

大型研究計画に関する進捗評価について（報告）

大強度陽子加速器施設（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

2018 年度（平成 30 年度）8 月 30 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
「大強度陽子加速器施設（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」計画について	
1. 進捗評価の実施方法	5
2. 計画の概要	
（1）計画の概要と主な内容	7
（2）実施体制	7
（3）年次計画及び予算規模	7
3. 計画の進捗状況	
（1）科学目標の進捗状況	9
（2）社会や国民からの支持を得るための取組、情報発信の状況	15
（3）年次計画における「プロジェクト推進に当たっての留意事項等」への対応状況	16
4. 計画の進捗評価と今後の留意点	
（1）計画の進捗状況を踏まえた評価	23
（2）今後の事業の推進に当たっての留意点	24
備考（用語解説等）	26
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	30

はじめに

文部科学省においては、学術研究の大型プロジェクトへの安定的・継続的な支援を図るべく、2012年度（平成24年度）に「大規模学術フロンティア促進事業」を創設した。

この事業は、世界が注目する学術研究の大型プロジェクトについて、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「作業部会」という。）が策定した「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」^{※1} 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支援し、戦略的・計画的な推進を図ることを目的としている。

各プロジェクトの推進に当たっては、本作業部会が「大規模学術フロンティア促進事業の年次計画」（以下「年次計画」という。）を作成し、進捗管理を行っているところである。

また、「大強度陽子加速器施設（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」の年次計画においては、「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、「J-PARC 中間評価報告書」という。）を踏まえて速やかに進捗評価を行い、「改善の方向性」において、「大型施設計画については、施設整備後の運用年数も勘案し、適切な年限を別途定めることも可能とする」とされたことも勘案しつつ、年次計画における終期を再設定することが、2018年（平成30年）3月の本作業部会において決定している。

この度の進捗評価は、以上の経緯に基づき、本作業部会において実施した。

※1 本作業部会においては、日本学術会議の「マスタープラン」が示す学術的意義の高い大型プロジェクトのうち、推進に当たっての優先度が高いと認められるものを選定し、「ロードマップ」として策定している。2017年（平成29年）7月には「ロードマップ2017」を取りまとめた。

（URL）http://www.mext.go.jp/a_menu/kyoten/1383666.htm

進捗評価に当たっては、本作業部会において、実施機関である法人に対し、「改善の方向性」や現在の財政環境などに基づく課題を整理の上、これらの課題に主体的に対応するよう促していることに鑑み、従来の評価の観点に、

- ・ 実施機関による財政環境への対応が適切に行われたかどうか
- ・ 期末まで安定的・継続的にプロジェクトを推進することができるよう年次計画の内容の変更等が行われたかどうか

を加え、関係分野の専門家（以下「アドバイザー」という。）から助言を得つつ、評価者が実施機関からのヒアリング及びそれらを踏まえた審議を実施した。

「大強度陽子加速器施設（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」計画について

1. 進捗評価の実施方法

ヒアリング

今回の進捗評価は、次のとおり、本作業部会委員及びアドバイザーからなる評価者 11 名による実施機関からのヒアリングを通じて実施した。

（１）日 時： 2018 年（平成 30 年）6 月 29 日（金）14:30～15:30

（２）参加者： 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）井本 敬二、大島 まり、栗原 和枝、○小林 良彰、鈴木 洋一郎、
新野 宏、原田 慶恵、松岡 彩子、横山 広美

（アドバイザー）伊藤 好孝、中家 剛

（３）概 要：

・機関からのヒアリング（35 分）

高エネルギー加速器研究機構から、計画の概要、進捗状況等について説明を受けた後、質疑応答を実施した。

（高エネルギー加速器研究機構説明者）

山内 正則 高エネルギー加速器研究機構長、
石井 利和 同機構理事、
齊藤 直人 同機構 J-PARC センター長、
小関 忠 同副センター長、
小林 隆 同機構素粒子原子核研究所副所長、
大淵 学 同機構財務部長、
河津 宏典 同主計課長

・まとめ（25 分）

機関からのヒアリングを踏まえ、研究の進捗状況に係る確認及び今後の推進方策や留意事項等に係る検討を実施した。

学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会における審議

（１）日 時： 2018 年（平成 30 年）8 月 10 日（金）13:30～16:30

（２）審議事項： 進捗評価報告書（案）の審議

- (1) 日 時：2018 年（平成 30 年）8 月 30 日（木）13:00～15:00
- (2) 審議事項：進捗評価報告書（案）の審議

2. 計画の概要

(1) 計画の概要と主な内容

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 (以下「KEK」という。) 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、又は固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・素粒子物理学等、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。J-PARC は線形加速器 (リニアック)、3GeV シンクロトロン (RCS)、主リングシンクロトロン (MR) から構成され、物質・生命科学実験施設 (MLF)、ニュートリノ実験施設、ハドロン実験施設の各実験施設において幅広い分野における実験研究が行われている。

(2) 実施体制

【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) 及び 47 機関 (国外))

(3) 年次計画及び予算規模

J-PARC に係る年次計画及び予算規模は次のとおりである。

(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	建設費総額 666 億円 (計画全体 1,524 億円) 年間運用経費 66 億円			計画期間		建設期間 平成 13 ～ 20 年度 運転期間 平成 20 年以降 (平成 24 年に中間評価を実施) 【事前評価】 平成 9 年 9 月、平成 12 年 8 月、平成 12 年 11 月 【中間評価】 平成 15 年 12 月、平成 19 年 6 月、平成 24 年 6 月 【進捗評価】 平成 27 年 9 月					
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、または固体の標的に衝突させることによって発生する多様な二次粒子 (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)	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										
年次計画	2013 (H25)	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)	2020 (H32)	2021 (H33)	2022 (H34)	2023 (H35)
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										
・ M R のビーム強度増強に向け、速い取り出し 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。 ・ M R の増強により、ニュートリノ振動実験に必要な高線り還元化による速い取り出し 750kW と、ハドロン実験に必要なビームロスの低減などによる速い取り出し 100kW を出力させる。	ビーム強度の増強										
2. ハドロン・ミュオン素粒子実験	原子核の研究、ハドロンの質量の理解、標準理論を超える物理の探索など										
・ K 中間子でストレンジス核物理の新しい局面を拓く (高密度核物、一般化した核力の理解の推進)。 ・ K 中間子の核環境において小林益川理論を超える C P 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 交換実験 (COMET) ビームラインを整備することにより、ミュオン稀薄核現象のメカニズム (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発見を探索する。	クォークの閉じ込め、質量獲得機構の解明 高運動量ビームラインの整備 ミュオン稀薄核現象のメカニズムの検証 μ -e 交換実験ビームラインの整備										
3. ニュートリノ振動実験	ニュートリノ振動現象の解明										
・ 電子ニュートリノ出現現象による混合角を決定する。 ・ 東京大学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 C P 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	高強度偏極中性子・ミュオンビームによる物理研究の展開										
・ 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元素経路分析の測定を行う。	偏極中性子 / ミュオン S・H ラインの整備										
計画の実施時期	-	-	進捗評価	-	-	進捗評価	-	-	-	-	将来評価

(これまでの予算措置の状況)

