

令和 5 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(先端的低炭素化技術開発及び先端的カーボンニュートラル技術開発(ALCA-Next)を除く。)の実施に関する規則」に基づき、JST の研究主監会議が事前評価を行い、研究領域及び研究総括の設定を行います。

令和 5 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 5 年度発足の新規 CREST、さきがけ、ACT-X の研究領域と、当該研究領域の研究総括を決定しました。研究主監会議における事前評価結果と、その設定理由は、別紙のとおりです。

表. 令和 5 年度新規発足研究領域、研究総括及び戦略目標 一覧

研究領域(略称)	研究総括	戦略目標(設定年度)
CREST・さきがけ複合領域 量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓(量子フロンティア)	井元 信之 (東京大学 特命教授室 特任教授)	量子フロンティア開拓のための共創型研究(令和 5 年度)
CREST 海洋とCO ₂ の関係性解明から拓く海のポテンシャル(海洋カーボン)	伊藤 進一 (東京大学 大気海洋研究所 教授)	海洋と CO ₂ の関係性解明と機能利用(令和 5 年度)
さきがけ 海洋バイオスフィア・気候の相互作用解明と炭素循環操舵(海洋バイオスフィア)	神田 穰太 (東京海洋大学 学術研究院 海洋環境科学部門 教授)	海洋と CO ₂ の関係性解明と機能利用(令和 5 年度)
CREST ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術(ナノ物質半導体)	齋藤 理一郎 (東北大学 名誉教授)	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 5 年度)
さきがけ 新原理デバイス創成のためのナノマテリアル(ナノマテリアル・デバイス)	岩佐 義宏 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)	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 5 年度)
さきがけ 社会課題を解決する人間中心インタラクションの創出(人間中心インタラクション)	葛岡 英明 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授)	人間理解とインタラクションの共進化(令和 5 年度)
CREST 細胞操作(細胞を遊ぶ)	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)	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)
さきがけ 計測・解析プロセス革新のための基盤の構築(計測解析基盤)	田中 功 (京都大学 大学院工学研究科 教授)	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)

<p>ACT-X 次世代 AI を築く数理・情報科学の革新(次世代 AI・数理情報)</p>	<p>はら たかひろ 原 隆浩 (大阪大学 大学院情報科学研究科 研究科長・教授)</p>	<p>「人間理解とインタラクションの共進化」(令和 5 年度) 「文理融合による社会変革に向けた人・社会解析基盤の創出」(令和 4 年度) 「信頼されるAI」(令和 2 年度) 「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」(令和元年度) 「Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出」(平成 30 年度)</p>
<p>ACT-X トランススケールな理解で切り拓く革新的マテリアル(トランススケール)</p>	<p>たけうち まさゆき 竹内 正之 (物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センターセンター長)</p>	<p>「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) 「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」(令和 3 年度) 「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓」(令和 3 年度) 「自在配列と機能」(令和 2 年度) 「情報担体と新デバイス」(令和 2 年度) 「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明」(令和元年度) 「トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出」(平成 30 年度)</p>

(別紙)

研究領域及び研究総括の設定の手順及び理由

1. 研究領域及び研究総括の設定のための事前評価の項目及び評価者

事前評価は、「戦略的創造研究推進事業(先端的低炭素化技術開発及び先端的カーボンニュートラル技術開発(ALCA-Next)を除く。)の実施に関する規則」に基づき行いました。公募型研究に係る研究領域及び研究総括の事前評価の項目及び評価者は以下のとおりです。

(1) 事前評価の項目

ア 研究領域

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

イ 研究総括

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

(2) 評価者

研究主監会議が評価を行う。

◆ 研究主監会議 名簿 (2023年3月末時点)

	氏名(敬称略)	所属
議長	小安 重夫	理化学研究所 理事
	五十嵐 道子	フリージャーナリスト
	澤本 光男	中部大学 先端研究センター 特任教授
	辻井 潤一	産業技術総合研究所 フェロー、人工知能研究センター センター長
	富山 和彦	株式会社経営共創基盤 IGPI グループ会長
	平山 祥郎	東北大学 先端スピントロニクス研究開発センター 総長特命教授・センター長
	保立 和夫	豊田工業大学 学長

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

2. 研究領域及び研究総括設定の手順

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

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

(イ) JST は、上記の戦略目標の検討段階から文部科学省より情報提供を受け(2022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(2023年3月14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(2023年3月29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(2023年4月10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、2023年4月現在のものです)

3-1 戦略目標「量子フロンティア開拓のための共創型研究」の下に設定した研究領域

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域「量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓」(CREST・さきがけ複合領域)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、量子コンピュータ・量子通信・量子センサー等の量子情報技術を単独または組み合わせて、ハードを造る・システム化する・ソルバーとして使う・ソフトを開発する・新しい使い方を開拓するにあたり、他の分野(素粒子・宇宙、物性物理、化学、材料工学、電気電子、情報処理、機械工学、計算科学、最適制御、AI、基礎数理など)の既存成果や考え方を積極的に取り入れたり、逆にこれらの分野に共創的に融合したりして分野の変化をもたらすことにより、新たな「量子フロンティア」の開拓を目指します。

これまでに培ってきた量子技術は、量子の特性を活かすために必要な従来型(古典)技術の蓄積を十分活用したとは言い切れないため、大規模化や実用化、新利用法開拓も十分とは言えません。このため量子と異分野との融合や、古典の蓄積をはじめとする異なる階層での融合を積極的に進めることでこれまでの状況を打破し、真の量子・古典ハイブリッドの超越性実現を目指します。そのために、周辺装置・エレクトロニクス・システムアーキテクチャ・アルゴリズム等での様々な協調・融合を推進します。また、原子・分子・イオン・光、超伝導材料、半導体材料、プロセス技術、レーザー技術などとの連携により、高いポテンシャルを持った新奇量子系、異なる量子系のハイブリッド方式、量子の制御方法や基盤となる基礎学理の拡大を探索します。

これらの新しい量子科学技術を追求することにより、従来不可能であったことを計算・予測・診断・制御することが可能となり、今後の経済・社会の発展や、より安全かつ安心な暮らしに繋がることを期待されます。

(2)研究総括

いもと のぶゆき
井元 信之 (東京大学 特命教授室 特任教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域「量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓」(CREST・さきがけ複合領域)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、従来、物理学が基礎となって発展してきた量子科学技術を、量子コンピュータ・量子通信・量子センサー等の実現を見据えて材料・デバイスからアプリケーションまでの全レイヤーでブレイクスルーを目指した研究を推進し、将来の社会・経済に大きなイノベーションをもたらすことを目指している。このため、これまでに培われてきた量子科学技術を単独に深化・発展させるだけでなく、最先端の古典技術(スパコン・光通信・計測等)や異分野の科学技術との融合により、新たな共創型フロンティア領域の開拓を目的とするものである。

上記戦略目標の達成に向け、本研究領域は量子分野と他の学問分野(素粒子・宇宙、物性物理、化学、材料工学、電気電子、情報処理、機械工学、通信工学、計算科学、制御工学、AI、基礎数理など)との幅広い共創的な融合により、材料・デバイス・システム・アプリケーションなど全てのレイヤーでのブレイクスルーを目指している。このため、多くの分野や階層が有機的に融合し、新たな要素技術が大きく育つように、チーム型の CREST 研究と個人型のさきがけ研究を一体的に運営する複合領域の設定が適切である。

以上のことから、本領域は、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 井元 信之

井元信之氏は光通信をバックグラウンドに、量子科学技術の黎明期である量子コンピュータや量子暗号の概念が誕生した頃から量子科学技術に関与しており、優れた先見性と洞察力から量子情報処理、量子光学の第一人者として、日本の量子科学技術を牽引してきた一人である。当初、理論研究者であったが、その後、量子の実験にも精通した稀な研究者であり、新しいことへの好奇心が旺盛である。学会活動は日本物理学会、応用物理学会、電子情報通信学会と基礎研究～応用研究～社会実装にまで精通しており、アメリカ物理学会の終身会員にもなっていて国際的な知名度がある。さらに、日本物理学会の領域代表(領域1)、電子情報通信学会の量子情報技術研究会の実行委員長、国際会議のプログラム委員長等を何度も歴任しており、人物的にニュートラルで協調性があることから、関連分野の研究者からの人望が厚い。JST との関係では、CREST と SORST の共同研究者を 2 回、さきがけの領域アドバイザーを 2 回、CREST の研究代表者を 2 回、さらに領域探索プログラムのコーディネーターや終了領域の追跡評価委員、Moonshot 目標 6 のアドバイザー、共創の場形成支援プログラムの政策重点分野／量子技術分野のアドバイザーなどを歴任しており、CREST とさきがけ研究に精通しているだけでなく、さらに大型のプロジェクトや領域終了後の評価委員も経験している。このため、研究マネジメントを行う経験・能力を有しているだけでなく、公平な評価も行うことができると認められる。

以上より、同氏は CREST・さきがけ複合領域の研究総括として適任であると判断される。

3-2 戦略目標「海洋とCO₂の関係性解明と機能利用」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 「海洋とCO₂の関係性解明から拓く海のポテンシャル」(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、異分野融合アプローチによる、大気・陸域と海洋の炭素交換過程の解明、大気中CO₂濃度増加への生態系を含む海洋の応答機能の解明を通じた海洋とCO₂の関係の統合的理解と、海洋機能を最大限活用した気候変動対策のためのイノベーション創出を目指します。

具体的には、大気CO₂濃度増加がもたらす海洋への影響について、以下の3つのテーマを柱として進めます。1)海洋の炭素吸収・貯留・隔離プロセスおよび温暖化・酸性化・貧酸素化による炭素循環へのフィードバックプロセスの解明、2)海洋生態系サービスへの温暖化・酸性化・貧酸素化を含めた影響評価と炭素循環へのフィードバックプロセスの解明、3)海洋とCO₂の関係性を解明・制御するための革新的な基盤技術の開発。

研究領域の推進にあたっては、CO₂をはじめとする炭素循環の様々な要因を高い精度で定量的に把握することや、各種大規模データの解析やモデル化と検証が求められることから、海洋系の研究分野に加え、陸域炭素循環に関連する林学・農学、機械学習などを含む情報科学、そして計測技術などを含む工学など、多様な分野の研究者が「海を解き明かす」ことを目指します。その異分野連携においては統合的かつフレキシブルな運営を推進し、さらに戦略目標の達成に向けた成果を最大化すべく、さきがけ研究領域「海洋バイオスフィア・気候の相互作用解明と炭素循環操舵」とも連携を進めていきます。

(2)研究総括

伊藤 進一 (東京大学 大気海洋研究所 教授)

研究領域 2 「海洋バイオスフィア・気候の相互作用解明と炭素循環操舵」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、海洋と気候のシステムの変貌と相互作用を正しく理解するとともに、海洋における二酸化炭素吸収等の人為的制御技術の研究・開発を進めて、持続可能な温暖化抑制への貢献を目指します。

海洋はその広大な面積をもって大気と接しており、熱および二酸化炭素をはじめとする物質の交換が存在するため、地球表層の気候システムを構成する極めて重要な要素です。特に、生物活動によって駆動される海洋の炭素循環システムは、海洋内部に二酸化炭素・有機物を隔離することで、地球の温度上昇を抑制する効果をもつことが知られています。しかし、近年、この海洋環境(「海洋バイオスフィア」)において、地球温暖化による海洋の物理構造変化と二酸化炭素溶解による海水酸性化が進行し、極端な気象現象の頻発化や海面上昇、成層強化による貧酸素化や表層への栄養塩供給制限など様々な変化がもた

らされていることが明らかとなってきました。この海洋の変化が全球レベルの気候にどのような影響を与えるのか、海洋と気候のシステムの変貌と相互作用を正しく理解する必要があります。

以上を踏まえ、本研究領域では、海洋と気候の相互作用の解明に関連する研究に加え、炭素循環などの人為的制御による温暖化対策の可能性を評価・開発する研究を進めます。ローカルからグローバルまでの多様な空間スケールと地質学的な過去から未来までの多様な時間スケールにおいて、環境学、気象学、海洋物理学、分析化学、生態学、生命科学だけでなく、データ科学、人工知能、情報通信、材料・デバイス工学における様々な先端技術を用いて、観測、理論解析、数値計算、室内実験、船上実験など様々な研究アプローチにより、炭素をはじめとする物質循環の理解とその制御を目指す技術開発に貢献します。また、戦略目標の達成に向けた成果を最大化するため、CREST「海洋とCO₂の関係性解明から拓く海のポテンシャル」との連携を最大限に活用して進めていきます。

(2)研究総括

かんだ じょうた
神田 穰太 (東京海洋大学 学術研究院海洋環境科学部門 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 「海洋とCO₂の関係性解明から拓く海のポテンシャル」(CREST)

研究領域 2 「海洋バイオスフィア・気候の相互作用解明と炭素循環操舵」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、気候変動対策の重要課題である人為起源の二酸化炭素(CO₂)の大気中濃度低下のために、自然界で最大級のCO₂吸収源である海洋とCO₂との関係性を解明し、全球(大気・海洋・陸域)の炭素循環プロセス理解につなげ、海洋機能の最大限の活用による気候変動対策への貢献を目的とするものである。

研究領域 1 は、異分野融合アプローチによる、大気・陸域と海洋の炭素交換過程の解明、大気中CO₂濃度増加への生態系を含む海洋の応答機能の解明を通じた海洋とCO₂の関係の統合的理解と、海洋機能を最大限活用した気候変動対策のためのイノベーション創出に取り組む研究提案を対象としている。その実施において、①海洋の炭素吸収・貯留・隔離プロセスおよび温暖化・酸性化・貧酸素化による炭素循環へのフィードバックプロセスの解明、②海洋生態系サービスへの温暖化・酸性化・貧酸素化を含めた影響評価と炭素循環へのフィードバックプロセスの解明、③海洋とCO₂の関係性を解明・制御するための革新的な基盤技術の開発、の3つの柱を対象としており、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。それぞれの柱では、CO₂をはじめとする炭素循環の様々な要因を高い精度で把握・解析・検証等することが求められるため、海洋系の研究分野に加え、陸域炭素循環に関連する多様な分野の研究者が参加することが必要であり、研究推進体制として複数分野の研究者からなるチーム編成が可能なCREST事業を選定することは適切である。また、我が国は四方を海に囲まれた海洋国家たる環境にあり、優れた先進的な研究提案が多数見込まれると考えられる。さらに、さきがけ領域の若手ならではのチャレンジ

グな個人型研究と協力することで、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見込まれる。

研究領域 2 は、持続可能な温暖化抑制を目指し、海洋と気候のシステムの変貌と相互作用を正しく理解するとともに、海洋における二酸化炭素吸収等の人為的制御技術の研究・開発を含めた提案を対象としている。近年、海洋環境において、地球温暖化による海洋の物理構造変化と二酸化炭素溶解による海水酸性化が進行し、極端な気象現象の頻発化や海面上昇、成層強化による貧酸素化や表層への栄養塩供給制限など様々な変化がもたらされていることが明らかとなっている。海洋機能を最大限に活用した気候変動対策を進めるためには、海洋と気候の相互作用の包括的な理解が必要不可欠であることから、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。また、その実施においては、ローカルからグローバルまでの多様な空間スケールと地質学的な過去から未来までの多様な時間スケールにおける、データ科学、人工知能、情報通信、材料・デバイス工学など様々な先端技術を用いた観測、実験、数値シミュレーションなど多様な研究アプローチを想定していることから、優れた研究提案が多数見込まれると考えられる。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 伊藤 進一

伊藤 進一氏は、水産海洋学、海洋物理学、海洋環境学を専門とし、海洋環境が海洋生物資源変動や生物多様性に与える影響の解明に焦点をあて、地球規模での研究を実施している。

黒潮・親潮混合水域の環境変動のメカニズムと魚類資源に及ぼす影響、海洋生態系モデルおよび魚類成長—海洋モデルの開発、硬組織化学分析を用いた生物経験環境復元手法の開発、外洋における環境DNA観測手法の開発、海洋マイクロプラスチックのモデリング、海洋におけるモニタリング新技術としての国内初となる外洋域の水中グライダーの導入など、これまで海洋研究の幅広い分野で優れた研究実績を有している。海洋物理学から海洋水産学、海洋環境学など幅広い分野を見ることが出来る稀有な人材として知られており、異分野融合アプローチが求められる本研究領域の研究総括を務めるための十分な知識・経験と実績を持っている。また、同氏の高い先見性や洞察力が認められ、これまで全国水産試験場長会賞、水産海洋学会宇田賞、水産海洋学会論文賞などを受賞しており、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)WG2ではリードオナーとして国際的にも活躍している。学会活動では、日本海洋学会 副会長、水産海洋学会 理事などを歴任しており、関連分野の研究者からも信頼されていることから、適切な研究マネジメントを行う経験、能力も有していると認められる。日本海洋学会では教育問題研究会委員を通じ、若手育成にも精力的に取り組んでおり、研究者の育成、指導にも期待ができる。水産海洋学会では学会賞受賞候補推薦委員長や国際誌委員長の経験もあり、研究提案に対する公正な評価や、その後の効果的な領域運営も期待できる。

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 神田 穰太

神田穰太氏は、海洋生物地球化学、物質循環、環境動態解析を専門とし、海洋における一次生産過程における栄養塩同化、沿岸域における二酸化炭素収支、富栄養化プロセスなど栄養塩動態や生元素循環に関する研究や福島沖の環境放射能動態の研究を実施している。

生物代謝、生態系物質循環、栄養塩や海水二酸化炭素分圧などの測定技術開発、海洋汚染や沿岸域管理に関する人文・社会科学的側面まで海洋研究にかかる幅広い知見をもち、その優れた研究実績は日仏海洋学会賞や日本海洋学会環境科学賞を受賞するなど高く評価されている。日本海洋学会会長、日本海洋政策学会理事を務めるなど関連分野の研究者からの人望も厚く、また、東京海洋大学においては副学長として同大学の教育組織改革をとりまとめるなど、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。

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「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」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 「ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術」(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、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」に基づいて、グラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイド物質に代表される2次元物質やナノチューブ、ナノワイヤーに代表される1次元物質(以下ナノ物質)を用いた半導体デバイスを近未来に活用するための基盤技術を構築します。

ここで基盤技術とは、生産性の向上において波及効果が大きい基本原理・技術を指します。具体的には、ナノ物質を用いた半導体ウェハー・デバイス作製と動作回路の構築、ならびにナノ物質に特化したデバイスの動作原理を指します。対象はナノ物質を用いた半導体です。電界効果トランジスタ(FET)論理回路、フレキシブルデバイス、pn/ヘテロ接合素子、熱電素子、太陽電池、LED 発光・受光素子、THz 遠赤外素子、化学/生物物質センサ、人工筋肉、MEMS など様々なデバイスを対象とします。素子単独だけでなく回路・システムとして総合的に構築し、実用に向け「死の谷(注:基礎研究と実用の間にある困難を象徴する言葉)にかける橋」を目指します。

システムを構築するために、研究実績のある研究者間で異分野の融合チームを組み、高度な基礎学理に基づき、ナノ物質材料の創製と提供、デバイス作製、回路構成等の成果を研究期間前半で創出し、さらにプロセス技術も含めて、将来の実用に繋がる次世代の革新的半導体基盤技術を創出します。

(2)研究総括

さいとう りいちろう
齋藤 理一郎 (東北大学 名誉教授)

研究領域 2 「新原理デバイス創成のためのナノマテリアル」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、2次元物質をはじめとする多様なナノマテリアルの電子デバイス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。ナノマテリアルは、近年ファンデルワールス物質の特徴を生かしたナノチューブや2次元物質が最先端半導体デバイスのコアマテリアルとして期待されているだけでなく、種々のセンサ、光デバイス、スピントロニクスデバイスなどとして応用が進展しています。一方、2次元物質は、そのデバイス化によってバルク材料では実現できない量子物性が数多く発見され、世界的に大きなインパクトを与えています。このように、ナノマテリアルとそのデバイスを用いて、先端エレクトロニクスの基礎を切り開くとともに、新規物性を開拓しこれに基づくデバイスの新原理を創成します。これによって、ナノマテリアルでしかできない新機能、高性能デバイスの実現を目指します。

具体的には、ファンデルワールス物質に限らず、電子機能を有するあらゆるナノマテリアルを対象とし、極薄膜や界面なども含みます。物質の合成から、デバイス作製とそのプロセス開発、基礎物性の解明から機能開発と高度化まで、物理、化学、材料科学、電子工学などの学際的アプローチで、独創性の高い基礎学理を確立するとともに、ナノマテリアルの活用基盤技術を構築します。

(2)研究総括

^{いわさき よしひろ}
岩佐 義宏 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域 1 「ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術」(CREST)

研究領域 2 「新原理デバイス創成のためのナノマテリアル」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、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ことを目的とするものである。

