

第 7 章 戦略目標

7.1 量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明

1. 目標名

量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明

2. 概要

我が国においては、これまでの連続とした光・量子に係る基礎研究から、世界をリードする技術シーズが生まれてきている。例えば、量子センサの作製技術は、我が国の機関が国際的にも高い技術を有しており、海外研究グループからも材料提供の依頼を受けている。また、量子もつれ光を用いた顕微鏡は我が国発の技術であり、さらに、量子ビームの高度利用による超精密構造・機能解析についても、世界に先駆けた研究を創出している。これらの量子技術は、生命科学への応用も期待されており、海外では強く推進され始めているものの、我が国においては、量子技術分野と生命科学分野の交流の遅れにより、その生物応用が十分に進んでいない。さらに、このままではこれらの高度量子技術の国外流出も危惧されている。

そのため、本戦略目標において、量子技術と生命科学との融合を促進することにより、日本の優位性を保持しつつ、細胞内の生体分子が有する機能を量子レベルから統合的に理解する生命科学フロンティアを開拓する。これにより、新規治療・診断法等への応用が図られるとともに、量子技術の特性を利用した新規計測装置・機器による産業へと展開していくことが期待される。

3. 達成目標

本戦略目標では、最新の量子技術と生命科学研究をつなげ、生体内でこれまで観察されなかった現象の解明、生体分子の動態及び相互作用の精密な解明、産業応用や新しいサイエンス領域（量子生命科学）の開拓を目指し、マルチモーダル解析や時空間スケール横断的な計測技術の相補的・相乗的活用の基盤を形成しつつ、量子技術の適用により生命科学のフロンティアを開拓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) 量子センサ技術を用いて、生体内の微弱な温度・磁場・電場等の高感度観測を実現し、生命科学や医療・産業応用の新たな潮流を生み出す。
- (2) 量子もつれ光子や多光子、光量子検出技術等の最新の量子技術を、超解像顕微鏡や革新的新規プローブと組み合わせ、いわば量子イメージングと言える新たな生体内イメージングを実現し、可視化されなかった状態を高い空間分解能で捉える。
- (3) 量子ビーム利用・計測の高度化技術を用いて、生体分子の電子状態、水素原子の挙動、化学結合の状態等の量子レベルに至る超精密構造・機能解析を行い、分子間の相互作用や反応といった生体分子の機能を解明する。

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。

- ・生命現象の物理的・本質的理解に基づいて高い効果を有する治療法・新薬が開発され、国民の健康長寿が実現する社会。
- ・現代病とも言われる機能性疾患や早期発見が困難な疾病の早期かつ定量的な診断・予防法が確立され、医療費抑制が実現する社会。
- ・高い付加価値（小型・低侵襲・高精度等）のセンサ・計測装置・診断機器が世界市場に展開され、Society5.0の産業競争力を有する社会。
- ・新しいサイエンス領域を主導することによる国際的な存在感の向上と、新規医療・技術シーズの持続的な創出によって、科学技術立国を実現する社会。

5. 具体的な研究例

- (1) 量子センサ技術の進展を取り込んだ生体センシング（※達成目標 1 関連）

ダイヤモンド中の窒素-空孔 (NV) センタや炭化ケイ素 (SiC) 中のシリコン空孔などの量子センサを用いて、例えば、これら量子センサの生体親和性を活用し、細胞、ニューロン、タンパク質・生体分子に対し、

第 7 章 戦略目標

ナノメートル空間分解能での定量的な温度・磁場・電場等の計測を実現する。また、光／電気検出磁気共鳴や電子スピン共鳴を利用した単一分子 NMR・ナノ MRI の開発を行う。心磁や脳磁等の計測を実現し、産業・医療応用への展開を進める。

(2) 新たな生体内イメージング（量子イメージング）（※達成目標 2 関連）

最新の量子技術の導入によって新しい生体イメージング技術の開発へつなげる。例えば、様々な超解像顕微鏡に、多光子等の光・量子技術を組み合わせた分解能向上等による新たな生体内イメージングや、多光子顕微鏡に量子もつれ光を導入することによる低光量イメージング技術を確立する。また、上記のようなイメージング技術と革新的な蛍光プローブの同時並行開発による相乗効果を狙った新規イメージング技術を開拓する。量子センサを新規プローブとして既存のモダリティと組み合わせた、生体分子間の相互作用や細胞内局所の物理場のマルチモーダルイメージングを開発する。

(3) 原子・電子レベルの超精密構造・機能解析（構造から直接的に機能情報を得る）（※達成目標 3 関連）

量子ビーム利用・計測の高度化技術を活用して、生体分子の機能に直接的に迫る研究を行う。例えば、高い信頼度の結合距離情報に、中性子線と X 線の連携利用による水素原子・水分子の挙動情報の導入による、生体内の分子間相互作用や反応の解明や、生体分子と分子標的薬等の相互作用に重要な外殻電子の振る舞いや水素結合等の働きを理解するための研究を行う。また、生体分子における化学結合情報の獲得による化学反応プロセスに関する詳細な原子構造の解明や生体反応と疾患との関係解明への展開を進める。さらに、酵素等の反応における量子力学的効果、分子間の電子・情報・エネルギー伝達の解明といった量子生命科学への展開を進める。

これらの研究を通じて、新たに確立された技術等の導入によるマルチモーダル解析の基盤が形成され、例えば再生組織のがん化／非がん化の識別や深部領域における異常検出、機能性疾患（うつ病、統合失調症等）の原因解明・定量診断とその診断機器開発、神経細胞の興奮の検出による神経伝達の異常等の同定、室温動作の脳磁計測機器開発、分子標的薬の精緻化とプレジジョンメディスン産業の進展などが期待される。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

日本では、これまでの連綿とした光・量子に係る基礎研究から、生命科学への実際の適用が可能となってきた技術シーズが生まれており、例えば、量子センサ、量子もつれ光、量子ビーム高度化といった量子技術は、日本が世界をリードする技術シーズであるが、日本でダイヤモンド NV センタ研究に携わっている有能な若手研究者が欧米諸国にスカウトされつつあるという現状もある。

また、本年 2 月に公表された科学技術・学術審議会先端研究基盤部会量子科学技術委員会の中間とりまとめの中では、我が国の強みが多面的に発揮できる上、新しい領域を拓くようなハイブリッド型の研究推進による競争力強化が強く望まれる分野として位置付けられている。この議論の中では、本分野における日本のポテンシャルの高さ、医療・エネルギー・製造業等の経済波及効果の広さ、若手研究者の流動性や連携を含めた人材育成等への期待が指摘され、我が国における早急な施策対応が求められている。

(国外動向)

ここ数年、最新の量子技術と生命科学を融合する研究動向が世界的に見られ、英国政府の National Quantum Technologies Programme や欧州委員会の Quantum Flagship にも生命科学との融合が明確に位置付けられている。またドイツが大学を中心とした欧米融合の拠点となって、産業界も巻き込んで医療応用などを旨とした研究を進めており、シュツットガルト大学及びウルム大学に、それぞれ量子センサ及び量子生物学を強化する研究センターが設置される予定である。これらの国外動向の下、我が国研究グループの高度な量子センサ等の作製技術への関心は高く、既に、海外の研究グループからの引き合いで材料提供されている状況にある。また、細胞や組織中における量子力学的な効果の探索研究が萌芽的になされており、2012 年には量子生物学に係る初の国際会議が英国で開催されている。

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。

第 7 章 戦略目標

(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「量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明」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「量子技術の適用による生体センシングの革新と生体分子の動態及び相互作用の解明」に係る産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標等について議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

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>2)

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。

・革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「光・量子技術」

第 3 章 (1) <2>1)

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。その際、我が国発の創薬や医療機器及び医療技術開発の実現を通じて、医療関連分野における産業競争力の向上を図り、我が国の経済成長に貢献することが期待される。

「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 1 章 (3) [A]

横断的に支える技術として、下記の基盤技術についての強化を図る必要がある。

・光・量子技術：情報通信、医療、環境・エネルギー等の広範な分野を横断的に支え、精度・感度・容量・省エネ・セキュリティ等の様々な点で社会的要請に応える高次な社会・産業インフラの形成に貢献していくため、計測技術、イメージング・センシング技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術の一層の高度化に向けた基礎・応用研究を推進することが重要である。

第 1 章 (3) [B]

計測技術、イメージング・センシング技術、情報・エネルギー伝達技術及び加工技術の高度化に資する光・量子技術、高度な熱マネジメントで重要となるナノ領域の熱（フォノン）制御技術、計測・診断・イメージングの高度化、有用物質創成等に資するバイオテクノロジー等の基礎研究を中長期的視点に立って推進することも重要である。

9. その他

本戦略目標にある量子技術は、過去の息の長い基礎研究から生まれてきた世界をリードする技術シーズを、実際の適用が可能となってきた生命科学分野につなげるものである。一方、H27 年度開始の戦略目標「新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓」や H28 年度開始の戦略目標「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」は、現時点の最新の物理学・物性科学を基にして最先端の光機能・光物性や量子状態の高度制御を新たに開拓するものであり、将来、異分野に繋がっていく最先端シーズをこれから生み出す位置付けとなる。これらの戦略目標で創出された最先端の技術シ

第7章 戦略目標

ーズについても、順次、本戦略目標の下で行われる生命科学研究への導入を検討することによって、成果創出の加速が期待される。

7.2 細胞外微粒子により惹起される生体応答の機序解明と制御

1. 目標名

細胞外微粒子により惹起される生体応答の機序解明と制御

2. 概要

生物の細胞と細胞の間には、生体内で発生、若しくは外部から侵入するナノからマイクロサイズの「細胞外微粒子」が存在している。細胞外微粒子は、細胞外小胞であるマイクロベジクルやエクソソーム等の生体内由来のもの（内因性）と、PM2.5や花粉、ナノ粒子等の体外から生体内に取り込まれるもの（外因性）に分類される。近年、内因性微粒子が多く疾患の発症や悪性化進展に影響することが報告されており、世界的にも注目度が高い研究分野となっている。一方の外因性微粒子は環境問題との関係でも国民の関心が高く、PM2.5等により引き起こされる生体への影響が徐々に明らかになりつつある。

内因性微粒子の研究分野では生体内の組織／細胞レベルの応答解析研究が先行しているのに対し、外因性微粒子の研究分野では微粒子の物理化学的分析や計測技術の開発に強みを持つが、両者は研究コミュニティが異なることもあり、これまでは相互に接する機会に乏しかった。そこで、本戦略目標において、これらの研究分野間の連携を図ることで、細胞外微粒子と生体の相互作用のメカニズム解明に資する研究や、微粒子自体の検出・分離・解析の技術開発において相乗効果が期待できる。

以上を踏まえ、本戦略目標では、細胞外微粒子に対する高精度・高効率な検出・分離・解析法の技術開発や、生体における細胞外微粒子の生理学的意義や生体応答機序の解明、さらには細胞外微粒子の体内動態を制御する技術への展開を目指す。これらの基盤的な研究成果は、将来における創薬・診断・治療技術等への医療応用や、食品・化粧品・素材等の微粒子と密接に関わる分野への産業応用、さらには環境対策など、社会への幅広い応用展開が期待できる。

3. 達成目標

本戦略目標では、細胞外微粒子に対する生体応答機序の解明やそれに必要な技術開発、微粒子の体内動態制御に向けた展開による、将来の医療や産業応用等に向けた基盤研究を推進する。

サイズや物性の異なる内因性微粒子と外因性微粒子は、異なる研究コミュニティにより研究されている。両分野が共通課題を共有し、融合するための土壌を創出することによって、これまで接点の乏しかった両者が互いの強みを強化・共有し、弱みを補うことでシナジー効果を生み出すとともに、分野融合的・集学的な研究に発展させることを目指す。

具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 細胞外微粒子の検出・分離・解析技術の高度化
- (2) 細胞外微粒子を介した生体応答機序の解明
- (3) 細胞外微粒子の体内動態制御に向けた展開

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。

- ・創薬研究への展開や診断法・治療法等の創出による医療革新を実現する社会
- ・安全性や新たな機能性を備えた食品・化粧品・素材等の創出による産業の持続的発展を実現する社会
- ・環境対策等の社会ニーズに応えることで、国民が安全・安心して暮らせる社会

5. 具体的な研究例

- (1) 細胞外微粒子の検出・分離・解析技術の高度化

現状では難易度の高い、生体内における細胞外微粒子を取り扱う技術（検出、分離、解析）の高度化を推進する。例えば、細胞外微粒子の高効率の分離・精製デバイスや、それに必要な材料等の要素技術の開発を行う。また、人工知能等の活用も視野に入れて、細胞外微粒子の高精度での粒径・形状解析や構成成分の網羅的解析等を可能とし、生体の部位や状態に特異的に発現する微粒子の検出や、それらの生体に及ぼす影響の解明につなげる。

第 7 章 戦略目標

(2) 細胞外微粒子を介した生体応答機序の解明

細胞外微粒子の生体との応答機序解明を推進する。例えば、様々な生物種における細胞外微粒子の生理学的機能や、生体内での組織／細胞に特異的な認識機構等の生体応答機序の解明を行う。細胞外微粒子の環境中における生体への曝露実態の解析や、生体に取り込まれた後の体内動態情報を明らかにする。またそれに必要な、生体に近いレベルで微粒子の挙動を観察・解析・シミュレーションする手法等の開発を行う。

(3) 細胞外微粒子の体内動態制御に向けた展開

上記で明らかになった知見や見いだされた技術を生かしつつ、細胞外微粒子の体内動態制御に向けた展開を図る。例えば、微粒子の形成・集積・取りこみ・内包物の放出・蓄積等の組織／細胞レベルでの動態制御法の開発や、それに必要な機能性素材や観察・評価法等の技術の開発を推進する。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

内因性微粒子では、「日本細胞外小胞学会」が 2014 年に発足し、アカデミアのみならず企業からの会員数も年々増加している。また、エクソソームをはじめとする微粒子研究は、2016 年ノーベル生理学・医学賞につながった「オートファジー」とも関連があり、我が国からの世界トップレベルの研究成果の創出に向けてその機運が高まっている。

外因性微粒子では、産業技術総合研究所を中心とした民間企業を含む「ナノ材料の産業利用を支える計測ソリューション開発コンソーシアム」において、ナノ粒子計測システムを開発中であり、産学官連携体制の基盤を有する。また、腫瘍部位への微粒子の集積機構（EPR 効果）の発見など、微粒子の体内動態の原理発見から解析、制御技術開発においても我が国の研究者が活躍している。

(国外動向)

本研究分野は、関連論文数が近年上昇傾向にあり、世界的に注目される分野となっている。内因性微粒子では、米国 NIH の大型プロジェクト（“Extracellular RNA communication” program）が 2013 年より始動し、Gordon Conference や Keystone Symposia といった国際的に権威のある会議においても 2016 年より分科会が発足している。欧州の医薬品研究開発官民パートナーシップ「革新的医薬品イニシアチブ（IMI）」の支援を受け進められている CANCER-ID プロジェクトでは、エクソソームを含めた研究が実施されている。また、外因性微粒子の計測技術及びその標準化に関して、欧州 Nano Define Project の設立等の活発な動きがある。

7. 検討の経緯

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

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

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

（分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成）

「科学技術振興機構研究開発戦略センターの各分野ユニット」、「日本医療研究開発機構のプログラムディレクター等」及び「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「細胞外微粒子により惹起される生体応答の機序解明と制御」及び「生体内ターゲティングに向けた部位・状態に特異的な生体機構の解明および医薬基盤技術への展開」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「細胞外微粒子により惹起される生体応答の機序解明と制御」及び「生体内ターゲティングに向けた部位・状態に特異的な生体機構の解明および医薬基盤技術への展開」に関係する産学の有識

第 7 章 戦略目標

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 4 章 (2) <1>2)

企業のみでは十分に組み込まれない未踏の分野への挑戦や、分野間連携・異分野融合等の更なる推進といった観点から、国の政策的な戦略・要請に基づく基礎研究は、学術研究と共に、イノベーションの源泉として重要である。(中略) また、学際的・分野融合的な研究の充実を図る。

「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 1-2. (2) -4) -5

(中略) 医療機器等に係る実用的な評価法を世界に先駆けて提案し、規制で用いられる基準として受け入れられるよう、国際標準化を推進する。

「健康・医療戦略」（平成 26 年 7 月 22 日閣議決定）

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、(中略) 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。(中略) 次世代型計測分析評価技術・機器・システム開発の強化を図る。

「医療分野研究開発推進計画」（平成 26 年 7 月 22 日健康・医療戦略推進本部決定）

1-1. (1) <2>

(中略) 発症予防・重症化予防に役立つ技術開発、先制医療や新たな医薬品や診断・治療方法の開発、医療機器等の開発が推進される社会の実現を目指す。

9. その他

平成 27 年度に終了した日本医療研究開発機構 (AMED) の AMED-CREST 「アレルギー疾患・自己免疫疾患などの発症機構と治療技術」（平成 20 年度-平成 27 年度）では、免疫反応全体の制御に着目し、統合的に免疫制御細胞の働きを利用した医療技術開発を目標としていた。科学研究費助成事業の新学術領域研究「オートファジーの集学的研究：分子基盤から疾患まで」（平成 25 年度-平成 29 年度）では、細胞内の小胞の形成機序解明を目標としている。同「ノンコーディング RNA ネオタクソノミ」（平成 26 年度-平成 30 年度）と新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「体液中マイクロ RNA 測定技術基盤開発」プロジェクト（平成 26 年度-平成 30 年度）では、内因性微粒子の構成因子の理解や測定法につながる研究が進められている。環境省では、PM2.5 に関して「大気汚染物質による暴露影響研究費」（平成 11 年度-平成 28 年度）で疫学調査等が実施されている。これらの研究と本戦略目標による系統的な研究との連携・情報共有により、新たな研究進展や成果創出の加速が期待される。

