

「ITER 計画（建設段階）等の推進」 の中間評価結果（案）

平成29年1月

核融合科学技術委員会

核融合科学技術委員会委員

	氏名	所属・職名
主査	小川 雄一	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
	堀池 寛	福井工業大学工学部原子力技術応用工学科教授
主査代理	五十嵐 道子	科学ジャーナリスト
	海老塚 清	日本電機工業会専務理事
	大野 哲靖	名古屋大学大学院工学研究科教授
	岡野 邦彦	慶應義塾大学大学院理工学研究科特任教授
	尾崎 博	富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部発電プラント事業部原子力技術部長
	川岸 京子	物質・材料研究機構主幹研究員
	草間 義紀	量子科学技術研究開発機構那珂核融合研究所副所長
	佐藤 克哉	日本原子力産業協会常任理事
	高梨 千賀子	立命館大学大学院テクノロジー・マネジメント研究科准教授
	竹入 康彦	自然科学研究機構核融合科学研究所所長
	福山 淳	京都大学大学院工学研究科教授
	村上 泉	自然科学研究機構核融合科学研究所教授

※ 草間委員は、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～平成47年度以降

中間評価 平成22年度、平成28年度、平成33年度、平成38年度及び平成43年度(予定)

事後評価 平成48年度以降を予定

2. 研究開発概要・目的

次頁、次々頁のとおり。

3. 予算（執行額）の変遷

年度	H18(初年度)	H19	H20	H21	H22	H23
予算額	1,401 百万	5,382 百万	10,298 百万	13,588 百万	11,545 百万	24,381 百万
執行額	1,401 百万	5,382 百万	9,972 百万	11,758 百万	12,924 百万	11,282 百万
(内訳)	ITER 計画 1,294 百万 BA 活動 107 百万	ITER 計画 2,810 百万 BA 活動 2,572 百万	ITER 計画 4,347 百万 BA 活動 5,625 百万	ITER 計画 5,794 百万 BA 活動 5,964 百万	ITER 計画 5,611 百万 BA 活動 7,313 百万	ITER 計画 5,325 百万 BA 活動 5,957 百万

H24	H25	H26	H27	H28	翌年度以降	総額
22,264 百万	25,165 百万	24,622 百万	22,066 百万	22,802 百万	—	—
23,100 百万	34,141 百万	27,070 百万	22,474 百万	—	—	—
ITER 計画 18,765 百万 BA 活動 4,335 百万	ITER 計画 29,403 百万 BA 活動 4,737 百万	ITER 計画 23,591 百万 BA 活動 3,479 百万	ITER 計画 18,949 百万 BA 活動 3,525 百万	ITER 計画 — BA 活動 —		

4. 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 平野 俊夫

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

5. その他

ITER(国際熱核融合実験炉)計画について

【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・技術的実現可能性を実証。

●**ITER協定** 2007年10月24日発効
(協定発効から10年間は脱退することはできない)

●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
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・カダラッシュ

●各極の費用分担(建設期)

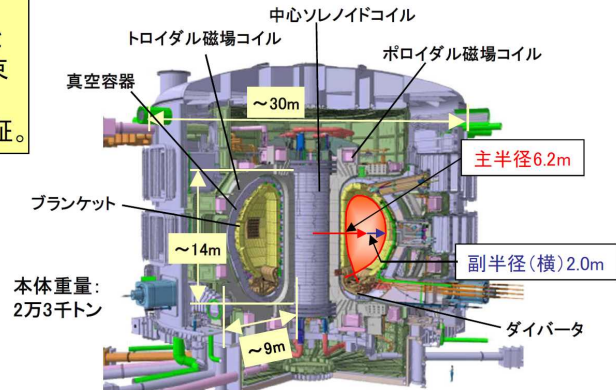
欧州、日本、米国、ロシア、中国、韓国、インド
45.5% 9.1% 9.1% 9.1% 9.1% 9.1% 9.1%