研究領域 1 は、ナノ物質を用いた半導体、具体的には、電界効果トランジスタ(FET)論理回路、フレキシブルデバイス、pn/ヘテロ接合素子、熱電素子、太陽電池、LED 発光・受光素子、THz 遠赤外素子、化学/生物物質センサ、人工筋肉、MEMS などの様々なデバイスや、これらのデバイス単体に加え、回路・システムとして総合的に構築する研究提案を対象とし、グラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイド物質に代表される 2 次元物質やナノチューブ、ナノワイヤーに代表される 1 次元物質(以下ナノ物質)を用いた半導体デバイスを近未来に活用するための基盤技術を構築するように設定されている。この基盤技術確立のためには、ナノ物質の試料創製とその提供、試料評価、デバイス構造作製、回路作製などの多くの学問・技術分野の融合が必須であり、研究推進体制として複数分野の研究者からなるチーム編成が可能な CREST 事業を選定することは適切である。

研究領域 2 は、広い意味でのナノマテリアルとそのデバイスの物性と機能を対象とし、具体的には、炭素物質、層状物質、有機物質などのファンデルワールス物質に加え、ナノロッド、ナノチューブ、ナノ粒子やその集合体、さらに半導体や酸化物等の超薄膜、界面などを対象とする。物性としては、半導体物性に限らず、超伝導などの強相関物性、トポロジカル物性など広く対象とし、デバイス機能としては、トランジスタなどの電子デバイス、スピントロニクスデバイス、THz・光デバイス、各種センサ、熱発電や蓄電などのエネルギーデバイスも含む研究提案を対象とし、2 次元物質をはじめとする多様なナノマテリアルとそのデバイスを用いて、先端エレクトロニクスの基礎を切り開くとともに、新規物性を開拓しこれに基づくデバイスの新原理を創成し、ナノマテリアルでしかできない新機能、高性能デバイスの実現を目指すように設定されている。様々な分野の個人研究者が集い、各自の特色を発揮しつつ多角的に相互交流を行う場が必要であり、研究者間の融合が創発されるさきがけ事業を選定することは適切である。

さらに、CREST、さきがけの両領域間での技術交流や連携を図ることにより、研究促進や若手研究者の育成も期待できる。

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 齋藤 理一郎

齋藤理一郎氏は、専門は物性理論、特にカーボンナノチューブの理論を長年研究しており、1999年には「カーボンナノチューブの理論的研究」で日本 IBM 科学賞を、また 2021 年には「カーボンナノチューブの電子状態と共鳴ラマン分光の理論」で第 18 回江崎玲於奈賞を受賞しており、理論面から世界のカーボンナノチューブ研究の発展を牽引している。

また、科研費の「新学術領域研究」の原子層科学研究領域(平成 25～29 年度)の領域代表を務め、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サポートした経験を持ち、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、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」研究領域では領域アドバイザーを務め、CREST への理解があり、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 岩佐 義宏

岩佐義宏氏は、専門は固体物理学、材料科学で、物理・化学の両面から 2 次元物質の物性・機能に取り組むトップクラスの研究者で、2004 年には「ナノカーボン材料の開拓と物性機能の研究」で第 18 回日本 IBM 科学賞を、また 2019 年には「電界誘起 2 次元超伝導の発見」で第 65 回仁科記念賞を受賞し、物質科学の新たな発展を先導している。

また、東京大学の本務以外に理化学研究所創発物性科学研究センターでは、超分子機能化学領域「創発デバイス研究チーム」のチームリーダーとして、2 次元物質を中心とする量子物質とそのナノデバイスを用いて、量子物性機能の開拓、革新的エネルギー材料の創製に資する研究を国内外から集結した若手研究者とともに率いており、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、CREST「物理的手法を用いたナノデバイス等の創製」研究領域では研究代表者を務め、CREST「未踏探索空間における革新的物質の開発」研究領域やさきがけ「原子・分子の自在配列と特性・機能」研究領域では領域アドバイザーを務め、戦略的創造研究推進事業への理解があり、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は研究領域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「人間理解とインタラクションの共進化」の下に設定した研究領域

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域 「社会課題を解決する人間中心インタラクションの創出」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

人、AI、ロボットがネットワークで相互に接続され、実空間やバーチャル空間で日常的にインタラクションできるようになるに従って、私たちの社会生活や価値観が大きく変わりつつあります。このとき、単に技術の進歩だけに注目したのでは、人と社会を健全な方向へ導くシステムを創出することはできません。人間中心の未来社会を実現するイノベーションを創出するためには、人間の特性の理解と同時に、高齢化、人口減少、健康医療、社会的格差などの社会課題も深く理解することが欠かせません。このためには、情報科学技術に関する研究だけではなく、心理学、認知科学、社会科学といった分野の研究から得られる新たな知見を融合させた総合知によって研究を進めることが重要です。

本研究領域では、システム開発と、人文・社会科学的な研究による分析・評価を繰り返すことによって、情報科学技術と人文・社会科学を融合させた総合知的な研究を促進・浸透させ、これによって社会課題の解決や人の well-being に資する人間中心の新しいインタラクションを創出することを目指します。

具体的には、認知科学的な研究や質的な調査に基づいた人間理解の深化と、そうした理解に基づいた新規的かつ有用なインタラクションの創出、さらには情報科学技術と人文・社会科学分野をつなぐ新たな研究手法を探求します。

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

(2)研究総括

くずおか ひであき
葛岡 英明 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域 「社会課題を解決する人間中心インタラクションの創出」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、情報科学技術と人間に対する理解の相互かつ連鎖的な深化・発展と、一人ひとりに寄り添ったインタラクションの実現等を推進することで、多様な価値観を持つ人々が相互に認め合い理解し合える社会や一人ひとりが自然に行動できる社会を支える技術・サービスを創出し、ウェルビーイングの実現を目指すものである。

本研究領域は、上記戦略目標を達成するために、社会課題の解決や人のウェルビーイングに資する人間中心の新しいインタラクションの創出を目指す研究提案を対象とし、実験・調査と分析・評価に基づく人

間や社会の理解を深め、人間・社会の理解に基づく新たなインタラクティブシステムを開発し、システム開発と評価・分析研究を連携させる新しい方法論の探求を推進するように設定されている。

将来の社会課題の解決を見据えた広範囲な研究課題により、優れた研究提案が多数見込まれるとともに、多彩な採択研究者相互や関連する他領域の研究者との研究連携により、行政・企業・市民などのステークホルダーに関する調査や連携を推進し、解くべき技術課題とその社会的意義を明確化しながら研究成果の有効性を分析・評価することとしており、競争優位性の高い学術成果の創出と異分野の研究者ネットワーク形成を促進する「さきがけ」の研究領域として適切である。

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 葛岡 英明

葛岡 英明氏は、遠隔対話システム、ソーシャルロボット、バーチャルリアリティ、ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に、工学、認知科学、社会科学などを融合させた学際的なアプローチで取り組んでおり、ヒューマンコンピュータインタラクション分野の発展を支えてきたトップ研究者の一人である。科学技術と人文・社会科学をつなぐ新しいインタラクションデザインやヒューマンインタフェース理論の重要性を先駆けて認識し、学際研究を進めてきた点からも、幅広い知見と鋭い先見性、深い洞察力と着実な実行力を有していることが認められる。

研究面においては、2012年情報処理学会論文賞、2017年情報処理学会山下記念賞、2019年ヒューマンインタフェース学会論文賞、2020年ACM CHI 2020 Honorable mention paper、2022年日本VR学会論文賞等を受賞し、その先見性と研究業績は高く信頼・評価されている。

研究課題の効果的・効率的な推進を行う研究マネジメントにおいては、東京大学大学院情報理工学系研究科において、副研究科長、先端情報システム開発センター長、VR教育研究センターサービスVR寄付研究部門長、情報理工学教育研究センター産学連携部門長を担務し、産学連携を含む様々な研究プロジェクト運営を行っており、本研究領域の運営に必要となる研究マネジメントの知見・経験・能力を有していることが認められる。

さらに、2009～2012年日本バーチャルリアリティ学会理事、2019～2022年ヒューマンインタフェース学会理事に選出され国内学会運営に尽力するとともに、米国コンピュータ学会(ACM: Association for Computing Machinery)のコンピュータインタラクション(CHI: Human-Computer Interaction)分野や協調活動支援(CSCW: Computer Supported Cooperative Work)分野での国際学会運営委員や学会チェアとして技術発展を牽引してきた。これらの業績は国内外のコミュニティで高く評価されており、研究者から広く信頼され、また、公平な評価を行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。

3-5 戦略目標「革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明」の下に設定した研究領域

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域「細胞操作」(CREST)

(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ことが有効です。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。

(2)研究総括

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)

[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)

(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。

本研究領域は上記戦略目標を達成するために、細胞操作技術の開発に重点をおきつつ、多様な研究分野との連携を行い、細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明を一体的に進め、最終的には個体レベルの応用までを視野に入れた研究開発を推進する。技術開発と機構解明を両輪として進めることは、双方にとって高い相乗効果をもたらすものであり、細胞制御機構の解明により新しい細胞操作技術の開発につながり、逆に開発した細胞操作技術を用いることにより細胞の制御機構に関する新たな知見が創出されることも期待される。幅広い分野に大きなインパクトをもたらす革新的な細胞操作技術の創出と、こうした技術の個体レベルの実用化までを見据え、必要とされる専門性は多岐にわたることから、各分野の研究者が専門性を活かしチームとして連携しながら取り組むことのできる CREST が適している。また、基盤技術の開発という性質から、研究分野や手段、扱う生物の種別を制限せず、あらゆる細胞操作のアプローチを対象としているため、革新的で優れた研究提案が多数見込まれることが期待される。

以上のことから、本研究領域は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 宮脇 敦史

宮脇 敦史氏は、イメージング技術の世界的な第一人者であり、その圧倒的な技術開発力で、ノーベル賞にもつながる数々の研究成果の創出に貢献してきた実績から、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。具体的には、バイオイメージングを専門としてこれまでに、蛍光カルシウムセンサー Cameleon や Pericam、光ラベルを可能にする蛍光タンパク質 Kaede や Dronpa、蛍光細胞周期センサー Fucci、自食作用の蛍光センサー Keima や SRAI、日本ウナギ由来の蛍光ビリンセンサ UnaG、動物個体深部の現象を観察するための生物発光システム AkaBLI、動物固定組織を透明にする Scale 試薬、明るく褪色しにくい蛍光タンパク質 StayGold など数多くのツールを独自に開発し、様々な生命現象の可視化に成功している。また、クラリベイト社の 2021 年「高被引用論文著者 (Highly Cited Researchers)」に選出される等、世界的にも高い評価を受けている。さらに、同氏は独自性の高いツールを数多く開発するだけでなく、多様な分野の研究者との共同研究を通じて、開発したツールの実装にも取り組んでおり、分野のパイオニア、アイデアマンとしても知られていることから、技術に対する幅広い知見と高い目利き力が期待される。また、数々の大型プロジェクトの研究代表者として研究チームを運営し、顕著な研究成果を創出してきた実績から、CREST の各研究課題についても効果的・効率的な研究マネジメントを行うことが期待される。

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。

3-6 戦略目標「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」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「計測・解析プロセス革新のための基盤の構築」(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、革新的な計測技術に繋がる実験や計算機シミュレーションの深耕とともに、最新の情報科学に基づいた知識抽出技術を開拓し、世界トップレベルの研究遂行を目指します。

新しい計測・解析が科学技術の飛躍的な発展の契機になり、社会に大きなインパクトを与えた例は、数多く見られます。科学技術の発展には、計測・解析プロセスの持続的な革新が必要です。これを可能にするためには、確固たる基盤技術の構築が不可欠です。それが達成できれば、今後 10 年から 20 年にわたり我が国の研究環境上の大きなアドバンテージとなり、2050 カーボンニュートラルの実現や SDGs 等の世界的な社会課題解決に確実に繋がると期待されます。

令和4年度の戦略目標「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」の下に、既に CREST の研究領域が設定されており、計測・解析により現実の様々な難課題の解決を図るための研究が進められています。さきがけにおいては、その前段階となる基盤研究、とくに、①計測の原理や手法の深化と革新(「見る」)、②インフォマティクスを活用したデータ解析による革新的な知識抽出技術創出(「気づく」「わかる」)を目指します。そして CREST と連携して、「見る」「気づく」「わかる」の一連の研究開発プロセスの基盤形成を目指します。さらに異分野交流の場のなかで、今後の計測・解析技術を担う研究人材の育成を進めます。

(2)研究総括

たなか いさお
田中 功 (京都大学 大学院工学研究科 教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域「計測・解析プロセス革新のための基盤の構築」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、次世代の計測・解析技術を徹底的に追求し、「見る、気づく、わかる」という、計測・解析のプロセスの革新を目指すものである。計測の限界を突破して、まだ見えていない現象を見えるようにし、計測されたデータから人間の能力では困難な知見を引き出し、実用材料開発など、現実の複雑な課題の解決において中長期的な国際競争力強化に貢献できることを目指す。必要とされる専門性は、計測技術、情報技術、また材料開発などの実用分野における専門性、と多岐に渡ることから、それぞれの専門家がチームとして連携して取り組むことができる CREST が適しているとされ、令和4年度には、本戦略目標の下で CREST が開始された。しかしながら、計測・解析技術は、冒頭に述べたように、「見る、気づく、わか

る」というサイエンスの根幹を為すものであり、今後、我が国が10年から20年にわたって、継続的に挑戦をし続けられるためのイノベーションシステムの基盤構築のためには、さきがけ領域により、独創的・挑戦的な研究シーズ群への支援、および研究人材の育成を図ることも必要である。

本研究領域は、計測技術と情報技術の両面において、従来の限界を超えた挑戦的・独創的な研究を行うために、計測原理を深く追求する研究、現時点では計測技術には取り入れられていない最先端の情報技術の研究も必要に取り組むものであり、CREST と連携して戦略目標の達成に貢献するよう設計されている。また、こうした分野の異なる比較的若手の研究人材を対象として、一つの研究領域という「場」における活発な議論を通じて、人的ネットワークを形成し、人材育成を図ろうとするものであり、さきがけの制度趣旨に合致したものとなっている。

以上のことから、本研究領域は、戦略目標の達成に向けて、さきがけ領域として適切に設定されている。

(2) 研究総括指定の理由

研究総括 田中 功

田中 功氏は、材料科学基礎、計算材料科学、マテリアルズインフォマティクスの主要な研究者である。特にマテリアルズインフォマティクスについては、我が国の第一人者と目されている。革新的な新材料の探索は、これまで経験的な知見を基に試行錯誤が繰り返され、大きな労力を必要としていたが、田中氏は、材料探索に最先端の計算科学と、データ科学を取り入れた「マテリアルズインフォマティクス」を構築することで、新材料探索を科学的、合理的かつ効率的な工程として実現させている。この方法はプログラムやデータベースとして幅広く公開された結果、世界的に広く活用されることとなり、関連論文の被引用件数は一論文だけで5,200件に及ぶ。

また、科研費の新学術領域研究(研究領域提案型)において、2013年～2017年に「ナノ構造情報のフロンティア開拓－材料科学の新展開」の代表者を務めており、当該分野に若手研究者からベテラン研究者、研究分野も計測分野(実験および計算)と情報分野の両方を含めた複合領域をまとめあげ、本領域において重要な計測と情報を両輪とした研究分野を確立させ、インフォマティクス技術を十分に活用できる計測分野の若手研究者の育成を行った実績を有している(事後評価は最高のA+)。加えて文部科学省の構造材料元素戦略研究拠点長(2012年～2021年)を務めるなど研究マネジメントの経験も豊富である。また、ドイツ政府からフィリップ・フランツ・フォン・ジーボルト賞、米国セラミックス学会からリチャード・フルラス賞、本多記念会から本多フロンティア賞、服部報公会から報公賞を受賞するなど、権威ある表彰を多数受けており、研究者としての世界的な高い評価を得ている。

以上より、同氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

3-7 次の戦略目標の下に設定した研究領域

- ・人間理解とインタラクションの共進化
- ・文理融合による社会変革に向けた人・社会解析基盤の創出
- ・信頼される AI
- ・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
- ・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 「次世代 AI を築く数理・情報科学の革新」(ACT-X)

(1)研究領域の概要

様々な科学分野や産業界で生み出されている膨大なデータを活用し新たな科学的・社会的・経済的価値を創出していく上で、数学・数理科学と AI 技術・情報科学とが連携・融合した新たな概念やアプローチの創出が不可欠となっています。メカニズムを抽出する数理モデル型アプローチと機械学習をはじめとしたデータ駆動型アプローチなどがそれぞれの強みを相補的に活かした革新的な次世代 AI 技術の創出を通じて、情報技術と社会・人が調和した新たな情報化社会への進化・深化が期待されます。

本研究領域では、既存の AI 技術の限界・困難を克服するため、AI 技術・情報科学および数学・数理科学、その他様々な研究分野の融合・応用による AI 技術の高度化や適用範囲の拡大などの、挑戦的な研究課題に取り組む若手研究者を支援することで、新しい価値の創造につながる研究開発を推進します。具体的には、従来の人工知能を中心とする情報科学の研究課題のみならず、情報科学と数理科学の双方の知見を活かしたデータ活用手法、例えばニューロシンボリック、ファウンデーションモデル、ヒューマンインザループ、シンセティック AI 等を含む、AI・情報科学、数理科学、その他多様な研究分野と、その応用分野からのフィードバック・交流や融合において、新しい発想に基づく、挑戦的な研究開発を進めます。さらに、量子計算など新しい計算パラダイムにおける革新的な AI 技術の確立も目指します。

研究推進においては、人材育成の観点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研究者の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)の一環として運営します。

(2)研究総括

原 隆浩(大阪大学 大学院情報科学研究科 教授)

[2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域 「次世代 AI を築く数理・情報科学の革新」(ACT-X)

(1)研究領域選定の理由

「AI 戦略 2022」でも述べられているように、世界的に競争が著しい AI 利活用において、我が国が世界をリードするために、ディープラーニング(深層学習)を中心とした AI 技術の革新と産官学が連携した高度な応用への展開が期待されている。本研究領域は、現状の深層学習に代表される AI における情報の活用に関する問題点(例えば、「情報をデータ化すること自体が難しい」「データ自体が少ない、ビッグデータがあっても整理されていない等の場合には対応が困難」「個人情報を含むデータの活用が困難」「解析結果の理由や信頼性が不明」など)を踏まえ、AI における代表的な手法であるデータ駆動型アプローチと現象のメカニズムを抽出する数理モデル型アプローチがそれぞれの強みを相補的に活かしながら連携・融合、さらにはそれらの応用分野からフィードバックすることなどにより、実社会の情報を十分に活用し尽くすことのできる次世代 AI 技術の基盤の創出を目指すものである。次世代 AI 技術は、戦略目標「人間理解とインタラクションの共進化」、「文理融合による社会変革に向けた人・社会解析基盤の創出」、「信頼される AI」、「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」、「Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出」の目標達成に必要な事項であるのみならず、様々な科学分野や産業界における情報活用手法のパラダイム変換をもたらすことが期待される。そのため、既存の AI の限界・困難を克服する革新的な次世代 AI 技術の開発を目指す本研究領域は、戦略目標の達成に対し、適切に設定されていると考えられる。

本研究領域では、次世代 AI を築く情報科学、数理科学、データサイエンス、コンピューターサイエンスなど多様な研究分野及びこれらの応用に係る分野における将来有望な若手研究者を発掘し、これらの分野を融合・連携した研究開発によって未来を切り拓く若手研究者の個の確立を支援するとともに、新しい価値の創造につながる研究開発を目指している。これにより、数学・数理科学による情報科学自体の飛躍的な革新や、高度な数学を実社会の情報の活用に応用できる人材の輩出を狙う。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、異分野の重要性を理解し自身の研究に取り込める研究人材の育成や、将来の連携につながる研究者ネットワークの構築をはかるなどとしており、人材育成の観点からも、ACT-X の研究領域として適切であると考えられる。

以上のことから、戦略目標の達成を目指す適切な設定となっており、優れた先進的な研究提案が多数見込まれると考えられる。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 原 隆浩

原隆浩氏は、本研究領域が着目する次世代 AI 技術を築く上で重要な役割を担うデータ駆動型アプローチ、及び基盤となるデータベース技術やソーシャルコンピューティング分野で、トップクラスの研究者である。同氏はまた、AI を含む情報科学とその応用分野の融合領域の推進にも先導的に取り組んでおり、CREST「イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化」においても、研究代表者として

優れた研究活動実績を挙げており幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有している。

また同氏は、所属する大阪大学大学院情報科学研究科においても副研究科長として学内でリーダーシップを発揮し、今春から研究科長に着任するなど、本研究領域での研究課題の効果的、効率的な推進を目指す上で、適切な研究マネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。さらに、さきがけ「IoTが拓く未来」、ACT-I「情報と未来」における領域アドバイザーとして若手・人材育成においても実績があり、適切な若手育成を実施する能力を有している。

