

大規模学術フロンティア促進事業の「進捗評価」（報告）

「高輝度大型ハドロン衝突型加速器（HL-LHC）による
素粒子実験」について

令和5年（2023年）8月21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. 進捗評価の実施方法	- 4 -
2. プロジェクトの概要	- 4 -
①概要と主な内容.....	- 4 -
②施設整備.....	- 5 -
③実施体制.....	- 5 -
④年次計画及び予算規模.....	- 6 -
3. プロジェクトの進捗状況	- 7 -
・ プロジェクトの進捗状況.....	- 7 -
・ プロジェクトの実施体制.....	- 8 -
・ 学術的意義と波及効果（中間的達成度）.....	- 8 -
・ 社会的意義と波及効果（中間的達成度）.....	- 8 -
4. プロジェクトの進捗評価と今後の留意点	- 9 -
①プロジェクトの進捗状況を踏まえた評価.....	- 9 -
②今後のプロジェクトの推進に当たっての留意点.....	- 9 -
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 委員名簿	- 11 -
別添：年次計画.....	- 12 -

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、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(2012 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－」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について」（令和 5 年(2023 年)4 月 20 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。推進中のプロジェクトについては、「年次計画」に基づき、施設整備や高度化が終了し運用を開始する前や、研究計画の局面が変わる時期などに、プロジェクトの進捗状況や今後の運用体制を含む実施体制を確認し、運用開始の是非や引き続きのプロジェクト推進の是非を確認するとともに、運営改善、計画変更等の要否及び今後のプロジェクト推進に当たっての留意点などを明らかにするため、本作業部会として、「進捗評価」を行うこととしている。

「高輝度大型ハドロン衝突型加速器（HL-LHC）による素粒子実験」について

「大規模学術フロンティア促進事業」の一つである、「高輝度大型ハドロン衝突型加速器（HL-LHC）による素粒子実験」（以下「本計画」という。）は、年次計画において進捗評価の時期をあらかじめ令和 5 年度(2023 年度)に設定していたことから、本作業部会として進捗評価を実施し、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. 進捗評価の実施方法

「マネジメント」に定める評価の流れに基づき、進捗評価を以下のとおり実施した。

【本作業部会における進捗評価の経過】

- ・ 実施主体からのヒアリング
若手含む実施研究者との意見交換
(令和5年(2023年)6月16日(金))
- ・ とりまとめ書面審議
(令和5年(2023年)8月21日(月))

2. プロジェクトの概要

①概要と主な内容

- ・ 実施主体
高エネルギー加速器研究機構(KEK)
- ・ 計画概要
本計画は、欧州合同原子核研究機関(CERN)の加盟国23か国とオブザーバー国である日本、米国、ロシア¹等による国際共同プロジェクトとして、CERNが運営する大型ハドロン衝突型加速器(LHC)を高輝度化(HL-LHC)し、陽子と陽子の衝突頻度(ルミノシティ)を10倍に上げることで年間収集データ量を一桁増やすものである。これにより、現行のLHCよりも広い質量領域で新粒子の探索や暗黒物質の直接生成等を行うとともに平成24年(2012年)にCERN(ATLAS実験・CMS実験)で発見されたヒッグス粒子の性質の詳細な調査を行うことを目的とする。本計画で得られる成果は、暗黒物質や暗黒エネルギーに対する知見を与える可能性もあり、素粒子物理学のみならず宇宙物理学などの近隣学問分野の将来の方向性を決める上で重要なものとなる。また、本計画により、これまでに築き上げてきた日本と欧米各国との信頼関係をより強固なものとし、研究者の国際社会における流動性を高めると同時に、日本の国際社会における存在感をより向上させる。

¹ ロシアは2022年3月オブザーバー資格停止

- ・ 所要経費
 - 建設費総額 約 2,010 億円 （日本負担分 約 47 億円）
 - 年間運用経費 約 250～820 億円/年 （日本負担分 約 5.3 億円/年）

- ・ 計画期間
 - 建設期間 令和元年度(2019 年度)～令和 8 年度(2026 年度)、
 - 運転期間 令和 8 年度(2026 年度)～令和 10 年度(2028 年度)、
 - 10 年計画

- ・ 研究テーマ（目標）
 - 1) LHC 高輝度化に向けた装置の建設
 - ・ 加速器建設
 - ビーム分離用電磁石
 - ・ 検出器製造
 - シリコンピクセル検出器
 - シリコンストリップ検出器
 - ミュオントリガー検出器回路
 - 2) データ収集および素粒子物理標準模型を超える新たな物理法則の探求

