

有機エレクトロニクス統合拠点の整備

① 計画の概要

有機エレクトロニクス分野の発展により、トランジスター、発光素子、太陽電池などの電子デバイスが高分子基板上に印刷技術によって作製・集積できるようになり、安価で廃棄容易、かつ柔軟で軽量の情報端末を供給できる可能性がある（図 1）。有機エレクトロニクスの研究を遂行するためには、化学物質の合成、合成した化合物の精製、分子構造の評価、分子凝集構造の評価、薄膜の作製、薄膜の構造の評価、材料の物性評価、デバイスの作製・評価を統合的・分野横断的に行う必要があるが、研究に必要とされる設備を単一の学科・専攻単位で揃えるのは困難である。本計画では、有機エレクトロニクスの統合的・分野横断的な研究に必要な設備を、研究・技術職員も含め、一か所に集中配備し、全国の研究者が共同利用できる研究センターの設立を目的とする。化学系研究者が新物質を持ち込んでデバイス評価を行ったり、物性・デバイス研究者が評価結果を材料設計にフィードバックし、新規物質の合成を行ったりすることにより、統合的・分野横断的な研究を推進できる。中核的な共同研究プロジェクトの推進に加えて、地方在住研究者のための装置利用や技術相談も行う。

デバイス作製・評価のためのクリーンルームを複数備え、基板や電極などの微細加工のためのフォトリソグラフィ設備、真空蒸着器、スパッタ装置、グローブボックスなどの真空装置、デバイス評価のための電気測定設備、有機化合物の構造評価に必要な、核磁気共鳴スペクトルメーターなどの分光装置、有機化合物の合成や試料作製に必要な、排気設備付きの化学実験室、印刷技術などを用いた、薄膜作製装置を複数備えた建物を建設する。装置類を運用するための技術職員も雇用する。

② 学術的な意義

アカデミックロードマップにも強調されているように、応用物理学、特に、有機エレクトロニクス分野においては、物理系のみならず、電気系、化学系、バイオ系などの多分野の研究者の連携・協力による統合的・分野横断的な研究の推進が不可欠である。しかし、現状では、設備や研究者の配置は、大学の学科・専攻や研究所の部門などの専門分野ごとに行われており、研究分野間・組織間の連携が必ずしも円滑に行われていない。研究者の努力により、複数の研究機関の共同研究が推進されているケースも多々見られるようになってきたが、遠距離の移動や輸送、意思の疎通のための打ち合わせを必要とし、時間・労力・資金のロスが多い。1か所に主要設備を集中することにより、材料設計・物性評価・デバイス評価間の情報のフィードバックが効率的に行われ、分野間・組織間の共同連携が飛躍的に進むことにより、学際性を特色とする本分野の発展に寄与する所大である。

本研究拠点を整備することにより、分野横断的な共同研究、産官学連携研究が進み、本研究分野において、日本の学術研究や関連産業が世界で指導的な地位を占めることができるものと期待される。また、現在の科学技術予算の「集中と選択」から排除されている地方大学の研究者に対しても、研究支援を行うことができ、地域からの研究シーズを産業の発展に結び付け、地域産業の振興にもつながるものと期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

現在、日本、欧州、米国で有機エレクトロニクスに関する研究が急速に進展している。電界発光素子の商品化に続き、薄膜トランジスターや太陽電池が実用レベルに達しつつあり、材料開発やデバイス特性の研究に加えて、産業化を視野に入れた印刷技術を利用したプロセス開発が急速に進んでいる。デバイスの集積密度においても、コストにおいても、シリコンをベースとした現在の電子デバイスは限界に達しつつあり、分子レベルの機能集積が原理的には可能で、低コストの溶液プロセスによるデバイス作製が可能な有機材料は、産業応用の面でも、未来材料としても重点的に研究を進める価値がある。当該分野において、日本人研究者はこれまで極めて重要な役割を果たしており、日本の大学、研究期間企業が有する人的資源は絶大である。

本計画は、当該分野に関する共同利用研究センターを設置することにより、研究環境の整備を行い、それと同時に、日本が有する当該分野の人的資源の交流を促進するものである。異なったバックグラウンドを有する研究者の交流による相乗的な効果により、当該分野のさらなる発展も期待できる。

④ 所要経費

有機合成設備（実験室、ドラフトなど）5 億円

有機半導体を用いた電子素子
電子写真感光体、液晶、
電界発光素子、薄膜トランジスター
太陽電池、バッテリー

安価、低生産コスト、低廃棄コスト
軽量、柔軟、耐破損性

印刷技術によるデバイス作製
高分子フィルム上にデバイス集積



分野横断的 — 物理学、電子工学、有機化学、高分子工学.....

図1 有機エレクトロニクスの現状

分子構造・分子凝集構造評価装置類（NMR などの分光光学装置、X 線回折計など）5 億円

クリーンルーム 10 億円

デバイス作製装置（真空装置類など）2 億円

印刷技術による有機薄膜製造装置類 2 億円

物性・デバイス評価装置類（レーザー、電気特性測定装置類など）5 億円

事務・技術職員人件費 5000 万円、研究員人件費 1 億円、建物 30 億円

⑤ 年次計画

1－3 年目：建物の建設、技術・研究職員の配置、設備の整備

3－8 年目：全国共同利用研究の推進、分野横断型・統合型の研究プロジェクトの推進

8－10 年目：国際共同研究の推進

1－3 年で、建物や装置類の設置を行い、インフラストラクチャーの整備を進める。同時に、設備を保守管理する技術・事務職員、専任研究員の配置を行う。

その後、専任研究員の研究プロジェクトを推進しつつ、全国に共同研究プロジェクトの公募を行う。共同研究プロジェクトには大学、国立研究所、企業などが参加し、産官学の連携を推進しつつ、世界でトップレベルの独創的な研究・技術開発を行う。共同研究プロジェクトと並行して、設備が不足しがちな地方大学や中小企業の研究者を対象にして、測定・分析の支援を行い、当該領域のすそ野を広げると共に、新しい科学・技術シーズのピックアップ、育成を行う。センターの設備の使用は、専門の研究者のみならず、大学院生にも、指導教員の監督のもと、許可する。それによって、有力大学のみならず、地方大学や私立大学での人材育成にも貢献する。

国内の共同利用が軌道に乗った所で、共同研究の枠組みを海外に広げ、国際共同研究を推進する。当該分野において、日本が国際的なリーダーシップを発揮することに寄与できる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

独立行政法人産業技術研究所や独立行政法人物質材料研究機構を中心として、すでにある程度、分野横断的に設備が整備されている。建物建設用地を確保しやすいつくば市の独立行政法人研究所を実施機関とする予定である。

センター運営のための運営委員会を組織する。現在、日本には重鎮・若手を問わず、当該分野において、世界的に高く評価されている研究者が多く存在する。そのような研究者を中心としていくつかの研究会や組織が存在する。そのような研究者集団をベースにして運営委員会を設立する予定である。日本学術振興会 142 委員会や有機エレクトロニクス研究会が有力である。また、応用物理学会には、有機分子バイオエレクトロニクス分科会があり、様々な支援を仰ぐこともできる。物理系・化学系の若手研究者が分野横断的に集まった未来の有機半導体科学を考える会も協力できる。

設備を運用するための研究職員、技術職員、事務職員を雇用する。専任の研究職員は公募により選考する。

⑦ 社会的価値

図 2 に有機エレクトロニクスの社会的・学術的価値の概要を示す。有機エレクトロニクスは電気・電子工学、応用物理学、物性物理学に加えて、有機・無機化学、高分子科学などの分野からの影響を受けながら発展してきた経緯がある。近年は、有機エレクトロニクス分野の発展による、他分野での新しい研究領域の形成の促進が顕著である。当該分野の研究が進展することにより、従来のシリコンをベースとした半導体素子には困難であった、柔軟で軽量の製品が実現できる。例えば、身体に装着して使用するバイオセンサーは柔軟で軽量であることが求められる。このようなデバイスは高齢化が進む日本社会において、必要性がますます高まるものと予測される。

有機半導体を用いた太陽電池や有機高分子を用いた二次電池の研究も近年急速に進展しており、日本人研究者が指導的な立場にある。本分野の発展により、日本国内外のエネルギー問題にも寄与できる。また、安価に半導体素子を作製できるのも有機エレクトロニクス材料のメリットである。テレビや情報端末など、有機半導体を用いることにより、従来よりも安価な製品を提供できるため、経済的な波及効果が大いに期待できる。また、生産・廃棄コストを低減することは、環境負荷を低減することにもつながる。人類の持続的発展のためにも、本分野の強化は重要である。

本研究分野の発展により、従来の半導体素子の枠組みを超える材料・デバイスが実現できるため、本提案は新産業の創出、日本の産業競争力の強化に大いに役立つものと期待できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

舟橋正浩（香川大学工学部） m-funa@eng.kagawa-u.ac.jp

有機エレクトロニクス — 学際的・分野横断的・統合的



光電子機能高分子（共役高分子など）、界面科学
バイオエレクトロニクス、医工学分野

安価＋軽量

Wearable device — 高齢化社会に対応

安価な情報端末を提供 — 新産業創出・経済効果
低環境負荷、資源エネルギー問題への寄与

図 2 有機エレクトロニクスの社会的・学術的価値

長寿命放射性廃棄物の核変換により原子力発電の最大の課題に立ち向かうための 技術基盤構築を目指す J-PARC 核変換実験施設

① 計画の概要

J-PARC の線形加速器 (LINAC) で加速される 400MeV・250kW の陽子ビームを用いて、放射性廃棄物に含まれる長寿命核種の短寿命化を目的とした「加速器駆動核変換システム」(ADS)を開発していくための基礎的な実験を行う。まず、LINAC を用いて核破砕ターゲットの技術開発を行う「ADS ターゲット試験施設」を整備し、続いて、核分裂連鎖反応の臨界及び未臨界状態を実現できる臨界実験装置と LINAC とを連結する「核変換物理実験施設」を整備する。両施設を合わせて「核変換実験施設」(Transmutation Experimental Facility: TEF) と称し、前者を TEF-T (ターゲットの T)、後者を TEF-P (フィジックスの P) と呼ぶ。TEF-T では本来目的の他、400MeV 陽子や核破砕中性子を先端的な物理学研究や医学・産業応用に供する多目的利用も可能にする。TEF-P では実験対象に ADS だけでなく高速炉 (FR) も含み、核変換の対象となるマイナーアクチノイド (MA) 元素を燃料に用いた実験を世界で初めて可能にする。原子核物理学コミュニティと原子力科学・工学コミュニティが学際的に交流しながら、国際的なネットワークを形成して幅広い実験に挑戦し、世界的な課題となっている放射性廃棄物処分の負担軽減を目指す。

施設建設に要する予算は 220 億円程度で、約 8 年が必要である。ADS ターゲット試験施設は 2015 年度に着工し、2017 年度に運転を開始する。核変換物理実験施設は原子炉施設であることから、着工前の安全審査等の手続きに約 3 年を要すると見込んでいる。2017 年度に着工、2021 年度頃に施設を完成させ、実験を開始する。

② 学術的な意義

高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種を、その半減期や利用目的に応じて分離するとともに、長寿命核種を短寿命核種あるいは非放射性核種に核変換するための技術を分離変換技術と呼ぶ。核変換技術は、この分離変換技術の主要な要素であり、原子力の利用の最大の問題点の一つである廃棄物問題の解決に大きなインパクトを与え、エネルギーの安定供給と地球環境保全の両立に多大に貢献するものである。ADS は核変換を主目的とした原子力システムであり、超伝導加速器から供給される 1GeV 程度の陽子を鉛ビスマス等の重金属に当てて発生する核破砕中性子を使って長寿命核種であるマイナーアクチノイド (MA) の核分裂反応による核変換を行うものである。MA は核分裂反応の際に中性子を発するため、その核分裂中性子の連鎖反応も核変換に用いる。体系は未臨界状態なので、加速器を止めれば即座に連鎖反応が止まるため、安全性が高い。これにより、MA を集中的に効率良く核変換することができ、原子力を持続的に用いる場合であっても、原子力から徐々に撤退するような場合であっても、柔軟に対応することが可能である。

本施設の整備により、ADS の実現に必要なビーム窓材料の照射データや、高レベル放射性廃棄物中で超長期にわたって強い有害度を保持し続ける MA の核変換に必要なデータを取得できる。また、ADS ターゲット試験施設では、J-PARC の既存施設では不可能なロングパルスの大強度陽子や核破砕中性子を使った様々な実験が可能である。既に、核破砕反応で生じる短寿命核の物理実験、大量に発生する中性子を用いた基礎物理実験、RI 製造、宇宙線起因中性子の半導体への影響評価等、広範囲な施設利用の提案が検討されている。このように、これまで交流が希薄であった原子力工学分野と原子核物理をはじめとする理学分野の接点となり、学際交流による新たな知の創造も期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

2009 年に原子力委員会から出された報告書では、本計画に対して「核破砕中性子源と高速未臨界炉心を組み合わせた模擬実験は世界的にも未着手であり、J-PARC 等の活用が期待される。」等と記載されている。

国内の ADS 関連実験として、京都大学原子炉実験所の臨界実験装置 KUCA を用いたものがある。これは J-PARC における本格的な実験の前段階の基礎実験と位置付けられる。

核変換技術には発電用高速増殖炉を用いた概念もあり、「もんじゅ」での燃料照射試験等が予定されているが、炉心特性等

J-PARC核変換実験施設の提案



の実験的検証がなされていない。J-PARC では、マイナーアクチノイドを用いた臨界実験も可能であるため、高速増殖炉を用いた核変換技術の研究開発にも貢献する。

欧州では2005年から2010年に15カ国30機関と17大学が参加してEUROTRANSプロジェクトが行われた。この流れを受け、ベルギーでは2016年に熱出力50～100MWの照射試験用ADSであるMYRRHAを建設する計画である。J-PARCの核変換実験施設は、このMYRRHA計画と連携して核変換用ADSの開発を効率的に行うことを目指している。

④ 所要経費

施設建設費

- ・開発費及び設計費 : 8.9 億円
- ・ビームライン建設費 : 17.3 億円
- ・ADS ターゲット試験施設建設費 : 64.1 億円
- ・核変換物理実験施設建設費 : 129.4 億円
- 計 : 219.7 億円

運転維持費 : 10.0 億円/年

MYRRHA への拠出金 : 100 億円

これらを合わせると、10年間で約400億円の経費が必要である。なお、この中には原子力機構の職員人件費は含まない。

⑤ 年次計画

ベルギーのMYRRHAが2023年頃からの運転を目指しており、その安定な運転に資する核破砕ターゲット用材料の開発を進めるため、ADSターゲット試験施設の建設に速やかに着手する。今のところ、2015年度に着工し、2017年度に運転を開始することを目指している。並行して、核変換物理実験施設の設置許可の手続きを進め、ADSターゲット試験施設の建設完了に引き続き2017年度から核変換物理実験施設の建設を開始し、MYRRHAの運転開始に先んじる2021年度に施設を完成させ、運転を開始する。核変換実験施設の実験で得られる様々な知見と、MYRRHAの運転経験を踏まえながら2020年代後半には実用のADSの設計を進め、2030年頃には実用規模のADSの建設の可否を判断できるほどまでに技術を高める。

⑥ 主な実施機関と実行組織

中心となる機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構

役割：施設を建設し、運転・維持を行うとともに、実験を主導的に進める。また、国内外の他機関からの実験参加を募り、その実験の遂行に協力する。なお、同機構では、分離変換技術に欠かせない分離技術の研究開発等も並行して実施する。

その他、現在のところ想定される主な実験グループは以下のとおり。

北海道大学：核変換システムの炉物理実験

東北大学：核変換システムの炉物理実験

茨城大学：核破砕ターゲット技術の開発

東京工業大学：核変換システム用核データ測定

名古屋大学：核変換システムの炉物理実験

京都大学：核変換システムの炉物理実験

大阪大学：核変換システムの炉物理実験

九州大学：高エネルギー陽子及び中性子の挙動実験

この他、ADSターゲット試験施設（TEF-T）の多目的利用においては産業界も含めた様々な実験グループの参加が想定されている。

⑦ 社会的価値

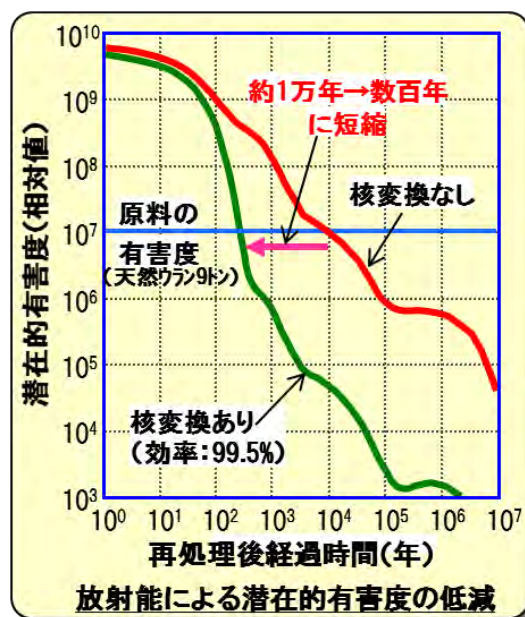
原子力を巡る全ての議論において、高レベル放射性廃棄物の処分に関する展望が開けていないことが大きな影響を与えている。持続的に原子力発電を利用するならもちろん、原子力から撤退する場合であっても、既に蓄積している使用済燃料の処理処分は避けて通れない。これは、今後ますます原子力利用の拡大が見込まれるアジア地域や、既に原子力発電が成熟している欧米においても共通した課題である。

日本学術会議は原子力委員会からの依頼を受け、2012年9月、「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」と題する報告書を公表した。この中で、高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策の抜本的見直しの必要性が示され、「暫定保管」の導入が提唱されている。そして、この暫定保管によって確保した時間的猶予を利用して、核変換技術等の研究開発を進めることで、処分の安全性における確実性が向上する可能性があるという指摘している。

核変換技術は、原子力利用による負の遺産をできるだけ後世に残したくないという国民の願いと、我が国のエネルギー安定供給に資する原子力の高度利用を図りたいという産業面からの要求を同時に満たすために欠かせない技術である。

⑧ 本計画に関する連絡先

大井川 宏之（日本原子力研究開発機構） oigawa.hiroyuki@jaea.go.jp



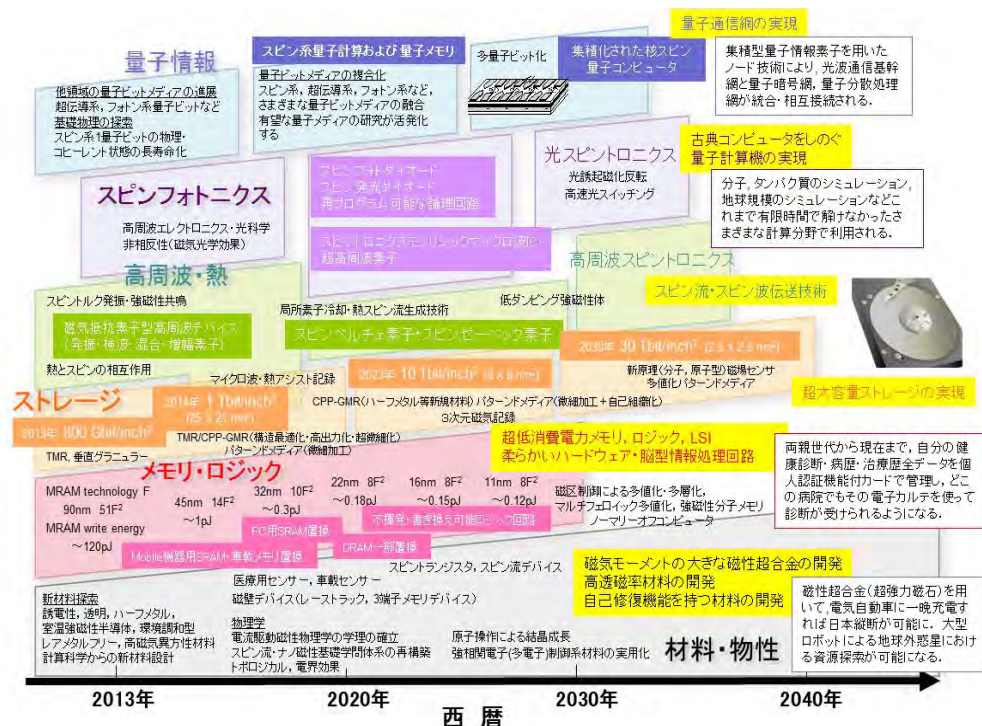
「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点の整備

① 計画の概要

「スピントロニクス」は、エレクトロニクスや情報処理に「スピン」の自由度を積極的に用いた材料、デバイス、システムの研究開発を行う分野である。近年の磁気記録技術の飛躍的な向上に重要な役割を果たしてきた巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見に対し、2007年にノーベル物理学賞が授与されたことからわかるように、スピントロニクス分野は学術および応用技術の両面で急速な発展を遂げている。トンネル磁気抵抗効果(TMR)を利用した Magnetoresistive Random Access Memory (MRAM)の開発とその高機能化は、この分野における現在および近未来の最重要課題であり、新材料開発と高集積化により不揮発性固体メモリ/ストレージのさらなる発展と実用化を目指した研究を行う。さらに、これまで情報処理、特に論理演算においては、電荷(電流)を用いたエレクトロニクスデバイス素子の開発が主流であったが、今後はスピンおよびスピン流を用いた低消費電力新機能デバイスの開発を進める。特に、不揮発性記憶素子と演算素子の機能を兼ね備えたスピントランジスタの開発、再構成可能な論理回路、低消費電力のノーマリオフコンピュータ、右脳型の柔軟な情報処理技術の開発、およびそれらを可能にするスピントロニクス材料の開発を目指す。また、スピン(電子スピン、核スピン)、電荷、光を融合させた量子情報技術に関する研究を進める。これらの研究開発は、(1)材料科学および物理学、(2)ストレージ、(3)メモリおよびロジック、(4)量子情報の4つの分野に大別されるが、各分野間の連携を密にとりつつ、スピントロニクス学術研究基盤の構築を進めてゆく。日本国内にはこの分野で世界をリードする研究グループや研究機関が数多く存在するので、研究グループ間および研究機関の間のネットワークを構築し、緊密な交流や共同研究を促進してさらなる研究の展開とイノベーションを目指す。

② 学術的な意義

電子は「電荷」とともに自転の角運動量に相当する「スピン」を持っている。「電荷」の蓄積や流れを制御することによって、トランジスタや集積回路をはじめとするさまざまなデバイスが生み出され、20世紀後半以降、エレクトロニクスや情報・通信技術の大発展をもたらした。一方、「スピン」は磁性の源であり、磁石は古くから使われてきたが、磁性と電子の伝導がかかわる巨大磁気抵抗効果など新しい物理現象の発見を契機に応用技術も発展し、20世紀末頃から「スピントロニクス(Spintronics)」といわれる新しい分野が形成された。ここでは固体中の「スピン」の生成、蓄積、流れ(スピンの流れは「スピン流」とよばれる)を理解し制御することが中心的課題の1つである。「スピントロニクス」の研究は、固体物理、材料科学、電子工学、磁気工学およびそれらを横断する諸領域において、今では世界的に大きな潮流となっている。これらの研究は、学術的に新しく価値があるのみならず、ポスト・シリコンデバイスも含め、電子・情報通信産業のイノベーションをもたらすことが強く期待されている。研究が発展することにより、右のアカデミックロードマップに示されているように、材料物性、ストレージ、メモリ、ロジック、高周波・熱、スピントロニクス、および量子情報分野における様々な革新的技術の創出が期待される。また、近年は、スピンと電気(電流・電圧)の関わりのみならず、スピンと磁化、スピンと光(電磁波)、スピンと熱などが関わる新しい物理現象



スピントロニクス分野のアカデミックロードマップ (応用物理学会スピントロニクス研究会作成)

の発見が相次いでいることもあって、学術とその応用において新しい展開が生み出されつつあり、最も活気ある分野であるといえる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

電荷を主に用いていた材料やデバイスの世界に、スピンという物理量を積極的に利用して、新しい物性や機能、デバイスを実現しようとするスピントロニクスは、世界的に大きな研究の潮流になっている。中でも強磁性金属と多層膜をベースとした

GMR や TMR を用いた磁気センサ素子はハードディスク装置の記録密度の大容量化に貢献してきた。TMR を用いた MRAM の開発が進み、近い将来の不揮発性固体メモリとして期待されている。半導体においても、スピンの影響が顕著に現れる様々な新物質やナノ構造が作製され、エレクトロニクスへの応用が検討されている。情報技術を支えてきたシリコン集積回路の微細化が近く限界に到達することが予想され、新しい原理や機能をもつ次世代デバイスが求められる中で、スピントロニクスは将来技術の1つとして期待されている。酸化物、分子、有機物においてもスピン自由度を用いた材料デバイスの研究が盛んに行われている。これらの研究において日本の研究者の役割は極めて大きく世界をリードしている。本研究計画は、これらの研究者間のネットワークを構築し、さらなる研究の発展とイノベーションを通じて社会への貢献を目指す。

④ 所要経費

総額 50 億円 (10 年間で想定)

(内訳)

スピントロニクス連携研究教育センターの設立と維持	16 億円
スピントロニクス連携研究教育センター支部の設立と維持	14 億円
特任教員、研究員の雇用費	9 億円
設備備品費、消耗品費	8 億円
国際会議、スクール、研究会などの開催費、招聘旅費	2 億円
広報、成果報告、出版費	1 億円

⑤ 年次計画

(1) 初年次～2 年目

- ・スピントロニクス連携研究教育センターを主要大学 1 か所に設立する。他の主要大学にはセンターの支部をおく。センターおよび支部には専任および兼任の教員と職員を置き、運営に責任をもつ。センターでは研究用試料の作製や評価分析など、共同研究のコアとしての役割を果たす。これらの運営には、企業の研究者も積極的にに関わり、シーズの創成とともに産業界からのニーズの視点をも重視する。

- ・スピントロニクス・ネットワークを設立し、すでに国内主要大学間で存在する連携ネットワークと統合し、さらに強化する。また、海外の主要研究機関とも連携し、国際的なネットワークを強化する。

以上の体制を最初の 2 年以内に確立し、日本のスピントロニクス研究の国際競争力を維持・強化するとともに、国際的な連携を図る。

研究面では、上記のセンターとネットワークを生かし、材料物性、ストレージ、メモリ、ロジック、高周波・熱、スピントロニクス、量子情報の各分野における研究と人材育成を進める。

(2) 3 年目～7 年目

スピントロニクス連携研究教育センター、支部とその連携ネットワークを強化し、アカデミックロードマップの目標に沿って、材料物性、ストレージ、メモリ、ロジック、高周波・熱、スピントロニクス、量子情報の各分野における学術基盤を確立し、応用に近い分野から産業応用に展開する。学生および企業の若手研究者向けのスクールを毎年開催し、人材育成と教育を行う。2 年に 1 回程度、国際会議を開催し、成果の発信と国際交流に努める。

(3) 8 年目～10 年目

引き続き、スピントロニクス連携ネットワークを生かした研究と人材育成を進める。成果が挙げた研究から企業への技術移転を積極的に進める。基礎研究から応用までの成果をまとめ、主催する国際会議で発表するとともに、学術的成果としてオンラインおよび書籍にて出版する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

スピントロニクス連携研究教育センター（場所は未定であるが、東京大学、東北大学、大阪大学、慶應大学などがその候補）およびその支部を上記主要大学に設置する。

スピントロニクス研究を行っている主要大学および主要研究機関は下記のとおりであり、これらの研究機関がスピントロニクス・ネットワークに参加する。

主要大学：（北から）北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、早稲田大学、東京工業大学、慶應大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学など

国立研究機関、独立行政法人：産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、理化学研究所など。

⑦ 社会的価値

我が国の科学者・工学者、特に応用物理学分野の研究者の貢献は極めて大きいものがある。スピントロニクス分野がさらに発展すれば、アカデミック・ロードマップで実現が期待されているスピンおよびスピン流を用いた低消費電力新機能デバイス、不揮発性記憶素子と演算素子の機能を兼ね備えたスピントランジスタの開発、再構成可能な論理回路、低消費電力のノーマリオフコンピュータ、右脳型の柔軟な情報処理技術の開発が進み、革新的な技術、新しい産業の創造、環境にやさしい社会基盤の構築をもたらすことができる。

⑧ 本計画に関する連絡先

田中 雅明（東京大学・大学院工学系研究科） masaaki@ee.t.u-tokyo.ac.jp

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】科学技術は、大規模集積回路、太陽電池、白色照明、燃料電池、自動車・航空機および環境などのほぼ全ての産業を根底から支えている。最近では医療、薬、農水産においても新しい応用が勃興し、新たなライフイノベーションが期待されている。プラズマ科学は、個々の学術領域を支え、多様な学術領域を横断、融合することで技術や社会基盤の革新的飛躍をもたらす未踏の学際領域である。我が国には、名古屋大学に53年に亘るプラズマ科学研究の伝統があり、国内唯一の産業応用の大型研究センター「プラズマナノ工学研究センター」をプラットフォームにして、産業応用を目指したプラズマ科学の基礎及び応用に関する教育研究拠点として世界を先導している。

本計画では、同大学が世界に誇るプラズマ科学技術を中心に置き、他の研究機関が連携することで、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世界最高峰の拠点を構築する(下図参照)。これによりプラズマと物質との相互作用に関する基礎科学の深化と共に、新たな学際融合領域『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』を創成し、人類の持続的発展に寄与するグローバルイノベーションを起こす。そのために一層高いレベルの研究者の育成、独創的基礎研究成果を事業まで描写する戦略的マネージメントの専門家の召致、高度技能者組織を整備し、研究者が研究に専念して破壊的イノベーションを起こすためのシーズを創出できる拠点を構築する。また、知財戦略、技術移転戦略を策定し、その成果を産業や医療に迅速に展開、活用する産官学連携組織を整備する。独創的プラズマ装置群をインフラに置き、国際共同利用するためのネットワークを構築することで、世界中から知恵、人、モノが集積するシステムを構築する。

② 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(時空間計測技術、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」領域として体系化する。産業や医療応用のプラズマ技術や独創的な装置を創製することによって、最先端プラズマ科学の深化と科学に基づいたグローバルイノベーションの創出を行う。即ち、多様な学際領域の境界を破り、融合させることで、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。

本拠点の特徴は、プラズマ科学と異分野との境界領域において発現する新現象に果敢に挑戦、体系化することにより、未踏



の科学領域分野として「プラズマ科学」を深化させる。コンカレントな研究開発環境を構築することでグローバルイノベーションを永続的に引き起こすスキームを創る。これによって、「超高効率太陽電池による未来エネルギー」「次世代車載用 GaN パワーデバイス」「3色発光 LED(白色照明)による低消費電力未来照明」「THz 動作超高速 GaN チャネルトランジスタ」「大気圧・液中プラズマによる革新的がん治療・再生医療」「Beyond Si および CMOS 超低消費電力 ULSI」、「高性能小型宇宙衛星」、「新ドラッグデリバリー」、「ウイルスパンデミックの防止滅菌技術」、「新農水産技術」などの未来科学技術を創製する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

現在、産業基盤を支えるプラズマ科学技術で日本は世界トップである。今後、国際連携によるプラズマ科学の深化とグリーン、ライフ、安心安全のグローバルイノベーションの創成により、学理および革新的応用で高い優位性を常に確保しつつ、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。プラズマ科学技術は、全産業を根底から支えており、そのボトムアップがイノベーションに直結する。従って、プラズマ科学技術の推進が海外では戦略的に遂行されている。特に、独、英、米、豪、台、韓、シンガポールでは、国家プロジェクトや新センターが設立されている。我が国も一刻も早い対応として、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の構築が必要である。この動向を鑑み、7年前から名古屋大学が中心となり東海地域の産官学、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。

④ 所要経費

・総額 230 億円(施設の建設：80 億円、初期設備導入：50 億円、人件費・運営費：10 億/1 年、10 年間)。

我国の叡智を結集して創製する「超高精度プラズマ気相・表界面反応計測システム」、名古屋大学で創製した究極の装置「自律型プラズマ製造装置」を中心に、多様なプラズマ装置を整備して国内外ネットワークを基に産官学連携で運用する。

・施設の建設(80 億円)：2 棟(実験棟 4 階+地下 1 階 5500 m²、教育研究棟 5 階+地下 1 階 5400 m²)を建設する。

・設備(初期導入設備：50 億円)：叡智を集結した世界唯一の国際共同利用装置を整備し、世界の研究者が集まる装置群を設置。

・人件費：教授・准教授、研究員のポストを国際公募で雇用すると共に、設備運営のための技術者を雇用する。

・運営費：他国との連携強化のため、学生及び研究者の派遣、受入れを行う。研究者が有効活用できる環境整備を継続的に行う。

⑤ 年次計画

H23～27 年を第一期プラズマナノ科学の創成、H28～34 年を第二期プラズマナノ科学の技術展開とし、事業計画のロードマップを作成、既に事業を推進している。第一期で、気相・表界面現象を統合した解析、計測実験を進め、イノベーション創出の基盤を確立する。第二期は、国際的共同利用施設としての活動を推進し、人材育成や国際科学ネットを通じたデータベース構築により、ナノ～大面積、液体～大気圧、真空に亘るプラズマ源の設計や表界面反応シミュレーション、一原子分子モニタリングと自己組織化反応を融合した未来プロセス技術を確立し、グローバルイノベーションを次の年次計画で推進、実行する。

・H25 年度：サテライト、連携機関の協力体勢に基づき、全体計画を策定し、「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点(PGI)」研究棟、PGI 内の国際共同利用施設及び学外に設ける産官学連携施設整備の具体的なグランドプランを作成する。

・H26～27 年度：PGI 研究棟建設、世界ネットワーク機能整備、第一期「プラズマナノ科学の創成」終了、世界ネット機能完成

・H28 年度：第二期「プラズマナノ科学の技術展開」開始、産官学連携によるイノベーション推進加速

・H29～32 年度：技術移転拠点の機能拡張・充実、企業間ネットの強化と独自組織構築、イノベーション拠点として確立

・H33～34 年度：ポスト PGI の基本計画策定、予算手配、第二期終了、世界拠点ネットワークの改編・強化

⑥ 主な実施機関と実行組織

・主要な実施機関：名古屋大学「プラズマ科学イノベーションセンター」を中心機関とし、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、世界の研究機能と産官学連携開発機能を集積して、事業を実行する。これまでプラズマナノ工学研究センターが、愛知県、名古屋市、岐阜県および東海地域など国内(28 箇所)および海外(23 箇所)の大学や機関と構築してき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：九州大プラズマナノ界面工学センター、東京大、東北大、成均館大先端プラズマ表面技術センター(韓)、ルール大ボッホム校(独)、ミシガン大(米)、FOM プラズマ物理研究所(蘭)、ケンブリッジ大(英)、テキサス大先進材料プロセッシング国際センター(米)、オーストラリア連邦科学研究機構(豪)、グルノーブル原子力研究所(仏)、中国科学院(中)

・その他連携機関：名工大、豊橋技科大、名城大、中部大、豊田工業大、核融合研、名古屋市・プラズマ技術産業応用センター、宇宙航空研究開発機構、マックスプランク研(独)、ドレクセル大 AJ Drexel Plasma Institute(米)、フラウンホーファー研(独)、UCLA(米)、クイーンズ大ベルファスト校・プラズマ物理センター(英)、トゥエンテ大(蘭)、プラズマ物理学研究所(CNRS、仏)

⑦ 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の全てに亘って、未来産業を創成する。次世代の車、航空機、ロケット、住宅・固体照明システム、次世代パワエレ、次世代通信、高効率太陽電池・燃料電池、食の安全、食糧不足の解消、次世代がん治療、介護支援など国民の活力となるグローバルイノベーションに繋がる。当該拠点周辺の大学 13、研究機関 8、企業 539(技術移転機構メンバー 318 社・720 人)の産官学ネットワークと国内 28 大学、核融合研との連携など「知と産業の集積」がある。公的機関での特許評価第一位の知的財産(プラズマ：出願 292、登録 69、材料：出願 215、登録 25 等)は特許収入があり、プラズマを機軸にした大学発のベンチャー企業 5 社が独創的製品を開発して事業を展開している。

⑧ 本計画に関する連絡先

堀 勝(名古屋大学大学院工学研究科) hori@nuee.nagoya-u.ac.jp

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。

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の例としては、従来の100倍以上の性能を可能とするサーバ技術の実現、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ことと期待される。

② 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成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、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を喚起され、学術・技術の両面における新たなブレークスルーの実現・イノベーションの創出が期待される。

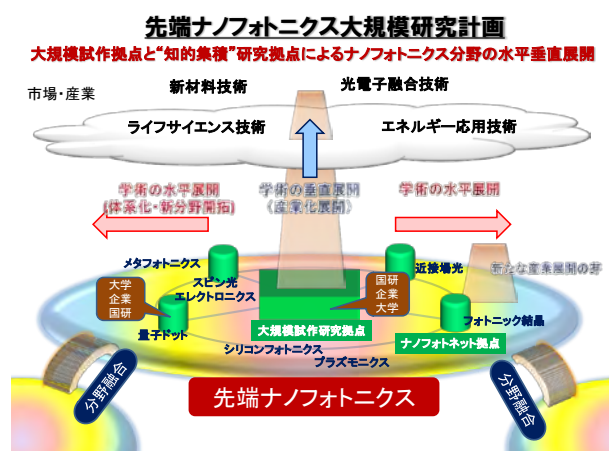
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

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つつある。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、産業界との連携の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り、産学官にまたがる多様な研究者の参加、連携が促進され、学術・技術のイノベーション創出と連鎖がもたらされる。

④ 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



本計画での取り組みと発展のイメージ図

- ・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）

- ・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。

⑤ 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 26 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 27 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 27－28 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 28－36 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

⑥ 主な実施機関と実行組織

京都大学、東京大学、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、ローム、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。

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広がりが増し、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。なお、本研究提案の一部である光電子融合技術の体系化・産業展開については、大型施設、産業界との密接な連携が不可欠であり、産業技術総合研究所、各企業に大きな役割を期待する。

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。

⑦ 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“シンビオティックな情報社会”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同時に、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。また、モノづくり日本を支える重要な基盤技術ともなりうる。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。

⑧ 本計画に関する連絡先

野田 進（京都大学・工学研究科電子工学専攻） snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

統合エレクトロニクス集積化共通基盤プラットフォーム構築にむけた研究開発拠点整備

① 計画の概要

本プロジェクトでは、半導体を中心とした統合エレクトロニクスにて社会に貢献するため、(I) 社会ニーズに沿ったアプリケーション主導の統合エレクトロニクス集積化共通基盤プラットフォームを世界に先駆けて構築し、(II) その成果を産業界へシームレスに提供するための研究開発拠点を整備することを目的とする。

現代社会が抱える諸課題を解決するため、エレクトロニクスの更なる性能向上や省電力が社会的に強く要請されている。半導体デバイスの微細化は限界が近づき、微細化以外の方法で応用分野の性能を格段に向上させる革新的デバイス開発とその統合集積化技術が強く求められている。

(I)の共通基盤プラットフォーム構築においては、エネルギー・パイオ・環境・パワーエレクトロニクスなどを含む、社会ニーズに即した多様な具体的なアプリケーションを実現するための新機能を徹底的に議論し、これらをシリコン上に異種集積化するヘテロジニアスインテグレーションの応用基礎研究をおこなうとともに、産業界で10年後に問題となる技術課題を先行して解決するための基礎研究を並行して遂行する。全国のあらゆる拠点大学と産の連携において本プロジェクトを実施することにより、これまでエレクトロニクスに縁のなかった物性・材料やシステム分野の研究者を引き入れ裾野を広げるとともに、優れたアイデアや基礎研究成果を積極的にピックアップする体制を整える。

一方、(II)の研究開発拠点整備においては、オープンイノベーションを実質化するための拠点として、つくばイノベーションアリーナ (TIA) 等のスーパークリーンルームを国の補助により独立的に運営し、新しい技術の芽を実際に試作して実証する場として大学・産業界に提供する。

上記の体制により、基礎から出口までを橋渡しするための階層的かつシームレスなオールジャパン体制の研究開発体制を構築する。

② 学術的な意義

統合エレクトロニクスは、基礎物性研究から集積化技術、回路・システム応用までカバーする範囲が極めて広いとともに、産業界に近い実用的な分野であるという特徴をもつ。従来の半導体分野では材料やデバイス原理が限定されていたのに対し、本プロジェクトでは大規模集積回路に用いられたことのない新材料や新物性、新機能を含むため、カバーする範囲はさらに広がる。このような分野では、下記に纏めたとおり学術的な意義は極めて大きい。

第一に、カバーする範囲が広いことから、ヘテロジニアスインテグレーションがおこなわれる統合エレクトロニクスでは、分野間にまたがる研究がおのずと必須となり、異なる分野間の研究者の交流が活発となる。これにより新しいアイデアを発想しやすい土壌が生まれるとともに、学際的分野において新たな学術領域が創造される可能性が高く、我が国の学術に大きく貢献できる。

第二に、社会ニーズに沿ったアプリケーション主導という強い目的意識をもって新規デバイス等（いわゆる Beyond CMOS 等）の物性基礎研究を行うことにより、まったく新しい新機能物性が発見、あるいは発現する確率が、従来の物性研究プロジェクトより高い。

第三に、回路・システムに向けてデバイスの大規模統合集積化を行うことは容易ではなく、非常に多くの課題を解決する必要があるが、これまでの我が国における基礎研究の蓄積が課題解決に生かされる可能性が極めて高く、材料・物性分野の基礎研究が実用化に向けた応用研究で役立つという点で学術的な意義が非常に大きい。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国、韓国、台湾などの半導体企業はデバイスの微細化を競っている。我が国の半導体企業は、微細化以外の方法で性能を向上させる戦略に舵をきったが、長期的視野にたった基礎研究を行う体力が失われ、将来の半導体開発を行えない状況に陥りつつある。半導体が全産業の基盤であり続けることは間違いなく、国は危機感をもって国策として半導体企業を後押しすべきである。

米国の Albany 研究拠点、ベルギーの IMEC 等では、地方政府の強力な支援体制による公的資金投資・税制優遇と人材集中のもとで、産業界主導で集積半導体技術の大規模な研究開発を進めている。

本プロジェクトでは、全国に散らばる物性・材料・システム研究者を引き込むため、集中研方式はとらず、我が国の強みである裾野の広い基礎研究の成果から優良なものを随時ピックアップできる体制をとることにより、ハイリスクな研究課題にも挑戦し、我が国発の新物性・新材料デバイスの実現の可能性を高める方策を並行してとる。

さらに、産業界へこれらの成果を展開するために、本格的な試作機能を有するハブ研究拠点とサテライト拠点を設け、実証実験へシームレスに繋げる体制も構築する。

④ 所要経費

拠点大学における実験設備の更新	2 億×10 拠点×10 年	200 億円
拠点大学施設における運営維持費	1 億×10 拠点×10 年	100 億円
TIA における老朽化設備の更新	25 億×10 年	250 億円

TIAにおける運営維持費	15 億×10 年	150 億円
シャトル便補助費	5 億×10 年	50 億円
ポストドク人件費	500 万円×100 人×10 年	50 億円
大学院生支援経費	200 万円×250 人×10 年	50 億円
計		850 億円

⑤ 年次計画

2015-2017 年度

定期的に学と産の枠を超えたワークショップを開催し、社会ニーズに即した具体的アプリケーションを実現するための新機能および産業界で 10 年後に問題となり得る技術課題を徹底的に議論し、プロジェクトで取り組むべき新機能および技術課題を広く抽出する。並行して、現時点で有望と思われるいわゆる Beyond CMOS 実現のための基礎研究を各大学拠点および全国の大学において遂行する。さらに、TIA においてヘテロジニアスインテグレーションの課題を解決する基礎研究を遂行する。

2018-2020 年度

上記で抽出した新機能を有するいわゆる Beyond CMOS デバイスの基礎研究を各大学拠点および全国の大学において遂行し、Beyond CMOS デバイスの絞り込みをおこなう。さらに、産業界で 10 年後に問題となり得る技術課題を解決するための基礎研究を各大学拠点および全国の大学において遂行する。TIA および産業界シャトル便にて、新機能を有する新デバイスをシリコン上へ集積するヘテロジニアスインテグレーションの研究を遂行し、実際に統合集積化が可能な新デバイスの絞り込みをおこなう。

2021-2024 年度

絞り込まれた新デバイスについて、TIA および産業界シャトル便にてシリコン上へのヘテロジニアスインテグレーションをおこなうための、設計および製造プラットフォーム構築をおこなう。

⑥ 主な実施機関と実行組織

(I) の統合エレクトロニクス集積化共通基盤プラットフォームにおいては、大学の枠を超えた統合エレクトロニクス大学連合（仮称）を組織し、プロジェクトの遂行にあたる。この統合エレクトロニクス大学連合は、つくばイノベーションアリーナ（TIA）、北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、広島大学、九州大学が幹事として参画し、産業界およびその他の大学もメンバーに加える。

一方、全国の国立大学・私立大学にブランチを設け、全国すべての大学教員が自由に本プロジェクト参加できる体制を整える。

プロジェクトの運営は、統合エレクトロニクス大学連合内に設ける運営委員会が行い、各大学からの具体的提案の評価と予算配分を決定するとともに、アプリケーションと新機能発現のための定期的なワークショップを企画し、優れたアイデアおよび研究成果のピックアップをおこなう。

(II) の研究開発拠点整備においては、国の補助による独立的組織を立ち上げ、大規模試作設備の維持運営をおこなうとともに、大学および産業界が自由に施設を用いることができる体制を整える。

⑦ 社会的価値

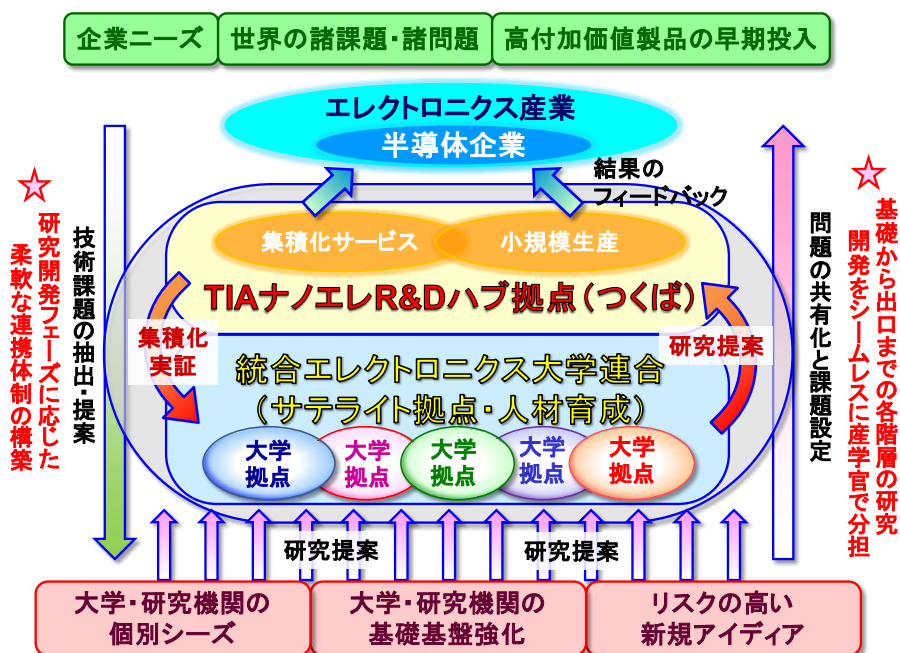
現代の高度情報化社会における半導体エレクトロニクスの重要性は論をまたない。今後も微細化に頼らず、半導体エレクトロニクスが指数関数的な進歩を続けるなら、その経済的・産業的価値の大きさは計り知れない。

我が国のエレクトロニクス産業は不振が伝えられているものの、現在でも我が国を支える大産業であることは変わりなく、社会の根幹を将来的に支えることとなる新規の統合エレクトロニクスの基礎研究を大学連合と産の連携において進めることは、十分に国民の理解が得られるものである。

ただし、本プロジェクトは産業界に近い分野であることから、国民の理解をさらに得るためには、将来的に産業的に貢献するための道筋をつけることは極めて重要である。本プロジェクトは、成果を産業界へシームレスに提供し産業化を加速するためのものであり、我が国の経済に貢献できるよう産業界との綿密な連携のもとに遂行していく。

⑧ 本計画に関する連絡先

平本 俊郎（東京大学・生産技術研究所） hiramoto@nano.iis.u-tokyo.ac.jp



複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用

① 計画の概要

脳、生命、健康、癌、免疫、新興・再興感染症、環境、エネルギー・電力、情報、通信、交通、経済、安全、地震などの21世紀の最重要課題は、すべて多面的アプローチを必要とする広義の複雑系の問題である。1990年代にアメリカを中心に複雑系研究はブームとなったが、工学、産業、医学などの実学への本質的貢献はほとんどなかった。これに対して、本大規模研究計画は、これら実学を含む様々な科学・技術応用に関わる種々の複雑問題、複雑現象や複雑システムを対象として、それらを数理的に解明・解決する複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用に関する、国際的にも卓越した大規模な研究を目的とする。まず、数理モデリングと数理解析によって、複雑問題の解決、複雑現象の理解、さらには複雑システムの制御、予測、最適化を目指す複雑系数理モデル学に基づいて数理知の統合のための基盤的枠組を構築する。同時に、その数理的方法論を様々な科学・技術分野で行なわれている多様な複雑系研究に応用して、種々の複雑問題の解決、複雑現象の理解、複雑システムの制御、予測、最適化に活かす具体的方法論を整備する。そして、これらの理論研究と応用研究との統合により、「複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用」研究を完成させる。