建設費・設備費：759.5 億円 (2001 年度 (平成 13 年度) ～2018 年度 (平成 30 年度) ま

での経費（高エネルギー加速器研究機構分）

 運転経費・実験経費：764.8 億円（2004 年度（平成 16 年度）～2018 年度（平成 30 年度）
までの経費（高エネルギー加速器研究機構分）

3. 計画の進捗状況

(1) 科学目標の進捗状況

科学目標の進捗状況は次のとおりである。

1. ビーム強度の増強

MR のビーム強度については、2018 年（平成 30 年）6 月現在で遅い取り出しは 51kW、速い取り出しは 485kW の定常運転を実現している。

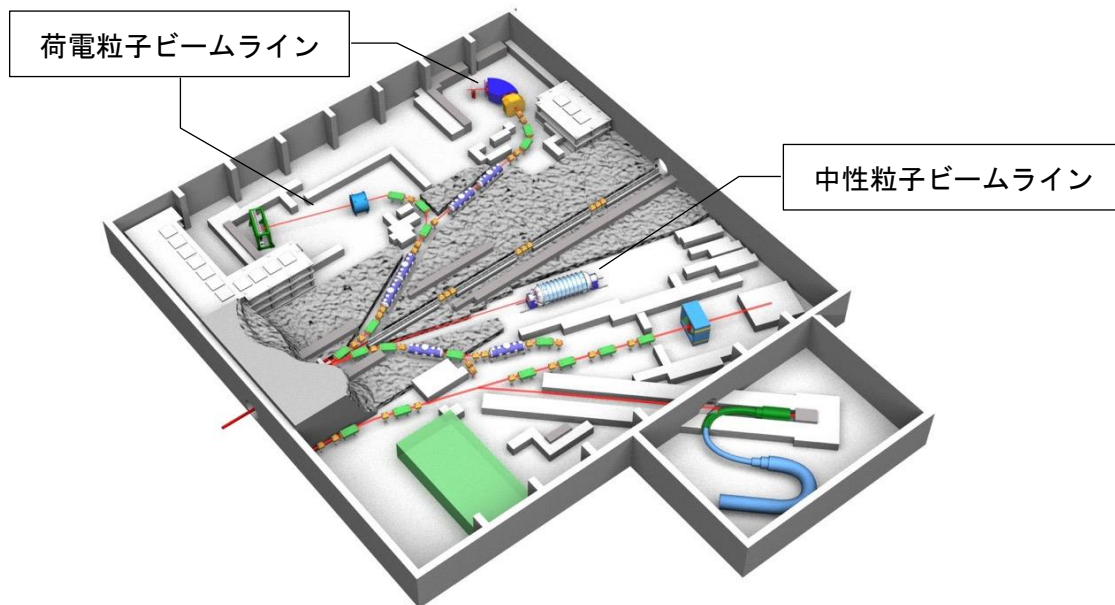
当初計画においては、2014 年度（平成 26 年度）末までに遅い取り出しで 50kW のビームパワーを実現することを目指していたが、遅い取り出しは 2013 年（平成 25 年）5 月のハドロン実験施設における事故の影響のために 1 年 11 ヶ月の間運転を停止したため遅延が生じた。しかし、運転再開後のビーム強度は順調に増加して現在 51kW に到達しており、取り出し効率もその間のすべてのビーム強度で 99.5% という世界最高値を実現している。

速い取り出しにおいては、設計ビーム強度 750kW に対して現在 485kW であるが、パルス当たりの粒子数としてはすでに世界最高である。後述するように T2K 実験は当初の設計ビーム強度で目指していた主要な物理成果を達成し、次の重要な課題である CP 対称性の破れの発見を目指して実験を進めている。それに伴い、ビーム強度についても高繰り返し化によって 750kW を実現した後は 1.3MW を次の目標と定めている。この 1.3MW への高度化は、KEK における新規概算要求の優先順位を決定した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）において最優先と位置付けられている。

2. ハドロン・ミュオン素粒子実験

ハドロン実験施設では、K 中間子等を用いて素粒子・ハドロン・原子核に係る多様なテーマの基礎物理学実験を行っている。現時点においては荷電粒子ビームライン 2 本と中性粒子ビームライン 1 本を整備し、運用している。それぞれの実験に特化した測定器を設置して長期間の継続的な測定を行う予定である。K 中間子でストレンジネスをもつ原子核をつくり中性子星内部の状態（高密度核物質）を理解する実験や、K 中間子の稀な崩壊により標準理論を超える CP 対称性の破れを探索する実験が実施されている。これまでに 10 件の実験課題を実施し、計 12 本の論文が発表されている。主な研究成果としてハイパー核における荷電対称性の破れの発見（2015 年（平成 27 年）、Physical Review Letters 誌の Editors' Suggestion（注目論文）に選ばれた）、重いラムダハイパー核（フッ素 19 ラムダ）のエネルギー準位の世界初めての測定（2018 年（平成 30 年））、K 中間子と二つの陽子が束縛された新しい形態の原子核の生成（2015 年（平成 27 年））、K 中間子稀崩壊の世界最高感度での探索（2017 年度（平成 29 年度））が得られている。

施設で行われているいずれの実験も 50 名～100 名規模であり、国外の大学・研究機関から半数近くのメンバーが参加している国際共同研究である。



(図： ハドロン実験施設)

3. ニュートリノ振動実験

ニュートリノ実験施設においては、J-PARC で発生させたニュートリノをスーパーカミオカンデ（岐阜県飛騨市神岡町）で測定する国際共同実験 T2K（2010 年（平成 22 年）1 月開始）により、ニュートリノが飛行中に別の種類に移り変わる物理現象（ニュートリノ振動）の観測を行っている。

2013 年（平成 25 年）に、T2K 実験の当初目標のなかで最も重要なミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの振動現象の探索において、世界で初めて「兆候」を捉えた。その後、継続的なデータ収集により「証拠」、「観測」、「測定」と着実に確度を上げ成果を発表し続けている。関連論文は 4 本で計 2,000 回以上引用され（2018 年（平成 30 年）7 月時点）、仁科記念賞、ブレークスルー基礎物理学賞など多数の賞を受賞した。

さらに、今後の最重要課題である、ニュートリノにおける粒子と反粒子の性質の違い（CP 対称性の破れ）の探索を開始している。2016 年（平成 28 年）に世界で初めて、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」を捉えた（関連論文被引用数:125）（2018 年（平成 30 年）7 月時点）。現在は確度の向上を目指しデータ収集を継続中である。

今後 T2K 実験は、ビーム強度を 1.3MW に増強し、データ量を当初目標の約 4 倍蓄積することで、CP 対称性が最大に破れている場合には 99.7%以上の確度で破れを発見できる T2K 実験の拡張の実現を目指している。

T2K 実験全体で発表された論文は計 75 本であり、合計 5,500 回以上引用されている（平均引用数 74.2）（2018 年（平成 30 年）7 月時点）。

T2K 実験は、12か国、約 500 名の国際共同実験であり、海外からの貢献として、ビームライン装置や前置ニュートリノ検出器の建設費として約 33 億円、毎年の検出器の運転経費として 0.8 億円の寄与がある。また、今後の T2K 実験の拡張に注目が集まり、2017 年度（平成 29 年

度)以降もベトナムや欧州合同原子核研究機構(以下「CERN」という。)など新たな参加国、機関が増えている。



(図： ニュートリノ振動実験 (T2K 実験))

4. 中性子・ミュオン物質生命科学実験

中性子やミュオンを用いて、物質や生命の機能に係る基礎研究から材料開発等の産業利用まで幅広い分野の実験が行われている。現在、中性子実験装置は 20 台、ミュオン実験装置は 3 台が稼働中であり、年間 450 件以上の実験が実施されている。これまで累計約 970 本の論文を発表しており、J-PARC と同時期に稼働を開始した米国の類似施設 (SNS) と比較しても論文生産性の費用対効果は高い状況にある (稼働時間・出力あたり)。

中性子を用いた研究として、世界的に注目される成果を始めとしインパクトファクターの高い雑誌に掲載される成果等、質の高い多くの論文が発表されている。以下に主な成果を示す。

