

## 最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点の形成

### ① 計画の概要

プラズマ【ラジカル、イオン、電子、光の集合体】は、産業、農水産、健康などのほぼ全産業を支え、新たな価値を創出、グリーン・ライフ及び安心・安全イノベーションを先導する最重要科学技術である。プラズマ科学は、多様な学術領域を横断、融合し、未来技術や社会を変革する未踏の学際領域である。我が国には、名古屋大学に55年に亘るプラズマ科学研究の伝統があり、国内唯一の産業・医療・農水業応用の大型研究開発拠点として国際共同利用施設「プラズマ科学プラットフォーム」が設立され、オープンイノベーションおよびオープンサイエンスを目指した教育研究拠点として世界を先導している。本計画では、該プラットフォームとサテライト機関（九州大学、東京大学、東北大学）の機能強化を図り、国内外の連携機関をICTで繋ぎ、共同利用システムとしての「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」を構築する。世界の研究者が集まるインフラとするように、研究開発装置群をICTで繋げた国内外ネットワークと国際標準化を構築するシステムを整備する。教授・准教授、研究員を国際公募して雇用すると共に、設備運営の高度技能組織を整備する。知財創出と成果の国際標準化推進支援の専門家を雇用する。知財・技術移転戦略を策定し、成果を産業に迅速に展開、活用する産官学連携組織を整備する。地域創生推進と社会科学など多様な文化の導入により未来社会を創造する拠点へと発展させ、地球規模の課題解決のために、世界中から知恵、人、モノが循環するシステムを構築する。

### ② 目的と実施内容

本計画では、研究開発の中心を「プラズマ科学プラットフォーム」に置き、他機関との連携システムを構築することで、イノベーション創成とともに、その成果が社会イノベーションへと進展する拠点を構築する（添付図を参照）。これにより、新たな学際的融合領域『プラズマ生命科学』、『プラズマ環境エネルギー科学』、『プラズマ材料デバイス科学』を先導して未来産業を創造する。そのために新たなネットワークやIOTを用いて、多様な科学分野を融合し、社会変革に繋げていく戦略的マネジメントの導入、高度技能者の組織化により産官学が共創してイノベーションを起こすシステムを構築する。また、知財・技術移転戦略を産業に迅速に展開、国際的に活用する支援体制を強化する。プラズマ装置群インフラを先進ICTを用いて国際共同利用するネットワークを構築し、世界中から知恵、人、モノが循環するシステムを構築する。

### ③ 学術的な意義

プラズマと物質や生体との相互作用が創出する「非平衡・物理化学反応場」において、1) 反応活性種の生成・分布制御、2) 表面反応場の制御原理、3) 選択反応・自己組織化原理、4) 共通基盤技術（時空間計測、シミュレーション）、5) 原子分子素過程・表面反応基礎データベースの集積を通して、産業応用に直結する「プラズマ科学」として体系化する。産業や医療応用のプラズマ技術や独創的な装置の創製により、最先端プラズマ科学の深化と科学に基づくグローバルイノベーションの創出を行う。即ち、学際領域の境界を破り、融合させ、グローバルイノベーションに対する普遍的な新学理「プラズマ科学」を確立し、産業を通じて人類の持続的な発展に貢献することを理念とする。内外の複数機関との有機的な連携の司令塔として、世界から人、モノ、知恵が結集し、循環させる最先端プラズマ科学グローバルイノベーション研究拠点を形成する。

### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

プラズマ科学技術では日本が世界トップにある。従って、国際的な競争と協調の中でプラズマ科学の深化とグローバルイノベーションを創成し、学理および革新的応用で高い優位性を常に確保し、日本がリーダーとして人類の持続発展に寄与し続けることが期待されている。ほぼ全産業を支えるプラズマ科学技術のボトムアップを図ることがイノベーションに直結する。従って、海外ではプラズマ科学技術の推進が戦略的に遂行されている。独、英、米、豪、台湾、シンガポールでは、プラズマ科学技術に関する国家プロジェクトや新センターが設立されている。韓国では最近プラズマセンターが5つ設立された。我が国も、プラズマ科学・イノベーションを先導する国際的なプラットフォームを構築し、ICT導入により、プラズマ科学の国際的な標準化を協創するスキームが一刻も早く必要である。本計画は、このような動向を鑑み、14年前から名古屋大学が中心となり東海地域の産官学機関、全国の公的機関、応用物理学会、学術振興会等と共に準備を進めてきた。

### ⑤ 実施機関と実施体制

主な実施機関：名古屋大学のプラズマナノ工学研究センターとプラズマ医療科学グローバルイノベーションセンターを基に、全学組織へと拡張した「プラズマ物質科学融合システム研究所」を中心機関とし、九州大学、東京大学、東北大学と連携した新拠点「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」を構築し、国内プラットフォームを一層強化して事業推進する。愛知県、名古屋市、岐阜県および東海地域を始め国内(28箇所)および海外(23箇所)の大学等と構築したプラズマ科学ネットワークを基軸に、サテライトや連携機関を整備し、日本をリーダーとする世界的な連携による研究推進体制を構築する。サテライト設置機関：九州大学・プラズマナノ界面工学センター、東京大学、東北大学、成均館大学校（韓国）、ルール大学ポツダム校、低温プラズマ物理学研究所（独）、ミシガン大学、蘭FOMプラズマ物理研究所、ケンブリッジ大学、テキサス大学先進材料プロセッシング国際センター、豪連邦科学研究機構、グルノーブル原子力研究所、中国科学院

その他連携機関：近隣の5大学、核融合科学研究所、他海外4大学、6機関

⑥ 所要経費

総額 95 億円（施設の建設：0 億円、初期設備導入：20 億円、人件費・運営費：7.5 億/年、10 年間）

設備（初期導入設備：20 億円）：「計測科学」と「プラズマ科学」の融合によって創製する世界唯一の国際共同利用装置「超高精度プラズマ気相・表界面反応計測システム」、名古屋大学で提唱し創製した究極の装置「自律型プラズマ製造装置」（自分で考える製造装置）に AI 等を導入して、更に進化させた未来型プラズマ製造装置群を拠点の中心に置く。世界から研究者が集まるインフラ機能を果たすように、これら装置群を ICT で繋げた国内外ネットワークと国際標準化構築のシステムを整備する。人件費：教授・准教授、研究員を国際公募すると共に、設備運営に技術者、さらに知財と国際標準化推進の専門家を雇用する。運営費：国内連携拠点と海外拠点の連携強化のため、サテライト機関への学生及び研究者の派遣、受入れを行う。ICT を用いた新規システムによって国内外の大学及び企業の研究者が PGI やネットワークを有効活用できる環境を整備する。

⑦ 年次計画

H23～27 年で、第一期プラズマナノ科学の創成が終了し、H28～37 年を第二期プラズマ科学の進化と位置づけ、事業計画のロードマップを作成し、すでに事業を推進している。第一期で、名古屋大学に「プラズマ科学プラットフォーム」（2000m<sup>2</sup>）を創設した。多様なプラズマ装置群を整備し、プラズマ科学を実践する基盤を確立した。第二期では、本申請の学術の大型研究計画においては、次の年次計画で実行する。

H28 年度：サテライト、連携機関との協力的体勢に基づき、全体詳細連携研究推進計画を策定し、「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」の国際共同利用施設の具体的なグランドプランを作成する。

H29、30 年度：PGI への設備導入、ICT を用いた PGI の国際共同利用施設としての研究ネットワーク構築

H31、32 年度：産官学連携によるグローバルイノベーションおよびオープンサイエンス・イノベーションとして共創の推進

H33～35 年度：国際企業間ネットワークの強化と国際標準化、地域連携推進と人文社会科学など多様な文化の導入による未来社会創造基盤の構築、AI および ICT を導入した学際科学を機軸とした高効率イノベーション創出システムの構築

H36、37 年度：ポスト PGI の基本計画策定、予算手配、世界拠点ネットワークの改編、強化、第二期終了

⑧ 社会的価値

プラズマ科学技術は、グリーン、ライフ、安全安心イノベーションに亘り未来産業を創造する。例えば、次世代の車、飛行機、ロケット、住宅・固体照明、パワーエレクトロニクス、スマートフォン、高効率太陽電池・燃料電池、食の安全の確保、食糧不足の解消、次世代のがん治療、次世代農水産システムなど国民の活力向上に繋がるグローバルイノベーションである。名古屋大学の拠点は、学術論文（5 年間で 326 件）、国際会議発表数で世界のプラズマ機関の中で第一位にある。当拠点周辺に、大学 13、研究機関 8、企業 539、技術移転機構のプラズマ技術産業応用センター（会員 318 社、720 人が参画）のネットワークに加え国内 28 大学、核融合科学研究所との連携など「知と産業の集積」がある。知的財産（出願 565、登録 93）は公的機関での評価一位、特許収入があり、プラズマ機軸の大学発ベンチャー企業 5 社が独創的製品で事業展開している。

⑨ 本計画に関する連絡先

堀 勝（名古屋大学・未来社会創造機構）



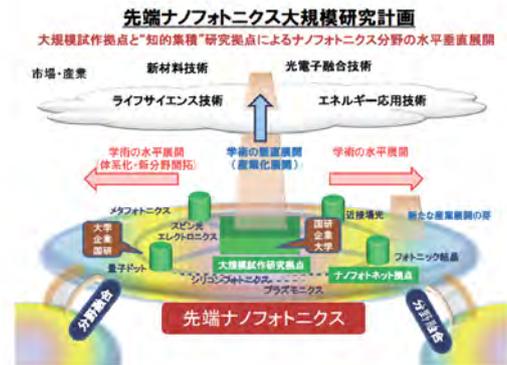
## 先端ナノフォトニクス大規模研究計画

### ① 計画の概要

ナノフォトニクスは、半導体・誘電体・金属等からなるナノスケール構造を用いて制御される光学現象、量子現象、物質との相互作用の増強効果等、ナノスケールでの光学や量子物理学などに立脚する学術分野である。本提案は、この学術分野を、我が国の叡智を結集しつつ、大規模に展開することを提言するものである。これにより、将来の情報処理・通信、エネルギー、ライフサイエンス、材料分野に革新とイノベーションをもたらす融合学術領域の開拓を目指すものである。

### ② 目的と実施内容

本計画においては、大規模試作研究拠点形成に加えて共有化・共通化された技術や設計環境に立脚した規模や技術の異なる複数の研究開発拠点を新たに構築しつつ、ネットワーク化し、集約された知と技術を最大限活用して、原理実証から大規模試作に至るまでの各ステージに応じた研究展開を行い、専門外の研究者にとっても“身近な”ナノフォトニクス研究を可能とすることを旨とする。これにより“知”の集約を加速しつつも、新たな学問領域の創生や、エネルギーや生体医療分野を含む広範な分野との融合領域の開拓と産業的イノベーション創出が可能になると期待される。具体的な将来のアウトカム例としては、従来の100倍以上の性能を可能とするサーボ技術の実現、50%超の効率をもつ太陽光発電技術の創出、従来の100倍以上のパワーおよびパワー密度をもつ大面積コヒーレントレーザ、通常極めて広いスペクトルをもつ熱輻射を、望む波長で望む線幅に集約し、かつ極めて高速に制御する技術の構築、さらには分子一つをも検出可能な超高感度バイオセンサーの実現などが期待される。さらに、次世代を担う若手研究者の育成とそれを通じた我が国の持続可能な発展に大きく貢献することが出来ると期待される。