これら同氏の顕著な業績が評価され、これまでに IEEE MDM 2015 優秀論文賞、第 11 回(平成 26 年度)日本学術振興会賞、大阪科学賞、国際会議 DEXA2021 最優秀論文賞、Distinguished Lecturer European Alliance for Innovation 等多くの賞が授与されており、関連分野を中心に国内外の研究者から信頼を得ていると考えられる。

また、IEEE Transaction on Vehicular Technology、IEEE Open Journal of the Computer Society、Distributed and Parallel Databases の編集委員を務めるなど、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

3-8 次の戦略目標の下に設定した研究領域

- ・社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新
- ・資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御
- ・元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓
- ・自在配列と機能
- ・情報担体と新デバイス
- ・ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明
- ・トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域「トランススケールな理解で切り拓く革新的マテリアル」(ACT-X)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、「トランススケール」というキーワードをもとに、より良い社会を築くための革新的マテリアル創成を目的とします。マテリアルは、産学の強みであり、新しい資本主義の成長戦略全てに貢献し得る重要な基盤技術とされています。革新的マテリアルの創成には、トランススケール(ナノ～メソ～マクロ)な理解が大きな鍵を握ります。特に、機能化へのアプローチにおいてナノ領域とマクロ領域が必ずしも直結しないという大きな課題に対して、スケールを超越して挑むことに大きな意義があります。本研究領域では、構造、計算、計測、データなどの多様な分野において、基礎学問に立脚しながらも、空間的または時間的なスケール階層をまたいだ理解により、真に機能する革新的マテリアル創成を目指します。

ここでいうマテリアルには、物質、材料、プロセス、ナノテクノロジー、デバイスを含みます。具体的には、ナノ領域として、原子、分子、結晶、超分子、微粒子、透過型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、X線、第一原理計算、分子動力学、マテリアルズインフォマティクスなどを対象とし、マクロ領域として、高分子材料、金属組織、複合材料、光学顕微鏡、有限要素法、マテリアルズインフォマティクス、プロセスインフォマティクスなどを対象とします。

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、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。

(2)研究総括

たけうち まさゆき
竹内 正之 (物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センター 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 「トランススケールな理解で切り拓く革新的マテリアル」(ACT-X)

(1)研究領域選定の理由

「統合イノベーション戦略 2022」に述べられているとおり、マテリアルは、我が国の産学の強みであり、新しい資本主義の成長戦略の鍵である「科学技術・イノベーション」、「デジタル田園都市国家構想」、「カーボンニュートラル」、「経済安全保障」の全てに貢献する重要基盤技術である。また、「マテリアル革新力強化戦略」に述べられているとおり、マテリアル分野は国内に多様な研究者や企業が数多く存在し、世界最高レベルの研究開発基盤を有しているため、本質の追求による新たな価値の創出、人材育成等の持続発展性の確保などを強力に推進することが重要である。

マテリアルの革新は、戦略目標「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」、「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」、「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓」、「自在配列と機能」、「情報担体と新デバイス」、「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明」、「トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出」の目標達成の基盤である。さらに、革新的マテリアルの創成においてナノスケール領域とマクロスケール領域が必ずしも直結しないという大きな課題が存在する。そのため、スケールを超越して挑むことが必要であり、幅広いマテリアル分野において、基礎学問に立脚しつつトランススケールな理解により、真に機能する革新的マテリアル創成の実現を目的とする本研究領域は、戦略目標達成に対して適切に設定されている。

また、求められる技術シーズを創出し続けていくためには、人材を育成し、若手研究者を輩出する必要がある。そのため、ナノスケール研究分野の研究者とマクロスケール研究分野の研究者とが、問題点、解決すべき点、研究の視点の差異を若手の段階から共有することが重要である。そして、若手研究者が成長し、個の確立を達成することによって、優れたアイデアが技術シーズにつながり、スケール階層をまたいだ理解を通じて、革新的なマテリアル創成に寄与することができる。若手研究者の発掘と育成という観点から、提案時点では必ずしもナノスケールとマクロスケール双方における専門性や研究経験を求めないが、提案者自身が研究対象としているスケール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は、異なるバックグラウンドを基盤とする研究の重要性を理解し、自身の研究に還元することで、さらに成長す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、従来の分野分け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 竹内 正之

竹内正之氏は、有機・高分子合成や超分子化学の手法により、新しい有機分子・高分子とそれらの集合体を創出し、既存の材料を凌駕する機能性マテリアルの研究を行ってきた。当該研究分野において顕著な成果を挙げており、トランススケールの視点で革新的なマテリアルの創出を目指す本研究領域と非常に高い親和性があることから、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。

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、多国籍の若手研究者が集う若手国際研究拠点の副センター長を務めるなど、若手研究者育成にも積極的に取り組んできており、経験に基づく建設的、効果的な指導が期待できる。また、機能性材料研究拠点の副拠点長、今春から高分子・バイオ材料研究センターのセンター長を務めるなど、広範囲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 においても創発的研究支援事業「福島パネル」の創発アドバイザーを務め、運営、推進、評価等についても豊富な経験を有している。

さらに、公益社団法人高分子学会理事を務めるなど、関連分野を中心に研究者からも信頼され、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

(別添資料1)

戦略目標

令和5年度 戦略目標

- 量子フロンティア開拓のための共創型研究
- 海洋とCO₂の関係性解明と機能利用
- 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
- 人間理解とインタラクションの共進化
- 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4年度 戦略目標

- 社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新
- 文理融合による社会変革に向けた人・社会解析基盤の創出

令和3年度 戦略目標

- 資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御
- 元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓

令和2年度 戦略目標

- 自在配列と機能
- 情報担体と新デバイス
- 信頼されるAI

令和元年度 戦略目標

- ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明
- 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

平成30年度 戦略目標

- トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出
- 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5年度戦略目標

1. 目標名

量子フロンティア開拓のための共創型研究

2. 概要

量子技術は社会・経済に大きなイノベーションをもたらすと期待される革新的技術であるが、その実現に向けては様々な課題が山積している。従来、量子技術は物理学が基礎となって発展してきたが、これらの課題の解決に向けては数理科学・化学・情報工学・電気電子工学・機械工学・光科学・材料工学・生命科学などの幅広い分野との融合・連携が必要となる。本戦略目標では、将来的な量子技術の実現を見据えて材料・デバイスからアプリケーションまでの全レイヤでブレイクスルーを目指した研究を推進し、様々な分野とも協調・融合しながらこれまでにない量子デバイスとその制御技術、システム、アプリケーションの実現を目指す。

3. 趣旨

量子コンピュータや量子センサ、量子通信・暗号等の量子技術は、社会・経済に大きな変革をもたらす革新的技術であり、世界中で開発競争が加速している。政府でも令和4年度に国家戦略「量子未来社会ビジョン」が策定されるなど重点技術として位置付けており、国際競争に伍していくためにも量子技術分野の研究開発を加速させる必要がある。

一方、量子コンピュータ等を実現するためには量子系の大規模化や安定した状態制御等のブレイクスルー技術が必須である。また、量子技術はまだ実験室レベルのものが多く、実現を見据えたシステム化（周辺エレクトロニクスやシステムアーキテクチャ等）についての研究も十分ではない。さらに、量子コンピュータが得意な計算は限られているように、量子技術の応用範囲もまだまだ限定的であり、量子技術の新たな用途開拓の余地が十分にあると考えられる。

このように様々な課題が山積しているが、これまで量子技術の発展を支えてきた物理学の研究者だけでは解決できない課題も多く、今後は数理科学・化学・情報工学・電気電子工学・機械工学・光科学・材料工学・生命科学などの幅広い分野の知見が必要になる。そのため、これらの様々な分野の技術・システムとの協調・融合による研究開発が必須である。

4. 達成目標

本戦略目標では、将来の量子技術の実現を見据えて材料・デバイスからアプリケーションまでの全レイヤでブレイクスルーを目指した研究を推進し、様々な分野とも協調・融合しながらこれまでにない量子デバイスとその制御技術、システム、アプリケーションの実現を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) 量子技術の実現を見据えたシステム化研究の推進

量子コンピュータ、量子センサ、量子通信・暗号等の実現に向けて、周辺装置・エレクト

ロニクス・システムアーキテクチャ、ソフトウェア、アルゴリズム、材料等の様々な分野の技術・システムと協調・融合した研究開発を推進する。

(2) 新たな量子系や制御方式の探求

材料、半導体、光科学等と連携し、先行する量子系にはない高いポテンシャルを持った新奇量子系や複数量子系のハイブリッド方式等を探求する。また、数理科学等とも協調しながら非平衡系の学理等を踏まえたデコヒーレンス機構等を追及し高いコヒーレンス時間を持つ量子系を探求する。さらに従来エレクトロニクスや機械学習（AI）等のアルゴリズム等を駆使し、大規模化した量子系の安定した制御方法等を開拓する。

(3) 量子技術の新たな用途の開拓

量子技術の応用領域の拡大に向けた研究や、ある用途で有望な量子系を他の用途で活用する研究など、量子技術の新たな用途を開拓し、同技術のポテンシャルの最大化を目指す研究を推進する。

5. 見据えるべき将来の社会像

量子コンピュータの実現により、産業・科学等の様々な分野において従来型計算機で不可能な計算が可能になり、経済・社会の発展に大きく貢献することが見込まれる。また、量子センサにより従来センサの限界を超える性能が実現できれば、脳の構造や機能解明、宇宙など極限環境での探査活用等が見込まれる。さらに量子暗号通信により究極的に安全・安心な通信が可能になり、量子インターネットが実現すれば分散量子計算によって計算能力も飛躍的に向上する。これらを始めとする様々な量子技術の利活用によって、「量子未来社会ビジョン」でも掲げている「経済成長」、「人と環境の調和」、「心豊かな暮らし」を価値観とした経済・環境・社会が調和する未来社会の実現が期待される。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

量子技術は、将来の我が国及び世界の経済・社会に大きな変革をもたらす革新的技術として期待されており、経済安全保障上も重要な技術である。特に量子コンピュータを対象に巨額な投資がなされ民間企業も含めて国内外で開発競争が激化するとともに、近年、「量子超越性」を実証したとする報告がなされる等、量子技術への期待が高まっている。

(国内動向)

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」、平成 29 年度戦略目標「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 31 年度戦略目標「量子コンピューティング基盤の創出」、令和 4 年度戦略目標「量子情報と量子物性の融合による革新的量子制御技術の創成」等に基づく CREST/さきがけの研究領域により、長期的な視点に立った量子技術に関する基盤的研究が進められ、

量子情報処理や量子センシング、量子通信・暗号等、今日の量子技術の礎が築かれた。

また、令和2年1月に政府が策定した「量子技術イノベーション戦略」も踏まえながら、光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）や共創の場形成支援プログラム等の大型プロジェクトが推進され、量子コンピュータ、量子ソフトウェア、量子センシング等の社会実装や拠点化を指向した研究開発が実施されている。ムーンショット型研究開発制度（目標6）においても、2050年を目標に誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現を目指す挑戦的な研究開発が進行中である。

さらに令和4年4月には、産業競争力強化や社会課題解決等に向けて量子技術を活用して産業・社会のトランスフォーメーションを起こすことを目指して「量子未来社会ビジョン」が策定された。令和4年10月には量子未来社会ビジョンで示された2030年に目指すべき状況の実現への道筋（量子技術の実用化のために必要な取組、産学官の連携の在り方等）を検討するため、「量子技術の実用化推進ワーキンググループ」が設置され、令和5年3月末までに実行計画案を取りまとめる予定である。

（国外動向）

量子技術に関して、米国は2019年から5年間で最大13億ドル（約1,400億円）規模を投資、EUは2018年から10年間で10億ユーロ（約1,300億円）規模のプロジェクトを開始、中国は2016年から5年間で約70億元（約1,200億円）の研究計画を実施する等、競争が激化している。

IBMなどの海外企業は量子コンピュータのクラウドサービスの提供を開始するなど一部で社会実装を進めている。中国でも巨額投資がなされ、量子情報科学拠点の形成が進むとともに、超伝導方式や光量子方式で量子超越性の実証実験がなされる等、インパクトのある成果が創出され始めた。

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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及びJST-CRDS戦略プロポーザル「量子2.0～量子科学技術が切り拓く新たな地平～」や有識者インタビュー等を参考にして分析を進めた結果、様々な分野との連携・融合が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「量子技術の実用化に向

けたフロンティア技術開拓」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「量子技術の実用化に向けたフロンティア技術開拓」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、量子技術の実用化に向けた課題や異分野との連携の重要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3章2. ③量子技術

・量子コンピュータ、量子計測・センシング、量子通信・暗号等をはじめとする主要技術に関する研究開発の抜本的強化、量子技術イノベーション拠点の形成、国際協力の促進、戦略的な知的財産マネジメントと国際標準化、優秀な人材の育成に加え、既存技術と組み合わせることによる短中期での実用化も含めた、量子技術の産業・社会での利活用の促進等、基礎基盤的な研究開発から社会実装に至る幅広い取組を、我が国の産学官の総力を結集して強力に推進する。

「量子技術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）

IV. 量子技術イノベーション実現に向けた5つの戦略

1. 技術開発戦略（1）主要技術領域

・量子技術の基盤となる技術領域として、以下の4つを「主要技術領域」として設定する。

- ・量子コンピュータ・量子シミュレーション
- ・量子計測・センシング
- ・量子通信・暗号
- ・量子マテリアル（量子物性・材料）

・量子技術は、今後の飛躍的な発展が見込まれる一方、未だ基礎研究段階にある技術領域が多く、我が国の技術・人材等の厚みを増す観点からも、幅広い領域を対象として中長期的視野に立ったサイエンスベース（基礎研究段階）での研究開発等を着実に推進していくことが極めて重要である。

「量子未来社会ビジョン」（令和4年4月22日統合イノベーション戦略推進会議決定）

3. 基本的考え方

（1）量子技術を社会経済システム全体に取り込み、従来型（古典）技術システムとの融合により（ハイブリッド）、我が国の産業の成長機会の創出・社会課題の解決

・量子技術は社会経済システム全体において利活用し、創薬・医療、材料、金融、エネルギー、

生活サービス、交通、物流、工場、安全・安心などの幅広い分野において、産業の成長機会の創出や社会課題の解決の実現に貢献していくことが期待される。

このことから、量子技術に関する研究開発や社会実装、産業化等の取組を進める際には、様々な社会経済の分野と連携し、社会経済システム全体に量子技術を取り入れて利活用していく俯瞰的な視点が重要である。また、AI 等の計算機科学、5G/Beyond 5G 等の情報通信技術、計測・センシング技術、半導体等の従来型（古典）技術システムとも融合して一体的に考えていく視点も重要となる。

7. その他

本戦略目標では、数理科学・化学・情報工学・電気電子工学・機械工学・光科学・材料工学・生命科学等、幅広い分野からの参入を強く期待する。本戦略目標で対象とする研究分野や研究者層は、当該学会にてシンポジウム講演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、本戦略目標の実現においては、上記 6.（国内動向）に示した量子技術関係の戦略目標で実施している研究や、光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）・ムーンショット型研究開発制度（目標 6：誤り耐性型汎用量子コンピュータ）・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 3 期「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」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れる。

令和5年度戦略目標

1. 目標名

海洋とCO₂の関係性解明と機能利用

2. 概要

気候変動対策の重要課題である人為起源の二酸化炭素（CO₂）の大気中濃度低下のためには、全球（大気・海洋・陸域）の炭素循環プロセスへの理解が不可欠であるが、自然界で最大級のCO₂吸収源である海洋とCO₂との関係性には未解明な部分が多い。本戦略目標ではミクロからグローバルのスケール横断及び異分野融合アプローチでこの関係性の理解深化を目指す。具体的には、海洋の炭素循環プロセス及び海洋温暖化・酸性化・貧酸素化等のCO₂増加に伴う現象がそのプロセスに与える影響、CO₂増加の海洋生態系への影響、海洋の機能を利用したネガティブエミッション技術¹に関する研究開発を行う。目標の達成を通して、海洋機能の最大限の活用による気候変動対策への貢献を目指す。

3. 趣旨

「地球温暖化対策計画」、「気候変動適応計画」（いずれも令和3年10月22日閣議決定）等の国内政策文書、「国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価サイクルにおける一連の報告書（平成30年10月～令和5年4月予定）」等、気候変動が全ての生物にとって喫緊の課題である事は、国内外を問わず広く言及されている。気候変動への対応においては、主要因である人為起源の温室効果ガス、とりわけCO₂の大気中濃度を低下させることが急務であり、その具体的な方策検討にあたっては、全球（大気・海洋・陸域）の炭素循環プロセスをいっそう正しく理解し、それに立脚することが肝要である。極めて大枠の概算ではあるが、海洋は世界の大気中のCO₂の約25%を吸収しているとされており、陸域と並び自然界で最大級のCO₂吸収源である。したがって、そのポテンシャルを把握し、適切に利用していくことは、カーボンニュートラル社会の実現に向けた重要な鍵である。

しかし大気や陸域に比べ、海洋とCO₂の関係性には未解明な部分が数多く残されている。これまでの全球モニタリング観測等により、炭素循環の素過程は解明されつつあるが、物理・化学・生物の作用が複雑に絡み合う海洋中の炭素の挙動への理解は未成熟である。このため、それらのプロセスに支配された海洋のCO₂吸収・貯蔵能力にも不明な点が多く、その定量的把握には、複合プロセスの全貌をミクロからグローバルまでのスケールを横断してシームレスに捉える研究が必要となる。また、大気中のCO₂濃度上昇が起因となる海洋温暖化・酸性化・貧酸素化などの海洋環境の変化は既に発生しているため、これらの変化が海洋のCO₂吸収・貯蔵能力に及ぼす影響も同時に把握しなければならない。併せて、これらの変化は海洋生態系等に様々な影響をもたらすことが懸念されているが、その影響の詳細や今後どのような問題が表出

¹ CO₂を回収・吸収し、貯留・固定化することで大気中のCO₂除去に資する技術。

していくかの理解は不足しているため、定量的な評価及び将来予測に資する研究の推進が急務である。さらに、これらの知識も活用しつつ、並行して海洋のポテンシャルを最大限活用した革新的な海洋ネガティブエミッション技術に関する研究開発を推進していくことも必須である。

世界各国でゼロエミッション達成に向け、海洋を活用する動き（洋上風力発電、CCS²、ブルーカーボン³の活用等）が活発化している中、四方を海に囲まれた海洋国家たる我が国が、海洋とCO₂の関係性の研究を推進し、海洋の持つ機能を利用した革新的な気候変動緩和・適応策を打ち出していくことは、世界で行われている気候変動対策研究に新たな視点を提供することにつながることを期待される。

4. 達成目標

本戦略目標では、ミクロからグローバルまでのスケール横断及び異分野融合アプローチにより、海洋とCO₂の関係性の解明（海洋炭素循環の解明及び大気中CO₂濃度増加への応答機構の解明、並びに大気中CO₂濃度増加の海洋生態系等への影響評価等）により、全球炭素循環の理解を深化させると共に、CO₂の吸収源としての海洋の機能を利用する技術に関する研究開発も推進する。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 海洋における炭素吸収・貯留・隔離プロセスの詳細解明とCO₂増加による三重の脅威（温暖化・酸性化・貧酸素化）がもたらす影響の把握

全球炭素循環の中で特に理解が進んでいない海洋中の炭素循環プロセスを解明するとともに、大気CO₂濃度増加に伴う海洋の温暖化・酸性化・貧酸素化がどう影響するかを明らかにし、気候変動下での炭素循環の変化予測を可能にする。

- (2) CO₂増加による海洋生物・生態系と「海の恵み（生態系サービス）」への影響評価・予測の手法開発

水産資源や観光資源、文化的基盤など、我が国が様々な形でその生態系サービスを楽しんでいる海洋生物・海洋生態系に対して、(1)に挙げたような大気中CO₂増加による様々な海洋環境の変化が及ぼしつつある複合的な影響を評価・把握すると共に、その将来に渡る影響を予測する手法の開発等を行う。

- (3) 海の力で地球を救う：海洋ネガティブエミッション技術の多角的かつ定量的な検証と手法開発

そのポテンシャルが世界的に注目されている一方、陸域に比べ定量評価が進んでおらず実用化に大きな余地の残された海洋の機能を利用したネガティブエミッションの革新的な定量化手法、環境影響評価手法、また技術そのものの研究開発を行う。

² Carbon dioxide Capture and Storage（二酸化炭素回収・貯留）の略。工場や発電所等から排出される二酸化炭素を大気放散する前に回収し、地下へ貯留する技術。

³ 海洋生態系による炭素貯留。

5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、海洋と CO₂ の関係性に関して、国際的にも有益な科学的知見の創出や、これに基づく革新的なネガティブエミッション技術の開発が期待される。また、気候変動の影響で今後どのように海洋が変化するかの高確度の高い将来予測や、定量的な指標が得られることで、産学官が一体となった気候変動問題の解決に向けた取組の促進が期待される。これにより、気候変動により生じる様々な経済損失の軽減に大きく貢献できる可能性もある。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

