

# 令和 4 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(先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」に基づき、JST の研究主監会議が事前評価を行い、研究領域及び研究総括の設定を行います。

令和 4 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 4 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 4 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 社会課題解決を志向した革 新的計測・解析システムの創 出(革新的計測解析)	わしお たかし 鷺尾 隆 (大阪大学 産業科学研究所 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)
さきがけ 物質と情報の量子協奏(量子 協奏)	こばやし けんすけ 小林 研介 (東京大学 大学院理学系 研究科 教授)	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(令和 4 年度)
さきがけ 文理融合による人と社会の変 革基盤技術の共創(社会変革 基盤)	くりはら きよし 栗原 聡 (慶應義塾大学 理工学部 教授)	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)
さきがけ 地球環境と調和しうる物質変 換の基盤科学の創成(調和物 質変換)	やまなか いちろう 山中 一郎 (東京工業大学 物質理工 学院 教授)	「総合知」で切り拓く物質変換システムによる 資源化技術(令和 4 年度)
さきがけ 加齢による生体変容の基盤 的な理解(加齢変容)	みうら まさゆき 三浦 正幸 (東京大学 大学院薬学系 研究科 教授)	老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢 性疾患の制御に係る機序等の解明(令和 4 年度)
ACT-X 生命現象と機能性物質 (生命現象と機能性物質)	とよしま ようこ 豊島 陽子 (東京大学 名誉教授)	「老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢 性疾患の制御に係る機序等の解明」(令和 4 年度) 「ヒトのマルチセンシングネットワークの統 合的理解と制御機構の解明」(令和 3 年 度) 「革新的植物分子デザイン」(令和 2 年 度) 「細胞内構成因子の動態と機能」(令和 2 年度) 「多細胞間での時空間的な相互作用の理 解を目指した技術・解析基盤の創出」(令 和元年度) 「ゲノムスケールの DNA 合成及びその機 能発現技術の確立と物質生産や医療の技

		術シーズの創出」(平成 30 年度) 「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」(平成 29 年度)
--	--	---

(別紙)

## 研究領域及び研究総括等の設定の手順及び理由

### 1. 研究領域並びに研究総括及び研究領域統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(先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」に基づき行いました。公募型研究に係る研究領域及び研究総括、研究領域統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。

##### ウ 研究領域統括

- 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 効果的・効率的な研究領域間の連携推進を目指し、適切なマネジメントを行う経験及び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 研究領域間の連携を行うに当たり、公平な判断を行いうること。
- ⑤ 第12条第2項の規定に基づき、研究総括の任務の一部を遂行する場合は、イに定める研究総括の評価項目(ア)から(エ)までを満たすこと。

#### (2) 評価者

研究主監会議が評価を行う。

##### ◆研究主監会議 名簿 (2022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 教授
	辻井 潤一	産業技術総合研究所 人工知能研究センター センター長
	富山 和彦	株式会社経営共創基盤 IGPI グループ会長
	平山 祥郎	東北大学 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. 研究領域並びに研究総括及び研究領域統括設定の手順

### (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(2021年9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(2022年3月15日付、別添資料1)を受け、さらに調査(領域調査)を進めました。

### (2) 研究領域並びに研究総括及び研究領域統括の事前評価と決定

(ア) 研究主監会議(2022年3月30日)を開催し、研究領域および研究総括等の事前評価を行いました。

(イ) 上記の事前評価結果を受け、JST が研究領域および研究総括等を決定しました(2022年4月11日)。

### 3. 新規研究領域並びに研究総括及び研究領域統括とその設定の理由

新規研究領域並びに研究総括及び研究領域統括と、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、2022年4月現在のものです)

3-1 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 「社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出」(CREST)

##### (1)研究領域の概要

「計測は科学の母」とも言われるように、科学技術の進歩は「見て・気づく」ことから始まります。科学技術の発展の歴史は、計測技術の発展の歴史とも言えます。

2050年のカーボンニュートラル化をはじめとするSDGs等の世界的な社会課題の解決においては、エネルギー、リサイクル等の観点をはじめ、様々な新しい実用材料の開発が不可欠です。最先端の科学技術研究の現場においては、研究対象が、複雑・不均一な階層構造・物質変化の特徴の把握・理解へとシフトしています。このような、複雑な物質や現象を理解するには、単なる従来の計測技術の改良といった方策では対応困難な状況になっており、計測・解析手法のブレイクスルーが求められています。

本研究領域では、計測技術の進化と最先端の数理モデリング・機械学習等の情報技術とを組み合わせ、計測・解析手法を高度に進化させることにより、計測・解析における現実の様々な難課題を解決でき、また、今後、10年・20年にわたり我が国の研究環境上のアドバンテージとして計測・解析プロセスを革新できる、新たな計測・解析システムの創出を目指します。さらに、創出した新たな計測・解析手法は、実材料開発など現実社会での有用性を確認するとともに、特定の対象分野にとどめず、難課題を抱える他の研究開発分野への活用法を開拓することで、真に有用で幅広く使える計測・解析手法としての価値創出を図っていきます。

具体的には、「先端計測限界突破」、「計測データインフォマティクス活用」、「マルチスケール・マルチモーダル計測、ユースケース開拓」を主要な研究要素とし、これらが連携する研究環境を実現することで、計測・解析の革新を図ります。

##### (2)研究総括

わしお たかし  
鷲尾 隆 (大阪大学 産業科学研究所 教授)

#### [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

研究領域「社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出」(CREST)

##### (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、現実の複雑な問題の解決において中長期的な国際競争力の強化に貢献できることを目指す。

本研究領域は、そのための革新的な計測・解析システムの研究提案を対象とし、また、真に有用な研究とな

るよう、計測・解析システムの創出において実用材料等の現実的で複雑な現象での有用性の確認やユースケースの開拓を行い、また創出された計測解析技術の他分野への適用を図るように設定されている。

本研究領域の研究に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のできる CREST が適している。本領域が対象とする分野の研究の必要性は高まっているが、これまで計測・解析を中心に設定された研究領域や事業は限られていることから、新しい提案の機会として、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 鷺尾 隆

鷺尾 隆氏は、機械学習、データマイニング、人工知能の主要な研究者である。近年は、CREST「情報計測」の研究代表者として、研究領域における共同研究に積極的に取り組むことにより自ら計測科学と数理・情報科学の高度な融合を実践し、研究領域が期待する役割を十分に果たすと共に、世界的に先駆けて組織立った研究活動として、人工知能学会での「計測インフォマティクス研究会」を 2018 年に自ら立ち上げ、革新的な計測を実現するブレイクスルーが生まれつつある。また、2021 年には「情報計測オンラインセミナーシリーズ」の主宰を通じて、計測科学と数理・情報科学の高度な融合という新しい分野について、様々な専門分野や産業界の研究者、技術者への啓蒙活動や若手研究者の育成にもつながる仕組みを創出するなど、計測と解析の革新の視点で、先駆者として新しい研究分野の確立と定着に精力的に取り組んでおり、本研究領域の趣旨や狙い等に関して先見性と深い見識を持っている。

また、民間のシンクタンクにおいて 7 年間の研究経験があり、ユースケースを意識した本研究領域の効果的、効率的な推進において、インフォマティクス、計測、材料開発など幅広い分野のアドバイザーと協力して適切に研究マネジメントを行う能力を有していると考えられる。

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。

## 3-2 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」 の下に設定した研究領域

### 研究領域 「物質と情報の量子協奏」(さきがけ)

#### (1) 研究領域の概要

本研究領域では、革新的量子制御技術の創成を目的として、量子情報の視点に立脚しながら量子物性をテクノロジーへと転換していく独創的で挑戦的な研究を推進します。量子物性と量子情報の融合を通じて、両者の結節点となる量子物質を理解・機能化・制御する研究開発を行い、新概念・新技術の開拓により量子制御技術の将来的な新基盤を生み出します。豊かな構想力と洞察力、物質合成・微細加工技術・測定技術・理論・計算技術に支えられた実力を発揮し、量子科学の将来を世界的にリードする若手研究者の輩出を目指します。

本研究領域では「量子多体系の制御と機能化」、「新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用」の2つの観点から研究を推進します。具体的には、量子情報に基づいた量子物質における新しい量子状態制御手法の開拓、新原理量子ビット・量子センサ・量子シミュレーションの提案と実証、将来的に実現可能な物理系を念頭においた量子アルゴリズムの提案と実証などを対象とします。これらを通して、従来の枠組みを超えて量子物性と量子情報を融合し、両者の協奏的發展の場を構築します。

物質科学・情報科学・数理科学・ナノ構造科学などの連携のもとに量子科学を推進することによって、知的生産性の革命につながり、国家及び国民の安全・安心の確保といった社会的ニーズに応えられるような、量子制御技術による不連続なイノベーションを目指します。

#### (2) 研究総括

こばやし けんすけ (東京大学 大学院理学系研究科 教授)

## [2] 研究領域選定及び研究総括指定の理由

### 研究領域 「物質と情報の量子協奏」(さきがけ)

#### (1) 研究領域選定の理由

本戦略目標は、量子力学の世界に特有な量子もつれなどの性質を新たなテクノロジーへと転換することを目指し、「量子情報」と「量子物性」の融合によって、次世代を先導する新たな量子機能化・制御技術を創出することで、これまでにない量子デバイスや量子材料の創製に繋げることを目的とするものである。

本研究領域は、革新的量子制御技術の創成を目的として、量子情報の視点に立脚しながら量子物性をテクノロジーへと転換していく独創的で挑戦的な研究推進を目指す。量子物性と量子情報の融合を通じて、両者の結節点となる量子物質を理解・機能化・制御する研究開発を行い、新概念・新技術の開拓により量子制御技術の将来的な新基盤を構築していく。物質合成・微細加工技術・測定技術・理論・計算技術など、多くの研究提案が見込まれ、個人の力、異分野融合によるシナジー効果により次の10～20年の新潮流となるような成果創出、次世代を担う強いつながりを持った研究者ネットワークの形成にもつながるものと期待されることから、さきがけを選定することが適切である。

以上のことから、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 小林 研介

小林 研介氏は、人工量子系における量子多体効果や非平衡現象に注目した研究と、それを基にした量子デバイス化の開発を推進している。その業績により日本学術振興会賞、日本学士院学術奨励賞、大阪科

