

アカデミック・ビッグデータ活用研究拠点の形成

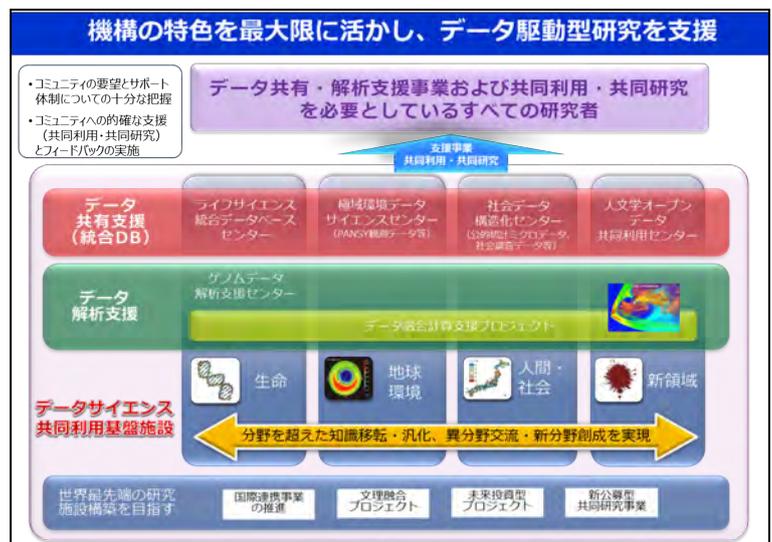
① 計画の概要

観測・計測技術の進展と情報通信技術の飛躍的発展によって、多くの研究現場で大量・大規模データが出現し、それまでの理論・実験・計算に加えて、データ駆動型という新しい研究アプローチが確立しつつある。本研究計画は、情報・システム研究機構の強みと特色を最大限活かしつつ4研究所が協力して、データサイエンス共同利用基盤施設（以下、基盤施設と呼ぶ）を設置する。基盤施設において、大学・研究機関が世界最先端のデータサイエンスを実施するために必要な支援事業を推進することであらゆる学術研究分野へのデータサイエンスの浸透を実現し、我が国の大学全体の研究力を飛躍的に強化することを目的とする。基盤施設では、研究データの公開・共有を支援するデータ共有支援事業と大規模データからの科学的発見や知識獲得のための高度データ解析を支援するデータ解析支援事業の2種類の支援事業を推進する。データ共有支援のために4つの支援センターを設置し、それぞれが、生命科学分野、極域環境分野、社会科学（公的統計マイクロデータ等）分野、人文学分野の各領域での統合的データベース化と共有の支援を行う。また、データ解析支援に関しては、ゲノムデータ解析支援センターを設置して、高度な大規模ゲノム解析支援を実施する。また、統計数理研究所のデータ同化研究開発センターにおいては、広範な分野のデータ同化などのデータ融合計算支援を実施する。

本研究計画において、プロジェクト型研究ではなく、データ共有、データ解析の支援を俯瞰的・領域横断的に実施することによって、データ共有技術やデータ解析技術の汎用化・高度化や水平展開を可能とし、さらに異分野間の知識移転のハブとしての役割を果たすことができる。また、支援事業推進にあたっては、機構本部に設置する戦略企画本部において、IR、研究動向調査、大学研究者の希望調査等を実施し、研究者の要望が高い支援事業を推進する。

② 目的と実施内容

観測・計測技術と情報通信技術の飛躍的発展により多くの研究現場で大量・大規模データが出現し、それまでの理論・実験・計算に加えて、データサイエンスとオープンサイエンスという大きな可能性を秘めた研究スタイルが出現しつつある。ただし、現実には、多くの研究分野において大量・大規模なデータが生産・収集されながら、データの共有に関しても大規模データの活用についても十分に進展していない状況である。本研究計画では、このような状況を打開するために、基盤施設を設置してデータ共有及びデータ解析の支援事業を推進し、あらゆる学術研究分野へのデータサイエンスの浸透を実現し、我が国の大学全体の研究力を飛躍的に強化することを目的とする。



基盤施設には5つの支援センターを設置する。生命科学分野では、全国のDBのRDF(Resource Description Framework)による統合化を引き続き推進するとともに国際標準化を目指した活動を行い、さらにセマンティクスを重視した統合化を行う。極域環境分野では、現在のPANSY観測データ公開に加え、年次計画に沿って超高層大気、生物多様性、気象・大気・海氷、測地等のDB化および公開を推進する。社会科学分野では、公的統計マイクロデータの公開事業を推進するとともに、社会調査データのDB化および公開を実施する。人文学等に関しては、資料のデジタル化を推進する。

データ解析支援に関しては、高度なゲノムデータ解析および広範な領域におけるデータ同化計算の支援事業を展開する。さらに基盤施設では、国際連携事業、文理融合研究プロジェクト、より高度な解析技術やデータ共有技術の開発を目指す未来投資型の研究プロジェクトなどの戦略プログラムを推進し、データサイエンスに関する世界最先端の研究施設構築を目指す。

さらに、上記の研究開発現場でデータサイエンス研究推進に不可欠なT型・Π型研究者およびキュレーター等の人材育成を推進する。

③ 学術的な意義

本研究計画では、既の実績がある生命科学分野を端緒として、俯瞰的な視野の下で極域環境分野、社会調査・公的統計分野、人文学分野へデータ共有化支援事業を拡大していく。また、今後は共有化された大規模データの有効活用が科学的発見や社会のイノベーションの鍵となるので、データ共有支援と同時に、共有可能となった大規模統合データベースからの発見・予測・シミュレーション・知識獲得を実現するための、データ解析支援事業も推進する。これによって、各領域のデータ共有と高度解析を実現することとどまらず、研究領域を超えたビッグデータ活用を可能とするものである。

本研究計画において、データ共有と高度データ解析の支援事業を、分野を跨ぎ俯瞰的に推進することによって、分野を超えた知識移転や汎化による技術的高度化が実現できるだけでなく、異分野交流や新分野創成の契機ともなることが期待される。

このように、多分野が連携しつつ大学研究者の研究・教育を支援することは今後の学術の発展に大きなインパクトを与えることが期待でき、極めて大きな学術的意義がある。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国では2012年3月にオバマ大統領が発表したビッグデータ・イニシアティブに基づき、政府系研究機関を通じたビッグデータの研究開発が本格的に行われている。その一環として、全米4地域にNSF BD Hubが設けられ、各Hubの下にSpokeを設置してエネルギー、金融、環境、農業、健康、医薬等の研究開発を分担して推進している。また、民間財団も連携して3大学（UW, UCB, NYU）におけるデータサイエンスを支援している。欧州では、Horizon2020の一環としてビッグデータ関連事業を支援している。このような動きを受けて欧米では、平成25年以降データサイエンスの研究組織および教育プログラムの立ち上げが急速に進んでいる（平成28年2月現在の調査では、研究組織25、教育プログラム505）。

我が国では、ようやく平成28年度から次世代の人工知能技術の研究開発の一環としてAIP（人工知能/IoT/ビッグデータ/サイバーセキュリティの統合プラットフォーム）が設立された段階であり、ビッグデータ活用に関して我が国の学術研究を支援し推進するための十分な仕組みは未だ構築できていない。

⑤ 実施機関と実施体制

機構に平成28年に新設する基盤施設において本事業を推進する（中期計画に記載）。基盤施設にはデータ共有支援事業およびデータ解析支援事業のために、5つの支援センター（ライフサイエンス統合データベースセンター、極域環境データサイエンスセンター、社会データ構造化センター、人文学オープンデータ共同利用センター、ゲノムデータ解析支援センター）を設置し、また、統計数理研究所データ同化研究開発センターをはじめとする機構内研究所と連携して事業を推進する。さらに、IR、国際研究動向調査、大学等の要望調査に基づき機構の戦略企画本部が策定する共同利用戦略に沿って施設の運営を行うとともに、国際交流事業、戦略的研究プログラム、公募型共同利用を実施する。

⑥ 所要経費

総経費76億円（平成28年度：7億円、平成29～33年度：毎年度13.8億円）

平成28年度

データ共有支援 2.9億円、データ解析支援 0.7億円、戦略プログラムほか 3.4億円 合計 7.0億円

平成29～33年度（各年度）

データ共有支援 7.0億円、データ解析支援 2.4億円、戦略プログラムほか 4.4億円 合計 13.8億円

⑦ 年次計画

平成28年度：

- ・基盤施設を新設し、ライフサイエンス統合データベースセンター、社会データ構造化センター、ゲノムデータ解析支援センターを設置することにより、基盤施設のデータ共有、データ解析支援事業を順次開始。
- ・戦略プログラムの制度設計を行い、事業を開始するとともに、データサイエンスの公募型共同研究の制度設計を行う。

平成29年度：

- ・極域環境データサイエンスセンターおよび人文学オープンデータ共同利用センターを設置し、支援事業を開始。
- ・前年度までに開始した支援事業および戦略プログラムの内容を充実させつつ、引き続き実施（平成30年度以降も同様）。
- ・データサイエンスの共同研究の公募を開始するとともに、文理融合プロジェクトを本格的に開始。

平成30年度：

- ・未来投資型プログラムをセンター化するため、準備室を立ち上げ検討。また、国際戦略アドバイザーからの戦略提示や国際ワークショップの結果等を反映して、海外ネットワークの強化充実と新たな構築を図る。

平成31～33年度：

- 31) 戦略企画本部において平成28～30年度までの中間評価を行い、評価結果に基づき支援事業、共同利用体制の改善を実施。
- 32) データサイエンス共同利用の世界拠点として、海外研究機関との連携による国際共同研究の公募と事業推進を行なう。
- 33) 他機構等とも連携し、データサイエンス分野において、学術基礎研究から戦略基礎研究、イノベーションを目指した応用研究までの総合研究体制構築を検討する。

⑧ 社会的価値

ビッグデータの出現によって、医療や販売における個別化対応、社会インフラのスマート化、防災、データ集約型産業などにおいてデータの有効活用は急務となっている。また、ビッグデータを活用した地球環境や社会システムの客観的な現状理解や予測・シミュレーションは、科学的根拠に基づく政策決定にも必須である。

このような社会イノベーションを実現していくためには、データのもつ価値を最大限引き出すために、データの共有化を実現し、さらに大規模データから有益な情報や知識を獲得することが必要である。欧米においてはビッグデータ活用のための研究組織や教育体制の整備がこの数年急速に進展しており、我が国においても直ちに対応することが必要である。このような動きはあらゆる分野に関連するため、個別領域毎での対応では不十分であり、本研究計画のような、俯瞰的・横断的な取組が極めて有効かつ重要であり、本計画には大きな社会的価値がある。

⑨ 本計画に関する連絡先

北川 源四郎（大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構）

分子ロボティクス・イニシアティブ

① 計画の概要

本計画では、さまざまなデバイスを分子レベルで設計し、さらにそれらを組み合わせて自律的なシステムを構築する学術分野「分子ロボティクス」の発展のため、世界最先端研究を先導する研究ネットワークを形成し、応用展開のベースとなる分子ロボットの標準プロトタイプを開発するとともに、分子ロボットの応用を目指す研究者・技術者に対して様々な開発支援サービスを提供する。

