

強磁場コラボラトリー：統合された次世代全日本強磁場施設の形成

① 計画の概要

我が国が強い伝統をもつ物質・材料科学研究の中核的な施設であり新物質・新現象の発見とその展開・応用の両側面で必要不可欠な強磁場科学研究施設を、世界トップの次世代施設へと発展させるべく、2019年3月締結の強磁場3拠点の連携協定を基盤として、全日本型の統合的研究機構（強磁場コラボラトリー）を構築する。強磁場分野は、近年、科学技術大国で大規模強化が行われ競争が激化しているが、独自の整備戦略と3施設の統合的運用により、主導権を確保し、物質・材料科学研究の国際競争力向上に貢献する。

パルス強磁場では、東京大学物性研究所の1200T電磁濃縮と一巻きコイルによる未踏の超強磁場領域における挑戦的研究と非破壊100Tパルス磁場、準定常強磁場による精密物質科学を総合的に活用し、西日本拠点として大阪大学の複合極限強磁場施設と共同運用することで、パルス強磁場における世界No.1を目指す。定常磁場では、東北大学金属材料研究所が世界をリードする無冷媒超伝導磁石と高温超伝導材料応用技術を生かし、33T無冷媒超伝導磁石（16億円）を建設する。日本は30-45Tの大電力定常磁場磁石領域において予算的制約から、世界に立ち後れているが、従来比で100倍の運用時間と100倍の安定度を確保出来る33T超伝導磁石を世界に先駆けて導入し、さらに、物性研の準定常強磁場電源の更新整備（19億円）と合わせて、大電力定常磁場を過去のものとする新戦略で世界のトップへの復活を果たす。また、独立した施設間の連携の段階から統合的な運用の段階へと進み、連携研究用の共用強磁場装置（1億円）と運用体制整備（1億円）を行う。強磁場コラボラトリーは、2020年代に社会実装が始まる高温超伝導材料利用の先進的な医療機器・加速器、エネルギー創生・輸送・蓄積システムのための材料試験・認証施設としても運用し、日本の材料科学産業のイノベーションに貢献する。



② 学術的な意義

強磁場は、物質科学、材料科学の双方に必須の基盤的環境であり、電子状態評価の標準的手法として、あるいは強磁場下で出現する新物質相、新現象発見の契機として、また、生物、化学、複雑系においてNMR等のスピンのゼーマン分裂を利用したプローブとして利用され、関連分野で重要な役割を果たしている。実際、強磁場下の物質研究により、量子ホール効果、磁場誘起超伝導、ディラック電子等のような凝縮系物理学における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きた。また、超強磁場下における酸素の新構造の発見や基礎物理学と連携した新粒子の探索など、強磁場研究は、固体物理の枠を越えて広がり、発展している。このように、強磁場研究のフロンティアを追求し、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、学術的に大きな可能性と意義がある。

パルス強磁場は、瞬間的だが極めて強い磁場を発生する特徴を生かし、探索的基礎研究に威力を発揮する。一例として破壊型の強磁場中では、分子形状の磁場改変、室温におけるマクロな量子現象の観測をはじめ、未踏領域への展開が期待される。一方、物質科学を基盤とする材料科学では、安定で高品質な定常強磁場環境が必要で、実際、超伝導材料、磁気材料の開発は主に定常強磁場で行われて来た。一例として、超伝導材料の実用化では、現在30T領域の特製評価が研究の焦点となっており、世界に先駆けて30T級の超伝導磁石を整備し、この課題を研究することは、超伝導研究だけでなく、それを応用する広い学術分野への波及効果が期待される。さらには、破壊型と定常磁場の間にある準定常磁場及び非破壊パルス磁場により、超精密な強磁場科学を推進することは、物質科学と材料科学を繋ぐ上で重要である。このように強磁場研究の発展は、物質・材料科学の発展を通じて人類の物質観を豊かにするものであり、重要な学術的な意義がある。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

強磁場分野は、近年、科学技術大国で例外なく大規模強化が行われている。その理由は、物質・材料科学研究の重要性が増しており、強磁場施設がその拠点研究施設であるためである。国外では、米国国立強磁場研究所が定常とパルス磁場を統合した国立施設として整備され、世界最高の45Tのハイブリッド型定常磁石を有している。一方、欧州では、我が国同様の総合的国立施設を形成し、蘭の定常強磁場の更新、ドイツのパルス磁場の新設等が行われ、これらの施設はEU強磁場研究所(EMFL)としての統合運用が行われている。一方、中国では、欧米に匹敵する強磁場施設が武漢(パルス)、合肥(定常)で国家プロジェクトとして運用されている。我が国は、強磁場分野において、歴史的に高い国際競争力があり、パルス強磁場においては非破壊型と破壊型を統合した研究により世界をリードする一方、大電力型の定常強磁場設備では、大きな差を付けられている。これに対し、強磁場コラボラトリーは、国際的な主流の統合的強磁場施設を目指す計画であり、戦略的に超伝導磁石の強磁場化と準定常磁場を整備することで、大電力型定常強磁場領域の弱点を克服し、日本の優位性復活を目指す。