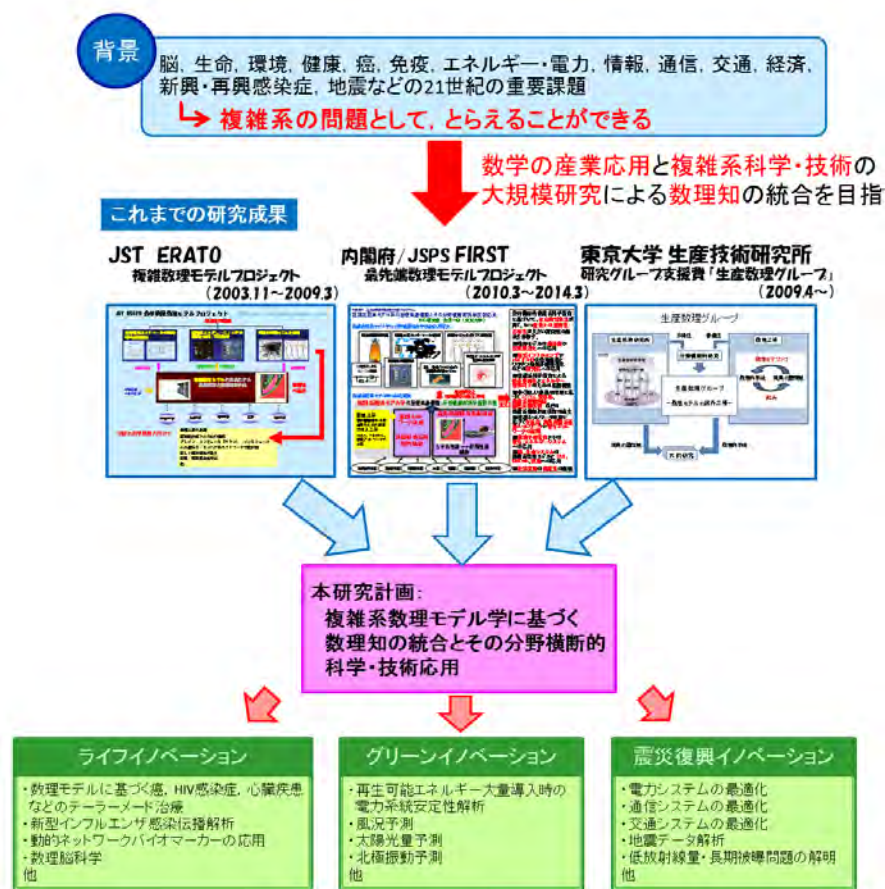
この目的のために、東京大学生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターと東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻を核としてこの大規模研究計画を運営し、関連する多様な諸分野との共同研究のためのコンピュータシステム等の設備を充実させるとともに、多分野の関連研究者とのネットワークを構築して、各研究成果および関連数理モデルやビッグデータを集積・統合化し、さらにコンピュータ上に公開して一般に広く活用できる数理的プラットフォームを構築する。

② 学術的な意義

本大規模研究計画は、第2次世界大戦後に東京大学工学部や京都大学工学部で生まれ、それ以来60年以上にわたって数学の工学・産業応用研究を担ってきた我が国独自の学問「数理工学(Mathematical Engineering)」や、数理工学の観点からカオス、フラクタル、複雑ネットワークなどの工学応用を目指す「カオス工学(Chaos Engineering)」、さらには現在東京大学生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターで行なわれている内閣府/日本学術新興会 最先端研究開発支援プログラム(FIRST)「最先端数理モデルプロジェクト」の成果を基盤として、複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用のための数理基盤をあらたに確立する点に、大きな特徴と独自性がある。

数理的基礎理論は、多くの課題へ応用可能な普遍性、分野横断性を有している。他方で、数理工学研究の基礎理論のアイデアは、個別応用問題に対応する数理モデルを駆使した課題解決型研究から得られる。したがって、理論研究と応用研究を同時にインタラクティブに遂行して数理的手法を確立し、さらに他の課題へ水平展開することが重要であり、この点が数理を基盤とする本研究計画の方法論としてのユニークな特徴である。

期待される研究成果は、実世界の多様な複雑系研究の基盤となる数理知の統合、そして、「ライフイノベーション」に関する癌、新型インフルエンザ、HIV感染症、動的ネットワークバイオマーカーや数理脳科学、「グリーンイノベーション」に関する再生可能エネルギー予測や気象解析(風況、太陽光量、北極振動など)、「震災」後に重要性を増した電力システム、通信システム、交通システム、地震データ解析、低放射線量長期被曝問題、さらには電気電子応用技術の基盤となるA/D変換、複雑系情報処理技術、脳型コンピュータなどの分野横断的科学・技術応用の多岐にわたる。



研究計画概略図

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

2006年5月に文部科学省・科学技術政策研究所によるレポート「忘れられた科学—数学」が発表されて以降、数学の産業応用への期待が高まっている。この様な状況を背景として、文部科学省・研究振興局・基礎研究振興課に基礎研究推進室／数学イノベーションユニットが設置されるなど、数学の産業応用を目指した様々な展開が見られる。他方で、これまでの科学・技術が取り残してきた問題として、広い意味での複雑系の問題が20世紀末より世界的に注目を集め、アメリカのサンタフェ研究所やドイツのマックスプランク複雑系物理学研究所のように20～30年にわたって複雑系に関する研究所が大規模な援助の下で運営されてきている。しかしこれらの研究は、主として物理学的な視点からの理論研究を目指して、工学、産業、医学などの実学の本質的進歩にはほとんど貢献していない。

本大規模研究計画は、これらの数学の産業応用と複雑系科学・技術を数理知として統合して分野横断的科学・技術応用研究に活かす点に、国際的に見てもまったく新しい独創性と新規性がある。

④ 所要経費

合計 32 億円

初年度：5 億円（初期投資：2 億円、運営費：3 億円）、2 年目～10 年目：3 億円／年（運営費）。

運営費として、人件費 1.5 億円（特任教員 5 名、研究員 10 名、技術員 3 名、研究支援総括 2 名、RA10 名）、物品費 1 億円、旅費・その他 0.5 億円、計 3 億円／年が必要となる。初年度は運営費に加え、研究実施場所の整備、数値解析用大型計算機の整備等、初期投資費用として 2 億円が必要となる。

⑤ 年次計画

初年度～2 年目：

- ・数理モデリングと数理解析による複雑問題の解決、複雑現象の理解、さらには複雑システムの制御、予測、最適化を目指す複雑系数理モデル学の体系化の拡充。

3 年目～8 年目：

- ・複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合。
- ・複雑系数理モデル学の様々な分野横断的複雑系科学・技術研究への応用。

9、10 年目：

前年までの理論研究と応用研究との統合による、複雑系数理知の統合、および応用のための基盤となる数理的プラットフォーム完成と一般への公開。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本大規模研究は、東京大学生産技術研究所と東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻を主な実施機関として行なう。

東京大学生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターが本研究計画の中核的役割を果たす。また、同研究所の生産数理グループは、生産技術研究所における数理的研究に関する研究交流の場として、2009 年 4 月から活動してきている。2013 年 4 月時点で 20 名の教員が所属しており、複雑系数理モデル学の実学応用の主要的役割を果たす。

東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻は、東京大学における「数理工学」発祥の専攻であり、数学と諸科学・技術を橋渡しするための中心的役割を果たす。

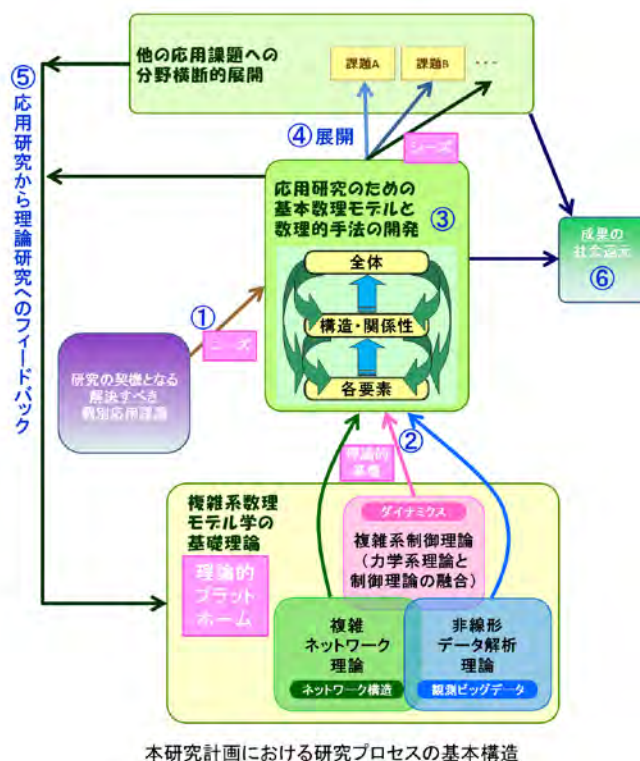
さらに現在進行中の内閣府／日本学術新興会 最先端研究開発支援プログラム（FIRST）「最先端数理モデルプロジェクト」に参加している東京大学大学院工学系研究科、情報理工学系研究科、数理科学研究科、新領域創成科学研究科、そして東京工業大学、東京電機大学、九州大学、京都大学、徳島大学、東京都市大学、九州工業大学、大阪大学、東京理科大学、理化学研究所、帝京科学大学、大分大学、大分工業高等専門学校、福井大学、広島大学、南山大学、立命館大学、明治大学、香川大学、名古屋大学、東北大学、工学院大学、早稲田大学などが基礎理論と科学・技術応用に関する個々の関連テーマを研究する。

⑦ 社会的価値

社会的には、前項で述べた様に、「ライフイノベーション」、「グリーンイノベーション」、「震災復興イノベーション」など多岐にわたる知的価値、経済的価値、産業的価値を創出することが期待される。また、数学が社会の役に立つことを実証的に示すことにより、中学生や高校生の数学への興味が大きく増すことも期待される。これは、内閣府／日本学術振興会・FIRST 最先端数理モデルプロジェクトにおいてこれまで活発に行なってきた中学生、高校生などへのアウトリーチ活動を通じて、予備的に実証してきた成果である。

⑧ 本計画に関する連絡先

合原 一幸（東京大学・生産技術研究所） aihara@sat.t.u-tokyo.ac.jp



マルチスケールで循環する水活用システムを実現する知の統合学

① 計画の概要

これからの科学技術には、エネルギー・環境・医療など社会的解決への貢献が強く求められている。これらの社会的課題は時空間的に様々なスケールで互に関連しており、多くの分野の知の統合を図り総合的かつシステムの的に検討していく必要がある。本研究では、特に「自然と循環し多面性を有する水」に注目し、それを生かした新しい生活環境空間を実現するためのプラットフォームの構築を目指す。

現在までの下水道においては、末端で生じた下水を下水道管に閉じ込めて処理場まで輸送し、集中処理する形態が最も合理的とされてきた。しかし、急速な進歩を遂げた計測・情報技術と水質浄化技術、現代における都市の諸問題、人々の感性と美意識なども考慮して水インフラを構築するのであれば、その姿は現在のそれとは大きく異なるものとなるであろう。例えば下水を配管に閉じ込めるのではなく、ローカルな汚水処理の後に地上に排出することで、ヒートアイランド問題の解決、都市の美観や利便性などにおいてもメリットを生み出し、新たな産業創出を喚起することが可能である。その実現には、システム設計手法に立脚し、人間の行動と心理、都市景観など広範囲に渡る英知を結集して全体デザインを策定し、政治の決断のもとで実行する必要がある。

本研究では、このような水循環システム革新を構想するための最良の人材を集め、新しい水活用インフラの設計図を描ききることを第一の目的とする。今後の10年間で活用できる要素技術を前提とし、目指すべき水活用システムの姿を明確にする。第二段階では、それらを実現するための要素技術開発を行い、様々な分野の事業者が本構想を実行するために必要となるノウハウを容易に引き出せるように情報化する。事業者が新規事業に取り組む際に必要となる基礎技術開発を学術研究が肩代わりし、複数の企業がその成果を活用するための知識共有・活用基盤を構築・提供する。

② 学術的な意義

現在の日本では、大学や複数の企業の英知を集積してトップダウン型のシステム設計を行い、それらの知識の集積を複数の企業が活用しながら国際的競争力をもって事業化を推進できる支援システムが強く求められている。このような方法論を確立することは、エネルギー、生活環境、都市交通など、大規模システムの根本問題を解決するために不可欠であるばかりか、世界の中での日本の産業競争力を高めるためにも必須のアプローチであると考えられる。

本研究は、水循環システムを具体的テーマとし、多分野の大学、企業による知識集積・活用のプラットフォームを確立するものである。特に、自然と循環し多面性を有する水を時空間的に異なるスケールを持つ階層化された動的システムとして捉えることにより、これまでと全く異なるアプローチでの社会的課題の解決に向けたシステム設計のための基盤構築を目指す。具体的には、最新のICT技術を前提とし、事業者が新規事業に取り組む際に必要となる基礎技術開発を学術研究が肩代わりし、複数の企業がその成果を活用するための知識共有・活用基盤を構築・提供する。このようなスキームは、大規模かつ公共性の高い諸問題を解決する共通の基盤となる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

水インフラや水環境の改善についてはすでに国内外に専門の学会が存在し、継続的に研究が進められている。伝統的な治水学・水理学や土木工学、汚泥・汚水の計測技術、ろ過技術に加え、近年では先進的なセンシング・制御技術



マルチスケール水循環システムの概念図
(SICE ビジョンプロデュースプログラム, 2011)

に基づく高機能な都市設計や、水に関する新しいビジネスも生まれてきている。しかし、都市における下水道システムの多くは、末端で生じた下水を下水道管に閉じ込めて（地上の衛生の確保に必要）処理場まで輸送し、集中処理する形態（コスト面での合理的な形態）をとっており、その前提から大きく逸脱することは現実的ではないと考えられている。

本研究は最新の計測・情報・水浄化技術と不完全情報を扱う制御およびシステム設計手法に立脚し、地表温度や降雨の予測技術、都市の人々の行動と心理、都市モビリティ、都市景観、など広範囲に渡る英知を結集して水活用の新しい姿を描き直そうとするものである。ここで描かれる水インフラの姿が新規であると同時に、要素技術のノウハウ共有によって複数の事業体が協力して公共性の高い大規模インフラを変革する知の統合スキームは従来に試みのない新規なものである。

④ 所要経費

5期10年間での総額は12,120百万円。

⑤ 年次計画

初年度において、プロジェクトの核となる「グローバル水利用システム研究センター」を設立する。その後も7年目までは年度ごとにテーマを設定し、本プロジェクトに参加する大学・企業グループの公募を継続する。

＜初年度＞ グローバル水利用システムセンターを設立、研究員を公募

初年度は研究センターを設立し、世界から専任研究員を公募する。センター運営の核となる数名の専任研究員を選定し、当該センターの広報活動を展開するとともに、学術・産業界におけるキーパーソンに対してヒアリング調査を行う。水システムのグランドデザインを策定する大学・企業グループの公募テーマを設定する。

＜2～3年目＞ グローバル水利用システムのグランドデザイン

本プロジェクトへの参加を希望する大学・企業グループの公募を継続しグループ全体での密な意見交換を通して本プロジェクトが目指す水システムの姿を明確化する。従来の枠にとらわれず、かつ実現可能な水システムの提案を目指す。年度ごとの議論を反映して公募テーマを設定し、段階的にプロジェクトを拡大する。

＜4年目＞ グローバル水利用システムのグランドデザインを確定し、要素技術開発を展開

4年目までにグランドデザインを確定し、開発すべき要素技術をリストアップする。それらの要素技術に関して再び公募を行い、要素技術の開発チームを編成する。

＜5年目以降＞ 行政と一体となった水利用システムの展開

5年目以降は行政と一体となり、新しい水利用システムの実社会での運用を段階的に開始する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画は以下の実行組織と参加メンバーによって構成される。

1) 研究センター

研究センターは中立的立場にある大学に設置する。センター設立時のコアメンバーとして、学術、産業界、行政の各分野に精通した少数のメンバーを厳選する。

2) 第1期および第2期メンバー

参加メンバーは公募およびコアメンバーによる指名により、大学、企業、行政のグループとして選定され、随時追加される。第2期までのメンバーは、基本構想を作成するメンバーである。基本構想は、知の統合化のスキームに関する基本構想と、水活用の具体的姿に関する基本構想の両方を含む。

3) 第3期から第5期のメンバー

第3期以降のメンバーは、基本構想に基づいて要素技術を開発するメンバーである。要素技術には、知の統合化のためのシステム開発と、新しい水活用を実現するための計測、通信、水質改善、地表温度や降雨の予測、都市の人々の行動と心理の把握、都市モビリティ、都市景観、等に関する要素技術の両方が含まれる。

⑦ 社会的価値

水ビジネスは近年注目を集めるビジネス領域であり、世界的な主導権争いが始まりつつある。しかし、日本国内においては従来から水ビジネスを手掛ける事業体が個別の事業を展開するのみであり、今後世界の中での競争力を獲得するためには、多様な分野の横断的な協力を支援する組織的な取り組みが必須であると考えられる。特に我が国にとって、東日本大震災で壊滅的な被害を受けた地域の生活インフラを再構築することは喫緊の課題である。効率的かつ明るい未来を展望できる新しい生活インフラに対するニーズは非常に強く、国民にとっては生活環境の飛躍的改善という多大な恩恵が得られる。また、産業界にとっては、世界の水ビジネスにおいて顕著な競争力を獲得することとなり、本研究計画への集中投資による効果が極めて大きい。

さらに、本研究計画はエネルギー・環境・医療といった既存の枠組みの中での解決を考えるのではなく、システム設計論の手法に基づいて広域的・複合的問題を根本的に解決する新しい取り組みのモデルケースとなるものである。ここで実証されるスキームは他分野の問題解決にも適用することができ、幅広い波及効果をもつ。

⑧ 本計画に関する連絡先

篠田 裕之（東京大学・大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻） hiroyuki_shinoda@k.u-tokyo.ac.jp

食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現し好循環型社会構築を目指す 分野横断的研究拠点の形成

① 計画の概要

持続的に発展可能な循環型社会の構築には、バイオマスの利活用が必要不可欠である。2003 年から「バイオマス・ニッポン総合戦略」に基づきバイオマス利活用に関する様々な政策が各省庁で個別に進められてきた。しかし、2011 年に初めて行われた政策評価で、全事業の 84%が効果的に実施されておらず、関連施設の約 7 割が赤字、など厳しい状況が指摘された。

主な原因は、個別の技術開発に焦点が当てられ、原料生産から収集・運搬、製造、利用までの全体システムを構築するという俯瞰的視点が十分に導入されなかったことにある。例えば、全体の物質とエネルギーの流れを把握せず、採算性向上のために製造プラントを大型化し、実際には稼働させる原料が調達できない、エネルギー供給や廃棄物処理、製品精製などのコストを考慮せずに経済性を評価し、実際には大きな赤字、などの問題が散見する。また、社会ニーズに即した対応を考慮せず、バイオマス由来製品の品質が不安定で実際には使う人がいない、などの問題もある。

本研究計画では、様々な分野に分散するバイオマスに関連する技術や知見、情報、社会ニーズを集約し、統合的・俯瞰的視点で捉え、広範な分野の学術知識を構造化させることで「知の統合」を図る。それにより、前述の問題点を解決し、食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現、真の好循環型社会の構築を目指す。

具体的には、広範な学術分野の研究者の叡智を集めたネットワークと研究拠点を形成し、1) 食料供給や既存用途と競合せずバイオマスの特性に応じた多段階（カスケード）徹底利用を実現するプロセスの構築、2) 他産業の排熱や既存の配送網の利用など地域の産業構造や物質・エネルギーの流れ、市民ニーズを考慮した自立型社会システムの構築、3) 地球環境問題の解決に必要な広範な学術領域を踏まえて俯瞰的に物事を考察できる技術者の育成、に取り組む。

② 学術的な意義

バイオマスやエネルギーの利活用や循環型社会構築に関する学問は、いずれも多岐の分野で個別に進展している。日本学術会議でも、社会学、農学、食料科学、環境学、化学、総合工学、機械工学、土木工学・建築学、材料工学の分野別委員会などで各々類似研究が進められているが、必ずしも十分な連携が取られていない。特に、環境・経済・社会面からの統合的な評価や市民生活との関連にまで踏み込んだ議論は僅少である。これは各省庁においても同様であり、その結果、実施された様々な事業で有効な成果を得るに至らなかったと推測される。

化石資源は局所的に濃く存在する限られた資源であり、百数十年かけてこれを効率的に利用する世界共通の技術や学問が発展し、現在の社会が構築された。これに対し、バイオマスは広く薄く存在する再生可能資源であり、地域社会に応じた利活用システムの構築が重要となる。しかし、関連する学問はスタートしたばかりで、システム全体を俯瞰的に評価できる段階にまで至っていない。化石資源利用に匹敵するレベルまで短期間で発展させるには、広範な学術分野で個別に蓄積されつつある知見や情報の集約と強固なネットワーク形成、学術の融合が必要不可欠である。

例えば、技術に着目すると、現代生活に不可欠なプラスチックなどの化学品は、全て石油から酸化反応で合成されるが、バイオマスからは還元反応で合成されるため、従来とは異なる新たな基盤化学が必要となる。また、システムに着目すると、地域の産業構造や物質・エネルギーの流れを有効利用して原料生産から収集・運搬、製造、利用までの一貫システムを構築するには、適切な単位操作の選択と全体の物質やエネルギー収支を把握・評価する新たな融合学術領域「総合プロセス工学」などが必要となる。

このように、既存の学術基盤や領域を超えた新たな学術の融合や創生といった展開が必要となり、日本発の先進的な学術領域の構築に繋がる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内では、2003 年度から「バイオマス・ニッポン総合戦略」に基づき、バイオマス利活用に関する様々な政策が各省庁で個別に進められてきた。いずれもバイオマス変換のための新規技術開発が中心であった。しかし、2011 年に行われた政策評価で、全事業の 84%が効果的に実施されておらず、全体システムを構築するという統合的・俯瞰的視点が十分に導入されていなかったと指摘された。これを踏まえ、関連する 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）連携によるバイオマス活用推進会議が設置され、昨年 9 月に事業化戦略が示された。

本研究計画は、この国が示すバイオマス事業化戦略を具現化するために必要不可欠な広範な学術分野に分散する技術や知見、情報の集約と構造化を図り、共通基盤となる分野横断的な研究拠点の形成を目指すものである。

国外でのバイオマスに関連する研究動向は、前述の国内動向と同様である。そのため、世界に先駆けて統合的・俯瞰的な視点からバイオマスの多段階徹底利用を実現し、真の好循環型社会の構築を目指す本計画は、世界共通の研究基盤を与える。

④ 所要経費

総額 450 億円（初期投資 150 億円、運営費等 300 億円）

平成 26 年度 150 億円（センター建設・研究設備 120 億円、運営費等 30 億円）

平成 27-29 年度 120 億円（研究設備 30 億円、運営費等 30 億×3 年=90 億円）

平成30-35年度180億円（運営費等30億×6年=180億円）

⑤ 年次計画

研究期間を10年とし、第1期（2年）で、「バイオマス事業化戦略研究センター」を整備し、連携する各機関に分室を設けて各地域の研究者を登録、密接な分野横断的研究拠点を形成する。また、既存の「低炭素社会戦略センター」や「地球環境産業技術研究機構」との連携を図り、実効力のあるセンター構想を作る。

第2期（5年）で、戦略の具現化に必要なバイオマスに関連する知見や情報を、研究領域毎ではなく、「原料（入口）」、「技術（製造）」、「利用（出口）」、「社会システム」に分割して集約し、統合的にデータベース化する。「原料」では、農林水産加工業や東日本大地震被災地で生じる廃棄物系バイオマスの徹底利用を第一目標とし、発生状況（量や時期、場所）を把握してマップ化、多段階利用のために重要な成分組成とその変動データを調査して蓄積する。「技術」では、各先端技術を原料と製品の化学物質名で整理し、触媒と変換条件、転化率、使用薬剤と排出物、プロセス構成など、開発者自身に inputs を依頼し、詳細かつ厳密な情報を集約する。そして、要素技術の構造化を行い、物質やエネルギーの流れ、コストや環境影響を定量的に評価できるデータベースを構築する。「利用」では、各製品の品質とその変動性、長所・短所を詳細に調査する。また、代替する現状製品の性状と利用形態を調査し、バイオマス由来品の特長を活かした適切な利用法を提案できるデータベースを作る。「社会システム」では、いくつかの地域をモデルとし、産業構造、物質やエネルギーの流れ、市民ニーズなどを調査してデータ化する。また、社会実証試験の成果や問題点を集約し、事業化の障害となる地域特有の問題点を解析する。

第3期（3年）で、構築したデータベースをさらに発展させ、原料特性に応じた多段階徹底利用プロセスおよび地域の特性を活かした自立型社会システムを設計できるツールを確立する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東日本大地震被災地で生じる廃棄物系バイオマス（農林水産加工業の廃棄物を含む）の利用を目指す国の施策と連動させ、東北大学を中心とした「バイオマス事業化戦略研究センター」を置く。そして、バイオマスや再生可能エネルギーに関連する研究センターを有する大学や研究所（北海道大学、東京大学、東工大、名古屋大学、京都大学、大阪大学、神戸大学、広島大学、九州大学、産総研、環境研、交通研）と連携して、広範な学術分野から知見や情報を集約させるバーチャルネットワーク拠点を形成する。さらに、既存の「低炭素社会戦略センター」や「地球環境産業技術研究機構」との連携を図り、実効力のある拠点を築きあげる。

⑦ 社会的価値

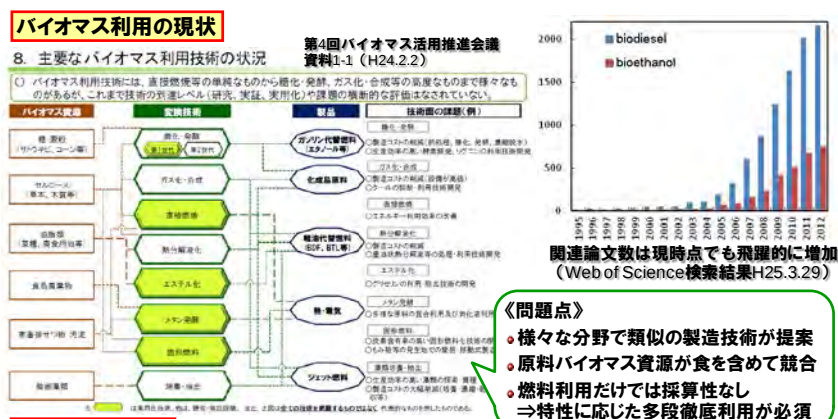
本研究計画は、広範な学術分野の研究者の叡智を集めたネットワークと研究拠点を形成し、食料供給や既存用途と競合せずバイオマスの特性に応じた多段階徹底利用と、地域のエネルギーや物質の流れ、市民のニーズに応じた自立型社会システムの構築を目指すものである。そのため、新規な地域産業の創出をはじめ、環境負荷の軽減、自立・分散型エネルギー供給体制の強化なども実現可能となり、経済的・産業的価値の大きさは言うまでもない。

また、その学術基盤として、バイオマス利用に関連する技術や知見、情報を集約し、統合的・俯瞰的視点で捉え、広範な分野の学術知識を構造化させることで「知の統合」を図る。既存の学術基盤や領域を超えた新たな学術の融合や創生といった展開が可能となり、その知的価値の大きさは計り知れない。

本研究計画によって、食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用が実現し、真の好循環型社会が構築されれば、国民生活に大きな利益をもたらすことができ、国民の理解に沿った有益なものとなる。

⑧ 本計画に関する連絡先

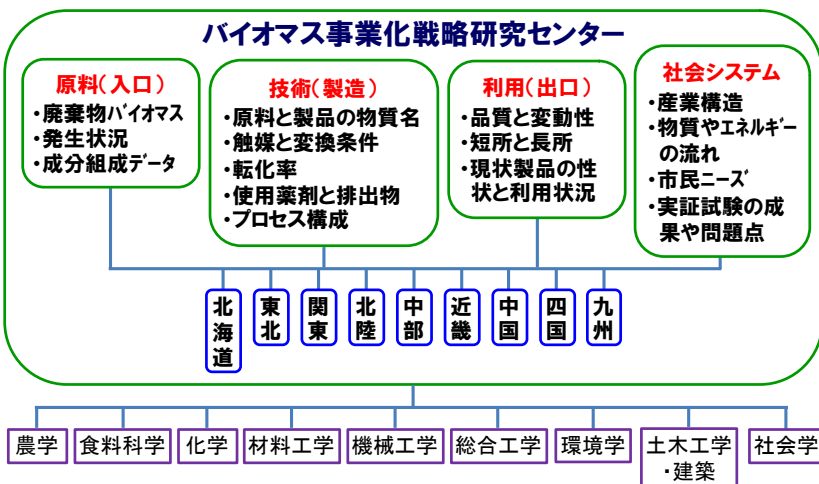
北川 尚美（東北大学・大学院工学研究科）
naomi@rpel.che.tohoku.ac.jp



研究計画の概要

様々な分野に分散している技術や知見、情報、社会ニーズを集約し、統合的・俯瞰的視点で捉え、広範な分野の学術知識を構造化させることで「知の統合」を図り、下記に取り組む

1. 食料供給や既存用途と競合せず特性に応じた多段階徹底利用を実現するプロセス構築
2. 地域の物質やエネルギーの流れ、市民のニーズを考慮した自立型社会システム構築



国家戦略の具現化を目指し、1) ボトムアップ型分野横断的統合データベースを構築、2) 原料特性に応じた多段階徹底利用と自立型社会システムを設計できるツールを確立

日本社会のインタラクティブデザインを実現する知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」構築

① 計画の概要

現代日本の複合的課題の解決や影響軽減に向けて、新しい技術やシステム、社会制度を、多数の利害関係者が参加しインタラクティブかつ定量的にデザインし、社会実装に向けて社会的合意形成を促進するための、知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」を構築する。

具体的には、現代日本の主要構成要素を、物理系 A（自然環境）、物理系 B（人工物・人工システム）、人間・社会系、生態系等にカテゴリー分けし、各カテゴリーに内包されるサブシステムを、現代日本への影響や機能の面から捉え直し、各応答を定量的に予測可能なシミュレータの統合体として構築する。微分方程式で表現される現象に関しては、最新の計算科学・計算工学手法を活用し、人間・社会系の現象に関しても知的マルチエージェントなどの最新の定量的社会シミュレーションを活用する。各シミュレータにはそれぞれのモデル構築支援データベースを構築し接続する。また、「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築し、異領域間の多様で複雑な相互作用を考慮した統合シミュレーションを可能とする。このようなバーチャル Japan のエンジン部分に、センシングシステム、VR・AR、アクチュエーションシステム等を接続し、バーチャル Japan と現実世界の双方向の相互作用も実現する。

バーチャル Japan は、クラウド・HPC 環境での動作を実現し、京コンピュータ、ポストペタやエクサコンピュータも稼働環境として想定する。バーチャル Japan の構築にあたり、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境等の現代日本の重要課題に深く関わる「交通・物流（人・もの・情報の移動）問題」を具体的ターゲットとして設定し、少子高齢化の進む町のモビリティシステムの実現や電気自動車が 50%導入された社会のインフラ・運用デザイン等の具体的な社会的課題解決に活用する。

知の統合プラットフォーム「バーチャルJapan」

② 学術的な意義

本計画の第一の学術的意義は、人間・社会系、生態系、自然環境、人工物・人工システム等が相互作用しながら動く日本という現実社会を、そのダイナミクスを定量的に模擬可能な「バーチャル Japan」と名付けた統合モデルに再構築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あてた新学術分野を創成できる点である。それこそが、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、

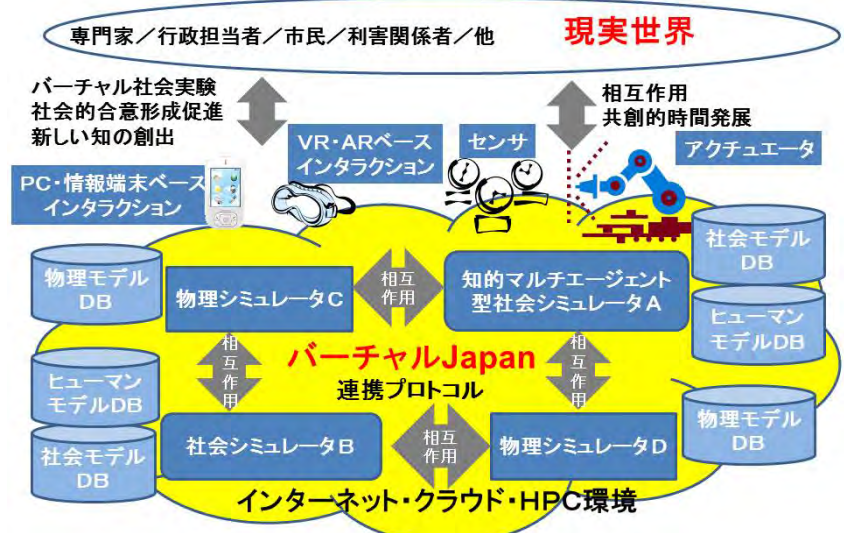
物理系においては、マルチフィジクス・マルチスケール概念が重要な学術概念として近年急成長し、具体的な方法論についても目覚ましい進展が見られる。本計画では、物理系現象と社会系現象の相互作用を集中的に検討することを通して、社会系におけるマルチソーシャル、マルチスケール概念を構築し、その具体的な方法論に関する研究が進むと期待される。

第二の学術的意義は、現実社会とバーチャル Japan の間に、センシングシステム及びアクチュエーションシステムや AR 等の実体化技術を組み込むことにより、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課題を対象とする新たな学術分野が創成される点である。

第三の学術的意義は、バーチャル Japan を活用することにより、多様なステークホルダーが交通・物流（人・もの・情報の移動）に関わる様々なバーチャル社会実験を遂行し、その効果を定量的に評価することができること、また、そうした情報をベースに、現実世界の複雑な社会問題の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することが可能となる点である。また、現実、具体的な交通・物流問題の課題を解決できる点も重要である。

③ 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）、に詳述されているように、学術分野間、あるいは学術分野と社会間の連携が行われてきた。たとえば、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、理学と情報学の事例としては学術データのリポジトリ化などがある。しかし、こうした知の統合の事例はあっても、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」の具現を汎用的に進めるための基盤構築に関する世界発の取り組み



である。交通・物流問題に関しては、経済性、利便性、渋滞、騒音・排ガス、燃費、新エネルギー活用などが個別に検討されているものの、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境などの複合的観点から総合的に解決するためのアプローチは見出されておらず、問題の複合性と多様で多数の利害関係者関与のため、社会的合意を形成できずにいる。本計画は、交通・物流分野の総合的な課題解決に向けて画期的なアプローチとなる。

④ 所要経費

平成25～31年度：42.9億円

(初期投資：9億円、運営費：32.4億円、国際シンポジウム開催費：1.5億円)

平成25年度組織整備費：9億円

(中核拠点整備費：5億円、研究費：1億円、システム開発委託費：3億円)

平成26～31年度定常経費：32.4億円(毎年5.4億円×6年)

運営費：年間5.4億円

(設備運営費：7千万円、人件費：8千万円、研究費：1億円、システム開発委託費：2億円、

システム検証費：6千万円、旅費：3千万円)

平成27、29、31年度国際シンポジウム開催費：1.5億円(5千万円×3回)

⑤ 年次計画

平成25年度から平成26年度前半まで

(1)「バーチャル Japan」構築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に研究開発中核拠点を整備し、そのもとに大学・民間研究機関、学協会などの研究開発ネットワークを構築する。

(2)バーチャル Japan の主要構成要素(物理系、社会系等の各サブシステムのシミュレータおよびモデル構築支援DB、知の統合プラットフォーム連携プロトコル、各種センシングシステム、VR・AR等の実体化システム、アクチュエーションシステム)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)の相互作用を視野に入れ構築する。

平成26年後半から28年後半

(3)バーチャル Japan の構築を進めると同時に、各サブシステムの機能検証を行い、修正し完成度を高める。

(4)全国規模かつ数m～10数mオーダーの詳細度を実現する大規模マイクロ道路交通ネットワークや鉄道ネットワーク、航空ネットワーク、船舶ネットワークのシミュレータを構築し、マルチモーダルな交通・物流シミュレーションを実行する。

平成29年度前半から平成31年度

(5)交通・物流の専門家、行政担当者や一般市民に参加いただき、全国各地の交通・物流問題に関するバーチャル社会実験を実施し、その成果に基づき社会的合意形成に取り組む。

(6)バーチャル Japan 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、知の統合プラットフォームとしての性能検証を進める。

(7)平成27年度、29年度、31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。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京大学大学院工学系研究科及び同大学院情報理工学系研究科に、バーチャル Japan 研究開発中核拠点を設立する。さらに、計測自動制御学会、日本計算力学連合、日本計算工学会、日本応用数理学会、日本シミュレーション学会、交通工研究会、日本VR学会、人工知能学会、日本機械学会、土木学会、日本船舶海洋工学会、に所属する全国の研究者、及び日本自動車研究所、鉄道総合技術研究所、産業技術総合研究所、トヨタ自動車、ITS Japan、JR東日本、日本郵船などの交通・物流関係の研究所・企業の部課長クラスや主任研究員クラスの方、また、MIT、UCB、ICL、ETH、KTH、清華大学、ソウル国立大学、シンガポール国立大学、インド工科大学等の海外大学の研究者に、客員研究員として参画いただく。

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)物理系A(自然環境)ユニット、(2)物理系B(人工物・人工システム系)ユニット、(3)人間系ユニット、(4)社会系ユニット、(5)生態系ユニット、(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、のもとに束ねる。る。

⑦ 社会的価値

日本社会内の複雑な因果関係を、利害関係者によるバーチャル Japan のインタラクティブな使用によって、定量的に把握することができ、その結果、社会的課題解決に向けて国民の社会的合意形成を促進できる。知的価値としては、専門家に独占されがちな、科学技術情報や知見をわかりやすく国民に提供することができ、その結果、国民からのボトムアップ的なプロセスを経て新たな知が創造される。また、バーチャル Japan の構築プロセスや交通・物流問題への適用を通じて、多様な異分野の知が交流することにより、学際領域、異分野交錯領域における新たな知の創造につながる。経済的・産業的価値については、交通・物流問題をターゲットとして具体的な活用を行うことにより、経済的にも、エネルギー・資源的にも、環境的にも、社会利便性という観点からも、社会合理的な交通・物流システム・施策を提案し、社会実装を促進することができ、少子高齢化が急速に進む現代日本に、多大な経済的・産業的価値を創出することができる。

⑧ 本計画に関する連絡先

吉村 忍(東京大学・大学院工学系研究科) yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp

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

本計画の目的は、個別学術領域に分散する多様なリスク科学方法論を統一的に理解する統合的リスク科学の理念と体系、更にその教育システムを整備し、この学術を全国の研究教育機関が共同利用可能な仕組みを提供することである。特に、個別学術領域リスク関連ミクロ事象を集約概念としたリスクモード事象の網羅的整備を通じて、領域横断的あるいは領域を跨いだ連鎖リスクの分析・対応を可能とする機動的学術支援ネットワークシステムを世界に先駆けて構築する。

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に関する知のデータからの発見と潜在している専門知の表出化、(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、本計画では(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方法論を集中的に研究開発する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機動的に展開し、分野を跨る複合リスク、連鎖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旨とした教育システムとを開発し、次世代専門家育成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、教育拠点間の有機的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。

② 学術的な意義

本計画により、先ず個別リスク科学領域の多様性を記述する明確な方法が確立する。すなわち、自殺予防学のように主として回避の条件を社会的に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俯瞰的・統合的視点から特徴付け、その対応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故障事象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ことがある。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、個別リスク科学領域の専門家の知を他領域のリスク表出化プロセスで再利用することが可能となる。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学的方法論も導かれる。更に、領域横断的なリスク構造化が実現し、この構造化に基づくリスク対応戦略についても、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、リスク性事象発生的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専門教育カリキュラムの開発が可能となる。

③ 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、この標準は抽象的な水準にとどまり、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。

④ 所要経費

平成25-31年度総額：33.3億円

平成25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

内訳：

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25年度-平成31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

内訳：

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27, 29, 31年度国際学会組織開催費：1.5億円（5000万円×3）

⑤ 年次計画

平成25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の有機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拠点到専任研究者を最低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) 統合リスク科学実現プロセス提案を共有する5実装拠点を通じて、全国の関連研究者とのワークショップを早期開催し、研究理念の確立と実装拠点が属する個別リスク科学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、分野内の有機的共同利用研究を組織する。更に、分野を跨る重篤な個別リスクの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26年度以降：

中核支援拠点の調整下、基幹研究拠点が相互に協力して、統合的リスク対応プロセスに関わる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。各研究拠点到、教育拠点で研鑽を積んだ若手研究者の配置を開始し、個別科学領域での効果的リスク対応形成に関する課題解決研究を推進する。

平成31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27年度、29年度、31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。

⑥ 主な実施機関と実行組織

中核支援拠点到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。

教育拠点到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。

基幹研究拠点到下記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。

⑦ 社会的価値

東日本大震災と福島原発事故以来、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十分認識している。この意味で、合理的リスク対応を導くための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ものである。更に、この種のネットワーク型学術システムの常設は、巨大な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な専門家の協力を通じて国民の期待に応えることもできる。

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、統合の知としてのリスク情報システム科学を構築する価値も大きい。

⑧ 本計画に関する連絡先

鈴木 和幸（電気通信大学情報理工学研究科総合情報学専攻） suzuki@se.uec.ac.jp

熱エネルギー高効率回収・有効利用技術の開発

① 計画の概要

本計画では大量に排出されている 200℃を超える高温熱の高効率な回収、貯蔵、輸送、利用のための技術開発を目指す。日本の一次エネルギーの7割以上は熱利用で消費されており、熱エネルギー利用効率の向上は不可欠の課題である。中でも、200℃以上のいわゆる高温排熱・未利用熱は産業部門で1,251 PJと、産業部門のエネルギー消費量の2割、民生部門業務分野のエネルギー消費量の4割以上に相当する膨大な量であり、高温排熱の回収利用は日本のエネルギー消費量削減に大きく寄与する。

産業分野では鉄鋼、化学プロセスから大量の高温熱が発生している。従来より熱量 (Joule) としての活用は十分であったが、高温熱の質的 (エクセルギー) な利用には検討の余地が多い。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、安価な材料を用いての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。

しかしながら高温熱を回収、貯蔵、輸送する技術は少ない。本計画では、高温熱に対応可能な蓄熱技術、特に化学蓄熱技術に注目し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、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、研究センターを設置し、国内外の研究ネットワークを構築し、研究開発を進める。

② 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。本計画では、これらを包括的に研究開発する。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。

③ 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。

④ 所要経費

総額 99 億円

平成 26 年度 (30 億円)

熱エネルギー利用技術研究開発センター建設 20 億円、

運営費 5 億円、

ネットワーク研究費 0.5 億円×10 グループ

平成 27～29 年度 (27 億円)

研究設備 3 億円、

研究運営費 3 億円×3 年、

ネットワーク研究費 0.5 億円×3 年×10 グループ

平成 30～35 年度 (42 億円)

研究運営費 2 億円×6 年

ネットワーク研究費 0.5 億円×6 年×10 グループ



⑤ 年次計画

平成 26 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 27～29 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。

研究ネットワークの活動を促進する。

平成 30～35 年度

熱エネルギー利用技術研究開発センターの研究開発をもとに、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。

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。

⑥ 主な実施機関と実行組織

研究連携の構成を補足図 1 に示す。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）

2. 名古屋大 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 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 材料分子設計

5. 千葉大 化学系蓄熱装置の開発、パッケージ化研究

6. 東工大 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 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. 北大 蓄熱輸送技術パッケージの実用化

9. 三菱化学、産業界 排熱利用型生システムの実用化研究、社会実装性検討

⑦ 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。その確立は、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た熱利用先進国としての地歩を確立できる。

⑧ 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） kfujioka@functional-fluids.co.jp

計算科学シミュレーション先端基盤国際共同拠点

①□ 計画の概要

物づくりに多大な貢献をしてきた計算科学シミュレーションは、京や来るべくエクサコンピュータの能力を最大限に利用するための並列処理技術やマルチスケール・マルチフィジクス解析技術の開発などますますの深みが求められている。そのため、理化学研究所には京等の運用や計算科学技術の幅広い分野を支える計算科学研究機構が設立されている。前者のミッションには一般社団法人HPCI コンソーシアムなどと協力して進められ、後者の計算科学技術の推進には、分野1（生命科学）、分野2（新物質・エネルギー）、分野3（防災・減災）、分野4（ものづくり）、分野5（物質と宇宙）に分けて進める文部科学省HPCI戦略プログラムとの連携もある。学術的な深みの効率を更に上げ、一層の広がりを得るためには、数学・数理科学を前面にした次の項目の研究推進と人材育成のミッションを有す計算科学シミュレーション先端基盤国際共同拠点の設置が欠かせない。

1) 基盤的アプリケーション・ソフトウェアの開発やアプリケーション・ソフトウェアをカスタマイズして、設計システムに実装、2) このような設計システムを駆使して、製品のブレークスルーや減災や災害を未然に防ぐための対策案の提供、3) シミュレーションソフトウェアの維持・改良・発展を効率良く実施、4) 品質保証を体系化し、標準化、5) マルチスケール・マルチフィジクスのシミュレーションを成功に導くための、化学あるいは物理あるいは生物と数理（ゲノムなどの大量データから何らかの法則性を得たり、非線形現象に対応する確率統計を考慮した数理モデリング、計算スキームの作成等）及び計算機科学（ソルバーの開発、並列計算実装、計算性能最適化、ハードウェア等）に亘る広いスペクトルの範囲で少なくとも連携できる能力。この計算科学共同拠点と全国の研究室をネットワークで結び、Inria 研究所など世界の有力な組織とコネクションを結び共同研究・共同開発も行える組織とする。

② 学術的な意義

上述の共同拠点のミッション1)～5)の実施により多くの学術上の成果が期待される。①基盤的アプリケーション・ソフトウェアの開発、②アプリケーション・ソフトウェアのカスタマイズ化のためのアルゴリズム、ソフトウェア科学、③設計システムを駆使して得られる製品のブレークスルーや減災や災害を未然に防ぐための対策案、④シミュレーションソフトウェアの維持・改良・発展を効率良く行うための新しいプログラミング言語の開発、⑤品質保証に基づく体系化と標準化、⑥化学あるいは物理あるいは生物と数理及び計算機科学との真のコラボによって得られるマルチスケール・マルチフィジクスのシミュレーション技術

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内では上述の通りであるが、欧州ではEUの枠組みによるHPCインフラの着実な整備のためPRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe)、米国においてはINCITE program (Oak Ridge & Argonne) などがある。これらにおいても上述の五つの分野を設けて進められており文部科学省戦略プログラムに近い。一方、本提案は、5つの戦略分野共通の基盤技術を、数学・数理科学をバックボーンに持つ研究者が中心となり、分野毎の研究者との密接なコンタクトをもって共通の先端的基盤技術を構築するものであり、国内外とも同様のセンターやプロジェクトなどは見当たらない。

④ 所要経費

■総予算44億円（初期投資：12億円、運営費等：32億円）

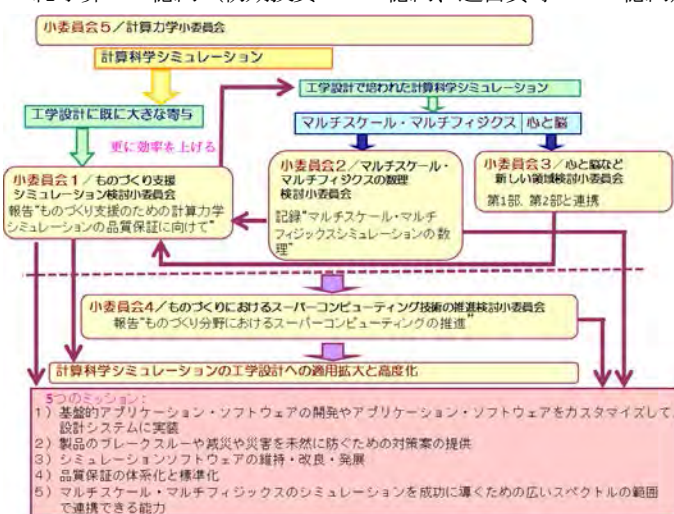


図1 計算科学シミュレーションと工学設計分科会の各小委員会の位置付けと提出された二つの報告と一つの記録から得られた五つのミッション



図2 五つのミッションをじつげんするための計算科学シミュレーション先端基盤国際共同拠点と現存組織との関係

■初期投資 拠点整備費：12億円（研究拠点のための建築改造費、各研究機関とのネットワーク、コンピュータの計8億円）、研究費：2億円X2年）

■運営費、4億円（人件費3億円、コンピュータ費：1億円）X8=32億円、(1)世界の研究機関（Yahoo 研究所（米国）、マックス・プランク研究所（ドイツ）、ZIB 国立研究所（ドイツ）、Reny 研究所（ハンガリー）、Inria 研究所（フランス）、など）との連携、(2)基盤的アプリケーション・ソフトウェアの調査と開発、(3)科学と数理及び計算機科学に亘る広いスペクトルの範囲の教材資料の作成、(4)品質保証手法の開発、(5)シミュレーションソフトウェアの維持・改良・発展させるための方法論の調査と開発、(6)課題別システムの開発（製品のブレークスルーや減災や災害を未然に防ぐために必要なシステムの構築）、(7)各種モデリングの開発、(8)上記に対応できる人材の育成及び国内外への情報発信。(1)～(8)に30人程度の人件費：3億円/年。