現在、DNA などのプログラマブルな生体高分子を材料とする分子ナノテクノロジーが目覚ましい展開をみせており、すでに数万塩基の配列を設計して、複雑な形状の分子の創成や、分子間反応を利用した各種の情報処理が可能になりつつある。分子ロボティクスではこれらのデザインされた「分子パーツ」を集めてシステム化し、生物をも凌駕するような機能をもつ人工分子システムを構築することを目的とする。分子ロボットは、その構成要素が分子にまで極小化された究極の人工システムであり、その応用の可能性は計り知れない。

分子ロボティクスは我が国が世界に先駆けて提唱した学術分野である。分子デバイスを自在に操り、その自己組織化能力も最大限に活用してシステムを構築するためには、化学をはじめとする物質科学の知識に加えて、情報学の原理と技術が必須であり、実際にこの分野は情報学とその関連分野であるシステム工学やロボット工学の研究者が牽引してきた。たとえば分子ロボティクスの根幹にある高分子の配列設計技術はその典型例であり、情報学的なアプローチなくしては考えられないものである。本計画では分子ロボティクスのこれまでの成果をもとに、素材分子を DNA から RNA、ペプチドや人工高分子などさまざまな非 DNA 分子に広げ、応用を目指す研究者・技術者に対しても開かれた研究開発環境を提供することで、これらの分子デバイスを統合し、汎用性の高い「システムレベル」の分子ナノテクノロジーを実現する。

② 目的と実施内容

本計画の目的は、「分子ロボティクス」の発展のため、世界最先端研究を先導する研究ネットワークを形成し、分子ロボットの標準プロトタイプを開発するとともに、分子ロボットを応用しようとする研究者・技術者に対しても様々な開発支援サービスを提供することである。

1) 研究ネットワーク形成と運営体制

各拠点をシステム・情報系の研究者が先導する研究組織として、標準プロトタイプ分子ロボットの開発に臨む。多様な分野から結集する研究者が緊密に連携することのできる風通しのよい研究環境として、分子設計環境、シミュレーション環境や実験結果を共有するための「クラウド研究環境」を構築する。また、必要に応じて研究者を公募し、オールジャパン体制で分子ロボティクスの研究ネットワークをつくる。

2) 分子ロボットの開発支援サービスの提供

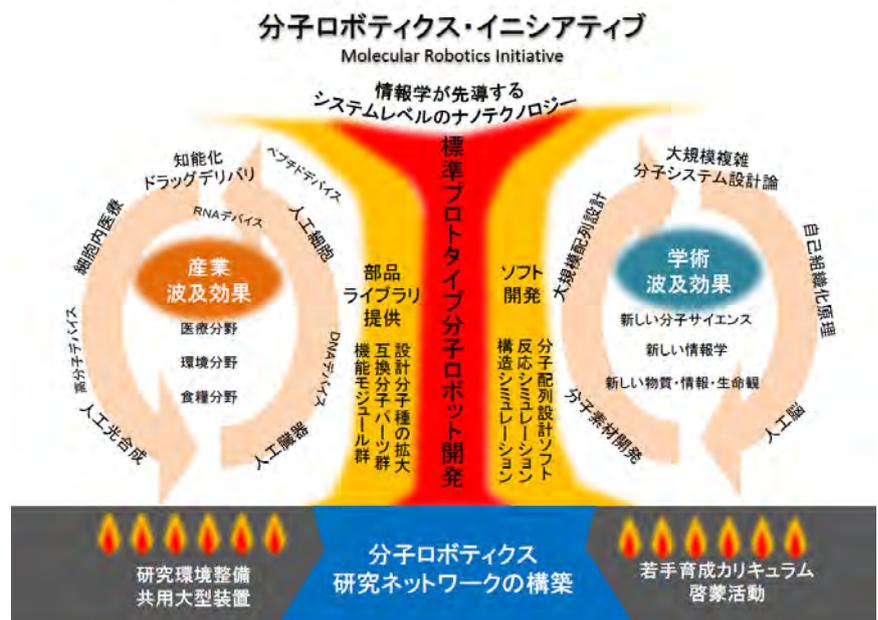
- i) ソフトウェア開発と設計支援サービス：分子設計ソフトウェアとシミュレーションソフトウェアの開発を専門に行う組織を置き、開発したソフトを利用する研究者・技術者に設計支援サービスを提供する。
- ii) 分子パーツライブラリの整備：標準プロトタイプ分子ロボットを基本として、組み合わせやすい（互換性のある）分子部品群をライブラリとして整備し、分子ロボットの応用を目指す研究者・技術者に提供する。
- iii) 大型共用装置と研究環境整備：分子ロボティクス研究に不可欠である透過型電子顕微鏡（TEM）等の大型装置を共用装置として中核拠点に整備し、各拠点においても研究設備の拡充を図る。

3) 若手研究者の育成と啓蒙活動

分子ロボティクスでは、関連諸学の広くかつ深い理解が必要とされるため、研究ネットワーク全体で教育カリキュラムを構築し、若手や初学者の学習を支援する。また、分子ロボティクスの啓蒙普及のため、広く社会へ向けた情報発信を行う。

③ 学術的な意義

分子ロボティクスにより、化学的なシステムにより実現できる機能の階層は、個別の分子レベルからシステムのレベルに上がる。分子ロボティクスをオープンに発展させることで、さまざまなニーズをもつ研究者・技術者が、提供される分子パーツ群をシステムとして自在に統合



可能になり、多様な応用を試すことができる。たとえば、ドラッグデリバリーに分子ロボティクスを応用する場合、体内の生化学物質の濃度や活性を入力情報として診断を行い、その結果に応じて適切な薬物の組み合わせを放出するマイクロカプセルが実現できる。あるいは、細胞内外の物理化学環境や細胞間の相互作用に応じて iPS 細胞の分化を制御する分子ロボットも可能になる。さらに、電場や磁場に応答する分子デバイスを組み込んだ人工神経細胞ロボットと半導体デバイスの組み合わせにより自己組織化・学習能力をもつ新しい原理の非ノイマン型コンピュータが構築できる可能性もある。このように、分子ロボティクスは、様々な機能分子をシステム化することのできる技術であり、あたかも生物の進化におけるカンブリア爆発のように、実現できる機能の爆発的拡大をもたらすと考えられる。

学術的には、分子ロボティクスは化学および生物学関連分野とシステム工学や情報学などの工学関連分野の学際領域にあり、これらの分野に対して研究手段あるいは応用の場を提供することで、きわめて広範な影響を及ぼすと考えられる。このような分子ロボティクスの大きな波及効果については、日本化学会の策定した「30年後の化学の夢ロードマップ」やJST-CRDS 俯瞰報告書にも取り上げられ、各種の生体計測・医療への応用と細胞との融合、人工細胞の実現などが予想されている。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

1980年代にはじまったDNA ナノテクは、DNA オリガミの発明を契機に飛躍的に研究者人口が増え、欧米を中心に急速に進展している。分子形状のデザインや分子計算の原理を検証する段階を越え、どこまで複雑なシステムを作れるかという大規模化・高機能化へ研究の前線が移ってきている。分子ロボットは、その構成要素が分子にまで極小化された究極の人工システムであり、テクノロジーの根幹の革新をもたらすものとして、その注目度は極めて高い。

わが国においても、新学術領域「分子ロボティクス」を中心に活発に研究が行われている。そこではDNA ナノテクに加えて、核酸化学、高分子化学、生物物理学、機械工学など、幅広い分野の研究者が結集して、多様な分子材料のシステム化を目指している点に特色がある。本研究計画の提案は、この強みを生かし、情報学的原理と技術を駆使して無限の分子配列空間を自在に操ることにより、大規模かつ複雑な分子システムの構築を目指す。

⑤ 実施機関と実施体制

中核拠点機関：東北大学（全体の統括、クラウド研究環境・分子ライブラリ・共用設備の管理運営）

拠点機関：東京大学、大阪大学、名古屋大学、東京工業大学、九州大学、九州工業大学、京都大学、北海道大学、北陸先端大学、関西大学、鳥取大学、産総研（反応系設計、高分子設計、設計支援、分子設計ソフト・シミュレータ開発、DNA・RNA デバイス開発、MEMS 開発、核酸化学、ペプチド工学、細胞・生体分子応用）

⑥ 所要経費

総経費 100 億円：内訳 人件費 30 億円（特任准教授・助教・PD×23 名×10 年、計測技術員 3 名×10 年、ソフトウェア外注費）、大型測定装置等整備費 20 億円（TEM, CryoEM 等とその維持費、研究環境整備、設計支援クラウド構築（1000 ノード GPU マシン））、経常経費 50 億円（スペース課金、事務経費、旅費等、消耗品費（含ライブラリ整備費）×10 年）

⑦ 年次計画

第 I 期（3 年）：第 I 期においては、まず、中核研究拠点、各研究拠点の研究者体制および設備の拡充を行い、分子ロボット開発のベースとなる DNA を主な分子材料とする「標準プロトタイプ」を開発するとともに、その主要パーツの供給体制を確立し、応用を目指す研究者・技術者に公開する。また、分子設計やシミュレーションのためのソフトウェアについて、継続的な開発ができる体制を確立し、これらのソフトウェアを使った設計支援体制を整える。これらの基盤構築により分子ロボットの応用を目指す研究者・技術者に対する導入障壁を下げ、応用開発への流れを作る。

第 II 期（4 年）：第 I 期で開発された標準プロトタイプに加えて、非 DNA 素材に設計可能な分子種を拡大し、順次 RNA、ペプチド、高分子等を素材とする互換分子パーツ群の供給を開始する。分子設計、合成、シミュレーションなど各方面から、具体的なニーズをもった研究者・技術者の応用システム開発を支援する。あわせて拠点外にも研究公募を行い、手薄な分野の補強や応用に向けた技術の多様性を確保する。

第 III 期（3 年）：第 II 期の事例をもとに、特に有用性・汎用性の高い機能を抽出し、機能モジュールとしてパッケージ化することで、高度な機能をもつ分子システムの実装を効率的にできるようにし、研究者・技術者の本格的な応用へ向けた大規模なシステム開発を支援する。プロジェクト全体として得られた知見を分子ロボティクスの技術体系としてわかりやすくまとめ、さらに次の段階への橋渡しとする。

⑧ 社会的価値

DNA, RNA, たんぱく質など生体を構成する分子は、いずれも配列をもつ高分子であり、その配列を改変することで生物は驚くべき進化を遂げた。この原理を人工的に応用するのが DNA ナノテクであり、それを体系的、階層的にスケールアップしようとするのが分子ロボティクスである。ここでは、ケミストリーが扱う分子そのものの性質や分子間の相互作用ももちろん重要であるが、無限ともいえる配列の組み合わせをいかにして望みの機能を持つように最適化するかという情報の観点がより本質的であり、情報学の原理と技術なくしては成立しえない。生物が 30 億年の時間をかけて試行錯誤で進化したのに対し、合理設計で分子レベルからシステムを構築する分子ロボティクスのインパクトは大きく、人工物のありかたの根本的な見直しにつながるものである。本計画の目標は、分子ロボティクスの基盤を確立することで、新しいテクノロジーを担う人材を育成し、新しい産業の創生へ向けた流れを生み出すことにある。こうしたシステムレベルのナノテクノロジーは、限界が近いといわれるシリコン半導体にかわって次世代の産業基盤となる可能性が高く、国を挙げた取り組みが望まれる。