### ③ 学術的な意義

ナノフォトニクスは、ナノスケール領域の光の振る舞いや光とナノ構造との相互作用の物理の探求、これらに立脚した新原理素子の実現や従来技術では実現不可能な高機能材料・素子・システムの実現を目指す学術領域であり、我が国が世界をリードする分野の一つである。分野としてはフォトニック結晶・フォトニックナノ構造、量子ナノデバイス、シリコンフォトニクス、プラズモニクス、メタフォトニクス、近接場光、スピン光エレクトロニクスなどを包含し、エレクトロニクスや情報通信、生体医用工学、さらにはエネルギー創生などの広い分野への応用に対する期待から、今後の重要な学術分野の一つとして位置づけられている。例えば、フォトニックナノ構造による自在な光の制御の概念によるエネルギー・ハーベスティング、超高感度センシングへの展開などは、現在、研究人口が爆発的に増大しつつある分野である。また、シリコンフォトニクスに代表される光電子融合技術は、今後ますます顕在化するLSIの限界を打破するための技術としても期待されており、ナノエレクトロニクス分野とも連携し、国家的な取り組みの中でその産業技術展開を図る意義は極めて大きいと認識されている。以上のようなナノフォトニクスの展開・イノベーション創出のためには、これまで、独立分散的に研究開発が進められてきたナノフォトニクスに関する知と技術の結集と共有化、設計環境などの共通化がなされた階層的な重層的試作ファブ拠点の整備を通して、大規模なナノフォトニクス研究ネットワークの構築と学術拠点の構築が不可欠である。これにより様々な発想を持った多くの研究者の集結が喚起され、学術・技術の両面における新たなブレイクスルーの実現・イノベーションの創出が期待される。

### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ナノフォトニクスは我が国が世界をリードする分野の一つである。例えば、フォトニック結晶や量子ドットを用いた光・電子の制御では、その実現から新しい光機能の創出において、世界を先導している。また、シリコンフォトニクスに代表される光電子融合技術においては、大型国家プロジェクトの下で着実に成果を挙げている。さらにナノ構造に基づく大面積コヒーレントレーザ技術は、モノづくり日本を支える基盤技術ともなりうる。本分野において、我が国が今後も世界をリードし続けるためには、本分野の学術としての体系化と産学官の叡智を集結した大規模研究開発の推進によるその産業展開、新たな学術・技術分野の開拓が不可欠である。そのために、全国の研究者からの新たな概念や技術を結集し、大規模研究へと発展させ続けることが肝要である。本計画は、このような問題意識に基づき本分野における我が国の優位性を格段に発展させることを目指すものである。さらに、産業界との連携に基づく学術の産業化展開を図る点や、設計環境の共通化、ツールなどの共有化とそれらを研究者へ提供する仕組みを有する拠点形成も本計画の特徴である。

### ⑤ 実施機関と実施体制

東京大学\*、京都大学\*、東京工業大学、大阪大学、横浜国立大学、東北大学、北海道大学、慶応大学、早稲田大学等の主要大学、産業技術総合研究所、理化学研究所、物質材料研究機構等の主要独立行政法人等の学術研究機関、NEC、東芝、三菱、日立、浜松ホトニクス、住友電工、富士通、沖電気、NTTなど各種企業を中心とし、必要に応じて海外の研究機関とも適切な協

力関係を構築する。(※は中心拠点)

全国に4箇所程度の設置を予定している研究ネットワーク拠点では、各地域の主要大学が得意分野を活かして、共通化された基本設計などをベースとし新たな知の創出とその原理検証や試作のための拠点としての役割を担う。それぞれの拠点に対して、全国の大学・企業・研究機関が、拠点の有する知と技術、設備を活かした研究活動に積極的に参加可能な体制とする。重要な点は、主要拠点にこれまで蓄積され今後も蓄積・発展していくと期待されるナノフォトニクスに関する知と技術を基に、新しく参入する機関においても自由に共同研究が展開することが可能となり、異分野や専門外の研究者もナノフォトニクスの研究、技術の利用が可能となる点である。更に、これらの融合研究を通じて、次世代を担う若手研究者の育成を積極的に行っていく。これにより、学術や産業としてのナノフォトニクスの拡がりや深みが増し、新たな応用展開の創出、さらには我が国の未来を支える人材の輩出が可能となると期待される。このように設備のみならず、知と技術を活用することの出来る枠組みをもち、またそれらが柔軟かつ階層的に構築出来るところに最大の特長がある。

また、主要機関の代表者らで構成された拠点運営委員会において、拠点形成・運営に関する具体的方針を議論する。

## ⑥ 所要経費

必要経費 150 億円 (10 年間)

I. 先端ナノフォトニクス大規模ネットワーク構築経費 65 億円

内訳:

- ・各拠点における研究設備費: 30 億円 (新規装置導入等)
- ・拠点研究環境構築費: 35 億円 (各拠点試作施設の整備等)

II. 上記ネットワークの維持運営経費 85 億円

(大規模試作を担う拠点形成と産業化を意識した研究フェーズの試作評価)

内訳:

- ・全国4拠点 (関東・関西・東北・北海道) ×2 億円/年×10 年)
- ・ナノフォトネット運営事務局×0.5 億円/年×10 年)

本提案は既述のとおり、より広範なナノフォトニクス分野の研究ネットワークを構築し、“知”の集約を加速しつつも、新たな学問領域・産業分野の創生や、エネルギーや生体医療分野を含む広範なイノベーションを目指すものである。

## ⑦ 年次計画

全国に分散しているナノフォトニクスの先端研究の叡智の結集し大規模研究ネットワークの構築

平成 28 年度 研究開発ネットワーク拠点構築準備委員会の設置:

「知」・「基盤技術」の結集・共有を促進するための枠組み整備

平成 29 年度 研究開発ネットワーク拠点構築事業の実施開始:

全国ナノフォトニクスネットワーク拠点の体制構築

(全国に分散した知恵・技術の共有・活用化のため)

平成 29-30 年度 研究開発ネットワーク拠点構築事業の本格的始動:

各拠点の運営・研究体制完備 (装置などの導入含む)

平成 30-38 年度 研究開発ネットワーク拠点における研究実施:

基盤研究の充実と成果の社会還元

## ⑧ 社会的価値

近い将来、我々の国民生活は、人・モノ・環境が情報を介してより密接にリンクした情報社会の中で営まれることとなるであろう。このような情報技術の進歩は、遠隔医療などの新技術も導入された高齢化社会の“QOLを高める健康福祉社会”の実現をもたらすとともに、人やモノ、都市機能の集中を必要としない“地域分散型社会”への遷移を加速すると予想される。ナノフォトニクスは、このような将来の国民生活を支える情報技術の基盤技術として欠くことのできない分野である。また遠隔医療など情報技術としての健康福祉社会への貢献のほか、我が国において、現在最も必要としている、太陽光エネルギー利用の革新的発展、超小型高感度センサーなど、高度医療・エネルギー問題解決への直接的な貢献も大いに期待されている。ナノフォトニクスはナノ領域での光学、ナノ構造における光と物質の量子力学を扱う領域であり、ナノテクノロジーや材料工学の発展により、従来予想されなかった・観測できなかった効果や現象が多く観測され始めている。このように、ナノフォトニクスは学術としての“知の深化”にも欠くことのできないものである。

## ⑨ 本計画に関する連絡先

野田 進 (京都大学工学研究科)

## 高性能有機自己整合フレキシブル部材研究開発拠点事業

### ① 計画の概要

将来の高精細、大面積、高機能の情報表示や情報伝達機能を持つ電子端末の実現を目指し、機能性有機材料を出発点とした材料開発から、集積化デバイスや光電子変換駆動技術に関する研究が進んでいる。本研究開発事業では、様々な新規有機材料を合成し、それを高性能デバイス・パネルや部材として試作する。例として、有機材料への誘電的・磁性的な新機能付加による蛍光材料での 100%の高効率発光有機 EL 素子、電子正孔両キャリア輸送能を生かした高性能縦形有機自己整合トランジスタと相補型集積回路、高効率有機無機ハイブリッド型センシング素子、そしてワイヤレス給電-通信機能を持つ発光・センシングフレキシブルパネル・部材等を目的とし研究開発を行う。これにより、電子情報社会での主流と成り得る発光型フラットパネルディスプレイ、車載用シースルー表示パネルや、物流での情報機能読取りや書き換え機能を持つタグやセンサ、そしてワイヤレス給電機能を持つ多機能型ポスターから双方向情報交換と追記が出来るインタラクティブサイネージ・掲示板まで、様々な分野で利用できるフレキシブルプロダクトが支える優しく快適な社会へ向けた有機自己整合技術を創造することを目標とする。

### ② 目的と実施内容

本事業では、様々な新規有機材料を合成し、それを高性能デバイス・パネル・部材として試作する。有機 EL パネル製造設備では、特殊な金属電極蒸着の高真空電子ビーム蒸発源を持ち、高純度不活性ガス中のグローブボックス一体型の蒸着装置、金属や整列構造を得る多元系酸化物対応のスパッタ装置を導入する。発光効率向上と物理的発光機構の解析に、ストリークカメラを導入して立証を行う。パネル駆動に必要な高周波通信用電波ネットワーク機器、放射パターン測定と偏波特性、再現性・低ノイズ評価ができるシステム導入を要する。加えて、特殊な有機合成に必要な局所排気装置、マイクロ波合成装置、真空乾燥機と真空ライン、構造解析用核磁気共鳴装置とガスクロマトグラフィを要する。これらの環境で、新規強誘電・強磁性材料と、有機誘電・磁性キャリア輸送材料を組合せ、蛍光材料での 100%高効率発光有機 EL 素子をパネル化する。パネルの周辺ドライバー駆動回路を目指し、高性能縦形有機自己整合トランジスタの実現と相補型集積回路を実現する。また、光センサ部品として、有機-無機ペロブスカイト材料による高効率・高速ハイブリッド型光センシング素子を得る。フレキシブルパネルをポスター発光物とするには、高速のディスプレイ表示データ信号供給と、情報端末相当の電力供給が必要となる。これには、通信機能を持つアンテナ構成とインダクタ形成による非接触電磁給電方式を採用し、パネル周辺に配置する。更に、パネルのセンサ情報を外部取出し、演算後信号変換しパネルや外部端末表示させることで、双方向情報交換が可能となる。以上、表示、電波、電力、情報通信の様々な機能を具備したパネルにより、情報、流通、車載、公共表示、アミューズメント等、広い分野で利用できる高度情報フレキシブル部材実現を目指す。

### ③ 学術的な意義

材料の持つ誘電的・磁性的な新機能付加して、強磁性体電極・強磁性体有機材料の適用で電子とホールのスピン方向を蛍光発光材料に揃えて注入し、蛍光材料での 100%の高効率有機 EL 素子による有機スピントロニクス応用の新たな展開を目指す。発光素子と周辺回路駆動へ向けた高性能・高速トランジスタとして、有機縦形トランジスタによる相補型集積回路を目指す。バックプレーンと周辺回路駆動、10mW/cm<sup>2</sup> 超パネルでの整流給電機能と MHz 帯域の電波変調した論理回路を実現し、薄膜トランジスタ応用の新たな方向付けを与える。また、スピン流をゲート電極で制御する有機スピントロニクス制御トランジスタへの展開を想定し、文明社会での電気機器による磁気の人体への影響やヒトの血流と健康を考える新規二次元磁気センサなどへ応用する。並行して、非接触電磁給電による電力供給や高効率・高線形アンテナ技術で、パネルの必要な箇所への電源供給と無線信号送受信を行い、電力と情報通信機能を一体化させる。センシング要素技術として、高効率有機無機ハイブリッド型センシング素子による高明暗電流比を得ることで、発電機能と組合せて発光機能向上も成す新たな多機能センシングデバイスを探る。これにより、有機合成研究者により研究されてきた特徴と個性ある有機材料を基本として、周辺プロセス・デバイス技術で個性を活かし、新たな基本物理現象を組み込む概念のもと、理学・工学分野の化学、電気・電子、情報、材料に関連する総合的科学与技術応用の展開で、独創性を活かし様々な分野に拡がって利用される優しく快適な社会へ向けた高性能有機自己整合フレキシブル部材研究開発拠点事業を推進する。

### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

有機エレクトロニクスの展開では、東大 染谷先生による印刷プロセスを用いた電子ペーパーや圧力センサ研究開発、山形大有機エレクトロニクス研究センターの有機 EL 照明の開発と印刷 TFT の研究開発、九大 安達先生の高効率熱活性遅延蛍光有機 EL 素子、東大 竹谷先生の高性能有機デバイスと RFID・センシング回路、広島大 滝宮先生による高性能有機半導体開発、NEDO のインタラクティブシートディスプレイ技術開発等がある。海外では、Max Planck Inst. の有機エレクトロニクスと回路応用、3M の RFID 開発、UCLA の Prof. Yang によるフレキシブルエレクトロニクス研究、Kyung Hee Univ. の Prof. Jang による有機-酸化物半導体薄膜トランジスタの研究開発など、幅広く研究されている。そのなか、フレキシブル強磁性材料を持つ高効率有機 EL 発光、高性能自己整合有機トランジスタと回路、コードレス給電、無線信号送受信、そしてハイブリッド型センシング素子を順次実現し、一体化する研究開発事業は新しく、新物理現象からディスプレイを主軸とした応用展開へ弾みを付ける。

## ⑤ 実施機関と実施体制

研究実施機関としては、富山大学大学院理工学研究部を中心とした研究開発体制となる。有機材料合成では、理学部及び工学部の教員で、有機りん光材料開発、発光性有機トランジスタ開発、高移動度有機半導体開発等が研究されてきた。その後、薄膜化された有機材料に関連して、有機EL素子のホール輸送層、電子輸送層、発光層、有機トランジスタのp及びn形材料、そして有機太陽電池のキャリア輸送特性など、様々かつ個々に適した材料特性を評価してきた。デバイスグループでは、様々な構造を持つ強磁性体構造電極を持つ有機EL素子の作製と磁場印加下の輝度変化を評価してきた。自己整合トランジスタ関連では、横形の自己整合トランジスタとリング発振器作製、そしてn形自己整合酸化物トランジスタを組合せたNAND形CMOS論理回路の100kHz超の高速動作、二重自己整合プロセスによる多重チャンネル縦形有機トランジスタと自己整合酸化物半導体縦形トランジスタを実現してきた。ハイブリッド型センシング素子関連では、ドープ型有機太陽電池特性と発光機能化を研究してきた。非接触電磁給電では、RFID対応コイルによる50mm角有機ELパネルの点灯を、無線信号送受信では、無線帯周波数帯でのタグ情報伝送実験を実証してきた。以上、有機材料、デバイス、要素技術などの基本的実験と評価が出来る体制が整っており、望むべくデバイス実現と続くフレキシブル基板のプロセス導入からパネル・部材化の研究開発を実施する。製造、プロセス環境としては、基本実験試作に必要なクリーンルーム、リソグラフィ装置、蒸着装置、スパッタ装置、洗浄環境等を有しており、今回の研究開発試作での特殊磁性材料とデバイス開発装置へ導入展開し、大学内のレンタルスペースを活用し開発することで、期待する高性能有機自己整合フレキシブル部材研究開発拠点事業へ展開してゆく。

## ⑥ 所要経費

研究期間は10年間、総経費は10.2億円、間接経費3.06億円で計13.26億円を予定している。設備費は、初年度1.37億、次年度1.18億で、計画年度計5.61億円となる。初年度の導入設備として、蒸着装置、レーザパターニング装置、研磨装置、超純水装置、プラズマ処理装置、窒素ガス精製装置、グローブボックス、オゾンクリーニング装置、アンテナ関係測定装置、合成関連装置で、有機EL素子試作に係る装置を集中導入する。次年度は、スパッタ装置、洗浄工程、ドラフトチャンバー、恒温槽、ベーキング装置、直流特性測定装置、合成関連装置を行い、トランジスタ試作に係る装置・環境を整備する。労務費は、研究員3名、管理員、補助員各1名で、年間2,300万円で計画年度計2.07億、消耗品や旅費等は年間2,800万円で計画年度計2.52億円を予定する。研究員は、有機材料合成、有機デバイスプロセス、そして複合機能と回路、システム化へ向け、専門性向上と他分野の連携を俯瞰できる人員を育成する。加えて、管理員は、メーカーのデバイス開発経験者に参入頂き、開発の道筋と差を埋める総合的な企画体制を確立する。

## ⑦ 年次計画

初年度、有機合成、デバイス、そして通信関連技術のポスドク研究員を採用し、その後、関連技術の文献調査を開始し、当大学の研究グループの強みと研究開発の方向性を探る。その後、基本的試作に必要な装置選定を行いながら、現在の研究環境で出来る合成、プロセス、研究の基本実験を開始する。並行して、シミュレーション環境を整備し、実際のデバイスやパネル等の試作以前に、解析的に求められる条件と目標を明らかとする。有機材料合成の研究では、従前から各々の先生が研究を進めてきた高効率有機発光材料、高移動度有機半導体材料、そして高機能有機磁性体及び誘電体材料の研究開発を、研究員が事前調査した材料系の構造を基に、分子軌道計算、合成、最適化を行いながら、先ず5年間の試作を行い、集積化したパネルへ技術適用する。有機デバイス試作では、強磁性有機EL素子発光を初期開発し、従来蛍光発光デバイスから均一スピン注入による100%高効率発光化を目指す。並行して、有機トランジスタでは、縦形構造を中心に、チャンネル長をサブミクロンまで微細化し、RIEによる自己整合化を行い、n形とp形トランジスタを集積化したCMOS論理回路構成を採用することでMHzレートでの集積回路動作を目指す。並行してペロブスカイトセンシング素子で、整流比 $10^5$ 、帯域10MHzの整流動作を得る。アンテナ信号伝送技術では、ビデオレートの信号伝送と、パネル発光に必要な数 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 級の非接触電磁給電を行い、有機トランジスタ駆動の電力供給を行う。有機EL及びトランジスタ回路応用を含め、当初開発5年間での基本試作と最適化する。以上、5年間の技術蓄積を総合し、発光・センシング機能を持つフレキシブルコードレスのパネルを試作し、周辺駆動回路及び非接触電力供給による部材の基本動作を実現してゆく。

## ⑧ 社会的価値

高度成長時代には半導体産業が一つの柱として、また、それによる情報化社会が拓がるにつれ、情報インターフェースとしてのディスプレイが日本の産業の一角を成すに至った。続く研究開発として、ディスプレイや部材を印刷技術でプラスチック上に作るプリンテッドエレクトロニクス技術が期待されており、日本の復権、技術集約と優位性確保が望まれている。本研究開発拠点事業では、未来のディスプレイ市場を中心とした産業の柱に位置付けられるものであり、次世代の数10兆円の市場と新規応用を見据えた、安全安心の豊かな社会で、人々の生活を支え楽しませる新産業を創成するものである。

## ⑨ 本計画に関する連絡先

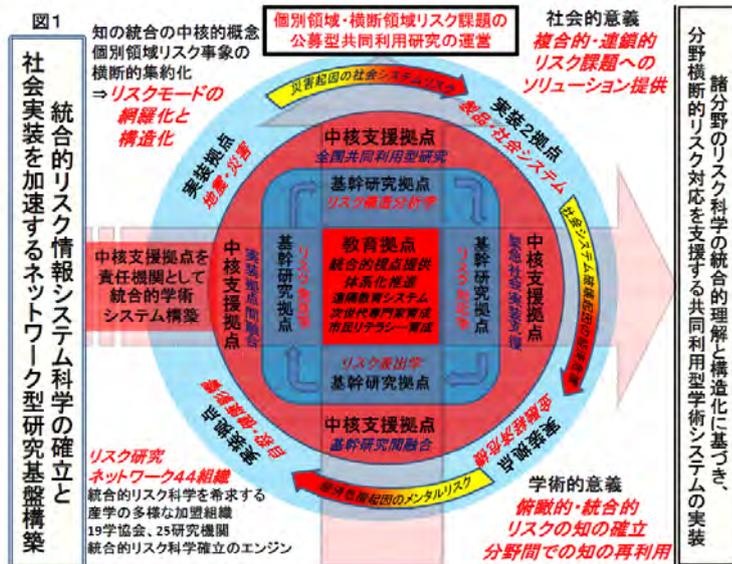
岡田 裕之 (富山大学 大学院理工学研究部)



## 統合的リスク情報システム科学の確立と社会実装を加速するネットワーク型研究基盤構築

### ① 計画の概要

本計画は、図 1 に示す統合的リスク科学の理念・体系と教育システムとを整備し、全国研究教育機関が利用可能な仕組みを提供する。このため、個別学術領域に分散する多様なリスク科学方法論を統合する俯瞰的リスク科学の理念・体系・教育システムを整備し、国民へ安全・安心を提供する。研究教育推進のために、基幹研究拠点、実装拠点、教育拠点、支援拠点を置く。



この共同利用型研究・教育システムの確立によって、個別リスク科学領域の専門家の知を他領域のリスク表出化に再利用することが可能となる。

### ② 目的と実施内容

本計画は、個別学術領域に分散する多様なリスク科学方法論を統合的に理解する統合的リスク科学の理念・体系と教育システムとを整備し、全国研究教育機関が利用可能な仕組みを提供する。特に、個別学術領域リスク関連マイクロ事象を集約したリスクモードの網羅的整備を通じて、領域を跨いだリスクの分析・対応を可能とする学術支援ネットワークを構築する。提供する統合リスク対応プロセスは、(1)全リスク分野で共有可能なリスクモードによる事象解釈、(2)リスクモード周辺の因果構造のデータからの発見と潜在専門知の表出化、(3)リスクモードに関する因果構造の定量化、(4)

多様な利害関係者が絡むシステムへのパレート最適リスク対応の可視化からなる。これに対応して、(1)リスク表出学、(2)リスク発見学、(3)リスク構造分析学、(4)リスク対応学 の4方法論を研究する4基幹研究拠点を、発見科学、データマイニング、数理科学、安全科学の異なるディシプリンに立脚する情報・システム学研究組織に構築する。更に、構築学術システムを多様なリスク研究分野へ展開し、分野を跨るリスクの対応方法検討を目的とした5実装拠点を構築する。また、これら統合的リスク情報システム科学を体系化し、専門家の系統育成と一般市民啓発とを目指した教育システムとを開発し、次世代専門教育プログラムを実行する教育拠点も1か所配置する。一連の研究、実装、教育拠点間の連携研究活動を統括し、全国の研究者・実社会が抱えるリスク問題への科学的ソリューション実装の公募型共同研究事業を運営する中核的支援拠点を大学共同利用機関1か所に配置し、当該機関の責任で、統合的リスク情報システム学術体系の確立と全国共同利用を通じた実装を実現する。

