

平成26年3月31日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
理事長 松浦 祥次郎 殿

研究開発・評価委員会  
(核融合研究開発・評価委員会)  
委員長 寺井隆幸



研究開発課題の評価結果について（答申）

当委員会に諮問〔25原機（融）102〕のあった下記の研究開発課題の中間評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

記

研究開発課題「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」

以上

## 「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」の中間評価結果

当研究開発・評価委員会は、第1期中期計画の開始（平成17年10月）以降における核融合研究開発部門の「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」に関する活動実績及び研究成果に対し、毎年、年度評価を行い、進捗状況を確認するとともに、さまざまな改善点を指摘してきた。それらを十分に踏まえた上で、研究開発の必要性、有効性、効率性等の観点から重要と考えられる評価の視点に基づき、中間評価を実施したので、その評価結果をここに取りまとめる。

### I. 総合評価

中間評価期間では、ITER 建設や BA 活動が開始され、それらの実施計画に従って、適切に調達を実施してきている。また、六ヶ所での活動に関しても、設備の建設から始めて順調に整備を行ってきており、十分に妥当であると考えられる。一方、JT-60 解体に関しても、事故なく完了した。炉心プラズマ研究開発や核融合工学研究開発に関しても、震災等の影響を克服して、順調に実施されてきている。また、大学等との連携・人材育成に関しても活発に行われるとともに、重要な研究成果がたくさん得られている。以上のことから、これらの研究開発に関しては、計画の見直しの必要性はないと考えられる。今後は、引き続き、研究を継続するとともに、ITER の運転開始やポスト BA を想定した適切な研究計画を作成し、実施されることを期待する。

### II. 総合的な提言

本研究開発をより良いものにするため、以下に、総合的な観点に基づく提言を示すこととする。

#### (1) ITER 計画及び BA 活動

- ITER 計画及び BA 活動に関しては、大規模な国際協力事業として、行政側の努力により継続的な資金的サポートが得られたことを背景に、少ない人的リソースを有効に活用して事業が順調に進められた。このこと自身も我が国の技術ポテンシャルの高さを改めて世界に示した成果である。特に BA 活動に関しては良好な国際協力が成された好例と言える。BA 活動は 2017 年に終結するが、この成果を継続・発展できるような新たな計画が必要ではないか。

- ・ IFMIF/EVEDA 施設は貴重で重要なので、これを利用する枠組を設けて、かつ大学等との共同研究を実施できるように、計画を早急に作成して提案して頂きたい。
- ・ 現在、国際核融合エネルギー研究センターの計算機シミュレーションセンターでは、理論性能が 1PFLOPS を上回るスーパーコンピュータが順調に稼働しており、日本の核融合分野のシミュレーション研究の進展に大きく貢献している。特に、大学ではこれまで想定できなかった大規模シミュレーションの実施が本センターで可能となり、これによって大学でも世界的に競争力を持ったシミュレーションコードが開発されるに至っている。一方、本計算機は、平成 28 年度で終了予定であるが、それ以降が懸念される。これまでの当該分野の活動を引き続き継続するとともに、競争力を高めるためには、平成 28 年度以降の計算機資源の確保と大学を含めた全日本的な共同研究の実施体制の構築が重要である。これについての積極的な検討をお願いしたい。

#### (2) 炉心プラズマ研究開発

- ・ 炉心プラズマ研究に関しては、JT-60SA が 2019 年からスタートすることになっており、ITER の運転とフェイズを合わせることになるので、日本としてこの 2 つの装置にどのような体制で望むのか、今から検討し若手研究者の育成に励む必要がある。

#### (3) 核融合工学研究開発

- ・ 核融合工学研究にあっては、核融合研や大学との連携・役割分担が重要である。そのためには、所有する装置類については言うに及ばず、青森研究センターの使い勝手の向上（宿泊施設や交通手段など）を図ることも忘れてはならない。特に、現在核融合作業部会の下で検討されている原型炉開発のための技術基盤構築指針では、工学的課題解決が大きな比重を占めることになり、全日本的な役割分担の下での開発研究が推奨されると思われることから、連携体制の構築は重要である。