⑨ 本計画に関する連絡先：村田 智（東北大学大学院工学研究科）

高感性情報科学技術の高度化とそれに基づく学術情報基盤の構築

① 計画の概要

情報通信技術の急速な進歩に伴い、伝達可能な音声や映像データの量は日々増加している。このような量的発展を礎として、第5期科学技術基本計画にうたわれている超スマート社会実現への貢献をはじめとして情報通信技術の質的な向上への期待がますます高まっている。その方向のひとつが、我が国が誇るマルチメディア・マルチモーダル情報コンテンツ、メディアアート等の分野のさらなる向上を図ることであることは明確である。

本研究計画では、臨場感に代表される高次感性情報を自由に操作し、表現、評価する情報科学技術の基盤を確立する。さらに、その基盤技術を、コンピュータとネットワークという従来の情報基盤に加わる第3の情報基盤とすることを目指す。具体的には、(1) 臨場感や迫真性、自然性など様々な感性を生み出す上で重要である、視覚、聴覚、触覚、身体運動感覚等の個別感覚モダリティ情報の取得・提示基盤の構築、(2) 超高臨場感をはじめ極めて高い感性を生成する際に強い相乗効果が期待できる複数感覚情報（マルチモーダル感覚情報）を時空間同期に留意して取得・提示する基盤の構築、(3) 超高臨場感の知覚・認知と取得・提示に関する科学と関連技術の高度化、(4) 超高臨場感の操作、共有、表現に関する科学と関連技術の高度化、(5) 情報基盤としての構築、試行を行って関連研究者のネットワーク構築をはかり、それに基づく広汎な研究の推進、に取り組む。

② 目的と実施内容

・高感性情報基盤構築の基礎となる設備の導入と研究の推進 SINET 上に参画機関をむすぶマルチモーダル空間共有システムを構築。その上に、高次感性情報を自由に操作、表現、評価する技術基盤確立に必要な知見の蓄積と基盤技術の開発を行う。

・高感性五感情報基盤の構築 単純な形、パターン、動き等に加え高い感性を含めて知覚しうる技術基盤の構築と、関連研究者のネットワーク構築に取り組む。これは、研究や社会が生み出す膨大な情報を従来の可視化を超え、五感情報として人間の力を全て発揮して俯瞰、体験することを可能とするもので、コンピュータとネットワークという従来の情報基盤を超スマート社会に対応させるための第3の情報基盤と考えられる。

③ 学術的な意義

日本の現状と将来を考えたとき、情報通信技術（ICT）の量的進展を、Japan Cool と称され極めて高い評価を受けているメディア情報技術の質的深化につなげることが極めて重要であり、高感性情報の知覚・認知、取得・提示、表現技術を圧倒的に高度化することは、臨場感、迫真性、自然性など幅広い高次感性情報を実現するための情報学的基盤として必須である。

本提案は人間の感性メカニズム自体の深い理解と、それに基づいて、メディア技術を中心とした情報科学技術を進展させることを中心課題にすえている。そのため、メディア情報学、知覚情報学を中心とした情報学の全体領域の発展に寄与しうる。

本提案は、心理学・社会学・工学・脳科学・芸術といった様々な分野の研究者の結集により、多面的、学際的かつ統合的推進を目指している。そのため、本研究提案自体が、人々の感性や心の豊かさの増進に資する新たなデジタル空間文化の創造に関する、情報学をはじめとした上述の広い学術分野群に直接的波及効果を持っていると考えられる。また、本提案は、人間同士、あるいは人間と機械の間のコミュニケーションに関する新しい学術的知見の集積・深化と、技術の創出・構築を目指していることから、教育学や医学などコミュニケーションや人間に関わる極めて広い分野への高く広い波及効果が期待できる。

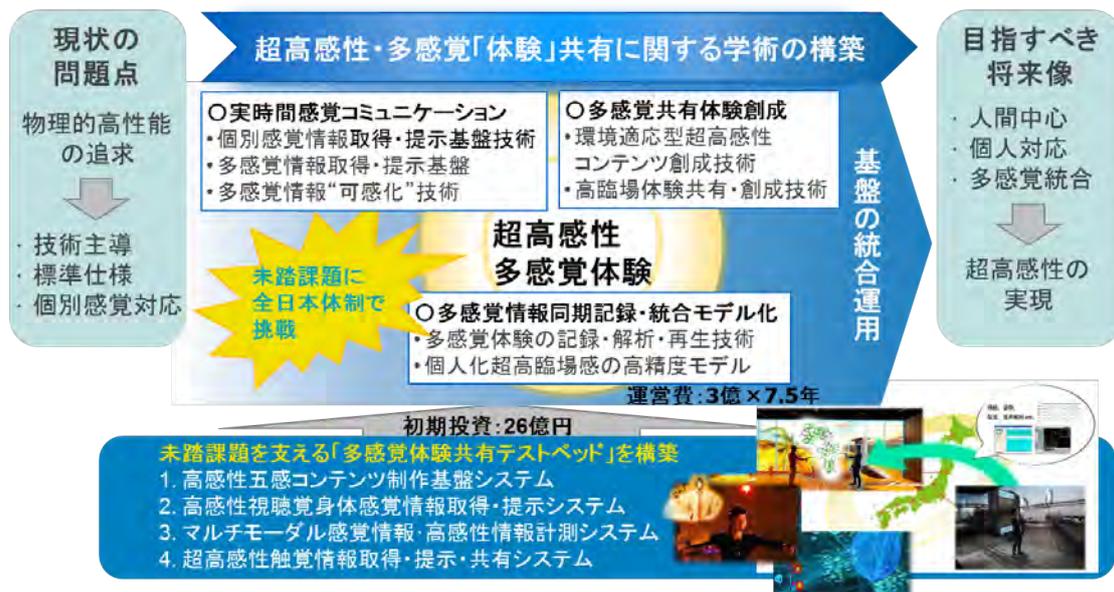


図 本研究計画に関する現状の問題点と、構築すべき学術、目指すべき将来像

以上のように、本提案の実現と展開により Japan Cool と称され現在でも日本が大きな強みを持つメディア技術と、それを取り巻く学術の水準を大きく向上させる。これにより、人々の感性や心の豊かさの増進に資する新たなデジタル空間文化に関する広い学術分野の水準の大幅な向上と、芸術・文化の水準をさらに高めるうえで高い貢献が期待できる。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本研究に深く関連する国内の領域研究の大型プロジェクトがいくつかあるが、今後の情報技術のあり方を考えたとき感性科学技術の深化と文化・芸術とのつながりを考えるのは極めて重要であるところ、上記以外ではこの点あまり意識されていない。世界的にみると、韓国では、Cultural Technology とのコンセプトを掲げ、国内の文化的コンテンツ産業を将来の国家的基盤産業と位置づけ、さまざまな分野の融合による研究を推進している。同様な試みは、KAIST (韓国)、NTUA (台湾)、ヘルシンキ工科大学 (フィンランド)、シドニー大学 (豪州)、IRCAM (仏)、EU の FP7 でも盛んになされつつある。米国では、SIGGRAPH を始めとする学会でインタラクティブ技術の研究が活発に議論されている。またディズニー社が、次世代のエンタテインメントのための要素技術を構築するための情報系技術の研究所を設立するなど力を入れ始めている。

⑤ 実施機関と実施体制

- ・東京大学 (情報学環/情報理工学系研究科) メディア技術とコンテンツ技術を俯瞰的に捉え、視覚、聴覚・触覚から味覚・嗅覚に至る五感を駆使した高感性メディア技術とコンテンツ制作基盤技術を並行して研究開発し、総合的学術基盤を体系化
- ・東北大学 (電気通信研究所=共同利用・共同研究拠点) 聴覚・前庭感覚を総合した 3 次元空間情報センシング技術と、聴覚を含むマルチモーダル感覚情報による情報提示技術を研究開発し、高次感性情報に関する総合的な学術基盤を体系化
- ・大阪大学 (サイバーメディアセンター=共同利用・共同研究拠点) マルチモーダル感覚情報および高次感性情報計測システムと、高感性視聴覚情報提示装置に関する研究開発を推進し、高次感性情報の計測及び評価学術基盤を体系化
- ・立命館大学 (情報理工学部) 対象物の形状や質感等の触覚情報取得技術と提示技術を開発、遠隔多地点で手指動作等の触覚を高い感性と共に共有する情報環境に関する研究を推進して、触覚を中心とする高次感性情報に関する学術基盤を体系化
- ・情報通信研究機構 (脳情報通信融合研究センター、電磁波研究所) 脳活動計測・心理物理計測等による臨場感・快適感等の知覚・認知機序の解明と関連技術に関する研究を推進し、高次感性の生体情報処理と表出技術に関する学術基盤を体系化

⑥ 所要経費

総額：48.5 億円

○初期投資：26 億円

- ・高感性五感コンテンツ制作基盤システム (8 億円) 五感 (視覚・聴覚・触覚・味覚・嗅覚) を駆使したメディア情報の極高臨場感提示基盤と、コンテンツ制作用センシングスタジオ、五感情報の高速データベースで構成
- ・高感性視聴覚身体感覚情報取得・提示システム (6 億円) 前庭感覚を総合した 3 次元聴覚情報と対象者の位置や運動の高精度センシング装置と、身体感覚を含むマルチモーダル感覚情報の高精度な 3 次元ディスプレイで構成
- ・マルチモーダル感覚情報・高感性情報計測システム (7 億円) 音声、表情、身体運動、心拍、呼吸、脳機能等のマルチモーダル情報を計測・解析して情緒等の高次感性を推定する装置と、高次感性に基づく作業支援システムで構成
- ・超高感性触覚情報取得・提示・共有システム (5 億円) 対象を操作する両手指動作の触覚パラメータを実時間で抽出、再生・3 次元可視化する装置と遠隔多地点で触覚を共有する遠隔触覚協働システムで構成

○運営費等：22.5 億円 (3 億円×7.5 年)

設備保守費：1.2 億円/年、消耗品費：0.6 億円/年、人件費：1.2 億円/年

⑦ 年次計画

計画年度：平成 29 年度～36 年度 (7.5 年間)

- ・平成 29～33 年度：システム基盤構築 (計画推進の基盤となる、高感性システム群の構築を行う。)
- ・平成 30～34 年度：基盤技術構築 (五感、前庭感覚、体性感覚等の個別感覚に関する超高臨場感取得・提示基盤技術を構築。併せて、2 つ以上の感覚が組み合わされたマルチモーダル感覚情報に関する高感性情報の取得・提示基盤技術を構築。)
- ・平成 31～35 年度：高次感性の知覚・認知と取得・提示に関する研究 (超高臨場感の知覚・認知過程を解明するための研究を推進。併せて、各種の個別感覚情報とマルチモーダル感覚情報の先進的センシングと提示に関する科学技術研究を推進。)
- ・平成 32～36 年度：高次感性の操作、共有、表現に関する研究 (高次感性情報をインタラクティブに共有・活用する科学技術研究を推進。併せて、メディアアート表現法を拡張する研究と、それを用いた新しいメディアアート表現・制作を推進。)
- ・平成 33～36 年度：開発技術の学術情報基盤化に関する研究 (膨大な情報を五感情報として俯瞰、体験しうる情報環境を構築。超スマート社会に向け、サイバー空間と実空間をシームレスにつなぐ新たな学術情報基盤とするための研究を推進。)

