学術大型研究計画の説明：区分Ⅱ

計画番号１　学術領域番号 1-1

日本語の歴史的典籍のデータベース構築計画

①　計画の概要

奈良時代以後、江戸時代末までに日本人によって著述された歴史的典籍は、現在調査できたもので約 50 万点となっており、その情報は、国文学研究資料館の「日本古典籍総合目録データベース」により、書誌情報及び所有者情報を提供している。

本計画においては、その約 50 万点のうち、所在が明確であり、かつ、インターネット公開の同意が得られる約 30 万点の歴史的典籍について、デジタル画像化し、そのデータを集積して、国内外に対し、総合的・体系的に発信を行うものである。

それにより、ＩＴ先進国であるにもかかわらず、自国の古典籍の電子化において、中国や韓国その他諸外国に大きな遅れをとっている我が国の文化・学術環境の整備を図り、また災害等により潜在的な亡失の危機に晒されている日本の文化資源を確実に未来へ継承するとともに、政府のクールジャパン政策の一翼を担うことができるものである。

②　学術的な意義

従来の歴史的典籍に基づく研究は、多く校訂者が整備した活字テキストという２次資料に依拠したものであったが、本計画によって構築される画像データベースにより、近代以前の全分野の歴史的典籍の画像がインターネット閲覧可能となり、画像という１次資料の提供によって、新たな研究環境が整備され、従来の活字テキスト中心の研究に大きな変革をもたらすことになる。

それにより、「何が書かれているか」という情報のみに偏りがちであった従来の研究に、「いかに書かれているか」という新視点を提供することになり、従来の「内容研究」、「作品研究」という観念的な研究に加え、さらに歴史的典籍における「文字情報」、「表記情報」という新分野の研究の展開が期待できるものである。

また、画像の発信は、歴史的典籍の絵画的情報、書道史的情報、書誌的情報を大量に提供することになり、隣接諸分野の研究に資することができる。

さらに、平安時代典籍の料紙の美、中世奈良絵本の物語絵、江戸時代の浮世絵風挿絵など、多様な美的要素に富む日本の歴史的典籍の画像は、海外の日本研究者はもとより、日本語を読めない外国人に対しても、雄弁に「日本」のイメージを発信し、その対外的効用には、計り知れないメリットがある。

③　所要経費

平成 26 年度の所要額は、333,301 千円である。

内訳　人件費　106,400 千円
　（特任教授 1 人、特任准教授 2 人、研究員 3 人、事務職員 6 人、事務補佐員 10 人）
　運営費　116,901 千円
　（画像データ作成経費、委員会等開催経費、通信運搬費、消耗品費等）
　設備費　110,000 千円（原本等参考資料購入費）

事業全体（平成 25 年度～平成 34 年度）の所要額は、7,137,321 千円である。

内訳　人件費　1,378,900 千円
　（特任教授、特任准教授、研究員、事務職員、事務補佐員）
　運営費　5,106,421 千円
　（画像データ作成経費、委員会等開催経費、通信運搬費、データベースシステム保守・管理費、消耗品費等）
　設備費　652,000 千円（原本等参考資料購入費、データベースシステム導入経費）

④　年次計画

平成 25 年度・平成 26 年度
　国文学研究資料館：画像データ作成・公開、委員会等開催、原本等参考資料購入

平成 27 年度～
　国文学研究資料館：画像データ作成・公開、委員会等開催、原本等参考資料購入
　10 拠点：画像データ作成・公開

平成 28 年度～
　国文学研究資料館：データベースシステム導入

平成 30 年度～
　国文学研究資料館：画像データ作成・公開、委員会等開催、原本等参考資料購入
　20 拠点：画像データ作成・公開

⑤　主な実施機関と実行組織

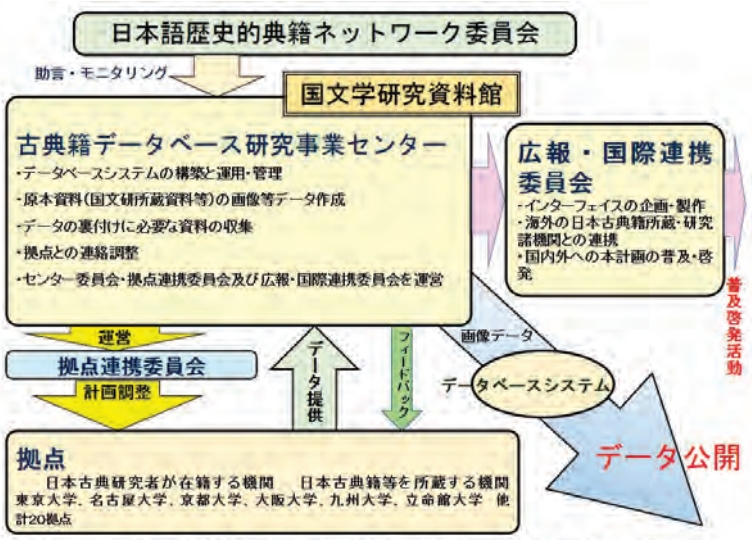
◎主な実施機関：国文学研究資料館。日本学術会議の勧告に基づき、昭和 47 年 5 月に創設。国内外に所蔵されている日本文学及び関連資料の専門的な調査研究と、資料収集を行い、得られた所在・書誌情報を整理・保存し、日本文学及び関連分野の研究基盤の整備を行っている大学共同利用機関。

◎実行組織：国文学研究資料館に設置される古典籍データベース研究事業センターと 3 委員会（日本語歴史的典籍データベース委員会、拠点連携委員会、広報・国際連携委員会）及び20 拠点等である。
・古典籍データベース研究事業センター
(1)データベースを公開するためのシステムの構築と運用・管理。
(2)国文学研究資料館所蔵または本計画により収集した原本資料の画像・書誌データ作成。
(3)原本の所在が判明しているが公的機関未所有、データベースの構築に必要ではあるが長期所在不明のものなど、データの裏付けに必要な資料の収集。
(4)計画の推進状況を管理するため、拠点連携委員会及び広報・国際連携委員会を運営。
・日本語歴史的典籍データベース委員会
古典籍データベース研究事業センターの運営についての助言や第三者の立場で、計画のモニタリングを行う。
・拠点連携委員会
計画実施のため、国文学研究資料館と拠点との連携調整を行う。
・広報・国際連携委員会
(1)収録データについて、研究者が使いやすいインターフェイスの企画・製作。
(2)海外の日本古典籍所蔵・研究諸機関との連携を行う。
(3)国内外へ向けた本計画の普及・啓発。
・20 拠点：東京大学、名古屋大学、北海道大学、東北大学、京都大学、大阪大学、九州大学等とし、平成 27 年度に 10 拠点、平成30年度からは20拠点と、段階的に設置する。

⑥　社会的価値

本計画は、学術研究に資することを第一とするが、日本の歴史的典籍の画像発信は、活字テキストでは限界のある、古典籍への興味・関心を一般社会において掘り起こすきっかけとなり、初等中等教育、生涯教育等の社会の各層において、理解され、歓迎・活用されるであろう。

また、日本文化をインターネット経由で世界に発信できる強力なツールの一つとして、クールジャパンの一翼を担うことができる。



「日本語の歴史的典籍のデータベースの構築」計画推進組織図

⑦　これまでの進捗状況

本計画は、平成 25 年度の国立大学法人運営費交付金特別経費として、事業実施の準備経費が予定額として計上されたため、本計画としての研究成果はまだ出ていない。

しかし、平成 23 年度及び平成 24 年度に作成した歴史的典籍の画像データは、22,620 点（うち公開済み 12,110 点）であり、平成 25 年度中には、すべて公開することとしている。

⑧　これまでに得られた研究成果

本計画は、平成 25 年度の国立大学法人運営費交付金特別経費として、事業実施の準備経費が予定額として計上されたため、本計画としての研究成果はまだ出ていない。

しかし、平成 23 年度及び平成 24 年度に作成した画像データを使用し、国文学研究資料館において、研究展示「江戸の表現」（平成 24 年 10 月 17 日～11 月 20 日開催）を開催している。

⑨　本計画に関する連絡先

今西　祐一郎（大学共同利用機関法人人間文化研究機構国文学研究資料館）　imanishi@nijl.ac.jp

計画番号２　学術領域番号 3-5

心の先端研究のための連携拠点（WISH）構築

①　計画の概要

「心の先端研究のためのネットワーク」を整備し、心の働きとその認知・神経基盤、発達基盤、社会基盤、及び進化基盤を解明する。人間は他者とのやりとりの中で文化を形成し、社会的な価値・規範を作り、「現在・ここ・自分」を超えた「未来・あちら・他者」に対する展望や共感をもつことができる希有な動物である。こうした、他の生物種には見られない、ヒトを特徴づける「高度の社会的知性」、すなわち、他者の心を想像し、理解し、協力し、互恵的にふるまう心、自分が置かれている状況を知覚し行動を柔軟に調整する高い可塑性をもつ「つながる心」を科学的に解明するためには、文理連携の学際研究が必要だ。そこで実験環境やデータベースを遠隔地から共有しつつ多数の研究者が参画し、他者とのきずなの中で作られ保たれる心について日本独自の先端研究を推進する。具体的には、ヒト、チンパンジー、ボノボのヒト科 3 種やそれ以外の動物を対象にした社会的知性の比較認知・発達研究を行うと共に、複数 MRI を結んだ脳活動の並行記録法を確立し、社会交渉課題における脳科学的知見を理論モデルと接合する。また、認知発達ロボティックスの観点から「高度の社会的知性」の設計原理について検討する。こうした成果を大規模データベースに統合し、ビッグデータの解析手法を用いて、乳児期から老年期に至る人間のライフスパン全体における心の発達過程や発達障害についての詳細な理解を得る。心の包括的な理解に資する非侵襲の必須装置（MRI 等）を整備し、若手研究者を雇用し、客員交流制度を整える。予算規模は経費総額 47.3 億円（設備導入に 15.8 億円、運営費等に毎年度 6.3 億円 x 5 年間の合計 47.3 億円）である。

②　学術的な意義

心理学・認知科学、発達科学、脳科学、実験社会科学のみならず、日本が世界をリードする霊長類学、さらに認知発達ロボティックスをも有機的に統合した「心の先端研究」拠点の構築により、これまで人文社会科学の各分野において個別的に探求されていた「ヒトはなぜ、どのように人間的であるのか」という極めて根源的な問いに対し、サイエンスの側から統合的にアプローチする日本発のユニークな学問領域が創成される。人間の認知発達・社会・脳科学研究拠点と 3 つの霊長類研究施設を結ぶ遠隔リアルタイムの比較認知科学実験や、複数 MRI の並行記録による社会脳研究、ロボットなどの人工物を介した構成的心理・行動実験、心とゲノムをつなぐ個体情報を網羅した大規模データベースの開発は、本計画独自の世界に先駆けた研究手法である。これによって共感、信頼、公正、互恵、協力など、人間社会の基盤を構成する心のはたらきを解明し、コミュニケーションや言語を含む、ヒトを特徴づける「つながる心」の解明が期待できる。さらに、最先端の科学的手法で得られた知見を、実験室や現場で蓄積してきた莫大な心理学的知見と融合させることで、うつ、ひきこもり、いじめ、不登校、感情暴発、発達障害、乳幼児虐待、高齢化と精神的健康といった現代社会が直面する喫緊の課題の解決に資する基礎と応用を有機的につないだ心の先端科学の確立が期待できる。また、経済学を始めとする社会科学と密接に連携しつつ心の先端研究を推進することで、科学的人間理解に基づく社会制度の設計に資することができる。

③　所要経費

施設整備費として 15.8 億円、連携拠点運営経費として 31.5 億円（毎年度 6.3 億円 x5 年間）の総計 47.3 億円を計上する。施設整備の内訳は、(1)MRI 施設整備 1 式（3.2 億円：慶應大に設置）、(2)大規模社会実験用被験者管理システム 1 式（8000 万円：北大に設置）、(3)乳児発達研究設備 1 式（1 億円：玉川大に設置）、(4)アンドロイドを介した構成的心理・行動実験設備 1 式（8000 万円：阪大に設置）、(5)比較認知科学研究棟施設 1 式（6 億円：京大に設置）、(6)個体情報データベース開発整備 1 式（3 億円：東大に設置）、(7)生涯発達研究設備 1 式（1 億円：熊本大に設置）の 7 項目。各年の運営経費の内訳は、(1)大型施設整備維持経費（措置された MRI、霊長類比較認知実験設備等の維持経費）、(2)全国共同利用研究経費（最先端設備を利用し国公私立大学等の研究者が共同研究を行う経費）、(3)全国共同教育経費（最先端設備を活用した心の先端科学に関するワークショップ等）、(4)頭脳循環による国際化推進経費（ポスドクの国際雇用）、(5)学術情報の社会的発信経費、(6)メタ拠点運営経費（東大・京大の 2 メタ拠点における事務局運営経費）の 6 項目に大分類される。

④　年次計画

平成 24 年度には最初の比較認知科学実験設備と、京都大学に措置された MRI1 台が順調に稼働を始めた。平成 25 年度以降、各年度に比較認知科学実験設備を 1 か所ずつ増設して合計 2 か所でヒト科 3 種を主対象とした遠隔地からの連携研究を開始する。また平成 25 年度には、平成 24 年度補正予算で措置された MRI2 台（東京大学と北海道大学に設置）が稼動を始める。平成 26 年度以降には、既有設備の調整と更新に加え、MRI 設備、大規模社会実験用被験者管理システム、乳児発達研究設備、生涯発達研究設備、アンドロイド実験設備、比較認知科学研究棟施設を含む新規要求設備の導入稼動を順次図ることで、WISH を構

成する心理学関連の5拠点（東大、京大、北大、玉川大、慶應大）に阪大ロボティックスを加えたCOE以後の教育研究の連携体制をスケールアップする。具体的には、平成26-28年度は、MRIを結ぶ並行記録実験を加速し、そこから得られた知見を社会科学のゲーム理論モデルと接合する。同時に、ヒト科三種を用いた比較認知・比較発達研究の成果を、認知発達ロボティックスによる社会的知性の設計原理についての知見と接合していく。こうした認知・発達科学、脳科学、霊長類学、実験社会科学、認知発達ロボティックスの共同による先端知見を、平成27年度以降逐次、大型データベースに統合し、情報科学において急速に洗練されつつあるビッグデータに関する精緻な解析技法を用いて、ライフスパンを通じた個体の心の発達過程や発達障害についての理解を進める。なお平成28-30年度の後半3年間で、英文学術誌の充実とSCIジャーナルへの移行、若手研究者の頭脳還流プログラム等を着実に進め、国立の心の先端研究機関への発展を期する。

⑤　主な実施機関と実行組織

実施機関：7研究機関連携

東京大学・進化認知科学研究センター、京都大学・心の先端研究ユニット、北海道大学・社会科学実験研究センター、大阪大学・未来戦略機構認知脳システム学研究部門、玉川大学・応用脳科学研究センター（米国カリフォルニア工科大学との国際連携）、慶應義塾大学・人間知性研究センター（慶應大と理化学研究所の共同構成）、自然科学研究機構・生理学研究所（自然科学研究機構内の領域融合センターを含む）

東京大学と京都大学をメタ拠点として、上記の心理学・認知科学、脳科学、実験社会科学、認知発達ロボティックスの7先端機関がそれぞれハブ拠点として、心の先端研究に関する国内外のほかの研究機関（NTTコミュニケーション科学基礎研究所人間情報研究部、熊本大学・心の可塑性研究ユニット、California Institute of Technology･Center for Social Decision-Makingなど）を結びつける、オールジャパン体制の先鋭なWEB型組織を構成する。

⑥　社会的価値

心理学・認知科学・発達科学・ロボティックス・霊長類学・進化学・脳科学・実験社会科学の文理連携により「社会的きずな」を作るヒト知性の本質を解明するというWISH計画は、国際的にも極めて野心的な試みである。同様の観点からヒト知性に迫ろうとする包括的計画は、未だ世界のどこにも存在せず、我が国が世界をリードする日本発の心の先端科学が確立できる。また、WISH事業は、いじめやひきこもり、高ストレスによるうつ病や自殺の多発などの、現代社会が抱える心をめぐる社会病理の解決に向けて、最先端の科学的知見に基づく提言を行うことができる。同時に、経済学・法学・政治学を含む社会科学領域に対し「科学的証拠に基づく人間モデル」を提供することで、経済格差や貧困を含む喫緊の多様なマクロ問題の解決を目指した社会制度の設計に貢献することができる。同時に、サイエンスに依拠した人間モデルの普及・教育活動を通じて、国民の人間・社会科学リテラシーが大幅に向上し、社会的な問題解決や合意のための有効な知的土壌の醸成が期待できる。

⑦　これまでの進捗状況

日本学術会議の「心の先端研究と心理学専門教育」分科会から生まれた本WISH事業は、第20期発足と同時に活動を始めた。21世紀COE(6件)とそれに続くグローバルCOE(5件)の心理学・認知科学分野の事業代表者を糾合し、日本学術会議「心理学・教育学」分野別委員会からの助言も得て、コミュニティの強力な支援のもと、心の先端研究を推進する連携拠点（WISH）構築について検討してきた。WISH事業を構成する7拠点の代表者はいずれもこの分科会の中核メンバーとして今日まで7年半にわたる連携活動を積み重ねてきており、本計画においても、分科会メンバー(現在26名)と密接に協力しながら国内WEB展開を行う。同時に、社会心理学・経済学・法学・政治学の研究者が協同する学術会議「実験社会科学」分科会も本WISH事業を強力に支持している。なお、文部科学省の最先端研究基盤事業採択14件のうち、唯一の人文・社会系の最先端研究基盤事業としてWISH事業（平成22-24年度）が認定され、措置された14億円による設備面での初期整備が一部行われると共に、平成24年度補正予算においてもMRI装置整備のための6億円の追加投資がなされた。そうしたインフラ設備については事業実施WGを設けて心の先端研究を推進している。

⑧　これまでに得られた研究成果

WISH事業は文部科学省の最先端研究基盤事業（平成22-24年度）に採択され、京大霊長類研究所（犬山）と野生動物研究センター・熊本サンクチュアリ（熊本）に、比較認知科学実験設備が措置された。京都-犬山-熊本をつなぐテレビ会議システムが平成23年度末から、京大-東大をつなぐテレビ会議システムが24年7月から稼働を開始した。これらの措置により、ヒトとチンパンジーにおける視覚情報処理や短期記憶メカニズム、向社会行動の発現プロセスの異同が解明され、ヒト科3種を対象とした知性の進化に関する比較認知科学研究が大きく進展した。また、東大-京大が共同でヒトとチンパンジーの乳幼児の認知能力発達を比較検討し、それと並行して阪大グループがロボット工学と脳科学の融合による認知発達機能の解明を進めた。MRIを用いた社会脳科学研究についても、北大-玉川大が共同で、協力行動や共感、正義判断を含む社会的意思決定の神経回路網を解明した。さらに京大-慶應大は、感情や価値を支える脳基盤についての検討を進めた。これらのWISH2010・2011マスタープランに基づく研究成果は、Nature, Science, PNASなどのトップジャーナルに公刊されると共に、New York Timesなどの海外メディアに取り上げられ大きな反響を呼んだ。加えて各拠点リーダーは、American Association for the Advancement of Science (AAAS), 米国心理学会、国際霊長類学会、Harvard大学、Stanford大学などの海外主要研究組織から、学術賞やフェローなどの国際顕彰を受けている。またWISHの7拠点は、日本心理学会シンポジウム、国際高等研究所カンファレンスの開催等を通じて、国際的に卓越した若手研究者を共同で育成する教育活動を過去10年以上にわたり展開している。