(国内動向)

文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「変わりゆく気候系における中緯度大気相互作用の hotspot」において、海洋変動の予測の可能性等が研究されており、地球温暖化等が日本の気象に与える影響の解明や、極端現象のメカニズムの一部解明などの成果が得られつつある。また、文部科学省の事業「気候変動予測先端研究プログラム」において、主に大気をターゲットとして「全ての気候変動対策の基盤となる気候モデルの開発等を通じ、気候変動メカニズムの解明やニーズを踏まえた気候予測データの創出」が実施されている。これらを通じ海洋及び大気の両方で研究開発コミュニティが形成されている。

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）による戦略プロポーザル「極端気象災害と気候変動リスクへの対応強化に向けた近未来予測」によると、自然災害および気候変動に伴うリスク（特に物理的影響）を可視化し、それらを対策立案や意思決定、行動変容に繋げていくことが必要とされている。

海洋ネガティブエミッション技術の研究としては、農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究「ブルーカーボンの評価手法及び効率的藻場形成・拡大技術の開発」、大学と民間企業とのブルーカーボンに関する共同研究、工学的手法による海中からの CO₂ 直接回収・酸性化緩和に関する研究開発など、独立的ではあるものの研究コミュニティの裾野は広い。

(国外動向)

IPCC 第 6 次評価報告書第 3 作業部会報告書（令和 4 年 4 月）などでは、気候変動問題は世界的にも解決すべき喫緊の課題とされている。同じく IPCC による「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」においても、海水温の上昇、地球温暖化に伴う海洋熱波の頻度・強度上昇、海洋酸性化、海洋貧酸素化による生態系へのリスク等が議論されている。

また、令和 4 年の国連気候変動枠組条約第 27 回締約国会議（COP27）においても、気候変動問題の解決に海洋が果たす役割の重要性が強調された。同会議では、海洋酸性化と海洋貧酸素化への科学的理解、気候変動の緩和・適応策における自然界と生物多様性の役割、「自然を利用した緩和・適応策」の重要性等が議論された。

平成 29 年の国連総会での宣言を経て、令和 3 年から「持続可能な開発のための国連海洋科

学の10年」が始まっている。これは、持続可能な開発目標（SDGs）の多くに海洋が強く関わることを提示したうえで、2021～2030年の10年間、国際的に集中して海洋科学を推進しこれらのSDGs達成に貢献することを掲げたものである。

ブルーカーボン以外の海洋ネガティブエミッションの研究には、米国 ARPA-E（エネルギー高等研究計画局）のファンドで開始された海洋からのCO₂直接回収技術の研究等が存在する。

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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び有識者ヒアリング、並びに GRDS の「極端気象災害と気候変動リスクへの対応強化に向けた近未来予測」及び「バイオマス CO₂ 吸収源としたネガティブエミッション技術」等を参考にして分析を進めた結果、CO₂ 増加や気候変動が海洋にもたらす海洋酸性化や海洋温暖化等の現象に対する影響評価・予測、海洋の炭素吸収・貯留・隔離ポテンシャルを利用したネガティブエミッション技術の開発、またそれらの基盤としての海洋炭素循環の理解深化が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「海と CO₂ の関係性の包括的研究の推進」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「海と CO₂ の関係性の包括的研究の推進」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、関連分野の国内外の研究動向、今後取り組むべき研究課題、研究テーマの主軸とすべきキーワード（海洋温暖化、海洋酸性化、海洋貧酸素化、海洋生物・生態系影響、海洋ネガティブエミッションの五つ）、大気や陸域を含む全球システムとの関係も踏まえた本目標の位置付け等について議論を行った。ワークショップにおける議論や有識者ヒアリング等を踏まえ、タイトルを現行の「海洋と CO₂ の関係性解明と機能利用」と改めた上で、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3章 2. ⑦海洋

(略) 海洋に関する科学的知見の収集・活用は不可欠である。(略)

(略) 特に海洋観測は海洋科学技術の最重要基盤であり、(略) カーボンニュートラル実現に向けた広大な海洋環境の把握能力を高めるため、氷海域、深海部、海底下を含む海洋の調査・観測技術の向上を目指し、(略) 観測技術の開発を進めていく。さらに、(略) データ・計算共用基盤の構築・強化による観測データの徹底的な活用を図るとともに、(略) 海洋分野におけるデータ駆動型研究を推進することを通じて、人類全体の財産である海洋の価値創出を目指す。

「地球温暖化対策計画」(令和3年10月22日閣議決定)

第3章第2節 1. 温室効果ガスの排出削減、吸収等に関する対策・施策

(2) 温室効果ガス吸収源対策・施策

④ブルーカーボンその他の吸収源に関する取組

ブルーカーボンは、沿岸域や海洋生態系によって吸収・固定される二酸化炭素由来の炭素を指し、その吸収源としては、浅海域に分布する藻場や干潟などがある。ブルーカーボンによる温室効果ガスの吸収・固定量の算定方法は、一部を除き確定していないことから、これらの算定方法を確立し、温室効果ガス排出・吸収目録(インベントリ)のためのIPCCガイドラインに追記できるよう研究を進めるとともに、効果的な藻場・干潟の保全・創造対策、回復等を推進する。

第3章第2節 3. 基盤的施策

(3) 気候変動に係る研究の推進、観測・監視体制の強化

今後、長期的かつ世界的な観点から地球温暖化対策を推進するためには、国内外の最新の科学的知見を継続的に集積していくことが不可欠であり、気候変動に関する研究、観測・監視は、これらの知見の基盤をなす極めて重要な施策である。地球温暖化に係る研究については、従前からの取組を踏まえ、気候変動メカニズムの解明や地球温暖化の現状把握と予測精度の向上及びそのために必要な技術開発の推進、地球温暖化が環境、社会・経済に与える影響の評価、温室効果ガス排出量の削減及び適応策との統合などの研究を、国際協力を図りつつ、戦略的・集中的に推進する。

(略) 特に、我が国においては、アジア・オセアニア域の航空機・船舶・地上観測を用いた包括的な大気観測、アジア地域の陸域炭素循環観測拠点での生態系モニタリング体制の構築、海洋の二酸化炭素の観測網の整備、雪氷圏・沿岸域等の気候変動に脆弱な地域での地球温暖化影響モニタリング、観測データと社会経済データ等の地球環境ビッグデータの利活用を推進するためのデータ統合・解析システム(DIAS)の基盤を強化する。

「気候変動適応計画」(令和3年10月22日閣議決定)

第1章第3節 4. 沿岸生態系に関する適応の基本的な施策

○ 特に影響が生じる可能性の高い干潟・塩性湿地・藻場・アマモ場・サンゴ礁等において、

長期にわたるモニタリング等の調査を重点的に実施することが必要。また、沿岸域は河川等を通じた陸域との関連性が強いことから、流域全体まで視野を広げることが必要である。

第1章第3節 5. 海洋生態系に関する適応の基本的な施策

- 日本近海の88%で2035年までに予測される気候の変化が、これまで経験されてきた変化の幅以上の変化にさらされるとの予測があるが、気候変動による海水温の上昇、海面上昇、海洋酸性化等が生態系に与える影響については不明な点が多い。さらに、沖合域の生態系は科学的に解明されていない事象が多く、沿岸域に比べて精度の高い科学的情報が蓄積されていないことも踏まえ、特に海洋保護区や生物多様性の観点から重要度の高い海域等において、モニタリングや将来予測を充実させることが必要である。

7. その他

カーボンニュートラル社会実現に向けた海洋の貢献の最大化という本戦略目標を高いレベルで達成するためには、海洋の機能利用形態や管理制度・利害関係等まで含めた、総合知の視点による検討が必要となる。海洋を研究対象とする分野は、物理学、化学、生物学、工学、政策学など多数あるが、学会等の研究活動の場は分野ごとに分かれており、海洋に関する課題を総合的に取り扱う学際的なコミュニティの形成は未成熟であった。前述の「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」では、その中核概念として、海洋科学の在り方そのものを、社会課題解決指向、自然科学と人文・社会科学の協働、様々なステークホルダーの参画などを主旨としたものに変革するという「変革的海洋科学 (Transformative Ocean Science)」が提唱されており、世界的に見ても、分野を超えた知見融合の重要性は近年一層強く認識されつつある。

そのため、本戦略目標では分野間の融合研究を積極的に推進するべく、自然科学系のみならず人文・社会科学系を含めた多様な学協会からの参画を期待する。また、本戦略目標を契機として、学会・分野の垣根を超えた海洋に関する様々な社会課題解決に資する総合的な海洋科学コミュニティが形成、活性化されることも強く期待する。

また、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」や「地球温暖化対策計画」等でも海洋観測の強化が言及されている通り、海洋観測データは未だ不足しており、本戦略目標のもとで新たなデータ取得が必要となることは当然想定される。ただし、本戦略目標の研究推進においては、データ収集のみを目的とするのではなく、海洋とCO₂の関係性解明またはその機能利用技術等について画期的な知見創出の達成を念頭に置くことが必要である。また、新たな海洋観測を必須としない手法、例えば、これまで国内外の観測網により蓄積されたデータの再解析、室内実験・模擬生態系等の活用、限られたデータでも適用可能な計算科学的手法などを、スケール横断・異分野融合のアイデアにより組み合わせ、新たな知見創出に繋げる提案にも期待する。

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材料の活用基盤技術

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材料がトランジスタのチャンネル材料として用いられることが期待されている。また、低次元材料は、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、低次元材料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）といった低次元材料がトランジスタのチャン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、低次元材料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材料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、低次元材料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、良質な低次元材料を効率的に作製する技術や低次元材料と異種材料（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。このような低次元材料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、低次元材料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、低次元材料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) 高品質な低次元材料を効率的に作製する技術の確立

新たな低次元材料の開発に加え、高品質な低次元材料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材料の大面积化、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) 低次元材料と異種材料の界面を制御するための学理や技術の構築

低次元材料を活用した半導体デバイスの特性は、低次元材料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、低次元材料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、低次元材料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、積層した二次元材料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) 低次元材料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、低次元材料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、低次元材料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、低次元材料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、低次元材料を用いた革新的なデバイスは、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、低次元材料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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び GRDS 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を試作・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5年度戦略目標

1. 目標名

人間理解とインタラクションの共進化

2. 概要

人間・AI・ロボット相互間やそれらと環境とのインタラクションが増加・多様化する中で、それを支える情報科学技術の創出や、人間や社会が受ける影響の理解等に資する研究を進展させることが必要である。本戦略目標では、情報科学技術と人間に対する理解の相互かつ連鎖的な深化・発展と、一人ひとりに寄り添ったインタラクションの実現等を推進することで、多様な価値観を持つ人々が相互に認め合い理解し合える社会や一人ひとりが自然に行動できる社会を支える技術・サービスを創出し、ウェルビーイングの実現を目指す。

3. 趣旨

第6期科学技術・イノベーション基本計画に示されるように、Society 5.0の実現に向けて、人間中心の価値観の下でサイバー空間とフィジカル空間の融合を図ることが鍵である。「メタバース」を始めとするサイバー空間の利用や、「Stable Diffusion」、「ChatGPT」のようなAI技術の登場、「da Vinci」をはじめとしたロボット技術の応用など、情報科学技術が社会に溶け込み、AIやロボット等との触れ合いやサイバー空間でのコミュニケーションが日常化するなど新たな文化も生み出しつつある。このように、情報科学技術の進展に伴い、人間・AI・ロボット相互間やそれらと環境との相互作用（インタラクション）は今後も増加・多様化していくことが見込まれる。

インタラクションに関する領域では、VR技術、AI技術、ロボット技術、ICT等の情報科学技術を利用した人間の身体的能力や認知能力の獲得・拡張等に関する様々な研究が行われ、優れた成果が蓄積されている。しかし、一部の成果について脳の構造や活動状況に応じて効果の大小が異なることが報告されるなど、これらの成果はどんな条件でも有効性が担保されているとは言えない。また、新たな情報科学技術の開発は活発に行われているが、その成果の普遍性の追求や、いかに普及させるかの観点での研究はまだ十分には行われていない。より多くの人々がより多くの場面・環境で身体的能力や認知能力の獲得・拡張等を可能にする情報科学技術を活用していくためには、人間や社会、文化が受ける影響など人間に対する理解を踏まえた発展が重要であり、人間の性質・状態等に応じたインタラクションを支える情報科学技術の創出を図る必要がある。

一方、インタラクションに関する領域の成果として、効果的な技能の習得や新たな身体感覚の獲得などの身体機能的な影響から、ラバーハンド錯覚やプロテウス効果などの認知心理学的な影響まで報告されている。インタラクションによる影響の一端が見え始めてきたところであり、インタラクションの研究を通じた人間に対する理解の深化も期待できる。しかし、体系的

に整理する研究はまだ少なく、影響に関する研究は個別に発展している状況にある。そのため、開かれた環境に適應するAI・ロボットの行動や、集団において発生する人間同士の社会関係等もインタラクションにより生じたものと捉え、その幅広いインタラクションの研究を通じて、人間・社会・文化に情報科学技術が与える影響に関する知見の体系的な整理や構成論的アプローチによる研究の発展等の人間に対する理解の深化を図ることが必要である。

また、情報科学技術と人間に対する理解の研究成果を高度に融合させることで、多様性のある社会において、最先端技術の活用を好む人だけでなく誰もが望んだ形のインタラクションを実現することが期待される。これまで、一対一のインタラクションについては多様な研究がなされているが、三以上の個体間のインタラクションの研究はまだ発展途上にあり、未解明な部分が数多く残されている。そのため、インタラクションそのものの状態の記述やモデル化、インタラクションのデザイン等の研究を推進することで、一人ひとりに寄り添ったインタラクションの実現に繋がるものと期待できる。

4. 達成目標

本戦略目標では、情報科学技術と人間に対する理解の相互かつ連鎖的な深化・発展と、一人ひとりに寄り添ったインタラクションの実現等の推進を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) インタラクションを支える新たな情報科学技術の創出

人間に共通する性質に留まらず、個人・集団によって異なる性質、時間経過によって変化する状態等、人間に対する理解に基づき、人間の性質・状態等の測定やそれに応じたインタラクションを支える新たな情報科学技術を創出する。

(2) インタラクションを通じた人間理解の深化

個人・集団の行動、学習、認知、感情、知能、身体性、知覚等の原理・機序の解明や、人間・社会・文化に対して情報科学技術が与える影響に関する知見の体系的な整理等、幅広いインタラクションの研究を通じて人間に対する理解を深める。

(3) 一人ひとりに寄り添ったインタラクションに繋がる理論体系の構築

情報科学技術と人間理解を融合させ、インタラクションの状態記述、モデル化、測定・評価、デザインを行うための技術や方法論を創出することにより、一人ひとりに寄り添ったインタラクションの実現に繋がる理論体系の構築を図る。

5. 見据えるべき将来の社会像

4.「達成目標」の実現を通じ、人間理解に基づくユーザインタフェースやユーザエクスペリエンスの設計を可能とし、情報科学技術を利用した新たな手法・サービスの創出、社会受容性の向上や、依存症等の悪影響の解消手段創出等につなげることで、これらの手法・サービスが社会の様々な場面でより一層活用されることを目指す。

また、心理学・経済学・社会学等の知見に基づく個人・集団に対する新たな介入手段の提供

や、認知機能・身体性など人間の要素を含めた新たな情報理論・情報学のような理論体系の構築につながることで、加えて、新たなモダリティや人間の性質・状態等を利用した我が国が競争力を持ち得る入出力デバイスの実現・高度化につながることを期待できる。

さらに、人間・AI・ロボットにおけるインタラクションを、誰もが自らの関心、嗜好、技術に対する適応度合等に応じ、自らの望んだ形で実現することを助ける技術や、そのためのインタラクションのデザインに関する方法論の創出等を目指す。これらにより、一人ひとりに寄り添ったインタラクションの実現を可能にし、多様な価値観を持つ人々が相互に認め合い理解し合える社会や一人ひとりが自然に行動できる社会を支える技術・サービスの創出につなげることで、ウェルビーイングの実現を目指す。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

国内外ともに、人間拡張をキーワードとした研究が盛んに行われているほか、自己の本来の姿とは異なるものを自己の身体であると錯覚することなどによる、認知能力、思考様式、感情等の様々な変容やその影響の継続性などに関する研究が行われている。

(国内動向)

平成29年の戦略目標「ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化」(CREST「人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開」、さきがけ「人とインタラクションの未来」、ERATO「稲見自在化身体プロジェクト」)では、身体拡張体験による技能の習得や認知・心理面の変容、身体性の変容と神経機構との関係、サイバー空間での訓練効果の有無や大きさが人によって異なることと脳活動との関係等、脳科学、心理学等の領域との関連の深い研究が進められている。

また、望む人が誰でも身体的能力、認知能力及び知覚能力を強化・拡張できる技術の創出を目指したムーンショット型研究開発事業のムーンショット目標1においても、脳科学、心理学等の領域の研究者が課題推進者として参画して研究が進められている。さらに、人と一緒に成長するAIロボットの実現を目指すムーンショット目標3や、こころの安らぎや活力を増大する技術等の実現を目指すムーンショット目標9においては、人間への影響に焦点をあてたインタラクションの研究が進められている。

加えて、大規模な社会データから人間行動や社会現象を理解しようとする計算社会科学では、集団における社会関係も研究対象となるが、2016年に発足した計算社会科学研究会が、2021年に計算社会科学会へと発展するなど、人文・社会科学と情報学の融合したコミュニティの活動が形成され、活発化しつつある。

その他、教育の場においても、新型コロナウイルス感染症を背景とするオンライン授業の普及や、多様な人々に学びの機会や情報を提供するため東京大学が「メタバース工学部」を設立するなど、多様なインタラクションの活用が続いていくことが見込まれる。

(国外動向)

ロボットの腕を自己の身体の一部のように操作する技術の開発等に取り組む EU の Human-Robot Sensorimotor Augmentation (HARIA Project) など、人間拡張をキーワードとした研究が盛んに行われている。

また、インタラクション関係の主要な国際会議である ACM SIGCHI の CHI Conference においては、投稿される論文数が、2010 年 1,346 件、2015 年 2,120 件、2020 年 3,126 件と増加の傾向を示している (2022 年 2,579 件)。投稿される内容については、国内研究者が新たな技術の開発に関する研究に注力する一方で、全体的な傾向として、利用可能性や心理的な影響等に関する社会調査などの質的・分析的な研究にも、新たな技術の開発と同程度以上に重点が置かれている。

その他、2022 年 6 月には、Meta、Microsoft、Epic Games、W3C 等により、メタバースの相互運用性に関する標準化の発展を目指す「Metaverse Standards Forum」が結成され、会員団体を増やし続けており、情報科学技術を利用したサービスの更なる発展が見込まれる。

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 (GRDS) の各分野ユニット、日本医療研究開発機構 (AMED) のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果、有識者ヒアリング、JST-GRDS の戦略プロポーザル「リアルワールド・ロボティクス」及び「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画を踏まえた情報分野の振興方策 取りまとめ」(科学技術・学術審議会情報委員会)等を参考にして分析を進めた結果、インタラクションが人間に与える影響の理論的・体系的な研究等が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「人間理解とインタラクションの共進化」を特定した。
3. 令和 4 年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「人間理解とインタラクションの共進化」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、情報科学技術と人間に対する理解の相互発展がなければ達成できない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や関連する研究者からの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

「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 1. (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

(b) あるべき姿とその実現に向けた方向性

Society 5.0 の実現に向け、サイバー空間とフィジカル空間を融合し、新たな価値を創出することが可能となるよう、質の高いデータによるデジタルツインをサイバー空間に構築し、それを基に AI を積極的に用いながらフィジカル空間を変化させ、その結果をサイバー空間へ再現するという、常に変化し続けるダイナミックな好循環を生み出す社会へと変革することを目指す。(中略)

このような社会を支えるのは、人材と社会インフラである。「数理・データサイエンス・AI」に関する素養を備え、社会のあらゆる分野で活躍する人材を大量に育成する。また、全国津々浦々まで次世代のインフラが整備された環境において、データや AI を活用する技術を実装する。これらを通じて、いつでも、どこでも、誰でも、データや AI を活用し、これまで実現できなかったようなサービスを次々と創出できる基盤を構築する。(中略)

さらに、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、データや AI の社会実装に伴う負の面や倫理的課題等にも対応し、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6期科学技術・イノベーション基本計画を踏まえた情報分野の振興方策」（令和4年3月23日科学技術・学術審議会情報委員会）2. 情報分野の研究開発課題

