中心とした単原子層物質の合成及び物性に関する基礎基盤研究が行われた。また、平成 26 年度の戦略目標「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」のもとに CREST「二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出」が令和 3 年度まで行われた。ここでは 6 つの研究分野（界面、グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイド、トポロジカル材料、化学、生物）で研究開発が行われ、二次元材料の作製方法や新たな機能性の発現に関する基礎学理の構築が行われた。一方、トランジスタ動作実証レベルでの二次元材料の集積回路利用には多くの課題があることが同時に示された。令和 3 年度からは科学研究費助成事業の学術変革領域研究(A)「2.5 次元物質科学：社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト」にて二次元物質の積層による新物性や機能の探求が行われている。また、令和 2 年度から開始されている CREST「情報担体を活用した集積デバイス・システム」、さきがけ「情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム」でも二次元物質を新たなメモリ等へ活用する試みが行われている。

応用物理学会、日本物理学会、日本化学会、高分子学会などの学会でも二次元物質をはじめとする低次元マテリアルに関するシンポジウムが数多く開催されており、低次元マテリアルのデバイス化に関する研究開発は近年ますます活発化している。

（国外動向）

半導体集積回路は微細化の限界から三次元構造へと進化し、トランジスタレベルにおいても平面型の MOSFET からナノシート FET、相補型ナノシート FET へと進み、究極的には二次元物質がチャネルに活用されることが半導体ロードマップ（IEEE International Roadmap for Devices and Systems：IRDS）にも記載されている。ロジック半導体の主要メーカーは、ナノシートや二次元物質を用いたトランジスタの開発研究を強力に推進している。

低次元マテリアルについては、材料・化学・デバイス等の主要な国際学会でも大きなテーマとして扱われており、学術界においても極めて注目度の高い分野となっている。二次元物質のトランジスタ応用に関する論文数は 2010 年代から世界的に急増しており、日本以外では、中国、米国、韓国、インド、ドイツなどが強力に研究を推進している。なお、日本は特に材料やテラヘルツ応用などの分野で存在感がある。

6-2. 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 CRDS 研究開発戦略検討会「低次元マテリアル活用基盤技術の創出」での有識者の話題提供や議論内容等を参考にして分析を進めた結果、半導体回路設計等に活用可能な高品質な低次元マテリアルの形成、低次元マテリアルと異種材料との間の界面の構造・物性の解明及び理論構築が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「次世代半導体応用に向けた低次元マテリアルヘテロ界面の制御」を特定した。
3. 令和 4 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「次世代半導体応用に向けた低次元マテリアルヘテロ界面の制御」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、低次元マテリアルを半導体デバイスに活用するための基盤技術構築の重要性、注目すべき国内・国外の動向、想定される研究内容・成果のイメージやそれらの学術的・社会的インパクトや波及効果等について議論を行い、ワークショップにおける議論やアンケート回答等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」（令和 3 年 3 月 26 日閣議決定）

第 2 章 Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(1) サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出

(c) 具体的な取組

- ④ デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI 利活用技術の整備・研究開発
○国土全体に網の目のように張り巡らされた、省電力、高信頼、低遅延などの面でデータや AI の活用に適した次世代社会インフラを実現する。このため、5G/光ファイバの整備を進め、5G については、2023 年度末には 98%の地域をカバーし、光ファイバについては、2021 年度末には未整備世帯数が約 17 万世帯に減少すると見込まれる。さらに、宇宙システム（測位・通信・観測等）、地理空間（G 空間）情報、SINET、HPC（High-Performance Computing）を含む次世代コンピューティング技術のソフト・ハード面での開発・整備、量子技術、半導体、ポスト 5G や Beyond 5G の研究開発に取り組む。

(6) 様々な社会課題を解決するための研究開発・社会実装の推進と総合知の活用

(c) 具体的な取組

① 総合知を活用した未来社会像とエビデンスに基づく国家戦略の策定・推進

○デジタル社会を支える戦略的基盤技術である半導体について、経済安全保障への対応、デジタル革命や低消費電力化の推進を図るため、戦略を策定し、我が国の半導体産業基盤の強靱化に向けた国内外一体の各種対策を推進する。

「マテリアル革新力強化戦略」（令和３年４月２７日統合イノベーション戦略推進会議決定）

第５章. アクションプラン

1. 革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装

【目標】重要なマテリアル技術・実装領域での戦略的研究開発の推進

(2) 具体的な取組

- ✓ マテリアルが社会課題解決や産業競争力強化に資する重要な技術領域において、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や科学技術振興機構（JST）等を通じた、国内外・産学官の英知を結集したプロジェクトを推進
- ✓ 中長期的な観点から、基礎基盤研究・実装領域での戦略的研究を支援。競争的研究費改革や資金配分機関間の連携を適切に進め、戦略型研究と創発型研究の双方を充実
- ✓ サイエンスに基づくボトルネック課題のブレークスルーをもたらす新たな手法や技術シーズの創出、革新的マテリアルと既存技術の組み合わせによる飛躍的な性能向上、次世代スピントロニクス技術等の新たな原理・発想に基づく革新的技術の創出等、脱炭素化に向けた革新的技術シーズ創出のための研究開発を加速

「半導体・デジタル産業戦略」（令和３年６月経済産業省）

3. 個別戦略

(1) 半導体産業

<今後の対応策>

① 先端半導体製造技術の共同開発と生産能力確保

【主な取組】

(B) 半導体製造装置・材料等の先導研究

2020年代後半以降、次々世代の先端半導体製造に必要となる装置・材料等の先導的な研究開発や機微技術開発を支援する。

戦略的不可欠性を有する革新的材料を把握しつつ、先端半導体デバイスの前工程に用いられる材料（ナノシート等の半導体材料、配線材料、絶縁材料等）及び、先端半導体デバイスの後工程に用いられる部素材（封止材、バンプ材、三次元パッケージ基板等）、カーボンナノチューブを活用した次世代革新メモリに関する技術等を装置・製

造メーカーとのすり合わせ等を通じて開発し、社会実装を実現する。

7. その他

本戦略目標を推進していくためには、これまで蓄積してきた低次元マテリアルに関する取組やプロジェクトの知見を最大限に活かすことに加え、物性物理、理論科学、プロセス科学、データ科学、デバイス物理、シミュレーションなど多岐にわたる研究分野間の連携が必要である。また、低次元マテリアルや基板の作製、計測・分析、シミュレーション、デバイスのプロトタイプの試作・検証が行えるような共通設備の整備や利用が重要であり、マテリアル先端リサーチインフラ等で提供される先端設備を活用することが期待される。

