

令和4年3月9日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門
部門長 大井川 宏之

J-PARC 研究開発・評価委員会委員長

研究開発課題の評価結果について（答申）

令和3年9月13日付け、[令03原機（J）001]により諮問がありました下記の事項について、別紙1及び別紙2のとおり結果を答申します。

記

〔答申事項〕

- ・ 第3期中長期計画における「J-PARCにおける加速器、中性子源、中性子利用装置・検出器などの高度化にかかる研究開発に関する事項」の事後評価
- ・ 第4期中長期計画における「J-PARCにおける加速器及び中性子源の高度化にかかる研究開発に関する事項」の事前評価

第 3 期中長期計画の事後評価について

総合評点：S

評点：「研究開発成果の最大化」に向けて

S：特に顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。

A：顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。

B：成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められ、着実な研究開発運営がなされている。

C：より一層の工夫、改善等が期待される。

D：抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。

(1) 加速器に係る研究開発：評価 S

加速器分野では、1MW 運転の達成、90%以上の稼働率という目標を達成し、これに向けた取組みにおけるスピノフ技術、若手人材の育成、国内外の連携などが高く評価された。以下に委員のコメントを示す。

- J-PARC 加速器は、研究開発目標である 1MW の安定運転を達成し、90%以上の非常に高い稼働率で安定した運転を行いつつ、徐々に出力を上げていったことが大きな成果といえる。ビームダイナミクスの深い理解によるビームロスの低減と、イオン源の長寿命化は、この成果に対して重要な貢献を果たし、この経験は 1MW の継続的な安定運転が実施される際にも重要な役割を果たすべきである。
- RCS でのビームロスを 0.2%に抑え、1MW のビーム出力を実証したことは、世界の加速器コミュニティにおけるブレークスルーであり、高く評価できる。
- 工学的信頼性の「バスタブ」曲線と比較すると、加速器は現在、曲線の底の平坦な部分にあり、信頼性の高い運転ができる状態にある。
- J-PARC の研究開発の成果は、基礎研究からスピノフしたものであり、現代社会にとって有益なものである。たとえば、省エネ・省力化デバイスは SDGs の推進に貢献し、高真空システムは産業界にも汎用な技術となる。加速器技術の開発において、より広い社会に対して顕著な影響力を発揮したといえる。
- がん治療 (BNCT) 用加速器への応用においては、放射線治療に比べ必要な治療回数がはるかに少なく、患者に係る身体的・経済的負担が抑えられるため、患者の QOL (Quality of Life) が高くなると期待できる。
- 加速器グループの若手が学術賞を受賞するなど人材育成にも大きく貢献している。しかし、施設建設時の研究者・技術者が定年を迎え、技術の継承や、さらに長期の運営・発展させるのに必要なスキルベースを維持するのに十分なりソースが確保されている必要がある。
- 米国 SNS、Fermi lab、英国 RAL との国際協力は、大強度加速器の技術開発に関心をもち、特にビームロスの理解と制御において、その価値が証明された。J-PARC は世界でも有数の拠点施設であり、国内外との連携は当然であるが、緊密な国際協力体制により推進されていることを高く評価したい。
- J-PARC 加速器チームは、1MW 運転という目標の達成、高い稼働率での出力向上を果たし、世界の加速器コミュニティに大きな影響を与えた。加えて、素粒子・原子核物理、医学研究を含む幅広い実験にも貢献した。スピノフ技術を含め、成果の波及や普及

に努めたことは高く評価できる。

(2) 中性子源に係る研究開発設備：評価 A

中性子源分野でも、1MW 運転の達成、90%以上の稼働率という目標を達成したことが評価された。また、ターゲットの損傷からの克服、新たなターゲットの開発に至る道筋を示し、その結果を報告してきたことが高く評価された。以下に委員のコメントを示す。

