

令和 2 年度戦略的創造研究推進事業における 新規発足研究領域及び研究総括の設定について

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

令和 2 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 2 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 2 年度新規発足研究領域、研究総括及び戦略目標 一覧

研究領域(略称)	研究総括	戦略目標(設定年度)
<u>CREST</u> 原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能(自在配列システム)	きみづか のぶお 君塚 信夫 (九州大学 大学院工学研究院 主幹教授)	「自在配列と機能」
<u>さきがけ</u> 原子・分子の自在配列と特性・機能(自在配列)	にしはら ひろし 西原 寛 (東京理科大学 研究推進機構総合研究院 教授)	「自在配列と機能」
<u>CREST</u> 情報担体を活用した集積デバイス・システム(情報担体)	ひらもと としろう 平本 俊郎 (東京大学 生産技術研究所 教授)	「情報担体と新デバイス」
<u>さきがけ</u> 情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム(情報担体)	わかばやし ひとし 若林 整 (東京工業大学 工学院 教授)	「情報担体と新デバイス」
<u>CREST</u> 信頼される AI システムを支える基盤技術(信頼される AI システム)	あいざわ あまこ 相澤 彰子 (国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授/所長補佐)	「信頼される AI」
<u>さきがけ</u> 信頼される AI の基盤技術(信頼される AI)	ありむら ひろき 有村 博紀 (北海道大学 大学院情報科学研究院 教授)	「信頼される AI」
<u>さきがけ</u> 植物分子の機能と制御(植物分子)	にしたに かずひこ 西谷 和彦 (神奈川大学 理学部 教授)	「革新的植物分子デザイン」
<u>CREST</u> 細胞内現象の時空間ダイナミクス(細胞内ダイナミクス)	えんどう としや 遠藤 斗志也 (京都産業大学 生命科学部 教授)	「細胞内構成因子の動態と機能」

<p><u>さきがけ</u> 細胞の動的・高次構造体(高次構造体)</p>	<p><u>のじ ひろゆき</u> 野地 博行 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)</p>	<p>「細胞内構成因子の動態と機能」</p>
<p><u>ACT-X</u> AI 活用で挑む学問の革新と創成(AI 活用で挑む学問の革新と創成)</p>	<p><u>くによし やすお</u> 國吉 康夫 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授)</p>	<p>「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 年度) 「急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術の創出」(平成 28 年度) 「実験とデータ科学等の融合に寄る革新的材料開発手法の構築」(平成 29 年度) 「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」(平成 31/令和元年度) 「多細胞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 31/令和元年度) 「信頼される AI」(令和 2 年度)</p>
<p><u>ACT-X</u> 環境とバイオテクノロジー(環境とバイオテクノロジー)</p>	<p><u>のむら のぶひこ</u> 野村 暢彦 (筑波大学 生命環境系教授／微生物サステナビリティ研究センター 副センター長)</p>	<p>「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 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 29 年度) 「革新的植物分子デザイン」(令和 2 年度)</p>

(別紙)

研究領域及び研究総括の設定の手順及び理由

1. 研究領域及び研究総括の設定のための事前評価の項目及び評価者

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

(1) 事前評価の項目

(ア) 研究領域

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

(イ) 研究総括

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

(2) 評価者

研究主監会議が評価を行う。

◆研究主監会議 名簿 (2020年3月末時点)

	氏名(敬称略)	所属
議長	宮野 健次郎	物質・材料研究機構 フェロー
	有川 節夫	放送大学学園 理事長
	小安 重夫	理化学研究所 理事
	澤本 光男	中部大学 教授
	辻 篤子	名古屋大学 特任教授
	富山 和彦	株式会社 経営共創基盤 代表取締役 CEO
	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(2019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。

➤ インタビューは、JST のスタッフ 55 人が、延べ 232 名の外部有識者を対象として実施。

➤ 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。国内研究者約 30 万人、国内外文献の書誌情報約 5,222 万件を収録。)、JDreamIII (JST が運営する日本最大の科学技術文献データベース、約 7,000 万件を収録)、Web of Science (Clarivate Analytics 社が提供する学術文献引用データベース。文献約 20,000 誌を収録)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(2020年3月9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) 研究領域および研究総括の事前評価と決定

(ア) 研究主監会議(2020年3月27日)を開催し、研究領域および研究総括の事前評価を行いました。

(イ) 上記の事前評価結果を受け、JST が研究領域および研究総括を決定しました(2020年4月13日)。

3. 新規研究領域及び研究総括とその設定の理由

新規研究領域および研究総括と、研究主監会議によるその設定の理由は以下の通りです。
(研究総括の所属・役職は、2020年4月現在のものです)

3-1 戦略目標「自在配列と機能」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 『原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能』(CREST)

(1) 研究領域の概要

本研究領域は、原子・分子の配列や配向を合理的に制御した原子・分子組織構造を自在構築し、そのエネルギーランドスケープを制御するとともに、その組織構造に独自の化学的、物理的、あるいは生物科学的な機能を発揮させるための基盤技術の創出を目指すものです。

研究分野としては、原子・分子から成る有機分子、生命分子、高分子、金属イオン、金属錯体、無機化合物や金属クラスター、ナノカーボンをはじめとする分子・ナノ物質群を研究する分野を広く対象とします。例えば、(1) 同種・異種原子の配列と結合が自在に制御された機能性分子やナノマテリアル、単位(ユニット)分子の定序配列(シークエンス)構造が共有結合あるいは非共有結合的に合理的に制御されたオリゴマー、高分子などを対象に、それらの溶液中、表面・界面、あるいは固体状態における高次構造や組織化構造を、一次元、二次元、三次元配列や順序を制御しつつ、かつナノ～メゾ～マクロスコピックに至る任意の次元・スケールで制御する技術、(2) 得られた原子・分子組織系において、各々の構造単位や着目する元素・官能基、機能団の配列・配向を、有機化学的な精密さを持って自在制御するための技術を開発するとともに、(3) 得られた配列構造の電子状態やエネルギーランドスケープを原子・1分子レベルの精度で解析・計測する技術や理論・計算科学的手法の開発を進めます。さらに、(4) 原子・分子の定序配列・配向構造を自在制御することによって、はじめて生み出される電子的、磁氣的、光学的機能や化学的機能などの“分子システム機能”を、配列・配向・組織化・階層構造との相関において明らかにし、これらの科学的知見を体系化して、分子システム科学における基盤学理の創成をはかります。

(2) 研究総括

君塚 信夫(九州大学大学院工学研究院 主幹教授)

研究領域 2 『原子・分子の自在配列と特性・機能』(さきがけ)

(1) 研究領域の概要

本研究領域では、原子や分子を自在に結合、配列、集合する手法を駆使して、次元性、階層性、均一・不均一性、等方・異方性、対称・非対称性、複雑性などの観点からユニークな構造をつくり出し、その構造がもたらす新しい化学的、物理的、生物学的ならびに力学的に新奇な特性や機能を引き出すことによって、基礎科学のイノベーションを起こすとともに、社会インフラや生活を豊かにする革新的な物質科学のパラダイムを構築することを目的とします。

具体的には、近年、飛躍的に進歩してきた化学合成、原子操作、分子集合技術を基盤として、新しい発想や戦略のもとに、独創性に溢れた新物質、新構造体を生み出します。そのユニークな物質・構造体を、進化が著しい化学構造解析、結晶構造解析、ナノ配列構造解析や原子レベルの精密分析技術、さらに、大規模計算による精密な構造や化学的性質・物性の予測・解析法などと組み合わせることによって、類のない特性や機能の発現へ展開します。

原子・分子を要素とする物質や構造体の合成・変換・組合・配列とそれらの分析・解析を対象とする化学に加えて、理論に基づいて物質の特性を予測、解析する物理学、生体物質や生物機能の仕組みの分子レベルでの解析やそれらに作用する物質の開発を行う生物学、デバイス作製を行う工学などが連携して、未来社会

に有用な俯瞰的な新しいモノづくりを行うことによって、社会が抱えている持続可能な開発目標、SDGs の達成に貢献する科学技術を切り開きます。

(2) 研究総括

にしはら ひろし
西原 寛 (東京理科大学研究推進機構総合研究院 教授)

[2] 研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 『原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能』(CREST)

研究領域 2 『原子・分子の自在配列と特性・機能』(さきがけ)

(1) 研究領域選定の理由

本戦略目標は、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的とするものである。

研究領域 1 は、原子・分子から成る有機分子、生命分子、高分子、金属イオン、金属錯体、金属化合物や金属クラスター、ナノカーボンをはじめとする分子・ナノ物質群等の研究提案を対象とし、原子・分子の配列や配向などの分子配列情報を、有機化学的な精密さをもって制御する新手法や、さらにその組織化をはかって電子状態などのエネルギーランドスケープを分子レベル制御した原子・分子組織系(=分子システム)を構築することを旨とする。さらに原子・分子の配列・配向情報、分子組織化情報に依存して発現が制御される新たな機能との相関を解明することを目指し、分子システム独自の高次機能の発見や、その発現に関するデザイン手法の創出を通して、「分子システム」の科学における新しい基盤学理を創成する。そのためには、化学、物理学、生物学、電子工学、材料工学等の広範な分野に関わる学問・技術分野の融合が必要であり、研究推進体制として複数分野の研究者からなるチーム編成が可能な CREST 事業を選定することは適切である。