本戦略目標においては多くの階層で研究開発が行われることが期待され、ボトムアップ型の基礎研究から、トップダウン型の目的基礎研究、応用研究まで切れ目のない研究開発支援が必要と考えられる。次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業とアカデミアの基礎研究の連携や、二次元物質の新物性や機能の探求及びデバイス化を目指した科学研究費助成事業の学術変革領域研究(A)「2.5次元物質科学：社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト」、CREST「情報担体を活用した集積デバイス・システム」、さきがけ「情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム」との連携も積極的に進めていくべきである。

学会活動における低次元マテリアルデバイス関係の新たなコミュニティ形成やデバイス開発のプロジェクトによるアカデミアと企業との連携や、日本の強みである材料、結晶成長・成膜、デバイスなどの技術を活かし、プロセス技術・集積化技術に強みを持つ海外の研究機関との連携強化を通して、先端半導体プロセスの知識と技術を獲得することも重要である。

令和４年度戦略目標

1. 目標名

老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明

2. 概要

世界で最も急速に高齢化が進み、超高齢社会に突入している我が国では、高齢者のQOLを高めるとともに、医療費の増大を抑制するため、平均寿命と健康寿命の差を縮小させ、健康寿命延伸を実現することは喫緊の課題である。

本戦略目標では、健康寿命延伸の実現に向けた取組を加速するために、これまで得られた老化メカニズム等に関する研究成果を発展させ、加齢性疾患等の制御に係る機序等の解明に貢献する。また、先進的な計測・解析技術等の最先端技術を活用し、老化の根本的な原理を探求することで、老化そのものの基盤原理のメカニズムに立脚した新たな老化研究を推進する。これらにより、新たなシーズ探索、加齢性疾患の予防、治療薬開発等に貢献する。

3. 達成目標

本戦略目標では、老化という生命現象の原理の解明に関する研究と老化メカニズムに立脚した加齢性疾患の予防や治療に資する研究との密接な連携体制を構築するとともに、異分野との融合により、最先端の手法等も活用した新たな老化研究の推進を目指す。具体的には、以下の３つの達成を目指す。

- (1) 加齢性疾患の発生・予防・治療に関わる機序解明
- (2) 疾患に関わる生体ロバストネスの老化制御機構の統合的理解
- (3) 最先端技術を活用した生体ロバストネスの老化変容の基盤的な理解

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、生体ロバストネスの変容といった老化という生命現象の理解や最先端技術の進展、さらには加齢性疾患の予防・治療につながる新たなシーズ等の創出を通じて、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・全ての人々が身体的、精神的に生き活きと暮らせる社会
- ・エビデンスに基づいた日常の生活習慣の改善や予防・診療医療により、健康寿命がさらに延伸し、人生100年時代が実現する社会

5. 具体的な研究例

3.「達成目標」の実現に向けて、日本医療研究開発機構（AMED）が老化制御メカニズム等の解明をしつつその原理に基づいた加齢性疾患の予防や治療に資する研究を推進

し、科学技術振興機構（JST）が老化という生命現象の原理の解明に関する研究を推進する。AMED と JST は本戦略目標の実現に向けて、一体的な事業運営を行い、それぞれが推進する研究の連携を行う。

- (1) 加齢性疾患の発生・予防・治療に関わる機序解明
 - ・血管障害、代謝異常などの加齢性疾患に老化が関与する機序解明
 - ・加齢性疾患（例：サルコペニア・フレイル）のバイオマーカー等の探索、予防・治療に資する機序解明
- (2) 疾患に関わる生体ロバストネスの老化制御機構の統合的理解
 - ・モデル生物等も活用した、分子/細胞（集団）、臓器、個体の関連性を考慮した疾患に関わる老化制御機構の理解
 - ・モデル生物等も活用した、疾患に関わる老化抑制因子に作用する物質及び抗老化分子の同定、作用機序解明
- (3) 最先端技術を活用した生体ロバストネスの基盤的な理解
 - ・ゲノム・オミクス技術、空間オミクス技術、イメージング技術、データ解析技術、ゲノム編集技術、分子・細胞・遺伝子操作技術など最先端の技術を活用し、
 - 多様な生命現象に着目した、老化に伴う生体ロバストネスの維持・変容メカニズムの解明
 - モデル生物等も活用した、環境・遺伝要因等に基づく、老化における個体間の多様性と共通メカニズムの解明
 - 老化に関連する特徴的な形質を有する非モデル生物も活用した、老化・寿命決定に関する基盤原理の理解

※老化を取扱うという研究の性質上、研究を行うにあたってのリソース等の準備に時間を要することなどから、若手や異分野からの参画等を推進していくためにも、他の事業等とも連携しながら、必要な支援をあわせて実施することが想定される。

6. 国内外の研究動向

老化研究については、これまで分子生物学等のアプローチにより老化現象を理解するための基礎研究や、加齢性疾患の制御という観点から制御機構・予防・診断・治療等の研究が進められており、老化細胞除去といった加齢性疾患制御機構や、中枢ネットワークや臓器連関による老化制御メカニズムなどの理解が徐々に深まりつつある。

また、生命現象に関する計測・解析技術の進展が近年著しく、これらの研究手法は老化現象のメカニズムの解明を飛躍的に進展させる可能性がある。

今後は、これらの最先端技術を活用し老化の根本的な原理を探索し、その原理を踏ま

えた加齢性疾患の予防・治療のための機序を解明するために、基礎研究と予防や治療への応用展開を目指した研究の一体的な研究体制を構築し、包括的に研究を推進していくことが期待される。

（国内動向）

老化メカニズムの解明・制御プロジェクト（AMED）や科学研究費助成事業などにより、モデル生物を活用した代謝ネットワーク制御や生物時計と寿命メカニズムとの関係、加齢による臓器、脳と臓器の関連ネットワークなどの研究が進められている。また、近年、オミクス等の計測・解析技術及びビッグデータ・AI 解析技術（コア分子予測等）の急速な高度化も相俟って、分子～細胞～全身レベルでの老化現象の理解が大きく進展している。