2. 1. 人間理解に基づく情報科学の新潮流の探求

- 情報科学技術の発展が社会からも求められている一方で、ソーシャルメディアのように情報科学技術を活用したサービスが、プライバシーや子どもの心理面を含む様々なものに大きな影響を与えることも懸念されている。また、フェイクニュースやインフォデミック、ソーシャルエンジニアリングのような新たな社会問題も生じている。
- それらの解消のため、脳機能・構造の解明等に向けた取組等を通じて人間にとっての「情報」に対する理解を深め、その理解に基づき人間・社会・文化を記述するモデル化技術等の情報科学技術を創出するとともに、情報科学技術が人間・社会・文化に与える影響を予測・分析し、人間・社会・文化の脆弱性を克服するための科学と技術を創造する。
- なお、日本語言語モデルなど日本固有の情報への配慮、人文・社会科学系との連携、新たな情報科学技術の活用が人間・社会・文化に与える影響を多面的に想定し、負の影響の軽減を製品やサービスの設計段階で取り入れる等のバイ・デザインでの取組にも留意することが必要である。

7. その他

脳科学、神経科学、認知科学、心理学や社会学を始めとする人文・社会科学等の幅広い分野の研究者の参画や、それによる関係領域の発展を期待する。

また、質的・分析的な研究も含めて、インタラクションが人間や社会、文化に与える影響の把握や、原理、機序の解明等を目指した研究を進めることが重要である。本戦略目標の下での研究推進により、情報科学技術と人間に対する理解のそれぞれの研究者により、双方の観点を持った個人研究や、相互深化・発展を目指した共同研究等が行われることを期待する。これらの推進により、情報科学技術と人間に対する理解の相互かつ連鎖的な深化・発展を志向する研究領域やコミュニティの創出・拡大を目指すことが、本戦略目標による成果を最大化するためにも重要である。

本戦略目標で目指すインタラクションの研究は、多様な価値観を持つ人々の相互理解の促進や、ELSI を集団・社会のインタラクションの問題であると捉えた解決アプローチの創出等に資する可能性を持ち、これらに限らず新たな社会像の実現や社会課題の解決につながることを期待できるものである。そのため、研究実施者が、自身の研究成果が実現することにより社会にどのような影響をもたらすのか、どのような課題の解決や社会像の実現につながるのか、などを想定して研究を進めることも重要であり、そのような提案を求めることも含め、事業のマネジメントにおける工夫を期待する。

令和5年度戦略目標

1. 目標名

革新的な細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明

2. 概要

近年、細胞操作技術の開発や細胞制御に関わる新たなメカニズムの解明は、我が国においても急速に進展している。特に、細胞操作技術に関しては、例えばゲノム編集技術のように、生命科学のみならず、医療や農業等の分野でも活用され、社会に大きく貢献しうるものであるため、我が国としても重点的に取り組む必要がある。また、細胞操作技術の開発にはその基礎として細胞制御機構を十分理解することが重要であるため、本戦略目標では、細胞制御機構の解明と細胞操作技術の開発を両輪として進めることとする。これまでにない新たなアプローチによる研究開発を推進するため、手法、生物種を特定せずに、多様な研究分野の研究者を巻き込むことで、革新的な細胞操作技術の開発や、細胞操作技術の開発を通じた細胞制御機構に関する新たな知見やイノベーションの創出等を目指す。

3. 趣旨

これまで JST-CREST「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)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、1細胞レベルの計測技術の開発や、オプトジェネティクスといった特定の生命現象の解明・操作技術の開発を目的とした研究を支援しており、細胞制御に関わる新たなメカニズムの解明や細胞操作技術の開発について、我が国においても推進してきた。

革新的なゲノム編集技術である CRISPR-Cas9 の開発が遺伝子研究を加速させたように、革新的な細胞操作技術は、生命科学研究の加速をもたらすとともに、医療などをはじめ関係する分野の研究開発を進展させ、社会に大きく貢献してきた。

近年においても、エピゲノムの編集技術や RNA 編集技術、細胞内の生体分子分解誘導技術など、細胞操作に関する新しい技術が次々と生まれてきている。革新的な細胞操作技術を開発することができれば、社会に対する大きな波及効果が期待され、国際的にも非常に活発に研究が行われているため、我が国としてもこれまで以上に重点的に取り組むべき分野といえる。

さらに、CRISPR-Cas9 は、ファージ感染に対する細菌の免疫システムを明らかにする研究の中で生まれたように、細胞制御機構の解明は新しい細胞操作技術の開発につながるものである。一方で、光遺伝学(オプトジェネティクス)の進展により、特定の細胞や神経経路のみを光によって活性化する操作技術が開発されたことで脳機能の解明につながっているように、新たな細胞操作技術の開発が新たな細胞制御機構の解明につながる側面もある。このように、細胞操作技術の開発と細胞制御機構の解明はお互いに密接に関わっている。

このため、本戦略目標では、細胞制御機構の解明と細胞操作技術の開発を両輪として一体的に進めることで、両者の需要・課題等を補えるような融合研究や、研究課題の大胆な見直しによる成果の最大化を促す。また、本戦略目標においては、これまでにない新たなアプローチによる研究開発を推進するため、手法、生物種を特定しないとともに、生命科学以外の多様な研究分野の研究者を巻き込むことで、医療への応用や、農作物の生産性向上・環境負荷の低減など多様な分野につながる革新的な技術シーズの開発を目指す。なお、細胞操作に関する技術シーズを社会実装する際には、個体における操作技術が不可欠となるため、個体への応用を見据えた研究開発が進むよう、取組を進める。

4. 達成目標

本戦略目標では、細胞制御機構の新たな操作技術や操作技術の開発を通じて細胞制御機構に関する新たな知見の創出等を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) 細胞制御機構に関する知見などを基盤とした革新的な細胞操作技術の開発

細胞制御機構に関する知見などを基盤として、遺伝子発現やタンパク質機能など操作の手段を問わず、あらゆるアプローチを対象に生命科学をはじめとする様々な分野で応用される細胞操作を目的とした革新的な基盤技術の開発を目指す。

(2) 細胞操作技術を用いた細胞制御機構の解明

既存技術の改良や組み合わせ、あるいは新規の細胞操作技術を用い、技術ノウハウ等の知見を蓄積するとともに、細胞制御機構の解明を目指す。

(3) 個体レベルで細胞操作可能な技術の開発

細胞操作技術の活用において、個体レベルでの操作における課題を明らかにし、実装可能な技術へのブラッシュアップや必要な技術開発に取り組む。将来的には、個体レベルへ応用できるという可能性にとどまらず、積極的な研究交流や共同研究により、個体レベルで細胞操作可能な技術の開発を達成目標とする。

5. 見据えるべき将来の社会像

革新的な細胞操作技術の開発を行うことで、これまでと全く異なるメカニズムによる植物の品種改良や新しい創薬モダリティにつながる事が期待される。また、細胞操作技術を用いた細胞制御機構の解明に関しても、生命科学の発展に寄与するだけでなく、創薬ターゲットの同定や新たな細胞操作技術の開発への貢献等により、社会への貢献が期待される。

これらの研究開発を通じて、最終的には農産物の生産効率上昇・物質循環効率改善や医薬品創成等に寄与し、安全安心で持続可能な社会の実現を目指している。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

(国内動向)

JST-CREST「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）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-）等において研究が進められ、1細胞オミクスの計測技術の開発や、オプトジェネティクスに関して様々な成果をあげている。

例えば、エピゲノムの精緻な解析および操作が世界的に大きな注目を集める中、我が国においては、1細胞レベルでのエピゲノムの解析、dCas9を活用したエピゲノムの精緻な改変技術の開発に成功するなど、世界をリードする研究成果を挙げている。

（国外動向）

米国DOEのBER組織内の生物システム科学チームは、2021年に研究目標として5つの領域（①Bioenergy Research、②Biosystems Design、③Environmental Microbiome Research、④Enabling Capabilities、⑤User Facility Integration）を掲げており、現象の理解とツールの開発を一体的に進めている。

また前述のCRISPR-Cas9は2020年にノーベル化学賞を受賞しているなど、世界的に非常に注目されている領域である。さらに最近の動向として、例えば、既知のメカニズムを利用して、特定の遺伝子発現を感知し、発現した細胞で任意の外来遺伝子等を発現させることが可能となる技術等、既知の現象や様々な技術を組み合わせることにより、新しい細胞操作技術が生まれている例がある。

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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケート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、細胞制御・操作に関わる新たなメカニズムの解明と技術そのものを開発する土壌が整いつつあり、これらの技術開発は全く異なるメカニズムの農産物の生産効率上昇・物質循環効率改善、医薬品創成に寄与し、重要な社会課題の解決に直結するとの認識を得て、注目すべき研究動向「細胞恒常性維持機構の理解と細胞操作技術の開発を特定した。
3. 令和4年12月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「細胞恒常性維持機

構の理解と細胞操作技術の開発」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最新の研究動向、融合研究の可能性、細胞レベルでの成果をどうやって個体レベルでの成果まで繋げていくか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。なお、ワークショップの指摘も踏まえ、戦略目標名は、「細胞制御機構の解明と細胞操作技術の開発」とした。

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 2022」（令和4年6月7日閣議決定）

第2章 新しい資本主義に向けた改革

1. 新しい資本主義に向けた重点投資分野

(2) 科学技術・イノベーションへの投資

社会課題を経済成長のエンジンへと押し上げていくためには、科学技術・イノベーションの力が不可欠である。特に、量子、AI、バイオものづくり、再生・細胞医療・遺伝子治療等のバイオテクノロジー・医療分野は我が国の国益に直結する科学技術分野である。このため、国が国家戦略を明示し、官民が連携して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。

第3章 内外の環境変化への対応

1. 国際環境の変化への対応

(4) 食料安全保障の強化と農林水産業の持続可能な成長の推進

我が国の食料・農林水産業が輸入に大きく依存してきた中で、世界の食料需給等を巡るリスクが顕在化していることを踏まえ、生産資材の安定確保、国産の飼料や小麦、米粉等の生産・需要拡大、食品原材料や木材の国産への転換等を図るとともに、肥料価格急騰への対策の構築等の検討を進める。今後のリスクを検証し、将来にわたる食料の安定供給確保に必要な総合的な対策の構築に着手し、食料自給率の向上を含め食料安全保障の強化を図る。

7. その他

本戦略目標は手法等を特定しないことから、生命科学系の研究者や化学系の研究者など幅広い研究者が関与しうる目標である。また、分野融合や手法の組み合わせにより、多様な成果の可能性があることから、本戦略目標を通じた新たな連携により、革新的な研究課題の提案及び成果の創出を期待する。

令和4年度戦略目標

1. 目標名

社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新

2. 概要

最先端の研究開発現場においては、研究対象が、複雑・不均一な階層構造・物質変化に特徴を持つ実用材料等へと拡大してきている。これらを詳細に把握・解析・制御するためには、従来の計測・解析技術の単なる改良といった逐次改善・条件別すり合わせのアプローチでは困難であり、複雑怪奇な対象物を的確に捉えられるような、計測・解析手法のブレイクスルーが求められる。歴史に鑑みても、科学技術の進歩は「見」て「気づく」ことで大きく飛躍している。

「計測は科学の母」とも言われるように、科学技術の発展の歴史は、計測技術の発展の歴史でもあった。革新的な計測技術の創出は、既存の研究対象の深掘りに留まらず、これまでになかった全く新しい研究分野の開拓につながる可能性を秘めている。計測・解析手法のブレイクスルーなしでは、2050年カーボンニュートラルの実現やSDGs等の世界的な社会課題の解決は成し得ず、計測・解析技術は、材料、創薬・医療、環境・エネルギー等の数多くの研究分野において、将来的に、国際競争力を強化するために不可欠なキーテクノロジーの一つとなることは疑いようがない。

本戦略目標では、平成28年度戦略目標「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」において開拓を目指した「情報計測」分野（計測技術と情報科学・数理科学等を組み合わせることにより、見えない物理量を計る・見えなかった変化を見る・見つけられなかった変化を見つけること等の実現を目指す新たな分野）をさらに発展させ、次世代の計測・解析技術を徹底的に追求し、先端計測から意味抽出までの過程、すなわち「見る→気づく→わかる」という研究開発上の重要なプロセスそのものを変革させることで、社会課題解決に向けた実用技術開発の基礎・基盤を構築し、研究開発競争が激化する国際社会において、10年・20年先の未来で我が国が世界最前線で挑戦し続けられる骨太なイノベーション・システムを創出することを目指す。

本戦略目標を推進する際のポイントを以下に示す。

- ① 計測過程や計測ハードウェアそのものの高度化・先鋭化により、これまでの限界を突破して「見る」の可能性を拓くこと
- ② 直感的に理解することが困難であった複雑な計測データから、インフォマティクス等を利用し、新しい知見を効率的に引き出し活用する、という「気づく」「わかる」の過程までを視野に入れた革新的な分析・解析手法の確立を目指すこと
- ③ マルチスケール・マルチモーダルで多面的な情報を得る計測技術の開発を図るとともに、多面的な計測データを統合・分析することで、より完成度の高いモデルの構築が可能な分析・解析技術を開発すること

- ④ この研究の新しいアプローチが、「計測のための計測」「インフォマティクスのためのインフォマティクス」等、手段の自己目的化に陥ることなく、様々な社会課題解決に資する研究開発において技術的なブレイクスルーをもたらすものとなるよう、社会課題解決を志向した利用研究のモデルケースの開拓を図ること

我が国が提唱する Society 5.0 では、フィジカル空間のセンサーからの膨大な情報をサイバー空間に集積し、そこで膨大なビッグデータを人間の能力を超えた AI が解析し、その結果を人間にフィードバックすることを通じて、これまでには出来なかった新たな価値を産業や社会にもたらすことが目指されている。本戦略目標における社会課題解決を志向した革新的な計測・解析プロセスは、Society 5.0 が目指すあり方を、研究開発プロセスにブレイクダウンして実装するためのツールとなることが期待される。

3. 達成目標

本戦略目標では、研究開発における新しいアプローチの方策を確立し、2050 年カーボンニュートラルの実現や SDGs 等の社会課題解決・実課題解決に資する革新的な計測・解析プロセスの創出を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

(1) 先端計測限界突破

計測手法の飛躍的進展による、「これまでに見ることはできなかったものを見る」技術を確立する。(⇒「見る」の可能性を拓く)

(2) 計測データインフォマティクス活用

計測技術とインフォマティクスを組み合わせることで、「理解が困難な計測データから知見を引き出す」技術を確立する。(⇒「見る」を「気づく」「わかる」につなぐ)

(3) マルチスケール・マルチモーダル計測、ユースケース開拓

(1)(2) で構築した技術その他を活用し、様々なスケールにまたがる階層構造や、様々な物理量をより多面的に収集・分析・モデル化する一連の手法を確立する。さらにこれらを実際のユースケースの開拓へつなげる。(⇒「見える」「気づく」「わかる」から「できる」を引き出す)

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、社会課題解決を志向した革新的な計測・解析プロセスを構築することで、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・ 2050 年カーボンニュートラルの実現や SDGs 等の社会課題・実課題の解決に資する実用材料開発等において、世界と戦い得る研究成果の創出に向けて挑戦し続けられる社会
- ・ 我が国の研究力・産業競争力の基盤である計測・解析技術が一段高いレベルに引き上げられ、様々な分野において研究生産性やものづくりの効率が向上している社会
- ・ 計測/インフォマティクス/実用化・製品化、の各コミュニティが融合し、新しい科学の方

法論を提供し続けるプラットフォームが構築されている社会

5. 具体的な研究例

(1) 先端計測限界突破

複雑な挙動や構造の実用材料、実用デバイス、生体高分子等に係る研究開発において、計測技術の不足が根源的なボトルネックとなり、かつ、個々の材料開発・技術開発の延長線上にある計測技術改良のみでは超えられない壁がある難計測課題の解決、あるいは、これまでに誰も見たことのない領域に切り込む革新的計測手法について研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・材料内部のメソスケールの領域で起きる化学反応・電子状態の不均一分布の時間変化測定
- ・時間分解能と空間分解能の両立
- ・内部・界面の物理・化学状態や形状変化の精密計測の実現
- ・微量成分計測・追跡、計測再現性の確立
- ・異なるスケールで連動して起きる現象の解明（マルチスケール計測）
- ・異なる性質の間の関連性が分からない課題の解決（マルチモーダル同時計測）

本達成目標に関しては、将来の社会課題の解決や新たな研究開発領域を切り開くものであれば、画期的な計測ハードウェアの開発でも、計測ハードウェアの計測限界をインフォマティクスとの融合により突破するものでも構わない。事業期間中の進捗に応じて、他の達成目標と協働した研究もあり得る。

(2) 計測データインフォマティクス活用

近年、現実のデバイス中の機能性材料（例えば燃料電池中の触媒や電極のナノ・メソスケールでの変化）等、複雑で人間が直感的に理解するのはもはや困難であるような事例が分野を問わず散見されるようになってきている。これらの課題について、計測科学と情報科学・数理統計学・計算科学などを融合させることで研究開発上のブレイクスルーを図る取組みを行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・メソスケールレベルの不均一化学状態・電子状態等について、3次元大容量データを生み出す精密計測技術と機械学習やシミュレーション技術を融合させ、データ内に潜在する相関関係の発見・仮説の提示等を計測から一気通貫に行う統合システムの開発
 - ・既存の類似材料に対する測定データを教師データとして、測定点を最適化し、未知の材料に対して短時間で精度の高い構造解析を行うシステムの開発
 - ・計測実験中に、それまで得られたデータから以後の計測データを予測し、それに基づいてより適切な計測条件を提案する人工知能介入型計測システムの開発研究
- なお、事業期間中の進捗に応じて、他の達成目標と協働した研究もあり得る。

(3) マルチスケール・マルチモーダル計測、ユースケース開拓

現実の物質は、均質で全く変化しないなどということはほとんどなく、多くの場合、一時・一部分の原子配列・分子配列だけを見ても全体の特性を反映していない。さらには、階層構造を為し、全体としてモノの機能を左右する。このような場合、原子分子～ナノ～メソ～マクロスケールをバラバラに考えていても高度な技術開発は難しい。また、現実の物質では、化学結合、価数、元素分布、形、歪みや硬さ分布等の力学要素、電位、温度分布等が絡み合っており、それぞれの物理量をバラバラに考えても解決しない問題も多数存在する。さらには、それらを整合的に扱えるだけの精度をもった一連の計測データが入手できないことも多い。

これらの困難の解決には、スケールや種類の異なる複数の計測を適切に組み合わせるだけでなく、それらのデータを総合する多くの解析技術の組み合わせが必要となる。本戦略目標では、上記のようなマルチスケール・マルチモーダル計測の統合等、計測・解析技術を現実の材料開発に適用する際に不可避となる課題について、何らかの個別の材料開発等をモデルに、次世代の計測技術と分析・解析技術を総合的に活用することで、研究開発過程がどのように革新され得るのかを具体的に示すことを目的に、ユースケースの開拓研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・燃料次世代蓄電池用の各種機能性材料の電気化学的劣化メカニズムの分析と長寿命化
- ・複合材料、接着剤の破壊メカニズムの分析と強靱化
- ・リサイクル・アップサイクルを前提としたプラスチック・ゴムなどの新高分子材料の開発
- ・高温超伝導をはじめとした強相関電子系におけるメカニズム解析や不純物等の影響評価、それを活用した材料等の実用化

その他、上記(1)、(2)との連携及び、他の戦略目標等とのシナジー効果についても期待されている。

6. 国内外の研究動向

自然科学の新たな動向・大きな転機として科学技術の研究開発プロセスにおいて、マテリアルズ・インフォマティクスによる物質設計、プロセス・インフォマティクスによる生成過程設計をはじめとして、様々な段階で情報科学・計算科学を活用し、インテリジェント化する流れが進行しており、従来型の「実験科学」、「理論科学」に加え、「計算科学」、「データ駆動科学」が第3、第4の科学として成長しつつある。

この流れの中で、マテリアルズ・インフォマティクス、プロセス・インフォマティクスにとどまらない、創り上げたモノ、イキモノ等が実際にどうなっているかについて先端技術を駆使して計測し、データ駆動科学による高度解析と連動させることで、人間の手作業では到達しにくい新たな知見を引き出す研究事例が散見されるようになってきており、新たな萌芽がみられる状況にある。

(国内動向)

JST 未来社会創造事業 探索加速型「共通基盤」領域（2018 年度～）、では、計測機器開発等を中心に現在も研究が進められているが、基礎フェーズの研究として応募できるものは科研費以外には、未来社会創造事業 大規模プロジェクト型「界面マルチスケール4次元解析による革新的接着技術の構築」（2018 年度～最大 10 年間）、CREST「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明」（2019～2026 年度）、科学研究費補助金 新学術領域研究「ハイパーマテリアル：補空間が創る新物質科学」（2019～2023 年度）、「蓄電固体界面科学」（2019～2023 年度）、「ハイドロジェノミクス：高次水素機能による革新的材料・デバイス・反応プロセスの創成」（2018～2022 年度）、「ミルフィーユ構造の材料科学-新強化原理に基づく次世代構造材料の創製」（2018～2022 年度）、特別推進研究「原子・イオンダイナミクスの超高分解能直接観察に基づく新材料創成」（2017～2021 年度）、JST 戦略的創造研究推進事業 ALCA「先端的低炭素化技術開発」（2010 年度～）、NEDO「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」（2016～2020 年度）、文部科学省が実施している「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」（2012～2021 年度）などの個々の研究開発プロジェクトの一部として、特定の計測技術を取り上げることはあったが、計測技術自体を対象とした基礎研究フェーズの大型プロジェクトとしては、過去に「先端計測分析技術・機器開発プログラム」（2004～2020 年度）、JST CREST/さきがけ「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」（2016～2023 年度）があるものの、いずれも既に公募を終了している。（出典：CRDS 戦略プロジェクト「機能解明を目指す実環境下動的計測の革新」）