※ 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

●計画

運転開始：2025年12月
核融合運転開始：2035年12月

●**ITER機構長** ヘルナール・ビゴ氏(仏)(2015年3月5日任命)



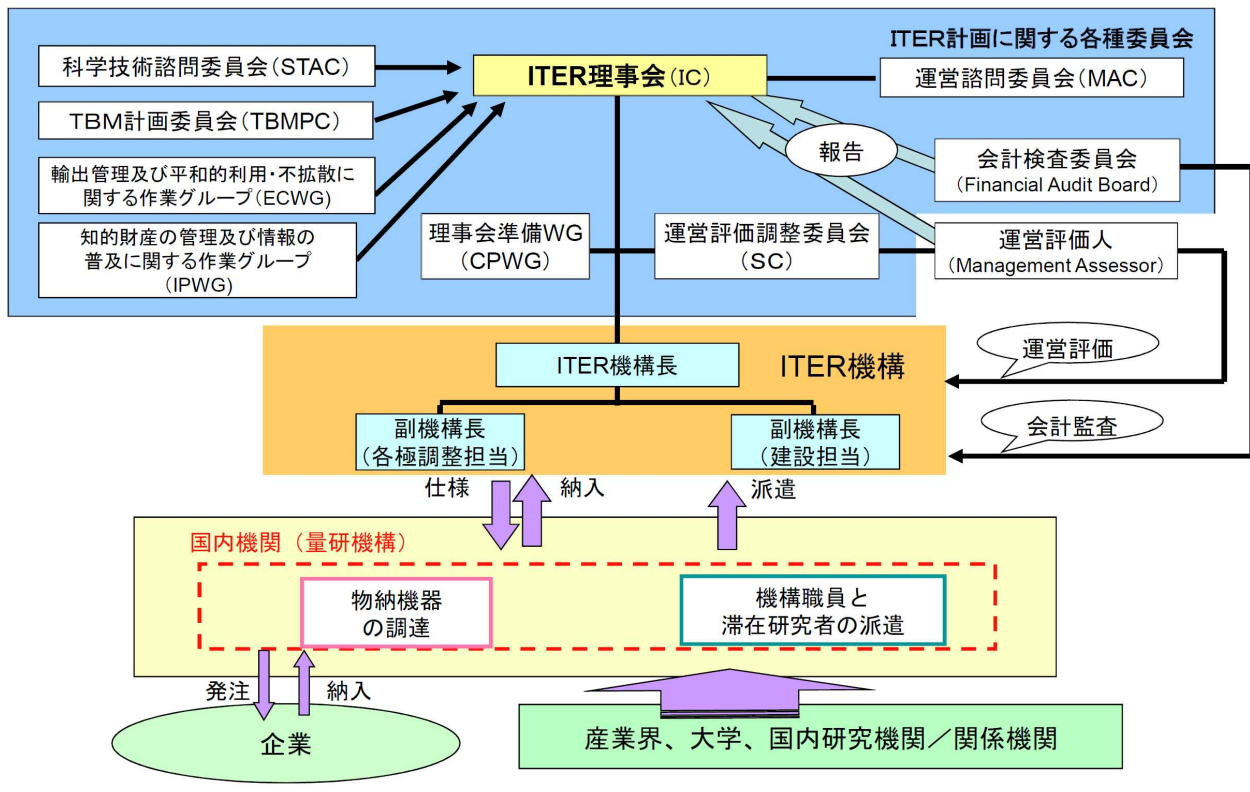
●技術目標

◇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。等

●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

ITER建設段階の実施体制



幅広いアプローチ(BA)活動について

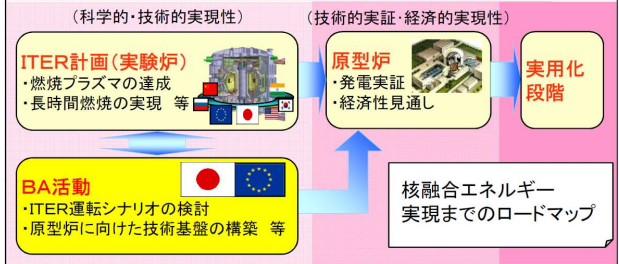
幅広いアプローチ(BA)活動とは

ITER計画を補完・支援するとともに、原型炉に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、国会承認条約に基づく日欧の国際科学技術協力プロジェクト

