

核融合科学技術分野に関する 研究開発課題の中間評価結果

令和6年3月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 委員等名簿

相澤	彰子	国立情報学研究所 副所長・教授
●五十嵐	仁一	ENEOS 総研株式会社顧問
菅野	了次	東京工業大学科学技術創成研究院特命教授、全固体電池研究センター長
栗原	美津枝	株式会社価値総合研究所代表取締役会長
田中	明子	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ長
原田	尚美※	東京大学大気海洋研究所教授、国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門招聘上席研究員
◎観山	正見	岐阜聖徳学園大学・同短期大学部・学長
明和	政子	京都大学大学院教育学研究科教授
村岡	裕由	国立大学法人東海国立大学機構 岐阜大学流域圏科学研究センター教授
村山	裕三	同志社大学名誉教授
出光	一哉	東北大学特任教授
上田	良夫	大阪大学大学院工学研究科教授
大森	賢治	大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所教授・研究主幹
上村	靖司	長岡技術科学大学技学研究院教授
佐々木久美子		株式会社グルーヴノーツ代表取締役会長
高梨	弘毅	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター長、東北大学名誉教授
土屋	武司	東京大学大学院工学系研究科教授
長谷山	美紀	北海道大学副学長、大学院情報科学研究院長
原澤	英夫	元国立研究開発法人国立環境研究所理事
宮園	浩平	国立研究開発法人理化学研究所理事／東京大学大学院医学系研究科卓越教授

◎：分科会長、●分科会長代理

※本評価には参加していない

核融合科学技術委員会委員

	氏名	所属・職名
主査	上田 良夫	大阪大学大学院工学研究科教授
主査代理	大野 哲靖	名古屋大学大学院工学研究科教授
	石田 真一※	量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー部門長
	植竹 明人	一般社団法人日本原子力産業協会常務理事
	尾崎 弘之	神戸大学大学院 科学技術イノベーション研究科教授
	葛西 賀子	フリージャーナリスト・キャスター
	柏木 美恵子※	量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー部門 ITER プロジェクト部 NB 加熱開発グループグループリーダー
	栗原 美津枝	株式会社価値総合研究所代表取締役会長
	小磯 晴代	高エネルギー加速器研究機構名誉教授
	兒玉 了祐	大阪大学レーザー科学研究所長
	高本 学	一般社団法人日本電機工業会専務理事
	中熊 哲弘	電気事業連合会原子力部長
	花田 和明	九州大学応用力学研究所教授
	吉田 善章	自然科学研究機構核融合科学研究所長
	吉田 朋子	大阪公立大学人工光合成研究センター教授

※ 石田委員、柏木委員は、評価対象課題に参画していることから、本評価には加わっていない。

「ITER計画（建設段階）等の推進」の概要

1. 課題実施期間及び評価時期

平成18年度～令和17年度以降

中間評価：平成22年度、平成28年度、令和5年度、令和10年度及び令和15年度(予定)

事後評価：令和18年度以降を予定

2. 研究開発目的・概要

次項のとおり。

3. 研究開発の必要性等

平成29年4月、研究計画・評価分科会において実施した、前回の中間評価結果の概要は以下のとおり。なお、「幅広いアプローチ（BA）活動（フェーズII）」の事前評価は令和元年8月に実施。

今後も国際約束により定められたスケジュールに基づきITER計画とBA活動を実施し、両プロジェクトの連携を図るとともに、国内では、大学、産業界を含めた全日本体制での連携に努めつつ、引き続き両プロジェクトの成功に向けて計画どおり取り組むべきである。その際、それぞれ特に以下のことに十分留意すべきである。

- ・ITER計画についてはこれまでのスケジュール遅延及びコスト増加の経験を十分に踏まえ、ITER機構及び日本を含む参加各極が密に協力してプロジェクト管理にあたるべきである。
- ・BA活動については2019年末を期限としているところ、これまでの実績を踏まえるとBA活動の継承と発展が原型炉に向けて有効かつ効率的であることから、原型炉に向けた課題とその優先順位を明確にした上で、2020年以降も日欧協力を継続していくべきである。