（国外動向）

米国連邦政府の基本政策としては、2007 年米国競争法の一部に計測科学への言及が行われ、主要な政策実施機関として、商務省傘下の国立標準技術研究所(NIST)の強化が進められてきた。例えば、NIST 3 カ年計画書(FY2017-2019)では、サイバー・フィジカルシステム(CPS)分野における計測科学の基礎研究の推進、データ駆動型技術に必要な計測技術の開発などが提案されている。（出典：CRDS 計測横断チーム調査報告書「計測の俯瞰と新潮流」）また、PNNL 主導のバッテリー500コンソーシアムにおける研究開発では、放射光測定技術、機械学習、シミュレーションなどを連動させ、電極の劣化を抑制しつつエネルギー密度の大幅向上を図るなど、産学連携による計測インフォマティクスのアプローチの胎動も見られる。

英国では2017年3月にはメイ内閣・ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)より「国家計測戦略(UK measurement strategy)」が発表された。この世界トップレベルの国家計測システムを利活用するという英国の計測ビジョンを実現するために、5つの戦略テーマ — ①優れた政策、基準、規制を確保、②エンドユーザとの繋がりの深化、③英国の計測技術の向上、④信頼に足るデータの合理的かつ効果的な利用、⑤世界をリードする計測インフラへの投資 — を特定している。ドイツ連邦政府の「アクションプラン・ナノテクノロジー2020」では、計測の研究開発は国際標準(ISO/TC24)に準拠させていくことが急務であると指摘された。具体例として毒性影響評価、化学物質仕様、リスクアセスメントツール、試験方法の開発など、幅

広い種類のアプリケーションの測定技術が挙げられている。この他、欧州では、欧州シンクロトロン放射光研究所（ESRF、フランス）、ダイヤモンド放射光源（DIAMOND、英国）、スイス放射光源（SLS、スイス）などの放射光施設や、ラウエ・ランジュヴァン研究所（ILL、フランス）など大型研究施設を利用した研究開発も活発である。

中国では、「産業技術体系の整備による競争優位の構築」において、幅広く使われるナノ材料の人体への影響を評価するナノ材料安全に関する計測技術、バイオ技術の利用がもたらす危険を防ぐためのバイオセキュリティにおける観測技術・追跡技術、食品の品質に関する迅速な測定技術、およびリアルタイムにオンライン情報に反映する食品安全モニタリングネットワーク技術が重要領域と指定されるなどしている。（出典：CRDS 計測横断チーム調査報告書「計測の俯瞰と新潮流」）

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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び GRDS 戦略プロポーザル「機能解明を目指す実環境下動的計測の革新 ～次世代オペランド計測～」、同「研究機器・装置開発の諸課題 - 新たな研究を拓く機器開発とその実装・エコシステム形成へ向けて - (-The Beyond Disciplines Collection-)」、同「人工知能と科学 ～AI・データ駆動科学による発見と理解～」、同「革新的デジタルツイン～ものづくりの未来を担う複合現象モデリングとその先進設計・製造基盤技術確立～」、GRDS 報告書「デジタルトランスフォーメーションに伴う科学技術・イノベーションの変容 (-The Beyond Disciplines Collection-)」、GRDS 計測横断チーム調査報告書「計測の俯瞰と新潮流」等を参考にして分析を進めた結果、今後、社会課題の解決に資する優れたデバイス、装置、技術を開発して世界市場に提供し続けていくためには、“革新的な計測・解析プロセス”の果たす役割は特に大きいとの認識を得て、注目すべき研究動向「社会課題解決を志向した計測・解析プロセスの革新」を特定した。
3. 令和 3 年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「カーボンニュートラルをはじめとした社会課題の解決に資する革新的計測インフォマティクスシステムの創出」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、中長期的にみて

我が国の研究開発力の底上げや、社会課題の解決等に資する新たな計測－解析－理解のプロセスの革新の方向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個別聞き取り調査、前年に実施したワークショップ「次世代オペランド計測 ～機能計測による新しい科学技術へ～」での議論等を踏まえ、本戦略目標を策定した。

8. 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）

- ・まず、データの共有・利活用については、研究の現場において、高品質な研究データが取得され、これら研究データの横断的検索を可能にするプラットフォームの下で、自由な研究と多様性を尊重しつつ、オープン・アンド・クローズ戦略に基づいた研究データの管理・利活用を進める環境を整備する。特にデータの信頼性が確保される仕組みが不可欠となる。また、これらに基づく、最先端のデータ駆動型研究、AI駆動型研究の実施を促進するとともに、これらの新たな研究手法を支える情報科学技術の研究を進める。
- ・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提示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たさせていく。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。

「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4章2（2）基本方針2：データ駆動型研究開発基盤の整備 ～強みに立脚した差別化～

- ・擦り合わせ型のマテリアル産業の強み、すなわち高度な製造プロセス技術、それを支える計測・分析機器、加工、装置企業が持つ高度な技術力が、世界における我が国のプレゼンスと国際交渉力の生命線となっている。

3. 開発ライフサイクルから見た取組の方向性

- ・データ駆動型マテリアル開発技術の徹底した先行による競争優位の確保（材料から製造装置までのセット化、産学連携による先端計測機器開発、共用設備の戦略的整備、リバースエンジニアリングの不可能化等）。

第5章1（2）アクションプラン

研究開発手法の革新のための、表面・界面・粒界制御、反応制御、原子・分子の自在制御等の

「物質と機能の設計・制御技術」や、マテリアルデータの構造化、ハイスループット技術、高度な計測、分析、加工、精密プロセス技術、スマートラボラトリ化、安全性・信頼性・リスク評価等の「マテリアルの共通基盤技術」

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

9. その他

近年、2050年カーボンニュートラルの実現やSDGs等、解決すべき社会課題という「山」は、より高く、より険しくなっている。この「山」に対し、ただ闇雲に登るだけでは、その全体像はもちろんのこと、自身の現在地すら見失い、遭難してしまう。

本戦略目標は、計測・解析技術という、高く険しい山に登るためのいわば「装備」について、真正面から見つめ直し、腰を据えて革新させていくことを目指すものである。この背景には、様々な研究分野において共通なボトルネックの一つとなっているのがこの計測・解析技術であり、個別の研究分野の技術開発の片手間では決して成し得ない、非常に困難な課題である、という危機感がある。

計測・解析技術は、サイエンスの「手段」であると同時に、そのものが研究者を未知なる世界へと誘う「鍵」であると言える。過去のノーベル賞受賞テーマを振り返ってみると、計測・解析技術関連のテーマが非常に多く、さらに、これらのテーマの多くは、現在に至るまで最先端の研究開発現場で活躍し続けている手法であることがわかる。このことから、この技術分野が、新しいサイエンスの潮流を切り拓くものであることは疑いようがないと言える。

本戦略目標において、革新的な計測・解析技術を核に社会課題解決を目指していく新たなコミュニティが立ち上がり、中長期的に我が国の様々な研究開発分野の底上げに貢献できるような、骨太なイノベーション・システムが構築されることを強く期待する。

令和4年度戦略目標

1. 目標名

文理融合による社会変革に向けた人・社会解析基盤の創出

2. 概要

COVID-19の感染者数予測等により、社会シミュレーションを政策へ活用することが注目されているものの、感染抑制に伴う経済への影響等、複合的な社会状況を社会シミュレーションに反映することにはまだ課題があり、相反する要因や、人が必ずしも合理的な行動をとらないこと等の想定が求められている。一方、人々の活動は、スマートフォンやPCを使った際のデータとして蓄積されており、位置や移動の情報、SNSでの発信、webでの検索ワード、アプリケーションやオンラインゲーム使用時の入力情報や動き方等のデータには、個々人やコミュニティの様々な行動特性や関心事・嗜好が内包されている。そこで、このような人々の活動データの分析を通して行動特性や嗜好を導出し、社会シミュレーションに含めることができれば、複合的な社会の状況やメカニズムの理解や可視化をすることができ、より複雑な政策のシナリオや事業戦略等を、効果的にかつ社会受容性高く遂行するプロセス革新が可能になると考えられる。これにより、人々にとってより良い社会への変革に繋がることが期待できる。

データから人や社会の行動特性や嗜好を引き出すためには、人や社会を主な対象とする人文科学や社会科学の方法論に基づく分析と検証は必須である。また、人や社会の特性等のモデル化・数値化や社会シミュレーションへの導入には、人文・社会科学と自然科学との連携が求められる。さらに、政策シナリオや事業戦略等を効果的で社会受容性の高いものとするためには、属性ごとの施策やメッセージの影響の違いを考慮する等の人文・社会科学での知見を、社会シミュレーションやその社会実装プロセスに盛り込むことが重要である。このような、人文・社会科学の知見と自然科学の技術との融合により人や社会を解析する基盤（以下「人・社会解析基盤」という。）は、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合により経済発展と社会的課題の解決の両立を図る Society 5.0の実現に向けた中核的技術として重要であり、パンデミック時の感染抑制と経済損失の分析に加えて、地震や豪雨等災害時の被害想定や避難シナリオの導出等、日本が備えておくべき危機管理能力に繋がるものである。また、平時においても、イベント等混雑が起きる場合の効果的な人流誘導等にも活用できる。さらに、格差等の社会的課題に対して、相互理解の醸成や効率的・効果的な社会設計、社会受容性の高い政策決定、合意形成等に繋がることが期待できる。加えて、人・社会解析基盤の創出に向けた研究の中で、複合的な社会の構造やメカニズムの理解が進むことで、人文・社会科学の知見を更に深めることにも繋がると考えられる。

本戦略目標では、人文・社会科学と自然科学を融合することで、人や社会のマルチスケール（個人、コミュニティ、社会）での様々なデータから人と社会を理解し、それに基づき政策シナリオ等のシミュレーションを行う解析基盤を創出するとともに、これを用いて、行動変容等

が促進された社会変革に繋げることを目指すものである。

3. 達成目標

本戦略目標では、人文・社会科学と自然科学を融合することで、人や社会のマルチスケールでの様々なデータから人と社会を理解し、それに基づき政策シナリオ等の社会シミュレーションを行う解析基盤を創出するとともに、これを用いて、行動変容等が促進された社会変革に繋げることを目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 個人、コミュニティ、社会からのデータの収集、分析、モデル化による人や社会の理解
- (2) 政策シナリオ等導出のためのマルチスケール社会シミュレーション技術の創出
- (3) 社会プロセス革新に繋がる手法の確立

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、社会シミュレーションにより導出したシナリオに基づく政策立案・意思決定・合意形成等の手法を確立することで、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・人が必ずしも合理的な行動をとらない場合や相反する利害の調整などに対応する政策シナリオの導出等を行うことができるようになり、有事の危機に備えられるとともに、平時においても、効率的・効果的な社会設計や社会受容性の高い政策決定、合意形成が促進される。
- ・SNS やインターネット上のデータから、人の行動特性や嗜好がどこまでわかるのかといったことや、人や社会現象の理解が促進され、それらの知見が蓄積される。
- ・人文・社会科学系の研究者と自然科学系の研究者との研究コミュニティが形成されることで、分野間の理解が促進され、以後の融合研究が促進される。

5. 具体的な研究例

(1) 個人、コミュニティ、社会からのデータの収集、分析、モデル化による人や社会の理解
マルチスケールでの、人や社会のデータもしくは人文・社会科学の知見に基づく、人や社会の行動特性・嗜好の導出や行動判断等をもたらす要因の特定、及びそれらのモデル化・数値化等の研究を行う。

- ・SNS、ネットメディア、アプリケーション、web アンケート等のデータからの、個人やコミュニティの行動特性・嗜好・行動要因等の導出やコミュニティ・属性等の社会構造の導出
- ・認知バイアスや参照点依存等、人やコミュニティの行動特性・嗜好・行動要因等に関する人文・社会科学の知見・方法論のモデル化・数値化
- ・エスノグラフィーや現地調査等による、属性・コミュニティ・地域ごとの行動分析
- ・脳科学、心理学等による認識や認知等の解析

(2) 政策シナリオ等導出のためのマルチスケール社会シミュレーション技術の創出

モデル化・数値化した人や社会の特性を導入したマルチエージェント等のシミュレーションにより、政策立案・決定等に資するシナリオを導出する研究を行う。

- ・コミュニティや属性ごとの行動特性、嗜好等のシミュレーションへの導入と多様な政策シナリオ等の導出
- ・コミュニティや社会が持つ多様な価値観や法体系まで含めた社会モデル（社会のデジタルツイン）の構築
- ・シミュレーションの複雑化（多層化、マルチモーダル化、統合連携等）、逆シミュレーション、データ同化の技術の構築
- ・SNS データやオープンデータ等を利用したリアルタイムでのシミュレーション技術と利用データの偏りの可視化技術の創出

(3) 社会プロセス革新に繋がる手法の確立

導出された政策シナリオ等を効果的で社会受容性高いものとし、人々の行動変容の促進をはじめとする社会変革に繋げるための方法論を確立する研究を行う。

- ・社会シミュレーションにより導出した多様で膨大な政策シナリオ等の解析技術の構築
- ・各シナリオでの政策の社会への影響評価法（経済への影響等）の導出
- ・社会受容性を踏まえた政策シナリオ等の実社会への適用手法の探索
- ・ナッジ等行動変容を促進する方法論のシミュレーション導入に向けたモデル化手法の探索

これらを循環させることにより、社会システムの持続的な発展が実現できる。

6. 国内外の研究動向

社会シミュレーションの代表的な活用事例である COVID-19 に関しては、国内外とも、従来の感染メカニズムモデル (SIR) からより複雑なマルチエージェントの適用が進み、感染者数拡大等の現象の理解や予測が進展している。マクロな経済の指標との関連も分析され始めているが、複合的な社会状況を模擬する社会シミュレーションには、まだ課題がある。

また、人文・社会科学とデータやシミュレーションが連携した取組である計算社会科学に関しては、平成 21 年 (2009 年) の Science 誌において” Computational social science” (計算社会科学) と題する論文が出されており、そこでは、インターネットでのメールやクレジットカード処理等の痕跡には我々の生活や社会の理解を一変させる可能性がある、と言及している。さらに、その後の 10 年間でこの分野が爆発的に進展していることが、令和 2 年 8 月の Science 誌論文” Computational social science: Obstacles and opportunities” (計算社会科学：障害と機会) で指摘されている。加えて、Nature 誌においては、令和 3 年 7 月に計算社会科学の特集が組まれていることから、最近の関心の高まりが伺える。

(国内動向)

内閣官房 COVID-19 AI・シミュレーションプロジェクトにおける感染者数予測が、緊急事態宣言等の政策の判断に活用されている等、社会シミュレーションへの関心が高まっている。また、社会シミュレーションを活用する研究としては、科学技術振興機構（JST）未来社会創造事業「超スマート社会の実現」領域の探索研究において、マルチエージェントでの MaaS (Mobility as a Service) の取組（令和元年度からの「サイバーとフィジカルの高度な融合に向けた AI 技術の革新」）や、シミュレーション技術を活用した政策立案に向けた手法開発や社会リスクに対応する意思決定システムの開発（令和 2 年度からの「異分野共創型の AI・シミュレーション技術を駆使した健全な社会の構築」）等が実施されている。

計算社会科学を含む人文・社会科学と情報学が連携した動向としては、JST 社会技術研究開発センター（RISTEX）の「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」において、分野融合型（自然科学と人文・社会科学等）のアプローチで、問題解決のための技術・方法論等を開発するとともに、さらに「サービス科学」の研究基盤構築を目指した研究開発が、平成 28 年度まで実施された。また、平成 25 年に神戸大学に、社会科学、計算科学、データサイエンスの融合領域である計算社会科学における共同研究を推進し、計算科学とデータサイエンスに基づいた新しい社会科学としての計算社会科学の確立と体系化を目指した国際研究拠点として計算社会科学研究センターが設立された。さらに、日本での計算社会科学の普及と発展を目指して、社会学、心理学、経済学、情報学、物理学など様々な分野の研究者が集まり、研究発表や議論、情報共有を行う場として、平成 28 年に計算社会科学研究会が発足し、令和 3 年には計算社会科学会へと発展しており、自然科学と人文・社会科学が融合したコミュニティとなっている。

SNS に加え、インターネット系の企業では、各種アプリケーションやネットメディア、ソーシャルゲーム等を通じたユーザーの行動分析により、社会受容性の向上等、製品、サービスへの活用が進んでおり、企業と大学等との共同研究が進んでいる等、人文・社会科学の知見への産業界の関心も高まっている。

(国外動向)

COVID-19 のシミュレーションに関しては、コロラド大学ボルダー校他の SIR モデルとマルチエージェントモデルを組み合わせた取組や、マサチューセッツ工科大学での SIR モデルで人口を若年・中年・老年世代の 3 グループに分割して経済と感染拡大のトレードオフを分析した事例等が、内閣官房 COVID-19 AI・シミュレーションプロジェクトにおいて紹介されている。

関連する国際会議 IC²S² (International Conference on Computational Social Science) は、平成 27 年以降欧米を中心に毎年開催されており、受理されたアブストラクト数で見ると、特に米国の多さが際立っている状況にある。その米国では、DARPA によるオンラインでの社会のふるまいを忠実度高くシミュレーションする革新的技術開発を目指した研究プログラムである” Computational Simulation of Online Social Behavior” や、NSF で、データサイエンスおよびネットワークサイエンスの研究を活用することにより、人間の行動および人間が環境と

どのように相互作用し、影響を受けるかについての理解を深める研究を行う Human Networks and Data Science (HNDS) などのファンディング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 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 の戦略プロポーザル・科学技術未来戦略ワークショップ報告書「Society 5.0 実現に向けた計算社会科学」等を参考にして分析を進めた結果、社会シミュレーションへの人や社会の行動特性や嗜好の導入が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「マルチスケール社会シミュレーション」を特定した。
3. 令和 3 年 12 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「マルチスケール社会シミュレーション」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、社会シミュレーションを活用した社会変革の具体例やそれらの活用に向けて必要となる研究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との議論等を踏まえ、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 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 2. (2) 25 年ぶりの科学技術基本法の本格的な改正

- ・ 今後は、人文・社会科学の厚みのある「知」の蓄積を図るとともに、自然科学の「知」との融合による、人間や社会の総合的理解と課題解決に資する「総合知」の創出・活用がますます重要となる。科学技術・イノベーション政策自体も、人文・社会科学の真価である価値発見的な視座を取り込むことによって、社会へのソリューションを提供するものへと進化することが必要である。

第 2 章 1. (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

- ・ 未来社会像を具体化し、政策を立案・推進する際には、人文・社会科学と自然科学の融合に

よる総合知を活用し、一つの方向性に決め打ちをするのではなく、複数シナリオや新技術の選択肢を持ち、常に検証しながら進めていく必要がある。

第2章 1. (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

(b) あるべき姿とその実現に向けた方向性

- ・ Society 5.0 の実現に向け、サイバー空間とフィジカル空間を融合し、新たな価値を創出することが可能となるよう、質の高い多種多様なデータによるデジタルツインをサイバー空間に構築し、それを基にAIを積極的に用いながらフィジカル空間を変化させ、その結果をサイバー空間へ再現するという、常に変化し続けるダイナミックな好循環を生み出す社会へと変革することを目指す。
- ・ また、行政機関が「データホルダー・プラットフォーム」としての役割を担い、ベース・レジストリの整備や、行政サービスに関連したデータの標準化と民間への開放を進めるとともに、教育、医療、防災等の分野に関しては、国が整備する安全・安心で信頼できるデータプラットフォームを官・民が一体となって活用することで、あらゆるモノやサービスに関する多種多様なデータを基にしたデジタルツインをサイバー空間に構築する。

9. その他

人や社会の行動特性や嗜好を取り入れた社会シミュレーションにより、地震や豪雨等災害時の被害想定や避難シナリオの導出、パンデミック時の封じ込めによる感染抑制・経済損失の分析とそれらに基づく政策シナリオの導出等を行うことができる。このような取組は、日本が危機管理能力として備えておくべき仕組みであるとともに、平時においても、イベント等混雑が起きる場合の効果的な人流誘導等、効率的な社会設計に活用することができる。また、ダイバーシティ、格差、政治的分断、経済活動と環境の関連などの社会的課題に対しても、人、コミュニティ、社会の理解とそれを考慮した社会シミュレーションが、課題解決に向けた施策の導出や相互理解の醸成に繋がる。これらに繋げるために、本目標による研究開発体制を通して、人文・社会科学、自然科学を含め、関連分野の研究者を集めたコミュニティを構築することが重要である。