### ③ 学術的な意義

先ず個別リスク領域の多様性を記述する方法が確立する。すなわち、自殺予防のように回避条件を社会設計することでリスク対応を図る領域と、金融リスク管理のように期待効用最適化を通じて、リスク対応が図られる領域とを統合的視点から特徴付け、その差異の必然性を記述可能な定式化が確立する。リスク構造分析学の期待成果として、故障モードを拡張した集約概念としての対象システムの「リスクモード」が網羅的に整備される。従来のリスク学が対象とした個々の事象ではなく、集約的に抽象化・汎用化されたリスクモードを用いて議論を進めることで、個別リスク領域の専門知を他領域のリスク表出化プロセスで再利用が可能となる。また、リスクモードとその原因・影響の対応関係に基づく、データからの知識発見の方法論も導かれる。更に、領域横断的リスク構造化が実現し、リスク対応についても領域に依存しない類型化が可能となる。また、利害相剋が生じる問題でのリスク対応の合意形成プロセスも透明化する。これらの研究成果を体系化することで、リスク事象発生の一般システムとしての理解が実現し、複数領域を横断する複合リスクや分野を跨ぐ連鎖リスクへの対応も系統的に設計できるようになる。また、統一的リスク対応設計を目的とした横断的教育カリキュラムの開発が可能となる。

### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

過去50年以上、国内外ともにリスクは多様な個別学術領域で研究され、その社会的対応方策が検討されてきた。このため学術を横断するリスクの対応を設計することが、困難となっているのが現状である。平成21年にリスクマネジメントプロセスとその基礎概念に関する国際標準が合意され、産業界ではリスクアセスメントからリスク対応までのプロセスが共有化された。しかし、この国際標準は抽象的水準にとどまり、リスク対応に寄与する科学的方法論の標準化ではなく、様々なステークホルダーの存する複合リスク、複数領域に跨る連鎖的リスク現象への対応の実装に資するものでない。一方、横断的対応を目指す研究も、社会システム工学、情報学、数理科学など多様な分野に散在し、これら個別総合理工学的方法の適用は、リスクマネジメントの特定部位に限定され、プロセス全体を対象とした統合的リスクシステム科学形成は、国内外ともに実現していない。本計画は、上記の課題の解決方法体系を世界に先駆けて全国の研究機関が共同利用可能な学術システムとして提供する。

## ⑤ 実施機関と実施体制

中核支援拠点を大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 統計数理研究所リスク解析戦略研究センター（NOE 事務局組織）とし、本計画の責任機関とする。学術システム内拠点の連携をマネジメントすると共に、公募型共同利用研究事業を運営し、全国のリスク科学研究への方法論実装に責任を持つと共に、本計画の事務を統括。

教育拠点を筑波大学システム情報工学研究科リスク工学専攻（NOE 運営委員長組織）とし、リスク情報システム科学の体系化、教育システム開発を行う。2008年に中核支援拠点と結んだ部局間協定を基に責任機関を支援。

基幹研究拠点を下記4拠点設置し、リスク情報システム科学の基幹要素の研究実施。

リスク表出学拠点：東京大学大学院工学系研究科システム創生学専攻

リスク発見学拠点：島根大学医学部医療情報部（NOE 運営委員組織）

リスク構造分析学拠点：九州大学マス・フォア・インダストリー研究所（NOE メンバー）

リスク対応学拠点：明治大学安全学研究所（NOE メンバー）

関連データを保有する下記5実装拠点配置。リスク情報システム科学の実装と分野への展開、連鎖リスク対応の方法を開発。

地震・災害拠点：地震予知総合研究振興会

製品、プラント、輸送システム拠点：電気通信大学次世代品質信頼性情報システム融合研究ステーション（NOE 運営委員組織）

食品・医薬品安全性拠点：国立医薬品・食品衛生研究所（NOE メンバー）

金融・経済拠点：同志社大学理工学部

自殺・健康影響拠点：国立精神・神経医療研究センター（NOE メンバー）

中核的支援機関が平成17年11月より運営した「リスク研究ネットワーク（NOE）」の加盟機関（19学協会、25研究機関）が研究推進協力組織となり、喫緊のリスク研究課題について公募型共同研究などを自ら組織、あるいは本学術システムの抱える研究課題に対する解決を支援する。

## ⑥ 所要経費

平成29-35年度総額：33.3億円

平成29年度：6拠点立ち上げ経費：1.2億円 1中核支援拠点、4基幹研究拠点、1教育拠点整備費

中核支援拠点データベース整備・拠点間情報ネットワーク、SNS形成費：4億円

教育拠点整備費：4億円（E-Learning教育プログラム開発環境整備）

4基幹研究拠点形成整備費：4億円（4基幹拠点センター設備経費）

平成29年度-平成35年度：定常研究運営経費合計：19.8億円（年間3.3億円×6）

運営費：1中核支援拠点、4基幹研究拠点、5実装拠点、1教育拠点、年間3.3億円

設備運営費：8000万円 人件費：1.2億円 ソフトウェアシステム開発委託費：1億円 旅費：3000万円

平成31,33,35年度国際学会組織開催費：1.5億円（5000万円×3）

## ⑦ 年次計画

平成29年度

(1)中核支援拠点である大学共同利用機関統計数理研究所に全国共同利用ならびに拠点連携を統括する支援室を設置し、事業責任者と事務責任者とを置き、共同利用研究公募事業を開始する。

(2)中核支援拠点、教育拠点、基幹研究拠点の6拠点に専任研究者を最低2名配置すると共に、特定有期雇用の若手研究者を2名ずつ配置し、ネットワーク上の6講座体制を確立し、所属部局を超えたリスクの知の統合に関する運営方針を確認する。

(3)5実装拠点を通じて、関連研究者のワークショップを開催し、研究理念確立と個別リスク領域への統合的視点に基づく再体系化を実施する。このため、分野内共同利用研究を組織する。更に、分野を跨る個別リスク連鎖への対応を明らかにする。

(4)教育拠点の筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻で、E-Learningを活用した若手研究者研修プログラムを策定し、若手研究者の系統育成を開始する。

平成30年度以降：

中核支援拠点の調整下、基幹研究拠点が相互協力して、公募型共同研究テーマあるいは実装拠点が重点的解決に当たる研究課題解決を支援する。各研究拠点に、教育拠点で研鑽を積んだ研究者配置を開始し、効果的リスク対応形成に関する課題解決を推進する。平成35年度までに、教育拠点では、学位プログラムを前提とした教育システムの開発を終了する。

平成31年度、33年度、35年度

世界への先導的役割を果たすために、学際的研究者を招へいた国際会議を開催すると共に外部研究者による評価を受ける。

## ⑧ 社会的価値

福島原発事故以来、国民は巨大なリスク性事象とその連鎖に対する科学的対応導出についての学術分野の混乱を認識している。合理的リスク対応を導く俯瞰的リスク科学形成は、安全・安心を希求する国民の期待に沿う。更に、ネットワーク型学術システムの常設は、巨大社会リスクが発生あるいは発生が予期されるときに機動的専門家協力を通じて国民の期待に応える。また、システム工学、発見科学、統計科学など情報・システム工学内でこれまで没交渉的であった学術分野が協同して、専門知に基づく演繹的方法とデータに基づく帰納的方法との架橋を形成しつつ、統合知を構築する価値も大きい。

## ⑨ 本計画に関する連絡先

椿 広計（一般社団法人日本品質管理学会）

## 社会のインタラクティブ合意形成を実現する知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex の形成

### ① 計画の概要

現代社会が直面する複合的課題の解決やその影響を軽減し、第 5 期科学技術基本計画に掲げられた「超スマート社会」の実現に向けて、新しい技術やシステム、制度をデザインし社会実装する際に、多数の利害関係者がインタラクティブに合意形成を進めるための知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex を形成する。

ここでは、現代社会の主要構成要素を、自然物理系、生命・生態系、人間・社会系、人工物系等にカテゴリ分けし、それぞれに内包されるサブシステムを、現代社会への影響や機能、価値の面から捉え直し、各サブシステムの応答を定性的あるいは定量的に評価可能なモデルとして構築する。それらを総合し、現代社会の複合的で非線形な応答を定性的あるいは定量的に評価可能な SoS (System of Systems) シミュレータとして再構成する。

各サブシステムの総合にあたっては、異領域間の知の相互作用を考慮した「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築することで、実現する。さらに、同プラットフォームに、現実世界情報のセンシングツール、VR・AR 等の体感ツール、現実世界へ働きかけるアクチュエータを接続し、同プラットフォームと現実世界の双方向のフィードバック及び共進を再現し、その活用を通して、新しい技術やシステム、制度をデザインし社会実装する際に多様な利害関係者らのインタラクティブな合意形成を支援する。この知の統合プラットフォームとその研究開発運用を担う拠点を KCP-Complex と総称する。KCP-Complex は、複雑な現代社会を理解し、様々な解決策をプロトタイプングするための仕組みであり、文理にわたる異領域の多様な専門家らが、「知の統合」の学理と方法論、実社会への実装を研究する拠点となる。

### ② 目的と実施内容

IoT の実装を前提とした自動運転の導入やスマートグリッドとの連携が進む次世代交通物流システム等、現代社会においては、新しい技術やシステム、制度の研究開発とスムーズな社会実装が求められている。しかし、そのためには、個別技術開発のみでは不十分であり、社会実装を想定したシステム総合評価と社会的メリットとリスクの抽出、一般市民を含む多数の利害関係者間の合意形成を、平行して進めることが必須である。本提案は、そのための知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex を形成することを目的とする。

知の統合プラットフォームの骨格は次の通りである。現代社会の主要構成要素を、自然物理系、生命・生態系、人間・社会系、人工物系等にカテゴリ分けし、各サブシステムを、現代社会への影響や機能、価値の面から捉え直し、モデル化を行う。それらを総合し、現代社会の複合的で非線形な応答を定性的、定量的に評価可能なシミュレータとして再構築する。

各サブシステムの総合にあたっては、異領域間の相互作用を考慮した「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築することで実現する。さらに、同プラットフォームに、現実世界情報のセンシングツール、VR・AR 等の体感ツール、現実世界へ働きかけるアクチュエータ等を取り込み、同プラットフォームと現実世界の双方向のフィードバック機構及び共進を実現する。

組織としては、少数の中核機関とそれにつながるサテライト機関からなるハブ&スポーク型拠点を構成する。ここに、自然物理系、生命・生態系、人間・社会系、人工物系等の専門家、センシング、アクチュエータに関する専門家、社会学等に関する専門家を招集し、IoT の実装を前提とした次世代交通物流システムという「超スマート社会」の基盤となる具体的事例を設定し、「知の統合」に基づく研究開発を進める。

### ③ 学術的な意義

本計画の第一の学術的意義は、自然環境、人間・社会系、生態系、人工物・人工システム等が相互作用しながら非線形に進化する現実社会を、サブシステムに分解してモデル化を行い、それらを知の統合プラットフォームとして再構成する取り組みを通して、従来個別独立に研究対象とされてきた異なる学術分野や現象の相互作用に焦点を当てた新学術分野を創成する点である。これは、日本学術会議において長年議論されてきた「知の統合」の具現にあたる。たとえば、物理系においては、マルチフィジクス・マルチスケール概念が重要な学術概念として近年急成長し、具体的な方法論についても目覚ましい進展が見られる。本計画では、物理系現象と人間・社会系現象の相互作用を学術的に検討することを通して、社会系におけるマルチソーシャル、マルチスケール概念を構築し、その具体的な方法論に関する研究が進むと期待される。