学賞を受賞するなど高く評価されており、当該研究分野における国内外の動向を把握し、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有していると認められる。同氏は、近年では本研究領域と関係性の高いプロジェクトのひとつである、さきがけ「量子の状態制御と機能化」領域で領域アドバイザーを務めており、温厚な人柄から若手研究者育成についてコミュニティからの信頼が厚い。また、日本物理学会理事や同学会の領域副代表、国際シンポジウムの Chair、Co-Chair を務めるなど、関連分野を中心に国内外の研究者から信頼され、公平な評価を行いうると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

### 3-3 戦略目標「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」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 「文理融合による人と社会の変革基盤技術の共創」(さきがけ)

###### (1)研究領域の概要

COVID-19の感染者数予測等により社会シミュレーションの政策への反映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多くの課題があります。多様なデータやデータの相互関係に内包される個人・コミュニティ・社会の行動特性、関心事、嗜好等の情報を十分に活用できていないためです。このようなマルチスケール(個人、コミュニティ、社会)の様々なデータを解析し、社会シミュレーションに含めることができれば、より複雑な政策シナリオや事業戦略等を、効果的かつ社会受容性高く遂行するプロセスの革新が可能になると考えられます。

そこで本研究領域では、行動変容等の社会変革に向けた基盤として、様々なスケール・種類のデータから人や社会を解析する技術、それに基づいたシミュレーションにより政策シナリオ等を導出する技術を、人文・社会科学と自然科学の融合によって共創することを目指します。

具体的には、防災・減災・リスク管理、感染症対策・リモート化するAfterコロナ社会、社会・経済格差、Web/ソーシャルメディアの健全な利活用等の社会課題をテーマとして、下記の研究に取り組みます。

- 1) マルチスケール(個人、コミュニティ、社会)の活動データや人文・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、行動判断等をもたらす要因の特定やそれらのモデル化・数値化等
- 2) 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の導出
- 3) 導出される政策シナリオ等の効果や社会受容性の向上手法の探索及び1)・2)のへのフィードバック

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

栗原 聡 (慶應義塾大学 理工学部 教授)

#### [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

##### 研究領域 「文理融合による人と社会の変革基盤技術の共創」(さきがけ)

###### (1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、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している。

本研究領域は、上記戦略目標を達成するために、防災・減災・リスク管理、感染症対策・リモート化するAfterコロナ社会、社会・経済格差、Web/ソーシャルメディアの健全な利活用等の社会課題を

テーマに、マルチスケールの活動データや人文・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、行動判断等をもたらす要因の特定やそれらのモデル化・数値化、それらを活かしたマルチエージェント等のシミュレーション技術の創出、政策立案・決定等に資するシナリオの導出を行う。また、シナリオ等の効果や社会受容性の向上に取り組む。

人文・社会科学と自然科学の効果的な融合のためには、採択研究者間の相互交流を行う場が必要であり、研究者間の融合が創発されるさきがけ事業を選定することは適切である。

以上のことから、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 栗原 聡

栗原 聡氏は、マルチエージェント、群知能、複雑ネットワーク科学、共生コンピューティング、IoT・アンビエントシステムに関する先駆的な研究に取り組んでおり、近年は内閣官房 COVID-19 AI & Simulation Project 等で社会シミュレーションに尽力しているトップ研究者の一人である。

研究面においては2012年に人工知能学会功労賞、2019年にIEEE DSAA2019 Service Award、2021年に人工知能学会現場イノベーション賞を受賞しており、その先見性と研究業績は高く信頼・評価されている。また、人工知能学会や日本ソフトウェア科学会の理事、International Journal of Data Science and Analytics の Advisory Board 等を歴任しており、関連分野の研究者から広く信頼され、また公平な評価を行いうると認められる。

NEDO「人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業」や総務省「戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)」等における、多数の研究者が参画するプロジェクトの主導等を通じ、本研究領域の運営に必要な研究マネジメントの知見・能力を有していることが認められる。

また、慶應義塾大学の共生知能創発社会研究センターのセンター長として、イノベーションに向けた多様な研究者・エンジニアの連携を推進しており、本研究領域の運営でも適切なマネジメントが期待できる。

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。

### 3-4 戦略目標「総合知」で切り拓く物質変換システムによる資源化技術」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 「地球環境と調和しうる物質変換の基盤科学の創成」(さきがけ)

###### (1)研究領域の概要

本研究領域では、人間社会が地球環境と調和するために不可欠な物質循環に関わる元素からなる安定な分子から、エネルギー消費と廃棄物排出を極力抑制しながら、目的である有価物質を高い選択性で変換できる物質変換の研究開発とこれに関わる基礎科学の創出を目指します。

具体的には、地球表面に豊富に存在し、人をはじめとする生物や食物を構成している元素、あるいは人間社会で利用されている元素の中で物質循環が重要とされている元素およびその化合物(主に炭素、窒素、酸素、水素、リン、硫黄、ケイ素などとその化合物)を対象とした物質変換に関わる基礎的な研究開発を行います。これは、既に開発された資源化に関わる物質変換法の要素技術と比較して、エネルギー利用効率や目的生成物への選択性の著しい改善が期待される基盤技術の創成を意味します。即ち、不可能と考えられていた反応を可能とする革新的触媒作用を示す触媒材料や電極材料の研究開発、高速かつ選択的イオン伝導性を示す固体電解質材料の研究開発、電気・光などを利用した高度なエネルギー制御や電子移動制御を伴う反応プロセスの研究開発を目指します。また、これらの研究における反応機構の解析的・理論的な解明に不可欠なオペランド計測・オンデマンド計測など先鋭的な分析法の研究開発や第一原理計算・熱流体工学シミュレーション・機械学習などの理論計算の研究開発も推進し、社会実装に発展しうる物質変換の基盤科学の創成を目指します。さらに、これらの研究の思想・課題・成果を対象として、グリーンケミストリー・経済学・社会科学などの観点から持続可能な社会の実現に資する物質変換の指標を示します。

###### (2)研究総括

やまなか いちろう  
山中 一郎 (東京工業大学 物質理工学院 教授)

#### [2]研究領域選定及び研究総括指定の理由

##### 研究領域 「地球環境と調和しうる物質変換の基盤科学の創成」(さきがけ)

###### (1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、2050年カーボンニュートラル社会の実現へ、材料科学・化学工学・先端計測等による革新的な材料・システム開発と、物質循環の理解を含む Life Cycle Assessment (LCA) の観点、経済学、社会科学の緊密な連携による「総合知」の創出、活用により、革新的な物質変換システム基盤を開発することを目指している。本目標の達成に向け、二酸化炭素等の環境負荷物質や豊富に存在する安定酸化物の有価物質への変換において、エネルギー変換効率と反応速度の向上に資する物質や材料の開発と、物質変換システムの LCA、経済的、社会的価値の評価を両輪とする資源化技術の確立を目的として研究領域を設定する必要がある。

本研究領域は、生物や食物と関連した二酸化炭素以外にも窒素化合物、硫酸化合物や地球表面に豊富に存在するケイ素化合物、リン化合物など戦略目標で示された物質循環が研究対象となるように設定されている。また、近年の化学工業の研究でエネルギー利用効率の向上や廃棄物抑制が期待されている反応プロセスの研究開発、それに資する触媒、電極、固体電解質などの材料研究開発、その推進に不可欠な分析技術・理論計算による反応機構解析、そして、LCA を含むグリーンケミストリー、経済学、社会科学などの研究を対象としており、優れた研究提案が多数見込まれる。さらに、これらの研究分野における研究者同士の交流促進を標榜して

おり、総合知の創出、活用を促すように設定されている。

以上のことから、本研究領域は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

## (2) 研究総括指定の理由

### 研究総括 山中 一郎

山中 一郎氏は、触媒化学から化学工学まで幅広い分野で最先端の研究と企業との多くの共同研究の経験を有しており、また、本研究領域で目指す材料研究開発と反応プロセスの分野融合やグリーンケミストリー、経済学等の活用に関してもいち早く注目する等、先見性及び洞察力を有している。また、長年の大学における研究室の運営に加え、触媒学会の支部長、副会長の役務を経験しており、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ともに公平な評価を行いうると認められる。さらに、触媒学会学会賞(学術部門)受賞など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。研究思想に関しては、社会の中で有益であることが必要との一貫したポリシーを持つ。また、温厚で明るい人柄であり、若手研究者を牽引する資質を有している。

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「老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明」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等

##### (1) 本戦略目標下における研究領域体制と概要

戦略目標のもと、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)と国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)が3プログラム(さきがけ、AMED-CREST、PRIME)を立ち上げ、3プログラムを統括する「研究領域統括(PS)」を設置し、互いに連携しながら研究を進めます。

本研究領域は、老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明を目標とします。これを達成するために、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)と国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)が3プログラム(さきがけ、AMED-CREST、PRIME)を同時に立ち上げ、互いに連携しながら研究を進めます。

老化は寿命とは切り離せず、寿命を全うし長期生存するために、生体には生理的なロバストネスと環境や外部刺激に適応し障害から回復させる能力であるレジリエンス機構が備わっていると考えます。したがって老化では生体のロバストネスとレジリエンスの変容が生じている可能性が考えられます。これらの変容のメカニズムを新たな技術や解析手法を用いて調べることで老化メカニズムを解明し、寿命延伸に伴う加齢性疾患を如何に制御するかを目指した研究を推進することが重要です。

生体を構成する分子・細胞・組織・臓器・個体の生命現象の根幹となる構成要素に関する計測・解析技術の進展は近年著しく、これらの研究手法は老化現象のメカニズムの解明を飛躍的に進展させる可能性があります。今後は、これらの最先端技術を活用して老化の根本的な原理を探求し、その原理を踏まえた加齢性疾患の予防・治療のための機序を解明するために、基礎研究と予防や治療への応用展開を目指した研究の一体的な研究体制を構築し、包括的に研究を推進していくことが期待されます。

モデル生物・特徴的な老化現象を示す生物・ヒトを対象として、先端的解析技術を駆使した老化の根本的理解を進める研究を目指します。このためには、老化研究者間の連携や技術の共有が必須となり、研究者間の活発な共同研究や試料の交換を促進し、生物間での普遍性原理の解明を果たせる領域になることを目指します。