実施極：日、欧
 協定：2007年6月1日発効
 実施地：青森県六ヶ所村、茨城県那珂市
 計画：2019年末まで



幅広いアプローチ(BA)活動の位置付け



各拠点における具体的取組内容

(1)国際核融合エネルギー研究センター事業 【青森】

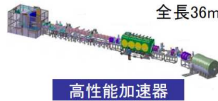
○ 原型炉に向けた総合的取組として、以下の研究開発を実施。

- 原型炉の概念設計や技術検討
- 高性能計算機の整備・運用とシミュレーション研究
- ITER等の遠隔実験解析 等



(2)国際核融合材料照射施設の工学実証及び工学設計活動 【青森】

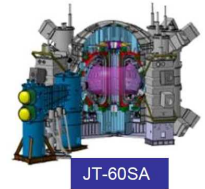
○ 原型炉に必要な高強度材料の開発を行う施設の設計・建設に係る知見を獲得するため、主要機器となる高性能加速器の製作プロセス開発や性能実証を実施。



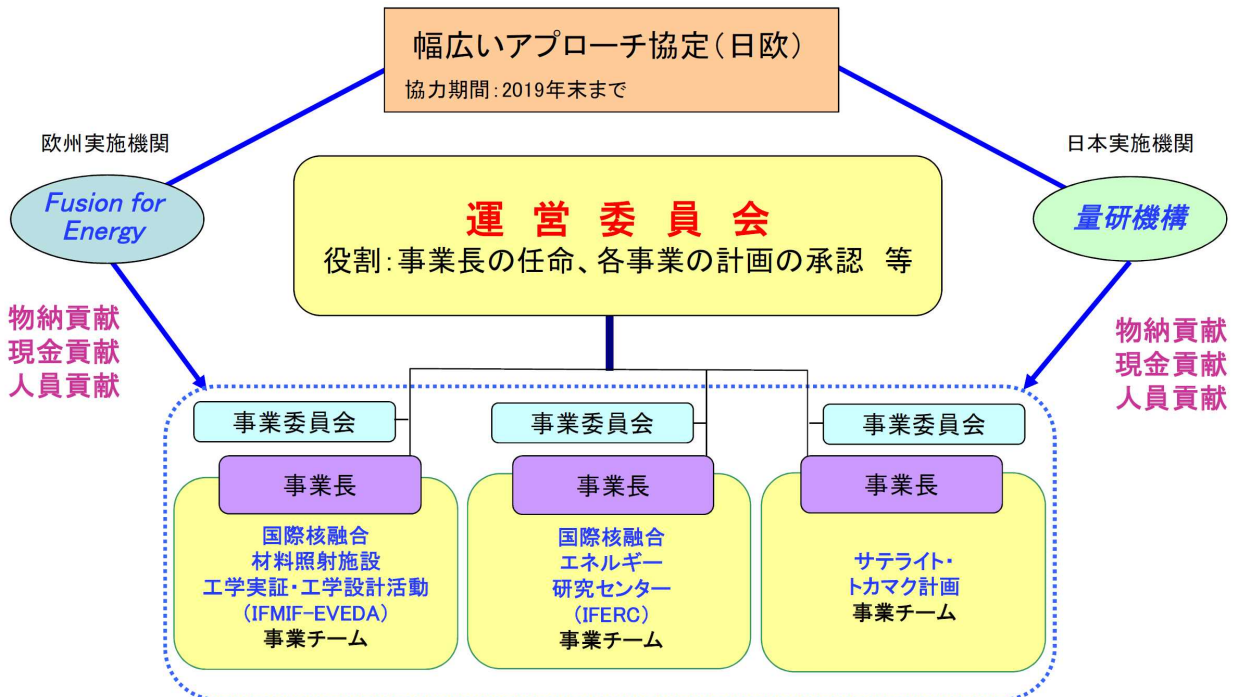
(3)先進超伝導トカマク装置JT-60SAの建設と利用 【茨城】

○ 以下の研究開発を実現するため、臨界プラズマ試験装置JT-60を超伝導化し、先進超伝導トカマク装置JT-60SAを建設。

- ITERではできない高圧力実験を実施し、原型炉に求められる安全性・信頼性・経済性のデータを獲得。
- ITERに先立ち様々な予備的データを取得し、ITERの運転開始や技術目標達成を支援。



BA活動の実施体制



中間評価票

(平成29年1月現在)

1. 課題⁴名 ITER計画（建設段階）等の推進

2. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

現在、ITER計画は建設段階にあるが、将来的には、完成後の実験や運転、停止後の廃止措置が含まれた長期のプロジェクトである。

ITER計画は世界7極による大型国際プロジェクトであり、各極がそれぞれ機器製造を分担し、ITER機構が各機器の組立とプロジェクト全体のマネジメントを担当するという複雑な構造となっている。これまで建屋、真空容器等を中心に遅れが生じていたが、現在はビゴ機構長の新体制の下でスケジュールが見直され、着実に計画が進められている。

