

2019 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。

2019 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、2019 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. 2019 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> 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(ナノ力学)	いとう こうぞう 伊藤 耕三 (東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授)	「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明」
<u>さきがけ</u> 力学機能のナノエンジニアリング(ナノ力学)	きたむら たかゆき 北村 隆行 (京都大学 大学院工学研究科 教授)	「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明」
<u>CREST</u> 独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成(革新光)	かわた さとし 河田 聡 (大阪大学 名誉教授)	「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成」
<u>さきがけ</u> 革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出(革新光)	たなか こういちろう 田中 耕一郎 (京都大学 大学院理学研究科 教授)	「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成」
<u>さきがけ</u> 革新的な量子情報処理技術基盤の創出(量子情報処理)	とみた あきひさ 富田 章久 (北海道大学 大学院情報科学研究科 教授)	「量子コンピューティング基盤の創出」
<u>CREST</u> 数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開(数理的情報活用基盤)	うえだ なおのり 上田 修功 (NTTコミュニケーション科学基礎研究所 フェロー／理化学研究所 革新知能統合研究センター 副センター長)	「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」
<u>さきがけ</u> 数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用(数理構造活用)	さかじょう たかし 坂上 貴之 (京都大学 教授)	「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」
<u>ACT-X</u> 数理・情報のフロンティア(数理・情報)	かわらばやし けんいち 河原林 健一 (国立情報学研究所 教授)	「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」 「Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出」(2018 年度)

<u>さきがけ</u> IoT が拓く未来 (IoT)	<small>とくだ ひでゆき</small> 徳田 英幸 (情報通信研究機構 理事長)	「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」
<u>CREST</u> 多細胞間での時空間的相互作用の理解を目指した定量的解析基盤の創出 (多細胞)	<small>まつだ ひろゆき</small> 松田 道行 (京都大学 大学院生命科学科 教授)	「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」
<u>さきがけ</u> 多細胞システムにおける細胞間相互作用とそのダイナミクス (多細胞)	<small>たかはし よしこ</small> 高橋 淑子 (京都大学 大学院理学研究科 教授)	「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」
<u>ACT-X</u> 生命と化学 (生命と化学)	<small>そでおか みきこ</small> 袖岡 幹子 (理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員)	「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」(2018 年度) 「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」(2018 年度) 「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」(2015 年度)

(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 (2019年4月現在)

	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 副学長兼教授

(※)研究主監は、戦略的創造研究推進事業(CREST、さきがけ、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(2018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 51 人が、延べ 202 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 29 万人、国内外文献の書誌情報約 4,782 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(2019年3月11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(2019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(2019年4月8日)。

3. 新規研究領域及び研究総括とその設定の理由

新規研究領域および研究総括と、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、2019年4月現在のものです)

3-1 戦略目標「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明」の下に設定した研究領域

[1] 研究領域の概要及び研究総括

研究領域 1『革新的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』(CREST)

(1) 研究領域の概要

本研究領域は、材料技術の発展により、持続可能で新たな産業が創出される社会の実現に資するため、物質の内部や界面で生じる原子・分子の運動、微細組織の構造変化や化学変化等のナノスケール動的挙動を解析・評価する技術を発展させ、マクロスケールの力学特性を決定している支配因子を見出し、その作用機構の解明を行うとともに、新たな力学特性を有する革新的力学機能材料の設計指針を創出することを目指します。

具体的な研究分野としては、金属材料、無機材料、有機材料、およびそれらの複合材料などの各種材料において、マクロな力学特性とナノスケール動的挙動の相関に基づき、接着・摩擦・摩耗・劣化・破壊等の作用機構や新たな力学特性について解明することに加え、そのために必要なナノスケールの動的挙動や化学変化等を可視化するためのその場計測・マルチシミュレーション技術等の開発なども対象とします。

これら各種研究分野の複合的な連携や、金属材料、無機材料、有機材料、複合材料などの各種材料で得られた知見を融合することによって、これまで未解明であった各種材料における力学特性発現機構の解明や特定の材料に依存しない共通的な学理を構築するとともに、トレードオフ関係にある力学特性を両立する材料や新たな力学機能をもつ材料の設計指針の創出に取り組みます。

(2) 研究総括

伊藤 耕三(東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授)

研究領域 2『力学機能のナノエンジニアリング』(さきがけ)

(1) 研究領域の概要

本研究領域では、超スマート社会や持続可能で豊かな社会を実現するための基幹技術である材料開発をターゲットとして、材料の基本物性である力学特性の発現機構をナノスケールから理解することや、ナノスケールの変形や構造変化に由来する力学特性を利用した新たな材料機能を創出すること(ナノエンジニアリング)によって、発展性の高い材料設計指針を獲得することを目指します。

具体的には、各種材料(金属材料、無機材料、有機材料など)において、強度特性等を決定している支配因子やそのメカニズムについてのナノスケールからの解明と、それに基づく機能創出を進めます。また、同スケールにおける力学特性を主とした他の物理特性(熱物性、磁性、導電性など)との相関性に着目した新奇な機能創出も対象に含めます。これらの目的の達成のため、その場計測下の力学実験技術、力学解析法、シミュレーション技術等を発展させ、ナノ材料からマクロ材料の共通基盤であるナノスケールの力学学理の展開と多様な特性解明への解析評価技術の確立を推進します。さらに、基礎研究の結実として、材料の高機能化や新機能創出につながる材料設計指針を獲得することを目指します。

物理学や化学等のナノスケールの現象への理解に特長がある研究分野と機械工学や材料工学等の機能の発現機構や構造の理解に特長がある研究分野の融合を通じて、異種材料間の相違点や共通点を見出すことでナノ材料力学に関する普遍的な学理構築や新分野の開拓に貢献します。

(2) 研究総括

北村 隆行(京都大学 大学院工学研究科 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1『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』(CREST)

研究領域 2『力学機能のナノエンジニアリング』(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、物質の内部や界面で生じる原子・分子の運動、微細組織の構造変化や化学変化等のナノスケール動的挙動を解析・評価する技術をさらに発展させ、マクロスケールの力学特性を決定している支配因子や作用機構を解明することを目指す。さらに、金属・セラミックス・ポリマー等の各種材料領域において蓄積された知見を融合することによって類似点と相違点を見出し、特定の材料に依存しない普遍的な学理を構築することを目指すものである。

研究領域1は、マクロな力学特性とナノスケール動的挙動の相関に基づき、力学特性の作用機構や新たな力学特性を解明し、そのために必要なナノスケールの動的挙動や化学変化等を可視化するための計測・マルチシミュレーション技術等の開発を行う。また、各種研究分野の複合的な連携や、金属材料、無機材料、有機材料、複合材料などの各種材料で得られた知見を融合することによって、各種材料における力学特性発現機構の解明や特定の材料に依存しない共通的な学理を構築し、力学機能材料の設計指針創出を目指す。そのためには、特定の材料における実験・解析・理論の一体的な推進や、金属材料と有機材料等の異なる材料間の連携等が必要となる。よって、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、複数分野の研究者からなるチームの編成が可能なCRESTを選定することは適切である。

研究領域2は、CRESTと同様に材料の力学特性の発現機構をナノスケールから理解し、マクロな特性の向上や新機能創出を対象とするが、個人型研究という趣旨に鑑みて、体系的な特性把握にもとづく機能向上よりも革新的なアイデアの提示による新機能創出に重きを置いた研究領域運営を進める。

また当該の目的を達成するためには、金属材料、無機材料、有機材料、複合材料といったあらゆる材料にシーズを持つ研究者の融合、物理や化学等のナノ研究に特長のある研究者と機械工学や材料工学等の機能理解に特長のある研究者との融合などが有効であると考えられ、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。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 伊藤 耕三

伊藤耕三氏は、ソフトマテリアル(高分子、液晶、生体分子などの分子性物質の総称)の構造と物性の研究を行っており、分子ナノチューブやナノリングと高分子の組み合わせに注目した、生体の機能を越える様々な構造の超分子の研究において多大な実績を有している。

近年では、革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)「超薄膜化・強靱化『しなやかなタフポリマー』の実現」にて、プログラムマネージャーとして従来の限界を超える薄膜化と強靱化を同時に達成するタフポリマーの研究開発マネジメントを推進し、ナノスケールの分子状態とマクロスケールの力学特性の相関の解明などにも注力していることから、本研究領域における高い先見性や洞察力を有していると認められる。

また、基礎・基盤的な研究開発のみならず、開発した材料を産業界へつなぐためのアプローチ等、産業界との連携の実績もあることから、研究成果の展開においても適切なマネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。

高分子学会における理事・監事、シクロデキストリン学会の理事を務め、JSTにおいてもCREST「実験と理論・計算・データ科学を融合した材料開発の革新」研究領域、「トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出」研究領域の審査等の経験があることから、関連分野を中心に幅広い研究提案の集まるCRESTの研究領域において、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は研究領域1の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 北村 隆行

北村隆行氏は、金属材料・無機材料を中心として材料強度の支配因子である破壊現象のナノスケールからの学理探求を専門として研究を行っている。また、材料の微視的な破壊実験およびモデリング・シミュレーションなどの評価技術にも長けている。当該分野の第一人者であり、その優れた実績は材料系学会、機械系学会

での数度にわたる論文賞の受賞にも表れている。

科研費の特別推進研究など大型プロジェクトの代表を数度にわたって務めており、研究プロジェクトのマネジメント能力も有している。

学会活動の観点でも、様々な材料について横串を通して理解するという趣旨で設立された日本材料学会の会長を務めており、幅広く材料を扱う本領域のマネジメントに適した経歴を有している。また、東レ科学技術研究助成という若手研究者の評価委員も務めており、公正かつ先見性をもった評価を行っていると判断する。