- 中性子ターゲットは、実際の運転でなければ評価することができないため、開発は極めて慎重でありかつ難しい。大型施設の性能を最大限に引き出すための技術的な挑戦により失敗もある。運転中の熱応力による溶接部の深刻な損傷という問題に遭遇した後、問題を克服して2017年から陽子ビーム出力を着実に増加させることができた。このような技術開発のアプローチが模範的であったことを高く評価する。
- 740kWでの安定したビーム運転が達成され、90%以上の非常に良好な稼働率を示している。1MW運転の達成については、次の中長期計画期間内に1MWでの安定運転の目標に向け、非常に期待できる成果であった。
- 中性子ターゲット／減速材の技術は、特定の応用分野に高度に特化したものであり、これらの開発が直ちに、スピノフイノーションにつながるとは期待されないが、オープンな文献に発表したこと、同種施設のターゲット技術に応用されたことは大きな貢献である。
- 人材の育成に関し、種々の教育／トレーニング段階にある若手を継続的に関与させていることは称賛に値する。中性子源の設計／運転に必要な専門技術は、極めて稀なものであるため、若手への継承は極めて重要な課題である。
- J-PARCは、米国SNS、英国ESS、国内外の大学や企業との開発において、非常に良好な協力関係を築いている。感染症による直接のコンタクトができない状況にあっても、有益な協力体制が有機的に働いて目標を達成したと評価できる。
- 中性子ターゲットの損傷からの克服について、国際検証委員会を立ち上げ、原因や対策を検討したことは高く評価したい。他国の中性子源にも参考になり、社会的・国際的に果たした役割は大きい。

(3) 中性子利用技術：評価 S

中性子利用分野では、中性子を利用した材料・物性などの応用研究のほか、これらを支える計測・分析技術の開発状況、感染症対策を発端とした遠隔化技術などの取組について評価を得た。以下に委員のコメントを示す。

- J-PARCが開発した測定器は世界的にも例のない特筆すべきものである。装置のアップグレード計画は、J-PARCが世界最先端を維持するために機能的に実施されており、検出器、スーパーミラー、スピノフィルターの開発に優先順位をつけて開発する姿勢は、装置性能を最大化するという目標によく合致している。
- DNA分光装置の性能は素晴らしく、この装置を活用した研究は、産業および社会へインパクトを与えている。また、論文などの成果発表件数が少ないものの、徐々に増加していることが確認できる。レベルの高い成果の発表をすべきである。
- MLFは産業界との連携に力を入れ、他国の施設と比較しても産業界の利用比率は高い。タイヤや固体冷媒、燃料電池のような開発例は研究がかなり迅速に新製品／改良に実装された比較的珍しい例であるが、様々な用途に中性子技術が活用できる具体的な良い例となった。
- J-PARCの中性子利用プログラムは、扱うテーマの広さ、関与するパートナー、社会へ

の貢献度において、世界トップクラスである。

- J-PARC は任期付研究員などを指導するとともに、職員を大学での講義等に派遣し、学生との交流の機会を提供して、高度な訓練を受けた人材の育成に取り組んでいる。このように、J-PARC が国際的な研究拠点であることを高く認識し、国際交流に基づいた人材育成を行っていることを評価する。
- 産業界のスタッフを MLF に置くというモデルは、既存のパートナーシップをより長期的に持続させることに成功しており、注目に値する。しかし、これは比較的大きな企業に限られるため、中小企業との協力においては、大学との 3 者間協力を含むなどの異なるモデルの提案が必要である。
- ANSTO や ESS などの国際的な連携・協力が強調され、相互の利益となるようにうまく機能している。また、研究者の個人レベルでの協力からの成果創出も重要である。
- タイヤ、固体冷媒、燃料電池など、基礎研究から応用科学に至るまで、社会的意義の高い研究に MLF が活用された。今後は、量子力学やトポロジカル材料など、物性物理学の話題性のある研究テーマにも活用を拡げるべきである。

以 上

第 4 期中長期計画の事前評価について

総合評価：妥当(1) 加速器に係る研究開発 評価：妥当

加速器分野では、①ビーム品質の向上、②さらなる高効率運転、③将来の加速器に向けた装置開発に関する研究開発計画を説明したところ、委員からは妥当であるとの評価をいただくとともに下記のようなコメントがあった。