7.3 ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発

1. 目標名

ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発

2. 概要

電子機器における発熱の問題は微細化されたデバイスやそれを用いた機器の高性能化の障壁となっており、IoT の進展を阻害するおそれがある。熱を電気や光と同様に自在に制御することができれば、これらの電子機器の熱問題の解決に貢献することができる。

また、工場、自動車、住宅等において、未利用のまま排出されている熱エネルギーが大量に存在しており、こうした熱エネルギーの有効活用が省エネルギー社会の実現には不可欠である。

第 7 章 戦略目標

近年、国内外で「放熱」「熱輸送」「熱発生」「断熱」「蓄熱」「熱変換」「放射」等の熱の時空間変動（以下、熱動態）に関してナノスケールから原理原則に立ち返った研究が活発化しており、熱制御技術のシーズが次々と創出されている。

本戦略目標において、熱の制御・利活用に向けた基礎的な原理の解明や基盤技術を早急に確立し、将来社会や産業に革新をもたらす新材料創製・デバイス開発に取り組む。

3. 達成目標

本戦略目標では、熱に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用に向けて、熱の根源的な理解と制御を通じた新材料創製やデバイス開発を目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) ナノスケールでの熱動態の基礎的理解と熱制御基盤技術の構築
- (2) 熱に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用に向けた革新的材料の創製
- (3) 熱に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用を実現する新規デバイスの開発

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、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

- ・電子・光デバイス等の電子機器や、住宅や自動車等の構造物等の幅広い対象において、熱制御に関する制約を克服し、これまでになかった機能性やデザインの追求が可能になる社会
- ・工場や自動車などにおいて、熱を時空間的に自在に制御し、無駄にしている熱エネルギーを有効に活用できる社会

5. 具体的な研究例

(1) ナノスケールでの熱動態の基礎的理解と熱制御基盤技術の構築

ナノスケールでの熱動態の理解を進め、ナノスケールからマクロスケールまでの一体的な学理体系を構築する。また、熱制御に係る基礎的・基盤的な技術開発を行う。例えば、高断熱性と光透明性を両立した新機能材料の提案・原理検証や、界面熱抵抗をなくすための制御技術開発、半導体集積回路の更なる高集積化を可能とする放熱技術の開発等を進める。

(2) 熱に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用に向けた革新的材料の創製

ナノスケールでの熱制御機能を有する革新的な材料創製を行う。例えば、真空断熱パネルより熱伝導が少ない超断熱材料、特定の方向に熱伝導性を有する異方性熱伝導材料、幅広い温度域でも使用可能な蓄熱材料の創製等を進める。

(3) 熱に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用を実現する新規デバイスの開発

ナノスケールでの熱制御技術を活用したデバイスの試作や基本機能・特性の確認を行う。例えば、熱整流デバイス・熱スイッチ、超低消費電力のセンサ、次世代不揮発メモリ、高蓄熱密度で短時間に蓄熱・放熱可能なシステムの開発等を進める。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

- ・応用物理学会では2016年3月の第63回春季学術講演会において、日本伝熱学会、日本熱物性学会、日本表面科学会、化学工学会、ナノ学会、日本熱電学会、日本物理学会等が共催・後援する特別シンポジウム「フォノンエンジニアリングの広がり」、日本伝熱学会では第52回伝熱シンポジウム「ナノスケール伝熱機能発現とその応用への展開」、日本物理学会では2016年3月の第71回年次大会シンポジウム「フォノンエンジニアリングに向けた物質科学の新展開」等が開催され、ナノスケールの熱制御やフォノンエンジニアリングに関する研究者コミュニティが形成され始めた。
- ・さらに、応用物理学会で2016年9月に研究分野の連携に向けたフォノンエンジニアリングの合同セッション、2017年1月に新領域グループ「フォノンエンジニアリング研究グループ」が創設されるなど、各学会でナノスケール熱制御に関する研究が活発化している。
- ・2015～2016年には、その他に日本伝熱学会、日本化学会、日本表面科学会、化学工学会等でもナノスケール熱制御に関するシンポジウム・研究会の開催や学会誌での特集が組まれている。

(国外動向)

第 7 章 戦略目標

- ・欧米では、ナノエレクトロニクス分野の熱制御に積極的に取り組み始めている。2014 年 5 月開催の第 10 回ナノテクノロジー国際会議（INC10）における日米欧の熱制御関係の大きなプロジェクト数は、米国：16 件、欧州：14 件、日本：2 件となっており、欧米に比べて日本の少なさが懸念される。
- ・また、欧州では EU ナノフォニクスのコミュニティ作りを目的として、固体物理学、ナノエレクトロニクス、生物学を対象とした EUPHONON が 2013 年にスタートし、5800 万円/年の規模で実施されている。米国では、ナノスケールでの熱制御に特化したプログラムはまだ無いものの、論文発表や新アイデア発信が多数行われており、ナノ構造でのフォノン制御を活用した熱設計・熱解析や、フォノン制御材料の創製に精力的に取り組んでいる。
- ・中国ではフォノン・熱エネルギーセンター（同済大）の設立や、フォノンエンジニアリングや熱電材料に関する論文数の顕著な増加など、活発な取組が進んでいる。
- ・フォノンエンジニアリング関係の論文数は、20 件（2000 年）⇒130 件（2010 年）⇒280 件（2014 年）（出典：戦略プロポーザル CRDS-FY2014-SP-04）、のように急激な伸びを示しているが、各国の割合は、中国：34%、米国：21%、フランス：15%、ドイツ：11%、日本：6%（出典：Web of Science のデータを基に集計）、となっており、日本がこの分野でリーダーシップをとっていくためには、コミュニティの増加と活動支援が求められる。

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「熱の諸問題解決へ向けたナノスケール熱制御技術の革新」及び「中低温域の熱源活用等を通じた化学プロセスに関する革新的技術の創出」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「熱の諸問題解決へ向けたナノスケール熱制御技術の革新」及び「中低温域の熱源活用等を通じた化学プロセスに関する革新的技術の創出」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。

8. 閣議決正文書等における関係記載

「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 1 章 (3)2) [B]

基盤技術を支える横断的技術として、素材・ナノテクノロジー（中略）の早期構築を進める。また、これら基盤の強化に当たっては（中略）高度な熱マネジメントで重要となるナノ領域の熱（フォノン）制御技術（中略）等の基礎研究を中長期的視点に立って推進することも重要である。

第 2 章 (1) 1. 1) [C] 3)

- ・蓄熱・断熱技術、再生可能エネルギー熱利用技術等の開発

「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（後略）。

第7章 戦略目標

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) <1>1)

産業、民生（家庭、業務）及び運輸（車両、船舶、航空機）の各部門において、より一層の省エネルギー技術等の研究開発及び普及を図る。

9. その他

- 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合(TherMAT)では産業応用を見据えた研究開発に焦点を当てて熱電変換、蓄熱断熱、遮熱等に関する取組がなされている。

- 科学技術振興機構（JST）CREST/さきがけ「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」（平成27年度発足）や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」（平成23年度発足）では、一部に熱電変換材料の研究開発が含まれる。

上記のような関連事業で得られた知見も活用しながら、熱の統一的理解や熱制御そのものを主軸とした戦略目標を早期に設定することにより、他国をリードする新たな研究開発基盤技術の確立が可能となる。

7.4 実験とデータ科学等の融合による革新的材料開発手法の構築

1. 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を用いた物質の合成

第 7 章 戦略目標

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

第 7 章 戦略目標

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。

7.5 ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化

1. 目標名

ネットワークにつながれた環境全体とのインタラクションの高度化

2. 概要

第 7 章 戦略目標

人工知能技術・ビッグデータ解析技術等が広範に用いられ、サイバー空間と現実社会が高度に融合した取組により、あらゆる人々が自然な形で最適かつ高品質なサービスを受けることが可能な「超スマート社会」の実現が求められている。このために欠かせない技術として、現在まで、「人間と人間」、また「人間と機械」等とのインタラクションに関する研究開発が多様に取り組みられてきたが、この研究分野をさらに発展・高度化させることにより超スマート社会の実現に向けた大きな飛躍が期待される。

そのため、本戦略目標ではインタラクションの研究分野をより広く“ネットワークにつながれた環境全体との相互作用”として捉え、「人間と人間」・「人間と機械」・「人間と環境全体」の多様な形態でのインタラクションを高度に支援し、その振る舞いを理解し制御することにより、社会構造や人間行動の最適化を促すような革新的なシステムのデザインへとつなげることで、急速に進展している人工知能技術等の恩恵を誰もが最大限享受出来、高度に最適化された社会の実現に資することを目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、社会の様々な場面での活用に向けたインタラクション高度化のための新たな技術の創出や、インタラクションの理解の更なる深化を図ることを目的とする。具体的には、情報科学技術を中心に、認知科学、心理学、脳科学等の学問分野と連携し、以下の達成を目指す。

- (1) インタラクションを支援するための、インターフェースや人間能力の拡張に関する技術開発
- (2) インタラクションを理解するための、原理・機構の解明とそれに資する情報の収集・分析に関する技術開発
- (3) インタラクション技術の活用による、社会構造や人間行動の最適化を促すような環境をデザインする技術開発

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。

- ・発展が進む革新的な人工知能技術・ビッグデータ解析技術・IoT 技術等の社会への幅広い実装と産業化を支える基盤技術として、インタラクションの高度化が超スマート社会の実現に寄与し、様々な分野に波及している社会。
- ・様々なドメインにおける「人間と人間」・「人間と機械」・「人間と環境全体」との相互作用データが活用されることにより、クラウドソーシングを含む様々な人的・経済的・社会的資源の活用が最大限になされ、社会のありかた、人々の仕事の仕方、働き方等にも大規模な転換をもたらす社会。
- ・インタラクションの高度化によるパーソナルアプリケーションの進展により、従来の大量生産大量消費社会モデルでは不可能な、個人の多様な生活形態等に沿って自然な行動変容を促進しつつ、全体として最適化された社会。

5. 具体的な研究例

(1) インタラクションを支援するための、インターフェースや人間能力の拡張に関する技術開発

場・状況や過去の記憶に応じて人や集団と持続的に深いインタラクションを行う知的エージェントの実現に向けた研究や、人間の身体に適合したウェアラブルデバイス等を使った非言語的コミュニケーションの高度な支援のための研究開発。

(2) インタラクションを理解するための、原理や機構の解明とそれに資する情報の収集・分析に関する技術開発

生活・医療・介護・流通・ものづくり・インフラ等の具体的ドメインにおける人々の行動に関するデータや様々な社会的な現象の過程に関するデータの収集・解析や、人間と人間のインタラクションのモデル化に関する研究開発。

(3) インタラクション技術の活用により、社会構造や人間行動の最適化を促すような環境をデザインする技術開発

リアルタイムでインタラクティブなデザインが可能な創造的活動を支援するための研究開発や、グループやコミュニティの形成と高度な協働活動の支援に関する研究開発。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

第 7 章 戦略目標

- ・脳科学研究などに基礎付けられた分析的研究に加えてインタラクションをデザインする観点からは科研費・新学術領域「認知的インタラクションデザイン学（2014 年度～2018 年度）」など研究コミュニティが活発化している。
- ・人間や人工物をエージェントとして捉えて、その集団的振る舞いの分析・構成を行うマルチエージェント・システムの研究コミュニティが従来から活発に活動をしている。
- ・人間とインタラクションを行うエージェントとして、VR・音声対話技術を用いたバーチャル・エージェントだけでなく、身体を備えたコミュニケーションロボットの研究も活発に活動をしている。

(国外動向)

- ・米国ではマルチモーダルインタラクションの研究として、鬱・不安・PTSD など精神的苦痛の緩和支援システム SimSensei（南カリフォルニア大）、看護師・患者を支援するカウンセリング・行動変容を促すバーチャル・エージェント（ノースイースタン大）等が DARPA や NIH などの資金によって継続的に支援されている。
- ・欧州では職を得るために必要な社会的スキル強化を支援する TARDIS（仏 UPMC が幹事機関）、ソーシャルシグナルのモデリング・解析・活用の技術基盤を整備・共有する SSPNET（英グラスゴー大が幹事機関）等がフレームワークプログラムにより支援されている。実用的な研究とともに認知科学・発達科学など学術的アウトカムも狙った取り組みが活発である。

7. 検討の経緯

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

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

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

（分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成）

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

「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 1-1. (2)-1) <2>オ)

複数のロボットが周囲の環境等も認識した上で、自律的に連携していくといった新たなロボット社会の実現に向け、緊急時を含む人の移動・物の輸送、災害対応、インフラ維持管理などをはじめ、幅広い分野における技術開発・実証を進める。

「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

第 7 章 戦略目標

(中略) 超スマート社会の実現には、様々な「もの」がネットワークを介してつながり、それらが高度にシステム化されるとともに、複数の異なるシステムを連携協調させることが必要である。それにより、多種多様なデータを収集・解析し、連携協調したシステム間で横断的に活用できるようになることで、新しい価値やサービスが次々と生まれてくる。

「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 1 章 (3) [A]2)

ヒューマンインターフェース技術：仮想現実 (VR) や拡張現実 (AR)、感性工学、脳科学等に加え、個々のデバイスや技術の進展を考慮し、ロボットに代表される知的機械と人間が共生するために、人間と同等なのか、道具なのか、といった社会的受容の相違などの研究も重要となる。

9. その他

- 平成 21 年度戦略目標「人間と調和する情報環境」や平成 26 年度戦略目標「知的情報処理技術」では人間や集団の高度な把握技術の研究開発の取組がなされてきた。
- また、ERATO「浅田共創知能システム」(平成 17 年度～平成 22 年度)やグローバル COE「認知脳理解に基づく未来工学創成」(平成 21 年度～平成 26 年度)において高度なインタラクションの基礎となる人間理解の研究が取り組まれてきた。
- さらに、これらを支える基盤として生体と調和するハードウェアやロボットの研究が ERATO「染谷生体調和エレクトロニクス」(平成 23 年度～平成 28 年度)や ERATO「石黒ヒューマンロボットインタラクション」(平成 26 年度～平成 31 年度)において取り組まれている。

本戦略目標では、これらの取組における成果を活用しつつ、マルチモーダル化や言語・非言語の統合化の取組等、インタラクションの高度化と統合化により、人・集団・環境・社会全体との持続的インタラクションと行動変容を実現する取組が進展することが期待される。

7.6 生命科学分野における光操作技術の開発とそれを用いた生命機能メカニズムの解明

1. 目標名

生命科学分野における光操作技術の開発とそれを用いた生命機能メカニズムの解明

2. 概要

近年、光の特性を利用した生命機能の制御技術が飛躍的な進展を遂げている。例えば、光遺伝学は、光感受性タンパク質を遺伝子工学の手法により特定の細胞に発現させ、その機能を特定の波長の光照射によって高い時間精度で操作する技術として脳・神経科学分野で急速に浸透している。本技術は特定の神経活動と行動発現を直接つなげることを可能とし、神経細胞の機能解明の研究パラダイムに革命的な変化をもたらしている。また、最近では脳・神経科学分野だけではなく、酵素活性操作や細胞内シグナル伝達操作、遺伝子発現操作、さらにはゲノム編集操作などの萌芽的な光操作技術も登場し、その研究対象は神経活動から生体の機能全般へと広がりを見せつつある。

以上を踏まえ、本戦略目標では、新しい光操作技術の開発や既存技術の高度化、関連する操作・計測技術等の開発を異分野技術との融合によって推進することで、現在もなお発展途上にある技術課題を克服し、光操作技術を生命科学研究における汎用基盤技術に発展させることを目指す。また、脳・神経科学分野では、細胞の現象から神経回路、さらには個体レベルの行動に至る過程をシームレスにつなげ、様々な脳の動作原理や疾患・障害に関わる神経回路の解明等を目指す。発生・再生・免疫・代謝等の分野においては、光操作技術の最大の特徴である高い空間・時間精度を活用し、多様な細胞・組織等の生命機能メカニズムの解明を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、脳・神経科学分野とともに多様な生命科学分野を対象とし、光操作技術を用いて生命現象の理解を目指す。また、技術開発においては、物理学・工学・化学・情報科学等の異分野とも連携・融合し、光操作技術を「生体の様々な機能を操作する汎用基盤技術」へと発展させることを目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

第 7 章 戦略目標

- (1) 生命機能を光によって自在に操作する基盤技術の確立
- (2) 光操作によって表出する機能の計測技術・解析技術等の開発
- (3) 光操作技術を用いた多様な細胞・組織等の生命機能メカニズムの解明

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。

- ・本戦略目標で見いだされた光操作技術が、生体の機能を担う様々な実態を自在に操作する汎用技術として発展し、生命機能メカニズム解明のための強力な基盤技術として確立されることで、生命科学研究におけるイノベーション創出力が向上した社会。
- ・光操作技術を用いて、現在では解明不可能な生命機能メカニズムを明らかにすることによって、生命科学の知的基盤が強化された社会。また、見いだされたシーズをもとにした、難病を含む様々な疾患メカニズムの解明、さらには診断・治療・予防法の創出による医療革新、作物・家畜の効率的生産法の創出による農業・畜産業の持続的発展、人工知能の性能向上による情報処理・通信基盤の高度化等により、人々の健康長寿や産業発展を実現した社会。