⑧ 社会的価値

本研究計画は、Japan Cool と称され現在でも日本が大きな強みを持つデザイン、デジタルコンテンツ、メディアアートに関する学術、技術、学芸の水準を大きく向上させるものであり、第 4 期科学技術基本計画にうたわれていた国民生活の豊かさ向上と、第 5 期科学技術基本計画にうたわれている超スマート社会実現に貢献する研究である。また、世界に高く評価される文化の創造と発信にも関する学術の振興を可能とするもので、我が国が今後も世界から敬意を持たれつつ名誉ある地位を占め持続的発展を遂げていくうえで必須のソフトパワーの向上に、極めて有効かつ大きな貢献をなし得る計画であるとする。

⑨ 本計画に関する連絡先

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

学習ログの科学的分析に基づく高度教育情報基盤の開発

① 計画の概要

教育は次世代を育てる国家の基盤であり、その高度化と充実が国家的な課題である。大学等の高等教育機関では、学生の主体的な学びの促進と、それを保証する教員の教育力の向上や教育の改善を目指して、アクティブラーニングやeポートフォリオ等の導入など、情報技術を利用した教育の新たな取り組みが行われている。九州大学では、全国に先駆けて2013年度から学生所有PC必携化を実施し、2014年度からデジタル教科書の閲覧ログに基づく教育ビッグデータの利活用を開始している。これは、デジタル教科書配信システムのログと学内システムの学務情報等を統合して教育ビッグデータを構築し、学習分析(Learning Analytics)により教育と学習を改善することを目的としている。2016年2月にはラーニングアナリティクスセンターを設置し、全学の学生約19,000名と教職員約8,000名の800万件を超える学習ログを蓄積、分析している。一方、教育の情報化の一環として、2020年度には全国の小中学校及び高等学校の教育にデジタル教科書の導入が計画されている。しかしながら、現在の初等中等教育機関では、情報基盤の整備とともにそれを活用した教育手法も確立できていない。本計画では、まず高等教育の現場で教育・学習支援のための情報基盤の構築と教育ビッグデータの科学的な分析手法を確立し、教育・学習を支援する情報基盤を実現する。そして、高等教育で手法の開発とその効果の検証を実施し、段階的に初等中等教育、専門家や社会人教育、さらには生涯教育へと展開する。

② 目的と実施内容

本研究の目的は、生涯にわたり長期的かつ組織間で連携して学習ログデータを利活用可能であり、教育機関と個人、教師と学習者を問わず、参画者全員が利用形態や情報の開示レベルを自由に調整可能とする、教育・学習支援のためのクラウド情報基盤の構築にある。また、蓄積された学習ログを科学的に分析する情報基盤として、データ分析ツールをシステムのリソースとして各教育機関に提供する。具体的には、統計分析や学習パターン分析等のパッケージ化したツールを、教育機関の要求に応じて仮想マシン上に配布する。データ分析の対象となる学習・教育ログには、数段階の開示条件を定義し(例えば、1. 全データ開示、2. 匿名化後開示、3. 統計情報のみ開示等)、各教育機関並びに各個人が自由に開示レベルを設定可能とする。情報基盤はその開示レベルに応じた分析結果を各機関あるいは個人に提供する。

③ 学術的な意義

情報学では、学習ログの大規模ビッグデータの記録・管理・処理方法、可視化手法、超高速リアルタイム分析手法、機械学習や予測技術等の高度な人工知能技術を用いた教育・学習支援機能、個人情報保護機能、高度なセキュリティ機能、クラウド情報基盤の開発手法、オープンデータ機能など、教育支援のための情報学における新たな手法を確立する。教育学の集団的かつ量的研究では、1つの学級、学校、または1つの教科に閉じて、教育の変遷、効果を捉える手法が多かった。また、教員や学習者における効果や、成長の連続性等の個人に関する質的研究では、観察など研究者の主観が入り込む手法が多かった。本研究は学級、教科、学校を越えて蓄積した大規模な学習ログを活用することで、教育効果、学習行動の変容を長期間で集団と個人の両面から科学的な検証が可能となる。心理学では、教員や学習者の長期的な変容について、個人の認識に依存した観察による行動把握と質問紙による心的データを主に扱い、検証してきた。本研究では、個人の認識を排除し、教育・学習に関する行動の長期的な変容を記録した客観的なデータを用いて、心理学と相互に連携し、長期的な変容に関する研究手法を確立する。認知科学では、授業で学ばれた内容や学習プロセスが他の授業や日常生活に転移するかどうかが目されるトピックであるにも関わらず、その研究対象は授業内に制限されることが多かった。本研究では、授業内に限定せず、日常生活も含めて、学習者が学習教材へアクセスした時間や場所、端末種別に加え、教材をマークした箇所、他の学習者や教員と交わされた対話といった学習行動ログを取得し、長期的な教育・学習の転移研究を可能とする。また、今後の発展が予想される脳科学とも連携する。本研究は数多くの研究分野と横断的に行うことで、新たな学際分野を作り出し、我が国の学術の発展に大きく貢献する。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

近年、教育に関するデータの分析を対象とした学習分析の研究が注目されているが、教育ビッグデータを組織的な規模で収集・分析している事例は世界的にも数が少ないのが現状である。また、MOOCsのようなオンライン教育を実施する組織では、大規模な学習ログの蓄積がなされているが、教員と学習者が遠隔で対話するケースがほとんどで、九州大学のように対面型の講義において組織的に学習ログを収集しているのは世界的に類を見ない。このように九州大学における教育ビッグデータを活用した教育改革は国内外において先駆的な取り組みを実施している。

⑤ 実施機関と実施体制

本研究は、九州大学において、ラーニングアナリティクスセンター(LAC)が中心となり、基幹教育院、情報統括本部、教材開発センター、サイバーセキュリティセンター、システム情報科学研究所と連携して実施する。また、主に九州大学で録画した講義を、日本オープンオンライン教育推進協議会(JMOOC)が、MOOCsを用いてオンラインで無料公開し、社会人教育に活用する。大学ICT推進協議会(AXIES)は、本情報基盤の他大学への展開と普及を担当し、福岡県教育委員会は、福岡県内の初等中等教育機関への展開と普及を担当する。

⑥ 所要経費

- (1)設備費：クラウドサーバのレンタル料、開発・評価用パソコン：2億円 = 2,000万円×10年
- (2)人件費：20億円 = 2億円×10年(学術研究員20名、テクニカルスタッフ10名)
- (3)旅費：国内・海外出張旅費：3億円 = 3,000万円×10年
- (4)その他：ソフトウェアの外注開発費：10億円 = 1億円×10年

⑦ 年次計画

第一期（1年度から5年度）

- 主に九州大学においてシステム開発とテスト運用
- 学習・教育ログの統計処理や分析ツールをクラウド情報基盤上に構築

第二期（6年度から8年度）

- 福岡県教育委員会等の協力を得て、クラウド情報基盤を小、中、高等学校に展開し、AXIESを通じて大学、会社などに展開
- 情報開示レベルに応じたフィードバック（可視化）システムを構築

第三期（9年度から10年度）

- クラウド情報基盤のシステムリソースや分析ツールの改良を継続
- APSCEを通じて、アジア・環太平洋を中心に本システムを展開

⑧ 社会的価値

「国民の理解」の点では、近年、社会的に教育の質改善の必要性が認識され、高等教育のみならず初等中等教育にもその波が広がり、教育の情報化が総務省を中心に進められている。本研究は、学習者に対しては、学習行動の膨大なデータの活用によって、自律性や知識構築を支援し、教員に対しては、人材育成のための授業設計・運営スキルを涵養する。本研究は、このように国の基礎である人材育成を底支えし、国民の生活に直結する教育に貢献するだけでなく、研究プロセスで生成される技術やその技術を活用したサービスによって「知的価値」をもたらす。また、「経済、産業的価値」の観点では、81.8兆円規模の情報産業（平成26年度版情報通信白書）と2兆5253億円規模の教育市場（平成27年度版教育産業白書）の双方に跨るeラーニング市場は拡大の一途を示している。本研究で扱う膨大な教育データの分析技法、それを活用した教育・学習支援アプリケーションは学校教育以外の分野にも適用でき、国内産業に対して、さらなる「経済、産業的価値」を提供する。本研究は国民生活と国の発展に直接的に貢献する人材育成と教育の情報化から、社会発展に大きく貢献する。

⑨ 本計画に関する連絡先

緒方 広明（九州大学・基幹教育院ラーニングアナリティクスセンター）

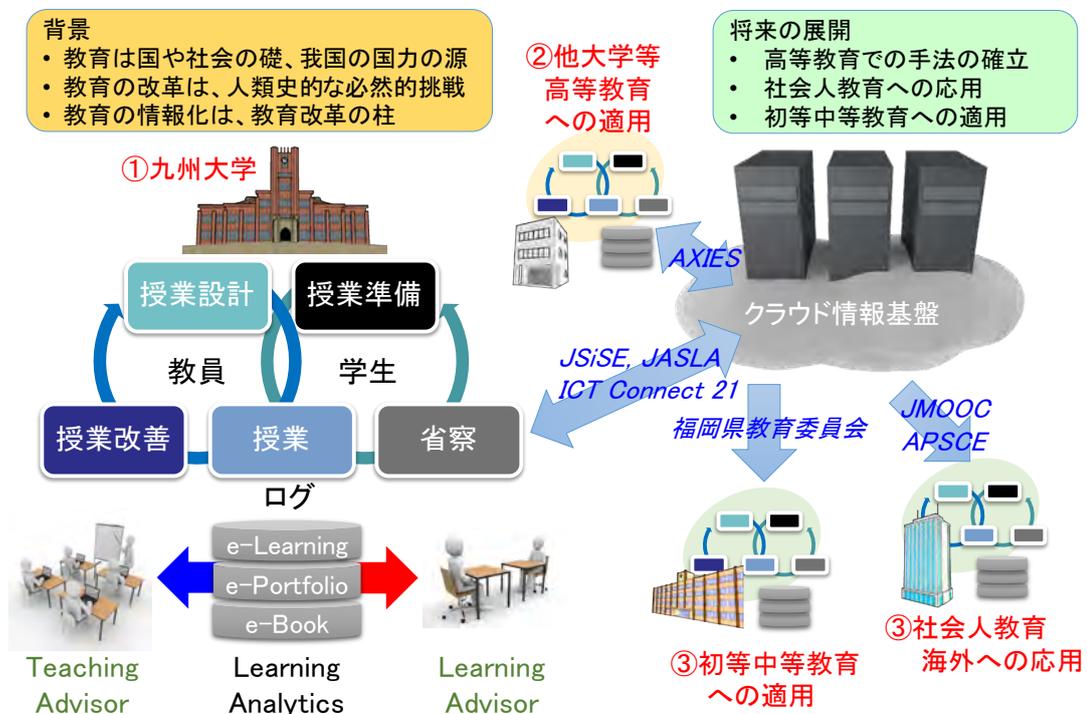


図1: 学習ログの科学的分析に基づく高度教育情報基盤の全体構成図

最先端分析・計測機器開発センターおよび共同利用プラットフォーム

① 計画の概要

分析技術に関連するノーベル賞は多く、分析技術および機器開発は、最先端研究には必要不可欠である。しかしながら先進技術立国を進める我が国には、産学がまとまって先端分析技術および分析機器の開発を行い、それらを利用できる拠点が無い。そこで、産学が共同で最先端分析技術および機器開発を進める分析・計測プラットフォーム(共同開発・利用拠点)を構築する。共同開発体制は、我が国が世界をリードすべき分析技術を担う次の3部門を柱とする。すなわち、1) 極限計測技術開発部門、2) 高度イメージング技術開発部門、3) 安全安心分析技術開発部門、これに加えて先端分析機器共同利用促進部門(分析・計測プラットフォームを担当)を入れた合計4部門からなる「最先端分析・計測機器開発センター」を構成する。最先端分析技術および機器開発を進めることで、世界をリードした最先端分析・計測の研究開発とものづくりへの支援が可能になる。