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「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成」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『独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成』(CREST)

(1)研究領域の概要

光科学技術は、これまでの力強い研究ならびに開発によって、産業・学術の両面においてその発展に大きく貢献し、またそれ自身も大きく発展してきました。本研究領域ではこれをさらに進めて、光の有する本質的な特性を使いつつ従来にない独創的な発想に基づく革新的な原理による光科学技術の創出を目指します。また将来あるべき姿やゴールを見定めることによって、バックキャスト的な視点を取り入れながら他の科学・技術分野との相互作用によって、全く新しい光応用分野領域の創成を図ります。

具体的には、既存の原理や技術と異なる新しい発想に基づく光デバイス・装置や計測・分析法、ナノ加工の提案と実証、生命体の理解や医療システムにおける新しい原理と技術の開拓、数理科学に基づく光情報処理システムへの展開、さらには、光による環境モニタリングと環境制御・保全の創出、食の安全の確保などを例とし、持続可能な社会を実現するための解決すべき大きな課題、豊かな社会を支えるための産業上の大きな課題、あるいは未来を切り開く知を得るための大きな課題、これらの課題解決に向けて突破口を開き具体的な貢献を果たすための契機となる具体的でチャレンジングな光科学技術の研究や開発を対象とします。

(2)研究総括

かわた さとし
河田 聡 (大阪大学 名誉教授)

研究領域 2『革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

科学の発展に光科学技術が大きな寄与をしてきました。原子の分光学の知見が量子力学を生み出し、半導体物理学に発展し、その後の光物性や量子光学の基盤を支えています。レーザーの発明は光科学における大きな一里塚でしたが、現在では多くの科学分野を支える基盤技術となり、また光通信や光記録に代表される数え切れないほどの応用展開をもたらしました。このように光科学技術は学術や社会への貢献を果たしつつ、光科学技術自身も大きく進化するという好循環を起こしてきました。ここで着目するのは、様々な科学分野において新しい展開を追い求める研究者の夢や理想が、新しい光科学技術を生み出す強い動機や原動力となっていることです。細胞内をできるだけ高い空間分解能で見たいという生命科学者の飽くなき探求心が高解像度光学顕微鏡の技術開発を突き動かしてきました。最近では、非線形光学の取り込みと共に新しい蛍光色素が開拓され、回折限界をはるかに超える分解能に至っています。アインシュタインの一般相対論が予言する重力波の検出は長年の物理学者の夢でしたが、最近になってようやく長尺のレーザー干渉計によって達成されました。これに必要なレーザー安定化技術や干渉計技術の開拓は光科学の進展をもたらしています。そのような例は枚挙にいとまがありません。

本研究領域では、これまでには無かったような革新的な光科学技術を開拓し、様々な科学分野の新局面を切り開くような挑戦的な研究を推進します。この過程から、将来様々な分野で応用されるような基盤的な光科学技術の創出を図ります。

(2)研究総括

たなか こういちろう
田中 耕一郎(京都大学 大学院理学研究科 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 『独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成』(CREST)

研究領域 2 『革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出』(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、産業・学術を支える基盤技術として幅広い分野において貢献を果たしてきた光科学技術において、バックキャスト的視点を取り入れながら、物質科学、生命科学、情報科学等の分野においてまだ多く残されている未利用、未開拓分野を明らかにし、これに必要な光科学技術を特定して、その開発及びそれを用いた基盤技術の開発を進め、新奇機能性材料、生命現象の理解や制御技術、革新的な治療技術、高速情報処理技術等、新たな産業・学術を支える基盤技術を生み出し、超スマート社会(Society5.0)の実現に貢献することを目的とするものである。

研究領域1は、(1)自己組織化、自己成長、カオス・複雑系などの非線形数理科学に基づいた新概念の光デバイスや確率論・確率過程論などサイバネティクスに基づく光検出、光制御など、既存原理・技術と異なる発想に基づく光計測法、ナノ加工法、光材料・光デバイスの提案と実証および(2)発生学、新陳代謝に関する非線形数理科学および確率・確率過程を基礎としたフォトニクス、数理生物学や治療、創薬(薬剤開発と治療)への展開、複数種類の分子の挙動を同時に識別可能な新規イメージング技術の開発、外科の腹腔手術・皮膚科などでのレーザー手術にかかわる技術開発など光特性を活かした生命の観察・治療技術の創出、(3)自己組織化、自己成長、カオス・複雑系などの非線形数理科学や確率論・確率過程論などサイバネティクスを基礎とした研究、情報処理を能動的に組み込んだ革新的な新しい光センシング、イメージングシステム技術の開発など数理科学・情報処理の光への利用/光の情報処理への利用、(4)「環境問題」「食糧問題」「水問題」などの社会課題の解決を図るための光技術の開発、爆発物や毒薬の検出などの人と国の安全と命を守ることにつながる光技術の開発など、次世代光基盤技術の創出と開発を目指す。

そのため、様々な階層と広範な分野に関わる学問・技術分野の融合を目指す上で、研究推進体制として前述の複数分野の研究者からなるチームの編成が可能なCRESTを選定することは適切である。

研究領域2では、将来様々な分野で応用されるような基盤的な光科学技術の創出を目的に、個人研究者の独創的な発想によるこれまでは無かったような革新的な光技術を開拓し、様々な科学分野の新局面を切り開くような挑戦的な研究を対象とする。物質科学、生命科学、情報科学、光科学の分野、関連する工学・医学等の分野に加えて、高エネルギー物理学やシステム工学などの分野を対象に、革新的な光基盤技術創出を目指す。また、可視光だけでなく、テラヘルツ光から γ 線までの電磁波も対象とし、新規性や独自性ある科学への挑戦に根ざした革新的な光技術開拓を狙う。

本研究領域では、これまでに光研究を進めていた様々な分野の研究者が、その分野の垣根を越えて参画することで多岐にわたる新しい視点の提案が多数見込まれる。さらには異分野の知識を融合して新たな研究を生み出すネットワークの構築が期待でき、さきがけとして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と認められる。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 河田 聡

河田聡氏は、ナノフォトニクス、プラズモニクスの分野を中心に革新的な多くの研究で光科学分野をリードしてきた研究者で、永年にわたる光学・分光学、特にナノ光学における研究と教育における優れた業績に対して紫綬褒章が授与された。同氏の研究は表面プラズモンセンサーの先駆的な研究に始まり、近接場光学、顕微光学、共焦点顕微鏡、近赤外分光、分光機器、3次元多層光記録、3次元光造形、ナノスケール・ラマン散乱分光、分子イメージング、3次元顕微光学イメージングなどの幅広い分野において、基本原理に基づいた独自の着眼点で独創性を発揮し、文部科学大臣表彰、江崎玲於奈賞を始めとする数々の表彰を受けている。その業績は国内に止まらず、応用物理学会のほか、国際光工学会(SPIE)、米国光学会(OSA)、英国物理学会(IOP)からフェローの称号を授与され、ダ・ヴィンチ優秀賞を受賞するなど、世界的にも高く評価されている。また、学術研究に止まらず、自ら大学発ベンチャー「ナノフoton(株)」を設立し、世界に先駆けて開発したプラズモン効果に基づくラマン散乱光の超解像度顕微システムを研究者向けに供しており、その製品を通じて、

分子からナノ半導体材料、ナノバイオ材料などの研究開発にも貢献し、櫻井健次郎賞が授与されている。以上の観点から本研究領域運営に必要な先見性および洞察力を有していると認められる。

加えて、SPIE Nanotechnology、Journal of Biophotonics、Laser & Photonics Review、Journal of Microscopy 等々の学術誌では長年編集の任にあたったほか、Optics Communications では 9 年間編集長を務めており、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行っていると認められる。

更には、応用物理学会、日本分光学会では副会長・会長を歴任されたほか、米国光学会 (OSA) で理事・国際諮問委員会議長、SPIE では NanoScience+Engineering の議長を勤めるなど、国内外学会の運営や国際会議の運営に独創的なアイデアを数多く提案され、その実行力にも定評がある。これらの経験などから、適切なマネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。

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 田中 耕一郎

田中耕一郎氏は、機能性電子材料の光学特性の評価、光照射による機能発現、および新しい分光手法による機能発現ダイナミクスの研究に取り組んでこられ、特にスピנקロスオーバー錯体において、振動分光による光誘起相の特異性の発見、X 線構造解析および X 線分光による光誘起相の構造研究、複核スピנקロスオーバー系の選択的光誘起転移の実現などの研究をおこなった。加えて、テラヘルツ時間領域分光においても、時間領域全反射分光法とシングルショットテラヘルツ分光を世界に先駆けて提案・実証し、非接触で電気伝導度や集団フォノンモードを時間分解測定する手法を確立している。最近では、世界最高強度のテラヘルツ光の発生に成功し、高強度テラヘルツ光をもちいたテラヘルツ非線形分光の領域で数多くの成果をあげている。以上のことから本領域運営に関して先見性及び洞察力を有していると認められる。JST 事業ではさきがけ、CREST 研究代表者、ACCEL 研究代表者(継続中)の経験があり、終了課題においては高い評価を得られていることから、適切な研究マネジメントを行う経験、能力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業績等から、2014 年に文部科学大臣表彰を、2018 年に仁科記念賞を受賞するなど高く評価されているほか、京都大学物理・宇宙物理学系学系長や同校大学院理学研究科 副研究科長を歴任するなど、関連分野に留まらず幅広く研究者から信頼されており、公平な評価を行い得ると認められる。

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「量子コンピューティング基盤の創出」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 1『革新的な量子情報処理技術基盤の創出』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