（国外動向）

2021 年に米国 NIH は新規プロジェクトとして Cellular Senescence Network (SenNet) のグラントを設立し老化研究を推進するなど、老化研究が活発化している。また、米国においては、老化遅延・寿命延長の効果があるとされているサーチュイン（酵素）を活性化させる NMN を用いた臨床試験や、これまで糖尿病治療薬として使われてきたメトフォルミンを用いて、がん、心血管疾患、神経変性疾患などの老化関連疾患の発症を遅らせることができるかどうか、健康寿命を延伸できるかどうかの臨床試験（Targeting Aging with Metformin (TAME) trial）が実施されている。

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、生体ロバストネス変容の基盤的な理解、老化の制御機構の理解や加齢性疾患の発生・予防・治療に関わる機序解明、さらに老化研究を加速させる基盤技術開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「老化に伴う生体ロバストネスの変容と

回復機構の理解及び制御法の探索」を特定した。

3. 令和 3 年 10 月に、文部科学省と JST、AMED は共催で、注目すべき研究動向「老化に伴う生体ロバストネスの変容と回復機構の理解及び制御法の探索」に関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、わが国において推進すべき研究開発戦略、想定される社会・経済的インパクト、研究成果の最大化に向けた戦略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・研究開発目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「健康医療戦略」（令和 3 年 4 月閣議決定（一部変更））

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

4. 具体的施策

- ・医療分野の研究開発への応用を目指し、脳機能、免疫、老化等の生命現象の機能解明や、様々な疾患を対象にした疾患メカニズムの解明等のための基礎的な研究開発を行う。
- ・これらの研究開発成果を臨床研究開発や他の統合プロジェクトにおける研究開発に結び付けるとともに、臨床上の課題を取り込んだ研究開発を行うことにより、基礎から実用化まで一貫した循環型の研究を支える基盤を構築する。

9. その他

本目標に関連して、これまで AMED 事業「老化メカニズムの解明・制御プロジェクト（平成 29 年度～令和 3 年度）」、JST 戦略目標「生体制御の機能解明に資する統合 1 細胞解析基盤技術の創出（平成 26 年度～令和 3 年度）」などが存在しており、これらの成果の活用・発展も期待される。

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 7「2040 年までに、主要な疾患を予防・克服し 100 歳まで健康不安なく人生を楽しむためのサステイナブルな医療・介護システムを実現（令和 2 年度～令和 11 年度）」や AMED 研究開発目標「全ライフコースを対象とした個体の機能低下機構の解明（平成 29 年度～令和 6 年度）」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研究領域及び研究開発領域を同時に立ち上げ、連携することで新たな老化研究を推進する。具体的には、法人間の更なる連携により、令和 3 年度戦略目標・研究開発目標「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」で培った JST と AMED の連携体制の知見が活用（例：重複

申請を可能)され、相互の研究者による新しい共同研究が創出され、若手研究者のステップアップ等が行われることで、老化研究における基礎研究と予防や治療への応用を目指した研究の連携強化が期待される。

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（毎年の最重要トピック）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МПユ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、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・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^{2+} 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 との合併会社（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

クシヨ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「先制医療や個々人にとって最適な診断・治療法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超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超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ロ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

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、柔軟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）超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要となる基盤技術

- ・（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超スマート社会を形成し、ビック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」

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材料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材料：(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材料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2年度戦略目標

1. 目標名

革新的植物分子デザイン

2. 概要

植物は4.5億年の進化の過程で、生存戦略として、多種多様な化合物を産生するようになった。人類はこれを医薬品、健康機能成分、農薬類、素材など、生活に不可欠な生産品として開発・利活用してきたが、その生合成は植物固有の多重な重複遺伝子や、共生・感染などの他生物との相互作用等の複雑なメカニズムによって制御されている等のため、未解明の点が多い。このため、植物による化合物生産はサステナブルであると脚光を浴びてはいるものの、現状では勘と経験に多くを依存した利活用にとどまっており、未だ解明・利用されていない植物資源は山積している。

本戦略目標では、こうした未利用の植物分子（植物由来化合物及びその関連遺伝子）を軸とした生体内及び生態系内の生命現象解明を行うとともに、その有効利用に資する基盤技術確立を図る。具体的には、近年特に発達を遂げた計測・分析技術、比較ゲノム解析等のバイオインフォマティクスや、わが国の強みである有機合成化学等を駆使しながら、モデル植物のみならず、農業用作物や薬用植物、それ以外の多様な植物から有用植物分子を発掘し、その構造・機能・生合成メカニズムを包括的に理解する。また、これら植物分子の活用に向けた植物分子デザイン（分子そのものや分子を活用した生合成系等のデザイン）の基盤技術創出を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、これまでの植物研究の手法にとらわれず、近年特に発達を遂げた計測・分析技術、比較ゲノム解析等のバイオインフォマティクスや、有機合成化学等の他分野のサイエンスを駆使しながら、未利用の植物分子を軸とした生命現象の根本理解や植物分子デザインのための基盤技術確立を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 有用植物分子の発掘と生合成メカニズムの解明
- (2) 植物分子デザインに資する基盤技術の開発
- (3) 植物分子デザインの多様な植物への応用に向けた研究開発

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、新規に開拓された分子をデザインする基盤技術を獲得し、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・有用物質のクリーンかつ経済的な生産技術基盤が確立した持続可能な社会
- ・感染性微生物の混入リスクなどが十分に抑制された医薬品や健康機能成分による健

5. 具体的な研究例

(1) 有用植物分子の発掘と生合成メカニズムの解明

植物の未利用遺伝資源を化合物レベルや遺伝子レベルで特定し、植物分子の生合成メカニズムやその制御機構の解明を行う。また、植物分子を通じた他生物との相互作用機構を明らかにする。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ゲノム基盤の無い植物種から植物分子の生合成に関わる因子の同定
- ・メタボロームと有機化学の連携による、新規の植物分子の同定・構造・機能解析
- ・植物分子多様化の原因であるゲノム複雑化とその進化適応原理の解明
- ・植物分子を介した微生物、昆虫等との共生・感染メカニズムの理解（自然生態系での機能解明を含む）