② 目的と実施内容

最先端の分析技術および機器開発を進めることで、独創的なものづくり(アトム・ナノテクノロジー)と先端科学研究開発の支援を産学にわたって幅広く行うことを目的とする。これまで、オールジャパン体制での先端分析機器開発はなかった。そこで次の3つの部門が主体となって、最先端の分析技術および機器を開発する。

- 1) 極限計測技術開発：これまでの技術を全て凌駕する世界最高の計測技術の集大成を作り出す。
- 2) 高度イメージング技術開発：リアルタイム高精度3次元イメージングを可能とする技術などを生み出す。
- 3) 安全安心分析技術開発：テロなどに対する早期検出技術、環境現場における検出技術、食の安全を保証するスクリーニング技術や迅速一斉検査技術などをターゲットにし、情報処理技術を駆使した最先端の安全安心技術を独自に開発する。

開発される最先端分析機器に加えて、全国の大学や企業が持つ大型分析装置の共同利用促進と人材育成を行う。

③ 学術的な意義

最先端の分析技術および機器開発は、科学イノベーションに大きく貢献できる点に最大の意義がある。設置する次の3つの部門において期待される学術的意義は、以下のようである。

- 1) 極限計測技術開発：分子レベルの大きさからさらに原子レベル(アトムレベル)への解像度向上に加え、アトリッター以下への超微量計測、さらには1原子・分子計測の技術と理論が創成される。これまでにはなかった新たな計測技術(世界最高の計測技術)の創成には化学だけではなく、物理や電気・電子など学際的な集大成が必要であり、新たな学理が作り出せる。
- 2) 高度イメージング技術開発：生体のリアルタイムイメージングや一細胞を詳細に観察できる3次元イメージング技術の創成がなされる。この技術創成にも化学だけではなく、バイオ、物理、電気・電子などの貢献が必要であり、さらには産の参加によるイメージング機器の製品化などに繋がるのみならず、再生医療にも使えるイメージング技術が確立できる。これらから詳細な生体情報が得られ、生命機構の解明に繋がるほか、治療や製薬開発にも大きく貢献する。
- 3) 安全安心分析技術開発：2020年の東京オリンピックをはじめ、ホームランドセキュリティやテロなどに対する高度検出技術の創成に貢献する。これらの技術は、環境現場分析や医療現場分析などのいわゆるPOCT機器開発に役立つ。PM2.5やナノ粒子の組成検出技術、土壌・海洋汚染などのスクリーニング分析技術や迅速一斉検査技術などの安全安心技術開発に役立っている。

また、先端分析機器共同利用促進部門において最先端分析機器および全国の大学・企業の大規模分析装置をプラットフォーム化することにより、効率的な分析機器利用運営が進み、日本が得意とするナノテク、ものづくりを強力に支援することが可能になる。すなわち、最先端分析・計測技術が物質科学や生命科学など他の学問領域の進歩に大きく貢献することが期待される。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

これまで一部の大学や国の研究機関において、分析機器を集めた分析・計測プラットフォームなどのバーチャル組織はあるものの、規模も限られており、分析・計測ツールとして十分な研究開発の支援が行われるか否かは所属機関の規模と予算に依存しており、支援体制は不十分であるというのが現状である。

一方、ここ二十年ほど科学技術振興機構が中心となり、先端計測分析技術・機器開発プログラムが行われてきたが、予算規模が縮小されており、開発した分析・計測機器を集約して共同利用できる施設、プラットフォームが無いという課題がある。欧州においても、EUのファンドによる数カ国での協力研究体制はあるものの、バーチャル的に作られたコンピテンスセンターがほとんどで、世界中で必要としている極限計測やバイオ技術、高度イメージング技術、国の重要な課題である安全安心などを含めた集約的な施設が、これまでに欧州や米国などでも存在しないのが現状である。提案する分析・計測プラットフォームが実現できれば、世界中から科学者や研究者が集まり、ニーズの高い分析技術と最先端分析機器の開発と利用が促進される。

⑤ 実施機関と実施体制

日本分析化学会および日本分析機器工業会、さらには国立研究法人である産総研(産業技術総合研究所)、理研、物質材料機構、日本学術振興会、科学技術振興機構などが共同で、研究開発と利用組織体(産学最先端分析技術・計測機器共同利用協議会)を作り、5年を任期とする組織運営のもと、3つの柱の研究技術開発と高度分析機器の利用促進に対する企画と運営を行う。

企画、運営、公募、利用状況は全てインターネット上に公表し、開かれた共同利用と効率的な運営を行う。同時に、先端分析機器利用についての予約などもネット(Web)上で行えるようにする。また、利用の成果もネット(Web)上に公表する。

本計画は、最先端分析機器開発だけでなく、開発される機器とともに全国の大学や企業が持つ大型分析機器の産官学共同利用促進助成制度を作ることにより、既存の分析プラットフォームを包含した統合型の分析・計測プラットフォームを目指しており、地方の大学や中小企業も含めて技術開発を支援できるようにする。さらに、産官学での異分野融合による分析技術開発の国際共同開発の支援制度を作ること、最先端分析機器の世界拠点形成が期待できる。

⑥ 所要経費

「最先端分析・計測機器研究開発センター」は、既存の施設（産総研の施設の一部）を利用し、室内を改装して使用する。

- ・初年度 30 億円（施設・室内改装費、大型分析機器納入およびドラフト施設やクリーンルーム設置等を含む）

[既存の産総研お台場施設に先端分析機器共同利用促進部門（分析・計測プラットフォームを担当）を設置する：200～300 平米を8室に分け、200 人規模、100 人規模のセミナールーム：各1室、および100 平米事務室：2室、30 人規模のディスカッションルーム：5室を確保する]

- ・2年度以降、3部門（1）極限計測技術開発部門、2）高度イメージング技術開発部門、3）安全安心分析技術開発部門、および分析機器共同利用促進費（公募利用支援、分析教育経費等を含む）で各5億円、計20億円（開発事業、事務経費を含む）

⑦ 年次計画

本提案の分析・計測プラットフォームの実行スキームとしては、オールジャパン体制で先端分析機器開発を進めるため、初年度に分析・計測プラットフォームの事業研究・事務体制を構築し、具体的な分析機器開発と共同利用を実施する。また、国内の大学および企業の持つ機器利用のネットワーク構築については、あらかじめ組織体制を企画して初年度からスタートする。

2年度目は、3つの部門、すなわち、極限計測開発、イメージング技術開発、安全安心技術開発、先端分析機器利用促進に関する事業を、公募を含めて研究開発グループと支援体制を作り上げ、スタートさせる。

3年度目以降は研究開発ならびに開発機器を含めた全国産学の大型分析利用促進に関しての公募および利用助成制度のスタートを行い、地方の大学、中小企業、大企業、大学、国研を問わず、日本が先端技術立国としての独自のものづくりと最先端科学研究が進むよう、この分析・計測プラットフォームをうまく利用する制度を作る。

4年度以降は国際協力関係を充実させ、このセンターに各国からの技術者や開発機器などを利用するために訪れる人々を短期・長期に受け入れられる組織と助成制度を作る。

開発内容や利用制度は、産学による事業評価・促進委員会を設けて3年～5年毎に見直し、活発な研究開発、人材育成、分析技術教育、国際共同利用などが効率よく進むように、制度および事務体制、研究開発体制を見直しながらか進めていく。

⑧ 社会的価値

先端計測技術開発は様々な分野の材料・および技術開発には不可欠であり、化学、物理学、生物学、医学などの分野を問わず、幅広い先端科学技術研究に貢献する。

さらには先端技術立国を進める我が国に必要不可欠なものづくり、新材料、デバイス作製においては、これまで分析・計測は「価値を生まない（評価）工程」とみなされてきたが、LSI など最先端デバイス作製において「価値を生む工程」、「国際競争力を支える工程」との理解が今や常識になっている。そのため、世界をリードする最先端分析機器の産業を支援する技術開発、高度な分析計測技術を使いこなせる人材育成を提供できる。

先端技術立国を支えるための分析技術が重要であることは、これまでに国民の理解が得られている。PM2.5 などの大気や水質環境や食の計測に関しても、安全安心をもたらす技術を提供してきている。日本が世界を先導して行く計測技術基盤を作る。

利用価値の高い分析技術はこれまでにさまざまなノーベル賞を受賞してきた。生まれてくる先端分析機器は産業的な価値も高く、世界のスタンダードになる分析技術などの課題に対する本提案の役割は大きい。

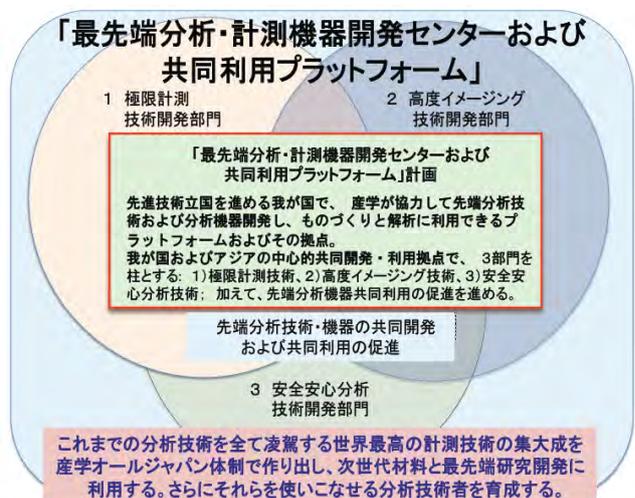
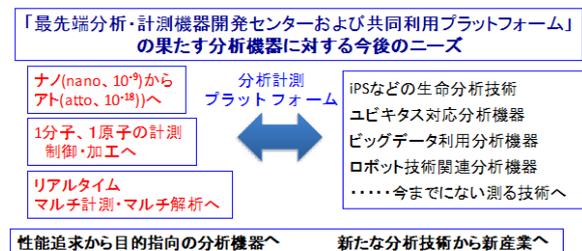
⑨ 本計画に関する連絡先

鈴木 孝治（慶應義塾大学理工学部、日本分析化学会）

最先端分析機器に対する社会ニーズ

機器分析に使用される分析装置の用途は基本的に4つ

1. 最先端研究開発の計測ツールとしての用途
2. 新材料開発の支援・評価用としての用途
3. 品質管理計測・医療診断計測としての用途
4. 環境計測や食品検査等の安全・安心計測としての用途