量子ビットの集積と制御技術によって量子コンピュータハードウェアを「作る」研究に対し、本研究領域では量子を「賢く使う」研究を行います。「賢く使う」とは、量子力学の与える制約や制限されたリソースを巧みに利用した情報処理技術、現実的な物理環境下での大規模量子計算など、何らかの制約の中でも実行可能である、あるいは逆に制約を活用する技術を創造することを意味します。

研究内容としては、フォールトトレラント量子コンピュータを実現するための量子アーキテクチャや量子ソフトウェアから、古典的手法よりも効率よく問題を解く量子アルゴリズム、量子センサと量子コンピュータを統合した高度な量子情報通信技術、量子技術と古典IT技術とを融合した情報処理システム、量子アルゴリズムを利用して社会的問題を解決するアプリケーションまで、ハードウェア開発以外の広範なテーマを対象とします。

さまざまな学術領域の融合・協働により、こうした革新的な情報処理手法の研究開発を進め、社会実装可能な量子コンピューティングを実現するための技術基盤を作り上げることを目指します。

(2)研究総括

とみた あきひさ
富田 章久(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『革新的な量子情報処理技術基盤の創出』(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本戦略目標は、量子力学的な効果を用いて超並列・大規模情報処理を行う量子情報処理技術におけるハードウェア開発の急速な進展を受け、量子コンピュータのソフトウェア開発やハードとソフトを結ぶアーキテクチャの開発等を行い「量子コンピューティング基盤」の創出を目的とするものである。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)量子計算アルゴリズムの開発・実装・実証
- (2)量子ソフトウェアの研究開発
- (3)量子情報処理システムのアーキテクチャ研究開発

以上の目標をふまえ、本研究領域では、複素高次元空間で表される情報を量子力学の与える制約を利用して巧みに処理するという量子情報の本質的な特徴を用いた革新的な情報処理技術から、実現可能な制限されたリソースを活用して行うことができる意味あるタスク、現実的な物理的環境下での大規模量子計算など、制約があっても、あるいは制約を逆に活用する技術を創造するような研究を対象としている。それにより、社会実装可能な量子コンピューティングを実現するための技術基盤を作り上げることが目指されている。また、これまでに個別のコミュニティで量子コンピュータに興味を抱いている様々な分野の若手研究者が分野の垣根を越えて参画することで、多岐にわたる新しい視点の提案が多数見込まれる。さらに異分野の知識を融合して新たな研究を生み出すネットワークの構築が期待でき、さきがけとして選定することは適切である。本戦略目標の達成に向けては、分野の垣根を越え将来の量子コンピュータ実現・利用に向けた研究を牽引していく研究者の育成が必須であり、既存の関係領域やプログラムと成果を共有し新しい連携を行うことが必要である。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と認められる。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 富田 章久

富田章久氏は、従来の情報処理技術では不可能なタスクを実現する量子情報プロトコルの実装や量子情報処理システム、及び量子暗号鍵配付に関する研究を行っている。また量子情報のための光デバイスの研究

も行っており、量子エレクトロニクス分野において第一線の研究者として広く活躍されている。そのため、アルゴリズムやソフトウェア開発といった理論研究からアーキテクチャの開発などハードウェア・デバイス開発に関連する部分までを含めた「量子コンピューティング基盤」の創出を目指す本研究領域に関わる研究分野について、先見性、俯瞰力及び洞察力を有していると認められる。

また、量子情報技術時特別専門委員会 委員長や量子 ICT フォーラム 議長を務めた経験、加えて International Conference on Quantum Cryptography や Asian Conference on Quantum Information Science 等の多数の国内外の会議のプログラム委員や運営委員を務めるなど、国内外の研究者から信頼され、公平な評価を行っていると認められる。さらに、20 年以上におよぶ企業での研究開発、その後の大学での学術研究における幅広い経験から得られた研究マネジメント能力は、多種多様な研究対象および研究フェーズの研究課題の採択が予想される本研究領域の効果的・効率的な運営にも発揮されると期待される。本研究領域発の研究成果の迅速な社会実装に向けて、同氏がこれまで培ってきた産学のネットワークも有効であると思われる。

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。

3-4 戦略目標「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」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『数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開』(CREST)

(1)研究領域の概要

様々な科学分野や産業界で生み出されている膨大なデータを活用し新たな科学的・社会的・経済的価値を創出していく上で、数学・数理科学と情報科学とが連携・融合した新たな概念やアプローチの創出が不可欠となっています。メカニズムをモデル化する数理モデル型アプローチとビッグデータを活用するデータ駆動型アプローチとがそれぞれの強みを相補的に活かした革新的な情報活用手法の創出を通じて、実社会における情報活用の加速・高度化が期待されています。

本研究領域では、AI やビッグデータ解析などのデータ駆動型のアプローチだけでは困難な実社会の問題解決や付加価値創造に対して、数理科学と情報科学の連携・融合による新たな基盤技術の創出を目指します。具体的には、以下の研究開発に取り組みます。

- (1) 数学の発想を取り入れた新たな情報活用手法の創出に資する理論及び技術の構築
- (2) 数学・数理科学と情報科学を繋ぐ新たなサイエンスの創出
- (3) 様々な分野や産業界における情報の活用を加速・高度化するデータ解析アルゴリズムやソフトウェア等の次世代アプリケーション基盤技術の創出

上記によりインパクトある社会課題の解決につなげることを目指します。

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

上田 修功うへだ なおのり(NTTコミュニケーション科学基礎研究所 フェロー / 理化学研究所革新知能統合研究センター 副センター長)

研究領域 2『数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

次世代の社会では抽象的な概念や論理構造、曖昧な知覚や経験などが、広義の情報として科学的・社会的・経済的な価値を有するようになっていわれています。こうした社会の実現に向けて、数学・数理科学と情報科学が連携・融合し、様々な科学技術分野や産業界における諸課題および膨大なデータなどから、新しい数学的概念や数理構造を抽出し、それを情報化して利活用するアプローチが不可欠となっています。また、プロセスの記述による演繹的アプローチと大量データの利用による帰納的アプローチの双方の数理モデリング手法を高度に発展させ、また相補的に活用する数理的手法の創出を通じて、実社会における情報利活用の高度化・加速も期待されています。

本研究領域では、様々な対象に潜む数理構造や数学的概念を新たな「情報」として抽出し、それを次世代の社会の価値として利活用することで、私たちの認知能力を拡大し、次世代の社会や科学技術・産業の形成につなげるような情報活用基盤の創出を目指します。特に、数学・数理科学、情報科学の各分野の強みを活かしながら、領域として両分野の独立した研究者が連携・相補的に融合することにより、この目標達成を見据えた革新的な数理構造や数学的概念の提唱、その理論の構築、および、その情報化手法の研究・開発を推進します。

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

(2)研究総括

坂上 貴之さかじょう たかし(京都大学 大学院理学研究科 教授)

戦略目標「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開」、
「Society5.0を支える革新的コンピューティング技術の創出」の下に設定した研究領域

研究領域 3『数理・情報のフロンティア』(ACT-X)

(1) 研究領域の概要

様々な科学分野や産業界で生み出されている膨大なデータを活用し新たな科学的・社会的・経済的価値を創出していく上で、数学・数理科学と情報科学とが連携・融合した新たな概念やアプローチの創出が不可欠となっています。メカニズムを抽出する数理モデル型アプローチとデータ駆動型アプローチとがそれぞれの強みを相補的に生かした革新的な情報活用手法の創出を通じて、実社会における情報活用の加速・高度化が期待されています。

本研究領域では、情報科学および数理科学、そしてその二つの分野を融合・応用した研究開発によって未来を切り拓く若手研究者を支援するとともに、新しい価値の創造につながる研究開発を推進します。具体的には、従来の情報科学の研究課題のみならず、情報科学と数理科学の双方の知見を活かしたデータ活用手法、例えばデータ同化、トポロジカルデータ解析、圧縮センシング、差分プライバシー等を含む、情報科学および数理科学に関わる幅広い専門分野、および情報科学、数理科学の他分野への応用において、新しい発想に基づいた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

かわらばやし けんいち
河原林 健一 (国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 教授/所長補佐)

[2] 研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1『数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開』(CREST)

研究領域 2『数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用』(さきがけ)

研究領域 3『数理・情報のフロンティア』(ACT-X)

(1) 研究領域選定の理由

本研究領域にかかる戦略目標は、現状の情報の活用に関する問題点(例えば、「情報をデータ化すること自体が難しい」「データ自体が少ない、ビッグデータがあっても整理されていない等の場合には対応が困難」「個人情報を含むデータの活用が困難」「解析結果の理由や信頼性が不明」など)を踏まえ、深層学習に代表されるデータ駆動型アプローチと現象のメカニズムを抽出する数理モデル型アプローチがそれぞれの強みを相補的に生かしながら連携・融合することなどにより、実社会の情報を十分に活用し尽くすことのできる数理的情報活用基盤の創出を目指すものである。これにより、様々な科学分野や産業界における情報活用手法のパラダイム変換をもたらすと同時に、数学・数理科学による情報科学自体の飛躍的な革新や、高度な数学を実社会の情報の活用に応用できる人材の輩出を狙う。そのため、達成目標として、以下の 2 項目が設定されている。

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

(2) 様々な分野や産業界における情報の活用を加速・高度化する次世代アプリケーション基盤技術の創出
これらを達成するために、本戦略目標下では CREST、さきがけ、ACT-X の 3 研究領域を設定している。

研究領域 1 では、数学・数理科学者と情報科学者がチームとなって研究を行うことにより、数学・数理科学

の発想を取り入れた革新的な情報活用手法の創出に資する理論及び技術の構築と、この技術がどのような社会的課題の解決や新たな価値創造につながるかを具体的に示すことを目指している。また、社会課題の解決や新たな価値の創造を検討するにあたっては、例えば医療、バイオ、マテリアル、環境・エネルギー等の応用分野の専門家にメンバーに入っていただくことも推奨しており、本研究領域は CREST の研究領域として適切であると考えられる。