第二の学術的意義は、現実社会と KCP-Complex の間を、多様なセンサーやアクチュエータ、AR 等の実体化技術で結びつけ、両者にフィードバック機構を実現することにより、バーチャル世界と現実世界が相互作用しながら共創的に時間発展するというサイバー・フィジカル課題を SoS の観点から研究する新たな学術分野が創成される点である。これは現実社会に存在する SoS



のマネジメントを行うために、大きな貢献を担う。

第三の学術的意義は、KCP-Complex を活用することにより、一般市民を含む多様な利害関係者が現代社会の複合的な課題に対して、様々なバーチャル社会実験を遂行し、その効果を多様な価値の観点から評価できること、また、そうした情報をベースに、インタラクティブな合意形成を促進するという新しい社会問題解決メソッドを構築できるという点である。

#### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

「知の統合」に関しては、2011年8月の「提言：社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—」（日本学術会議）に述べられているように、学術分野間、学術分野と社会間の連携が行われてきた。人文学と情報科学の事例としてデジタル・ヒューマニティーズ、医学と工学の事例としてはナノバイオテクノロジーなどである。しかし、一般的な「知の統合」の方法論が語られることはなかった。本計画は、「知の統合」の具現を進めるための基盤構築に関する世界初の取り組みである。また、具体的なエネルギー問題、環境問題、交通・物流問題の解決や、「超スマート社会」の実現に向けて、複合的観点から総合的にデザイン、合意形成を図るためのアプローチは見出されておらず、本計画は、総合的な課題解決に向けて多様な利害関係者のインタラクティブな合意形成を図るための画期的なアプローチとなる。

#### ⑤ 実施機関と実施体制

本拠点の組織としては、少数の中核機関とそれにつながるサテライト機関からなるハブ&スポーク型拠点を構成する。東京大学大学院工学系研究科、同大学院情報理工学系研究科、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科に中核拠点を設置し、そこに、計測自動制御学会、日本VR学会、人工知能学会、日本計算力学連合、情報・システム研究機構等に所属する全国の研究者や海外大学・研究期間の研究者がサテライト機関の連携研究員として参画する。

実行組織としては、拠点長、副拠点長のもとに、参画研究者らを、(1)自然物理系ユニット、(2)生命・生態系ユニット、(3)人間系ユニット、(4)社会系ユニット、(5)人工物・人工システム系ユニット、(6)連携プロトコルユニット、(7)センシング系ユニット、(8)VR・AR ユニット、(9)アクチュエータ系ユニット等、及び文系の研究者に参画いただく(10)価値・社会学系ユニット、のもとに束ねる。

この拠点においては、多様な分野の専門家が相互作用しながら「知の統合」を実現し、大きな社会的課題の解決にあたっていくために、各研究員は、専門分野の既存の組織と、「知の統合」を遂行する組織の両方に所属し、どちらの組織においても主務として務める。物理的な移動に加えて、専門分野の主務と「知の統合」を遂行する主務の間を自由に行ったり来たりするバーチャル空間の構築とその効率的活用が必要であり、「知の統合プラットフォーム」はその取り組みを支援する役割も果たす。

#### ⑥ 所要経費

平成29-35年度：33.3億円（組織整備費：6億円、運営費：27.0億円、国際シンポジウム開催費：0.3億円）

平成29年度組織整備費：6億円（中核拠点整備費：5億円、研究費：1億円）

平成29-35年度定常経費：27.0億円（毎年4.5億円×6年）

運営費：年間4.5億円（設備運営費：7千万円、人件費：7千万円、研究費：1億円、システム開発委託費：1.5億円、システム検証費：4千万円、旅費：2千万円）

平成31、33、35年度国際シンポジウム開催費：0.3億円（1千万円×3回）

#### ⑦ 年次計画

平成29年度から平成30年度前半まで

(1) 拠点形成に向けた研究開発体制を確立する。東京大学大学院工学系研究科及び同情報理工学系研究科、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科にKCP-Complexの中核拠点を整備し、そのもとに大学・民間研究機関、学協会など連携研究者の研究開発ネットワーク（ハブ&スポーク型）を構築する。

(2) 知の統合プラットフォームの主要構成要素の設計を行い、研究開発を開始する。連携プロトコルは、異なるサブシステム間の相互作用に加えて、サブシステムと人（個人・組織・集団）の相互作用、社会的価値評価等を視野に入れ構築する。

平成30年後半から32年後半

(3) 各サブシステム等及び連携プロトコルの構築を進めると同時に、機能検証を行い、修正し、全体を組み上げる。

(4) IoTを前提として次世代交通物流システムへのKCP-Complexの適用を進め、シミュレーションを実行する。

平成33年度前半から平成35年度

(5) 専門家、行政担当者や一般市民に参加いただきバーチャル社会実験を実施し、社会的合意形成に取り組む。

(6) KCP-Complexの構築プロセス、及び実問題への適用プロセスを分析することにより、性能検証を進める。

(7) 平成31年度、33年度、35年度に国際会議開催と共に外部研究者による評価を受ける。

#### ⑧ 社会的価値

現代社会内の複雑な因果関係を、利害関係者がKCP-Complexを活用することによって定量的に把握することができ、社会的課題解決に向けてインタラクティブに社会的合意形成を促進できる。専門家に独占されがちな、高度な先端的科学技術情報や知見をわかりやすく市民に提供することができ、市民からのボトムアップなプロセスを経て新たな知が創造される。

⑨ 本計画に関する連絡先 吉村 忍（日本学術会議／東京大学大学院工学系研究科）

## 複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

### ① 計画の概要

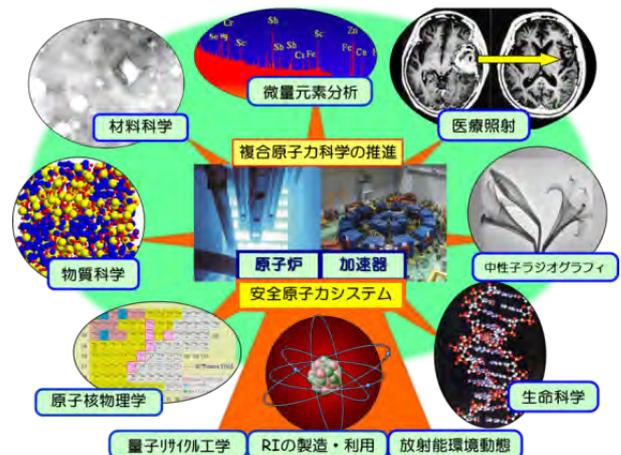
本計画では、人類社会の持続的発展のため、原子力・放射線の新たな利用法の開発を含む広く複合的な原子力科学分野の発展を目指す。研究者の豊かな創造性に基づく先導的な研究の実施を旨として、萌芽的・基礎的な実験研究に重点を置き、研究炉や加速器を主とする共同利用・共同研究を推進する。原子力科学の健全な発展のためには多様性が重要であり、大学が担う役割は大きい。研究炉や加速器等をはじめとした様々な施設・設備を利用して、多様かつ自由な発想に対応し、放射線・放射性同位体 (RI) を用いた広い分野の高次な交流を進め、新たな先端研究分野を切り拓き、世界をリードする研究教育活動を発展的に展開する。今まで蓄積してきた研究炉・加速器を用いた物性・分析研究等の多様な研究分野をもとに、研究者の自由な発想を生かすことができる共同利用・共同研究拠点としてさらに発展させる。例えば、研究炉による特徴的な研究として実績を積み重ねてきたホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) 研究については、小型の加速器中性子源による臨床 BNCT 施設をも世界に先駆けて実現し、臨床治験を推進していることから、研究炉と加速器中性子源を併用して実用化及び高度化を促進する。さらに大学に適した規模の新規サイクロトロン複合粒子線源を導入することにより、中性子だけでなく陽子や陽電子も利用し、KUR の補充・代替として新たな研究分野の開拓を可能ならしめる。また先導的な研究とされる加速器駆動システム (ADS) に関する研究については、同システムが安全性と核変換特性に優れ、新たな中性子源としての利用も期待されることから、その実現を目指して一層の基礎研究の充実を図る。広く大学における共同利用・共同研究を推進することにより、原子力・放射線の利用に不可欠な科学的知見の集積と活用を進展させ、研究成果の社会的還元及び人材育成に寄与する。

### ② 目的と実施内容

本計画では、KUR による特徴的な研究や世界の関連研究の進捗状況を踏まえ、その発展と有効利用を図る研究を推進する。本研究の意義は、研究炉や加速器を用いる実験に重点を置き、広く複合的な原子力科学の基盤を拡大・発展し、より安全で効果的な原子力・放射線の利用を支える基礎・基盤的学術の創成と展開を行うことにある。大学における多様性を認める自由な雰囲気の中で原子力・放射線利用が人類福祉に貢献することを示し、先導的学際研究を遂行することで俯瞰的視野を持った優秀な人材の育成に貢献し、原子力科学全体の健全な発展に寄与する。具体的な内容は次の通りである。1) 研究炉・加速器を用いた物性・分析研究の深化：研究炉 (KUR/KUCA)・陽子線加速器 (FFAG)、電子線形加速器、Co-60 ガンマ線照射施設等の多様な施設・装置を有機的に利用し、研究者の自由な発想に基づく多様な研究環境を実現する。2) 粒子線や RI を幅広い基礎研究に利用する原子力技術応用研究 (BNCT 等)：原子炉・加速器施設及びホットラボラトリー・トレーサー施設を利用することにより、中性子線をはじめとする粒子線や RI の複合的な活用が可能となる。また大学に適した規模の新規サイクロトロン複合粒子線源を導入し、中性子・陽子・陽電子等を複合利用した新たな研究分野の開拓を可能ならしめる。3) 原子力エネルギーに関する諸問題を解決する原子力研究 (ADS 等)：研究用原子炉 (KUR/KUCA) ばかりでなく、高エネルギー陽子加速器 (FFAG) と原子炉 (KUCA) との結合を実現させた世界唯一の ADS を中心として、使用済み燃料問題をはじめとする原子力エネルギーの諸問題に関する基礎研究や中性子源としての可能性研究を行う。さらに KUCA や各種分析技術を応用し、日本の原子力エネルギーにおける本質的問題である福島事故問題解決に向けた基礎的研究を推進する。

### ③ 学術的な意義

本研究では、国内最大規模の大学研究炉を幅広い研究に供しており、粒子線や RI の利用も含めて、その成果は多様かつ広汎な領域に広がっている。例えば、「イトカワ試料」の放射化分析による微量元素分析の実施、新型中性子散乱装置の開発と J-PARC への設置による物質構造解析への貢献、放射光吸収メスbauer法の開発による機能性材料等への物性研究の進展など優れた研究成果を挙げている。さらに新規サイクロトロン複合粒子線源が加われば、基礎学術面ばかりでなく産業利用においても大きな貢献が期待できる。特に BNCT や ADS 研究などに代表される、社会に対してメッセージ性の高い原子力・放射線の有効利用に向けた複合研究分野に重点的に取り組んでおり、世界をリードする成果を得てきた。BNCT 研究では、KUR で悪性胸膜中皮腫に対する研究や新規診断の膠芽腫に対する臨床試験も開始される等、治療効果向上だけでなく適用症例も拡大している。また、小型サイクロトロンを用いた BNCT 用加速器中性子源を開発し、世界初の臨床治験も推進している。これまで原子炉でしか実施することができなかった本治療法を、病院付施設で可能とするものであり、既に本装置を設置した病院建設も行われている。