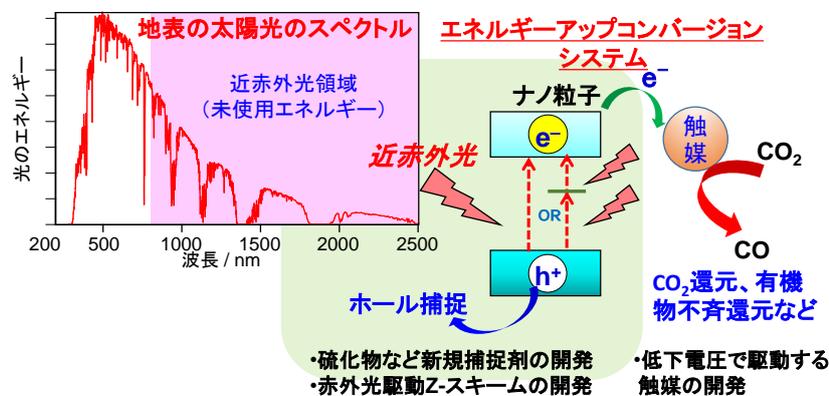


赤外光の化学エネルギー変換による未開発資源の有効利用

① 計画の概要

現代社会は、化石資源を炭素・エネルギー源として消費することで成立しているが、物質循環のための再生過程を欠いた文明社会は、必然的に資源・エネルギーの枯渇と環境破壊を引き起こしている。人類が真の意味での持続性社会を構築するには自然界同様に“物質循環と共役したエネルギー変換”が可能な反応系の構築が必要不可欠である。

太陽光を用いた再生資源開発では、主に「可視光」を用いた人工光合成による水の分解（水素生成）で行われている。一方、地表に届く太陽光エネルギーの約半分は「近赤外光」であるにもかかわらず、生物でさえ近赤外光を生体反応に利用していない。その理由は近赤外光の光エネルギーが、化学物質の酸化還元反応に必要な自由エネルギーよりも小さいためである。本計画では、近赤外光エネルギーのアップコンバージョンシステムを構築し、物質変換に必要な酸化還元力を創成し、二酸化炭素の還元反応を行う。また、生体では2電子の授受が可能な有機ヒドリド(H)を生体反応に参画させて、高効率物質変換を成し遂げている。その事から、本計画でも光エネルギーを利用した再生可能有機ヒドリド触媒を作成し、有機反応へ展開する。このような反応系では、可視光から近赤外光まで太陽光の全てを利用した物質変換系の構築が可能となり、生態系を凌駕する人工光合成が成立すると期待できる。



② 目的と実施内容

化石資源の大量消費による資源・エネルギーの枯渇と環境破壊の解決などの地球的な規模での社会的な要請に対し、現在は複数の「人工光合成」の名を冠するプロジェクトが進行している。これらのプロジェクトでは、「可視光」のエネルギーを利用して、生態系と同等以上のエネルギー効率を有する物質変換系を目指している。本研究では、利用する光エネルギーを「可視光」から生態系ですら利用していない「近赤外光」まで拡張する。近赤外光の捕集材料としては、半導体ナノ粒子等の無機固体材料の利用が必須である。一方で、酸化還元エネルギーを利用した化学反応については、エネルギーの小さい近赤外光を利用するために温和な反応条件が必須であり、この観点からは分子触媒が有利である。近赤外光エネルギーのアップコンバージョンを行う系としては、近赤外光応答性を有する半導体を用いた赤外 Z-スキーム並びに、効率的な多光子反応が考えられる。検討項目としては、(1) 近赤外光吸収材料の開発及びエネルギーおよび電子移動の効率化、(2) 効率的な近赤外光エネルギーアップコンバージョン系の開発、(3) 温和な条件で動作する分子触媒の開発と多様な反応系への展開が考えられる。その実現には、無機固体材料の研究者、分子触媒の研究者の協体制が必要不可欠であり、また、光エネルギー移動とアップコンバージョン研究に関しては、物理化学の研究者の協力も必須である。

上記の研究を遂行するに当たり、溶液系、固体系を問わず、様々な分析装置を駆使して総合的に評価し、データベースの共有が必要と考えられるため、総合的な分析センターの設置が望ましい。特に、近赤外光の評価系については、新たに評価装置の開発が必要と考えられ、それらの装置を共同利用して研究を進める。

③ 学術的な意義

光エネルギーからの物質変換を目指した人工光合成研究は可視光による水の分解を主として世界中で研究が行われている。一方、本研究計画では、未使用エネルギーである近赤外光の利用を目的としている。近赤外光のエネルギー利用については、近年では太陽電池の分野で研究が行われている。近赤外の光子エネルギーは、可視光に比べて小さいため、獲得できる起電力は小さいが、電池であれば直列につながることによって起電力を増加させることが出来る。ところが、化学反応に利用する場合は、電池の起電力の概念とは異なり、半導体のバンド準位、触媒分子の軌道準位の相対的な位置関係と相互作用により、電子移動・エネルギー移動が支配され、酸化還元反応の進行が決定される。生態系の光合成において近赤外光が利用されていない理由は、生態系の分子システムでは、近赤外光の吸収により物質変換に必要な準位のエネルギーを獲得できていないからである。本研究では、この問題を無機材料を用いたエネルギーアップコンバージョンで解決することとした。

目標達成のためには、効果的なエネルギーアップコンバージョン系の構築、近赤外光利用の効率上昇、出来るだけ小さな余剰エネルギーで進行する触媒の開発の全てが必須である。それぞれの研究はいずれも極めて新規性が高く、さらにそれらを統

合して得られる近赤外光合成系は、明らかに生態系を凌駕するため、学術的な意義は極めて大きい。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

光エネルギーを利用した変換反応は、本多・藤嶋等（1967年）による半導体を用いた水の分解反応が最初の研究例である。その後も我が国は水の光分解反応では世界の指導的立場を保持し、現在も可視光を利用した人工光合成研究が水の分解反応を中心に進行している。欧米でも同様に、様々な人工光合成プロジェクトが行われており、水の分解による水素の生成、二酸化炭素還元による一酸化炭素・ギ酸の生成が主なターゲットとなっている。近赤外のエネルギー利用については、先行研究としては半導体やナノ粒子を用いた太陽電池の開発が挙げられる。太陽電池では、バンドギャップがそのまま起電力に直結するため利用が簡便である。それに対し、本研究では、化学反応利用を目的としているため、光捕集材のバンドギャップの他に触媒のエネルギー準位も考慮して、太陽光の全波長領域の光エネルギーを用いて水、二酸化炭素等の還元を行い、生成物として水素、酸素、一酸化炭素・ギ酸の他に、メタノール等の有用な有機化合物を生成させることを目標とする。

⑤ 実施機関と実施体制

- (1) 京都大学 物質—細胞統合システム拠点：分子触媒による二酸化炭素多電子還元反応、再生可能ヒドリドによる有機化合物合成、分子性電子メディエーターを利用した還元エネルギーのアップコンバージョンの開発を担当する。溶液の電気化学、分子触媒の研究を専門としている。
- (2) 京都大学 化学研究所：ナノ粒子による近赤外捕集材及び希土類アップコンバージョン材料の開発を行う。ナノ粒子を中心とした無機材料開発が専門。
- (3) 京都大学 工学研究科：近赤外光捕集材としての半導体開発の研究を行う。半導体を用いた化学反応開発を専門としているため、無機半導体のバンドエンジニアリング技術を有する。
- (4) 大阪大学 基礎工学研究科：理論計算により、反応系全体の解析及びデザインを行う。分子、無機を問わず理論計算を専門としている。
- (5) 東京工業大学 資源化学研究所：分子触媒開発を担当。電気化学と有機金属化学の融合を目指した研究を行っている。

⑥ 所要経費

総計100億（10年） 設備費 40億円 研究費10年x6億円

人件費 計 30億円 （研究員600万円x30名 x 10年 = 18億円、技術員400万円x30名 x10年 = 12億円）

⑦ 年次計画

H29年度～H32年度

まず、 $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ への変換を近赤外光で行うことを目的とする。錯体触媒による一酸化炭素生成反応は、 -0.9 V vs NHE (pH 7.0) 付近で起こるため、近赤外光のエネルギー変換により、 -1.0 V の還元力を生成することを目指す。そのための近赤外光捕集材の探索、エネルギーのアップコンバージョンシステムの構築を行う。近赤外捕集材料としては、PbS や PbSe などの近赤外域に強い吸収を有する半導体ナノ粒子を検討する。量子サイズ効果を利用したバンドエンジニアリングにより、目的とする触媒に適した起電力を有するナノ粒子の合成を行う。また、希土類材料を用いた光エネルギーのアップコンバージョンを介した近赤外光の有効利用法に関して検討を行う。同時に、分子メディエーターを用いた還元力のアップコンバージョンの研究も行う。分子触媒としては、 $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 変換の平衡電位が -0.53 V であるため、なるべく過電圧が小さい触媒の開発を行う。また同時に、再生可能ヒドリドを用いた有機化合物の還元反応を検討する。

H33年度～H34年度

近赤外捕集材料の耐久性の向上、エネルギーアップコンバージョンの効率化を図る。近赤外光捕集材料の耐久性の向上を目指し、ナノ粒子表面に触媒反応による粒子の劣化を妨げるバリア層を構成する。化学変換反応としては、より高度かつ有用な有機化合物の生成を目指して、二酸化炭素の6電子還元によりメタノールの生成、再生可能ヒドリドを用いた有機化合物の不斉還元などを試み、自然界の光合成を凌駕した新しい人工光合成系を提案する。

⑧ 社会的価値

18世紀中期の蒸気機関の発明以来、人類は日常生活に必要なエネルギーの大部分を化石燃料の燃焼を通して獲得し続けている。また、プラスチックや繊維の原料も化石資源に依存しているため、大気中の二酸化炭素濃度増大の大部分は、化石燃料消費由来である。2011年3月の東日本大震災における福島原発の事故以来、国民の関心はエネルギー産業、再生可能エネルギー事業に集まっている。

可視光エネルギーの物理的変換による電力供給（太陽電池）はすでに実用レベルに到達している。工業化を目指した可視光を用いた物質変換系の開発は、現在進行中のプロジェクトである。光エネルギー利用の研究と実用化については、まず、光エネルギーの物理変換がなされたのち、物質変換の研究が進み、最後に事業化研究を通して、生成物が大量生産品として社会に供給される。近赤外光利用研究については、現状では、物理変換段階（太陽電池）であり、今後は物質変換へと研究が進むのは必然である。近赤外光を用いて、二酸化炭素を還元して資源化することに成功すれば、太陽光エネルギーを余すことなく利用した物質変換により、環境・資源・エネルギー問題を一挙に解決可能である。