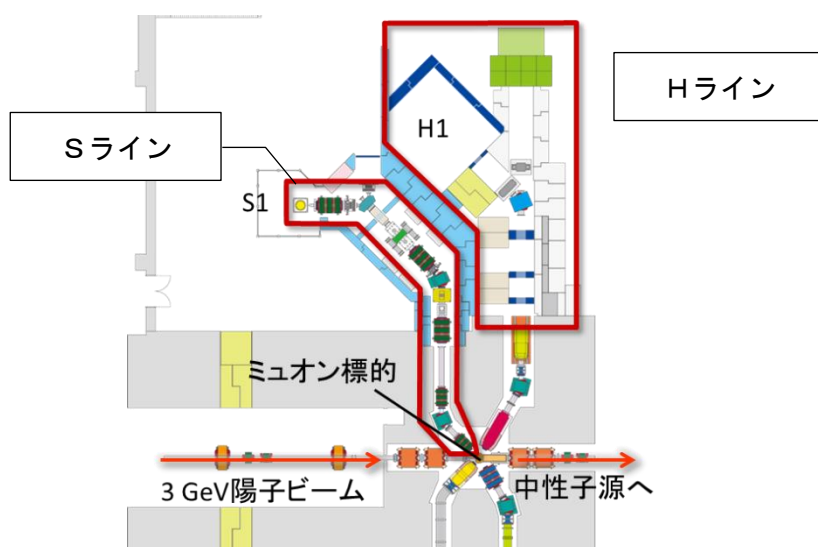
- ・ 高出力な全固体セラミックス電池を実証 (NatureEnergy 誌, 2016)、NCI=82.1
- ・ 世界一イオン伝導率の高い超イオン伝導体を発見 (NatureMaterial 誌, 2011)、NCI=51.6
- ・ 次世代太陽電池材料として注目されるペロブスカイト半導体における、高い発電効率の起源を解明 (Naturecommunications 誌, 2017)
- ・ ヒドリドイオン (H-) が伝導する新たなイオン伝導体を発見 (Science 誌, 2016)
- ・ 鉄系超電導物質における新しい型の磁気秩序相を発見 (Naturephysics 誌, 2014)
- ・ 貴金属を使わない燃料電池向けの新たな触媒を開発 (Science 誌, 2013)

MLF における産業利用割合は 3 割で、諸外国の同様の施設と比較して高い。中性子の産業利用は、低燃費で耐摩耗性に優れた高性能タイヤの開発・製品化 (2016 年 (平成 28 年))、全固体セラミックス電池の自動車への搭載 (2022 年見込み) など、イノベーション創出や産業競争力強化に貢献している。

ミュオン実験装置においては、S ラインの全体構想の一部である、S1 エリアにおいて共同

利用実験をスタートし、強相関電子系や Li 電池材料、生体物質などの分野で注目すべき成果が出つつある。とくに強相関電子系の実験では中国、韓国の複数の研究グループが、Li 電池材料ではヨーロッパの研究グループが S1 エリアで実験を行い、S ラインの大強度ビームによる実験環境を高く評価している。国際競争力のあるビームラインとして今後の展開がますます期待されている。

H ラインは、既存ビームラインでは実施不可能な大型実験に特化したビームラインである。ミュオニウム超微細構造の測定、ミュオン異常磁気能率 $g-2$ /EDM の測定、 $\mu-e$ 転換探索実験などの基礎物理学実験及び世界初の透過型ミュオン顕微鏡を実現するために、H ラインの基幹部を整備している。厳しい財政状況を踏まえ、H ラインの整備が遅れる中でも、既存の D ラインを用いて、世界初のパルスミュオンでのミュオニウム超微細構造の測定（2016 年（平成 28 年））、世界初のミュオン加速（2017 年（平成 29 年））などの準備実験が成果を上げており、H ラインが整備されれば速やかに実験を遂行する準備が整っている。



（図： ミュオン実験装置）

ミュオン実験装置においても産業利用につながる以下のような研究が行われている。

- ・ 発火しにくいリチウム電池を実現するために、高電圧型のオリビン系正極材料 $\text{Li}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{PO}_4$ が研究されている。Mn 置換すると充放電し難くなる原因が、Li 拡散にあるのか電子輸送にあるのかが、ミュオンスピン回転緩和 (μ SR) 測定で明らかになりつつある。安全で高容量のリチウム電池の実現により、各種携帯機器の動作時間や電気自動車の航続距離が増加することが期待される。
- ・ 電子機器の誤作動を引き起こす原因の一つとして宇宙線によるソフトエラーと呼ばれる現象が注目されている。MUSE において、半導体デバイスに対する正及び負ミュオン照射試験を行い、正ミュオンに比べて負ミュオンの方がメモリ情報のビット反転の発生確率が高くなることが実験的に初めて明らかにされた。自動運転などの半導体の集積化が益々、進む社会的な環境の中で、ミュオンによる半導体のソフトエラーを研究することで、IoT 分野の安心・安全な半導体技術の創出に貢献することが期待され

る。

MLF におけるこのような研究の成果は、産業・経済活動の活性化・高度化、知的財産権の取得・活用等に貢献するとともに、ビーム強度の増強とハドロン・ミュオン素粒子実験やニュートリノ振動実験の研究成果とともに加速器科学分野における我が国の国際競争力の向上をもたらし、社会的価値の創出につながっている。

5. その他

① 共同利用・共同研究を行うための実施体制の状況

素粒子原子核分野の実験においては、提出された実験提案は、KEK 素粒子原子核研究所所長とセンター長の下に設置されている、原子核素粒子共同利用実験審査委員会（PAC）により科学的重要性、実現可能性が評価される。PAC は 15 名のメンバーのうち約半数が海外からのメンバーで構成される国際的な評価委員会である。所長、センター長は、実験の採否について、PAC の勧告に基づいて、決定する。

MLF においては大学共同利用と共用促進利用の 2 種類の制度のもとで課題公募と選定を行っているが、窓口を統一し課題審査委員会を合同で開催する等により、ユーザーが制度の違いを意識しなくて済むような運用を行っている。一般課題申請は英語で受け付けており、国内外のユーザーに広く門戸が開かれている。また、海外の研究者にも審査員として審査に参画してもらうなど、審査に世界的な動向も反映させるよう配慮している。現在のところユーザー支援等に関しては、対応する組織による差が多少あるものの、その解消に向けて様々な努力が行われつつある。

② 幅広い研究者が参画できる運用体制の状況

J-PARC の実験提案の公募は、J-PARC のホームページやコミュニティへの電子メールで内外に広くアナウンスすることで実験提案の機会を周知している。さらに実験提案書から審査委員会、報告書含め審査プロセスも一貫して英語で行うことにより、国外を含め幅広い研究者が参画できる体制としている。

また、大学との協定や、大学の J-PARC 分室設置、クロスアポイントメントを活用しながら、装置運営に参画しやすい体制の構築を進めている。

J-PARC における実験研究は、実験提案のもとに結成された国際共同実験チームが提案書を J-PARC/KEK に提出、J-PARC/KEK に設置された国際的なメンバーで構成される実験課題審査委員会で審査される。そこで承認された実験は、承認された量のビームを利用し実験を行うことが出来る。MR を用いた実験においては、基本的に測定装置は実験チームが予算においても責任をもち建設、運転、維持、性能向上を行っている。一方、加速器やビームラインなどの施設の運転、維持、性能向上にかかる費用は、国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）のガイドラインに則り、ホスト機関である J-PARC/KEK が負担することが決まっている。（日本の研究者が海外の加速器施設で実験を行う場合、加速器の運転経費を請求されることはない。）

このようなガイドラインの中でも、大型の国際共同実験である T2K はコモンファンドとして、実験グループの現場における活動を支援する資金的な協力が行われている。また、大

学の分室設置、企業との共同研究を通して、施設運営に関わる人的資源などを強化することで、実質的に限られた予算の中でも成果を最大化するための取組を始めている。

一方、MLFにおける産業利用研究など研究成果を公開しない場合、ビームラインの使用料を徴収することとしている。

J-PARC では「利用者協議会」を年数回開催して、研究者コミュニティからの委員に対して J-PARC の現状を説明するとともに、各コミュニティからの率直な意見や改善要求を聞くことにしている。また、課題審査委員会ではコミュニティの研究者が審査員として審査に参画している。