(2) 植物分子デザインに資する基盤技術の開発

生合成制御メカニズムなどの解明を踏まえた技術基盤の創出を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・シミュレーション等を活用した新たな分子設計及び合成した分子による制御技術の開発
- ・生合成部位の形態形成や輸送制御に関する基盤技術の開発
- ・植物生合成関連遺伝子群の自在な発現制御技術の開発（ケミカルバイオロジーによる介入、人工染色体やエピゲノム編集等を含む）

(3) 植物分子デザインの多様な植物への応用に向けた研究開発

植物における生合成メカニズム、生合成制御機構等を踏まえ、利活用可能な植物由来の分子の合成に向けた分子デザインに係る研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・希少な植物分子の、異種植物・異種生物での発現・生産技術の開発
- ・生合成経路の改変・創出等に資する合成生物学的手法の開発
- ・有用な非天然化合物の生合成技術の開発

6. 国内外の研究動向

2015 年以降、ロングリードが可能なシーケンサーの登場、質量分析計の高度化、AI 等を活用したアノテーション技術（ゲノム配列に機能を割り当てること）の向上、比較ゲノム解析等により、モデル植物のみならず、多様な植物から有用な化合物を抽出することが可能になってきた。さらに、シミュレーション技術の向上による成長制御物質の未知機能・物質の解明、数理等を用いた植物代謝経路の理解・制御等、様々な学術アプローチによる植物研究の萌芽も見られる。

（国内動向）

戦略目標「二酸化炭素の効率的資源化の実現のための植物光合成機能やバイオマスの利活用技術等の基盤技術の創出」（平成 23～30 年度）、戦略目標「気候変動時代の食料安定確保を実現する環境適応型植物設計システムの構築」（平成 27～令和 4 年度）において、光合成や気候変動に対応するロバストな植物の研究が実施され、エピジェネティクスやゲノム編集を利用した、植物体の大きさやストレス耐性を向上させる研究成果が創出されている。

また、ERATO「沼田オルガネラ反応クラスタープロジェクト」（平成 28～令和 2 年度）、新学術領域研究「生物合成系の再設計による複雑骨格機能分子の革新的創成科学」（平成 28～令和 2 年度）等のプロジェクトが推進中であり、植物細胞中のオルガネラに着目した物質生産や、植物の二次代謝物の生合成を利用した非天然物合成や効率的な物質生産の基盤技術が創出されつつある。また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発」（平成 28～令和 2 年度）では植物二次代謝物の生合成の活性化に関する社会実装のための研究開発が展開されている。

（国外動向）

EU のシンクタンク組織である European Technology Forum は 2020 年に向けたアクションプランで、植物による物質生産をサーキュラーエコノミーの鍵と位置付けており、欧州「Horizon 2020」において植物合成生物学の基礎から実装まで様々な研究への重点投資が行われている。

また米国においても、これまでは一次代謝系の研究への投資が中心だったが、NIH（国立衛生研究所）において特定の植物二次代謝物を効率的に生産する研究に投資が始められている。さらに DARPA（国防高等研究計画局）、メリンダ&ビルゲイツ財団等においても、植物の二次代謝物について基礎から応用まで大規模研究投資が行われている。

中国やインドでは伝統的に用いられてきた生薬成分の生合成や合成生物学研究に中央政府などから大規模研究投資が行われており、植物による有用物質の生産が注目を浴びている。

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 において開催したワークショップやインタビュー等を参考にして分析を進めた結果、植物の未利用資源活用が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「革新的植物分子デザインを通じた未利用資源活用」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「革新的植物分子デザインを通じた未利用資源活用」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、従来の植物分野の延長線上にない、植物分野と他分野が融合した新しい領域として取り組むべきテーマやその喫緊性、植物分野と異分野の連携等について議論を行い、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・臨床医学ユニットからの提言等を踏まえ、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

「バイオ戦略」（令和元年 6 月 11 日統合イノベーション戦略推進会議決定）

1.1.4

・米、欧、中等主要国において、バイオエコノミーの拡大による新たな市場の形成を国家戦略に位置付け、これまでのバイオテクノロジーをいかに活用するかというシーズ発の発想から大きく転換

・持続可能な社会と経済成長の両立というニーズのもと、イノベーションによって再生可能な生物資源や廃棄物を利活用した付加価値製品への転換を発想し、実現するという新しい価値、ひいては新市場の創出を意図

「革新的環境イノベーション戦略」（令和 2 年 1 月 21 日統合イノベーション戦略推進会議決定）

2-V-30

・2050 年までに CO₂ 吸収力を高めた植物・海藻（スーパー植物）、エネルギー生産や GHG 発生抑制等の能力を高めた微生物や植物の安定生産を目指すとともに、気候変動に対応した品種等の開発のための技術開発を行い、産業持続可能なコストでの実用化を目指す。

2-V-31

・光合成により CO₂ を吸収した微細藻類・植物や廃棄物・下水などのバイオマス資源を利用し、プラスチックや、CNF 等の高機能素材を利用した製品などの開発を行い、2050

年に向けて産業持続可能なコストでの社会実装を目指す。(中略) 素材のみならず、その素材を効率的に作るためのバイオマス増産であったり、酵素や酵母の培養等についても実用化に欠かせない量産技術開発として追求する。

9. その他

平成 27 年度に開始した CREST「植物頑健性」/さきがけ「フィールド植物」では、これまでの戦略的創造研究推進事業等で開発されてきた植物研究を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、環境適応機構の機能やその発現にかかわる DNA などの生物指標の同定や、それを利用した新しい植物の開発が進められている。

本戦略目標ではこれまでの植物に関する研究開発の概念を越え、植物で行う物質生産の観点から真に必要となる生合成・生合成制御技術を特定し開発、利用することによって新たな技術革新を目指す。

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

細胞内構成因子の動態と機能

2. 概要

クライオ電子顕微鏡、超解像顕微鏡、高速原子間力顕微鏡等の観測・計測技術の発展により、細胞内の詳細構造や動態について、分子、原子レベルで迫れるようになってきた。そのような中、細胞内においては、細胞小器官間相互作用（オルガネラコンタクト）や、液-液相分離（LLPS: Liquid-Liquid phase separation）による非膜型オルガネラ等の新しい現象が発見され、細胞の概念が見直されつつある。同時に、細胞生物学は細胞内で起こる現象について、結果だけでなくそこに至る過程、反応の場等まで明らかにしようという時空間情報を伴った新しい研究フェーズに発展しつつある。