また、JSTとAMEDは本研究領域の目標の実現に向けて、一体的な事業運営を行い、それぞれが推進する研究の間で、異分野の多角的知見や技術を融合、連携することにより、老化研究の統合的理解を深め、世界に先駆けて独創的な研究開発に取り組みます。さらに、ムーンショット型研究開発制度(2020年度～2029年度)目標7「2040年までに、主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむための持続可能な医療・介護システムを実現」との連携も視野に入れて活動していきます。

##### (2) 研究領域統括

望月 直樹 (国立循環器病研究センター 理事・研究所長)

#### 研究領域「加齢による生体変容の基盤的な理解」(さきがけ)

##### (1) 研究領域の概要

世界的に高齢化が社会問題として取り上げられる中で、近年老化が創薬対象として捉えられ、抗老化薬の探索など、その応用面に注目が集中しています。しかし、その研究の歴史は未だ浅く、老化という生命現象の基礎的な知見が十分に蓄積されているとはいえません。そこで老化を、「加齢によって生体がロバストネスとレジリエンスの変容をきたす現象」として捉え、本研究領域では広範な生命科学的アプローチによって加齢におけるロバストネスとレジリエンスの変容に関する基盤的な理解を目標とします。

生物が発生、成長、老化そして死に至るまで、生体内ではロバストネスとレジリエンスが刻々と変容していきます。ここで述べる生体変容は生活史に伴って起こる持続した生体の変化を指し、分子レベルではエピジェネティックな遺伝子発現制御、代謝、レドックス、細胞内シグナル伝達等があり、細胞レベルでは増殖や分化、

幹細胞性の維持・休眠、細胞老化や変性・細胞死を対象に含みます。組織レベルでは免疫や神経、内分泌システム、組織障害、修復、がん化等、生体内における様々な組織の時間的変容を内包しています。さらには生物が進化において獲得してきた加齢における生体のロバストネスやレジリエンス変容の在り方を知ることも重要だと考えられます。

これらの加齢による生体変容を理解するためには、これまで生命・医学研究で培われてきた計測・解析技術、例えば各種オミクス技術やイメージング技術、データ解析やシミュレーション、ゲノム編集技術等を総動員し、さらに他分野の科学技術をも積極的に取り入れて挑む必要があります。また、今まで使われてきたモデル生物(マウス、小型魚類、ショウジョウバエ、線虫、酵母等)に加えて、短命種や長命種の新規モデル生物、本領域の研究に資するオルガノイド開発までも対象とします。

以上を踏まえ、本研究領域では、今まであらゆる研究分野で培われてきた科学技術を総動員し、更なる技術開発を推進し、加齢に伴う生体変容の基盤的理解を目指します。

## (2) 研究総括

三浦 正幸 (東京大学 大学院薬学系研究科 教授)

## [2] 研究領域選定及び研究総括等指定の理由

### 研究領域「加齢による生体変容の基盤的な理解」(さきがけ)

#### (1) 研究領域選定の理由

本戦略目標は、老化研究を加速させる先端生命科学、計測・データ解析技術を開発・活用し、加齢に伴う生体変容の基盤的理解を深めることを目的とするものである。

本研究領域は、上記目標を達成するため、新奇手法の開発や既存手法の深化を伴った研究を推進することで加齢による生体変容の基盤的な理解を目指す。具体的には、イメージング技術、データサイエンス、各種オミクスの高度化や、長期時系列の計測・解析につながる新たな技術コンセプト開発のような加齢研究に資する技術活用・開発を行うための研究に取り組む。また、加齢に関わる多様な生命現象の変化、例えば栄養応答・代謝、炎症、生物時計、品質管理(核酸/分子/オルガネラ/細胞ほか)、細胞間・組織連関、個体差について、モデル生物、特徴的な老化関連表現型を示す新規モデル生物、数理モデル・シミュレーション・AI やオルガノイドを用いた研究を対象とする。さらに、老化研究の裾野を広げ、新たな展開をもたらすためには、これまで老化研究に携わってこなかった、各種の計測・解析技術を擁する若手研究者や広範な生物学の若手研究者の参画を促し、それらの研究者が相互交流し、共同研究に発展させていくことができる場の設定が重要である。そのため、本研究領域について、研究者間の融合が創発されるさきがけ事業を選定することは適切である。

以上のことから、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) 研究総括等指定の理由

##### 研究領域統括 望月 直樹

望月 直樹氏は、循環器が専門であるが、発生学やイメージング技術開発等の基礎的な研究から臨床まで幅広い研究に携わり、その研究実績に対して日本心臓財団佐藤賞が授与されている。また、現在、JST 共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT) プロジェクトリーダーを務めており、循環器病研究センターにおいても理事・研究所 所長を務めるなど、研究者コミュニティにおいてそのマネジメントの手腕やリーダーシップに定評がある。

この度、JST と AMED が連携して同一の戦略目標・研究開発目標の下に3つのプログラムを立ち上げることに際し、研究領域統括にはその3プログラムを束ねる方向性を示し、それぞれのプログラムの PO をまとめ、プログラム間の連携を推進していくことが求められている。望月氏は AMED-CREST 「恒常性」研究領域の研究代表者(当初は JST-CREST、その後 2015 年に AMED に移管)を務めた経験も有し、JST と AMED の双方のプログラム運営等にも精通している。

以上より、同氏は優れた研究業績及び研究者コミュニティからの人望、ならびに本研究領域に係る広範かつ俯瞰的な視野を持っているとともに、2 法人の 3 プログラムのマネジメントを統括するに十分な経験を有していることから、研究領域統括として適任であると判断される。

### 研究総括 三浦 正幸

三浦 正幸氏は、細胞死を中心として、ショウジョウバエとマウスを用いた遺伝生化学的な手法による発生・再生の代謝制御、表現型の多様性制御、生体イメージングによる細胞死シグナルの生体機能など、幅広い分野で独創的な研究を展開している。老化研究ではショウジョウバエのメチオニン代謝と寿命に関する研究を行うなど、幅広い研究手法を駆使した独自の融合的研究に対する評価は高く、本領域の総括を務めるために十分な知識・経験と実績がある。

また、同氏は本研究分野における高い先見性や洞察力を有していると認められ、これまで北里賞や比較腫瘍学常陸宮賞を受賞している。学会活動では日本分子生物学会理事、日本 Cell Death 学会理事長を歴任し、日本学会協議連携会員も務めた。同氏は所属する大学において、これまで総長補佐や教育研究評議員、大学院薬学系研究科の副研究科長などの要職を務めるとともに、2022 年 4 月からは研究科長に就任する予定となっており、大学運営面での手腕が本研究領域のマネジメントにも発揮されることが期待される。また、さきがけ及び CREST 領域アドバイザー等の経験もあることから、研究提案に対する公正な評価や、その後の効果的な領域運営も期待できる。さらに、研究室から数多くの優秀な PI (Principal Investigator) が輩出されるなど、若手研究者の育成にも優れており、関連分野の研究者からも後進育成の手腕に高い評価を得ている。以上を総合すると、同氏は本研究領域について適切な研究マネジメントを行う経験・能力を有していると認められ、研究総括として適任であると判断される。

### 3-6 次の戦略目標の下に設定した研究領域

- ・老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明
- ・ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明
- ・革新的植物分子デザイン
- ・細胞内構成因子の動態と機能
- ・多細胞間での時空間的な相互作用の理解を目指した技術・解析基盤の創出
- ・ゲノムスケールのDNA合成及びその機能発現技術の確立と物質生産や医療の技術シーズの創出
- ・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

#### [1] 研究領域の概要及び研究総括

##### 研究領域「生命現象と機能性物質」(ACT-X)

###### (1) 研究領域の概要

バイオテクノロジーは我が国の未来の競争力の鍵を握る重要な基盤的技術分野であり、健康長寿社会の実現や持続可能な社会システムの構築に向けて更なる発展が求められています。また、新型コロナウイルス感染症の蔓延とその社会経済的影響を受け、今後も起こりうる感染症の脅威を低減する方策が求められています。これらの課題に対応するために必要となるバイオテクノロジーの発展には、生命現象への更なる理解を深めて課題解決に寄与する新たな機能を持つ物質・材料の創成や、それらを計測・評価する技術の開発が必要です。そのような観点から、独創的なアイデアを持ち次世代を担う優秀な若手研究者を支援し輩出していくことが不可欠です。

本研究領域は、「生命現象」、「機能性物質」という2つのキーワードの下に、多様な分野に渡る挑戦的な若手研究者による新しい価値の創造につながる基礎的な研究を推進します。具体的には、「生命現象」に関連する新規物質・材料の設計・創成及び生体分子や微生物等の発見や機能解析、活用など生命現象の解明・制御・応用に関する研究を対象とします。また、物質・材料と生体の相互作用に関わる計測や評価に関する研究も含みます。これらの研究に貢献する生命科学、化学、工学、物理学等の幅広い分野において、「機能性物質」を基軸として、医療・健康分野や生命現象の解明等の研究に貢献する物質・材料の研究について、新しい発想に基づいた挑戦的な構想を支援していきます。

研究推進にあたっては研究者育成の観点を重視し、異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、未来に貢献する先端研究を推進する研究者の育成、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図ります。

###### (2) 研究総括

とよしま ようこ  
豊島 陽子 (東京大学 名誉教授)

## [2] 研究領域選定及び研究総括指定の理由

### 研究領域 「生命現象と機能性物質」(ACT-X)

#### (1) 研究領域選定の理由

「統合イノベーション戦略2021」や「第6期科学技術・イノベーション基本計画」に述べられている通り、バイオテクノロジーは我が国の未来の競争力の鍵を握る重要な基盤的技術分野である。健康長寿社会の実現や環境問題の解決など持続可能な社会システムの構築、特に昨今の新型コロナウイルスの感染拡大とその社会経済的影響を受け、今後も起こりうる感染症の脅威を低減する方策が求められているなど、これらの課題解決に貢献するバイオテクノロジーの発展がより強く求められている。また、このバイオテクノロジーの発展は、戦略目標「老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明」、「ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明」、「革新的植物分子デザイン」、「細胞内構成因子の動態と機能」、「多細胞間での時空間的な相互作用の理解を目指した技術・解析基盤の創出」、「ゲノムスケールのDNA合成及びその機能発現技術の確立と物質生産や医療の技術シーズの創出」の目標達成の基盤となる事項である。さらには、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」についても、バイオテクノロジー分野を対象とすることによる進捗が見込めることから、当該戦略目標達成のためにも重要な事項である。