③ プロジェクト推進に当たっての課題等

（施設の強化と質の高いビーム運転の確保）

MR におけるニュートリノ、ハドロン、ミュオン実験において、研究期間内に目標とする成果をあげるためには、運転経費の確保と MR 電源増強などによるビーム強度向上が不可欠である。

MLF を含め、ビーム強度、ビームクオリティを向上することで、実質的に同じ時間のビーム運転から得られる研究成果の増大が期待でき、成果が上がることで、またその期待が高まることでより多くの研究者が集う研究拠点として発展することが期待される。

（開かれた環境作り）

J-PARC 施設が原子力施設を有する原子力科学研究所（原科研）の構内に設置されているために、ユーザーや一般市民の入構管理が厳しく、類似施設に比して利便性を大きく欠くアクセス環境である。例えば、研究会や研究打ち合わせの開催なども、原科研構外の茨城量子ビーム研究センター（IQBRC）や、KEK 東海一号館で開催される傾向が強い。

J-PARC 固有の通用門を設置することで、ユーザーはもとより、地域住民に対しても開かれた施設になることから、主たるステークホルダーである国民全体の共有財産としての位置付けがより明確になり、結果として我が国の科学技術の水準の向上に資するものと考えられる。建設から利用へ大きく転換すべき施設運営を律速する大きな要因となっている。アクセス環境を改善することは、J-PARC 中間評価報告書においても、真の国際研究拠点化を果たすために対応すべき課題の一つに位置付けられている。

（多目的施設の特徴を活かした運営）

原子核・素粒子物理学と物質・生命科学、そして産業利用という多岐にわたる分野を一拠点でカバーすることで、様々な研究協力が生まれている。一つの例として、大強度ビームを受ける標的技術の国際的な研究協力である RaDIATE は、世界を代表する 13 の研究機関の協力により当該技術の限界を切り拓く試みである。また、物質科学のために整備された MLF における素粒子物理研究も複数行われている。さらに企業による連携フェローシップの創設により、産業界による施設開拓の可能性を開いた。J-PARC では、分野を超え、国際協力、産学連携を通して、施設のポテンシャルを最大限に引き出す努力が行われている。

（２）社会や国民からの支持を得るための取組、情報発信の状況

社会や国民からの支持を得るための取組、情報発信の状況は次のとおりである。

- ・ ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故に関する地元住民への取組として、事故の発生状況や事故対応の取組、再発防止策等についての住民説明会を３度開催している。説明会で使用した資料や各種報告書等は、J-PARC センターのホームページで公表し、東海村のコミュニティセンターにも印刷した資料を置いて閲覧できるようにしている。また、専用のホットライン（電話及び電子メール）を設置し、個々の問い合わせにも真摯に対応している。
- ・ プレスリリースに必要な手続の整理により、プレスリリース数が着実に増加している。特に、取材誘致活動によるメディア取材数や記事への掲載割合の増加により、研究成果に関する記事数が増加している。プレスリリース数の推移は、2015 年（平成 27 年）5 件、2016 年（平成 28 年）12 件、2017 年（平成 29 年）12 件である。
- ・ MLF 利用者の利便性向上のため、2015 年度（平成 27 年度）から、MLF に関する情報を一元的に集めた MLFwebsite（Meet@MLF）の運用を始めた。
- ・ 一般市民に対し施設を公開して研究内容や成果を紹介するイベント「施設公開」は 2012 年（平成 24 年）を最後に中断していたが 2016 年度（平成 28 年度）から再開し、2016 年度（平成 28 年度）は 1,560 名、2017 年度（平成 29 年度）は 1,506 名の来場者があった。
- ・ 2016 年（平成 28 年）7 月にはニュートリノ実験の共同研究者でノーベル物理学賞を受賞した梶田隆章博士（東京大学宇宙線研究所）による一般向けの講演会を地元の東海村で開催した。また、2016 年（平成 28 年）12 月より毎月サイエンスカフェを東海村産業・情報プラザ「アイヴィル」で実施している。これまでに 17 回開催し（2018 年（平成 30 年）5 月末現在）、毎回 20 名～30 名程の参加がある。
- ・ J-PARC の研究の最前線を高校生以上の一般読者に紹介する季刊誌「J-PARC」を 2015 年（平成 27 年）夏から刊行し、これまでに 12 号発行している。季刊誌は高校、高専、全国の大学、周辺の自治体等に広く配付している。
- ・ 2016 年度（平成 28 年度）の文部科学省科学技術週間のために企画・制作したポスター「水素」が「一家に 1 枚」ポスターとして選ばれ、2016 年（平成 28 年）4 月の科学技術週間にあわせて全国の小・中・高等学校、及び協力科学館・博物館を通じて配布された（合計約 24.5 万枚）。合わせて、科学館等でサイエンスカフェを 5 回実施した。
- ・ 科学雑誌の記事への協力も引き続き行っている。最近の記事としては、ニュートン平成 30 年 4 月号に「大型加速器 J-PARC が宇宙や生命の謎に迫る」が、日経サイエンス平成 26 年 4 月号に「ミュー粒子に表れた矛盾」、2016 年（平成 28 年）6 月号に「J-PARC で中性子を探る」、2018 年（平成 30 年）5 月号に「もうひとつの見えない粒子『ステライルニュートリノ』」などが掲載されている。さらに、一般紙や WEB 配信紙による情報発信にも積極的に取り組んでおり、複数紙において J-PARC における研究成果が取り上げられている。

(3) 年次計画における「プロジェクト推進に当たっての留意事項等」への対応状況

年次計画においては、「プロジェクト推進に当たっての留意事項等」として、以下の内容を掲載している。

① 事故を再発させない研究体制の確立とガバナンスの強化

ハドロン実験施設の事故を踏まえ、再発防止のための対策の継続と教職員の意識の維持に努めることが必要である。不適切な会計処理の再発防止と合わせ、今後より一層機構のガバナンスを強化し、危機管理に関する体制の強化、安全文化の醸成に向けた取組を推進することが必要である。また、ガバナンス体制の強化に当たっては、特に J-PARC が、高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構の共同設置の施設であることに鑑み、双方の連携の要である J-PARC センターを核として、迅速な意思決定が可能となるよう、協力をより一層強化することが必要である。

② 安定的な運転に向けた運転時間の確保

本事業の科学的意義や産業界における活用可能性等を高めていくためには、ビームラインの運転時間の確保が必要である。しかし、電気代の高騰などの外的要因に加え、我が国の厳しい財政状況下において、運転時間の確保に向けた予算の適切な確保を見通すことは困難な状況である。現在、運転・維持経費については、加速器本体は設置した国が負担し、実験・測定装置は国際共同で分担するという国際的合意に基づき推進されている。今後、海外の他のプロジェクトにおける国際的な経費分担の枠組みの在り方や、ホスト国としての多額の負担を踏まえて、日本の研究者の海外施設における相互便益の状況、加速器本体の運転・維持経費における海外負担割合の分析・評価を行うことにより、国際協調を基本とした運転経費の負担の在り方について検証を行うことが必要である。加えて、外部資金の獲得や既定経費の見直し、法人内資源の再配分等、高エネルギー加速器研究機構としてもあらゆる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。

③ 研究推進の在り方

大規模学術フロンティア促進事業の年次計画において、「各研究テーマについては、年次計画において、国内・海外の関連するプロジェクトとの役割分担などについて、計画全体の更なる精査、優先順位付け、絞り込みが必要」と指摘されており、これらについて、さらに明確化を図ることが必要である。

また、同じく年次計画において「MR のビーム強度の増強に関しては、リニアックの性能回復を前提として、既定経費の見直し・削減を含めた具体的な MR の整備計画について評価を行うことが必要」であり、「高運動量ビームライン、 μ -e 変換実験ビームラインの整備については、実験・研究の優先順位を明確化した上で、外部資金の獲得による研究開発、諸外国の費用負担等による経費の削減等により既定経費の見直しを行い効率的な運用に努めることが必要」とされている。