4. 予算（執行額）の変遷

（単位：百万円）

年度	H18(初年度)	…	H28	H29	H30	H31(R1)
予算額	1,401	…	30,341	26,924	25,578	27,620
執行額	1,401	…	25,935	23,651	22,181	24,651

R2	R3	R4	R5	翌年度以降	総額
26,066	34,496	33,467	29,753	—	—
23,275	27,657	29,940	—	—	—

5. 課題実施機関・体制

研究代表者 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 理事長 小安 重夫

主管研究機関 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

6. その他

令和5年4月、初の国家戦略として、「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」を策定。内閣府が政府の司令塔となり、関係省庁と一丸となって推進。

ITER (国際熱核融合実験炉) 計画

【概要】 エネルギー問題と環境問題を根本的に解決するものと期待される核融合エネルギーの実現に向け、国際約束に基づき、核融合実験炉 ITERの建設・運転を通じて、核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性の確立を目指す。

● **ITER協定** 2007年10月24日発効

● **経緯**

1985年 米ソ首脳会談が発端
 1988年～2001年 概念設計活動・工学設計活動(日欧米ソ)
 2001年～2006年 政府間協議
 2007年 ITER協定発効、ITER機構設立

● **参加極** 日、欧、米、露、中、韓、印

● **建設地** 仏、サン・ポール・レ・デュランス市 (カダラッシュ)

● **計画スケジュール**

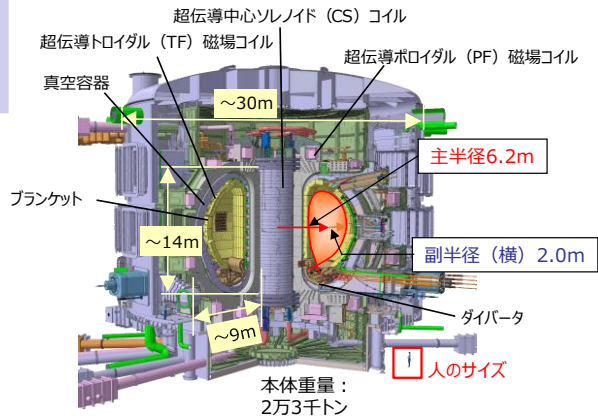
運転開始 : 2025年12月
 核融合運転開始: 2035年12月
 ※現在、スケジュール・コストを規定する基本文書(ベースライン)の見直しを図っている。



● **各極の費用分担(建設期)**

欧州、日本、米国、ロシア、中国、韓国、インド
 45.5% 9.1% 9.1% 9.1% 9.1% 9.1% 9.1%
 ※各極が分担する機器を調達・製造して持ち寄り、ITER機構が全体を組み立てる仕組み

● **ITER機構執行部** ビエトロ・バラバスキ機構長(伊)
 鎌田 裕 副機構長(日)



● **技術目標**

- ◇入力エネルギーの10倍以上の出力が得られる状態を長時間(300～500秒間)維持する。
- ◇超伝導コイル(磁場生成装置)やプラズマの加熱装置などの核融合工学技術を実証する。

● **主要パラメータ**

熱出力(発電はしない)	50万 kW
入力エネルギーに対する出力の割合	10以上
プラズマ体積	約840m ³

幅広いアプローチ(BA: Broader Approach) 活動

【概要】 日欧の国際約束に基づき、核融合エネルギーの早期実現を目指して、ITER計画を補完・支援するとともに、ITERの次の段階として発電実証を行う**原型炉(DEMO)に向けた必要な技術基盤**を確立するための先進的研究開発を実施する。

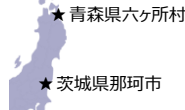
● **参加極** 日、欧

● **BA協定**※ 2007年6月1日発効
 (日、欧いずれかが終了を提起しない限り、自動延長)

※核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定

● **実施拠点**

青森県六ヶ所村、茨城県那珂市



● **経緯**

2005年6月 モスクワ共同宣言
 (ITERを欧州で建設するとともに、BA活動を日本で実施することが決定)
 2007年6月 BAフェーズI 開始
 (主要な研究環境の整備)
 2020年4月 BAフェーズII 開始
 (フェーズIで整備した研究環境を活用しつつ、装置の性能等を所期の目標に向けて高め、ITER計画を補完・支援する研究成果を創出)