バイオテクノロジーの発展には、必然的に生命現象への更なる理解、課題解決に寄与しうる物質や材料の創成・開発、及びそれらを計測・評価するための技術開発が必要となる。そのため、「生命現象」、「機能性物質」という範囲の分野を研究領域として選定することは戦略目標の達成に対し、ACT-X 事業である研究領域として適切に設定されている。

求められる技術シーズを創出し続けていくためには、人材を育成し、若手研究者を輩出する必要がある。そのため、前記キーワードの下に多様な分野(生命科学、化学、物理学、工学、情報科学等)に渡る挑戦的な若手研究者を支援することが重要である。そして、若手研究者が研究者として成長し、個の確立を達成することによって、優れたアイデアが技術シーズにつながり、機能性物質の探究を通して、バイオテクノロジーの発展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、多様性を推進し、また企業・地方大学からの積極的な参加を奨励し、実用化重視ではなく、優れた研究へのチャレンジを支援する。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 事業である本研究領域の趣旨に見合った領域設定であると言える。

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

#### (2) 研究総括指定の理由

##### 研究総括 豊島 陽子

豊島 陽子氏は、生物物理学分野の研究者であり、特にモータータンパク質分野で先駆的な研究を行ってきた。当該研究分野はライフサイエンスではあるが、物質科学、物理系とも非常に高い親和性がある。また、その研究実施において、学生の人材育成を非常に熱心に行い、効果的、効率的な推進方法を提案、指導するなど適切な研究マネジメントを行うことにより、多くの若手研究者を育成してきた高い実績がある。

同氏はその顕著な業績等により、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会のもとにあるライフサイエンス委員会委員等を務め、ライフサイエンスに関する施策の推進及び評価、並びに関係行政機関との調整等について、豊富な経験を有している。更には、生物物理学会において副会長及び男女若手/将来計画担当の理事を歴任するなど、関連分野を中心に研究者から信頼を得ていると同時に、公平な評価を行おうと認められる。

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
- 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
- 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
- 「総合知」で切り拓く物質変換システムによる資源化技術
- 老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明

### 令和3年度 戦略目標

- ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明

### 令和2年度 戦略目標

- 革新的植物分子デザイン
- 細胞内構成因子の動態と機能

### 令和元年度 戦略目標

- 多細胞間での時空間的な相互作用の理解を目指した技術・解析基盤の創出

### 平成30年度 戦略目標

- ゲノムスケールのDNA合成及びその機能発現技術の確立と物質生産や医療の技術シーズの創出

### 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

## 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のできなかつたものを見る」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貫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 戦略プロポーザル「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(CRDS)

の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

2. 上記アンケートの結果及び CRDS 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～」、CRDS 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－）」、CRDS 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、個人の勤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」と同時に、そのものが研究者を未知なる世界へと誘う「鍵」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

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

### 2. 概要

量子技術は将来の我が国及び世界の社会に大きな変革をもたらす革新的技術とされ、国内外で研究開発競争が激化している。一方で、量子状態制御の繊細さや複雑さに起因して、例えば、量子コンピュータでは、将来的に優位に立つ量子ビット型は決まっていないと目される等、新たなアイデアひとつで既存の方法論・世界観を変える可能性を秘めている。この新たなアイデアの創出には「量子情報<sup>※1</sup>」の理解の深化が不可欠であるが、このためには、我が国が強みを持ち量子制御技術の基盤となる物性物理学の知見を広く活用することが極めて重要である。すなわち、量子情報と「量子物性<sup>※2</sup>」を組み合わせることが日本発のゲームチェンジを実現する上で有効であると考えられる。

そこで、本戦略目標では、量子情報と量子物性の融合を図り、両者の結節点となる「量子多体系<sup>※3</sup>」を理解・機能化・制御する研究開発を実施する。これにより、革新的な量子制御技術を生み出し、これまでにない量子デバイスや量子材料の創製に繋げる。

※1：量子ビットなど、“0”と“1”の重ね合わせで表されるような量子状態が有する情報

※2：物質や材料において発現する量子力学的な性質

※3：電子など量子力学的に振る舞う多数の粒子が相互作用する系

### 3. 達成目標

本戦略目標では、「量子情報」と「量子物性」を融合することにより、次の10～20年を先導する新たな量子機能化・制御技術を生み出し、これまでにない量子デバイスや量子材料の創製に繋がる新技術シーズの創出を目指す。具体的には、以下の2つの達成を目指す。

- (1) 量子多体系の制御と機能化
- (2) 新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

3.「達成目標」の実現を通じ、量子技術による不連続なイノベーションを起こし、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

#### ・生産性革命の実現

近い将来、急速な高齢化・労働人口の減少等が見込まれる中、技術革新を先取りし、IT（デジタル）、AIに続く「量子革命」を通じて、我が国の産業競争力の強化、これによる生産性の飛躍的向上を実現。

#### ・健康・長寿社会の実現

我が国が諸外国に先駆けて超高齢化社会を迎える中、量子技術を用いた革新的な医療や健康管理等を通じて、世界に冠たる健康・長寿社会を実現。

#### ・国及び国民の安全・安心の確保

個人情報をはじめ、秘匿性の高いデジタル情報が急速に増大する中、量子的な効果を応用した通信・暗号技術により、高度セキュリティ社会を実現し、国及び国民の安全・安心を確保。

### 5. 具体的な研究例

#### (1) 量子多体系の制御と機能化

量子多体系における新現象、新状態、新準粒子の探索や解明を行う。新奇な量子物性現象の量子シミュレーションやその制御手法の高度化、新現象の発現が期待できる物質系の設計、合成、機能化に関する研究を行う。具体例として以下の研究等を挙げるが、これらに限らない多様な研究を想定する。

- ・量子多体系における散逸現象や非平衡状態に関する研究
- ・新奇な量子物性現象が期待できる新物質・新材料の設計・合成・機能化・評価

- ・新現象や新状態を実現するための量子多体系の計測・制御技術の高度化

## (2) 新現象・新状態の量子デバイス・量子材料応用

量子多体系で発現する新現象・新状態の特性をセンシングや情報処理等の機能に転換し、新しい量子デバイスの創製を目指した研究を行う。具体例として以下の研究等を挙げるが、これらに限らない多様な研究を想定する。

- ・トポロジカル絶縁体、量子スピン液体、スキルミオン等のトポロジカル物性のデバイス応用
- ・量子ドット、超伝導回路、ダイヤモンド NV センター等固体量子ビット基盤の高度化
- ・冷却原子系、イオントラップ、光回路等の高度化・小型化・チップ化

## 6. 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・産業等、社会に大きな変革をもたらす可能性を有した革新的技術とされ、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」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」に沿って、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。なお、当戦略については、現在、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・社会にトランスフォーメーション (QX) を起こすことを目指して見直しの議論が進められている (令和 4 年 4 月目途決定予定)。

### (国外動向)

量子科学技術に関して、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。

Google や IBM など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。

## 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 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、若手研究者にターゲットを絞り多様な分野との融合・連携を図ることで、次の 10 年の新たな潮流を生み出す量子状態制御に係る研究開発の推進が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「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」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「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」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、近年の量子情報や量子物性分野での研究成果創出や人材輩出、今後期待される量子技術によるイノベーション創出の加速に有効な融合・連携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へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「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。

## 9. その他

本戦略目標では、次の 10～20 年の新潮流となるような、若手研究者からの挑戦的・独創的な研究提案を強く期待する。また、上記 5. に示したような「量子情報」と「量子物性」の融合研究だけでなく、量子情報に資する量子物性研究（あるいはその逆）等、相互の領域への寄与が見込めるような研究を進めることが望ましい。

本戦略目標で対象とする研究分野や研究者層は、応用物理学会や日本物理学会のそれと深く関係することから、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に加えて、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」、令和 2 年度戦略目標「情報担体と新デバイス」等、現行の戦略目標で実施している研究と密接に連携・情報共有することにより、新たな研究進展や成果創出の加速を促すことが望まれる。

## 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を期待できる。

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を期待できる。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IC<sup>2</sup>S<sup>2</sup>(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、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4年度戦略目標

### 1. 目標名

「総合知」で切り拓く物質変換システムによる資源化技術

### 2. 概要

本戦略目標では、2050年カーボンニュートラル社会の実現へ、材料科学・化学工学・先端計測等による革新的な材料・システム開発と、物質循環の理解を含むLife Cycle Assessment (LCA)・経済学・社会科学の緊密な連携による「総合知」の創出・活用により、革新的な物質変換システム基盤を開発する。従来は触媒材料等の自然科学における研究開発からのボトムアップによって物質変換システムが構築されてきたが、真に社会的価値のある物質変換システムを構築するためには、人文・社会科学系の知見を加えた「総合知」を活用した開発が必要と考えられる。すなわち、二酸化炭素等の環境負荷物質・豊富に存在する安定酸化物の有価値物質への変換において、エネルギー変換効率と反応速度の向上に資する物質・材料の開発と、物質変換システムのLCA・経済的・社会的価値の評価を両輪とする資源化技術の確立を目的とする。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、材料科学・化学工学・先端計測等による革新的な材料・システム開発と、LCA・経済学・社会科学の緊密な連携による「総合知」の創出・活用により資源化技術の確立を目指す。具体的には、以下の4つの達成を目指す。

- (1) 「総合知」の創出・活用による物質循環の理解と資源化技術の創出
- (2) 新たな資源化技術に資する革新的材料開発
- (3) エネルギー貯蔵型物質変換システム基盤の開発
- (4) 未来視点の導入による物質変換システムのLCA・経済的・社会的価値の評価やシナリオ創出

### 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、資源化技術を実現するための革新的材料・物質変換システム基盤の開発と、物質変換システムのLCA・経済的・社会的価値の評価によって資源化技術を確立し、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・カーボンニュートラル社会の実現によって、二酸化炭素排出の低減と化石資源依存からの脱却を果たした、豊かな自然を維持した文明社会
- ・炭素だけでなく、窒素・ケイ素等の環境影響を意識した資源化が未達である種々の元素の循環を可能とすることで、地球環境負荷の低減を実現した社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 「総合知」の創出・活用による物質循環の理解と資源化技術の創出

