

大規模学術フロンティア促進事業の「事前評価」（報告）

「KEK スーパーB ファクトリー計画」

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	4
2. 計画の評価	5
(1) 緊急性	5
(2) 戦略性	5
(3) 社会や国民からの支持	5
(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）	5
3. まとめ	6
(1) 総合評価	6
(2) 計画推進に当たっての留意点	6
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。

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、「B ファクトリー加速器の高度化による新しい物理法則の探求」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「KEK スーパー-B ファクトリー計画」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

極めて高い衝突性能を持つ SuperKEKB 加速器を用いて電子と陽電子を衝突させ、B 中間子などの重い複合粒子を生成し、未知の素粒子や未知の力がその崩壊過程に及ぼす量子的効果の影響を精密測定により明らかにするもの。

③所要経費

約 1,256 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. 運転継続と性能向上、データ蓄積

運転を継続し加速器測定器の性能を向上しつつデータを蓄積する。

2. 主な装置の維持改善作業

エネルギー効率を改善するため老朽化機器の更新を計画的に行う。また、衝突点及び近傍の改造を行うことで目標性能を達成する。入射器及びビーム輸送路の性能を向上させ、効率よい運転を行う。

3. 実験データの解析と成果の発表

データを解析し得られた成果を報告、学術論文にまとめ、広く発信する。素粒子物理学の新しいパラダイムを拓く、或いは、そのために必要な次の道筋を示す。

(2) 年次計画

「KEK スーパー-B ファクトリー計画」の年次計画は別添のとおり

2. 計画の評価

(1) 緊急性

本計画が掲げる科学目標のうち、加速器の性能（衝突性能）については現時点で世界最高の水準を維持しているものの、現行計画における目標を達成できておらず、令和元（2019）年からの本格運転開始以降の蓄積データ量についても、平成 22（2010）年まで実施していた Belle 実験の 4 割程度にとどまっている。

一方で、欧州合同原子核研究機関（CERN）で行われている LHCb 実験は、加速器の性質は異なるものの、本計画と同様の主目的を持って推進されており、両者は激しい競争下にある。我が国の素粒子物理学における優位性を保ちつつ、標準理論を超える新たな物理法則の発見につながる成果を得るためには、衝突性能のさらなる向上と十分なデータ蓄積を早急に進めていく必要があり、本計画の実施には緊急性が認められる。

(2) 戦略性

本計画においては、期待される物理的成果を早期に創出するため、衝突性能の向上と運転によるデータ蓄積とのバランスを考慮した最適な運転計画が検討されている。世界トップレベルの成果を創出し続けるための加速器の改善及び維持に関する目標も設定されており、十分な戦略性を持つものと評価できる。

また、本計画は日米欧の 1,000 人を超える研究者コミュニティの合意のもとに推進されており、本計画の遂行により優秀な若手研究者の育成や国際的な頭脳循環への貢献が見込まれる。他分野への波及効果については、暗黒物質の探索等、素粒子物理学の枠にとどまらない成果が一部には期待できるものの、今後はより広く波及効果を生み出していくための戦略的な取組が求められる。

(3) 社会や国民からの支持

これまで継続的に国民に対して様々な媒体を通じた積極的な発信を行っており、我が国の社会や国民から一定の支持を得ていると認められる。本計画においても、産業界との連携や、SNS や市民との直接交流を含めた様々なアウトリーチ活動が計画されており、社会・国民からの支持を得るための工夫を継続することが望まれる。

本計画のプロジェクト内容や研究成果は一般の国民には理解されにくい面もあるが、新たな物理法則の発見は多くの国民の知的好奇心を醸成するものであり、成果やその意義について丁寧に理解を求めていくことにより、日本の基礎科学の発展や将来を担う人材育成にも資するものと考えられる。引き続き、積極的な情報発信や産業イノベーション創出に向けた連携活動の広がりが期待される。

(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）

日米欧を中心とした素粒子物理学の研究者コミュニティの合意により進められているプロジェクトであり、その推進や共同利用については、これまでに実績ある体制を備えていると認められる。