⑨　本計画に関する連絡先

亀田　達也（北海道大学・大学院文学研究科）　tatsuyakameda@gmail.com

計画番号３　学術領域番号 12-1

国際宇宙ステーションにおける宇宙生命科学研究計画

①　計画の概要

本研究計画は、最先端生命科学研究に対応した研究設備を国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟に設置し、宇宙生命科学研究の飛躍的発展を図ることを目的とする。国際宇宙ステーションの完成によって宇宙科学研究を安定的、組織的に実施できる時代が到来し、過去４年間の「きぼう」運用により、既にいくつかの分野で数々の画期的な研究成果が生まれている。また、2010 年３月には国際宇宙ステーションの運用を 2020 年まで延長することが関連宇宙機関間で合意された。今後、最先端水準の生命科学研究をより広い研究分野で強力に推進するためには、開発から既に 20 年以上が経過し老朽化した現在の「きぼう」の設備を最先端技術に対応させるための更新、拡充が必要である。そこで、研究者コミュニティからの要望が特に強い以下の５種の研究設備を新規開発、設置するとともに、制約の多い宇宙実験において、変質しやすい生物試料から正確なデータを得るための安定した打上げ回収運用システムを確立し、宇宙生命科学研究を強力に推進する。

１）細胞内動態リアルタイム解析システム
２）植物栽培制御・解析システム
３）哺乳動物飼育制御・解析システム
４）生物試料回収・解析統合システム
５）船外実験プラットフォーム（暴露部）利用実験施設

②　学術的な意義

最近の生命科学の急速な進展に伴い、生命の基本原理やメカニズムの解明が進みつつある。しかし、得られた知見の大部分は地球環境下に限定されている。例えば、重力について見ると、現在までに得られた情報のほとんどは、１ｇという重力環境の制約の下でのみ適用可能な、「１ｇ生命科学」を構成するものである。生命現象の普遍性を明らかにし、その本質に迫るためには、地球環境を超越した宇宙での研究が必要不可欠である。この目的のために国際宇宙ステーションが建設されたが、搭載設備は設計当初からほとんど更新されておらず、最近の生命科学技術の進歩を有機的に取り入れる体制ではない。本研究計画の実施によって、以下の多くの成果が期待できる。

１）生命の起源や進化の本質的なしくみが解明できる。
２）重力や放射線などの宇宙環境に対する生命の応答、適応機構が解明できる。
３）地球環境への生命の応答、適応機構が解明できる。
４）生命の基本原理解明のためのブレークスルーがもたらされる。
５）生命の宇宙環境での長期生存に必要な科学的知識、技術が得られる。
６）地球環境の急激な変化への適切な対処に必要な科学的知識、技術が得られる。

これらの成果により「人類をはじめとした地球生命の多様性と生命活動の根幹が明らかになる」とともに、「人類の健康といのちを守る」ために必要不可欠な多くの科学的成果をもたらすことが期待される。

③　所要経費

総予算 200 億円
・５種の研究設備開発にそれぞれ 15～25 億円、合計 100 億円
・「きぼう」への運搬、設置費用として 30 億円
・設置後の運用経費として１年当たり 10 億円、７年間で 70 億円

④　年次計画

平成 25～27 年度　５種の研究設備の開発、製作、適合性試験、安全性試験
平成 26～28 年度　５種の研究設備の「きぼう」への運搬、設置、運用開始
平成 26～32 年度　５種の研究設備の本格運用とそれを利用した研究の推進

⑤　主な実施機関と実行組織

・宇宙航空研究開発機構（JAXA）：本研究計画の実施主体。研究設備の設計、開発、製作、試験、「きぼう」実験棟への運搬、設置、運用を担当する。
・理化学研究所：研究設備（特に、細胞内動態リアルタイム解析システム）の開発、試験、並びにそれらを利用した研究の推進を担う。
・東北大学、筑波大学、東京大学、東京医科歯科大学、東京薬科大学、群馬大学、千葉大学、お茶の水大学、横浜国立大学、金沢大学、富山大学、信州大学、岐阜大学、名古屋大学、名古屋女子大学、藤田保健衛生大学、京都大学、京都工芸繊維大学、大阪大学、大阪市立大学、大阪府立大学、奈良県立医科大学、岡山大学、広島大学、徳島大学、鹿児島大学、放射線医学総合研究所など：研究設備の開発、試験、並びにそれらを利用した研究推進を行う。

⑥　社会的価値

本研究計画の実施によって、社会に対して以下の多くの波及効果をもたらすことが期待できる。それによって得られる知的

財産権や経済的・産業的価値に関しても、大きな可能性を持っている。

1）人類の宇宙への進出を可能にする科学的知識、技術が得られる。

2）地球の急激な環境変化への適切な対処による環境保全を通して、人類の長期生存が可能になる。

3）関連分野の発展に寄与するとともに、国産技術の振興を通して我が国の成長戦略に貢献できる。

4）社会福祉の向上や地球の未来を担う次世代の教育、育成に貢献できる。

5）国際共同プロジェクトとして国際社会に貢献するとともに、世界をリードする研究を維持・発展できる。

⑦　これまでの進捗状況

本研究計画が文部科学省ロードマップ2012に採択された際、独立行政法人（JAXA）が実施主体となって推進するべきであるとのご意見をいただいた。また、本研究計画の立案・準備と平行して、JAXA内では、生命科学分野の2020年までの「きぼう」利用シナリオが作成され、その実施に必要な新規実験設備・装置の開発が議論されている。以上の状況を受けて、日本宇宙生物科学会会長がJAXA理事長に要望を提出し、5種の研究設備のうち、まず哺乳動物飼育制御・解析システムの開発についてJAXA内の予算を使用して開始することになった。ただし、JAXA予算が厳しい査定を受けて年々減少しており、他の4種の研究設備の開発はおろか、哺乳動物飼育制御・解析システムの完成すら危ぶまれる状況にあるため、別途予算を獲得する必要があることも再認識された。現在、宇宙環境利用科学委員会のワーキンググループ、研究チーム活動による研究設備開発を継続するとともに、予算獲得のための様々な可能な方策を探っているところである。

⑧　これまでに得られた研究成果

4年間の「きぼう」運用により、既に生命科学の様々な分野で画期的な研究成果が生まれている。その一例は以下の通りである。

1）動物細胞の形態形成や遺伝子発現が重力と放射線の影響を広く受けていることが、明らかになった。

2）宇宙の微小重力環境下で動物の運動能力低下と筋萎縮が誘導される分子機構が明らかになり、筋萎縮対策への可能性が示された。

3）宇宙の微小重力環境下で破骨細胞の活性化による骨吸収が誘導される分子機構が明らかになり、その対策への可能性が示された。

4）宇宙の微小重力環境は植物にとってストレスが少ない環境であり、栄養成長が促進されることが明らかになった。

5）植物が重力に対抗する抗重力反応において細胞壁と微小管が果たす機能の実態が解明された。

6）宇宙でガン抑制遺伝子 *p53* の発現が促進され、適応応答が誘導されることが確認された。

7）放射線、特に重粒子線によりDNAや染色体が損傷を受ける過程を可視化できる技術が確立された。

これらの成果は科学的に価値が高いだけでなく、人間の疾病治療や健康維持、次世代農業の振興など、応用面でも利用可能性が高いものである。

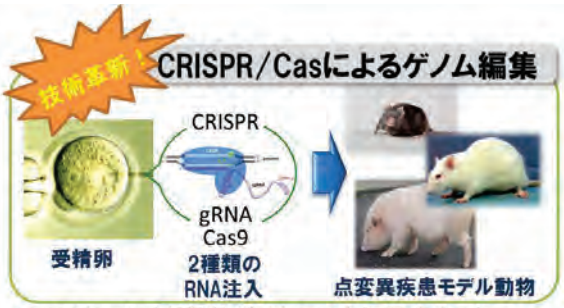
⑨　本計画に関する連絡先

保尊　隆享（大阪市立大学）　hoson@sci.osaka-cu.ac.jp

先進的医学研究のための遺伝子改変動物研究コンソーシアムの設立

①　計画の概要

ゲノムプロジェクトによりヒト全ゲノム遺伝子配列が明らかにされたが、その機能解析は今後に残された重要な展開研究課題である。多くの病気が遺伝子機能の異常により引き起こされることから、個体レベルでの遺伝子機能の解析は、病気の発症機構の解明、治療法の開発において重要である。本計画では、２万数千のヒト遺伝子の中から疾患に関連すると予想される遺伝子を選別し、遺伝子を破壊したノックアウトマウスを中心に遺伝子改変動物を 2,000 系統作製し、個体レベルで遺伝子機能を明らかにする。さらにマウスで得られた知見をラットやブタにおいても確認し、先進的なヒト疾患モデルを構築することで、新たな治療法を開発する。そのため、遺伝子改変マウスの作製と解析に関して実績のある東京大学・大阪大学・筑波大学・熊本大学・理化学研究所に、京都大学（ラット）、九州大学（ブタ）を加えて実行組織とし、ネットワーク型コンソーシアムを設立する。国内コンソーシアムの設立により、遺伝子改変マウスの作製に必要な方法論、研究材料を共有して効率化できるとともに、研究者コミュニティや各大学の特色を生かしたマウスクリニックが分業して解析することで、専門外の研究者が見落としてしまう表現型（疾病）を拾い上げる。作製された遺伝子改変動物は、表現型情報と合わせて研究者が自由に利用できるシステムを構築し、我が国の医学研究の発展と産学連携による創薬を強力に推進する研究資源（バイオリソース）とする。またオールジャパンのコンソーシアム構築により、世界的な連携も視野にいれた研究展開が可能となり、医学生物学の発展と人類健康福祉の貢献に寄与する。



CRISPR/Casにより標的ゲノムDNAを切断することで、遺伝子破壊・点変異などの遺伝子改変（ゲノム編集）による疾患モデル動物が簡便に作製できる。

②　学術的な意義

DNA 塩基配列というゲノム情報は、機能の解析を伴い、はじめて生命の仕組みの理解、疾病の再現さらには予防・治療に役立つ知識に生まれ変わる。トランスクリプトーム解析やプロテオーム解析、タンパク質の構造解析、ティッシュエンジニアリングなど、分子・細胞レベルで生命の仕組みに関する研究が盛んになっているものの、試験管内で再現できる生命現象は限定されている。特にガンや感染症、免疫、生殖・発生、神経などといった高次生命現象の解明には、個体を用いた解析が必要不可欠である。本研究計画では、全世界的な脅威である感染症、最近増加傾向が指摘されるアレルギー・自己免疫疾患、遺伝子異常により引き起こされるガン、社会問題にもなっている不妊・不育や脳機能障害、高血圧や糖尿病などの生活習慣病、などを優先的に解析する対象とする。各大学機関が培ってきたノウハウを基に遺伝子改変動物を体系的に作製して解析することで、世界的な協調関係を締結しながら病気の理解と再現、予防・治療を実現し、人類の健康な生活の実現に貢献しようとするものである。

③　所要経費

初年度（基盤整備費：40 億円、運営経費 3 億円）、2 年度（基盤整備費：30 億円、運営経費 7 億円）、3~10 年度：運営経費 10 億円／年。内訳については、基盤整備に 70 億円（遺伝子改変動物作製設備に 12.0 億円、飼育設備に 33.5 億円、解析設備等に 24.5 億円）、運営経費に 90 億円（消耗品 70 億円、人件費 15.8 億円、その他に 4.2 億円）、合計 160 億円を計上している。

④　年次計画

初年度：(ア)東京大学と大阪大学に遺伝子改変マウス作製拠点を整備し、京都大学に遺伝子改変ラット、九州大学に遺伝子改変ブタの作製・解析設備を、熊本大学にマウス胚・配偶子保管設備を整備する。マウス総合クリニックとして理研 BRC に国際標準の総合表現型解析設備とデータベースを、マウス専門クリニックとして、東京大学に感染症、大阪大学に生殖不全、筑波大学に生活習慣病の表現型解析設備をそれぞれ整備する。(イ)遺伝子改変マウス作製のための候補遺伝子の選定、遺伝子改変法の効率化、迅速化に向けた技術的検討等の基礎準備を行った後、変異マウスの作製を開始する。作製されたマウスは順次、表現型解析を開始するとともに、広く公開・共有を進める。またラット・ブタを用いた研究についても遺伝子改変技術の開発を行う。(ウ)遺伝子改変動物の表現型については、研究者コミュニティとの連携により解析を開始する（賛同する 14 学会等の活用）。

2 年度：(ア)各大学が担当する疾病について専門クリニック型の表現型解析設備を整備する。(イ)遺伝子改変マウスの作製と機能解析を引き続き実施する。マウス解析結果に基づき、ラットとブタで改変する候補遺伝子を選定し、遺伝子改変動物の作製と解析を開始する。(ウ)遺伝子改変動物の表現型については、研究者コミュニティとの連携により解析を推進する。

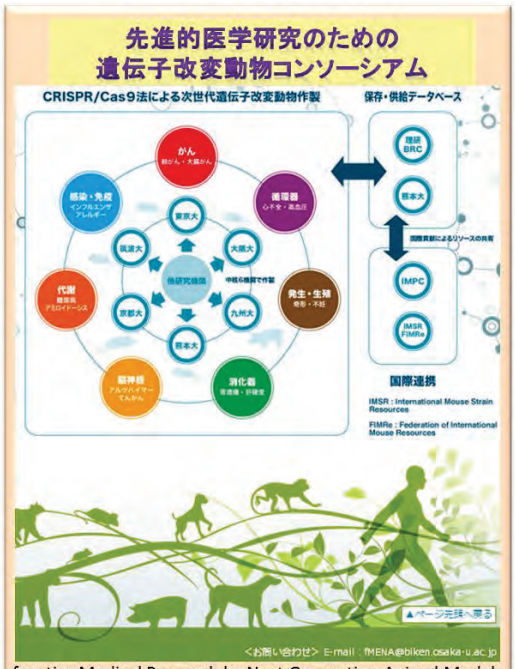
3 年度～10 年度：(ア)遺伝子改変マウスおよび、遺伝子改変ラット・ブタの作製および解析を引き続き実施する。また作製マウスのリソース化、配布も順次行っていく。理研 BRC、熊大 CARD を中心に国際コンソーシアムとは連携を深め、表現型のデータベース化を進化させる。(イ)遺伝子改変動物のうち、ヒト病態形成に関する遺伝子を同定した場合には、疾患モデルとして確立し、産学連携による治療法・予防法の開発を行う。

⑤　主な実施機関と実行組織

ステアリングコミッティ：実行組織、研究者コミュニティ（14 学会等）の有識者に加え、国内外の関連団体（IMPC など）からオブザーバー参加を予定。IMPC との連携を踏まえた上で、国内研究者のリクエストを勘案して、候補遺伝子の選定を行う。事業の進捗状況の把握と評価を実施する。

実行組織：各機関の特長を生かした遺伝子改変動物の作製と保存・供給を行う。表現型解析は、研究者コミュニティとの連携により実施する。

東京大学(医科学研究所、医学系研究科)、大阪大学(微生物病研究所)、筑波大学(生命科学動物資源センター)、熊本大学(生命資源研究・支援センター)、京都大学(医学研究科)、九州大学(医学研究院)、理化学研究所(バイオリソースセンター)



frontier Medical Research by Next Generation Animal Models (fMENA) HP; fmena.biken.osaka-u.ac.jp)

⑥　社会的価値

人類が長年に渡り苦しめられてきたガンや感染症、免疫不全・アレルギー疾患等に加え、現代社会では、生活習慣病や脳神経障害、不妊・不育等、喫緊に解決されるべき新たな課題が山積している。これら医学的難題の解決は、国内外を問わず人類共通の悲願であり、それに立ち向かうためのツールとして不可欠な遺伝子改変動物の作製と解析について広く国民の理解が得られるものと考える。また本事業で得られる知見は、生命原理の解明や病気（疾病）に至るメカニズムを知る学術的な価値に加え、動物個体で病気を再現することから、創薬に向けた予防・治療薬の開発に有用な知的財産であり経済的・産業的価値が高い。国際的なバイオ医薬市場は年率 30%近い成長を続けており、今や 20 兆円を超える規模である。医薬産業界が遺伝子改変動物に期待していることは、製薬企業と密な関係を持つ英国ウェルカム・トラスト（The Wellcome Trust）が多額の出資をしていることからも容易に窺える。鉱物資源の少ない日本において、疾患モデル動物を含めた医療知的財産は、次世代を担うバイオ資源として産業的価値を生み出すことが期待できる。

⑦　これまでの進捗状況

ノックアウトマウスを作製しても顕著な表現型が見つからず、野生型と殆ど変わらないケースが少なくない（約 1/3~1/2）。つまり多額の経費をつぎ込んで個別にマウスを作製するよりは、疾病に関連すると予想される遺伝子を集中的に破壊する方がスマートであり、費用対効果も大きい。そこで国内では、多数のノックアウトマウスを作った実績をもつ熊本大学・東京大学・大阪大学の 3 大学が「病因遺伝子機能解析ネットワーク」（平成 22~26 年度・文科省特別経費）を形成し、合計 90 の疾患関連遺伝子に焦点を絞って体系的かつ効率的にノックアウトマウスの作製と表現型解析を開始した。これまでの 3 年間で約 60 のノックアウトマウスを作製し、論文報告も 50 以上（内インパクトファクター10 以上が 11 報）に達するなど順調に成果を挙げている。しかし疾患関連遺伝子に絞っているとはいえ、5 年で 100 系統というペースでは、IMPC が目標とする 5 年で 5,000 系統の 2%と、ライフイノベーションを掲げる日本の実力にはほど遠い。また遺伝子破壊マウスを足がかりとして誕生が期待される様々な新薬が欧米由来のものに偏ってしまい、将来に渡って特許料を払い続けたり高額医薬品を輸入に頼らざるを得なくなる恐れがある。また本事業は日本学術会議マスタープラン 2010 に掲載され、文部科学省も最先端経費を措置してロードマップ 2012 では推進中と位置づけている。しかしながら、申請額 160 億円に対して 6 億円が予算措置されるに留まっており（充足率 4%未満）、本格的なプロジェクト遂行には新たな予算措置が必要な状況にある。広く生命科学・医学系研究の礎となる本事業への投資は、国民の理解が得られるものと考えている。

