

大規模学術フロンティア促進事業の「事業移行評価」(報告)

「大強度陽子加速器 (J-PARC)」による物質・生命科学
及び原子核素粒子物理学の推進」

令和4年5月23日

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会

目 次

はじめに	3
1. 事業移行評価の実施方法	4
2. プロジェクトの概要	5
(1) 計画概要等	5
(2) 年次計画	6
3. プロジェクトの達成状況	7
4. プロジェクトの進捗評価と今後の留意点	8
(1) プロジェクトの達成状況を踏まえた評価	8
(2) 今後のプロジェクト（後継計画）の推進に当たっての課題・留意点	8
科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 委員等名簿	11

はじめに

学術研究の大型プロジェクトは、最先端の技術や知識を結集して人類未踏の研究課題に挑み、当該分野の飛躍的な発展をもたらすとともに、世界の学術研究を先導するものであり、我が国においても、社会や国民の幅広い支持を得ながら、長期的な展望を持って、これを推進していく必要がある。

文部科学省では、平成 24 年度に「大規模学術フロンティア促進事業」を創設し、科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会（以下「本作業部会」という。）が策定する「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定ーロードマップー」等に基づき、社会や国民からの支持を得つつ、国際的な競争・協調に迅速かつ適切に対応できるよう、学術研究の大型プロジェクトを支援し、戦略的・計画的な推進を図っている。

各プロジェクトの推進に当たっては、本作業部会として原則 10 年以内の年次計画を作成し、これに基づく進捗管理等を「大規模学術フロンティア促進事業のマネジメント」（令和 3 年 1 月 19 日本作業部会決定）（以下「マネジメント」という。）に基づき実施している。年次計画の終期を迎えるプロジェクトについては、実施主体等に後継計画の構想があり、かつ、後継計画がロードマップに記載されている場合には、移行の可否を審議するため、本作業部会として、「事業移行評価」（期末評価を代替）を行うこととし、その結果を踏まえて、後継計画に対する事前評価を行うこととしている。

「大規模学術フロンティア促進事業」の一つである、「大強度陽子加速器（J-PARC）」による物質・生命科学及び原子核素粒子物理学の推進」は、令和 4 年度に年次計画の最終年度を迎え、実施主体である高エネルギー加速器研究機構が後継計画への移行を希望していることから、本作業部会として事業移行評価を実施し、本報告においてその結果を示すものである。

なお、評価に当たっては、本作業部会の委員に加え、当該分野における専門家にアドバイザーとして協力を頂き、評価を実施した。

1. 事業移行評価の実施方法

「マネジメント」に定める評価の流れに基づき、令和4年度における事業移行評価は以下のとおり実施した。

【本作業部会における事業移行評価の経過】

- ①現地調査（高エネルギー加速器研究機構東海キャンパス（茨城県東海村）
及びヒアリング（令和4年4月28日（木））
※実施主体からのヒアリング及び若手含む実施研究者との意見交換
※ヒアリングに参加した評価者は、以下のとおり。（敬称略、○は主査）
（作業部会委員）上田良夫、○小林良彰、原田尚美、松岡彩子、嘉糠洋陸
（アドバイザー）伊藤好孝、中家剛

- ②とりまとめ審議（令和4年5月17日（火））

2. プロジェクトの概要

(1) 計画概要等

①実施主体

高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

②計画概要

大強度陽子加速器施設 (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。大強度陽子ビームを液体水銀、または個体の標的に衝突させることによって発生する多彩な二次粒子 (中性子やミュオン、中間子、ニュートリノ等) を用いて、物質・生命科学、原子核・素粒子物理学など、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、幅広い分野での研究を推進することを目的としている。

③所要経費

建設費総額 約666億円 (計画全体 約1,524億円)

年間運用経費 約66億円

※このうち、電気料金の高騰に伴い、運用経費について約14億円の増額となる可能性があるところ、実施機関に対し、本事業予算に限らない、多様な財源の確保と更なる縮減の検討を求める。

④計画期間

建設期間 平成13～20年度

運転期間 平成20年度から運用開始

⑤評価等経過

評価実績：

【事前評価】平成9年、平成12年

【中間評価】平成15年、平成19年、平成24年

【進捗評価】平成27年、平成30年

⑥研究目標 (研究テーマ)