これらについては、2015 年（平成 27 年）9 月進捗評価で指摘した運転時間の確保と同様に、各プロジェクトの精査や既定経費の見直しが前提となっており、本計画が持続的に進捗することが可能となるものであり、引き続き、その点を留意して本計画に取り組むことが必要である。

加えて、MR のビーム強度の増強については、ハドロン・ミュオン素粒子実験やニュートリノ振動実験、中性子・ミュオン物質生命科学実験において、国際競争力を保持し、当初の目標の研究成果を創出するために必要であることから、技術的な実証実験が終了している主電磁石電源への更新の必要性が認められる。

④ 人材育成や研究者ネットワークの形成への寄与

J-PARC は、今般のハドロン実験施設における事故により、大学院生や若手研究者が、海外の類似施設において研究を行わざるを得なかった事例もあり、人材育成にも大きな影響を与えた事態を深刻に受け止め、今後、仮に施設が停止した場合においても人材育成における影響を最小限にとどめるよう、国内外の他の実験施設等と連携したバックアップ体制を強化することが必要である。

また、より一層の分野の活性化に当たって、さらに幅広い大学の研究者が研究に参加できるよう、各種研究会等、研究者同士の交流の機会を増やすとともに、こういったネットワーク形成の場に新規の利用者や海外研究者が参加しやすいよう、絶えず工夫を行っていくことが必要である。

⑤ 社会・国民の信頼と支持を得るための活動の強化

J-PARC は、高エネルギー加速器研究機構と JAEA が共同設置する放射線を取り扱う実験施設として、安全に係る情報の透明性の確保と、研究推進の社会的意義等に係る社会・国民からの支持に向け、一体感のある的確な情報発信が強く求められるところである。

今後は、J-PARC を共同運営する JAEA との広報活動の連携・一体化を促進し、大学・産業界のユーザーを巻き込み、その意義や研究成果を発信することで、地域のみならず、国内外に向けて、研究推進に係る理解や支持が一層得られるよう、より組織的に行うよう努めることが重要である。その際、研究成果の発信においては、生命科学実験など、本計画で推進する分野ごとに成果の状況を精緻に分析・評価した上で、積極的な情報発信を行うことが必要である。

また、多額の国費を投じて科学の真理を追究する点については、他の学術研究の大型プロジェクトと共通することから、互いに連携して、その意義等について、広く情報発信を推進することが必要である。

さらに、信頼関係を構築するには、国民、特に地元住民との双方向のコミュニケーションが不可欠であり、説明するばかりでなく住民の意見に耳を傾け、十分に交流を行うことが重要である。

⑥ 高エネルギー加速器研究機構と JAEA の連携加速

J-PARC においては、ユーザーがどのような設置の形態であるかによらず、施設の装置を用いて研究が円滑に行われるよう、引き続き、よりユーザーサイドに立った制度の運用に向けて、更に一層の運用改善を図っていくことが必要である。

このほか、産業利用に向けた可能性についての一層の周知とともに、関心を持つ産業界の利用者へのトライアルユースなどを一層推進するとともに、JAEA と協力し、J-PARC として更なる産業利用を促進するための取組を検討することが必要である。

これらへは以下のような対応が行われている。

① 事故を再発させない研究体制の確立とガバナンスの強化

- ・ ハドロン実験施設は、事故原因と再発防止策を確定し施設と機器の改修を実施した後、2015 年（平成 27 年）4 月に利用運転を再開している。J-PARC 内の他の施設でも、気密管理や負圧管理による多層防護により安全が担保されていることを確認している。
- ・ 組織的な安全管理体制を強化するため、安全を統括する副センター長の配置、施設管理責任者の常駐化による緊急時における責任者の明確化、安全関係の人員増と 24 時間連続の放射線監視体制の構築、外部からの委員を含む放射線安全評価委員会の設置等を行っている。

- ・再開した後も、J-PARC 内で働く全ての人員（職員、利用者、外部からの作業員を含む）の安全意識の向上のため、「安全教育」「事故対応訓練」等による安全文化の醸成を推進している。
- ・毎年5月に「J-PARC 安全の日」を設けて安全活動全体を振り返る日とし、午前に「安全情報交換会」午後に「安全文化醸成研修会」を行うとともに、請負業者らとの安全衛生連絡会、外部委員による安全監査、国内外の加速器施設の研究者が参加する安全シンポジウムを毎年行い、他の経験に学び安全を自ら考える意識の定着に努めている。各種の安全講習の機会を設けるとともに、“Mindful of others”（日本版ストップワーク）活動も進めている。
- ・J-PARC は東海村の JAEA 原科研敷地内に設置されていることから、安全に関する取組は原科研と協力して、両機構の職員の参加により行っている。
- ・KEK では、機構長のリーダーシップの下で機構運営のための協議・調整を行い、機構長裁量経費の機動的・戦略的な配分を行うなど、ガバナンスを強化している。J-PARC の危機管理体制の強化や安全文化醸成の取組のさらなる推進のため、KEK と JAEA の両機構長の下に置かれた J-PARC 運営会議において、両機構と J-PARC センター長が密接に協力しながら迅速に意思決定を行っている。
- ・また、KEK の経営協議会及び教育研究評議会に JAEA から委員が参加する、JAEA の部門会議に J-PARC センター長が参加するなどして、J-PARC の共同運営を円滑に進められるようにしている。

② 安定的な運転に向けた運転時間の確保

- ・J-PARC における最大の国際共同実験グループ T2K では、日本の経費負担を軽減するために、実験装置の建設、維持、運転経費を参加国で国際的に経費分担しており、これまでに建設費 33 億円、運転維持経費に毎年約 0.8 億円の寄与を得ている。この貢献はニュートリノ検出器だけでなく、ニュートリノビーム施設への貢献も含まれる。
- ・また、ハドロン実験施設における国際共同実験 KOTO においても、実験装置の建設総額の半分以上にあたる 15 億円、また運転経費として年 0.1 億円が海外からの寄与となっている。その他の国際共同実験においても、基本的に検出器建設費は国際分担としている。
- ・一方、加速器の運転経費においては、現在においても、CERN の大型ハドロン衝突型加速器（LHC）における ATLAS 実験や ALICE 実験、米国 J-Lab における原子核実験など日本の研究者が参加している海外の加速器実験では、加速器の運転経費はホスト国が負担、実験装置の建設費、運転経費は実験グループが分担、というガイドラインに従って運営されており、それらの実験に参加する日本の研究者は多大な恩恵を受けているといえる。CERN の LHC や J-PARC を含め、世界の加速器の運転経費を参加国で分担する方向性は、関係国と日本全体の費用分担に係るバランスを十分に考慮して検討する必要がある。
- ・また、政府からの運転経費の増額が非常に厳しい中、J-PARC における国際競争の状況を考慮して、機構長のリーダーシップのもと、機構長裁量経費の J-PARC 運転時間延長への優先的配分がなされるなど、機構内でも努力を払ってきている。

- ・ さらに、国内大学と協力して、科研費などの外部資金の獲得に努めており、これまでに、新学術領域研究を4件（ニュートリノ、原子核、ミュオン、中性子）、特別推進研究を3件（ニュートリノ、ミュオンなど）、基盤研究Sを10件程度獲得している。