⑧　これまでに得られた研究成果

遺伝子改変動物の作製が本格化して本コンソーシアム発足するまでの約 20 年の間に、各大学・機関が独自に作製したノックアウトマウスは約 860 系統、保存供給したマウス約 15,500 系統であった。コンソーシアム発足後は、連携を密にしてプロトコールの標準化や効率化を進め、3 年間で 350 系統のノックアウトマウスを作製し、4500 系統を保存供給した（それぞれ発足前の約 3 倍、約 2 倍の効率化）。つまり現在は、年 100 系統のノックアウトマウスを作製し、年 50 系統を一次表現型解析できる体制が整っている。またノックアウトマウスを用いた研究成果は、過去 3 年間で 150 報を超え、うちインパクトファクター10 以上の学術雑誌に掲載された論文が 20 報あった（Nature, Science 誌等）。ノックアウトマウス個体解析には時間がかかることから、今後も成果は着実に増える。このように、ノックアウトマウスが科学的に価値の高い研究成果を生み出すことは明らかである。しかしながら、その価値を独占する研究者（作製依頼者）が権利を有するマウスを公開・共有しないために、他の研究者が自由に利用できないケースが少なくない。また作られたノックアウト系統数の約半数しか論文発表されていない状況からは、重複してノックアウトマウスが作られる無駄や（既存ノックアウトマウスの約 1/3 が重複）、個体レベルでの遺伝子機能は予測通りではないために、門外漢には難しい表現型の解析が垣間見える（たとえば血圧制御遺伝子 Ace を欠損すると雄性不妊になる。内科医が泌尿器を見るようなもので、解析が難しい）。本コンソーシアムにより標準プロトコール解析を行うことで、門外漢には見いだせない表現型の掘り起しが始まっており、まさに無から有を生み出す体制が整いつつある。

⑨　本計画に関する連絡先

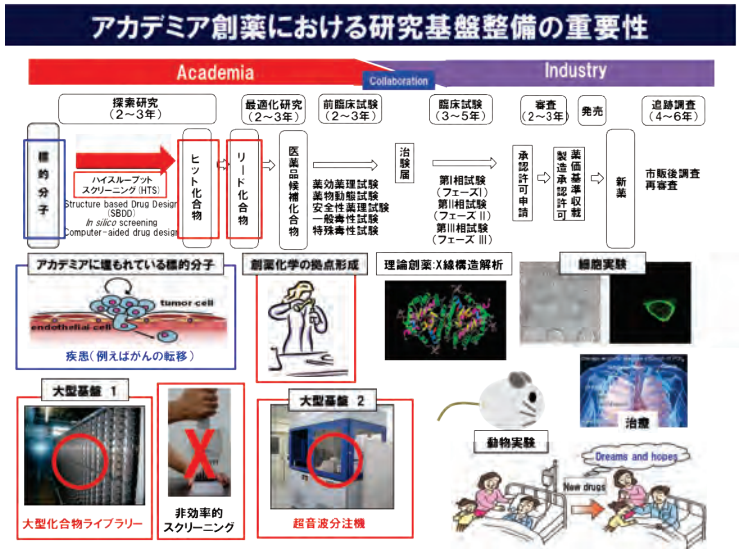
吉田　進昭（東京大学・医科学研究所）　nobuaki@ims.u-tokyo.ac.jp

創薬基盤拠点の形成

①　計画の概要

本計画では、創薬のための大型基盤設備（大規模化合物ライブラリーやハイスループットスクリーニング機器など：補足説明資料『創薬基盤拠点の形成（1）』）を整備する事により、大学等の公的研究機関で行う創薬研究を支援する体制を構築する。その成果に基づいて産学連携研究を行い、日本の医薬品産業をより一層活性化する事を目的にしている。本計画は大学に埋もれている創薬シーズを掘り起こし、そこから医薬品候補化合物を創出するもので、特に難治疾患、患者数の少ない稀少疾患、顧みられない疾患あるいは創薬標的と考えられていない生体分子を対象とした疾患など、製薬企業では着手しにくい治療薬の開発を目指している。更に、公的な創薬基盤設備を整備することにより得られる化合物/薬理活性データを収集し、それらのデータベースを構築し全国の生命科学研究者の創薬研究の基盤とする。

本計画は日本学術会議マスタープラン2010およびマスタープラン 2011 に採択され、それに基づいて一部ではあるが計画は予算化され、プロジェクトが開始されている。しかしながら、日本の全ての研究者が容易にアプローチし、医薬候補品を創出できる体制構築の観点からは十分に整備されたとは言い難く、更に創薬拠点の運営費に関しては全く不十分であると言わざるを得ない。



具体的に更に整備が必要とされる項目について以下に箇条書きにする。

1）天然化合物ライブラリーの収集・保管
2）最適化研究を担う医薬品合成拠点の整備
3）論理的創薬研究の基盤となる in silico 研究体制の整備
4）毒性と体内動態などの前臨床試験のための関連設備の設置と運営

優れた医薬品の開発は国民が健康で安心できる生活を送る上で最優先の研究課題であり、更に知識集約型の医薬品産業は国の基幹産業になりつつある。これを側面から支える本計画はこの観点からも高い価値がある。

②　学術的な意義

本計画は、創薬基礎研究を推進し、それが新規医薬品の開発に繋がる観点から有意義であるのは言うまでもないことであるが、得られた成果は他分野の研究にも有用である。更にこの創薬分野の本格的な教育は従来行われてこなかったが、これらの設備を整備することで座学だけではなく実習を伴う実践教育が実施できるようになる。

具体的内容については以下に箇条書きにする。

1）従来、日本には大規模な公的化合物ライブラリーなどの基盤がなかったため本格的な創薬研究は行えなかった。疾患の標的となるタンパク質の機能解析を研究テーマにしている生命科学研究者は日本に数多くおり、この基盤を整備することにより大学等公的機関の研究成果を源（オリジン）とする新規医薬品創製の道が切り開かれる。

2）得られる成果（新規阻害剤など）は医薬品としての有用性だけではなく、生命科学研究のツールとして、生命現象を解析する上で有力な武器となりシステムバイオロジーなどの他分野の研究への波及効果も大きい。

3）患者数の少ない稀少疾患あるいは顧みられない疾患の治療薬の開発は営利を目的とする製薬企業では開発に着手しにくいのが現状である。公的研究機関で難治疾患の発症機序の解明に取り組んでいる研究者は多数おり、この公的基盤整備で大学等においてこのような疾病の治療薬の開発に取り組むことができるようになる。

4）創薬研究者の人材の養成に有用であり、我が国の創薬力の底上げに貢献する。すなわち本格的な実習を含む創薬教育がこれらの基盤により可能となり、体系化された大学院教育が実現できる。ここから輩出される大学院卒業生は、製薬企業、官庁等で即戦力として期待でき、更に日本のバイオベンチャー育成にも繋がる。

③　所要経費

総経費 125 億円

1）設備投資：設備の建設を含め、投資額として 45 億円。
（内訳：化合物ライブラリー設備の充実などに 10 億円、スクリーニング設備に 12 億円、最適化研究の合成設備と In silico 研究に 5 億円、前臨床試験設備に 13 億円、データベース構築に 2 億円、その他諸経費に 3 億円）

2）運営費：年間 8 億円（8 億円×10 年間 = 80 億円）

④　年次計画

研究継続期間：10 年間（平成 25 年度～平成 34 年度）
1）平成 25 年度～平成 27 年度
「計画の概要」に記載の 1)～4) までの基盤設備をこの 3 年間で設置・構築する。ただし、天然化合物の収集および保管管理は長時間を必要とするため平成 34 年度まで継続。
2）平成 25 年度～平成 34 年度
全国共同利用施設として効率的に運用するオールジャパン体制のシステムを構築・運用する。構築された設備・機器を用いて、創薬研究を行う全国のアカデミア研究者を強力に支援し、日本の創薬研究を活性化する。計画は 10 年を一つの区切りとし、評価・見直しを行う。

⑤　主な実施機関と実行組織
1）主な実施機関：東京大学総長室総括委員会　創薬オープンイノベーションセンター
2）実行組織：東京大学大学院薬学系研究科、北海道大学創薬科学研究教育センター、東北大学アカデミア発創薬拠点、京都大学ワンストップ創薬拠点、大阪大学創薬拠点、九州大学化合物ライブラリー創薬先端研究・教育基盤室、長崎大学感染症・放射線障害分野を中心とするネットワークなど（補足説明資料『創薬基盤拠点の形成（2）』）

⑥　社会的価値
国民の健康を守る事は国の根本的な施策の一つである。アカデミアの基礎研究を応用研究である新規医薬品開発に繋げるこの計画プロジェクトの社会的な価値について議論するまでもない。高齢社会を迎え、誰もが健やかな老後を迎えたいと願っている。アルツハイマー病に代表される疾病の克服は人類の悲願と言っても過言ではない。老人医療のみならず、働き盛りの人の命を奪うがんや心筋梗塞などは一家の大黒柱を失うことから、一家離散の恐れもある。このような悲惨な現状を克服することは科学の果たすべき役割の一つである。
大学の研究成果をこれらの難病克服に少しでも役立たせることができれば、研究者としてこれに勝る喜びはないであろう。

⑦　これまでの進捗状況
以下に箇条書きで説明する。
1）東京大学大学院薬学系研究科内に 600 平米を超えるスペースを確保し、東京大学総長室総括委員会に所属する部局として創薬オープンイノベーションセンター（旧称：生物機能制御化合物ライブラリー機構）を設置した。
2）センターは本計画プロジェクトを中心的に担う事務局および研究者の組織である。
3）組織内に 21 万超の大規模化合物ライブラリー、大規模アッセイのためのハイスループットスクリーニング機器などアカデミア創薬を行うための機器類を設置した。
4）創薬研究のための講習会あるいは研究会を新たに創設し、大学などの研究者・大学院生に対して本格的創薬研究のための教育体制を整えた。
5）北大、東北大、京大、阪大、九大、長崎大にそれぞれの地域の拠点としての役割を果たすため、大規模アッセイのためのハイスループットスクリーニング機器の設置とそれをサポートする人材の確保を行った。
6）化合物サンプルの提供支援を開始し、平成 21 年からはサンプル提供支援を産学の区別なく一般研究者にも開始している。
7）スクリーニング設備の共用も行っており、東京大学創薬オープンイノベーションセンターには学内外の研究者のべ 900 名の利用実績がある。
8）具体的数値としては、申請書受付件数：822 件、提供サンプル数：534 万、外部研究者との打合せ回数：739 回（これは週に 2～3 回の頻度）である。

⑧　これまでに得られた研究成果
ここ 2 年間で
・大手企業へ導出プロジェクト：　1 件
・前臨床段階に入っているプロジェクト：2 件
・動物試験レベルに入っているプロジェクト：1 件
・活性（IC50, EC50 等）が nM レベルのプロジェクト：15 件
の成果が得られている。オールジャパンの創薬最先端研究拠点が構築されつつある。 この実績に示されるように、世界的に競争の激しい創薬研究分野ではあるが、本計画プロジェクトの基盤構築を更に推し進めることにより、アカデミア創薬研究の一層の加速が期待できる。

⑨　本計画に関する連絡先
堅田　利明（東京大学・大学院薬学系研究科）　katada@mol.f.u-tokyo.ac.jp

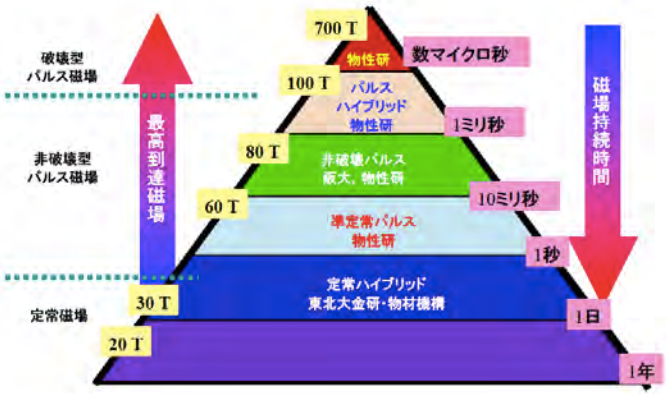
強磁場コラボラトリー:次世代強磁場施設の整備

①　計画の概要

我が国が強い伝統をもつ強磁場科学の研究を格段に発展させるべく、強磁場施設の連携により、オールジャパン体制のネットワーク型研究組織（強磁場コラボラトリー）を構築し、強磁場科学の発展を図る。強磁場コラボラトリーは、パルス超強磁場と定常強磁場が一体の組織として機能することで、放射光や中性子と並ぶ基幹的施設として、日本の物質科学･材料科学の国際的優位性を支える土台となる。その中核的施設として優先整備が必要なのは、東北大学金属材料研究所と物質・材料研究機構が共同でつくば地区に建設し運営する全日本定常強磁場拠点である。この拠点は、世界最高水準の旗艦的施設である 50T 級ハイブリッドマグネットと多様な研究ニーズに応える水冷磁石群を組み合わせた世界一級のユーザー施設として運営体制を含めて整備し、 その一方で、仙台地区には日本の超伝導技術を結集した 30T 級超伝導マグネットを配置し、明確な役割分担の下に日本全体として一体的に運用する。一方、パルス強磁場については、東京大学物性研究所を主たる拠点とする。既設の破壊型の電磁濃縮法 1000T 極短時間パルス磁場および非破壊型パルス磁場装置を活用しつつ、後者を発展させて、定常磁場とパルス磁場のギャップを埋める準定常強磁場施設を整備する。大阪大学は、既に予算化された大型コンデンサ電源を活用した超強磁場・超高圧・極低温の複合極限科学のための拠点として整備し、西日本のサブセンターとして機能させる。このように、異なる特徴をもつ強磁場装置群を有機的な連携により整備･運営することで、強磁場科学の国際的優位性を確保する。

整備する主要設備:全日本定常強磁場拠点(50T 級ハイブリッド磁石、30-35 T 水冷磁石 4 台、30T 超電導磁石)および準定常パルス強磁場施設(100T 1 秒)

②　学術的な意義



強磁場は物性物理学、物質科学、材料科学に必須の基盤的な環境である。実際に、(1)強磁場下での物質の応答から得られる電子構造の知見が諸物質の根源的な理解を可能にし、(2)超強磁場下で出現する新物質相や新現象により物質科学の新地平が切り開かれている。例を挙げれば、強磁場環境は、鉄系超伝導体など日本がリードする新物質の発見に対し電子状態を評価するためのプローブとして、また超伝導状態などの電子状態を制御するためのツールとして、必要不可欠な役割を果たしている。さらに、強磁場下の物質研究により、多彩な現象の発見とそれに伴う物質観の革新が行われている。しかしながら、物質の内部磁場に比べて、人工的な磁場強度は未だ十分ではない。パルス強磁場は、瞬間的だが強い磁場を発生するという特徴を生かし、探索的な基礎研究で威力を発揮する。これを整備して強磁場のフロンティアを追求し、ひいては極限的環境における物質の予想外の状態を明らかにすることは、物性科学･物質科学の営みそのものものであり、そこには大きな可能性と意義がある。一方、物質科学の深化と展開から生まれる材料開発においては，安定で高品質な定常強磁場環境が必要である。実際、超伝導材料、高機能･汎用元素型の磁気材料の開発は、主に定常強磁場で行われており、世界最高水準の 50T 級の施設を整備することは、エネルギー･環境･医療分野のイノベーションに必要不可欠である。また、基礎的研究においても、NMR、走査顕微鏡など定常磁場を必須とする計測法も数多い。このように、強磁場施設は、新物質･新現象の発見とその展開･応用の両側面を支えかつ両者を繋ぐ重要な位置を占めており、物質･材料科学の発展を通じて人類の物質観を豊にする重要な学術的な意義がある。

③　所要経費

定常強磁場拠点の設備総額は 99 億円であり、内訳は、定常強磁場発生用の 24MW 電源 24 億円、冷却水循環システム 17 億円、ヘリウム液化機 3 億円、ハイブリッド磁石コイル 28 億円、水冷磁石群整備 9 億円、付属施設改修 3 億円である。また、つくば地区の整備完成後、東北大のハイブリッド磁石を廃止し、これに変わって 30T 超伝導磁石を設置する費用が 15 億円である。一方、東京大学物性研究所に整備する準定常磁場施設は総額 45 億円であり、内訳は、準定常磁場発生用発電機型電源 30 億円、コンデンサ電源増強 8 億円、建家整備が 7 億である。これらの事業の合計で設備費等は 144 億円である。また、これらの施設の維持･運営経費は、既存の措置経費を含めて年額で、定常強磁場 9 億円、パルス強磁場 7 億円、合計 16 億円である。これには、更新後の施設の運転に最低限必要な人件費の増額分を含んでいる。

④　年次計画

強磁場コラボラトリーの整備は、マスタープラン 2011 において登録した計画の内で、パルス強磁場施設を中心に整備が一段落し、今後、(1)全日本定常強磁場拠点、(2)物性研究所の 100T 準定常パルス磁場、の 2 つの次世代設備を整備する第 2 段階が本格的に始まる時期である。特に、全日本定常強磁場拠点の整備は最優先課題であり、これを 3 年を 1 期として、2 期合計 6 年間で整備する。(1) 全日本定常強磁場拠点の整備:第 1 期では、設置後 20 年を経過したつくばの物質･材料研究機構の定常強磁

場施設を全日本定常強磁場拠点として整備する。具体的には、定常強磁場発生用の直流電源、冷却水循環システム、ヘリウム液化機および水冷磁石群を整備・更新して、30-35 T の水冷磁石を 4 台整備し（現状は 1 台）、増加するユーザーコミュニティの要求に対応出来るようにする。引き続き第 2 期では、 50T 級のハイブリッド磁石のコイル本体を更新し、施設面での遅れを解消して世界一の品質と強度の定常強磁場施設を実現する。ハイブリッド磁石完成に合わせ、金属材料研究所の 30T ハイブリッド磁石は廃止し、第 2 期で開発する超高安定磁場発生が可能な 30T 超伝導磁石を設置し、役割分担を明確にする。つくばの全日本定常強磁場拠点主施設と金属材料研究所の施設は、一体の運用を行う。(2) 物性研の 100T 準定常パルス磁場: パルス磁場と定常磁場を繋ぐ分野として今後必要性が増大する準定常パルス磁場施設に関しては、 1 期目の 3 年で発電機型電源の設置を行い、2 期目の 3 年でコンデンサ電源増強と磁場発生コイルの整備を行う。上記の(1)、(2)の施設は、完成後順次共用を開始し、8 年間で全体を整備し、完成後 10 年運用し、改良・改修によりさらに 10 年間の運用を行う。