5. 具体的な研究例

- (1) 生命機能を光によって自在に操作する基盤技術の確立

光操作技術の新規開拓や既存技術の高度化を異分野技術との融合によって推進することで、現在もなお発展途上にある技術課題を克服することを目指す。例えば、生体の深部を非侵襲的に操作するための近赤外光・超音波・磁場等を利用した光操作技術の開発や、対象とする動物種の小動物から霊長類への拡大を可能とする技術開発、これら技術開発の基盤となる光感受性分子の構造解析や光情報変換メカニズムの解明等を行う。また、酵素活性操作や細胞内シグナル伝達操作、遺伝子発現操作、ゲノム編集操作、細胞内小器官の生理機能操作等の近年新たに登場した光操作技術の更なる高度化や新規開拓を進める。

- (2) 光操作によって表出する機能の計測技術・解析技術等の開発

光操作技術を用いて生命機能メカニズムを解明する際に必要な観察・解析技術を開発する。例えば、生体の深部の機能を非侵襲的に可視化するための技術開発や、光による操作と同時に光を用いた計測を行う技術開発、ライブイメージング技術開発、複数の種類の観察結果を対応付ける技術開発等を進める。

- (3) 光操作技術を用いた多様な細胞・組織等の生命機能メカニズムの解明

光操作技術を用いることで、これまで解明できなかった様々な生命機能メカニズムを明らかにする。例えば、記憶形成や意思決定、本能行動（睡眠・摂食・性行動等）を制御する機構の解明や、発生・再生・免疫・代謝系等のメカニズムの解明、生命現象のモデル構築等を進める。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

米国において光遺伝学が神経科学分野で創始されたのとはほぼ同時期に、我が国からも動物（マウス）での成果が報告されるなど先駆的な業績が上がっている。当初は個々の研究者によって光遺伝学の開発・導入がなされたのみで、研究成果としては米国に遅れを取っていた。しかしながら、関連する研究者による研究会の設立などにより脳・神経科学分野において本技術の普及が進んだこともあり、2015年末までの論文数は米国・ドイツに次ぐ3位と健闘するに至っている。例えば、逆行性ウイルスベクターを用いた特定の神経経路への選択的な遺伝子導入技術の開発や、シナプス光遺伝学の創出といった脳・神経科学分野での顕著な業績のみならず、世界最速で切り替わる「光スイッチタンパク質」に代表される世界最先端の技術の創出や、チャネルロドプシンの構造解析等の基盤的な研究成果など、個別の研究レベルは高く我が国の強みとなっている。一方、それらを利用して生命科学的課題の解明につなげる融合的研究においては、米国にやや遅れを取っており、最近になって記憶のメカニズム解明など国際的評価の高い研究成果が出始めたところである。

(国外動向)

米国では、2005年に神経細胞での世界で最初の光遺伝学に関する報告がなされ、Nature Methods誌により全自然科学研究分野の中から最もインパクトのある技術として2010年度のMethod of the yearに選出された。光遺伝学の創始後、特に2010年以降は脳・神経科学分野を中心に世界的に関連する論文数が飛躍的に増加している中で、米国が関連論文数の半数以上を占め、現在も世界の研究をリードしている。欧米、特に米

第7章 戦略目標

国では生命科学・物理学・工学・化学等の異分野の研究者が一体となって取り組み、各々の技術を迅速に融合し重要な生命科学的課題の解決を推進する体制ができている。

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「脳科学をはじめとする生命科学の革新をめざした光科学研究と光操作技術応用」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「脳科学をはじめとする生命科学の革新をめざした光科学研究と光操作技術応用」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

「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.

「超スマート社会」において我が国の強みを活かし幅広い分野でのビジネス創出の可能性を秘めるセンサ、ロボット、先端計測、光・量子技術、素材、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー等の共通基盤的な技術の先導的推進を図ることも重要である。

9. その他

○既存の研究開発事業では、科学技術振興機構（JST）CREST「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする次世代フォトニクスの基盤技術」（平成27年度発足）やさがけ「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」（平成27年度発足）において、多様な分野における光利用や光科学技術開発等を目指した研究が行われている。また、日本医療研究開発機構（AMED）「革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト」（平成26年度～平成35年度）の一部において、既存の光遺伝学によるマーマセットの脳皮質高次機能回路操作等にターゲットを限定した研究が行われている。本戦略目標の下で行われる研究との連携により、成果創出の加速が期待される。

7.7 材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合

1. 目標名

材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合

2. 概要

第 7 章 戦略目標

放射光施設等の大型の研究施設から、汎用の計測機器に至るまで、計測技術は材料科学やライフサイエンス等様々な研究分野に浸透し、有効に活用されているが、計測データから有意な情報を読み解く際に研究者の経験に頼る部分もまだまだ多い。一方、情報科学や数理科学の分野においては、データから最大限の情報を読み解く手法の研究が進んできている。

そこで、本戦略目標では、第 5 期科学技術基本計画で掲げられた「超スマート社会」(Society 5.0)における一つの取組として、日本が強みを有する計測技術を近年急速に進展している情報科学・数理科学等と融合し、新たな「情報計測」分野を創出することを目指す。X線、中性子を用いた量子ビーム施設や、電子顕微鏡、NMR 等の汎用機器を用いた様々な計測技術と、データ同化、スパースモデリング、画像解析、信号解析等の情報科学・数理科学等の双方向 (Bi-directional) の解析により、見えない物理量を計る、見えなかった変化を見る、見つけられなかった変化を見つけること等を実現する情報計測技術を構築する。これにより、物質・材料、資源・エネルギー、医療・創薬等、科学技術全般の新たな科学上の発見を促す。

3. 達成目標

本戦略目標では、材料科学・ライフサイエンス等の分野において、計測・解析技術の深化により新たな科学の開拓が強く期待される研究課題について、計測対象の特徴量解析技術を構築するとともに、それらを新たな計測・解析技術へと展開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) 計測対象の特徴量解析技術の構築

例えば、シグナル対ノイズ比の低いスペクトルや画像等からの特徴量抽出技術やより少ないデータから有用な情報を引き出す情報再構成技術、異種情報の統合解析技術を構築する。

(2) (1) を活用した新たな計測・解析技術の構築

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。

- ・科学技術全般の研究開発サイクルが加速されている社会
- ・計測・検出したデータから最大限の情報を読み解く解析アプリケーションが開発され、材料科学やライフサイエンス等の各分野が飛躍的に進展し、研究成果のより早い社会還元が実現されている社会
- ・計測、情報・数理、材料科学・ライフサイエンス等の融合領域の研究を推進する研究者が育成・発掘されている社会

5. 具体的な研究例

(1) 計測対象の特徴量解析技術の構築

シグナル対ノイズ比の低いスペクトルや画像等からの特徴量抽出技術としては、例えば電子顕微鏡像から特徴量を定量解析する技術や、実用条件下での触媒・電池等の材料表面において、反応状態の超短時間現象を動的に観察する手法、生理活性が発現している状態において、生体分子と基質・シグナル分子の結合等を解析するナノスケールでの動態解析手法を構築する。

より少ないデータからの情報再構成技術としては、例えば放射光の高輝度化に伴う放射線損壊を起さず、より少ない光子数での計測を可能とするための解析手法や、脳血流のリアルタイム解析を可能とする従来の 10 分の 1 以下のデータ量から血管像を再構成するための解析手法を構築する。

異種情報の統合解析技術としては、例えば生体分子複合体の立体構造解析等において、複数の異なる解析手段から得られたデータを統合し複合的に解析する手法を構築する。

(2) (1) を活用した計測手法の構築

計測対象の特徴量解析技術を活用し、最適化された計測条件をフィードバックする計測手法や計測限界を定量的に評価できる枠組みの構築や、汎用計測機器を用いた従来の大型計測施設並みの高度計測技術の開発を行う。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

先端計測については、大型施設 (SPring-8, J-PARC 等) を用いた研究による成果が着実に上がっているが、各研究者あたりの大型研究施設のリソースは限られており、また、これらのデータから有意な情報を読み解く際には研究者の経験に頼るところが多い。一方で、科学研究費助成事業新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」(平成 25 年度～平成 29 年度) では、生物学と地学を対象に、情報科学が、計測結果の解析に使えることを実証する等、近年急速に進展している。

第 7 章 戦略目標

(国外動向)

データ科学や情報科学の他分野への有効活用という観点から関連する国外動向としては、最先端の情報科学的手法を物質・材料研究へ融合させ、開発期間を大幅に短縮する試みとして、アメリカの「マテリアルズゲノムイニシアティブ」(MGI:年間予算約100億円)や、MGIを支えるコンソーシアムとして国立標準技術研究所(NIST)が資金提供している「Center for Hierarchical Materials Design」が挙げられる。ヨーロッパ、中国でも同様の検討が始められている。

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「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」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「材料研究をはじめとする最先端研究における計測技術と高度情報処理の融合」に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

「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2部 第1章 2.

「超スマート社会」において我が国の強みを活かし幅広い分野でのビジネス創出の可能性を秘めるセンサ、ロボット、先端計測、光・量子技術、素材、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー等の共通基盤的な技術の先導的推進を図ることも重要である。

第2部 第2章 IV. iii) 2.

ニーズの先取りを可能とするビッグデータ収集・解析システムを開発することも重要であり、最終的にこれらのシステムを統合することで、(中略)材料開発期間の短縮による製品開発の加速、さらには新市場の創出を通して経済的な効果が生み出される。

「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 (3) ② ii)

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。

(中略)

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

9. その他

第 7 章 戦略目標

- 大型施設等を用いた計測の高度化としては「光・量子融合連携研究開発プログラム」（平成 25 年度～平成 29 年度）や、「X 線自由電子レーザー施設重点戦略課題推進事業」（平成 24 年度～平成 28 年度）が行われているが、データ解析に特化したプロジェクトではなく、情報科学との連携については十分ではない。
- 情報科学の近年の進展を他の分野へ展開する研究は、科学研究費助成事業の基盤研究や、地学・生物学を対象にした科学研究費助成事業新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」（平成 25 年度～平成 29 年度）において実施されている（新学術領域研究「スパースモデリングの深化と高次元データ駆動科学の創成」では、物質・材料研究は対象とされていない）。また、科学研究費助成事業新学術領域研究「ナノ構造情報のフロンティア開拓ー材料科学の新展開」（平成 25 年度～平成 29 年度）の一部ではデータ解析手法を材料研究へ展開する試みが実施されており、情報科学を物質・材料研究へ展開する機運は高まりつつある。
- 大量のデータを活用した物質・材料研究の新機軸として、マテリアルズインフォマティクスが挙げられる。国内では、科学技術振興機構（JST）さがけ「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）や、「イノベーションハブ構築支援事業」（平成 27 年度～平成 31 年度）において「情報統合型 物質・材料開発イニシアティブ（MI2I）」が開始されており、データ活用の機運が高まっている。本戦略目標により、情報科学と物質・材料研究が融合してデータ取得の手法が高度化すれば、世界をリードする新しい研究開発のスキーム・基盤技術の構築が可能となる。

7.8 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

1. 目標名

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

2. 概要

半導体やレーザーなど、量子論を応用した科学技術の進展はこれまでも産業や社会に大きなインパクトを与えてきたが、1990 年代以降、量子情報処理を可能とする物理素子が開発され、先端レーザー等による量子状態の制御技術も磨かれてきた中で、量子論を包括的かつ高度に応用しつつ産業応用までを視野に入れた新たな技術体系の発展の兆しが見られるようになった。近年、欧米政府や世界的企業が量子科学技術への投資を拡大している中、我が国においても、最先端の量子研究に光科学技術、物性物理、ナノテクノロジー等の強みを糾合させ、中長期的な視座から量子科学のフロンティア開拓を先導するとともに、超スマート社会の実現に向け、新たな産業や技術基盤の創出の核となるコア量子技術を世界に先駆けて生み出していくことが重要である。

このため、本戦略目標では、技術的フィージビリティや国際優位性、先進性等の観点を総合的に勘案した上で研究領域・方向性を特定し、その研究開発を重点的に進めることにより、新たな量子物性の開拓や量子情報システムの開発等を通じて幅広いイノベーションの源泉（新技術シーズ）を生み出すとともに、今後大きく変革する社会像の基盤となる量子技術・システム実装を世界に先駆けて実現することを目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、量子の孤立系から多体系、巨視的な凝縮体に至るまで、多彩な量子状態の高度制御を実現することにより、未知の物理現象や物質機能・物性の探索、新たな概念に基づく情報科学の開拓及び新技術シーズ創出を図ることを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- (1) 量子情報処理・シミュレーションの高度化により、複雑な量子系の実験的な解析・描像解明に向けた基盤を構築するとともに、従来手法では不可能な大規模・省エネ情報処理に係る要素技術を実現する。
- (2) 多彩な物理・工学系をつなぐ基盤的な量子技術・システムの開発により、既存技術分野（フォトニクス、エレクトロニクス等）の発展的融合・ブレイクスルーを促す。
- (3) 巨視的な量子効果や先端量子光学等の応用により、計測・解析技術を飛躍的に向上させ、従来精度・感度の限界を超えたセンシング・イメージング技術の革新につなげる。

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。

第 7 章 戦略目標

- ・通信秘匿性の格段の高度化やビッグデータの超高速処理、超省エネ・高速・大規模情報処理が可能となるとともに環境負荷の低減が進展した超サイバー社会、及びこれらの情報処理・通信基盤に基づき物理空間とサイバー空間とが高次に結合された超スマート社会。
- ・環境エネルギー、安全・安心、健康・医療等の地球規模の社会的課題の解決・緩和、知識集約度の高い装置・部材・技術産業等を源泉としたグローバル・バリュー・チェーンにおける優位性の確保、人々の多様なニーズに応える新たな価値を生み出すシステムの形成等を通じて質の高い生活の実現された社会。
- ・物質・生命理解を含めた知識体系の革新により、次々世代の価値創造や安全・安心確保のコアとなる科学基盤・技術基盤が確保された社会。

5. 具体的な研究例

(1) 超電導回路、単一スピン、半導体量子ドットなど多彩な量子ビット技術の高度化による量子コンピューティング要素技術の開発

古典的コンピュータの計算性能を凌駕する量子計算手法のデバイス実装に向けては、欧米をはじめ各国の国家プロジェクトにおいて、量子情報の最小単位である様々な量子ビット及びその制御技術の開発やそれらのポートフォリオの戦略的な開拓が進められている。本分野において、我が国の光科学技術や量子基盤技術の強みを活かした研究開発を進めることで、世界に先駆けた量子暗号通信、量子コンピューティング等の要素技術の開発及びシステム実装を加速する。例えば、長距離で秘匿性の高い広帯域通信方式を確立するためには、多数ビット間での制御ゲート動作検証に加え、十分なコヒーレント時間の確保が重要であり、その実現に向けた特色ある量子ビットの開発及び組合せや量子コヒーレント制御技術の高度化等を行う。

(2) 多彩な量子自由度を利用した新たな光・電子制御デバイスや超高感度計測技術の開発

量子ドットにおける単一電子スピンのコヒーレント制御など、個々のスピン状態の制御技術の高度化・実用化（新機能材料開発等）や、オプト・メカニクスの要素技術開発、極低温原子気体やイオン、固体等の多彩な量子多体系の制御技術の組合せによる量子シミュレーション技術の高度化等に向けた研究開発を進める。これにより、力学系と量子光学・スピン系との融合を実現し、既存技術では不可能な微弱な相互作用の制御や従来精度の限界を超えた精密測定など新たな量子基盤技術の獲得を目指す。あわせて、量子多体系の電磁応答に関する第一原理計算の大規模化・高度化から期待される新原理に基づく超高感度センサー等の新技術創出に向けた基礎研究を推進する。

(3) 巨視的な量子状態の精密制御による超高精度センサー等の開発

分子やクラスター等の量子多体系における極低温状態の制御技術の高度化や、巨視的な量子波動性を利用した高精度な量子センサー等の開発を推進する。

具体的には、ボーズ・アインシュタイン凝縮（BEC）の人工的操作・制御技術の高度化により最先端の原子物理や量子光学、超伝導や超流動等の量子論特有の現象に関する本質的な理解深化を促すとともに、高感度かつ高精度な BEC 原子干渉計（加速度センサー、重力勾配計、ナビゲーション）など量子波の特長を活かした計測手段の開発・利活用等に取り組む。また、従来の補償光学応用では限界のある生体等の複雑構造系に対しても、量子もつれの干渉効果を利用することにより分散の影響の極めて少ない高分解能計測が期待できるため、その実用化・高度化に向けた技術開発を進める。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）「量子情報処理プロジェクト」（平成 21 年度～平成 25 年度）、科学研究費助成事業新学術領域研究「量子サイバネティクス」（平成 21 年度～平成 25 年度）などで、超伝導量子ビット、電子スピンを用いた量子ビット、及びこれらのハイブリッド量子系の研究が行われ、これらの成果を発展させた革新的研究開発推進プログラム（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」（平成 26 年度～平成 30 年度）では脳型情報処理を量子コンピュータに取り込んだ量子人工脳の開発が進められている。

(国外動向)

英国では 2014 年から量子科学研究の 5 年プロジェクト（予算：約 2.7 億英ポンド）が始まっており、ハブとなる 4 拠点において量子コンピューティング、量子センサー等の研究開発拠点形成プロジェクトが始動するなど具体的な強化策がとられている。量子コンピューティング関係では、カナダのベンチャー企業である D-Wave 社が開発した、世界初の市販量子コンピュータとされる「D-Wave 2」を米国のグーグル社や NASA が

第 7 章 戦略目標

購入（2014 年）するなど、産業界を巻き込んだ研究開発が進められている。また、D-Wave 社の採用した量子アニーリング手法に基づくアナログ量子コンピュータに加え、米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）・グーグル社や欧州では超伝導素子を用いたデジタル量子コンピュータ（論理ゲート方式）の開発も活発に進められている。オランダでは、デジタル量子コンピュータに特化した研究機関「QuTech」において 10 年間の量子科学研究イニシアティブ（予算：約 1.4 億ユーロ）を 2015 年に開始しており、マイクロソフト社やインテル社も支援・共同研究を行うなど量子コンピュータ実現に向けた研究開発を加速させている。

マクロ量子制御に基づく時間標準の研究は、これまで日本と米国がリードしてきたが、近年では欧州でも活発化しているほか、原子イオンに関連した物性研究では中国も追い上げを見せており、本技術を発展させた量子シミュレーションの研究が世界中で開始されている。また、従来の古典光によっては実現不可能な感度・分解能を有する量子もつれに基づく計測・イメージング技術や物質制御技術が注目されているほか、量子科学に基づく計測技術に関して、従来は理想的な完全測定を目指した研究が進められてきたのに対し、数学的な推定処理を前提とした不完全測定・弱測定など将来的な実用性を考慮した研究へのシフトが見られる。

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「量子状態の高度制御による新たな物性物理・情報科学フロンティアの開拓」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「量子状態の高度制御による新たな物性物理・情報科学フロンティアの開拓」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

「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)

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。

（中略）

・革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「光・量子技術」

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

第 1 部 第 1 章 2.