研究領域 2 では、数学・数理科学、情報科学の各分野の強みを活かしながら相補的に連携・融合することにより、革新的な数理構造や数学的概念の提唱、その理論の構築、および、その情報化手法の研究・開発を推進することを目指している。このため、各分野で卓越した研究を行う個人研究者を結集させ、特に純粋数学の研究者の参画を積極的に促し、領域内でこれら研究者の連携・協働・融合を積極的に進め、その相互作用により領域全体として高いレベルの情報活用基盤を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。

研究領域 3 では、情報科学および数理科学における将来有望な若手を発掘・育成し、2 つの分野を融合・応用した研究開発によって未来を切り拓く若手研究者の個の確立を支援するとともに、新しい価値の創造につながる研究開発を目指している。平成 30 年度戦略目標「Society5.0 を支える革新的コンピューティング技術の創出」を加えることで、多様な研究提案を対象とした幅広い研究領域として設定している。人材育成の観点を重視し、異分野の若手研究者同士が交流し相互に触発する場を設けることで、異分野の重要性を理解し自身の研究に取り込める研究人材の育成や、将来の連携につながる研究者ネットワークの構築をはかるなどとしており、本研究領域は ACT-X の研究領域として適切であると考えられる。

以上のことから、CREST、さきがけ、ACT-X がプログラムの特性を踏まえつつ効果的な役割を担い、3 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 上田 修功

上田修功氏は、情報科学と数理科学における優れた見識を有しており、“WEB SCIENCE”と称して、WEB データの様な不定形、不完全、大規模データを対象とした新たな学習法の構築、ノンパラメトリックベイズに基づく関係データ解析、データマイニング、超大規模データでの効率的な学習法の研究等、一貫して数理的アプローチに基づく学習アルゴリズムの構築を行っている。データマイニング分野のフラグシップ会議である ACM SIGKDD にて Best Research Paper Award Honorable Mention 受賞や IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering での論文発表等、顕著な業績を有する。また、米国 Purdue 大学に客員研究員として在籍した経験や NTT フェローとして NTT コミュニケーション科学基礎研究所の上田特別研究室長も努めており、当該研究分野における国内外の動向や産業界の情勢を熟知し、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有している。

日本神経回路学会理事、IEEE 関西支部 Vice-Chair、日本メディカル AI 学会評議員や理化学研究所革新知能統合研究センターの副センター長を務めるなど、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。

文部科学大臣表彰科学技術賞、情報処理学会論文賞、電子情報通信学会業績賞、同学会フェロー、APSIPA Industrial Distinguished Leader Award の受賞等、これまでの研究実績が学会等から高く評価されるとともに関連分野の研究者から広く信頼を得ていると考えられる。

国内外の学会等におけるプログラム委員や Chair を務め、JST においても CREST、さきがけ、ERATO の選考・評価委員の経験があることから、関連分野を中心に幅広い研究提案の集まる CREST 研究領域において、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 坂上 貴之

坂上貴之氏は、応用数学における優れた見識を有しており、特に数理流体力学で、流体運動の数理的側面を大規模計算から数学解析まで様々なアプローチにより解明している。京都大学における数学よろず相談室(MathClinic)の主催など諸分野連携活動を積極的に展開し、現代数学の諸概念の新しい応用・展開研究にも成果がある。また、日本数学会、応用数学会、日本流体力学会、SIAM(米国工業応用数学会)、APS(アメリカ物理学会)会員など、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。上述のような卓越した研究業績等から、日本数学会 建部賢弘賞奨励賞、日本応用数理学会 JJIAM 論文賞を受賞するなど高く評価されている。

JST 未来社会創造事業 探索加速型「共通基盤」領域や、CREST「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域の研究代表者を務めるなど、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。

日本数学会編集委員、East Asia SIAM Executive Committee、さきがけ領域アドバイザーを務め、国内外の研究者から信頼され、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は研究領域2の研究総括として適任であると判断される。

研究総括 河原林 健一

河原林健一氏は、離散数学とその理論計算機科学への応用に関して、トップクラスの研究者である。同氏が提唱しているアルゴリズム的グラフマイナー理論(Algorithmic Graph Minor Theory)は、理論計算機科学やアルゴリズム解析において非常に重要視されている。同氏はこれらの数学的成果を基に理論計算機科学分野を先導して、数学と情報科学の融合の実用に向けて取り組んでいる。

研究活動実績に関しては、ACM Symposium on Theory of Computing(STOC)、IEEE Conference on Foundation on Computer Science(FOCS)、ACM-SIAM Symposium on Algorithms and Discrete Algorithms(SODA)という計算理論の分野でもっとも格式が高い3つの国際会議で50本以上の採択・採録という極めて優れた研究実績と、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有している。

また同氏は、ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」の研究総括として大規模プロジェクトにおけるマネジメントの実績や、所属する国立情報学研究所においても所長補佐の任にあり、本研究領域での研究課題の効果的、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、能力を有しており、ACT-I「情報と未来」における領域アドバイザーとして若手・人材育成においても実績があり、適切な若手育成を実施する能力を有している。

これら同氏の顕著な業績が評価され、これまでに日本IBM科学賞、文部科学大臣表彰若手科学者賞、井上リサーチアワード、船井学術賞やカークマン賞、日本学士院学術奨励賞、日本学術振興会賞、日本数学会春季賞、国際会議の論文賞など数多くの受賞を受けており、関連分野を中心に国内外の研究者から信頼を得ていると考えられる。

また、日本学術振興会システム学術研究センター専門研究員(2018年～)、Siam Journal of Discrete Mathematics 編集委員(2010-2016年)、Annual ACM-Siam Symposium on Discrete Algorithms(SODA)におけるプログラム委員(2011、2017年)、組織委員(2012年)、ACM Symposium on Theory of Computing(STOC)プログラム委員(2017年)、IEEE Conference on Foundation on Computer Science(FOCS)プログラム委員(2018年)を務めるなど、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は研究領域3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「次世代 IoT の戦略的活用を支える基盤技術」の下に設定した研究領域

[1]研究領域の概要及び研究総括

研究領域 1 『IoT が拓く未来』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

Society5.0 が実現された超スマート社会においては、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、サイバーフィジカルシステム(CPS)において、AI やビッグデータ処理など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ています。一方、IoT 機器に潜む脆弱性をつく外部からの攻撃等も危ぶまれ、高度な攻撃にも耐える IoT セキュリティやプライバシーに配慮した高度なデータ収集・流通・蓄積・解析基盤等の開発も急務です。

この超スマート社会の CPS を支えるには、カーボンニュートラルなシステム、セキュリティやプライバシー保護をデザイン時点から組み込んだデータエコシステムの実現などが重要です。特に、日本が世界をリードするためには、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加速することが必須です。

本研究領域は、超スマート社会の実現を見据え、従来技術の単純な延長では得られない、質的にも量的にも進化した次世代 IoT 技術の基盤構築を目指します。例えば、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統合・分散処理する技術、IoT 環境における機能・性能・実装の課題を飛躍的に解決する要素技術、IoT 機器の脆弱性、データ保全性等の課題を根本的に解決するセキュリティ技術やプライバシー強化技術等を対象として、大胆な発想に基づいた挑戦的な研究を推進します。

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

(2)研究総括

徳田 英幸 (情報通信研究機構 理事長)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1 『革新的な量子情報処理技術基盤の創出』(さきがけ)

(1)研究領域選定の理由

本研究領域にかかる戦略目標は、IoT 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など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を行うと共に、IoT の持つ脆弱性や保全性を担保するセキュリティ技術を開発することで、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を目指している。そのため、達成目標として、以下の2項目が設定されている。

- (a) 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
- (b) 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等の保護を行う、IoT セキュリティのための要素技術の開発

以上を達成し Society5.0 の実現に貢献するためには、従来技術の単純な延長ではなく、今までに無い技術を大胆な発想で生み出すことが重要であり、加えて、若手研究者の育成について重点的に推進し、研究基盤を強化するため、さきがけ領域を選定することが適切であると考え、本戦略目標下ではさきがけ研究領域を設定している。(a)については、リアルタイムに異種データを統合分析する技術の確立、需要に対して適応的に新たなデータストリームを生成する超分散 IoT 連携技術の創出、これらを支えるために IoT という制約のある時空間環境におけるセンシング技術や超低消費電力通信、センシング、その処理技術等の研究開発など、幅広い技術を対象とし挑戦的な研究開発を推進することとしている。また、(b)については、IoT 機器で課題となる

脆弱性や保全性を担保するため、機器探索・特定・情報収集技術の確立、AI 利用攻撃やその防御に関する技術、機密情報やプライバシー保護等の高速データ処理等、強固な IoT セキュリティを確立しようとしている。

以上のことから、本研究領域は Society5.0 を支えるための次世代 IoT の基盤技術確立に向けたさきがけ研究領域として適切に設計されており、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 徳田 英幸