⑨ 本計画に関する連絡先

田中 晃二（京都大学 物質—細胞統合システム拠点）

異分野の智の結集により持続成長可能な社会実現を推進するハイブリッド新材料の創出

① 計画の概要

有機ポリマーとガラスなどに代表される無機材料を分子レベルで融合させた物質を有機-無機ハイブリッドと呼び、プラスチックの機能性や軽量性、易成型性とガラスの耐久性や機械的特性など、各々の成分の長所を併せ持った材料を得ることができる。一方、従来の研究ではポリマーの耐熱性向上のみの場合が多く、ハイブリッド化による相乗効果や新機能発現については開拓の余地が多分にある。その原因として、既存のハイブリッドではポリスチレン等の汎用ポリマーの利用がほとんどで、近年盛んに研究が行われている共役系高分子などの光・電子物性を有する機能性高分子はあまり使われていない。また、無機成分もシリカに代表される金属酸化物が主であり、優れた光・電子・磁性材料の利用は少ない。さらに、材料作成にはゾルーゲル法や加熱溶融法など、厳しい反応条件や制約が多い手法がとられることが多く、新材料創出の課題となっている。本プロジェクトでは、無機元素から成る機能単位ユニットを抽出し、機能性高分子と「混合」する各種の手法を見出すことでハイブリッドとし、上記の全ての問題を解決することのみならず、さらには、「新しいハイブリッド」でしか実現できない新奇機能の導出を目指す。これらの材料により、既存の材料開発の限界線となっているトレードオフの高レベルでの両立、さらには、有機・無機それぞれの分野でのみ発達してきたマテリアルズインテグレーション(MI)をハイブリッド化し、ブレイクスルーをもたらす先端的新材料を次々と開発することで、持続成長可能な社会の実現と日本のグローバルリーダーシップの獲得に大きく貢献することを目指す。我が国の社会的要請に応えるべく、材料開発のための全国規模での研究ネットワークを構築し、持続成長可能な社会を実現する新規ハイブリッド材料開発の国際競争力強化に寄与するため、本プロジェクトに対する取組を提案したい。

② 目的と実施内容

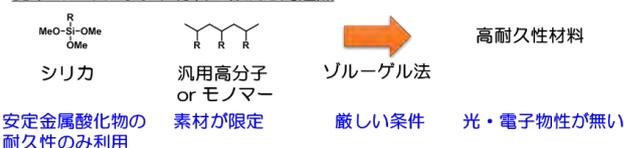
ゾルーゲル法により作成される既存のハイブリッド材料の適用限界を打破し、最先端電子材料としても応用可能な高機能性ハイブリッド材料の創出を目的とする。特に、喫緊の社会的要請に応えるために、共役系高分子と無機成分の両方の物性を利用した次世代高耐久性ハイブリッドEL素子を提案する。具体的な戦略として、図の赤字で示したように無機元素の機能単位ユニットに相互作用部位を導入することや、共役系高分子を中心とした有機材料の合成を行い、両者に電子的相互作用を発現させる各種の混合方法を見出す。得られたハイブリッド材料から、高耐久性のみならず次世代素子としての電子物性発現を目指す。

既存の有機光電変換素子の耐久性の低さを克服することのみならず、無機材料の優れた光学・電気的性質、磁性などの特性をハイブリッド材料でも実現することで、有機成分のデザイン性を利用して物性の調節可能な多機能性材料を構築する。これらを実現するために、新奇の機能性無機構造体の合成、シリカ以外の無機成分の導入やハイブリッド内部でのナノ構造構築のための新たな手法を開拓する。また、従来のハイブリッド作成で多用されているゾルーゲル法を用いない新たな汎用的な材料作成法を開発する。さらに、全く新しい機能材料創出を目指して、スピランラジカルなどの活性化学種や、電荷移動錯体、反応の中間体や準安定構造を材料内部に保存する手法の探索を行う。これらの不安定状態や短寿命成分に由来する新規物性の発見とそれらの理解のための学術的シーズの創出や、次世代素子を生み出し機能材料開発の分野にイノベーションを引き起こす。特に、有機・無機各方面で発達したMIをハイブリッド材料の分野でも推進するために、理論的予測から、実際の材料による機能発現と、それらの機構解析までを繰り返し、情報を蓄積する。素子特性の予測精度を上げることで、材料開発に要する時間短縮を目指す。

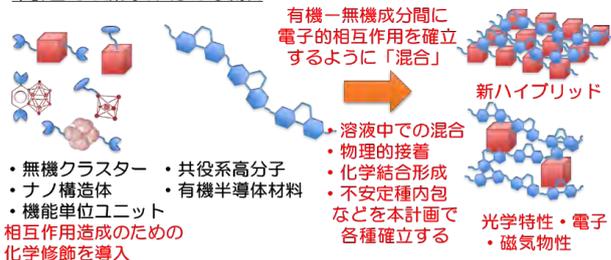
③ 学術的な意義

一般的に有機材料と無機材料は、その特徴の多くが補完的關係にあり、例えば有機高分子は無機材料と比べて耐久性に劣り、逆に無機材料はデザイン性が低い。この問題を克服するために、分子レベルで有機高分子と無機成分を融合させた“有機-無機ハイブリッド”が創出された。本来混ざり合わない構成要素をハイブリッド化するためには、それぞれの材料間の相互作用の精密な設計と構造・界面・配列制御といったナノレベルでの技術について研究が進められてきた。その結果、有機高分子の機能はそのままで耐熱性、耐油性、または難燃性に優れるものが合成され、様々な分野で利用されている。無機材料に関しては、最近の微細構造解析技術の発展にともなって、低次元ナノ構造を有するシリカ材料やナノ粒子の適用に注目が集まり、従来の無機材料では考えられない特性がハイブリッド材料から得られつつある。しかし、素材の選択幅が狭いことや、各成分のナノ構造の設計自由度は依然低く、有機高分子と無機材料の補完的な各々の優れた性能や機能を同時に高度なレベルで両立する材料創製は未だ困難である。また、ハイブリッド材料の光学、電子、磁性材料への応用は開明期であり、物性と構造の相関などの基礎研究についても進展の余地が多分にある。さらに、薬学医学のバイオテクノロジーへの展開については、元々の素

従来のハイブリッド材料の作成と問題点



本計画での研究の大まかな流れ



材が人工物であり、毒性や生体適合性の観点から、既存の材料に対して有機-無機ハイブリッド材料の優位性が示される例は少ないのが現状である。加えて、ハイブリッド材料の機能の理論的予測や材料設計指針の提示などMIに関しては未だほとんど確立されていない。本提案を実施することで、理論と実際の機能間の関係性に関する情報を蓄積することで、将来的に所望の機能を有する素材や素子を開発するまでの時間を大きく短縮できるようになると期待される。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

有機成分と無機成分を単純に組み合わせることによって、それぞれの特徴を相補的に機能させて新しい材料開発につなげており、このような従来型のハイブリッドの研究は、以前から行われている。また、元素の特徴をフルに活かした分子設計によって、新機能開発に導くという元素科学の概念が1990年代後半から、機能材料化学の研究者の間に浸透してきており、科研費などの大規模プロジェクトの中にも“元素”というキーワードがよく見られるようになってきた。最近ではケイ素以外の無機元素を含む有機-無機ハイブリッド材料にも関心が高まり、無機元素の特性を最大限に活用した新しい高分子材料の創製が期待される状況にある。一方、最先端の機能性高分子や無機材料をハイブリッド材料に取り入れることは少なく、また、用いる元素の多様性・構造制御という観点からは、材料作成法の開発を含め十分に成熟しているとは言えない。このような状況にブレークスルーをもたらすきっかけを提示し、高機能材料創出のための新しい概念・技術の創出としての展開が十分期待できる。

⑤ 実施機関と実施体制

公益社団法人高分子学会を中心に日本化学会、日本セラミックス協会、日本材料学会、応用物理学会、有機合成化学協会、日本繊維学会、日本ゴム協会、日本接着学会等の化学及び材料関連の学協会の連携により本プロジェクトを推進する。実際の実行組織は、京都大学にその研究拠点を置き、大阪大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、東北大学、九州大学、北海道大学を主要組織（幹事大学）とし、さらに全国の各大学からの参加協力を促す。さらに公的研究機関や各企業からも積極的な参加を要請し、産官学共同の研究体制を確立する。研究者グループは、本研究計画の趣旨に賛同する研究者を全国で30名規模になるように構成し、その目的達成のために推進する組織とする。高分子学会内に本プロジェクトを担当する委員会を新たに設置し、効率のよい運営を行うことと、共同研究等を効率的に進める。

⑥ 所要経費

本提案では、有機-無機ハイブリッド研究の裾野となる基礎研究において確固たる基盤を構築し、その上で理論的な分子設計に基づき有機-無機ハイブリッド材料を開発し、それらの新機能探索を総合的に推進する計画である。有機化学と無機化学を軸にした構成要素となる物質の「合成」、「構造機能解析」、「シミュレーション」、さらには有機-無機ハイブリッド内部で階層構造制御により生み出された「材料特性評価」の各々の部分を密に連携させることが特に重要であると考えられる。このためには、高分子化学をはじめ、有機化学、無機化学、材料科学、理論化学、化学工学、機械工学など、様々な分野の研究者を結集し、効率的に共同研究体制を構築することが不可欠である。従って、多様な研究グループ、特に「智の結集」がキーポイントであり、毎年少なくとも30以上の研究グループが参画することを想定している。これらを総合的に考慮し、各年度5億円、8年総額40億円の研究経費を計上する。

⑦ 年次計画

平成29年度は、研究者を結集し、各研究グループでの問題解決のための体制を確立する。さらに、実際にハイブリッド化から材料や素子化まで行うことで、いわゆる当該研究計画の試走期間とする。

平成30-33年度は、要素技術の確立と連携研究を推進する。機能性単位ユニット間での相互作用や、不安定化学種を材料内部で発生させ固定化する実験手法の確立、有機成分と無機材料との複合的機能を発現させる、それらの理論的解析法の確立など、共同研究を含めて課題抽出と解決のための研究を推進する。

平成32-34年度は、各研究者の進捗状況を鑑み、適切なマネジメントによって物性・機能または応用展開の実績を有する研究者もグループに積極的に受け入れ、密接な連携が可能な研究体制を構築する。

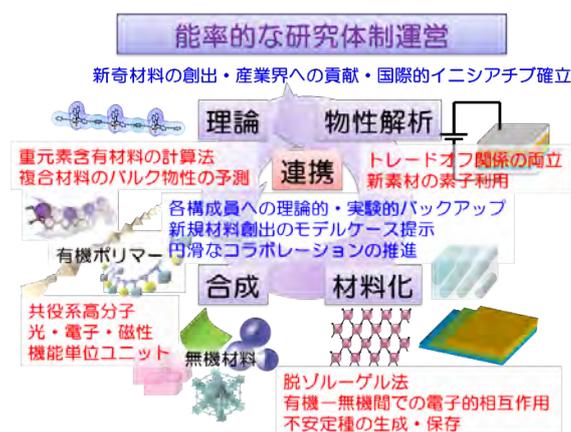
平成35-36年度は、それまでに得られた新しい材料の特性を評価し、その成果を産業界に提供し、国外に対しても本計画の成果を発信する。

⑧ 社会的価値

現在の開発研究状況を見ると、明確な方法論を確立するだけの基礎研究が未だ充分でなく、絨毯爆撃的な試行錯誤を繰り返さざるを得ないのが現状である。そのため、研究を進めるリスクは極めて大きく、せつかくの開発研究の結果が将来の材料開発につながっていない、と言わざるを得ない。このような現状を鑑みると、材料設計における理論的な機能予測と物質合成法の多様性の確保、機能発現と解析までの基礎研究のより一層の充実が必須であり、新しいハイブリッド材料の開発技術の確立が求められている。これらの知見は特に電子材料や光学材料、情報家電や自動車産業等の高度な要求が必要とされる分野での応用が期待され、当該分野での知的財産権確保を含む我が国の国際競争力強化に大きく貢献することができる。