細胞内のシステムを理解するためには、因子や反応を個別に把握するだけでなく、生体分子等の空間的局在情報と時間的動態情報を網羅的・統合的に取得し、分子と細胞の間の階層である超分子複合体や細胞小器官等をはじめとした細胞内高次複合体の構造や動態と関連させることが必要である。しかしながら、現状の細胞内の観測・計測技術には空間・時間解像度の「空白地帯」に相当する領域が存在し、細胞内高次複合体の動態と機能との因果を十分に理解するに至っていない。

本戦略目標では、この観測・計測技術の「空白地帯」を埋める理論を構築し、革新的な技術を創出することにより、細胞内高次複合体の微小空間での「動態」—動的構造・局在・数量—を観測・計測し、「機能」との因果を解析することにより細胞内のダイナミクスの統合的理解を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、細胞内の観測・計測技術及び分子操作技術、シミュレーション技術等を開発し、それらを組み合わせることにより、細胞内高次複合体の動的構造・局在・数量と機能との関係について、相関にとどまらず因果関係をも明らかにすることで、細胞内で起こる未解明の生命現象の基礎原理を見出し、理論化することを目指す。具体的には、以下の4つの達成を目指す。

- (1) 細胞内高次複合体の時空間的及び定量的理解のための計測・解析基盤技術の開発
- (2) 非平衡・複雑系の細胞内環境に共通する原理の解明
- (3) 細胞内高次複合体の状態を操作・制御する基盤技術の開発
- (4) 細胞内高次複合体の相互作用や構造—機能相関の理解

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、細胞内構成因子の構造・機能を可視化し、細胞内のダイナミクス全体のモデル化を図り、タンパク質の機能発現の解明をはじめとした研究成果を創出する。これらにより、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・慢性疾患や老化関連疾患等の根本治療が実現し、健康寿命延伸が実現した社会
- ・より科学的なエビデンスに基づく治療効果の高い医薬品の効率的な開発が可能な社会
- ・デザインに基づく超高効率なバイオ生産が可能になる社会

5. 具体的な研究例

(1) 細胞内高次複合体の時空間的及び定量的理解のための計測・解析基盤技術の開発

細胞を構成する因子を時空間的・定量的に理解するため、超分子複合体、細胞小器官等をはじめとした細胞内高次複合体の動的構造・局在・数量を計測・解析する技術の開発に資する研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・広域（細胞）と局所（分子等）を同時に見る（原子レベルで細胞を丸ごと可視化する）

研究

- ・多種分子間相互作用を同時に計測する研究
- ・イメージング結果からゲノム・オミックス状態を推定する研究

(2) 非平衡・複雑系の細胞内環境に共通する原理の解明

計測データから構築・検証した数理モデルの利用等により、細胞内動態の研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・熱力学、統計力学的解析を用いた細胞内現象の理解
- ・分子動力学法等を用いた細胞内現象のモデル化、シミュレーションによる細胞内動態の推定と検証

(3) 細胞内高次複合体の状態を操作・制御する基盤技術の開発

人工的に設計された化合物等により、遺伝子発現や、超分子複合体の形成・分解等を自在に制御することを可能とする技術の開発に資する研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・細胞内分解機構を自在に制御し、標的とする分子を選択的に分解・排出する研究
- ・分子複合体を試験管内で再構成することによる細胞の理解
- ・non-coding RNA とタンパク質の複合体や凝集を操作・制御する研究

(4) 細胞内高次複合体の相互作用や構造－機能相関の理解

(1) の手法等により計測した培養細胞株やモデル生物における細胞内動態と機能に対する多面的かつ継時的な解析等により、構造－機能相関を解明する。具体的には以下の

研究等を想定。

- ・ LLPS 等の非膜型オルガネラの機能に関する研究
- ・ オルガネラコンタクトの生理的意義に関する研究
- ・ 細胞小器官の機能不全に関する研究

6. 国内外の研究動向

クライオ電子顕微鏡や超解像顕微鏡に代表される細胞内イメージング技術における解像度の飛躍的向上により、分子レベル及び細胞レベルでの生命現象の計測研究が進展し、現在では研究の注目は分子と細胞の中間の階層にある細胞小器官や超分子複合体、もしくは非膜型オルガネラの計測へと移行しつつある。また、生命科学と情報科学・物理学等との異分野融合により、生命現象の階層を超えた包括的な理解に向けた研究が世界的に盛んに行われている。

（国内動向）

現在、新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」（平成 31～令和 5 年度）にて、「情報の物理学」理論研究と「生命現象における情報」の実験・計測の融合プロジェクトが開始され、生命科学のための情報物理学構築がなされている。

計測・解析技術の動向として、イメージング技術の支援を目的とした、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）事業及び日本医療研究開発機構（AMED）「創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム（BINDS）」事業が推進されており、また、金沢大学のナノ生命科学研究所が「世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）」事業にて、高速原子間力顕微鏡をはじめとしたナノレベル計測技術の拠点形成を行っている。

また、科学技術振興機構（JST）の ERATO「水島細胞内分解ダイナミクスプロジェクト」（平成 29～令和 4 年度）にてタンパク質分解機構のダイナミクス解明研究が、ERATO「胡桃坂クロマチンアトラスプロジェクト」（令和元～6 年度）にてゲノム DNA の折りたたみ構造と機能解明のための研究が行われており、個々の生命現象において、ダイナミクス解明に着目した研究領域が確立されつつある。

（国外動向）

平成 31 年 4 月に、「Imaging Across Scales: Leveraging the Revolution in Resolution」というテーマでキーストーン・シンポジウムが開催されており、クライオ電子顕微鏡、超解像顕微鏡、高速原子間力顕微鏡、イメージングプローブや光-電子相関顕微鏡法（CLEM）について発表がなされ、今後の方向性として、階層を超えたイメージングというキーワードが挙げられている。

米国 NIH(National Institute of Health) 及び NIGMS(National Institute of General Medical Sciences) にて、クライオ電子顕微鏡を用いた研究推進及びコアファシリティ形成のための「Transformative High Resolution Cryo-Electron Microscopy」プロジェクトで、クライオ電子顕微鏡の技術高度化などが図られている。

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有識者ヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、細胞内機能素子の動的構造・局在・数量と機能の相関の解明と革新的技術開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「アトミック・セル・ダイナミクス」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「アトミック・セル・ダイナミクス」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討論した。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