- ・ 評価等の経緯
 - 評価実績：
 - （事前評価）平成 30 年(2018 年)8 月

②施設整備

LHC 加速器の高輝度化に向けた装置建設及び ATLAS 検出器の要素製造

③実施体制

HL-LHC 計画は、欧州を中心とする 23 カ国の CERN 加盟国、10 カ国の CERN 準加盟国、米国及び日本の CERN のオブザーバー国等が、国際共同プロジェクトとして推進。

国内体制としては、ビーム分離用超伝導電磁石の開発と建設を KEK が主体となり推進し、ATLAS 実験関係については、KEK と東京大学が代表を務める 13 の大学・研究機関からなる ATLAS 日本グループが連携して推進している。

④年次計画及び予算規模

別添のとおり

3. プロジェクトの進捗状況

・ プロジェクトの進捗状況

HL-LHC 計画は、現在稼働する世界唯一のエネルギーフロンティア実験である LHC 計画の高輝度化を国際共同で行うものである。平成 28 年(2016 年)に CREN 理事会にて計画が正式承認されて以降、建設に向けて開発を進め、令和 6 年(2024 年)からのアップグレードを経て、令和 10 年(2028 年)から本格的な実験に入る予定であった。しかし、コロナ禍で欧米の多くの研究所・大学にてロックダウンによる閉鎖や入構制限が行われたため、全体計画では約 2 年半遅れている状況である。

このような中で日本は、オンライン会議などを活用し、国際的な連携体制を保ちつつ、自国の分担分について着実に開発・設計などを行ってきた。具体的には、ビーム分離用電磁石について、試作機の製造はコロナ禍等により遅れたが、現時点で実機 3 台の製造が進行しており、令和 8 年度(2026 年度)末までに実機 6 台が完成する予定である。また、シリコンピクセル検出器については、センサーとモジュールの製造及び試験を令和 5 年度(2023 年度)までに終える予定であったが、欧米の計画の遅れに合わせる状態となっており、センサーは令和 5 年(2023 年)から本量産を開始し、モジュールは令和 6 年(2024 年)から本量産を開始する予定である。シリコンストリップ検出器については、製造開始は 1 年半遅れたものの、製造ペースが計画通りに進み 6,350 枚のうち半数の製造・検査が完了し、令和 6 年度(2024 年度)中に全製造が終わる予定である。ミュオントリガー検出器についても、大部分の回路は計画通り令和 6 年度(2024 年度)までに製造完了し、欧米との最終仕様決定のためのレビューが遅れた一部の回路も令和 6 年度(2024 年度)から令和 7 年度(2025 年度)にかけて量産を進める予定である。このようにコロナ禍の影響を最小限に抑えて計画をほぼ予定通りに達成していることは、製造計画や開発計画における人員配置や予算計画について、随時見直しを行える柔軟な運用体制を整えたことによる成果であると評価できる。

なお、今後の計画推進に関わる情勢の変化として、令和 4 年(2022 年)2 月からのロシアによるウクライナ侵略に伴うロシアのオブザーバー資格停止及びウクライナからの拠出金減額、エネルギー価格高騰や市場変動とコスト上昇等が課題となっている。このため、CREN 加盟国に対して予算増額の要請がなされており、日本に対しては、これまで培ってきた技術力を活用したクエンチ保護ヒーター用電源とクラブ交叉キャビティ用高周波発生・分配装置に係る製造を新たな追加貢献として強く期待されている。

・ プロジェクトの実施体制

プロジェクト全体では、CREN を中心とした国際協力体制のもとで参加国の強みを生かした明確な責任体制と役割分担が確立されている。日本国内では、KEK のリーダーシップのもとで、大学院生等の若手も含めて幅広く研究者コミュニティの意見を取り入れた運営体制が構築できている。

また、ATLAS 日本グループが測定器の開発・試験・製造を共同で行うためのスペースや設備を KEK 内に整備するなど、効果的に共同利用・共同研究を行うための工夫もなされている。

・ 学術的意義と波及効果（中間的達成度）

ヒッグス粒子の性質の精密測定という高い学術的意義を有する計画であり、全体として 2 年半の遅れはあるものの日本グループは遅れを最小限に抑えて着実に整備を進めている。特に技術的な面において追加貢献が求められている点については、これまでの技術力が国際的に認められている証左であり、開発された技術は今後の加速器実験に大きな発展をもたらすことが見込まれる。

また、国際共同プロジェクトとして多くの学生や若手研究者を CERN に長期派遣するとともに、検出器運転エキスパートや物理解析チームリーダーに抜擢することなどを通じて、国際的な研究者コミュニティの中でも通用する人材の育成に貢献している。同時に若手研究者の活躍は、日本のプレゼンス向上にも寄与している。

・ 社会的意義と波及効果（中間的達成度）

極限の物理を探求し、科学史に刻まれる成果を目指すという社会的意義の極めて高い計画であり、出前授業等や講演会、オープンラボ等のイベントを通じて本計画の学術的価値を積極的に情報発信している。