人文・社会科学と自然科学の融合による「総合知」の創出・活用を目指した取り組みを実施し、資源化技術の確立に資する新しい物質循環の理解と制御を実施する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・経済学的視点による物質循環予測とその知見に基づく要求機能を実現する材料開発
- ・人文・社会科学を含めた幅広い分野の研究者の結集と融合による、真に社会的価値のある物質変換システムの設計と開発

- (2) 新たな資源化技術に資する革新的材料開発

安定酸化物や環境負荷物質を活性化し、有価値物質への自在な分子変換を可能とする革新的材料を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・担体と金属粒子の協働によって安定酸化物の還元反応に高活性を示す材料の開発
- ・電子やイオン伝導に高性能を示す新規水素化物質の開発

### (3) エネルギー貯蔵型物質変換システム基盤の開発

高効率なエネルギー貯蔵型反応による有価物質生産を実現する、物質変換システム基盤の開発を実施する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・二酸化炭素からベンゼンの生産を可能とする電気化学セルの開発
- ・高いエネルギー効率を示す電気化学的・光化学的還元反应用リアクタの設計

### (4) 未来視点の導入による物質変換システムのLCA・経済的・社会的価値の評価やシナリオ創出 資源化技術に資する環境中の物質循環の理解と、将来を見据えたLCAや経済性の視点からの評価を実施する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・新しいエネルギー貯蔵型物質変換システムの最適化へ向けたLCA評価手法の開発
- ・資源化技術の確立を加速する新しい経済学的・社会科学的視点の創出と導入

## 6. 国内外の研究動向

日本は材料創製、結合活性化手法開発に関する分野は伝統的に強く、関連する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（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。国外では水素製造やCO<sub>2</sub>の資源化技術に関して、光や電気エネルギーを用いるプロジェクトが数多く展開されており、2050年目標へ向けてPower-to-X（P2X）が期待される技術となっている。

### （国内動向）

平成24年度～平成30年度に戦略的創造研究推進事業 先導的物質変換領域（ACT-C）が実施され、二酸化炭素を還元し有用な物質へと変換する基礎学理が構築され、エネルギー収支等を考慮した変換システムへの展開が今後の課題として示された。

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28年度新学術領域研究「複合アニオン化合物の創製と新機能」、元素戦略「触媒・電池の元素戦略研究拠点」が開始され、本戦略目標の一部である触媒・材料開発と結合活性化手法に関する研究が実施され、革新材料の創出に資する知見が蓄積されている。

平成25年度戦略目標「再生可能エネルギーの輸送・貯蔵・利用に向けた革新的エネルギーキャリア利用基盤技術の創出」、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」が開始され、本戦略目標の一部である物質変換のためのエネルギー変換・投入手法に関する研究が実施されている。

カーボンニュートラル社会へ向けた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2年度ムーンショット目標「持続可能な循環社会を実現」、平成26年NEDO「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」などが開始された。将来の社会像が共通しており、領域・事業間の情報共有で本戦略目標の達成に近づくと期待される。

### （国外動向）

米国では米国エネルギー省（DOE:Department of Energy）のエネルギー高等研究計画局（ARPA-E:Advanced Research Projects Agency）において、2019年7月に開催されたサミットの次期候補テーマを紹介するセッションで脱炭素技術としてP2X技術の紹介があり、米国でも電化が困難な分野の脱炭素化技術として捉えられている。人工光合成共同研究センターでは、水分解による水素製造と水とCO<sub>2</sub>からの燃料製造が中心テーマであり、光触媒と電気化学触媒の研究開発も含まれている。DOEでは、2021年6月にエネルギー・アースショット・イニチアチブが発表され、クリーン水素コストの削減を目指す水素ショットに加えて、2021年11月には二酸化炭素除去の大規模な取組であるカーボン・ネガティブ・ショットが発表され、推進する技術として「ライフサイクル全体での排出の確固とした計算方法」が含まれている。

欧州では、2019年12月には欧州委員会が新たな追加措置として「European Green Deal」を

発表しており、2050年までにEU域内のGreenhouse Gas (GHG)排出をゼロにするために、2030年のGHG削減目標の引き上げ、必要な法制化、対象とする産業、投資額や手段などの具体的な行動を明示している。2050年目標に対しては複数の技術的シナリオの分析を行っており、2050年に向けたCO<sub>2</sub>削減のキーとなる技術としてP2Xが期待されている。CO<sub>2</sub>からのメタン製造への検討が増加しており、水素とCO<sub>2</sub>からのメタン化プロセスが多く検討されている。

## 7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果を参考にして分析を進めた結果、安定酸化物・環境負荷物質を資源化するための物質変換システム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「資源化技術の確立へ向けた革新的物質変換システム」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「資源化技術の確立へ向けた革新的物質変換システム」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・経済的に与えるインパクトやその結果実現しうる将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標、「総合知」に基づく研究開発を行うこと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. 国民の安心と安全を確保する持続可能で強靱な社会への変革

（6）様々な社会課題を解決するための研究開発・社会実装の推進と総合知の活用

（b）あるべき姿とその実現に向けた方向性

人文・社会科学と自然科学の融合による「総合知」を活用しつつ、我が国と価値観を共有する国・地域・国際機関等（EU、G7、OECD等）と連携して、気候変動などの地球規模で進行する社会課題や、少子高齢化や経済・社会の変化に対応する社会保障制度等の国内における課題の解決に向けて、研究開発と成果の社会実装に取り組む。これにより、経済・社会の構造転換が成し遂げられ、未来の産業創造や経済成長と社会課題の解決が両立する社会を目指す。

（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

○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、複線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。

④ 基礎研究・学術研究の振興

○戦略的創造研究推進事業については、2021年度以降、若手への重点支援と優れた研究者

への切れ目ない支援を推進するとともに、人文・社会科学を含めた幅広い分野の研究者の結集と融合により、ポストコロナ時代を見据えた基礎研究を推進する。

⑦ 人文・社会科学の振興と総合知の創出

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

「マテリアル革新力強化戦略」（令和3年4月27日閣議決定）

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

(2) 具体的取組

① バックキャスト型研究で取り組むべき技術領域の例

リユース・リサイクルを前提とした材料・製品設計技術、希少元素代替技術、資源利用量低減技術、CO<sub>2</sub>分離・回収・利用技術、材料分離技術、生分解性材料技術などのリサイクルとカーボンニュートラルの両立に向けた「マテリアルの高度循環のための基盤技術」

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月18日閣議決定）

4. 重要分野における「実行計画」

(1) 1) カーボンリサイクル・マテリアル産業

i) カーボンリサイクル

③ カーボンリサイクル化学品（人工光合成等によるプラスチック原料）

ア) 人工光合成によるプラスチック原料

光触媒を用いて太陽光によって水から水素を分離し、水素とCO<sub>2</sub>を組み合わせてプラスチック原料を製造する人工光合成の技術は、日本企業のみが開発中である。既に基礎研究（ラボレベル）は成功している。他方、現状では、光触媒の変換効率が低く、また製造コストが高いため、大規模実証の実施には技術的課題がある。また、人工光合成技術の確立には、水素等の分離膜や、基幹物質である炭化水素の合成に必要な触媒等の開発・実証も併せて必要となる。

## 9. その他

本戦略目標は、将来のカーボンニュートラルを見据えた基礎研究という位置づけであり、精緻なサイエンスに基づく画期的な材料・システム開発を視野に入れるだけでなく、LCAや物質循環さらには経済学・社会科学との積極的な協働を目指しており、産業界からの注目度も高いと考えられる。関連する基礎研究基盤は以前より国内にあり、日本化学会・電気化学会・化学工学会・触媒学会・LCA学会等の多様な学協会に所属する研究者からの参画と分野融合が期待される。本戦略目標では、若手による大胆なシーズ発掘に加えて、安定化合物の活性化技術やオペランド計測等を横串の学理とする自然科学系の研究者同士の連携や、自然科学系の研究者と人文・社会科学系の研究者との融合研究の推進により総合知が形成されると期待される。戦略的に「総合知」を有効に創出・活用するためには、それぞれの分野の人材が交流し、融合研究を推進するための継続的な投資が必要であると考えられる。

本戦略目標ではシーズに基づく基礎研究を推進するが、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いることから、緊密な連携が求められる。

## 令和4年度戦略目標

### 1. 目標名

老化に伴う生体ロバストネスの変容と加齢性疾患の制御に係る機序等の解明

### 2. 概要

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

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

### 3. 達成目標

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

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

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

### 5. 具体的な研究例

3.「達成目標」の実現に向けて、日本医療研究開発機構（AMED）が老化制御メカニズム等の解明をしつつその原理に基づいた加齢性疾患の予防や治療に資する研究を推進し、科学技術振興機構（JST）が老化という生命現象の原理の解明に関する研究を推進する。AMEDとJSTは本戦略目標の実現に向けて、一体的な事業運営を行い、それぞれが推進する研究の連携を行う。

- (1) 加齢性疾患の発生・予防・治療に関わる機序解明
  - ・血管障害、代謝異常などの加齢性疾患に老化が関与する機序解明
  - ・加齢性疾患（例：サルコペニア・フレイル）のバイオマーカー等の探索、予防・治療に資する機序解明
- (2) 疾患に関わる生体ロバストネスの老化制御機構の統合的理解
  - ・モデル生物等も活用した、分子/細胞（集団）、臓器、個体の関連性を考慮した疾患に関わる老化制御機構の理解
  - ・モデル生物等も活用した、疾患に関わる老化抑制因子に作用する物質及び抗老化分子の同定、作用機序解明
- (3) 最先端技術を活用した生体ロバストネスの基盤的な理解
  - ・ゲノム・オミクス技術、空間オミクス技術、イメージング技術、データ解析技術、ゲノム

編集技術、分子・細胞・遺伝子操作技術など最先端の技術を活用し、

- 多様な生命現象に着目した、老化に伴う生体ロバストネスの維持・変容メカニズムの解明
- モデル生物等も活用した、環境・遺伝要因等に基づく、老化における個体間の多様性と共通メカニズムの解明
- 老化に関連する特徴的な形質を有する非モデル生物も活用した、老化・寿命決定に関する基盤原理の理解