③ 研究推進の在り方

（各プロジェクトの精査や既定経費の見直し）

- ・ 前回の進捗評価で報告したように2014年度（平成26年度）までにリニアックは性能回復のための機器の整備を終え、エネルギー400MeVを達成するとともにピーク電流値50mAの安定運転にも成功している。それに伴いMRのビーム強度も順調に増加し、2018年（平成30年）5月末には速い取り出しで500kWの試験運転にも成功している。一方で、MRのビーム強度をさらに増強して設計仕様値750kWを達成するためには繰り返し時間を現行の2.5秒から1.3秒に短縮する「高繰り返し化」が必要であり、技術的実証が終了している主電磁石電源の更新が急がれる。プロジェクト開始当初は、750kWを達成するためにビームエネルギーを30GeVから50GeVに引き上げる「50GeV化」が検討されていたが、現在は高繰り返し化によって達成する方針に変更している。高繰り返し化は750kW運転に必要なMRの消費電力を50GeV化と比較して約70%削減することができる。また、この高繰り返し用主電磁石電源はJ-PARCの研究者が中規模電源メーカーに長期間常駐してメーカーと共同開発したもので、J-PARC側が電源制御システムをすべて担当することにより大手総合電機メーカーに発注する場合よりも製作コストを大幅に削減することに成功したものである。この電源の開発は、加速器技術諮問員会（ATAC）による国際レビューや国内の専門家による2度の技術レビューを含め内外の専門家との技術的議論を十分に行った上で進めている。2016年度（平成28年度）より電源更新のための予算措置が開始され、必要となる新しい電源棟3棟が2017年度（平成29年度）度末に完成し、新電源の製作も進んでいるが、財政環境に留意すると整備計画は前回の進捗評価で示した計画よりも2年遅延せざるを得ない状況である。
- ・ 高運動量ビームライン、 μ -e変換実験ビームラインの整備においては、実験審査委員会の提言に基づいた優先順位に従って実験計画の立案を行っている。実験の遂行に当たっては、すでに共同実験グループによる大型科研費（特別推進研究、基盤研究Sなど）の獲得等が奏功し、海外共同実験者による検出器の建設や計算機資源の提供を実現すること等で実質的に国際的な費用分担も実現しており、J-PARCからの経費支出を大きく削減することができている。
- ・ 計画内の個々のプロジェクトについては、PACや、個別の集中評価委員会、NAC、MACなどの国際委員会において、その科学的重要性、国際競争力、国際分担、技術的実行可能性を精査し、いずれも高く評価されている。
- ・ 全体計画としては、世界の代表的研究機関の所長レベルで構成されJ-PARC全体を評価する「J-PARC国際評価委員会（IAC）」により精査され、高い評価が得られている。
- ・ さらに、個々のプロジェクト間の優先順位付けについては、2016年（平成28年）、KEK機構長のリーダーシップにより、今後新しい予算措置が必要なプロジェクトについて、特設国際レビュー委員会の評価に基づき、実施優先順位を定めている（前述の

KEK-PIP)。この中で、J-PARC 関連のプロジェクトとしては、「ハイパーカミオカンデのための J-PARC アップグレード」、「MLF における H ラインと g-2/EDM 実験」、「ハドロン実験施設の拡張」がこの順位でリストされている。

④ 人材育成や研究者ネットワークの形成への寄与

- ・ J-PARC で行う素粒子原子核実験の測定装置の開発は、大阪大学核物理研究センターや東北大学電子光物理学研究センターの加速器の中性子ビーム、陽電子ビームなどを有効活用して進めている。
- ・ 中性子実験を行える施設は世界的にも数が少ないため、施設の長期停止がやむを得ない場合には、その都度、ユーザーの受け入れについて施設間で協議する施設間ネットワークが構築されている。ただし、受け入れ可能なユーザー数は限られているため、複数の施設に分散して受け入れることになる。
- ・ 東大、東北大、京大と連携し、中性子実験装置を建設・運営することで、大学との連携を強化している。
- ・ 総研大と連携し、海外から学部生、修士の学生を招聘し、J-PARC で研究を体験させるサマースチューデントプログラムを実施している。2017 年度（平成 29 年度）は 18 名応募、選考の後 8 名招聘、2018 年度（平成 30 年度）は 56 名の応募があり、選考の結果 18 名を招聘予定である。
- ・ 「J-PARC ワークショップ」を創設し、J-PARC に関連した研究分野において国内外の研究者が一堂に会して議論する機会を支援している。これまでに 11 件の J-PARC ワークショップを開催している。
- ・ 東海では「素核ランミーティング」を定期的に行い、加速器・ビームの運転状況や実験のデータ収集の進捗について施設の垣根を超えて意見交換するとともに、大学院生や若手研究者に発表の場を提供している。J-PARC での素粒子原子核セミナーを年に 4 回程度開催し、KEK の物理セミナーと合同で行うなど、つくばキャンパスとの連携も進めている。これらの会合には、テレビ会議接続回線を設置し、東海キャンパスの外からも参加できるようにしている。
- ・ MLF のユーザーを講師としたセミナー（MLF セミナー）を数ヶ月に 1 回程度の頻度で開催し、MLF の成果を共有している。
- ・ 分野間の研究者の交流、更には共同研究への発展をも期待し、毎月開催している「センター会議」の中で、J-PARC で展開されている様々な分野の最新の研究を、他分野のひとにもわかるように紹介する「サイエンストーク」を実施している。
- ・ 茨城大学理工学研究科に設置された量子線科学専攻ビームライン科学コースの講義シリーズ「ビームライン特別講義」などに講師を派遣、人材育成に協力している。
- ・ J-PARC センター会議で紹介されたサイエンストークの中で、マッチした研究を JAEA 先端研でのセミナーに紹介し、研究の連携を広げている。
- ・ 研究者コミュニティの分野的な広がりとして、次のようなことがあげられる。
- ・ 素粒子・原子核分野では、スーパーコンピュータ「京」における宇宙の基本法則と進化の解明のシミュレーションと J-PARC における実験の密接な連携がなされている。

- ・ 中性子産業利用推進協議会、J-PAR CMLF 利用者懇談会が開催している 10 分野の研究会及び講習会の幹事または講師として参加し、幅広いユーザーの取り込みを図っている。
- ・ こうした取組は、前述した開かれた環境作りにより、一層発展することが期待されている。特に、研究会の開催や共同実験と通してネットワークを形成するためには、開かれた環境づくりが非常に重要で、早急な整備が必要である。

⑤ 社会・国民の信頼と支持を得るための活動の強化

- ・ 安全に係る取組では、ハドロン実験施設で自主的に始めた外部の専門家（労働安全衛生コンサルタント）の活用や安全体感教育の実施が J-PARC 全体に波及して、J-PARC の安全管理・活動の向上に大きく貢献している。
- ・ KEK 及び JAEA とともに一体感のある的確な情報発信を行うために、KEK つくばの広報室、JAEA の広報課・報道課とは人事交流を含む緊密な連携を行っている。定期的開催される広報担当者の連絡会である KEK の「広報フォーラム」及び JAEA の「広報担当課長会議」には広報セクション員がそれぞれの構成メンバーとして参加しており、課題を共有しつつ密接に協力しながら広報活動を行う体制が取られている。
- ・ プレスリリースについては、外部の利用者と共同で行う数も増加している。また、大学や産業界と連携した情報発信を強化するために、季刊誌「J-PARC」では大学や産業界の研究者の研究を多数取り上げて紹介し、施設公開などの広報イベントにおいても大学や産業界の研究者による講演や特設ブースの設置なども行うことにより一体的な情報発信に努めている。
- ・ T2K 実験を通じて関係の深い岐阜県飛騨市とは広報活動においても連携している。スーパーカミオカンデの施設見学を行う飛騨市のイベント「ジオスペースアドベンチャー」には 2017 年度（平成 29 年度）より J-PARC もブースを設けて参加している。また、2017 年（平成 29 年）の J-PARC の施設公開では、飛騨市による J-PARC 見学ツアーが企画され、多くの市民が参加した。
- ・ 東海村で毎月開催しているサイエンスカフェは、地元住民を中心に 20～30 名の参加者が集まるが、単なる講演会ではなく研究者と参加者との双方向のコミュニケーションに重点を置いたイベントである。毎回好評でリピーターも多い。
- ・ 原科研の事業説明の一環として、J-PARC の研究計画を東海村の議会や J-PARC に隣接する宿地区で毎年実施している。また、東海村内の地区代表者を J-PARC に招いて研究者と交流する「地域住民懇談会」も毎年実施している。これらは地元住民の意見を直接聞いて信頼関係を築く上で重要なイベントである。
- ・ 2015 年（平成 27 年）に民間企業が「MLF」「SPRING-8」「京」を活用することにより開発したタイヤ用新材料開発技術は、これらの三施設と民間企業とが共同でプレスリリースした成果であり、学術研究の大型施設プロジェクトが連携して行った情報発信の一例である。ちなみにこの技術は低燃費性能とグリップ性能を高次元で維持しながら耐摩耗性能を従来品から 51%向上した、新しいエコタイヤとして 2016 年（平成 28 年）に