1. ビーム強度の増強
2. ハドロン・ミュオン素粒子実験
3. ニュートリノ振動実験
4. 中性子・ミュオン物質生命科学実験

(2) 年次計画

「大強度陽子加速器 (J-PARC)」による物質・生命科学及び原子核素粒子物理学の推進」の年次計画は別添のとおり。

3. プロジェクトの達成状況

①研究成果等の状況

本プロジェクトが掲げる4つの研究目標について、概ね良好な達成状況である。

ビーム強度の増強については、現時点で速い取り出し510kW、遅い取り出し64.5kWの定常運転が可能となっており、パルス当たりの粒子数や取り出し効率において世界最高性能を実現している。いずれも、速い取り出し750kW、遅い取り出し100kWという当初の目標を達成していないものの、遅い取り出しについては今年度中に80kWを達成する見込みであるなど、今後の向上が期待できる状況と言える。

ハドロン・ミュオン素粒子実験においては、年次計画に基づく装置の高度化を進め、世界最高感度での素粒子実験を継続している。K-中間子を含む新しい原子核の発見やグサイハイパー核の質量測定に初めて成功するなど、学術的インパクトの高い物理成果を上げている。

ニュートリノ振動実験では、世界のニュートリノ研究をけん引しており、T2K実験においてニュートリノ振動を初めて直接検出するなど顕著な研究成果を上げ、世界的に極めて高い評価を得ている。さらに、ニュートリノと反ニュートリノビームを用いた実験では、ニュートリノのCP対称性が95%以上の確度で破れているという兆候を世界で初めて捉えたことにより、Nature誌の選ぶ2020年の10大発見の一つに上げられているなど、研究成果は高く評価できる。

中性子・ミュオン物質生命科学実験では、中性子やミュオンの特性を生かした装置群を整備しており、特に軽元素を特徴的に検出できる計測により、リチウムイオン電池などの分野で多くの先進的な成果を得ている。

②プロジェクトの実施体制

プロジェクトの実施体制は適切に機能している。

KEK機構長のリーダーシップの下、KEKの各研究所、研究施設、J-PARCセンターが連携して、大型プロジェクトを実施できる責任体制と役割分担が確立され円滑に機能している。さらに、国際諮問委員会や利用者協議会等が設置されて活動しており、国内外の幅広い研究者コミュニティからの多様な意見を汲み取って運用されている。

平成20年以降、J-PARCの施設を利用したユーザーは約35万人に達しており、コロナ禍においても感染対策を講じて運営を継続した。物質・生命科学実験施設（MLF）では、KEKが運営して共同利用に供する部分に加え、日本原子力開発研究機構（JAEA）が運営する部分と一般財団法人総合科学研究機構（CROSS）が特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律（共用法）に基づいて運営する部分があるが、ユーザーがその違いを意識せずに利用できるよう運用されている。

さらに、産業利用を促進するための枠組みも整備されつつあり、日本の産業の活性化に対する貢献も認められる。

③学術的意義と波及効果

上述の4つの主要研究目標（テーマ）について、多くのインパクトのある科学的成果を上げており、TOP1%、10%論文の割合などにおいても良質な研究成果を生み出していると認められる。

各研究施設とも、国内外の多くの大学・研究機関と連携した研究開発を行っており、江戸末期の医師・蘭学者である緒方洪庵の薬瓶についてミュオン特性X線による非破壊元素分析によりその内容物を明らかにするなど、文理融合研究を含む幅広い研究コミュニティに大きな波及効果をもたらしている。施設のユーザーの35%は外国人研究者が占めており、国際的に卓越した研究施設を核として国際頭脳循環へ貢献しているものと評価できる。

④社会的意義と波及効果

社会や国民からの支持を得るために、積極的にアウトリーチ活動が実施されている。コロナ禍においても、オンラインでのライブ配信を使った施設公開や、国立科学博物館における企画展等、注目度の高いイベントを実施している。

平成25年のハドロン実験施設での放射性物質漏えい事故の反省を踏まえ、地域社会・住民に対する安心・安全の取組は適切に行われているものと評価できる。

また、特に中性子・ミュオン物質生命科学実験においては全固体セラミックス電池の開発や高性能エコタイヤの開発など、産業界への大きな波及効果が認められる。産業利用を促進するための取組として、中性子産業利用促進協議会等の枠組みによる産業界との交流促進を図っているほか、「企業ポスドク制度」により社会人人材の育成にも寄与している。