⑤ 年次計画

平成27～36年度の10年間

平成27～平成28年度：(1)陣容の整備、設備導入計画及びローテーション計画の作成、(2)国内外の「基盤的アプリケーション・ソフトウェア」の調査と開発計画及びアプリケーション・ソフトウェアのカスタマイズ計画の作成、(3)化学あるいは物理あるいは生物と数学・数理科学及び計算機科学に亘る広いスペクトルの範囲の教材用資料の収集と教材の作成計画、(4)品質保証を体系化して教材とするための資料の収集と品質保証手法の開発計画、(5)シミュレーションソフトウェアの維持・改良・発展させるための方法論の調査と開発計画、(6)製品のブレークスルーや減災や災害を未然に防ぐために必要な要素技術の整備と開発、(7)それぞれの人材育成計画。

平成29～平成31年度：(1)「基盤的アプリケーション・ソフトウェア」開発、アプリケーション・ソフトウェアのカスタマイズ化、(2)バイオ・ナノなどと数理及び計算機科学に亘る広いスペクトルの範囲の教材の作成、(3)代表的なソフトの品質保証検討、(4)シミュレーションソフトウェアの維持・改良・発展させるための方法論の開発、(5)製品のブレークスルーや減災や災害を未然に防ぐために必要なシステムなど課題システムの構築、(6)各種モデリング技術の開発、(7)それぞれの人材育成。

平成32～平成36年度：(1)上述の開発や資料作成の継続、(2)国内外への成果の情報発信、(3)海外からの実習生、研究者の受け入れ、(4)計算科学に関する重要なソフトウェア、システムの体系化、(5)国内外の委託計算の受注、(6)世界の研究機関との連携 Yahoo 研究所（米国）、マックス・プランク研究所（ドイツ）、ZIB 国立研究所（ドイツ）、Reny 研究所（ハンガリー）、Inria 研究所（フランス）、など

⑥ 主な実施機関と実行組織

■HPCI（資源提供機関）

「京」や、全国の9つの大学が保有するベクトル型を含むスーパーコンピュータや大規模ストレージシステムをネットワークで結び全国共同利用

■理化学研究所計算科学研究機構(AICS)：

計算科学・計算機科学分野の研究開発と、国家基幹技術の一つであるスーパーコンピューティング技術の基盤ツールとしてのスーパーコンピュータ「京」の管理・運用及びそれらに関する技術開発を行っている。

■文部科学省 HPCI 戦略プログラム

分野1（生命科学）、分野2（新物質・エネルギー）、分野3（防災・減災）、分野4（ものづくり）、分野5（物質と宇宙）と5つの戦略分野を設け、それぞれを牽引する戦略機関を中心に「京」を中核とするリソースを最大限活用し、1)画期的な成果創出、2)高度な計算科学技術を使いこなせる人材の創出、3)最先端コンピューティング研究教育拠点の形成を目指している。

■一般社団法人 HPCI コンソーシアム

計算科学技術に関わるコミュニティの幅広い意見集約の場として、HPCI システムの整備・運用方針や我が国の計算科学技術の振興策並びに将来のスーパーコンピューティング等について検討し、国や関係機関に提言することを目的としている。

■本計画の計算科学シミュレーション先端基盤国際共同拠点

各分野から得られた共通基盤を数学、数理科学をベースにして最適化したものを全分野に共通のものとして戦略機関のみならず、全国の大学・研究機関に提供し、計算科学の先進化と大衆化を最大のミッションとする。

⑦ 社会的価値

ips 細胞や鉄系の超伝導など最近の、世界に先駆けた、我が国からの大きな発見はいずれも実験から得られたものである。このような状況は、海外も同様であるが、今後は、第3の科学である計算科学や第4の科学である超ビッグデータ分析からの発見展開の到来が期待され我が国の大きな貢献が望まれる。この基本となる計算科学は、政府のかかわるグリーン・ライフイノベーションに関わるマルチスケール・マルチフィジクスの領域である。これに対し、我が国政府も相応に支援しており各分野でそれなりの成果が得られソフトの蓄積も得られている。一方でこの領域は、バイオ、ナノから気候・災害と広い分野からなり、しかも、ゲノムなどの大量データから何らかの法則性を得たり、数理モデリングの開発、計算スキームの作成等の数理科学及びソルバーの開発、並列計算実装、計算性能最適化、ハードウェア等の計算機科学に亘る広いスペクトルからなるため、これまでの縦系中心の組織では、各分野間のシステムティックな連携は困難である。本提案の横系的な機能が加われば本領域の研究の効率は各段に向上し、計算科学シミュレーション分野で我が国が他国を凌駕することが期待できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

萩原 一郎（明治大学 研究・知財戦略機構） ihagi@meiji.ac.jp

ビッグデータを活用して科学的発見を促す統合可視化技術の開発と その社会実装を目指すビジュアルアナリティクス研究センターの設置

① 計画の概要

本研究計画では、計算科学シミュレーション等から得られるビッグデータを活用して科学的発見を促す統合可視化技術の開発とその社会実装を実現するための研究センター：ビジュアルアナリティクス (Visual Analytics 以降 VA) 研究センター（仮称）を設置・整備する。VA 研究センターは京都大学の附置研究所として設置されることを目指して、まずは京都大学学術融合教育研究センターの研究ユニットとして立ち上げる。高速ネットワークなど VA 研究やその展開で重要な研究環境の強みを生かし、学術融合教育研究センターで既設の研究ユニットや本マスタープランの実施機関と連携しながら、VA 技術の適用事例を開拓し、新たな要求要件を明確化する。

計算科学シミュレーション結果は多くの科学的発見をもたらす可能性を持ちながら、ポストといわれる可視化処理による定型的な現象確認に終わっている。この可視化は、科学的可視化と呼ばれ、シミュレーションモデルが定義される座標空間において実行される。近年の計算機能力の向上によりシミュレーション結果のサイズは膨大となり、可視化において試行錯誤が困難となることがこの傾向を加速している。

一方、ソーシャルネットワークや高性能センサーから得られるビッグデータからの知見を発掘するために可視化技術が広く用いられるようになってきた。これらは、情報可視化技術と呼ばれて、変数空間において、変数間の相関を確認するために利用されているが、計算科学シミュレーション結果の可視化にはあまり活用されていない。

図 1 に示すように、この問題を解決するために、情報可視化と科学的可視化を連携させ、科学的発見を促す統合可視化基盤を開発・整備する。これらの可視化基盤を活用して、社会の声を可視化して問題を顕在化し、それらに対する仮説構築・検証を支援し、検証された仮説を社会に還元するための枠組みを構築する。

② 学術的な意義

VA 研究センターでは、計算科学を核とした融合研究分野の形成を実現する。計算科学と計算機科学は、一見近い分野に見えるもののその距離は意外と大きい。本研究センターでは、ビッグデータと計算科学が向かい合うことにより、計算機科学や認知科学、社会科学、人文科学などとの連携が実現され、複雑な問題解決に資する融合的方法論の開発とその実践に繋がることが期待される。

まずは、科学的発見を促進する仮説構築支援技術の開発があげられる。仮説は、何らかの現象や法則性を説明するのに役立つ命題のことであり、データを活用した仮説検証のために、仮説を被説明変数とそれを説明する複数の説明変数から構成することが多い。仮説が、自然言語で与えられる場合、これらを演算操作可能な変数を用いた表現に変換するために概念操作化という変換が必要である。この変換は、自然言語処理の観点では困難な問題として認識されている。本研究では、VA 技術を使って、概念操作化を実現する枠組みを開発する。

つぎに、認知科学の研究成果を取り入れた評価手法の開発があげられる。可視化技術の評価は、必要計算機資源に対する拡張性の観点で行われてきたが、可視化の効能は、ビッグデータをうまく人間に伝えられるかどうかで評価されるべきであり、認知科学との連携が重要となる。たとえば、視覚的分析環境で検証された仮説を社会へ還元する場合、科学イノベーションや公共に関する政策という形をとることが多い。この場合、この政策の評価を定量的に行うことは困難でインタビューなどによる主観的评价に委ねられることが多い。インタビューは属人的要素が強く、インタビュー毎でその結果が変わってしまい、評価方法そのものに対する社会的信頼が低下する。この問題を解決するために、商品デザイン評価で利用されている認知科学に基づく手法を取り入れ、属人的要素を排除した政策の評価手法を開発する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

可視化技術の本格的な発展は 1986 年から始まり、多くの技術が開発されてきたが、適用分野は限定的であった。困難な問題に対する可視化技術の適用が大きく注目されたのは、米国でテロ攻撃が起こった 2001 年 9 月 11 日以降である。米国では、テロに関する多くのデータがデータベースに格納されていたにもかかわらずテロ攻撃を許してしまった経験から、2004 年、国土安全保障省の配下に、VA 技術の開発と適用を所掌する National Visualization and Analytics Center (NVAC) が世界に先駆けて組織され、スタンフォード大学をはじめとする 6 ケ所の地域研究センターとともに全米規模で鋭意研究・開発が進められてきた。一方、欧州でも、2009 年から VA 技術を総合的に研究する VisMaster プロジェクトが開始された。我が国における VA 技術の研究は、欧米の後塵を拝してきたが、日本シミュレーション学会・可視化情報学会において VA 技術に関する議論を行う研究会活動が実施されている。当該計画は、VA 技術の開発とその適用を手掛ける我が国初の研究センター設置と運用に関するものである。

④ 所要経費

期間中の総額：71.8 億円を計上する。2014-2016 年度においては 9 億円/年とし、開発費として、操作概念化支援：2 億円/年・効能保証付き可視化：2 億円/年を考える。また、委託費として、要求要件抽出：2 千万円/年を、そしてレンタル費として、ユーザインタフェース：2 億円/年・データ出自管理：1000 万円×4 機関＝4 千万円/年・効能評価装置：1000 万×2 機関＝2 千

万円/年・アカデミッククラウド：4千万円/年・遠隔協働実験室：2千万円/年を考える。さらに、人件費として、研究員：1000万円×10人＝1億円/年、そして、その他として、旅費・消耗品等：6千万円/年を考える。2017－2023年度においては、6.4億円/年とし、保守費として、操作概念化支援：2千万円/年・効能保証付き可視化：2千万円/年を考える。また、委託費として、VA技術の評価：2千万円/年、そしてレンタル費として、ユーザインタフェース：2億円/年・データ出自管理：1000万円×4機関＝4千万円/年・効能評価装置：1000万×2機関＝2千万円/年・アカデミッククラウド：4千万円/年・遠隔協働実験室：2千万円/年を考える。さらに、人件費として、研究員：1000万円×20人＝2億円/年、そして、その他として、旅費・消耗品等：6千万円/年を考える。

⑤ 年次計画

【2014－6年度】～システムの基盤整備～

- (1) 遠隔協働知識創造に資する高解像度表示装置の整備を行う。
- (2) ひらめきや発見の瞬間を阻害しないユーザインタフェースの整備を行う。利用者への装置類の装着を最小限に抑え、ジェスチャベースで基本操作が行える環境を整備する。
- (3) 大規模データに対して高速な検索を行ったり、ユーザ操作の履歴を格納したり、取り出したりすることのできる大規模データ出自管理環境の整備を行う。
- (4) VA技術の効能を評価するための基盤整備を行う。光学トポグラフィーなど通常のオフィスで使える脳計測装置を整備する。

【2014－9年度】～システムの要件定義およびプロトタイプ開発～

- (1) 脳機能計測や質問用紙法を用いて、気づきのメカニズムと気づきを出発点とした知的活動の活性化について解明し、この結果を可視化技術の開発に活用する。
- (2) 脳内に保存されたパターンを活用した視覚的データのデザインを実施し、その効能を評価する。
- (3) 本質を保ったままデータを圧縮するためのデータ表現技術（重要度サンプリングやスケーラブルな関数表現）の開発を行う。

【2020－23年度】～システムの適用検証および評価～

- (1) 明確な適用分野に対してVA技術を適用し、ひらめき・気づきにつながったかどうかの検証を行う。VA技術を利用することによって、観測データが計算科学シミュレーション結果データでうまく説明できるかどうかの調査を行う。
- (2) 計算科学シミュレーション結果を「見える&魅せる」状態にして、製造装置産業などこれまであまりVA技術を利用してこなかった分野やサービス産業などこれからVA技術を取り入れようとする分野に対する活動を促す。

⑥ 主な実施機関と実行組織

図2に示すように、VA研究センターは、基礎研究部門・応用研究部門・システム基盤部門から構成され、基礎研究部門によって技術を深化させ、応用研究部門によって深化された技術を広く展開する。システム基盤部門は研究開発のためのシステム環境を整備する。事業企画評価部門は、本センターの持続的運営のためのアウトリーチ・企画評価や資金獲得等の活動を行う。VA研究センターの事業活動における生産管理や品質管理などの管理業務を円滑に進めるためのPDCAサイクルにおいて、計画・評価については、事業企画評価部門が、実行・改善については、システム基盤・基礎研究・応用研究部門が所掌する。

京都大学が所掌する事業企画評価部門は、外部研究資金やソフトウェアライブラリ販売、ソリューション提供の収益等を原資として、VA技術の企画と評価・VAソフトウェアの販売・ソリューション提案・VA成果の評価及び最優良実践事例の広報・VA最優良実践事例からのイノベーション創出を担当する。

京都大学・慶応大学・北海道大学・関東学院大学・JAMSTEC、民間委託（NEC、富士通、日立など）が所掌するシステム基盤部門は、他部門からの委託を受けて、大規模表示システムの整備・ユーザインタフェースの整備・大規模データ出自管理システムの整備・効能評価システムの整備を担当する。

京都大学・慶応大学が所掌する基礎研究部門は、応用研究部門や事業企画部門からの委託を受け、認知科学等に効能を裏付けられた可視化技術開発・可視化効能を最大化する視覚的データのデザイン・拡張性を考慮したデータ表現方法についての研究開発を担当する。

京都大学・北海道大学・関東学院大学・JAMSTECが所掌する応用研究部門は、事業企画部門からの委託を受け、VA技術を使った操作概念化支援システムの開発・VA技術活用分野の展開を担当する。

⑦ 社会的価値

文科省は、「科学技術イノベーション政策のための科学」に関する国際的な水準の研究・人材育成拠点を構築し、客観的根拠に基づく政策形成のための政策担当者、「政策のための科学」という新たな研究領域の発展の担い手となる研究者等の人材育成を行うことを決め、提案者は、京都大学人材育成拠点副拠点長として参加している。科学技術イノベーション政策のための科学では、社会が直面する課題というものを抽出して、その中で科学技術がカバーできるものと社会システムの変革が必要なものと絞り込んでいって、それを政策メニューに落とし込み、社会に提供するという政策策定プロセスに注目する。社会的課題を抽出し、政策メニューを社会に提供する上で、VA技術は、大変有用だと期待されている。例えば、NSF（アメリカ国立科学財団、National Science Foundation）のジュリア・レーン（Julia Lane）は、投資に対してどの程度科学技術イノベーションが起こっているか、実際に投資したお金がどのように有効に使われているかを、VA技術を使って可視化している。このようにVA技術は、社会にとって価値のあるものだと考える。

⑧ 本計画に関する連絡先

小山田 耕二（京都大学・国際高等教育院） koyamada.koji.3w@kyoto-u.ac.jp

将来宇宙輸送機の実現に向けた重要技術の実証と実証環境の整備

① 計画の概要

今日の宇宙へのアクセスは使い捨てロケットを用いる輸送に限られ、低効率、高コストの状態である。本提案は、低コストの再使用有翼宇宙輸送システムについて、宇宙機研究開発に携わるコミュニティが、実現のために必要と考える重要技術と射場等のインフラを抽出し、実証と整備を実施するものである。

本提案では将来宇宙機の重点技術として、地上から離陸し空力的な揚力も利用して軌道速度(9km/s)に到達する再使用有翼飛翔体の航法・制御、また大気中の酸素を利用して酸化剤を削減する空気吸い込みエンジン（エアブリーザ）など、航空技術を宇宙機に融合する技術の実証を行う。これまで小型機を用いた試験や、風洞試験など、研究レベルでは実績を積み重ねている。一方、宇宙へ物資を運ぶ実用機に至るためには、技術実証が不可欠であるが、必要な設備は整っていない状況である。これは超高速飛行や再突入技術など、現在の地上設備や飛行試験環境では実現しえない特殊な実証環境を必要とするためである。本提案は将来宇宙機の重点技術の実証とそのためのインフラ作りの端緒を開くものと位置付けられる。

有翼宇宙機の航法・制御技術はロケット推進系を搭載する有翼サブオービタル機の実証を通して獲得する（九州工大 米本）。また、エアブリーザと、その実証のためのフライングテストベッド(FTB)整備に必要な技術を、エアブリーザ実証機によって獲得し、繰り返し利用できるエンジン実証環境を整備することに繋げる（JAXA 菊田）。加えて、これらを運用する拠点として宇宙港を整備し（HASTIC 伊藤）、FTB 離陸にも応用可能で、飛翔体空力、構造振動試験のための高速走行軌道試験設備の整備を行う（室蘭工大 棚次）。

これらの活動を5年で完了し、再使用有翼宇宙機の開発につなげ、学術・産業分野での劇的な宇宙利用促進につなげる。

② 学術的な意義

本提案により、将来宇宙輸送機に必要な重要基盤技術が獲得できる。有翼宇宙機に必要な飛行経路に載せるための機体航法、制御、管制の空力・制御工学分野では、サブオービタル機の研究開発を通して技術実証を行い、実用レベルに高めることができる。また、再使用ロケットに求められる診断、運用技術などを実証する機会を得る。推進系の高効率化の切り札であるエアブリーザ技術はエアブリーザ実証機において直接実証される。同機は再突入からの経路を使い、地上設備や、地上発射のFTBでは難しいマッハ10以上でのエアブリーザ実証が可能であり、高温空力、燃焼、構造・材料の理学・工学の分野において、技術の実証を行う。また、再突入時に求められる、高エンタルピー流中の機体設計技術、耐熱・冷却の技術もエアブリーザ実証機で実証できる。これまで、HOPE計画やはやぶさのカプセルの研究・開発等により蓄積を図ってきた再突入技術を、初めて有翼再使用機体へ応用し実証する機会を得るとともに、能動冷却技術の一層の向上が期待できる。

高速走行軌道試験設備は、新しい機体の構造設計に際し、既存風洞では成しえない実機あるいは大型模型によるマッハ2飛行相当の試験を実現でき、空力・構造工学分野への貢献が期待できる。また同装置の応用として、実証機あるいはその後の実用機の離陸時に機体に加速を与えることで、エンジン推力に対する要求を軽減し、輸送機システムの重量余裕を生み出すという新しい離陸手法の開発と実証に役立つ。

本提案における宇宙港の整備は、直接的には直近の実証機の開発・運用に役立つとともに、長期的には本格的に産業化された宇宙利用時に、そのアクセスポイントたる宇宙港が持つべき社会的な利便性、経済性などの検証にも役立つ。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

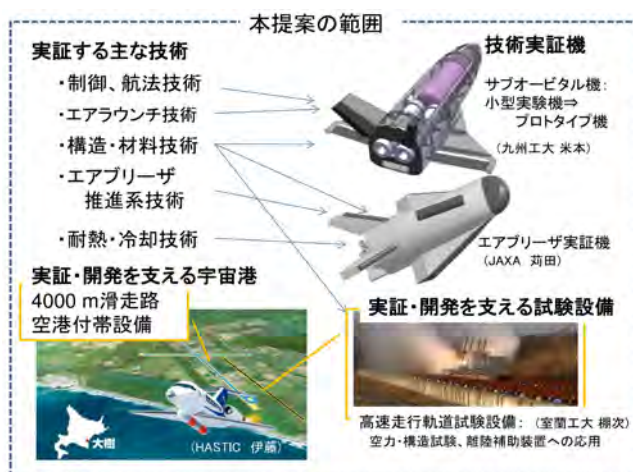
国内ではJAXAで再使用輸送システム研究を中心に、航法・制御の研究、機体の構造・耐熱材料また冷却技術の研究、さらにエアブリーザ（極超音速ターボジェットや複合サイクルエンジン）の研究を、大学、メーカー等と協力して進めている。また、大学においては、ハイブリッドロケットを観測ロケットや有翼飛翔体に応用した研究が行われている。

本提案では世界で初めて、ロケットの余剰ペイロードを利用し、既存技術に基づく再突入機で高速のエアブリーザ実証試験を目指している。一方、海外においては、NASAのサブオービタル機研究プログラム(CRuSR)やエアブリーザ実証試験(X-43, X-51)など、単発の実証が多く、実証機自身が新技術を用いて自立して飛行するためハードルが高く、高額となっている。

試験、運用環境としての宇宙港は米国のモハベエア&スペースなど宇宙の商業利用を念頭に、世界的に整備が進められている。高速走行軌道試験設備は米国において1950年代より設備整備が進められ、高速、高動圧、高加速環境を生かした各種の試験に用いられており、国内においても固体モータの衝突実験などに応用された実績がある。

④ 所要経費

・サブオービタル実証機の研究・整備 55 億



航法・制御技術実証を目指したサブオービタル機については、そのプロトタイプを製作(42 億)、試験(5 億)する。これに先立ち、要素技術実証のための小型実験機の製作(5 億)と技術研究を実施(3 億)する。

・エアブリーザとエアブリーザ実証機の研究・整備 150 億

二種類の供試エアブリーザの技術研究、制作(6 億)を実施するとともに、エアブリーザ実証機 2 機の技術研究と製作(124 億)を実施する。二回の試験を H-IIA の余剰ペイロードを活用して実施する(20 億)。

・将来宇宙輸送系多目的試験場(宇宙港)の整備 120 億

サブオービタル実用機またエアブリーザ実証機後の実用エンジン実証用 FTB の運用拠点として、北海道大樹町航空公園を念頭に、離着陸用滑走路、研究開発用の小型ロケット打ち上げ場など、航空宇宙機の運用拠点を整備する。

・高速走行軌道試験設備の整備 12 億

大樹町航空公園を念頭に、全長 3 km の軌道を整備(10 億)し、水制動装置や計測装置等の付帯設備を設ける(2 億)。

上記合計 337 億円

⑤ 年次計画

サブオービタル実証では、有翼宇宙機の航法技術等の獲得をめざし、まず 3 m 級小型機の試験を 2015 年度までに準備し、16 年度に打ち上げ試験を行う。小型機は安全・安価な

総額337億円	1年度	2年度	3年度	4年度	5年度
サブオービタル実証(55億円)	小型実験機設計・制作 プロトタイプ機設計・制作		小型実験機試験(#1~#3)		プロト機試験(#1~)
エアブリーザ実証(150億円)		エアブリーザ実証機設計・制作		実証試験#1	実証試験#2
高速走行軌道試験設備(12億円)	設計・整地・製作		亜音速走行検証	超音速走行検証	試験運用開始
宇宙港(120億円)	4,000m滑走路整備		空港付帯設備整備		

ロケット推進技術も実証するとともに、二段目ロケットを搭載した TSTO 型の空中発射技術獲得にも応用する。平行して、8 m 級のプロトタイプ機を 18 年度までに準備し、18 年度末をめどに高度 120km を目指した打ち上げを行い、技術の確立を目指す。推進系技術ではエアブリーザとこれを繰り返し試験するための FTB の研究開発を進め、本提案では第一ステップとして 4m 級再突入有翼機によるエアブリーザ実証機を準備し、H-IIA の余剰ペイロードを活用して 18 年度以降に試験を実施する。既存技術のできるだけ応用し、信頼性が高く、低コストな実証機に仕上げるため、現在進めている予備検討活動を 14 年度も継続し、17 年度までに製作と試験準備を行う。この活動を通して、実機サイズエンジンを試験できる地上発進型の FTB に必要とされる能動冷却技術などを獲得するとともに、実証機に搭載する複合サイクルエンジンにより、世界最高速のエアブリーザ実証を行う。

本提案完了後(19 年度以降)には、実用サブオービタル機による科学・商用運用、および実用エアブリーザ開発のための FTB 整備の開始を目指す。これらの運用や研究開発の拠点として、16 年度までに滑走路や付帯設備を含む総合的な宇宙港の整備を北海道大樹町にて進める。同時に比較的重量のある機体の構造試験装置、また機体離陸のための支援装置として、高速走行軌道試験設備の整備を宇宙港に隣接して設置する。15 年度末をめどに軌道、付帯設備を整備し、16 年度は亜音速滑走確認、17 年度にマッハ 2 超音速滑走確認を行い 18 年度以降に実運用に供する計画である。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本提案を含めた将来宇宙機の研究開発は JAXA が中心となり、学会での活動などを通して産学官で協調して進めていく。なお、本提案の主要な項目は以下の団体を中心に進めるが、共同研究、開発支援などを通じて、国内の多くの大学・メーカーと All Japan の体制で進める。

北海道宇宙科学技術創生センター(HASTIC)	： 将来宇宙輸送系多目的試験場・宇宙港
室蘭工業大学	： 高速走行軌道試験設備整備
宇宙航空研究開発機構(JAXA)	： エアブリーザならびにエアブリーザ実証機研究開発
九州工業大学	： サブオービタル実証機の研究開発

⑦ 社会的価値

再使用宇宙機により、輸送コストは劇的に下がるため、創薬、材料試験など、無重力で実施することのメリットが謳われつつ、コスト面で実現に至らなかった産業分野に対して、機会が安く、高頻度で提供される。またその過程で実現するサブオービタル機では、新産業として宇宙観光を視野に入れて計画を検討中である。エアブリーザと有翼宇宙機の技術は、応用として極超音速大陸間輸送機の開発にもつながり、旅客、物流産業に革命をもたらす。輸送機体の製造は機械、電気、化学工業の総合的な技術力を必要とするため、日本の工業全体に新たな需要を生むこととなる。

また、安全保障の面では、高速走行軌道試験設備を用いて、原子力発電施設への不慮の航空機墜落やテロ攻撃に対する耐衝撃試験が行える。

はやぶさや、ISS への日本人宇宙飛行士長期滞在など、宇宙に関して国民の認知や興味は向上しつつある一方で、ロケット打ち上げを国民が実際に目の当たりすることは稀である。本提案の究極的目標は、宇宙機が現在の航空機並みの頻度で、飛行場のような身近な宇宙港で運用されることである。宇宙と国民の距離を縮め、宇宙利用への理解、知的興味の増進を図ることができる。

⑧ 本計画に関する連絡先

蒔田 丈士 (JAXA) kanda.takeshi@jaxa.jp

再使用観測ロケット計画

① 計画の概要

従来の観測ロケットは打ち上げ後、機体・ペイロード（観測機器等）をそのまま海上に落下させ投棄しているが（使い捨てロケット）、本計画の再使用観測ロケットは、高度100km以上に100kg以上のペイロードを打ち上げ、発射点に帰還する特徴を有している。再使用観測ロケットを開発することで、観測ロケット利用コストを大幅に下げ、実験観測機器をはじめとしたペイロード持ち帰りと高頻度運用による革新的な実験機会を研究者に提供することが可能となる。また、本計画を通じて、宇宙輸送コストを飛躍的に削減する将来の宇宙往還システムの実現に必要な基礎技術の開発・実証の機会が得られ、さらに開発した再使用観測ロケットを「実運用」することでこれらの技術を洗練することが可能となる。すなわち本計画では、研究者への低コストかつ質的に異なる革新的な観測ロケット実験機会の提供と、将来の宇宙往還システムに必要な基礎技術の獲得の、両方を目標とする。

開発する機体は、最短で1日2回の打ち上げが可能で（ターンアラウンドタイム24時間以内）、現有の使い捨て観測ロケットS-310の1/10の運用コスト、100回の再使用が可能なシステムを目指す。ターンアラウンドタイムを最小化し、現有の射場設備を最大限利用するために、垂直に発射し垂直に着陸するシステムとする。推力4トン級の液体水素／液体酸素エンジンを4基搭載し、エンジンが1基故障したとしても安全に発射点に帰還することができるシステムとする。機体規模は、全備重量11トン、乾燥重量3.8トン、全長13.5m、機体直径3m、ペイロード空間約0.5立方メートル程度を想定している。

低コストかつ短期間での開発・運用をめざし、既存の地上設備を極力利用することで、機体開発に資金を重点配分する計画である。



② 学術的な意義

再使用観測ロケットを運用することにより、同じ打ち上げ費用で10倍程度の実験機会、すなわち従来の観測ロケットにより得られていた研究成果が10倍程度見込めることになる。これに加えて、ペイロード回収や飛行中の姿勢・軌道制御等による革新的かつ質的に異なる実験環境が提供されることにより、質的に異なる科学成果が期待できる。

例えば、地球大気・環境計測の分野では、再使用観測ロケットにより1)ロケット軌道・姿勢の自由度向上、2)亜音速飛行・準静止状態の実現、3)観測機器の回収と繰り返し飛行が可能であることから、大気微量成分・エアロゾル・微粒子の観測（組成、温度測定）、大気および粒子の継続的サンプリング、地球規模の大気のエネルギー収支や運動の理解とモデル化の研究・利用分野で特に発展が予想される。さらに、再使用観測ロケットによって高頻度かつ世界の多地点で地球大気環境の時間的空間的トレンドを精度良く測定する事が可能になれば、個別の大気現象相互の関係やメカニズム理解の飛躍的向上および地球環境変動研究等に役立つ地球環境モニターとして画期的な成果をもたらすことが期待される。また、無重量環境利用分野においても、再使用観測ロケットによって実現する継続した高頻度の実験機会と180秒間の良質な微小重力実験機会の提供により、従来のロケット実験やISS利用に比べ飛躍的な研究の活性化と成果創出をもたらすことが期待される。

また、革新的な再使用観測ロケット開発を通じて、将来の宇宙輸送コストを飛躍的に削減する宇宙往還システムの実現に必要な、繰返し飛行運用や故障許容システム、寿命管理設計や信頼性設計技術、軽量の構造・材料および推進システム等の基礎技術の工学研究成果が期待できる。さらに、先端的研究を通した新規技術の導入により、若手研究者の教育の場としても重要な役割を果たし、若手研究者の育成に貢献することも期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

現在諸外国で開発されている観測ロケットの中には打ち上げ後ペイロードを探索によって回収する形式を有するものがあるが、ロケットの機体自身は使い捨てのものしかないのが実情である。ペイロード回収費用は非常に高額となるため、諸外国で実施されている無重力環境を利用した大半の実験は、航空機による短時間の繰り返し弾道飛行を利用したものである。そのため、長時間の無重力機会を提供し、かつペイロードを安価で回収できる再使用観測ロケットの早期実現は研究者コミュニティから期待されている。

垂直離着陸形式で宇宙空間まで到達するロケットは研究開発は盛んに進められているもののまだ実現していない。そのため、再使用観測ロケットの開発は将来の輸送系の発展に大きく寄与するものであり、工学的な意義は非常に高い。

JAXAでは本計画に先駆けて1999年～2003年にかけて再使用ロケット実験機（RVT）を用いて垂直離着陸方式で高度42mを達成した。世界的には1990年代前半に米国で高度2.5kmの到達を実現しており、最近では民間会社による単独開発で80mの実績があるが宇宙空間までにはいずれも到達していないのが実情である。

④ 所要経費

再使用観測ロケット計画の実現にかかわる費用として以下の項目が挙げられる。総経費100億円を見込んでいる。

(内訳)

(1)再使用観測ロケット機体システム開発・製造・試験費：40億円

(2)地上試験設備、射場設備整備費：25億円

(3)再使用観測ロケットエンジン開発・製造・試験費：35億円

⑤ 年次計画

再使用観測ロケットは諸外国を見ても実現されておらず、従来のロケットと比較しても技術的リスクが高いものである。そのため、平成26年度までに機体システムの概念設計と再使用観測ロケットに特有かつリスクが高く、従来のロケットにはない新規の技術に関する次の8項目について、実験による技術実証を行う予定である。

(1)帰還飛行

(2)故障許容・ヘルスマネジメント

(3)着陸脚

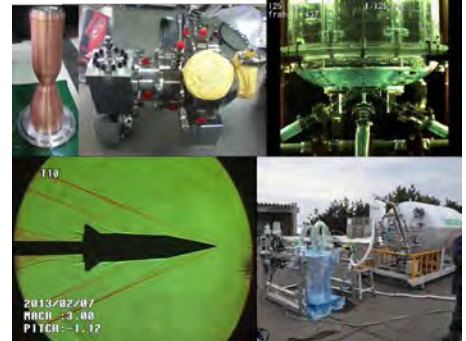
(4)極低温推進剤タンク断熱材の多数回使用

(5)推進剤挙動

(6)推進剤供給

(7)飛行中のエンジン予冷方式

(8)エンジンの繰り返し運用



これら8項目について機体開発に向けた技術的な目途を得たのちに、平成27年度から「機体システム開発フェーズ」として再使用観測ロケットの運用システム開発（基本設計、詳細設計、製造、試験）を開始する。機体システム開発フェーズは4年間の実施を見込んでおり、次の4項目について実験実施を予定している。能代ロケット実験場および内之浦宇宙空間観測所において実験に必要な設備整備も本フェーズにて行う。

(1)能代ロケット実験場におけるステージ燃焼試験

(2)内之浦宇宙空間観測所における低高度離着陸実験

(3)内之浦宇宙空間観測所における低高度飛行実験

(4)内之浦宇宙空間観測所における高高度離着陸実験

機体システム開発フェーズにて運用システム開発完了後、「定常運用フェーズ」として平成31年度から実際のペイロードを搭載した実運用を行う。同一機体で年間10回程度、10年間で合計100回程度の運用を想定している。

尚、上記開発と並行して、研究者コミュニティへのアプローチを通して再使用観測ロケット利用者の拡大を図り、めざましい成果創出に向けてより強固な体制を整えていく。

⑥ 主な実施機関と実行組織

独立行政法人宇宙航空研究開発機構（以下 JAXA）が中心となって実施する。JAXA 宇宙科学研究所に再使用観測ロケットプロジェクトを組織し機体システム全体取りまとめを実施する。また、JAXA 角田宇宙センターにてロケットエンジンの開発を実施し、その他 JAXA 関係部署にて機体開発のための要素研究を実施する等、JAXA 内にて組織横断的に開発体制を組織する。大学との連携も密に図り、現時点でも東京大学にて燃料挙動の解析、九州工業大学にて飛行制御の高度化、新潟大学にてヘルスマニタリングセンサの開発を実施するなどしており、今後も更なる展開を図りつつ全国の大学と連携のもと実施する予定でいる。ロケットの製造はロケット製造経験のある製造メーカと連携して開発を進める。

尚、同時並行で JAXA 宇宙科学研究所が主体となって全国の大学で組織する宇宙環境利用科学委員会ワーキンググループとの連携を図り、その中で組織する、物質科学、基礎科学、技術開発、生命科学の各小委員会と密接な連携を取りつつ開発を進めていく。

⑦ 社会的価値

再使用観測ロケットの実用化・実利用により、将来の宇宙輸送システム実現すなわち、一般国民が宇宙に対しより身近になることを体現することができ、将来の宇宙輸送システム開発に対する国民の理解が一層深まる。我が国が世界に先駆けて再使用観測ロケットを実用化し、実利用において、そのメリットが実証できれば、他国に対して技術的に優位となり、産業的・経済的効果を得ることができると考えられる。また、再使用観測ロケットの実現により高頻度に資材を宇宙へ輸送する手段の確立へ向けて一歩近づくことになり、現在深刻さを増すエネルギー問題の解決策の一つとして期待され、宇宙基本計画にも謳われている宇宙太陽光発電衛星の実現に向けて、大きく前進することが期待される。さらに、繰り返し運用を重ねることで実績を積み上げ、同時に安全性評価も進めば本ロケットの有人化、更には米国ではすでに実現しつつある宇宙旅行の日本での実現も現実味を帯びてくることで経済的・産業的な活性化も期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

小川 博之（独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所） ogawa.hiroyuki@jaxa.jp

学術コミュニティの多様なニーズの実現へ向けた超小型衛星の研究開発と軌道上実証

① 計画の概要

本計画は要素技術、アーキテクチャ、インフラの研究や整備が進んできた超小型衛星を使って、複数の学術コミュニティの中にある宇宙科学、地球観測、工学実験、宇宙探査等の様々な宇宙利用のニーズに対応して実際に衛星を開発・打ち上げ、所定のミッションを果たすプログラムである。1機5～7億円程度（バス系3億円程度）以下、開発期間も2年程度以下の超小型衛星を活用し、これまでは予算の制約等で実施できなかった多くの革新的・萌芽的・挑戦的なミッションが実施できるようになり、宇宙を利用したい各学術分野の研究の進展、宇宙開発利用の活性化やそれを通じた社会貢献に繋がるとともに、実ミッションを通して超小型衛星の機器・要素技術等の向上と、それによる衛星機器・利用産業の発展にも寄与する。

具体的には、様々な学術コミュニティからのミッション提案を受け付け、その意義や超小型衛星への適合性などを元に、予算規模に見合った数のミッションを適切な委員会にて定期的に選定し、2、3年をかけて開発・打ち上げ・実証を行う。

日本航空宇宙学会内では事前調査により、既に以下のようなミッション提案が出されており、超小型衛星の利用の意義や可能性は確認済みである。

(1) 宇宙ゴミ PJ

衛星と地上小型光学望遠鏡での計測と力学モデルを組合せ、宇宙ごみ分布と分布の挙動を動的に記述する環境モデルを構築する。

(2) 宇宙エレベータ PJ

宇宙エレベータの主要技術実証とデータ取得を目標とし、地球周回軌道上で km オーダーのテザー伸展を行い、昇降機を移動させる軌道エレベータ（軌道 ELV）を開発する。

(3) 掩蔽衛星群 PJ

衛星に搭載した GPS 掩蔽受信機・電子密度・電子温度プローブにより、複数衛星による大気圏－電離圏の時空間的観測を行う。

(4) 地震先行現象 PJ

(3)の衛星群による観測と連携した地震先行現象の研究のための地上観測網を構築。

② 学術的な意義

本計画では超小型衛星を中心とした衛星側の技術の向上と、軌道上で実証するミッション側の研究成果の双方の学術的意義を狙うことが可能。

まず衛星側では、内閣府の FIRST プログラムで進める通称「ほどよしプロジェクト」で開発されてきた超小型衛星のバス技術やミッション系とのインターフェース技術をベースにし、本計画で実際の衛星を開発・運用することを通して、衛星の要素技術の向上と低コスト・短期開発のまま様々なミッションに対応できる能力の拡大を図り、その成果を次に活かすことにより、ミッションを実施すればするほどコスト面、技術面で次のミッションが実施しやすくなるループを作る。

ミッション側はいずれも、軌道上での観測や実験により科学的なデータを蓄積して動き出すことが重要であるミッションであり、その意味で、まずはしきいの低い超小型衛星を利用してその先行実験・観測を行い、有効性が確認されれば多数機あるいは中大型衛星による本格的プロジェクトに進むという筋道を作ることが大事である。多数機の超小型衛星による時間分解能の高い地球観測が、従来の学術分野に新たなメソッドを提供するという期待もある。

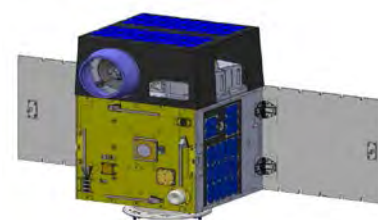
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国外ではいち早く超小型衛星（50kg 級以下）の研究開発は開始されたが、実利用に供する衛星は 100kg を超えるサイズに移行しており、50kg 級はまだ教育用・技術実験用のレベルにある。日本では超小型衛星は、大学を中心に 1999 年ごろから研究開発が進み、当初の教育目的から技術が向上し、3機の衛星打ち上げに成功した東京大学をはじめ一部の大学では実用に近いマイクロサット（50kg 級、宇宙科学、地球観測用など）が開発されるようになってきた。たとえば東大の4機目の衛星は 35kg でありながら位置天文という宇宙科学分野でのトップサイエンスを目指すレベルである。さらに、2010 年から始まったほどよしプロジェクトで、大学衛星を実用的なレベルに高め実利用を開拓する総合的な研究が行われ、世界の中でも 50kg 級衛星の分野ではトップを競争している状況である。

本計画は、これらの研究開発の成果を、様々な学術コミュニティの持つ宇宙利用ニーズに応えるべく「活用する」という側面と、技術にさらに実践力をつけて世界競争力を高め、超小型衛星を実用的な宇宙開発・利用ツールとして「定着させる」という二つの位置づけがある。

④ 所要経費

計画全体で予算がつけば、年1機毎の開発開始を前提に、トータルで10億円程度／年となる。予算額が増えれば年に多数機、減った場合は数年で1機の実施とするが、加速的効果を期待するには年1機以上が望ましい。また、新規の大型装置の設置等、



超小型衛星の例（上：ほどよし1号、
下：ほどよし4号）

多額の経費を要することは避け、JAXAをはじめ国の研究機関等の持つ試験設備や地上局などの借用・低価格での払下げ、日本のロケットでの打ち上げ機会の提供などの便宜を期待したい。具体的な内訳は以下の通り。

衛星開発費： 5～7 億円／機（但し、ミッション系次第では更に上がる）
打ち上げ費： 海外のロケット利用の場合、約2 億円／機。日本のロケットでは不要
衛星運用費： 約2 千万円／年（衛星機数にあまりよらない）
技術開発費： 約6 千万円～1 億円／年（先端技術を先行開発する資金）
アドミ経費： 約2 千万円／年
合計／年： 年1 機ずつ選抜で約10 億円（海外ロケット）or 8 億円（日本のロケット利用）
年2 機ずつ選抜で約18 億円（海外ロケット）or14 億円（日本のロケット利用）

⑤ 年次計画

平成25年度

各学術コミュニティの属する学会の場などをうまく活用して、利用を考えるコミュニティ（宇宙科学・探査、地球観測、工学実験など）を構築し、超小型衛星の開発コミュニティとの連携を強め、優れたミッションアイデアが生まれる素地を作る。ほどよしプロジェクトの最終年度なので、その資金を利用した超小型衛星シンポジウム等上記潜在利用コミュニティに広く開発・利用両サイドが合同してステアリング委員会を構成、進め方や長期計画を策定する。

平成26年度以降

計画全体として予算取りができた場合は、まずは、先に記載した4つの有力候補を含め、ミッション公募を行い、提案書を出してもらって上記ステアリング委員会で選抜して開発をスタートする。以降、予算と開発体制側の負荷バランスを見つつ、適切なる頻度でミッションを選抜する。また、将来提案されるであろうミッションを見越しての必要衛星技術の先行研究開発アイテムのロードマップを委員会で策定し、大学等の研究者への公募等により研究開発の梃取りを行う。

平成28年度以降（衛星打ち上げがここから始まる）

打ち上げ後は初期運用までは衛星開発側で実施し、ミッション運用になった段階で、ミッション側へ運用を移管する。軌道上での成果はミッション側が享受するとともに、技術的な成果は衛星側にフィードバックする。

⑥ 主な実施機関と実行組織

まず、衛星開発コミュニティ側と潜在ユーザーである複数の学術コミュニティ（学会など）から数名の人を集めたステアリング委員会を構成し、全体の計画立案・運営を行う。

開発側コミュニティは「ほどよしプロジェクト」を通して東京大学を中心に確立しており、引き続き東京大学がリーダーシップを取って梃取りを実施する。衛星開発のプロジェクトマネジメントとシステム設計が担当できる企業あるいは大学をまず決め、機器や要素技術を提供できる企業をつなげることで、各衛星ごとの開発体制をカスタマイズする。運用についても地上運用局の斡旋および初期運用ができる体制までは構築する。また、ロードマップをもとに、将来技術の開発体制をそれぞれの技術ごとに組織する。

各学術コミュニティ内での、ミッション（系）開発・運用・利用体制の例としては、上記4提案においては、以下のような体制案が提案されている。一例として記しておきたい。

(1)宇宙ゴミPJ：○リーダー：九州大学 ○ミッション系開発：九州大学、JAXA/宇宙環境グループ、民間企業 ○運用・利用体制：九州大学、JAXA、民間企業

(2)宇宙エレベータPJ：○リーダー：香川大学 ○ミッション系開発：香川大学（制御部）、JAXA（テザー展開機構）、静岡大学・日本大学（テザー・クライマ） ○運用体制：香川大学 ○利用体制：香川大学、静岡大学、日本大学（地上検証実験含む）

(3)掩蔽衛星群PJ：○リーダー：JAXA ○ミッション系開発：JAXA、北大、東北大、東大、国立中央大学、国立成功大学

(4)地震先行現象PJ：○リーダー：東海大学 ○運用・利用体制：北大、千葉大、学芸大、電通大、東海大、中部大、京都産業大、大阪大、九大、民間企業、JAXA

⑦ 社会的価値

現在の高コストの宇宙開発利用に対し、能力は少し劣っても2ケタレベルの低コスト化を狙える超小型衛星は、厳しい国家予算の中で宇宙活動を広げるものとして既に国民の認知度・理解も高い。ミッション数の増大により、更に宇宙開発利用の重要なツールとしての地位を獲得できるとともに、将来の宇宙開発を担う人材の育成機会の提供や、これまで宇宙分野に参入できなかった高い技術ポテンシャルを有する企業の参入による我が国の宇宙開発の裾野拡大と産業化にも貢献できる。

一方、提案された各ミッションは、いずれも社会的価値が高い。例えば(1)宇宙ゴミPJでは、近年社会的関心の高い宇宙環境保全に向けての重要な情報をもたらすものであり、今後、世界が宇宙開発活動を安全に進めるために必須であるという意味で社会的価値が高い。(2)宇宙エレベータPJは、宇宙輸送系に革命を起こすといわれている宇宙エレベータ構築に向けて、日本が諸外国に先行して軌道上実験を実施するという意味で意義が高い。(3)(4)のミッションは地震の先行現象の解明のための科学的データを蓄積するという意味を持ち、地震国日本が将来に向けて地道に行うべき社会的価値の高い研究である。

⑧ 本計画に関する連絡先

李家 賢一（一般社団法人日本航空宇宙学会） trinoie@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

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、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。かぐや・はやぶさ等、従来探査機で実証した技術を踏まえ、今後、(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&内部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。本計画はこれら2つ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、月・惑星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・長期滞在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」を提案している。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り、この電力を用いて高比推力イオンエンジンを駆動すれば、ソーラーセイルと合わせたハイブリッド推進となる。同技術は、我が国が世界に先駆けて実証した深宇宙航行技術を発展させ、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にする。本計画では、木星トロヤ群小惑星および土星衛星エンセラダスのサンプルリターンを実現する。外惑星領域航行技術以外にも内部試料採取を行い、試料回収、キュレーション、分析等の技術も確立する。

② 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。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&内部試料採取技術実証では、ソーラー電力セイル技術として、大型膜構造の展開・展張、薄膜太陽電池システム、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だけでなく、今後の深宇宙探査に必須の技術として、低温動作可能な二液推進機関、推進系統合型の高電力密度燃料電池、遠距離高精度軌道決定、膜面フェーズドアレイアンテナ、耐高放射線環境機器、超高速減速技術、内部試料採取・洋上回収・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惑星の軌道移動の解明、土星衛星エンセラダス探査により「定常的なエネルギー、液体の海水、有機物」が揃った氷衛星の内部海で起きている物質進化的な解明を行う。さらに、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。

以上により日本が探査を先導する。

③ 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。科学・工学双方のコミュニティと連携しつつ、幅広いコミュニティの総意として本計画を進めている。

(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、高度な探査に必須なピンポイント着陸や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)日本ははやぶさにてイオンエンジンを用いた近地球型小惑星のサンプルリターンに成功した。一方、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。本計画では、IKAROSにて初めて実証したソーラー電力セイルを組み合わせ日本独自の航行技術を木星圏・土星圏の外惑星領域往復にまで拡張し、内部試料採取を実現する。

④ 所要経費

総額：1805 億円

(1)火星探査技術実証ミッション：480 億円、月面長期探査技術実証ミッション：500 億円

(2)木星トロヤ群小惑星探査技術実証ミッション：345 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

⑤ 年次計画

(1)

火星探査技術実証ミッション

ミッション検討：～H27

基本設計：H27～H28

プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H29～H30

詳細設計，フライトモデル製作：H31～H32

総合試験：H33～H34

打ち上げ・着陸：H34

運用：H35

月面長期探査技術実証ミッション

ミッション検討：～H28

基本設計：H28～H29

プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：

H30～H31

詳細設計，フライトモデル製作：H32～H33

総合試験：H34～H35

打ち上げ・着陸：H35

運用：H36

(2)