また、実験装置を作成する過程で培われたセンサーや超伝導電磁石等の技術が、医療や原子力、AI 画像認識等の産業分野にも展開されており、今後も幅広い研究者の参画を通じて、さらに多様な分野への波及効果が期待される。

さらに、プロジェクトへの参加を通じて国際感覚やマネジメント能力を身に着けた若手研究者が、その後の進路として民間企業や他分野のアカデミアで活躍するような事例も見られ、幅広い分野におけるキャリアパス形成にも貢献している。

4. プロジェクトの進捗評価と今後の留意点

①プロジェクトの進捗状況を踏まえた評価

HL-LHC 計画は、CERN が運用する LHC を高度化し、陽子・陽子衝突の頻度を上げることでデータ収集量を一桁増やすことにより、より質量の大きい新粒子や生成確率の低い新粒子の探索と、平成 24 年(2012 年)に発見されたヒッグス粒子の性質の詳細な調査を行うものとして、学術的意義の高い成果が期待される国際共同プロジェクトである。

各国の役割分担は明確化されており、日本は加速器の建設と検出器の製造を行ってきた。全体計画は、コロナ禍やロシアによるウクライナ侵略といった世界情勢の大きな変化によって 2 年半遅れているが、KEK が中心となって柔軟な運用を図ってきたことにより、日本の遅れを最小限に留めることができたことは高く評価される。さらに国際共同研究であることを活かし、若手研究者を含む多くの研究者を CERN 現地に滞在させることなどを通じて、国際的な頭脳循環の促進と人材育成にも貢献している。当該分野における我が国のプレゼンスの維持・向上のために、本計画を引き続き推進することが適切であると判断する。

なお、計画の遅延に対する対策として、CERN は加盟国に対して、各国に割り当てられていた予算の増額を要請しているほか、日本に対しては、クエンチ保護ヒーター用電源とクラブ交叉キャビティ用高周波発生・分配装置の追加貢献を求めている。これは、これまで構築してきた国際的な信頼関係と日本の高い技術力が認められたことによるものであり、この期待に応えることにより、計画の着実な前進と、CERN 並びに国際社会における我が国の存在感と信頼感を向上させる絶好の機会と捉えることができる。そのため、本追加貢献については、国際情勢も見極めつつ、費用の精査や交渉並びに財源の多様化に係る検討を行うとともに、日本の貢献に見合う待遇の一層の向上を追求することを前提に、積極的に対応することが望まれる。

また、プロジェクトの進捗状況を踏まえて、年次計画を変更する。

②今後のプロジェクトの推進に当たっての留意点

1) 国際連携の強化とプレゼンスの向上

コロナ禍とウクライナ情勢等によって計画が遅れており、今後もさらに大きく変わる可能性も排除できないことから、国際連携を一層強化し、様々な状況を想定した検討も行いつつ、長期的視点で戦略的に計画を進めていくことが必要である。また、日本の貢献度に見合う待遇や学術的成果を得ることができるよう、我が国がデータ解析の面においても世界をリードする成果を創出できるよう努めることが望まれる。

2) 経費の効率化と財源の多様化

国際情勢の変化による物価やエネルギー価格の高騰や市場変動とコスト上昇等によって、当初計画より材料費等の価格上昇が続いており、さらに追加貢献にかかる費用負担も求められている。予算の検討にあたっては、国際情勢を注視しながら、経費の十分な精査を行うとともに、連携国との交渉や産業界を含めた財源の多様化を図ることが必要である。

3) 若手人材の育成と多様化の推進

計画の遅れによって若手人材のキャリア形成に影響が出ないように、若手との対話を促進し、状況把握に努めるとともに、研究者人材の多様化を推進するため、海外に比して少ない女性研究者の積極的な登用に努めることが望まれる。

4) 成果の可視化と情報発信

計画について広く国民の理解を得るために、日本グループの貢献や若手の活躍状況、産業応用につながった事例等を可視化し、プレスリリース等を通じて積極的に情報発信することが望まれる。

特に、全体計画の遅れに連動した本計画の変更や追加貢献にかかる費用負担については、国民の支持を得られるようより丁寧かつ十分な説明が必要である。

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】

(委員)

原 田 尚 美 東京大学大気海洋研究所教授、
海洋研究開発機構地球環境部門招聘上席研究員

(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
大 橋 隆 哉 東京都立大学学長
桑 田 薫 東京工業大学理事・副学長（ダイバーシティ推進担当）
中 野 貴 志 大阪大学核物理研究センター長
○ 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 総合研究大学院大学理事・副学長
◎ 渡 辺 美代子 日本大学常務理事、特定非営利活動法人ウッドデッキ代表理事

(専門委員)