研究領域 2 は、原子や分子を自在に配列する手法を駆使して、独創性に溢れた新物質、新構造体を生み出し、またナノ配列構造解析や大規模計算による構造・特性の予測・解析法などと組み合わせることによって、類のない特性や機能の創出を目指す研究を対象とする。当該の目的を達成するためには、物質科学およびそれに関連す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。

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 君塚 信夫

君塚氏は、自己組織化現象を基盤に、分子間相互作用やナノ構造を制御して分子群として機能を発揮させる研究に取り組んでいる。従来の自己組織化は、エネルギー最小の高次構造が自発的に形成される自己集合や超分子化学を中心に扱うものであった。君塚氏はこれをさらに発展させ、有機分子、高分子、生命分子、光機能性分子、金属錯体、無機化合物、金属ナノ結晶など多様な物質を対象に、自己組織化に基づき、熱力学的に最安定ではないエネルギー状態の分子を高度に設計・構築する学術として分子システム科学という概念を掲げ、学理を創成してきた。研究実施においては、分子の自発的な組織形成に基づく高次システム機能の設計手法とその基礎的成果を応用展開する方法論を開発するという方向と、次世代の物性・機能に対するニーズから出発しそれを実現するための分子システムを設計する手法を開発するという方向の、両方向をとっている。

これらの業績に対する国内外での評価は高く、文部科学大臣表彰科学技術賞や各学会賞を受賞するに加えて、「その専門分野において極めて高い業績を有し、かつ本学の研究戦略の先導的な役割を担う者」として九州大学内で定められている主幹教授の称号を、2009 年に付与されている。また、九州大学分子システム化学センターのセンター長や新学術領域研究「配位アシンメトリー」の総括班メンバーおよび実施班代表を務めるなど、高い研究マネジメント能力を発揮している。さらに、高分子学会の元副会長、日本学術振興会の化学専門調査班の現主任研究員を務めるなど、分野を代表する公平公正な人格であるとして関連分野の研究者

から厚く信頼されている。

以上より、同氏は研究領域 1 の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 西原 寛

西原氏は、無機化学と錯体化学を基盤に、電気化学、光化学、分子エレクトロニクスに跨がる業績を挙げた。具体的には、光、電場、磁場、化学環境などの外部刺激も活用しながら配位結合を制御して、多彩で精密な分子ユニットを設計通りに連結・融合させ、それによって特異的な物性を有する新物質群を創成した。これにより、錯体と界面との組合せで外部信号の入出力を可能とする化学素子や、多重物性を有する新奇分子システムを得ている。中でも導電性、電気化学的反応で光物性が変化するエレクトロクロミズム特性、また光電変換能を有する配位ナノシートの創製については、同分野の研究を国際的に先導するものとして、学術界および産業界の双方から高く注目されている。これらの成果は、物理や生物など他分野との連携を積極的に行うことにより得ており、対象とする研究分野は化学に留まらない

上記の成果は国内外で高く評価され、アジア人としての初の仏ボルドー第一大学名誉博士号の授与、英国王立化学会のフェローの認定、錯体化学会賞および化学会賞の受賞などを得ている。また、錯体化学会の会長、日本化学会の理事、電気化学会の副会長、および新学術領域研究「配位プログラミング」の領域代表者などを歴任しており、優れたマネジメント力の発揮を通して、温厚、公正な人柄により、幅広い年代と分野の研究者から支持を得ている。さらに、近年は後進の育成にも熱心であり、化学会の化学教育賞も受賞している。

以上より、同氏は研究領域 2 の研究総括として適任であると判断される。

3-2 戦略目標「情報担体と新デバイス」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 『情報担体を活用した集積デバイス・システム』(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、デバイス内で情報の鍵を握る「情報担体」の特性を活用した高性能・高機能デバイスを創出し、さらにこれらを集積化・システム化することにより社会実装可能な情報システム基盤技術を創成します。超スマート社会やさらにその先の次世代情報化社会を実現するには、情報処理を担うデバイスやシステムのさらなる高度化が不可欠です。一方で、CMOSの微細化に代表される従来のエレクトロニクスでは情報処理能力向上に限界が見え始めており、限界を突破するための新しい材料・デバイス技術やそれらをシステム化するための革新的な基盤技術が求められています。

そこで本研究領域では、デバイス内での情報処理の鍵となる情報担体に着目します。ここで情報担体とは、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ます。本研究領域では、多くの既存デバイスで情報担体の役割を果たしている電荷に限らず、スピン状態や分子構造、物質相変化、量子、構造ネットワークといった情報を担いうるあらゆる情報担体を対象とします。情報の取得、変換、記憶、演算、伝達、出力等のデバイス機能の根幹をなす多様な情報担体を深く掘り下げ、かつ高度に利用することによって革新的なデバイスを創出します。さらに社会実装可能なシステム構築へと導くため、単体デバイスによる機能発現にとどまらず、集積化・システム化を行うことにより、回路・アーキテクチャ・システム・アプリケーションレイヤーとの協働を進め、革新的な情報システム基盤のイノベーションを目指します。

(2)研究総括

ひらもととしろう
平本俊郎(東京大学生産技術研究所 教授)

研究領域 2 『情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、デバイス内で情報の鍵を握る「情報担体」の特性を活用した高性能・高機能デバイスを創出し、さらにこれらを集積化・システム化することにより社会実装可能な情報システム基盤技術を創成します。超スマート社会やさらにその先の次世代情報化社会を実現するには、情報処理を担うデバイスやシステムのさらなる高度化が不可欠です。一方で、CMOSの微細化に代表される従来のエレクトロニクスでは情報処理能力向上に限界が見え始めており、限界を突破するための新しい材料・デバイス技術やそれらをシステム化するための革新的な基盤技術が求められています。

そこで本研究領域では、デバイス内での情報処理の鍵となる情報担体に着目します。ここで情報担体とは、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ます。本研究領域では、多くの既存デバイスで情報担体の役割を果たしている電荷に限らず、スピン状態や分子構造、物質相変化、量子、構造ネットワークといった情報を担いうるあらゆる情報担体を対象とします。情報の取得、変換、記憶、演算、伝達、出力等のデバイス機能の根幹をなす多様な情報担体を深く掘り下げ、かつ高度に利用することによって革新的なデバイスを創出します。さらに社会実装可能なシステム構築へと導くため、単体デバイスによる機能発現にとどまらず、集積化・システム化を行うことにより、回路・アーキテクチャ・システム・アプリケーションレイヤーとの協働を進め、革新的な情報システム基盤のイノベーションを目指します。特に本研究領域では、個人のアイデアにもとづいた挑戦的な材料・デバイス・システムの基礎研究に注力します。

(2)研究総括

わかばやし ひとし
若林 整 (東京工業大学工学院 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 『情報担体を活用した集積デバイス・システム』(CREST)

研究領域 2 『情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム』(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、次世代情報化社会においてさらに高まるデバイスやシステムへの各種ニーズに応えるために、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、システムとして的大幅な性能向上を実現することを目的とするものである。ここで、情報担体とは、デバイスの情報処理特性の鍵となる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定め、従来多くの既存デバイスで情報担体の役割を果たしている電荷に限らず、スピン状態や分子構造、物質相変化、量子、構造ネットワークといった情報を担いうるあらゆる情報担体を対象とすることで、革新的なデバイス創出が期待される。

研究領域 1 は、(1)情報担体の特性を最大限に引き出す材料・デバイス構造の追求による革新的デバイスの創出、(2)センシング、コンピューティング、アクチュエーション、通信、表示、エネルギーハーベスティング等の異なるデバイス機能を融合し、その集積化・システム化までを包含した情報基盤技術の創成、を研究提案の対象とする。本研究領域では、革新的なデバイス創出による社会実装への展開を強く意識した領域運営を志向しており、研究開発体制としても材料・デバイス・システム・アプリケーションなど多様なレイヤーの参画が求められるため、チーム型研究を特長とする CREST 事業を選定することが適当である。

研究領域 2 は、情報担体の多様化やそれを用いた革新的なデバイス創出という目標は研究領域1と同一にしながらも、領域としての学際性やレイヤーの広がりをさらに期待し、個人研究者の独創的なアイデアにもとづく提案を研究提案の対象とする。本研究領域では、様々な情報担体に専門性を持つ研究者、材料・デバイス・システム・アプリケーションなどの異なるレイヤーに属する研究者などの多岐にわたる参画が期待される。領域内での異分野の研究交流を促進することによって、実デバイスを見据えた融合研究の創出が期待されるため、さきがけ事業を選定することは適当である。

また、研究領域 1 と研究領域 2 を同時に設定し研究領域同士の相互交流や共同研究を促進することで、新規なテーマ創出などが期待される。また、研究成果を効果的に社会実装へ導くという観点からも効率的な成果発信が可能となることが期待される。

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

(2)研究総括指定の理由

研究総括 平本 俊郎

平本俊郎氏は、シリコンを活用した集積ナノデバイスの研究開発に長年従事しており、IEDM (International Electron Devices Meeting) や VLSI (Symposia on VLSI Technology and Circuits) といった半導体デバイス業界で権威ある国際学会のチェアや関連学会での要職を務めるなど、その実績は国内外で高く評価されており、本研究領域における高い先見性や洞察力を有しているだけでなく、コミュニティからの信頼も厚いと認められる。

また、NEDO の「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」研究代表を務めるなど、社会実装をめざした研究開発にも十分な実績を有しており、社会実装を意識した領域運営を行う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。