「超スマート社会」において我が国の強みを活かし幅広い分野でのビジネス創出の可能性を秘めるセンサ、ロボット、先端計測、光・量子技術、素材、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー等の共通基盤的な技術の先導的推進を図ることも重要である。

9. その他

○平成 27 年度の戦略目標「新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓」では、新たな光機能や光物性の解明・利活用・制御等を通じて従来の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新たなフォトニクス分野の進展を加速させるとともに、新技術シーズの創出を支える基礎的な原理の解明にも併せて取り組むことで、新たな光機能物質の人工生成や革新的な光通信技術の開発・活用、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理科学との融合による複合光基盤技術・システムの創出等を目指している。ここで創出された優れた研究シーズを、本戦略目標を通じて相乗的に伸ばしていくことで、最先端の光・量子科学技術の実用化を加速していくことが重要である。

7.9 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

1. 戦略目標名

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。

第 7 章 戦略目標

- ・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な暗号化技術や、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)

第 7 章 戦略目標

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

第 7 章 戦略目標

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>1)

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。

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。

第 7 章 戦略目標

- 「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。

7.10 新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓

1. 目標名

新たな光機能や光物性の発現・利活用による次世代フォトニクスの開拓

2. 概要

光の利用技術はこれまで、物質の観察手段としてだけでなく、材料加工や情報通信、医療等の幅広い分野における横断的技術として活用されてきた。近年では、レーザー技術をはじめとする精密制御・高感度計測技術の飛躍的な進展に伴い、新物質の創製・新機能発現から量子状態の制御に至るまで、知のフロンティア開拓を先導する先端科学技術として現代に欠かせない社会インフラの一翼を担っている。他方で、物質と光の相互作用における多彩な非線形光学現象や素励起物性など光の作用の本質については未解明の点も多く、さらなる分野深化や応用展開に向けては新たな系統的・体系的知見の獲得が不可欠となっている。

そのため、本戦略目標では、新たな光機能や光物性の解明・利活用・制御等を通じて従来の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新たなフォトニクス分野の進展を加速させるとともに、新技術シーズの創出を支える基礎的な原理の解明にも併せて取り組むことで、新たな光機能物質の人工生成や革新的な光通信技術の開発・活用、微細構造の高時空間分解可視化、先端数理論科学との融合による複合光基盤技術・システムの創出等を目指す。

これにより、環境・エネルギー・ものづくり・情報通信・医療等の広範な分野を更に横断的かつ有機的に支えていくことで、精度・感度・容量・消費電力等の様々な点で社会的要請に応える高次な社会・産業インフラの形成につなげる。

3. 達成目標

本戦略目標では、結晶構造や素励起の動的挙動等に関する物性解明からナノデバイスの開発、生体組織深部の非侵襲観察から電子の超高速動態の捕捉に至るまで、多様な目的に応じた最適な光源や光検出システムの開発を通じて広範な社会・産業ニーズに機動的に応える次世代のフォトニクス分野を開拓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 様々な光応答物性の精密制御による新たな光機能物質やナノ構造体の創製及び高機能光デバイスの開発
- ② 非線形・有機フォトニクスの応用による生体やソフトマテリアル内部の非侵襲 in vivo 観察・イメージング手法の高度化
- ③ 物質中の多彩な素励起と光の相互作用に関する基盤的研究の推進
- ④ 超高密度・高電磁場科学やアト秒レーザー技術、超高精度の光周波数コム技術など極限フォトニクスの開拓

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。

第 7 章 戦略目標

- 未開拓の光機能物質や先端光源等を用いたフォトンクス技術が環境・エネルギー問題など重要な社会的課題の解決・緩和に貢献し、ものづくり産業の革新や新たな基幹産業の構築が可能となった結果、我が国の知的基盤及びグローバル産業競争力が強化された社会。
- 新たな光通信技術やセンシング技術など光の利用・制御に関するフォトンクス技術の進展により、情報社会・空間の捉え方が変わり、情報通信基盤の高度化・高セキュリティ化が進むとともに、実世界と IT を緊密につなげる CPS(サイバー・フィジカル・システムズ)やモノのインターネット(IoT)が実現している社会。
- 人や環境に配慮した光源や光検出器等の開発及びその制御技術の確立により、生命科学や医療システム等の高度化が促され、短時間・低コスト・低負担なストレスフリー診断など先端医療・診断を可能とする先端機器開発等が進展している社会。

5. 具体的な研究例

- ①様々な光応答物性の精密制御による新たな光機能物質やナノ構造体の創製及び高機能光デバイスの開発
誘電率・透磁率が人工制御されたメタマテリアル等を先行例として、従来の光科学技術では扱われなかった新たな原理に基づく光機能物質の開発やその幅広い利活用に向けた研究開発を行う。具体的には、光の波長よりも小さな構造物を用いた光波の制御や光の回折限界を超えた分解能の実現、ナノスケール領域における微細光加工・計測技術の開発、新物質創製に向けた研究等を行う。今後の課題とされる基礎的な原理の解明や将来的な大量製造技術の確立に向けては、シミュレーションを含む理論的アプローチから新機能の発現過程や新物質の生成過程、従来知られていない物性の解明に向けた研究を行うとともに、特定の屈折率や透明度、誘電率等を持つ物質・材料を自在に設計・作製する手法やそのための装置開発等を行う。
- ②非線形・有機フォトンクスの応用による生体やソフトマテリアル内部の非侵襲 in vivo 観察・イメージング手法の高度化
幅広い先端生命科学等への応用展開に向け、分子～個体レベルの生体機能を組織深部に至るまで非侵襲的かつリアルタイムで観察可能な光イメージング技術の開発や、そのために必要な小型かつ安定な実用的なコヒーレント光源の開発、生体関連物質(検出対象)と非生体物質(プローブ)との光照射下での相互作用機構の解明に向けた研究等を進める。これにより、生体分子やソフトマテリアル内部の直接観察・分析が可能な高品質・高分解能顕微鏡の開発等につなげる。
- ③物質中の多彩な素励起と光の相互作用に関する基盤的研究の推進
幅広い基礎研究や産業応用に必要な固体基礎物性の解明・理解深化や、次世代の高機能光デバイスの実現に向け、固体内部や表面における準粒子(集団励起)のダイナミクスや固体からの電子放出等の超高速動的過程を観測・制御可能な手法を開発し、極短パルス幅コヒーレント光の制御技術など様々な光応答や光化学反応に関する制御技術を確立する。具体的には、時間・空間の両次元で高分解能な電子状態の観察手法や、プラズモン・フォノン等の振動・伝搬制御技術の高度化研究等を行う。例えばプラズモニクスに関しては、光の回折限界を下回るサブ波長サイズの光機能素子や表面プラズモン回路・干渉計等のナノ光学素子の開発を目指す。
- ④超高密度・高電磁場科学やアト秒レーザー技術、超高精度の光周波数コム技術など極限フォトンクスの開拓
超高強度レーザーと物質の相互作用により発生する相対論的高密度プラズマを利用した研究や、アト秒パルス波の発生・制御技術、高強度任意電場の整形技術、究極の時空間計測に向けた光周波数コム技術、レーザー加速技術など、極限環境・条件下における先端光科学技術を開拓する。これにより、先端レーザー科学等に関する知見の集積や基礎的な原理の解明につなげ、原子物理や材料物性の理解深化に寄与するとともに、超高精度・超高安定な光格子時計の高度化・実用化に向けた研究開発や、化学反応等における電子の超高速運動の捕捉、物質中電子のアト秒精度での自在操作等を可能にする技術の開発等につなげる。

以上の各達成目標について、光の状態(位相、パルス、強度、波長等)の高度制御技術を共通項としつつ、計算科学や複雑系の数理科学等の知見に基づく予測的手法など多角的なアプローチからフォトンクス技術の先鋭化及び広範な利活用を図るとともに、これらの技術に基づくシステムの構築・最適化に向けた開発・実証につなげていく。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

我が国では、センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム等の他、「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」等の光科学技術が関連する利用研究が展開されている。具体的には、従来の

第7章 戦略目標

動作原理を越える画期的な半導体レーザーを実現するフォトニック結晶に関する要素技術やレーザー加速システムの確立、その応用による超小型X線自由電子レーザーの開発など新しい研究開発が進められている。(国外動向)

欧州では、第7次研究枠組み計画(FP7)に引き続き、新しいイノベーション指向の研究開発スキームである「Horizon 2020」が立ち上げられ、情報通信ネットワークの革新や産業競争力の強化を目的とした光科学技術の強化が進められている。また、独国では、フラウンホーファー研究機構を通じて生産技術に関わる光科学技術の研究開発が国策として進められている。さらに、米国では、2014年4月にNSFの光・フォトニクスにおける優先課題委員会より報告書(「Building a Brighter Future with Optics and Photonics」)がまとめられ、今後米国として、イメージングや微弱フォトニクス技術に注力していくことが謳われている。

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、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「光の超精密制御による新たなフォトニクス分野の開拓」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「光の超精密制御による新たなフォトニクス分野の開拓」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、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

科学技術イノベーション総合戦略 2014(平成26年6月24日閣議決定)

第2章第1節 I. 3. (4)①

モーターや情報機器等の消費電力を大幅に低減する超低消費電力パワーデバイス(SiC、GaN等)、超低消費電力半導体デバイス(三次元半導体、不揮発性素子等)、光デバイス等の研究開発及びシステム化を推進し、電力の有効利用技術の高度化を図るとともに、当該技術の運輸・産業・民生部門機器への適用を拡大することで、エネルギー消費量の大幅削減に寄与する。(中略)これにより、エネルギーの効率的な利用と国際展開をねらう先端技術を有する社会を実現する。

第2章第2節 1. 基本的認識

分野横断技術を下支えする数理科学やシステム科学、光・量子科学の活用を十分に図る必要がある。

9. その他

○平成20年度戦略目標「最先端レーザー等の新しい光を用いた物質材料科学、生命科学など先端科学のイノベーションへの展開」では、これまで各分野で個別に行われてきた光利用開発を融合し、「物質と光の関わり」に関する光科学技術の基礎研究や、波及効果の大きな技術シーズの創出を目指してきた。ここで創出された優れた研究シーズを、本戦略目標の下で行われる研究により集中的に伸ばしていくことで、最先端光科学技術の実用化を加速していくことが重要である。

○「光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発」事業では、光・量子科学技術分野のシーズと各重点分野や産業界のニーズとを融合した、最先端の光源、ビーム源、ビーム制御法、計測法等の研究開発等を目的としている。ここで開発された新規光源や要素技術が本戦略目標の下で行われる研究開発の基礎となる。

第 7 章 戦略目標

○「先端計測分析技術・機器開発プログラム」では、革新的な先端計測分析技術の要素技術や機器及びその周辺システム等の開発が進められており、検出器や新規光源の開発が行われている。本戦略目標の下で行われる研究と連携することで、先端装置の実用化、特に光センシングにおいて迅速な成果創出が期待できる。

7.11 微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明、新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出

1. 目標名

微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明、新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出

2. 概要

自然界の中で未利用のエネルギーは数多くあり、これらを電気エネルギーに変換して利用する技術が盛んに研究されている。その中でも、微小なエネルギーから μW ～ mW 程度の出力ができる電気エネルギーへの変換技術の開発が欧米諸国で注目を集め、環境に存在するエネルギーを常に利用可能とすることで、社会の中で数億～数兆と利用されることが想定されるセンサーや、更には系統電源からの電源供給が不可能な環境下で用いることが想定されるモビリティ用デバイスや生体用デバイス等の自立的な電源として活用することを目的とした投資が強化されている。

一方、自然界の中で未利用の微小エネルギーを電気エネルギーに高効率に変換するための新原理と、それに基づく新たな物質の創製が必要とされている中で、我が国は、新しい原理(一例として、スピンゼーベック効果など)や、新物質創製(一例として、高 ZT 物質、マルチフェロイック物質など)に関する革新的な研究シーズを有している。

そのため、本戦略目標では、我が国の強みを活かし、微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する革新的なエネルギー変換機能の原理解明及び新物質・新デバイスの創製等の基盤技術の創出に取り組むことで、大量のエネルギーを必要としないセンサー等の様々な環境への普及を加速し、世界に先駆けた Internet of Things (IoT)、ビッグデータの活用による次世代型の環境保全・ものづくりの実現を目指す。

3. 達成目標

本戦略目標では、基本的な原理の解明や新物質・新構造デバイスの創製だけでなく、基盤的解析・設計技術や理論的アプローチを含めて戦略的に研究を推進することで、現在ある原理や変換材料を凌駕する、微小なエネルギーから電気エネルギーへの変換技術を創出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微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術に資する新原理の解明及び革新的な物質・デバイスの創製
- ②微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術創出のための理論及び基盤的解析・設計技術の開発

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、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

○微小エネルギーからの電気エネルギー創出が可能となることにより、系統電源への接続による電源供給には適さないものの大量のエネルギーを必要としないセンサー、モビリティ向けデバイス、生体デバイス等の普及が加速し、IoT、ビッグデータの活用による次世代型の環境保全・ものづくりが実現している社会。

5. 具体的な研究例

①微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術に資する新原理の解明及び革新的な物質・デバイスの創製

熱、光、電波、振動、生体やフォノン、スピン等のエネルギーを電気エネルギーに高効率に変換または高度に利用するための基盤技術の構築とその源となる基本的な原理の解明を行い、従来の特長や機能を飛躍的に凌駕する、優れた物性を有する新物質・デバイスを創生する。具体的には、スピンとトポロジーの相関等革新的なエネルギー変換に資する原理の解明及びそれらを活用した新物質の創製や、無機化合物や有機化合物または無機・有機ハイブリッド化合物による機能性物質の創製、環境負荷の軽減を考慮した革新的なエネルギー変換に資する新物質の創製等を行う。

第 7 章 戦略目標

②微小エネルギーの高効率変換・高度利用技術創出のための理論及び基盤的解析・設計技術の開発

新原理の解明や革新的な材料創製のために必要な、エネルギー変換時における物理現象(材料物性、界面、輸送現象等)の解析基準や新しい解析技術を創出する。具体的には、新原理・新物質創製に貢献する理論計算・計算機シミュレーション手法の確立や、新原理や新物質に基づいた革新的なデバイスの原理や設計指針の創成を行う。また、2つのエネルギー形態(例えばフォノンとスピン流の輸送)を独立に制御するなど相互作用の制御や、電子とフォノン、マグノンとフォノンの分離による解析等を行う。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

我が国では微小エネルギーの活用に注目した大型プロジェクトは実施されておらず、研究投資は大幅に出遅れている。一方で、我が国は、強誘電体等の物理分野や熱電変換をはじめとした変換材料等の基礎的研究開発に強みを持っていることから、異分野の融合、基礎分野と応用分野の融合により、革新的技術を創出するポテンシャルを有している。

(国外動向)

欧州では、多数の微小エネルギーの活用に関連する事業が進行中である。2014年、英国ではエマージング・テクノロジー7分野に対し、4年間で5,000万ポンド(約89億円)のファンディングを決定している。7分野にはエナジー・ハーベスティングが含まれており、ワイヤレスセンサーや自立電源等の商品化を目指している。また、米国では、2013年にFairchild Semiconductor、University of California, Berkley校等が、毎年1兆個規模のセンサーを使う社会を目指すプロジェクト「Trillion Sensors Universe」を立ち上げ、産学連携の取組が加速している。

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、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「小型・分散型電源構築に向けた高効率エネルギー変換・利用に係る基盤的技術の創出」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「小型・分散型電源構築に向けた高効率エネルギー変換・利用に係る基盤的技術の創出」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. (2) i)