今後の計画においては、衝突性能および蓄積データ量が現行計画における目標を達成していない現状を踏まえ、具体的な計画に基づいてその改善を行いつつ、着実に計画を実施していくことが求められる。

3. まとめ

(1) 総合評価

本計画は、電子・陽電子衝突型加速器として世界最高の衝突性能を有する SuperKEKB 加速器の性能をさらに向上させることで、標準理論を超える新たな物理法則の発見・解明を目指すものであり、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3つの科学目標を達成し、科学的成果を得るため、加速器の性能向上と老朽化対策を含めた維持管理を適切に進めることにより、引き続き我が国が主導的な役割を果たしながら最先端の素粒子物理学研究を牽引し、国際競争力を維持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

「KEK スーパーB ファクトリー計画」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と科学的成果について

現行計画では、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での物理実験を行っているものの、現行計画における衝突性能及び蓄積データ量の目標は達成されていないのが現状である。本計画では、期待される物理的成果を創出するために衝突性能の向上とデータ蓄積とのバランスを考慮した運転計画を策定しており、衝突性能については KEKB 加速器の 30 倍、蓄積データ量については Belle 実験の 15 倍を本計画期間における新たな目標としている。

本計画の推進にあたっては、欧州合同原子核研究機関 (CERN) の LHCb 実験など素粒子物理学研究における他の計画との国際競争が激化する中で、引き続き世界を牽引し続けていくため、加速器の性能向上に係る課題を分析した上で、本計画における目標達成に向けた詳細な計画を策定し、それを着実に実行していくことが求められる。

また、上記目標を早期に達成することにより、新たな物理法則の発見・解明において、高度化した実験装置による Belle II 実験だからこそ得ることができる、Belle 実験を超える飛躍的な科学的成果 (宇宙の暗黒物質や消えた反物質の謎の解明等) の創出や、関連分野への波及効果を期待する。

② 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計画推進にかかる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、コラボレーションを行う海外機関からの更なる参画を得るほか、企業との連携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も引き続き検討の余地があるのではないかと考えられる。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。

③ 若手研究者の育成（キャリアパス）について

現行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、現場の責任者に積極的に若手を登用するなど、国際的な大規模プロジェクトのマネジメントに携わ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。当該分野においては、このような大型のプロジェクトの推進が若手研究者の育成に大きな役割を担っており、引き続き、本計画に期待される役割は非常に大きいものと言える。本計画の推進にあたっては、若手研究者の適切なキャリアパス形成を支援するような取組を積極的かつ継続的に行うことが求められる。

また、若手研究者が積極的にアイデアを出し、実現していくことができる環境づくりを通じて、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。このことは、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。

④ 国際的なプロジェクトとしてのマネジメントの強化

現行計画の国際プロジェクトとしてのマネジメントは適切に機能しているものと認められるが、令和4年2月に始まったロシアによるウクライナ侵略により、ロシア、ウクライナの両国がコラボレーターとなっている本プロジェクトの推進に一定の影響が生じている。

本計画の推進にあたっては、適切な国際コラボレーションを通じてプロジェクトの着実な実施が図られるよう、ロシア、ウクライナ両国を含めた関係各国と適切な対応を検討していくことが求められる。さらに、長期にわたるプロジェクト実施にあたり、このような不測の事態に対処できるよう、実施主体であるKEKが強いリーダーシップを発揮しつつ、引き続き国際マネジメントを強化し、さまざまなリスクを未然に低減させる取り組みを行っていくことが重要である。

⑤ その他

本計画のプロジェクト内容や研究成果は、物質の起源や宇宙の始まりといった人類共通の知的好奇心を醸成する内容であるが、一般には理解されにくい面があるため、SNSやマスメディアを活用した分かりやすい情報発信、小中高生を対象とした見学会、企業研修や市民との交流会の開催、学部生等を対象とした体験学習の実施など、社会や国民の理解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と科学的成果について