CREST「次世代エレクトロニクスデバイスの創出に資する革新材料・プロセス研究」、CREST「エネルギー高効率利用のための相界面科学」/さきがけ「エネルギー高効率利用と相界面」などの領域評価にも携わっており、公平な評価を行いうると認められる。

以上より、同氏は研究領域 1 の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 若林 整

若林整氏は、新規半導体材料および半導体デバイスの研究開発に長年従事しており、近年では 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」研究代表者、COI「サイレントボイスとの

共感』地球インクルーシブセンシング研究拠点」研究リーダー/機構長など本研究領域に関係性の高いプロジェクトの研究マネジメントを推進していることから、その高い研究遂行能力や先見性、洞察力を有していると認められる。

また、企業での豊富な研究開発や知財マネジメントの経験を有しており、産学連携やオープンイノベーションの方法論についても高い見識を備えており、さきがけ研究者に対するノウハウの伝承といった観点からも本研究領域にとって有効なマネジメントを行っていると認められる。

応用物理学会、エレクトロニクス実装学会、日本 MOT 学会といった関連する学会の要職を務めており、コミュニティからの信頼も厚く、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。

3-3 戦略目標「信頼される AI」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 『信頼される AI システムを支える基盤技術』(CREST)

(1)研究領域の概要

実社会での応用・実用化が急速に広がる人工知能(AI)技術は、新たな科学的・社会的・経済的価値を創出していく上で不可欠です。一方で、深層学習をはじめとする機械学習技術はブラックボックス問題やバイアス問題等の信頼性や安全性に関わる様々な課題を抱えており、その対策が喫緊の課題となっています。

そこで本研究領域は、人間が社会の中で幅広く安心して利用できる「信頼される高品質な AI」の実現につながる基盤技術の創出やそれらを活用したAIシステムの構築を行います。研究にあたっては、人間中心のAIシステムに関する信頼性や安全性等の定義や評価法の検討に取り組み、AIシステム全体としてその要求や要件を満たす技術の確立を目指します。

具体的には、以下の研究開発に取り組みます。

- (1)「信頼される AI」の実現に向けた発展的・革新的な AI 新技術
- (2)AI システムに社会が期待する信頼性・安全性を確保する技術
- (3)人間中心の AI 社会に向けたデータの信頼性確保及び人間の主体的な意思決定支援技術

上記により、社会的課題の解決や新たなサイエンス、価値の創造につなげるとともに、信頼される AI に関連した新たな研究コミュニティの創成や AI 研究における日本のプレゼンスの向上を目指します。

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

(2)研究総括

相澤 彰子(国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授/所長補佐)

研究領域 2 『信頼される AI の基盤技術』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

ネットワークやビッグデータ等の情報環境の広がり、数理科学と情報技術の急速な発展によって、人工知能(AI)技術を用いたシステムやサービスが社会に広がりつつあります。このようなAI技術の利活用により、あらゆる人々が適切で高品質なサービスを受け、社会と調和しつつ個人の能力を発揮して暮らしていける人間中心のAI社会の実現が期待されています。その一方で、人と共に社会の重要なタスクをこなす「信頼されるAIシステム」の実現において、深層学習に代表される現在のAI技術には、説明性や納得性、安定性、公平性等に関するさまざまな弱点や限界があることが判明してきました。また、AI技術を組み込んだいわゆるAIシステム全体やデータの信頼性・安全性・品質保証に関して、さらに、人間を基点として社会と調和したAIの利活用に関する方策も必要です。

本研究領域では、人間中心のAI社会の実現に向け、現在のAI技術の限界を突破する次世代AI技術の基盤となる革新的な理論・技術の創出を目指します。従来のAI技術の単なる延長ではなく、現在のAI技術やAIシステムが持つ本質的な問題点に取り組み、解くべき問題を新たな視点で概念化・定式化し、その解決を目指す挑戦的な研究を推進します。

具体的には、1)現在のAI技術の弱点や困難を克服するための新しい数理・計算・解析手法に関する基礎技術や、2)AIシステムの信頼性・頑健性・透明性・公平性等、社会における新たなAI応用タスクの概念化・定式化と新しい構成原理・実現技術、3)これらを支えるデータや情報基盤の信頼性・安全性・プライバシーの保証技術、4)多様なデータやタスクに対するAI技術の拡張、5)AIシステムの設計・開発・運用の方法論、等の研究に取り組みます。

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

(2) 研究総括

ありむら ひろき
有村 博紀 (北海道大学 大学院情報科学研究院 教授)

[2] 研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 『信頼される AI システムを支える基盤技術』(CREST)

研究領域 2 『信頼される AI の基盤技術』(さきがけ)

(1) 研究領域選定の理由

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、未知ケースでの脆弱性の克服等、信頼性・安全性に関する課題が指摘されている。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竄等、信頼性・信憑性に関わる問題が発生している。これらを踏まえ、本研究領域にかかる戦略目標は、「その限界を超えた AI 技術そのものの発展・革新」と「社会からの要請に応え得る根本的な信頼性確保」のための基盤技術の創出を目指している。そのため、達成目標として、以下の 3 項目が設定されている。

- (1) 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

以上を踏まえ、研究領域 1 では、「「信頼される AI」の実現に向けた発展的・革新的な AI 新技術」「AI システムに社会が期待する信頼性・安全性を確保する技術」「人間中心の AI 社会に向けたデータの信頼性確保及び人間の主体的な意思決定支援技術」の 3 項目を領域の柱としており、波及効果の大きな研究開発に取り組む構成となっている。設定した 3 本柱は戦略目標の 3 つの達成目標に対応しており、適切な設計といえる。AI システムの信頼性・安全性に関する定義や評価法の検討を行いつつ、上述の(1)~(3)の個別の要素技術を融合して社会的課題の解決に資する信頼される高品質な AI システムの基盤を創出するためには、既存の特定の分野の研究では成し遂げられない異分野の連携などが必要となることから、複数分野の研究者からなるチームの編成が可能な CREST の研究領域として選定することが適切である。

研究領域 2 は、従来の AI 技術の単なる延長ではなく、現在の AI 技術や AI システムが持つ本質的な問題点に様々なアプローチで取り組み、人間中心の AI 社会の実現に寄与する「信頼される AI」の基盤となる革新的な理論・技術の創出を目指している。このため、AI 技術の中核技術の分野だけでなく、AI 技術と AI システムの数理・情報技術・社会応用に関連する多様な分野で卓越した研究を行う若手研究者を結集させ、互いに交流し、触発する場を設けることで、新しいアイデアの創発や、未来に貢献する先端研究を推進する人材の育成、将来の連携につながる人的ネットワーク構築することとしており、本研究領域は「さきがけ」の研究領域として適切であると考えられる。

以上のことから、CREST、さきがけがプログラムの特性を踏まえつつ効果的な役割を担い、2 領域全体で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 相澤 彰子 (CREST)

相澤彰子氏は、計算機による言語テキストの解析と活用に関する先駆的な研究に取り組み、情報検索の理論、テキストの統計的モデルとマイニング、大規模データベースの重複検出等について、オリジナリティが高く汎用的な手法を示すなど自然言語処理分野におけるトップサイエンティストの一人である。情報処理分野を取り扱っている学会であり、電気系 6 学会の一つに数えられる情報処理学会の論文賞や、日本最大級の AI 系の学会である人工知能学会の全国大会優秀論文賞や研究会優秀賞を受賞するなど顕著な成果を挙げている。また、イリノイ大学アーバナシャンペイン校において客員研究員として在籍した経験を有するなど、当該分野における国内の研究動向のみならず海外の研究動向についても熟知し、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有していることが認められる。

さらに基盤研究における研究代表者としての経験および JST CREST や RISTEX (社会技術研究開発) の

主たる共同研究者としての経験に加え、国立情報学研究所の副所長や CREST およびさきがけの領域アドバイザーや ERATO のパネルメンバーを勤めるなど、本研究領域の運営においても適切なマネジメントを行う経験、能力を有していることが認められる。

上述のような卓越した研究実績やマネジメント経験等に加え、情報処理学会における理事や Journal of Information Processing 編集委員長、人工知能学会における全国大会プログラム委員会委員長や代議員、文部科学省における特定領域研究専門委員会委員などを歴任するなど、関連分野の研究者から広く信頼され、また、公平な評価を行いうると認められる。

以上より、同氏は研究領域 1 の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 有村 博紀(さきがけ)

有村博紀氏は、データマイニングや機械学習等とそれらのアルゴリズムについて優れた見識を有しており、特に、Web ページや XML データなどに代表される、構造自体は持っているがあらかじめ定められた形式を持たないデータである半構造データから、特定のルールやパターンを見つけ出す半構造データマイニングに関する研究開発を行っており、IEEE ICDM (International Conference on Data Mining)で行われた国際的なデータマイニング実装コンテストである Workshop on Frequent Itemset Mining Implementations (FIMI'04)で優勝するなどの顕著な成果を上げている。自身の研究成果を応用してバイオロジーやナノテクノロジーなどの異分野との共同研究を進めるなど、異分野連携にも積極的に取り組んでいる。また、文部科学省 情報科学技術委員会専門委員、人工知能学会理事を務めるなど、当該研究分野における国内外の動向・情勢を熟知し、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。