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：～H27

基本設計：H27～H28

プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：H29～H30

詳細設計，フライトモデル製作：H31～H32

総合試験：H33～H34

打ち上げ：H34

地球スイングバイ：H36

木星スイングバイ：H38

木星トロヤ群小惑星到達：H43

地球帰還：H48

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：～H32

基本設計：H33～H35

プロトフライトモデル製作，熱・機械環境試験：

H36～H37

詳細設計，フライトモデル製作：H38～H39

総合試験：H40～H41

打ち上げ：H41

土星衛星エンセラダス到達：H49

地球帰還：H55

⑥ 主な実施機関と実行組織

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。多数の大学・研究所の研究者も大勢本計画に加わる。

⑦ 社会的価値

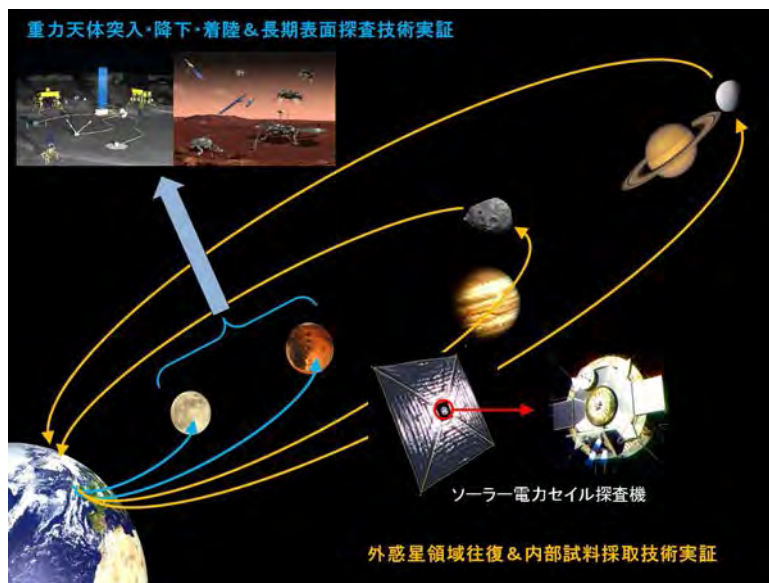
かぐや、はやぶさ、IKAROS 等の成功を受けて、未踏峰領域への探査ミッションに対する国民の期待と理解が、これまでになく高まっている。固体惑星や太陽系小天体についての理解を深めることは科学的意義だけでなく、科学啓蒙や科学教育全般に非常に有益である。さらに、人類の活動領域の拡大、スペースガード、資源利用、有人探査のターゲット等非常に多くの意義・価値がある。

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、薄膜太陽電池や燃料電池技術はグリーンイノベーションへの貢献、宇宙用ポリイ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。

⑧ 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）

mori.osamu@jaxa.jp



高高度滞空型無人航空機システム技術基盤確立と利用分野創成

① 計画の概要

本計画では、広範な科学利用、国民生活の質の向上、社会の安全安心及び我が国の安全保障に貢献できる、高高度を長時間滞空する無人航空機システムの基盤技術を確認することを旨とし、総合的な研究開発と利用実証システムの開発・飛行実証を行う。飛行実証においては、高高度環境適合、航空管制システムへの統合、ミッション利用に関する実証も行い、同システムの早期の実利用開始のための基盤を確認する。開発した利用実証システムは科学ミッションなどの実利用に供用することを目指す。

従来技術では高高度での滞空可能時間は1日程度に限られていたが、複合材料技術や軽量構造技術、柔構造飛行体制制御技術、高効率空力設計技術、高効率推進器技術等を適用することで、滞空時間を飛躍的に伸ばすことが可能である。パイロットが搭乗しない無人航空機においては、飛躍的に長くなる滞空時間を有効に利用し、従来は実現できなかった防災・減災、通信中継、サイエンス利用等、航空機の新しいミッションを切り開くことが可能である。

飛行安全確保と航空交通システムに無人航空機が受容されるために必要な安全運航技術研究にも取り組む。加えて、当システムにより創成される利用分野コミュニティ（科学、通信、防災等）を構築し、新しいミッション能力を最大限に活用するための研究開発基盤とする。

本提案は、東京帝国大学航空研究所が設計し、1938年に1万キロ以上を2日半かけて（低高度を）連続飛行し、国際長距離飛行記録を作った「航研機」の現代版ともいえる。「航研機」が当時の日本の航空科学技術を飛躍させる契機となったように、極限的な飛行に挑戦する本提案により航空科学技術の飛躍的向上による産業への貢献が期待され、無人航空機による高高度長時間飛行による新たなミッション創成という航空科学技術の新領域を拓くとともに、国民生活の質の向上と、安心安全な社会の構築に寄与する。

② 学術的な意義

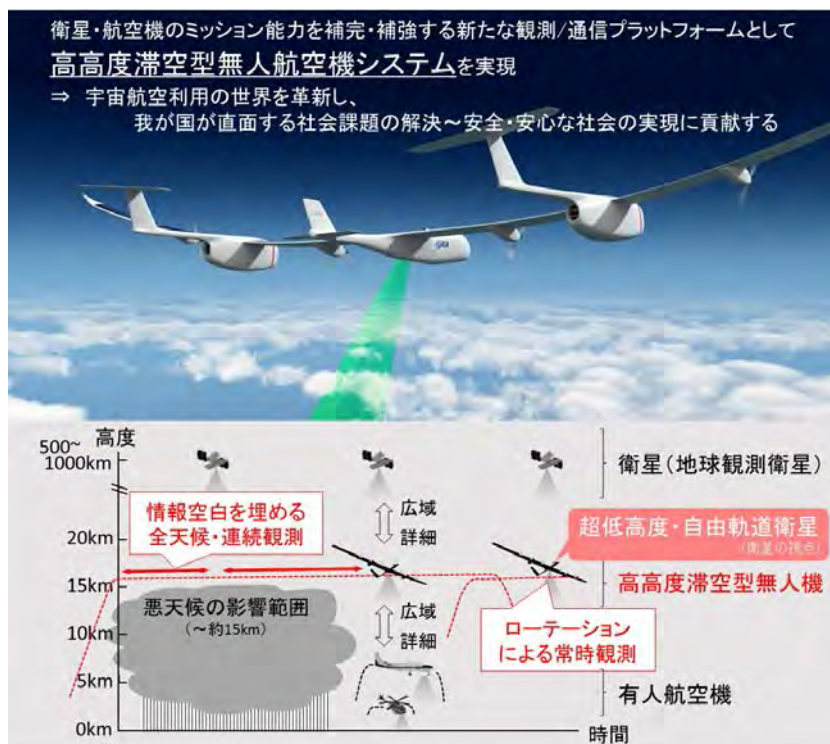
(1) 航空機は複雑なシステムながらも高い信頼性と安全性を実現しているが、無人航空機システムは、その航空機を包含するさらに上位の大規模システムであり、工学のあらゆる分野における先端技術によって初めて実現される。材料、構造、エネルギー等の技術は他分野への波及効果が高く、特に信頼性や安全性も含めた無人化技術の実用化は他分野に先行しており、工学的意義が大きい。また、高高度長時間滞空技術は、高効率空力・構造設計、超低燃費推進など、通常の航空機の低燃費技術水準向上にも貢献できる。無人化技術に要求される飛行制御の自律化、耐故障飛行制御などの知能化は、旅客機の安全性の飛躍的向上にも貢献できる。

(2) 基礎研究のみならず、実用化における法規面・社会受容などの諸課題への取り組みも工学の重要な責任である。東日本大震災においてロボット技術がその期待に十分に答えられなかったことを教訓に、実用化における純粋な学術以外への課題も合わせて取り組むことが重要である。無人航空機は今後様々な利用分野で普及することが予想され、有人航空機と同じ空域を安全に航行させるための運航技術の確立が求められている。本計画では、これら課題にも取り組む。

(3) 現在存在しない、高高度を長期にわたって連続的に観測する手段を提供することで、科学利用分野（気象、地球、海洋科学等）への学術的な貢献が期待される。また、従来の人工衛星や有人航空機、地上設置のセンサなどの多種多様な情報と融合してより確実なデータを抽出できる技術の開発も求められ、そうした研究を推進させることができる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国においては軍用の高高度滞空型無人航空機システム（グローバルホーク）が開発され、軍事ミッションやNASAの科学観測ミッションに用いられているが、飛行時間が30時間程度であり不断の連続ミッションには不十分であるうえ、民間空域において有人航空機と混在して運航する能力を有していない。



また、米国ではグローバルホークの後継システムを目指した1週間程度の飛行時間を目標とする研究開発計画（グローバルオブザーバー、ファイントムアイ）が進められているが、未だ目標にあるような長時間の飛行は実現されていない。

本計画では、安全性・信頼性の面で非軍事ミッションに利用可能なレベルのシステム技術の構築を目指している。また、グローバルホーク等の軍事用途のシステムのような全地球的な進出を想定した特殊なシステムとは異なる、ユーザーがより利用しやすいシステムを実現するための技術に焦点を絞る。

④ 所要経費

総予算165億円

- ・基盤技術研究開発：35億円

(内訳)

高高度滞空技術開発（機体技術、エンジン技術）：20億円

安全運航技術開発（アビオニクス信頼性向上、民間空域運航技術）：10億円

利用技術研究開発（合成開口レーダー、光学観測装置等、搭載品開発）：5億円

- ・利用実証システム開発：130億円

(内訳)

詳細設計費：25億円

エンジン開発試験費：25億円

機体製造：45億円

運航システム開発：30億円

飛行試験：5億円

⑤ 年次計画

全体計画：平成26～32年度（7年間）

平成26～28年度（3年間）：基盤技術研究開発フェーズ

平成29～32年度（4年間）：利用実証システム開発フェーズ

以降：利用実証フェーズ

本提案の計画範囲は平成26年～32年の7年計画とする。

前半3年間は基盤技術研究開発フェーズとし、システム研究の他、要素基盤技術（軽量構造設計、高効率推進、安全運航技術、利用技術（観測センサ、データ伝送技術等）等）の広範な研究開発を行う。

後半4年間は前半で得られた成果を元に、利用実証システムの開発（システム詳細設計、製造、飛行実証、利用技術）を行う。また、将来への能力向上のための基盤技術の研究開発を並行して進める。

その後は利用実証フェーズとして、利用分野コミュニティと共同でコンソーシアム（仮）を構築し、本計画で開発された利用実証システムを用いて、利用分野の実証（防災・減災ミッション利用、通信中継等、科学ミッションへの利用）を進め、早期の実利用開始を目指す。また、無人航空機技術分野の研究開発の飛行実証用プラットフォーム（基盤設備）として利用する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

無人航空機の基盤技術研究開発、システム研究、技術実証には宇宙航空研究開発機構（JAXA）航空本部と、東京大学航空宇宙工学専攻が中心に当たる予定であり、安全運航技術研究とその実証には電子航法研究所（ENRI）とJAXAが中心に当たる。また、運航、利用技術に必要な地上・機体間通信、機体間通信に関する研究開発は情報通信研究機構（NICT）に協力を求める。

特に利用実証システム開発フェーズにおいては、ユーザ・コミュニティを含む産・学・官連携（オールジャパン）による開発・運用体制を構築して取り組んでいく。

利用技術の研究開発に関しては、大学、研究機関、メーカーからなるグローバル・オブザベーション・システム研究会を東京大学工学部が管理する一般財団法人総合研究奨励会に組織しており、他分野の観測手段（衛星、有人航空機、地上センサ、海洋センサ）等によって得られるデータから信頼度を向上させるデータフュージョン技術等に取り組む。

⑦ 社会的価値

本計画で研究開発する技術により、地震・火山・洪水など災害時の連続的かつ高精度な情報収集や、不審船監視、海洋監視、資源探査、気象・環境観測等、幅広いミッションが可能となり、社会の安心・安全、生活の質の向上等に大きく貢献する。

非軍事ミッションでの無人航空機システムの実利用は世界的に見てもまだ実現していない。日本が豊富な経験を持つ防災・減災分野で早期に実利用を開始し、産業を育成することにより、無人航空機システムの非軍事利用分野における世界最先端の技術と競争力を得ることが出来る。それにより、近い将来に市場が拡大すると考えられている産業利用（農業や漁業）や、無人貨物機システム等の市場において世界をリードすることが出来ると考えられる。

また、本計画で得られる航空機の高効率化技術は、次世代の超高効率旅客機開発に適用可能であり、無人機と有人機の混在する空域で航空交通管理を行う運航技術は次世代の航空交通システムの一部として組み込まれていくと考えられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

原田 賢哉（独立行政法人宇宙航空研究開発機構航空本部 航空技術実証研究開発室 ミッション企画グループ）
harada.kenya@jaxa.jp

海洋再生可能エネルギー開発のための総合研究試験施設

① 計画の概要

本提案は、海洋再生可能エネルギーの開発に関して、実用化実証フィールドにおける実証実験の前段階における、機器の開発、研究・教育、知見の蓄積を支援する総合的な研究開発体制の構築を目指すものである。この段階の支援を充実することにより、普及の加速と学術的な基盤の強化をねらうものである。

提案する内容は下記に示すように、企業等の開発を支援する機能、解析法の高度化など研究・教育の機能、知見の蓄積を通じて認証・規格・基準の整備・運用に関して既存の認証機関と連携しつつ支援する機能を包括する総合的な支援機能の実現である。本分野は、新たな形式や方式が次々と提案されている分野であり、提案する機能は、世界的にも強化が図られている段階で、ヨーロッパと異なり台風が襲来するわが国の国情に適した、信頼性の高いシステムを社会に提供するために必要な取り組みである。

1) 本部機能

本部機能として、下記の各試験施設を有機的に運用して開発を支援する機能、性能解析法の高度化など研究・教育の機能、さらに試験を通じて得られた安全性、機能性、耐久性に関する知見を蓄積し、認証・規格・基準の整備運用に関して既存の認証機関と連携しつつ支援する機能である。

2) 実海域再現施設

エネルギー利用のための機器を搭載する支持構造物および機器を搭載した実機の波、風、流れの中での性能を、大型模型を用いた実験により評価する施設である。

3) ドライブトレイン試験施設

風車の大型化は発電容量10MWが視野に入りつつあり、増速ギア、発電装置などからなる様々な形式のドライブトレインの性能、耐久性を試験する施設である。

4) 翼の構造試験施設

風車、海流・潮流発電装置は翼により流れのエネルギーを取り出すが、最重要機器である翼の強度的負担は大きく、強度性能を試験するための施設が必要である。

② 学術的な意義

海洋再生可能エネルギー開発については、「新たな海洋基本計画の全体像」に重点的に取り組むべき課題として挙げられている。普及推進については、実用化に向けた取り組みとして、開発された機器の性能を実際の海域で試験する実証フィールドを早期に整備することが挙げられ、内閣官房総合海洋政策本部が開設を決定して作業を開始している。

実証フィールドは、新規参入を容易とし競争的環境を確保するための取り組みとして非常に有効と考えられるが、先行する欧米をキャッチアップし、学術面および産業面で世界水準に引き上げるとともに、わが国が世界をリードする存在となるためには、この方面の産業基盤の弱い我が国においては、実証フィールドと連携して知見を蓄積しつつ開発を支援、加速する体制の構築が必要である。

本提案の研究試験施設は、このような取り組みの中核となるものであり、実証実験の前段階において産業界における機器の開発を支援するとともに、開発の基礎となる学術的研究および教育の機能を有するとともに、実証フィールドと連携して安全性、機能性、耐久性に関する知見を蓄積し、わが国の国情に適した開発をリードし認証などの取り組みを支援するものである。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

海洋再生可能エネルギーの開発は、第一次石油ショック以降、1970年代後半から世界的に研究が行われたが、コスト等の問題から大規模な実用化には至らず、研究開発も停滞した。一方、2000年に入ってから顕著になった石油価格の高騰によって、海洋再生可能エネルギーが経済的に成立する環境となり、ヨーロッパを中心に研究開発が進み、洋上風力、波力、潮流力の開発において世界をリードする形となった。わが国の取り組みは後れを取っている。

ヨーロッパにおいてはEuropean Marine Energy Centerを始めとして、実証フィールドに機器開発の支援、認証支援を行う組織を複数設置して、総合的な支援体制を構築している。我が国においては、経産省、環境省による浮体式風力発電の実証実験がスタートして、世界の注目を集めているが、産業化および今後の展開を支援する体制の整備は緒に就いたばかりである。本提案は実証フィールドの整備に加えて、開発、学術、教育面での支援体制をさらに強化し、海洋再生可能エネルギーの開発において、早い時期に世界をリードできる存在となることを目指すものである。

④ 所要経費

所要経費については、施設の内容の詳細な検討が必要であるが、概算として次のようになる。

1) 本部機能

施設規模 5 億円。

2) 実海域再現施設

設備規模 50 億円。

試験精度を確保する観点から 1/3 スケールの大型模型を想定した実験ができるように、幅 40m×奥行 40m×深さ 5m の水槽に造波装置、送風装置、海流・潮流発生装置、高精度の計測装置を備えた施設である。

3) ドライブトレイン試験施設

設備規模 15 億円。

提案する試験施設は、風車に関しては 20MW、海流・潮流発電については 10MW のドライブトレインを試験できる施設である。

4) 翼の構造試験施設

施設規模 10 億円。

現在の最大クラスの風車翼は長さ 80m を超えており、150m 超の翼の試験施設である。

⑤ 年次計画

初年度 本部機能の立ち上げと全体プランの確定

2年度 本部施設、実海域再現施設、ドライブトレイン試験施設、
翼の構造試験施設の建設開始。
コンサルティング、研究・教育、認証支援活動の開始。

3年度 施設の建設継続

4年度 施設の完成および装置類の機能確認

5年度以降 企業における機器開発の支援、認証支援活動の本格化

⑥ 主な実施機関と実行組織

本部内に企画立案、運営に係わる組織を作って各施設の統合的運用を図る。主な担当範囲は、研究・教育機能に関しては大学および国研、知見の蓄積と認証への反映については日本海事協会、機器開発と試験に関しては海洋エネルギー資源利用推進機構ビジネス協議会とする。

本施設の運営に参加する組織として、次の機関を想定する。

- ・実証フィールド運営機関
- ・東京大学、九州大学、京都大学、佐賀大学他の関連大学
- ・海上技術安全研究所、港湾空港技術研究所、産業技術総合研究所
- ・日本海事協会
- ・海洋エネルギー資源利用推進機構ビジネス協議会

⑦ 社会的価値

再生可能エネルギー開発については、現在のわが国エネルギー事情から国民の期待は大きい。本施設が対象とする、洋上風力、海流・潮流、波力については、現在の石油・天然ガスのマーケットに匹敵するマーケットが近未来に出現すると見られており、世界的な開発競争が展開されている。本施設が支援する技術開発や研究はわが国の知的財産の蓄積や、産業競争力の向上に大きく寄与すると考えられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

小林顕太郎（公益社団法人日本船舶海洋工学会） office@jasnae.or.jp

波、風、流れ共存場の再現水槽



メガワットクラス発電装置ドライブトレイン試験装置



フルデプス有人潜水調査船開発と超深海海溝生命圏探索計画

① 計画の概要

超深海海溝域は最高難度の探査が必要な極限環境であり、「地球最後のフロンティア」である。長らく「地球ダイナミズムの影響が少ない超深海海溝域には僅かな生命活動が存在するのみ」と考えられてきた。しかしごく近年、そこは想像を超える豊かな生命圏が広がり、その生態系や構成種、生体機能が学術上極めて重要である事が判ってきた。

プレート沈み込み最前線の海溝域プレート境界域は、ダイナミックな地質イベント、流体移動が観察される動的地質場であり、地球規模のエネルギー・物質循環に及ぼす影響は極めて大きい。地震メカニズム以外の観点から体系的研究が行われた例はない。

超深海にひろがる海溝域生態系の存在は、このプレート沈み込みという動的地質作用に支えられており、超深海海溝域の海底から地殻内を巡る物質循環や生命圏の関わりこそ、地球の最下部に位置する極限環境生命圏を解明する鍵である。

極限環境生命圏研究の推進には、超深海海溝域への有人・無人、短期・長期、鉛直・水平に亘るマルチプルなシステムによる総合的な探査が必要不可欠となる。とりわけ想像力と創造力により探査データを有機的に結びつけ、得られる成果から圧倒的な事実を構築し、理解共有を飛躍的に増幅させる「科学者による直接観察」を可能とする有人探査が中核で、海洋最深部への到達能力を持つ有人潜水調査船（フルデプス有人潜水調査船）開発が必須となる。この開発は学術的発展の切り札となるだけでなく、現存する深海探査技術の限界を押し広げる技術開発自体の持つ工学的価値や、その運用・保守を含めた技術・人材育成の観点からも超一級の国家的科学技術計画となりうる。

本計画は、正に未知領域・生命圏への学術的挑戦、未踏領域技術への工学的挑戦、そして切り開かれた新世界から人類共通の財産を探り当てる社会的挑戦を包有した「地球最後のフロンティア」探査を目指すものである。

② 学術的な意義

1960年のドン・ウォルシュとジャック・ピカルによる探検以前、超深海海溝域は暗黒の無生物の世界であると考えられてきた。「トリエステ号」の調査は、世界最深部のマリアナ海溝に動物や微生物が生息していることを発見し、超深海海溝域が生命存在可能環境であることを示した。その歴史的な探検以降、1995年のJAMSTECの無人探査機（ROV）「かいこう」による世界最深部への歴史的到達に代表されるような学術的な海洋調査や海底探査が進むにつれ、超深海海溝は生命存在可能環境ではあるものの、「地球ダイナミズムの影響が少なく、僅かな生命活動のみが存在するにすぎない」という理解が共有されるようになった。しかし最近、より機能的な探査機、高精度な調査機器や超高感度の分析手法を駆使した学際的総合探査が行われることによって、マリアナ海溝を代表とする超深海海溝域には想像を超える広大かつ動的で豊かな生命圏が広がり、その生態系や構成種、生体機能が、地球と生命の共進化を理解する上で極めて重要な機能や生態を有していること、地球規模での炭素・窒素循環に大きな影響を与える可能性があること、あるいは持続的環境共生型社会を築く革新技術のシーズとなりうる事が明らかになってきた。

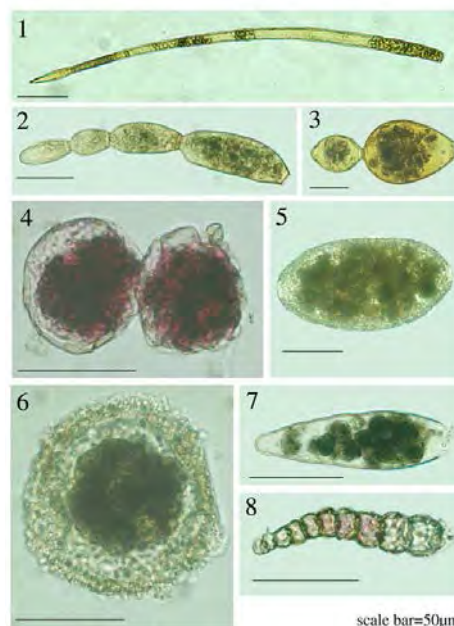
こういった人類最後のフロンティアとも言える超深海海溝域へ到達し、プレート沈み込み現場に広がるダイナミックな生命現象を直感的に地球-生命システムとして理解するためには、人間のあらゆる感覚を通じて得られる空間軸・時間軸を持った「その場情報」を網羅的に得ることができる有人探査が必要である。「フルデプス有人潜水調査船」は、そのような科学の限界への挑戦であるだけでなく、極限環境において安全かつ機能的に運航可能な先端船舶海洋技術の未知への挑戦でもある。

先端科学は先端技術とのシナジー（協調効果）によってブレークスルーを生むことができる。その観点からも、先端技術を飛躍的に進化させ、それによって先端科学を飛躍的に進化させようとする本計画の学術的意義は極めて高い。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本の有人潜水調査船は、80年前から現稼働中の「しんかい6500」に至るまで、世界をリードする技術を保持してきた。特に、「しんかい6500」は20年間以上世界で最も深く潜航可能で、「科学者による直接観察」を武器に海洋科学、地球科学、生物学の発展に大きく寄与してきた。一方、日本海溝は8kmを、マリアナ海溝は1万mを超える深度であり、現有技術の限界を超える。これらの海洋環境を探査できる新しい有人潜水調査船の開発が待望されている。

中国で水深7kmまで潜航可能な有人潜水調査船が2012年に完成したが、科学調査に用いる運航体制にない。また、米国で、1人乗り有人潜水機がマリアナ海溝に潜航したが、科学研究目的ではなく海底上での観測手段は持たなかった。米国で1万1km級有人観測船の構想もあるが、構想段階でしかない。



超深海海溝生命圏の深海生物

本計画は、「しんかい6500」等の開発・運用で培った日本の技術を継承し、飛躍的に進化させるという挑戦である。あわせて、「地球最後のフロンティア」である超深海海溝域という未知のニッチへの学術的挑戦であり、超深海海溝生命圏探査を始めとする新しい科学分野の発展に大きく貢献するものである。

④ 所要経費

<10年間総額>

フルデプス有人潜水調査船建造費	：	300億円
有人潜水調査船母船	：	200億円
超深海トータルオペレーター開発	：	50億円
研究費	：	100億円（10億円／年）

⑤ 年次計画

H25年度：基本要件検討

H26年度：要素技術開発／実証試験課題の抽出

H27～H30年度：要素技術開発／実証試験、有人潜水船支援母船建造

H30年度：有人潜水調査船開発技術総合確認

H31～H33年度：有人潜水調査船建造

H34年度：実海域試験

⑥ 主な実施機関と実行組織

「フルデプス有人潜水調査船」建造とその運用、および超深海海溝生命圏探査研究は、独立行政法人海洋研究開発機構を主体として実施する。

しかし、本潜水調査船の開発・建造に当たっては、日本で潜水船を始めとする深海探査システムに関連する様々な要素技術を開発してきたメーカー・技術陣の全面的な参画とそれらを総合的に組み上げひとつの有機的なシステムとして完成させる造船メーカーの参画が必要である。

一方、海溝生命圏探査研究を展開する為には、海洋研究開発機構、海洋・極限環境生物圏領域を中核機関として、国内外の地球惑星科学、地球生命科学、海洋生物学、自然史研究、海洋バイオフィロンティア研究に関わる研究者たちがネットワークを構築することが必要となる

⑦ 社会的価値

フルデプス潜水船の建造と運用は、人類の叡智を刺激するだけでなく、実際の利益をもたらす。

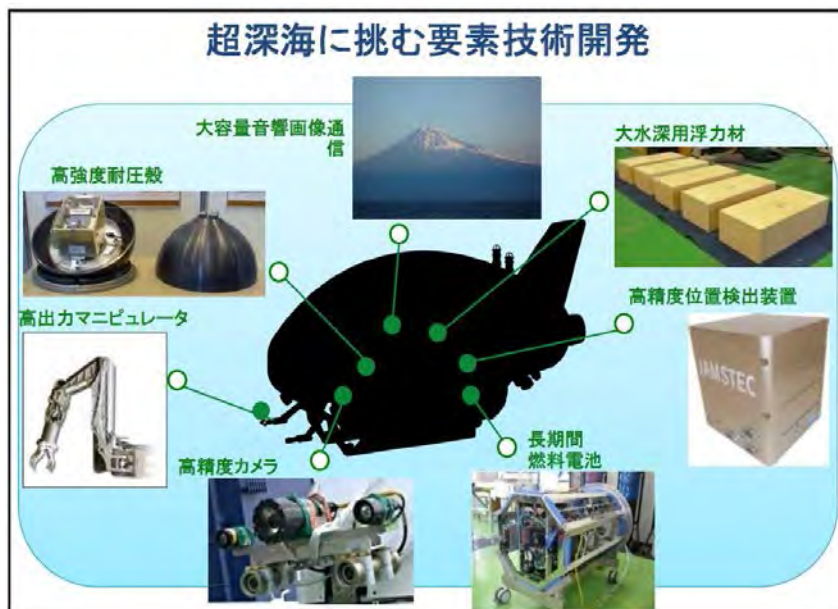
世界最先端技術レベルのフルデプス潜水船は、多くの要素技術の集合体であり、各々が世界の最先端レベルに達する開発が必要である。様々な分野の技術者が叡智を結集し開発する技術は、他の製品にも応用され広く日本産業の発展にも貢献する。

また、「しんかい6500」は、平成23年の東北地方太平洋沖地震震源域で地震発生約半年後に潜航調査を行い、海底地殻変動と生態系擾乱に関する多くの新知見をもたらした。これは深海の海底現場で観測調査する有人潜水船の有効性を知らしめると共に、一方で海溝最深部に到達可能なフルデプス潜水船の開発が期待されることとなった。日本海溝最深部の潜航調査を可能とし、地震発生メカニズム研究に資することは、防災減災という観点から社会の要請に応えるものである。

日本は古来、「海洋国家」と言われてきたが、あまりにも当り前すぎて、海洋に対する社会的関心の高まる時期は決して多くはなかった。今、多くの国民の関心が海に向いている。このような社会ニーズに的確に応えることにも本計画の社会的価値がある。

⑧ 本計画に関する連絡先

磯崎 芳男（独立行政法人海洋研究開発機構） isozaki@jamstec.go.jp



実証型モビリティ総合工学研究拠点

① 計画の概要

次世代モビリティを指向した、異分野連携に基づく総合的な実証型共同利用・共同研究拠点を形成し、人材・施設・設備等の研究資源を社会に提供することで、全国の研究者を支援し、異分野にまたがる実証型の学々・産学共同研究および国際共同研究の企画・推進を行う。

本申請で予定する設備は、図1に示す低速での風洞実験と、気温、日射、雨、雪、濃霧等の環境条件を再現可能な「天候シミュレーター付大型風洞実験設備」に特化し、実環境でのモビリティ動的性能の把握に用いる。テスト時の気温はマイナス40℃からプラス60℃まで設定可能とし、最大風速は250km/hとする。

現在、大学研究の場合では、モビリティの動的性能評価について、シミュレーションに多くの知見を頼っている。一方で、シミュレーションにて、複合的な要因をすべて取り込むことは合理的ではない。シミュレーションの進化とともに、そのデータを意味あるものにするには、実環境下での風洞実験設備が相補的に不可欠となる。本設備を導入することで、学際的な視点からの実環境下での風洞実験が可能になり、大規模なデータ収集によるデータベースの構築と、それらの効率的利用の推進が期待される。

本設備の運営にあたり、専門の技術スタッフを配置し、設備の保守にあたる。また、全国共同利用施設として、全国の研究者への使用の促進と、産学連携研究の枠組みで民間企業からの使用を進め、適切な使用料金等の徴収により、設備の継続的な運用を行う。また、本設備を使用する企業には、産学協同講座・部門の設置を促し、その利便性を確保する。

世界で唯一の、学際的な研究に使用できる「天候シミュレーター付大型風洞実験設備」を整備することで、我が国での当該分野におけるプレゼンスの向上と研究の質向上への貢献を目標とする。

② 学術的な意義

未来のモビリティ社会の実現に向けて、細分化された学問領域を統合し、総合的な視点からモビリティの新たな価値の創出が求められる。モビリティを対象とした実証型の共同利用・共同研究拠点を構築し、異分野の学々・産学共同研究や海外共同研究を企画・推進する。これにより異分野間の相互理解が深まり、新たなコミュニティと新概念創出の場となる。得られたコミュニティは、個別分野にも影響を及ぼし合い、日本の学術全般に対して好循環を生み出すことが期待される。

新設予定の大型風洞実験設備は、人工的に発生させた空気の流れの中に、モビリティを固定し、実際の走行時に近い状況をシミュレートし、力学的な影響を測定するものである。自動車等のモビリティ群は、静止した空気中を移動し抵抗を受けるため、ガソリンや電池等の動力源に依存せず、走行時のエネルギー変換効率や走行安全性が天候によって変動する。そのため、実環境下でのモビリティの動的性能の計測に必要な不可欠な設備である。本設備により、以下の研究成果が期待できる。

- ・モビリティのエネルギー変換効率の向上：(1) 空気力学特性の評価(2) シャーシの効率的デザイン(3) エネルギー変換効率を最大にするためのデザイン(4) 実際の振動等を考慮した中での、極低温下、超高温下での燃料電池等の評価(5) 太陽光暴露シミュレーションによる太陽電池評価。
- ・モビリティの安全性能の向上：(1) 走行安定性の評価(2) 二次電池の極低温下、超高温下における振動等を含む実環境における安全性評価(3) 自律的安定性を向上させるためのセンサー等の評価(4) 視野確保のためのセフティテクノロジーの評価。
- ・モビリティ以外での成果：(1) 台風等自然災害時の都市安全性に関わる試験(2) 風車等の安定性と試験(3) 都市モデルを使用した大気汚染物質拡散実験。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

モビリティの動的性能評価は計算機シミュレーションに加え、実環境下での風洞実験設備が相補的に必要となる。オランダにはヨーロッパ最大級の天候シミュレーター付風洞設備がある。また、アジア地域では、上海にGMと上海汽車が開設したPATACに天候シミュレーター付風洞設備が設置されている。しかし、これらは学際的な研究に使用できる体制ではない。国内では、JAXA等で航空機向けの風洞実験施設等の供用を進めているが、自動車等を使用する環境下とは異なり、モビリティの動的性能を評価・設計するための使用可能な天候シミュレーター付風洞実験施設はない。

本申請では、低炭素社会の実現に不可欠な次世代モビリティにおける課題の効果的解決を目指す、実証型モビリティ総合工学研究拠点を提案する。世界で唯一の天候シミュレーター付大型風洞実験施設を整備することで、実証研究を推進するための場を広範に提供し、従来にない規模での大型共同研究を推進する。

天候シミュレーター付大型風洞実験設備

モビリティの空力・安全性能等・温度、雨、雪、風、振動・・・



図1 天候シミュレーター付大型低速風洞実験設備

④ 所要経費

60 億円（初期投資：36 億円【1, 2 年目】、運営費等：24 億円【3-10 年目】）

【平成 25-26 年度】

- ・天候シミュレーター付大型風洞実験設備：25 億円
- ・データベース整備：2 億円
- ・協同研究ネットワーク設備：1 億円
- ・人件費：1 億円/年
- ・運営費備品・消耗品費：3 億円/年

【平成 27-34 年度】

- ・運営費備品・消耗品費（共同利用研究費、ネットワーク運用経費含む）：2 億円/年
- ・人件費：1 億円/年

⑤ 年次計画

【平成 25-26 年度】

・天候シミュレーター付大型風洞実験設備の導入・立ち上げ、データベースの整備、共同研究ネットワーク設備の構築を行う。
また、本設備の運営にあたり、専門の技術スタッフを配置し、設備の保守体制を整える。

【平成 27-29 年度】

・連携中核拠点における研究、多様な実証実験、研究サポート体制のための整備を強化する。また、新素材・軽量化、電池・デバイス、エネルギー・環境、メカトロ・人間特性、情報・通信、ITS・社会システム等の各領域の国内・外学研究者コミュニティとの連携確立を強力に推進し、プロジェクトで得られた成果を論文や特許として積極的に発信する。

【平成 30-34 年度】

プロジェクトで得られた成果を論文や特許として継続的に発信する。また、全国共同利用施設として、全国の研究者への使用の促進を図り、広範な領域での実証実験の実施とデータの蓄積を強力に推進する。産学連携研究の枠組みで民間企業の使用を進め、適切な使用料金等の徴収により、設備の継続的な運用を行う。最終的には、広範な実証実験で蓄積された大規模なデータをデータベース化し、一般公開する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

自動車に代表されるものづくりの中核地である中部地区の学術を牽引する拠点として、名古屋大学グリーンモビリティ連携研究センター（以下、「GREMO」という）を中核として、モビリティを指向した異分野連携に基づく総合的な実証型共同利用・共同研究の企画・推進を行う。また、連携機関として、東京農工大学、神奈川工科大学、日本大学、名古屋工業大学、豊田工業大学、豊橋技術科学大学、産業技術総合研究所、トヨタ自動車株式会社、ウォリック大学、ベルフオール・モンペリヤール工科大学、シャルマース大学等の参加を得て、それぞれが特徴的内容を分担するとともに、各拠点間の有機的なネットワークを構築する。

本申請拠点は、全国の大学および全研究機関、医療機関、民間企業が利用できる共同利用施設としての位置付けを有する。本拠点が保有する人材・施設・設備等の研究資源を社会に提供することで、全国の研究者を支援し、モビリティ総合工学の構築が実現できるコミュニティを構築する。そこで、共同利用・共同研究の運営および申請に関して審議するために、GREMO センター長の諮問機関として、共同利用・共同研究拠点運営専門委員会を設置する。また、共同利用・共同研究拠点の全国共同利用の活動は GREMO の主たる活動の一つであるため、GREMO の運営にも反映できるようなコミュニティに開かれ体制を構築する。同専門委員会は、構成員の半数以上が学外の委員となるように構成する。さらに、全国共同利用の公募・審査・採択等の共同利用の実施に関する事項について審議するために、共同利用・共同研究拠点運営専門委員会専門部会を設置し、専門的な見地から課題等の審議等を行う。同専門部会についても構成員の半数以上が学外の委員となるように構成する。共同利用（施設、設備、データベース等）および共同研究は随時募集し、課題の内容は専門部会で審議し、専門委員会において採択・承認する。

⑦ 社会的価値

自動車、鉄道、航空機、ロケット等輸送重工業分野は、わが国のものづくり分野において、世界を牽引する領域として確固たる地位を築いてきた。また、当該分野におけるアジア地域の重要性は、世界の工場といわれるように、年々増大している。この観点からも、我が国が、本地域においてリーダーシップを発揮する必要がある。世界で唯一のアカデミックユース可能な「天候シミュレーター付大型風洞実験設備」を整備することで、我が国での当該分野におけるプレゼンスの向上と研究の質向上に貢献する。

グリーンモビリティ社会の実現にあたっては、既存の専門領域にとらわれない領域の連携と、産学官および地域、国を超えた機関の連携による、研究ネットワークの構築が必要となる。本申請拠点では、「学」の強みを活かし、産業界では推進し難い教育を実践することにより、革新的グリーンイノベーションを創出するとともに、当該領域における研究者、技術者を育成することで技術立国日本の再建を強力に進める。これらの活動を通して、人と地球にやさしい科学技術を構築し、社会に貢献する。

⑧ 本計画に関する連絡先

小野木 克明（名古屋大学・グリーンモビリティ連携研究センター） onogi@nuce.nagoya-u.ac.jp

理論応用力学研究拠点の形成

① 計画の概要

国内に理論応用力学の研究基盤となる組織を形成する。その中核として日本を代表する最先端の理論応用力学に関する研究・教育の拠点的研究基盤研究所を設置し、これらの中核拠点に全国的・学際的な研究体制と当該分野研究者の共同研究と人材育成の場を構築することにより、理論応用力学分野において世界をリードする研究教育活動を展開する。具体的計画として、以下の5点を挙げる。

1. 京都大学、東京工業大学といった当該分野をリードする研究者を多数有する大学を東西の拠点として、ネットワーク型の理論応用力学基盤研究所を設立し、以下の要領で運営する。
2. 各基盤研究所は、常勤研究員10名程度と客員研究員30名程度による常設研究所とする。
3. 各基盤研究所は、国内外の関連機関と連携し、理論応用力学研究を推進するとともに、年間を通して集中講座を主催・運営し、産官学からの講座参加者に対して高度な理論応用力学教育を行う。
4. 客員研究員は、理論応用力学研究者コミュニティを代表する国内外の高度な研究者が併任業務として研究・教育さらには諸研究集会の開催に当たる。
5. 当該研究所に所属する研究員及び全国の理論応用力学研究者コミュニティから共同研究課題の募集を行い、選定された課題の実行に予算、施設等の面から研究支援を行う。

② 学術的な意義

力学は、材料力学、流体力学、熱力学、振動・制御学など広範な学術分野の基盤である。結果として、エネルギー機械、輸送機械、製造・加工機械、建設機械、情報機器、計測機器といった社会生活に不可欠な多くの人工物や製品・機器の開発において、現象理解の基礎として、またシミュレーション等のよりどころである物理・数学モデルの基盤として利用されている。しかしながら、我国においては、力学の利用面が強調されて創造的研究が停滞し、また、先端の力学に関する教育の重要性に対する認識の不十分さにより、今後の力学の発展、ひいては工業の発展の基盤が喪失しつつあると危惧される状況にある。

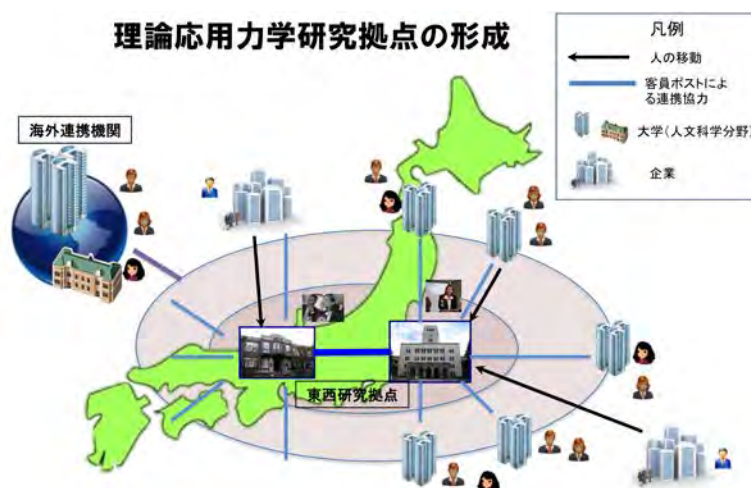
このような実情を打開し、力学に関わる諸分野の発展を目指すには、各力学関連専門学術分野の深化に加えて、異分野間の協働が求められるとともに化学、生物学、医学などとの融合学術分野の開拓も必要である。このような学際・横断型的手法と知識の創出を可能とし、未来社会の発展に貢献するためには、力学を基盤とする各分野間の継続的な学術交流と将来を担う人材育成が求められる。常設研究所を設立することにより、研究者コミュニティの交流の場、ならびに、高度な研究者の育成の場を提供する。

広範な工学の基盤となる「力学」と日本の工業製造業を支える技術をつなぐ「理論応用力学」は、今日の科学技術立国としての日本の科学・技術を支える重要な柱であるのみならず、21世紀における新たなブレイクスルー技術を生み出す要でもある。当該研究拠点の形成によってこれを補強・発展させることが不可欠である。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内においては、毎年開催の「理論応用力学講演会」に関連研究者が集うのみであり、全体を網羅した基盤研究所は存在しない。同講演会の創設は1952年で、平成25年3月開催で62回を迎え、62年にわたり理論応用力学に関するコミュニティ形成に貢献してきた。約500名にのぼる多分野からの参加者とその長年月にわたる講演会活動からも根強い学術形成意欲が伺い知れる。本研究計画は、今日まで同講演会等においてバーチャルに形成されてきたコミュニティに常設の研究所を創設することにより、力学の磐石な発展を促すものである。

国外においては、著名な応用力学者が講義を行い、産官学及び若手の教育に尽力しているイタリアのCISMや、ポーランドのIPPT PANが挙



げられる。後者は著名な研究者が多数在職し、多くの研究者が訪れる世界で最も充実した応用力学研究教育機関と考えられる。これら以外に、より数学色が強いニューヨーク大学クーラント研究所の数理論部門などにも同様の活動が見られる。また、分野は幾分異なるが、所属研究者と訪問研究者による人材育成の場を提要している研究組織の例としてベルギーのフォンカルマン研究所も参考に挙げられる。

④ 所要経費

1. 研究拠点形成費 20億円

東西の両研究拠点において、プロジェクトの計画、実施等を機動的に行うために既存施設を改修し、セミナールーム、研究員室を新たに設置する（8億円）とともに、国内外の研究者が滞在するための施設を設置する（12億円）ための費用として計上した。

2. 研究員雇用費 20億円（10年分）

オープンな環境で最先端の理論応用研究に専念させる研究人材を国際的に公募し、10年間分の雇用件費として、常勤研究員10名分の10億円と客員研究員30名分の10億円を計上した。

3. プロジェクト研究経費 30億円（10年分）

両研究拠点では、固体力学分野、流体力学分野、複合領域分野について、国際的に著名な理論応用研究者との連携を図りつつプロジェクトを実施するが、分野毎に年間1億円、10年分で30億円を計上した。

4. 集中講座ならびに国際シンポジウム開催経費 5億円（10年分）

国際的に著名な理論応用力学者を招聘して連続講義を開催することにより産官学及び若手の育成を組織的、継続的に実施するための費用と国際シンポジウム開催費用として5億円を計上した。

合計 75億円

⑤ 年次計画

(1) 第1年度 東西の2拠点について研究拠点を形成する。

本2拠点を中核として国内外の研究者ネットワーク体制を構築する。

(2) 第2～4年度

固体力学分野、流体力学分野、複合領域分野の3分野について国際公募等により国内外からの研究者を招聘し、プロジェクトを実施する。また、海外から著名な研究者を招聘し、プロジェクト推進の助言・指導を求めるとともに集中講座を開講する。

(3) 第5年度 国際シンポジウムの開催

(4) 第6年度以降

国際評価委員会による中間評価を実施する。評価結果を踏まえて実施体制の見直しを行い、事業を継続する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

理論応用力学は広範囲の研究領域を横断する学術分野であるため、その中核拠点を担う大学や研究機関には理工学分野を幅広くカバーする大学で、かつ高い研究能力を有する研究者を擁していることが必要である。また、それらに設置される拠点を孤立させることなく、学協会の連携によってコミュニティ全体のサポートを得た上で、大学等の研究機関が共同して運営に協力することが不可欠である。具体的には、理論応用力学研究者を数多く輩出してきている京都大学や東京工業大学といった大学を東西の中核拠点として、さらに「理論応用力学講演会」の実施組織である24学協会の連携の基に、研究者ネットワークを構築して実施する。大学共同利用的な色彩を有する組織とし、国際的に当分野をリードする関連研究者からなる拠点運営委員会を設置し、中核拠点となる大学の協力のもとで人事や事業内容を決定し運営される。

⑦ 社会的価値

目に見えない学術基盤である「力学」を実社会での利用に結びつける理論応用力学は、学術研究レベルの向上だけでなく、実社会での製品開発に大きな影響を与えるものであり、その社会的な価値は多大である。机上の活動が多い「理論応用力学」の意義と価値への国民の理解を得るのは容易ではないが、IUTAM組織等で培った人的ネットワークを活かして、優れた研究者を世界的視野から招聘し、企業の力学設計を指導・支援することなどにより、効果的なアウトリーチを行うことで理解を高めた。また、人材育成の面から直接的に産業界や大学、研究機関の活動レベルを向上させることが期待される。特に、高度な研究者の育成は当事業の中で重要な位置をしめており、学術面に止どまらず産業界における今後のブレイクスルーを担うものとなる。

⑧ 本計画に関する連絡先

藤井 孝藏（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所） fujii@flab.isas.jaxa.jp

スーパーメカノシステム創造開発のためのオープン・イノベーション・フィールドの構築

① 計画の概要

我が国は今、今後40年に亘ると予想される福島第一原子力発電所の廃炉作業を必要とし、また世界的にも突出した超高齢社会を急激に迎えるようとしている等、多くの難題を抱えている。これらの難題解決のための機械システムとしては、例えば原発事故対応ロボットや、福祉医療ロボットがあるが、これらの開発には、多岐に亘る高度な専門分野の技術と知識を有機的にかつ創造的に結合して問題を総合的かつ俯瞰的にとらえて具体的な課題を明らかにし、これを解決して最適なシステムを創出する必要がある。そのためには、ものづくりに関する学術・技術を深化・革新させるとともに、これを駆使する優秀な人材・企業を育成しなければならない。本提案では、多岐に亘る専門分野の技術と知識の創造的結合によって開発し得る機械システムを「スーパーメカノシステム」と呼び、異文化・異分野・異業種協働によってその創造的開発を實踐して社会で真に必要なとされる機械システムを実現し、そしてその過程で得られた結果をもとに学術の深化と新学術分野の創出を行うとともに、優秀なものづくり人材・企業を育成する場としてのオープン・イノベーション・フィールド(図1)を実現する「スーパーメカノシステム創造開発センター(以降SMSセンターと呼ぶ)」を構築する。

SMSセンターは、専属コーディネータ教員を中心とし、ものづくりの中核的地位を占める機械工学分野の教員と他系の教員との協働で運営される。そして、関連企業群、国内外の大学・研究所群などとの綿密な連携によってコンソーシアムを構成し、産学連携により機械システムの創造開発を進める「研究開発セクター」と、その開発活動に学内の学生のみならず国内外の他大学の学生や社会人をも参画させ協働させて教育を行う「教育セクター」によりセンターを構成する。これらの活動は、東工大でこれまで構築してきたものづくり関連の教育研究支援組織群が統合的に支援する(図2)。

オープン・イノベーション・フィールド(O.I.F.)