付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する。

第7章 戦略目標

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I. 3. (7)①

さらなるエネルギー利用効率の向上のため、熱と電気を併産するコージェネレーションの活用や、これまで利用されていなかった低温排熱等のエネルギーを活用する技術の向上に取り組む。

9. その他

○以下の関連する研究開発と本戦略目標下で行われる研究の連携を確保しながら、微小エネルギーの高効率変換・高度利用に資する基盤技術の創出及び成果の実用化を目指すことが重要である。

- ・平成23年度戦略目標「エネルギー利用の飛躍的な高効率化実現のための相界面の解明や高機能界面創成等の基盤技術の創出」、平成24年度戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」、平成25年度戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」の下で行われている一部の研究では、エネルギー変換・輸送に関わる基盤的科学技术の創出に取り組んでいる。また、平成26年度戦略目標「二次元機能性原子・分子薄膜による革新的部素材・デバイスの創製と応用展開」の下で行われている一部の研究では、トポロジカル絶縁体を用いたデバイス設計技術の創出に取り組んでいる。その他、平成25年度戦略目標「情報デバイスの超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等の融合による革新的基盤技術の創成」の下で行われている研究では、新機能性材料・電子デバイス・システム最適化を連携・融合することに取り組んでいる。
- ・平成23年度戦略目標「エネルギー利用の飛躍的な高効率化実現のための相界面の解明や高機能界面創成等の基盤技術の創出」、平成24年度戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」、平成25年度戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」の下で行われている一部の研究では、エネルギー変換・輸送に関わる基盤的科学技术の創出に取り組んでいる。また、平成26年度戦略目標「二次元機能性原子・分子薄膜による革新的部素材・デバイスの創製と応用展開」の下で行われている一部の研究では、トポロジカル絶縁体を用いたデバイス設計技術の創出に取り組んでいる。その他、平成25年度戦略目標「情報デバイスの超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等の融合による革新的基盤技術の創成」の下で行われている研究では、新機能性材料・電子デバイス・システム最適化を連携・融合することに取り組んでいる。

7.12 多様な天然炭素資源を活用する革新的触媒の創製

1. 目標名

多様な天然炭素資源を活用する革新的触媒の創製

2. 概要

世界では、石油に依存する化学産業が急激に変容しつつある。米国では、シェール革命を受け、安価な天然ガス原料のエタンを使用して製造するエチレンが強い競争力を持ち始めている。中国でも、石炭を用いたメタノールの合成等が行われている。一方で、天然ガスに豊富に存在するメタンや低級アルカンを効率良く活性化する画期的な触媒の創製は非常に難度が高く、実現できれば、国際的にもインパクトが非常に高い。特に、二酸化炭素排出(エネルギー投入)が少ない製造技術に期待が高まっており、極めて高い技術の醸成が急務である。

そのため、本戦略目標では、日本が誇る触媒研究の高い競争力を活かして、メタン(CH_4)や、低級アルカン(C_nH_x : $n = 2, 3$)等の多様な資源を、化成品原料やエネルギーとして活用するための革新的触媒を創製する。最先端の物質合成・計測・計算技術とデータ科学を利活用した物質探索を共通基盤として、原理解明と触媒創製を戦略的に推進し、多様な天然炭素資源を高効率に活用する社会を切り拓く。

近年進化している、計算・計測技術を駆逐することで画期的な触媒を設計及び創製することができれば、新たな触媒研究の基盤を確立することができるだけでなく、ナノテクノロジー・材料研究における新たな方法論を切り拓くことも期待でき、我が国のさらなる競争力強化につながる。

第 7 章 戦略目標

3. 達成目標

本戦略目標では、天然ガスの大半を占めるメタン(CH₄)や、低級アルカン(C_nH_x: n = 2, 3)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革新的触媒を創製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メタンを化成品原料やエネルギーへ変換する C1 化学を実現する触媒の創製
- ②低級アルカンを化成品原料やエネルギーへ高効率に変換する触媒の創製
- ③物質創製、計測・解析、理論計算、実験・計算データを利活用した物質探索の連携による、触媒反応の指導原理解明へ向けた共通基盤の確立

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」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。

- 天然ガスに豊富に含まれるメタンや低級アルカン等、石油以外の多様な炭素資源を化成品や燃料に変換して利活用することが可能となり、我が国の根幹を支える基幹産業が形成されている社会。
- 石油に依存しない多様な原料・エネルギー源活用型社会を構築することで資源リスクを減少するとともに、将来的にメタンハイドレートの利用が実現した場合、資源立国への道が拓けている社会。

5. 具体的な研究例

- ①メタンを化成品原料やエネルギーへ変換する C1 化学を実現する触媒の創製
メタンを反応基質とし、メタノール等の高付加価値化成品への直接合成反応を実現する高活性・高選択性反応触媒を開発する。
- ②低級アルカンを化成品原料やエネルギーへ高効率に変換する触媒の創製
エタン/プロパン等を反応基質とし、エチレングリコールや酢酸、プロパノールやアクリル酸等の高付加価値化成品への反応を実現する革新的な高活性・高選択性反応触媒を開発する。
- ③物質創製、計測・解析、理論計算、実験・計算データを利活用した物質探索の連携による、触媒反応の指導原理解明へ向けた共通基盤の構築
触媒反応の実作動条件・その場での動的表面計測を実現する。大規模理論計算による触媒反応のマルチスケール、マルチフィジックス解析を実現する。マテリアルズインフォマティクスの活用による実験・計算データを利活用した物質探索を実現する。

6. 国内外の研究動向

(国内動向)

我が国の触媒研究は国外に対して高い競争力を有しており、バイオマスからの可溶化・糖変換、化成品触媒、太陽光を使った水分解・水素生成、二酸化炭素を燃料・原料へ変換する人工光合成等については、研究開発が鋭意進められている。一方で、メタン・低級アルカンを化成品原料やエネルギーとして利活用する研究は未踏の領域である。最近になり、従来の触媒研究とは異なる発想で常温アンモニア合成を可能としたエレクトライド触媒の研究(細野ら、2012)など、メタン・低級アルカンからの原料・エネルギー変換に資する可能性がある研究が活発化している。これらの周辺研究領域の知見や、計測・計算・データ科学の急速な進展を取り込み、メタン・低級アルカンからの原料・エネルギー変換へ取り組む体制を早期に構築する必要がある。

(国外動向)

シェール革命を受けて、メタンや低級アルカンを利活用する技術開発は各国の産業競争力へ直接的な影響を及ぼすこととなったため、欧米を始めとする各国で研究開発が進められている。

例えば、露国では、亜酸化窒素を用いてメタン⇒メタノールの選択合成で 160°Cにおいて最大 96%を達成したとの報告がなされている。また、米国では、米エネルギー省における挑戦的な先端研究へのファンディングプログラム・ARPA-Eにおいて、2013年からメタン資化性微生物を使って、メタンを液体燃料に変換する小規模プロセスを開発するプロジェクトの支援が行われている。加えて、ベンチャー企業が、微生物を利用したメタンからの化成品製造へ取り組んでいる。

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。

第 7 章 戦略目標

(サイエンスマップ及び科研費 DB 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、アンケートの結果の分析等を行い、注目すべき研究動向として「エネルギー高効率変換に向けた革新的触媒の創製」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「エネルギー高効率変換に向けた革新的触媒の創製」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

科学技術イノベーション総合戦略 2014(平成 26 年 6 月 24 日閣議決定)

第 2 章第 1 節 I. 3. (3)①

シェールガス、非在来型原油や二酸化炭素等多様な原料から効率的にエネルギー・化学品の生産を図る革新的触媒技術等及び微生物やバイオマスによるエネルギー資源の生産技術を研究開発する。

9. その他

○触媒がカバーする研究領域は幅が広く、プロジェクトごとにターゲットとしている領域が異なる。大型プロジェクトの主な対象は以下の通りである。

- ・平成 24 年度戦略目標「環境、エネルギー、創薬等の課題対応に向けた触媒による先導的な物質変換技術の創出」の下で行われている研究では主に二酸化炭素を変換する化成品触媒や太陽光を使った水分解・水素生成を対象としている。
- ・科学技術振興機構の先端的低炭素化技術開発(ALCA)ではバイオマスからの可溶化・糖変換や、化成品触媒を対象としている。
- ・経済産業省では人工光合成化学プロセス技術研究組合(ARPCHEM)において、太陽光と光触媒を使った水分解反応により生成した水素を用いて、二酸化炭素を原料へ変換する人工光合成へ取り組んでいる。
- ・平成 24 年度戦略目標「環境・エネルギー材料や電子材料、健康・医療用材料に革新をもたらす分子の自在設計『分子技術』の構築」、平成 25 年度戦略目標「選択的物質貯蔵・輸送・分離・変換等を実現する物質中の微細な空間空隙構造制御技術による新機能材料の創製」の下で行われている一部の研究では、バイオマスからの可溶化・糖変換や、化成品触媒を対象としている。

○このように、本戦略目標で対象とするメタンや低級アルカンからの化成品原料やエネルギーへの変換は重要な領域であるにも関わらず、現在までに対象としているプロジェクトがない未踏領域であり、本戦略目標の下で行われる研究に関して、他機関とも連携した体制を構築していくことが期待される。

7.13 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

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

第7章 戦略目標

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. 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。

- 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

第 7 章 戦略目標

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。

第7章 戦略目標

「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。

7.14 社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築

1. 戦略目標名

社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築

2. 達成目標

社会における諸現象のうち、現時点で支配原理・法則が明確でなく、数理モデル化ができれば社会に対して大きなインパクトが見込まれる現象について、数学・数理科学の研究者と応用分野の研究者などによる異分野協働などを通じて、数学がもつ抽象性・普遍性を活用し、諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分を数学的に見いだすことにより、以下の実現を目指す。

- 現象を数学的に記述するモデルの導出
- 導出された数理モデルの実証・検証及び評価のための数学的理論等の構築

3. 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標を実施し、2. 「達成目標」に記載した研究成果が得られることで、現時点で支配原理・法則が明確ではない現象について、数理モデルを導出することができる。

また、数理モデルを実証、検証及び評価するための新たな数学的理論が構築される。さらに、検証された数理モデルは、その普遍性によって、対象や時代の変化を受けることなく、様々な状況下において利用可能となることが期待される。

対象となる現象と応用分野は、例えば以下が想定される。

- ・社会現象（経済変動、感染症の伝搬、交通流、電力・通信ネットワークの変動、災害時の住民行動、各種社会インフラの老朽化 等）
- ・自然現象（気候変動、集中豪雨・地滑り・竜巻・津波等の突発的な自然現象 等）
- ・生命現象（遺伝子間の相互作用メカニズム、脳内の知覚認識・情報処理メカニズム 等）

上記のような現象について数理モデルを導出することで、例えば以下のことが将来に期待される。

○諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分の抽出、数学的に裏付けられた処理の効率化

複雑な構造の現象をモデル化する際の様々な困難（モデルの複雑化等）を回避するため、その「本質」部分を数学的に見だし、数理的な根拠をもって簡略化した記述を行うことで、情報量が多く計算機の処理負荷が高い作業を著しく効率化することができる。例えば、比較的単純で安定な構造によって新たな機能発現を

第 7 章 戦略目標

期待する新材料の創成が、その構造の「本質」部分を数学的に見だし精密に制御することにより可能となることや、画像解析処理時間の大幅な短縮、データ分析に要する時間の大幅な短縮などが期待される。

○リスクが顕在化する前の「兆し」の解明、スマートな未然の対応や効果的制御

現象をネットワーク構造の変化と捉えて数理モデル化することで、例えば、ネットワーク構造を有する、電力供給システム、経済システム、製造のプロセス、各種情報サービス等に対して、不安定になる「兆し」等の検出が可能となり、事前の対策や効果的な制御につながる事が期待される。

また、限られたデータだけによる経験的モデルでは想定できなかった、まだ発生していない現象の「兆し」の検出が可能になることが期待される。

4. 具体的内容

(背景)

近年、社会の情報化・複雑化や計測機器の発達、計算機性能の飛躍的向上等に伴い、生命現象や自然現象、社会現象などに関する情報を得ることが可能となり、これらの現象の複雑さがよく分かるようになってきた。しかし、これらの現象については、支配原理・法則が不明確でモデルを作れないため、なぜそのような現象が起こるのかは十分に分からないまま、うまく対処した経験知の積み重ねによって現象を理解しているものも多い。また、経済やエネルギー、防災などにおいては既に何らかのモデルが用いられていても、個別分野固有の理論的枠組みに基づくモデルだけでは捉えきれないものが増えており、現象の「本質」を理解する上で不可欠な数学・数理科学研究者との連携は必ずしも十分とは言えない。さらに、近年の数学の発展により、これまで応用されたことのない現代数学の理論がこのような現象の「本質」を理解する手掛かりを与え、画期的な成果をもたらす可能性が残されている。

このような状況の中、我が国では平成 19 年度に戦略目標「社会的ニーズの高い課題の解決へ向けた数学／数理科学研究によるブレークスルーの探索」を設定し、数学・数理科学研究者と諸科学分野の研究者の連携を促進している。この取組からは、純粋数学の手法を現象解明に適用したことで課題解決に発展したこと、特に、様々な現象を記述する数理モデルの構築が連携による注目すべき成果として報告されている。

これらの状況を踏まえ、本戦略目標では、従来の科学技術の延長では解決が困難な社会的課題に取り組み、ブレークスルーを起こすために、純粋数学の研究者が現実社会の課題の中から数学的問題を取り上げ参加することを期待するとともに、数学・数理科学の力が発揮できる「現象の数理モデリング」に注力する。また、数理モデルの導出には、既存のモデルの枠組みを超えて、異なる数学分野の技法を融合することや全く新しい定式化を行う必要もあることから、数学内の様々な分野の研究者間の連携や、異なる数理モデリングにかかわる理論研究者間の連携も不可欠である。

(研究内容)

1) 現象を数学的に記述するモデルの導出

社会現象や工学分野などにおける既存のモデル化技術と、現象の「本質」を理解する上で不可欠な数学・数理科学的知見や理論とを融合することで、諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分を見だし、データが十分にある現象だけでなく、不足している現象についても、それを記述する数理モデルを導出する。

対象となる現象と応用分野としては、例えば社会現象においては、経済変動、感染症の伝播、交通流、電力・通信ネットワークの変動、災害時の住民行動、各種社会インフラの老朽化等、自然現象においては、気候変動、集中豪雨・地滑り・竜巻・津波等の突発的な自然現象等、また、生命現象においては、遺伝子間の相互作用メカニズム、脳内の知覚認識・情報処理メカニズム等が想定される。

これらの現象を記述する数理モデルの枠組みの例としては、以下のようなものがある。

- 1：電力網、通信網、神経網、人の接触関係などの現実の複雑なネットワークにおける構造とダイナミクスを表現するネットワークモデル
- 2：時空間的に異なるスケールのサブシステムが階層を構成するようなシステムを統合的に扱うためのマルチスケールモデルやマイクロモデルとマクロモデルの中間に位置づけられるメゾスコピックモデル
- 3：連続変数と離散変数を含む電子回路や物理的作用と化学的作用を含む生物の組織形成などのように異なるシステムが相互作用するシステムを記述するための、ハイブリッドモデルやマルチフィジックスモデル

また、導出された数理モデルの普遍性を活用し、当初対象としていた現象とは異なる現象に応用することで、様々な分野に横断的に応用可能なモデリング技術へ発展することを目指す。

第 7 章 戦略目標

2) 数理モデルの実証・検証及び評価のための数学的理論等の構築

上記 1) で導出される数理モデルや既存の数理モデルについて、実際の課題や現象を記述していることを実証・検証するとともに、モデル評価のための数学的理論や技術の構築を目指す。

5. 政策上の位置付け(政策体系における位置付け, 政策上の必要性・緊急性等)

第 4 期科学技術基本計画(平成 23 年 8 月 19 日閣議決定)では、「III. 我が国が直面する重要課題への対応」の「(5) 科学技術の共通基盤の充実、強化」において、「数理科学」は「複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術」として位置付けられ、それに関する研究開発を推進することが明記されている。

また、数学イノベーション戦略(中間報告)(平成 24 年 8 月科学技術・学術審議会先端研究基盤部会)においては、「複雑な現象やシステム等の構造の解明」、「リスク管理」、「将来の変動の予測」等につながる課題が、数学・数理科学の活用による解決が期待される課題として整理されている。

6. 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

戦略目標「社会的ニーズの高い課題の解決へ向けた数学/数理科学研究によるブレークスルーの探索」(平成 19 年度設定)に基づいて発足した科学技術振興機構(JST)「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」研究領域で、純粋数学をはじめとする幅広い分野の研究者の協働により、新たな数理モデルをはじめ、優れた成果が出始めている。本戦略目標では、同領域と連携しつつ、純粋数学をはじめとする幅広い分野の研究者を取り込みながら、数学と諸分野の協働により社会課題の解決を図る取組を加速していく。

また、平成 23 年度より文部科学省が大学等と共催している「数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ」(平成 23 年度、24 年度は合計 57 件、参加者合計 3,211 名)や、文部科学省委託事業「数学・数理科学と諸科学・産業との協働によるイノベーション創出のための研究促進プログラム」(平成 24 年度開始)においては、諸科学・産業における数学・数理科学的知見の活用による解決が期待できる課題を積極的に発掘して諸科学・産業との協働による研究テーマを具体化し、具体的な研究へとつなげるための活動を行っている。これらの活動を通じて議論が深められた課題や研究テーマが本戦略目標での研究に発展することが期待される。