文部科学省 グローバル COE プログラム「知の創出を支える次世代 IT 基盤拠点」拠点リーダー、北海道大学共同プロジェクト拠点 知識メディア・ラボラトリー拠点代表者などを務め、本研究領域の運営においても適切なマネジメントを行う経験、能力を有している。また、さきがけ「知の創生と情報社会」領域アドバイザーや日本学術振興会先端科学シンポジウム専門委員を務めるなど、公平な評価や、適切な若手育成を行いうると認められる。

以上より、同氏は研究領域2の研究総括として適任であると判断される。

3-4 戦略目標「革新的植物分子デザイン」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 『植物分子の機能と制御』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域は植物分子(植物由来化合物及びその関連遺伝子)を軸として、生体内及び生態系内の生命現象の解明と、その有効利用に資する基礎的知見の創出と革新技術の構築に向けた研究を推進します。この目的のために「生体内における植物分子の機能と制御」「生態系内における植物分子の機能と制御」、「植物分子の探索と設計・制御技術の開発」の3つを領域の柱とし、異分野の連携・融合を積極的に進めます。具体的には、分子生物学や細胞生物学、生態学、植物病理学などで用いられてきた従来の手法に加えて、近年特に発展を遂げた計測・分析技術、比較ゲノム解析やオミクス解析等を含むバイオインフォマティクス、合成生物学、天然物有機化学や有機合成化学などの化学的手法を駆使しながら、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を対象にして、植物分子の機能と制御に関する新しい概念を創出し、その活用に向けた基盤技術の創出を目指します。

(2)研究総括

にしたに かずひこ
西谷 和彦 (神奈川大学理学部 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 「植物分子の機能と制御」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、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ことである。具体的には、近年特に発展を遂げた計測・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。

本研究領域では、植物分子を軸とした生命現象の解明及び有効利用に資する基盤技術の創出に向けた研究を、植物生体内の分子や細胞の過程から生態系のマクロな現象までの広い対象に向けて実施する。具体的には、(1)生体内における植物分子の機能と制御、(2)生態系内における植物分子の機能と制御、(3)植物分子の探索と設計・制御技術の開発を3本の柱とし、植物科学だけでなく有機化学、生化学、分析化学、昆虫学、微生物学、比較ゲノム学等の異分野の手法の導入や、生体内のミクロの研究と生態系のマクロの研究の融合などを意識した研究を奨励する。これにより植物分子をこれまででない広角の視点で捉えた優れた研究提案が多数見込まれる。

以上のことから、本研究領域は、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 西谷 和彦

西谷和彦氏は、世界に先駆けて細胞壁構成成分のセルロースの“繋ぎ換え”の仕組みを明らかにし、この知見に基づく新規素材開発の可能性を拓いた日本を代表する植物科学者である。本成果により植物科学界で権威のある植物学会学術賞を受賞していることから、当該分野での優れた研究実績を有している。また、植物細胞壁は個体内や外界との情報交換等の機能を有しており、その際に多くの植物分子が関与していることから、氏は本研究領域の中心課題である植物分子に対する先見性や洞察力を有していると認められる。さらに、研究領域代表を務めた新学術領域研究では高い評価を得ており、研究プロジェクトの運営、マネジメントを行う経験、能力を有している。化学を視座とする植物機能の解明に関するこれまでの実績やマネジメント経験等から、多様な研究分野の研究提案を公正に評価する能力を有しており、異分野融合を目指す本研究領域の研究総括

にふさわしく、また研究に対する厳格な姿勢は若手研究者の今後の研究への取り組みに対する模範になると考えられる。

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。

3-5 戦略目標「細胞内構成因子の動態と機能」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 『細胞内現象の時空間ダイナミクス』(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域は、超分子複合体からオルガネラ、非膜オルガネラに至る細胞内の高次構造体の微小空間でのダイナミクスを観察・計測し、その機能相関を解析することにより細胞の統合的理解を目指します。

近年、クライオ電子顕微鏡や超解像顕微鏡、高速原子間力顕微鏡等の観察・計測技術の発展により、細胞内における微細構造や動態の理解が大きく進展しました。これにより、巨大膜タンパク質複合体等の構造情報が急増するとともに、生物学的相分離やオルガネラ間の相互作用等の新しい現象が見いだされ、従来の細胞の概念が見直されつつあります。

一方で、細胞の統合的理解のためには、上記のようなオルガネラ、非膜オルガネラレベルの細胞内高次構造体に関する精度の高い知見を、分子レベルと細胞レベルの双方向からのアプローチにより獲得し、それらを統合していくことが求められます。

以上から、本研究領域では、上記課題を克服する細胞内現象の観察や計測、制御等の技術の開発と、それらを活用した細胞内高次構造体の機能解明を行い、それに基づく新たな生命現象の理解を目指します。

(2)研究総括

遠藤 斗志也 (京都産業大学生命科学部 教授)

研究領域 2 『細胞の動的な高次構造体』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

細胞が示す多彩な機能は、分子複合体からオルガネラに至る動的な高次構造体によって支えられています。本研究領域は、そのような動的な高次構造体の性質を分子の視点に基づいて解析し、機能発現の普遍的メカニズムの解明を目指します。

近年、ライフサイエンス分野では、分子から分子複合体、オルガネラ、細胞にわたる階層間での生命現象の理解が飛躍的に進展しようとしています。例えば、オルガネラの内外を区別する境界は脂質二重膜によって定義されることが一般的であると考えられてきましたが、細胞内相分離現象によって生体分子が自己集合した膜のない構造体やオルガネラを形成する例が多数報告されています。技術においても、超解像顕微鏡や分子特異的プローブの発展により高時空間分解能の画像が得られるようになり、動的な高次構造体の微細構造が観察できるようになりました。このような新たな知見は、生物学のみならず物理学や化学などの概念が契機となって生み出されていることが多いことから、今後も異分野融合研究の推進により新概念の提唱や新技術の創出が期待されています。

以上を踏まえ、本研究領域は、高い時空間分解能で細胞内の動的な高次構造体を計測する手法を開発するとともに、数理解析や理論的考察も加え、生命機能の発現・制御のメカニズム解明を目指します。

(2)研究総括

野地 博行 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 「細胞内現象の時空間ダイナミクス」(CREST)

研究領域 2 「細胞の動的な高次構造体」(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、先進的測定技術を駆使して細胞内現象を統括的に理解することを目的としている。そのため、革新的な技術を創出し、超分子複合体やオルガネラ、非膜オルガネラなどの細胞内高次構造体の微小空間での構造、動態、局在などを高い時間・空間分解能で定量的に観察・計測し、それらの機能相関を解析する。具体的には、以下の4つの達成目標を設定している。

- ① 細胞内高次構造体の時空間的およ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 細胞内高次構造体の状態を操作・制御する基盤技術の開発
- ④ 細胞内高次構造体の相互作用や構造－機能相関の理解

以上の目標を踏まえ、

研究領域1では、細胞を構成する分子、特にそれらの複合体やオルガネラおよび非膜オルガネラ等の高次構造体を対象とし、上記達成目標に対応して①観察・計測技術、②操作技術、③モデル化技術、および、それらを用いた④細胞システムの理解に資する研究開発を4つの柱に設定している。また、研究の推進においては上記4テーマの一体運営を掲げ、戦略目標の達成に向けた適切な設計を行っている。

一方、研究領域2は、①から③の基盤技術の開発を中心に据え、④の細胞システムの理解への研究開発と連携、融合が行われるよう設計されている。また、提案が想定される分野は、生物学だけではなく、物理学、情報科学、数理科学、化学、工学などの多様な分野を対象としており、異分野融合による研究開発が見込まれる。さらに、本研究領域は、萌芽的かつ独創的な研究開発を推奨することから研究領域1の基盤研究に位置づけられ、全体として戦略目標の達成に向けた適切な領域設定となっている。

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

(2) 研究総括指定の理由

研究総括 遠藤 斗志也

遠藤斗志也氏は、細胞生物学と構造生物学を専門とし、主として出芽酵母を用いたオルガネラ研究の世界的権威である。とりわけミトコンドリアに関する研究において、その構造や機能の観点から、タンパク質搬入のメカニズムを解明し、著名な科学誌へ多数報告していることから、本研究領域において高い先見性や洞察力を有している。また、特別推進研究などの大型プロジェクトの代表者の経験等から研究マネジメントを行う能力を有し、日本蛋白質科学会会長、日本生化学会の理事、名古屋大学構造生物学研究センター長、各種学会の年会長(海外を含む)等を歴任していることや新学術領域研究のアドバイザーの経験などから、関連分野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 CREST 研究領域の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 野地 博行

野地博行氏は、生物物理学やナノバイオ工学を専門とし ATP 合成酵素を対象とした1分子生物物理学をテーマとして掲げ、世界に先駆けてこの酵素が回転分子モーターであることを実証した。また、近年、多様な微細構造を有するバイオリアクタ技術を開発し、様々なバイオアッセイを1分子ごとに行える「バイオアッセイのデジタル化」に成功している。以上より氏は本研究領域における高い先見性や洞察力が認められ、これまでに文部科学大臣表彰科学技術賞や日本学術振興会賞を受賞している。さらに、氏は国際生物物理連合、アジア生物物理連合、日本生物物理学会、日本蛋白質科学会の理事の経験などから関連分野の研究者から広く信頼されており、CREST や ImPACT などの大型プロジェクトの代表を歴任し、高い研究マネジメント能力を発揮するとともに、同研究室から30代の独立研究者を複数名輩出するなど、若手研究者の育成にも優れ、複数のさきがけアドバイザーの経験から公平な評価を行うことが認められる。以上を総合すると、同氏は本さきがけ研究領域について適切な研究マネジメントを行う経験・能力を有していると認められ研究総括として適任であると判断される。