「第 5 期科学技術基本計画」(平成 28 年 1 月 22 日閣議決定)

第 3 章 (1) <2> i)

我が国は既に世界に先駆けて超高齢社会を迎えており、我が国の基礎科学研究を展開して医療技術の開発を推進し、その成果を活用した健康寿命の延伸を実現するとともに、医療制度の持続性を確保することが求められている。

「健康・医療戦略」(平成 26 年 7 月 22 日閣議決定、平成 29 年 2 月 17 日一部変更)

2. (1) 1)

(中略) 我が国の高度な科学技術を活用した各疾患の病態解明及びこれに基づく遺伝子

治療等の新たな治療法の確立、ドラッグ・デリバリー・システム（DDS）及び革新的医薬品、医療機器等の開発等、将来の医薬品、医療機器等及び医療技術の実現に向けて期待の高い、新たな画期的シーズの育成に取り組む。

「未来投資戦略 2017」（平成 29 年 6 月 9 日閣議決定）

第 2 1-1. (2) iii)

生活習慣病や認知症の予兆を発見できるバイオマーカー・リスクマーカーの研究・開発を促進するとともに、開発されたバイオマーカーの有用性を検証する。また、生活習慣病や認知症の予防等の効果が期待できる医薬品等の研究・開発を進める。

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、令和 2 年度研究開発目標「プロテオスタシスの理解と医療応用」においては、タンパク質の変性・凝集・分解等の動態を細胞から個体レベルで解析することで、疾患発症に至る新たな分子機構を解明することを目指すことから、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、新学術領域研究・学術研究支援基盤形成「先端バイオイメーキング支援プラットフォーム」（平成 28～令和 3 年度）事業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）」事業及び日本医療研究開発機構（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。

2019 年度戦略目標

1. 目標名

最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成

2. 概要

光科学技術は、産業・学術を支える基盤技術として幅広い分野において貢献を果たしながら、光科学技術自身も進化する好循環を起こしてきた。一方で光科学技術が未利用、未開拓の分野もまだ多く、この好循環をさらに発展させる必要がある。そのため、物質科学、生命科学、情報科学等の分野においてバックキャスト的視点を取り入れながら、物質の操作・制御や機能創出、生命の観察や治療、高速情報処理等に最適な光源や必要な光科学技術を特定し、その開発及びそれを用いた基盤技術を開発する。これにより、新奇機能性材料や生命現象の理解や制御技術、革新的な治療技術、高速情報処理技術等、新たな産業・学術を支える基盤技術を生み出し、超スマート社会（Society5.0）の実現に貢献する。

3. 達成目標

本戦略目標では、物質科学、生命科学、情報科学等の分野と光科学技術の分野の研究者が密接に連携し、必要となる光科学技術の特定と開発を通じた革新的な光科学技術基盤の創成を目指す。具体的には、以下の4つの達成を目指す。

- (1) 光特性を活かした物質・材料の操作・制御・機能創出
- (2) 光特性を活かした生命の観察・治療技術の創出
- (3) 情報処理の光への利用/光の情報処理への利用
- (4) 光要素技術の開発

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、新奇機能性材料の創出や生命現象の理解や制御、光による高速情報処理技術等、光を用いた新たな基盤技術を生み出すことにより、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・新物性・反応・機能の探索・創出による新しい機能性デバイスにより実現される省エネルギー社会
- ・生命現象の詳細な理解と革新的な治療技術創出による新しい医療技術の普及によって実現される健康長寿社会
- ・光情報処理技術による AI 技術の発展やムーアの法則から飛躍的な進歩を遂げた高速情報処理技術の創出によって我が国が目指す超スマート社会（Society5.0）

5. 具体的な研究例

(1) 光特性を活かした物質・材料の操作・制御・機能創出

高強度かつ空間的・時間的に精密に制御された光電場もしくは磁場を物質と直接相互作用させることで、新しい物性や機能性を発現し、物質が潜在的に持つ広範な可能性を見出す。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 高度な光波形制御技術を用いた光電場（磁場）駆動現象の研究
- ・ 光パルスを用いた化学反応の制御、凝縮系の光操作等、物質構造の変調に関する研究

(2) 光特性を活かした生命の観察・治療技術の創出

最先端の光技術を用いて幅広い空間領域での生体の観測や生体深部での化合物の構造変化を実現し、生命現象のより詳細な理解と生体深部での非侵襲治療を可能とする基盤技術を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 複数種類の分子の挙動を同時に識別可能な新規イメージング技術の開発
- ・ 広い視野において分子レベルの分解能を有する生体計測技術の開発
- ・ 光駆動のコヒーレントフォノン等の光技術の利用による生体深部観察や非侵襲治療を可能とする基盤技術の開発

(3) 情報処理の光への利用/光の情報処理への利用

AI 等の情報処理技術を積極的に用いて光計測技術を発展させ、新しい光学素子・システムを創出する。また、光を活かしたコンピューティング手法の研究開発により、省エネ・高速情報処理にかかる要素技術を実現する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 情報処理を能動的に組み込んだ新しい光センシング・イメージング技術の開発
- ・ AI 等の情報処理技術を積極的に活用した新しい光学素子・光学システムの創出
- ・ 光の特性を活かした高速なコンピューティング手法とこれに基づいた集積光デバイスの開発

(4) 光要素技術の開発

産業・学术界が必要とする新しい光源技術、光学素子、センサー、波長変換技術等の要素技術を開発し、新しい応用の可能性を追求する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ 時空間コヒーレンス、光電場波形、偏光制御等、光を自由自在に精密に制御する光技術の開発
- ・ 光源の高出力化や新規波長展開・波長域拡大、高耐力光学素子に関する研究開発
- ・ オンチップ半導体レーザー、エレクトロニクス集積等による超小型機能光源の開発
- ・ 高次元揺らぎ場の計測可能なセンサーや高感度波長展開等、光の高度利用に向けた

- 受光・センシング技術の開発
- ・光の相互作用を利用した量子計測技術の開発

6. 国内外の研究動向

光科学技術全般の論文動向について、Top1%、Top10%論文の割合は日本も米欧中も急激に上昇しており、研究における質の向上が見られる。一方、全体論文数では日本のシェアが低下している。

