

大規模学術フロンティア促進事業の「事前評価」(報告)

「大強度陽子ビームで究める宇宙と物質の起源と進化」

2022年(令和4年)7月28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. 実施主体が構想する計画の概要	4
(1) 計画概要等	4
(2) 年次計画	5
2. 計画の評価	6
(1) 緊急性	6
(2) 戦略性	6
(3) 社会や国民からの支持	6
(4) その他（研究者コミュニティの合意、計画の推進体制、共同利用体制、計画の妥当性）	6
3. まとめ	7
(1) 総合評価	7
(2) 計画推進に当たっての留意点	7
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	10

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－ロードマップ－」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。

その中で、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、事業移行評価の結果、後継計画への移行が適当であると認められたことから、本作業部会として、後継計画である「大強度陽子ビームで究める宇宙と物質の起源と進化」の事前評価を実施した。本報告は、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いただき、評価を実施した。

1. 実施主体が構想する計画の概要

(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

J-PARC 大強度陽子ビームで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。年間9ヶ月の運転を実施し宇宙と物質の起源と進化の解明を目指す。

③所要経費

約1,150億円

④計画期間

令和5(2023)年～令和14(2032)年(10年間)

⑤研究目標(研究テーマ)

1. 加速器のビーム強度の増強

MR 加速器の増強により、ニュートリノ振動実験に必要な速い取り出し1.3MW とハドロン実験に必要な遅い取り出し100kW を実現する。

2. ハドロン・ミュオン素粒子実験

K 中間子ビームによる素粒子原子核実験、高運動量ビームの実験、ミュオン-電子変換実験(COMET)などを引き続き行う。さらに、実験施設の拡張とビームライン・測定器の整備、大強度化対応を進める。

3. ニュートリノ振動実験

東大宇宙線研究所と共同で、ニュートリノにおける CP 対称性の破れと質量の階層性の探索を引き続き行う。

4. 中性子・ミュオン物質生命科学実験

世界最高のピーク強度を持つ J-PARC パルス中性子・ミュオンを用いた物質・生命科学実験を引き続き行い、測定装置の高度化により、社会課題開発への貢献を視野に入れて発展させる。

5. ミュオン異常磁気能率とミュオン電気双極子能率の測定実験

ビームラインと実験設備を設置して実験を行う。

(2) 年次計画

「大強度陽子ビームで究める宇宙と物質の起源と進化」の年次計画は別添のとおり

2. 計画の評価

(1) 緊急性

本計画は、世界最高水準の大強度陽子ビームにより中性子、ミュオン、ハドロン、ニュートリノなどを生成して基礎研究から応用研究まで幅広い分野の最先端研究を行うものであり、本計画が掲げる5つの科学目標は、いずれも海外の同種の施設と厳しい競争関係にある。引き続き、加速器技術の優位性を確保しつつ、これらの科学目標に取り組むことは、国際競争力を維持する観点からも緊急性が認められる。特に、ニュートリノ実験においては、米国で進められている DUNE 計画との競争関係にあり、J-PARC の増強とハイパーカミオカンデの建設により我が国の優位性を保つことが可能であることから、遅滞なく本計画を推進する必要がある。一方、J-PARC は運転開始から約 15 年が経過しており、各施設において計画的な老朽化対策を行いながら、成果創出を続けていくことが求められる。

(2) 戦略性

本計画の5つの科学目標は、既に世界最高水準の性能を有する J-PARC の各施設について、実験装置の高度化等を図ることにより、その独自性、革新性、国際的な優位性を確固たるものにすることを目的として設定されており、十分な戦略性を持つものと評価される。

本計画の遂行により、物質・生命科学、原子核・素粒子物理学における世界的な中核拠点をさらに発展させ国際頭脳循環を一層促進するとともに、産業界との連携、波及効果により、我が国の人材育成、技術や産業の発展への貢献が期待される。

(3) 社会や国民からの支持

本計画が取り扱う研究分野は一般に理解されにくい面もあるが、ニュートリノ実験施設の 2015 年のノーベル物理学賞への貢献や、物質・生命科学実験施設 (MLF) における異分野融合分野の成果創出等もあり、これらの成果を積極的に発信していくことで国民の支持を得ることができている。また、蓄電池開発等、カーボンニュートラルに資する新技術開発の成果により、社会貢献、イノベーション創出、産業競争力強化につながることを期待されることから、今後、産業界との一層の連携強化が望まれる。

引き続き、世界トップレベルの成果を上げ続けることで世界から優秀な若手研究者や学生を呼び込み、さらに将来の成果を生み出していく好循環を作り出すため、例えば学部生等を実験に体験参加させる取り組み等を通じて、若年層へのアプローチを積極的に行うことが求められる。

(4) その他（研究者コミュニティの合意、計画の推進体制、共同利用体制、計画の妥当性）

本計画は、素粒子、原子核、中性子、ミュオンの各研究者コミュニティから支持されたものであり、国際研究者コミュニティからの期待も高い。加速器のビーム強度の増強、安定的な長期間運転、各実験施設の高度化は、いずれも各研究者コミュニティの期待に応えるために必要な計画と言え、妥当性は十分に評価できる。

共同利用体制については、国際的な委員会が課題を審査する透明性のある体制が構築されている。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、ユーザーの利便性に配慮した運用がなされている。