4. プロジェクトの進捗評価と今後の留意点

(1) プロジェクトの達成状況を踏まえた評価

上述のような観点を総合的に勘案すると、「大強度陽子加速器（J-PARC）」による物質・生命科学及び原子核素粒子物理学の推進」は当初の目的を概ね達成し物質・生命科学、原子核・素粒子物理学等をリードする優れた成果を創出しており、その意義、成果、波及効果等を活かしつつ、後継計画へ移行することが適当であると評価できる。

(2) 今後のプロジェクト（後継計画）の推進に当たっての課題・留意点

今後のプロジェクト（後継計画）の推進に当たっては、以下の点に留意が必要である。

① 現行計画における科学目標の達成

現行計画のうち、ビーム強度の増強については年次計画に基づいた装置の高度

化を行い、現時点で世界最高性能を実現しているものの、現行計画において目標とした速い取り出し 750kW、遅い取り出し 100kW の実現については本計画終了時までには達成することは困難であると考えられる。この点について、現行計画において達成することができなかった要因を多角的に分析するとともに、そこで明らかになった課題等を踏まえ、後継計画における達成に向けたプロセスを明確化し、着実に実行していくことが求められる。

② 計画的な老朽化対策

運転開始から 15 年近くが経過し、施設の老朽化への対応が課題となっている。経年劣化による不具合や部品の入れ替えなどへの抜本的な対応が必要で、故障等のトラブルにより共同利用実験に影響を及ぼすことがないよう、資金計画を含めた計画的な老朽化対策を講じていくことが必要である。

後継計画の推進にあたっては、老朽化対策を長期的な計画をもとに実施するとともに、経費について長期的な試算を行った上でプロジェクトの継続性を確保することが求められる。その際、装置の高度化と運転、老朽化対策とのバランスのとり方について、コミュニティやコラボレーターとの調整を通じた一層の工夫を行うことが求められる。

③ 安定的な運転時間の確保について

上記の科学目標を着実に達成していくためには、安定的な運転時間を確保していくことが重要である。一方、昨今の世界的な原油価格の高騰や為替の変動等により電気代の大きな負担が予想されており、今後の運転経費にも影響することが見込まれる。このような状況の中、実験時間の縮減を前提とせず必要な運転時間を確保していくためには、国からの予算措置のみによらない財政の多様化の検討や、運転経費の効率化等による所要経費の抑制等の取組が求められる。

財源の多角化については、企業との共同研究開発、受託研究を通じて産業界の更なる参画を得るほか、外部資金の導入、国際協力の推進を通じて支援を得ることなどが考えられる。また、初期投資等の課題はあるものの、必要な電力の一部を自ら発電できる環境を作ることや大型研究設備の更なる省電力化に取り組むこと等も検討の余地があるのではないかと。また、研究の優先順位付けや装置の高度化スケジュールの見直し等により、電気代の高騰の影響を最小限に留める取組も期待される。

なお、国は、社会情勢や実施主体の検討・取組の状況を踏まえつつ、本計画が着実に推進されるよう適切な支援に努めることが重要である。

④ 若手研究者の育成（キャリアパス）について

本計画の推進においては、多くの若手研究者が参画しており、若手研究者が、国際的な大規模プロジェクトに参画することで経験を積みながら成長できる機会を

創出している。J-PARC の建設開始から 20 年以上、運転開始から約 15 年が経過するなか、立ち上げに携わった研究者がリタイアしていく部分を次世代の研究者の育成によって補い、技術やノウハウを継承していくことが求められる。

後継計画の推進にあたっては、引き続き若手研究者の適切なキャリアパス形成を支援する取組を通じて、今後のプロジェクトを支える研究者の育成に努めることが必要である。さらに、学部生を実験に体験参加させるなど若年層へのアプローチを積極的に行うことで、長期的な当該分野の人材育成につながる取組が期待される。

このような取組は、人材育成の観点のみならず、最終的な科学目標の達成に向けた取組にも資するものと考えられる。

(参考)【進捗評価報告書 (H30.8) における留意点】

①安定的な運転時間の確保

本計画の科学的意義や産業界における活用の可能性をさらに高めていくためには、ユーザーのビームタイムの確保が課題である。電気代の高騰といった外的要因のほか、我が国の厳しい財政状況下において、これまでも行ってきた運転計画の見直しや、経営的視点から、成果公開の原則に依らない外部利用収入の在り方の工夫、場合によって本プロジェクトの各実験間のマネジメント及び実施機関内における他プロジェクトとの重点化の方策を含め、運転時間の確保について、引き続き努力を行っていくことが必要である。