物質・材料分野ではレーザーパルスの整形・変調技術の進展等により、物質の秩序性・規則性の操作・制御、光励起音響波による光機能創成等が注目されている。また、「積層造形」(2015)、「プラズモニク材料」(2018)が世界経済フォーラムによる Top 10 emerging technologies として挙げられ、3D プリンティング、プラズモンセンサー等の応用が産業界で先行している。

生命・化学分野では、特に化学分野においては日本の論文数が世界第2位を誇る。超解像顕微鏡技術(2014年ノーベル化学賞)をはじめ、シート顕微鏡を利用した生細胞局在解析の技術が急速に普及している。さらに光コヒーレンストモグラフィーの医療診断応用が進み世界全体で論文数が急速に増加しており、オプトジェネティクスの研究が脳・神経科学の分野で大きく進展した。また、光免疫技術は、小林久隆博士が2011年に発表して以来進展し、2018年になって国内でも治験が開始されている。

情報分野では、ムーアの法則の限界が見えつつある中、革新的コンピューティング(ニューラルネットワーク、深層学習等)への適用を目指した光の技術が注目を集めており、2017年のRebooting Computingの会議(RC2017)で、Optical Computingのセッションが開催された。また、国内では、2018年秋の応用物理学会講演会でシンポジウム「光AIの最新動向」が開催され、光分野と情報分野の連携・融合の必要性が認識された。

光要素技術についてはチャープパルス増幅法と光ピンセットが2018年ノーベル物理学賞を受賞したほか、近年は特異点光学、光コム技術等、新しい要素技術が注目・発展してきており、幅広いパラメータの選択が可能となることによって、様々な応用展開がなされつつある。また、レーザー光源・発振器の世界市場は、中国FTTxと米国データセンター向け需要の伸びを背景に、半導体レーザーを中心に拡大するとともに、非半導体レーザーのファイバーレーザーや極短パルスレーザーの伸びも2025年まで続くと予想されている。

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（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. 上記アンケート結果や、科学技術・学術審議会量子科学技術委員会においてとりまとめた、量子情報処理等に関する研究開発の報告書、JST-CRDS や文部科学省による有識者へのインタビュー、産学の有識者が集まるワークショップ等における議論を踏まえて、注目すべき研究動向として「最先端光技術を駆使した革新的フォトニクス基盤の創成」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「最先端光技術を駆使した革新的フォトニクス基盤の創成」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、本研究課題で実施すべき研究課題、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議論を行い、これらを踏まえ、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

「未来投資戦略 2018」（2018 年 6 月 15 日閣議決定）

第 2 II. [1] 3. 3-1. (3) ii)

社会・経済に破壊的なイノベーションをもたらすものとして世界で研究開発投資が拡大する量子科学技術について、産学官連携を強化するための拠点構築の推進など、戦略的な取組を推進し、生産性革命に貢献する。

「統合イノベーション戦略」（2018 年 6 月 15 日閣議決定）

第 6 章 (6) 5

光・量子基盤技術分野は、従前の技術では不可能であったことを可能とし、社会に変革をもたらす革新的な技術分野であることから、欧米や中国で積極的に研究開発が進められている。我が国としても、Society5.0 の実現のため、（中略）我が国が強みを有する光・量子基盤技術の国際競争力を維持・向上させるべく取り組む。

9. その他

2018 年度に終了した文部科学省事業「最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム」（2009～2018 年度）ではフォトニック結晶レーザーをはじめとした最先端光源に関する研究開発が行われてきた。2015 年度に開始した CREST「次世代フォ

トニクス」、さきがけ「光極限」では上記の文部科学省事業やこれまでの戦略的創造研究推進事業等で開発されてきた光科学技術を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、将来の社会・産業ニーズに応える研究開発が進められている。

本戦略目標ではこれまでの光源視点の研究開発ではなく、出口視点で真に必要となる光源等の光科学技術を特定し開発、利用することによって新たな技術革新を目指す。また、現行の戦略目標で実施している研究と密接に連携・情報共有することにより新たな研究進展や成果創出の加速を促すことが望ましい。

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。

2019 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
 - ・ データの保水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、場の作り方が優れている点が特徴である。

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(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しての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。

2018 年度戦略目標

1. 目標名

Society5. 0 を支える革新的コンピューティング技術の創出

2. 概要

自動運転、知能ロボット、スマート工場などに代表される「超スマート社会(Society5. 0)」の実現には、エッジ～大規模システムに渡る情報処理システムにおいて、多種多様な IoT デバイスから得られる大量データの知的情報処理をリアルタイム・高効率で行うことが不可欠である。これまでの情報処理技術は、ムーアの法則に象徴されるような半導体の微細化により性能向上を追求してきたが、微細化の限界に直面しており、これまでの技術の延長では今後の情報処理技術の革新的な発展は見込めなくなっている。

本戦略目標では、リアルタイム性や低消費電力性、大量データの高速処理を実現するためのアーキテクチャの開発を通じた新たなコンピューティング技術の創出と、従来手法にとらわれないアルゴリズム、アーキテクチャ等の技術レイヤーの連携・協調とそれを活かしたセキュリティ技術やアプリケーションの開発を通じた高効率コンピューティング技術の研究開発を推進し、あらゆる情報システムの高効率化に資する革新的コンピューティングの基盤技術の構築を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、高速処理、低消費電力化、低コスト化等による情報システム全体の高効率化に向けて、従来性能を圧倒的に凌駕する革新的コンピューティングの基盤技術の創出を目指す。具体的には以下の達成を目指す。

- (1) 情報処理を質的に大転換させる新たなコンピューティング技術の創出
- (2) アルゴリズム、アーキテクチャ等の技術レイヤーを連携・協調させた高効率コンピューティング技術の開発

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て、各種センサーからの情報を高効率に取得・解析し、状況に応じてエッジ側でのリアルタイムの認識・判断、クラウド側での他の蓄積データとの比較・分析など、計算システム全体としての適切な情報処理技術を高効率に行うことができるようになり、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・高度な情報処理を活用したスマートロボット、スマート工場、自動運転、IoT などによる超スマート社会 (Society5. 0)。
- ・少子高齢化に伴う労働力不足の解消、高齢者・障がい者の介護・自立支援、安全で便利な移動手段の確保、ものづくりの効率化、社会インフラの効率的な保全、セキ