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

## 6. 国内外の研究動向

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

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

今後は、これらの最先端技術を活用し老化の根本的な原理を探求し、その原理を踏まえた加齢性疾患の予防・治療のための機序を解明するために、基礎研究と予防や治療への応用展開を目指した研究の一体的な研究体制を構築し、包括的に研究を推進していくことが期待される。

### (国内動向)

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

### (国外動向)

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

## 7. 検討の経緯

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

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

2. 上記アンケートの結果及び有識者ヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、生体ロバストネス変容の基盤的な理解、老化の制御機構の理解や加齢性疾患の発生・予防・治療に関わる機序解明、さらに老化研究を加速させる基盤技術開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「老化に伴う生体ロバストネスの変容と回復機構の理解及び制御法の探索」を特定した。
3. 令和3年10月に、文部科学省とJST、AMEDは共催で、注目すべき研究動向「老化に伴う生体ロバストネスの変容と回復機構の理解及び制御法の探索」に関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、わが国において推進すべき研究開発戦略、想定される社会・経済的インパクト、研究成果の最大化に向けた戦略等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者ヒアリング等を踏まえ、本戦略目標・研究開発目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「健康医療戦略」（令和3年4月閣議決定（一部変更））

### 3. 基本方針

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

### 4. 具体的施策

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

## 9. その他

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

本目標を推進するため、ムーンショット型研究開発制度における目標7「2040年までに、主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむためのサステイナブルな医療・介護システムを実現（令和2年度～令和11年度）」やAMED研究開発目標「全ライフコースを対象とした個体の機能低下機構の解明（平成29年度～令和6年度）」との積極的な相互連携を予定している。

今回、JSTとAMEDが共通の本目標の下で研究領域及び研究開発領域を同時に立ち上げ、連携することで新たな老化研究を推進する。具体的には、法人間の更なる連携により、令和3年度戦略目標・研究開発目標「ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明」で培ったJSTとAMEDの連携体制の知見が活用（例：重複申請を可能）され、相互の研究者による新しい共同研究が創出され、若手研究者のステップアップ等が行われることで、老化研究における基礎研究と予防や治療への応用を目指した研究の連携強化が期待される。

## 令和3年度戦略目標・研究開発目標

### 1. 目標名

ヒトのマルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明

### 2. 概要

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

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

### 3. 達成目標

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

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

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

### 5. 具体的な研究例

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

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

#### (4) 生体感覚システムの可視化と制御法の基盤技術開発

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

## 6. 国内外の研究動向

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

### (国内動向)

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

### (国外動向)

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

## 7. 検討の経緯

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

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

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

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

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「健康・医療戦略」（令和2年3月27日閣議決定）

### 3. 基本方針

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

## 9. その他

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

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

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

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

## 令和2年度戦略目標

### 1. 目標名

革新的植物分子デザイン

### 2. 概要

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

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

### 3. 達成目標

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

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

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

### 5. 具体的な研究例

- (1) 有用植物分子の発掘と生合成メカニズムの解明

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

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

- (2) 植物分子デザインに資する基盤技術の開発

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

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

### (3) 植物分子デザインの多様な植物への応用に向けた研究開発

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

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

## 6. 国内外の研究動向

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

### （国内動向）

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

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

### （国外動向）

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

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

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

## 7. 検討の経緯

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

づき、以下のとおり検討を行った。

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び JST-CRDS において開催したワークショップやインタビュー等を参考にして分析を進めた結果、植物の未利用資源活用が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「革新的植物分子デザインを通じた未利用資源活用」を特定した。
3. 令和元年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「革新的植物分子デザインを通じた未利用資源活用」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、従来の植物分野の延長線上にない、植物分野と他分野が融合した新しい領域として取り組むべきテーマやその喫緊性、植物分野と異分野の連携等について議論を行い、ワークショップにおける議論や JST-CRDS のライフサイエンス・臨床医学ユニットからの提言等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

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

### 1.1.4

- ・米、欧、中等主要国において、バイオエコノミーの拡大による新たな市場の形成を国家戦略に位置付け、これまでのバイオテクノロジーをいかに活用するかというシーズ発の発想から大きく転換
- ・持続可能な社会と経済成長の両立というニーズのもと、イノベーションによって再生可能な生物資源や廃棄物を利活用した付加価値製品への転換を発想し、実現するという新しい価値、ひいては新市場の創出を意図

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

### 2-V-30

- ・2050 年までに CO<sub>2</sub> 吸収力を高めた植物・海藻（スーパー植物）、エネルギー生産や GHG 発生抑制等の能力を高めた微生物や植物の安定生産を目指すとともに、気候変動に対応した品種等の開発のための技術開発を行い、産業持続可能なコストでの実用化を目指す。

### 2-V-31

- ・光合成により CO<sub>2</sub> を吸収した微細藻類・植物や廃棄物・下水などのバイオマス資源を利用し、プラスチックや、CNF 等の高機能素材を利用した製品などの開発を行い、2050 年に向けて産業持続可能なコストでの社会実装を目指す。（中略）素材のみならず、その素材を効率的に作るためのバイオマス増産であったり、酵素や酵母の培養等についても実用化に欠かせない量産技術開発として追求する。

## 9. その他

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

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

を目指す。

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

## 令和2年度戦略目標

### 1. 目標名

細胞内構成因子の動態と機能

### 2. 概要

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

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

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

### 3. 達成目標

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

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

### 4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

### 5. 具体的な研究例

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

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

- ・広域（細胞）と局所（分子等）を同時に見る（原子レベルで細胞を丸ごと可視化する）研究
- ・多種分子間相互作用を同時に計測する研究
- ・イメージング結果からゲノム・オミックス状態を推定する研究

- (2) 非平衡・複雑系の細胞内環境に共通する原理の解明

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

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

### (3) 細胞内高次複合体の状態を操作・制御する基盤技術の開発

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

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

### (4) 細胞内高次複合体の相互作用や構造－機能相関の理解

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

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

## 6. 国内外の研究動向

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

### (国内動向)

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

計測・解析技術の動向として、イメージング技術の支援を目的とした、新学術領域研究・学術研究支援基盤形成「先端バイオイメージング支援プラットフォーム」(平成 28～令和 3 年度)事業及び日本医療研究開発機構(AMED)「創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム(BINDS)」事業が推進されており、また、金沢大学のナノ生命科学研究所が「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」事業にて、高速原子間力顕微鏡をはじめとしたナノレベル計測技術の拠点形成を行っている。

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

### (国外動向)

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

米国 NIH(National Institute of Health)及び NIGMS(National Institute of General Medical

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

## 7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び有識者ヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、細胞内機能素子の動的構造・局在・数量と機能の相関の解明と革新的技術開発が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「アトミック・セル・ダイナミクス」を特定した。
3. 令和元年 11 月に、文部科学省と JST は共催で、注目すべき研究動向「アトミック・セル・ダイナミクス」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の方向性、研究期間中に達成すべき目標等について討論した。ワークショップにおける議論や JST-CRDS のライフサイエンス・臨床医学ユニット等の提案を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第 5 期科学技術基本計画」（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）

第 3 章 (1) <2> i)

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

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

2. (1) 1)

（中略）我が国の高度な科学技術を活用した各疾患の病態解明及びこれに基づく遺伝子治療等の新たな治療法の確立、ドラッグ・デリバリー・システム（DDS）及び革新的医薬品、医療機器等の開発等、将来の医薬品、医療機器等及び医療技術の実現に向けて期待の高い、新たな画期的シーズの育成に取り組む。

「未来投資戦略 2017」（平成 29 年 6 月 9 日閣議決定）

第 2 I-1. (2) iii)

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

## 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、令和 2 年度研究開発目標「プロテオスタシスの理解と医療応用」においては、タンパク質の変性・凝集・分解等の動態を細胞から個体レベルで解析することで、疾患発症に至る新たな分子機構を解明することを目指すことから、本戦略目標との技術連携等により効率的・効果的な研究推進が期待される。

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

## 令和元年度戦略目標

### 1. 目標名

多細胞間での時空間的な相互作用の理解を目指した技術・解析基盤の創出

### 2. 概要

イメージング、1細胞オミクス解析等の計測技術や計算機科学の進展により、細胞や生体分子の網羅的、定量的かつ時空間的な解析が可能になりつつある。そして、“生きている”システムとしての生命を理解し、更にはそのシステムの動態を予測することが期待されている。このような中、ヒトやモデル生物、臓器、器官等の細胞・分子地図作成に取り組み、細胞属性の同定や細胞間及び分子間ネットワークの特性の解明を行うことで、生命の理解に迫ろうとする研究が全世界的に進んでいる。

本戦略目標では、様々な技術を糾合・発展させ、多細胞の複雑系におけるネットワークの動的構造を細胞レベルや分子レベルで理解するとともに、観測精度の向上や動態予測と操作を行うための理論と技術を創出する。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、細胞レベルや分子レベルでの生命現象の定量的な理解に向け、オミクス解析、イメージング、数理解析、データ解析等の多様な手段を適切に組み合わせることにより、生体分子や細胞が作る不均一で非連続なシステム動態の制御機構を解明するとともに、その予測・操作技術の創出を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 多様な計測手段を介した生命システムの定量的理解
- (2) 時空間情報を含む細胞間及び分子間ネットワーク解析技術の開発
- (3) 細胞集団の特性や動態を予測・操作する技術と理論の創出

### 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、生命や疾患メカニズムの理解と予測に向けた技術基盤の整備を通じて、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・疾患や病態を分子や細胞の違いに基づき記述できるようになり、様々な疾患に対して個別化医療が実現する社会
- ・計測機器や生物情報を扱う産業が発展し、我が国がその分野で強い競争力を持つ社会
- ・生物が実現している多様な生存・適応のメカニズムを利用し、二酸化炭素濃度の上昇や気温上昇に対して植物や海洋生物等の環境適応を実現する社会

### 5. 具体的な研究例

- (1) 多様な計測手段を介した生命システムの定量的理解

多様な細胞から構成される個体・組織等を対象とし、細胞に含まれる分子情報を1細胞単位で取得し、組み合わせ、解析することにより、生命システムを定量的に理解するための研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・個体発生、腫瘍形成、臓器再生、環境応答等、細胞のダイナミックな移動や増殖を伴う生命現象に関する研究
- ・クローン性を持つ細胞の動態に関する研究