徳田英幸氏は、分散リアルタイム OS の研究を推進し、リアルタイム OS 用に予測可能リアルタイムスレッド、同期、通信モデルを世界に先駆けて開発した。さらにシステム設計・実行時に重要な解析・可視化するツール群を開発し、のちのマルチ OS 環境につながる Real-Time Mach といった分散リアルタイム OS に実装、その有効性を示したことで、リアルタイムシステムの研究発展に貢献し、学術ならびに産業界で高く評価されている。さらにユビキタスコンピューティング分野においては、uPhoto、uTexture、Smart Furniture などのスマートデバイス群を企業と共同開発し、コネクテッドサービスを世界に先駆けて実証した。これまで、IoT 推進コンソーシアムのスマート IoT 推進フォーラム座長、総務省情報通信審議会情報通信技術分科会長、内閣サイバーセキュリティセンターのサイバーセキュリティ補佐官、重要生活機器連携セキュリティ協議会会長、情報処理学会副会長、日本学術会議情報学委員会委員長をはじめとした産学官のリーダーを務められる等高い見識を有しており、IoT、セキュリティに関係する当該研究分野における国内外の研究動向を熟知し、幅広い知見や優れた先見性及び洞察力を有している。また、国立研究開発法人情報通信研究機構理事長、慶應義塾大学常任理事、環境情報学部長、同大学院政策・メディア研究科委員長を務めるなど組織のガバナンスについても豊富な経験を有しており、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。

これまでに、文部科学大臣表彰科学技術賞、経済産業大臣賞、総務大臣賞、情報セキュリティ文化賞、情報処理学会功績賞、Motorola Foundation Award、IBM Faculty Award、等を受賞しており、研究実績が学会等から高く評価されるとともに関連分野の研究者から広く信頼を得ていると考えられる。さらに東京大学 空間情報科学研究センターをはじめ大阪大学、京都大学、九州工業大学などの外部評価委員を務めると共に、日本学術会議での選考委員、日本国際賞審査委員、京都賞審査委員や経済産業省独立行政法人評価委員会の委員を務めるなど、公平な評価を行いうると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

3-6 戦略目標「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」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『多細胞間での時空間的相互作用の理解を目指した定量的解析基盤の創出』(CREST)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、組織等における多細胞間の時空間的な相互作用を、分子レベルあるいは細胞レベルで解析し、動的な生命システムの理解に資する技術や理論の創出を目指します。

近年、1細胞レベルでのオミクス技術やイメージング技術、さらには大量データを処理する計算機科学等の発展に伴い、細胞や生体分子の網羅的かつ定量的な解析が可能になりつつあります。これにより、個別の遺伝子や分子に着目した研究から、遺伝子群や分子群の1細胞レベルでの変化を対象とするような、より複雑な解析へとライフサイエンスの方法論に変化が認められます。しかしながら、時空間を考慮した生命システムの研究では、細胞や分子の経時的解析や組織・生体の三次元解析などで多くの技術的な隘路が存在します。そのため、技術的なブレイクスルーにより、生体内やそれに近い状態における細胞内外の分子の挙動や細胞の動態変化などに関して、時間情報や位置情報を加味した定量性の高い計測手法やデータ解析技術等の創出が求められています。

このような背景を踏まえ、本研究領域では、細胞間や分子間のネットワークの時空間的な理解に資する新たな技術や理論を構築し、多細胞動態の解明に関する研究開発を推進します。また、これらの研究開発を通じて得られる質の高いデータやパラメータ等から、多細胞の動態を予測・操作するための技術基盤を構築します。

(2)研究総括

まつだ みちゆき (京都大学 大学院生命科学研究科 教授)

研究領域 2『多細胞システムにおける細胞間相互作用とそのダイナミクス』(さきがけ)

(1)研究領域の概要

本研究領域では、組織・器官・個体等を構成する細胞集団を時空間的に解析することによって生命現象を1つのシステムとして理解することを目指します。このため、多種細胞を時空間的に識別し、その動態や相互作用を解析する技術の開発やデータサイエンス・数理科学による生命モデルの開発、また、それらの技術を活用した生命システムの解明を目的とする若手研究者を結集し、研究開発を推進します。

近年、1細胞レベルでの各種オミクス解析技術やイメージング技術などの発展に伴い、細胞や生体分子の網羅的かつ定量的な解析が可能になってきています。また、ヘテロジニアスな細胞からなる細胞集団が相互作用しながら変化してゆくダイナミクスを通して、生命を理解することが可能になりつつあります。このような動的な現象を対象とした研究開発では、特に空間情報や時間情報に着目しながら、生命科学と工学、化学、光科学、情報科学、数理科学などが連携することが有効です。多様な技術を糾合することでこれまで困難とされていた分子や細胞の生命現象における理解が深まることが期待されます。

以上を踏まえ、本研究領域では、多細胞システムの解明に向けて異分野の研究者が切磋琢磨し、オープンに議論する場を提供します。これにより各々の課題を洗練させるとともに、課題間のシナジー効果により新たな研究潮流の萌芽を形成し、創造性豊かな研究を通して、生命機能の本質に迫ることを目指します。

(2)研究総括

たかはし よしこ (京都大学 大学院理学研究科 教授)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1『多細胞間での時空間的相互作用の理解を目指した定量的解析基盤の創出』(CREST)

研究領域 2『多細胞システムにおける細胞間相互作用とそのダイナミクス』(さきがけ)

近年、ライフサイエンス分野では、イメージング技術やオミクス技術、計算機科学等の発展に伴い、ヒトやモデル生物の組織、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。このような研究潮流を踏まえて、本戦略目標は、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・操作技術の創出が主な研究対象となっている。具体的には、「(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」の3つが達成目標として設定されている。

以上を踏まえ、研究領域 1 では、「(1)多様な計測手段を活用した多細胞間での相互作用の定量的理解」、「(2)時空間情報を含む細胞間及び分子間ネットワーク等の解析技術の開発」、「(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」の3項目を領域の課題として、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つの課題は戦略目標の3つの達成目標に対応しており、適切な設計といえる。また、これらの課題は、生物学のみならず、化学や工学、数理解析、情報科学等の研究者が連携して実施することとしている。さらに、アカデミアのみならず、産学官等の異なるセクターが最先端の知見や技術を持ち寄って協働する研究開発となっている。このため、研究推進体制として、複数の分野やセクターの研究者からなるチーム編成が可能なCRESTでの対応は適切である。

一方、研究領域 2 では、「(1)細胞間ネットワークから探る生命動態の理解」とこれを実現するための「(2)時空間情報を含む多細胞システム解析技術の開発」、および「(3)細胞の特性や動態を予測・操作する技術と理論の創出」、に取り組む。本研究領域では、細胞間の相互作用に基づく生命現象の解明((1))に向け2つの技術開発((2)および(3))をテーマとして位置付け、これらの課題は戦略目標の3の達成目標に添った適切な設定になっている。また、細胞間の時空間的な相互作用の理解に向けて、多様な分野の若手研究者の参画を促し、より萌芽的な研究課題に取り組む内容のため、さきがけでの実施も適切である。

以上より、研究領域 1 および研究領域 2 は戦略目標の達成に向けた適切な設定となっており、領域間連携による成果の共有や展開等を通じて戦略目標の達成に貢献すると判断される。

(2)研究総括指定の理由

研究総括 松田 道行

松田道行氏は、独自の蛍光イメージング技術を用いたシグナル伝達の研究で優れた研究成果を挙げ、特に蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)の原理を用いた独自のプローブや計測手法の開発で高い実績があり、イメージング分野において我が国を代表する研究者である。また、医学をバックグラウンドに持ち、技術開発のみならず生理学や病理学等にも造詣が深く、生命現象の解明と技術開発の双方を理解し、評価しうる人物であることから、本研究領域の総括に求められる先見性及び洞察力を有している。また、生命動態システム科学推進拠点事業(文部科学省)の京都大学拠点長や科学研究費補助金の新学術領域研究の代表等を歴任しており、研究拠点やプロジェクトのマネジメント実績が豊富であることから、適切な研究マネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。さらに、日本学術会議の会員を始めとし、日本癌学会、日本病理学会、日本生化学会、日本細胞生物学会の評議員や海外学会の会員に選出されていることから、その業績とともに、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行っていると認められる。

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

研究総括 高橋 淑子

高橋淑子氏は、発生学の分野で数多くの業績を挙げ、多細胞によって形成される形態や器官などの形作り

における日本を代表する研究者である。従来の発生生物学の手法に最先端のイメージング技術等を組み合わせ、神経系と血管系のネットワーク形成の機構解明に取り組むなど、近年は異分野による融合研究を先導している。一方、これまでに新学術研究の推進、各種学会の運営委員としての参画、文部科学省の審議会での評議員・審査委員、京都大学理事補などを歴任するなど、科学的な見地に基ついた優れたマネジメント能力が認められている。また、Science 誌の Reviewing Editor や日本医療研究開発機構の評価委員なども務め、公正さが求められる評価の分野でも多くの経験を有する。さらに、長年にわたる研究室の主宰や学会活動等を通じた人材育成も特筆される。

以上より、同氏は多細胞研究に関する優れた先見性と洞察力を有し、研究管理や運営に関するマネジメント力を有することが認められる。また、若手研究者の育成や研究奨励の実績もあることから、研究領域 2 の研究総括として適任であると判断される。

3-7 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」、「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」、「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」、「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『生命と化学』(ACT-X)

(1)研究領域の概要

近年、健康長寿社会の形成、食料の安定供給、生物を利用する産業の発展等に幅広く貢献する技術として、様々な生体分子に着目して生命現象を解明、応用する技術への期待がますます高まっています。これらの期待に応えるために、生命と化学の融合的な観点から、独創的なアイデアを持ち、次世代を担う多様な若手研究者を支援し輩出していくことが不可欠です。

本研究領域では、「生命と化学」における研究によって未来を切り拓く若手研究者を支援するとともに、新しい価値の創造につながる研究を推進します。具体的には、生体分子の観点から生命現象をとらえる生物学分野の研究や、化学的手法を用いて生命現象を解明・制御・応用する研究を含む幅広い専門分野において、新しい発想に基づいた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構築をはかります。

(2)研究総括

そでおか みきこ
袖岡 幹子(理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員)