独創的なアイデアで諸般の社会問題を解決する産官学・理工文のものづくりの場

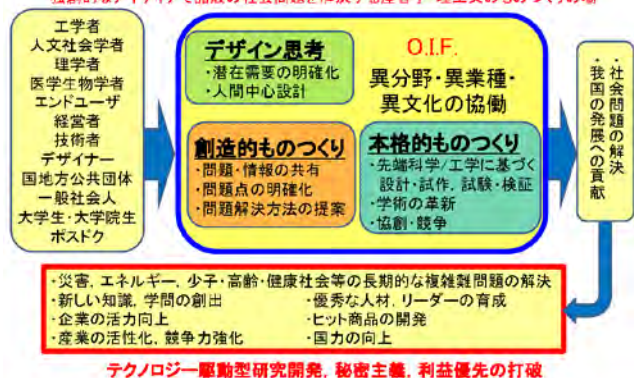


図1

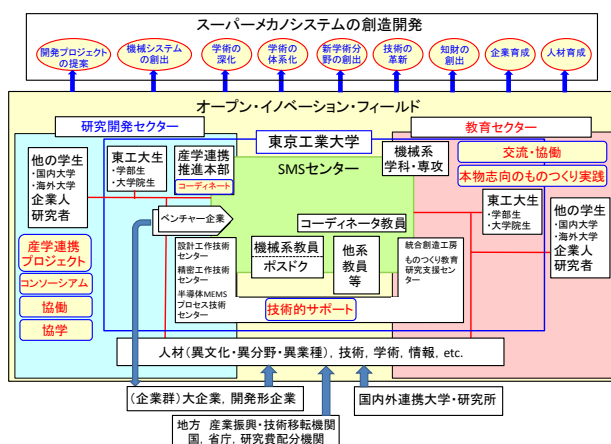


図2

② 学術的な意義

機械工学は、機械力学、材料力学、熱力学、流体力学の4力学を中心としたアナリシスの学術コアとそれらを横断的に連結する設計・生産工学等のシンセシスの学術コア、さらにこれらの上に应用技術が重層された構造を成している。機械工学における多くの科学研究は、各学術コアにおける深化を目指してアナリシスの学術コアを目指しており、極めて先鋭的である。これに対して、本提案では、対象を従来の機械工学の枠に限定せず機械システムの創造開発に必要な全学術分野に広げ、それらを横断的に連結するというシンセシスの分野の新しい学術コアとなり得るものづくり学理の革新を目指しており、同時に、その学理の追究の過程で各学術コア自体の深化にも資して行くことも目指している。さらに、従来型のものづくりが、具体的な仕様を満たす「もの」の設計と製造に関する技術であったとすれば、ここで目指すのは、社会にとってまた人間にとって真に必要な「もの」は何かという、ものの根源的な存在価値までも追究しながら、それを具体的な「もの」として実現して社会に供給するという本質的な文理融合型の次世代のものづくり学理の創出である。このようなアプローチは、これまで日本国内のみならず世界的にも稀有であり、そしてこれからの新たなブレイクスルーを模索する日本の産業界にとって必要不可欠な学理を提供するものであり、これが実現されれば機械工学分野のみならず工学全般の学術の発展と産業界に大いに寄与すると期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

新しい機械、サービス、政策等を創造的に産み出す人材の育成を目的とした教育組織として、米国・Stanford大のd.schoolが有名であり、国内でもそれに触発され、東京大学のi.school、慶応大学のInnovative design center等が新しいタイプの教育を始めている。そして、これらはいずれも社会に有益なシステムの創造をターゲットとして、異分野学生の協働や産業界

との連携によって素晴らしい教育成果を挙げている。しかし、真に社会で必要とされる機械システムの実現までをターゲットとしていない。

これに対し本提案では、産学連携による研究開発とものづくり創造教育を一体化した統合組織（SMS センター）を大学内に構築し、その中に学内学生、国内外の他大学学生、企業人等を集めて、機動的にプロジェクトチームを編成し協働させて問題解決を図り、試作・実験、さらに知財関連の教育・実践を経て、現実的な製品の開発、学術の深化・革新および人材育成を同時に実現しようとするものである。このような産学連携開発と創造的ものづくり教育が有機的に連携したオープンな場は、世界的にもまだ確立されていない。

④ 所要経費

プロジェクトの計画、実施等をオープンな環境で機動的、機能的に行うために、研究室、教員室、実験室、先端設備を導入した試作および分析・計測のための設備を1箇所にとまとめた施設として、東工大内の既存建屋「知能化機械研究施設」を改修する（改修費用10億円）。また、機械システムの製作のために、3軸・5軸マシニングセンター、レーザー加工機、3次元座標測定機、ラピッドプロトタイプング装置等の最新加工・計測・分析設備を整備・拡充する（10億円）。そして、専属コーディネータ教員（3億円、内訳：年間2名×1,500万円×10年）、技術職員（3億円、内訳：年間3名×1,000万円×10年間）、事務職員（1億円、内訳：年間2名×500万円×10年間）の雇用経費、さらに連携先の国内外の大学・研究機関等との交流（学生交流、専門家の招聘、シンポジウム開催等）を行うための費用（旅費、シンポジウム開催費等：1億円、内訳：年間1,000万円×10年間）等が必要である。

⑤ 年次計画

初年度

- (1) 専属コーディネータ教員、技術職員、事務職員の募集・採用
- (2) 協力企業群、大学・研究所群等の募集とコンソーシアムの構成
- (3) 開発プロジェクトの募集・実施
- (4) 創造的ものづくり教育体制とカリキュラムの構築

2年度以降

- (1) 開発プロジェクトの提案・実施
- (2) 開発プロジェクトの募集・実施
- (3) 創造的ものづくり教育の実施
- (4) SMSセンター専用施設の設計（5年度までに施工）
- (5) 加工・計測・分析設備の導入（5年度までに整備）

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京工業大学の機械系教員組織（大学院理工学研究科 機械物理学専攻、機械制御システム専攻、機械宇宙システム専攻、大学院情報理工学研究科 情報環境学専攻、大学院総合理工学研究科 メカノマイクロ工学専攻、精密工学研究所）を中核として、材料系、電気情報系等の他系の教員も加え、さらに技術的サポートのための技術部の教育研究支援センター（設計工作技術センター、精密工作技術センター、半導体MEMSプロセス技術センター）と機械系・統合創造工房およびものづくり教育研究支援センター、企業・他大学・研究機関・官庁等との円滑な連携研究・教育実施のための東京工業大学・産学連携推進本部を加えてSMSセンターを構成する。このセンター内に、国内外の大企業・中小企業群、大田区や広域多摩地域の産業振興協会等、国・省庁の研究費配分機関、国内外の大学（米国・Stanford大、東京医科歯科大などを予定）・研究所（産業技術総合研究所などを予定）群からなるコンソーシアムを構成し、開発プロジェクトの提案・実施を行う。また、協働に基づく創造教育のために、米国・Stanford大、フィリピン・デラサル大学、東京大学、慶応大学等の国内外の大学と連携する。

⑦ 社会的価値

現在の日本では、大学では学術の追究がなされ、企業では利益を生み出す製品の生産が追求されている。そして大学が企業に人材を供給することはあっても、これまでこれらの活動が効果的に協働することは少なかった。本提案におけるSMSセンターは、大学教員と学生、そして希望する多くの分野の企業人が集って協働し、社会に存在する多くの問題を解決する方法論を根源的に追究し、その問題解決を行うための機械システムを具体的に創造する活動を進める、大学に設置するオープンな場である。このような場は、日本のイノベーション推進の中核拠点となり得るものであり、高度技術社会を構成しようとする日本にとって社会的価値は著しく高い。具体的には、例えば福島第一原子力発電所の廃炉作業に今後必要となる数々の遠隔操作型知能作業ロボットや、世界的にも突出した超高齢社会への対応のための福祉医療用機器やロボットなどがこの場で効率的に開発され、大いに社会貢献するものと考えられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

武田 行生（東京工業大学・大学院理工学研究科） takeda@mech.titech.ac.jp

火力発電プラントのトラブルフリー・メンテナンスに向けた革新的プラントシミュレーターの開発

① 計画の概要

わが国のみならず世界各国において、「社会の血液」とも言われている電力の安定供給は国力・国益の維持・拡大に不可欠である。特に、わが国では、東日本大震災以降、火力発電が電力の安定供給に重要な役割（現状、全体の約 9 割）を果たしているが、今後高齢化設備が増大する傾向にある。したがって、計画外停止につながるトラブルのない、すなわちトラブルフリーなメンテナンスが望まれる。そのため、機械工学における熱・流体・燃焼（反応）・材料・計測・計算など、火力発電プラントの設計・運用・保守に関わる技術をオール・イン・ワンで取り扱える、大規模なデジタルプラントシミュレーターを開発する。これにより、運用状況に応じたプラント内の状態把握が可能となり、トラブルの未然防止につながるとともに、万が一トラブルが発生した際の対応・対策を事前に訓練できるトラブルシミュレーターとしても活用する。さらに、トラブル原因となる損傷の発生や部位を特定する遠隔非破壊検査やオンラインモニタリングのためのセンサー・センシング技術とともに、損傷部位を自動補修・再生するロボット技術を開発することにより、より一層安全・安心で革新的なメンテナンス技術を構築する。最終的には、このようなメンテナンス技術も取り込んでプラント全体をワンスルーで運用管理できるテーラーメイド・シミュレーターとして完成させる。このように非常に広範な工学分野の研究・技術者を要する本研究においては、産学（官）協同が不可欠であるため、ユーザー（電力会社）、メーカー、大学や研究機関が総力を挙げて取り組む必要がある。そのため、全体を統括するプロジェクトリーダーの下に、開発課題毎にチーム（WG）を設置し、適宜 PDCA を確認し合いながら、研究の進められる体制を組む。なお、本研究の推進に当たっては、多様な専門家を要する関係学会の協力も考慮に入れる。

② 学術的な意義

(1) 火力発電プラントの設計・運用・保守に関わる全ての技術分野の人・モノを結集して開発するプラントシミュレーターは初めての試みであるが、これにより、非常に高い安全性・信頼性の得られる全く新しい（革新的な）トラブルフリー・メンテナンスが可能になる。

(2) 保全対策技術の進歩によりトラブルの発生率は減少しているが、その一方で過去のトラブル経験で得られた知識・知恵が徐々に消失し、トラブルに対応できる技術者・技術力が空洞化するリスクも否めない。そこで、本研究で開発するプラントシミュレーターをトラブルシミュレーターとして、実プラントでは起こせないトラブルの再現やそれへの対応・対策訓練に活用することにより、このようなリスクを回避することができる。

(3) 極限環境中でも使用できるセンサー・センシング技術とともに損傷部位を自動補修・再生するロボット技術が開発されることにより、遠隔非破壊検査やオンラインモニタリングでもってプラント内の損傷の発生・部位を高精度に検出し、その後同部位を自動補修・再生するという革新的なメンテナンス技術が実現できる。さらに、これらの技術を上記したプラントシミュレーターに取り込むことにより、全く新しいプラントの運用管理が可能になり、究極の安全・安心が実現される。

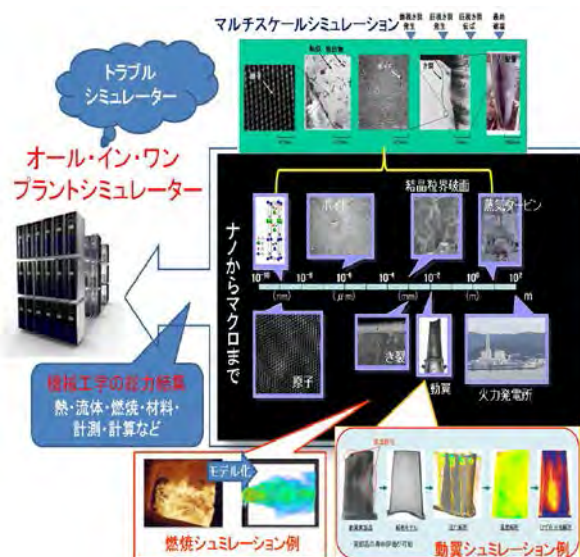
(4) 本研究における様々な損傷・現象の機構解明やモデリング、数値解析の高度化、新しいセンサー材料やロボット機構の開発などを通じて、多分野での学術基盤技術の底上げが図られる。

(5) 本研究を通じて、多分野・異分野の交流が促進され、あたらしい研究ネットワークが形成される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

これまでシミュレーターと呼ばれるものは多種多様に開発され、例えば、原子力・火力発電プラントの運転・制御、電力系統の制御システム、航空機等の操縦などを対象としたシミュレーターは既に実用されている。しかし、本研究で目指している、火力発電プラント内で起こる諸現象を数値シミュレーションで把握し、それらをワンスルーで捉えてプラント全体の挙動を模擬するプラントシミュレーターは開発されていない。すなわち、火力発電プラント内の伝熱、流動、燃焼、振動、材料劣化・損傷など、個々の現象・挙動に関する数値シミュレーションは行われているものの、それらを連動させてオール・イン・ワンでシミュレートできるまでには至っていない。また、同時に開発を計画する遠隔非破壊検査、オンラインモニタリング用センサー・センシング技術ならびに損傷部位の自動補修・再生用ロボット技術についても、個々の技術に関する研究開発は進められているが、それらを統合したシステムとしての取り組みは見当たらない。したがって、本研究は、個々の技術開発成果をインテグレートしたシステム構築を目指すという点で新規性・独自性があり、革新的で挑戦的な課題であるといえる。

④ 所要経費



プラントシミュレータのイメージ

(1) 火力発電プラントのオール・イン・ワン・シミュレーション技術の開発：15 億円

- ・火力発電プラント内の諸現象の数値解析モデルの開発（5 億円）
（プログラミング費、計算費、モデル検証試験費、他）
- ・各種モデルのオール・イン・ワン化手法の開発（10 億円）
（プログラミング費、計算費、検証試験費、他）

(2) 革新的メンテナンス技術の開発：40 億円

- ・損傷の遠隔非破壊検査手法の開発（10 億円）
（センサー開発費、検査装置製作費、検証試験費、他）
- ・損傷部位のオンラインモニタリング手法の開発（10 億円）
（センサー開発費、モニタリング装置製作費、検証試験費、他）
- ・損傷部位の自動補修・再生用ロボットの開発（20 億円）
（損傷補修・再生ロボット開発費、検証試験費、他）

(3) トラブルフリー・プラントシミュレーターの開発：35 億円

- （計算機購入費、プログラミング費、検証試験費、他）

合計：90 億円



革新的メンテナンス技術のイメージ

⑤ 年次計画

- ・火力発電プラント内の諸現象解析モデルの調査（開発を要するモデルの把握）
- ・センサー・センシング技術およびそれを用いる遠隔非破壊検査・オンラインモニタリング手法の要求事項検討
- ・プラントシミュレーター用計算機の仕様検討
- ・火力発電プラント内現象解析モデルおよびオール・イン・ワン化手法の開発
- ・センサー・センシング技術およびそれを用いる遠隔非破壊検査・オンラインモニタリング手法の開発
- ・損傷部位の自動補修・再生用ロボットの要求事項検討
- ・プラントシミュレーター用計算機の導入

第1年度

第2年度

第3年度（中間評価）

- ・火力発電プラント内現象解析モデルおよびオール・イン・ワン化手法の開発
- ・センサー・センシング技術およびそれを用いる遠隔非破壊検査・オンラインモニタリング手法の開発
- ・損傷部位の自動補修・再生用ロボットの開発
- ・トラブルフリー・プラントシミュレーターの要求事項検討
- ・開発した火力発電プラント内現象解析モデルのオール・イン・ワンシミュレーションへの組み込み
- ・センサー・センシング技術およびそれを用いる遠隔非破壊検査・オンラインモニタリング手法の開発
- ・損傷部位の自動補修・再生用ロボットの開発
- ・トラブルフリー・シミュレーターへの検査・モニタリング・ロボット技術の組み込み方法の検討
- ・火力発電プラントのオール・イン・ワンシミュレーション技術の開発
- ・遠隔非破壊検査・オンラインモニタリング手法と自動補修・再生ロボットからなるメンテナンス技術の開発
- ・トラブルフリー・シミュレーターへの検査・モニタリング・ロボット技術の組み込み方法の開発
- ・開発したシミュレーション、検査・モニタリングおよびロボットの技術を統合したトラブルフリー・プラントシミュレーターのプロトタイプ開発

第4年度

第5年度

最終年度

⑥ 主な実施機関と実行組織

本研究は主に機械工学の広範な技術分野における研究力を結集しなければ成し遂げられないことから、産学の緊密なコラボレーションが不可欠である。すなわち、火力発電プラントの運用・保守を担う電力会社ならびに設計・製作・保守を担う重電メーカー、さらには個々の要素技術の基礎基盤を担う大学・研究機関が協同して取り組むことになる。具体的には、電力会社の共同研究機関である（一財）電力中央研究所が中核となり、三菱重工・日立・東芝等の国内の主要な火力発電プラントメーカーおよび京都大学・東京工業大学等の優れた基礎基盤研究力を有する大学とともに、研究の企画・推進・管理を行う。また、実行組織としては、日本機械学会等、本研究に関連する技術分野および研究者・技術者を包含する学会内にワーキンググループ等を設けて取り組む。

⑦ 社会的価値

- (1) 本研究成果として目標とする革新的プラントシミュレーターが実現されれば、少なくとも火力発電プラントのトラブルフリーなメンテナンスが可能となることから、究極の安全・安心という信頼感の最大化が図られるとともに、計画外停止等の防止による経済的効果も期待できる。
- (2) 本研究で開発する様々な数値モデル等のソフトウェアならびに非破壊検査・モニタリング法等のハードウェアに関しては、広範な知的財産権の確保が期待でき、これによりわが国の技術的優位性や国際競争力の向上が図られる。
- (3) 本研究を通じて得られる成果は火力発電プラント等を単体ではなくシステムとしての輸出を可能にすることから、わが国として優位な海外事業展開が図られる。

⑧ 本計画に関する連絡先

北村 隆行（京都大学・工学研究科） kitamura@kues.kyoto-u.ac.jp

太陽光風力等の革新的再生可能エネルギー電力基盤技術研究開発拠点形成

① 計画の概要

風力、太陽光、水力、波力、地熱といった自然界の変動するエネルギーを高効率に集積・変換する新エネルギー利用技術は、一部が実用的レベルに到達しているものの、未解決の課題も山積している。特に、それぞれの発電特性、技術特性を補完するためのエネルギーミックスが重要であるが、このような分野を超えた連携研究は全く進んでいない。当研究開発拠点形成では、将来の新エネルギー社会を見据え、適切なエネルギーの利用形態確立を目指し、需給バランス最適化大型実証新エネルギー供給プラントに関する研究開発、ならびにそのための人材育成を実施する。本提案(H26年度～H36年度)では、このプラントにおける革新的太陽光発電やインテリジェント風力発電の基盤技術に加え、新エネルギー社会構築に向けた、電力供給、電力需要、および配電システムを含む社会インフラ全体を通じた最適化技術の検討、新エネルギーの周辺技術開発等を行い、安定した新エネルギー電力供給システム作りに向けて、大型新エネルギープラントでの実証研究を進める。これら研究成果を実用化する企業と共同研究を進めることにより、国内社会のニーズにいち早く対応するだけでなく、エネルギーセキュリティに貢献する新エネルギー産業の創成につながるものである。さらに、本拠点を中心に、新エネルギー教育を重点的に実施する。

本計画の運営は、東京大学先端科学技術研究センター附属産学連携新エネルギー研究施設が中心となり、複数の国立大学法人、産業技術総合研究所などが連携して実施する。

② 学術的な意義

新エネルギー技術の関連学問領域は幅広い。革新的太陽光発電では、材料科学、半導体工学、デバイス工学、光化学、電気化学、などが関連し、既存のシリコン系太陽電池に加え、太陽光発電の導入普及を加速させるための超高効率化を可能とする新原理、新材料、新構造に関する研究、太陽電池の適用範囲の拡大につながるフレキシブル化、軽量化、多色化など既存の太陽電池と異なる特徴を併せ持つ新型太陽電池の研究、太陽電池の中に蓄電機能を組み込む研究、高い光電変換効率が期待される量子ドットを用いた新型太陽電池の研究などがある。これらの革新的次世代太陽電池が実現すれば、新エネルギーのベストミックスの実現性を高める。またインテリジェント風力発電では、ブレード上の人が歩く程度の風から、自動車、航空機翼の周りに発生する非定常な層流・遷移・乱流といった複雑な流体現象を扱う。ブレード周り流れの物理的メカニズムは未解明の部分も多くこれらの解明とその応用技術研究は発電量高効率化に非常に重要である。また自然環境下での風を予測し安定した発電を実現するための予測・制御技術など機械工学、電気工学、土木工学、気象学、海洋工学、材料工学、制御工学、システムデバイス工学など様々な学問分野が関連している。本研究プロジェクトが関連分野の発展に与える学術的意義は大きい。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)を中心に、個別の新エネルギー技術に関する研究が進行している。太陽光発電におけるNEDO事業として、「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」や「有機系太陽電池実用化先導技術開発」など多くの研究開発が行われている。一方、内閣府の「最先端研究開発支援プログラム(低炭素社会に資する有機太陽電池の研究開発)」が進行している。また、風力、波力発電においても、NEDO事業「次世代風力発電技術研究開発」、「風車音予測モデル技術研究開発」、「洋上風力発電技術研究開発」などの研究、環境省地球温暖化対策事業として「自然共生型ブローホール波力発電システム研究開発」など先進的波力発電技術研究開発が進んでいる。しかしながら、太陽光発電や風力発電をはじめとする新エネルギー電力のベストミックスに関する研究はこれまでになかった。本計画では、個々の優れた研究成果を包括し、革新的太陽光発電やインテリジェント風力発電をはじめとする電力基盤技術研究開発を実施するものである。

④ 所要経費

全期間(10年間:H26年～H36年)で所要経費767.5億円。

[設備費]: 426.5億円/10年

模擬自然環境下での総合出力予測シミュレータを開発し、新エネルギーベストミックス技術構築を行うために、極値風波を再現可能な風水洞設備を有する大型新エネルギー実証設備を導入する。

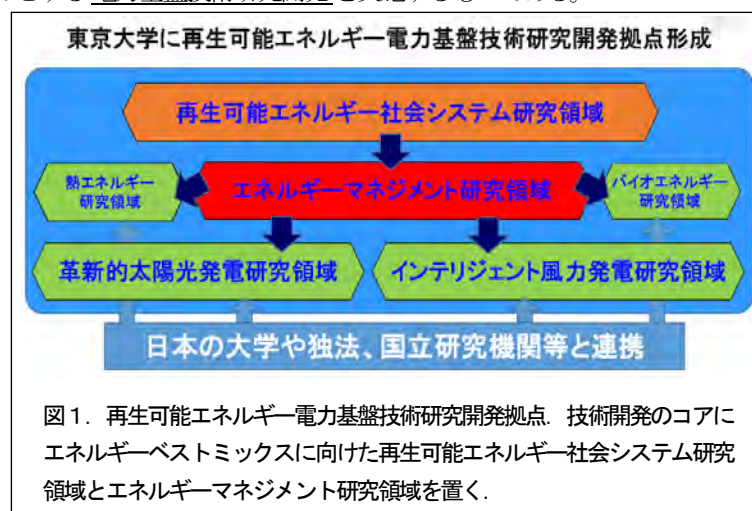
- ・自然環境模擬実験設備(197.5億円)
- ・同大型実証設備(210億円)
- ・双方向ネットワークシミュレーター(19億円)

[人件費]: 93億円/10年

安定的かつ戦略的研究開発に向けた人員体制を構築するため人件費(9.3億円/年)を計上。

[運営費]: 248億円/10年

少額設備・研究消耗品経費(20億円/年)、学術調査(2億円/年)、国内外学術会議経費(0.4億円/年)、研究スペース費(2億円/年)、光熱費(1億円/年)、装置機器類保守点検経費(0.5億円/年)を計上。



⑤ 年次計画

本計画の全期間(10 年間：H26 年～H36 年)で実施する 5 つの大項目とそれぞれの年次計画を以下に示す。

- (1) 革新的太陽電池基盤研究：H26-H36 年度
- (2) インテリジェント風力波力発電基盤研究：H26-H36 年度
- (3) 複合発電技術研究（ハイブリッドパワコン技術）：H26-H36 年度
- (4) 小型実証プラント研究：H26-H36 年度
- (5) 大型新エネルギープラント実証研究：H28-H36 年度

[H26 年度～H28 年度]

- ・革新的太陽電池基盤研究
- ・インテリジェント風力波力発電基盤研究
- ・複合発電技術研究（設備設計・作製）
- ・小型実証プラント研究（設備設計・製作）

[H29 年度～H30 年度]

- ・革新的太陽電池基盤研究
- ・インテリジェント風力波力発電基盤研究
- ・複合発電技術研究（ハイブリッドパワコンおよび制御技術などの研究）
- ・小型実証プラント研究（予測・制御技術構築）
- ・大型新エネルギープラント実証研究（設備設計・作製）

[H31 年度～H32 年度]

- ・革新的太陽電池基盤研究
- ・インテリジェント風力波力発電基盤研究
- ・複合発電技術研究（革新的太陽電池とインテリジェント風力発電で検証）
- ・小型実証プラント研究（予測・制御技術構築）
- ・大型新エネルギープラント実証研究（作製）

[H33 年度～H36 年度]

- ・革新的太陽電池基盤研究
- ・インテリジェント風力波力発電基盤研究
- ・複合発電技術研究（革新的太陽電池とインテリジェント風力発電で検証）
- ・小型実証プラント研究
- （新エネルギーベストミックスを可能にする双方向ネットワーク技術構築）
- ・大型新エネルギープラント実証研究

（自治体協力によるベストミックス実験を通して、新エネルギー電力システム構築）

⑥ 主な実施機関と実行組織

主な実施機関：東京大学先端科学技術研究センター（先端研） 附属産学連携新エネルギー研究施設、ならびに複数の国立大学法人、産業技術総合研究所 実行組織：

本計画の運営は、東京大学先端研附属産学連携新エネルギー研究施設が中心となり、東京大学学内関係機関、東京工業大学、産業技術総合研究所を主な機関として実施する。

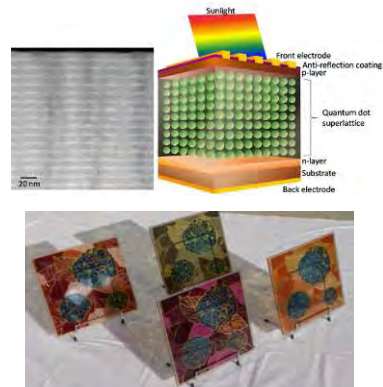
⑦ 社会的価値

我が国では、新エネルギー利用拡大に対する要請が急激に高まっている。本提案では、太陽光発電や風力発電などを、来るべき新エネルギー社会における基幹エネルギーとするための課題と対策などの基盤研究や、新エネルギー社会構築に向けた、電力供給、電力需要、および配電システムを含む社会インフラ全体を通じた最適化の検討を行い、安定した新エネルギー電力の供給システム作り、大型新エネルギープラントでの実証研究を進める。これらの本計画の研究成果をいち早く社会に還元することで、エネルギー安全保障の問題に加えて、低炭素社会の実現に向けた世界規模での重要課題の解決に向けて、大きく貢献できるものと考えられる。

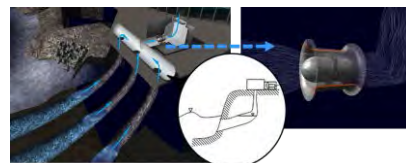
⑧ 本計画に関する連絡先

瀬川 浩司（東京大学・先端科学技術研究センター）
csegawa@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

- (1) 革新的太陽電池（上：量子ドット太陽電池、下：蓄電機能内蔵太陽電池デザインパネル）

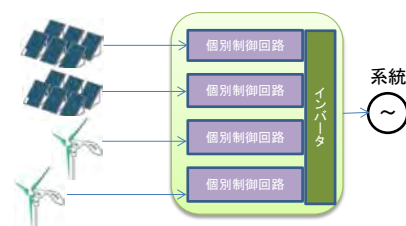


- (2) インテリジェント風力波力発電（ブローホール型波力発電の実証事業：福井県）

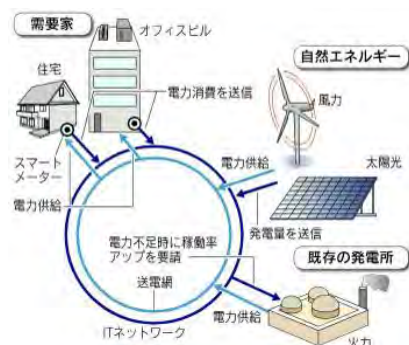


波力を風力に変換しタービンで発電する

- (3) 複合発電技術（ハイブリッドパワコン）



- (4) 小型実証プラント研究



- (5) 大型新エネルギープラント実証研究



図2. 本計画で取り扱う研究例（1）～（5）.

調和エネルギー体系構築のための革新的燃焼科学の創成

① 計画の概要

2050年までに温室効果ガスを1990年比で50%削減する目標が2009年G8サミットで確認された。総人口が減少し高齢化が進む我が国において、国際的地位と生活の質を維持増進するため、産業経済に及ぼす打撃を最小化し低炭素社会を目指す新しい概念と科学技術が求められる。

現在のエネルギーインフラを最大限活用しエネルギー利用効率を向上させる科学技術が必要である。現代社会は全エネルギーの80%が燃焼に支えられている。動力と熱を同時に発生するエネルギー源であり、利用効率向上が温室効果ガス削減に大きくかつ敏感に影響する。燃焼のエネルギー利用効率を格段に高め、多様なエネルギー技術と融合させていく新しい調和エネルギー体系を構築すべきである。本計画は具体的に二つの目標を掲げる。

第一は革新的燃焼科学技術創成である。燃焼科学は、熱、流体、反応化学の融合領域として発展し、航空宇宙推進、自動車、発電など動力の高出力化、工業生産の増進、窒素酸化物排出抑制など環境問題解決にも大きく寄与してきた。反応化学との新たな融合による新燃料や燃焼技術開発への展開を加速する。

第二は燃焼エネルギー利用効率の格段の向上である。東日本大震災と原発事故以降、火力発電比率が90%以上と高まっている中で、最新の燃焼発電技術であるコンバインドサイクルの総合エネルギー効率は60%を達成しようとしている。本計画では動力、熱、物質を相互活用するエネルギー体系の新しい概念を調和エネルギー体系と呼ぶ。エネルギーに関わる事象は、エネルギー源、熱と動力、生成物質や環境への影響など多様性がある。これら相互再生利用と評価学を発展させ、総合効率がさらに優れた調和エネルギー体系を構築する。

本計画では、高度な技術と世界的実績を有する科学者・技術者の産学官研究ネットワークによる共同作業を十年間にわたり推進する。

② 学術的な意義

燃焼の学術は、反応化学と熱・物質移動の科学を両輪としている。反応化学は数千に及ぶ素反応機構を取り扱い、電子レベルの微小スケール量子化学とピコ秒素反応時間を有し、熱・物質移動の科学は微量化学種の移動から大規模火災まで包含する大スケール問題への適用、すなわち広大なスケール幅が学術の特徴である。航空宇宙推進の研究を端緒とする燃焼科学は、エネルギー危機、環境問題への対応を経て、多様な燃焼化学反応、窒素酸化物生成反応機構の解明と排出抑制技術等に社会的インパクトを与えながら発展してきた。現在では、社会の基幹エネルギーを支える科学として、温室効果ガスや環境負荷物質排出削減に向け活発な研究が展開されている。我が国発の低NO_x高効率燃焼技術である高温空気燃焼技術、高圧縮比で熱効率を格段に高めるエンジン燃焼技術等が最近の例であり、本計画はこのような革新的燃焼科学技術創成を加速する。

量子化学に基づく化学反応機構の解明と数値・数値解析の融合によって、多様な燃料に対応した新燃焼技術の開発や素反応過程から導く新燃料の創製、高温高圧といった高エンタルピー環境や微小重力環境の燃焼研究によって、次世代航空宇宙推進系開発や安全技術を格段に高めることも期待される。エネルギー利用効率の格段の向上においては、コンバインドサイクル燃焼技術の革新、動力・熱・物質を相互利用する新しい調和エネルギー体系構築が期待される。特に、カーボンフリー、カーボンニュートラル燃料の生産と燃焼は調和エネルギー体系における重要な柱であり、酸素燃焼に代表される高エクセルギー効率燃焼の大規模な展開も期待される。

燃焼科学が中核となり高効率調和エネルギー体系を構築し、温室効果ガス削減と低炭素社会を実現する学術研究である。

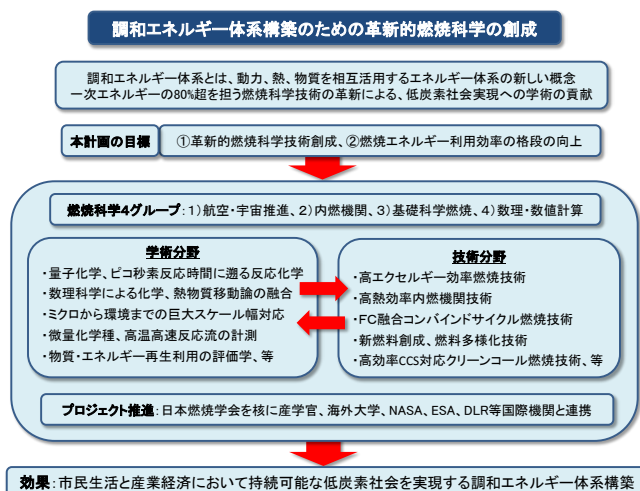
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

我が国は原発推進によるCO₂削減を進めたが、事故によってシナリオは再考される。エネルギー利用効率の高い燃焼の研究、例えばクリーンコール燃焼の重要性が高まるなど、本計画はエネルギー体系の再構築に重要な役割を果たす。

EU圏ではエネルギー資源市場統合、ロシア依存から脱却を進めている。高効率で多様なエネルギー源の獲得を進め、バイオマス利用の技術力も高い。原発脱却を宣言したドイツは、電力不足を火力発電で補っている。石炭燃焼を中心とする国も多く、CO₂回収型燃焼がEU連合事業として精力的に研究されている。米国では、多様なエネルギー技術研究が進んでおり、プリンストン大学に燃焼研究センターCEFRが設立された。シェールガス革命によりCO₂低排出エネルギーの確保が可能になった。航空燃料にも新燃料導入が検討されている。中東では、サウジアラビアがクリーン燃焼研究センターを有する大学院大学(KAUST)を設立した。ロシアは低炭素技術を柱にする政策に転換しつつあり、極東地区に研究拠点を設立しようとしている。

④ 所要経費

実験では現有設備を高度化し利用する。航空宇宙・推進グループは、現有燃焼風洞・高圧燃焼試験設備を、内燃グループは



エンジン要素試験設備を設置する。基礎科学燃焼グループは、標準反応試験装置で標準データを取得、数理・数値計算グループと連携し、大規模燃焼化学反応機構の構築と逆問題適用を目指す。国内外シンポ、広報・出版も行う。経費概要を次に示す（金額単位：百万円）。

設備等費：実験研究（高圧燃焼設備改修・維持 50×10 年＝500、内燃機関設備 50×10 年＝500、基礎燃焼 50×10 年＝500）数理・数値計算（クラスタ計算機・更新 300）、小計 1、800

人件費：（ポストドク 20 人×10 年×7＝1,400、著名研究者招へい 15 人×0.5 年×2/月＝180、特任研究者雇用 6 人×10 年×7＝420、事務局職員 10 人×10 年×5＝500）、小計 2、500

ネットワーク構築：（旅費 60×10 年＝600、内外シンポ 30×5 回（隔年）＝150、スクール開催 5×10 年＝50）、小計 800

その他：（計算機使用料 15×10 年＝150、広報・出版費 50）、小計 180

経費計：5、280

⑤ 年次計画

本計画は十年間とし、初年度に国内外の研究協力体制の構築を行い、二年度目から 2 つの柱である革新的燃焼技術の創成、および燃焼におけるエネルギー利用効率の向上に向け研究を展開する。産学官の協力により技術課題の選択、集中的な取り組みを実施し、五年経過した段階で内容の総合的な評価・検討を行い、必要に応じ軌道修正する。海外からの著名研究者の招へいを組織的に進め、日本での取り組みの国際的サーキュレーションと共に日本の若手研究者教育（集中的スクーリング）を実施する。また研究進捗にあわせ、国内若手研究者を海外連携機関に長期派遣するとともに、海外からも若手研究者を受け入れ、国内・国際ネットワーク共に緊密化を図る。国際ネットワーク構築に際しては新興国若手研究者受け入れへの格段の配慮も行う。後半五年には、蓄積した知識に立脚して新技術の創成に着手する。例として、解明した大規模燃焼化学反応機構に基づき燃料の分子構造設計を行うことで、高いエネルギー利用効率を有する新規燃焼技術等への貢献も目指す。

初年度：拠点設置に向けた技術課題絞り込み、運営体制確立、海外連携機関との包括協力契約、研究設備高度化、キックオフ会議実施、スクーリング（サマースクール等）

二年度～五年度：各実験研究実施、数理・数値計算モデル構築～融合研究（実時間計算）による予測技術の高精度化・高速化実施、進捗に応じ各種実用・実証研究への展開（応募）、国内・国際シンポジウム実施、総合評価実施、スクーリング

六年度以降：評価に応じた技術課題の新展開、逆問題解決による新燃焼技術の創成、エネルギー利用の格段の高効率化、新技術の実用フェーズへの展開、国内・国際シンポジウム実施、スクーリング

⑥ 主な実施機関と実行組織

一般社団法人日本燃焼学会を核とした国内の主たる参加機関は、北海道大、東北大、東京大、名古屋大、京都大、大阪大、九州大、東京工業大、慶應義塾大、広島大、岡山大、大阪府立大、岐阜大、山口大の 14 大学と、産総研、JAXA、さらに 12 企業（トヨタ自動車、本田技研、日産自動車、マツダ、三菱重工、IHI、日立製作所、JFE エンジニアリング、電力中研、東京ガス、大阪ガス、JX 日鉱日石エネ）である。運営は事務局を核に、東日本地区、関東地区、西日本地区の三拠点を中心に進める。各機関が有する大型実験施設の共用化、本計画による高度化を進めると共に、航空宇宙・推進、内燃、基礎科学燃焼、数理・数値計算の 4 つの出口イメージ毎に研究者が複数参加可能な研究グループを設ける。実験研究グループが行う大規模・高精度な標準実験と、数理・数値計算分野が担当する融合研究も進める。

本計画では、革新的な燃焼技術の創成と燃焼におけるエネルギー利用効率の格段の向上を通じ、我が国の燃焼分野の技術水準を格段に向上させ、世界をリードすることを目的としている。このため国内の総力を結集するとともに、すでに研究者レベルで構築された海外著名機関との間に強固で包括的な協力体制を確立する。海外の連携機関の例としては、これまでも国際宇宙ステーション等における微小重力実験で国際連携をすすめてきた NASA、ESA、DLR を始め、米 CEFRC や大学（カリフォルニア大学バークレー校・サンディエゴ校、アイルランド大学、極東連邦大学等々）、研究機関と組織的な連携を行う。

⑦ 社会的価値

地球環境問題、エネルギー問題への国民の関心は極めて高い。東日本大震災以降の原発停止による電力供給不足、産業への影響、中長期的エネルギー戦略見直し議論が、エネルギー問題への関心を一層高めている。再生可能エネルギーの拡大や新エネルギー技術研究は今後も積極的に進められるべきであるが、進捗速度と達成目標値は必ずしも満足なものと言えない。一方で、現在のエネルギーの 80% が燃焼により生産されている事実があり、エネルギー利用効率の向上による問題解決へのインパクトが大きいことは明白で、エネルギーインフラを最大限活用できる燃焼科学技術の役割は大きい。燃焼科学には広範な基礎科学が集約されており、学術分野発展への貢献とともに、エネルギー価格など産業経済に及ぼす打撃も最小限に抑える、革新的燃焼技術開発と調和エネルギー体系を構築することによって、持続可能な低炭素社会実現を目指す本研究計画の社会的、経済的、産業的価値は高い。

⑧ 本計画に関する連絡先

小林 秀昭（東北大学・流体科学研究所） kobayashi@ifs.tohoku.ac.jp

空間へのエネルギーの分散化手法の確立および空間電力分布の制御に関する研究

① 計画の概要

本研究では、空間的に分散されたエネルギーストレージを有する各機器および電源システムに対して、空間的にエネルギーを融通し合いながらエネルギー分布の最適化を図る。

従来、エネルギーの空間的な分散・協調の自動化は不可能であったが、近年研究が進められているワイヤレス電力伝送技術とエネルギーストレージを有した移動体(移動ロボットなど)を組み合わせることで、空間的なエネルギー制御(どこからどこへ給電あるいは充電するか)の自動化という新しい展開が可能となった。また、申請者らは、「空間知能化」と称するセンサネットワークによる生活空間を対象とした観測技術を有しており、空間知能化のコンセプトをエネルギーの分野へと拡張することで空間内のエネルギー分布の予測が可能であると考えている。本研究ではこれらを統合し、エネルギー分布予測に従ってエネルギーを再配分することでエネルギー分布の最適化を図るという分散協調型エネルギーストレージを実現する。

エネルギー分布の予測は、電力計測センサや位置計測センサから計測した各機器の残存電力・位置情報と、ネットワーク化されたビジョンセンサおよび各機器と人間のインタラクション情報に関する観測システムから抽出した機器使用に関する事象を統合して行う。また、エネルギー制御は、各機器および電源システムと直結した給電ステーション間におけるエネルギーストレージを有した移動体のナビゲーション、給電ステーションからエネルギーストレージおよびエネルギーストレージからエネルギーストレージへのワイヤレス電力伝送技術によって実現される。

これらの研究は、中央大学後楽園キャンパス 2 号館の基盤開発スペースにて行い次に中央大学後楽園キャンパス 3 号館のシステム統合スペースで統合する。続いてキャンパス(敷地 27,141m²、建物 74,065m²)への拡張を目指し、さらに地域全体への展望を検討する。

② 学術的な意義

本研究では、空間内のエネルギーマネジメントにおいて、エネルギーの恩恵を受ける人間に十分な関心を払うという方向性を追求している点が特徴である。具体的には、エネルギー分布の予測に必要な各機器の使用状況・計画の推定において、人間と機器との間のインタラクションや個人の行動様式などを十分に考慮したシステムを開発する。今までシステムの外側に存在していた人間が、インターフェースを通してシステムの内部に入り込むことで、システムの能力を決定する一大要因となる。本方向は、システム系の科学が人間中心に回帰しつつある状況をエネルギー分野において更に加速するものである。なお、このようなエネルギー分野における人間中心の観測技術は、本研究で提案するシステムのみならず、その他の様々なエネルギーマネジメントシステムへと応用可能な基盤技術としてその研究意義は非常に大きい。例えば、モバイル機器と電力系統間のエネルギー制御に双方向性を持たせることで、ピーク時電力削減などのスマートグリッド関連の要素技術としても応用できる。

また、本研究ではエネルギー分布予測に基づき、エネルギー再配分の最適計画を立案するが、ここでは空間内に分散されたエネルギーストレージを扱うという性質上、空間内のエネルギーの移動にかかる諸々コスト(エネルギーや時間)というファクターも加えた最適化問題となり、電源システムに接続された(空間内に分散されていない)エネルギーストレージを主な対象としていた従来の方法論からの大幅な拡張が必要となる。これは、エネルギーネットワーク間の時間遅れとも捉えることが出来、いわゆるネットワークの分野で扱ってきた通信遅延に関する方法論をエネルギーの分野へと取り込む画期的な試みであるともいえる。このような分野横断的な研究課題を通して、研究として飽和傾向にあるエネルギーの分野の活性化にもつながると期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

近年ではエネルギーストレージ(バッテリー・キャパシタなどの蓄電素子)の小型化や軽量化といった背景もあり、多くのモバイル機器が普及している。一方で、生活空間における電気機器のエネルギーマネジメントは数多く研究されてきたが、その対象は電源システムと直接的に有線接続された機器に限定されてきた。その理由としては、モバイル機器に対するエネルギーの受け渡しの困難さが挙げられる。モバイル機器では、電源システムからの空間的距離があるため、モバイル性を失わずにエネルギーの受け渡しを行う方法は限定されていた。これまでに、マイクロ波などの電磁波を用いた方法が考えられてきたが、安全性の側面から懐疑論は根強く、安全性が担保出来たとしてもユーザの心象的に受け入れられるとは考えにくい。これに対して申請者らは、磁界共振結合を用いたワイヤレス伝送技術と移動ロボット技術を統合することでモバイル機器へのエネルギー制御の自動化が可能と考えている。そこで本研究では、空間内に分散されたエネルギーストレージも対象とした新しいエネルギーマネジメントを通して、分散協調型エネルギーストレージというエネルギーの新概念を提唱し、実現する。

④ 所要経費

所要経費として 10 年で総額 20 億円を計上する。毎年度の経常費として、人件費(PD または RA を毎年 7 名で 4000 万円)、施設使用料(500 万円)、成果報告や相互連携のための学会会議、ワークショップ(1000 万円)、学会参加出版(500 万円)を計上し、10 年総額 6 億円となる。研究・開発用機器として、ワイヤレス電力伝送用の機器を 5 組(シグナルジェネレータ、パワーアンプ、双方向性結合器、電力計測センサなど 計 3500 万円)、大型電磁シールドルーム 2 台(2 億 5000 万円)、二次電池の製造設備(5 億円:製造装置 4 億円、クリーンルーム 1 億円)、性能評価用の充放電試験装置(YAMABISHI 社 YRD-200-20AT 1000 万円)、電

気特性評価用の周波数特性分析器(エヌエフ回路設計ブロック社 FRA5097 300 万円)、二次電池を有する移動体 10 台(5000 万円)、システム製作費(200 万円)の総額 8 億 5000 万円を計上する。特殊設備であるエネマネハウスの導入・維持費として 5 億 5000 万円(建屋 4 億 5000 万円、ネットワーク構築 5000 万円、データ集積 5000 万円)を計上する。

⑤ 年次計画

10 年(25～34 年)の研究期間で以下に取り組む。

- (1) 平成 25-29 年度：空間知能化に基づくエネルギー分布予測基盤の確立
- (2) 平成 25-29 年度：エネルギー制御基盤の確立
- (3) 平成 25-29 年度：エネルギー管理基盤の確立
- (4) 平成 30-32 年度：空間知能化による分散協調型エネルギーストレージ・システムの構築
- (5) 平成 33-34 年度：システムの広域化

25 年から 29 年度にかけて、提案システムの基盤となるエネルギー分布予測基盤、エネルギー制御基盤およびエネルギー管理基盤の研究・開発を同時並行で進める。まず、エネルギー管理(エネルギー再配分の計画)を行う上での課題を抽出し、実現可能性を十分に考慮してエネルギー制御およびエネルギー分布予測の仕様を策定する。実現可能性に関しては、物理的に実現可能な範囲を明確にし、現有技術および今後の研究・開発でどこまで出来るのかを熟慮する。次に、シミュレーションベースでのエネルギー管理手法の確立、エネルギー制御基盤およびエネルギー分布予測基盤の実装を進める。エネルギー管理手法としては、1 次式で表される制約条件下での最適化問題へと落とし込み、線形計画法を適用する。エネルギー制御基盤では、ロボットのナビゲーション、双方向でのワイヤレス電力伝送(エネルギーストレージ間のワイヤレス電力伝送も含む一般系)を実現する。エネルギー予測基盤では、既存のセンサネットワーク(位置等を取得可)に電力計測センサや観測した人間行動を電力使用予測へと紐づけるオブジェクトを追加実装する。

30 年から 32 年度にかけて、これらを統合し、分散協調型エネルギーストレージとしてシステム化する。さらに、33 年から 34 年度にかけて、研究拠点としての更なる展開を目指し、部屋からキャンパス全体(敷地 27, 141m²、建物 74, 065m²)へと広域化する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本研究課題の実行組織は中央大学(電気系、機械系、化学系)、JAXA に分けられ、中央大学が中心となり実施する。具体的には、中央大学・電気系のグループが電力の計測と制御、電力マネジメント、及びワイヤレス電力伝送、エネルギーストレージに関する基礎的研究を担当し、エネルギー分布予測基盤及びエネルギー管理基盤を実現する。エネルギー分布予測基盤、エネルギー制御基盤およびエネルギー管理基盤の研究・開発は同時並行で進めるため、計測、制御、マネジメント(計画)に対応する実行組織を構成し、実施する。

ワイヤレス電力伝送、エネルギーストレージの基礎開発に関しては中央大学・化学系と電気系が共同して取り組む。ここでは、二次電池製造設備を利用し、小型・軽量化といったエネルギーストレージの基本性能の向上に取り組む。電気化学蓄電デバイス(化学系二次電池)の高性能化や新規提案として、界面の面積の広さ、化学的安定性、電子授受活性および電気伝導性に着目したアプローチを考えている。また、エネルギーストレージ間の電力授受を担うワイヤレス電力伝送では、エネルギーストレージの基礎特性に応じて高効率化手法が異なる。従って、双方の開発組織が連携して開発を進める。

センサネットワークによる人間行動の観測、及び知能化空間内のロボットナビゲーション等のモバイル機器の制御は中央大学・機械系と電気系が共同で担当する。シミュレータやセンシングデータの可視化、及びヒューマンインタフェースに関しては中央大学・機械系が担当する。

本研究課題を通じて得られる新たなエネルギーストレージ及びワイヤレス電力伝送技術を実験装置として使用できるようシステム化する。これを JAXA が担当する。またインフラが整わない不整備地であっても、複数移動ロボットの協調により動的に知能化空間を構成し、対象空間を広域化する。これを中央大学と JAXA の共同で取り組む。