製品化されている。なお、同社からは施設公開においてもブース展示、講演などの協力を得ており、国民の理解にも大きく貢献している。

⑥ 高エネルギー加速器研究機構と JAEA の連携加速

- ・ MLF においては KEK の大学共同利用と JAEA の共用促進利用の 2 種類の制度のもとで課題公募と選定を行っているが、後述するように窓口を一本化してユーザーが制度の違いを意識しなくて済むような運用を行っている。
- ・ 新規利用者拡大のため、2012 年度（平成 24 年度）からトライアルユース制度（初心者優先制度）によるビームタイム枠を設置し、2015 年度（平成 27 年度）以降は NewUserPromotion 制度として実施している。また、新規利用者に対する継続的な相談・技術支援など、サポート体制を充実させている。
- ・ 現在、専用ビームラインを含む各ビームラインに新たに共用ビームタイム枠を設けることを検討している。
- ・ MLF は JAEA、KEK と登録機関 CROSS の協力で運営しているが、ユーザーから見て一体的な運営、また組織の壁を超えた効率的な運営により成果を最大化することを目指して、「MLF 運営体制タスクフォース（仮称）」を立ち上げている。
- ・ 中性子の産業利用を促進するため、中性子産業利用推進協議会の設置や産業界の利用者向けの講習会等の開催、KEK が設置するビームラインにおける産業利用の受付を新たに開始する等の取組を行っており、産業利用率は実施課題数において約 3 割と高い利用水準を維持している（2012 年度（平成 24 年度）～2017 年度（平成 29 年度））。
- ・ 2016 年度（平成 28 年度）から、民間企業の研究員が J-PARC に常駐する「企業ポスドク制度」を設置しており、2017 年度（平成 29 年度）から 1 名を受け入れている。2018 年度（平成 30 年度）からは、更に 1 名を受け入れている。

4. 計画の進捗評価と今後の留意点

今回の進捗評価にあたっては、時期的にやや先行して実施された科学技術・学術審議会大強度陽子加速器施設評価作業部会（研究計画・評価分科会量子科学技術委員会、同分科会原子力科学技術委員会及び学術分科会研究環境基盤部会の下に合同設置。以下、「評価作業部会」という。）による中間評価の結果を踏まえて実施した。評価作業部会において実施された現地調査の内容を調査委員からの報告として当作業部会でも確認するとともに、評価作業部会と当作業部会で重複しない評価の観点については、高エネルギー加速器研究機構に書面資料の作成を依頼し、ヒアリングによって内容を確認した。

（１）計画の進捗状況を踏まえた評価

本計画においては、国内外の共同研究、国際協調体制が構築され、明確な科学目標のもと、国際的合意に基づき運用体制が整えられている点は評価できる。また、複合施設であるJ-PARCにおいて様々な研究が展開され、その多様性が高い水準で保持されていることは特に評価できる。近年、世界的にも高い評価を得る研究成果を上げており、ニュートリノ実験施設における2015年（平成27年）のミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの変化を世界に先駆けて発見したこと、並びに、2017年にニュートリノと反ニュートリノのCP対称性の破れの兆候の発見は、特筆すべき優れた成果と言える。ニュートリノ実験施設が掲げていた科学目標において、電子ニュートリノの出現現象を発見するという段階は前者の成果によって明確に達成され、目標に対して順調に研究が進展している。

ハドロン実験においては、原子核の「荷電対称性」がストレンジ粒子と呼ばれるラムダ粒子を加えると大きく破れることが2015年（平成27年）に発見され、また、中性子・ミュオン物質生命科学実験では中性子線を利用し、シリコンを使用しない太陽電池の設計に大きな進展をもたらしたことや、ミュオンを用いて発火しにくいリチウム電池を実現するための研究が大きく進展するなど、各実験において優れた成果を上げている。また、2015年に理化学研究所SPRING-8、同スーパーコンピュータ「京」とJ-PARCを連携活用させたタイヤ用の新材料開発技術確立し、翌年には低燃費で耐摩耗性に優れた高性能タイヤの開発・製品化に寄与している。このような中性子・ミュオン物質生命科学実験における産業利用割合は2012年～2017年において約3割であり、中性子産業利用推進協議会の設置など積極的な外部利用の促進が図られているとともに、イノベーション創出や産業競争力の強化にも貢献しているといえる。

また、他の研究機関との積極的な連携・共同研究の実施により着実に研究者コミュニティに分野的な広がりが生じている。素粒子原子核分野では、スーパーコンピュータ「京」の宇宙基本法則と新解明のシミュレーションと、J-PARCの実験結果の密接な連携がなされている。このほか、大学からの共同利用・共同研究をより行いやすくするため、大阪大学、京都大学、九州大学など特に利用者の多い大学については、J-PARC内に各大学のJ-PARC分室を設置し、先端研究施設を用いた大学院教育、将来に向けた人材育成にも大きく貢献している。

前回、2015年（平成27年）の当作業部会の進捗評価書において指摘した2013年（平成25年）のハドロン実験施設における放射性物質の漏洩事故を踏まえた年次計画の見直しに

については、2016 年度（平成 28 年度）に当作業部会において高エネルギー加速器研究機構からの申出を受けて変更内容を承認したが、その計画に基づいて概ね順調に進捗していると評価できる。

（２）今後の事業の推進に当たっての留意点

上記の進捗評価を踏まえ、今後の事業の推進に当たり以下について留意が必要である。

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に示したことにも鑑み、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。

以上のことから、本プロジェクトの年次計画については、先般実施機関から申出のあった

変更の内容を踏まえつつ、本評価の内容、並びに我が国の厳しい財政環境及び「改善の方向性」において「大型施設計画については、施設整備後の運用年数も勘案し、適切な年限を別途定めることも可能とする」とされたことを勘案し、本作業部会において審議の上、決定した。

備考（用語解説等）

○ 遅い取り出し

加速器からビームを取り出す際にビームがリングを周回する時間に対して十分に長い時間をかけて少しずつ取り出す手法。MR ではハドロン実験施設へのビーム供給にこの手法が用いられている。

○ 速い取り出し

遅い取り出しに対して、加速器からビームを取り出す際にビームがリングを周回する時間と同程度の時間で取り出す手法。MR ではニュートリノビームラインへのビーム供給にこの手法が用いられている。

○ パルス当たりの粒子数

シンクロトロンでは、ビーム入射／加速／取り出しを一定の時間をかけて繰り返している。この繰り返しをサイクルと呼ぶ。シンクロトロンから下流の実験施設には1サイクルに1回、パルス構造を持つビームが送られる。MR ではこの1パルス当たりの陽子数が世界最大である。

○ T2K 実験

T2K は Tokai to Kamioka の略。J-PARC の大強度ニュートリノビームを約 295km 離れたスーパーカミオカンデ（岐阜県飛騨市神岡町）で検出し、ニュートリノ振動の精密実験を行う。T2K 実験の目標は、3 世代あるニュートリノの質量と混合の全容の解明等であり、宇宙の物質起源の謎解明へ向けた最初の一步となる可能性が指摘されている。

○ CP 対称性の破れ

反粒子の振る舞いは、上下左右を反転させた粒子の振る舞いと基本的には同じであるが、それらの振る舞いが異なる場合、CP 対称性の破れがあると呼ぶ。宇宙から反物質が消えた理由を解明する手がかりとなる。小林・益川理論はクォークと反クォークの振る舞いの違いを説明する理論。標準理論を超える新しい物理法則の多くが新たな CP 対称性の破れを引き起こす。

