

大強度陽子ビームで究める宇宙と物質の起源と進化

① 計画の概要

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) は、大強度陽子ビームを標的に衝突させて多彩な二次粒子を生成し、基礎研究から新産業創出につながる応用研究に至るまで幅広い分野の実験を行う。本計画では、J-PARC の大強度ビームによる運転を毎年長期間 (年間9ヶ月) 実施して研究を着実に推し進め、宇宙と物質の起源と進化の解明を目指す。2021 年から主リング加速器 (MR) のビーム強度を増強し、現在進行中のプログラムを推進するとともに、ミュオン超精密測定のためのビームラインやハドロン実験ホールの拡張など実験施設の高度化を行う。新しい物理法則の最高感度での探索、中性子星の内部のような極限高密度状態での物質の性質の解明、時間空間的に細分化した測定による物質や生命の機能の理解、などの学術的な意義がある。産業利用により、イノベーション創出や産業競争力強化にも貢献する。大強度ビームを着実に供給すれば研究の優位性を保ち世界中の研究者を惹きつけることができるので、施設の能力を発揮するための長期の安定運転を中核にしつつ、さらに実験施設を高度化して特徴ある実験を実現する。すでに国外の多くの研究者が J-PARC での実験に貢献している。J-PARC 運営のこれまでの実績に加え、大学が J-PARC に分室を設置して連携協力を深め、素粒子・原子核・中性子・ミュオンのコミュニティからの支持もある。共同利用のための体制は整備されている。



② 学術的な意義

LHC の高エネルギー衝突実験で新粒子の探索を続けるとともに、多様な実験対象と手段で精密測定を行ってずれを見出すことが喫緊の課題となっている。J-PARC では、ニュートリノ振動、K 中間子の稀崩壊やミュオンの稀な現象、ミュオン異常磁気能率と電気双極子 (g-2/EDM) の測定により、新しい物理法則を最高感度で探索する。KEK つくばの SuperKEKB 施設と併せることで、トップクォークを除く全てのクォークとレプトンを生成し包括的に探求できる。

ハドロン実験ホールの拡張により、新しいビームでの実験が可能になる。大強度中性ビームラインを設置し、CP 対称性を破る K 中間子の稀崩壊を世界最高感度で測定できる。また、地球に存在する多種の原子が作られた場として近年注目されているのが連星中性子星の合体である。その理解には、普通の原子核の中の力だけでなく、ストレンジクォーク (s) を含んだ“一般化された核力”を理解する必要がある。大強度高分解能パイ中間子ビームラインを新設し、s を一つあるいは複数含んだ超原子核を多種生成して、そのエネルギーレベルをこれまでより 15 倍良い精度で測定し、中性子星の内部のような極限高密度状態での物質の性質を解明する。

MLF の中性子やミュオンを用いた測定を時間空間的に細分化し、酸化高温超伝導メカニズムや生体関連物質の機能の解明を加速する。KEK つくばの放射光や陽電子の施設とあわせた多面的な実験により物質や生命の機能の総合的理解に発展させる。

産業利用では、基礎研究の知見や手法を発展的に活用し、中性子を用いた全固体セラミックス電池、高性能タイヤの開発・製品化、負ミュオンによる電子機器の誤動作の評価など、イノベーション創出や産業競争力強化にも貢献している。「はやぶさ 2」による希少サンプルの分析や負ミュオンを用いた非破壊分析法の考古学等の分野への応用などへも広がりを見せている。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

J-PARC は 2021 年からのビーム強度の増強により世界の様々な専用施設を凌駕する。競争する実験はいろいろあるが、着実にビームを供給すれば、研究の優位性を保ち世界中の研究者を惹きつけることができる。本計画は、施設の能力を発揮するための長期の安定運転を中核にしつつ、さらに実験施設を高度化して特徴ある実験を実現し、大強度を生かしたユニークな研究へ展開するものである。

米国のフェルミ研究所でニュートリノ実験とミュオン実験、欧州 CERN で K 中間子実験、米国のトマスジェファーソン研究所やドイツ GSI の FAIR 計画でストレンジ核物理やハドロン実験が進められ、J-PARC と競合している。

MLF では、ビームの安定供給により、成果創出の基盤が整った。J-PARC での中性子とミュオン、KEK つくばでの放射光と陽電子により、他に類を見ないマルチプローブ研究が可能な拠点を形成している。米国の SNS や欧州の ESS 計画などの大強度中性子源施設、スイスの PSI やカナダの TRIUMF などのミュオン施設でも実験が進められており、特色のあるビームラインと測定装置を設置して継続的に高度化する必要がある。

④ 実施機関と実施体制

J-PARC は、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と日本原子力研究開発機構 (JAEA) が共同で施設を整備・運用している最先

端研究施設である。国内 20 以上、国外約 50 の機関から年間 3 万人日の利用者が来訪して実験を行っている。ニュートリノ振動実験は、スーパーカミオカンデ測定器を整備・運用している東大宇宙線研究所と共同で行っている。