⑤ 主な実施機関と実行組織

実施機関は、東京大学物性研究所・国際超強磁場科学研究施設、東北大学金属材料研究所・強磁場超伝導材料研究センター、大阪大学・極限量子科学研究センターの大学３機関・施設と物質・材料研究機構・強磁場ステーションの 4 つであり。定常磁場施設に関しては、つくば地区における全日本定常強磁場拠点の建設と運営を物質・材料研究機構と東北大学が共同で行う。一方、100T 準定常パルス磁場の建設は物性研究所が行い、破壊型の電磁濃縮、長時間パルス磁場、準定常磁場を備えた世界 No. 1 の総合的パルス強磁場研究拠点として整備し、2012 年度補正予算で整備中の大阪大学の複合極限強磁場設備と合わせてパルス強磁場施設として一体的に運営を行う。既に、金属材料研究所・強磁場超伝導材料研究センターと物質・材料研究機構・強磁場ステーションは、定常強磁場施設の建設・運営にむけた連携協定を 2006 年に締結し、2013 年度には、この施設間協定を発展させ、東北大学と物質・材料研究機構間の包括的連携協定を締結した。一方で、物性研究所は大阪大学極限量子科学研究センターと連携して、パルス強磁場施設の整備と運営を行ってきた。各施設の運営会議には、他施設の代表を入れ日本全体として連携した運営を既に行っており、これを発展させて、4 機関の連携協定による強磁場コラボラトリー運営機構を構築し、全日本的な包括的強磁場ユーザー施設を形成する。このような、 大学と独立行政法人の枠を越えた研究拠点の運営体制の構築は、世界最先端の施設建設・運営のためには必須で有り、今後、他分野での研究体制構築のモデルケースとなることが期待される。

⑥ 社会的価値

強磁場施設の整備はエネルギー、環境、医療分野における産業イノベーションにおいて大きな社会的な役割を有している。送電や核融合等のエネルギー分野、生命科学、医療装置等で必要不可欠となっている超伝導材料や超伝導機器の開発には、その評価と試験において、強磁場施設利用が必須であり、日本の超伝導線材メーカーと機器メーカーはこれまで強磁場施設を利用して開発を行って来た。その結果として、これらの材料及び機器開発の成果と利益は社会的に広く還元されている。また、磁気材料や磁石の開発には、強磁場が必ず用いられている。現在、省エネルギー、省資源の鍵を握る高機能・汎用元素型の磁気材料開発が課題となっているが、そのために強磁場施設の高度化が強く関係産業界から期待されている。この他にも、創薬、医療、触媒開発、分析、半導体等の分野で強磁場施設とその研究成果が広く使われている。このように、強磁場施設は,我が国の材料開発と関連産業の推進に必要不可欠な基盤的設備であり、その成果は広く社会に還元され、社会的価値は極めて高い。

⑦ これまでの進捗状況

準備状況に示したように、強磁場コラボラトリーは、2004 年に関係 4 機関・施設の連携による統合した全日本的な強磁場施設の長期整備計画が策定されて以来、前マスタープランの策定に先駆け、2006-2009 年度に東京大学物性研究所において 60T 長時間非破壊パルス磁場が整備された。マスタープラン策定後は、東京大学物性研究所国際超強磁場施設の整備・運営費と 1000 テスラ超強磁場発生装置の整備が措置され、2012 年度補正予算においては東北大学金属材料研究所への 25T 無冷媒超伝導磁石の設置と大阪大学極限量子科学研究センターにおける高圧・強磁場複合極限施設整備という進展があった。その一方で、予算額の大きな定常強磁場施設の整備は予算化されておらず、計画の完成には、今後必要総額の 85%程度の措置が必要である。この間、定常強磁場施設の老朽化も進行しており、その整備と更新は待ったなしの状態になっている。未整備の部分には、定常強磁場施設の他にパルス強磁場と定常強磁場を繋ぐ役割をもつ準定常磁場も含まれている。このように、強磁場コラボラトリーは、一定の進捗があったものの、核心的な部分の整備を今後早急に進めることが必要な現状にある。一方で、既に整備された部分においては、研究成果が順調に生み出されており、施設整備が研究分野の画期的な進展に繋がっている。このように、マスタープランの支援による予算化が実際の研究成果として結実している点で、投資が有効に機能していると言える。このように、強磁場コラボラトリー計画は、着実に進展しているが、全体計画の実現には、予算配分による支援が必要な状況にある。

⑧ これまでに得られた研究成果

先に述べたように、本計画における施設整備はまだ進行中であるが、強磁場コラボラトリーは、整備の今の段階でも高い国際的競争力を維持している。統計的指標として各国の施設の論文数と課題数で比較すると、日本の超強磁場 4 施設は、パルス強磁場分野では世界第１、定常強磁場分野ではアメリカに次いで世界第２位を占めている。予算、人員数で比べた場合、4 施設を合わせても世界最大のアメリカ国立強磁場研究所の 2－3 割という条件のなかでこれだけの成果をあげている理由は、強磁場科学分野におけるこれまでの蓄積と日本の誇る物質・材料分野での高水準かつ多数の研究者の存在に支えられた世界的な競争力のためである。その成果は多岐にわたるが、物質科学、材料科学全般広がっており、さらには産業応用等の社会への波及効果の高い成果も多数ある。このように、強磁場コラボラトリーの形成は、整備途上の段階でも極めて大きな成果をあげている。

⑨ 本計画に関する連絡先

瀧川　仁（東京大学・物性研究所）　masashi@issp.u-tokyo.ac.jp

計画番号７　学術領域番号 23-1

計算基礎科学ネットワーク拠点構築

①　計画の概要

計算科学は、最先端のスーパーコンピュータを駆使して科学の重要課題に取り組む学際的な分野である。従来の理論的手法では解けない問題を精密に解く、あるいは、実験を行うことが不可能な現象を仮想的に実現するなど、科学の新たな地平を切り開く可能性をもっている。本計画は、近年計算科学が大きく進展している物理学関連分野において国内の中核的拠点である６研究機関が協力して、当該分野の連携研究体制を構築するものである。物理学分野では、素粒子・原子核から物質科学、さらには宇宙まで幅広いスケールの問題を扱うが、それらで用いられる計算手法には共通点が多い。近年は、計算科学的手法を通じた素粒子・原子核・宇宙分野の連携・融合が進んでおり、物質科学分野でも研究者間の連携が深まっている。本ネットワークは、物理学関連分野全体にわたって、このような共通点を通じた学際的な研究を推進する拠点をめざすものである。また、計算機科学分野との連携を強化し、エクサスケールの計算科学に向けての準備研究を実施することも今後に向けて重要な課題の一つである。

中核となる６研究機関は、それぞれの分野の要請に応じてスーパーコンピューティング環境を整備し、当該分野の全国の研究者の共同利用に供している。これらの計算設備を、計算機の性能向上に遅れることなく更新し、各分野において最新の科学的成果をあげることのできる計算能力を確保する。学際的研究の推進のために、各中核機関が整備した計算資源の一部を相互利用するシステムを構築する。また、関連分野の研究者が、計算科学における成果をより効率的にあげられるよう、情報の共有や支援体制を整備する。

②　学術的な意義

計算科学の推進は、個別の分野での研究の進展に応じて適切な規模で行われるべきことはもちろんだが、それと同時に、分野を超える協力によってもたらされる新たな展開についても配慮しながら進めるべきである。現在、当該分野の研究者らは、国が進めているHPCI 戦略プログラムのもとで、物質科学および素粒子・原子核・宇宙物理学に大別される２つの分野で、それぞれ連携体制を構築しつつある。その中では従来の個別分野を超えた研究協力が実現しており、その成果は個別分野の進展に大きなインパクトを与えるのみならず、新たな分野融合的な研究へと発展してきている。近年、こうした連携体制を物理学全般に広げるボトムアップの試みも始まっており、これらのコミュニティを支える中核研究機関の間の連携も、広い視野に立って進めるべきである。南部陽一郎が超伝導の理論から素粒子に持ち込んだ自発的対称性の破れの考えが、その後の素粒子理論において中心的なアイデアとして発展してヒッグス粒子発見につながったことはよく知られている。中核研究機関は個別分野ごとの研究推進を本来の目的として設置されているのは当然だが、それらをまたぐ取り組みもまた科学の進展にとって重要であり、分野を問わず計算機という共通の道具を用いる計算科学はそのような分野連携を進めるのにもっとも適している。

③　所要経費

本計画の基盤となるのは、中核となる６拠点で運用するスーパーコンピュータであり、所要経費としては、それらの借料および運用経費が中心となる。下記の設備費は、現行で措置されている借料等を概算したものである。本計画の進行中は、これらの経費が継続して措置される必要がある。運営費としては、連携事業のための最低限の経費として、各拠点でスパコン関連の運営費として現に計上している予算額を概算した。分野間連携による共同研究など、外部資金の獲得にも努力する。

設備費：各拠点のスーパーコンピュータの借入・運用経費　６拠点総額　約４０億円／年。
運営費：連携拠点の構築・運営費　６拠点総額　約１億円／年。

なお、これらには、HPCI 戦略プログラム関連の経費は含まれていない。

④　年次計画

平成 25 年度～27 年度：計算基礎科学ネットワークのサブネットとして、物質科学分野（東京大学物性研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、東北大学金属材料研究所）および素粒子原子核宇宙分野（高エネルギー加速器研究機構、筑波大学計算科学研究センター、国立天文台）それぞれがHPCI 戦略プログラムの分野２と分野５としての研究体制構築を着実に進めながら、アルゴリズム研究を中心にサブネット間の連携を強化するとともに、エクサスケールの計算科学に向けての準備研究を検討・推進する。

平成 28 年度～：サブネット間の連携を強化し、最終的には物理学を中心とする計算基礎科学分野全体をカバーする研究ネットワークを目指す。その詳細の検討は 27 年度までに行う。

⑤　主な実施機関と実行組織

高エネルギー加速器研究機構、筑波大学計算科学研究センター、国立天文台、計算基礎科学連携拠点（以上３拠点の連携拠点）。

東京大学物性研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、東北大学金属材料研究所

これらに加えて、京都大学基礎物理学研究所、大阪大学核物理研究センターなど関連分野の研究機関とも協力して推進する。

⑥　社会的価値

京が世界でトップの性能を達成して国民的関心が集まったことで、そこから得られる成果についても期待が高まっている。よりよい成果をあげるためには、計算手法の高度化など個々の研究者レベルでのアイデアが欠かせない。本計画は、新しいアイデアを生む土壌となる幅広い研究者間のネットワーク構築を図るものであり、計算科学の価値を高めるための基礎となるものである。

前述のように、多階層にわたる現象の理解は、物理学だけでなく、生命、環境、ものづくり、など様々な分野で必要とされているが、その難しさのためになかなか進展していない。物理学の分野で計算科学的研究の突破口を拓けば、他分野への波及効果は高いと思われる。

⑦　これまでの進捗状況

本計画のうち、物質科学分野および素粒子原子核宇宙物理分野におけるそれぞれのサブネット構築は、すでにコミュニティによる自主的な連携や実施機関による連携拠点の設立などによって具体化し、HPCI 戦略プログラムの分野２，分野５の推進という形で進行中である。

分野２では物性科学、分子科学、材料科学の 3 つの計算物質科学分野を融合した「計算物質科学イニシアティブ」を、東京大学物性研究所、自然科学研究機構分子研究所、東北大学金属材料研究所を中心として組織し、同分野の計算科学技術推進体制構築を進めている。

分野５では、素粒子、原子核、宇宙物理学分野を横断する「計算基礎科学連携拠点」を、筑波大学計算科学研究センター、高エネルギー加速器研究機構、自然科学研究機構国立天文台で組織し、同分野の協力機関とともに計算科学技術推進体制構築を推進している。

サブネット間の連携については、HPCI 戦略プログラムのもとで分野２と分野５の合同研究会を数度にわたって開催しており、より深い分野間連携に向けた取り組みがすでに始まっている。

これまでの予算措置としては、実施６機関が設置するスーパーコンピュータの借入・運用経費として６機関合計で各年度約４０億円、また連携拠点の運営費として６機関合計で各年度約１億円を、それぞれの運営費交付金から措置している。

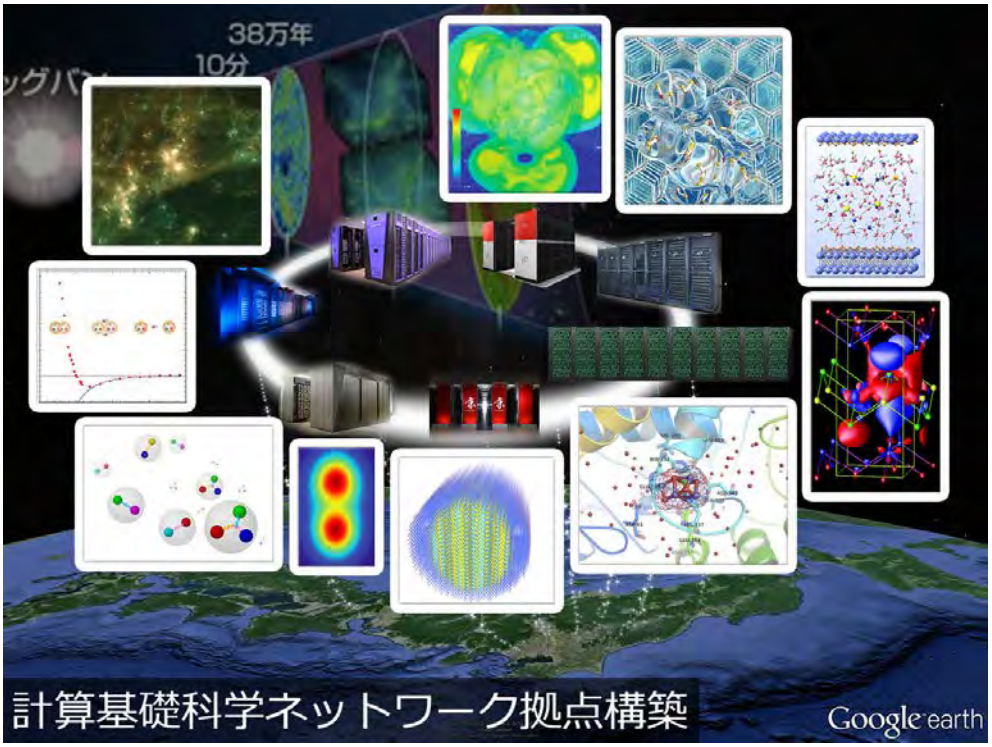
これらに加えて、HPCI 戦略プログラムから、分野２および分野５にそれぞれ平成２３年度から各年度約５億円が措置されている。ここには、京で実行する主要な研究課題を推進する経費も含まれている。

⑧　これまでに得られた研究成果

個別分野における研究分野における多岐にわたる成果は、基盤６機関の共同利用プログラムの成果報告にそれぞれまとめられているが、本ネットワークの特徴である分野横断的な研究の成果としては、例えば格子量子色力学による核力の計算があげられる。同研究は素粒子・原子核の境界領域に新たな研究分野を創出し、原子核分野全体の進め方に対しても大きな影響をもたらしつつある。

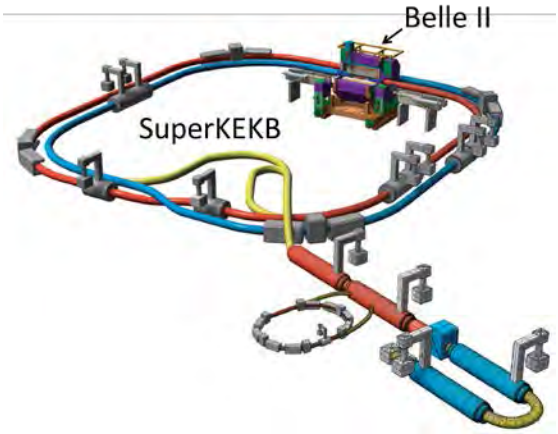
⑨　本計画に関する連絡先

橋本　省二（高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所）　shoji.hashimoto@kek.jp



KEK Super B-factory 計画

①　計画の概要



1999 年より運転を開始し、小林・益川の 2008 年ノーベル物理学賞受賞の決め手となるなど、様々な物理成果を挙げた、KEK B-factory 計画で使用された加速器（KEKB）や測定器（Belle）をアップグレードし、世界記録でもある KEKB の瞬間衝突性能（ルミノシティ）を約 40 倍向上することで、過去 11 年間に蓄積した KEKB の衝突データの約 50 倍のデータを短期間に収集、解析し、さらなるフロンティアを開拓する。増強された加速器（SuperKEKB）では、ビーム電流を約 2 倍、衝突時のビームサイズを約20分の1に絞ることで、約40倍のルミノシティを目指す。大電流を周回させるための高周波装置や真空パイプ、ビームサイズを絞るための超電導最終収束電磁石、ビームの乱雑さを低く抑えるための電子銃、ダンピングリング、電磁石などの改良が必要である。改良された測定器（Belle II）は、更に高い背景事象環境下においても、稀少な現象を逃さず捉え、高い解像度で事象を記録する必要があり、そのためにソレノイド電磁石やそのリターンヨークなどの構造体を除き、センサー類を大幅に新しいものと取り替える。新しいセンサーは、微細化・高速化により、高い背景事象環境下でも動作可能となるが、その代償として、大量のデータをオンライン及びオフラインの計算機で処理する必要が生じる。そのため、計算機は KEK に中心を置くものの、海外にも拠点を設け、分散化された環境を整える。

これらの主要な増強の後、2015 年初頭に初めてのビーム運転を行い、加速器やビームに起因するバックグラウンドを理解しつつ運転を継続し、2016 年秋より物理運転を開始する。取得されたデータの解析結果から、新しいエネルギースケールの物理や新しい複合粒子など、幅広い研究成果が期待される。2022 年末頃までに、これまでの 50 倍に相当するデータを取得する見通しである。

②　学術的な意義

欧州原子核研究機構（CERN）の LHC 実験でヒッグス粒子が発見され、質量階層性の謎をとくための新しい物理的仕組みが TeV エネルギー領域に必要であるという認識が更に強固になった。KEK Super B-factory 計画やその他のフレーバー実験では、新素粒子の存在が観測量に与える量子力学的な微小な影響を測定することで、新物理を間接的に探索する計画である。ビーム衝突エネルギーは変えず、データ量を増やすことで、より微小な影響に感度を持ちうるので、新素粒子の質量が高い場合にも新物理の発見の可能性があるのが特長である。様々な理論的可能性のある中で新物理の存在を確定するためには、関連する複数の観測量を、荷電、中性終状態を問わず比較して検証する必要がある。また、一旦新物理の影響が観測されたならば、多くの観測のうちどの崩壊様式に新物理の影響が現れるか（現れないか）を精査し、支配する新物理法則のモデルを確定することも可能になる。これらの作業には、KEK Super B-factory による多角的観測網が最大の役割を担うと期待されている。このように、新物理法則を探索・発見・理解することで、究極の物理理論完成に向けた重要なピースを埋めることができる。新物理の研究を通じて、我々の宇宙の大きな謎である、「消えた反物質」、「暗黒物質」の解明に重要な手がかりを与えるとも考えられている。