実施主体において本計画を推進する準備は整っていると認められるが、現下の社会情勢による為替変動や電気代の大幅な値上がり、サプライチェーンの乱れなど、計画推進を困難とする要因も生じており、実施主体には現状を踏まえた柔軟な対応が求められる。

3. まとめ

（1）総合評価

本計画は、我が国の科学技術・学術を牽引する一翼となっている J-PARC において、大強度陽子ビームで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ものであり、高い緊急性、戦略性を持ち、国内外の研究者コミュニティの合意や社会・国民の支持を得られる計画として評価できる。

これまでの優れた成果をベースとした5つの科学目標を達成するため、各実験施設の高度化に係る研究開発や、計画的な老朽化対策を実施することにより、実験施設として世界最高の性能を維持しつつ、継続的な成果創出により我が国が国際的研究拠点としての優位性、プレゼンスを維持し、関連研究コミュニティを先導していくことが期待される。

以上を総合的に勘案し、本計画は積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきであると評価する。

（2）計画推進に当たっての留意点

「大強度陽子ビームで究める宇宙と物質の起源と進化」の推進に当たっては、以下の点について留意する必要がある。

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 の実現については現行計画終了時までに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、速い取り出しは本計画の初年度で、また遅い取り出しについても数年以内での達成を見込んでいる。ビーム強度の増強は、J-PARC の高度化の根幹をなすものであり、本後継計画ではニュートリノ実験をさらに発展させ、国際競争力を維持するために速い取り出しを 1.3MW まで段階的に強化していくことを目標としている。ニュートリノ実験は特に激しい国際競争下にあり、後継計画における目標は遅滞なく達成されることが重要である。そのためにも、現行計画における目

標を早期に達成するため、現行計画期間中に達成することができなかった要因、課題等を踏まえ、本計画においては、当該施設及び加速器技術の優位性や特性に基づいた明確な戦略を示してそれを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に、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。

本計画の推進にあたっては、KEK の「インフラ長寿命化計画」等により老朽化対策を長期的な計画をもとに実施するとともに、施設だけでなく設備についても、老朽化対策の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る電気代の大きな負担が生じており、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。

⑤ その他

本計画は、宇宙と物質の起源や進化に関わる科学成果に加えて、カーボンニュートラルに資する新技術開発、新しい蓄電池開発等の産業利用、文理融合型の成果など、社会や国民の関心を高める幅広い成果が期待できる。研究内容等は一般に理解されにくい面もあるため、SNS やマスメディアを活用した分かりやすく、関心を集めやすい情報発信の工夫や、高校生や学部生等を対象とした体験学習の実施、産業界との連携強化等により、社会や国民の理解の促進や将来の後継者育成に向けた取組みをこれまで以上に推進する必要がある。

(参考)【事業移行評価報告書 (R4.5) における留意点】

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に、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、コミュニティやコーポ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。

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7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	東京大学大気海洋研究所附属国際・地域連携研究センター教授
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)

別添：実施主体が構想する年次計画

計画名称	大強度陽子ビームで究める宇宙と物質の起源と進化			
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	115,070百万円			
計画概要	J-PARC大強度陽子ビームで多様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。年間9ヶ月の運転を実施し宇宙と物質の起源と進化の解明を目指す。			
	計画期間	2023年から2032年（10年間）		
	物理学	物理学		
	大型施設計画	大型施設計画		

【年次計画】

項目 (研究テーマ)	1年目 2023年度	2年目 2024年度	3年目 2025年度	4年目 2026年度	5年目 2027年度	6年目 2028年度	7年目 2029年度	8年目 2030年度	9年目 2031年度	10年目 2032年度	10年目 以降	備考
1. 加速器のビーム強度の増強 加速器の増強により、ニュートリノ振動実験 に必要な速い取り出し1.3MWとハドロン実験に必 要な速い取り出し100kWを実現する。	大強度化のための 施設整備 加速器の 運転		↑									
成果指標	750kW				1.2MW	1.3MW				1.3MW		最大ビーム強度
2. ハドロン・ミュオン素粒子実験 K中間子ビームによる素粒子原子核実験、高運 動量ビームの実験、ミュオン電子変換実験 (COMET)などを引き続き行う。さらに、実験施 設の拡張とビームライン・測定器の整備、大強度 化対応を進める。	素粒子 原子核研究の展開											
成果指標	280本					350本				440本		素粒子・核実験数
3. ニュートリノ振動実験 東京大学宇宙線研究所と共同で、ニュートリノにお けるCP対称性の破れと質量の階層性の探索を引き 続き行う。	大強度化・ 前線検出器の整備 ニュートリノ研究 の展開・実験の高 度化			↑								
成果指標	38 (T2K)				100 (T2K)					130 (HK) 230 (T2K+HK)		素粒子数 (100二十数)
4. 中性子・ミュオン物質生命科学実験 世界最高のビーム強度を持つJ-PARC/ARIS中性 子・ミュオンを用いた物質・生命科学研究を引き 続き行い、測定装置の高度化により、社会課題 解決への貢献を視野に入れて発展させる。	物性研究 の展開											
成果指標	170本											J-PARC/ARISでの 素粒子・核実験数
5. ミュオン異常磁気能率とミュオン電気双極子 能率の測定実験 ビームラインと実験設備を設置して実験を行 う。	建設			↑								
成果指標												
												国際共同研究者数 100 人