3-6 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」、「急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術の創出」、「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」、「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」、「多細胞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」、「信頼される AI」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『AI 活用で挑む学問の革新と創成』(ACT-X)

(1)研究領域の概要

AI(人工知能)をはじめとする情報科学技術の急速な発展と普及により、様々な研究分野で新たな手法構築や格段の性能向上、対象範囲拡大等が進み、さらには革新的な課題設定や枠組み、新たな学問領域創成の可能性も見えつつあります。

このような、あらゆる学問の革新・創成の機会を活かし、進歩を先導し、将来のイノベーション創出につなげていくためには、各々の学問分野の極めて優秀で先進的な頭脳が柔軟な発想で、AI等の情報科学技術の活用やそれらとの学融合によって新たに拓ける世界を予見し、描き、開拓していくことが不可欠です。

本研究領域では、理工系や人文社会系を含むあらゆる学問分野に最先端の AI 等の情報科学技術を取り込むことで格段に強化・発展させることや、AI等の情報科学技術との融合による学問分野の革新や新たな学問領域の創成、新しい価値の創造などを目指す若手研究者による挑戦的な研究構想を求めます。

研究推進においては、人材育成の観点を重視し異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、未来に貢献する先端研究を推進する研究人材の育成や、将来の連携につながる研究者の人的ネットワークの構築をはかります。

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)を構成する「AIP ネットワークラボ」の一環として運営していきます。

(2)研究総括

くによし やすお (東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1「AI 活用で挑む学問の革新と創成」(ACT-X)

(1)研究領域選定の理由(案)

これまで、バイオインフォマティクスやケモインフォマティクス、マテリアルズインフォマティクス等の学問領域に代表されるように、情報科学技術はその他の学問分野の発展に大きく寄与し、それらの学問分野においてのブレイクスルーも生み出してきた。さらに、昨今の急速な AI を含む情報科学技術の発展により、情報学・情報技術はまだまだ多くの学問領域と協働することが可能であるという期待が高まっている。それらの期待に応え、将来的な諸学問のイノベーションを生み出し続けていくためには、まだ重点化されていないような多様な分野と情報科学を融合させ、新たな研究領域を切り拓いていく若手研究者を支援・育成していくことが重要である。

しかしながら、諸学問分野と情報科学を統合し、新たな価値を創造していくには片方の知識を有するのみでは不十分であり、双方の背景を持つような人材を育成していく必要があるが、そういった人材が不足しているという点は諸学問の発展において、我が国の危機的な課題である。

これらの状況を踏まえ、本研究領域では諸学問分野の専門知識を有し、AI・情報科学を駆使してそれぞれの学問を発展させていき将来的なイノベーションを創出する多様な若手研究者の発掘・育成を目標とする。これら広範で融合的な分野における研究開発を支援するため、本研究領域は「多細胞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」「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」「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」「急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて

多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術の創出」「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」「信頼される AI」の6つの戦略目標のもとに設定され、加えてそれら戦略目標の範疇を超えた、新たな分野開拓も視野に入れ設定されている。

また、本研究領域は理系文系の垣根を越えた研究提案を取り入れ、さらには修士課程の大学院生を含んだ多様な若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、異なるバックグラウンドの研究の重要性を理解し、自身の研究に還元することが出来る研究人材の育成も目的としており、人材育成の観点からもACT-X 事業である本研究領域の趣旨に見合った領域設定であると言える。

以上を総合すると、本研究領域は複数の戦略目標の達成と同時に、それらの枠を越えた新たな価値が創造されるような研究課題を推進できるよう適切に設定されており、これまでの文系・理系の観念にとらわれない研究を推進する多様な若手研究者からの独創的・挑戦的な研究提案が多数見込まれると判断される。

(2) 研究総括指定の理由

研究総括 國吉 康夫 (ACT-X)

國吉康夫氏は、機械システムに知能を付与し、それを還流して知能とは何かを探るといった知能システム情報学分野の研究者である。特に身体性に着目し、人工知能とロボティクスの研究を基軸に、情報理論や脳科学、心理学など分野にとらわれずに重要な部分を自らの研究に取り入れていくことで、身体と認知・知能発達の関係性解明という新たな研究分野を切り拓き、これまでに250本以上の査読付学術論文、50以上の解説論文・書籍を発表し、当該分野において多大な功績を示していることから、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有していると認められる。

また同氏は、東京大学次世代知能科学研究センター長として、AI 活用の原動力を生み出すような研究を推進する若手研究者の教育やセンター全体の運営マネジメントの実績があり、ACT-X 事業の目的である若手・人材育成や領域運営においても適切に実施する能力を有していると認められる。さらに同氏は、平成 24年度～28 年度に実施された新学術領域「構成論的発達科学—胎児からの発達原理の解明に基づく発達障害のシステムの理解—」における領域代表者として領域を統括し、新たな研究分野を開拓していく最先端の研究成果を創出するだけでなく、若手研究者の育成においても高い評価を受けており、高い先見性や洞察力を有していると同時に、適切な研究推進のマネジメントを行う能力も有していると認められる。

これら同氏の顕著な業績が評価され、これまでにIJCAI(国際人工知能学会)最優秀論文賞、日本ロボット学会論文賞、ゴールドメダル「東京テクノ・フォーラム 21 賞」、佐藤記念知能ロボット研究奨励賞、大川出版賞など数多くの賞を受けており、また、日本ロボット学会フェロー、発達神経科学学会理事長、日本学術会議連携会員、NEDO コファンド事業/日本-イスラエル研究開発協力事業審査委員、FP7 ECHORD++プロジェクト研究開発プログラム審査委員等をつとめ、関連分野を中心に国内外の研究者から信頼を得ていると同時に、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

3-7 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」、「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」、「革新的植物分子デザイン」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 『環境とバイオテクノロジー』(ACT-X)

(1)研究領域の概要

世界的に共通した環境問題や社会課題の克服が求められており、バイオテクノロジーはそれらの解決において重要な基盤の一つです。しかし、それらの難題を解決していくためには、独創的なアイデアによりバイオテクノロジー分野における飛躍的な科学・技術革新を巻き起こし、異分野との融合によりイノベーションを創出するとともに、次代を担う若手人材の支援と将来のリーダーの輩出が必要です。

本研究領域では、バイオテクノロジー分野において新分野開拓や新価値創造につながる基礎研究を推進し、将来、真に環境問題に貢献できる技術と人材の創出を目指します。例えば、複合微生物・生物間相互作用・共生、環境生態モニタリング、あるいは、生物機能を利用した環境浄化・制御や再生可能な生物資源及びそれらの廃棄物を利活用したマテリアルやスマート物質生産などの幅広い分野において、新たな発想に基づいた先駆的なテーマを支援します。さらには、新たな生物機能の発見・創出・利用・評価解析手法の開発なども含め、環境への貢献につながる挑戦的な研究構想を幅広く求めます。

研究推進においては、研究者同士の交流を促進し、バイオテクノロジーを共通言語とする多様な若手研究者によるヒューマンネットワークの構築を進め、横断的なグループ研究などへの展開を図ります。そして、若手研究者が切磋琢磨する中でそれぞれの研究を探求しながら、将来に渡ってさらに広く大きく研究フレームを展開するための支援を行うことで、環境問題に貢献できる先進的な研究をリードする人材の育成を目指します。

(2)研究総括

のむら のぶひこ
野村 暢彦（筑波大学 生命環境系 教授/微生物サステナビリティ研究センター 副センター長）

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 「環境とバイオテクノロジー」(ACT-X)

(1)研究領域選定の理由

昨年6月に閣議決定された「統合イノベーション戦略 2019」において、バイオテクノロジーは、AI、量子技術と共に、日本の未来の競争力の鍵を握る3つの重要な基盤的技術分野のひとつとされた。合わせて、その強化に向け、「バイオ戦略 2019」が策定され、統合イノベーション戦略推進会議で決定された。我が国の国力を維持・発展させるために、気候変動、環境保全、高齢化をはじめとする様々な社会課題の克服に挑戦し、世界の成長に参画・貢献できるよう、持続可能な新たな社会システムへの転換を進めるべく、バイオテクノロジーや再生可能な生物資源などを利活用し、新たな価値の創出を目指すものである。この持続可能な循環型社会の実現に必要とされる分野として、①高機能バイオ素材、②バイオプラスチック、③持続的・一次生産システム、④有機廃棄物・有機排水処理、⑤バイオ生産システム、⑥バイオ関連分析・測定・実験システム、⑦木材活用大型建築・スマート林業等の分野が設定された。これら領域の成長に資する基礎研究分野を将来的にも推進し、成果を社会へ還元し続けるため、本分野の先端を切り拓く若手研究者を発掘・育成することが喫緊の課題である。

本研究領域は、我が国が伝統的に得意としてきたバイオテクノロジー分野に改めて光を当て、国際的にも魅力あるイノベーションを起こせる国へと変貌を遂げる戦略を推し進められる、多様な若手研究者の発掘と育成を目指す研究領域として設定されている。それらの分野に関わる幅広い分野の基盤研究を支援するため、

「革新的植物分子デザイン」、「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技術シーズの創出」、「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」の3つの戦略目標のもとに研究領域が設定されている。