7. 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

JST 研究開発戦略センター(CRDS)の報告書※1によると、我が国におけるモデリングや解析技術の研究は、各大学の数理工学科や複雑理工学科、内閣府最先端研究開発支援プログラムの最先端数理モデルプロジェクトなどにおいて進められており、基礎研究の水準は高いと考えられる。今後は、生物医学におけるゲノム情報などのハイスループットデータの蓄積、脳科学における多計測脳波データの取得、地理情報学におけるリアルタイムの交通・輸送情報データの計測など各分野において大量のデータ取得が可能となってきた中、これらのデータから実際のシステムの本質を抽出し数理モデリングを行う技術の確立が課題となっている。

また、同報告書では、米国の NSF、NIH、USDA、及び英国の BBSR が共同で、約 15 億円を投じて 2012 年から 5 年間のプロジェクト「感染症の生態学と進化」を発足しており、その目標の一部として、感染症抑制のための生態学的、進化的、社会生態学的原理の数理モデリングを掲げていること、米国 DOE は、応用数学分野のプロジェクト編成の枠組みにおける指針において、今後どのような数理モデリング研究やアルゴリズム研究にファンディングを配分していくのかを示していることが記載されている。

数理モデリングを中核に据えた本戦略目標を設定することで、各応用分野の研究者、数理科学研究者、数学研究者等を集めて数理モデリング研究に注力させ、国際競争力の更なる向上を図る必要がある。

※1 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 システム科学技術分野(2013 年)』

8. 検討の経緯

平成 21 年度の文科省委託調査(委託先：九州大学ほか)において、大学の数学・数理科学研組(175 組)、他分野研究者(5,000 名)、企業(1,000 社)へのアンケート調査及び国内外有識者(65 名)へのヒアリング調査を踏まえた調査報告がされ、JST 戦略的創造研究推進事業で実施中の「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」研究領域の発展的継続が提言された。

第 7 章 戦略目標

数学イノベーション戦略(中間報告)においては、「複雑な現象やシステム等の構造の解明」、「リスク管理」、「将来の変動の予測」等につながる課題が、数学・数理科学の活用による解決が期待される課題であるとされた。

平成 25 年に出された CRDS の報告書において「先端的数理モデリング」が 5 つの研究開発領域の 1 つとして取り上げられた。その中において、数理モデリングは、現象や行動のモデル化プロセス自体を対象とする横断的学術領域であること、また、対象の適切なモデル化は、現象の制御、将来予測、科学的意思決定の前提であり、多くの学術的、社会的課題は、パラメータなどモデルの要素の条件付最適化を通じて達成されること、等が指摘されている。

本戦略目標はこれらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

9. 留意点

本戦略目標に基づく研究の実施に当たっては、数理モデリングに関わる本領域の研究者や関連する国内外の応用分野の研究者等が一定期間集まり、社会における数理モデル化を目指すべき現象や数理的アプローチなどについて集中的に議論し、世界の社会的重要課題、研究動向を把握できるような場を設け、新たな展開へつなげていくことも重要である。

7.15 情報デバイスの超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等の融合による革新的基盤技術の創製

1. 戦略目標名

情報デバイスの超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等の融合による革新的基盤技術の創成

2. 達成目標

従来のシリコンデバイスによる微細化、集積化が限界を迎える中、現在より 2 桁以上低い消費電力と 2 桁以上高速の情報デバイスを開発することを共通目標とし、将来のエレクトロニクス産業の基盤を確立するため、新規機能性材料の適用可能性の追求等による素材技術(先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術)の創出、新材料・新原理・新構造の論理素子・記憶素子の動作検証等によるデバイス技術の構築、先進的なナノテクノロジー等の実装に向けたナノシステム^{*}最適化技術の創出、そしてそれら技術の融合に取り組むことにより、以下の目標を達成することを目指す。

- 革新デバイスを下支えする新規機能性材料の創製及び適用可能性の追求による素材技術の創出
- 超低消費電力、超高速、超大容量等を可能にする新材料・新原理・新構造の論理素子・記憶素子等による革新デバイス技術の創出
- 異分野の要素技術を集積・統合・融合することによるナノシステムの最適設計に向けた基盤技術の創出

※本戦略目標においては、ナノテクノロジーを基軸として他分野の要素技術を集積・統合・融合し、全体として重要課題の解決に資する高度な機能を提供することが可能で、かつ社会的に認知される部品・装置・システムのことと定義する。

3. 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標において「2. 達成目標」に記載した研究成果を企業等の実用化研究につなげることにより、その諸技術を活用した革新的なデバイスが開発され、情報通信機器やシステム構成機器の超低消費電力化、高機能化や多機能化の実現が可能となる。

これにより、具体的には以下のような社会の実現につなげ、第 4 期科学技術基本計画(平成 23 年 8 月 19 日閣議決定)に掲げられた「エネルギー利用の高効率化及びスマート化」、「産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化」、「領域横断的な科学技術の強化」等の達成に貢献することを目指す。

- (1) あらゆる情報通信端末、情報デバイス等が超低消費電力化されることにより、省エネルギー時代に適合した持続可能な高度情報通信ネットワーク社会の形成に大きく貢献する。
- (2) 新たな動作原理に基づくデバイスの融合による、タッチパネル、フレキシブルディスプレイ、太陽電池、バイオセンサ等、多方面での応用が可能となり、真のユビキタス社会が実現される。

第 7 章 戦略目標

- (3) 知識基盤社会、低炭素社会、高度情報化社会等に対応した社会的付加価値を有する最終製品を生み出すことにより、我が国の国際競争力を堅持し、新たな産業構造を切り拓(ひら)く基幹産業が育成される。

4. 具体的内容

(背景)

現在、半導体産業は世界的に厳しい競争に直面しているが、最近の予測^{※1}では、2012年の市場規模は2,899億ドルと過去最高であった前年度をわずかに下回ったものの、今後も緩やかな成長を継続していくと予想されており、その位置付けについては、例えば「半導体産業は「見えるインパクト」と「見えざるインパクト」を通して、日本の社会、経済、環境に大きな影響を与えている」と紹介^{※2}されるなど、産業競争力の基盤としての役割を果たしている。また、今後の本格的なIT化に伴い、我が国の情報量は爆発的に増大(情報爆発)し、試算では2025年には現在の100~200倍もの情報がインターネット上を行き交う時代となり、こうした情報爆発に対応すべく、情報を処理するIT機器の台数が大幅に増加するとともに、各機器の情報処理量が急増し、今後のIT機器による消費電力量の急増が深刻な課題になると指摘されている(消費電力量が2025年には2006年比で約5.2倍、2050年には2006年比で約12倍になると推計されている。)^{※3}。また、民間調査機関の推計^{※4}によれば、世界の情報量は、2020年には約40ゼタバイト(2010年度時の約50倍)へ拡大する見込みであり、この増え続ける情報を処理するために、現在のシリコンデバイスの集積化、微細化は今後も必須の流れとなっている。しかし、現状のシリコンデバイスでは、集積化に伴う素子の消費電力増大、微細化の物理的限界、特性ばらつきの増大等が喫緊の課題となっている。これらの制約を突破する方策として、近年、世界的に進展の著しいナノエレクトロニクス技術を駆使して、従来のCMOS(相補性金属酸化膜半導体)技術に沿って新たな機能を持った材料及びデバイスを付加し性能向上を図る方向と、従来のCMOSを超える新しい動作原理に基づくデバイス及びシステムの実現を目指す方向とが模索されている。

(研究内容)

このような現状において、本戦略目標では、微細化・高速化や低消費電力・多機能化を個別に追及するのではなく、先進的なナノテクノロジー等の要素技術を糾合することにより、革新的なシーズを創出し、将来のエレクトロニクス産業の基盤を確立することを目的として、具体的には、以下のような研究を行う。なお、本戦略目標では、材料、デバイス、システム等、それぞれの分野の専門家がプロジェクトの早期の段階から連携・協働できる体制を構築し、現在より2桁以上低い消費電力と2桁以上高速の情報デバイス(携帯電話、パソコン、ストレージ等をはじめとするICT機器全般)を開発するという共通目標の達成に向け、戦略的かつ機動的な研究を実施することが求められる。具体的には、以下の研究を想定する。

- ① 革新デバイスを下支えする新規機能性材料の創製及び適用可能性の追求による素材技術の創出
 - ・新規機能性材料の構造や物性に関する計測・解析・加工プロセス技術の創出
 - ・革新デバイスになることが期待されるグラフェン等の原子薄膜の結晶実現・機能解明・学理構築に関する研究
- ② 超低消費電力、超高速、超大容量等を可能にする新材料・新原理・新構造の論理素子・記憶素子等による革新デバイス技術の創出
 - ・優れた物性を有する新物質・新規機能性材料をデバイスに応用する技術に関する研究
 - ・異種材料の接合等による新機能デバイスの提案と原理実証
 - ・微細化・高集積化を可能とする革新的なデバイス・アーキテクチャ技術の創成
- ③ ①、②をはじめとする要素技術を集積・統合・融合することによるナノシステムの最適設計に向けた基盤技術の創出
 - ・デバイス機能を発現・最適化するための物質構造及びデバイス構造の設計及び計算機シミュレーション技術の創出
 - ・素材、回路等の様々な階層の連携・協調による超低消費電力化技術の創出

※1 世界半導体市場統計(WSTS: World Semiconductor Trade Statistics), “WSTS Semiconductor Market Forecast Autumn 2012”, 2012.11

※2 一般社団法人半導体産業研究所(Semiconductor Industry Research Institute Japan), 「半導体産業が日本の社会・経済・環境に与えるインパクトの社会科学分析 最終報告書」, 2009.7

※3 経済産業省「情報通信機器の省エネルギーと競争力の強化に関する研究会」

※4 IDC, “Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East”, 2012.12

5. 政策上の位置付け(政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等)

第7章 戦略目標

「第4期科学技術基本計画」では、エネルギー利用の高効率化及びスマート化に向け、「情報通信技術は、エネルギーの供給、利用や社会インフラの革新を進める上で不可欠な基盤的技術であり、次世代の情報通信ネットワークに関する研究開発、情報通信機器やシステム構成機器の一層の省エネルギー化、ネットワークシステム全体の最適制御に関する技術開発を進める」こととされ、また、産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化のため、「付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する」こととされている。

総合科学技術会議においても、「平成25年度科学技術重要施策アクションプラン」(平成24年7月19日総合科学技術会議 科学技術イノベーション政策推進専門調査会)において、「大幅なエネルギー消費量の削減を目指す「エネルギー利用の革新」が政策課題として掲げられ、「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」が重点的取組とされた。また、「平成25年度重点施策パッケージの重点化課題・取組」(同上)では、我が国で発見されたカーボンナノチューブやグラフェン等のナノカーボン新材料を、世界に先駆け様々な部材・製品(熱交換器、電池、エレクトロニクスデバイス、複合材料等)へ応用することにより、幅広い産業で部材、部品及び製品の産業競争力を高めるとともに、新たな成長産業を創出することなどから、我が国の産業競争力の強化に向けた重点的取組として、「ナノカーボン新材料(CNT(Carbon Nano Tube)・グラフェン等)の様々な分野への応用/商用技術の開発」が提示された。

以上のとおり、「グリーンイノベーションの推進」や「我が国の産業競争力の強化」に向け、革新的な材料による省エネデバイスの開発が政策的にも求められているところである。

6. 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

大学等におけるこれまでの取組や既存の戦略的創造研究推進事業等の成果を積極的に活用するとともに、関連するプロジェクト間と緊密な連携を確保し、速やかに成果の実用化を図る。具体的には、本戦略目標において創出される成果については、将来のエレクトロニクス産業の基盤を確立する観点から、研究期間中であっても、知的財産を適切に確保した上で、研究成果の実用化を目指す産学連携事業等や民間企業のプロジェクトへ速やかに展開する。特に、幅広い産学官の研究者が集結するTIA(つくばイノベーションアリーナ)やその他の研究開発拠点等の枠組みを最大限に活用し、本戦略目標における基礎研究の成果を、我が国の産業競争力の強化に直結させる体制を構築する。

7. 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

米国では2011年2月に改定された「米国イノベーション戦略」において重点項目として「ナノテクノロジーを加速化する」との表現が盛り込まれ、特にナノエレクトロニクスへの投資の必要性が謳(うた)われている。また、欧州においては、長期的かつ多額の資金が必要なハイリスク研究で、産業界の支援が明確な領域を優先的に支援する「ジョイント・テクノロジー・イニシアティブ(JTI)」を立ち上げており、その中に、「ナノエレクトロニクス」が含まれている。中国においては、国家中長期科学技術発展計画綱要(2006~2020年)に基礎研究分野の重点科学研究のテーマとしてナノテクノロジー研究が盛り込まれており、具体的な重点課題として「コンセプト及び原理段階のナノデバイス、ナノエレクトロニクス、ナノバイオ・医学」が挙げられている。

一方、我が国の現状については、「ナノエレクトロニクスでは日本は総じて高い水準を保つが、世界のアクティビティと比較すると必ずしも楽観できるものではない。特にナノエレクトロニクスを牽引(けんいん)するナノCMOS技術においては、世界的に研究開発の拠点化とアライアンスが進む中、日本メーカーの研究開発アクティビティは大幅に低下している。深刻なのはアカデミアの基礎研究・開発も他国に遅れ始めたことであり、今後、長期的観点に立った人材育成策や産学協同体制の構築を図らない限り、やがては韓国あるいは中国に追い抜かれることは避けられないだろう」と、諸外国との国際比較に基づき分析している*。

このような状況を踏まえ、本戦略目標を通じて、ナノエレクトロニクスに関わる研究開発が進展することで、大幅な低消費電力化、小型化、新機能を有するデバイスが実現し、ビッグデータ時代に不可欠な省エネシステムを達成するとともに、エレクトロニクス産業等の競争力強化を実現することが求められる。

※科学技術振興機構研究開発戦略センター、『ナノテクノロジー・材料分野 科学技術・研究開発の国際比較 2011年版』, 2011

8. 検討の経緯

第7章 戦略目標

科学技術振興機構研究開発戦略センター(JST/CRDS)が開催した科学技術未来戦略ワークショップ「次世代を拓くナノエレクトロニクス～2030年の先を求めて」(平成21年3月)において、①微細化、集積化の限界を突破又は回避するためのナノエレクトロニクス基盤技術の研究開発、②ナノエレクトロニクスデバイスのための新材料探索とデバイス適用可能性の実証の推進の重要性が改めて確認された。上記ワークショップの議論も踏まえ、JST/CRDS 戦略プロポーザル「ナノエレクトロニクス基盤技術の創成－微細化、集積化、低消費電力化の限界突破を目指して－」(平成21年7月)が策定され、新原理、新構造、新材料の探索と、それらを用いたデバイスの研究開発に対する長期にわたる取組が必要であることが提言された。グラフェンを始めとする二次元薄膜が注目を集めている中、JST/ CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ「機能性原子薄膜／分子薄膜の創生と展開」(平成24年2月)が開催され、エレクトロニクス動作に際してのエネルギーロス最小化には、究極的に薄い膜、つまり原子薄膜、分子薄膜が理想的であることが指摘された。上記ワークショップの議論を踏まえ、JST/CRDS 戦略プロポーザル「二次元機能性原子薄膜による新規材料・革新デバイスの開発」が策定され、「アプリケーションニーズに応える機能性原子薄膜による革新デバイス基盤技術の創出」と「シーズ技術の先鋭化に資する新構造原子薄膜の機能研究とデバイス設計学理の創出」が、具体的な研究開発課題として提言された。

以上の議論も踏まえ、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会が取りまとめた「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について<中間取りまとめ>」(平成23年7月)において、「エレクトロニクスの省エネルギー化、多機能化」が課題解決に向けた重点研究開発課題とされ、省エネルギー性能の向上やグローバルな競争環境を注視しながら研究開発を加速することが重要であるとされた。また、情報科学技術委員会が取りまとめた「情報科学技術に関する推進方策(中間報告)」(平成23年9月)において、情報科学技術に今後求められる方向性として、「ITシステムの超低消費電力化(グリーン化)」が挙げられた。以降、両委員会において継続的に議論が重ねられた。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

9. その他

世界各国がしのぎを削る中、我が国としてもこれまでの学術的・技術的・人的蓄積を最大限生かし、TIAなどの世界的な産学官集中連携拠点等とも連携して、本戦略目標における基礎研究の成果を、我が国の産業競争力の強化に直結させる体制を構築させることが重要である。そのため、本戦略目標では、大学等におけるこれまでの取組や既存の戦略的創造研究推進事業等の成果を積極的に活用するとともに、関連するプロジェクト間と緊密な連携を確保し、速やかに成果の実用化を図ることが求められる。

7.16 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

1. 戦略目標名

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

2. 達成目標

情報科学技術(知的情報処理技術関連)を中心に、認知科学、ロボティクス(知能・制御系)の学問分野と融合した新たな領域を構築し、人間と機械の創造的協働を実現する統合的な知的情報処理技術を開発するため、以下の目標の達成を目指す。

○場の状況と話の流れに応じた対話の実現に向けた知的情報処理技術の開発

○人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理システムの開発に向けた対話、作業等のメカニズムの解明と技術開発