当初、ITERの運転開始は2020年とされていたが、2016年6月のITER理事会で、5年延期して2025年(12月)の運転開始を目指すことが合意された。また、2016年11月のITER理事会では、核融合運転開始を2027年から8年延期して2035年(12月)とする全体スケジュールが合意された。新たなスケジュールは、各極の今後の財政負担等を考慮しつつ、調達が遅延している機器の調達責任の移管等によりスケジュールの遅れを最小限に留めたもので、定量的な工程評価に基づくものとなっている。

ITER建設費については、スケジュールの見直しに伴い、当初のコスト見積りに比べて大幅な増額となっている。これは、ITERが世界で初めて設計・建設する複雑で大型の装置であり、当初のコスト見積り時点では必ずしも正確かつ詳細な作業量を見通せなかったことと、それに伴う建設期間の延長に起因している。ITER建設はこれまでに例のない高度な技術が要求されるため、プロジェクト開始後9年が経過したことを踏まえ、これまでの建設活動の進捗並びにITER機構及び参加極間の継続的な議論によって蓄積された最新の知見に基づき、確度の高いコスト見積りが行われた結果と言える。

日本担当機器の調達製造は、新たな国際合意に基づくスケジュールに沿って、順調に進められている。特に超伝導トロイダル磁場コイルという極めて大型で非常に強力な超伝導コイル、中性粒子加熱用の超高電圧大電流電源機器類の製造が順調に進行していることは、我が国の科学技術力の高さを示すとともに、他極を先導する効果も得られている。

BA活動の3事業については、2019年末まで延長された新しいスケジュールに沿って、

- 1) 国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)事業において、核融合シミュレーションのための高性能計算機が円滑に運用され、日欧の研究者による研究成果の創出に貢献。原型炉設計における重要課題を安全性研究を含めて検討。ブランケットに関連する原型炉R&D活動が進展。ITER遠隔実験センターの全体計画が策定され、必要ソフト及び遠隔実験室が整備。

- 2) 国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）事業においては、原型加速器の主要機器の実証試験・建設が大きく進展し、中性子発生用ターゲット系及び照射モジュールの開発が完了。
- 3) サテライト・トカマク（JT-60SA）計画事業については、機器が順調に製作され、機器受入・組立準備も着実に進展。