本研究領域では、キャリア形成の早い段階にある若手研究者の個の確立を目的としているため、公募において博士(もしくは学士)の学位取得後の年数制限を実施している。研究推進においては、人材育成の観点を重視し異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、未来に貢献する先端研究を推進する研究人材の育成や、将来の連携につながる研究者の人的ネットワーク構築を促進する。また、研究者の要望に応じて、各戦略目標に関連する CREST、さきがけの領域会議などへの参加の機会を設け、さらに本研究領域での研究実施中の「さきがけ」への応募(早期卒業)も認めることで、戦略目標に貢献する人材育成も促進する。また、将来的な研究人材の多様性を確保すべく、特に女性研究者や地方の研究機関で活躍する研究者の応募も歓迎する。

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おり、環境とバイオテクノロジーをキーに多様な若手研究者から広く提案を募ることにより優れた独創的な研究提案が多数なされるものと期待される。

(2) 研究総括指定の理由

研究総括 野村 暢彦

野村暢彦氏は、応用微生物分野における優れた見識を有しており、微生物制御、相互作用、応用微生物学、分子生物学、バイオフィームなどの先端分野で重要な研究開発を推進してきた。その業績から、日本微生物生態学会論文賞、日本生物工学会生物学奨励賞を受賞するなど高く評価されている。また、日本バイオフィーム学会の副理事長、環境バイオテクノロジー学会理事をはじめ、各種学会・団体において要職を務めるなど、当該研究分野における国内外の動向・情勢を熟知し、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。さらに、応用面でも様々な企業と共同研究を推進し知的財産の創出を行うなど、基礎研究のみならず実用化を意識した研究開発の経験も豊富である。

ALCA(2010年～2015年)では研究開発代表者として、広範な研究者をマネジメントし、ERATO(2015年～2020年)においては、新たな分野で若手研究者をリードし、人材育成面でもその能力を発揮している。その高い能力は、所属機関である筑波大学においても認められるところであり、2018年度より「微生物サステナビリティ研究センター」の副センター長を務め、微生物制御部門/微生物利用部門/国際・産学連携推進部門を有する同センターでも力を発揮し、センターの様々なアクティビティを支えると共に、学術面のみならず、国際連携や産学連携を自ら推進し、成果を挙げている。

上述の通り学会等の要職のみならず、科研費の審査委員や Applied Environmental Microbiology の編集委員を務めるなど、国内外の研究者からの信頼も厚く、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。

(別添資料1)

戦略目標

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
- 革新的植物分子デザイン
- 細胞内構成因子の動態と機能

2019年度 戦略目標

- 次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術
- 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

平成28年度 戦略目標

- 急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術の創出

平成27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

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、これまでに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
- ・ dendrimer 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(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、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 GRDS 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な基盤技術

- ・（前略）サイバー空間における情報の流通・処理・蓄積に関する技術は、我が国が世界に先駆けて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 の高度化に必要な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材料の革新を推進することが重要である。
- ・ロボットを革新する材料：（前略）軽量で柔軟かつ環境の変化に対応した動作が可能なアクチュエータや、（中略）多様な臭い物質の検知や皮膚表面での圧力検知が可能なインテリジェントセンサ、（中略）人間と円滑にコミュニケーションするためのデバイス等の新たな材料の開発が重要である。

9. その他

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

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

令和2年度戦略目標

1. 目標名

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憶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」を対象を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（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、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 AI 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 AI (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 AI 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

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

2-V-31

- ・光合成により CO₂ を吸収した微細藻類・植物や廃棄物・下水などのバイオマス資源を利用し、プラスチックや、CNF 等の高機能素材を利用した製品などの開発を行い、2050 年に向けて産業持続可能なコストでの社会実装を目指す。（中略）素材のみならず、その素材を効率的に作るためのバイオマス増産であったり、酵素や酵母の培養等についても実用化に欠かせない量産技術開発として追求する。

9. その他

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

本戦略目標ではこれまでの植物に関する研究開発の概念を越え、植物で行う物質生産の観点か

ら真に必要となる生合成・生合成制御技術を特定し開発、利用することによって新たな技術革新を目指す。

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

令和2年度戦略目標

1. 目標名

細胞内構成因子の動態と機能

2. 概要

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

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

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

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

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

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

- (2) 非平衡・複雑系の細胞内環境に共通する原理の解明

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

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

(3) 細胞内高次複合体の状態を操作・制御する基盤技術の開発

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

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

(4) 細胞内高次複合体の相互作用や構造－機能相関の理解

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

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

6. 国内外の研究動向

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

(国内動向)

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

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

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

(国外動向)

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

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

7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参加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「先端バイオイメージング支援プラットフォーム」(平成 28～令和 3 年度)事業や金沢大学のナノ生命科学研究所の「世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)」事業及び日本医療研究開発機構 (AMED)「創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム (BINDS)」事業等の世界を牽引する計測・解析技術の研究開発基盤との連携が期待される。

2019 年度戦略目標

1. 目標名

次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術

2. 概要

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

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

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

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

- ・ IoT 機器から得られる大量のデータの連携・統合を高精度高性能に実現する技術

(2) IoT 機器に対する AI 等による高度化した攻撃への対処や機密情報の保護等、IoT セキュリティのための要素技術の開発

- ・ 相互接続された IoT 機器のセキュリティ状況把握を行うための IoT 機器探索・特定・情報収集技術
- ・ IoT 機器に対するサイバー攻撃やその防御に関する技術及び機器の安全性の担保に関する技術
- ・ データの保水性やプライバシー等の秘匿性を保証するデータ処理技術

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

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

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

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

(国外動向)

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

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

7. 検討の経緯

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

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

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

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第 5 期科学技術基本計画」（2016 年 1 月 22 日閣議決定）

第 2 章 (2) 2

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

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

第 2 章 (2) 3

このため、国は、特に以下の基盤技術について速やかな強化を図る。

- ・設計から廃棄までのライフサイクルが長いといった IoT の特徴も踏まえた、安全な情報通信を支える「サイバーセキュリティ技術」
 - ・ハードウェアとソフトウェアのコンポーネント化や大規模システムの構築・運用等を実現する「IoT システム構築技術」
(略)
 - ・IoT の高度化に必要な現場システムでのリアルタイム処理の高速化や多様化を実現する「エッジコンピューティング」
- また、これらの基盤技術を支える横断的な科学技術として数理科学が挙げられ、各技術の研究開発との連携強化や人材育成の強化に留意しつつ、その振興を図る。

「統合イノベーション戦略」（2018 年 6 月 15 日閣議決定）

第 2 章 (1) 1

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

第 2 章 (1) 2

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

第 2 章 (1) 3

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

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、CREST「人工知能」（2016～2023 年度）では、AI 技術を用いた多種膨大な情報の利活用を可能とする技術に関する研究が、CREST/さきがけ「革新的コンピューティング」（2018～2024 年度）では、情報処理の効率化、高速化を目指したコンピューティング基盤に関しての研究がそれぞれ行われており、本戦略目標で行われる異種データ連携を加速

する多種多量な情報の最適処理や、スケーラブルなデータ連携・統合処理を行う基盤の確立等を目指した研究開発と相互に連携を行うことで、効率的・効果的な研究の推進が期待される。

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

2019 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 年度戦略目標

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ェ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。

平成 28 年度戦略目標

1. 目標名

急速に高度化・複雑化が進む人工知能基盤技術を用いて多種膨大な情報の利活用を可能とする統合化技術の創出

2. 概要

情報技術が世界的に発展し、50 年来の大きな技術的ブレークスルーと言われるディープラーニングに代表される人工知能技術の進展に対する関心が高まり、各分野における活用も急速に進みつつある。文部科学省では「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」が実施され、世界的に優れた競争力を持つ研究者の力を結集させるための、革新的人工知能技術の中核とした統合研究開発拠点が理化学研究所に新たに設置されており、一体的な事業実施が、本戦略目標の下でなされることとなっている。

「第 5 期科学技術基本計画（平成 28 年 1 月閣議決定）」においても、世界に先駆けた「超スマート社会」の構築が重要な課題とされており、コホートデータ等の医療・健康関連のデータや材料・物性に関するデータ、都市のインフラや地球環境に関するデータ等、多種多様なビッグデータが社会の様々な場面で生み出され集積されつつある。

このような、実社会で用いられているデータについて多様な状況や要求に応じ、知的・統合的に解析・処理・制御を行う必要があるが、現時点ではそのための基盤技術が確立できていない。また、将来において社会がこれらの技術基盤を最大限活用できるようにするために、将来的な拡大を踏まえたセキュアな情報技術についても早急に構築・実装される必要がある。

このため、本戦略目標では、膨大なデータを知的・統合的かつセキュアに収集・処理・制御するための基盤技術を確立し、その成果を組み合わせることにより、膨大な情報の利活用が更に高度かつ広範に浸透した将来社会を念頭に、モビリティ、介護・ヘルスケア、防災・減災、ロボティクス等、実社会の様々な分野に適用可能な、既存サービスのさらなる効率化や新サービスの創出等に資する技術の確立を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、世界的に発展しつつある革新的な人工知能技術の成果や国内で研究開発が進展している新たなアルゴリズム等を更に発展させ、社会の様々な分野における多種・膨大な情報をもとに状況に応じ、知的で統合的な解析・処理・制御を行うことのできる情報基盤技術を確立することを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 社会・経済等に貢献するため、多種・膨大な情報を組み合わせ解析する技術開発
- (2) 多種・膨大な情報に基づき、状況に応じ最適化されるシステムのための技術開発
- (3) 多種多様な要素で構成される複雑なシステムに適用可能なセキュリティ技術開発