現行計画では、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での物理実験を行っているものの、現行計画の科学目標のうちルミノシティを KEKB 加速器の 40 倍にすること、またそれにより Belle 実験の 25 倍の実験データを蓄積すること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の多角的な分析を通じて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。

また、上記目標を早期に達成することにより、新たな物理法則の発見・解明において、高度化した実験装置による Belle II 実験だからこそ得ることができる、Belle 実験を超える飛躍的な科学的成果の創出が期待される。

② 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計画推進にかかる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、コラボレーションを行う海外機関からの更なる参画を得るほか、企業との連携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。

③ 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、現場の責任者に積極的に若手を登用するなど、国際的な大規模プロジェクトのマネジメントに携わ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。当該分野においては、このような大型のプロジェクトの推進が若手研究者の育成に大きな役割を担っており、本計画に期待される役割は非常に大きいと言える。後継計画の推進にあたっては、若手研究者の適切なキャリアパス形成を支援するような取組を積極的かつ継続的に行うことが求められる。

また、若手研究者が積極的にアイデアを出し、実現していくことができる環境づくりを通じて、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。このことは、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。

④ 国際的なプロジェクトとしてのマネジメントの強化

本計画の国際プロジェクトとしてのマネジメントは適切に機能しているものと認められるが、令和4年2月に始まったロシアによるウクライナ侵略により、ロシア、ウクライナの両国がコラボレーターとなっている本プロジェクトの推進に一定の影響が出ることは避けられない状況と言える。

後継計画の推進にあたっては、適切な国際コラボレーションを通じてプロジェクトの着実な実施が図られるよう、ロシア、ウクライナ両国を含めた関係各国と適切な対応を検討していくことが求められる。さらに、長期にわたるプロジェクト実施にあたり、このような不測の事態に対処できるよう、実施主体である KEK が強いリーダーシップを発揮しつつ、引き続き国際マネジメントを強化し、さまざまなリスクを未然に低減させる取り組みを行っていくことが重要である。

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付属国際・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】

久野純治	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所長
松本重貴	東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構教授

(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	KEK スーパーB ファクトリー計画				
実施主体	高エネルギー加速器研究機構	分野	物理学	大型施設計画/ 大規模研究計画	
所要経費	125,561百万円	計画期間	2023年～2032年		
計画概要	極めて高い衝突性能を持つSuperKEKB加速器を用いて電子と陽電子を衝突させ、B中間子などの重い複合粒子を生成し、未知の素粒子や未知の力がその崩壊過程に及ぼす量子的効果の影響を精密測定により明らかにするもの				

【年次計画】

項目 (研究テーマ)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	備考
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	10年目以降	
1. 運転継続と性能向上、データ蓄積 運転を継続し加速器測定器の性能を向上しつつデータを蓄積する												10年目以降も性能向上を続ける
成果指標	※0.4				※3					※15		取得データ量/ab
2. 主な装置の維持改善作業 メインリング エネルギー効率の改善(機器更新) 入射器 エネルギー効率を改善するため老化機器の更新を計画的に行う。また、衝突点及び近傍の改造を行うことで目標性能を達成する。入射器及びビーム輸送路の性能を向上させ、効率よい運転を行う Belle II測定器 衝突点及び近傍の改造、ビーム輸送路改善、大電力高周波源増 入射器の改造など 崩壊点検出器入替、光検出器入替など その他の放射線対策、老化に伴う機器の更新など												小規模の作業は含めない。衝突性能や放射線量の変遷を見ながら、予算(電力)的に効率よい手だてを探る。柔軟性のある運用が求められる。
成果指標					衝突点改造開始		衝突点改造・検出器改造完了			老化機器更新完了		
3. 実験データの解析と成果の発表 データを解析し得られた成果を報告、学術論文にまとめ、広く発信する。素粒子物理学の新しいパラダイムを拓く、或いは、そのために必要な次の道筋を示す。												CP対称性の破れの報告など
成果指標	※5				※40					※190		学術論文数