など、原型炉に向けた幅広い研究の着実な進展に貢献し、装置・機器の開発・製作が順調に進捗している。

これから本格化する JT-60SA の組立作業の経験は、ITER 組立への貢献が期待できる。我が国として ITER 組立に積極的に参画し、高い技術力を発揮していくべきである。また、今後の JT-60SA の実験の成果と実験運転の遂行は、ITER 級のプラズマ実験研究者を育成し、ITER の実験運転の立ち上げと実験の遂行に、我が国及び我が国で育った人材が主導的役割を担うことが期待される。

（２）各観点の再評価

<必要性>

（国が関与する理由）

エネルギー資源に乏しい我が国において、核融合エネルギーは、燃料資源が豊富であること、発電過程で温室効果ガスを発生しないこと、少量の燃料から大規模な発電が可能であること等の特性を持つとともに、安全性の面でも優れた特性を有することから、エネルギー問題と環境問題を根本的に解決する、将来の基幹的エネルギー源として期待されているが、現在はまだプラズマの自己燃焼を実証するための装置建設段階にあり、その実用化・事業化には相当の期間を要し、高度な技術開発が必要である。

ITER 計画・BA 活動は、このような核融合エネルギーを実現するために不可欠なステップであるとともに、政府間の国際協定プロジェクトとして実施されているものであり、政府として着実に推進していく必要がある。

（我が国の科学技術・経済的・社会的ニーズの反映）

ITER は世界で初めて本格的に重水素・三重水素を用いた核燃焼を実現させるものであり、その科学的意義は極めて大きい。また、ITER 計画・BA 活動は、ITER（実験炉）の次段階の原型炉で発電を技術的に実証し、経済的実現性を明らかにするための研究に大きく貢献するものであり、その経済的意義も極めて大きい。科学技術立国を目指す我が国にとって、本課題により人類の恒久的なエネルギー源として有力な候補である核融合エネルギーの実現に貢献することの社会的な意義も極めて大きい。

また、国際協力により開発リスクとコストを軽減することができており、経済的な合理性がある。

（国際的視点からの必要性）

人類社会に多大な恩恵をもたらすと期待されている核融合エネルギーを国際協力により実現しようとする ITER 計画や BA 活動に我が国が参加することは国際貢献の観点からも意義が大きい。現在、我が国と EU は、世界の核融合研究をリードしており、両プロジェクトにおいて我が国が国際的に主導的役割を果たすことにより、さらなる国際的優位性を確保することができる。

また、ITER 計画や BA 活動を通じて、機器の製作技術等を集積することが可能となり、将来的に核融合エネルギーが実用化された際には我が国の国際競争力の確保が期待できる。軽水炉における米国の例に鑑みても、核融合炉を最初に実現した国の技術がデファクトスタンダードになることは必至で、現時点から世界に先駆けて核融合開発を進めることが望まれる。

<有効性>

（研究開発の質の向上への貢献）

ITER 計画は、世界人口の半数以上を占める 7 極が国際協力で実施する大型科学プロジェクトであり、世界規模の同様な国際協力による科学プロジェクトの試金石となるものであり、今後の大型研究開発の在り方や推進方策の質の向上に資することが期待される。

また、ITER 計画は人類初の核融合燃焼プラズマを実現するものであることから、プラズマ研究に関して新しい展開が期待される。建設期においても、超伝導技術、加熱機器の開発、大型機器の製造など、これまでにない極限技術の開発を伴い、また、それらによる超大型装置の統合設計と組立のための技術開発を伴うため、それら成果と BA 活動の研究開発とあわせて、核融合プラズマ及び装置設計に関する知見の蓄積と製作技術の発展が期待できる。