#### (4) 全体

- ・ 原型炉の研究開発戦略を検討している合同コアチームとの連携を強化し、全日本的な体制での原型炉開発の推進を図る必要がある。特に原子力機構においては、原型炉開発の基盤となる中核的な機器開発が期待されるので、そのための Post-BA 計画の立案・推進に邁進して頂きたい。
- ・ ITER 計画や BA 活動以外については、今後より一層原型炉対応の研究開発としてい

くことが重要である。この対応が、核融合研究開発の効率化を促進し、かつ国民からの支援につながるものと思われる。

- ・分野間の連携について、これまでかなり連携を拡大しており高く評価する。今後、より一層の連携を促進して、研究開発の更なる促進と高度化を図ってもらいたい。
- ・ITER 計画、BA 活動、炉心プラズマ研究、核融合工学研究の全般にわたって、優れた建設実績・研究成果を上げており、世界に先駆けた顕著な成果が数多く含まれる。ITER 計画・BA 活動における国内機関としての責務を十分に果たし、事業計画への震災の影響も最小限に抑えている。本研究の規模、長期に及ぶ実施期間、達成すべき課題の多様性・先導性を考えると最も懸念されるのが人員不足であり、部門内再配分に限らない、緊急度と長期的な展望の両方に基づいた拡充が望まれる。
- ・未来に向けての核エネルギー開発の一翼としての核融合開発は極めて重要な研究開発であり、安全性に対する国民の熱いまなざしの中に、また、今後想定される日本原子力研究開発機構の再編成の中にあって、政府・国民の理解を得て、核融合開発の更なる確固たる体制づくりと確実な研究開発資源の配分が可能となるような進展を期待している。

#### (5) 業務の進め方等

- ・国内連携および協力では、JAEA から大学等宛てに契約される共同研究の契約方式が、メーカー等の業務契約と混同して実施されており、非常に高圧的且つ一方的である。大学等は JAEA と対等の独法であり、予算削減の中をお互いに支え合っており、且つ国として事業を進めるためにこれらの共同研究事業がある、という共同研究の意味目的を業務課の契約業務の担当者に徹底的に叩き込むようにして、業務課の仕事のやり方を改善するべきであるところ、5年以上も経つのに一向に改善される様子が伺えないので、ご検討いただきたい。

#### (6) 機構改革について

- ・日本原子力研究開発機構の改組により、核融合部隊は新たな組織への統合が図られると聞いているが、移行に伴い現場の研究が遅滞することの無いよう、十分な配慮をして頂くことを望む。
- ・JAEA 改革の嵐の中で、なすすべもなく JAEA から切り離されることを甘受した責任は非常に大きく、現幹部は総退陣すべきである。JAEA から切り離されたため、原型炉の設計等将来の活動に大きな障害がでることは容易に想像でき、その責任は問われなければならない。

### Ⅲ. 個別評価

評価の視点ごとの評価結果、提言を示すこととするので、参考にして、「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」を進めていただきたい。

#### 1. 研究開発の進捗状況の妥当性

##### (1) ITER 計画及び BA 活動

###### 1) ITER 建設活動

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

〔評価結果 A:10 名全員〕

我が国が責任をもつ機器の調達においては、大きな研究開発を伴うものが多いが、計画通りあるいはそれ以上に進められて我が国の調達責任を果たしている。特に東日本大震災の影響による遅延を回復して計画を遂行したのは極めて高く評価できる。また、フルタングステンダイバータでの熱負荷試験を実施し、ITER 要求を世界に先駆けて実証するとともに高い受熱性能を実現し、フルタングステンダイバータ調達の可能性を示したことは特筆すべきである。また、国際協力プロジェクトであるための運営上および技術面での様々な困難な問題が生じてはいるが、国際的な合意を得ながら着実に進めている点を高く評価する。