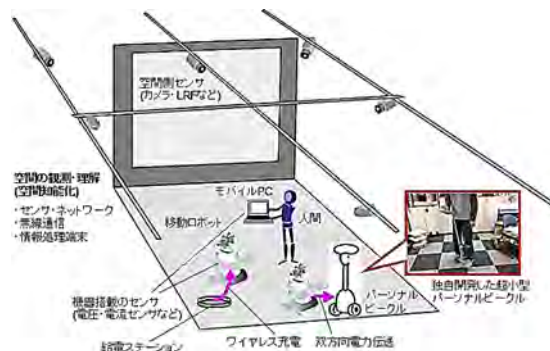
⑦ 社会的価値

一般的な成果として、モバイル機器への間欠的な自動充電により、電池切れ防止(充電の手間からの解放)やバッテリー容量低減に伴う軽量化、レアメタル使用量の低減が達成される。具体的な適用事例としては、個人用の移動支援装置として近年注目を浴びているパーソナルビークルへの適用が挙げられる。パーソナルビークルの小型・軽量化が促進されることで、可搬性の高い超小型ビークルも実現可能となり、ユビキタス・モビリティ社会の到来が期待される。このような超小型パーソナルビークルは個人への普及はもちろん、大規模空間を持つ施設(テーマパーク・ショッピングモール・空港)での貸し出しサービスによる集客効果向上などが見込まれるため、大きな経済効果と市場の創出が予想される。

さらに、将来的にはモバイル機器と電力系統間のエネルギー制御に双方向性を持たせることで、ピーク時電力削減などのスマートグリッド関連の要素技術としても期待できる。なお、全ての研究成果は学会や専門誌での発表を行うほか専用の HP を開設する。また、イノベーション・ジャパンなどの連携イベント、公開デモなどを通して、産・官・学へと広く情報発信していく。

⑧ 本計画に関する連絡先

橋本 秀紀(中央大学理工学部) hashimoto@elect.chuo-u.ac.jp



超伝導デバイス開発ネットワーク拠点の形成

① 計画の概要

超伝導エレクトロニクスは、50年にわたる研究の蓄積とここ数年の数々の革新技术が相まって飛躍的發展を遂げている。しかも、その応用分野は、実用化されている医療診断装置、電波天文観測装置、標準素子に留まらず、より波及効果の大きな情報通信機器や高性能分析装置など多岐に渡り、まさに次世代産業の中核の一端を占める実力を身につけた。その基盤となるのが超伝導デバイス作製拠点である。本計画では、現在のNb系超伝導集積回路作製拠点を強化・拡大し、さらに高温超伝導デバイス作製拠点との統合を行う。これにより、日本が世界をリードしている現在の地位を、技術ギャップを持った確固たるものに押し上げる。この拠点は、デバイス供給を通して基礎からシステムまでの超伝導研究者が協業を行う場となることから、超伝導デバイス開発ネットワーク拠点とも言える。

この拠点を通して、さまざまなイノベーションも想定される。たとえば、ほとんどエネルギー散逸のない高速超伝導演算回路が実証されており、莫大なエネルギーを要するデータセンタへ適用することが検討されている。また、高感度磁気センサ（SQUID）を利用した超低磁場MRIは新たな医療診断装置として開発が進められており、脳磁計などSQUIDイメージング装置と統合した新たな医療診断装置が期待される。さらに1万画素中性子イメージング装置やタンパク質などの巨大分子の質量分析装置も超伝導の検出器と信号処理技術の結集によって可能となる。加えて、世界に先駆けジョセフソン双対効果が検証されたことにより、電圧、抵抗に電流を加えた標準トライアングルの構築が可能となる。我が国の計測技術の信頼性を押し上げることに繋がる。このように、この拠点形成は我が国の基礎科学の深化のためにも、グリーン技術や生命科学の重点化という国家戦略の観点からも、また超伝導エレクトロニクスの産業化の観点からも不可欠である。

② 学術的な意義

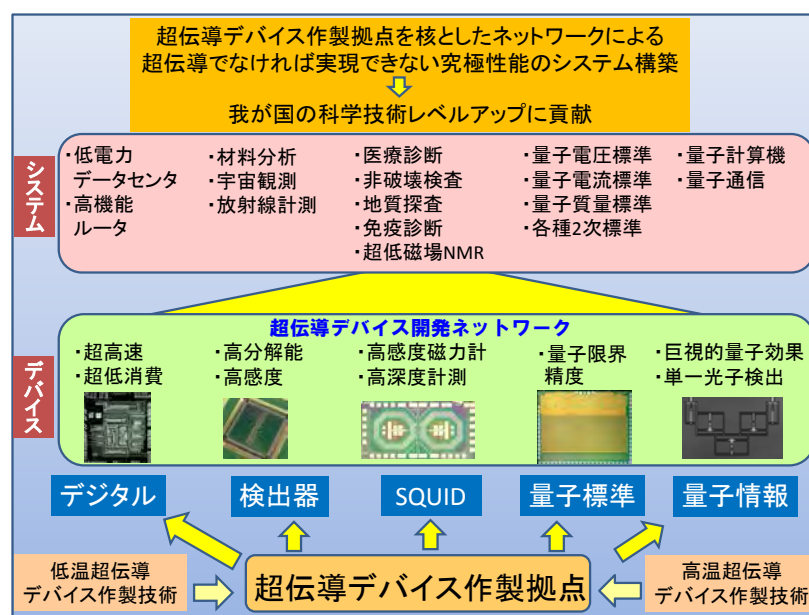
学術と技術は互いに相補的な関係にある。すなわち、学術の進展が新たな技術を生み、その技術によって学術の深化や新領域の形成が促される。超伝導デバイス開発ネットワーク拠点形成の目的は、学術と技術のサイクルを加速化することであり、超伝導エレクトロニクス分野で既に世界をリードする立場である我が国が、さらに圧倒的な技術力を獲得することでこの地位を揺るぎなきものとするのである。

超伝導エレクトロニクス分野では、この数年、新しい物理の発見や革新的な技術の提案が相次いでいる。それに伴う学術の進展は、教科書の書き換えが求められるほど大きなものである。たとえば、超伝導/磁性体/超伝導の構造を持つ接合において、磁化の大きさ・向きを制御することで、これまでは不可能であった超伝導体の巨視的波動関数の位相を直接操れるようになった。これにより、超伝導位相エンジニアリングと言う新しい学術分野が形成されつつある。また、超伝導体の低損傷ナノ加工技術の確立によって、ジョセフソン双対効果が示された。ジョセフソン接合のマイクロ波照射時の電圧ステップが、電圧の国家標準となっているのと同様、ジョセフソン双対素子は電流の国家標準となる可能性がある。標準は計測の基盤であり、電流標準の確立、さらには量子ホール効果による抵抗標準を加えた量子標準トライアングルの形成は計測工学に大きなインパクトを与える。

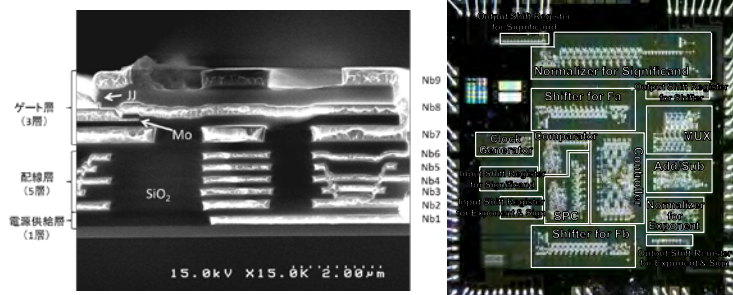
このほか、センシングの分野で数多くの超伝導を利用した新技術が提案・実証されている。日本からの提案も多く、サブミクロンの空間分解能の中性子イメージング装置や巨大分子質量分析器などは、独創的な超伝導独自の検出原理を利用しているほか、実現には超伝導信号処理回路が不可欠となっている。これらは、検出器の専門家と信号処理の専門家の協業から生まれた好例であり、本提案のネットワーク拠点形成は、これらに続く革新的技術の創出を促すものである。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

米国では、国家戦略として超伝導デバイス作製拠点の増強と新設を強力に進めている。量子計算やスーパーコンピュータ、検出器など応用毎に異なる拠点形成が行われているのが米国の現状であり、欧州も同様である。これを見据え、日本ではすべての超伝導エレクトロニクス研究者が結集できるネットワーク拠点の形成を目指す。拠点から供給されたデバイスを通して得られた知見を共有することで、イノベーションの創出が促される。日本のNb系超伝導集積回路作製技術は世界最高水準にある。本計画では、信号処理・コンピューティング分野に特



超伝導デバイス開発ネットワーク拠点による超伝導システムの展開



AIST で作製されたニオブ 9 層デバイス断面と 62GHz 動作プロセッサ

化されていた技術を、量子情報処理、計測・分析、医療診断、標準素子の各分野に適用できるように強化する。既にこの目的のため産業技術総合研究所 (AIST) が、CRAVITY と呼ばれる超伝導デバイス作製用クリーンルームを新設し、外部へのデバイス供給を開始している。さらに、日本が持つ世界最高の高温超伝導デバイス集積化技術を強化・拡充し、Nb 系拠点と統合することで、幅広い要求に応えられる超伝導デバイス開発ネットワーク拠点を構築する。

④ 所要経費

予算総額 60 億 (施設建設 : 6 億円、設備導入 : 24 億円、人件費・運営費 3 億円/年、10 年間)

我が国が世界を凌駕する高品質・高集積な超伝導デバイス・集積回路作製プロセス設備を AIST 内のクリーンルームに結集し、超伝導デバイスの作製拠点を形成する。これを核として超伝導システムを研究開発するためのネットワークを形成する。

⑤ 年次計画

超伝導システムの構築には、様々な超伝導材料を使いこなすことが求められる。本拠点は、研究対象の材料が異なる研究者、基礎からシステムまで階層が異なる研究者の協働の場でもある。これにより、個々の研究の加速化とともにイノベーションの創出を図る。

初年度は、クリーンルーム建設と、Nb 系超伝導集積回路プロセス、および高温超伝導デバイス、磁性-超伝導デバイス、Al 系デバイスの作製に用いる主要装置を導入する。2 年目はプロセスの立ち上げを行い、Nb 系プロセスでは 3 年目から、高温超伝導では 4 年目からファンダリの運用を開始する。

上記と並行して、NbN 系集積回路プロセスを開発し、5 年以内にファンダリの運用を開始する。さらに、磁性-超伝導メモリデバイスの作製プロセスを開発し、3 年目よりそれらを含む集積回路プロセスの研究を開始する。7 年目以降は Nb 系集積回路プロセスと融合し、高密度高速メモリ技術を確立する。また Al 量子ビット作製プロセスを開発し、4 年目より多ビット化、Nb 系集積回路との融合を目指す。

⑥ 主な実施機関と実行組織

世界最高品質、最大規模を誇る Nb 系 9 層集積回路作製プロセスを有する AIST が主な実施機関となり、超伝導デバイス開発ネットワーク拠点は AIST に設置される。

低温工学・超電導学会に属する研究機関を中心として、日本学術振興会超伝導エレクトロニクス第 146 委員会、応用物理学会超伝導分科会、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究専門委員会、電気学会低温エレクトロニクス調査専門委員会と連携を取りながら、本超伝導デバイス開発ネットワーク拠点を活用する超伝導デバイス研究のためのコンソーシアムを構成する。

コンソーシアムへの参加機関と研究分野は以下の通りである。

信号処理・コンピューティング技術研究 : 東北大、埼玉大、電通大、横国大、名大、京大

量子情報処理研究 : 東大、横国大、理研、NICT、NTT

計測・分析技術研究 : 東大、九大、大阪府大、AIST、JAXA、NIMS、KEK、日立ハイテクサイエンス

医療診断応用技術研究 : 豊橋技大、阪大、岡山大、九大、阪大、金沢工大、日立

低温超伝導デバイス開発 (Nb, NbN, 磁性 - 超伝導デバイス) : 名大、AIST、NICT

高温超伝導デバイス開発 : 国際超電導産業技術研究センター (ISTEC)

マイクロ波応用 : 山形大、山梨大、東芝、NTTDoCoMo

近年超伝導デバイス分野の研究では、応用の枠を越えた連携が重要になってきている。超伝導デバイス研究者の連携を作り出すためにも、本計画の作製拠点を中核としたネットワークは有効に働くものと期待される。

⑦ 社会的価値

第 4 期科学技術基本政策において、我が国が今後重点的に取り組むべき重要研究テーマとして「グリーンイノベーション」と「ライフイノベーション」があげられている。

超伝導デバイス技術に基づくコンピューティングや量子情報処理は、今後爆発的に増大する情報の処理に必要とされるエネルギーを飛躍的に低減することができ、低炭素社会を実現するための基盤技術として大きな社会的意義を持つ。

また、超伝導デバイスを利用した超低磁場 MRI や生体磁場イメージング、生体分子質量分析などの分析機器は、既存的方式では実現できない新たな生体分子解析や医療診断を可能とし、ライフイノベーションへの大きな貢献が期待できる。

先端科学の分野で我が国の主導権を示すことの重要性は、国民のコンセンサスであり、超伝導デバイス技術に基づく種々の応用技術は、将にこの目的を果たし得る。本計画は、我が国の超伝導研究を活性化させ、科学の発展や産業の振興を進めるために最も有効かつ効率的な方法と考えられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

藤巻 朗 (名古屋大学) fujimaki@nuee.nagoya-u.ac.jp

持続可能で安心安全な社会の実現に向けた革新的電子デバイス・ 電子機器統合的グリーン半導体プラットフォームの構築

① 計画の概要

地球温暖化や環境、エネルギー問題など、複雑かつ困難で全世界的な課題が顕在化している。環境保護と経済発展の両立を達成し持続可能で安心安全な社会の実現を目指して、本研究では電力・電子機器の消費エネルギーを極小化するための統合的グリーン半導体プラットフォームであるサイバー・フィジカル・エレクトロニクス（図1）を構築する。本プラットフォームは、電子デバイス自体の省エネ化（Green of Electronic Devices）、さらにはその省エネデバイスを用いた電子システムによる社会の省エネ化（Green by ED）を図ることを目的とする。前者は情報を司る電子デバイスおよび電力を扱う電子デバイスの省エネ化に対応し、それぞれの課題を「情報系省エネ」と「電力系省エネ」とする（図1）。情報系省エネでは、集積回路の低消費電力化技術と光インターコネクション技術による情報システムの低消費電力化に取り組む。集積回路の超低消費電力化を、時間的かつ空間的な超細粒度のエネルギー制御にて実現し、高いピーク性能を保ちつつ平均消費エネルギーを極小化する回路技術を開発する。情報デバイスの超低消費電力化により、省エネ時代に適合した持続可能な高度 ICT 社会の形成が促進される。電力系省エネでは、シリコン以外の半導体を利用して低損失パワーデバイスの開発に取り組む（図2）。特にシリコンカーバイド、窒化ガリウム、酸化ガリウム、ダイヤモンドなどのワイドギャップ半導体が有する優れた物性を最大限に活用して、超低損失のパワーエレクトロニクス、さらに熱や放射線性に強い環境・極限エレクトロニクスにおけるイノベーションを創出する。このためのワイドギャップ半導体の基板、デバイス、回路技術に係る基盤研究を総合的に進める。研究人材としては日本の半導体技術を支えてきたシニア世代を積極活用し、同時に頭脳・技術流出を防ぐ防波堤の役割を担うプロジェクトでもある。

② 学術的な意義

本研究は、環境・エネルギー問題を解決するためのグリーンイノベーションを直接実現するものである。現在、日本の全消費電力量の過半数は産業用モータ等の動力系で消費されている。情報機器の消費量は現状では 5%程度であるが、2025 年には現在の 5 倍以上に増加して全電力消費量の 20%を越えるとも予測される。本研究は、産業用（動力系）電力量と情報機器の電力使用量の両者を大幅に削減するもので、学術的な意義とともに産業的な価値も極めて高く、人類が直面する地球温暖化や資源枯渇問題への有力な対策技術となる。

集積回路の超低消費電力化により、自然エネルギーのみで動作する情報システムの実現も可能となる。社会のあらゆるものに情報機器を埋め込みネットワーク化することにより、新たな価値の創出や安全・安心で競争力の高い社会システムの実現が期待される。一方、交流・直流の変換や変圧など電力を効率よく制御する電力系電子デバイスの用途は、環境対応車（ハイブリッド・電気自動車）、産業機器、鉄道、太陽・風力発電システム、送変電装置、白物家電など幅広い。パワーデバイスの超低損失化により、原子力発電所 7-8 基分のエネルギー削減が可能との試算もある。

本計画実施により、Green of Electronic Devices と Green by ED の個々の学術領域を超え、物理、材料、物性、デバイス、回路、システムまで統合した革新的な学際領域が創生されることになり、我が国の学術の発展に大きく寄与する。また地球規模の課題とニーズを的確に把握し、社会・産業界のグリーンイノベーションを先導することが可能となる。すなわち、我が国の国際競争力の強化に直接的につながり、復興・再生への貢献もきわめて大きい。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

集積回路の低消費電力化に代表される情報系省エネは、需要が急増しているスマートフォンなどの携帯情報端末において商品競争力に直結する課題であるため、主に産業界で重点的に取り組まれてきた。しかし直ちに製品に組み込み可能な対処療法的な取組が多い。一方電力系システムの低損失化として、ワイドギャップ半導体のシリコンカーバイドや窒化ガリウムデバイスの研究開発が、米国、欧州、アジアで多くの国家プロジェクトが立ち上がり、企業も予算を投入するなど、極めて活発に推進されている。本計画は、現在のメインストリームである CMOS 集積回路の低消費電力化を対象とし、それを上位階層としてチップ内、チップ間、ボード間、装置間などの近距離相互接続に光通信を用いる光インターコネクション技術、さらにセンサ、無線を加味して革新的低消費電力化を図る情報系省エネ技術（図2左、右上）と、大口径ワイドバンドギャップ半導体基板、ナイトライド系、酸化物系、炭素系物質の長所を抽出し、相補的に融合した低損失パワーデバイスおよびインテリジェントインバータ回路等を開発する電力系省エネ技術（図2右下）を立ち上げる 2 つの動きの統合である。構築には日本の半導体技術を担った人的資産を活用し、技術の海外流出を避ける。

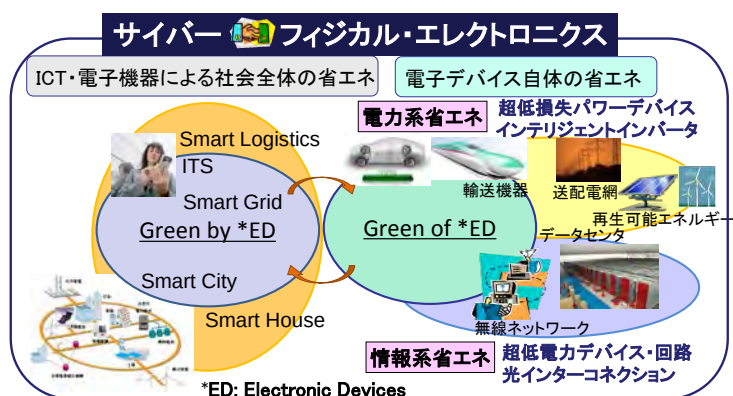


図1 サイバー・フィジカル・エレクトロニクスの概念

④ 所要経費

総額 365 億円（10 年間）。

(1) シニア研究者・技術者人件費 70 億円
(700 万円×100 人×10 年)。

(2) グリーン半導体プラットフォーム構築経費 90 億円
各拠点における研究設備費：50 億円（新規導入：システム性能評価システム、パワーデバイス基板製造設備など）。
拠点研究環境構築費：40 億円（各拠点施設の改修整備）。

(3) グリーン半導体プラットフォーム運営経費 205 億円
統合的試作拠点：200 億円（2.5 億円/年×8 拠点×10 年）
運営事務局：5 億円（0.5 億円/年×10 年）。

⑤ 年次計画

(1-3 年次)

「情報系省エネ」革新的低消費エネルギーCMOS 回路を実

現するための要素技術開発、低消費エネルギー要素回路（ロジック、メモリー、IO）の開発、電源・基板電圧調整回路の開発、性能モニタ回路の開発。革新的光インターコネクション、プラズモニク光導波路、マルチコア光ファイバ、フューモード光ファイバ、フォトリソ結晶ファイバ、フォトリソバンドギャップファイバなど、光配線のための基礎学理確立。

「電力系省エネ」物質相補的低損失パワーデバイス、各種ワイドギャップ半導体の長所を抽出、ハイブリッド化の可能性と課題、パワーデバイス試作。

(4-6 年次)

「情報系省エネ」エネルギー制御アルゴリズムと自然エネルギー採取技術の開発、リアルタイムOS によるエネルギー管理技術開発、多様な自然エネルギーの分散協調利用技術開発、低電力、超高速、超高密度集積が可能な光インターコネクション用光導波路基板技術、光配線との高効率接続技術の開発。

「電力系省エネ」物質の組み合わせ、物質相補的機能の先鋭化、パワーデバイスとして物質ハイブリッド化。

(7-10 年次)

「情報系省エネと電力系省エネの統合」時間的かつ空間的な超細粒度エネルギー制御技術による集積回路の低消費電力化技術の完成、光電子ハイブリッド集積回路のプロトタイプを実現、物質相補的低損失パワーデバイスの試作。

開発した低消費電力化技術の改善とともに、再生可能エネルギーの効率の採取・貯蔵システムとの効率の連携。再生可能エネルギーのみで動作可能な情報システムの構成技術を示す。また、開発技術で大規模システムのエネルギー管理技術に展開。

⑥ 主な実施機関と実行組織

「情報系省エネ技術」

京都大学(全体取りまとめ)、東京大学(テスト回路設計支援とディジタル回路のロジック部を主に担当)、東京工業大学(主にRF回路を担当)、神戸大学(主にメモリ回路を担当)、大阪大学(超低電圧回路設計技術を担当)など。

光インターコネクション技術は、北海道大学(光配線設計)、東京大学(光電子ハイブリッド集積回路)、横浜国立大学(シリコンナノフォトニクス)、京都大学(フォトリソ結晶導波路)、産業技術総合研究所、情報通信研究機構、関連企業の研究所などで、オールジャパン体制を構築する。

「電力系省エネ技術」

名古屋大学(GaN デバイス取り纏め、SiC 液相バルク成長)、京都大学(SiC デバイス、酸化ガリウム)、大阪大学(GaN 液相バルク育成、GaN・SiC 加工)、東京工業大学(パワーデバイスシステム、SiC・ダイヤモンドパワーデバイス)、早稲田大学(ダイヤモンドパワートランジスタ)、産業技術総合研究所(GaN デバイス、SiC デバイス、ダイヤモンドデバイス)、物質材料研究機構(ダイヤモンド成長)、関連企業の研究所や事業部などで、オールジャパン体制を構築する。

⑦ 社会的価値

本計画は、全世界的な人類共通の課題である「環境・エネルギー問題」に直接答えるものである。社会・産業界のグリーンイノベーションを先導することが可能となり、我が国の国際競争力の強化に直接的に大きく貢献する。また、情報システムの高度化やユビキタス環境の実現により、物理世界とサイバー世界の高度な融合を可能とし、新たな価値の創造や既存産業の競争力強化、ビッグデータ活用による付加価値創出や社会コストの削減などを可能にする。現在、LSI はマルチコア化によって高速化が図られているが、チップは大型化し、電気配線の消費電力や信号速度の問題が顕在化しつつある。光配線は、消費電力を電気配線の10分の1程度にまで削減でき、電気配線を上回る伝送速度が期待できることから、適切な広報活動を通して、広く国民の理解を得ることは可能である。電力を効率よく制御するパワーデバイスの用途は、ハイブリッド・電気自動車、産業機器、鉄道、太陽・風力発電システム、送変電装置、白物家電など幅広いが、国民にその使用状況を公開する必要がある。

⑧ 本計画に関する連絡先

波多野 睦子（東京工業大学理工学研究科電子物理工学専攻） hatano.m.ab@m.titech.a.jp

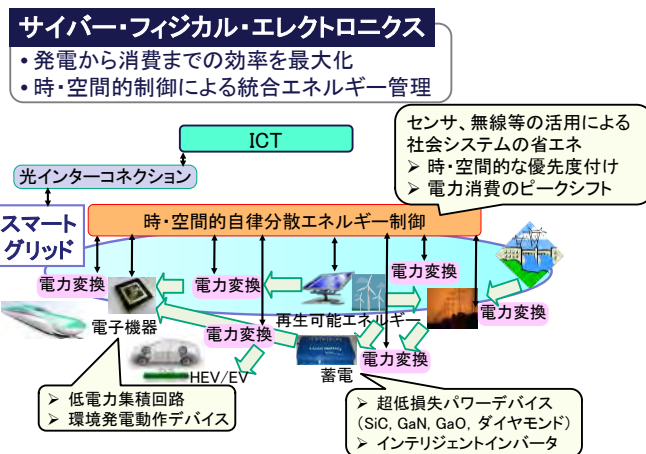


図2 サイバー・フィジカル・エレクトロニクスの構成

クライシスに強い社会・生活空間創成の情報通信基盤

① 計画の概要

東日本大震災は極めて不幸で甚大な災害であった。物理的にも精神的にも大きな傷跡を残している。絆、安心・安全などが改めて強調されるなど、日本人の価値観に変化をもたらし、目指すべき未来の社会に対し大きな影響を与えている。

大震災からの復旧・復興に関連して安全で安心な社会を構築すべく、様々な研究開発や強靱化計画が立案されているが、それら計画の多くは既存の社会基盤やハードウェアの再構築に偏っており既存システムからの脱却を図る考え方はなされていない。一方、高度な情報通信技術によって、あらゆる情報機器やセンサがネットワークへ接続され、情報がデジタル化されて流通し、いつでも、誰もが、どこからでもアクセスすることが可能となった。この結果、情報空間 (Cyber-space) と実世界 (Physical-world) が連携、あるいは統合したサイバーフィジカル融合社会 (Cyber-Physical Integrated Society) が形成されつつある。この融合社会は、実世界の現況や人と社会の活動を情報世界に映し出し、情報通信技術の力によって、人類が直面する環境・エネルギー、医療・健康、食糧問題などの対策や、大事故や社会危機などいわゆるクライシスと呼ばれる事象に対し強い社会・生活空間を構築することが期待される。

本研究開発は、災害に学ぶ重要な社会・生活データの収集・保管・共有・復元手法、災害時の情報による避難・退避行動を強制する人間行動制御方法、緊急時に様々な情報にアクセスしそれを駆使できる仕組みや障害のレベルに応じた機能・サービス復元手法、物的資源と情報資源の連携を促す地域コミュニティ生成・管理手法、現実の社会・生活空間を情報空間として構築し、現実社会でのクライシスを分析・評価する手法、産業界と学生を中心とする大学参加形の共同開発や実証実験を通じた人材育成方法について実証する。

② 学術的な意義

本研究の学術的意義は、大学や官公庁の研究所と産業界の連携により、クライシスに強い社会・生活空間を創成するための情報通信技術開発、ならびに大学と産業界との協力で人材育成を行い、将来の新規産業に結びつける科学技術開発と社会・産学連携によるクライシスに強い社会・生活空間を創成することにある。

日本の社会は少子高齢化や環境問題に世界に先駆けて直面したため、これらに対処する技術や仕組みなどを先進的に生み出し、産業としても競争力のあるものが育った。また、石油危機・食糧問題・金融危機・経済危機そして大災害など今まで多くの危機を乗り越えてきたが、東日本大震災を契機に、クライシスに強い社会・生活空間の構築の必要性が改めて強くクローズアップされている。そのため、環境問題や少子高齢化に対処する技術に加えて、新たな国際競争力のある技術が生まれる可能性が極めて高い。

本研究は、震災に何を学び、何が重要かを明確にしたうえで、既存のインフラにとらわれずに、情報通信技術・システム・サービスの側面から研究し、その後に既存の社会基盤との融合・共存・移行などの検討をする。情報通信技術・システム・サービスのアイデアやアルゴリズムの検証は、国立情報学研究所の運営する学術情報ネットワーク (SINET)、学術認証連携基盤 (学認)、学術クラウド環境など共同利用の設備を活用し、多くの大学と産業界の連携・協力を得てネットワーク形の産学共同研究を実施する。これによりレジリエンスやビッグデータの技術者の人材育成と、その後の社会実装への展開が期待できる。

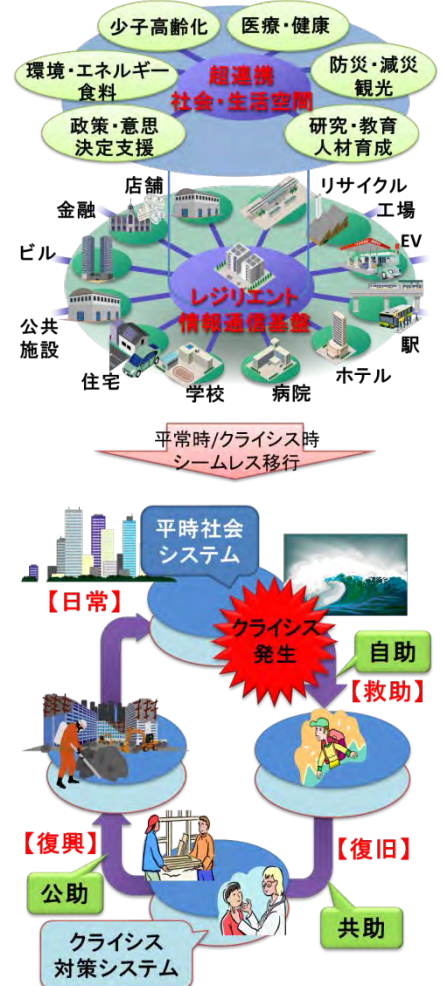
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

環境・エネルギー、食糧問題、自然災害など、人類が直面する地球規模の課題解決には、情報・データにもとづく手法のパラダイムシフトが不可欠である。NSF、ACM、IEEE などに、学界の中心的研究動向を見ることができる。高度な情報システム技術は、科学的方法論にも変革をもたらした。インターネットの普及によって、ネットワークを介して収集される大規模で複雑なビッグデータに基づく実証的な研究手法であるデータ中心科学に科学技術のパラダイムはシフトしている。さらに、防災・減災やクライシスに強い社会・生活空間創成には、科学的根拠データに基づく政策科学手法を確立する必要がある。このビッグデータ駆動による合理的防災・減災政策科学は、現在、世界の最先端の科学技術の研究開発の中心的研究動向である。

④ 所要経費

所要経費 140 億の内訳は以下のとおり。

- ・災害に学ぶ重要なデータの収集・分析・管理・共有基盤 (10 億)
- ・災害時の人間心理・行動が及ぼす影響のデータ収集・分析・管理・共有基盤 (20 億)



- ・緊急時に様々な情報にアクセスできる仕組みや障害のレベルに応じた情報基盤の機能・サービス復元技術基盤（20億）
- ・電気・水道・ガス・交通など物的資源と情報資源の連携による地域コミュニティ生成・管理基盤（20億）
- ・現実の社会・生活空間をクラウド上の情報空間として構築し、現実社会でのクライシスを情報空間で分析・評価するシミュレーション基盤（30億）
- ・産学連携による共同研究開発、実証、社会実装を通して、人材育成を行うネットワーク形のオープン・イノベーション人材育成拠点「イノベーション・プレイグラウンド」の形成（30億）
- ・大学キャンパスと地域コミュニティが連携した地域のレジリエントエンジニアリング及びビッグデータ駆動情報サービス開発人材育成拠点形成（10億）

⑤ 年次計画

平成25～27年度：災害に学ぶ重要なデータの収集・分析・管理・共有基盤の検討

- ・クライシスに強い社会・生活空間の国際社会・産学連携共同研究拠点形成
- ・災害時における人間心理・行動が及ぼす影響の人間・社会データ収集・分析・管理・共有基盤

平成28～30年度：緊急時に様々な情報にアクセスできる仕組みや障害のレベルに応じた機能・サービス復元方法

- ・電気・水道・ガス・交通など物的資源と情報資源の連携による地域コミュニティ生成・管理基盤
- ・現実社会でのクライシスを情報空間で分析・評価するシミュレーション基盤
- ・産学連携による研究開発、実証、社会実装を通じたネットワーク形のオープン・イノベーション人材育成拠点「イノベーション・プレイグラウンド」形成
- ・大学キャンパスと地域コミュニティが連携した地域のレジリエントシステムエンジニアリング及びビッグデータエンジニアリング人材育成拠点形成

⑥ 主な実施機関と実行組織

本研究開発は、被災地の大学、地方公共団体、担当官庁と連携し、災害・防災・減災関連データの収集・保管・分析を可能とする体制とする。

○主な実施機関

情報・システム研究機構 新領域融合研究センター及びデータ中心科学リサーチコモンズプロジェクト、国立情報学研究所、統計数理研究所、東北大学、東京大学、東京電機大学、早稲田大学、京都大学、大阪大学、九州大学など。

（役割）

クライシスに強い社会・生活空間の創成基盤を実現する。災害・緊急時の人間行動を情報社会学的に分析し、得られた知見をモバイルやWeb/SNSなど情報通信技術・システム・サービスの研究開発に取り込み、実証実験を通して社会実装する。さらに、法制度や政策科学面からの検証を併せて実施する。

○連携・協力機関（官公庁）

被災地の地方自治体（仙台市、遠野市、大船渡市、大崎市、陸前高田市、南相馬市、女川町など）、防災・減災政策主体の地方自治体（高知県、山梨県、仙台市、大崎市、京都市、広島市、福岡市など）ならびに担当官庁（消防庁、自衛隊、防災情報センター、救急医療センターなど）。

（役割）

社会実装するための実証実験

○連携・協力機関（産業界）

NTT 研究所、NTT ドコモモバイル社会研究所、KDDI 総研、ソフトバンク、トヨタ IT 開発センター、日立製作所、富士通など情報通信産業界

（役割）

国立情報学研究所の運営する学術情報ネットワーク（SINET）、学術認証連携基盤（学認）、学術クラウド環境など共同利用設備を活用し、情報通信技術・システム・サービスの実践的検証など産学共同研究を実施する。

⑦ 社会的価値

米国のオバマ政権は、「Big Data Research and Development Initiative」を2012年3月に立ち上げ、膨大かつ複雑なデジタルデータ群から知識や見識を抽出する能力を強化することで、米国が抱える重要課題を解決するとともに、情報通信技術・システム・サービス産業分野で引き続き世界をリードすることを狙っている。このような背景から、我が国でも、米国にビッグデータ市場を独占されないために、震災を契機にビッグデータを利活用できるような社会システムに変革する必要があり、本研究開発はその中核的活動となりえる。特に、スマートフォンのライフログなどビッグデータを適用し、ビッグデータ駆動の防災・減災情報サービスなど次世代の災害に強い情報社会基盤に関して国際イニシアティブを取ることで、日本形社会システムのパッケージ形輸出の国際競争力を高めることができる。さらに、災害時に重要な情報を提供するモバイル機器を利用した防災・減災情報システム・サービスの実現は、日本の特徴を生かした取り組みとして経済的・産業的価値が極めて高い。

⑧ 本計画に関する連絡先

吉田 進（電子情報通信学会） syoshida@m.ieice.org

電磁波の科学的利用と商業的利用の共存・共栄

① 計画の概要

本計画の最終目的は、タイトル通り、電磁波の科学的利用と商業的利用の共存・共栄を実現することにある。本計画の目標は、電波天文や地球観測衛星などの科学的利用・無線通信や無線電力伝送などの商業的利用を含む様々な電磁波利用に関し、運用状況を模した実験環境を構築して、利用者間の共存の条件を科学的に導き出すことにある。具体的には、与干渉側・被干渉側の無線装置もしくは同等の機能を実現する測定装置を使用して、干渉実験を行い、被干渉側の影響を定量的に計測・評価する方法について研究を行うものである。

実験環境に必要な施設としては、外部からの電磁波の到来を遮断し内部における電磁波の反射・散乱を抑圧する超大型の電波暗室（電波無響室）、無線機の向きを自由に定められる回転台、実験環境における空間伝搬を模擬するためのコンパクトレンジや電波反射箱、空間フェージングエミュレータ、電磁波の質を測定するデジタルシグナルアナライザやスペクトラムアナライザといった各種高周波測定装置及び標準アンテナ、科学的利用に資する受動無線装置に使用されているものと同等の超高感度なセンサなどから構成される。施設は基本的に共同利用とし、政府機関もしくは国立研究所のような公共性の高い組織が運営管理を行うことを想定している。

② 学術的な意義

現在、電磁波の利用は、国連機関である国際電気通信連合(ITU)により国際調整が図られ、周波数帯域毎に細分化された用途への割り当てがなされている。一方、国際無線障害特別委員会(CISPR)は一般の電子機器から放射される電磁雑音に関する国際調整を担っている。両者の連携は謳われているものの、それぞれの観点が異なるために、必ずしも相互の規格の間に整合性があるとは言いがたい。現在、多様なワイヤレス通信に加えて無線電力伝送などの新しい商業的利用法が次々と産まれており、周波数の逼迫が大きな問題となっている。ITU や CISPR の中では、法規制あるいは勧告の形で共存の仕組みを提示しているが、アナログ通信の時代から手を付けられていないものも多く、特に商業利用においては、先行する利用者にとすると過剰な保護の権利が付されていると言わざるを得ない。一方、受動的な観測である科学的利用については、検出すべき対象となる電磁波の強度が非常に弱いため、強固な保護が必要である。これまでの共存のメカニズムは異なる用途の電磁波利用を敵対的に捉え、利害の調整という観点からの約束事として共存のメカニズムを議論してきた。しかしながら、このようなメカニズムでは、不必要なマージンの増加や過剰な機器使用、もしくは不十分な保護などが、必ずしも科学的根拠が十分でない中で行われていると言わざるを得ない。本計画では、より科学的・客観的に電磁波利用の共存を図るためのプラットフォームを構築し、実験実証と確率的モデルに基づいた科学的指標を通じ、有限な資源である電磁波の一層の有効活用を通じた社会的福祉の増進と科学技術の進歩への貢献を図るものである。

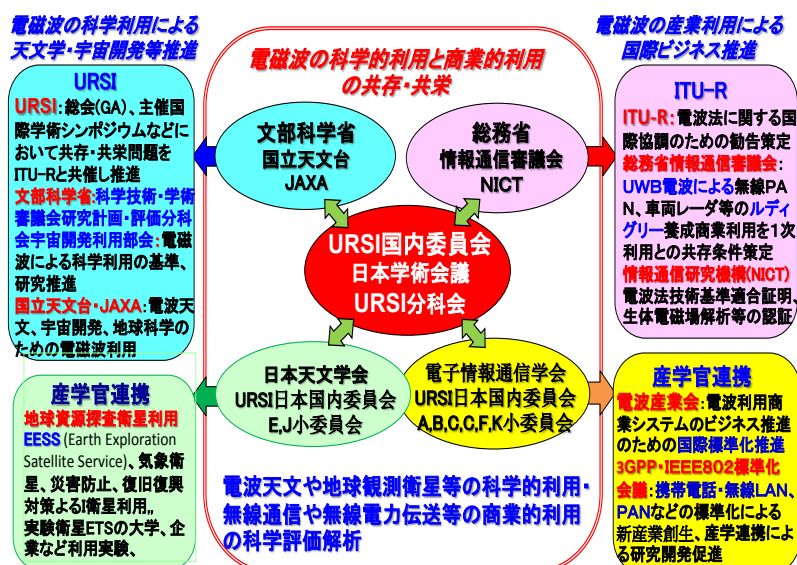
③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

これまでの電磁波利用の共存に関する議論は、国際的にはITU や CISPR、国内的には総務省あるいは経済産業省が、対立する利害の調整のため行なってきた。そこでの議論は、定量的とはいえ、保守的に積み上げられたマージンの和で表されているため、電磁波のより高度・高効率な利用に関する研究開発を阻害している側面がある。また利害の対立が、このような共存について客観的・科学的な議論を行うことを阻んでいるとも言える。

本計画は、科学利用・商用利用・計測・両立性・伝搬など異なる立場から電磁波に関わる研究者の集まりである、日本学術会議第3部電気電子工学委員会国際電波科学連合(URSI)分科会が中心となって進めるものであり、公正で科学的・客観的な議論を通じた共存条件の導出を実証的に進めることを目指している。特に本計画で検討している実験施設は世界的に例のないものであり、本計画が成功すれば、国内の学術機関及び企業の利益だけでなく、電波利用の促進による国民の福祉にも直接貢献する。さらに、海外の政府機関・企業の利用も積極的に受け入れることによって、我が国の電波科学に対する認識度を一層高めることも期待される。

④ 所要経費

電波暗室（電波無響室）（レンジ 20m 以上・5 面及び 6 面） 4 億円
コンパクトレンジ 1 億円
マルチポートフェージングシミュレータ 4 億円
汎用計測器（デジタルオシロスコープ、スペクトラムアナライザ、デジタルシグナル



アナライザ、標準利得ホーンアンテナ)	2 億円
電波反射箱 (リバーブレーションチャンバ)	1 億円
科学用途用高感度センサ	2 億円
人件費	3 億円 (10 年間)
消耗品費 (ケーブル、計測器校正等)	1 億円 (10 年間)

⑤ 年次計画

平成 25 年度 共存を評価するための機能・商業的利用に関連した基本仕様の策定、科学的利用に関連した共存評価法に関する検討

平成 26 年度 商業的利用に関連した設備の構築及び具体的評価手順に関する検討、科学的利用に関連した基本仕様の策定

平成 27 年度 商業的利用に関する試行的な運用試験 (過去に共存条件に関して大きな議論があったシステム間)、科学的利用に関連した設備の構築及び具体的評価手順に関する検討

平成 28 年度 商業的利用に関する本格的な運用 (総務省情報通信審議会情報通信技術分科会における技術的条件検討への応用を含む)、科学的利用に関する試行的な運用試験 (過去に共存条件に関して大きな議論があったシステム間)

平成 29 年度 商業的利用・科学的利用を統合した本格的な運用

平成 30～34 年度 運用を通じた共存評価法の継続的な見直しと体系化、設備の維持管理と更新

⑥ 主な実施機関と実行組織

現在まだ企画段階であり、実施機関については特定できないが、設備自体を保有、もしくは管理する機関としては、政府機関 (独立行政法人を含む)、政府関連の非営利機関 (一般財団法人を含む)、もしくは電磁波利用に関して中立的な企業である必要がある。これらの機関の例としては (独法) 情報通信研究機構 (NICT)、(一財) テレコムエンジニアリングセンター (TELEC)、(株) 国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) などが考えられる。これら複数の機関によるアライアンスが URSI 分科会や研究機関で構成される運営委員会の下に管理運営する可能性もある。

一方、共存条件に関する研究は、大学のほか、国立研究機関、民間企業など、異なる立場の研究者からなるグループで議論する必要がある。現時点で中心的な役割を担うのは URSI 分科会と考えられる。参加機関としては横浜国立大学を代表とし、宇宙航空研究開発機構、京都大学、国立天文台、首都大学東京、情報通信研究機構、中央大学、電気通信大学、東京大学、東京工業大学、東京電機大学、東京理科大学、明治大学などの参加を見込んでいる。

⑦ 社会的価値

前述した通り、電磁波の商業的利用は、絶え間ない新用途の開発によって、周波数資源の枯渇をもたらしている。しかしながら、実情を鑑みると、共用条件の検討にあたっては、前時代的なアナログ通信を前提とした、すでに科学的根拠を失った規範が生き長らえており、周波数資源の真の有効活用を妨げているのが現状である。本計画で実現する装置により、これまでアドホックに行われて

きた総務省情報通信審議会情報技術分科会での審議や技術試験事務による調査検討を、常設の施設・体制で迅速に検討することができるため、電波利用の一層の促進を通じた産業の振興及び国民の福祉への貢献が期待できる。これまで、共用条件の検討に当たっては、米国や欧州の議論に遅れを取ることが多かったが、本計画の実現により、これらの国に先駆けた電磁波利用の効率化・高度化が推進されることも期待される。



⑧ 本計画に関する連絡先

高田 潤一 (東京工業大学) takada@ide.titech.ac.jp

巨大建設物を支える構造要素の破壊現象解明と脆弱性評価に必要な世界最大容量の3方向加力実験施設

① 計画の概要

超高層建築など巨大な建設物が増え続けており、それらの重力を支える構造部材は、激烈な地震では、これまでの実験施設で再現できないほど膨大な鉛直力と水平力を受ける。構造部材が高耐力で大型になるほど、設計時に想定したものと大きく異なる応力集中が生じ、構造部材の破壊ひいては巨大建設物の崩壊という大惨事に至る恐れがある。革新的な構造部材・材料が日本で開発・適用されているが、それらを実証する強力な加力装置が世界でも未だ無い。大実験を日本でなく米国で行うケースも増えている。以上より目的は、世界的に比類ない加力実験装置（図1）を日本に構築することにより、巨大建設物の主要な構造部材・材料の大地震時の破壊現象を解明し、それらの脆弱性を把握することである。実用されているが実大実験データの無い多くの高耐力部材を考慮し、鉛直力 10,000 トン、2 方向水平力（各 2,000 トン）の载荷能力とする。実務に先行された高耐力大型部材の破壊の学問が、本計画により飛躍的に進むと思われる。

東海・南海地震に備え、東工大を中心に東大、首都大、横国大、名大、阪大などが連携する。

本施設は不可能だった規模の破壊実験を可能にするため、建築・土木の重要な実験が殺到すると思われる。また、防災科学技術研究所 E-ディフェンスの世界最大の震動台のように世界の注目を浴び、多くの国際共同研究をもたらすと思われるが、両施設の機能は重複せず、建設費は、600 億円と言われる E-ディフェンスの約 8% である。本施設は、全国共同利用拠点として共同利用研究を 17 年間実施してきた東工大応用セラミックス研究所の建築物理研究センター（SERC）に設置する。SERC は、過去と同様に建築構造・材料でトップレベルの研究を続け、COE、GCOE であった都市地震工学センターの実績に基づき、上記共同研究と併せて災害時の拠点としての整備も行っていく。

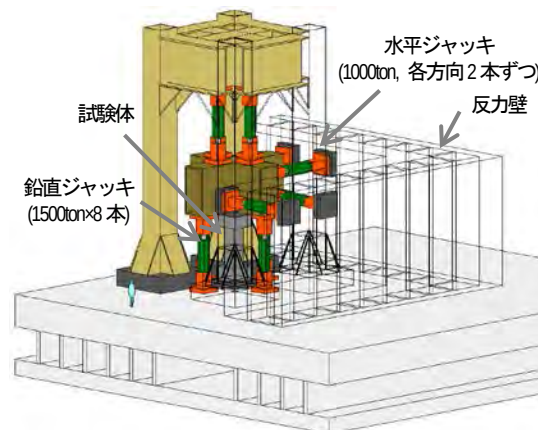


図1 世界最大容量三方向加力施設

② 学術的な意義

地震などの外乱に対して安全な構造物を実現するためには、理論的な研究のみならず、実験による検証が重要である。引張強さの高い超高張力鋼の開発および溶接技術の普及によって構造物が大型化すると、亀裂などの欠陥の確率が高くなり、脆性破壊の危険性も飛躍的に高くなる。超高層建築に使用されるような大断面の部材に大きな力を均質に伝達させることは難しく、局所的な破壊が部材耐力を決定づけるため、材料力学に基づいた耐力が発揮できない、いわゆる寸法効果が生じる。

しかし、载荷能力の限界により、縮小試験体の実験結果にスケール効果が曖昧なまま工学的判断を盛り込み、構造規定を設けているのが現状である。阪神淡路大震災での高層住宅の厚肉鉄骨柱の脆性破壊後も十分な検証がなく、大型部材を使用した高層建築が建て続けられている。それを支える杭や基礎の地震被害も多かったが、実大規模での実験検証はされていない。

構造物の大規模化により、実大規模での性能確認は緊急かつ必要不可欠な課題である。特に、地震時に作用する応力状態・変形状態を再現する高軸力下で二方向水平力を加える実験が必須である。その中には、免震構造支承材のように、大地震時に水平二方向に大きく変形しながら高軸力を支えるものもある。

このように、地震時の大規模かつ複雑な応力条件を再現した実験による大型部材の安全性の検証は、本申請施設によりはじめて可能となる。本施設の導入により、これまで実現できなかった実大規模での実験で真の挙動把握を行うことで、安全安心な構造物、ひいては安全安心な社会の実現に大きく貢献できることは、疑う余地がない。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内最大規模で鹿島建設：鉛直力 4,000 トン、竹中工務店：同 3,000 トンの水平 1 軸载荷装置がある。海外では UC サンディエゴの鉛直力 5,300 トンの水平 2 軸载荷装置があるが、免震支承の高さの試験体しか実験できない。本実験施設は鉛直 10,000 トンで水平 2 軸の载荷を実現するものであり、世界最大規模の破壊実験ができる。

現有する実験装置の能力不足により各種構造別に以下の現状がみられる。鉄骨造建物の柱として多用される冷間成形角形鋼管や超高層建築に使われる厚肉鋼板は溶接部における脆性破壊が問題になることが多いが、1/2 スケール以下での縮小断面での実験しか行われていない。一方、準脆性材料であるコンクリートを使った鉄筋コンクリート部材は、非線形性が高いため通常は実験によってのみ寸法則が確認できる。これまでも、縮小モデルと実大部材で破壊モードが異なる事が確認されているが、1/2 スケール以下の縮小試験体が用いられている。また、免震支承においても同様に縮小試験体の実験を行っている。このようにどの構造においても実大寸法の実験が不可能なため、安全性に不安を抱えたまま設計が行われている。

④ 所要経費

予算総額は 47.515 億円（直接：36.55 億円、間接：10.965 億円）である。直接経費に関して、建物設備 33.6 億円（10,000 トン容量の部材実大実験反力床と壁を有する実験室 19 億円、近隣への防音および防振対策 1 億円、载荷ジャッキと油圧ポンプ 5.8 億円、ジャッキ支持鉄骨フレーム 7.8 億円）、人件費 1.5 億円（特任助教 2 名、技術職員 1 名）、運営費 1.45 億円（機器