KEK は国内の大学に対して大学共同利用機関として J-PARC での研究を進めている。KEK が今後取り組む研究の方針を示した「ロードマップ」将来プロジェクトに係る優先順位として公表している「KEK Project Implementation Plan」の中にも挙げられており、実施すべき課題と優先度を明確にしながら進めている。

KEK は東海キャンパスを設立し、JAEA との共同組織である J-PARC センターを通して施設を運営している。KEK の各部署：素粒子原子核研究所、物質構造科学研究所、加速器研究施設、共通基盤研究施設、管理局にはそれぞれ既設の J-PARC 施設の運用を行っているグループがあり、連携をとりながら運用と研究開発を行うとともに、実験に参加する共同利用研究者やその所属する各大学・各研究機関にも協力している。

現時点で大阪大学（2016 年 3 月）、京都大学（2017 年 2 月）、九州大学（2018 年 3 月）、名古屋大学（2018 年 10 月）、岡山大学（2019 年 3 月）が J-PARC に分室を設置し、連携協力を強めている。特に大阪大学は、部局を超えて本計画に協力して取り組むことで合意している。



⑤ 所要経費

J-PARC は 2001～2008 年度の期間に総額 666 億円（計画全体 1,524 億円）で建設された。2008 年度より運転を行っている。

年間の運営費は約 80 億円で、これには施設運転のための電気代（年間 6 サイクル）、や施設・機器のメンテナンスのための維持費、性能向上費などを含む。

2023 年以降は、年間 9 か月の運転のための電気代、施設や機器のメンテナンスおよび性能向上費を含め、年間の運営費として約 100 億円を予定している。それ以外の高度化に関わる建設費は、ニュートリノ振動実験のためにビーム強度を設計仕様値の 750 kW から 1.3 MW まで増強する高度化に 32 億円、ミュオン g-2/EDM 実験のビームラインと実験設備に 46 億円、ハドロン実験ホールの拡張とビームライン・測定器の整備に 276 億円、 μ -e 転換実験設備の大強度対応に 52 億円を見込んでいる。ハドロンホール拡張と μ -e 転換実験の大強度化が終了した後の運営費は 18 億円の増額となる。

⑥ 年次計画

J-PARC は 2013 年度より大規模学術フロンティア促進事業で運用されている。ビーム強度の増強のための MR 加速器の高繰り返し化による大強度化（電磁石電源、加速高周波機器など）と実験施設大強度対応（ハドロン実験標的、ビーム収束電磁石電源、機器冷却能力など）のための建設を 2020 年度まで行う。2022 年度を最終年度とし、2023 年度に期末評価を行うことになっている。

2023 年度以降も J-PARC の運用を十年以上継続し、大強度のビームでの運転時間を充分確保し、ニュートリノにおける CP 対称性の破れ、K 中間子における新物理、超原子核の発見など、また、新たに整備された偏極中性子装置とミュオン超精密測定のためのビームラインの基幹部整備で、世界をリードする研究成果の創出を続ける。並行して実験施設の高度化、具体的にはミュオン g-2/EDM 実験のビームラインと実験装置、ハドロン実験ホールの拡張とビームライン・測定器の整備、 μ -e 転換実験設備の大強度対応などを行う。高度化に向けての準備は進んでおり建設に着手できる状況にある。ハドロン実験ホールは J-PARC エリア内のホールに隣接した場所に拡張する。建設を開始して二年目半ばまでは現在のホールの既存の二次ビームラインでの実験を継続できる。二年目半ばから四年目半ばの約一年半の間、高運動量ビームライン及び COMET ビームラインでの実験を引き続き実施することが可能である。五年目にはホールの拡張が完成し、調整運転が行われ、実験が開始される。施設の二次ビームラインの数が増え、多彩な実験を同時に遂行できる。

なお、米国フェルミ研究所は g-2 実験を従来の実験手法を踏襲し 2018 年度に測定を開始した。現在、本計画の独立した新手法による検証実験の意義が高まっている。

⑦ 社会的価値

宇宙の歴史や物質の成り立ちに対する深い理解は、人類全体が共有する新たな英知の創造としての社会的・文化的意義を持ち、国家・社会のあらゆる分野の発展の基盤・原動力となる。

ニュートリノ研究は日本の大型実験が継続的に世界を主導している分野である。T2K 実験も 2016 年基礎物理学ブレークスルー賞を共同受賞するなど、マスメディアで取り上げられ国民の関心と期待も高い。ハドロン実験施設を中心に開発される最先端のビーム制御技術、放射線測定技術、大容量データ処理技術などは、材料科学、情報工学等の分野に応用される。ミュオンは火山・原子炉内部構造の監視に応用され、我が国の安心・安全社会の構築に役立つ。MLF では、耐摩耗性能を 200%アップした高性能タイヤの開発が行われるなど産業界への貢献も大きい。

J-PARC を研究のメッカかつ国際的頭脳循環のハブとして機能させることは人材の育成、さらに我が国が国際社会の中で信頼と尊敬を得ることに大いに資する。

J-PARC の研究活動は SDGs の 3（健康と福祉）、4（教育）、7（エネルギー）、9（産業と技術革新の基盤）、17（パートナーシップ）に貢献している。

⑧ 本計画に関する連絡先

岡田 安弘（大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構）