データに関しては、オープン化が進む公共データに加え、SNS やアプリケーション等オンラインデータ等、インターネット系企業の情報も活用できることが望ましい。これらのデータを活用することにより、人や社会の理解が促進される。ただし、収集できるデータに偏りが起こり得るため、偏りを考慮して利用することが必要である。

データの分析結果やシミュレーション結果を活用する際の前提として、分析・予測結果が社会に影響することを踏まえて、ELSI の観点での配慮は必須である。また、行動変容の促進においては、それが悪用とならないよう、倫理的な配慮が必要である。さらに、関心を得やすいテーマであることを踏まえ、研究推進時及び成果等の発信の際には、扱う内容の社会的インパクトを考慮することが必要である。

今後、戦略的創造研究推進事業として進めるにあたり、人文・社会科学と自然科学の融合を

行う上では、人文・社会科学と自然科学の研究者の両方が評価されることが必要である。成果や採択の評価において、特定の分野の尺度だけでなく、他の分野の尺度や実績でも評価されることが望ましい。また、研究者がデータを活用できる機会を増やすためには、アイデアや研究開発成果の民間企業を始めとする外部機関との共有の機会を増やす等、戦略的創造研究推進事業のマネジメント側での工夫が必要である。

令和3年度戦略目標

1. 目標名

資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御

2. 概要

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

- (1) 結合活性化法・結合制御法の開発

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

- ・炭素－炭素結合などの安定結合を活性化し、選択的に結合切断できる触媒反応の開発

- ・外部刺激等により有機・無機化合物における結合形成・開裂を自在に制御する技術の開発

(2) 寿命を制御できるサステナブル材料の設計

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

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

(3) 材料分解のための階層構造制御

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

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

6. 国内外の研究動向

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

(国内動向)

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

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

資源循環の社会ニーズからのバックキャスト型研究として、平成 29 年度未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」、令和元年度未来社会創造事業「低炭素社会実現のための循環型高分子材料の創製」、令和 2 年度ムーンショット目標「2050 年までに、地球環境再生に向け

た持続可能な資源循環を実現」などにおいて研究開発が開始されている。本戦略目標ではシーズに基づく基礎科学の立場で研究を進めるが、将来の社会像としては共通しており、領域・事業間の情報共有によって本戦略目標の達成に近づくと期待される。

(国外動向)

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

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

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

7. 検討の経緯

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

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

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

(3) 令和元年12月に、文部科学省とJSTは共催で、当該研究動向に関係する産学の有識者

が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行った。そこでの議論を踏まえ検討を進めた。

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

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」（平成28年1月22日閣議決定）

第2章（3）〈2〉ii) 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

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

第3章（1）①ii) 資源の安定的な確保と循環的な利用

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

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

4（1）ii) 戦略的・持続的に取組を進めるべき研究領域

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

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

「統合イノベーション戦略2020」（令和2年7月17日閣議決定）

第5章 戦略的に取り組むべき基盤技術

(4) マテリアル

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

○我が国の強みをいかした循環経済の実現に向けて、資源循環に関する情報プラットフォ

ーム構築などデジタル技術等を活用した革新的な資源循環ビジネスの創生・普及、代替素材、次世代リサイクル等の革新技術の研究開発や実証・社会実装等に取り組む。

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

② 本質研究の追及

＜フォアキャスト型で取り組むべき技術領域の例＞

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

9. その他

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

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

令和3年度戦略目標

1. 目標名

元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探査空間の開拓

2. 概要

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

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

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

- (1) 多元素化・複合化における機能発現メカニズム解明と物質創製・プロセス技術の確立
 先端プロセス等により、多元素化・複合化における機能発現メカニズム解明の研究を行う。
 - ・ ハイスループット実験・機械学習等のデータ駆動科学を活用することによる探索可能な材料空間の拡張と機能発現メカニズムの解明に関する研究
 - ・ マルチスケール・マルチモーダル計測と材料組織形成過程の理解による高機能化の指針を構築する研究
 - ・ 革新的機能を持つ多元素化・複合化を活用した未踏材料を創製する精密熱制御、混合制御等 の先端プロセスに関する研究
- (2) 高度プロセス制御による準安定相の創製
 温度、圧力、雰囲気等の精密制御により、準安定相の創製の研究を行う。
 - ・ 雰囲気ガスなど、プロセス環境を非平衡条件、極端反応条件などに制御することによる、新 物質合成手法を確立する研究
 - ・ 基板からの応力などを利用し、通常プロセスでは合成できない多様な相を安定化する研究
 - ・ 高度なオペランド計測技術、及びプロセス中の現象を可視化するイメージング計測技術とデータ科学との融合により、材料創製プロセスを最適化し、産業化につながる革新的なプロセスを実現する研究

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

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

科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) の第 11 回科学技術予測調査によると、本戦略目標に関連する「新規構造・機能の材料と製造システムの創成」、「ICT を革新する電子・量子デバイス」、「計測と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術」等の領域は分野融

合のポテンシャルが高く、推進すべき領域であるとの記述がある。

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

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

（国外動向）

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

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

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

データ駆動型の材料探索に関する研究については、米国ではMaterials Genome Initiative（MGI）が平成23年から開始されており、今後さらなる加速が予測される。また、中国では、平成26年から中国版MGIが継続している。欧州ではHorizon 2020の下でNOMAD（The Novel Materials Discovery Laboratory、平成27～30年）が行われてきた。

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

7. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基

づき、以下のとおり検討を行った。

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

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」（平成28年1月22日閣議決定）

第2章（3）② ii) 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

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

第3章（1）③ ものづくり・コトづくりの競争力向上

- ・計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料、構造材料等の創製

「統合イノベーション戦略2020」（令和2年7月17日閣議決定）

第5章 戦略的に取り組むべき基盤技術

（4）マテリアル

- マテリアルの知が高確率でスピード感を持って実装され、AI、バイオ、量子技術、環境といった重要政府戦略の実現の加速や、国内外の重要課題の解決に貢献するとともに、我が国発のマテリアルから新しい価値、研究領域、産業領域が創出されることを実現
- 高品質なマテリアルデータを用いて優れた研究成果を創出することを目的とした、重要技術・実装領域に狙いを定めた、データ収集・活用と理論・計算・実験が融合する戦略的な研究開発プロジェクトについて、2020年度から検討を進め、必要となる取組を速やかに実施する。

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

<フォアキャスト型で取り組むべき技術領域の例>

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

9. その他

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

令和2年度戦略目標

1. 目標名

自在配列と機能

2. 概要

グラフェン、ダイヤモンド等の炭素同素体、DNA、タンパク質等の生体高分子、液晶分子、ガス分離膜等の機能材料に見られるように、物質の特性や機能は組成だけでなく配列構造に大きく依存しており、原子や分子の並びを制御することは機能材料設計においても重要な要素である。また、構造純度を高めることは材料やデバイスの機能向上に直結している。

本戦略目標では、原子や分子を一次元から三次元まで思い通りに配列させる技術や、配列の順序を自在に制御する技術を開発することによって、機能材料設計の新しい指針を得ることを目的とする。その際、配列構造の原子レベルでの解析や電子状態の計測技術等の開発にも注力し、材料物性・機能との相関を解明することにより、ナノスケール配列制御に由来する特性を機能材料として活用する方法論の体系化を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、原子や分子を思い通りの位置や順序で精密に配列させる技術を開発するとともに、配列に由来する材料機能との相関を解明することによって、機能材料設計の新しい指針を獲得することを目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 一次元～三次元配列や順序を制御する技術の開発と体系化
- (2) 配列構造の解析・計測技術の開発
- (3) ナノスケール配列により生み出される物性・機能を活かした材料の創製

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、これまででない新機能材料等を基盤技術として様々な分野や領域に普及させることにより、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・制御された配列により発現する機能を活かした、高機能かつ省エネルギーデバイスにより実現される超スマート社会
- ・マルチスケールで階層制御された信頼性の高い機能材料が可能にする安全・安心な社会

5. 具体的な研究例

- (1) 一次元～三次元配列や順序を制御する技術の開発と体系化

原子や分子を自在に一次元～三次元配列させるための基盤技術を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・モノマーを望み通りの順序に配列させるシーケンス制御高分子合成法の開拓

- ・異種原子の繰り返し構造を有する二次元物質の創製
- ・デンドリマーやMOF（金属有機構造体）、セラミックスなどを鋳型とする原子の三次元配列手法の確立

(2) 配列構造の解析・計測技術の開発

ナノスケールでの配列構造や電子状態等を計測・解析する技術を開発し、配列と物性・機能の相関を解明する。また、材料設計の新しい指針を探索する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・原子レベルの分解能を有する解析技術の開発
- ・ナノスケール配列からメゾ・マクロスケール領域での物性を予測するマルチスケールシミュレーション手法の開発

(3) ナノスケール配列により生み出される物性・機能を活かした材料の創製

ナノスケール配列により発現する物性・機能を活用する方法論を確立し、革新的な機能材料を開発する。具体的には以下の材料開発に関する研究等を想定。

- ・幾何学構造を利用した高精度な分離材料
- ・原子や分子の並びを鍵とするセンシング材料や高効率発光材料
- ・二次元物質の層構造制御による超伝導材料

6. 国内外の研究動向

原子・分子の配列を制御して物性・機能発現を目指すことは化学・物理のグランドチャレンジであり、我が国が組織的に取り組むことによって先導的な役割を果たすことができる。我が国の強みである精密性を生かし、ナノスケールから高精度で物質を作り上げる技術が見出され、本戦略目標の推進に必要な基盤技術が整いつつある。

(国内動向)

新学術領域研究「原子層科学」（平成 25～29 年度）、「配位アシンメトリー」（平成 28～令和 2 年度）、戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」（平成 24～令和元年度）、「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」（平成 25～令和 2 年度）、「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」（平成 26～令和 3 年度）等の関連プロジェクトにより、二次元物質創製や自己組織化、機能性分子の精密合成や分子レベルの空間空隙を利用する新材料に関する研究が実施され、ナノスケールから高精度で物質を作り上げる技術が見出されつつある。

(国外動向)

グラフェンをはじめとする二次元物質に関して、EU では Graphene Flagship に代表される大型プロジェクトが動いており、また、英国や中国などでは専門の研究所が設立されるなど巨額の投資がなされている。また、MOF 材料開発やナノ計測分野など国際的に競争が熾烈である。

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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び JST-GRDS で行われた『俯瞰ワークショップ ナノテクノロジー・材料分野 区分別分科会「機能と物質の設計・制御～材料科学の未来戦略～」』等を参考に分析を進めた結果、機能性材料開発において原子や分子レベルでの配列制御や階層構造制御が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「原子・分子の自在配列に基づく機能材料の創製」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「原子・分子の自在配列に基づく機能材料の創製」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行った。そこでの議論等を踏まえ、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> ii) 新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

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

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

4 (1) (ii) 戦略的・持続的に取組を進めるべき研究領域

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

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

9. その他

これまでの戦略事業や新学術領域研究などの関連施策において得られている成果の活用や形成されている研究者コミュニティとの積極的な連携等が望まれる。その際、マルチスケールシミュレーション等の取組みにおいては、研究者コミュニティ内で適切なデータ管理ポリシーを考慮したうえで、既存データを積極的に利活用することが望まれる。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、効果的・効率的に研究を推進することを期待する。

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、柔らかい材料の構造ダイナミクス等、新しい情報担体を利用して、アクチュエータなどデバイス側で情報処理を効率的に行う技術の研究が進められている。

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

(国外動向)

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

7. 検討の経緯

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

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

2. 上記アンケートの結果及び 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度・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・高速度で流通するための「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度化や多様化を実現する「エッジコンピューティング」

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

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

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

4 (1) ii 戦略的・持続的に取組を進めるべき研究領域

- ・IoT/AI 時代の革新デバイス：(前略) Society5.0 時代の高度なサイバー・フィジカルシステムの実現には、(中略) こうしたデバイスに用いられる半導体、MEMS/NEMS や量子科学技術といった先端技術の飛躍的な進展に必要なマテリアルの革新を推進することが重要である。

- ・ロボットを革新するマテリアル：(前略) 軽量で柔軟かつ環境の変化に対応した動作が可能なアクチュエータや、(中略) 多様な臭い物質の検知や皮膚表面での圧力検知が可能なインテリジェントセンサ、(中略) 人間と円滑にコミュニケーションするためのデバイス等の新たなマテリアルの開発が重要である。

9. その他

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

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

令和2年度戦略目標

1. 目標名

信頼されるAI

2. 概要

近年、AI技術を用いたシステムやサービスが広がるなど、様々な形でAI技術が社会の中に浸透しつつある。このような中、「人間中心のAI社会原則」（平成31年3月統合イノベーション戦略推進会議決定）を踏まえ、人工知能（AI）の社会実装を推進するための「AI戦略2019」（令和元年6月統合イノベーション戦略推進会議決定）が策定され、「信頼される高品質なAI」（Trusted Quality AI）の開発の重要性等が打ち出された。

その一方で、現在のAI技術の中心である深層学習（ディープラーニング）は、大量の教師データを必要とし、また結果の説明性・納得性の向上や公平性の確保、未知ケースでのせい弱性の克服等、信頼性・安全性に関する課題が指摘されるようになった。さらに、データ自体についても、フェイク情報の流通やデータ改ざん等、信頼性・信ぴょう性に関わる問題が発生している。

このような課題に対して、現在のAI技術を対象とした対策が喫緊の課題となり、産業界ではコンソーシアム等による対策の検討も始まっているが、その限界を超えたAI技術そのものの発展・革新が必要であるほか、社会からの要請に応え得る根本的な信頼性確保が求められる。本戦略目標では、今後のAIの進化と信頼性確保のための基盤技術の開発を行う。

3. 達成目標

本戦略目標では、「人間中心のAI社会原則」に基づいた「信頼される高品質なAI」（Trusted Quality AI）の創出に向けた研究開発を推進する。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 現在のAI技術の限界を克服する新技術の創出
- (2) AIシステムの信頼性・安全性を確保する技術の創出
- (3) データの信頼性確保及び意思決定・合意形成支援技術の創出

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、AI技術の信頼性・安全性の問題やデータの信頼性・信ぴょう性の問題等への対策が可能になり、信頼される高品質なAI技術（Trusted Quality AI）が社会に実装され、人間がそれを幅広く活用することで、社会の中で安心してAIを利用できる人間中心のAI社会実現に貢献する。

- ・ AI技術を応用したシステムの安全性・信頼性が高まり、社会の様々な場面でAI技術を安心して活用できる社会
- ・ AI技術と人間の親和性が高まり、AI応用システムが人間に寄り添い、意図や文脈を理解して人々の生活・活動を適切にサポートしてくれる社会
- ・ 発信される情報や流通するデータの信頼性が高まり、人々が主体的に意思決定や合意形成を行える社会
- ・ AI応用システムの開発・運用の負荷が軽減されるとともに、システムの信頼性・品質の高さが日本の強みとなり、AI応用産業が広がる社会

5. 具体的な研究例

(1) 現在の AI 技術の限界を克服する新技術の創出

現在の AI 技術の限界が指摘されており、その限界が「信頼される AI」実現の阻害要因となっているため、AI 技術そのものの発展・革新に向けた研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・人間の脳情報処理や認知発達過程に関する知見に基づく新しい AI 原理の研究
- ・深層学習のような帰納的な処理と知識・言語による推論・プランニング等の演えきのな処理を最適に融合させた AI 技術の研究
- ・大量教師データが与えられなくても、実世界環境との相互作用を通して、知識獲得・成長する AI 技術の研究

(2) AI システムの信頼性・安全性を確保する技術の創出

AI に対する社会的要請への対応のため、AI システムの信頼性・安全性を確保するための研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・判断・推論の根拠を説明できる AI を実現するための技術の研究
- ・未知・想定外ケースや環境変化にも頑健な AI を実現するための技術の研究
- ・(1)にあげたような新しい AI においても、AI システム全体の安全性・信頼性の確保、品質保証を可能とする技術の研究

(3) データの信頼性確保及び意思決定・合意形成支援技術の創出

人間中心の AI 社会を実現するため、データの信頼性・信ぴょう性の確保及び主体的意思決定支援のための研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・フェイクニュース、フェイク動画、データ改ざん等を検知し対処する技術の研究
- ・人間が主体性・納得感を持って、適切かつ迅速に意思決定・合意形成することを支援するための技術の研究

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

達成目標(1)については、新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」(平成 28～令和 3 年度)や CREST「知的情報処理」(平成 26～令和 3 年度)において、脳情報処理や認知発達過程に関する研究と AI 研究を融合する取り組みが行われている。

達成目標(2)については、AI の説明可能性(XAI)と品質保証(QAI)を主要課題とした研究領域として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「ロボット・AI 中核技術開発」の「人工知能の信頼性に関する技術開発」、科学技術振興機構(JST) 未来社会創造事業 超スマート社会領域の「AI 技術の革新」が平成 31 年度に設定された。

達成目標(3)については、フェイク対策につながる基礎研究が CREST「共生インタラクション」(平成 29～令和 6 年度)やさきがけ「社会情報基盤」(平成 26～令和元年度)に、また、集合知の醸成を目指した研究が CREST「知的情報処理」や JST 未来社会創造事業「持続可能社会」領域において行われている。

(国外動向)

EUの「信頼できるAIのための倫理指針」、Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)の「倫理的に配慮されたデザイン」等、AIの倫理に関する国際的な議論や指針策定が進んでいる

米国においては、DARPA（国防高等研究計画局）によって「説明可能なAI（XAI）」に平成29年から約80億円の投資がなされ、国防上の意思決定のためAIの説明性を強化する取組が進められている。その他、平成28年からは「Media Forensics」に投資を行い、フェイク動画検出を含む情報の信ぴょう性・正確性に関する研究開発も強化している。また、平成30年には「AI Next Campaign」を発表し、20億ドル以上の大型投資を実施した。

これからの第3の波を「Contextual Reasoning」（「文脈適応」または「文脈推論」と位置付け、説明可能なAI（XAI）を目指した研究開発を進めようとしているなど、「信頼されるAI」の重要性は米国等他国においても認識されている。例えば、EUは、既に「Trusted AI」を対象に含めた研究共同公募を実施している実績があるほか、安全性・信頼性・プライバシー等を重視しているという点で日本と類似性がある。

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、AIの信頼性を確保するための基盤技術の構築が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「人間中心社会におけるAIの信頼性を支える基盤技術」を特定した。
3. 令和元年12月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「人間中心社会におけるAIの信頼性を支える基盤技術」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、これからの人工知能の進化やそのために必要な信頼性確保のための技術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

「AI戦略2019～人・産業・地域・政府全てにAI～」(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)

II. II-2

まずは、日本の強みを活かし、我が国の将来を活性化させるため、①実世界領域へのAIの

展開と、②インクルージョンのためのA I との2つを大きな柱とし、これに連なる技術体系の構築と、基礎研究を推し進め、さらに、応用・実装を促進していくことが肝要である。また、これらの柱の前提として、我が国は、信頼される高品質なA I (Trusted Quality AI) を開発する一連の技術と運用ノウハウを確立することが重要である。これは、「人間中心のA I 社会原則」の理念を反映する観点からも、競争優位性を確立する観点からも重要である。

III. III-2

A I 技術の発展を根本から支えるものは、大量のデータである。質の高いデータを収集し、サイバー攻撃などのリスクなどから守りながら、それらを分析・解析に活用することは極めて重要である。

このため、我が国においても、諸外国に遅れることなく、政府や民間が有するデータの連携・標準化に取り組む必要がある。そして、その過程においては、ビッグデータの中の偏りを防止し、A I 活用のリスクが生じないようにしなければならない。

他方で、データや真正性、更には本人確認といった点における、信頼確保が極めて重要である。既に、米国では政府調達分野でのトラスト基盤、EUでは共通トラスト基盤の構築が進められており、我が国でも関連の検討が開始されているが、例えば、サプライチェーン全体のセキュリティ確保（「サイバー・フィジカル・セキュリティ対策フレームワーク」）などの検討を加速していかなければならない。

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、理化学研究所や情報通信研究機構 (NICT)、産業技術総合研究所 (AIST) 等において、AI 戦略に基づいた研究が進められており、機械学習の理論研究、社会実装に向けた応用研究等を中軸とした研究を行っている。一方、信頼される AI に関する研究開発については、現在の AI 技術の限界を克服するための原理（パターン処理と記号処理の統合等）に基づく新たな AI の開発や、それによる AI の信頼性確保等の要請に応えようとするものであり、幅広い基礎研究を行うことが求められる。本戦略目標では、こうした理化学研究所等における研究と適切に連携しながら実施することが求められる。また、海外動向を踏まえ、必要に応じた国際連携の推進を期待する。