③　所要経費

建設費はすでに手当されており、今後の運転に係る経費が必要とされている。加速器、測定器運転経費、施設・器具の維持管理・更新費用、データ解析のための費用、解析結果について報告・発信するための費用などが必要となる。加速器の運転は徐々に強度を高めるため、必要経費も初めは低く、後に増大する。年度ごとの所要経費総額は以下のとおりである。

H27 年度　70 億円
H28 年度　80 億円
H29 年度　90 億円
H30 年度以降　年間 100 億円

④　年次計画

H26 年度）年度内に建設を完了し、初めてのビーム運転を行う。
翌年度からの真空度向上のための運転を念頭に、必要な加速器要素をすべて揃え、調整運転を始める。

（H27 年度）真空焼き運転・最終調整運転。
ビームを周回させ、真空パイプの表面に付着した残留ガス成分を飛ばすことにより、内部の真空度を高めていく。真空度を高め、ビーム電流を増加させていくことで、ますます効率よく真空焼きだしを進める。加速器運転初期には、ビームパイプ中の残留ガスにビームが衝突・散乱される事象（ビーム・ガス事象）が問題になる。十分に真空度を高めることで、ビーム・ガス事象を減らし、周回できなくなったビーム粒子が測定器に損傷を与える危険性を十分に排除し、そのあとで測定器をビームラインにロールインする（夏ごろの予定）。但し、ビーム・ガス事象以外のバックグラウンドの影響を大きく受けると予想される崩壊点位置検出器を、安全のため外した状態にし、磁場測定などの必要な準備を行った後、最終収束電磁石系がある状態（加速器の完成形）での運転を年明けから開始する。
（H28 年度）上記運転を継続し、崩壊点位置検出器その他の測定器が、加速器のビームに起因するダメージに問題なく耐えられることを検証する。ビームの絞り具合に依存するタウシェックバックグラウンド、ビーム衝突に起因するバックグラウンドなどを定量的に評価し、安全が確認でき次第、崩壊点位置検出器を挿入し、完全な測定器で本格的な物理運転を開始する。
（H29 年度以降）加速器、測定器に必要な維持・更新を加えながら、運転を継続する。加速器のビーム強度と衝突性能を徐々に高くする。データ解析を行い、新物理探索などの研究課題を推進する。

⑤　主な実施機関と実行組織

実施機関：高エネルギー加速器研究機構（KEK）
プロジェクトをホストする。加速器、測定器の運転と、データの取得に責任を持ち、国内外の共同実験者が解析できる環境を整備する。
実行組織：
加速器の改造と改造後の維持・運転は、「加速器研究施設」が担当し、既存の測定器の維持・運転と運転開始後のデータ収集は「素粒子原子核研究所」が担当する。この両者と参加大学など外部の関連機関との連携を図るために「Ｂファクトリー計画推進委員会」を設置し、計画全体に関する意思決定を行う。さらに、「Ｂファクトリー加速器国際評価委員会」、「Ｂファクトリー実験国際評価委員会」を設置し、海外の学識経験者から加速器、測定器に関する技術的なアドバイスや、研究推進の方針についての広い意見を求める。
この研究計画は海外の研究者にも広く門戸を開いた国際共同研究として実施されるものであり、これらの組織に加え、国内外の参加大学・研究機関からなる研究者組織（Belle II と呼ばれる）を置く。ここでは参加機関の代表者からなる「参加機関代表者会議」が、海外の財政機関等の参加者からなる「外部資金管理委員会」の監督のもとに意思決定を行い、研究活動への参加と資金提供を行う。参加機関は実験データへの自由なアクセスや計算機資源などの利用が認められ、研究を進めることとなる。「素粒子原子核研究所」に所属する研究者も測定器の維持・運転と運転開始後のデータ収集を担当するほか、参加研究機関としてこの枠組みで研究活動に参加する。

⑥　社会的価値

日本が世界最先端の研究を主導し、ノーベル賞級の研究を推進することの知的価値に対し、社会より大きな期待と支持を頂いている。このような研究施設を日本国内に建設し、国内の企業と共同してつくり上げることで、相応の経済効果が見込まれ、技術の底上げが期待できる。一部で外国の進んだ技術を導入することも、国内の技術水準向上にプラスの効果を与える。また、Belle 実験のデータを用いた素粒子物理学の一般向け体験講座（B-Lab）や、高校生対象のスクールなどを開催しており、科学教育という面においても直接的に社会への貢献を行なっていく。

⑦　これまでの進捗状況

H22 年 3 月の、日本学術会議による「学術の大型施設計画・大規模研究計画」に関する提言において高い評価を得、H22 年 6 月に、本計画の一部が文部科学省の最先端研究基盤事業に選定されたことを受け、本計画の建設が開始された。H27 年度終盤のビーム運転開始に向けて、目下順調に建設が進んでいる。

⑧　これまでに得られた研究成果

加速器・測定器の建設を開始するにあたり、いくつかの技術的課題をクリアしている。最先端の技術分野を開拓するものであり、すでに得られた研究成果であるといえる。
例えば、低エミッタンス電子銃の技術開発、精緻な光学設計の実現、非常に複雑な最終収束超伝導電磁石の製作・実証、最先端の半導体技術を用いたピクセルセンサ、精密な水晶の研磨や 1 光子検出とその時間精密測定を必要とする粒子識別装置、世界最大級の記録量となる実験データの高速転送技術、それを取り扱うための分散型計算機環境などの成果をあげ、それらは国際会議等で報告されている。

⑨　本計画に関する連絡先

宮本　滋（高エネルギー加速器研究機構）　kenkyo1@mail.kek.jp

J-PARC 主リング大強度化によるニュートリノ研究の新たな展開

①　計画の概要

本研究計画は、東海-神岡間長基線ニュートリノ振動実験（T2K 実験）が初めて成功した電子ニュートリノ出現現象の観測や、このほど世界最高精度を達成したミューニュートリノ消失現象の精密測定を更に進展させ、かつ、これと相補的な世界の実験結果と組み合わせることによって、加速器を用いたニュートリノ振動現象の研究における最重要課題の一つである“レプトンセクターにおける CP 対称性の破れ”の探索を世界に先駆けて開始することを目標とする。

このために、陽子シンクロトロン加速器として既にパルス当たりに取り出される粒子数の世界記録を樹立している J-PARC 主リング加速器を「高繰り返し化」のシナリオに基づいて更に大強度化する。即ち１秒周期運転に対応できるような高繰り返し・低リップルの主電磁石電源を開発・製造するとともに、付随する施設設備を建設整備し、ビーム強度の仕様値(750kW)を超える事を目指す。T2K 実験は、宇宙の物質創成の鍵をにぎる可能性が指摘されているレプトンにおける CP 対称性の破れに対し有意な感度を持った世界初の実験となる。

②　学術的な意義

ニュートリノ振動現象は、素粒子標準模型を超える理論の存在を強く示唆する現象であり、ニュートリノの性質に関して更に詳しい研究を行いその質量と混合の全貌を解明することは、素粒子物理学の今後の進展にとって極めて重要である。特に T2K 実験によって電子型ニュートリノの出現現象が成功裏に観測されたことから、その現象に関わるニュートリノ第 1 世代～第 3 世代間の混合角（θ13）が大きい事が明らかとなったため、ニュートリノにおいても、大強度陽子加速器と大型検出器を用いたニュートリノ振動実験の手法で CP 対称性の破れを観測できる可能性がひらけた。

我々の住む宇宙では、物質と反物質が同量ではなく物質が優勢である。即ち物質・反物質の対称性が破れている。このような宇宙が生み出された背景には極微の世界に於ける“CP 対称性の破れ”が本質的な役割を果たしたとされる（サハロフの３条件の内の一つ）。これまで CP 対称性の破れはクォークにのみ観測されていた。ところが、クォークの世代間混合を説明する小林＝益川行列に基づく CP 対称性の破れの効果では、現宇宙の物質-反物質の非対称性を 10 桁も下回る効果しか得られないことが明らかとなっており、宇宙形成の初期においては、クォークにおける CP 対称性の破れとは別の、新たな CP 非保存のメカニズムが必要である。その有力な候補の一つとしてニュートリノにおける CP 対称性の破れが物質宇宙創成に大きな役割を果たした可能性が指摘されている。本研究によりニュートリノ振動現象の精密測定をすすめ、ニュートリノにおける CP 対称性の破れの探索に先鞭をつける事は、宇宙の物質起源の謎に迫る大きな前進となると期待されている。

③　所要経費

【製造建設費】　計６７億円

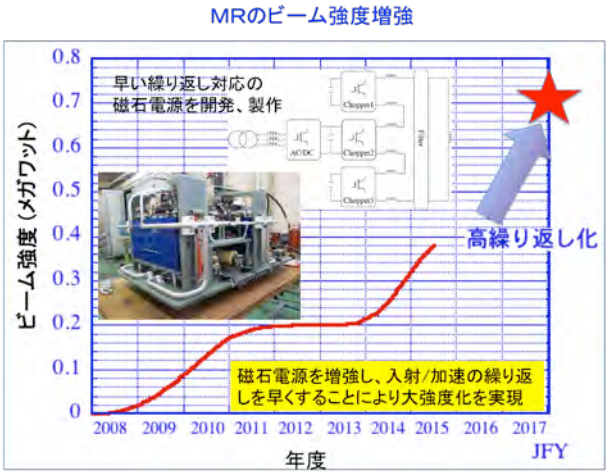
○　J-PARC 主リング高繰り返しによる大強度化　６０ 億円

○　ニュートリノ施設大強度対応　７億円

【運営維持費】

○　性能向上費　１億円／年　x　５年

○　電気代増加分　２億円／年



④　年次計画

H25(2013)：主リング主電磁石電源開発研究（実機サイズ初号機の設計・製作）

H26(2014)　：文科省による進捗評価（ビーム性能と主電磁石電源の開発状況）

H27(2015)-H29(2017) 大強度化(主リング主電磁石電源の高度化、ニュートリノ施設大強度対応)

H29(2017)～

主リング大強度運転(750kW 超)

T2K 実験による CP 非保存現象の探索を開始（所要期間５年程度）

⑤　主な実施機関と実行組織

主な実施機関は高エネルギー加速器研究機構であり、ビームの大強度化を中心となって遂行する。

T2K 実験による CP 非保存現象の探索は、T2K 国際共同研究グループの枠内で、高エネルギー加速器研究機構を中心として、東京大学宇宙線研究所をはじめ、東京大学・京都大学・神戸大学・大阪市立大学・宮城教育大学など国内の研究機関と海外 10

カ国の研究機関、合わせて56機関が参加し遂行する。

⑥　社会的価値

日本におけるニュートリノの研究は、小柴昌俊東京大学教授のノーベル賞受賞(2002年)や、戸塚洋二前KEK機構長の文化勲章受章（2004年）に代表されるように、1987年の超新星からのニュートリノの検出を端緒として、ニュートリノが質量を持つことやその世代間混合の発見などの輝かしい成果を創出し続け、いわば「お家芸」として世界の研究を主導、その歴史を作り上げてきた分野である。今またT2K実験も未測定で残っていた最後の第1-3世代間混合を発見するという成果を挙げ得た。この結果が多くの全国紙・地方紙・TV報道などで取り上げられたことからも、国民の関心と期待の高さを見ることができる。本研究によりニュートリノにおけるCP非保存の探索を開始する事は、我々の物質優勢宇宙の創成の歴史を紐解く大きなステップとなり、文化活動への極めて大きな知的貢献であるといえる。今後も日本が世界のニュートリノ研究をリードし続けることは我々の世代の責務であるとともに、将来を担う世代の心の中に科学への夢を育む事につながると期待される。

⑦　これまでの進捗状況

J-PARC主リング加速器からニュートリノ実験施設に供給されるビーム強度は、平成25（2013）年現在230キロワット程度である。平成25(2013)年8月から、翌年1月までのメンテナンス期間に、J-PARCの初段部であるイオン源およびLINACの最先端予算による増強が予定されている。この結果、主リングの運転強度は、平成26（2014）年度には、300から400キロワット程度まで増強される予定となっている。

主リングにおいて実現可能な最大ビーム強度は、空間電荷効果によるビーム損失によって制限される。400キロワット以上のビーム強度を得るためには、取り出しのビームエネルギーを上げるか、繰り返しサイクルをあげる方法があるが、電磁石の飽和の影響や、昨今の電力事情を考慮した結果、高繰り返し化のシナリオを選択するに至った。

高繰り返し化のためには、1)主電源電磁石用の高繰り返し・低リップル電源が必要であるとともに、2)加速空洞の高勾配化、3)入出射システムの高繰り返し化、4)主リングコリメータの増設が必要である。2)については既に加速効率の高い磁性材料の開発に成功しており、空洞に組み込んだ試験からは良好な結果が得られている。3)については、電源の一部・セプタム磁石の一部で改修・交換が必要で、現在、そのための準備が進んでいる。4)については、平成24(2012)年度に増強を行い、平成25(2013)年度にもさらなる増強が予定されている。

本計画で申請している1)については、R&Dを実施中で、既に述べた通り2012年夏に技術レビューが行われR&Dの成果が高い評価を得た。H24年度補正予算により、高繰り返し主電磁石電源の実機初号機の経費として300,000千円が措置され、平成25(2013)年度に製作予定である。

⑧　これまでに得られた研究成果

T2K実験は、平成22(2010)年1月から本格的に測定を開始、平成23(2011)年3月の震災までに取得したすべてのデータを解析したところ、スーパーカミオカンデ検出器でJ-PARCから飛来したニュートリノの反応を捉え、その中に6例の電子ニュートリノ反応候補事象を検出し、ミューニュートリノから電子ニュートリノへ変化する振動（電子ニュートリノ出現)を99.3%の確率で世界に先駆けて発見した。2011年6月に公表された本結果は、英国物理学会（IoP)により、2011年のすべての物理分野の成果のなかからトップ10のブレークスルーに選ばれ、その論文は2013年2月末現在で500回以上引用されている。

震災によりほぼ1年間実験中断を余儀なくされたが、2012年3月から測定を再開、2012年夏にはデータ量をほぼ倍に増やし、スーパーカミオカンデで11例の電子ニュートリノ反応候補を捉え、電子ニュートリノ出現の存在99.92%の確率で確かめた。電子ニュートリノの出現と並んで、ミューニュートリノ欠損事象についてもニュートリノ物理研究に於いて重要な結果が得られた。震災前のデータを用いた結果は2012年に発表していたが、このほど平成25（2013）年2月、2012年夏までのデータを用いた解析の結果、第2－第3世代間振動を記述するパラメータ(θ23)の測定において、米国MINOS実験やスーパーカミオカンデによる大気ニュートリノの観測を抜いて、世界最高の精度で決定した。この結果は、3世代あるニュートリノの質量と混合の全容を明らかにして、本計画によるCP非対称性の観測へとつながる、大変大きな里程標であるという事が出来る。

⑨　本計画に関する連絡先

宮本　滋（高エネルギー加速器研究機構）　kenkyo1@mail.kek.jp

計画番号 10　学術領域番号 23-3

30m光赤外線望遠鏡計画 TMT

①　計画の概要

ＴＭＴ計画は口径３０ｍの超大型光赤外望遠鏡をハワイ島マウナケア山頂域に建設する日本、米国、カナダ、中国、インドの国際協力科学事業である。建設経費は約 1500 億円と見積もられている。これまでにカリフォルニア大学とカリフォルニア工科大学がムーア財団からの寄付などにより 350 億円を確保し、その約 1/3 を費やして計画の準備を進めてきた。他のパートナーはそれぞれの資金で準備活動を進めており、2013 年末の時点で各パートナーの役割分担と建設スケジュールがほぼ固まった。全体計画に合わせて、各パートナーは建設予算貢献分をそれぞれの政府に要求中、あるいは約定済みであり、建設計画への協定書群への署名を経て、2014 年 4 月からの建設開始を目指している。ファーストライトは 2021 年 12 月を予定している。

②　学術的な意義

国立天文台がマウナケア山頂に建設したすばる望遠鏡をはじめ、口径８ｍ級の地上望遠鏡や宇宙望遠鏡の活躍により、宇宙の理解はここ 10 年余りで大きく進展した。と同時に、新たな課題も次々と提起されてきている。TMT はそれらの課題の解明に不可欠な地上大型望遠鏡である。

20 世紀末に太陽によく似た星のまわりに惑星の存在が確認されて以来、太陽系外惑星の研究が急速に進んでいる。すばる望遠鏡はそのなかで、太陽型星をまわる惑星の直接撮像に成功するなどの成果をあげてきた。TMT は、太陽よりも低温な星を周回する地球型惑星の直接撮像に挑むとともに、惑星の反射光や惑星大気を透過してくる星の光を分析することにより、惑星の表面や大気の組成を調べ、酸素など生命に関連する物質の存在を探る。

遠方天体の観測による初期宇宙の解明も大きな課題である。すばる望遠鏡は、宇宙誕生から 10 億年以内の時代の銀河を多数発見し、初期の銀河や銀河団の形成の理解を大きく前進させてきた。TMT は、分光観測や補償光学を用いた高解像度観測を活用して宇宙で最初の星々からなる銀河を調べ、宇宙における最初の天体形成の解明に挑む。また、初代の大質量星が最後に起こす大爆発はガンマ線バーストを引き起こすと考えられる。最遠方のガンマ線バーストの残光を観測することにより、宇宙の初代星の正体に迫る。

TMT は光学赤外線観測のための汎用望遠鏡であり、このほかにも、宇宙膨張の直接測定、銀河とその中心に存在する超巨大ブラックホールの関係の解明、近傍銀河の星の詳細観測による銀河形成過程の解明等において大きな成果が期待できる。

③　所要経費

30m望遠鏡 TMT の建設経費は約 1500 億円と見積もられており、日本はその約 1/4 に当たる 375 億円を 2014 年から 2021 年度の 8 年間に負担することを計画している。その内訳として、(1)望遠鏡本体構造の設計/製作（約 235 億円）、(2)主鏡鏡材の製作（約 21 億円）、(3)主鏡研磨の一部（約 45 億円）、および(4)観測装置の一部の製作（約 9 億円）の現物による貢献に加えて、(4)共通経費として約 65 億円を TMT 国際観測所に拠出することを想定して最終国際協議を進めている。

また、国際貢献分に加えて、大学共同利用体制整備などこの期間の国内経費として約 40 億円が必要である。望遠鏡が完成し運用時には、TMT 国際観測所の分担金 12 億円と、日本の TMT 運用経費分＋国内のユーザーサポート経費 18 億円を合わせた、年間 30 億円の運用経費が必要となる。