維持管理費1千万、光熱費2百万円、旅費1百万円、消耗品1.5百万円)である。

中核をなすのは、軸力10,000トン、水平2軸2,000トンに耐えられる容量の反力システムである。反力床・反力壁は、最も効率よく外力に耐えられるようにコンクリート製ボックス構造を全て地上部分に設置し、土工事を最低限に抑えて大幅な経費削減を可能とした。また、載荷装置は200MPa仕様の2,000トンジャッキを試験体の直上に設置することで、経済的な載荷システムを実現した。以上の設備を10年間に渡り維持管理する人員を3名配置した。また、設備の維持管理費、光熱費などセンター運営に必要な不可欠な運営費を全体の4%程度と見込んだ。

⑤ 年次計画

新設する載荷装置を用いて、これまでは推測の域を出なかった実部材の耐震性能を、実大モデルを用いて確認する。主な対象部材は、免震デバイス、S造柱、鋼管杭、RC造柱、RC造壁、RC造杭、RC造杭頭接合部などである。これらの部材は、耐力と変形性能が建物の地震時挙動に直接影響を与え、構造物の中でも重要度が高い。3～4年目には国内研究機関との、5～6年目に海外研究施設との共同研究課題を具体化させる。各年度の前後に、実験の準備と実験結果の分析も行う。

1～2年目：効率的・実践的な施設設計となるよう実験施設の建築計画策定と、施設および載荷装置を建設する。

3～4年目：実験設備の校正を兼ね、施設の最大載荷能力を使う実験を行う。95年阪神大震災で破断した高層鉄骨系建築物柱および首都圏に存在する既存コンクリート系高層建築物低層柱の高軸力2軸曲げせん断実験を行う。

5～6年目：日本で使用頻度が高い免震建物を支える実大の積層ゴムとCFT柱の高軸力2軸曲げ実験、2010年チリ地震や2011年NZ地震で問題となったRC造耐力壁の曲げ破壊を、耐力壁実大モデルを用いて再現する。

7～8年目：免震構造用スライダー支承と引張軸力および2軸曲げを受ける鉄骨接合部の実大実験を行う。また、実大実験がほぼ不可能と考えられてきた杭の実大曲げせん断実験を行い、太径鉄筋の付着が杭の曲げせん断性状に与える影響を解明する。

9～10年目：免震構造用すべり支承と高圧縮力および2軸曲げを受ける鉄骨接合部の実大実験を行う。RC系部材の壁や柱については、高強度材料を用いた部材の実験を行う。

⑥ 主な実施機関と実行組織

南海・東南海トラフ地震で大きな被害を受けるとされる地域の中核大学と東工大を実施機関とし、大手ゼネコン研究所や政府系研究所、海外研究機関を含めた産官学国際共同研究体制を実験研究課題の策定に関わる実行組織とする(図2)。

実施機関は、6大学の共同体である。東工大は、施設運営と実験研究取纏めを行う。また、免震・制振デバイスの終局時挙動を検証する。東京大学・首都大学東京は、首都圏におけるRC系高層建築物の耐震性能評価と、早期復旧に結びつく損傷制御型耐震設計法の提案を行う。特に、柱・耐震壁・接合部など、構造物の最も重要な部位における基礎的な耐震性能評価を設計法に生かすための基礎的研究を推進する。名古屋大学では、東海圏における産業保護と、大都市圏で重要となる事業継続計画に関する基礎データを作成する。早期復旧が可能な構造システムの提案と検証作業を行う。大阪大学・横浜国立大学では、超高層建築に使われる大型部材の高軸力下での2軸曲げ実験や、厚肉部材を使用した接合部の複合載荷実験および実験結果に基づく大規模構造物の安全性検証を担当する。

実行組織は、実施機関に加えて、大手ゼネコン研究所、(独)建築研究所・(独)土木研究所、学術協会・評価機関、海外の研究機関を含めて構成する。実務で検証されておらず課題で、この実験施設で検証すべき研究課題を提案する。また、日本国内外における構造関係の問題点を集約し、特に大型実験による検証が必要と思われる課題を提案する。基礎・杭など、これまではほとんど小型実験しか行われてこなかった地下構造部材については、別途WGを構成して問題点の洗い出しを行う。柱・耐震壁・接合部・基礎などの主要構造物のほか、免震部材やダンパーに関しても、想定外の外力に対する終局時挙動を実大モデルで検証する。また、本施設で得られた研究成果を、早期に学会指針や規基準に反映させるための仕組みを構築する。

⑦ 社会的価値

東日本大震災だけでなく、首都圏直下地震や東海・東南海地震などの可能性に対する指摘が頻繁になされ、国民全体が地震に対する備えの必要性を強く認識している。その一方で、都市を構成する高層建築は、性能検証のために必要な実大規模での実験検証なしに、縮小モデルによる知見の演繹により建てられている。

本施設は超高層建築物や免震構造物が、かつてない大地震にさらされた場合の安全性を世界で初めて検証するものである。学術的価値が極めて高い実験データが得られ、これまでの解析技術や評価基準を見直すことで、学術の推進にも大きく寄与することはもちろんであるが、巨大地震に対しても安全・安心な都市・建物を実現するという、国民の期待に応える成果を得るための施設である。また、ここで行われる研究は、我が国の建設に関わる産業分野での技術革新に繋がるものであるが、得られる成果としての大地震に対して強い都市・建築の実現は、我が国の経済・産業の災害耐性の向上に寄与し、日本の国力向上にも貢献できるものである。

⑧ 本計画に関する連絡先

笠井 和彦(東京工業大学・応用セラミックス研究所) kasai@serc.titech.ac.jp

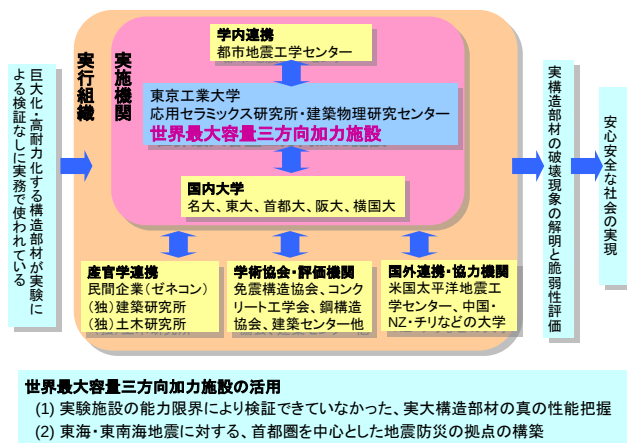


図2 実施体制

災害リスクの統合的な研究の推進

① 計画の概要

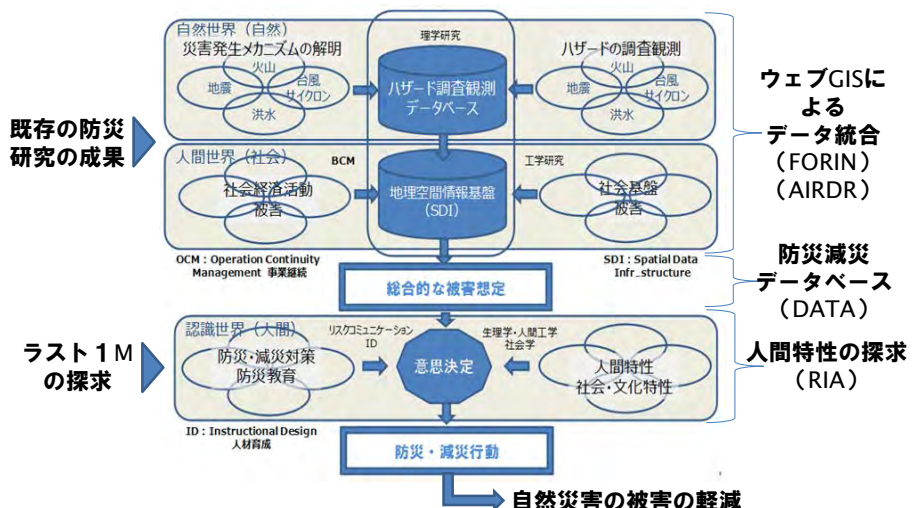
国際プロジェクトである災害リスク統合研究(IRDR)の日本における拠点を形成し、災害原因の学際究明(FORIN)、多様で大容量のデータや情報の統融合、災害リスクに関わる自然・社会・人間の関連性を解明する。本計画を通じて分野間連携(inter-disciplinarity)を図り、海外との連携を通じて IRDR のリーダーシップを取るとともに、国内において科学-社会連携(trans-disciplinarity)を進め、科学知に基づいて健全な意思決定できる社会の構築を目指す。

本計画では、2008 年からの 10 年計画である IRDR に対応するため、自然科学・工学・社会科学の分野横断的な大学・研究機関を総括するネットワーク型の「防災減災研究機構」(仮称)を設置する。ここでは、災害発生メカニズム、社会基盤の破壊及び機能維持性能、社会経済的活動への影響、人間の意思決定を、発災前、発災直後、発災後の各段階において定量的に理解するとともに、各過程の相互関連性を解明する。国内外の大学・研究機関との連携によって、世界で過去に発生した特記すべき災害事例等を対象に災害原因の学際究明を実施すると同時に、臨機に統合的な災害調査を実施できる体制を整え、期間中に発生する災害原因の学際究明を実施する。

事例研究によって、どこにどんな危機があるかを明確化し、その発災及び経過のメカニズムと、それぞれの過程を表現するデータや情報をアーカイブして、地理空間情報を核にして統融合し、情報基盤(ワークベンチ)を構築する。これらの研究成果や情報基盤を多分野の研究者で共有するのみでなく、国の政策や自治体・民間・NPO での実施に生かして科学-社会連携を実現するため、日本国内及び発展途上国を対象として、防災・減災の制度設計の標準(ガイドライン)作成や研究者・実務者・政策決定者に対する能力開発プログラムを作成する。

② 学術的な意義

防災研究の推進にも関わらず、人間由来の活動がハザードの影響を増幅させ、先進国、発展途上国の双方で、災害による被害が依然として増加している。また、巨大な自然災害の結果は水、食料、エネルギーなどの安全保障が損なわれ、健康、生命、生態系の危機に直面している場合もある。さらに、経済・社会活動の国際化は、局所的な危機を世界の持続的な経済発展への脅威としている。この傾向は経済発展と人口増加が著しいアジア地域で特に顕著である。



本研究計画では、自然と人間活動の理解による被害抑止を目指した従来の防災科学に加えて、災害の影響軽減と迅速な立直りの担い手となる個々人の認識世界の行動学的な解明を融合させ、人類の防災リテラシーの向上を共通目標とする。自然科学、社会科学、人文科学、情報科学が連携して災害原因の学際究明の事例研究とデータ統合・解析に取り組み、災害リスクの構造の理解を深め、その定量化を進める。また、実社会及び教育界と連携し、科学知の社会実装のための制度設計や能力開発のプロトタイピングを通して、防災リテラシーの向上方策の有効性を吟味する。さらに、災害リスクに関する包括的で確かな情報を国際的に共有し、各地の社会状況に応じた多様な対応策を整備し、適時で健全な意思決定を支援し、国や地域、分野を越えたセーフティネットを構築する。これらの活動を通して、災害脆弱性を改善し、災害回復性を有する(レジリエントな)社会の構築を目指す。

本研究計画は、災害からの復旧・復興を推進・支援するため人間の認識世界まで対象を広げて科学的知見を集積し、科学的意意思決定と体系的な災害・防災教育を社会に提供し、災害リスクを事前に低減させる予防科学としての防災科学との総合により、レジリエントな社会づくりに貢献する。分野間連携に加え、科学と社会の協働を促進できる人材・情報・技術の基盤を構築して、持続可能な開発の駆動力となる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国際科学会議(ICSU)が、国際社会科学会議(ISSC)、国連防災戦略(UN/ISDR)と共同で2008年に開始したIRDRは世界的な連携のもと研究活動が推進され、北京にInternational Program Office、台北にInternational Center of Excellenceが設置されている。また、テーマ毎にイギリス、カナダ、スウェーデン、ニュージーランド等各国政府からの支援により研究が推進されている。

IRDR の主要研究分野は災害原因究明 (FORIN) 、リスク解釈と行動 (RIA) 、災害被害データ (DATA) 、IRDR 評価 (AIRDR) である。我が国は世界初の国内委員会を設立し、現在東日本大震災等を題材とした FORIN や RIA に注力するとともに、長年継続している災害被害データ研究においても貢献し、今後とも災害リスク低減のために幅広い分野での貢献が求められている。「地球環境情報統融合プログラム」や「コミュニティがつなぐ安全・安心な都市・地域の創造」、世界銀行と日本政府による「大規模災害からの教訓」等と連携して統合的に災害リスク軽減の研究を推進していく。

④ 所要経費

- 1) 国内6機関 (項目9参照) が国内外の大学・研究機関、行政機関と国際プログラムと連携したネットワーク型研究組織「防災減災研究機構」を設立し、分野間連携と科学-社会連携を推進する：6億円/年
- 2) 災害データやリスク情報のアーカイブと共有の推進：1億円/年
- 3) 災害原因の学際究明研究の推進：1億円/年
- 4) リスク解釈と行動に関する研究の推進：1億円/年
- 5) 災害発生時の即時的な調査研究：1億円/年

⑤ 年次計画

2014 年度～2023 年度の 10 年間

2014 年度：前半は全般的計画推進体制の構築、後半は研究・活動の試運転

2015～2017 年度：国内及びアジアに重点をおいた研究活動、2015 年度には「防災・減災に関わる世界科学会議」を共催

2018～2020 年度：国内・アジアの活動に重点をおきつつ、世界への拡大を図る

2021～2022 年度：国内・アジアに重点をおいた世界防災・減災研究ネットワークを確立し、定常的な研究活動を実施する

2023 年度：まとめと Phase II への提案

⑥ 主な実施機関と実行組織

「防災減災研究機構」は、国内の大学・研究機関を中心とし、IRDR を通じて海外組織とも連携するネットワーク型の研究組織とする。防災・減災の実践や社会連携を進めるために、従来の共同利用・共同研究拠点や科研費による研究組織と異なり、政府機関・地方自治体・民間などの防災・減災実務機関までネットワークを広げる。

東京大学地震研究所は、地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点として地震・火山噴火予知研究協議会を通じ、全国の大学・研究機関と連携して地震・火山噴火ハザードの研究を実施する。京都大学防災研究所は、自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点として、災害発生メカニズムの解明、防災・減災技術の研究開発、自然災害研究協議会の運営を通して、全国及び海外の大学・研究機関と連携して、総合的な防災研究や突発災害発生時の現地情報の収集や調査団の派遣などを行う。東北大学災害国際研究所は、災害理学、リスク、人間・社会対応、地域・都市再生、災害医学などの学際研究ならびに地方自治体との連携による「実践的防災学」を実施する。

防災科学技術研究所は、社会防災システム研究領域において災害リスクの研究や IT 技術による情報共有に関する研究を実施する。土木研究所の水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM) は、世界の水関連災害を防止・軽減するため、各地域の実態をふまえた的確な戦略を提供し、実践を支援する拠点としての役割を果たす。各国と協力し、総合的リスクマネジメント (回避、縮小、転嫁、受容を含む) の観点から社会、経済、制度、文化等の側面も含む分野横断的な戦略を立てる。

東京大学地球観測データ統融合連携研究機構 (EDITORIA) は、数十ペタバイトに及ぶ超大容量で多様なデータや情報のアーカイブ・検索・統合的解析システムを開発しており、災害リスク情報の国際的な統融合機能の開発と情報共有を推進する。

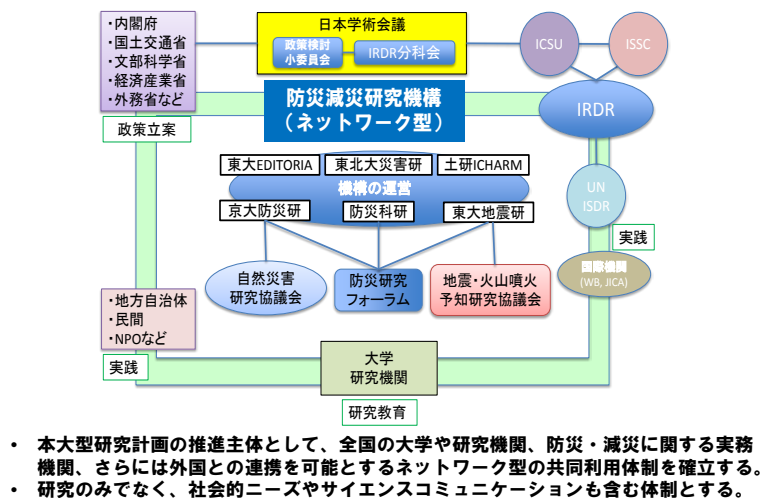
⑦ 社会的価値

東日本大震災やタイの水害等のように、地震活動期や気候変動の影響を受けて、設計外力以上の強い災害外力により甚大な被害が発生し、回復に長い時間と多大の費用が必要となる例が近年頻発している。また、人口減少と少子高齢化が急速に進行し、厳しい財政制約の下、社会的脆弱性が顕在化してきている。一方、経済のグローバル化は一国で発生した災害が世界経済を揺るがす事態を発生させ、企業立地の段階から安定的な事業展開を目指した、アジアや世界の災害リスク評価が国際協力の新たな課題となっている。

これらは、従来の施設整備を中心とする防災対策や公的機関による防災の限界を示している。今後は、企業、NGO /NPO、そして一般市民を含めた多様な主体が参加し、情報基盤を用いて、災害リスクを共有して、熟議を通して協働を進め、選択と集中によって社会の機能維持に不可欠な防災施設を整備する。さらに、土地利用や住まい方、生態系サービスの効果的利用とともに、人命を守り、早期の復旧・復興を可能にする減災策を組み合わせる多重防御の思想を基礎とするレジリエント社会への移行が、わが国の喫緊の課題であり、その実現に大きく貢献できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

林 春男 (京都大学・防災研究所) hayashi@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp



実大ストームシミュレータ（強風・火災・降雨・降雪・降雹のシミュレータ） および気象災害サイエンスパーク

① 計画の概要

世界の自然災害による経済的ロスの70～80%は、ハリケーン、台風などによる風水害に起因すると言われており、自然災害に対して支払われた損害保険額トップ10のうちの9件が強風に起因するものである（2009年時点）。米国のハリケーン・カトリーナや14万人の死者を出したミャンマーのサイクロン・ナルギスなどで知られるように、これらは多くの場合、豪雨や高潮などの水災害を伴っており、その複合災害を減らすことは、社会的急務である。火災、降雪、降雹なども強風との関連が重要である。被害の大半は、構造計算のされない木造住家や低層鉄骨建物などである。竜巻等に関しては、遭遇確率が極めて低いということから、原子力発電施設、LNGタンク、データセンターなど、被災時の社会的波及効果が極めて大きい高危険度・高重要度施設でさえも、殆ど設計で考慮されておらず、解決すべき喫緊の課題は山積みである。本計画では、これらの課題を解決する手段の一つとして、2階建て実大住宅等を収容でき、風速80m/s程度までの強風、火災、降雨、降雪、降雹などの気象イベントを同時に作用させ得る大型ストーム発生装置を建設し、建物の外装材や構造骨組の健全性を実スケールで検証するほかに、教育・啓発のために気象災害サイエンスパークとしても運営するものである。通常の境界層風洞の延長線上では、これを実現することは難しく、百数十個のファンとスパイア等をアクティブに制御して、台風等の自然風を模擬した強風を発生させる必要がある。また、最近の突風災害の多発を考えると、単純な水平風のみならず、移動する竜巻等の旋回流も擬似的に再現できるものとしなければならない。風向変化に対応できる大型ターンテーブル、建物移動装置等も必要である。これにより設計で対象とする数十年、数百年に1回の事象を実スケールで再現し、建物や人命を確保するための研究を効率的に推進する。

制御された環境下での極稀事象の 実スケールでの再現、現象の把握

- ・風速 80m/s
- ・降雨 200mm/h
- ・降雪 200mm/h(相当)
- ・降雹
- ・火災ほか

各種建築物、各種構造システム、外装材、建材、
鉄塔類、風力発電施設、太陽光発電施設、
屋上敷設物、建物付属物、フェンス類、農業施設、
畜産施設、水産施設、車両、道路施設、etc.

② 学術的な意義

建物等の耐風性能の研究は、主として構造骨組の耐風性能向上に力点が置かれ、建築基準の整備・改善が図られ、超高層建物、超々高層建物、大スパン橋梁などの実現にも寄与してきた。しかし、台風などの強風による建物被害や人命の損傷は、きちんと構造設計がなされないノン・エンジニアード構造物で発生し、かつ大半の被害は、構造設計などでパフォーマンスを確認し難い外装材等の被害に端を発している。設計で対象とする数十年、数百年に1回の極めて稀な巨大台風や激甚竜巻、豪雪などについては、いつどこで起きるか分からない事象を待つて、多大な人的・物的犠牲の上に、限られた条件下での被害痕跡を観察するのが精一杯で、それらが殆ど現象解明には繋がっておらず、同様の被害を繰り返している。近年の耐風設計に関する研究成果は、風関連災害の低減には残念ながらあまり寄与できていないのが実情である。圧力チャンバーによる繰り返し加力によって外装材等の耐風性能を評価することも行われ始めたが、実際の風圧性状を模擬できるものではなく、耐力評価をするための試験法そのものも未だ確立されていない。火災、降雨、降雪等との複合事象については、実際に近い状態での性能評価は全くできていない。この状況を根本的に打破するには、実スケールで外装仕上材から構造骨組、基礎に至るまでの全体システムの性能を評価する以外にない。従来からの数百分の1の縮尺模型による風洞実験等ではなし得なかったレイノルズ数の問題の克服、破壊プロセスを含んだパフォーマンスの研究、火災、降雨、降雪、降雹など他の自然現象との複合効果の研究などが可能となる。本計画によって初めて、外装材種別、構造システム、建物形状などを計画的にコントロールした上で、極めて稀な実現象をシステムティックに把握でき、数十年、数百年の永い時を待たずして、効率的な問題解決が図られ、大きな防災効果が期待できる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

フランス・ナントCSTBのジュールベルヌ気候風洞では、最高風速80m/s、200mm/hの降雨や降雪に対する実スケール低層建物の性能評価が行われており、米国・サウスキャロライナIBHSの実スケール強風試験施設では、木造住宅を2棟並べて強風で倒壊させ、耐風性能を比較したり、火災、降雨、降雪などとの複合効果の実験が行われている。カナダ・西オンタリオ大学のWindEEEドームでは、F3までの竜巻実験を可能としている。中国・同済大学では、実スケール風洞装置のプロトタイプとしてのアクティブ風洞の建設が進められており、世界では、実スケールでの強風実験、複合実験は大きな潮流となりつつある。こういう施設に今投資することが将来の大きな節約をもたらすことが明白だからであり、まさに“Invest Today, Save Tomorrow”の精神である。我が国では、2003年台風14号時に宮古島

で90m/sを超える風が観測された例があり、降雪、降雨の強度も世界で最強ランクにある。これに相応して既存の海外施設に較べて諸性能をアップさせるとともに、発生手法の改善などを図り、世界最先端の装置とする計画である。

④ 所要経費

所要経費は168億円と見積もられる。ファン（特注、制御装置含む）：30億円、可変電圧可変周波数制御装置：8億円、ターンテーブル：3億円、火災発生システム：10億円、降雨システム：2億円、降電システム：5億円、降雪システム：8億円、テストセクション冷却装置（ダクト類含む）：7億円、試験建物移動システム：3億円、建物等設計料（計画・構造）：3億円、カメラ+制御システム：3億円、空力的設計料：5億円、計器、装備：5億円、特別送変電設備（電力会社との協議要）：3億円、中央コントロール装置、監視装置（実験制御システムプログラム料含）：6億円、アクティブスパイヤ：3億円、フライス盤等の工作機械等：1億円、プロトタイプ等による試験・検証：3億円、建設コスト（防火システム、空調、開閉装置、ファン支持構造、縮流部、旋回流装置、制御室、事務棟、実験棟、会議室、シアター形式会議室、その他）：50億円、6ヶ年間運営費（人件費等を含む）：10億円。なお、土地（40万平方メートル、高圧配電可能地）購入代金や、施設完成後の運営費（年間10億円程度）は見積りに含んでいない。

⑤ 年次計画

計画を実行に移し、施設を完成させて運用開始するまでには、最低6年の期間が必要である。1年目は、実施案の策定と施設の設計、数値解析によるパフォーマンスの確認と、1/10程度のプロトタイプ的设计である。初期の段階で、流体数値解析による風洞形状、風洞内気流性状の確認、火災発展状況の確認などが必要であり、火災工学的、雪工学的見地からの種々のシミュレーションを実施する。それらの結果を踏まえ、ファンや制御装置、建物等に要求される性能の確認、必要電源、法的な問題の確認と解決などが図られる。2年目は、風洞、火災発生装置、降雨、降雪、降電装置のプロトタイプの試作とパフォーマンスの検証、実施案の設計と建設候補地の選定である。敷地としては、騒音や強風の影響を周辺に及ぼさないこと、供試体としての建物建設、保管等のための広さがあること、電気、水道が確保できること、土地の値段が安いことなどが挙げられ、変電装置、冷却装置の設計、要求性能の検討が必要となる。完成後は、「気象災害サイエンスパーク」としての運用を考えており、気象災害に関連した知識の普及、啓発活動、防災教育などを実施する。建設地は東北地方、北海道などもターゲットとして考えられ、地方自治体の協力、援助が必要となる。3年目は、継続的に装置の要求性能、パフォーマンスの物理的、数値的シミュレーションを行うとともに、建物の設計者、機械装置の設計者、電気設備の専門家等々との協議、検討を重ね、実施に向けての施設設計を完了する。同時に候補地の周辺住民や地方行政庁の理解を得るための協議なども重ねていく必要がある。4年目は施設本体および関連施設の建設開始である。平行して計測器具の設計、選定、購入などの作業が行われる。5年目は施設工事の完成、機器の設置であり、6年目は性能検定と実用開始である。

⑥ 主な実施機関と実行組織

施設建設までは、「実大ストームシミュレータ建設実行委員会」を構築し、これを実行組織の核となし、実施案策定から建設終了まで、計画遂行を統轄する。具体的には、実施案の策定と施設の基本設計、空気力学的設計のための数値解析の実施、1/10程度のプロトタイプ的设计・建設およびパフォーマンスの確認、諸装置の設計・選択等を行う。実行委員会には、日本風工学会、日本建築学会、土木学会、日本気象学会、日本雪工学会、日本火災学会、日本構造技術者協会などの参画が不可欠であり、具体化していく段階で、正式に協力と委員派遣を要請する予定である。また、日本学術会議の関連分科会（風水害・土砂災害分科会、IRDR分科会）はもとより、京都大学防災研究所、建築研究所、気象庁・気象研究所、土木研究所等の関連諸団体の参画、協力も重要である。更には、損害保険料率算出機構、建設業界等々からも多角的に意見を集約して計画案を策定し、施設建設を推進する。当初3年間の、全体計画案の策定、プロトタイプ的设计と建設、パフォーマンスの確認、空力的設計のための数値解析の実施等々、計画案の改良、実施設計へ向けての具体的な調査、研究に関しては、東京工芸大学・風工学研究センターが中心となり、実行委員会、京都大学防災研究所などの協力を得てこれを実施し、施設の設計を完了させる。土地購入、施設建設、施設建設後の管理、運営に関しては、実際に実大ストームシミュレータを管理、運営するための「気象災害科学研究センター（仮称）」を設立して、これらを遂行する。土地の選定と購入、地方行政庁、地域住民、電力会社等々との交渉、建設管理などのためにはセンター専任の人員が必要であり、最終的には、専任の研究者、技術者を15名～20名程度雇用して、施設の目的遂行のための諸活動を推進する。

⑦ 社会的価値

台風などの強風現象は、直径千kmもの規模で発生するため、集積される人的、経済的ロスは大で、社会的インパクトは通常認識されている以上に大きい。我が国では、損害保険支払額だけでも、1991年台風19号で5,679億円、2004年の台風被害では約7,000億円に達している。全経済的ロスはその2、3倍にのぼり、年によっては2兆円もの風被害が発生し、風被害は年平均数千億円と見積もられ、それがいたずらに蓄積しているのが実情である。UN/ISDRなどの報告にあるように、近年、激甚な強風災害および水災害は著しく増加しており、地球温暖化、気候変動などがこの傾向を促進する恐れも指摘されている。本計画によって激甚な強風、豪雪などによる構造物の破壊メカニズム解明が可能となり、経済的・産業的価値のみならず、その知的価値も極めて大きい。外装材等の耐風パフォーマンスが明確になり、性能の良い建材、より経済的価値の高い建材を開発、普及させることが可能となる。数年で兆の単位に達する気象災害による被害額を考えると、本施設は十分に経済的合理性を持った提案であり、相対的に極めて大きな成果をもたらすことが期待できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

田村 幸雄（東京工芸大学・工学部） yukio@arch.t-kougei.ac.jp

アジアの民生用エネルギー需要構造と将来予測に関するプラットフォーム構築

① 計画の概要

世界の二酸化炭素の排出量は依然として増加傾向にあり、その中の40%は民生用部門からの排出である。民生部門における二酸化炭素の排出量の伸びを抑えるためには、省エネルギーの推進と再生可能エネルギーの導入が必要である。これをどのように進めていくかについては、まずエネルギー需給の実態を詳細に把握した上で、具体的な方策を提案していく必要がある。そこで、以下のような研究を進めていくことによって、アジアにおける民生部門からの二酸化炭素排出量を削減するためのシナリオと方策を提案することを目標とする。

(1) アジア諸国におけるエネルギー需給の構造に関するデータベースの構築

主な調査項目を以下に示す。

- ・住宅用年間エネルギー消費量把握のための実態調査
- ・住宅全体及び主要家電製品の電力消費ロードカーブを把握するための計測調査
- ・住宅の住まい方、住宅用家電製品、暖冷房機器の普及状況、使い方に関する実態調査
- ・非住宅用年間エネルギー消費量把握のための実態調査（主要業務施設を対象）

(2) 民生用エネルギー消費に関連する経済的、社会的要因に関する将来動向を含めたデータベースの構築

(3) エネルギー消費の将来予測のための計量モデル及び数値モデルの開発

(4) 上記モデルを用いたシナリオに基づくエネルギー消費量、二酸化炭素排出量の将来予測

(5) 民生部門からの二酸化炭素排出量を抑制するための国別の対策の提案

調査対象国は、インドネシア、マレーシア、中国、ベトナム、タイ、フィリピン、カンボジア、台湾、インドを想定する。

② 学術的な意義

(1) アジア各国におけるエネルギー消費量のデータベースを構築し、需要分析、研究開発、政策立案に資する。

住宅用エネルギー消費実態については、エネルギー種別及び用途別に明らかにするとともに、都市部と農村部などの立地条件、世帯員数、住宅建方、収入階級、機器保有状況など、エネルギー消費の要因分析を行うために必要なデータ整備を行う。これらは、エネルギー需要構造の分析、将来のエネルギー消費予測や、住宅の省エネルギー基準作成の基礎資料として有効である。同時に、住宅全体、冷蔵庫、エアコン、テレビなど主要家電製品の時間別電力消費量を把握することで家庭用エネルギー消費の増加や家電製品の増加がロードカーブに与える影響分析や、機器の効率基準作成の基礎資料を提供する。

非住宅については事務所、病院、ホテルといった主要業務施設のエネルギー消費実態を把握し、エネルギー需要構造分析、省エネルギー政策立案に資する。

(2) 低炭素建築・都市の計画に反映される。

エネルギー消費量データは、計画策定の基礎情報を提供するものであり、低炭素建築・都市計画で採用する高効率技術、マイクログリッド等の面的計画、導入する規制措置や助成措置等の分析に資する。また具体的な国別対策の提案は、そのための具体的な設計・計画に反映される。

(3) 各国における温暖化防止対策の政策立案に用いられる。

将来予測や具体的な対策が各国別に提案されるので、温暖化対策の政策の立案に利用される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

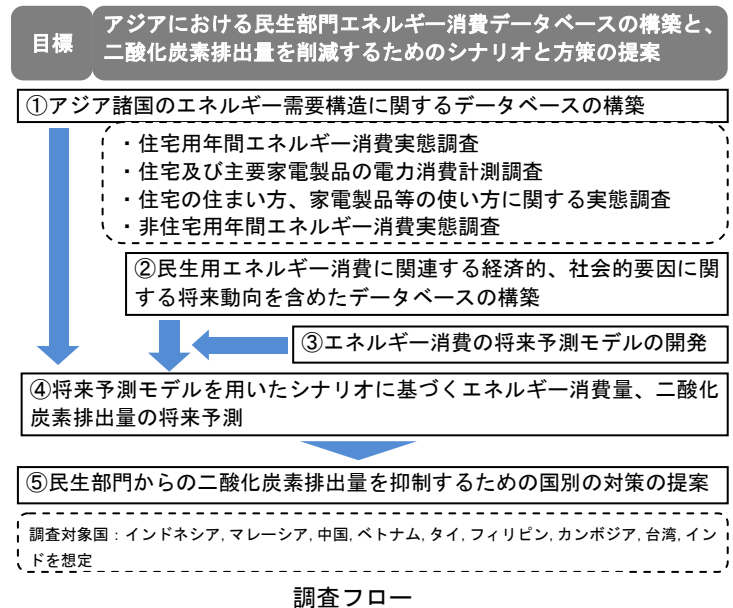
アジア諸国におけるエネルギー消費量に関する調査研究は始まったばかりである。しかしながら、これらの研究は始まったばかりであり、人的・資金的にも限界がある。

④ 所要経費

期間 7年間、総額 28 億 7,900 万円

内訳(単位: 万円)

人件費: 100,000、計測器: 48,000、サーバー・パソコン: 1,020、現地調査協力費: 26,400、国内旅費: 16,000、海外旅費: 40,000、事務所家賃: 4,300、備品・消耗品: 4,380、一般管理費: 47,800



⑤ 年次計画

初年度：

- ・国内研究体制の構築と具体的な調査都市と手法決定、アジアの研究機関との連携体制の構築、既存のエネルギー消費に関するデータベースの構築、3 カ国での住宅用年間エネルギー消費量に関する一次試験調査

2 年度：

- ・一次を除く 3 カ国での住宅用年間エネルギー消費量に関する二次試験調査、住宅用年間エネルギー消費量の調査（一次：3 カ国）、民生用エネルギー消費に関連する経済的、社会的要因に関する将来動向を含めたデータベースの構築（一次調査対象国）

3 年度：

- ・住宅用年間エネルギー消費量の調査（二次：一次以外の 3 カ国）、3 カ国での非住宅用年間エネルギー消費に関する実態調査、住宅用電力消費計測調査（試験調査）、民生用エネルギー消費に関連する経済的、社会的要因に関する将来動向を含めたデータベースの構築（一次以外の調査対象国）

4 年度：

- ・住宅用年間エネルギー消費量の調査（三次：一次、二次以外の国を選択）、3 カ国での非住宅用年間エネルギー消費に関する実態調査（3 年度調査実施以外の国から選択）、住宅用電力消費計測調査（一次 3 ヶ国・5 地域）、エネルギー消費の将来予測モデルの開発と将来推計（一次二次調査対象国）

5 年度：

- ・住宅用電力消費計測調査（二次 3 ヶ国・5 地域）、エネルギー消費の将来予測モデルの開発と将来推計（三次調査対象国）、住まい方、機器使用などに関する実態調査（一次、二次調査対象国）

6 年度：

- ・住宅用電力消費計測調査（三次 3 ヶ国・5 地域）、住まい方、機器使用などに関する実態調査（三次調査対象国）

最終年度（7 年度）：

- ・将来予測モデルを用いたシナリオに基づくエネルギー消費量の将来予測、民生部門からの二酸化炭素排出量を抑制するための国別の対策の提案、最終報告

⑥ 主な実施機関と実行組織

- ・住環境計画研究所：実施拠点および統括

計画手法、運営方法などに関する情報の発信、実態把握（東南アジア、主にベトナム、タイ、インド担当）、都市スケールエネルギー消費量推計、エネルギー消費の将来予測モデル開発と将来推計、二酸化炭素排出量を抑制するための国別の対策の提案

- ・京都大学大学院：実態把握（東南アジア・西アジア担当）
- ・広島大学大学院：実態把握（東南アジア、主にマレーシア、インドネシア担当）
- ・埼玉大学：統計データ処理、実態把握（東南アジア）担当
- ・北九州市立大学：実態把握（中国業務部門、東南アジア担当）
- ・早稲田大学：実態把握（東南アジア、主にカンボジア担当）
- ・日本大学：実態把握（中国西部地域担当）
- ・筑波技術大学：都市スケールエネルギー消費量予測のための気象データ担当
- ・東北工業大学：実態把握（中国東北部担当）
- ・トータルシステム研究所：都市スケールエネルギー消費量予測のための設備・機器性能予測担当

⑦ 社会的価値

国民生活に直結する、住宅でのエネルギー消費に関する情報や生活の質を維持しつつエネルギー削減を実現する方法の提供、さらにヒートアイランドなど都市気候に直結する都市スケールでのエネルギー消費量や二酸化炭素排出量の情報の提供、あるいはその対策技術の提言など、我が国の政策担当者、産業界、及び調査対象国の国民の期待に応えるものと考えられる。

国内外の都市部でのエネルギーの消費実態、あるいは二酸化炭素排出状況を明確化するとともに、低炭素化に向けた評価手法の構築を行う。我が国の産業界の特徴は、課題や評価方法がはっきりすると、技術を結集し、確実な解決方法を実現する能力が極めて高いところにある。実態調査結果や評価方法を提示することで、知的価値の向上に資するとともに、我が国の産業の発展のきっかけを作ることができ、経済的、産業的価値の向上に資する。

同時に、調査対象国の大学と連携し、ノウハウを共有することで、当該国における研究者の知的価値の向上に資するとともに、これまでの連携関係を一層強化することができ、国際的ネットワークの拡張を通じ、我が国の学術基盤の強化に資する。

⑧ 本計画に関する連絡先

村越 千春（株式会社住環境計画研究所） murakoshi@jyuri.co.jp

超高压電子顕微鏡先端融合研究拠点

① 計画の概要

電子顕微鏡開発とその応用研究は、我国がこれまで世界的にリードし、今後も最先端を走り続ける分野である。世界に 1 台しかないユニークな超高压電子顕微鏡を我国の先端的研究機関にそれぞれ設置して、これを用いて世界初の研究を行うことを目標とする。

現在、超高压電子顕微鏡は、北大、名大、阪大、九大においてそれぞれ特徴的な機能を有する 4 台の装置が稼働中である。本計画では、こうした超高压電子顕微鏡を 4 大学に設置・更新し、連携して装置・観察手法の開発研究を行うとともに、先端的功能の超高压電子顕微鏡を国内外の研究者に開放し、世界最高水準の物質材料科学・医学生物学研究を展開する。

当組織の連携体制を強化し、超高压電子顕微鏡による支援体制の整備のみならず、先端的功能を付与した超高压電子顕微鏡を整備し、4 大学の超高压電子顕微鏡を有機的に融合することによって学術的シナジー効果を創出し、従来行うことができなかった学術研究を推進する。我が国に設置されるべき先端研究に資する超高压電子顕微鏡装置を中長期的かつ全国的視点から議論し、整備計画を立案するとともに、我国の今後の学術研究の展開に必要な最新鋭高性能の超高压電子顕微鏡装置の技術開発研究も推進し、我が国の電子顕微鏡研究者コミュニティのポテンシャルを世界的高水準に保持する。

「超高压電子顕微鏡」を共通のキーワードとして、異なる研究分野を横断する一つの研究ネットワークを形成する。研究課題を公募して全国の電子顕微鏡応用研究者の英知を結集した共同研究を実施するとともに、若手研究者を惹きつけるチャレンジ性に富む試行的研究プロジェクトの提案による研究費支援体制を整備する。

② 学術的な意義

超高压電子顕微鏡は、電子の加速電圧が高いことを活用した厚い試料の透過観察や、電子の速度が光速に近づくことによる相対論効果を利用した超短パルス電子ビームの発生を可能にすることを特徴としている。前者の特徴を利用すると、物質・材料や生物・細胞の厚い試料から極微構造を実空間で高分解観察することができる。3 次元立体構造、試料内部の歪み、不均一局所構造等の観察に厚い試料が必要な諸現象を研究するために有用であり、例えば、結晶格子欠陥の動的特性、原子・分子レベルでの化学反応界面、細胞内小器官の微細構造の解明等のサイエンスを推進することができる。

一方、後者の特徴は高時間分解観察を可能とする。MeV オーダーのエネルギーの電子は、空間電荷効果の制約が小さくなることによって 100 フェムト秒スケールの超短パルスを生成でき、それを用いて超高速現象を直接観察することができる。例えば、相転移等を単位格子等の均一なスケールの領域で観察することに加えて、欠陥等を含む不均一なスケールの領域にまでさかのぼって観察できる。リアルマテリアルにおける形態・組織の複合解析手法の構築、ソフト～ハードマテリアルの高分解能局所領域解析、デバイス創製に資するプロセス評価に直結する解析、利用環境を模擬した材質変化の評価、量子ビーム照射がもたらす次世代非平衡材料探索等の革新的研究の展開に寄与することができる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

近年、ナノメートルスケールで創製・加工・制御された物質・材料や生きた状態に近い生物・細胞の極微構造を透過電子顕微鏡により実空間で直接観察・解析するニーズが拡大してきている。特殊な条件・環境下での観察（厚い試料の立体観察、ガス・液体環境下での観察、量子ビーム照射下の観察等）が可能な超高压電子顕微鏡は、極めて有効な手法の一つである。

本計画では、これらを反映して 4 大学の保有する特徴的かつ先端的な特殊機能が付与されている 4 台の超高压電子顕微鏡および関連する汎用電子顕微鏡群等の研究資源を共有し、全国の電子顕微鏡応用研究者コミュニティに開かれた共同利用・共同研究の場を構築し、拠点における研究活動を通じて世界トップレベルの学術知見を獲得するとともに、新たな学理の探求と精緻な産業技術の開発を加速する。4 大学は研究者コミュニティへの研究資源の公開、共同研究情報の提供と共同研究の実施に積

超高压電子顕微鏡の先端機能の融合による学術的シナジー効果の創出



極的に取り組み、超高圧電子顕微鏡の利用を促進し、我国における電子顕微鏡研究のあるべき姿や望ましい方向づけに関する議論を通して、電子顕微鏡研究の将来ビジョンとその実現に関する強固なネットワークを形づくる。

④ 所要経費

大型装置の整備計画として、(1)大阪大学 物質・生命科学超高圧電子顕微鏡改造 約 27 億円、および(2)北海道大学 マルチビーム超高圧電子顕微鏡更新 約 26 億円を予算計上するとともに、(3)4 大学保有の超高圧電子顕微鏡の研究資源公開による共同研究実施に係わる運営費として各大学あたり約 5000 万円/年の所要経費を必要とする。

具体的には、(1)については、平成 24 年度から阪大において物質・生命科学超高圧電子顕微鏡の更新設置の第一段階が予算措置されて計画が進行中である。本整備においては、電子の加速電圧 1 MV で更新を行っているが、第二段階として加速電圧を 2 MV まで向上改良するとともに、厚い試料の像分解能向上のためのエネルギーフィルター付加の改造を新たに計画している。(2)については、北大においてマルチビーム超高圧電子顕微鏡更新の計画を実施するものである。この装置の整備は、電子・イオン・フォトンの同時照射による物質科学研究の推進に貢献するための整備である。(3)については、共同研究の実施に係わる研究員旅費、装置維持費等に充当する。

⑤ 年次計画

本研究計画は、研究期間が平成 26～35 年度の 10 年間であり、期間中の装置の整備計画については以下を予定している。

第一には、平成 26～28 年度に阪大物質・生命科学超高圧電子顕微鏡の改造を行う。改造計画の内訳は、1 年目に、像分解能改善のための電子エネルギーフィルターを鏡体に付加装着して、試料厚さに依存する像分解能を約 10 倍向上させる。2 年目に、時間分解能向上のための電子源と検出器の改良を行い、マイクロ秒からナノ秒の範囲の時間分解能を実現する。3 年目は、高電圧化を実施し、世界最高加速電圧 2 MV の超高圧電子顕微鏡として整備を完了する。

第二には、当計画の終了後の平成 30～32 年度に北大マルチビーム超高圧電子顕微鏡更新を行う予定である。1 年目は、1 MV 超高圧電子顕微鏡の更新設置を行う。2 年目には、イオンビーム照射装置を設置し、イオン照射環境下における電子顕微鏡観察を従来の分解能から 30%向上させて行えるようにする。3 年目には、パルスレーザー照射装置を設置して、イオン・フォトンの同時照射環境下における物質応答の実験を高分解能で実施できる装置として整備を完了する。全体計画としては、阪大の改造が終了した後に北大の計画実施に移る順序である。

10 年間の研究期間中、4 大学の装置を利用した共同研究を実施していくと同時に、新たな要素技術開発を行い、阪大、北大の装置にそれらの技術を盛り込んでいく予定である。

⑥ 主な実施機関と実行組織

大阪大学超高圧電子顕微鏡センターを中心として、北海道大学大学院工学研究院超高圧電子顕微鏡研究室、名古屋大学エコトピア科学研究所超高圧電子顕微鏡施設、九州大学超高圧電子顕微鏡室の 4 大学の超高圧電子顕微鏡施設の保有する超高圧電子顕微鏡および関連する汎用電子顕微鏡群等の研究資源を全国の電子顕微鏡応用研究者等に開放して、電子顕微鏡周辺技術に関する研究や物質・材料から医学・生物学分野の先端的应用研究を展開する。各大学の超高圧電子顕微鏡の特徴を生かして、量子ビームと物質の相互作用評価(北大)、物質・材料・生物の環境評価(名大)、ナノ物質・ナノバイオ試料の 3 次元評価(阪大)、形態と電子構造の統一評価(九大)に関して役割を分担して研究を推進する。

それぞれの超高圧電子顕微鏡が有する他にない複数の最先端の性能は、1 台の装置のみでは、それらをカバーすることはできない。リアルマテリアルならびに生体試料についての研究において、研究者コミュニティの要望に応えるために、複数の装置を相互利用して、それらの機能のシナジー効果を創出し、単独の超高圧電子顕微鏡では遂行不可能な新しい応用学術研究を材料科学領域ならびに医学生物学領域において進展させるネットワーク型拠点を構成する。

中核拠点を阪大超高圧電子顕微鏡センターに置き、分担する各施設によって効果的な運営をおこなう。運営にあたっては、各拠点内の限られた人数のメンバーを、本拠点で共有する概念を導入し、共同研究は各拠点の研究者との個人的な共同研究のみならず、テーマに対して最適な共同研究チームを本拠点で構成して実施にあたる。活動を通して、こうした超高圧電子顕微鏡による研究の現状を、研究分野を横断する視点から常に点検・改善し、我が国の研究をユニークかつ世界最高水準に保持する。

⑦ 社会的価値

最近、物質・材料科学領域では、ナノ材料、非平衡物質、触媒、電池材料、結晶格子欠陥などの分野において新しい研究成果が次々と挙げられる一方、医学生物学領域では厚い試料を観察できるこの超高圧電子顕微鏡の特長を活かして、超高圧電子顕微鏡電子線トモグラフィーによる生体微細構造の立体観察に焦点を合わせた研究が急速に進展しつつある。これらを反映して、超高圧電子顕微鏡を利用する研究の要望が増えている。一方、社会の要求として、グリーン・ライフイノベーションの推進に関連する課題は多い。

いずれの課題においても、複数の先端的特殊機能を有する超高圧電子顕微鏡の併用によって効率的に解決される可能性が高い。本計画により解決される学術研究の展望として、3 次元立体観察(実用材料、生体試料、原子)、元素分布像、分析と構造解析が同時可能、物性と原子レベルの構造を同時測定、半導体デバイスの機械的変形、歪み解析、実用触媒、自動車用燃料電池電極のガス環境での観察、環境汚染ナノ粒子(ディーゼル煤、アスベスト等)とヒト細胞との相互作用、ナノ加工、ナノ操作が可能な電子プローブ等が上げられる。