○ 高繰り返し化

加速器から取り出されるビームの強度は平均電流値に比例する。ビーム入射／加速／取り出しのサイクルにかかる時間を短縮することにより、単位時間あたりの電荷量（粒子数）を増やして平均電流値を上げることができる。MR では電磁石電源系や高周波加速系等の増強により1サイクルの時間を現行の 2.5 秒から 1 秒程度に短縮することを計画している。これを高繰り返し化と呼ぶ。

○ K 中間子

ストレンジクォークを含む中間子。K 中間子ビームを用いることによって、原子核内に「ストレンジネス」という量子数を持ち込み、ストレンジ核子（ラムダ粒子、グザイ粒子）を生成することができる。また、K 中間子の稀な崩壊から CP 対称性の破れの新しい起源を探る研究が行われている。

○ ストレンジネスをもつ原子核

普通の原子核を構成する核子（陽子、中性子）と「ストレンジネス」という量子数をもつストレンジ核子とで構成される新種の原子核のエネルギーレベルの測定などから、核子とラムダ粒子やグザイ粒子との間に働く力（ストレンジクォークにまで拡張された「より一般的な核力」、さらに中性子星内部などの極限状態における物質の性質の解明を行う。

○ ハイパー核

核子（陽子、中性子）とストレンジ核子（ラムダ粒子、グザイ粒子）とで構成される原子核を総称してハイパー核と呼ぶ。

○ エネルギー準位

量子力学において、原子、分子、原子核等の安定状態がもちうるエネルギーの値。

○ SNS

Spallation Neutron Source の略。米国エネルギー省傘下のオークリッジ国立研究所に設置された核破砕中性子施設。

○ NCI

Normalized Citation Impact の略。分野間の論文数等の不均衡を平坦化した、論文の被引用回数の指標。平均値は 1 となる。

○ S ライン・H ライン

MLF に設置されるビームラインの一つである S ラインでは、エネルギーが約 4MeV の正ミュオンを 4 つの実験エリアに輸送し、高時間分解能／極低温／パルス超高磁場・光励起等の特色ある実験装置を用いてのミュオン高度利用により最先端の物性科学、材料科学が推進される。H ラインでは、エネルギーが約 30MeV/c（4MeV 表面ミュオン）から 120MeV/c の正負ミュオン或いは電子を最終的には 4 つの実験エリアへ輸送可能にするビームラインが整備される。実験エリアでは、ミュオン異常磁気能率（ $g-2$ ）実験、ミュオニウム（正ミュオンと電子からなる水素原子のような状態）の超微細構造の精密測定、 $\mu-e$ 転換探索実験などの最高精度探索等の比較的長期間にわたる基礎物理実験が行われる。

○ ミュオニウム超微細構造の測定

ミュオニウムは正の電荷を持つミュオンのまわりを1つ電子が回っている水素原子とよく似た原子である。ミュオンも電子も構造を持たないため、その性質を精密に測定し理論と比較することが可能である。一方、ミュオンも電子も小さな磁石のような性質をもち、この二つの磁石が同じ向きか、反対向きかで非常に小さなエネルギーの差が出てくる、これを超微細構造とよび、これを正確に測定すること、基礎物理量であるミュオンの質量を精密に決定できる。

○ ミュオン異常磁気能率 $g-2$ /EDM の測定

磁気能率は素粒子の持つ固有の性質の一つで、ボア磁子と呼ばれる物理量と g 因子と呼ばれる量の積で表される。量子力学的な効果により g 因子の値は2からずれることがわかっており、このずれを「異常磁気能率」($g-2$)と呼んでいる。これまでよく理解されている量子電磁気学の効果に加えて、未知の新粒子があればさらにこの値のずれを引き起こす。 $g-2$ の値を測定した先行実験では、測定誤差の約3倍の大きさで理論の予想値と不一致であることが指摘されており、新しい物理現象の手がかりとして注目されている。

電気双極子能率(EDM)は、大きさが等しい正負の電荷が空間的に離れて存在することによって生じる電荷分布の偏りを表す物理量である。空間反転及び時間反転対称性を破ることが知られている。CPT 定理を用いると、CP 対称性を破ることを意味するため、新しい CP 対称性の破れの起源を探索する方法として期待されている。素粒子の電気双極子能率は標準模型で極めて小さい値が予想されており、現在までに有限の値は測定されていない。

H ラインでは、ミュオンを熱エネルギーまで減速・再加速し、コンパクトな磁石に蓄積するという、従来とは全く異なる方法を用いてミュオンの $g-2$ 及び EDM を世界最高精度で測定する実験を行う。

○ $\mu-e$ 転換探索実験

原子軌道に束縛された負ミュオンが電子に変化する反応を $\mu-e$ 転換と呼ぶ。この反応は素粒子の標準理論ではほとんど起こりえない。過去に行われた実験でも観測された事例はなく、反応確率の上限値がおよそ1兆分の1であると知られているだけである。その一方で、標準理論を拡張する理論では起こるのが自然であると考えられており、現在の実験上限値をわずかに改善するだけで発見できる可能性がある。標準理論を超えたより高いエネルギーにおける物理現象を研究する手段として、 $\mu-e$ 転換は世界的に注目されている反応である。

○ 透過型ミュオン顕微鏡

ミュオンのもつ極めて高い透過能力を、物質や生命の微細な構造や機能のイメージングへと応用した顕微鏡。電子顕微鏡では透かし見る事のできない分厚い試料、たとえば細胞まるごと1個や動作中の電池内部などを、電子顕微鏡の分解能で可視化することが期待されている。

高品質で明るいミュオン源と高い安定度のミュオン再加速が必要であり、J-PARC のミュオン科学実験施設(MUSE)において開発が進められている。

○ MUSE

Muon Science Establishment（ミュオン科学実験施設）の略。

○ 国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）のガイドライン

IUPAPの下部機関である International Committee for Future Accelerator (ICFA) が定めた国際的な大型加速器施設の利用ポリシーである。その中で、ホストする研究所側は加速器やビームラインの運転経費を実験チームには要求しない、とされている。

○ RaDIATE

将来の加速器の大強度化に対応した標的や窓材などを開発するために、加速器だけでなく核融合などの関連分野を含む世界の研究機関が参加して大強度ビームによる材料の放射線損傷を研究する国際コラボレーション。

○ NAC、MAC などの国際委員会

J-PARC では、International Advisory Committee (IAC) のもとに幾つかの国際諮問委員会を置いている。Neutron Advisory Committee (NAC)、Muon Advisory Committee (MAC)、Accelerator Technical Advisory Committee (ATAC) などがある。

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

(委員)

栗原和枝 東北大学未来科学技術共同研究センター教授

(臨時委員)

伊藤早苗 九州大学名誉教授、九州大学極限プラズマ研究連携センター顧問
中部大学客員教授

井本敬二 自然科学研究機構理事・副機構長、生理学研究所長

大島まり 東京大学大学院情報学環教授、東京大学生産技術研究所教授

川合知二 大阪大学産業科学研究所特任教授

小林良彰 慶應義塾大学法学部教授、慶應義塾大学社会科学データ・アーカイブセンター（SU）センター長

※鈴木洋一郎 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構特任教授

原田慶恵 大阪大学蛋白質研究所教授

横山広美 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構教授

(専門委員)

※田村裕和 東北大学大学院理学研究科教授

新野宏 東京大学大気海洋研究所客員教授

松岡彩子 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所准教授

観山正見 広島大学特任教授

安浦寛人 九州大学理事・副学長

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

中家剛 京都大学大学院理学研究科教授

(敬称略、五十音順)

※ 鈴木委員、田村委員は、「大強度陽子加速器施設（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」の利害関係者であるため、評価には参加していない。