セキュリティ強化、プライバシーの確保などが可能となる社会。

5. 具体的な研究例

(1) 情報処理を質的に大転換させる新たなコンピューティング技術の創出

- ・リアルタイム性や低消費電力性に注目し、深層学習のアルゴリズム、布線論理アーキテクチャ等を活用し、従来性能を飛躍的に高めるための新たなアーキテクチャの研究開発。
- ・大量データの高速処理に向けて、量子コンピュータ、光コンピュータ、ニューロモルフィック、ブレインモルフィック等を実現するための新たなアーキテクチャの研究開発。

(2) アルゴリズム、アーキテクチャ等の技術レイヤーを連携・協調させた高効率コンピューティング技術の開発

- ・社会実装を見据え、計算分野の技術（自動制御、診断・予測、分散学習等）を活用したアルゴリズム、アーキテクチャ、ハードウェアを最適に組み合わせ、飛躍的な性能向上を実現する研究開発。
- ・アルゴリズムとアーキテクチャが連携し、IoT デバイスからの大量データの信頼性を担保するセキュリティ技術の研究開発。
- ・アルゴリズムとアーキテクチャが連携し、量子コンピュータを高効率に利活用するための言語やコンパイラ等の研究開発やニューロモルフィックを高効率に利活用するためのアプリケーションの研究開発。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

近年、AI・深層学習関係のコンピューティング技術の研究活動が注目されており、2016年に NEC と東京大学による「ブレインモルフィック AI 技術」の研究開発や、産業技術総合研究所による 130PFLOPS の深層学習演算能力をもつ「人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤」の開発が開始されている。また、ImPACT「量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現」プロジェクト、日立製作所の「CMOS アニールチップ」、富士通の「デジタルアニーラー」などの量子アニール技術の開発や、ERATO「中村巨視的量子機械プロジェクト」の超伝導量子ビットを用いた量子コンピュータ技術の開発も進められている。2018 年度には経済産業省「AI チップ開発加速のためのイノベーション推進事業」も開始予定であるが、いずれもアルゴリズムやソフトウェア、デバイス分野に特化した研究開発となるため、アーキテクチャ分野を主流とした研究には至っておらず、ハードウェア技術とソフトウェア技術の接点となる当該分野の研究振興が極めて重要な状況にある。

(国外動向)

米国では、フォン・ノイマン・ボトルネックの問題が顕在化する以前の 2008 年より DARPA の SyNAPSE プログラムでニューロモルフィックチップの開発が進められ、2016 年に IBM が「TrueNorth」を発表した。IEEE が Rebooting Computing Initiative を設立して以降、Google は深層学習のアクセラレータチップ「TPU」開発に着手し、NVIDIA はトヨタ自動車等と自動運転用の AI 搭載チップ開発の協業を始め、DARPA ではグラフ解析特化した研究プログラム「HIVE」を開始するなど、米国企業などが莫大なコストを集中投資投入して研究開発を活発化している。欧州では欧州委員会による施策として、Human Brain Project において 50PFLOPS のスパコンを設置する計画が進行中であり、Horizon2020 でも、エクサスケール技術の研究開発が実施されている。中国でも第 13 次五ヵ年計画によって、100PFLOPS のスーパーコンピュータシステム(Sunway TaihuLight)の取り組みを実施中である。

上記のように米国の企業や国策を通じて GPU、FPGA など現実的なところから、ニューロモルフィック、量子コンピューティングのように挑戦的な研究領域まで、コンピューティングの新たな取り組みを加速している。

7. 検討の経緯

「戦略目標目標策定指針」(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「革新的コンピューティングによる Society5.0 を支えるコア技術の創出」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「革新的コンピューティングによる Society5. 0 を支えるコア技術の創出」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。

(その他)

- ・ 2017 年 3 月に CRDS シンポジウム「IoT/AI 時代に向けたテクノロジー革新—大変革時代の新機軸とは—」が開催され、コンピューティングの大幅な機能向上に向けた取り組みの必要性が議論された。
- ・ 2017 年 4 月より、CRDS 内で「革新的コンピューティング」の調査活動が開始され、2017 年 7 月 26 日に「革新的コンピューティング」の研究開発戦略検討会を開催し、今後取り組むべき研究開発領域や推進体制について議論された。
- ・ 2017 年 11 月 29 日には CRDS のワークショップ「ドメインスペシフィック・コンピューティング～新たなコンピューティングの進化の方向性～」が開催され、国内外の状況、産業界からの期待、研究開発の進め方などについて議論された。

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)

- ・ 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」
- ・ 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」

「科学技術イノベーション総合戦略 2017」(平成 29 年 6 月 2 日閣議決定)

第 2 章 (2) [A] <2> i)

- ・ デバイス技術：大規模データの高速・リアルタイム処理を超小型・超低消費電力で実現するための技術開発が重要である。
- ・ エッジコンピューティング：リアルタイム処理の高速化に向け、分散処理技術構築の推進や、ゲートウェイ等の終端装置のセキュリティが確保又は確保されないことにも配慮したアーキテクチャの構築が重要となる。

第 2 章 (2) [B] <2> i)

- ・ 情報処理技術：高速・大規模情報処理を実現するため、三次元集積チップの開発、量子デバイス・アーキテクチャの開発等の要素技術開発が重要である。

第2章 (2) [C] <2>i)

- ・大規模データをリアルタイム処理するためのエッジコンピューティング、仮想化・処理部最適化等のネットワーク技術、及び高速かつ高精度にデータから知識・価値を抽出するビックデータ解析技術の研究開発を推進する。

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、平成30年度より開始予定の経済産業省「AIチップ開発加速のためのイノベーション推進事業」が挙げられるが、当該事業は短・中期的な目標で高効率・高速処理を可能とするAIチップと設計ツール整備に関するプロジェクトとして早期の実用化を目指すものであるのに対し、本戦略目標では中・長期の視点でさらに先を見据えた研究開発として、将来の産業に貢献できる基盤技術の開発を行う。また、文部科学省の「AIPプロジェクト（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）」（平成28年度発足）の機械学習・深層学習のアルゴリズム・ソフトウェア研究等の取組と、本目標とは相補的な関係にあることから、相互に連携することで有機的に進展することが必要である。

国際的な戦略として、既に米国や中国、台湾や英国などで研究開発に集中投資されているアプリケーションやシステムと、本戦略目標が目指す新技術（回路アーキテクチャなど）を組合せ、各々の技術の連携・協調が図られることでコンピューティングの更なる高効率化を目指すことが重要となる。