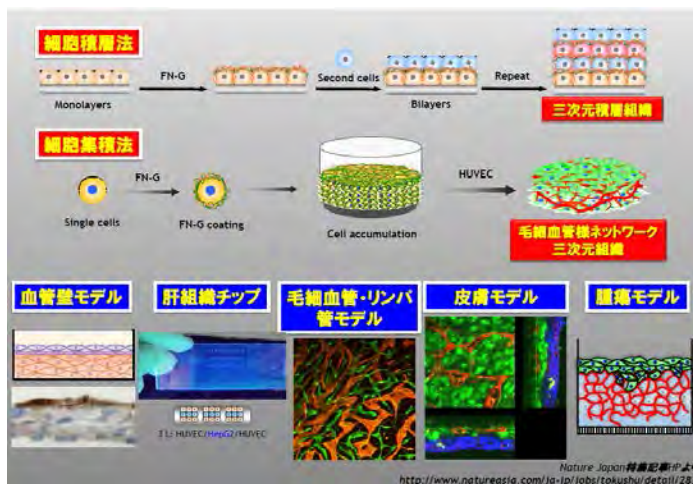
⑧ 本計画に関する連絡先

保田 英洋(大阪大学) yasuda@uhvem.osaka-u.ac.jp

生命機能の解明と創薬・医療応用を目指した次世代型高次元組織体の基盤拠点形成

① 計画の概要

電子顕微鏡の出現により生命体の最小ユニットである細胞の生命活動が解き明かされて久しい。今では、高度な生命活動である免疫反応も物質レベル、つまり化学として理解が進んでいる。また、人工多能性幹（iPS）細胞研究によって細胞機能制御が大きく進み、多くの疾病の解析と治療が手の届くところになっている。しかし、生命体の細胞の多くは個々に機能している以上に、集合体として組織体として生命を維持し、生命の本質を担っている。二次元平面で培養時の細胞機能と、複数の細胞で3次元的な組織体を構築している時の機能が劇的に異なることは、最近の研究ですでに明らかである。しかし、細胞を自由に操作して生命科学へ展開し、多くの疾病の治療に結びつけることは、前人未到の課題である。化学、工学、材料科学、生物化学、分子生物学を動員してこの分野に切り込んでゆく時代を迎えている。本提案は、学際領域であるナノ材料科学と細胞工学を基盤とし、最先端の生物学、細胞生物学、化学、高分子科学、細胞工学、薬学、薬剤学、医学を融合させることによって、生体類似の高次集積組織の構築を行い、その生命機能の解析と医薬品の毒性・安全性・効果予測システム構築や再生医療等の医療応用を目的とした最先端科学を展開するものである。より具体的には、1. 高次元組織体を構築する基盤技術を開発する「高次元組織体構築技術開発部門」、2. 開発された組織体の基礎的な機能の評価する「機能解析部門」、3. 動物実験に代わる新しい医薬品の毒性・有効性・安全性評価への応用する「創薬応用部門」、4. 移植医療へ展開を図る「医療応用部門」、5. 組織体の産業応用へ展開する「産業応用部門」の5部門を形成する。



次世代型高次元組織体構築の要素技術の図

② 学術的な意義

20世紀の科学技術の目覚ましい発展により、生命体としての単一細胞の性質と機能に関する研究は大きく進み、21世紀には「細胞のリプログラミング」が可能であることが証明され、iPS細胞が生み出された。しかしながら、本来、生体組織の最小構成単位である細胞集合体（生命機能体）の性質と機能に関する学術研究は未踏の分野である。より大きな構成単位である器官・臓器に関しては、発生学や幹細胞生物学により研究が進みつつあるが、最小機能単位である細胞集合体を構築し、研究する手法が確立しておらず、学術的に欠けているのが現状である。

我が国が世界に先駆けて細胞工学の最先端研究で新しい分野を開拓する環境は整っている。つまり、iPS細胞で優位に立ち、伝統的な得意分野である材料科学を駆使した細胞工学も世界をリードする状況にある今日、生命科学・医療応用・産業創出まで見据えて革新的な生命機能体に関する学問を開拓することは、学術的に大きな意味を持つ。文部科学省は、既にiPS細胞による再生医療実現の次のステップとして、「立体組織形成のための基盤技術開発」を明確に位置付けた。現状のターゲットは幹細胞発生学による器官構築であるが、構築できる器官の種類やサイズ、構造は限定的であり、普遍性に乏しく、産業応用への展開も困難である。そのため、医学・工学・薬学など分野横断的に要素技術を統合することで、国際競争力に優れた普遍性の高い立体臓器構築技術の確立が急務である。本提案は、この急務の課題を解決し、日本のライフサイエンス技術をより高い位置にけん引して長期的な国際優位性を確立するものと期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

欧州では化粧品販売のための動物実験が2013年に禁止される。国内化粧品メーカーも動物実験を行わない方針となりつつあり、また、日本製薬工業協会も、可能な限り動物実験を減らす方針をとっている。そのため、世界的に動物実験代替法の研究が加速しているが、ヒト生体組織の構造や機能を反映したモデルの作製には至っていないのが事実である。世界に先駆けて、毒性試験と薬剤の効果判定を迅速かつ高精度で行う代替システムを構築することは、我が国が最も不得手とする世界基準を生み出すことに繋がり、国家として省庁の壁を乗り越えて戦略とすべきものである。また、国際競争が激しく緊急な課題である。米国やEUでも既に分野横断的な技術融合により立体組織構築に取り組み始めており、過激な国際競争が既に起こり始めている。この現状を打開して激しい国際競争に打ち勝ち、日本の科学技術を優位にたてるためには、工学・医学・薬学などの要素技術の分野横断的な統合により、国際競争力に優れた普遍性の高い立体臓器構築技術の確立を目的とした本提案が必要不可欠である。本研究提案の緊急度が極めて高いことが伺える。

④ 所要経費

総額予算として95億円、初期投資として45億円、運営費に50億円を計上する。

初期投資 45 億円

「高次元組織体構築技術開発部門」5億円：各種分析機器等の設置。

「機能解析部門」5億円：各種分析機器等の設置。

「創薬応用部門」10億円：各種分析機器の設置、非臨床試験実施のための設備。

「医療応用部門」15億円：GMP基準で組織体を製造するためのクリーンルーム、分析機器等の設置。

「産業応用部門」10億円：クリーンルームの施設の設置、自動化設置、品質管理施設の設置。

運営費 50 億円：年間の運営費5億円、10年間の継続。

⑤ 年次計画

2014～2015年度（平成26～27年度）：

高次元組織体構築技術開発および機能解析の研究拠点の構築。創薬・医療・産業応用拠点の整備。

2016～2019年度（平成28～31年度）：

高次元組織体構築に関する様々な技術の確立。創薬・医療応用に関する基礎知見収集の完了。産業化に向けた自動化装置の開発、品質管理法の確立。

2020～2023年度（平成32～35年度）：

組織体構築に関する更なる技術の開発。創薬・医療応用のための安全性・有効性の検証。認可申請準備への着手。組織体の製品化・販売の検証。

⑥ 主な実施機関と実行組織

高分子学会およびバイオインダストリー協会等が中核となってコンソーシアムを形成する。オールジャパン体制で一丸となり実施する。

「高次元組織体構築技術開発部門」

大阪大学、東京大学、岡山大学、名古屋大学、富山大学、同志社大学などの公的研究機関ならびに化学系企業による研究拠点を形成する。

「機能解析部門」

大阪大学、東京大学、岡山大学、名古屋大学、熊本大学、北海道大学、北里大学、放射線医学研究所、日本女子大学、産業技術総合研究所、弘前大学などの公的研究機関が中心となり研究を実施する。

「創薬応用部門」

大阪大学、大阪大谷大学、神戸薬科大学、高崎健康福祉大学、城西大学、国立医薬品食品衛生研究所などの公的研究機関ならびに製薬企業や化粧品企業がネットワークを形成し、研究を実施する。iPS細胞由来の正常および疾患特異的細胞を用いて組織体を構築することで、効率的な創薬スクリーニングシステムの構築が期待される。

「医療応用部門」

大阪大学、岡山大学、愛媛大学、浜松医科大学、近畿大学、横浜市立大学、国立医薬品食品衛生研究所などの公的研究機関が中核となり研究を実施する。

「産業応用部門」

他の部門と各種企業が密接に連携して産業応用を検討する。さらに、国立医薬品食品衛生研究所との連携により、バリデーション試験、標準化にも取り組む。

⑦ 社会的価値

本提案は、主に「動物代替検査用組織チップの創成と薬剤の毒性・効果判定システム構築」、「再生医療のためのヒト三次元細胞組織体の構築と医療応用」、「高分子材料による細胞機能の制御と高次元組織化に関する研究」、から成る。産業的貢献として、動物実験代替法の確立や毒性、薬効判定の国際基準の確立が期待される。国際的に動物実験を減少・規制する方向であるにもかかわらず、有効な代替法はほとんど確立されていない。本提案により様々な組織・臓器モデルが開発され、日本発の技術で国際的基準を生み出すことができれば、国際的な産業的貢献が極めて高い。化粧品・医薬品の薬効判定に有効な「組織・臓器モデル」という新しい市場が開拓され、国際競争力の高い日本の新しい産業が生まれ、国内産業・経済の活性化にも大きく資すること期待される。iPS細胞を利用した再生医療のための高次元立体臓器構築に関する普遍的な技術を開発することができれば、日本のライフサイエンス技術が国際的に優位に立てることは間違いなく、臓器移植のために待機している多くの患者を救うことが可能となるため、社会的貢献度は計り知れない。

⑧ 本計画に関する連絡先

明石 満（大阪大学・大学院工学研究科） akashi@chem.eng.osaka-u.ac.jp

ユーザーフレンドリーな高分解能固体 NMR 設備ネットワークによる分野を超えた 産学官共同管理による材料ゲノムの学び場の形成と運営

① 計画の概要

複雑構造物質の高分解能構造解析に興味を持つ分野を超えた産学官の研究開発人材が容易にアクセスでき、材料ゲノム工学（高い水準で原子レベルからマクロスケールにわたる材料の機能設計を行うための方法とその利用技術）と材料解析・診断学（材料の組織と構造の解析，材料が使用される環境や状態における材料の機能とその機能発現の阻害要因、問題の解析・診断とその処方から成る材料技術の領域）を結び付けて、新しい知の形成の共有とその場で若手人材を育成できる、ユーザーフレンドリーな高分解能固体 NMR 設備ネットワークによる産学官共同管理による材料ゲノムの学び場の形成と運営を行う。既存の当該設備（物質・材料研究機構に 1 台、理化学研究所に 1 台あるのみ）を結び付けつつ、より高性能な設備を計画的に整備拡充していく。

全国からのアクセスや宿泊実験などを容易にするためには、既存の設備群とのネットワークを形成するためにも、首都圏にまず整備するのが効率的である。圧倒的なマシンタイムを確保するためには既に開発済みの機種種の増設を優先する。さらに、より高度な実験ニーズに対応するためにその場観察可能でかつより高分解能なものを並行して開発整備する。当然のことながら、設備の保守管理、運転に係る専門家の確保と養成は不可欠である。

運営に当ってはナノプラットフォームなどの既存の共用システムとの連携が効率的であるが、研究機関単独のチームではなく（産＋学）混成チームでかつ学生を含むものを最小研究単位とし、複数年（最長 3 年）の実施を基本とするなどの独自のルールで、かつ産学官を代表する利用者代表による共同管理（運用指針、採択基準、実施評価など）を行う。

② 学術的な意義

リチウム電池などの先端材料、葉緑素などの生体高分子、材料使用エンドにおける処理困難物質など、人類が対象としなくてはならない物質・材料には、今まで解析が遅れていた複雑な構造を持つものが多い。それらの高性能化、有効利用のためには複雑構造の正確で迅速な解析が不可欠である。固体 NMR（核磁気共鳴装置）は作用磁場を上げることによって、複雑構造をより精度高く解析できるようになる。

具体例を図 1 に示す。リチウム電池では複合酸化物が複雑な構造を取っておりその中をリチウムイオンが移動する。これら

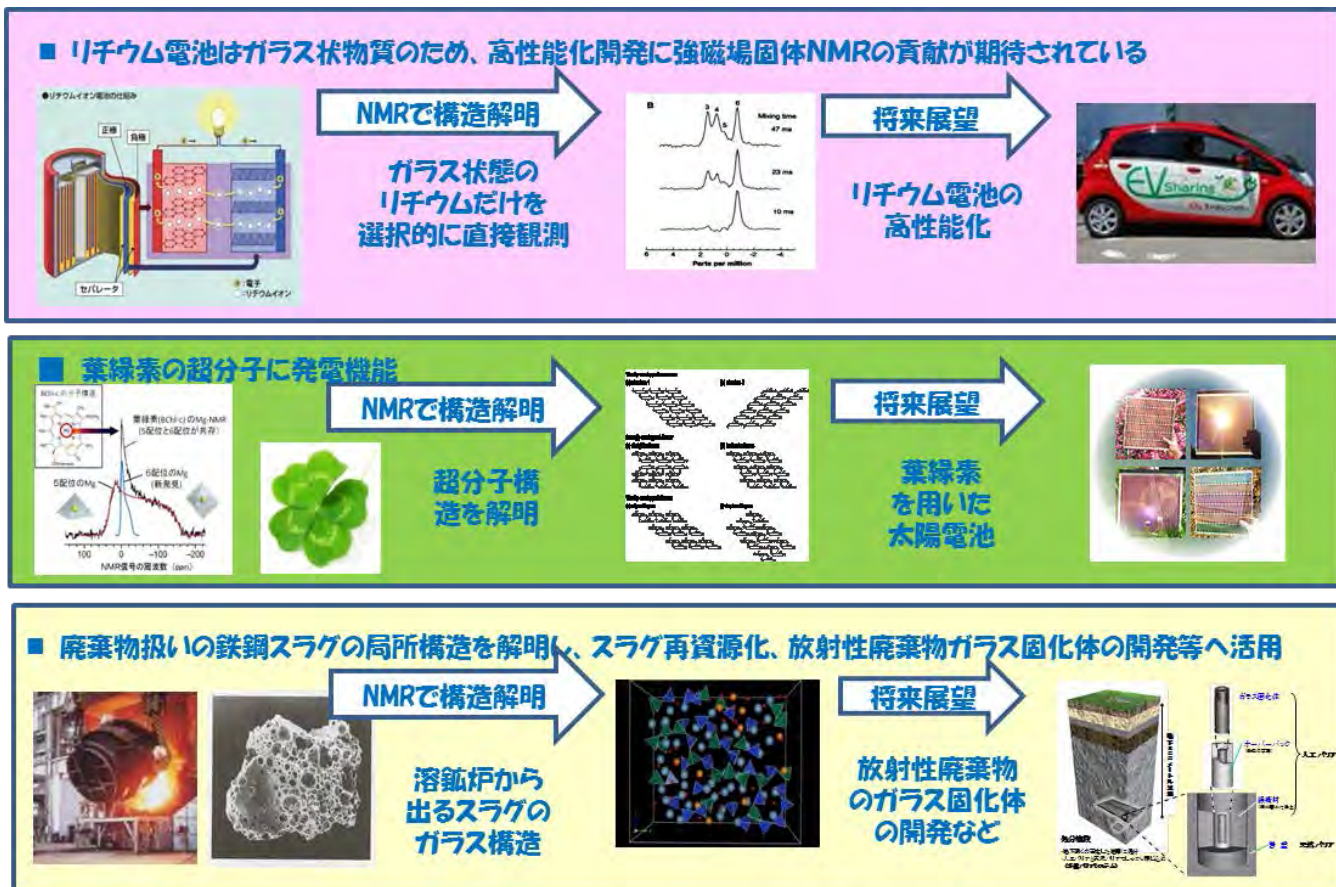


図 1 強磁場固体 NMR でなければ解明できない重要課題の具体例

の高性能化開発のためには、リチウムイオンの挙動を精度よく把握し、二次電池のメカニズムをより深く解明し、製品の高度化に寄与することが強く期待される。また、葉緑素の超分子に発電機能があると見られているが、そのメカニズムを解明し、将来の新型太陽電池開発の夢の実現につながることが期待されている。さらには、金属精錬などの最終過程で発生するスラグ、高濃度放射性廃棄物などの固定化、無害化、さらに有効利用のためには、複雑構造を解明、設計することが不可欠である。

NMR が材料構造解析において、X 線や高分解能電子顕微鏡と補完的関係にあるのは言うまでもないが、(1)複雑構造の解析、(2)原子番号が隣接する元素でも識別可能な点で、NMR が有利である。このような観点から、X 線や高分解能電子顕微鏡などを併用する、もしくは理想的には隣接して利用できる研究環境を整備することが望ましい。

このような課題は、特定の分野の産業や学術でのみで解決ができず、関連する異分野の協力が不可欠である。また、未開拓分野でもあるので、新しい人材を育成する必要性が特に高い。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ところが、現在日本では、材料研究共用に整備されている高分解の固体 NMR は、物質・材料研究機構 (NIMS) のつくばに 930MHz 級のものが一台、理化学研究所横浜研究所に 700MHz 級のものが一台あるのみである。そのためマシンタイムは数か月待ち状態で、高まる研究開発ニーズにほとんど有効に対応できていない。利用可能性が高まればさらにニーズが増すものと思われる。ところで、930MHz 級は世界最高水準であるが、この面での各国の競争状況も激化している。

まずは、高まる量的なニーズへの迅速な対応として、既存設備との連携した利用が可能なように、開発済みの高性能設備をまず増設することが緊急に求められる。これが、コストパフォーマンスの最も高い投資となり、我が国の研究開発能力を有効に迅速に高める。

同時に、未だ実現していない超 1GHz 級の設備を並行して開発する。その際に、広範なニーズをこの計画を通してより確実に集めるようにすべきである。

④ 所要経費

【10 年計画】

- (1) 930MHz 級固体 NMR 整備 2 式 40 億円。
 - (2) 1GHz 超級固体 NMR 整備 1 式 30 億円。
 - (3) 実験プローブ整備 10 式 5 億円。
 - (4) 液体 He 購入費 1 億円/年。 →10 億円
 - (5) 人件費など 0.5 億円/年 →5 億円
- 総額 90 億円

⑤ 年次計画

1 期 (3 年)、2 期 (3 年)、3 期 (4 年) とする。

- (1) 1 期 立上期: 930MHz 級 2 基を整備する。産学官共同管理体制を構築し、首都圏の既存設備を含めて管理運営できるシステムを構築する。1GHz 超級の設計。
- (2) 2 期 開発期: 1GHz 超級を開発し、組み込む。産学官共同管理体制の見直しを進め、首都圏以外の関連設備とも連携を構築する。
- (3) 3 期 本格期: 10 基程度のネットワークによる総合的運用を進める。さらに国際的な連携も図り、必要に応じ、設備の拡充、更新を図る。

⑥ 主な実施機関と実行組織

第 1 期では、物質・材料研究機構 (NIMS) が主体となり、理化学研究所横浜研究所と共同で体制を構築することが望ましい。

NIMS が中心となって、理化学研究所横浜研究所と連携を取って、産学官共同管理体制を構築する。両研究所は、第 1 期ではいずれも既存の設備を本事業のためのマシンタイムを拠出し、本事業が円滑に軌道に乗るように図る。また、新規導入機器については、その設置場所の確保を含めて責任を持って検討する。

第 2 期以降では、設備規模の大小を問わず、本事業の主旨に賛同する全国の機関が保有設備の共用マシンタイムを拠出し、参加することが期待される。

⑦ 社会的価値

複雑構造を持つ物質・材料の構造解析とその動的挙動解明によって、より高機能・高効率な二次電池、太陽光電池、燃料電池などの次世代機器が開発されるきっかけとなる。また、希少資源を含有する未利用鉱物、産業過程で排出される複雑構造副産物、高濃度放射性物質などの解析、改質などによって、資源問題の緩和、最終処分場の減容化、有害・危険物質の固定化などに多大な寄与が期待されている。

⑧ 本計画に関する連絡先

森田 一樹 (東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻) kzmorita@material.t.u-tokyo.ac.jp

ヒューマンセントリック思考に基づく新材料創製

① 計画の概要

物質・材料分野における新しい学理創成を目指し、人間の生活や生活文化向上に寄与する新たな価値を創造する人間ひとりひとりの感覚・感性に合わせた材料創製(ヒューマンセントリック思考による材料創製)を可能にする拠点形成をおこなう。従来の大量生産・大量消費社会を前提としたシーズに依存したモノ作りから脱却し、人間の感性から求められる材料の性質をニーズとして提示し、それを実現するために原子・分子のレベルから材料設計を行い実際の新材料創製を実施するという新しい研究モデル(スーパー材料創製モデル)の構築を行う。具体的には、インターネットとクラウドによる物質・デバイス情報の共有化を基礎に、スーパー材料創製拠点ブランチを全国5箇所に置き、ネットワークで結んで広く全国共同利用に供する。スーパー材料創製拠点では、ネットワークにつないだ化学合成ロボット、3次元プリンタ、質感計測装置等を整備し、既存の分析・合成装置なども活用することで、材料からデバイスまで様々なレベルで、Materials on demandに応じた「デジタル・ファブリケーション」を可能とする体制を整える。

組織母体としては、既存の5大学附置研究所からなる「物質・デバイス領域共同研究拠点」を中核に、国公立大学等の協力のもと、全国ネットでの展開を図る。多様な素材やモノ作りのノウハウをデジタルデータとして収集し双方向に共有すると共に、「オンデマンド・モノ作り」を行ない、人の感性に応える物質・デバイス創製を実現する。この仕組みを構築するため、知能科学や数理科学の専門家が参画し、物質・材料の物理数理モデルと人の感覚・感性をつなぐ新たなスーパー材料創製モデルを作り上げる。上記整備により、全国の産官学研究者や学生が先端材料・デバイス研究に関与する機会を提供し、新しい時代のモノ作り人材育成と新産業創成が可能となる。

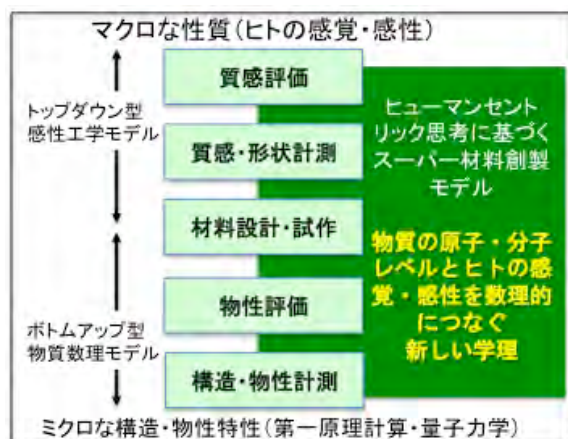
② 学術的な意義

今日の物質・材料科学は、物質を原子・分子に還元し、その基本法則を解明した上で、再度総合する事によりマクロな性質を物性値として把握するという構造となっている(ボトムアップ型物質数理モデル)。その上に構築される技術・産業は、物性値の優れた材料を安く大量に合成し、安くて優れた製品を大量に生産・販売する事で成り立つ。これまで日本は、材料科学・ナノテクノロジーの分野において、国際的優位を保ってきたが、産業化や大量生産技術では、韓国や中国に追いつかれ、新たなイノベーションが期待されている。こうした中で、感性工学という言葉に象徴されるように、むしろ、製品を使う個々の「ヒト」が望むデザインや質感や肌触り・ぬくもりなど、単純な物性値には還元しにくいヒトの感覚・感性を重視したモノ作り(トップダウン型感性工学モデル)が注目されている。例えば、某メーカーでは、質感と樹脂表面の面荒さの関係を解析し、微細加工技術により高品質感を実現している。

我々の目指す物質・材料創製は、従来のシーズに基づく機能追求モデルから、今まさに研究が推進されている物体の質感をいかに表現するかに関する問題を広く取り入れ、感覚・感性に訴えるニーズが牽引する材料創製である。物質の質感を数理的に解明すれば、デジタル・ファブリケーションにより、多様な素材を組み合わせて期待に応えるモノを自在に作ることができる。素材に対する質感認知、質感計測に関するトップダウン型感性工学的手法と従来のボトムアップな物質数理モデルとの融合、すなわち、物質の原子・分子レベルとヒトの感覚・感性を数理的につなぐ、ヒューマンセントリック思考は学術的価値が高く、新たなイノベーションを生み出さう。本研究を国が主導することにより、物理・化学・材料工学などの物質に係わる分野と、情報・数理科学、感性工学等の異分野学際融合を促す。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

多くの便利な製品が行き渡った現在、人の価値観は、優れた機能を持つモノから、ヒトの感覚・感性に訴えるクールなモノへと移行しつつある。「感性」は日本発の概念であるが、例えば、平成22年度には新学術領域研究「質感脳情報学」が発足



し、人の質感の感じ方、物体の質感情報の獲得や生成に関する研究の推進を通じた学問としての体系化が進みつつある。一方、人々の要求に応え、必要なモノを必要なだけオンデマンドで製造する技術は、「デジタル・ファブリケーション」と呼ばれ、急速に普及している。3D プリンタや化学合成ロボットなどを用いて、インターネット経由で、誰でもどこでも「モノ作り」ができる時代を迎えつつある。米国政府は、製造業再生のための次世代製造業育成研究費用として、この技術に6000万ドルの予算を投じた。同様に英国でも、700万ポンドほどが投じられているが、我が国の動きは極めて遅く緊急な対策が求められる。本計画はこれら2点を結び付けた拠点形成であり、今、集中的な研究体制を構築すれば、欧米の一步先をいくことが可能である。

④ 所要経費

予算総額 99億円

(1) 装置整備費：32億円 物質・材料開発、物性・機能評価、デバイス化研究用既存設備の有効活用に配慮しつつ、各スーパー材料創製拠点ブランチに、ヒューマンセントリック思考による新材料創製に必要不可欠な、各1-5億円規模の装置設備拡充を図る。(内訳：化学合成ロボット、超臨界ナノ粒子製造システム、多機能インクジェット、3Dプリンタ、質感計測装置)

(2) クラウド・ネットワーク整備費：7億円-拠点全体を結ぶネットワーク構築のため、各ブランチに遠隔コミュニケーションシステムとクラウド環境(内訳：設計用クラウド計算機・データ記録装置)を整える。

(3) 運営経費：60億円(10億円/年×6年) 各スーパー材料創製拠点ブランチに、情報ネットワーク技術室と材料創製技術室を併設し、共同研究者間の情報共有及び材料の試作を支援する人員を配置する。(教員10名、技術職員10名、職員6名)

⑤ 年次計画

1~2年目：各拠点の設備を充実させるとともに、遠隔コミュニケーションならびにクラウド環境を整えたネットワーク型拠点を構築し、拠点外からも参加者を募り、共同研究を開始する。具体的には、ナノプラットフォーム等の既存設備と分野・地域性を考慮して、超薄膜作製、微細加工、ナノ物性・機能評価などの設備を整備し、ネットワーク型拠点として効率の良い材料創製ライン整備を行う。遠隔システムにより、各スーパー材料創製拠点間でのシームレスな環境を構築する。デジタル・ファブリケーション環境の構築、実際の試作を通して、モノ作りのノウハウを蓄積する。

3~4年目：各スーパー材料創製拠点にヒトの感覚・感性をはかる質感計測装置ならびに高臨場感五感ディスプレイを導入し、デジタル・ファブリケーションと連動したシステムを構築する。すべての参画機関と連携し、無機―有機―生体にまたがる多様な新物質・高機能材料に関する学術情報と材料設計情報の集積、また、質感計測装置による既存材料の質感情報の収集を開始する。これらの収集活動を通じて、原子・分子のレベルから材料設計を行う新材料創製のためのモデルを構築する。

5~6年目：収集した学術情報のデータベース化と材料設計のノウハウの知識体系化を図ると共に、新材料創製のためのモデルを学理として体系的にまとめる。さらに、ヒューマンセントリック思考による新材料創製が可能なネットワーク拠点として全国共同利用共同研究を推進し、さらなるノウハウの蓄積、体系化を進め、ヒトの感覚・感性に訴える新材料創成を加速させる。

⑥ 主な実施機関と実行組織

日本列島縦断型のネットワーク型研究拠点を形成する、物質・デバイス共同研究拠点(北海道大学電子科学研究所、東北大学多元物質化学研究所、東京工業大学資源化学研究所、大阪大学産業科学研究所、九州大学先導化学研究所)が中核拠点となり、分野と地域性に配慮した分散型ネットワークによって全国の研究者の英知を結集した共同研究を支援する。

本拠点においては、ヒューマンセントリック思考による材料創製のコンセプトの創出と、それを実際にものづくりとして実現する新しい研究モデル(スーパー材料創製モデル)の構築を行うが、これらには2つの要素が必要である。1つは、人間の感性、物体の質感、に代表される、従来の実験的手法のみでは解析ができなかった要素を、情報・数理科学を活用して材料設計指針として提案をすることであり、もう1つは、重厚なものづくり実績を背景に、提案された指針を実際に実現することである。産業科学研究所は情報科学分野、電子科学研究所は数理科学分野を有することから、前者を重点的に実施し、他の3研究所のものづくり基盤を併せて、情報数理科学と物質デバイス科学の融合拠点を構築する。5研究所に拠点ブランチとしての機能をもたせ、Materials on demandに応じた「デジタル・ファブリケーション」を可能とする研究・開発支援体制を整える。

物質・デバイス領域共同研究拠点の多様な研究者コミュニティ、例えば、感性工学における新学術領域研究「質感脳情報学」のメンバー等に参画を呼びかけ、新しい学問創製に挑む。また、共同研究拠点がもつ、全国の国公立大学研究者、企業研究者、海外の研究者に開かれた共同研究機能を活用し、公募による多様な共同研究の実現を図る。

⑦ 社会的価値

わが国の年齢構成は、高度高齢者社会に向けての新科学技術が必要としている。体力のある若者であれば、製品にあわせて人間の生活を変えることができるが、高齢者が活躍する社会では、例えば、人の感性や意図を汲み取り、人間にストレスを与えることなく機能を発揮する機器や技術により、quality of lifeを向上させることに主眼が置かれる。これを実現する材料・デバイスとそれを組み込んだ製品、ならびに、それらを機能的に動かすIT技術は、安全安心な社会をもたらす。ヒューマンセントリック思考に基づく材料創製は、従来の個別の技術領域における知的財産創出と異なり、材料・デバイスからデザイン、社会心理に至る幅広い概念を主張する知的財産の創出につながる。このような広い背景を請求項に持つ特許は、日本の弱い部分であり、まさに産業イノベーションの原動力となる。また、本ヒューマンセントリック思考は、現行の大量生産による画一製品の生産者側から消費者側への一方通行の商品の流れを対話型個別生産方式へと産業の在り方を変える。この産業構造の転換は、大量生産拠点が発展途上国に移管される中、わが国の産業が勝ち残る鍵を提供する。

⑧ 本計画に関する連絡先

八木 康史(大阪大学・産業科学研究所) yagi@am.sanken.osaka-u.ac.jp

ユーザーフレンドリーな東京湾ナノアプリケーション放射光リングコンソーシアムによる 材料研究の国際競争力の飛躍的向上

① 計画の概要

ますます激しさを増している新物質・材料探索の国際的競争において世界をリードするためには、材料の電子構造から原子構造までを精密に知ることができる最先端の散乱・分光観察が必要になってきており、これを実現するシンクロトロン放射光(SOR)による高輝度X線の有効性は広く認識されている。最先端の材料研究には高い空間分解能+時間分解能(4D)とエネルギー分解能が要求されており、あたかもインハウス設備と同じように使えるユーザーフレンドリーで柔軟な運用形態を備え、アクセスの良い高輝度ナノアプリケーションリングが切望されている。必要な性能を満たすナノアプリケーションリングは現在国内にはSPring-8のみであり、多数のユーザーが1年以上の申請・準備期間を経て少ないマシンタイムを競い合っている状況にあり、新たに発見された物質・材料を直ちに測定・評価する環境がない。また多くの施設は材料研究人口が密集している首都圏から遠隔にあり、関東圏で唯一現在運用中の高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリーは30年以上前の旧世代リングのため、輝度、安定性、ビームの空間分解能やエネルギー分解能において必要条件を満たしていない。首都圏は多くの物質・材料研究ユーザーを抱える地域であり、産官学のポテンシャルユーザーは1万人を優に超える。また、それぞれのビームラインの装置試作を強力にバックアップする町工場群も有する。空港、鉄道による高アクセス性を有するとともに十分な設置面積がある東京湾エリア(お台場周辺の埋立地)に3-3.5GeVの中型高輝度ナノアプリケーションリングを新たに設置し、ユーザーが短いターンオーバー時間で利用できる環境を整備する。またユーザー主体のコンソーシアムによる柔軟な運営により、これまでにない革新的な放射光材料研究の拠点とすることにより、物質・材料研究の国際的競争力を飛躍的に向上させる。

(図1の計画概要を参照)

② 学術的な意義

高輝度放射光を利用した様々な散乱・回折、ならびに分光法による物質・材料研究の有効性は、これまでのPFやSPring-8の挙げてきた成果によりすでに明らかである。今回の提案は、(1)ナノアプリケーションリングという新世代の4D解析と高エネルギー分解能を両立し、ハイスループットビームラインで短ターンオーバー測定を可能とする高輝度放射光の利用を実現すること、(2)潜在的ユーザー人口密度が高い首都圏に設置し、日帰り測定や緊急性の高い測定の割込みを可能にするユーザー利便性を確保して、研究室設備と同様な使用環境を提供することにある。これにより新物質発見から評価・解析までの時間を大幅に短縮する(1週間以内の待機時間を目標)ことを可能として、物質・材料研究における国際競争力を向上させると同時に、他の放射光施設とは性格の異なる新しい研究機能を創成する。現在SPring-8の1/3を占める首都圏ユーザーの5千人に加えて、これまでSOR施設にアクセスすることができなかった5千人から1万人の首都圏潜在ユーザーが新たに利用するものと予想され、SORによる物質・材料研究が幅広く普及する。従来の民間企業のSOR施設ユーザーは大企業を主とするが、今後は中規模以下の企業の利用も見込むことができる。すなわち飛躍的なユーザー人口拡大と、従来とは異なる放射光の新しい応用による材料学の発展が期待される。放射光による物質・材料研究の普及、バラエティの拡大と高度化を同時に実現が可能であり、これによる研究の質的・量的拡大のインパクトは大きい。具体的には、高温超伝導、リチウム電池や光触媒などの日本が競争力を確保・維持していく必要がある先端材料分野や、生体高分子機能材料、廃棄物中の処理困難物質など、人類が対象としなくてはならない物質・材料研究においても日本の競争力と独自性を確保できるものと期待される。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

この中型SORは大型SORとほぼ同じ基本性能でありながら建設費が安く、省エネ型で維持費も低廉で、材料研究に有効な軟X線領域の輝度が高いという特徴を有している。海外ではLBNLのALS等の既存の中型高輝度SOR施設に加え、上海シンクロトロンを始め都市型近郊でアクセス性が良くナノアプリケーションが可能な高輝度SOR施設が稼働あるいは計画されている。またこれからの測定の多くは単に静的測定だけでなく、反応過程を測定できるその場観察や温度・雰囲気調整下での測定が必要になってきているが、これらの測定に関しては海外のビームラインとの激しい競争があり、迅速で高度な先端ビームライン機器開発がキーとなっている。

国内では、ナノアプリケーションを実現できる低エミッタンス(=電子ビームの大きさ×発散角)を有する3GeV級の東北シンクロトロン計画が立案中であるが、従来から設置されている地方型SOR設備に分類され、ほとんどの地方から短時間(3時間程度)でアクセスできる首都圏型とは利用形態や利便性の点で性格が全く異なるという良い。

④ 所要経費

ここでは建設から最初の第一期(10年)にわたる費用の概算を示した。当初は8~12ビームラインを先行整備するが、順次固定利用ビームライン(設置費用は利用者負担)を増設するとともに、ユーザーニーズに応じたビームライン増設を進めて行く予定である。

■設備関係費用(総額:650億円)

(1) 周辺整備(地盤工事):150億円

(2) シンクロトロン本体:300億円

- (3) ハイスルーブットビームライン：150億円
 軟/硬X線光電子分光：PES+XAS+XES+RIXS：40億円
 ナノ偏光分析：スピン偏光：20億円
 X線散乱：小角・高角、非弾性散乱：30億円
 XANES+EXAFS：40億円
 X線CT、Tomography：20億円
 (4) その他：50億円

■経常経費（30億円）

- (1) 維持・運営費：20億円/年
 (2) 人件費：10億円/年

⑤ 年次計画

SOR はアップグレード可能なリングの設計により 50 年以上の稼働が可能であるが、ここではその初期に当たる 10 年を一つの区切りとし、これを 2 期 (A、B) に分割した計画により進める。第 I 期以降は新規加速器技術の発展に合わせて、さらなる先端分光を可能とする高輝度・低エミッタンス化を進める。

(1) 1-A 期（建設：3-5 年）：軟弱な埋立地の地盤安定化工事と高精度ジャッキ装置を備えた SOR リング

の建設を行う。立地条件によってはメガフロートなどの技術を利用して初期計画ビームラインの整備を行うとともに、産官学からなるメンバーによって運営されるコンソーシアム（研究組合）機能を立ち上げて柔軟な利用形態を提供する。ユーザーコミュニティを中心とした活動により、課題審査、ビーム時間の割振り、ビーム時間提供を対価とする若手ボランティアサポートなど、必要な機能を整備する。各機関や企業の協力体制と各地方に置くユーザーコミュニティ支部により、新規利用者へのサポートや助言も含めた対応を行う。先行利用では 8～12 のハイスルーブットビームラインを整備する。計画運用は公募とし、2-3 年間に研究期間として測定法の開発・装置試作も含めた課題を広く国内外から募集する。短期、緊急課題は国内の研究者の申請（申請者本人および申請者の共同研究者）を基にした運用を行う。

(2) 1-B 期（運用：5-7 年）：新規ビームライン建設を順次開始する。民間企業や各機関の個別専用ビームラインも順次受付・運用に供する。また公募の範囲を徐々に拡大して国際共同研究を支援し、第 1 期終了までには海外からの利用申請も制限なく受け、世界の放射光材料研究のメッカとなるべく国際化を進める。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東大、東工大、理研、物質材料研究機構（NIMS）東京湾岸地域の物質・材料系企業群のユーザー群と高エネルギー加速器研究機構（KEK）などが主体となり、共同運用するコンソーシアム（研究組合）を構築する。運用経費の分担などの運営に関する部分をコンソーシアム機構の中で決定する。これらの運営や固定的な運用経費等を管理する小規模な管理運用機構が必要であるが、これらの機構の中に時限的な産学連携型の放射光物質・材料研究センターを置くことが適当と考えている。

⑦ 社会的価値

グリーン・サステナブル社会に不可欠な太陽電池、燃料電池、蓄電池、高温超伝導、光触媒などの先端材料開発は、「工学的手法による地球規模問題の解決」という工学に課せられた課題解決の鍵を握っている。高輝度 SOR を用いる先進的な放射光材料学は、これに不可欠な新実験・観察手段を提供し、我国の高度な材料技術のアドバンテージをさらに発展させる駆動力となる。これにより先端材料開発や新薬開発、新治療法の開発が可能になり、国民が希望する医療技術の向上、工業技術の発展による経済発展、安全で安心な環境の実現に大きく貢献する。

放射光施設の建設と維持には高額の資金を必要とするが、その弾力的運用と利用者負担制度により維持に必要な経費を低減できると考えられるが、各研究機関のインフラ整備の負担低減と研究手法の質的向上が可能になる。全国からのアクセスの良さによる利便性によるユーザーの増加による科学技術の高度化と継続的発展に対するインパクトも大きい。

首都圏が有する町工場群は、設置されるビームラインの装置開発に大きな力を発揮するだけでなく、国際的発展も期待できる新しい市場を提供するという経済的效果もある。

⑧ 本計画に関する連絡先

山口 周（東京大学大学院工学系研究科） yamaguchi@material.t.u-tokyo.ac.jp



図1 東京湾 SOR 計画の概要（ユーザーフレンドリーな使用環境を提供するコンソーシアム）

コンパクト中性子源を利用したその場長時間経時変化追跡による物質構造変化解析施設の分野を越えた産学官共同管理による材料ゲノムの学び場の形成と運営

① 計画の概要

複雑構造物質の高分解能構造解析を必須とする、分野を超えた産学官の研究開発人材が容易にアクセスでき、材料ゲノム工学（高い水準で原子レベルからマクロスケールにわたる材料の機能設計を行うための方法とその利用技術）と材料解析・診断学（材料の組織と構造の解析、材料が使用される環境や状態における時間経過性の材料機能とその機能発現の阻害要因、問題の解析・診断とその処方から成る材料技術の領域）を結び付けて、新しい知の形成の共有とその場で若手人材を育成できる、ユーザーフレンドリーなコンパクト中性子源を利用したその場長時間経時変化追跡による物質構造変化解析施設を整備し、分野を越えた産学官共同管理による材料ゲノムの学び場の形成と運営を行う。

大型中性子源設備を単独で長時間利用することは有効とは言えず、予備的基礎的な実験の N 数を稼ぎ系統的に知見を蓄積し、決め手となる要素については、必要に応じて大型設備を利用し、相補的に活用する。また、X 線回折装置を併用し、さらにその効率向上を図る。

全国からのアクセスや宿泊実験などを容易にするためには、既存の設備群とのネットワークを形成するためにも、首都圏にまず整備するのが効率的である。圧倒的なマシンタイムを確保するためにはコンパクトで経済的な専用機を設置する。当然のことながら、設備の保守管理、運転に係る専門家の確保と養成は不可欠である。

運営に当ってはナノプラットフォームなどの既存の共用システムとの連携が効率的であるが、研究機関単独のチームではなく（産＋学）混成チームでかつ学生を含むものを最小研究単位とし、複数年（最長 3 年）の実施を基本とするなどの独自のルールで、かつ産学官を代表する利用者代表による共同管理（運用指針、採択基準、実施評価など）を行う。

② 学術的な意義

強い物質透過力を持つ中性子は、X 線では透過不能な厚みを持つサンプルの内部組織や内部応力分布を測定できる。さらに、X 線とは異なる特徴である、(1) 中性粒子であり透過性が高い、(2) 散乱能が原子番号と無関係なため、軽元素（例えば水素やリチウム）と重元素から構成される物質の構造決定に優位である、(3) スピンをもった磁性粒子なので、物質の磁気構造を容易に決定できる。(4) 原子の振動とエネルギーのやり取り情報から物質中の原子振動の様相を明らかにできる可能性がある、などを活かす高い期待がある。

近年の基礎研究の結果、その場回折実験による高温での相変態追跡や小角散乱法によるナノ析出物、介在物の定量化等で有効性・独自性が証明されてきている。今後は、計算科学と連携して、非破壊でミクロなスケールの構造変化ダイナミクスを解明し、材料の未解明課題の解決に貢献できると期待される。さらに、産業ニーズにより近い応用として溶接、加工熱処理などのプロセス最適化のための組織変化評価、組織経時変化と材料寿命の関心の定量的解析、製品品質管理における利用などへの適用にも大きな期待が集まっている。

具体的には、水素化物としては初めてのイオン伝導体のイオン伝導経路の解明に成功している。ここから水素透過性を積極的に利用する燃料電池の機能改善への適用と同時に、高強度材料で未解明である水素脆性のメカニズム解明への適用にも期待が高まっている。また、発電技術の極限的な高効率化のため、耐熱材料の高温構造の時間変化を追跡し、より高機能な高温安定な材料開発への寄与および劣化の定量的評価への利用に対する期待が大きい。（図 1）

このような課題は、特定の分野の産業や学術でのみでは解決できず、関連する異分野の協力が不可欠である。また、未開拓分野でもあるので、新しい人材を育成する必要性が特に高い。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内の小規模中性子源は、理研ラボ中性子源、北大パルス中性子源、京大原子炉実験所実験炉がある。これらは物質・材料研究共用に特化されたものではない。EU では、X 線と中性子線を近接させ、物質・材料研究開発を最大化する取り組みが早くから進んでいる。したがって、実験知識の共有と計測技術開発における技術スタッフの育成においても日本は遅れを取っている。仏・グルノーブル（中性子：ILL、X 線：ESRF）、英・オックスフォード（中性子：ISIS、X 線：Diamond）、スイス・チューリッヒ（中性子：SINQ、X 線：SLS）がある。EU はサイエンス優先で、産業利用という点では日本がむしろ活発化している。J-PARC における産業利用の比率は 25%程度から増加傾向にある。これは、中性子源活用が競争力獲得に不可欠となっている有力な証左のひとつとも言える。J-PARC の本格化に呼応して、小規模中性子源を効率的、合理的に整備し、我が国の研究開発能力を有効かつ迅速に高め、世界最高水準の底力を実現すべきである。小規模設備は広範なニーズを拾い集める点でも有効で、産学官連携を確実に進める点でも魅力が高い。

④ 所要経費

【10 年計画】

(1) 小型中性子源加速器	1 式	3 億円
(2) 中性子発生装置	1 式	2 億円
(3) 実験プローブ	10 式	2 億円

(4)保守管理費 0.5億円/年 →5億円
 (5)人件費など 0.5億円/年 →5億円
 総額 17億円 (新用地確保費用は考慮していない)

⑤ 年次計画

1期(3年)、2期(3年)、3期(4年)とする。

(1)1期 立上期:物質構造変化解析用コンパクト中性子設備を首都圏に整備する。産学官共同管理体制を構築する。

(2)2期 開発期:設備を稼働させ、研究開発を進めつつ、産学官共同管理体制の見直しを進め、首都圏以外の関連設備との連携を構築する。

(3)3期 本格期:ネットワークによる総合的運用を進める。さらに国際的な連携も図り、必要に応じ、設備の拡充、更新を図る。

⑥ 主な実施機関と実行組織

第1期では、物質・材料研究機構(NIMS)が主体となり、理化学研究所、原子力開発機構と共同で体制を構築することが望ましい。

NIMSが中心となって、産学官共同管理体制を構築する。また、設置場所の確保を含めて責任を持って検討する。

第2期以降では、既述の関係機関が、設備規模の大小を問わず、本事業の主旨に賛同し、保有設備の共用マシンタイムを拠出し、参加することが期待される。

⑦ 社会的価値

強い物質透過力を持つ中性子は、X線では透過不能な厚みを持つサンプルの内部組織や内部応力分布を測定できる。さらに、X線とは異なる特徴である、(1)中性粒子であり透過性が高い、(2)散乱能が原子番号と無関係なため、軽元素(例えば水素やリチウム)と重元素から構成される物質の構造決定に優位である、(3)スピンをもった磁性粒子なので、物質の磁気構造を容易に決定できる。(4)原子の振動とエネルギーのやり取り情報から物質中の原子振動の様相を明らかにできる可能性がある、などの利点を活かすことによって、多様な社会的価値が実現される。

まず、従来の計測手段では知ることができなかった、物質・材料の現実のサンプル寸法での原子レベルでの構造変化(ダイナミクス)を得て、現実諸現象の新しい科学的視野を広げることができる。このことは、様々な社会的ニーズ、産業ニーズに対応できることを直接意味している。水素エネルギーの活用、高温材料の活用などにおいて、科学的知見に下支えされた、より高機能でより信頼性の高い実用が期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

小関 敏彦(東京大学大学院工学系研究科) koseki@material.t.u-tokyo.ac.jp

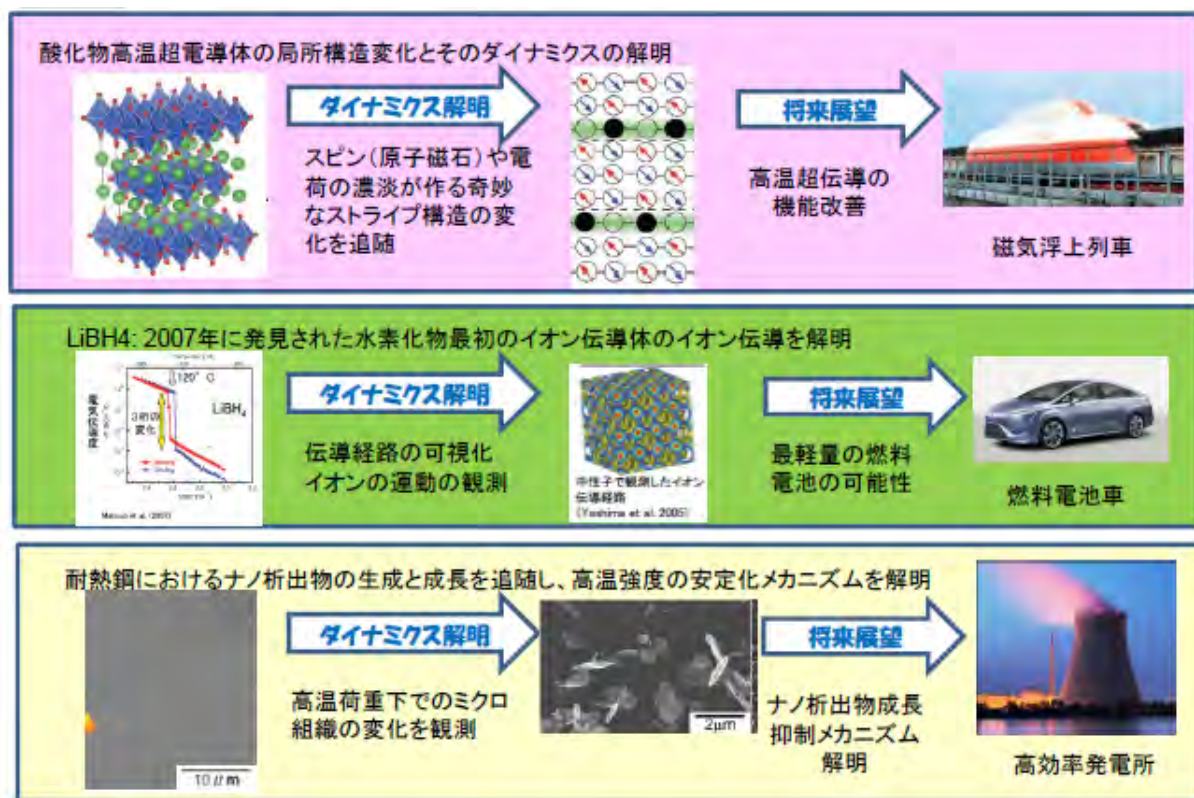


図1: コンパクト中性子組織解析を用いて得られる研究成果の例