[2]研究領域及び研究総括設定の理由

研究領域 1『生命と化学』(ACT-X)

(1)研究領域選定の理由

生命科学は、生命現象の複雑かつ精緻なメカニズムを解明する科学であり、その成果は医療・創薬の発展や、食料・環境問題の解決など、健康長寿社会や持続的社会的の実現に大きく寄与するものである。なかでも、タンパク質・核酸・脂質・糖・情報伝達分子などの様々な生体分子に着目して生命現象を解明、応用する技術は、我が国だけでなく世界的にも盛んに研究され、近年飛躍的な進歩を遂げてきた。これらの基盤となる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には、本分野の先端を切り拓く若手研究者を育成することが重要である。

本研究領域では、生物学と化学、そしてその二つの分野を融合した研究分野において、将来を担う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、「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」、「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」、「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4つの戦略目標のもとに研究領域が設定されている。

また本研究領域は、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、さらに本領域実施中での「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。

以上を総合すると、本研究領域は戦略目標の達成に寄与するよう適切に設定されており、優れた独創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 袖岡 幹子

袖岡幹子氏は、生理活性物質の効率的な合成、新規に創製した分子を用いた生命現象メカニズムの解明など、生物学と化学が融合したケミカルバイオロジー分野の研究において優れた研究実績を有している。これらの成果により、2010年に科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞、2014年にAAAS(American Association for the Advancement of Science)フェローの称号を授与、2017年にアメリカ化学会賞(Arthur C. Cope Scholar Award)を受賞するなど、その業績は国内外より高く評価されている。以上より、本研究領域における高い先見性や洞察力を有していると判断される。

ERATO(2008-2014)生細胞分子化学プロジェクトでは、研究総括として有機化学、遺伝子工学、生化学、物理学等の多様なバックグラウンドを持つ研究者をマネジメントして高い研究成果を挙げた。また、異分野の研究テーマ間で連携を取り、若手研究者が互いに切磋琢磨できる環境を整える等、ケミカルバイオロジーの中心的研究者として、人材育成に大いに貢献したと評価されている。他にもCREST研究代表者を務める等、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、若手人材育成についても実績があると認められる。

有機合成化学協会理事、科研費の審査委員、ERATO・CRESTの選考・評価委員を務める等、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行っていると認められる。

以上より、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

(別添資料1)

戦略目標

2019年度 戦略目標

- ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明
- 最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成
- 量子コンピューティング基盤の創出
- 数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開
- 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

2018年度 戦略目標

- Society5.0を支える革新的コンピューティング技術の創出
- 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
- 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

2015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

2019年度戦略目標

1. 目標名

ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明

2. 概要

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

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

- (1) 力学特性の支配因子と作用機構の解明

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

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

- (2) 動的ナノスケール評価技術の確立

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

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

(3) 新たな力学機能材料につながる設計指針の確立

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

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

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

SIP「革新的構造材料」、ImPACT「超薄膜化・強靱化「しなやかタフポリマー」の実現」、東北発素材技術先導プロジェクト「超低摩擦技術領域」等において、材料分野と機械分野の研究者が協働して産業応用を指向した材料開発が推進されている中で、力学現象の本質的理解につながるナノスケール動的挙動の重要性が認識されつつある。また、CREST「情報計測」により微小な物理量や現象に対するリアルタイム計測技術の開発が進み、本戦略目標の推進に必要な基盤技術が整いつつある。

(国外動向)

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

7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び2017年12月に開催されたJST科学技術未来戦略ワークショップ「メカノファンクショナルマテリアル」での議論（2019年2月戦略プロポーザル「トランススケール力学制御による材料イノベーション」発行）を参考にして分析を進めた結果、マクロな力学特性を決定づけているナノスケール動的挙動の理解が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「新機能につながるナノスケール力学制御」を特定した。
3. 2018年11月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「新機能につながるナノスケール力学制御」に関係する産学の有識者を招聘してワークショップを開催し、注目すべ

き国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクト、実施期間中に達成すべき目標等について議論を行った。そこでの議論等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」(2016年1月22日閣議決定)

第2章(3)2 ii)

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

「科学技術イノベーション総合戦略2017」(2017年6月2日閣議決定)

第2章(2)[B]2 ii)

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

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

4(1)(ii)

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

9. その他

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

2019 年度戦略目標

1. 目標名

最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成

2. 概要

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

- (1) 光特性を活かした物質・材料の操作・制御・機能創出

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

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

- (2) 光特性を活かした生命の観察・治療技術の創出

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

- ・複数種類の分子の挙動を同時に識別可能な新規イメージング技術の開発
- ・広い視野において分子レベルの分解能を有する生体計測技術の開発

- ・光駆動のコヒーレントフォノン等の光技術の利用による生体深部観察や非侵襲治療を可能とする基盤技術の開発

(3) 情報処理の光への利用/光の情報処理への利用

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

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

(4) 光要素技術の開発

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

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

6. 国内外の研究動向

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

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

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

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

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

7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケート結果や、科学技術・学術審議会量子科学技術委員会においてとりまとめた、量子情報処理等に関する研究開発の報告書、JST-GRDS や文部科学省による有識者へのインタビュー、産学の有識者が集まるワークショップ等における議論を踏まえて、注目すべき研究動向として「最先端光技術を駆使した革新的フォトニクス基盤の創成」を特定した。
3. 2018年11月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「最先端光技術を駆使した革新的フォトニクス基盤の創成」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、本研究課題で実施すべき研究課題、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクト等について議論を行い、これらを踏まえ、本戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「未来投資戦略2018」（2018年6月15日閣議決定）

第2 II. [1] 3. 3-1. (3) ii)

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

「統合イノベーション戦略」（2018年6月15日閣議決定）

第6章 (6) 5

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

9. その他

2018年度に終了した文部科学省事業「最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム」（2009～2018年度）ではフォトニック結晶レーザーをはじめとした最先端光源に関する研究開発が行われてきた。2015年度に開始したCREST「次世代フォトニクス」、さきがけ「光極限」では上記の文部科学省事業やこれまでの戦略的創造研究推進事業等で開発されてきた光科学技術を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、将来の社会・産業ニーズに応える研究開発が進められている。

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

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

2019 年度戦略目標

1. 目標名

量子コンピューティング基盤の創出

2. 概要

量子力学的な効果を用いて超並列・大規模情報処理を行う量子情報処理技術は、近年、ハードウェア開発が急速に進展している。その動きに伴い、ハードウェアを使いこなすためのソフトウェア開発の重要性が急激に高まり、世界的な開発競争が開始された。そのため、我が国においても、計算機科学、電子工学、物理学、数理工学等の分野が結集し、「量子コンピューティング基盤」の創出に向けた新たな分野を立ち上げ、量子コンピュータのソフトウェア開発やハードとソフトを結ぶアーキテクチャの開発を進める。加えて、量子アルゴリズムに着想を得た古典アルゴリズム、量子通信プロトコルや量子計測・センシング結果の情報処理手法の研究を進める。これらによって、量子情報科学・工学分野での我が国の長期的な国際競争力を確保するとともに、Society5.0時代に対応した革新的情報処理基盤の構築を目指す。加えて、観測・制御できる量子領域を拡大することで、新しい視点を生み、未解決問題の解決、未踏分野の開拓につなげる。

3. 達成目標

本戦略目標では、量子力学的な効果を用い、現在の技術では難しいとされている情報処理を高速で行うことができる量子コンピューティング基盤の創出を目指す。具体的には、以下の3つの達成を目指す。

- (1) 量子計算アルゴリズムの開発・実装・実証
- (2) 量子ソフトウェアの研究開発
- (3) 量子情報処理システムのアーキテクチャ研究開発

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、我が国が、量子コンピューティング基盤技術の研究開発を強力に加速・推進し、誤り耐性デジタル量子コンピュータ実現に向けた基盤を世界に先駆けて築くことで、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・量子情報処理技術を機械学習や量子化学計算等へ適用することにより、高効率な製造プロセスの探索や、新機能探索及び材料解析の加速が可能となり、生産プロセスの革新を実現する社会
- ・量子コンピュータと量子計測・センシングの組み合わせにより、高速・高感度に診断することができるようになり、健康長寿を実現する社会
- ・量子コンピュータと量子通信の組み合わせにより、秘匿性の危ない化の心配のない通信・計算が実現した安心・安全な社会

5. 具体的な研究例

- (1) 量子計算アルゴリズムの開発・実装・実証

量子コンピュータで実行可能な革新的なアルゴリズム(量子-古典ハイブリッドアルゴリズムや量子に着想を得た(quantum-inspired)アルゴリズムを含む)の探索・開発を行う。特に、近似最適化、機械学習、検索、量子化学計算等の既存の量子アルゴリズムの改良だけでなく、エンドユーザにとって重要な問題の新しいアルゴリズムやサブルーチンを設計する。また、量子通信や量子計測・センシングにおけるプロトコル・情報処理手法、スパコン等を用いたシミュレーションとの比較で量子優位性を検証するアルゴリズム等を開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・NISQでの実装を考慮したアルゴリズムの開発・実証
- ・クラウド量子コンピュータの動作検証やセキュリティ確保のためのプロトコル開発
- ・量子通信、量子計測・センシングにおけるプロトコル・情報処理手法の開発

(2) 量子ソフトウェアの研究開発

量子・古典プログラムを実機・シミュレータ上で実行するために必要となるソフトウェア開発プラットフォームを構築する。特に、様々な抽象度レベルでのシミュレータ、プログラミング言語（高級言語）、ドメイン固有言語、コンパイラ、API、各種ライブラリ、検証ツール、可視化ツール等を開発する。また、ハードウェア記述言語、ミドルウェア、ファームウェアといった、ハードウェアに近いレイヤーで機能するソフトウェアを開発する。具体的には以下の研究等を想定。