###### 2) 幅広いアプローチ活動 (IFERC&IFMIF)

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

〔評価結果 A:10 名全員〕

国際核融合エネルギー研究センター及び材料照射施設の双方において、着実に計画を遂行している。また、計算機シミュレーションセンターでは、1PFLOPS を上回るスーパーコンピュータを定常的に稼働させるとともに、日本人研究者も 100 名強参加をするなど、大学を含む国内の核融合シミュレーション研究基盤を支える中核的存在となっただけでなく、計画に従って順調に設備増強を行っている。また、Li 試験ループなどが東日本大震災で大きな損害を被ったにもかかわらず、それを克服して順調な進捗が達成されているほか、中性子増倍材等で予想を上回る進展が見られている。これらのことから、研究開発の進捗状況は十分に妥当である。なお、材料照射施設の加速器系については遅れが見られるが、EU 分担のインジェクター等の搬入の遅れによるものであり、機構側は

柔軟に対応しており、評価できる。

### 3) 幅広いアプローチ活動 (JT-60SU)

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:10名全員]

放射化した JT-60 の解体及び撤去を無事故・無災害で完遂するとともに、JT-60SA で再利用する関連機器の保守・改修を含む建設作業、トムソン散乱計測システムや干渉計などの計測機器開発等も着実に進められているほか、NBI 開発では計画目標を凌駕する幾つかの画期的な進展があった。震災による JT-60 装置解体の遅れや欧州側の TF コイル製作の遅れがあったものの、着実に研究成果が挙げられてきており、研究開発の進捗状況は十分に妥当である。なお、JT-60 解体では放射線施設解体についての貴重な記録が残され、将来に対する技術的遺産となるものと思量される。

### 4) その他 (国内連携・協力、国内研究との成果相互還流等)

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:8名、B:2名]

大学や公的機関、民間企業との連携・協力が活発であり、毎年多くの共同研究が実施され、順調に進捗している。具体的には、IFERC 事業で公募研究を中心として国内連携・協力体制が推進され、成果も出始めていることは高く評価できる。また、JT-60SA リサーチプラン活動を、欧州研究者、国内研究者とともに推進してきたことは高く評価できる。

## (2) 炉心プラズマ研究開発

### 1) 燃焼プラズマ制御研究、定常高ベータ化研究、予測コードによる評価

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:8名、B:2名]

JT-60 実験の停止にともない、実験家にとっても厳しい環境にあるが、その状況下でも JT-60 の実験データから多くの成果が出ていることは高く評価できる。また、この間、理論・シミュレーション研究の進展とともに、解析能力が格段に向上し、それらに基づいて過去の JT-60 の様々な現象のスケーリング則が構築されたり、外国装置への実験参加を通して JT-60 で見出した現象を追試したり、様々な物理成果を挙げている。これらのことから、研究開発の進捗状況は妥当であると判断される。

## 2) 理論・シミュレーション研究

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:10名全員]

ヘリオスや「京」を使った大規模シミュレーションを中心として最先端の研究成果を挙げている。具体的には、理論・シミュレーション研究では、グローバルなジャイロ運動論やジャイロ流体理論に基づく数値コード開発、数学理論に基づいたMHD研究などが着実に進展している。また、これらの第一原理シミュレーションは、超並列計算を志向した計算科学の進展にも貢献している。また、高エネルギー粒子駆動のMHD特性やそれによる高エネルギー粒子輸送、ディスラプション時の逃走電子挙動、電子系の乱流輸送特性など、燃焼プラズマに焦点を絞った理論・シミュレーション研究が着実に進展している。これらから、研究開発の進捗状況は十分に妥当であると評価される。

## 3) その他（大学等との連携・協力、人材育成等）

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:8名、B:2名]

若手対象の研究会、成果発表、核融合フォーラム等の活動により、国内の大学等との連携・協力、人材育成等の進展があった。またITER計画活動の支援についてもきめ細かい活動が行われてきている。さらに、理論・シミュレーショングループでは、NEXT研究会などを含め、少ないスタッフで大学との共同研究を実施し、日本における核融合理論・シミュレーション分野の人材育成に貢献している。また、リサーチプラン活動を、欧州研究者、国内研究者とともに推進してきたことは高く評価できる。今後、共同研究者の利便性を更に高め、より高度な成果が可能となるような整備に期待したい。

## (3) 核融合工学研究開発

### 1) 増殖ブランケット開発研究、構造材料開発研究

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:8名、B:2名]