複合原子力科学の全体像

今後、BNCT をより社会的なインパクトを持つ治療法とすべく、さらなる研究の加速を行う。ADS 研究では、我が国独自の技術で加速効率の高いFFAG 陽子加速器と KUCA に構築した未臨界核燃料体系を組み合わせることにより、ADS の成立性・特性を評価した。同システムを用いて世界初のトリウム燃料を装荷した ADS 実験を開始するなど、世界を研究面でリードしている。さらに、KUCA 利用研究や各種分析研究によって福島事故問題に取り組むなど、原子力発電に伴う問題を人類の抱える問題としてとらえ、その解決に向けて基礎研究の面から貢献する。

#### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

社会情勢の変化に伴う維持管理の難しさによって、研究用原子炉施設は減少傾向にあるが、各国共にその重要性を認識して施設の集約化を行いつつ活発に利用している。また新規規制基準対応のための研究炉再稼働の遅れによる利用研究や人材育成への影響が、新聞やTVに何度も取り上げられるなど、社会的関心を集めている。本計画では、貴重な研究用原子炉施設等を有効活用し、大学という自由かつ多様な環境で放射線・RI 利用による複合的研究教育を実施することにより、健全な原子力科学の発展に貢献する。特に KUCA は、自由な炉心設計・組立・運転が可能な希有な施設であり、世界的にも教育利用への期待が大きい。実際、韓国大学連合は、10 年以上も大学院実習に利用している。また複合研究の重点分野として、BNCT 研究については、研究炉及び加速器利用ともに世界をリードしており、ドイツ・台湾・インドネシア・韓国等からも協力を依頼されている。ADS 研究では、高エネルギー陽子加速器(FFAG)と原子炉(KUCA)を結合した世界で唯一の装置を実現しており、実験結果がIAEAのベンチマークに採用され、世界の基準となるデータを生み出している。

#### ⑤ 実施機関と実施体制

実施機関：京都大学原子炉実験所

京都大学原子炉実験所では KUR、ホットラボラトリ、KUCA、陽子加速器 (FFAG、BNCT 用サイクロトロン)、電子線形加速器、γ線照射装置等のさまざまな大型施設・設備を利用し、放射線・RI を用いた極めて広範な分野に跨る、広義の原子力研究が全国共同利用制度のもとに行われている。全国の研究者や大学院生が自らの発想に基づいた研究を行うための場となっており、幅広い学術分野を基盤から支えている。計画の軸となる共同利用・共同研究については、多数の学外者を含む共同利用運営委員会等において方針の立案・課題採択等を行うことにより国内外の大学・研究機関等と協力・連携を図り、全国の研究者コミュニティに立脚するものとして推進する。なお、原子炉施設や放射線施設等の安全管理については、所外学識者を含めて構成される原子炉安全委員会・保健物理委員会で審議する体制を整えており、管理業務を行う体制として安全管理本部のもとに部・室を設け、万全を期している。

#### ⑥ 所要経費

所要経費(総額97億円)は以下の通り。1)サイクロトロン複合粒子線源(64億円)：[内訳]小型サイクロトロン(26億円)小型陽子線用サイクロトロンを利用して中性子や陽電子を発生させると共に、加速された陽子をも利用した多様な粒子線利用装置群を設置し、物質研究・分析研究における広域な研究を推進することによって、KURを補完・代替する機能を担わせる。既設実験研究棟整備(5億円)既存のイノベーションリサーチラボに小型サイクロトロンを設置・利用するため、遮蔽性能の増強等を行う。実験設備(9億円)中性子源、中性子・陽子・陽電子利用実験装置群を開発し、利用研究を推進する。総合研究棟(24億円)本研究を遂行するための研究棟を新設する。2)KUCA用燃料低濃縮化経費(21億円：米国による一部分担の可能性あり)：ADS研究や炉物理研究・教育をさらに発展させるために、KUCA用燃料を低濃縮化する。3)運用経費(12億円)：年額2億円。計画期間6年(平成29年度ー平成34年度)

#### ⑦ 年次計画

平成29-30年度：小型サイクロトロン設置及び実験設備整備(中性子源、中性子利用実験装置、陽子・陽電子利用実験装置)の設計・建設。平成30-31年度：各装置のコミッションングテスト及び利用開始。平成32年度以降：本格的な多目的利用研究の展開。新規サイクロトロン複合粒子線源を導入することにより、中性子を主とするが、そればかりでなく陽子や陽電子も利用し、KURの補完・代替として新たな研究分野の開拓を可能ならしめる。特に、BNCT基礎研究では、既設のサイクロトロン利用のBNCT治療装置との並立により、総合的医療研究を行う。平成29-38年度：KUCA用燃料の低濃縮化

#### ⑧ 社会的価値

福島第1原子力発電所事故によって見直された原子力施設の新規制対応のため、KURやKUCA等の国内すべての研究用原子炉が停止している。その結果、「放射線・RI利用研究や原子力人材育成が阻害されている」とマスコミ等で繰り返し取り上げられ、原子力規制庁もその問題を認めている。また、ハーグ及びワシントン核セキュリティサミットにおいて、KURの使用済み燃料米国返送期限の10年延長、さらにKUCAの利用運転継続の重要性及び高濃縮燃料の米国返送及び燃料低濃縮化が日米で合意された。これらの点からも研究炉等の有用性が広く社会に認知されていると考えられる。また、国策として進められがちな原子力研究開発に対し、多様性を認める自由な大学における研究教育がチェック機能を果たすことも重要である。BNCT研究については特に社会的関心が高く、主要新聞やTV番組で何度も報道されている。熊取町・大阪府・京都大学共同の「熊取アトムサイエンスパーク構想」や京都府・大阪府等による「関西イノベーション国際戦略総合特区」にも含まれ、さらに「熊取町総合計画」でも協力関係が明確に記載されている。これらは地域との共存共栄を目指すものとして地元から理解されている証拠である。さらに、原子力エネルギー利用における使用済み燃料問題の解決に向けた基礎研究を行うADS研究や福島事故関連研究は、社会的問題の解決に対して、大学として貢献するに相応しい活動である。

#### ⑨ 本計画に関する連絡先

川端 祐司(京都大学・原子炉実験所)

## 熱エネルギー高効率回収・有効利用技術の開発と社会実装への基盤形成

### ① 計画の概要

本計画では大量に廃棄されている未利用熱エネルギーの高効率回収、貯蔵、輸送のための技術開発、ならびに熱エネルギー需給市場形成の基礎となるデータ集積を行う。熱エネルギーの有効利用技術については、従来より熱量としての活用は十分に なされてきたが、質的（エクセルギー）な利用には検討の余地が大きい。その改善には発生する排熱と、利用側との時間、場所の相違を繋げる蓄熱・熱輸送技術の確立が必須である。例えば太陽熱発電においては出力の不安定性問題が随伴するが、高価な電池利用は経済性の面で普及の予測が不透明であり、安価な材料を用いた蓄熱は太陽熱利用方法を多様化し導入拡大に有用である。また、移動体分野では内燃機関を用いない電気自動車等の普及に伴って、車内空調に利用する熱源の不足が問題となるが、系外余剰熱およびエンジン排熱の回収と蓄熱・放熱を高効率で行う「熱のプラグインハイブリッド」が有効な解決策となる。

本研究では、熱エネルギーの回収、貯蔵、輸送のための技術の中から、特に化学蓄熱に注目してその実用開発を進める。化学蓄熱は熱を比較的高密度に長期間にわたり貯蔵、再利用できる利点があり、利用価値の高い温度域への熱の改質（温度変換）も可能であるため、次世代技術として重要と考えられているが、その実用化は世界でも未だに確立していない。そこで、化学蓄熱による熱エネルギー高効率回収・有効利用技術の社会的実装を目的に、個別に開発された蓄熱技術の集約・評価方法の標準化や熱エネルギー需給マップの作成を行う研究センターを設立し、これを拠点に国内外の研究ネットワーク構築、研究開発を進める。

### ② 目的と実施内容

熱エネルギーの回収、貯蔵、輸送技術の社会実装のための検討を行う。材料開発、要素技術開発を大学で、実用化開発を企業で行う。大学に研究拠点を設置し両者を有機的に連携し、研究開発を加速することを目指す。施設として材料開発・材料評価施設、蓄熱装置実証が必要であるので、「先進蓄熱技術研究開発センター」を設置する。材料開発・材料評価施設は材料の化学的・反応動力学的な特性のみならず、熱・物質移動を考慮した反応器、蓄熱装置開発に必要である。このため材料物性評価、反応性評価、熱的評価、物質拡散性評価などを包括的に実施する必要がある。次いで、得られた知見を基にし、材料を充填した反応装置を用いた蓄熱実証試験の実施が必要である。種々の運転条件に基づく性能を評価し、蓄熱技術の社会実装化を検討する。

### ③ 学術的な意義

本計画の開発要素としては、蓄熱材料の開発、実用向けの蓄熱パッケージ化、応用実証、新規の蓄熱市場の確立がある。この分野で日本には多くの研究者が活躍しており、個々の技術や知見を総合した複合的な研究開発が可能となる体制を構築する。熱利用技術が必要とする学術分野は広く、これまで個別に獲得されてきた異なった分野、異なった水準の知見を総合することによって事象の解明と新技術の開発に結実する可能性を持っている。例えば、材料研究には化学反応性と、熱・物質移動の高度・最適化が、材料設計にはナノオーダーの化学分子設計からメートルオーダーの装置設計までの一貫通貫した包括的な検討が必要である。また、化学反応と熱・物質移動を、多くの因子が関与する実用的な系において同立させることが問われており、化学、伝熱、機械分野の最新の技術を必要とする。

本研究は化学工学を起点にしている。対象と問題解決方法の選択が幅広く弾力性をもち、他の学問領域と多くの境界領域を共有する化学工学の特性は、熱利用技術の高度化に必要な化学、機械工学、システム工学などとの連携に適しており、新たな総合的な研究分野、学問体系の創出も視野に入れた取り組みに発展する契機となる。

### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

我が国における熱利用に係る研究・開発は、1970年代のオイルショック以来世界をリードしてきた。本構想遂行のために必要な化学、化学工学、機械工学、伝熱工学分野において第一線に位置する研究者を多く擁しており、世界に先がけた熱エネルギー高効率回収の実用化を達成する十分な基盤を有している。高温熱利用技術は米国エネルギー省、国際エネルギー機関など、世界的にも注目されている社会インパクトの大きい技術でありながら、広く普及するために必要な技術の確立に至っていない。その開発は日本のみならず世界規模でエネルギー有効利用を大きく進める可能性を持ち、応用先としては産業をはじめとして、太陽熱、地熱などの自然エネルギー、移動体部門など広範な分野で貢献する。各機関で個々に研究・開発されてきた技術と知見を総合し、研究連携によって分析・解析の共同化、大規模実証試験などを実行することによって、飛躍的な進展が期待できる。

### ⑤ 実施機関と実施体制

実施機関の構成は以下の通りである。熱エネルギー利用技術研究開発センターは国内の研究者の共同研究体制を構築し密接に連携しながら運営を進める。主に下記の組織からの連携を行う。研究の進展に応じて連携を拡大する。