3. 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標下において、「2. 達成目標」に記載した研究成果を得られることにより、現在の知的情報処理技術では解明できていない、場の状況と話の流れに応じた対話の実現に向けた知的情報処理技術や、人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理システムの開発に向けた対話、作業等のメカニズム解明と技術開発を行い、それらの技術を統合して新たな知的情報処理技術を創出することを目指す。

本事業終了後に、これらの研究成果を実証的に展開・発展させることで、2025年頃には、

第 7 章 戦略目標

- ・高度な質問応答・助言システム(高齢者支援、個別教育、医師の診断支援 等)
- ・高度な意思決定支援システム(専門家の議論支援、政策・制度設計支援 等)
- ・自律的ロボット(人間が行う作業の模倣、災害救助、介護者の支援 等)

等の知的情報処理システムを開発することにより、アンビエントな情報社会が構築され、我が国の重要課題である安全かつ豊かで質の高い生活の実現や新たな知の創造、イノベーションによる新産業・新サービスの創出等に貢献することを目指す。

4. 具体的内容 (背景)

複雑化した社会において、人間は多様な情報や価値判断から適切な問題解決や創造活動を行う等、多様な知的活動を行っている。また、認知科学の分野では、人間の知的処理の原理解明が進められており、ロボティクス分野では、課題達成型ロボットの開発・実用化が行われている。

現在の知的情報処理技術の開発では、人間の知的活動を工学的に実現するために、音声認識、自然言語処理等、個別タスクごとに研究開発や音声対話等の研究開発が進んでおり、このアプローチに認知科学やロボティクス(知能・制御系)のアプローチを追加することで、相乗効果を発揮するような協働研究体制が構築できる。また、異分野の研究を融合することにより、イノベーションの創出の期待が高まる。

(研究内容)

本戦略目標では、上記達成目標を実現するため、情報科学技術(知的情報処理技術)の研究者を中心に、認知科学、ロボティクス(知能・制御系)の研究者と協働研究体制を構築し、人間と機械の創造的協働を実現する統合的な知的情報処理技術の開発を目指す。具体的には以下の研究を想定する。

1) 場の状況と話の流れに応じた対話の実現に向けた知的情報処理技術の開発

- ・特定の人間の周辺環境や、対話する人間の行動(相手の態度、声の抑揚、言葉使い等)把握等、非言語の情報により状況を把握する技術の開発
- ・人間が発した言語から多様な意味や解釈を生成し、場の状況や話の流れに基づく推論を加えて理解する技術の開発
- ・対話する人間の特性(性格や習慣等)に基づき、適切な対話を実現するための情報表現生成技術、タイミング制御技術の開発 等

2) 人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理システムの開発に向けた対話、作業等のメカニズムの解明と技術開発

- ・対話を通じて曖昧性を減少させ、解決すべき課題を定義する技術の開発
- ・機械が対話で得た情報や Web に存在する情報等に基づき、人間に対し効果的に回答、提案、助言等の解決策を提示する技術の開発
- ・人間と機械の対話プロセスも含めた意味レベルで適応的な振る舞いをする情報システムの開発 等

なお、統合的な知的情報処理技術の開発に当たっては、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・提案を研究開発段階から取り入れておくことが求められる。

5. 政策上の位置付け(政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等)

第 4 期科学技術基本計画(平成 23 年 8 月 19 日閣議決定)では、「安全かつ豊かで質の高い国民生活の実現」において、「国民生活の豊かさの向上」として、人々の生活における真の豊かさの実現に向けて、最新の情報通信技術等の科学技術を活用した公共、民間のサービスの改善・充実、人々のつながりの充実・深化等、科学技術による生活の質と豊かさの向上に資する取組を推進すると掲げている。さらに、「科学技術の共通基盤の充実、強化」として、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と掲げている。

科学技術イノベーション総合戦略(平成 25 年 6 月 7 日閣議決定)では、「世界に先駆けた次世代インフラの整備」において、「次世代インフラ基盤の実現」として、インフラが有機的・効率的に構築され、データや情報が流通・循環し、生活者や企業の潜在的なニーズを取り込むことで、生活者の QOL が向上するほか、企業の経済活動の支援等、生活の豊かさと安全・安心を実感できる社会を目指すとして掲げている。

第 7 章 戦略目標

日本再興戦略－JAPAN is BACK－(平成 25 年 6 月 14 日閣議決定)では、「IT を利用した安全・便利な生活環境実現」において、ビッグデータ等を活用して、安全・便利な生活が可能となる社会を実現するため、関係各府省が連携し、重点課題について、IT を活用分野複合的な解決に取り組むと掲げている。

世界最先端 IT 国家創造宣言～第二次安倍内閣の新たな IT 戦略～(平成 25 年 6 月 14 日閣議決定)では、「研究開発の推進・研究開発成果との連携」において、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進するとともに、イノベーションにつながる様々な先端技術を迅速かつ確実に IT 戦略と連携させるため、研究開発を推進すると掲げている。

6. 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

独立行政法人科学技術振興機構(JST)CRSET「共生社会に向けた人間調和型情報環境の構築」(平成 21 年度開始)は、実空間コミュニケーション、ヒューマンインタフェース、メディア処理などの要素技術を融合・統合し、「人間と情報環境の調和」を実現する基盤技術を構築することを目的としている。また、JST さきがけ「情報環境と人」(平成 21 年度開始)は、ユビキタスコンピューティングや、ユーザビリティテスト、統計分析など利用現場における知的機能の評価研究、知的機能のネットワーキング等を目的としている。一方、本戦略目標は、人間と機械とのインタフェースにとどまらず、人間の知的活動の質向上や人間と機械の創造的協働を実現することや、情報から「知」を取り出し、人間の知的活動を支援するツールや共通の基盤技術の構築することを目指しているものであり、他の関連施策と連携して取り組むことにより、相乗的な効果が期待される。

7. 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

欧州では、EU の第 7 次研究枠組み計画(FP7)において自然言語解析技術が Work Program の一つにあげられ、関連した取組として言語解析ツールの相互運用や機械翻訳のプロジェクトに年間 5000 万ユーロ(約 65 億円)の予算が割り当てられている。

また、米国では、DARPA において、自然言語処理や画像の深い意味理解技術が重要な目標に位置づけられており、Machine Reading Program(年間 2000 万ドル：約 20 億円)等、大規模な予算が割り当てられている。また、Google、Amazon、Apple、IBM 等の巨大 IT 企業は、世界を IT ビジネスで圧巻しているだけでなく、情報通信技術においても最先端の研究開発を進め、世界をリードしている状況である。特に、知的情報処理技術の関連では、IBM は質疑応答システム「ワトソン」を開発し、1997 年に、当時のチェス世界チャンピオンに勝利し、2011 年にはクイズ番組「ジェパディ!」で人間との対戦による総合優勝等の成果を上げている。さらに、IBM は平成 26 年 1 月、「ワトソン」の本格的な事業化に向け、10 億ドルを投資すると発表した。現在、医師の診断支援システムだけでなく、金融、小売、官公庁等、幅広い業界に応用することを進めようとしている。

我が国においては、知的な ICT を実現するための分野融合的な取組として、国立情報学研究所の「ロボットは東大に入れるか」プロジェクトがある。これは人とは独立に機械のみによって東大入試レベルの統合的な AI を実現しようとする試みである。我が国の現在の知的情報処理技術の開発は、人間の知的活動を工学的に実現するために、音声認識、自然言語処理など個別タスクごとの研究開発が進んでおり、知的な ICT 技術を社会へ適用していくためには、人と機械の創造的協働を実現する人間参加型の枠組みでの研究開発の取組が今後重要である。

知的情報処理技術の研究開発においてこのまま米国や欧州に大きくリードを許し続けられれば、あらゆる科学技術分野において研究開発スピードに後れを取ることになり、我が国の国力にも影響を及ぼすことから、研究開発は一刻の猶予も許されない状況である。

8. 検討の経緯

JST 研究開発戦略センター(CRDS)情報科学技術分野の俯瞰活動において、新しい社会的価値を創造するために出現しつつある重要な技術開発として、知的情報処理技術、サイバーフィジカルシステム、ビッグデータの 3 項目を抽出した。その後、知的情報処理技術について、核となる有識者によるコアメンバー会議の開催(平成 25 年 4 月)等、本戦略目標において取り組むべき内容について議論を進めた。

平成 25 年 7 月には、CRDS が国内外からの有識者を集めて本戦略目標に関する科学技術未来戦略ワークショップを開催して、取組内容の詳細化と異分野連携や研究者コミュニティの醸成を図った。本ワークショップにおいて、知的情報処理システム作成、人間と機械の協働、知的活動に関わる人を増やすための人間を刺激するための知のシステムの構築等、複数の提案があった。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて策定したものである。

第 7 章 戦略目標

9. 留意点

本研究開発の実施に当たっては、個々の研究チームが独立した要素技術の開発に終始することのないよう、統合的な研究体制を形成することが必要である。

また、本事業では開発した技術を統合して新たな知的情報処理技術を創出し、本事業終了後に知的情報処理システムの開発を目指していることから、研究開発の成果として、特定分野でのサービスをデモンストレーションできるよう、研究領域を推進していくことが重要である。

7.17 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

1. 戦略目標名

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

2. 達成目標

情報科学・数理学分野とビッグデータの利活用により大きな社会的インパクトを生むような様々な研究分野(アプリケーション分野)との協働により研究を進め、アプリケーション分野での課題解決を通じてビッグデータから新たな知識や洞察を得ることを可能とする次世代アプリケーション技術を創出し、高度化すると同時に、様々な分野のビッグデータを統合解析することを可能とする共通基盤技術の構築を目指す。そのため、以下の目標の達成を目指す。

- 各アプリケーション分野においてビッグデータの利活用を推進しつつ様々な分野に展開することを想定した次世代アプリケーション基盤技術の創出・高度化
- 様々な分野のビッグデータの統合解析を行うための次世代基盤技術の創出・高度化・体系化

3. 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標を実施し、「2. 達成目標」に記載した研究成果が得られることで、様々な分野のビッグデータを統合解析するための共通基盤技術を構築することができ、分野を超えたビッグデータの利活用を実現することができる。構築された技術を用いることで、ビッグデータの利活用が有効な研究分野の論文データ、実験・シミュレーションデータ、観測データ等の高度利用が可能となり、社会科学・人文科学等を含む複数の分野が連携した異分野融合領域のイノベーション創出を加速させることができる。

本事業終了後、アカデミア・企業等が様々な分野のビッグデータを統合解析できる共通基盤技術を活用して、研究開発や実用化を推進することで、例えば

- ・ ライフサイエンス分野では、診療情報と関連づけられた 10 万人規模の全ゲノムデータ(30 億塩基対)を活用した、疾患関連遺伝子の効率的な探索技術等による、オーダーメイド医療や早期診断、効果的治療法の確立
- ・ 地球環境分野では、様々な要因が複雑に絡み合う地球規模課題の解決に貢献し持続可能な社会を構築するため、地球温暖化、森林や水などの自然循環、生態系、地理空間等の異なるデータ間の関係性を高度につなぎ合わせる基盤的情報技術の確立
- ・ 防災分野では、災害・事故から得られた気象、地理空間等のデータを容易に分析可能な形に蓄積・構造化する技術等による精緻な災害の予測や防災機能強化の推進、都市の最適設計手法の高度化 等の実現を目指す。これらの実現によって、イノベーションによる新産業・新市場の創出や、国際競争力の強化を推進し、第 4 期科学技術基本計画(平成 23 年 8 月 19 日閣議決定)の「我が国の産業競争力の強化」、 「研究情報基盤の整備」の達成に貢献することを目指す。

4. 具体的内容

(背景)

高度情報化社会の進展に伴い、デジタルデータが爆発的に増大するビッグデータ(情報爆発)時代が到来した。世界のデジタルデータの量は、民間調査機関の推計^{*1}によれば、2020 年には、約 40 ゼタバイト(2010 年度時の約 50 倍)へ拡大する見込みである。また、情報通信政策研究所の調査^{*2}によると、日本における平成

第7章 戦略目標

21年度の流通情報量は7.61E21ビット(一日あたりDVD約2.9億枚相当。例えば、E18ビットは10の18乗であることを示している。)であるが、消費情報量は2.87E17ビット(一日あたりDVD約1.1万枚相当)であり、流通に対して消費された情報量は0.004%にしかすぎない、と言われている。

その質的・量的に膨大なデータ(ビッグデータ)には新たな知識や洞察を得られる可能性があるが、様々なデータ(バイオ、天体観測等の自然科学のデータから社会科学的な人の観測データまで多様)を組み合わせ、大規模な処理を実行しようとする、想定外のデータや正常に分析できないデータが大きくなることが多く、現況においてはその多くのデータが整理・構造化されておらず、有効に活用できていない状況である。

このため、ビッグデータを効果的・効率的に収集・集約し、革新的な科学的手法により知識発見や新たな価値を創造することの重要性が、国際的に認識されてきている。第一の科学的手法である経験科学(実験)、第二の科学的手法である理論科学、第三の科学的手法である計算科学(シミュレーション)と並び、データ科学(data centric science =e-サイエンス)は第四の科学的手法と言われ^{※3}、ビッグデータ時代における科学の新たな地平を拓(ひらく)方法論として注目されている。

(研究内容)

本戦略目標では、ビッグデータの解析を円滑に実行するための革新的な方法論等の創出等のため、2つの達成目標の実現を目指す。具体的には以下の研究を想定する。

① 各アプリケーション分野においてビッグデータの利活用を推進しつつ様々な分野に展開することを想定した次世代アプリケーション基盤技術の創出・高度化

個別のアプリケーション分野の課題解決とともに、固有技術の他分野展開や新規基盤要素技術の導入を強力に推進する。このため、情報科学・数理科学分野とアプリケーション分野の研究者等による協働研究チーム体制を構築することが期待される。具体的には、以下の研究を推進する。

- ・多様かつ大量のアプリケーションデータ(健康・医療データ、地球観測データ、防災関連データ、ソーシャルデータ等)の転送、圧縮、保管等を容易に実現するための研究
- ・画像データや3次元データ等の多様なデータを検索、比較、解析等することで有意な情報を抽出するための研究
- ・アプリケーションデータから新たな課題の発見や洞察をより正確に行うための研究(疾患要因の解明、気候変動予測、リアルタイム解析による減災、人のニーズの予測等)
- ・定量データから生体、自然現象等に係る多様な数理モデルを構築し、実測データと組み合わせることで新たな知見を得るような、発見的探索スタイルの研究アプローチ推進のための研究基盤創出

② 様々な分野のビッグデータの統合解析を行うための次世代基盤技術の創出・高度化・体系化

情報科学・数理科学分野や人文科学の研究者による、独自の新規基盤要素技術の創出や複数のアプリケーション分野に展開する新規要素技術の創出を行う。具体的には、以下の研究を推進する。

- ・データクレンジング技術(ノイズ除去、データの正規化、不要なデータ変動の吸収等)やデータに対して自動的に意味や内容に係る注釈を付与する技術
- ・高度な圧縮技術、圧縮したままで検索する技術、秘密性や匿名性を損なわないままマイニングする技術
- ・データマイニング技術や機械学習の高度化(大量・多様なデータからのモデリング技術、異種データから関連性を探索する技術等)
- ・多様なアプリケーションデータの相関や関係性から新たな洞察を導くための可視化技術
- ・ビッグデータを共有・流通するためのシステム技術(データの加工、メタデータ管理、トレーサビリティ、匿名化、セキュリティ、課金等)
- ・課題の本質やビッグデータの構造を見いだすための数理的手法

なお、①の次世代アプリケーション基盤技術の創出・高度化に当たっては、②の研究で得られる次世代基盤技術を取り込みながら推進することが効果的であり、また、②の次世代基盤技術の創出・高度化・体系化に当たっては、①の研究で得られる次世代アプリケーション基盤技術やデータを共有、活用しながら研究を進めることが効果的であることから、①と②の研究が相互に連携することが求められる。

※1 IDC, “Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East”, 2012.12

※2 情報通信政策研究所調査部「我が国の情報通信市場の実態と情報流通量の計量に関する調査研究結果(平成21年度)–情報インデックスの計量–」, 平成23年8月

第 7 章 戦略目標

※3 Tony Hey, Stewart Tansley, and Kristin Tolle, *The Fourth Paradigm: Data-intensive Scientific Discovery*, (Microsoft Research 2009)

5. 政策上の位置付け(政策体系における位置付け, 政策上の必要性・緊急性等)

第 4 期科学技術基本計画では、「我が国が直面する重要課題への対応」において、「我が国の産業競争力の強化」として、電子デバイスや情報通信の利用, 活用を支える基盤技術等, 革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに, これらの技術の適切なオープン化戦略を促進すると掲げている。また, 「科学技術の共通基盤の充実, 強化」として, 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, 数理科学等, 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と掲げている。さらに, 「国際水準の研究環境及び基盤の形成」において, 「研究情報基盤の整備」として, 研究情報基盤の強化に向けた取組を推進するため, 研究情報全体を統合して検索, 抽出することが可能な「知識インフラ」としてのシステムを構築し, 展開すると掲げている。