● **費用分担(フェーズII)**

日欧はそれぞれ、年間50kBAUA※を上限とする額を貢献する。
 日本は更にホスト国として、日本側貢献総額の2/3以上を貢献。
 ※1kBAUA(BA会計単位)=約1.2億円(2022年4月現在)

● **実施機関**

日本: 量子科学技術研究開発機構(QST)
 欧州: Fusion for Energy(F4E)

● **各事業における具体的な取組内容**

① **国際核融合材料照射施設に関する工学実証・工学設計活動(IFMIF/EVEDA)** <青森県六ヶ所村>

- 核融合炉における高い中性子照射に耐える**材料の開発を行う施設**(核融合中性子源)の建設に向けて、原型加速器の性能実証や、中性子源の工学設計を実施。



② **国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)**
 <青森県六ヶ所村>

- 原型炉の概念設計、原型炉に向けた研究開発、ITERの遠隔実験、核融合計算シミュレーション研究**を実施。



③ **サテライト・トカマク計画(STP)**
 <茨城県那珂市>

- 臨界プラズマ試験装置JT-60を超伝導化改修した、世界最大のトカマク型超伝導プラズマ実験装置**JT-60SA**を建設・運転。
- JT-60SAは、令和5年10月23日に**初めてプラズマを生成し、運転を開始**。今後、ITER計画の技術目標達成のための**支援研究**や、**原型炉に向けた補完研究、人材育成等**に取り組み、将来の核融合炉の信頼性・経済性の実証に貢献することが期待されている。



※このほか、日本独自の取組として、原型炉の基盤整備に向けて、各種の取組(研究開発の加速、人材育成の強化、アウトリーチ活動等)を実施。

中間評価票

(令和6年2月現在)

1. 課題名 ITER計画（建設段階）等の推進

2. 関係する分野別研究開発プラン名と上位施策との関係

プラン名	核融合科学技術分野研究開発プラン
プランを推進するにあたっての大目標	環境・エネルギーに関する課題への対応（施策目標9-2） 概要：気候変動やエネルギー確保の問題等、環境・エネルギー分野の諸問題は、人類の生存や社会生活と密接に関係している。このことから、環境・エネルギーの諸問題を科学的に解明するとともに、国民生活の質の向上等を図るための研究開発成果を生み出す。
プログラム名	核融合科学技術分野研究開発プログラム 概要：ITER計画・BA活動を推進しつつ、原型炉開発のための技術基盤構築に向けた戦略的取組を推進するとともに、核融合理工学の研究開発等を進めることにより、フュージョンエネルギーの実現に向けた研究開発に取り組む。
上位施策	第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定） 第6次エネルギー基本計画（令和3年10月22日閣議決定） 統合イノベーション戦略2022（令和4年6月3日閣議決定） 経済財政運営と改革の基本方針2022（令和4年6月7日閣議決定）

プログラム全体に関連する アウトプット指標	過去3年程度の状況		
	令和2年度	令和3年度	令和4年度
我が国が調達責任を有するITER機器の製作の着実な推進	日本が調達責任を有するITER機器については、約95.6%の調達取決めを締結し、約69.5%の調達活動が完了しており、日本としての責任は適切に果たしている。		
核融合実験装置JT-60SAの組立工程の完了及び運転の開始	令和2年にJT-60SAの組立が完了し、令和5年5月に統合試験運転を再開した。同年10月には初のプラズマ生成に成功した。		
大型ヘリカル装置(LHD)における超高温プラズマの世界最高時空間分解能の計測	超高温プラズマのイオン速度分布や電子温度分布等の計測において世界最高の時空間分解能を達成した。		
予備的な原型炉設計活動と研究開発活動の完了	原型炉設計合同特別チームにおいて、「概念設計の基本設計」を構築した。予備的な原型炉設計活動に基づき、概念設計活動と研究開発活動を継続している。		
アウトリーチヘッドクォーターを通して多様な双方向型の交流の実施	アウトリーチヘッドクォーターを開催し、各機関が関連の各種イベントを開催した。		