#### 1. 東京工業大学 研究統括

- a. 熱エネルギー貯蔵技術開発センター設置、化学蓄熱材料を実装した発蓄熱装置の開発
- b. 実蓄熱装置の貢献性の検討

- c. 移動体利用
- d. 産業熱プロセス利用
- e. 再生可能エネルギー利用
- f. 化学蓄熱材料開発（反応促進、伝熱性促進）
- g. 未利用熱の発生状況と有効活用ポテンシャルに関する情報集約
- 2. 名古屋大学 吸着系化学蓄熱による冷熱発生装置の開発、反応促進
- 3. 九州大学 吸着系化学蓄熱による高温蒸気発生装置の開発、実用開発研究
- 4. 九州大学 材料分子設計
- 5. 千葉大学 化学系蓄熱装置の開発、パッケージ化研究
- 6. 東京工業大学 反応装置設計、熱エネルギー利用システムのパッケージ化
- 7. 東北大学 高伝熱性を有した熱エネルギー貯蔵材料のナノオーダーからメートルオーダーの一気通貫設計
- 8. 北海道大学 蓄熱輸送技術パッケージの実用化
- 9. 大阪大学 化学蓄熱装置の熱・物質移動最適化、動特性解析
- 10. 三菱化学、産業界排熱利用型生産システムの実用化研究、社会実装性検

## ⑥ 所要経費

5年間、総額31億円、センター拠点形成、人件費

平成28年度（7億円）

熱エネルギー利用技術研究開発センター建設 1億円

（既存設備を活用した内装の改修費用、0.3億円、蓄熱装置実証試験装置、0.3億円、電子顕微鏡、XRD材料等材料分析装置0.4億円）、センター研究費0.6億円、センター運営費0.4億円、

ネットワーク研究費 0.5億円×10グループ

平成29～32年度（24億円）

センター研究費0.6億円、センター運営費0.4億円、

ネットワーク研究費 0.5億円×4年×10グループ

## ⑦ 年次計画

平成28年度

事前の研究計画を策定し、熱エネルギー利用技術研究開発センターを建設、開設し、センター組織化を進める。

研究分野は以下の3分野を主とする。

### 1. 熱エネルギー貯蔵材料研究

熱エネルギー貯蔵材料、とくに化学蓄熱材料に可能性があり、この材料開発をナノレベルから、実用材料レベルまで包括的に進める。

### 2. 熱エネルギー貯蔵装置パッケージ化研究

熱移動促進が重要である、伝熱性を考慮した熱エネルギー貯蔵装置のパッケージ化研究を行う。

### 3. 熱エネルギー利用技術の社会実装研究

余剰熱源と熱需要間の適切なマッチング、市場開拓を進める。熱エネルギー情報基盤を整備する。熱利用の有効性、経済性評価を行う。

さらに、これらの研究ネットワークを組織化し、必須研究要素を研究グループに分担し検討を行う。

平成29～32年度

熱エネルギー利用技術研究開発センターの整備を進め、研究開発促進を進める。

装置実用化に向けての研究ネットワークごとに要素研究の活動を行う。

研究開発をもとに、社会実装可能な熱エネルギー貯蔵、利用技術装置の実用化を進める。

## ⑧ 社会的価値

200℃以上のいわゆる高温排熱・未利用熱の高効率回収、再利用は、エネルギー利用効率を高め一次エネルギー消費量を削減するための要となる技術である。また、自動車分野では燃料消費の低減こともない、室内空調熱源が不足すると予想される。特に電気自動車は蓄電の4割程度が室内空調に消費されることが経済的な課題である。自動車分野における蓄熱技術の貢献は大きく、日本の産業競争力の向上にも貢献する。このように蓄熱技術の確立は、省エネルギー、二酸化炭素排出削減という国民的要望に大きく応えるだけでなく、新産業分野の創出、産業力向上、エネルギー負担の軽減に直結する。また、技術の海外移転によって世界規模での二酸化炭素削減に寄与する可能性を持つ。

従来より日本の熱エネルギー貯蔵、利用技術は国を挙げて検討されており世界をリードする立場にあるが、本計画の推進によって世界に先駆け熱利用先進国としての地歩を確立できる。

## ⑨ 本計画に関する連絡先

藤岡 恵子（株式会社ファンクショナル・フルイッド）

## 宇宙探査ミッションを支える宇宙技術実証プログラム

### ① 計画の概要

本計画は、宇宙探査ミッションに必須の技術を宇宙実証によって獲得する。具体的には、太陽系の任意の天体に対して長期間表面探査を行い、地下試料を持ち帰るために、(1)重力天体突入・降下・着陸&長期表面探査技術、(2)外惑星領域往復&地下試料採取技術を実証する。(1)に対応するのが月面長期探査と火星探査、(2)に対応するのが木星トロヤ群小惑星探査と土星衛星エンセラダス探査であり計4つのミッションを宇宙実証プログラムとして実施する。さらに、貴重な飛翔機会を活用して科学成果も追及する。宇宙基本計画において、宇宙探査活動は「宇宙科学等のフロンティア」として重点課題に位置付けられ、人類の活動領域の拡大および世界第一級の宇宙科学を実現することで我が国のプレゼンスを發揮する。幅広いコミュニティの総意として本計画を進め、日本が太陽系探査を先導する。

本計画では、宇宙航空研究開発機構が中心となり、探査機開発・打ち上げ・運用を行う。全国の大学および研究所の研究者も多数参加する。本計画の総経費は1600億円である。4回の打ち上げはH34~H45を想定している。いずれも国際協力により進める。かぐや、はやぶさ、IKAROS等の成功を受けて、未踏峰領域への探査ミッションに対する国民の期待と理解が、これまでになく高まっている。固体惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは科学的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。本計画は非常に幅広い総合的なシステム工学であり、幅広い技術から構成されるため、裾野の広い産業をけん引し、社会的価値の高い応用を生み出す可能性が高い。世界第一級の技術実証、科学成果を追及しており、これらの活動を通して多くの人材育成も可能である。

### ② 目的と実施内容

本計画は、人類の活動領域拡大や英知を高める宇宙科学等に寄与する宇宙探査ミッションに必須の技術を宇宙実証によって獲得することを目的とする。貴重な飛翔機会を活用し科学成果も追及する。従来探査機で実証した技術を踏まえ、(1)重力天体突入・降下・着陸&長期表面探査技術、(2)外惑星領域往復&地下試料採取技術を実証することで、太陽系の任意天体の探査・試料獲得が可能となる。これら2セットの技術実証計画をコミュニティの総意で進める。

(1)科学技術や社会経済の発展に伴い、太陽系の他の天体表面に到達し直接探査することで、地球に対する理解や認識を深め、人類の活動領域として取り込みたいという望みは、科学者のみならず一般国民の間でも一層強まってきている。これには、天体表面、特に大気を持つ天体表面に直接アクセスするための突入・降下・着陸技術、月・惑星表面で移動し、様々な作業を行う表面探査ロボット技術、環境の厳しい月・惑星表面で長期にわたって活動するための越夜技術やエネルギー供給技術は必須の基幹的技術である。

(2)深宇宙航行技術の重要課題である、燃料の節約と電力の確保を解決するために「ソーラー電力セイル」を活用する。これはセイルに薄膜太陽電池を貼り付けることで、光子加速と同時に太陽光発電も行う日本独自のアイデアである。本計画ではこの電力を用いて高比推力イオンエンジンを駆動することで、ソーラーセイルと合わせたハイブリッド推進を実現し、木星圏・土星圏等の太陽系外惑星領域への往復探査を世界で初めて可能とする。木星トロヤ群小惑星探査では、親機の代わりに子機が着陸し、地下試料採取・その場分析を行う。離陸した後、親機にランデブー・ドッキングして、サンプルを引き渡す。土星衛星エンセラダス探査では、フライバイによる地下試料採取を行う。いずれも地球帰還後には試料回収・キュレーション・分析等を実施する。

### ③ 学術的な意義

(1)重力天体突入・降下・着陸&長期表面探査技術実証で、総合的な工学技術を体系的に獲得できる。具体的には、突入技術(エアロブレーキ、エアロキャプチャ、耐熱シールド、慣性航法誘導、姿勢制御等)、降下技術(パラシュート、パラフォイル、逆噴射エンジン、高精度航法誘導制御、自己位置同定、高度計・速度計、画像計測、空力制御等)、着陸技術(障害物検知回避、機体構造、着陸脚、エアバック等)、表面探査ロボット技術(走行、飛行機、環境認識、高度自律制御、ロボットアーム、掘削等)、越夜・長期滞在技術(断熱、熱制御、高密度電池、無線エネルギー伝送等)があげられる。理学観測は、火星の生命や表層環境(地質や気象)などハビタビリティの理解につながる科学、固体惑星・衛星の誕生と発達を理解につながる内部構造科学、などが科学コミュニティにより準備されている。また、将来人が滞在するための環境調査や資源利用実証など利用可能性調査(水氷などの利用可能資源、放射線、地盤、ダスト等)が世界的に検討されている。これらの科学成果は月や火星を「人類の活動の場」にするための基礎情報となる。

(2)外惑星領域往復&地下試料採取技術実証では、大型膜構造の収納・展開・展張、薄膜発電システム、姿勢制御デバイス、高比推力イオンエンジン、低推力推進機関による軌道操作技法等のソーラー電力セイル技術に加え、低温動作可能な二液推進機関、遠距離高精度軌道決定、地下試料採取、その場分析、子機の着陸、ランデブー・ドッキング、超高速減速技術、惑星検疫、キュレーション技術も併せて実証する。科学的成果としては、木星トロヤ群小惑星探査により太陽系形成論における巨大ガス惑星の軌道移動仮説の解明、土星衛星エンセラダス探査により氷衛星の地下海で起きている物質進化的な解明を行う。また、深宇宙巡航飛行環境を利用した科学観測を行い、太陽系科学、天文学、宇宙物理学の大きな進展にも寄与する。

#### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

宇宙基本計画において、宇宙探査活動は「宇宙科学等のフロンティア」として重点課題に位置付けられ、人類の活動領域の拡大および世界第一級の宇宙科学を実現することで我が国のプレゼンスを発揮する。理学・工学双方の幅広いコミュニティの総意として本計画を進める。

(1) 米露は本技術を確立しており、欧中印などの諸国も、この技術獲得に向け精力的に月や火星探査を実施または計画している。これに比べ、我が国の月・惑星長期表面探査への取り組みは遅れているが、低軌道や小惑星において特定の要素的技術を獲得している強みを生かして、単なるキャッチアップでなく、本格的探査に向けた安全確実な着陸、地形照合が難しい月極域への着陸技術、エアロキャプチャといった世界初の挑戦的課題に取り組むことで本技術実証を行う。

(2) 米露は月面、太陽風、彗星塵のサンプルリターンを実現した。一方、日本ははやぶさでイオンエンジンによる近地球型小惑星の往復を行い、表面試料を取得した。また IKAROS で初めてソーラー電力セイルを実証した。本計画では、ソーラー電力セイルにイオンエンジンを組み合わせることで木星圏・土星圏の往復を実現し、地下試料の採取も行う。

#### ⑤ 実施機関と実施体制

宇宙航空研究開発機構が中心となり、探査機開発・打ち上げ・運用を行う。海洋研究開発機構の知見も加えることで、サンプル回収および惑星検疫・キュレーション・初期分析施設の基盤整備を行う。多数の大学・研究所の研究者も本計画に加わる。

#### ⑥ 所要経費

総経費：1600 億円

(1) 火星探査技術実証ミッション：360 億円，月面長期探査技術実証ミッション：460 億円

(2) 木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション：300 億円，土星衛星エンセラダス探査技術実証ミッション：480 億円