④　年次計画

2013 年 4 月　主鏡材製作開始、主鏡材研磨加工開始
2013 年 7 月　最終的建設許可取得、参加パートナー合意
2013 年 11 月　望遠鏡構造・制御系基本設計レビュー会議
2014 年 4 月　TMT 国際天文台設立、建設開始
2015 年 1 月　ドーム製作開始
2015 年 4 月　望遠鏡構造・制御系製作開始
2018 年 8 月　望遠鏡据付開始
2020 年 3 月　望遠鏡据付完了、ドーム・山頂施設完成
2020 年 9 月　主鏡セグメントを据付開始
2020 年 11 月　主焦点カメラによる試験観測開始
2020 年 12 月　副鏡・第三鏡の据付開始
2021 年 9 月　主鏡の望遠鏡据付完了、観測装置据付完了、試験観測開始
2021 年 12 月　科学的観測開始
2022 年 3 月　共同利用観測開始

⑤　主な実施機関と実行組織

巨額の費用がかかるＴＭＴ計画の実現には、国際協力による実施体制を構築することが不可欠であり、日本、米国、カナダ、中国及びインドの 5 カ国の国際協力科学事業として推進することが予定されている。ＴＭＴ計画に参加するパートナーの代表は、ＴＭＴ国際天文台の最高意志決定機関となるＴＭＴ国際天文台評議会を構成する。日本は国立天文台、米国はカリフォル

ニア大学とカリフォルニア工科大学、カナダは天文学大学連合（ACURA）、中国は国家天文台、インドは科学技術省が窓口となる。将来的には全米科学財団NSFおよび複数の米国内大学も参加する可能性がある。

各国代表からなるTMT国際天文台評議会は、TMT計画マネージャー等の任免、国際合意書内容の承認、新規パートナー参加の承認等の重要事項を決定する。合意文書の文面作成に当たっては各パートナーの顧問弁護士等の支援を受けている。各パートナーの役割分担は、現在最終協議中である。日本国内での全体の実施統括は国立天文台があたる。日本の主な役割分担となる建設・開発要素を国内企業と連携して完成させ、建設後は運用に加わる。これに加え、第一期観測装置の一部の製作を行い、さらに東北大学、茨城大学、京都大学他と連携して将来的な第二期観測装置の検討開発を通じて、実行組織の裾野を拡げていく。またサイエンス検討や完成後の運用体制の構築においては、光赤外天文学研究者の自主組織である光学赤外線天文連絡会と連携をとり、関連周辺学会の研究者組織とも連携を図り、意見を集約しつつ進めている。

⑥　社会的価値

国民の理解：TMT建設により日本が世界の最先端の天文学を担い、宇宙にロマンを求める国民の多くの方々の夢と元気に繋がり、経済価値の向上とは異なる視点の価値向上が期待できる。また、宇宙への興味が次世代を担う子供たちのサイエンスへの興味にも繋がり、科学技術立国への波及も考えられる。また、2012年11月からキャンペーンを拡大した少額寄付募集にはすでに2,000名を超える方々から、1,000円～2,000,000円／人の寄付申し出があり、着実に支援の輪が広がっている。

知的価値：宇宙の構造と進化、地球と生命の起源、物理学の新概念などに対する知的価値を日本の研究者が先頭に立って産み出す機会を与える。また、光学・機械・制御・ソフトウェア・材料など広範囲の分野でさまざまな知的財産が創出できる。
経済的・産業的価値：日本の超大型望遠鏡設計・製作技術、主鏡の硝材、非球面ミラー研磨、評価など最先端技術の開発に伴い、担当企業の活性化だけでなく関連企業への波及など日本の産業界の技術の幅広い底上げにつながる。さらに関連産業を含めた生産の拡大に伴う雇用創出も期待でき、日本の産業界の活性化への貢献も期待できる

⑦　これまでの進捗状況

日本のすばる望遠鏡製作の実績を踏まえ、TMT望遠鏡本体の設計・製作を日本が分担することが要請され、初期検討を行ってきた。望遠鏡本体では、軽量堅固なトラス構造の実現と高い追尾/指向精度の達成に向け検討を進めた。これに加えて主鏡着脱装置、主鏡洗浄機能、耐震安全機構、静圧軸受部の実現性などの検討も行って来た。

TMT望遠鏡の主鏡は、対角1.45mの六角形の分割鏡492枚から構成され、分割鏡には超低膨張のガラス材を用いる。日本は超低膨張ガラス材の優れた製作実績が有り、その技術を活かして分割鏡の鏡材をすべて日本で製作する予定である。国内既存の生産用設備を用いて製作した鏡材について性能検証を行って良好な結果を得ている。

さらに、この鏡材の一部（30%）を日本が研磨して高精度非球面鏡を製作することを予定している。まず１枚の分割鏡を試作し、性能を満足する鏡面を作成できることを実証した。その後、これまでになく多くの、しかも82種類の異なる形状のセグメント鏡を短期間で製造する量産のための超高速研磨法の試作を行っている。

TMT望遠鏡では第１期観測装置として3台の観測装置を予定しているが、すばる望遠鏡で培った技術や経験をもとに、2台の観測装置の一部の製作に貢献する予定である。担当部分の設計・検討といくつかの要素試作を行ってきた。また、日本独自の開発・設計に基づき、第２期の観測装置を製作することも検討している。日本国内の大学を中心とした複数の開発グループが初期開発・検討を担っている。

これらの事前検討・開発作業は、国立天文台の運営経費を用いて行ってきたが、平成24年度には、すばる望遠鏡の運営費の一部として、2億円が措置された。また、平成24年度補正予算として3億円を措置され、平成25年度予算では、施設整備費1.24億円、運営費交付金11.2億円の内示を受けた。

⑧　これまでに得られた研究成果

TMTによる新しい天文学の開拓に向けて、日本の観測天文学は、主にすばる望遠鏡のユニークな機能を最大限に活かすことによって、天文学の幅広い分野において第一線の成果をもたらしている。

すばる望遠鏡は、補償光学装置を利用して明るい恒星のすぐ近くにある暗い惑星を探査する専用カメラを開発し、数多くの系外惑星や惑星系誕生の場である原始惑星系円盤の直接撮像に成功し、その多様性を実証した。これまでの木星型惑星の発見の次の段階として地球型惑星発見への機運が急速に高まり、すばる望遠鏡の新しい観測装置開発やTMTによる観測計画へと繋がっている。

一方、遠方宇宙の研究においては、すばる望遠鏡が持つ広視野カメラ機能を活かし、特殊なフィルターを併用することによって、宇宙誕生から10億年以内の時代の初代銀河を数多く発見した。この大規模なサンプルを用いて銀河や銀河団の形成とその進化、宇宙の再電離という著しい相変化について、その理解を大きく前進させている。この広視野機能をさらに拡充した超広視野カメラが完成し、これを用いた探査観測により、TMTへの貴重な観測対象を豊富に供給することが期待されている。

この他、ガンマ線バーストと極超新星の関連を明らかにした研究、重力レンズ現象を用いた暗黒物質分布の３次元分布を測定した研究、低金属星の観測による宇宙初期の元素合成に制限を与える研究、近傍矮小銀河のハロー構造を明らかにした研究、小惑星のサイズ分布を決定した研究、などすばる望遠鏡の観測装置を多角的に用いることによって多くのめざましい成果が挙げられている。TMTで詳細な観測をするためのサンプル構築、およびTMTとすばるを連携させた観測計画に向けての予備研究が着実に進められている。

⑨　本計画に関する連絡先

家　正則（自然科学研究機構・国立天文台）　m.iye@nao.ac.jp

計画番号 11　学術領域番号 23-3

次期 X 線天文衛星アストロ-H(ASTRO-H)計画

①　計画の概要

本研究計画は 2015 年度に日本が H-2A ロケットで打ち上げをめざす国際 X 線天文衛星である。重量約 2.7 トン，全長 14m と大型で，X 線からガンマ線におよぶ広い波長域において高感度観測が可能である。目的は，以下の５項目にまとめられる。

(1)銀河団という宇宙最大の天体における熱エネルギー，銀河団物質の運動エネルギー，非熱的エネルギーの全体像を明らかにし，ダイナミックな銀河団の成長を直接観測する。

(2)厚い周辺物質に隠された遠方(過去)の巨大ブラックホールを現在運用中の日本の X 線衛星「すざく」の約 100 倍の感度で観測し，その進化と銀河形成に果たす役割を解明する。

(3)ブラックホールのごく近傍の物質の運動を測定することで重力による効果を把握し，相対論的時空の構造を明らかにする。

(4)宇宙に存在する高エネルギー粒子(宇宙線)がエネルギーを獲得する現場の物理状態を測定し，重力や衝突・爆発のエネルギーが宇宙線を生み出す過程を解明する。

(5)距離(年齢)の異なる銀河団内のダークマターの分布と総質量を測定し，銀河団の進化に果たすダークマターと暗黒エネルギーの役割を探求する。

これらは，宇宙そのものの理解に繋がる科学的成果の創出を目指したものであり，国際宇宙 X 線天文台として，世界トップレベルの科学研究成果を継続的に創出することが期待できる。この目的を実現するために，5 年程度で ASTRO-H 衛星を開発し，以下の世界最先端装置による軌道上での観測を実現する。

(1)軟 X 線超高分解能分光システム。(2)軟 X 線撮像分光システム。(3)硬 X 線撮像分光システム。(4)軟ガンマ線検出システム。

打ち上げ後数ヶ月の初期性能実施観測(Performance Verification Phase)の後，観測提案は広く全世界から公募され，最終的に観測データは公開される。最低３年間の観測をめざす。

②　学術的な意義

宇宙の進化は，星，銀河，銀河団がおりなす巨大な階層構造を作るとともに，ブラックホールに代表される驚くべきエネルギーと物質の集中を生み出してきた。ほぼ一様な状態から膨張を続けてきた宇宙で，数 10 桁も異なる空間的・密度的スケールにわたって，実に多彩な構造が作られてきたことは驚異である。 銀河団は宇宙最大の天体であり，それを研究し，その進化を探ることが宇宙の構造がどのようにでき，進化してきたかを知ることにつながる。その際，銀河団の構成要素である銀河，あるいはその中のブラックホールが，どのように共に進化し，銀河団形成にどのような役割を果たすかを知る事が重要である。

宇宙で我々が観測できる物質の 80 パーセントは X 線でしか観測出来ない高温状態にあり，宇宙の全貌を知る上で，X 線観測は不可欠の手段である。 世界最高のエネルギー分解能を持ち，0.3 キロ電子ボルトから 600 キロ電子ボルトという軟X線からガンマ線までの広大なエネルギー範囲を観測する衛星「ASTRO-H」によって高温ガスの運動を捉え，宇宙の進化をリアルタイムの映像として明らかにし，超広帯域の観測とも合わせることで，ダイナミックな宇宙の進化の真の姿が初めて明らかにされる。「ASTRO-H」は，単に宇宙に関する情報を増やすのでなく，宇宙の階層構造における最大の天体?銀河団一における高温ガスの運動と高エネルギー粒子を初めて「見る」手段を提供し，宇宙の進化の本質に迫るための「新たな視点」を構築するものである。

③　所要経費

平成 20 (2008) 年の開発移行時点 (平成 20 年 8 月 26 日：宇宙開発委員会事前評価結果) では，衛星分として約 175 億円 (初期投資：約 161 億円，運用費等：約 14 億円，打上げロケットを含まない) 。

これに加え，NASA は約 5000 万ドル (約 50 億円) をマイクロカロリメータシステムの共同開発と軟 X 線望遠鏡の開発に供出。この他に，オランダ，スイス，フランス，ESA，カナダも合計 20 数億円規模で開発に参加している。

④　年次計画

平成 20―21 年度：衛星の基本設計を行う。観測機器の基本試験を行う。

平成 22 年度：衛星の詳細設計を行う。観測機器の試作を行う。

平成 23―26 年度：衛星，観測機器の製造を行う。

平成 26―27 年度：総合試験を行う。衛星打ち上げのための射場運用。

平成 27―29 年度：衛星打ち上げ，衛星の運用を行い，初期の実証観測を経て，公募観測に移行する

⑤　主な実施機関と実行組織

宇宙航空研究開発機構(JAXA)：全体とりまとめ，衛星開発，打上げ，データ処理，運用，データアーカイブ

NASA: マイクロカロリメータ検出器と軟 X 線望遠鏡の共同開発，データ処理，アーカイブ，運用の協力，米国コミュニティサポート。

SRON (オランダ宇宙研究機関) ： フィルターホィール開発

CSA (カナダ宇宙局)：アライメントモニタ開発

X 線望遠鏡は名古屋大学，愛媛大学，NASA，JAXA 他，マイクロカロリメータ検出器および冷却システムは JAXA，首都大学，金沢大学，埼玉大学，理研，NASA，SRON 他，軟 X 線撮像検出器は大阪大学，京都大学他，硬 X 線検出器は JAXA，東京大学他，軟ガンマ線検出器は JAXA，広島大学，早稲田大学，　東京大学，スタンフォード大学他が主な開発メンバーである。他サイエンス検討，ソフトウェア開発，較正実験などを含め，JAXA／NASA／愛知教育大学／青山学院大学／ESA／Yale U.／U. of Wisconsin／U. of Waterloo／STScI／SRON／愛媛大学／MIT／LLNL／大阪大学／金沢大学／京都大学／U. of Cambridge／工学院大学／高知工科大学／神戸大学／Columbia U.／埼玉大学 CEA/DSM/IRFU／CSA／CfA/Harvard／JHU／静岡大学／芝浦工業大学／首都大学東京／U.of Geneva／Stanford U./KIPAC／Saint Mary's U.／Dublin Institute for Advanced Studies／Durham U.／中央大学／中部大学／筑波大学／東京大学／東京工業大学／東京理科大学／東北学院大学／東邦大学／名古屋大学／奈良女子大学／日本大学／日本福祉大学／広島大学／物質・材料研究機構／U. of Miami／U. of Manitoba／U. of Michigan／宮崎大学／U. of Maryland／山形大学／Rutgers U.／理化学研究所／立教大学／早稲田大学が連携し，計画を実施する。

⑥　社会的価値

これまで見ることのできなかった，宇宙の進化の新たな側面が解明されることで，世界最高レベルの日本の X 線天文学が飛躍的に発展し，宇宙物理学に大きなインパクトを与え，我が国のプレゼンスの向上につながる。

本研究では，マイクロカロリメータという新しい極低温動作 X 線センサーで宇宙の動的な進化を直接観測し，さらに国産ナノ技術による「多層膜硬 X 線望遠鏡」と世界に誇る日本の半導体技術が生み出した新しい高効率半導体素子による，最先端で独自の広帯域の検出器を合わせることで，宇宙の極限環境における未知の過程を明らかにする。

ASTRO-H 衛星で全面的に採用され，開発の過程で標準化に貢献した次世代「宇宙機用ネットワーク」技術は，デジタル家電や防犯センサーの管理などの将来の社会ネットワークの基盤として幅広い活用が期待されている。また，ASTRO-H 衛星の軟ガンマ線検出器実現のために開発されたコンプトンカメラの技術が，福島県においてガンマ線を用いた放射性物質の分布の可視化に役立てられた。これらの例に示されるように，ASTRO-H 衛星の成果は，国民の一般生活のなかで，多方面にわたり活用されている。

⑦　これまでの進捗状況

【研究計画の進捗状況】

平成 24 年には詳細設計が完了し，システムレベルの技術レビュー(CDR1)を平成 24 年 2 月に実施。衛星搭載モデル(Flight Model；FM)製造を認められた。平成 24 年度に光学ベンチ，衛星下部構造，サイドパネルなどの構造体について，Proto Flight Model (試験後，衛星搭載品として扱われる)を用いて，熱変形試験，熱設計実証試験，太陽光照射試験，微小擾乱試験等を実施。ASTRO-H の高い指向性能要求を確保する上で，重要な熱構造設計について，その妥当性を検証中。現時点では大きな問題は見つかっていない。観測機器では，軟 X 線，硬 X 線の望遠鏡がそれぞれ２台のうち１台ずつ完成，また，HXI（硬 X 線イメージャ），SGD（軟ガンマ線検出器），SXI（軟 X 線イメージャ），SXS(軟 X 線分光検出器)の４つの検出器について，FM とほぼ同等のエンジニアリングモデル(EM)が完成し，それらを用いた試験を行うことができた。

【現在までに得られた予算措置】

平成 20 年度から平成 25 年度までの６年間に，約 105 億円が予算措置されている。年度展開は下の通り。

FY 20: 0.3, FY21: 0.3, FY22: 1.0, FY23: 30.1, FY24: 36.7, FY25: 36.7, 合計 105.0

（単位：億円。平成 25 年度分は内示予算額。四捨五入のため数値合計は合わない。）

⑧　これまでに得られた研究成果

マイクロカロリメータのエンジニアリングモデル(EM)を含め，各搭載機器の EM を使った試験を行い，衛星搭載モデル（FM）製造がはじまっている。マイクロカロリメータシステムの EM の試験結果からエネルギー分解能 7 eV（FWHM)という要求性能が実現されることが示されている。 硬 X 線望遠鏡，軟 X 線望遠鏡，それぞれ２台のうち１台が完成，X 線ビームラインを用いてキャリブレーションを実施している。

ASTRO-H 衛星を用いた科学観測の検討が本格的に開始された。具体的な天体を仮定し，X 線望遠鏡や検出器の応答をとりこんだ観測シミュレーションが可能となった。その結果をもとに論文が書かれるようになった。天文学会，物理学会で ASTRO-H のセッションが開かれ，またヨーロッパ天文学会年会(EWASS)においても ASTRO-H の特別セッションが開かれた。2 年に一度の SPIE 国際会議 Space Telescopes and Instrumentation, Ultraviolet to Gamma-ray において平成 20 年，平成 22 年，平成 24 年と連続して ASTRO-H のセッションがもうけられた。平成 24 年度の日本天文学会年会(3 月)の ASTRO-H の特別セッションにおいては，広い天文分野から 200 人にもおよぶ多くの参加があり，極めて盛況であった。

⑨　本計画に関する連絡先

高橋　忠幸（宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所）　takahasi@astro.isas.jaxa.jp