- ・エラー率ばらつき、ノイズ、量子ビット結合密度等を反映できるシミュレータの開発
- ・量子プログラムを記述するドメイン固有言語、実際のマシンにマッピング・最適化するコンパイラの開発
- ・量子化学計算や機械学習等のための変換・前処理の手法開発。既存フレームワーク・ソフトウェアへのアドイン開発
- ・量子コンピュータの動作を様々なレベルで評価・検証するための方法論の確立とツールの開発
- ・量子回路の最適化（モデリング、高速プログラミング）や検証のための効率的手法・ツールの開発
- ・量子情報制御言語の設計、制御信号へのコンパイラ開発、リソース推定・最適化手法・ツールの開発

(3) 量子情報処理システムのアーキテクチャ研究開発

量子情報処理システムを構成する要素の特定と抽象化レベルの決定及び各要素間のインターフェースを設計する。小規模・近似量子コンピュータについてはドメイン志向アーキテクチャに、大規模・誤り耐性量子コンピュータについては誤り訂正符号に基づいて、アーキテクチャの設計・最適化を行う。具体的には以下の研究等を想定。なお、量子コンピュータのハードウェアの方式は問わない。

- ・計算・情報処理に対するアーキテクチャ最適化（既存モデルの改善、新モデルの開発）、設計方法論の検討
- ・許容エラー率や結合度等の面で実装容易度の高い新符号の開発、トポロジカル符号の高速実行プログラム開発
- ・量子・古典、デジタル・アナログのインターフェース最適化。量子ビット読出し、制御、エラー訂正操作の実装方法開発

6. 国内外の研究動向

（国内動向）

ERATO「中村巨視的量子機械プロジェクト」、CREST「量子技術」研究領域等により、ハードウェアの研究開発が進展。2018年11月より、文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）にて100量子ビットの量子コンピュータハードウェアの開発がフラッグシッププロジェクトとして開始された。

（国外動向）

1994年以来、量子情報に関する年間論文投稿数が毎年200報以上増加するとともに、米国物理学会（APS）においては、量子情報分野の分科会メンバーが2,100人以上（全メンバーの4%以上）にまで拡大し、Topical GroupからDivision of Quantum Informationに昇格している。また、EU、英国、独国、オランダ、米国、カナダでは、量子技術を重視する研究開発戦略を打ち出し、量子コンピュータ開発への政府投資も年間数十～百億円規模となる見込みである。また、大学（UCSB、Yale、TU Delft、Waterloo）、企業（IBM、Google、Intel）、国研（NIST）等の複数のグループで、誤り耐性のあるスケーラブル量子コンピュータ実現を目指した研究が進められている。

7. 検討の経緯

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

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケート結果や、科学技術・学術審議会量子科学技術委員会においてとりまとめた、量子情報処理等に関する研究開発の報告書、JST-GRDSにおいて開催したワークショップや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「量子コンピュータサイエンスの創出」を特定した。
3. 2018年11月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「量子コンピュータサイエンスの創出」に関係する産学官の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行った。本ワークショップにおける議論等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「未来投資戦略2018」（2018年6月15日閣議決定）

第2 II. [1] 3. 3-1. (3) ii)

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

「統合イノベーション戦略」（2018年6月15日閣議決定）

第6章 (6) 5

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

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、Q-LEAPやNEDO等において、量子コンピュータのハードウェアを中軸としたプロジェクトが進められている。一方、ソフトウェアの開発においては、1つのキラーアプリケーションに集中した研究ではなく、幅広い基礎研究を行う必要がある。このため、多様な研究者による融合研究や挑戦的な研究を推奨している戦略的創造研究推進事業と、明確なゴールを目指して研究開発を進めるQ-LEAP等が連携しながら実施することが望ましいと考える。

また、日本では、量子技術が第5期科学技術基本計画に位置付けられて以降、Q-LEAPをはじめとする施策を開始した。欧米等の主要国でも、社会変革をもたらす技術として官民にわたって量子技術への研究開発投資が拡大している。そのような状況の中、我が国が培ってきた量子技術分野の強みを基に、量子技術外交を、EU、米国との間で推進しており、本動向とも連携した国際協力の中で、我が国の研究力を向上させることが重要である。

2019 年度戦略目標

1. 目標名

数理学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会への展開

2. 概要

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

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

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

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

5. 具体的な研究例

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

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

1) 情報の取扱い技術の高度化に向けた研究例

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

2) データの解析技術の高度化に向けた研究例

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

3) 結果の活用手法の高度化に向けた研究例

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

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

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

6. 国内外の研究動向

（国内動向）

数学・数理科学と情報科学における相互の連携は決して十分なものではなかったが、ここ数年、情報科学の困難な課題を数学で解こうとする機運が急速に高まりつつある。例えば、2014年度から始まったさがけ「数学協働」領域では、機械学習や計算機科学、情報理論等の研究者が数学者と連携しながら活動している。また、日本数学会においても、2018年3月と9月に「Society 5.0と数学」と題するワークショップが開催され非常に多くの聴衆が集まる等、関心の高さをうかがわせている。このほか情報科学と数理科学の双方の知見を活かしたデータ活用手法（例えば、データ同化、トポロジカルデータ解析、圧縮センシング、差分プライバシー等）を含む論文数を見ると、日本は2016年までの10年で10倍近く増加し、世界第5位となっている。

（国外動向）

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

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

7. 検討の経緯

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

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

て、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。

2. 上記アンケート結果や、日本数学会において実施した「Society5.0と数学」ワークショップ、文部科学省とJSTが協力して実施した企業21社（製造業、IT産業、金融・サービス業等）のIT・AI関連部門の技術者へのヒアリング調査等の情報を踏まえて、注目すべき研究動向として「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出」を特定した。
3. 2018年11月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出」に関係する産学官の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行った。本ワークショップにおける議論等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」（2016年1月22日閣議決定）

第2章（3）2 i）

（略）

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

「人工知能技術戦略実行計画」（2018年8月17日策定 一部抜粋及び加筆）

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

9. その他

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

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
 - ・データの保全性やプライバシー等の秘匿性を保証するデータ処理技術

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

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

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

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

(国外動向)

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

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

7. 検討の経緯

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

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

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

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」（2016年1月22日閣議決定）

第2章（2）2

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

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

第2章（2）3

このため、国は、特に以下の基盤技術について速やかな強化を図る。

- ・設計から廃棄までのライフサイクルが長いといったIoTの特徴も踏まえた、安全な情報通信を支える「サイバーセキュリティ技術」
- ・ハードウェアとソフトウェアのコンポーネント化や大規模システムの構築・運用等を実現する「IoTシステム構築技術」

（略）

- ・IoTの高度化に必要となる現場システムでのリアルタイム処理の高速化や多様化を実現する「エッジコンピューティング」

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

「統合イノベーション戦略」（2018年6月15日閣議決定）

第2章（1）1

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

第2章（1）2

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

第2章（1）3

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

9. その他

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

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

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。

2018 年度戦略目標

1. 目標名

Society5. 0 を支える革新的コンピューティング技術の創出

2. 概要

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

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

3. 達成目標

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

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

4. 研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

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

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

5. 具体的な研究例

(1) 情報処理を質的に大転換させる新たなコンピューティング技術の創出

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

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

- ・社会実装を見据え、計算分野の技術（自動制御、診断・予測、分散学習等）を活用したアルゴリズム、アーキテクチャ、ハードウェアを最適に組み合わせ、飛躍的な性能向上を実現する研

究開発。

- ・アルゴリズムとアーキテクチャが連携し、IoT デバイスからの大量データの信頼性を担保するセキュリティ技術の研究開発。
- ・アルゴリズムとアーキテクチャが連携し、量子コンピュータを高効率に利活用するための言語やコンパイラ等の研究開発やニューロモルフィックを高効率に利活用するためのアプリケーションの研究開発。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

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

(国外動向)

米国では、フォン・ノイマン・ボトルネックの問題が顕在化する以前の2008年よりDARPAのSyNAPSEプログラムでニューロモルフィックチップの開発が進められ、2016年にIBMが「TrueNorth」を発表した。IEEEがRebooting Computing Initiativeを設立して以降、Googleは深層学習のアクセラレータチップ「TPU」開発に着手し、NVIDIAはトヨタ自動車等と自動運転用のAI搭載チップ開発の協業を始め、DARPAではグラフ解析特化した研究プログラム「HIVE」を開始するなど、米国企業などが莫大なコストを集中投資投入して研究開発を活発化している。欧州では欧州委員会による施策として、Human Brain Projectにおいて50PFLOPSのスパコンを設置する計画が進行中であり、Horizon2020でも、エクサスケール技術の研究開発が実施されている。中国でも第13次五カ年計画によって、100PFLOPSのスーパーコンピュータシステム(Sunway TaihuLight)の取り組みを実施中である。

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

7. 検討の経緯

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

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

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

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センターの各分野ユニット」、「日本医療研究開発機構のプログラムディレクター等」及び「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネ

ットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「革新的コンピューティングによる Society5.0 を支えるコア技術の創出」を特定した。

(ワークショップの開催及び戦略目標の作成)

注目すべき研究動向「革新的コンピューティングによる Society5.0 を支えるコア技術の創出」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

(その他)

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

8. 閣議決定文書等における関係記載

「第5期科学技術基本計画」(平成28年1月22日閣議決定)

第2章(3)<2>i)

- ・大規模データの高速・リアルタイム処理を低消費電力で実現するための「デバイス技術」
- ・IoTの高度化に必要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」

「科学技術イノベーション総合戦略2017」(平成29年6月2日閣議決定)

第2章(2)[A]<2>i)