文部科学省では, 全国の大学等の研究者が, サイエンスに活用できる多分野にわたるデータ, 情報, 研究資料等を, オンラインにより, 手軽に利用でき, 最新の「データ科学」の手法を用いて, 科学的あるいは社会的意義のある研究成果を得ることのできる「アカデミッククラウド環境」について, 必要な議論, 検討等を進めるため, 研究振興局長の下に「アカデミッククラウドに関する検討会」を設置し, 平成 24 年 4 月から 6 月に, 「データベース等の連携」, 「システム環境の構築」, 「データ科学の高度化に資する研究開発」の 3 点を検討課題として議論を行い, 7 月に提言「ビッグデータ時代におけるアカデミアの挑戦」において, ビッグデータに関する共通基盤技術の研究開発として, ビッグデータ処理の各段階(データ収集, 蓄積・構造化, 分析・処理, 可視化)における基盤技術の研究開発等が必要との方向性を取りまとめた。

6. 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

平成 24 年 10 月に科学技術政策担当大臣及び総合科学技術会議有識者議員による「平成 25 年度科学技術関連予算重点施策パッケージ」の選定が行われ, 総務省, 文部科学省, 経済産業省の 3 省合同で提案した「ビッグデータによる新産業・イノベーションの創出に向けた基盤整備」が資源配分の重点化を行うべき重点施策パッケージとして特定された。この重点施策パッケージでは, 3 省が連携して平成 28 年頃までの実現を目指したある一定の分野におけるビッグデータの収集・伝送, 処理, 利活用・分析に関する基盤技術の研究開発及び人材育成を一体的に進めることとしている。

このうち, 文部科学省は「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」の一プログラム「ビッグデータ利活用のためのシステム研究等」を, 重点施策パッケージの個別施策として位置付け, 異分野融合型研究拠点によるデータサイエンティスト等の人材育成や国際連携を進めるとともに, データ連携技術等の技術開発課題やアカデミッククラウド環境(大学等間でクラウド基盤を連携・共有するための環境)構築の在り方に関する検討を行うこととしている。また, 科学技術振興機構はビッグデータ活用モデルの構築のため, 死蔵されている膨大なデータの掘り起こしやルール整備を行い, 研究機関のデータベース連携や民間等での利活用を推進することとしている。上記施策に加え, 分野を超えたビッグデータの利活用を可能にするため, 本戦略目標では, 中長期的な視野で次世代の課題解決に向けた共通基盤技術の高度化・体系化のための研究を行う。

また, 総務省では, 平成 24 年 5 月に情報通信審議会 ICT 基本戦略ボードにおいて, 「ビッグデータの活用の在り方について」を取りまとめ, 情報通信インフラの構築を進めているため, 本戦略目標下の研究を推進する際には, 当該インフラ(独立行政法人情報通信研究機構(NICT)が構築・運用するテストベッド(JGN-X))も必要に応じて活用する。

7. 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

米国においては, 2011 年に科学技術に関する大統領諮問委員会(PCAST)が, 連邦政府はビッグデータ技術への投資が少ないと結論づけたことに対応し, 科学技術政策局(OSTP)が 2012 年 3 月 29 日にビッグデータイニシアチブに関する公告を発表した。このイニシアチブには 6 機関(NSF, NIH, DOD, DARPA, DOE, USGS)が総額 2 億ドルを投資し, データへのアクセス, 体系化, 知見を集める技術を改善, 強化するとしている。欧州, アジアにおいても, ビッグデータに対する研究投資を実施しており, 今後, 激しい国際競争が予想される。具体的には, 欧州では 2020 年までに ICT における研究開発への公共支出を 55 億ユーロから 110 億ユーロへと倍増させ, 大規模なパイロットプロジェクトを実施し, 公共に利益のある分野における革新的かつ相互運用可能なソリューション(エネルギーや資源を節約するための ICT, 持続可能な保険医療, 電子政府, インテリジェント輸送システム等)を開発することとしている。また, 中国では情報資源を共有するためのセンターを設置し, 収集したデータの相互の関係付けのためにメタデータの付与や自動分類等の技術開発を行っ

第 7 章 戦略目標

ている。さらに、韓国ではビッグデータを含む研究データの共有とデータ科学を推進する National Scientific Data Center を 2013 年から構築することとなっている。このことから、官民の役割分担と省庁の枠を越えた連携のもと、科学技術分野におけるイノベーションの推進等に向け、分野を超えたビッグデータの利活用を促進するための研究開発が急務となっている。

我が国は、各種センサー情報が発達していること、ハイパフォーマンスコンピューティング、自然言語処理等、世界的に高い研究水準を有する関連研究領域があることや、遺伝子情報等の地域単位での研究が必要な大規模データを扱う領域にも取り組んでいる。このことから、大規模データの活用において、これらの強みが幅広い分野・領域に展開することで、科学技術における共通基盤の強化や産業競争力の強化が可能な環境である。

8. 検討の経緯

文部科学省の研究振興局長の下に設置したアカデミッククラウドに関する検討会においては、平成 24 年 7 月 4 日に提言「ビッグデータ時代におけるアカデミアの挑戦」を取りまとめ、ビッグデータに関する共通基盤技術の研究開発として、ビッグデータ処理の各段階(データ収集、蓄積・構造化、分析・処理、可視化)における基盤技術の研究開発等が必要との方向性や具体的な研究開発事項について取りまとめた。

これを踏まえ、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会情報科学技術委員会(第 77 回、第 78 回)(平成 24 年 7 月 5 日、8 月 2 日)においても、様々な分野における知的活動の成果として生み出されている大量データを効果的・効率的に収集・集約し、革新的な科学的手法により情報処理を行うことにより、新たな知的価値を創造する「データ科学」が重要との共通認識のもと、ビッグデータを利活用するための共通基盤技術の研究開発が必要との見解が示された。

また、科学技術・学術審議会先端研究基盤部会(第 5 回)(平成 24 年 8 月 7 日)で取りまとめられた「数学イノベーション戦略(中間報告)」においては、ビッグデータを有効に活用するための革新的な手法や技術を開発するには、数学研究者は情報科学分野の研究者や各アプリケーション側の研究者と積極的に連携を図るとともに、数学研究者の多様な知見とポテンシャルを最大限活用し、ビッグデータの有効活用において本質や構造を見いだすための共通基盤的技術の構築に向けて取り組むことが重要と述べられている。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

9. その他

本戦略目標を推進するに当たっては、情報科学・数理科学分野とビッグデータの利活用が有効な様々な研究分野の融合により、ビッグデータに関係する研究者に流動的なネットワークを生み出し、新たな人材育成スキームや、イノベーション創出サイクル(常にイノベーションを創出し続ける環境)の構築も目指すことを期待する。

7.18 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

1. 戦略目標名

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

2. 達成目標

「分子技術(物理学、化学、生物学、数学等の科学的知見を基に、分子を設計、合成、操作、制御、集積することによって、分子の特性を活かして目的とする機能を創出し、応用に供するための一連の技術)」の構築を目指し、蓄電デバイス、有機薄膜太陽電池等の分子を用いた超低消費電力・超軽量デバイスの実現や、ドラッグデリバリーシステム、機能性医療材料などの革新的な治療方法の確立等の基盤技術となる以下の技術体系を構築する。

- 「設計・創成の分子技術(精密合成技術と理論・計算科学との協働により、新規機能性物質を自在に設計・創成する技術)」に係る技術体系の構築
- 「形状・構造制御の分子技術(分子の形や構造を厳密に制御することにより、新たな機能の創出に繋げる技術)」に係る技術体系の構築

第 7 章 戦略目標

3. 将来実現しうる重要課題の達成ビジョン

有機ELディスプレイに代表されるように、既に今日様々な部品や機器が分子素材である“ソフトマテリアル”に移行しつつある。これは、低環境負荷、資源制約への対応、そして、高い生体親和性といった人間社会全体の課題に対して本質的な解決策をソフトマテリアル、すなわち、それを実現する「分子技術」が与えることを示唆するものである。

本戦略目標下において「2. 達成目標」に記載した研究成果が得られることで、分子性物質としての機能設計が可能となり、その結果として幅広い社会ニーズの課題解決に適用することが可能となる。関連する学問分野の研究者と産業界との協力体制を構築することにより、第4期科学技術基本計画に掲げられたグリーンイノベーション、ライフイノベーションの推進に向け、例えば、下記の成果が事業終了後5年程度で得られることを目指す。

●『ソフトマテリアルで構成された電子機器』

既存の半導体や金属に置き換わり、導電性制御が可能となる有機材料が電子機器の素材として使用され、低環境負荷の超低消費電力のコンピュータや超軽量携帯情報端末が創出される。

●『超低消費電力かつ資源再利用に対応した太陽電池フィルム』

分子材料を用いた素材原料や製造プロセスの転換による超低コストかつ低環境負荷の太陽電池が創出される。

●『ドラッグデリバリーシステム等を活用した治療』

感知機能や有効成分の放出を調整できる機能を備えた高度な薬物送達(ドラッグデリバリーシステム)の開発や、組織や臓器の再生に必要な機能性医療材料の3次元での構造化などにより、安全で有効性の高い治療が実現する。

上記の他、脱化石資源、高密度二次電池、高度環境モニタリング、低コスト造水・水浄化といった分野での実用化が考えられる。

4. 具体的内容

(背景)分子科学から分子“技術”へ！

近年、例えば、低環境負荷の発電技術として注目されている有機太陽電池の開発では、フラーレンという分子からなる薄膜のn型半導体としての導入が大きな進展に繋がっている。また、創薬の世界では、分子の構造や形状をコンピュータ上で設計することにより、副作用が大幅に軽減され、疾患部をピンポイントで狙う分子標的薬が可能になってきた。

このような成果の背景には、分子科学という基礎的学問が存在する。従来の分子科学では、自然界を観察し、探索することによって、様々な分子を発見・解析し、天然の分子を人工的に模倣することで、同様の機能を得てきた。しかし近年の新たな流れとして、コンピュータの急速な性能向上や測定・解析技術等の著しい進展に伴い、自然界にモデルを求めずとも、目的とする機能を設計し、それに合った物質を得るという研究開発事例が見出されるようになってきた。

これらの状況を踏まえ、本戦略目標では、「分子技術」を開発することによって、環境・エネルギー技術や情報通信技術、医療技術等を下支えする一連の材料創製技術に対し、抜本的なブレークスルーをもたらすことを目指すものである。

(研究内容)ライフイノベーション、グリーンイノベーションに共通する基盤技術の確立へ！

本戦略目標では、グリーンイノベーション、ライフイノベーションに関わる革新的成果を創出するために、個別応用課題の研究開発とは“別”に様々な分野への展開が可能な「分子技術」を確固たる土台として築いておくことで、個別施策の研究開発や異分野融合が加速されることを目指す。「分子技術」の研究開発においては、従来の化学や物理学、生物学、数学といった学術分野単独の知見では推進が困難であり、応用課題上のボトルネックを共通の課題として、分野融合的なアプローチにより、それを克服する体系を構築することが重要である。本戦略目標では、「分子技術」を、分野横断的な「設計・創成の分子技術」、「形状・構造制御の分子技術」、「変換・プロセスの分子技術」と、具体的な応用分野を見据えた「電子状態制御の分子技術」、「集合体・複合体制御の分子技術」、「輸送・移動制御の分子技術」からなる6つの要素技術からなるものと捉え、特に、最も根本的な「設計・創成の分子技術」と、「形状・構造制御の分子技術」に重点を置くこととする。以下、具体的な研究開発課題の例を挙げる。

●設計・創成の分子技術

第 7 章 戦略目標

設計・創成の分子技術とは、新規機能性物質を自在に創成することを目指す技術である。すなわち、従来型の勘と経験に大きく頼る手法から踏み出し、合成と理論解析が密接に協力し、目的とする機能を持つ物質を思うがままに設計し、合成する指導原理を与える技術である。

(研究開発課題例)

- － 機能から分子を創出するための理論創成とシミュレーション技術の開発
- － 分子構造の予測を可能にする分子デザイン手法の開拓
- － 機能設計・予測に基づく精密合成法の開発
- － 分子性物質の高純度精製法の開発

●形状・構造制御の分子技術

形状・構造制御の分子技術とは、分子配列、分子集積、自己組織化等に基づいて創成される分子レベルのナノ構造から、実用材料を構築するための 1 次元、2 次元、3 次元のマクロ構造を自在に創成する技術であり、分子の形や構造を厳密に制御することにより、新たな機能の創出に繋げるための技術である。

(研究開発課題例)

- － 自己組織化等ビルドアップ及びトップダウン手法による空間空隙構造形成技術
- － ナノからマクロ構造への規模拡大技術
- － マクロ構造を持つ材料における物理的諸現象の観測・解析技術
- － 計算機シミュレーションによるマクロレベルの構造・機能の設計・解析

5. 政策上の位置付け(政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等)

「分子技術」によって創出されるソフトマテリアルは、21 世紀の課題である低環境負荷、省エネ・省資源、低コスト、人間・社会との親和性等に 대응する多様な能力を備えている。これらを実現する「分子技術」を、国の基盤技術として確固たるものとするのが、本戦略目標の最大の目標である。「分子技術」が生み出す高付加価値産業は、我が国の経済発展を支えるとともに、世界の環境・エネルギー問題、安全・安心、医療・健康問題等の解決に大いに寄与することが期待される。

「第 4 期科学技術基本計画」(平成 23 年 8 月 19 日閣議決定)では、産業競争力の強化に向けた共通基盤の強化のため、「付加価値率や市場占有率が高く、今後の成長が見込まれ、我が国が国際競争力のある技術を数多く有している先端材料や部材の開発及び活用に必要な基盤技術、高機能電子デバイスや情報通信の利用、活用を支える基盤技術など、革新的な共通基盤技術に関する研究開発を推進するとともに、これらの技術の適切なオープン化戦略を促進する」こととされ、また、領域横断的な科学技術の強化に向け、「先端計測及び解析技術等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」こととされている。さらに、「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について<中間取りまとめ>」(平成 23 年 7 月 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会)においては、「国際的な優位性を保持するためには、革新的な技術の開発が不可欠であることから、社会的課題を設定する際に把握可能な技術のみに重点化するのではなく、中長期的観点から、潜在的可能性をもつ技術の創出に向けた研究開発等の取組も推進すべきである」とされ、課題解決に向けた重点研究開発課題である「物質材料設計及び制御技術」の一つに分子技術が取り上げられている。

6. 他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

これまで、「太陽電池」や「蓄電池」、「創薬」といった出口テーマ毎に分かれて課題を解決しようとする施策が主流であった。しかしながら本戦略目標では、様々な分野において共通してボトルネックとなっている技術的課題を、「分子技術」という横断的技術概念で捉え直し、多様な分野の研究者が協力して研究に取り組むことを意図している。「分子技術」は、我が国がこれまで長年に渡って積み上げてきた基礎科学の成果を発展的に再編し、これまでにはない新たな技術体系を構築するものである。「分子技術」を展開・体系化する過程においては、物理学、化学、生物学、数学の基礎分野のみならず、ナノテクノロジー、情報技術、バイオテクノロジー等の工学分野の寄与が不可欠であり、これらの学問領域での融合が求められるとともに、各種の技術を複合的に活用することが必要となるため、材料設計技術やプロセス技術といった技術レベルでの融合も必要となるものである。

また、平成 24 年度に設定する戦略目標「環境、エネルギー、医療等の課題対応に向けた触媒による先進的な物質変換技術の創出」において、物質変換のための新しい触媒開発を開始することとしているが、当該

第 7 章 戦略目標

技術は、「分子技術」を確立する上でも重要な要素技術である「変換・プロセスの分子技術」を補完するものとなり得ることから、必要な連携を図ることが求められる。

7. 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

本戦略目標は、我が国が環境・エネルギー問題、医療・健康等に関する諸問題の解決に率先して貢献するための新たな材料技術戦略である。我が国はナノテクノロジー・材料技術に基づく部素材産業が強く、なかでも本戦略目標に掲げる「分子技術」については強さを保持している。例えば、ディスプレイ製品の中に用いられる分子性物質の多くの市場占有率は、日本が国際的にも圧倒的である。この新しい技術分野の基礎を学問的に深化させて、より革新性を高めるための戦略的かつ総合的な研究投資はまだ国内、海外ともに実施されておらず、我が国が先駆けて推進することにより、世界をリードできる可能性がある。

8. 検討の経緯

科学技術振興機構 研究開発戦略センター(CRDS)において、平成 20 年 7 月に「物質・材料分野俯瞰ワークショップ」が開催され、ナノテクの成果、融合の効果、今後の課題について、議論が交わされ、「分子技術」という概念を確立することが提案された。平成 21 年 12 月には、「分子技術」が今後我が国にとって重要な基幹的技術に成り得るかどうかを専門家間の集中議論によって検証するとともに、今後の方向性や具体的な研究開発課題を抽出する目的で、「科学技術未来戦略ワークショップ『分子技術』」が開催された。ワークショップにおける議論を踏まえ、今後重点的に推進すべき研究領域、課題等について更なる検討が行われ、平成 22 年 3 月に戦略イニシアティブ「分子技術“分子レベルからの新機能創出”～異分野融合による持続可能社会への貢献～」がとりまとめられた。

以上の議論も踏まえ、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会が平成 23 年 7 月に中間とりまとめを行った「ナノテクノロジー・材料科学技術の研究開発方策について」において、課題解決に向けた重点研究開発課題である「物質材料設計及び制御技術」の一つに分子技術が取り上げられた。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて作成したものである。

9. 留意点

「分子技術」の開発には、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環境が必要である。また、本戦略目標の成果を「分子技術」の構築に向けて発展させていくため「分子技術」を前競争領域における共通基盤技術として捉え、つくばイノベーションアリーナ等、産学官協働のための「場」を積極的に活用することが重要である。