- (2) 時空間情報を含む細胞間及び分子間ネットワーク解析技術の開発

生命科学における階層をつなぎ、多次元のデータからマクロの特性を抽出する研究や時間情報、空間情報を伴う生命システムの振る舞いを理解するための研究、再現性の高い実験材料の創生とその提供に係る研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・イメージング等により得られた細胞毎のダイナミクスと遺伝子発現等の関係性を明らかにす

る研究

- ・血管を保持したオルガノイドの創生に係る研究

### (3) 細胞集団の特性や動態を予測・操作する技術と理論の創出

計測データから数理モデルを構築・検証し、細胞集団の動態を予測・操作する研究やそのための理論を構築する研究を行う。具体的には以下の研究等を想定。

- ・組織を形成する異なる種類の細胞の網羅的な計測データを、機械学習等を用いて解析し数理モデルを構築・検証する研究
- ・発生等の生命現象が進行する過程に潜むネットワークを見出し、その動態を記述する新たな理論を創出する研究
- ・細胞-分子間ネットワークや細胞集団の動態を決定する因子を同定・検証し、予測・操作するための研究

## 6. 国内外の研究動向

シーケンシングに代表される網羅的計測技術の進展と、大量データを処理する情報学との共同により、ライフサイエンス分野においては、従来の個別の遺伝子や分子に着目した研究から、網羅的情報の収集と解析による研究へとその方法論がシフトしつつあり、システムとしての生命の包括的な理解に向けた研究が世界的に盛んに行われている。

(国内動向)

現在、新学術領域「代謝アダプテーションのトランスオミクス解析」(2017~2021年度)、文部科学省共同利用・共同研究拠点事業の中で「トランスオミクス医学研究拠点ネットワーク形成事業」(2016~2021年)等のプロジェクトが推進中であり、これまでゲノミクス、トランスクリプトミクス、プロテオミクス、メタボロミクスの文脈で別々に認識されていた多階層ネットワークを統合し、生命システムを全体として理解することを目指す研究領域が確立されつつある。

イメージングは従来、我が国が技術的にリードしている分野であり、国際的にも存在感を發揮している。新技術の登場と深層学習等の活用により、時間解像度、空間解像度ともに物理限界を突破し、個別の細胞を識別・追跡することも可能になりつつある。オミクス解析で得られない局在、時間変動の情報を、イメージング技術によって取得することが期待されており、当該分野の研究開発に注目が集まっている。

(国外動向)

1細胞レベルでの解析技術の開発が加速的に進んでおり、37兆個のヒト細胞1つ1つから情報を取得し、カタログ化しようとする大規模プロジェクト Human Cell Atlas が米国、英国主導のもと行われている。本プロジェクトで蓄積されたデータは公開を予定されていることは注目に値する。

精密医療、個別化医療を目指したオミクス研究のプロジェクトは多く、例えば米国の Cancer Moonshot Initiative にサポートされて発足した International Cancer Proteogenome Consortium (ICPC) には日本を含む12か国が参加しており、国際的にプロテオゲノミクスを用いてがん研究を推し進める機運が高まっている。

## 7. 検討の経緯

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

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

て、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

2. 上記アンケートの結果及び JST-CRDS で行われた「多階層オミクスとイメージング：イメージングを基盤とした統合的生体機能の解明に向けて」ワークショップでの議論等を参考にして分析を進めた結果、様々な技術を糾合・発展させ、多細胞の複雑系におけるネットワークの動的構造を細胞レベルや分子レベルで理解するとともに、観測精度の向上や動態予測と操作を行うための理論と技術を創出することが重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「生命現象の理解と予測に向けた分子・細胞システムの解明とその利用」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「生命現象の理解と予測に向けた分子・細胞システムの解明とその利用」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、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やJST-CRDSのライフサイエンス・臨床医学ユニットからの提言等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」（2016年1月22日閣議決定）

### 第3章（1）<2> i）

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

「健康・医療戦略」（2014年7月22日閣議決定、2017年2月17日一部変更）

### 2.（1）1）

（中略）我が国の高度な科学技術を活用した各疾患の病態解明及びこれに基づく遺伝子治療等の新たな治療法の確立、ドラッグ・デリバリー・システム（DDS）及び革新的医薬品、医療機器等の開発等、将来の医薬品、医療機器等及び医療技術の実現に向けて期待の高い、新たな画期的シーズの育成に取り組む。

「未来投資戦略2017」（2017年6月9日閣議決定）

### 第2 I-1.（2）iii）

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

## 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、国内では2014年度に発足したCREST/さきがけ「1細胞解析」において、シングルセルレベルでの生体分子解析技術の開発を推進しており、本戦略目標との技術連携等により効率的・効果的な研究推進のための取組が期待される。また、国立研究開発法人理化学研究所は、Human Cell Atlasプロジェクトの中核拠点を担っており、本戦略目標を推進する観点で相互に技術や情報の共有等の連携を行うことで、より効率的・効果的な研究推進への取組が期待される。

国際戦略として、Human Cell Atlas等の国際プロジェクト等との連携を進め、若手人材の育成、日本発の技術の海外展開等を進める。また、技術を利用する企業と連携し、研究開発成果の社会還元を推進する。

本戦略目標の下で行われる研究によって得られたデータや開発された技術等については、領域内外における適切な活用や共有を推進するとともに、JSTの「ライフサイエンスデータベース統合推進事業」（2011年度～）等と連携しながら、データベース化等により更なる研究展開に向けた

基盤を構築する等、効率的・効果的な研究推進のための取組が期待される。

## 平成 30 度戦略目標

### 1 目標名

ゲノムスケールの DNA 合成及びその機能発現技術の確立と物質生産や医療の技術シーズの創出

### 2. 概要

ゲノム DNA 配列決定技術やゲノム編集技術は、生命科学研究の進展を支える重要な基盤技術となっている。特に近年、ゲノム編集技術は、CRISPR-Cas9 の登場により生命科学を転換する技術として大きな注目を集め、育種や医療分野への応用研究も急速に進められている。このような中、これらに続く新たな技術として DNA 合成技術に革新が起こりつつあり、数万塩基対以上の長鎖 DNA を合成し、細胞内での機能発現を解析することで、ゲノムに関する機能やその原理を理解するための研究が行われつつある。

本戦略目標では、生命科学を中心に、情報科学、物質科学等とも連携しつつ、ゲノムを設計、合成して細胞に導入し、期待する機能を発現させる技術の確立を目指す。

### 3. 達成目標

本戦略目標では、ゲノムスケールの DNA を合成する技術の確立と、合成した DNA の活用によるゲノム機能の本質的解明及び細胞機能の制御を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) ゲノムが持つ機能を理解し、人工的にゲノム配列を設計するための基本的な原理の発見と手法の創出
- (2) ゲノムスケールの DNA を設計、合成して細胞に導入し、期待する機能を発現させる技術の開発
- (3) 設計・合成した DNA を用いた細胞機能の制御技術の創出

### 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、生物種に依存せず細胞を工学的に操作、制御するための技術基盤が整備され、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・未利用の生物機能を最大限引き出すことにより、製品の製造や精製に係るエネルギー消費が大幅に削減し、持続可能な消費と生産のパターンを確保する社会。
- ・バイオ医薬品の製造効率の大幅な向上、疾患研究や創薬研究に利用する細胞の確立が進み、複合的な要因による疾患に対する研究と治療法の確立が進む社会。
- ・化学工業プロセスからバイオ産業プロセスへの転換が進み、我が国がその分野で強い産業競争力を持つ社会。

### 5. 具体的な研究例

(1) ゲノムが持つ機能を理解し、人工的にゲノム配列を設計するための基本的な原理の発見と手法の創出

ゲノムが持つ機能を理解し、人工的にゲノム配列を新たに設計する具体的な手法に関する研究を行う。例えば、機能未知のゲノム領域を欠損・合成し、それらの変異体の機能を解析することによりゲノムが持つ機能を明らかにする研究、長鎖 DNA を用いてゲノムの高次構造を自在に再構成し、構造が細胞や生物の機能に対して果たす役割を明らかにする研究、期待する機能を具体的な DNA 配列情報として書き出す情報処理アルゴリズムの開発とその実験検証を行う研究、ミトコンドリアや葉緑体のゲノム DNA を合成した長鎖 DNA に置き換え、その機能を解明する研究等を行う。

(2) ゲノムスケールの DNA を設計・合成して、細胞に導入し、狙った機能を細胞内で発現させるための基盤技術の開発

現在の DNA の設計・合成・機能発現に関する要素技術を育成、革新し、長鎖 DNA の設計・合成・機能発現を可能にする基盤技術開発を行う。例えば、ゲノム配列設計に向けたビッグデータの解

析、合成可能な DNA 長の上限を飛躍的に拡張する長鎖 DNA の合成、長鎖 DNA の物理的安定化、長鎖 DNA の細胞への導入、長鎖 DNA の導入や機能発現が容易な宿主細胞等に関する技術開発を行う。

### (3) 設計・合成した長鎖 DNA を用いた細胞機能の制御技術の創出

設計・合成した長鎖 DNA を細胞に導入し、ゲノム配列とその機能の対応関係を解明し、それに基づき細胞機能を制御するための研究を行う。例えば、合成した長鎖 DNA を利用して細胞に新たな機能を導入するほか、長鎖 DNA を利用する細胞のゲノムを再設計し、細胞機能を制御する研究等を行う。

なお、具体的な研究例 (1) ~ (3) に係る項目の研究開発にあたっては、将来の実用化を想定した際の倫理的・法的・社会的課題に配慮するために、関連する人文社会系の研究者の助言・提案を取り入れて研究を実施することが求められる。

## 6. 国内外の研究動向

### (国内動向)

内閣府において、平成 29 年 10 月にバイオテクノロジーによるイノベーションを促進する上での課題及び戦略策定について政策討議が行われ、その後 12 月からバイオ戦略検討ワーキンググループが開催されている。その中で合成生物学についてはアカデミアのみならずバイオ産業からの関心も高く、その基礎基盤の確立が求められている。また、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会「ライフサイエンス委員会」(第 85 回)において、ゲノム医療に関わる重要テーマのひとつとして "Genome-Write technology" が紹介された。