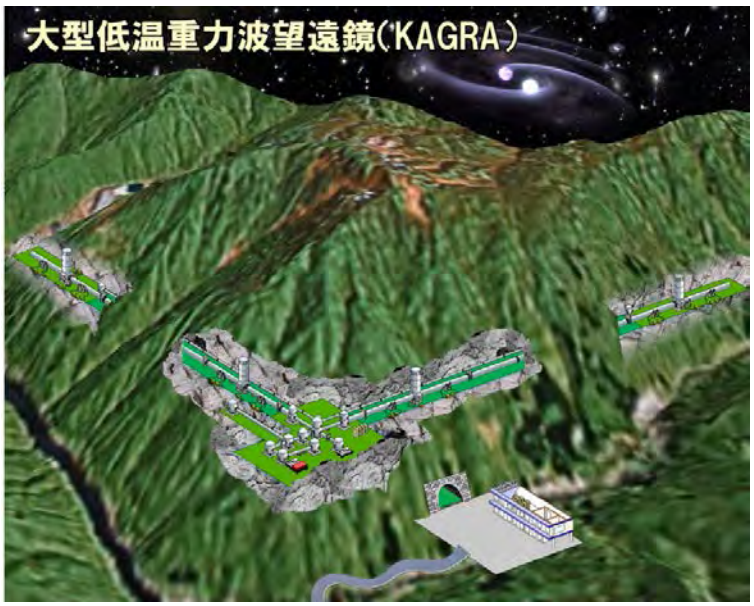
大型低温重力波望遠鏡計画

①　計画の概要

重力波は非常に重い天体などが激しく運動する際に放出される時空の波であるが、いまだ直接観測されていない。本計画では重力波の直接観測を目指す。重力波の初観測の後は、重力波を観測手段とした重力波天文学の創生を目指す。

具体的計画としては一辺 3km の超高感度レーザー干渉計を建設し、重力波を観測する。想定される重力波信号源は中性星連星の合体、ブラックホール連星の合体、超新星爆発などである。このうち予想観測頻度が高く、割合よく理解されている中性子星連星の合体は７億光年先まで観測可能な感度の実現を目指す。この感度を実現することで年間数例以上の重力波信号の観測が期待される。この感度を実現するために、世界で初めて装置全体を地面振動の小さい地下設置とし、また熱雑音を低減するために極低温に冷却した鏡を用いる。

なお、平成 22 年に本計画の実施が認められたことから、本計画の愛称を広く公募によって募り、愛称を KAGRA と命名した。



大型低温重力波望遠鏡 KAGRA のイメージ

②　学術的な意義

本計画により重力波観測がなされれば、強重力場における一般相対性理論の検証が行われることになる。また合体前の中性子星の物理状態の理解が飛躍的に進むことになる。それとともに宇宙の観測手段として、ブラックホール生成の瞬間など、これまで人類の見ることができなかった様々な天体・宇宙の現象を観測できるようになる。海外の装置との共同観測により重力波天文学と称すべき分野が創成される。そして、重力波の観測が、電磁波による観測やニュートリノ・宇宙線による観測と相補的に統合されることで、この宇宙のより深い理解を得ることが可能となる。

③　所要経費

装置建設費総額約 156 億円である。内訳は概算で、空洞掘削関係 37 億円、真空装置 57 億円、低温装置 28 億円、実験室（クリーン環境）整備 13 億円、防振装置 4 億円、光学系一式 6 億円、その他 11 億円である。

毎年の運転経費は約 4.5 億円を見込む。

④　年次計画

平成 22 年最先端研究基盤事業により装置の基幹部分の部品の設計・調達が開始された。その後、平成 23 年より国の施設整備費補助金（概算要求）によって、一辺 3km の L 字型のレーザー干渉計を地下に設置するための地下空洞掘削を開始し、現在空洞掘削中である。空洞掘削は平成 26 年 3 月頃の完了予定である。また低温で用いるサファイア鏡の準備や、それらの超高精度の光学部品を設置するため、クリーン環境などを含めた地下実験室整備の準備を開始するところである。平成 27 年末を目処にレーザー干渉計として動作をさせ、平成 29 年には全ての装置を設置し、鏡の低温化を達成して重力波の観測を目指した運転を開始する予定である。

観測期間としては平成 29 年から少なくとも 20 年以上を想定している。

⑤　主な実施機関と実行組織

東京大学宇宙線研究所がホスト機関となり、自然科学研究機構国立天文台、高エネルギー加速器研究機構との３研究機関の密接な協力のもとで装置を建設中である。特に国立天文台は、光学関係や防振関係を分担し、高エネルギー加速器研究機構は、真空関係と低温関係を分担している。宇宙線研究所はホスト機関として取りまとめを行うと共に、地下施設の建設や電子回路、また装置全体の設計のとりまとめに責任を持つ体制で進めている。上記３機関を含め全体では国内外から 69 機関、総勢約 200 人の共同研究によって計画を遂行している。

⑥　社会的価値

本計画は「時空の波」や「ブラックホール生成を直接捕らえる」などがテーマであり、純粋基礎科学のおもしろさを知ってもらうことができると考えられる。そのため様々なアウトリーチ活動を行っている。例えば本プロジェクトのホームページは一般の人々に興味を持ってもらえるようにすることを念頭に作成されている：

http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/

また、一般講演会なども多数行っているが、特に平成23年7月に神岡の地下からインターネットの生放送でサイエンスカフェを行い、約3万人に見て頂き、このような方法が国民の理解を得るうえで非常に有用であるとの認識を得た。

本計画は最先端の技術が多数用いられており、これらの最先端技術に国内の企業が関わることで、経済的・産業的価値を生む。また低温関連技術などで特許も生まれており知的価値を創造している。

⑦　これまでの進捗状況

本計画は平成22年から建設が開始された。現在装置の建設段階であり、全長6kmの真空パイプは既に製造が終了した。その他の装置部品もその準備が進行中である。また装置を設置する地下空洞は現在掘削中である。

予算としては、平成22から24年度に最先端研究基盤事業により98億円、平成23から24年度に33.4億円の施設整備費補助金（概算要求）によって地下空洞掘削経費、平成24年度補正予算により施設整備費補助金8.17億円、また平成25年度予算により施設整備費4.63億円が措置されてきた。

⑧　これまでに得られた研究成果

本計画は現在建設段階であるので、本計画から直接得られた研究成果は未だに存在しないので、本研究のために今までなされてきた開発研究の成果を以下に記載する。

日本の重力波研究グループは、平成7年に東京都三鷹市の国立天文台にTAMA300と呼ばれる300m基線長のレーザー干渉計を設置し、重力波観測のための干渉計の基礎技術を確立した。平成12年には当時の世界最高感度を達成し、重力波の観測に向けて装置の世界最長時間運転も実現した。しかし、同時に地上においては地面振動の影響により、熱雑音などの根本的な物理現象で決まる感度を達成することが難しいことも明らかにした。この経験を踏まえ、地上と比べはるかに静かな地下に干渉計全体を設置することを提案した。また、鏡の熱雑音が干渉計の感度を制限するため、鏡を極低温に冷却することで高感度の干渉計を実現するという着想に至った。この考えに沿って平成15年以来、岐阜県神岡の地下に基線長100mの低温干渉計CLIOを設置して地下環境の優位性と低温鏡を用いたレーザー干渉計の実証を行ってきた。そしてその結果、世界で初めて低温化による熱雑音の低減を実証した。

⑨　本計画に関する連絡先

梶田　隆章（東京大学・宇宙線研究所）　kajita@icrr.u-tokyo.ac.jp

計画番号 13　学術領域番号 24-1

衛星による全球地球観測システムの構築

①　計画の概要

世界各国科学者の検討に基づいた科学的観測要求に基づく国際的地球観測の枠組みである地球観測に関する政府間会合（GEO：Group on Earth Observations）及びその宇宙部分の調整を担う地球観測衛星委員会（CEOS：Committee on Earth Observation Satellites における国際調整に基づき、JAXA が中心となって衛星による全球地球観測システムの構築を進めている。現在運用中または今後 10 年以内で打上予定または提案されている観測衛星ミッションとして、(A)気候変動観測を目的とした「しずく」を含む GCOM シリーズ、(B)植生や地殻変動観測などを行う「だいち」後継シリーズ、(C)気候変動予測の不確定要素として重要な雲・エアロゾル・降水プロセスの観測を行う EarthCARE および GPM コア衛星、(D)大気中の温室効果ガス観測を行う「いぶき」（GOSAT、平成 20 年度打上げ）ならびにその後継シリーズ、ならびに(E)静止軌道より大気汚染物質と気象データの観測を行う静止大気・気象観測衛星がある。

②　学術的な意義

(A) 地球環境変動観測ミッション GCOM

気候変動、水循環メカニズムを解明するため、重要な気候変数(物理量)について長期観測（10～15 年程度）を行う複数シリーズ衛星によるシステムである。マイクロ波放射計を搭載する水循環変動観測衛星: GCOM-W「しずく」は、降水量、水蒸気量、陸域の水分量などを観測中。多波長光学放射計を搭載する気候変動観測衛星: GCOM-C では、雲エアロゾル、海色、植生、雪氷などを観測する。

(B)陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）および後継機

L バンド合成開口レーダ、可視近赤外光学センサを搭載し、植生観測により REDD 等の森林管理プログラムにおいての検証などに活用された、また、地震前後での地殻変動観測を実施した。後継機ではレーダと光学センサを ALOS-2 と陸域光学観測後継機にそれぞれ搭載し、継続的データ取得を実施する。

(C) 雲エアロゾル放射ミッション EarthCARE、全球降水観測計画 GPM

EarthCARE は、搭載される雲レーダ、ライダー等により、雲エアロゾルの鉛直分布、雲内速度計測を行い、それらの放射収支影響/プロセスの解明に貢献する。

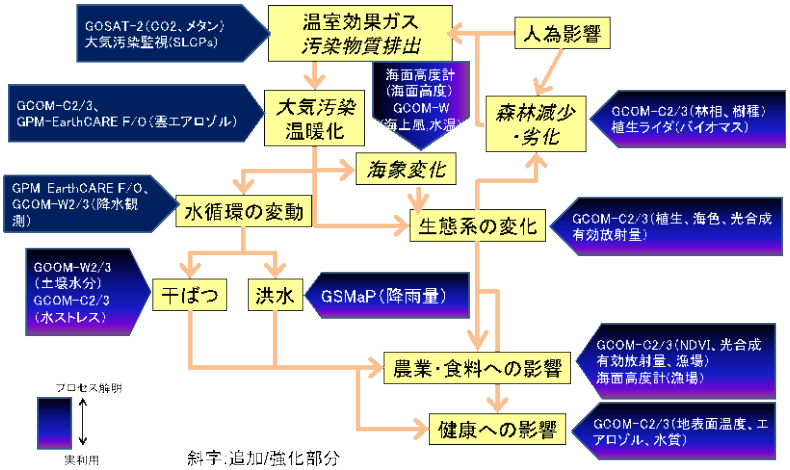
GPM は、二周波降水レーダとマイクロ波放射計を搭載したコア衛星と、副衛星群により、約 3 時間毎の全球降水観測を可能とし、水循環とそれに伴うエネルギー収支の解明に貢献する。

(D)温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）および後継機

フーリエ分光計および雲エアロゾルイメジャーを搭載し、二酸化炭素やメタン等の濃度分布を観測中。後継機は、亜大陸別から国別への評価を可能とし、継続的データの取得を行う。

(E)静止大気・気象観測衛星

ハイパースペクトルサウンダを搭載し、短時間大気質変動、越境大気汚染について、高頻度観測を行い、東アジアでの予測精度向上に貢献する。



③　所要経費

今後 10 年で 4,000～5,000 億円

GCOM-W1　約 380 億円

GCOM-C1　約 400 億円

GPM-DPR　約 220 億円

EarthCARE/CPR 約 100 億円

ALOS-2　約 300 億円

その他 GCOM 後継機(-C,-W)，陸域光学観測後継機, GOSAT-2 静止衛星他　計 2400-3400 億円

④　年次計画

日本の地球観測ミッションについては、宇宙基本計画（平成 21 年 6 月 2 日宇宙開発戦略本部決定）の中で、10 年程度を視野に入れた開発利用計画が策定されている。GCOM-W 衛星が平成 24 年度に打ち上げ済、ALOS-2 衛星および GPM コア衛星が平成 25 年度、EarthCARE 衛星が平成 27 年度、GCOM-C 衛星、陸域光学観測後継機が FY28 年度、GOSAT-2 衛星が FY29 年度の打上げを目指している。GCOM シリーズ後継機は地球観測を持続的に行うために、順次打ち上げが計画されている。静止大気・気象観測衛星については平成 29 年頃の打上げを目指している。

⑤　主な実施機関と実行組織

宇宙航空開発研究機構（JAXA）（A～E）全体システムの研究開発運用
気象研究所(A)　観測データの利用研究
国土地理院(B)　観測データの利用研究
森林総研（B）観測データの利用研究
情報通信研究機構（NICT）(C)　観測センサの研究開発
環境省/国立環境研究所(D)　観測センサの研究開発、観測データの利用研究

⑥　社会的価値

JAXA が FY23 年に実施したアンケートによれば、「地球温暖化等、地球規模の環境問題を解明、予測するのに役立つ人工衛星の開発」についての支持は59.2%と非常に高い数値を示しており、国民の理解・支持を十分に得られている状況にある。前述の計画の内、気候変動に関するものは現業気象機関により、短期気象予報システムの同化データとして、気象予報精度の向上に貢献しており、台風予報等の精度を高めることで気象災害に依る利益損失を低減している。海面水温や海色の海洋観測のデータは漁業において漁場の確認に利用されており、また海氷密接度の評価により、船舶航行において冬期の航路確認に利用されている。水循環に関するミッションにおいては、全球の降水状況を示すシステム(GSMaP)や土壌水分量計測、農業および生活水などについて重要な情報を発信し利用されている。陸域観測については、土地利用状況のみならず地殻変動や地震前後の地すべり危険度など、土砂災害低減に貢献している。温暖化ガス観測は温室効果ガスの排出状況を推定することで、地上観測の不十分な領域の情報を提供している。

⑦　これまでの進捗状況

提案した衛星の大多数について、スケジュール調整が行われてはいるが予算措置が適切になされている。ただし、GCOM の第２期第３期分、ALOS-3(光学)、静止衛星については明確な予算化はされておらず、今後共推進を続けたい。

(A) GCOM シリーズ
GCOM-W1 は FY24 年度に打上を完了し、観測を開始した。GCOM-C1 は衛星製作前の審査を実施中。
(B)「だいち」後継シリーズ
ALOS-2 は衛星を製作中であり、FY25 年度に打ち上げ予定
(C) EarthCARE および GPM コア衛星
GPM コア衛星は NASA にて組み立て中であり、FY25 年度に打ち上げ予定。EarthCARE は雲レーダ(CPR)製作前の審査を実施中
(D)「いぶき」（GOSAT）ならびにその後継シリーズ
「いぶき」(GOSAT)は、FY20 年度打上を完了し、観測中である。後継機はミッション要求審査を完了した。
(E)静止大気・気象観測衛星
ミッション要求審査を完了した。

⑧　これまでに得られた研究成果

(A) GCOM シリーズ
AMSR-E は米航空宇宙局の衛星 EOS-Aqua に搭載され、９年を超えて運用された。EOS-Aqua と同軌道に投入された GCOM-W1「しずく」は、AMSR-E との相互校正評価を経て、その観測を引き継ぐ準備を整え、観測値データの提供を開始した。さらに FY25 年度地球物理量のデータ提供を開始予定。GCOM-C1 については、搭載センサの観測性能精度の研究開発がなされた。
(B)「だいち」後継シリーズ
ALOS-2 においては全衛星システム、および搭載センサの観測性能精度の確認がなされた。
(C) EarthCARE および GPM コア衛星
GPM については、全衛星システムおよび搭載センサの観測性能精度の確認がなされ、地上校正の研究開発がなされた。EarthCARE については、搭載センサの観測性能精度、地上校正の研究開発がなされた。
(D)「いぶき」（GOSAT）ならびにその後継シリーズ
「いぶき」の観測データから解析された二酸化炭素・メタンの濃度分布が FY21 年度に一般提供開始され、FY24 年度に地上観測データとの組み合わせて二酸化炭素吸収排出量の推定値が公開された。
(E)静止大気・気象観測衛星
観測センサ設計の研究開発がなされた。

⑨　本計画に関する連絡先

福田　徹（宇宙航空研究開発機構第一衛星利用ミッション本部地球観測研究センター）　fukuda.toru@jaxa.jp

複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

①　計画の概要

本計画では、人類社会の持続的発展に必要と考えられる原子力・放射線の新たな利用法の開発を含む複合的な原子力科学分野の発展を目指し、個々の研究者の豊かな創造性に基づく先導的な研究の実施を旨として、萌芽的・基礎的な実験研究に重点を置き、研究炉や加速器を用いる共同利用・共同研究を推進する。その際、多様化する新たな研究ニーズに対応し得る施設・設備の導入・整備に努めつつ、原子力･放射線施設の特質に鑑み、原子炉実験所の教員が全国の研究者を組織して共同で行うプロジェクト研究を重視し、世界をリードする研究教育活動を発展的に展開するものとする。実際、原子力・放射線の利用に係る研究の分野は拡大の傾向にあり、分野の交流・共同研究による成果も少なくない。本計画では、研究炉や加速器等のさまざまな大型施設・設備を利用し、放射線・放射性同位体（RI）を用いた広い分野の高次な交流を進め、新たな先端研究分野を切り拓くことを目指す（図１）。

代表的な取組として、研究炉による特徴的な研究として実績を積み重ねてきたホウ素中性子捕捉療法（BNCT）研究については、小型の加速器中性子源による臨床 BNCT 施設をも世界に先駆けて実現し、臨床治験を開始していることから、研究炉と加速器中性子源を併用して実用化を促進する。また先導的な研究とされる加速器駆動システム(ADS)に関する基礎研究については、同システムが安全性と核変換特性に優れるとされ、新たな中性子源としての利用も期待されることから、その実現を目指して一層の推進を図る。その他、研究炉や加速器を用いる多様な共同利用・共同研究を推進することにより、原子力・放射線の利用に不可欠な科学的知見の集積と活用が進展し、研究成果の社会的還元及び人材育成に寄与するものと期待される。

②　学術的な意義

本計画では、京都大学研究用原子炉（KUR）による特徴的研究等の進捗状況を踏まえ、その発展と有効利用を図る観点からの研究を推進することとしている。本研究の意義は、研究炉や加速器を用いる実験に重点を置いた共同利用・共同研究を軸として、複合的な原子力科学の裾野が拡大・発展し、より安全で効率的な原子力・放射線の利用を支える基礎・基盤的学術の新たな創成と展開につながり、それらの有効利用への道が拓かれることにある。また BNCT 研究等の具体的な成果を社会に発信･還元することにより、原子力・放射線の利活用が人類福祉に貢献する有様を実際に示すとともに、学際分野の先導的な研究を共同利用・共同研究体制の下で遂行することにより、大学における教育研究活動にインパクトを与え、俯瞰的視野を持った優秀な人材の育成に寄与するものと期待される。