プログラム全体に関連する アウトカム指標	過去3年程度の状況		
	令和2年度	令和3年度	令和4年度
ITER建設作業の進捗と 計画の着実な進展への貢献※ ¹	86%(12件/14件)	79%(11件/14件)	79%(11件/14件)
JT-60SAを含むBA活動の進捗と計画の 着実な進展への貢献※ ²	100%(14件/14件)	93%(13件/14件)	87%(13件/15件)
大型ヘリカル装置(LHD)の実験結果の ITER計画と原型炉設計の進展への貢献	プラズマの乱流を燃料混合やダイバータ熱負荷の分散化のために有効に利用する方法や、長時間定常放電に関わる突発的不安定性を抑制する方法など、炉心プラズマの高性能化を可能とし、ITER計画や原型炉設計に資する物理的知見を得た。		
原型炉の工学設計に向けた見通しの 把握	令和4年の第1回中間チェックアンドレビュー(CR1)において、原型炉概念設計の基本設計は達成したと判断され、今後の概念設計の完了への見通しを得た。現在、原型炉設計合同特別チームを中心に、原型炉の工学設計段階に向けた概念設計活動を継続し、移行判断までの課題と作業計画に基づき、研究開発活動の進捗状況を整理している。		
フュージョンエネルギー実現に向けた 社会の理解と支援基盤の構築	アウトリーチヘッドクォーターを中心に戦略的なアウトリーチ活動を行うための方策を検討してきた。その後、フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の策定を受けて、アウトリーチヘッドクォーターの体制強化と、国民と双方向的な交流や対話に基づいたアウトリーチ活動の行動計画を検討している。		

※1

ITER計画において、我が国が分担する機器製作等を担う国内機関である量子科学技術研究開発機構が
毎年度定める事業計画における機器製作や人材育成等の課題達成割合
(分母：課題数 分子：課題達成数)

※2

BA活動において、我が国が分担する機器製作等を担う実施機関である量子科学技術研究開発機構が
毎年度定める事業計画における研究開発活動や人材育成等の課題達成割合
(分母：課題数 分子：課題達成数)

3. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

ITER計画においては、日本が調達責任を負う機器の製作・納入が順調に進捗している。また、BA活動においては、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）、国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）、サテライト・トカマク計画（STP）の取組について着実に進展している。具体的な進捗は下記のとおり。

【ITER計画】

ITER計画は、世界7極（日・欧・米・韓・中・露・印）の国際協力に基づき、核融合実験炉ITER（国際熱核融合実験炉）の建設・運転を通じて、フュージョンエネルギーの科学的・技術的実現性の確立を目指す国際プロジェクトである。平成19年にITER協定が発効し、ITER機構が設立され、ITERサイトの建設が開始された。令和2年に組立を開始し、各極及びITER機構において、機器の製造や組立・据付けが進展している。新型コロナウイルス感染症や「世界初」の機器製作の技術的挑戦により、ITER計画に遅延が発生しているものの、日本担当機器の調達製造は、95.6%の調達取決めを締結するなど、適切に対応している。特に世界最大の超伝導コイルであるトロイダル磁場コイルについて、大型構造物の溶接技術を確立し、日本分担の9機全数を令和5年8月までに完成させ、12月までにITER現地サイトに納入した。

現在、ITER機構において、遅延からの回復及び将来のリスク緩和を考慮に入れつつ、ITERの核融合運転開始に向け、より良い組立工程を検討しており、令和6年に、ITER計画の日程・コスト等を定める基本文書「ベースライン」の最適化に向けて、ITER機構からITER理事会に対して提案がある予定であり、留意する必要がある。日本は、JT-60SAの組立て・据付けやITER機器調達に精通した職員をITER現地サイトに派遣し、ITER機構が実施する機器の組立て・据付け等の統合作業を支援するなど、ITERの組立工程の最適化やプロジェクト管理にも貢献しており、引き続き準ホスト国として、ベースラインの更新に責任を持って対応することを含め、ITER計画の推進を支援すべきである。