テストブランケット試験に向けた準備作業が適切に行われている。また、低放射化フェライト鋼の重照射実験、実機規模の厚材作製および中性子増倍材の製造で大きな進展があった。さらに、トリチウム増殖材のためのLi確保を目的として開発された海水からのLi回収技術は、他の多くの分野にも波及する大きな成果であるが故に反響も大き

く、多くのマスメディアによって報道された。

## 2) 基礎的核融合工学研究、炉システム研究

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:7名、B:3名]

東日本大震災による被災を克服し、順調に成果を挙げている。FNS（核融合中性子源）においては施設の復旧に1年を要したが、平成23年度に予定した実験を平成24年に再開し、震災による中期計画の遅れを、平成24年度、平成25年度、平成26年度で回復した。また、対照射性改良材料の良い試験結果は高く評価できる。また、炉システム研究では、安全性を考慮した原型炉ブランケット概念の構築を開始したことは高く評価できる。

## 2. 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方などの見直しの必要性（継続、変更、中止等の決定）

### (1) ITER 計画及び BA 活動

#### 1) ITER 建設活動

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:9名、B:1名]

震災の影響を乗り越えるとともに、超伝導性能低下などによる計画の遅延なども適切な設計変更で克服するなど、情勢変化に対応した研究開発が適切になされている。これらの実績を踏まえ、基本的に継続すべきである。見直しは特に必要ないと考えられるが、引き続き、UITを通して、ITER計画の遅れを挽回できるように、活動を行っていただきたい。

#### 2) 幅広いアプローチ活動（IFERC&IFMIF）

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:9名、B:1名]

東日本大震災やEUからの納品遅延など情勢変化に対応して、適切に研究開発が進められている。このまま継続することを勧める。なお、IFMIF/EVEDAは2017年度に終了するが、この施設を利用する新たな計画を早急にまとめ、提案すべきである。

### 3) 幅広いアプローチ活動 (JT-60SU)

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:10名全員]

震災等による JT-60 解体作業の遅れや EU 側の超伝導トロイダルコイル製作の遅れに対して、的確に計画の修正を行ってきており、特に見直しの必要はないと考えられる。ただし、JT-60SA の存在価値を示威するために、ITER のファーストプラズマより出来るだけ早くプラズマ放電を実施しなければならない。

### 4) その他 (国内連携・協力、国内研究との成果相互還流等)

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:9名、B:1名]

100 回を超える PCM など、日欧間の議論の体制が確立され、国際協力のもとでの統合プロジェクトが適正かつ円滑に推進されている。また、日欧間の意見や考え方の差異などを迅速・適正に調整する機能が醸成されている。特に見直しの必要性はないと思われるが、引き続き継続した努力を期待したい。ただし、IFMIF/EVEDA の共同研究は 2017 年度で終了するが、この装置の今後の利用に向けた共同研究の枠を別途設けるべきである。

## (2) 炉心プラズマ研究開発

### 1) 燃焼プラズマ制御研究、定常高ベータ化研究、予測コードによる評価

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:8名、B:2名]

震災の影響による計画の遅れに対して、運転・実験技術向上のための海外実験での交流等が適切に進められてきており、継続すべきである。ただし、実験研究者の実験経験の場を国内外に確保することが急務であり、数名の研究者が海外の装置での実験研究に参画しているが、まだまだ不十分である。また国内の LHD や大学のプラズマ実験装置へのより積極的な参画を強く促す必要がある。

### 2) 理論・シミュレーション研究

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:8名、B:2名]

将来の核融合炉運転シミュレーションコードの確立を目指して、継続すべきである。

ただし、ヘリオスや「京」に続く次期大型計算機の導入や利用に関して、早急に検討する必要がある。また、現在、理論・シミュレーショングループは、ITER-BA 計算機シミュレーションセンターの運営主体として六ヶ所村で活動を展開しているが、JT-60 を始め、燃焼プラズマ制御研究や炉心プラズマ研究の主体である那珂研とは地理的に離れている。理論・シミュレーション研究者が実験研究者と密接に議論を行う環境は理論・シミュレーション研究や実験研究の競争力に直結するとともに、特に、大学院生や博士研究員、若い研究者にとってはとりわけ重要である。このような情勢を鑑み、那珂研にも理論・シミュレーションの拠点を保有する体制の検討が望まれる。