③　所要経費

所要経費（総額 98 億円）は以下の通り。

１）初期投資（70 億円）

・小型サイクロトロン（23 億円）：粒子線利用研究及び KUR の ADS 化の基礎研究を行う。
・加速器増強（5 億円）：既設の固定磁場強収束型（FFAG）陽子加速器を増強する。
・既設実験研究棟整備（9 億円）：小型サイクロトロンを設置・利用するため、遮蔽性能の増強等を行う。
・総合研究棟新営（20 億円）：増強された FFAG からの短パルス陽子によるパルス中性子源を設置・利用する。
・実験設備（13 億円）：パルス中性子源、中性子利用実験装置、陽子・陽電子利用実験装置。

２）運用経費（28 億円）

・年額 4 億円。計画期間 7 年（平成 25 年度－平成 31 年度）。

④　年次計画

本計画では、多様化する新たな研究ニーズに対応し得る施設・設備の導入・整備を行うこととしており、KUR については、安全を確保するための適切な措置を講じつつ、その利用を継続する。将来的には KUR に代替し得る新たな中性子源の開発も必要とされ、KUR の ADS 化も選択肢の一つである。このような状況をも念頭に研究を推進するため、実験施設・設備を整備する。初期投資を要する実験施設・設備整備の年次計画は、以下の通り。

平成 26-27 年度：

・FFAG 陽子加速器増強。総合研究棟（コラボレーションリサーチラボ）建設。既設実験研究棟（イノベーションリサーチラボ）整備（遮蔽性能増強等）。

平成 27-28 年度：

・小型サイクロトロン設置。実験設備整備（パルス中性子

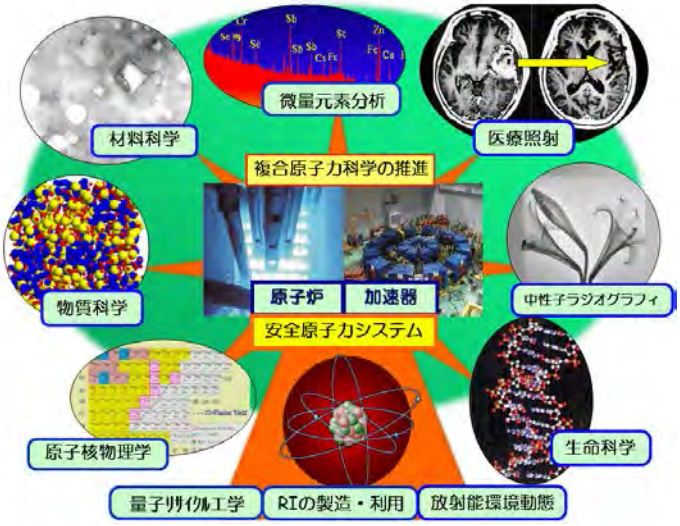


図１．複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

源、中性子利用実験装置、陽子・陽電子利用実験装置）。
平成28年度以降：
・小型サイクロトロン、パルス中性子源等による多目的利用研究、KURのADS化に関する基礎研究の開始。

⑤　主な実施機関と実行組織

主な実施機関：京都大学原子炉実験所

京都大学原子炉実験所は、昭和30年に日本学術会議で開催された「原子力に関するシンポジウム」において、関東及び関西の大学に研究炉を1基ずつ設置する、とされたことに端を発し、日本学術会議による協力・勧告のもと、昭和38年に京都大学附置研究所として設置された。以来、全国大学の共同利用研究所としての実績を重ね、平成22年より共同利用・共同研究拠点として活動している。

現在、京都大学原子炉実験所ではKUR、ホットラボラトリ、KUCA、陽子加速器（FFAG、BNCT用サイクロトロン）、電子線形加速器、γ線照射装置等のさまざまな大型施設・設備を利用し、放射線・RIを用いた極めて広範な分野に跨る、広義の原子力研究が全国共同利用制度のもとに行われている。全国の研究者や大学院生が自らの発想に基づいた研究を行うための場となっており、幅広い学術分野を基盤から支えている。KUCAにおける全国大学の大学院生を対象とした実験教育活動も特筆に価する有意義な取り組みである。

計画の軸となる共同利用・共同研究については、多数の学外者を含む共同利用運営委員会等において方針の立案、課題採択等を行い、京都大学原子炉実験所の原子力基礎科学、粒子線物質科学、放射線生命医科学の3研究本部体制(3研究部門(20研究分野)、2研究センター)のもとで、国内外の大学･研究機関等と協力・連携を図りながら推進する。

なお、原子炉施設や放射線施設等の安全管理については、所外学識者を含めて構成される原子炉安全委員会・保健物理委員会で審議する体制を整えており、管理業務を行う体制として安全管理本部のもとに部・室を設け、万全を期している。

⑥　社会的価値

京都大学原子炉実験所において蓄積されてきた原子力の学際的研究分野（医療・健康、物質科学、安全・防災）の研究成果を地域社会や産業に還元する仕組みを構築し、もって原子力の平和的利用の促進と国民の理解を促していく構想として、熊取町・大阪府・京都大学共同で「熊取アトムサイエンスパーク構想（骨子案）」がまとめられており、BNCT研究は京都府・大阪府等による「関西イノベーション国際戦略総合特区」に含まれている。これらは地域との共存共栄を目指すものとして地元自治体からもその発展が大きく期待されている。

また、従来、研究炉の管理や安全性向上に関する基礎基盤的な研究を行ってきており、これらを安全基盤科学として包括的に研究するとともにその成果を発信することにより、原子力安全規制等の実務的な体系に反映されることが期待される。さらに、KUCAにおける全国大学の大学院生を対象とした実験教育活動や、共同利用･共同研究拠点として実験研究を通じた大学院生等の教育にも貢献しており、人材育成の面で少なからぬ役割を果たすことが期待される。

⑦　これまでの進捗状況

福島原発事故により原子力研究に対する環境は大きく変化したが、本計画の推進に不可欠な研究炉（KUR）の運転は地元の理解を得て継続しており、外部資金も得て実験設備の改造・整備を進めている。また、KUR、KUCA、ホットラボラトリ等の大型の施設・設備ばかりでなく、電子線形加速器やCo-60γ線照射装置等も備えており、中性子・陽子・電子・γ線という多様な粒子線利用研究環境を実現している。

BNCTについては、KURの重水施設を用いた臨床研究等を着実に推進するとともに、企業との共同研究によりBNCT用加速器中性子源施設を開発して完成させ、治験を開始した。またADS研究については、FFAG陽子加速器とKUCAからなるADSを用いた炉物理実験を着実に進めている。FFAG陽子加速器の性能向上も継続して行っており、外部資金による事業を実施し、材料開発の研究を推進している。

その他、国立大学運営費交付金により「原子力利用を支える安全基盤科学の構築－研究炉の活用による包括的な原子力安全基盤科学の研究と人材育成」等を推進している。

⑧　これまでに得られた研究成果

本研究では、国内最大規模の大学の研究炉を幅広い分野の共同利用に供しており、加速器やRIの利用、放射線・粒子線の利用によるものも含めて、その成果は極めて多様かつ広汎な領域に広がっている。例えば、「イトカワ試料」の放射化分析、中性子スピンエコー装置の開発、そして放射光吸収メスバウアー法の開発など優れた研究成果を挙げている。特に、BNCTやADS研究など、原子力・放射線の有効利用に向けた複合分野の研究に重点的に取り組み、世界をリードする成果を得ている。

BNCT研究においては、KURで悪性胸膜中皮腫に対する研究や新規診断の膠芽腫に対する臨床試験も開始される等、治療効果向上だけでなく適用症例の拡大等においても進展が見られる。また、サイクロトロンによる加速器中性子源が開発され、世界初の臨床治験を開始している。

ADS研究では、我が国独自の技術であり加速効率の高いFFAG加速器で加速した陽子ビームで中性子を発生させ、この中性子をKUCAに構築した未臨界核燃料体系に入射することにより増倍させ、未臨界体系における入射中性子エネルギー依存のエネルギー増倍特性や出力制御特性を確認することによりADSの成立性・特性を評価した。また、同じシステムを用いて世界初のトリウム燃料を装荷したADS実験を開始するなど、世界をリードしている。

⑨　本計画に関する連絡先

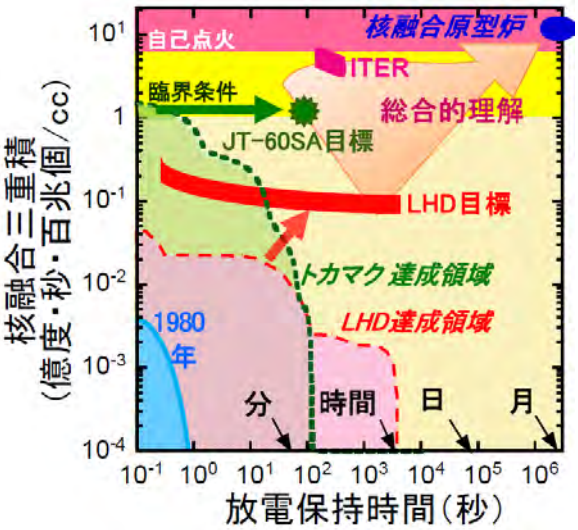
森山　裕丈（京都大学原子炉実験所）　moriyama@rri.kyoto-u.ac.jp

計画番号 15　学術領域番号 27-3

高性能核融合プラズマの定常実証研究

①　計画の概要

核融合の実現はエネルギー環境問題の解決に極めて大きな意義を持つ。21 世紀中葉での実用化を目指して、発電実証を行う原型炉段階に進むには、核融合で燃えるプラズマと、炉心級の性能を持った高温プラズマの定常保持の実証が不可欠である。本計画は後者の実現を目標に、国内外の共同研究・連携体制を強化して取り組むものであり、その必要性と実行が全国の核融合研究者コミュニティから強く支持されている。前者を担う国際熱核融合実験炉（ITER）計画とは相補的な関係にあり、この両者の成果を統合し、磁場閉じ込めによる原型炉段階に研究開発を到達させる。ヘリカルおよびトカマク方式は原型炉段階へもう一歩のところにあることから、定常運転のための超伝導コイルを有した大型ヘリカル装置(LHD)と JT-60SA からなる大型施設計画を並行して進めることにより、その成就を図る。LHD はヘリカル方式に固有の定常性を備えていることから、現有施設を拡充し、原型炉を見通すことができる高性能プラズマをヘリカル方式によって実現すること、新たな実験施設となる JT-60SA では自発的に流れるプラズマ電流の制御によるトカマク方式の高効率定常運転法を実証することを、総合的に推進する。研究計画は実施主体が中心となりつつ、共同研究者が加わった委員会によって運営し、全日本的な体制で遂行する。二つの方式の異同を説明しうる核融合プラズマの学理体系の確立と、これに伴う工学研究の進展をも合わせることによって原型炉の設計に必要な理工学基盤を獲得する。さらに、本計画は長期にわたる研究を担う人材育成と、我が国のエネルギー関連産業界へ国際競争力ある技術蓄積を図るものとなっている。



②　学術的な意義

核融合研究は、太陽中心核の 10 倍という超高温の世界で起こる様々な未知の現象を実験的・理論的に解明する学術研究を基盤として進展してきた。これらの学術基盤のもとに本計画は安全な基幹エネルギーとしての核融合炉の早期実現に決定的な科学的貢献を行うものである。本計画によって、核融合炉を見通せる世界最高の性能を持つ定常プラズマが初めて実現し、これまでにない新たな学術的知見や、現在の理論を越えた新たな発見が望める。さらに、核融合炉に必要なプラズマ物理の体系化により、発電実証を行う原型炉設計のための、学術基盤に立った包括的かつ精密な予測科学を世界に先駆けて構築できる。

本計画の対象となるプラズマは強い非線形性と自律性を持つ典型的な複雑系である。この学術的理解は、核融合研究を越えて、新しい物理パラダイムの創出やシミュレーション科学に進展をもたらし、自然の成り立ちの基礎的理解につながるものである。核融合研究が原型炉へと収斂していく過程は、基礎的学術基盤と孤立しては成り立たない。本計画は、核融合と基礎物理の研究分野に新しい成果をもたらすと同時に、基礎的学術基盤研究の成果を取り込むことによって促進される。また、本計画は広範な関連分野を発展させる牽引車となりうるもので、その実施が多分野から強く望まれている。

③　所要経費

大型ヘリカル装置の最高性能化 689 億円
（平成２５年度～３５年度）
　内訳　運転経費・実験経費等 592 億円
　　設備投資　97 億円
JT-60SA 計画　435 億円
　内訳　初期投資　409.6 億円
　　運営費等　25.4 億円　　他、既存設備の解体・改造等を実施する必要あり。

④　年次計画

大型ヘリカル装置計画

平成２５～３２年度　除熱排気装置の整備、プラズマ加熱装置の増強によってプラズマの最高性能化を図り、実験研究を推進。重水素を用いたプラズマ実験についての準備を進め、実験を速やかに開始する。これらの整備と並行して、高性能定常プラズマ実証と環状プラズマの総合的理解のために国内外の大学等と共同して研究を進める。

平成３３～３５年度　ヘリカル方式による核融合点火を見通せる高性能定常プラズマを実証し、プラズマ物理学、関連理工学の体系化を図る。

JT-60SA 計画

平成２５～３０年度　新築建屋の建設、機器の設計・工場製作、現地組立工事を行う。

平成２６～３０年度　各機器の試験、及び総合試験を行う。

平成３０～３１年度　プラズマ実験運転を開始する。以降、ITER を支援する研究及びITER を補完する原型炉に必要な研究を、初期研究段階（3～5 年）、統合研究段階（4～5 年）、拡張研究段階（>5 年）において実施する。

年次計画中を通じて、責任実施機関である核融合科学研究所と日本原子力研究開発機構が強く連携し、全国の研究者コミュニティと一丸となり、常に二つの大型施設実験を用いた研究の間のポジティブフィードバックを図りつつ、計画を遂行する。

⑤　主な実施機関と実行組織

本計画を構成する二つの大型実験プロジェクトの遂行は、LHD については核融合科学研究所、JT-60SA については日本原子力研究開発機構が実施主体としてそれぞれ責任を持って当たる。本計画の総合的推進は両機関が協力協定に基づき連携し、全日本の共同研究体制で進める。LHD と JT-60SA という二つの大型実験プロジェクトの特長を活かしつつ、相互のポジティブフィードバックを生むための全日本体制を構築する。

核融合科学研究所では、LHD の整備及び実験にあたって、全国の共同研究者が加わった委員会を組織し、全日本体制で運営する。また、核融合科学研究所の共同研究の特長を活かして、LHD を使った共同研究を推進する。日本原子力研究開発機構では、日欧協力とともに、トカマク国内重点化装置として国内研究者コミュニティが主体として参画する体制を構築する。このように、本計画によって二つの大型実験プロジェクトを軸として、全日本の取り組みと組織作りが加速、強化されている。

⑥　社会的価値

本計画は核融合科学にかかわる基礎学術研究として学問的な価値を持つと同時に、核融合発電が実現すれば、エネルギー・地球環境問題の解決が図られるため、極めて大きな社会的、経済的影響を与えるものである。研究対象となるプラズマは、自然の成り立ちを理解するための基礎学術や産業応用としての科学的価値が高い。高度な国産技術の向上とその継承の観点からも産業界に大きく貢献するものである。さらに、核融合研究開発は日米欧露に加えて中韓印も国の支援によって積極的に推進されており、全世界的な協力による ITER のような取組と熾烈な競争が展開されている。このため、科学技術立国として、国際的にトップの地位の獲得と安全保障の観点から、我が国における核融合研究開発の中心計画としての本計画の役割は極めて大きい。また、本計画は、国際的視野を持った人材の育成に、学生の教育を含めて大きな貢献をすることになる。

⑦　これまでの進捗状況

本計画は、既設の LHD の機能拡充によって最高性能化を図り、JT-60SA の建設を完遂して、この両者によって高性能核融合プラズマの定常実証にかかわる研究を推進するものである。LHD は建設期を経て、平成 10 年度より実験を進めてきた。この間、超伝導コイルシステム、大電力プラズマ加熱、高性能プラズマ排気、高精度計測などの設備の整備と運転技術の確立が進み、加熱機器の増強と重水素実験等により、その性能を最大限に発揮させて、目標の完遂を目指す本計画が策定された。LHD では現有設備を用いて年間 250 件の実験テーマを公募による共同研究として進めている。また、研究の格段の進展が期待できる重水素プラズマ実験に必要な地元自治体との合意手続きを平成 24 年度末に終了し、実験開始が可能な状態となっている。JT-60SA 計画は日欧のサテライト・トカマク計画と国内重点化計画の合同計画である。EU との「幅広いアプローチ協定」により、平成 19 年度を初年として開始し、平成 30 年度の実験開始のため、改修作業を進めている。平成 25 年 1 月、欧州からの初の大型機器が搬入され、本体の組立が開始された。さらに、平成 23 年末に日本原子力研究開発機構、核融合科学研究所及び大学が共同し、コミュニティとしての JT-60SA の研究実施計画を策定した。このように、LHD における共同研究と JT-60SA の研究実施計画策定を軸に相互のポジティブフィードバックをコミュニティが主体となって図っている。責任実施主体である核融合科学研究所と日本原子力研究開発機構は平成 21 年 8 月に包括的連携研究協力を締結している。

⑧　これまでに得られた研究成果

LHD は平成 10 年度の実験開始以来、これまで 15 年間、核融合装置として世界最大の超伝導コイルシステムをはじめとして、順調に稼動している。大学共同利用機関の共同利用装置として研究者コミュニティの多様なニーズに応え、11 万回以上のプラズマ実験を国内外の共同利用・共同研究に広く供してきている。プラズマ物理の研究だけでなく装置工学上の成果も多く得られてきている。代表的な成果として、1 千万度を超えるプラズマの 1 時間保持、8,500 万度のイオン温度の達成、プラズマの圧力と磁場の圧力の比であるベータ値では経済的な核融合発電の指標を超える 5.1%を安定・定常に維持、などがあげられる。LHD の稼働前にあった、ヘリカル方式で懸念される物理的課題は実験研究の進展によって、ほぼ払拭され、上述のような成果を得ることができた。さらには核融合条件を 10 倍以上上回る超高密度プラズマ状態や不純物の掃出し現象など、新しい展望につながる発見も得られている。JT-60SA においては、日欧及び国内協力の下、シミュレーションを駆使した性能評価や放電シナリオ・制御ロジックの検討が進み、それらを計測・制御機器の設計・製作に反映しつつ、その研究計画を ITER や原型炉の計画と整合した形で取り纏めた。JT-60SA の建設は工学研究開発の成果をもとにして、計画どおりに進捗している。例えば、大型の超伝導ポロイダル磁場コイルでは、コイル直径 4.4m に対して要求値の 10 分の 1 に相当するコイル電流中心の真円度 0.6mm を実現した。リサーチプランについては、日欧の研究コミュニティで、最新の研究結果を踏まえつつ改訂のための議論を継続している。

⑨　本計画に関する連絡先

山田　弘司（大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所）　hyamada@lhd.nifs.ac.jp