【幅広いアプローチ（BA）活動】

BA活動については、BA協定に基づき、令和2年4月からフェーズIIとして継続している。

①国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）

原型加速器の性能を段階的に向上させていく実証試験で、125mA、5MeVの重陽子ビームの短パルス加速試験に成功し、長パルス試験を実施中である。並行して、超伝導線形加速器の組立作業を実施中である。

②国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）

低放射化フェライト鋼のデータベース整備など原型炉設計・研究開発活動が進展した。また、実際のITERサイト設備のデータモニタリング試験などITER遠隔実験センター活動が進展した。

③サテライト・トカマク計画（STP）

令和2年から統合試験運転を開始し、全てのコイルが超伝導化することを確認した。令和3年3月に発生した絶縁不具合のために統合試験運転を中断したが、不具合箇所及び類似箇所の絶縁強化と耐圧試験を実施した。令和5年5月に統合試験運転を再開し、令和

5年10月23日に初プラズマ生成に成功した。令和6年2月のITER技術調整会合等において、JT-60SAの統合試験運転で得られた知見をITER機構に共有し、リスク低減に貢献した。

(2) 各観点の再評価

<必要性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
国が関与する理由	定性的	評価項目で挙げられる理由等が認められるか。	前・中
我が国の科学的・技術的ニーズの反映			
国際的視点からの必要性			

フュージョンエネルギーは、エネルギー問題と地球環境問題を同時に解決する次世代のエネルギーとして期待されており、ITER計画等の推進を通じて、国際協力の下、科学的・技術的実現性の確立を目指す意義は大きい。我が国はITER計画において主要機器を担当するとともに、BA活動を通じて原型炉開発に必要な取組を行っていることから、フュージョンエネルギーに必要なコア技術を獲得するためには、両活動を引き続き推進することが重要である。

なお、米国や英国の政府は、フュージョンエネルギーの産業化を目標とした国家戦略を策定し、自国への技術の囲い込みを開始しており、発電の実現を待たずして産業化への競争が既に生じている。技術を提供するだけで産業化に遅れ、結果的に市場競争に敗れることがないように、従来のITER計画/BA活動からの原型炉開発というアプローチを強力に推進するとともに、ITER計画/BA活動等で培った技術も活用し、産業化に向けた他国の動きに遅れをとることないように、多面的なアプローチが必要である。

以上の取組により、国が関与する理由等の観点から、必要性は十分にあると評価できる。

<有効性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
研究開発の質の向上への貢献	定性的	評価項目で挙げられる貢献等を実現しうるか。	前・中
実用化・事業化への貢献			
核融合科学技術分野における高度人材育成			
見込まれる波及効果等			

ITER計画は建設段階にあるが、超伝導コイル、加熱装置、遠隔保守機器、プラズマ計測装置など、世界初となる機器の製作に加え、大型装置の統合設計や組立のための技術開発を

伴うため、将来の核融合炉に必要となる知見の蓄積や製作技術の発展が期待できる。特に本格的な核融合運転で得られる知見は、原型炉の実現に大きく貢献するものである。なお、令和4年に行われた「核融合原型炉研究開発に関する第1回中間チェックアンドレビュー報告書」においても、目標が達成されていると判断されたところである。今後、ITER計画やBA活動などの研究開発の進展に伴い、超伝導技術、中性粒子入射技術、高周波技術、大型機器の精密製造技術等の向上が期待され、超伝導線材の大量生産や医用工学等への応用による新しい産業や市場の創出に寄与することも期待される。

人材育成の観点では、我が国からITER機構に42名の人員を派遣（令和5年3月末時点）しており、副機構長をはじめ、ITER機構内の重要なポストに配置されている。ITER機構で経験を積んだ人材は、我が国の主導性の確保に貢献することが期待される。なお、将来を担う若手・中堅職員数を増加させるためには、子弟の教育環境を向上することが不可欠である。そのため、ホスト国であるフランス側が設置するPACA国際学校の教育環境の向上を働きかけるとともに、現在の職員や将来の職員候補のニーズも踏まえ、関係機関と連携し、教育環境を更に充実することが期待される。さらに、人材の戦略的な育成のため、産業界やアカデミアからの若手人材を、ITERやJT-60SA等に派遣する取組を推進していくことが重要である。