岩 井 紀 子 大阪商業大学総合経営学部商学科教授
岡 田 真 人 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
嘉 糠 洋 陸 東京慈恵会医科大学医学部教授
鈴 木 裕 子 鈴木裕子公認会計士事務所長、理化学研究所監事、公認会計士
関 野 徹 大阪大学産業科学研究所長
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 東京家政学院理事長、筑波大学名誉教授

【アドバイザー】

伊 藤 好 孝 名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
田 島 治 京都大学大学院理学研究科教授

◎:主査 ○:主査代理 (敬称略、50音順)

別添：年次計画

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画											
計画名称	高輝度大型ハドロン衝突型加速器(HL-LHC)による素粒子実験										
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】 東京大学、筑波大学、早稲田大学、東京工業大学、お茶の水女子大学、首都大学東京、信州大学、名古屋大学、京都大学、京都教育大学、大阪大学、神戸大学、岡山大学、広島工業大学、九州大学、長崎総合科学大学										
所要経費	建設費総額 約2,010億円（日本負担分 約47億円） 年間運用経費 約250～820億円/年（日本負担分 約5.3億円/年）	計画期間	建設期間 2019年度～2026年度 運転期間 2026年度より運用開始（以後10年間運転予定（2026年度は調整運転）、フロンティア事業としての運転は2028年度まで） 評価実績： 事前評価 平成30年（2018年）8月								
計画概要	本計画は、欧州合同原子核研究機関（CERN）の加盟国22か国とオプザーバ国である日本、米国、ロシア等による国際共同プロジェクトとして、CERNが運営する大型ハドロン衝突型加速器（LHC）を高輝度化（HL-LHC）し、陽子と陽子の衝突頻度（ルミノシティ）を10倍に上げることで年間収集データ量を一桁増やすものである。これにより、現行のLHCよりも広い質量領域で新粒子の探索や暗黒物質の直接生成等を行うとともに2012年にCERN（ATLAS実験・CMS実験）で発見されたヒッグス粒子の性質の詳細な調査を行うことを目的とする。本計画で得られる成果は、暗黒物質や暗黒エネルギーに対する知見を与える可能性もあり、素粒子物理学のみならず宇宙物理学などの近隣学問分野の将来の方向性を決める上で重要なものとなる。また、本計画により、これまで以上に築き上げてきた日本と欧米各国との信頼関係をより強固なものとし、研究者の国際社会における流動性を高めると同時に、日本の国際社会における存在感をより向上させる。										
研究目標（研究テーマ）	1. LHC高輝度化に向けた装置の建設 2. データ収集および素粒子物理標準模型を超える新たな物理法則の探求										
年次計画	2019(R元)	2020(R2)	2021(R3)	2022(R4)	2023(R5)	2024(R6)	2025(R7)	2026(R8)	2027(R9)	2028(R10)	2029(R11)
1 LHC高輝度化に向けた装置の建設	高輝度化に向けた装置の建設										
加速器建設 (CERNがホスト、日本負担分として国際協力) ・ビーム分離用電磁石	建設(2019年度～) (電磁石7台：～2024年度) 搬入・設置 調整・試験										
検出器製造 (様々な検出器を日本の担当部分として製造)	製造(2019年度～) (シリコンピクセル検出器・シリコンストリップ検出器(～2023年度)・ミュオントリガー検出器(～2024年) 搬入・設置 調整・試験										
2 データ収集および素粒子物理標準模型を超える新たな物理法則の探求	調整運転 運転開始・データ収集										
評価の実施時期	-	-	-	-	進捗評価	-	-	進捗評価	-	-	期待評価
【参考】 計画推進に当たっての留意事項	【事前評価報告書における留意点(H30.8)】 ○ HL-LHC 計画は国際共同プロジェクトとして推進されるものであり、LHCの高度化に際しては、我が国の責任によらざる予期せぬ建設工程の実現や所要経費の修正なども想定されるため、このような可能性に対して柔軟な運用体制を検討する必要。 ○ 国際組織によって長期間の建設が進められる本計画において、我が国の若手研究者が、プロジェクトマネージャーやシステムズエンジニアリングを経験的に体験し、これらに合わせてリーダーシップを学ぶことで、キャリア形成ないし自己実現を促し進められるよう、国内の関連計画との間で積極的な人事交流を図るとともに、本計画を通じて得られる諸外国との連携や研究者のネットワークなどを活かす。従来の関連分野に限らない我が国の学術研究全体への貢献についての検討が必要。 ○ 本計画に対する我が国の貢献が、国際社会において適切に認識され、今後も引き続き本計画の運用に深く関与することが望まれるとともに、我が国の分組が全体計画の中で重要な要素となっていることが、社会や国民にもわかりやすいかたちで伝わり、その支持につながるよう、積極的な広報が必要。										