- J-PARC を国際的に優れたユーザー施設として確立し、研究のフロンティアでエキサイティングな実験を可能にするためには、必須の課題である。カーボンニュートラル達成のための方策と、大規模施設の運営に必要な電力とのバランスを考えると原子力機構がこのような形でイノベーションを推進することは重要である。
- 1MW、90%という目標は挑戦的であるが、適切な設定である。これらの達成には、加速器のすべての構成要素をよく理解する必要がある、ビームダイナミクスコードとビームモニターの研究開発はこれらの目標を達成するために不可欠である。
- 高い稼働率を維持しながら、1MW 運転への段階的なアプローチを戦略的に優先させる研究開発戦略は合理的である。一方で、予備品の充実と機器の長寿命化対策、省エネルギー機器の開発努力は重要である。
- 欧米の大学・研究機関との連携は良好であり相補的である。これを継続すること、将来の高出力加速器の技術開発に関心を持つ国内外のパートナーとの協力の機会も広げるべき。
- 加速器の電源用に開発する省電力デバイスは、J-PARC の加速器に対するメリットだけでなく、加速器以外の電源への適用可能性があることや、装置の小型化などのイノベーションに結び付く重要な技術である。
- 機器の保護や冷却能力などのインフラの能力不足など、高出力運転の継続を制限する可能性のある問題にも焦点を当てる必要がある。
- 長い期間活用する施設であることを想定し、若い研究者を医療・超伝導などの研究テーマを遂行することで引き付けるのが良いだろう。

(2) 中性子源に係る研究開発設備 評価：妥当

中性子源分野では、①大強度ビームを照射したときの衝撃波緩和技術、②使用済ターゲットの減容技術、③陽子ビーム輸送系機器の改善に向けた研究開発計画を説明したところ、委員からは妥当であるとの評価をいただくとともに下記のようなコメントがあった。

- 長期的な施設運用を考えると、経済的・社会的に重要な点であるターゲットの長寿命化に向けた衝撃波緩和技術の研究開発は重要なテーマである。また、使用済ターゲットの廃棄物を減らすことで、環境負荷を軽減することができるため、これらは高い優先度で実施すべきものである。
- ビーム輸送系機器の改善については、ビーム平坦化の影響の検証に J-PARC が貢献することを期待するとともに、ビームロスや機器の放射化の低減、陽子ビーム窓の損傷評価とビーム診断の改善などに取り組んでほしい。
- これまでの開発の成功に裏打ちされた計画であり、非常に評価できる。安定運転を優先してビーム出力を増加させるとともに、中性子源の研究開発を組み合わせる戦

略は非常に良く考えている。

- 米国 ORNL の SNS 施設との国際協力は同種の技術的困難に立ち向かう上で、非常に重要な連携である。引き続き強固な連携を続けるべきである。また、大学をはじめとする基礎研究の機関との連携は、若い研究者の参加と研究開発の推進に重要である。
- ターゲットの長寿命化、廃棄物の減容に関する研究開発を通し、中性子を持続的に利用者に提供することは、ユーザーが様々な中性子実験から革新的な研究成果を生み出すことにつながるため、非常に重要な貢献である。

(3) 中性子利用技術 評価：妥当

中性子利用研究分野では、①MLFにおける先導研究、②中性子実験装置の高度化・維持・老朽化対策、③実験装置類の高度化を支えるデバイス開発、④自動化・遠隔化などの MLF 研究を支える技術整備や運用について説明した。委員からは妥当であるとの評価をいただくとともに下記のようなコメントがあった。

- J-PARC の中性子実験施設は、ハードマター、ソフトマター、非結晶、工学材料、エネルギー材料などの各分野に関連し、現代の重要な研究分野に質の高い研究で貢献する能力を備えているため、常に高い評価を得てきた。これは継続されるべきであり、かつ示されたビジョンは適切と評価できる。
- カーボンニュートラル技術に焦点を当てたことは時宜を得たものであり、賞賛に値する。データ駆動型科学、例えば機械学習による材料診断、効率的な測定、超解像、低カウンターの補完を進め、in-situ 実験、スピン偏極解析の一般化等を行う手法は、中性子実験にとって新しく、特徴を生かした成果が期待される。
- 研究者の育成と特任の研究者の導入など、研究の遂行に関する計画はよく練られている。さらに多くの人が J-PARC を使って研究するためには、優秀な研究者の育成と、大学等との連携が不可欠である。これは間違いなく日本の中性子研究力を強化するものであり、高い優先度を持つべきものである。
- 長期的に中性子研究分野を発展させるため、若手研究者については、単に任期付のポストを増やすだけでなく、経験を生かした就職の支援が不可欠である。
- MLF で実施するハードマター、ソフトマター、非結晶、工学材料、エネルギー材料などの研究は、イノベーションの可能性を秘めており、これらの研究開発を通じた企業とのコラボレーション強化が望まれる。

以 上