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

- ・今後、量・種類ともに爆発的に増大する情報を最大限に活用するための革新的人工知能技術が広く利用され、様々な分野において将来にわたる効果的な情報活用が実現された社会。
- ・急激に進化する情報技術・環境を有効に活用し、ネットワークにつながった人々に最適なサービス等を提供する、一人一人に優しい社会。（例：平常時には、混雑のない都市交通や、地域・個人ごとのニーズにきめ細かく応える介護・ヘルスケアサービスを提供するが、一方で災害時には発災直後の情報が入らない混乱期を短縮する等の目的で、平常時と異なるデータを結びつけたサービスを迅速に構築・提供できる社会。）
- ・産業界で分野横断的に活用される情報基盤技術が確立され、その成果を通じて交通・物流や人々の暮らしに関わるシステムが業種等の垣根を越えて最適化されることにより、社会コストの大

幅な削減や、これまでにないビジネスやサービスの創出が可能となる社会。

- ・あらゆるモノがネットワークに接続される多様な状況において、セキュアな情報環境が適切に埋め込まれることにより、高度で多彩なサービスをストレスなく享受できる社会。

5. 具体的な研究例

(1) 社会・経済等に貢献するため、多種・膨大な情報を組み合わせ解析する技術開発

新たな革新的人工知能基盤技術等を活用して、多様な解析情報を自律的に整理し組み合わせることで、絶えず変化する環境やニーズに応じた適切なサービスの構築や提供につながる技術の研究開発、複数の要素技術を統合的に取り扱うための研究開発等を推進する。

具体例としては、カプセル内視鏡やCTなどから取得される膨大な医療画像を診断において高速処理する技術や電子カルテの高度解析による投薬や治療計画最適化をサポートする技術、及びこれらの技術から得られる解析情報を整理し組み合わせることにより病気の予兆を発見する技術等の研究開発や、個別の機能・サービスを統合するために必要なソフトウェア技術、これらの技術に基づくサービスプラットフォーム構築技術の研究開発等を推進する。

(2) 多種・膨大な情報に基づき、状況に応じ最適化されるシステムのための技術開発

個別の状況や環境に応じ、知的かつ自律的に最適なデータ取得を可能にする技術や、多様な機器等が存在する中できめ細かなニーズに応じた配置・構成を可能にする制御技術の開発、最先端の機械学習アルゴリズムにより多種・大容量の情報の超高速な解析を行い最適化した制御を行うための技術、状況・環境等の変化に応じてオンデマンドで最適な処理を実現するための技術の研究開発等を行う。

具体例としては、自動運転において車載カメラやミリ波センサ等から連続して生み出される膨大な情報から安全走行に必要な情報のみを高度な知的情報処理を行い取捨選択しストリーム処理にかかる計算負荷を大幅に低減するデータ処理技術、災害発生時に現場の情報を迅速に把握するため平常時は他の目的に利用している街頭のカメラ・モバイル機器・医療用機器・自動車等から必要なデータを取得できるネットワークを状況に応じ自律的に構成する技術、多様なデータの意味を高度に理解してデータの統合分析を可能とするオントロジー等を多様に組み合わせた異種データ統合技術、時系列データをリアルタイムで分析するための各種の機械学習の活用技術、介護等で利用されるシステムにおいて被介護者の生体情報や環境データ等連続的に大量に発生する時系列データの処理をシステム本体周辺やクラウドサーバで分散しシステムの安定性やデータ処理遅延抑制等を実現する技術等の研究開発を推進する。

(3) 多種多様な要素で構成される複雑なシステムに適用可能なセキュリティ技術開発

多様な機器で実現可能な高機能かつ軽量の暗号化技術や、複雑多様な状況に対応するセキュリティ技術の研究開発等を行う。

具体例としては、革新的人工知能技術等を活用した予測型セキュリティ技術や、高機能な軽量暗号化アルゴリズムの開発・実装、多種膨大な情報を扱うネットワークシステム等に実装可能なセキュリティ・バイ・デザイン、来歴等のエビデンス情報（プロヴェナンス）によるデータ信頼性検証技術等の研究開発を推進する。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

平成 26 年度戦略目標「人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発」、平成 25 年度戦略目標「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」等の下で、デバイス・ハードウェアから人工知能（知的情報処理）、ビッグデータ（基盤・応用）といったミドルウェアに係る研究開発が進められている。また、コンピュータとモノを対象としてサービス提供まで見据えた研究開発が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「IT 融合による新社会システムの開

発・実証プロジェクト」(平成 24 年度～平成 25 年度)等において実施されている。これらに加え、状況により変容する多種多様なデータについて、コンピュータとモノ、更にヒトまで対象として、オンデマンドでサービスを提供可能なプラットフォームやその社会実装に向けた研究開発が期待されている。

セキュリティ関連では、現実の脅威への対応を主眼として、ネットワークセキュリティに関する研究開発が情報通信研究機構(NICT)等において、クラウドでの秘匿計算等の研究開発が産業技術総合研究所(AIST)等において推進されている。今後の情報社会の特徴でもある、仕様や運用が統一的に管理されないシステムにおけるセキュリティについては取り組みの初期的段階であり、アカデミア、企業からなる「重要生活機器連携セキュリティ協議会(CCDS)」が2014年に設立され、セキュリティの研究開発・人材育成が開始される等、我が国においても機運が盛り上がってきている。

(国外動向)

米国においては、米国国立科学財団(NSF)が2006年から多種・大容量のデータ処理等関連技術の基盤となる研究開発を継続的に支援しており、2015年からの新たなプログラムでは、基礎研究(3年)、学際研究(3～4年)、大規模研究(4～5年)の募集が数十万～100万ドル規模で実施されている。民間企業においても、GE社が「インダストリアル・インターネット」構想を掲げ、産業用機器のデータ集約、分析による多様なサービスの展開を推進している。欧州では、「Horizon 2020」(2012年1月～)において2016、2017年を対象としたプログラムとして関連研究開発に約1億3,900万ユーロが配分されるほか、特にドイツでは製造業の産業競争力強化を目指して「Industrie 4.0」が推進され、関連したシステム研究開発等を実施している。

セキュリティ関連では、EUにおいてはHorizon 2020で「Secure societies」としてセキュリティ関連の課題が挙げられ、総額約17億ユーロの研究予算を計上している。米国ではセキュリティ研究開発予算が大幅に増額されている(2014年度には8億ドル規模)。

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、以下の通り検討を行った。

(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「人工知能・ビッグデータ・IoTの融合による将来の社会システム技術の構築」及び「IoT時代に向けたセキュアなサイバー社会を実現するための研究開発」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「人工知能・ビッグデータ・IoTの融合による将来の社会システム技術の構築」及び「IoT時代に向けたセキュアなサイバー社会を実現するための研究開発」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などについて議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

『日本再興戦略』改訂 2015—未来への投資・生産性革命—（平成 27 年 6 月 30 日閣議決定）

第二 一. 1. (3) v) ④

人工知能や情報処理技術、高性能デバイス、ネットワーク技術、電波利用技術等については、世界最先端の技術・知見を我が国に集積するためのコアテクノロジーの確立及び社会実装を推進する。また、同様に IoT・ビッグデータ・人工知能に関し、分野を超えて融合・活用する次世代プラットフォームの整備に必要となる研究開発や制度整備改革等を行う

「科学技術イノベーション総合戦略 2015」（平成 27 年 6 月 19 日閣議決定）

第 1 部 第 1 章 2.

「システム化」が進むとともに、より大量なデータをリアルタイムで取得し、高度かつ大規模なデータ処理等を行うことが求められる。このため、将来を見据え、IoT (Internet of Things)、ビッグデータ解析、数理科学、計算科学技術、AI (Artificial Intelligence)、サイバーセキュリティ等の先導的な基盤技術の強化が必須である。

第 2 部 第 2 章

統合的なシステムを支える IoT、ビッグデータ解析、AI、サイバーセキュリティ等の基盤技術について、各政策課題の解決に横断的に活用できる観点も踏まえて、研究開発を推進する。

「第 5 期科学技術基本計画」（平成 28 年 1 月 22 日閣議決定）

第 2 章 (2) ②

複数のシステム間の連携協調を可能とし、現在では想定されないような新しいサービスも含め、様々なサービスに活用できる共通のプラットフォームを段階的に構築していく。(中略) システム全体の企画・設計段階からセキュリティの確保を盛り込むセキュリティ・バイ・デザインの考え方にに基づき推進することが必要である。(中略) 産学官・関係府省連携の下で、超スマート社会の実現に向けて IoT を有効活用した共通のプラットフォーム（以下「超スマート社会サービスプラットフォーム」という。）の構築に必要となる取組を推進する。

第 2 章 (3) ② i)

特に以下の基盤技術について速やかな強化を図る。

- ・設計から廃棄までのライフサイクルが長いといった IoT の特徴も踏まえた、安全な情報通信を支える「サイバーセキュリティ技術」
- ・非構造データを含む多種多様で大規模なデータから知識・価値を導出する「ビッグデータ解析技術」
- ・IoT やビッグデータ解析、高度なコミュニケーションを支える「AI 技術」
- ・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や多様化を実現する「エッジコンピューティング」