我が国ではゲノムスケールの長鎖 DNA 合成の基盤技術シーズが生まれつつある。枯草菌を DNA 集積に利用する手法や、試験管内で大腸菌ゲノム複製の機構を再構成した手法が報告される (ImPACT「人工細胞リアクタ」) など、長鎖 DNA 合成はわが国が世界的にも強みを有している分野である。このように、長鎖 DNA の合成技術の高度化とその普及による学術研究の新たな展開やその産業応用に、我が国の将来の成長エンジンとして大きな期待が集まっている。

### (国外動向)

米国でゲノムスケールの DNA 合成の国際コンソーシアム (GP-Write) が立ち上がり、そのキックオフミーティングでは参加者の半数が企業であるなど、産学とも関心が高い。加えて、Nature 誌で 2017 年の注目テーマに挙げられた。中国では、ゲノムスケールの DNA 合成を含む合成生物学の分野で、深セン市、天津大学、中国科学院が中心となり数百億円レベルの予算で世界レベルの研究所の設置、拡充が進んでおり、若手研究者が米国で技術を習得し帰国している。しかし、国際コンソーシアム全体をコーディネートしているのは米国のコミュニティで、依然、研究のフロンティアは米国にある。英国は 2000 年代後半から合成生物学のコンソーシアムを作っているが学術的に世界をリードする状況にはなく、ベンチャー企業を介した産業化に重きを置いている。

## 7. 検討の経緯

「戦略目標等策定指針」(平成 27 年 6 月科学技術・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本目標に係わる動向を特定した。

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

## 8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」(平成28年1月閣議決定)

第3章(1)①ii)

バイオマスや廃棄物等からの燃料や化学品等の製造・利用技術及び廃棄物処理技術の研究開発等にも取り組む。

第3章(3)②ii)

このように、個別システムにおいて新たな価値創出のコアとなり現実世界で機能する技術として、国は、特に以下の基盤技術について強化を図る。

・センサ技術やアクチュエータ技術に変革をもたらす「バイオテクノロジー」

第3章(1)③

また、計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料、構造材料等の創製を進めるとともに、その開発期間の大幅な短縮を実現する。

「科学技術イノベーション総合戦略2017」(平成29年6月閣議決定)

第2章(2)[C]②ii)

・生物情報のデジタル化、AI、ゲノム編集技術等のNBT(New Plant Breeding Techniques)の融合、農業と生物機能の高度活用による新価値創造等バイオテクノロジー等に係る研究開発の強化

## 9. その他

本戦略目標に関連する施策として、ImPACT「人工細胞リアクタ」がある。当該プログラムは計測ともの作りを組み合わせ、無細胞系での長鎖DNA合成を進め、成果の社会還元を目指し事業化を推進しているのに対し、本戦略目標は長鎖DNAの設計・合成・機能確認を通じたゲノム機能の解明を目指しており、当該プログラムと相補的な関係にあるため、緊密な連携の下で進める必要がある。

国際戦略として、ゲノムサイズのDNA合成の国際コンソーシアム「GP-Write」との連携により若手人材の育成、日本発の技術の海外展開等を積極的に進める。また、技術を利用する企業と連携し、研究開発成果の社会還元を推進する。

本研究開発目標の下で行われる研究によって得られたデータについては、科学技術振興機構(JST)の「ライフサイエンスデータベース統合推進事業」(平成23年度～)等と連携しながら、データベース化等により更なる研究展開に向けた基盤を構築するなど、効率的・効果的な研究推進のための取組が期待される。

## 平成 29 年度戦略目標

### 1 目標名

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

### 2 概要

材料の研究開発はインフォマティクス技術の進歩により革新時期を迎えており、マテリアルズ・インフォマティクスによる新規物質の探索では高速化の面でいくつもの成果が得られている。一方、物質合成や材料組織制御等の材料プロセスにおいては、実在物質の挙動を表現する理論やモデリングツール等が不足し、革新の妨げとなっている。最適な材料プロセスの効率的な探索や、材料を創製するための新プロセスの構築等に対して研究の進展が求められており、産業界においても同様の課題意識がある。

本戦略目標においては、物質探索から材料創製までの開発期間を、実験と計算科学・データ科学等（以下、データ科学等）との融合により桁違いに短縮し、多様な材料の創出に資する研究を推進し、産業競争力の向上に貢献する。さらに、実験とデータ科学等の双方を理解する人材の育成にも貢献する。

### 3 達成目標

本戦略目標は、有機無機問わず様々な材料を対象とし、物質合成や材料組織制御における実験を基盤に、データ科学等との融合を図ることで、革新的材料開発へとつながる手法の構築を目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 実在物質の挙動予測モデル構築とそれを用いた物質の合成
- (2) 材料の組織制御モデル構築とそれを用いた材料の開発

### 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、勘と経験に基づく材料開発ではなく、材料データに理論モデリングや現実挙動モデリングを組み合わせた、高速かつ高効率な材料開発が主流となり、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・新しい機能性材料や構造材料等、様々な新規材料が高度なデータ科学等によって創出される社会
- ・研究開発効率が大幅に向上し、例えば、従来 10 年かかっていた研究フェーズが 2~3 年に短縮される社会
- ・生産性向上とコスト削減の極限追求が高度なデータ科学等によって支援され、産業が高度化する社会
- ・要求性能と材料との相関が明らかになり、エンドユーザーや設計者・開発者も新機能材料候補を選択できる社会

### 5 具体的な研究例

- (1) 実在物質の挙動予測モデル構築とそれを用いた物質の合成

実験時の物質挙動の予測や物質合成プロセスの予測を可能とする手法の構築と、物質の合成に取り組む。例えば合成実験を通じて反応条件や物質の変化をデータ化し、データ科学等の手法を用いて解析することで、所望の物質組成や特性を実現する最適な合成・反応経路を提示する技術を構築する。さらに、新規物質の合成や既存プロセスの最適化を対象とする。

- (2) 材料の組織制御モデル構築とそれを用いた材料の開発

材料制御プロセスにおける組織構造変化の予測を可能とする手法の構築と、組織を制御された材料の開発に取り組む。例えば、無機物質や有機物質の組織制御実験にデータ科学等を用いた解

析を適用することで、所望の材料組織や組織構造を実現する加工プロセスを提示する技術を構築する。さらに、組織制御や材料の開発あるいは既存の組織制御法の最適化を対象とする。

## 6 国内外の研究動向

(国内動向)

2006年以降の累計論文数では、我が国は材料に適した物質合成分野や材料組織の制御により目的の材料を試作・製造するプロセス分野において、いずれも国際的に上位に位置しており、実験系材料研究に強みがある。加えて、対象材料は限定されるが、未知の物質を計算や理論から探索・発見するための研究を推進している「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ (MI2I)」と、材料加工から材料製造、寿命予測等の領域を中心とした戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「革新的構造材料」、マルチスケールシミュレーションを中心とした超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクトが先行して事業化されている。さらに、AIP：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や、各企業の取組等、材料のインフォマティクスやインテグレーションを取り巻く研究も勢いを増している。一方、未知の材料を実際に創製する研究については、課題とされており、研究の進展・発展が必要とされている。

(国外動向)

材料とインフォマティクスが関わる論文数は2006年から2015年まで年平均成長率9.8% (※)で増加しており、重要かつ開拓途上の研究領域と見なされていると言える。国別動向ではMaterials Genome Initiativeで先行している米国が2011年からの5年間に500百万ドルの投資を行い投資規模で圧倒している。EUでは個別の投資規模は小さいが、ドイツ、スイス、スペイン等が様々なプロジェクトを推進している。中国においては上海大学内にShanghai Materials Genome Instituteが設立されるなど、各国それぞれ人材育成や研究等、様々なフェーズで取組を推進している。

※ Web of Science のデータを基に、「材料」・「データ」・「インフォマティクス」等をキーワードとして件数を調査。

## 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「ステージ融合によるインフォマティクス技術の革新」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「ステージ融合によるインフォマティクス技術の革新」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

## 8 閣議決定文書等における関係記載

「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）<1>

新たな価値創出のコアとなる我が国が強みを有する技術を更に強化していくことが必要である。

第2章（3）<2>2)

・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>

計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料、構造材料等の創製を進めるとともに、その開発期間の大幅な短縮を実現する。

「科学技術イノベーション総合戦略2016」（平成28年5月24日閣議決定）

第2章（1）3. 2) [A]

他国に対して優位性を確保するため、物質探索を主体とするマテリアルズ・インフォマティクスのみならず、これを拡張し、理論、実験、解析、シミュレーション、データベースなど全ての科学技術を融合して材料のパフォーマンス（耐久性、安全性等）まで予測可能な材料開発システムを構築することが重要である。（中略）本システムは、ニーズを先取りした革新的な物質・材料の創製、研究開発期間の短縮を実現し、素材産業の競争力強化を実現することができる。また、新材料は、省エネ部材、軽量化部材などとして早期に社会実装されることにより、エネルギー、地球環境問題等の社会課題の解決をもたらす。

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

第2 3-1. (2) -2) -3

ナノテク・材料分野など我が国が強みをいかせる分野においてビッグデータ等の戦略的な共有・利活用を可能にするための国際研究拠点を形成し、人的・研究ネットワークの構築を図る。

## 9 その他

- 科学技術振興機構（JST）さきがけ「理論・実験・計算科学とデータ科学が連携・融合した先進的マテリアルズインフォマティクスのための基盤技術の構築」（平成27年度発足）では、実験計測、理論計算、情報・数学出身の研究者が活動している。本目標において、物質合成・組織制御等の実験と、データ科学等との融合を推進し、材料開発におけるインフォマティクス技術の活用・発展を図る。
- MI2I ではデータベースの構築とデータ科学との融合により材料開発を発展させる取組を行っており、データプラットフォームの構築やインフォマティクスを用いた新規物質の探索を行っている。企業等が40社以上加入するコンソーシアム活動も始まっている。
- SIP-革新的構造材料では航空材料を対象とした構造材や機能材の開発が行われており、マテリアルズインテグレーション領域では材料と予測を統合する研究がなされている。成果を統合したソフトウエアの構築も進んでいる。
- 各所での研究によって発見された探索物質と実際の材料の間には、仮想物質と実在物質という大きな技術的ギャップが存在している。本目標によってギャップを埋める研究成果の創出も期待される。すなわち、双方の研究や各事業をつなぐ研究の一部となることが期待され、橋渡しによる効率的、効果的な材料開発基盤の実現が期待される。