令和元年度戦略目標

1. 目標名

ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明

2. 概要

材料の力学特性をコントロールするためには、原子・分子レベルの局所的な構造変化や化学変化を捉え、それらがマクロスケールの力学特性とどのようにつながっているかを理解することが必要である。近年、ナノスケールの動的挙動を計測する技術やナノスケールとマクロスケールの現象を統合的に解析する技術の進展が顕著であり、原子や分子の動的挙動やモルフォロジー変化と力学特性との関連が明らかになりつつある。

このため、本戦略目標では、物質の内部や界面で生じる原子・分子の運動、微細組織の構造変化や化学変化等のナノスケール動的挙動を解析・評価する技術をさらに発展させ、マクロスケールの力学特性を決定している支配因子や作用機構を解明することを目指す。さらに、金属・セラミックス・ポリマー等の各種材料領域において蓄積された知見を融合することによって類似点と相違点を見出し、特定の材料に依存しない普遍的な学理を構築することを目指す。これによって、力学特性や劣化挙動等を制御するための指針が得られ、材料の高機能化や信頼性向上につながるだけでなく、新たな力学機能を有する革新的材料の創出が期待できる。

3. 達成目標

本戦略目標では、ナノスケール動的挙動の解析・評価を通じて力学特性の発現機構を解明するための研究を推進し、マクロスケールの力学特性を制御するための指針を獲得することを目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 力学特性の支配因子と作用機構の解明
- (2) 動的ナノスケール評価技術の確立
- (3) 新たな力学機能につながる材料設計指針の確立

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、確固とした学理に基づく新しい材料設計指針を獲得し、国が掲げる「超スマート社会」を支える基盤技術として強化すべき材料技術を発展させることにより、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・ 構造材料の軽量化や低摩擦化による省エネルギー性能の向上を通じた持続可能な社会
- ・ 力学特性可視化技術や自己修復機能による製品信頼性の向上を通じた安全・安心な社会
- ・ 力学特性制御により付加価値の高い革新的材料が生み出され、新たな産業が創出される社会

5. 具体的な研究例

(1) 力学特性の支配因子と作用機構の解明

金属・セラミックス・ポリマー等の各種材料において、力学特性が発現する機構をナノスケール動的挙動との相関に基づいて解明し、さらに、特定の材料に依存しない共通学理を構築する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・各種材料の組成や組織、微細構造等の動的挙動をナノスケールで制御することによる、力学特性との相関の解明
- ・ナノ構造変化や化学変化等、実環境下において摩擦・摩耗等の力学現象の裏側に潜む支配因子を抽出することによる作用機構の解明
- ・材料科学分野において用いられている経験則をナノスケール動的挙動から見直すことによる、新たな理論式の導出

(2) 動的ナノスケール評価技術の確立

その場計測技術やマルチスケールシミュレーション技術等を発展させ、力学特性の指標化につながるナノスケール動的挙動の解析評価技術を確立する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・ナノスケールの動的挙動や、破壊・腐食・摩耗等の複合現象における化学反応等の素過程を可視化するための計測・シミュレーション技術の開発
- ・計測・計算技術により得られた情報から力学性能の支配因子を抽出し、力学特性の評価指標につなげる方法論の確立

(3) 新たな力学機能材料につながる設計指針の確立

トレードオフ関係にある力学特性の両立、自己修復による長寿命化、力学特性や劣化状態の可視化等、複合材料を含めた新たな力学機能材料の設計指針を確立する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・各種材料において、従来はトレードオフ関係にあると考えられていた複数の力学特性を両立するための材料設計指針の確立
- ・力学特性の可視化技術や自己修復機能により、製品寿命や資源サイクルまで含めて設計された、これまでにない革新的な力学機能材料を実現するための新たな指針の提案

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

SIP「革新的構造材料」、ImPACT「超薄膜化・強靱化「しなやかタフポリマー」の実現」、東北発素材技術先導プロジェクト「超低摩擦技術領域」等において、材料分野と機械分野の研究者が協働して産業応用を指向した材料開発が推進されている中で、力学現象の本質的理解につながるナノスケール動的挙動の重要性が認識されつつある。また、CREST「情報計測」により微小

な物理量や現象に対するリアルタイム計測技術の開発が進み、本戦略目標の推進に必要な基盤技術が整いつつある。

(国外動向)

米国「Materials Genome Initiative」や欧州「Horizon2020」において、力学材料を含む新素材開発が進められており、中国においても「中国製造 2025」における重点分野として新素材（ナノ素材）が位置付けられている。また、ナノスケールとマクロスケールの現象を一体的に取り扱うマルチスケールシミュレーションが、計算科学系の学会を中心に大きく発展している。しかしながら、国の施策としてナノスケールの動的挙動と力学特性とを一体的に捉えた取り組みはなく、日本が先導的な役割を確保できるものと期待される。

7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び2017年12月に開催されたJST科学技術未来戦略ワークショップ「メカノファンクショナルマテリアル」での議論（2019年2月戦略プロポーザル「トランススケール力学制御による材料イノベーション」発行）を参考にして分析を進めた結果、マクロな力学特性を決定づけているナノスケール動的挙動の理解が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「新機能につながるナノスケール力学制御」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「新機能につながるナノスケール力学制御」に関係する産学の有識者を招聘してワークショップを開催し、注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクト、実施期間中に達成すべき目標等について議論を行った。そこでの議論等を踏まえ、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（3）2 ii)

- ・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」

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

第 2 章 (2) [B] 2 ii)

- ・新たな機能や特性を有する構造材料、機能材料、バイオマテリアル等の材料技術

「ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略」（2018 年 8 月第 9 期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会策定）

4 (1) (ii)

- ・構造材料：(前略) ナノスケールで材料の表面や界面を制御し、ナノの特性をマクロにつなげていくことや情報科学の活用が重要である。

9. その他

2016 年度に発足した CREST/さきがけ「情報計測」において、ナノスケールの情報をマクロスケールの材料特性へとつなげるために必要な基盤計測技術の研究を推進しており、本戦略目標と、成果の活用や技術交流による連携等が望まれる。また、高強度レーザーや大規模情報処理に代表される先進的な解析技術や、学术界と産業界が一体となった材料開発における膨大なデータを保持する欧米諸国との連携により効率的な研究推進を期待する。

令和元年度戦略目標

1. 目標名

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

2. 概要

計測技術や計算機性能の飛躍的向上に伴い、大量のデータが得られるようになり、「ビッグデータ」活用の必要性が指摘され、AI（人工知能）が様々なデータの活用を通じて新たな価値を生み出すようになってきている。このような急速な技術の進展は、情報科学分野のみならず、その背後にある数学の力を活用したものである。

しかしながら、我が国においては数学・数理科学と情報科学との連携は十分ではなく、これが、ページランクや差分プライバシー、圧縮センシング等の新しい概念を創出する米国等との差を生む要因の1つと考えられている。

このことから、本戦略目標では、現状の問題点（「情報をデータ化すること自体が難しい」「データ自体が少ない、ビッグデータがあっても整理されていない等の場合には対応が困難」等）を踏まえ、データ駆動型アプローチと現象のメカニズムを抽出する数理モデル型アプローチのそれぞれの強みを相補的に生かしながら連携・融合することにより、実社会の情報を活用し尽くすことのできる数理的情報活用基盤の創出を目指す。これにより、様々な科学分野や産業界における情報活用手法のパラダイム変換をもたらすとともに、数学・数理科学による情報科学自体の飛躍的な革新や、高度な数学を実社会の情報の活用に応用できる人材の輩出を狙う。

3. 達成目標

本戦略目標では、現状のAIやビッグデータ解析等データ駆動型のアプローチだけでは必ずしも十分に活用されていない実社会の情報を活用し尽くすための基盤を創出することを目指す。具体的には、以下の2つの達成を目指す。

- (1) 数学・数理科学と情報科学の連携・融合による、数学の発想を取り入れた革新的な情報活用手法の創出に資する理論及び技術の構築
- (2) 様々な分野や産業界における情報の活用を加速・高度化する次世代アプリケーション基盤技術の創出

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、現状のアプローチだけでは必ずしも十分に活用されていない実社会の情報を活用し尽くすための基盤を創出することが期待できる。また、複雑な要素が相互に絡み合う複合的現象のように数理モデル化自体が難しい場合でも、データ駆動型のアプローチとの連携により予測やシミュレーションが可能になることが期待される。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。

- ・データ自体が少ないレアイベント（疾患や製造現場の異常、災害等）の予測や予兆検出が可能になることにより、安全・安心が実現する社会
- ・これまで熟練者の経験知・技能に依存してきた産業界や医療現場等において「経験知」や「コツ」等の抽出・活用が可能になることにより、少子高齢化社会や後継者不足等の問題を克服した持続的成長の実現が可能な社会
- ・日本発の革新的な情報活用手法の創出を通じて実現が期待される、世界をリードすることができる社会

このほか、高度な数学を実社会の情報の活用に応用できる人材が育成され、Society5.0を継続的に支える優秀な人材の輩出が期待される。

5. 具体的な研究例

(1) 数学・数理科学と情報科学の連携・融合による、数学の発想を取り入れた革新的な情報活用手法の創出に資する理論及び技術の構築

数学・数理科学と情報科学の連携・融合により、情報の取り扱い・解析・結果の活用等における諸課題を分野横断的に解決することを目指し、数学の発想を取り入れた革新的な情報活用手法の創出に資する理論及び技術の構築を目指した研究を行う。

1) 情報の取扱い技術の高度化に向けた研究例

- ・自然言語情報・感覚等の計算可能なデータへの変換（情報のデジタル化、記号化）
- ・データの品質・信頼性保証やサンプリング
- ・データの匿名化（プライバシー保護とデータの社会的利活用の両立）
- ・データの数学的尺度を用いた再構成（データの数学的構造や特徴の抽出、圧縮・縮約、ノイズ除去等）

2) データの解析技術の高度化に向けた研究例

- ・数理モデル型とデータ駆動型の相補的連携によるデータの解析（原理的なメカニズムの抽出、数理モデルの精緻化、シミュレーションの効率化等）
- ・計算機の計算コストの削減・計算高速化（近似計算、疑似乱数活用、計算アルゴリズム最適化等）

3) 結果の活用手法の高度化に向けた研究例

- ・解析結果の理由の説明、信頼性の保証、解析結果の社会的利活用と個人情報保護との両立

(2) 様々な分野や産業界における情報の活用を加速・高度化する次世代アプリケーション基盤技術の創出

個別の分野や業界における課題を解決し、その分野や業界において情報を最大限活用することを可能とする基盤技術（アルゴリズムやソフトウェア等）の創出を目指した研究を行う。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

数学・数理科学と情報科学における相互の連携は決して十分なものではなかったが、ここ数年、情報科学の困難な課題を数学で解こうとする機運が急速に高まりつつある。例えば、2014年度から始まったさきがけ「数学協働」領域では、機械学習や計算機科学、情報理論等の研究者が数学者と連携しながら活動している。また、日本数学会においても、2018年3月と9月に「Society5.0と数学」と題するワークショップが開催され非常に多くの聴衆が集まる等、関心の高さをうかがわせている。このほか情報科学と数理科学の双方の知見を活かしたデータ活用手法（例えば、データ同化、トポロジカルデータ解析、圧縮センシング、差分プライバシー等）を含む論文数を見ると、日本は2016年までの10年で10倍近く増加し、世界第5位となっている。

(国外動向)

米国では従前よりいわゆる純粋数学だけでなく、応用数学、統計学、コンピュータサイエンス等も含めて「数学」と捉えられており、情報科学と数理科学の連携の土壌が醸成されていることから、パラダイムを変えるような革新的な情報活用手法が生まれてきたと言える。

また、国際的な論文動向を見ても、情報科学と数理科学の双方の知見を活かしたデータ活用手法の論文数が、2013年頃から急速に伸びており、情報科学と数理科学の連携・融合の動きが国際的にも活発になっている。

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（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケート結果や、日本数学会において実施した「Society5.0と数学」ワークショップ、文部科学省とJSTが協力して実施した企業21社（製造業、IT産業、金融・サービス業等）のIT・AI関連部門の技術者へのヒアリング調査等の情報を踏まえて、注目すべき研究動向として「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」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「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」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（3）2 i）

（略）

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。

「人工知能技術戦略実行計画」（2018年8月17日策定 一部抜粋及び加筆）

JSTファンディングによる若手人材の育成が具体的な取組例として更なる充実を期待されている。

9. その他

本戦略目標の実施にあたっては、戦略的創造研究推進事業の関連領域（CREST「数理モデリング」領域やさきがけ「数学協働」領域等）や理化学研究所革新知能統合研究センターとの効果的な連携を図る。また、本戦略目標は、数学的素養を持つ情報科学研究者や情報科学の問題に取り組むことのできる数学・数理科学研究者を戦略的に育成する土台となることが期待される。なお、本戦略目標に関する最新の国際的研究動向に柔軟に対応し、戦略的に米国をはじめとする諸外国との連携を検討していく。

平成 30 年度戦略目標

1. 目標名

トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出

2. 概要

”トポロジー”に基づいた新たな物質観によって導かれる新たな物質群の創出とその基礎学理の構築及びトポロジカル材料を応用した革新的デバイス創成の基礎技術を開拓する。「トポロジカル絶縁体」に代表される様々なトポロジカル量子材料に加え、磁性、光学、メカニクス、ソフトマター（高分子材料・ゲル材料など）分野など、広範な領域における“トポロジカル材料科学”の探求とその材料・デバイス応用を目指すことで、原理的にその性能向上の限界が顕在化してきているエレクトロニクスデバイス分野等において新たなパラダイムを築き、Society5. 0を支える基盤強化等へ貢献する。

3. 達成目標

本戦略目標では、“トポロジー”の概念で特徴づけられる全く新しい物性の創出を目指し、基礎学理からシーズ育成研究、応用研究までを数学理論の概念を通して統合し、新たな機能を持つトポロジカル材料の開発や小型化、高速化、低消費電力化、耐傷・伸縮性向上などに資する革新的材料及びデバイスの創出を目指す。具体的には、デバイス創出に関しては企業による実用化を志向した研究開発への着手を目指すよう産業界等とも連携し、以下の達成を目指す。

- (1) トポロジカル材料科学の理論体系の構築
- (2) トポロジカル材料の設計、創製、計測・評価技術の創出
- (3) トポロジカル材料を応用した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」に記載した事項の達成を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・量子演算技術の進歩による 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超高性能デバイスの創出によって、我が国が目指す Society5. 0 の実現に貢献する社会。
- ・光ファイバー・通信デバイス等の革新により、低損失かつ超高速な通信を実現し、通信、情報処理の高速化や医療技術の高度化などによる快適な生活を実現する社会。
 - ・新たな機能を有する材料の創出が、メカニクスやソフトマター分野など多くの分野へ波及することで、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) トポロジカル材料科学の理論体系の構築
新しいトポロジカル相の探索とその理論的解釈、マヨラナ粒子など物質中の準粒子の発見。

光、熱、機械的振動、超分子の高次構造、機能性ポリマー材料等への展開。それらの基盤となるバンド理論、第一原理、分子動力学など、量子力学や相対性理論と位相幾何学を融合した新しい量子物性論の確立。統一的な数学理論による分野融合の材料科学の構築。

(2) トポロジカル材料の設計、創製、計測・評価技術の創出

周期構造をもつ結晶性物質に加え、アモルファスや準結晶などの非晶質における新しいトポロジカル物質の探索、マテリアルズインフォマティクスを応用した材料探索。角度分解光電子分光法、電子顕微鏡、超解像顕微分光法など、電磁場を原子分解能で観察・評価する新規超解像顕微分析技術の開発。原子層レベル結晶成長／ヘテロ構造積層、原子レベル界面制御、ナノ加工・接合技術、真空制御、極低温制御技術、化学合成の開発。汎用化を目指した新規大量創製技術の開発。

(3) トポロジカル材料を応用した革新的デバイスの創出

トポロジカル絶縁体を用いた超低消費電力電子デバイス、トポロジカル超伝導体のマヨラナ粒子を用いた量子コンピューティング法の開発と設計など、トポロジカル量子材料に基づく新規量子電子デバイスの創製。スキルミオンを用いた超高密度データ記録デバイスや医療用超高感度磁気センサなどトポロジカル磁性材料に基づく新規磁気デバイスの創製。トポロジカル光学構造による単一方向伝搬光導波路、光遅延技術を用いた光メモリデバイス、低損失高速通信技術など、トポロジカル光学材料に基づく新規光学デバイスの創製、トポロジカル高分子材料による超弾性素材や新規ソフトマターなどの創製。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

2010年から科研費・新学術領域において「対称性の破れた凝縮系におけるトポロジカル量子現象」（領域代表者：前野悦輝・京大教授）が開始されたのを皮切りに、「トポロジカル量子現象」が世界的に広く認知されるきっかけとなり、超伝導、絶縁体、超流動体、冷却原子系など広範な物性を対象に分野融合型プロジェクトを我が国は世界に先駆けて推進した。2009年最先端研究開発支援プログラム「強相関量子科学」（中心研究者：十倉好紀・理研センター長）、2010年最先端・次世代研究開発支援プログラム「トポロジカル絶縁体による革新的デバイスの創出」（中心研究者：安藤陽一・阪大（現ケルン大）教授）へと発展し、世界を牽引する成果を数多く創出した。これらの研究成果は、2015年科研費・新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」（領域代表者：川上則雄・京大教授）、東北大学 WPI-AIMR「トポロジカル機能性材料」、2017年科研費・新学術領域「次世代物質探索のための離散幾何学」（領域代表者：小谷元子・東北大教授）など、広範な学術分野へさらに活発な深化を見せており、その基礎学理形成の下地が整いつつある。

(国外動向)

米国 Microsoft Research の Station Q の取り組みをはじめ、欧州、中国など、世界各地において、トポロジカル材料を工学応用に着手する動きが激化しており、米国 NSF の「10 Big Ideas for Future NSF Investments」における「6つの研究アイデア」の一つとして、量子システムの活用が挙げられるなど、材料の量子効果を積極的に応用する動きがある。この背景には、トポロジカル材料の基礎研究と、将来の量子デバイスの基礎としてのポテンシャルの高さが共通の認識としてある。2016年のノーベル物理学賞に「物質におけるトポロジカル理論」のほか、2010年のグラフェン、2012年の量子光学に関する研究にノーベル物理学賞が授与されており、トポロジカル材料に基づく量子現象が高いポテンシャルを有するとの認識を示していると考えられる。

これまで材料開発・材料創出の分野では我が国が世界を先導する一方で、我が国も参加する「Topo-Q International Network」という国際ネットワークが形成され連携が強化されつつある。

7. 検討の経緯

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

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

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

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センターの各分野ユニット」、「日本医療研究開発機構のプログラムディレクター等」及び「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「トポロジカル材料科学と革新的デバイス創出」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「トポロジカル材料科学と革新的デバイス創出」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)

- ・戦略プロポーザル「トポロジカル量子戦略」(JST-CRDS : 2017 年 3 月)
- ・科学技術未来戦略ワークショップ「トポロジカル量子戦略～量子力学の新展開がもたらすイノベーション～」(2016 年 12 月開催)
- ・日本物理学会 科学セミナー「トポロジーがひらく新しい科学」(2017 年 8 月 19 日、20 日)
- ・応用物理学会 特別シンポジウム「物質中のトポロジー: 応用にどのように結びつくのか？」(2017 年 9 月 7 日)

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) 「超スマート社会」における競争力向上と基盤技術の強化

新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

- ・革新的な構造材料や新機能材料など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「素材・ナノテクノロジー」
- ・革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、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「光・量子技術」

「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) [C] <2> ii)

- ・超小型・超低消費電力デバイスの開発 (センサ、アクチュエータ、半導体デバイス含む。)
- ・個別システムを支えるナノテクノロジー・材料技術の開発・実証

9. その他

- ・科研費・新学術領域に、「次世代物質探索のための離散幾何学」(H29-33, 領域代表: 小谷元子)、「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」(H27-31, 領域統括: 川上則雄)が進行中である。これら 2 領域は、トポロジカル物質科学に関する基礎学理の構築が研究の主眼である。本目標では、次世代の革新的デバイスの創出を見据え、実用化に適うトポロジカル材料の探索と創製、評価・計測技術、デバイス化技術の創出を主眼としている。これらの研究領域は人的・研究知見的に相互に連携し、学理構築、トポロジーの概念を用いた新規機能性材料創製、およびトポロジカル材料を応用した革新的デバイス創出を有機的に進展させることが期待される。
- ・本戦略目標の推進にあたっては、トポロジーの概念を他分野へ波及させることにより新しい機能を有する材料を創出することが求められる。その際既存の社会像にとどまることなく、新たな社会像を提案するような材料・デバイスの創出も期待される。

- ・国際的な戦略としては「Topo-Q International Network」等の国際的な連携の場を活用し、米国・欧州等と連携を進め、世界を牽引していく立場を築くことが重要である。

平成 30 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 アニーリングチップ」、富士通の「デジタルアニーラー」などの量子アニーリング技術の開発や、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

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

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

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

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

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