### 3) その他（大学等との連携・協力、人材育成等）

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:8名、B:2名]

大学等との連携が幅広く行われてきており、継続すべきである。ただし、共同研究テーマに関しては、原型炉に貢献するものが望まれる。また、研究現場が六ヶ所であるため、大学との交流が容易でないことも事実である。このような現況も考慮し、理論・シミュレーションの拠点を那珂研にも保有するなどの検討も必要であろう。

## (3) 核融合工学研究開発

### 1) 増殖ブランケット開発研究、構造材料開発研究

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:9名、B:1名]

FNS や TPL 等での震災によるトラブルに対して、適切な対応がなされてきており、継続すべきである。TBM の実現に向けたより一層の努力を期待する。

### 2) 基礎的核融合工学研究、炉システム研究

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

[評価結果 A:8名、B:2名]

原型炉を目指した幅広い研究開発がなされてきており、継続すべきである。なお、ハード中心の研究開発と炉システム研究との内容における連携やそれぞれの成果のフィードバックが期待される。

### 3. 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分\*)の妥当性

\*)部門がおかれている境界条件の下で部門内で適切な予算配算ができているか（部門内での再配分）を判断対象とする。

#### 全体評価

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

[評価結果 A:8名、B:2名]

研究開発計画の進展に伴い、研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の必要があり、人員を ITER・BA 事業に集中する等適切に再配分が行われている。研究開発資金は交付金が大きく減額されているにもかかわらず、適切な再配分でなんとか乗り切ったといえる。東日本大震災や、国際事業の相手国の事情等予期せぬ事態も発生したが、適切な再配分により、現有技術・予算・人材の範囲内で遅延を最小とすることができた。特に産業界との協力体制を構築し、競争力向上、生産性向上に努めたことは特筆すべきである。

なお、ITER が実験フェーズに入ったとき、実験への日本人の積極的な参加や競争力を確保するには、若手研究者の育成を確実に行う必要がある。とりわけ、燃焼プラズマを予測・再現する理論・シミュレーション研究や解析研究の重要性は高く、日本で開発した様々なシミュレーションコードの標準化を図っていく努力も強く求められる。このため、ITER や JT-60SA の建設などのハードの側面とともに、日本国内の装置への実験参加を含む実験研究や理論・シミュレーション研究などのソフトの側面への資源配分が極端に低下することのないよう慎重に検討する必要がある。特に、人員については、大学との交流や参加を一層強める施策やそれを可能にする予算を検討することも必要であろう。

また、プラズマ科学研究が核融合炉開発において最も重要であることは論を待たないが、炉工学研究もまたそれに次ぐ重要性を持つものである。以前に比べて炉工学研究の重要性がより良く理解されてきているのは事実ではあるが、今少し多くの人的および財政的資源の投入が望まれると思量する。

IV. 個別評価のまとめ

1) 評価シート提出委員：計 10 名

2) 評価項目と評価基準

○研究開発の進捗状況の妥当性

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

○情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方などの見直しの必要性（継続、変更、中止等の決定）

(A 継続すべき B 見直しが必要だが継続すべき C 変更すべき D 中止すべき)

○研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性

(A 十分に妥当である B 妥当である C 概ね妥当である D 妥当でない)

3) 各評価項目に対して付けられた評価レベル

区分	対象分野	進捗状況	見直しの必要性	資源の再配分
ITER 計画 BA 活動	ITER 建設活動	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAB	AAAAAAAAAB
	BA (IFERC&IFMIF)	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAB	
	BA (JT-60SA)	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	
	国内連携協力他	AAAAAAAAAB	AAAAAAAAAB	
炉心プラズマ 研究開発	燃焼プラズマ制御	AAAAAAAAAB	AAAAAAAAAB	
	理論・シミュレーション	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAB	
	連携協力/人材育成	AAAAAAAABB	AAAAAAAAAB	
核融合工学 研究開発	増殖ブランケット	AAAAAAAAAB	AAAAAAAAAB	
	工学/炉システム研究	AAAAAAAABB	AAAAAAAAAB	