以上の取組により、研究開発の質の向上への貢献等の観点から、有効性は十分にあると評価できる。

<効率性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
計画・実施体制の妥当性	定性的	計画・実施体制、目標・達成管理の向上方策、費用構造や費用対効果の向上方策等が適切に構築されているか。	前・中
目標・達成管理の向上方策の妥当性			
費用構造や費用対効果向上方策の妥当性			

ITER計画は、7極の首席政府代表等で構成される理事会の下、令和4年10月に就任したバラバスキ機構長や鎌田副機構長が、執行部として実施体制を構築している。BA活動は、日欧の首席政府代表等で構成される運営委員会の下、3つのプロジェクトを日欧共同で推進している。国内では、大学、産業界等で構成される原型炉設計合同特別チームを組織し、実施体制を整備している。原型炉開発に向けて、まずはITER計画の国内機関及びBA活動の実施機関として指定されている量子科学技術研究開発機構を中心に、アカデミアや民間企業を結集して技術開発を実施する体制を構築するとともに、進展に応じて適切な体制とすることが求められる。

なお、現在、ITER機構において、新型コロナウイルス感染症や世界初の機器製作の技術的挑戦により発生した遅延からの回復、将来のリスク緩和を考慮に入れつつ、ITERの核融合運転開始に向け、より良い組立工程を検討しており、令和6年に、ITER計画の日程・コスト等を定める基本文書「ベースライン」の最適化に向けて、ITER機構から提案がある予定である。核融合科学技術委員会において、ITER計画・BA活動を含む、フュージョンエネルギーの推進

に向けた活動全般について俯瞰的な観点から、別途、補完的に議論を行う必要がある。

以上の取組により、計画・実施体制等の妥当性の観点から、効率性は十分にあると評価できる。

(3) 科学技術・イノベーション基本計画等の上位施策への貢献状況

第6期科学技術・イノベーション基本計画では、多様なエネルギー源の活用等のための研究開発・実証等を推進することとしており、「核融合等に関する必要な研究開発や実証、国際協力を進める」旨が明記されている。また、令和5年4月に統合イノベーション戦略推進会議で決定した「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」では、「従来の ITER 計画/BA 活動からの原型炉開発というアプローチを強力に推進する」旨が記載されている。

(4) 事前評価結果時の指摘事項とその対応状況

前回の中間評価結果の際には、「今後も国際約束により定められたスケジュールに基づき ITER 計画と BA 活動を実施し、両プロジェクトの連携を図るとともに、国内では、大学、産業界を含めた全日本体制での連携に努めつつ、引き続き両プロジェクトの成功に向けて計画どおり取り組むべきである」と指摘された。ITER 計画については、バラバスキ機構長や鎌田副機構長が JT-60SA の経験も活かしつつ、執行部として実施体制を構築しており、ITER 機構と各極国内機関の統合によるプロジェクト管理を更に進展させるため、組織改革に取り組んでいる。BA 活動においては、JT-60SA が初プラズマを達成するなど、日欧の緊密な協力に基づき、各種取組が進展した。国内では、原型炉設計合同特別チームや JIFS (JT-60SA International Fusion School) 等を通じて、アカデミアや企業等との連携に努めている。

(5) 今後の研究開発の方向性

本課題は「**継続**」、「中止」、「方向転換」する。

理由： ITER 計画等は、科学技術・イノベーション基本計画等でもその意義は明確に位置付けられており、引き続き、ITER 計画等を通じてコア技術を獲得することが求められる。今後は、「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」も踏まえ、実験炉である ITER から得られる様々な知見を活用し、将来の原型炉開発を見据えた研究開発を加速するとともに、産業化に向けた他国の動きに遅れをとることなく、ITER 計画等で培った技術の伝承・開発や産業化、人材育成を見据えた取組を強化していくことが重要である。

(6) その他

令和6年に、ITER 機構より各極に対して、ITER 計画の「ベースライン」更新に係る提案が行われる予定である。核融合科学技術委員会において、提案の妥当性や、原型炉研究開発ロードマップ等への影響など、ITER 計画・BA 活動を含む、フュージョンエネルギーの推進に向けた活動全般について俯瞰的な観点から、別途、補完的に議論を行う必要がある。