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

9. その他

○現在、情報分野においては平成 26 年度戦略目標「人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発」、平成 25 年度戦略目標「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」が設定されているが、これらの研究開発とも連携しつつ、異種データをオンデマンドでリ

アルタイムに収集・処理し、多様な場面で安全に活用する等、技術的特性を踏まえて社会における活用を具体的に見通した研究開発を実施することが重要である。

- 「社会システム・サービス最適化のためのサイバーフィジカル IT 統合基盤の研究」（平成 24 年度より開始）においては、ビル、大学キャンパス、自治体といった規模を対象として実社会とサイバー空間とを有機的に連携させフィードバックを行う「ソーシャル CPS」を研究対象としている。同事業は、人工知能、IoT、セキュリティ等の研究開発を統合的に推進する「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」（平成 28 年度より開始）と一体的に実施される予定であり、本戦略目標下で実施される研究開発においても、関連分野を含めた密接な一体的推進による研究開発の加速が期待される。
- 本戦略目標下における情報セキュリティ分野に関する研究では、将来の実装を見越し、システム全体の設計・構築方法やソフトウェア工学など学術的な基礎にまで踏み込んだ実証的な基礎研究の実施が期待される。研究の推進に当たっては、情報通信や情報処理分野における現実の脅威に対応することを主目的とした研究開発等とも連携することが重要である。新たなセキュリティ技術等を各産業ドメインに閉じずに、多種多様な機器が接続する社会において横展開する上では、アカデミアが重要な役割を担うことが期待される。

平成 27 年度戦略目標

1. 目標名

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

2. 概要

気候変動等の環境変化に適応する農作物の開発・栽培技術の確立は、日本を含む世界的な食料問題の解決に不可欠である。これを実現するためには、我が国のモデル植物の研究で得られた基礎植物科学の知見を農作物の開発や栽培につなげることが重要であり、植物科学における生物学的データを工学や情報科学等の異なる分野の技術も含めた新たな視点で収集・解析することで、育種開発や栽培技術の高度化につなげていくことが必要である。

そのため、本戦略目標では、植物科学で蓄積されたゲノム、トランスクリプトーム、メタボローム等のオミクスデータと、最先端の測定技術を活用して取得するフェノーム等の定量的データ、さらには数値化された環境要因等を情報科学的に統合解析することで、植物の生育・環境応答の予測モデルを構築し、さらに予測モデルをもとにした環境適応力が向上した植物体の作製と実環境における栽培実証を行い、植物の「生育・環境応答予測モデル」を基盤とする「環境適応型植物設計システム」を構築する。

これにより、様々な環境条件下で生育可能な農作物の設計・作製及び栽培を可能とし、食料の安定確保の実現を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、植物体に関わる様々な要因と環境条件等の定量的データをもとに植物体の生育・環境応答を予測し、環境適応性を向上した植物の設計・作製及び栽培を可能とする「環境適応型植物設計システム」を構築することを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- ①植物の生育・生理状態・環境応答を詳細に把握可能な定量的計測技術の開発
- ②表現形質の変動に対応する対象植物ごとの生物学的指標（バイオマーカー）の同定
- ③植物科学や工学等の異分野技術の融合を活用したバイオインフォマティクスによる「生育・環境応答予測モデル」の構築
- ④「生育・環境応答予測モデル」を基にした環境適応性を向上した植物体の設計・作製と実証

4. 実現し得る将来の社会像

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。

- 急激な気候変動により、現在の農作物の栽培好適地域が栽培不適地域となる懸念が高まる中、「生育・環境応答予測モデル」による予測をもとに開発されてきた作物・品種によって、現在の農作物では農耕不適地となる地域でも安定した食料生産量を確保できる社会。
- 我が国で開発された「生育・環境応答予測モデル」、作物改良技術、環境モニタリング技術、統合オミクス解析技術等を基盤とした「環境適応型植物設計システム」が総合的な農業技術パッケージとして海外へ技術移転され、国土の大半が現在の農作物では農耕不適地となっている国や気候変動の影響で収量が減少した国においても安定した農作物栽培が可能となり、人口増や環境悪化による食糧不足の解決に貢献している社会。

5. 具体的な研究例

- ①植物の生育・生理状態・環境応答を詳細に把握可能な定量的計測技術の開発
植物の表現型を定量的に把握可能なフェノーム解析技術の高度化を行う。また、植物の生理状態を精密に把握可能なセンシング技術及びイメージング技術の開発と農業現場展開に向けた高度化等を行う。
- ②表現形質の変動に対応する対象植物ごとの生物学的指標（バイオマーカー）の同定

表現形質の変動に対応するバイオマーカーの同定に関する研究を行う。また、野外及び制御環境など、様々な環境条件下における植物の表現形質とリンクした遺伝子発現及び代謝変動情報の蓄積に関する研究等を行う

③植物科学や工学等の異分野技術の融合を活用したバイオインフォマティクスによる「植物の生育・環境応答予測モデル」の構築

想定環境における植物の生育や開花等の表現形質の予測に係る研究を行う。また、環境ストレスに対する応答性の予測とストレス耐性を向上させる遺伝子及び関連形質の予測に係る研究等を行う。

④「生育・環境応答予測モデル」を基にした環境適応性を向上した植物体の設計・作製と実証
「生育・環境応答予測モデル」を基に環境応答性を向上するように設計した植物体を作製するための植物体改変技術の開発と高度化を行う。また、「生育・環境応答予測モデル」を基に設計・作製された植物体の野外及び制御環境における栽培検証を行い、栽培期間における表現形質や生理状態変化のデータ化と「植物の生育・環境応答予測モデル」へのフィードバック等を行う。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

近年、日本の植物科学分野ではゲノム、トランスクリプトーム、代謝産物などのビッグデータを基盤とした数理解析が進み、生態レベルでの個体差、気象変動なども取り込んだ発現解析などがトレンドとなっている（日本学術振興会 平成 25 年度学術研究動向に関する調査研究報告概要（生物学専門調査班））。一方で植物科学分野における日本の研究水準は極めて高く、イネゲノムプロジェクトの成果に見られるように、欧米に匹敵するものであるが、その応用としての技術開発水準、産業技術力の何れにおいても欧米に劣っていると報告されている（科学技術振興機構研究開発戦略センター ライフサイエンス分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009 年版）。

(国外動向)

米国では Plant Genome Initiative のもとに、シロイヌナズナの遺伝子解析が進められてきたが、近年では実用作物に対する遺伝子解析研究も進んでいる。一方で、欧州ではシステムバイオロジーによる統合的な理解をある特定の系に基づいて行ってきており、近年では Crop Performance and Improvement という形で実用作物を指向した研究開発を実施している（科学技術振興機構研究開発戦略センター ワークショップ報告書 2009「フィールドにおける植物の環境応答機構と育種技術」）。海外では DNA マーカー技術・遺伝子解析技術を独自開発できるバイオメジャーが中堅規模の種苗メーカーを吸収し、野菜の種苗開発へ進出する動きが目立つ。さらに次世代型シーケンサーの普及により、非モデル作物のゲノム解読が欧米及び中国で急速に進んでいる（科学技術振興機構研究開発戦略センター 研究開発の俯瞰報告書ライフサイエンス・臨床医学分野 2013 年版）。

7. 検討の経緯

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

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

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

（分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成）

「科学技術振興機構研究開発戦略センター」や「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果について

の分析等を行い、注目すべき研究動向として「植物の生命現象解明を加速するインシリコ植物デザインシステムの開発」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「植物の生命現象解明を加速するインシリコ植物デザインシステムの開発」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、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標などについて議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第4期科学技術基本計画」(平成23年8月19日閣議決定)

Ⅲ. 2. (1) ii)

我が国の食料自給率の向上や食品の安全性向上、水の安定的確保に向けて、安全で高品質な食料や食品の生産、流通及び消費、更に食料や水の安定確保に関する研究開発を、遺伝子組換え生物(GMO)等の先端技術の活用や産業的な観点も取り入れつつ、推進する。

Ⅲ. 2. (5) i)

先端計測及び解析技術の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe-サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

「科学技術イノベーション総合戦略」(平成26年6月24日閣議決定)

第2章第1節Ⅳ. 3. (1) ①

ターゲット市場や国際的な技術競争等を踏まえ、ゲノムや代謝産物等の解析、データベース構築等の情報基盤の整備、有用遺伝子の特定、DNAマーカーの開発、バイオインフォマティクスや工学技術、ゲノム編集技術の活用等において、基礎と実用化研究の双方向の連携を図りつつ、画期的な商品提供を実現する新たな育種技術の開発等を戦略的に推進する。

9. その他

○本戦略目標においては、基礎植物科学以外の情報科学・工学・農学等の異分野の研究者が積極的に参入し、実質的に協働するための取り組みが不可欠である。特に、人材不足が指摘されるバイオインフォマティクス分野の人材の参画と養成が重要である。また、我が国におけるライフサイエンス分野の研究データ及び成果が効率的に活用されるためには、科学技術振興機構バイオサイエンスデータベースセンター(JST-NBDC)等を最大限に活用することが求められる。

○実証を伴う課題設計のためには、農作物の実地的栽培環境と同等の条件で植物を栽培・管理する環境を備える機関の参画が期待される。また、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代型農林水産業創造技術」等の出口戦略と有機的に連携し、本戦略目標の下で行われる研究の成果が着実に展開されることが期待される。