⑨ 本計画に関する連絡先

中條 善樹（京都大学大学院工学研究科、公益社団法人高分子学会）



アト秒レーザー科学研究施設

① 計画の概要

近年の超短パルスレーザー技術の進歩は目覚ましく、100 アト秒を切る時間幅を持つ超短パルスの発生が可能となった。このような非常に短い時間分解能を持つ究極のプロブによって、物質中の電子の動きまで捉えることが可能となりつつあり、化学と生物学、物理学、医学との学際領域の研究分野において、アト秒パルスは将来必須の道具になると考えられる。しかし、現状のアト秒パルスの応用研究は高度に専門化された光源研究者によって行われており、専門外の利用研究者にアト秒光源を広く提供できる施設は存在していない。このような現状を鑑み、本申請ではアト秒レーザー光の共同利用を目的としたアト秒レーザー科学研究施設の設置を提案する。

アト秒レーザー科学研究施設では、様々な利用用途に対応した4種類のアト秒レーザービームラインを整備する。各ビームラインでは、軟 X 線領域のアト秒レーザー光と同時に、テラヘルツ光から極端紫外光まで幅広い波長範囲の高輝度短パルス光を供給し、アト秒時間分解能での時間分解分光を可能とする。また、軟 X 線やレーザープラズマ量子ビームによる顕微鏡やイメージング装置を整備する。さらに、既存の加速器技術とレーザープラズマ加速技術、アト秒レーザー技術を融合して、次世代アト秒光源技術の開発を行う。また、本施設は東京大学に設置され、全国の協力研究者によって構成される運営委員会（施設整備委員会・利用推進委員会・解析支援委員会）によって運営される。

② 目的と実施内容

【目的】アト秒パルスを国内外の広い研究分野の研究者が共同利用することのできるアト秒レーザー科学研究施設を整備する。物質・生命科学、電子工学、創薬・医療などの各先端分野の第一線研究者に、最先端のアト秒レーザー光をいち早く提供することによって、物質中や界面での電子運動によって誘起される様々な素過程や物性を「電子の動き」をもとに解明し、広い分野における学術の発展とイノベーション創出を目指す。

【具体的実施内容】アト秒レーザー科学研究施設においては、アト秒ビームラインを設置するための基幹レーザー施設と実験施設を建設する。アト秒ビームラインとして、汎用ビームライン・高繰り返しビームライン・高輝度ビームライン・次世代ビームラインの4本を整備する。それぞれのビームラインには、軟 X 線分光装置、軟 X 線顕微鏡装置、光電子分光装置など先端計測器の整備を行い、幅広い分野の研究者が円滑に利用研究を行える環境を提供する。さらに、大規模計算機施設との協力体制を確立することによって、理論計算やシミュレーション計算による研究支援や大容量実験データに対する解析支援を行う。各年次には、アト秒科学分野である物質科学、生命科学分野の国内外の研究者による研究会を開催し、施設利用を通じた分野横断的な研究者交流による研究分野の融合を促し、新たな学際的研究領域の創成を目指す。

③ 学術的な意義

本計画で展開するアト秒科学は物質内や界面での電子運動を実時間で観測・制御する研究分野であり、全ての物質変換の根源を解明する学問である。関連する研究分野は、物質・生命科学、電子工学、創薬・医療と多岐に渡り、最先端のアト秒レーザー光源が各先端分野の第一線研究者にいち早く提供されることが望まれている。期待される学術的な意義を以下に挙げる。

【化学反応追跡・制御・イメージング】分子に対するアト秒時間分解計測から分子内の電子波束発展や多電子系における電子間の相互作用のメカニズムが解明される。高度に制御された電子波束によって誘起される化学反応をアト秒時間分解分子イメージング法で実時間追跡することによって、究極の化学反応追跡・制御技術が確立される。

【物質材料開発・超高速エレクトロニクス技術開発】分子性固体における電子雲の非局在化過程や界面における電子移動の初期過程が解明される。これらの時間領域の知見をもとに、有機デバイスや高機能触媒、太陽電池などを開発する際の新たな設計指針が得られる。また、金属ナノ構造体中の協奏的な電子運動によって誘起されるプラズモン増強電場の時間発展が明らかになり、ナノサイズの超高速電子デバイスが実現される。さらに、アト秒精度の光波合成技術を確立することによって、ペタヘルツオーダーの整形電場による超高速エレクトロニクス技術の発展が期待される。

【生物学・創薬・医療への応用】軟 X 線領域のアト秒パルスを顕微鏡法や回折法の光源として用いることによって、生体イメージングを、“高い空間分解能”で、かつ、“テーブルトップ装置”を用いて行うことが可能となる。さらに、高強度超短パルスレーザーによる量子放出過程を利用したテーブルトップの電子・イオン加速器、パルス X 線源が開発され、時間分解分光装置や時間分解イメージング装置として広く創薬・医療分野の研究開発に提供される。

④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

世界初のアト秒パルス発生（2001年）から15年が経過し、アト秒パルスを用いた利用研究が進み、アト秒パルスを用いた分子内の電子の運動の追跡・制御・イメージングによる物質・生命科学の新展開が期待されている。このアト秒パルスの利用研究において必須となるアト秒パルスの高強度化においては、理研のグループが常に世界を主導してきた。また、2012年に東大、理研、原研が共同で世界最高強度の極端紫外パルス光を発生したように、アト秒レーザー技術と加速器技術との融合領域においても日本が世界をリードしている。一方、これまでは小規模な共同研究としてアト秒パルスを用いた応用研究が行われてきたため、より広い学術分野への応用が待ち望まれていた。本計画では、世界最高水準のアト秒レーザー光を多くの利用研究者

のために安定的に供給する光源施設を提案する。この施設が中核となり、国際的な規模でアト秒レーザー科学が発展すると期待される。

⑤ 実施機関と実施体制

本施設は東京大学フotonサイエンス研究機構と東京大学光量子科学研究センターとの部局間連携のもとで東京大学に設置される。さらに、大学間研究協力プログラム「先端光量子アライアンス」によるサポートのもとで、全国の協力研究者によって構成される運営委員会（施設整備委員会・利用推進委員会・解析支援委員会）によって、本施設の運営が行われる。それぞれの委員会の役割と実施機関は以下の通りである。

【設備整備委員会】設備整備委員会は、4本のアト秒ビームラインを整備するとともに、整備したビームラインの維持管理を担当する。さらに、次世代高輝度アト秒光源の開発を行う。

【利用推進委員会】利用推進委員会は、円滑な共同利用制度を策定するとともに、様々な専門分野の利用者からのニーズに応じた光源設備についての提言を行う。さらに、アト秒レーザー実験のための基盤装置の整備を担当する。

【解析支援委員会】解析支援委員会は、主に理論的な研究支援を行う。実験成果を迅速に解析し、新たな理論的解釈や理論モデルを提言する事によって、アト秒科学分野における実験研究と理論研究の協調的な発展を目指す。

⑥ 所要経費

所要経費のうち、物品費については、中核施設整備費と計測装置整備費の2つに分けられる。さらに、施設を運営するための人件費や維持管理費が必要である。

【中核施設整備費（74 億円）】中核施設を整備するための費用として、74 億円を計上する。整備する装置群とその内訳は、基幹レーザー施設+建屋（15 億円）、冷却水循環装置（2 億円）、アト秒パルス発生用設備（3 億円×4）、高輝度アト秒パルス発生用設備（5 億円）、高速電子発生装置（3 億円）、電子加速装置（12 億円）、電子加速用電源装置（10 億円）、挿入光源装置（15 億円）である。

【計測装置整備費（14 億円）】計測装置を整備するための費用として、14 億円を計上する。整備する装置群とその内訳は、建屋（3 億円）、軟X線光電子分光装置（4 億円）、軟X線顕微鏡装置（4 億円）、軟X線分光装置（3 億円）である。

【人件費・維持管理費（8 億円）】施設を運営するための人件費や維持管理費として、8 億円を計上する。内訳は、人件費〔5 名×10 年〕（4 億円）、維持管理費（4 億円）である。

以上の総額として、96 億円を所要経費として要求する。

⑦ 年次計画

本計画では図1に示すロードマップに従い、以下の4つの期間に分けて、計画を推進する。

【1～2年次】基幹レーザー施設と実験施設の整備を行う。具体的には、本施設の基幹レーザー施設、ならびに実験施設等を収納する建屋の建設、基幹レーザーである超高強度フェムト秒レーザーシステム導入、ならびにアト秒パルス発生用設備の整備を行う。発生したアト秒パルス診断を行う計測機器として光電子・光イオン同時画像観測装置の導入を行う。

【3～4年次】先に整備したアト秒ビームライン、計測機器の共同利用開始と、アト秒計測機器・イメージング装置、ならびにデータ解析部門の整備を行う。具体的には、アト秒ビームラインの共同利用の開始、高輝度アト秒ビームラインとレーザー加速電子ビームラインの開発を行う。また、アト秒電子ダイナミクス計測のためのパルス電子線回折装置とアト秒時間スケールの超高速構造変化追跡のためのパルス電子線イメージング装置の開発、ならびに共同利用を開始する。また、データ解析部門の整備を行い、アト秒時間スケールで変化する電子構造の解析手法を開発する。

【5～6年次】先に開発したレーザー加速電子ビームラインの共同利用開始、ならびにアト秒分子ダイナミクス計測器の整備を行う。具体的には、軟X線領域のアト秒パルス光電子分光装置、レーザー加速電子ビームラインからの放射光発生を行い、幅広いユーザーに対して光源、ならびに計測装置群を提供する。

【7～10年次】レーザーと加速器とが融合したビームラインの建設、およびユーザーへの共同利用を行う。具体的には、アト秒軟X線パルスを加速電子とともに挿入光源に導入してコヒーレント軟X線パルス発生開発を行い、軟X線自由電子レーザービームラインとして、高強度パルスを必要とするユーザーへ提供する。

その他、各年次には、アト秒科学分野である物質科学、生命科学分野の国内外の研究者が参加する研究会を開催する。

⑧ 社会的価値

現代の科学・技術は、物質中や界面での電子運動によって誘起される様々な素過程・反応性・物性を利用して発展しており、電子の動きを直接捉えることが出来るアト秒レーザーによる実験が実現されれば、人類の物質観・自然観を格段に広げるものと期待される。特に、アト秒レーザー科学分野は、物理・化学・生物・医学の分野を包含した学際領域であり、光触媒や太陽電池などの光機能材料の物性研究と新しい材料開発や、医療診断技術を含む生体観察技術の開発への応用を積極的に行うことによって、物質科学や生命科学における知のフロンティアの開拓だけでなく、アト秒レーザー科学分野から生まれる日本発の新しい医療工学技術や計測装置開発に資すると考えられる。

⑨ 本計画に関する連絡先

山内 薫（東京大学・大学院理学系研究科）



図1. 本計画のロードマップ