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

第2章(2)[B]<2>i)

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

第2章(2)[C]<2>i)

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

9. その他

本戦略目標に関連する施策として、平成30年度より開始予定の経済産業省「AIチップ開発加速のためのイノベーション推進事業」が挙げられるが、当該事業は短・中期的な目標で高効率・高速処理を可能とする AI チップと設計ツール整備に関するプロジェクトとして早期の実用化を目指すものであるのに対し、本戦略目標では中・長期の視点でさらに先を見据えた研究開発とし

て、将来の産業に貢献できる基盤技術の開発を行う。また、文部科学省の「AIPプロジェクト（人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト）」（平成28年度発足）の機械学習・深層学習のアルゴリズム・ソフトウェア研究等の取組と、本目標とは相補的な関係にあることから、相互に連携することで有機的に進展することが必要である。

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

2018 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。

2018 年度戦略目標

1. 目標名

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

2. 概要

化学産業は、エネルギーを大量に消費する製造工程が主流であり、「パリ協定」（平成 28 年 11 月発効）の本格実施等を踏まえ、熱消費を大幅低減させるための生産プロセスの革新が期待されている。

「エネルギー・環境イノベーション戦略」（平成 28 年 4 月総合科学技術・イノベーション会議）においても、様々な製品の原料等となる基礎化学品を製造する際のエネルギーの削減による、エネルギー多消費型生産プロセスからの脱却の必要性が示されている。

本戦略目標では、電気や光等を用いた「革新的反応技術」の研究開発に取り組み、生産プロセスの省エネ化及び低コスト化や、希少物質や既存技術では創成が難しい物質の創製技術の実現などを通じて、持続可能な社会の実現に資する。

3. 達成目標

本戦略目標では、持続可能な社会の実現に資するため、社会・経済に大きなインパクトを与える「革新的反応技術」を創出し、電気や光等を用いた革新的反応プロセスの構築を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 電気や光等を用いて電子やイオンを制御する化学反応の機構解明及びそれによる新しい反応ルートの開拓
- (2) 電気や光等を用いた革新的反応プロセス構築のための新材料の創製
- (3) 電気や光等を用いた革新的反応プロセスの構築

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。

- ・ 革新的反応プロセスにより、反応工程の短縮等が可能となり、消費エネルギーを低減させ、温室効果ガスの排出を抑えた社会
- ・ 世の中に豊富に存在するが、技術的な理由等で利用されていなかった原料へのシフトや、需要に応じた個別生産を可能にするなど、生産プロセスの革新を実現する社会
- ・ 中小規模の生産プロセスへ適用することで、オンデマンド、オンサイトでの化学品生産が可能となり、生産性の向上、安全性の確保や輸送コストの削減等に貢献し、一極集中型から地域の特性に合わせた分散型を実現する社会

5. 具体的な研究例

(1) 電気や光等を用いて、電子やイオンを制御する化学反応の機構解明及びそれによる新しい反応ルートの開拓

オペランド計測や計算化学による計測と理論のインタラクションを通じて、電気や光等を用いた反応機構を解明する。例えば、電位制御や波長制御、電場制御等による反応の促進や素反応機構の変化等の新しい効果の原理を解明し、活性化エネルギーの大幅な低下や選択性の向上等を目指す。また、反応において電気や光等を組み合わせるなど、分野を超えた複合化を図り、反応工程を短縮するような新しい反応ルートの開拓を行う。

(2) 電気や光等を用いた革新的反応プロセス構築のための新規材料の創製

電子やイオンの動き等に着目した反応機構に対応できる新規材料の創製を行う。各反応における主目的生成物に対して、選択性と反応速度の両立を可能にするために、電極材料や固体イオニ

クス材料等の新規材料の創製を進める。例えば、金属錯体触媒などの分子触媒を固定化できる規則性多孔体材料及び還元と酸化の反応場分離を可能にできる材料創製、さらにはプロトンや酸素イオン以外のイオン伝導体（ヒドリド等）など、新しい機能が期待できる固体イオニクス材料、半導体触媒等の創製を行う。

(3) 電気や光等を用いた革新的反応プロセスの構築

電気や光等を用いた新しい反応プロセスへの適応を進めるとともに、電位操作等の外部操作を含めて高精度に反応を制御するための技術開発を行う。例えば、燃料電池・二次電池開発や人工光合成、マイクロリアクター等で培われた要素技術・デバイス技術を積極的に適用することで高効率な反応プロセスを構築する。このような革新的な反応プロセスにより希少物質やファインケミカル、創薬等の開発を進める。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

国内では、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 27～34 年度）に基づき、科学技術振興機構（JST）の CREST・さきがけにおいて、天然ガスの大半を占めるメタンや低級アルカン等の多様な天然炭素資源を化成品原料やエネルギーとして活用するための触媒の創製を目指しているが、採択課題の大半が熱反応における触媒開発を目指したものとなっており、電気や光等を用いた革新的反応における触媒開発への取組は比較的少ない。CREST「元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機能の創出」の「革新的環境改善材料としての導電性ダイヤモンドの機能開発」（平成 22～27 年度）や、ACT-C「先導的物質変換領域」の「メソポーラス有機シリカを利用した生体模倣触媒に関する研究」（平成 24～29 年度）等においては、電気や光等を用いた「革新的反応技術」の研究開発が一部で進められてきた。NEDO「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」（平成 26～33 年度）では、人工光合成によるプラスチック原料等の基幹化学品製造の技術開発を実施している。

上記の取組において、電気や光等を用いた反応により、従来手法では達成できなかった成果が一部で創出されるなど、本戦略目標における「革新的反応技術」が社会・経済に大きなインパクトを与える可能性が示されている。これらの成果に見られるように、我が国は物質創製・材料設計技術の分野で研究レベルが高く、特に固体イオニクス分野においては世界でも上位の論文数を誇り、強みを有していることから、飛躍的な成果の創出が期待される。また、一部の企業を中心に、持続可能な社会の実現を目指し、電気や光等を用いた新しい反応技術に関心が高く、本戦略目標における「革新的反応技術」による新たな事業展開も期待される。

(国外動向)

国外では、将来の再生可能エネルギーの大量導入を見越して、次のような取組をはじめ、電気等を用いた研究開発が盛んに行われている。例えば、ドイツでは将来における再生可能エネルギーの余剰電力を用いて電気から化学原料やガス燃料等の形で貯蔵するための産業上の条件を整備する課題への取組が始まっている。（出典：科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 第 9 期環境エネルギー科学技術委員会（第 2 回） 資料 4-2）。また、米国 DOE の ARPA-E における REBELS (Reliable Electricity Based on Electrochemical Systems) プログラムでは、中温域作動の電解質材料を用いて、電気化学による化学品の電解合成を狙う研究開発を実施している。（出典：ARPA-E プログラムホームページ）。研究分野としては、電気化学による CO₂ 還元反応の研究が注目されており、サイエンス、ネイチャー等に当該分野に関する論文が掲載されている。

7. 検討の経緯

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

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

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

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センターの各分野ユニット」、「日本医療研究開発機構のプログラムディレクター等」及び「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「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」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「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」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

(その他)

- ・科学技術未来戦略ワークショップ「高度炭素・水素循環に資する革新的反応・分離のための CxHyOz 制御科学」(平成 29 年 7 月 31 日、JST-CRDS 主催)
- ・科学技術未来戦略ワークショップ「高度炭素・水素循環に資する革新的反応・分離のための CxHyOz 制御科学」(平成 29 年 11 月 29 日、JST-CRDS 主催)
- ・ボトルネック課題研究会 公開ワークショップ(平成 30 年 2 月 14 日、内閣府主催)

8. 閣議決定文書等における関係記載

「エネルギー・環境イノベーション戦略」(平成 28 年 4 月 19 日総合科学技術・イノベーション会議)

第 1 章 (3) 2) [B]

様々な製品の原料等となる基礎化学品の製造における分離精製プロセスは、(中略)加熱・冷却プロセスを数十回繰り返すためにエネルギーを大量に消費している。このため、基礎化学品の製造コストの 50%をエネルギーコストが占めている。低炭素社会の実現に向けて、各化学品製造プロセスを、こうした従来型のエネルギー多消費型から脱却させる、(中略)従来と異なる生産プロセス・イノベーションを創出する。これにより、大幅な省エネルギー及び CO2 排出削減と経済性向上を実現する。

「第 5 期科学技術基本計画」(平成 28 年 1 月 22 日閣議決定)

第 3 章 (1) <1> i)

(前略) 将来のエネルギー需給構造を見据えた最適なエネルギーミックスに向け、エネルギーの安定的な確保と効率的な利用を図る必要があり、現行技術の高度化と先進技術の導入の推進を図りつつ、革新的技術の創出にも取り組む。(後略)

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

第 1 章 (1)

(前略) Society 5.0 への移行という経済・社会のゲームチェンジを実現するに当たっては、高度なものづくり力、材料科学、基礎科学力等の我が国にストックされている強みを維持し

て効果的に生かす（後略）

第2章 (2) [B] <2> ii)

○素材・ナノテクノロジー：個別システムの高度化（エネルギーバリューチェーンの最適化等）に資する以下の技術等について引き続き強化を図る必要がある。

（略）

- ・プロセスの革新に資する触媒技術
- ・新たな機能や特性を有する構造材料、機能材料、バイオマテリアル等の材料技術

（略）

9. その他

国際的な戦略として、固体イオニクス等の日本の強みを活かし、他分野との連携を進めることで、革新的な生産プロセスを世界に先駆けて実現することを目指す。なお、革新的な生産プロセスの構築に向けて、他国が強みを持つ分野においては、目標の進捗にあわせて他国との連携も柔軟に検討していく。

2015 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。