なお、国は、検証の状況を踏まえつつ、本計画が着実に推進されるよう適切な支援に努めることが重要である。

②電源設備の計画的な増強

本計画が更に発展をとげ、国際的な競争力を保持しつつ世界トップレベルの研究成果をあげていくためには、電源の計画的な増強が必要である。当面は高繰り返し化による速い取り出し 750kW の出力を目指すとともに、高エネルギー加速器研究機構プロジェクト実施計画 KEK PIP において最優先に位置付けられている 1.3MW への高度化の実現に向けて引き続き努力すべきである。

③社会・国民の信頼と支持を得るための活動の継続・強化

本計画が社会・国民に支持され、今後も着実な研究の推進を図るため、これまで実施してきた活動を引き続き継続・強化し、その科学的意義や研究成果並びに安全管理に関する情報を発信することが必要である。

④財政環境への対応及び期末までの安定的・継続的なプロジェクトの推進

電気料金の高騰による所要経費の増額にはやむを得ない面が認められるものの、我が国の厳しい財政環境を踏まえつつ、本プロジェクトを期末まで安定的・継続的に推進するためには、①に示したことに鑑み、電気料金の単価、科学目標達成に必要な運転時間、機器の保守経費等の継続的な精査や、本プロジェクト各実験間の優先順位及び実施機関における各プロジェクト間の優先順位の検討、並びに特に安全面における国立研究開発法人日本原子力研究開発機構との連携協力の強化などを更に推し進め、財源の多様化や所要経費の抑制に努めることが求められる。

科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 委員等名簿

【学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会委員】

◎：主査

(令和4年4月1日現在)

(臨時委員)

石原安野	千葉大学国際高等研究基幹教授
上田良夫	大阪大学大学院工学研究科教授
◎小林良彰	慶應義塾大学 SDM 研究所上席研究員・名誉教授、 ルーテル学院大学理事
中野貴志	大阪大学核物理研究センター長
長谷山美紀	北海道大学副学長、大学院情報科学研究院長
原田尚美	国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門長
松岡彩子	京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析 センター教授
山本智	東京大学大学院理学系研究科教授

(専門委員)

岡部寿男	京都大学学術情報メディアセンター長
嘉糠洋陸	東京慈恵会医科大学教授
鈴木裕子	鈴木裕子公認会計士事務所長
高橋真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科 教授
長谷川美貴	青山学院大学理工学部教授
三原智	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授
吉武博通	情報・システム研究機構監事、筑波大学名誉教授

【アドバイザー】

中家剛	京都大学理学研究科教授
伊藤好孝	名古屋大学宇宙地球環境研究所教授

(敬称略、五十音順)

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画

計画名称	「大強度陽子加速器(J-PARC)」による物質・生命科学及び原子核素粒子物理学研究の推進										
実施主体	【中心機関】 高エネルギー加速器研究機構 【連携機関】 日本原子力研究開発機構、東京大学宇宙線研究所 (他20機関(国内)および47機関(国外))										
所要経費	建設総額 約666億円(計画全体1,524億円) 年間運用経費 約66億円 ※このうち、電気料金の高騰に伴い、運用経費について約14億円の増額となる可能性があるところ、実施機関に対し、本事業予算に限らない、多様な財源の確保と更なる縮減の検討を求めらる。										
計画概要	大強度陽子加速器施設(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。大強度陽子ビームを液体水銀、または個体の構造的に衝突させることにより発生する多彩な二次粒子(中性子やミュオン、中間子、ニュートリノ等)を用いて、物質・生命科学、原子核・素粒子物理学など、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、幅広い分野での研究を推進することを目的としている。										
研究目標(研究テーマ)	3. ニュートリノ振動実験 4. 中性子・ミュオン物質生命科学実験										
年次計画	2013(H25)	2014(H26)	2015(H27)	2016(H28)	2017(H29)	2018(H30)	2019(R1)	2020(R2)	2021(R3)	2022(R4)	2023(R5)
1. ビーム強度の増強		MRの50kw出力と主電磁石電源のR&Dの実施	↑								
・MRのビーム強度増強に向け、遅い取り出し50kwを出力させる。 ・主電磁石電源の開発(R&D)については、問題点を検証し、技術的な実証試験を行う。 ・MRの増強により、ニュートリノ振動実験に必要な高繰り返し化による速い取り出し50kwと、ハドロン実験に必要なビームロス低減などによる速い取り出し100kwを出力させる。											
2. ハドロン・ミュオン素粒子実験											
・K中間子でストレンジネス核物理の新しい局面を拓く(高密度核物質、一般化された核力の理解の推進) ・K中間子の稀薄層において小林益川理論を超えるCP対称性の破れを探索する。 ・高運動量ビームラインを整備することにより、クォーク閉じ込め、質量獲得機構の解明を行う。 ・ μ -e変換実験(COMET)ビームラインを整備することにより、ミュオン稀薄層現象のメカニズム(荷電レプトンフレーバー破れ)の検証など標準理論を超える新しい物理法則の兆候を探索する。											
3. ニュートリノ振動実験											
・電子ニュートリノ出現現象による混合角を決定する。 ・東大宇宙線研究所と共同で、ニュートリノ振動の高精度測定によりCP非保存、質量の階層性の探索を行う。											
4. 中性子・ミュオン物質生命科学実験											
・偏極中性子解析装置を整備し、高感度物性研究を展開する。 ・Sライン及びHラインを整備することにより、 μ SR物性研究やミュオン超微細分裂の測定を行う。											
評価の実施時期											