#### ⑦ 年次計画

火星探査技術実証ミッション

ミッション検討：<sup>^</sup>H28 基本設計：H29<sup>~</sup>H30 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H31<sup>~</sup>H32  
 詳細設計，フライトモデル製作：H33<sup>~</sup>H34 総合試験：H35<sup>~</sup>H36 打ち上げ・着陸：H36 運用：H37

月面長期探査技術実証ミッション

ミッション検討：<sup>^</sup>H28 基本設計：H28<sup>~</sup>H29 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H29<sup>~</sup>H31  
 詳細設計，フライトモデル製作：H32<sup>~</sup>H33 総合試験：H33<sup>~</sup>H34 打ち上げ・着陸：H34 運用：H35

木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション

ミッション検討：<sup>^</sup>H29 基本設計：H29<sup>~</sup>H30 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H30<sup>~</sup>H32  
 詳細設計，フライトモデル製作：H31<sup>~</sup>H33 総合試験：H33<sup>~</sup>H34 打ち上げ：H34 木星トロヤ群小惑星到達：H45  
 地球帰還：H61

土星衛星エンセラダス探査技術実証ミッション

ミッション検討：<sup>^</sup>H40 基本設計：H40<sup>~</sup>H41 プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H41<sup>~</sup>H43  
 詳細設計，フライトモデル製作：H42<sup>~</sup>H44 総合試験：H44<sup>~</sup>H45 打ち上げ：H45 土星衛星エンセラダス到達：H55  
 地球帰還：H65

#### ⑧ 社会的価値

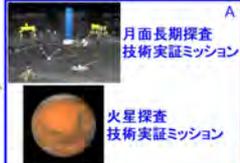
かぐや、はやぶさ、IKAROS 等の成功を受けて、未踏峰領域への探査ミッションに対する国民の期待と理解が、これまでになく高まっている。固体惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは科学的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。さらに、人類の活動領域の拡大、スペースガード、資源利用、有人探査のターゲット等非常に多くの意義・価値がある。本計画は非常に幅広い総合的なシステム工学であり、幅広い技術から構成されるため、裾野の広い産業をけん引し、社会的価値の高い応用を生み出す可能性が高い。例えば個別技術としては、宇宙用ロボット技術は製造業や防災・減災への応用、薄膜太陽電池はグリーンイノベーションへの貢献、宇宙用ポリミドは複合材などの民生応用、遠隔操作技術は遠隔医療への応用、耐放射線機器開発は SOI など新電子デバイス開発など、非常に多くの分野に貢献できると考えられる。本計画は、世界第一級の技術実証、科学成果を追及しており、これらの活動を通して多くの人材育成も可能である。

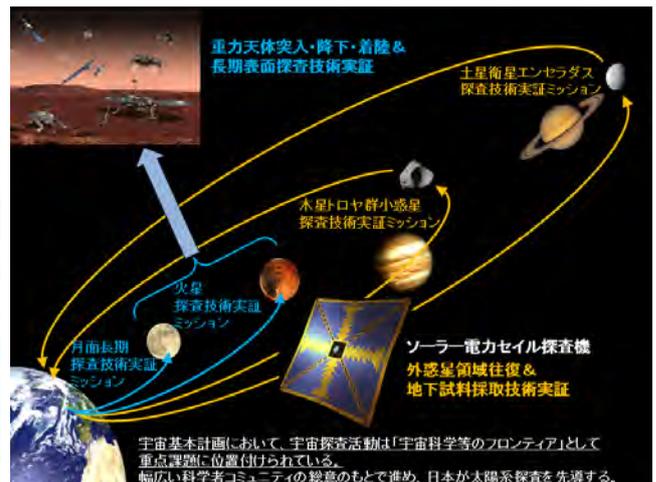
#### ⑨ 本計画に関する連絡先

森 治 (宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所)

技術分野	すでに実証した技術項目	本計画で実証する技術項目
相対運動	重力天体周回(かぐや) 小天体降下・着陸(はやぶさ)	重力天体突入・降下・着陸(A)
観測	リモートセンシング(かぐや、はやぶさ)	長期表面探査(A)
航行	イオンエンジンによる内惑星領域往復(はやぶさ) ソーラーセイルによる内惑星領域航行(IKAROS)	ソーラーセイル&イオンエンジンによる外惑星領域往復(B)
試料採取	表面試料採取(はやぶさ)	地下試料採取(B)



## 途上国の SDGs 達成に資する深海エネルギー・鉱物資源の開発のための実海域実証実験の実施および深海水槽の建設

### ① 計画の概要

わが国の広大な EEZ 内に賦存する海底鉱物資源開発、海底下での海底鉱物採掘技術、海洋深層水複合利用技術、CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留技術等の海洋開発を推進するため、掘削船・特殊プラント船・大型浮体施設・海中機器等の開発に向け、既存技術を集結し、さらに必要な新規技術を開発することで、実海域実証実験を実施し、わが国が先導的な役割を担い、世界をリードする海洋技術開発の体制の構築を目指す。また世界でも例の無い深海底から表層までの潮流や風波の環境状態を模擬できるように、深さ 30m、幅 50m、長さ 50m、直径 2m 深さ 30m のピットを有し、係留性能、定点保持性能、ライザー挙動等の船体と採鉱機能の力学的連成運動の実験的把握が可能な大規模深海水槽を建設し、海洋開発の実証試験と連携した開発、学術、教育を支援する。

### ② 目的と実施内容

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術では、金属含有率が高い鉱石のみ揚鉱し、セルフスタンディングライザー、係留した採鉱船を採用する。このため、海底鉱石選別技術、破碎・分級技術、電力供給技術、海底プラント設置・移設技術を確立する。

海洋深層水複合利用洋上浮体施設では、海洋温度差発電、温度差を活用した淡水生産、一次生産力とそれに連なる水産生物・魚類等の増殖、リチウムなどの海水中の貴重元素の濾し取りを行う、海洋深層水の複合的洋上生産施設の研究開発を行う。

海域地中 CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留の科学的検証実験では、桶状砂容器を深海中に設置、CO<sub>2</sub> をハイドレート化させ貯留能力を評価する。また大水深における CO<sub>2</sub> の環境影響評価法を確立する。

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置では、深海底から表層までの潮流や風波の環境状態を模擬した海中機器・深海性能実験を実施し、世界の中核的な研究拠点となる。

### ③ 学術的な意義

本計画は海洋深層という多面的な資源を多角的な生産物に変換する施設であり、船舶海洋工学分野だけでなく、より広汎な学術分野からの知見の導入が不可欠である。このように、明解なミッションを共有した多方面の学術分野に属する技術の統合化・複合化を行うことにより総合的に最適な形に纏める研究であり、学術的意義も深まる。

### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

2008 年から JOGMEC が海底熱水鉱床の資源量評価、採鉱・揚鉱、選鉱・製錬、環境影響評価を実施しているが、経済性を考慮しておらず、本提案は商業的成立性が確実なシステムの実証実験を実施する。OTEC は、1950 年代にハワイで、2013 年から久米島で実海域実験用プラントの試験運転が開始されている。海洋肥沃化は、1980 年の富山湾、2003 年の相模湾ともに定量的な評価は得られなかった。本提案は、OTEC と肥沃化を統合し、多目的化と大型化により、実用化可能なシステムを提案する。2017 年から苫小牧にて CO<sub>2</sub> 浅海域地中貯留が計画されているが、物理的に貯留可能でも、社会的受容性が得られなければ、沿岸域での CO<sub>2</sub> 大量貯留は難しい。そこで、漏洩リスクが少なく、沿岸との距離も離れた大水深沖合での CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留を提案する。欧米やブラジルには深海水槽が既にある。今後深海における基盤技術を構築するため、わが国も深海や海底下を正確に模擬できる大規模深海水槽設備を保有する必要がある。

### ⑤ 実施機関と実施体制

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術：大阪府立大、三菱電機

海洋深層水複合利用洋上浮体施設：東大、佐賀大、大阪府立大、広大、海洋大、海技研など

海域地中 CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留の科学的検証実験：東大、産総研、電中研、海生研など

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置：九大、三井造船

### ⑥ 所要経費

総額 710 億円、うち高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術：計 480 億円、海洋深層水複合利用洋上浮体施設：計 150 億円、海域地中 CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留の科学的検証実験：計 13 億円、海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置：計 67 億円

### ⑦ 年次計画

#### 【第 1 年度】

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術 概念設計 環境影響評価法開発

海洋深層水複合利用洋上浮体施設 海域調査 基本設計

海域地中 CO<sub>2</sub> ハイドレート貯留の科学的検証実験 適地調査 設計

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置 水槽設計

#### 【第 2 年度】

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術 制御システム構築 係留、ライザー技術の実験 海域調査

海洋深層水複合利用洋上浮体施設 製作・設置

海域地中CO<sub>2</sub>ハイドレート貯留の科学的検証実験 製作・設置 予測モデル開発

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置 水槽建設

【第3年度】

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術 実証実験システム設計

海洋深層水複合利用洋上浮体施設 製作

海域地中CO<sub>2</sub>ハイドレート貯留の科学的検証実験 設置

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置 係留方式開発、ライザー挙動把握

【第4年度】

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術 建造 環境アセスメント

海洋深層水複合利用洋上浮体施設 試運転

海域地中CO<sub>2</sub>ハイドレート貯留の科学的検証実験 物理探査 海水調査

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置 位置保持機能と船体運動の連成把握 船体運動の力学的連成把握

【第5年度】

高効率・環境配慮型の海底鉱物資源採鉱技術 実証実験実施 環境調査

海洋深層水複合利用洋上浮体施設 連続運転による運用 総合評価

海域地中CO<sub>2</sub>ハイドレート貯留の科学的検証実験 生物影響実験 モデル検証

海洋資源開発技術構築のための大規模深海水槽設置 浮体式油ガス貯蔵積出

⑧ 社会的価値

我が国の広大な EEZ の豊富な資源・エネルギーの開発のため、開発・運用コスト低減や機器システムの信頼性向上が必要とされ、社会的価値が高い。

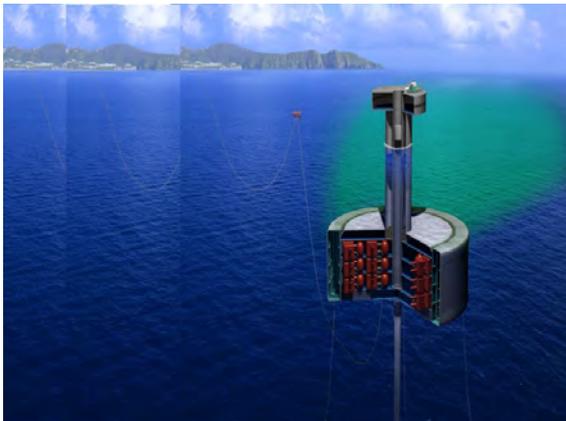
地上の主要金属は約 25 年で枯渇すると言われている。海底鉱山の含有率は 1.5%~20%と高く、コスト低減できれば有望となる。

離島では電力、淡水の供給コストは内地の数倍である。深層水を用いれば定常的・連続的な良質な電力・淡水を供給できる。

22030 年の電源構成政府案では、化石燃料は 50%を超える。一方、COP21 では日本は 2030 年までに温室効果ガス排出を 2013 年度比 26%削減するとした。ここに CO<sub>2</sub> 貯留技術は必須となる。

⑨ 本計画に関する連絡先

原 壽 (公益社団法人日本船舶海洋工学会)



海洋資源開発の技術構築のための大規模深海水槽

供用環境を再現し、プラント/プラント船の位置保持制御、係留方式の開発、ライザー力学挙動等の把握、設計要素の深掘り