④ 実施機関と実施体制

強磁場コラボラトリーの実施機関は、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、大阪大学大学院理学研究科附属先端強磁場科学研究センターの大学3機関・施設であり、一体的に運営を行うために、2019年3月に強磁場コラボラトリー運営に関わる協定書が締結され、関係3機関の機関レベルにおける事業として実施されている。強磁場コラボラトリーにおける定常磁場部分に関しては、東北大学が、関連機関である物質・材料研究機構との連携協定にもとづく関連研究者の協力も得て、全日本定常強磁場拠点の整備・運営を担う。一方、準定常磁場、100T非破壊パルス磁場の整備は物性研究所が行い、破壊型の電磁濃縮、非破壊長時間パルス磁場、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、大阪大学の複合極限強磁場設備と合わせて、全日本的なパルス強磁場施設として一体的に運営する。既に、物性研究所と大阪大学は、2016年度から大学共同利用の枠組みを拡張して、共同で共同利用を実施しているが、2019年度からは、強磁場コラボラトリーとしての統一した課題受け付け・審査の実施等、さらに強化する。物質科学の分野では、高い研究水準をもつ小規模グループをどのように取り込むかが研究力を左右する。強磁場コラボラトリーでは、主実施機関との連携により計画に参画する関連機関を位置づけており、大阪大学との連携協定に基づくKOFUCネットワーク(神戸大、福井大、大阪府立大)や強磁場施設と放射光・中性子施設が連携した分野融合型の強磁場研究の推進など、学際的、分野横断的な研究を実施出来る新しい研究連携機能も備える。

マスタープランの応募様式では提案者を1名しか記入出来ないが、本提案は物性研究所森所長、金属材料研究所高梨所長、大阪大学大学院理学研究科田島研究科長の共同提案である。

⑤ 所要経費

全日本定常強磁場拠点の設備整備総額は37億円であり、その内訳は、東北大学金属材料研究所における33T無冷媒超伝導磁石の建設が16億円、東京大学物性研究所における準定常磁場用の電源となる300MJスーパーキャパシター導入が10億円、100テスラ非破壊パルス磁場の電源としての8MJコンデンサ電源が9億円、可換型の共用強磁場装置の整備費等の分野・機関横断型の連携研究に対応する共用設備の整備が1億円、強磁場コラボラトリーの運営費が1億円である。これらは、世界最高水準の施設整備を実施することを保証しながらも、実現性を高めるために経費を極限まで絞り込んだ要求となっている。各施設の運営では、既存の運営経費として各施設合計で約2.5億円を負担することが前提となっている。要求する1億円は、導入設備のユーザー利用に必要な周辺整備経費等の機能強化に当てられる。

⑥ 年次計画

年次計画は以下の通りである。

東北大学金属材料研究所に設置する33T無冷媒超伝導磁石は、2023年度の導入を目指して、詳細設計や費用算定が行われ、施設の予算や競争的資金により、試作試験なども行われており、いつでも実施可能な状況にある。導入後の当初運用は2030年までの8年間を予定しており、その間に35T-40Tへの改造を行い、さらに10年程度の運用を目指す。

物性研究所の準定常磁場電源は2021年度、非破壊パルス磁場電源は、2022年度の導入を目指しており、導入後10年間運用し、その後、メンテナンスやアップグレードを行う計画であるが、エネルギー制御技術は急速に発展しており、スーパーキャパシターの更新コストは低減することが期待出来るため、安定的な維持が可能であり、更新・改造によりさらに10年の運用を目指す。

運営体制としては、各施設の専任および兼任の教員合計40名による運営を行っているが、強磁場コラボラトリーの本格運用にあたっては、連携組織の枠組みを生かして、施設外の研究者が運営に関わる仕組みを整備することで、導入した設備を有効的に活用することを目指している。人材育成については、2030年までの10年間で迎える世代交代に備えるため、既に、2018年8月に強磁場2030年委員会を発足させ、若手・中堅研究者が、強磁場分野の将来構想、運営構想などについて、検討する仕組みを作っており、これらの活動を通じて強磁場コラボラトリーの安定的な運営を保証する。さらに、強磁場のコミュニティを代表する強磁場フォーラムでは年一回の会合において、若手を含む研究交流を継続的に実施するとともに、若手研究者の支援・発掘のために強磁場フォーラム若手奨励賞を設けている(2019年度から従来の三浦賞を改定)。

⑦ 社会的価値

強磁場利用研究はエネルギー、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、超伝導リニア新幹線や核融合等のエネルギー・交通分野、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、モーターやパソコンなどで多用されている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。さらに、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おり、そのために強磁場施設の高度化が強く関係産業界から要請されている。このように強磁場コラボラトリーは、経済的・産業的価値、SDGsへの寄与が期待され、超伝導材料、磁性材料を中心に社会実装に不可欠な材料の評価・認証施設としての機能を整備し、我が国の材料開発と関連産業の推進寄与する計画であり、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。

⑧ 本計画に関する連絡先

森 初果 (東京大学物性研究所)

定常磁場から超強磁場まで統合した全日本強磁場施設