期末評価

計画名称	「大強度陽子加速器（J-PARC）」による物質・生命科学及び原子核素粒子物理学研究の推進
<p>【進捗評価報告書】における留意点 (H30.8)】 本進捗評価は、「大強度陽子加速器施設（J-PARC）中間評価報告書」（2018年（平成30年）6月25日 科学技術・学術審議会 大強度陽子加速器施設評価作業部会決定。以下、「中間評価報告書」という。）を踏まえ、特に本作業部会が確認すべき評価の観点を整理の上で実施した。このため、本プロジェクトの推進に当たっては、本進捗評価における留意点とともに中間評価報告書における留意点への留意が必要である。</p> <p>① 安定的な運転時間の確保 本計画の科学的意義や産業界における活用の可能性をさらに高めていくためには、ユーザーのピークタイムの確保が課題である。電気の高騰といった外的要因のほか、我が国の厳しい財政状況下において、これまでも行ってきた運転計画の見直しや、経営的観点から、成果公開の原則に依らない外部利用収入の在り方の工夫、場合によっては本プロジェクトの各実験間のマネジメント及び実施機関内における他プロジェクトとの重点化の方策を含め、運転時間の確保について、引き続き努力を行う必要があることである。</p> <p>なお、国は、検証の状況を踏まえつつ、本計画が着実に推進されるよう適切な支援に努めることが重要である。</p> <p>② 電源設備の計画的な増強 本計画が更に発展を遂げ、国際的な競争力を保持しつつ世界トップレベルの研究成果をあげていくためには、電源の計画的な増強が必要である。当面は高繰り返し化による速い取り出し750kWの出力を目指すとともに、高エネルギー加速器研究機構プロジェクト実施計画（KEK-PIP）において最優先に位置付けられている1.3MWへの高度化の実現に向けて引き続き努力すべきである。</p> <p>③ 社会・国民の信頼と支持を得るための活動の継続・強化 本計画が社会・国民に支持され、今後も着実な研究の推進を図るため、これまで実施してきた活動を引き続き継続・強化し、その科学的意義や研究成果並びに安全管理に関する情報を発信することが必要である。</p> <p>④ 財政環境への対応及び期未までの安定的・継続的なプロジェクトの推進 電気料金の高騰による所要経費の増額にはやむを得ない面が認められるものの、我が国の厳しい財政環境を踏まえつつ、本プロジェクトを期未まで安定的・継続的に推進するためには、①に示した以外にも、電費料金の単価、科学目標達成に必要な運転時間、機器の保守経費等の継続的な精査や、本プロジェクト各実験間の優先順位及び実施機関における各プロジェクト間の優先順位の検討、並びに特に安全面における国立研究開発法人日本原子力研究開発機構との連携協力の強化などを更に推進し、財源の多様化や所要経費の抑制に努めることが求められる。</p> <p>【「大規模学術フロンティア促進事業」の進捗管理の徹底について】（平成30年4月事務連絡）に基づき年度計画の変更における留意点 (H30.8)】 実施機関による財政環境への適切な対応を求め、観点から、「所要経費」欄の「※」のとおり、留意点を付している。</p> <p>【その他】 ロードマップに盛り込まれた次期計画「J-PARC加速器計画の高度化による物質起源の解明」については、本計画の期末評価結果を踏まえた上で、その時点でロードマップの事業として高く評価されていることを前提として、改めて次期計画に対する事前評価を行うことが必要である。</p>	
<p>【参考】 計画推進に当たった 留意事項等</p>	