（実用化・事業化への貢献）

ITER 計画において世界で初めて重水素・三重水素を用いた本格的な核燃焼を実現させることで得られる知見は、ITER（実験炉）の次の原型炉の実現に大きく貢献するものと期待され、また同時に BA 活動においては、原型炉のための研究開発等が実施されており、核融合エネルギーの早期実現に貢献するものと期待される。

（核融合科学技術分野における高度人材育成）

我が国から ITER 機構に副機構長をはじめ 25 人の人員を派遣（2016 年 11 月現在）しており、これらの人員は、ITER 機構内の枢要なポストに配置されている。こうした経験を積んだ人材は、今後の国際協力科学プロジェクトにおける我が国の主導性の確保に貢献することが期待される。引き続き、経験豊かな人材を派遣していくことが、ITER 計画の成功のためには重要である。

なお、ITER 機構全職員数のうちの我が国からの派遣職員の比率については必ずしも多くはなく、しかも全体として減少し続けているので、その原因を探り、今後、我が国の貢献

割合である 9%を目指してさらに高めていくため努力していくことが必要である。こうした課題については、量子科学技術研究開発機構を中心として、産業界や学界とも協力して更に人材派遣を推進するべく国を挙げて取り組む必要がある。

また、原型炉に至る長期間の開発を支える人材の育成に向けて産学官の更なる緊密な連携が必要である。さらに、ITER は夢のある科学プロジェクトであり、積極的なアウトリーチ活動を通して、より多くの若年層にも核融合科学技術の正しい認識を促進し、科学的関心を刺激することで、未来のイノベーションを担う人材育成につなげていく取組が望まれる。

(見込まれる波及効果等)

ITER 計画や BA 活動などの核融合開発では、超伝導技術、中性粒子入射技術、高周波技術、トリチウム技術、海水からのリチウム回収技術、大型機器の精密製造技術等の向上が期待され、高磁場・高性能超伝導線材の大量生産、次世代半導体製造、省エネルギーシステム、医用工学等への応用による新しい産業や市場の創出が予想される。

<効率性>

(計画・実施体制の妥当性)

ITER 計画を参加 7 極で共同実施することと、BA 活動を日欧協力により我が国で実施することにより、財政負担の軽減を図りつつ、成果を得ることができる。

ITER 機構においては、2015 年 3 月に就任したピゴ機構長の下、より厳格なプロジェクト管理が行われている。

国内では、2016 年 4 月に、本課題の主管研究機関が日本原子力研究開発機構から量子科学技術研究開発機構に引き継がれたものの、核融合研究開発を担当する部門の体制はそのまま維持されている。また、国内の大学等との協力も活発に行われるなど国内実施体制は整備されている。

(費用構造や費用対効果向上方策の妥当性)

ITER 計画の新たなコスト見積りは具体的な作業の積み上げに基づくものであり、プロジェクトの先進性や規模、我が国の JT-60SA の経験に照らして妥当であると考えられる。ITER 計画においては、更なるスケジュール遅延やそれに伴うコスト増を生じさせないため、新たなレビューの導入や進捗状況を見える化するための方策が具体的に検討されているところであり、これらを早期に実現していくことが必要である。

また、我が国が調達責任を有する物納機器については、これまでも実機製作前の R&D 等により必要な製作手法・技術を確立し、スケジュール遅延、費用増加を回避してきた。今後でもできる限りコスト削減を図りつつ、決められた分担機器の製作について責任を持って対応する必要がある。

(3) 今後の研究開発の方向性

本課題においては、上に述べたことにより、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。また、計画の進捗状況について適切に情報発信すべきである。
- ・ 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。その際、日欧の枠組みを基軸としつつも、それ以外の国々の協力も取り入れていくことを検討すべきである。

大型プロジェクトにおいて、そのスケジュールを維持するためには、他の国際協力プロジェクトにおいて一部の参加国に強力な主導権と責任を持たせているように、強力な全体マネジメントが不可欠である。ところで、ITER では世界 7 極がそれぞれ機器を分担して調達し、ITER サイトに持ち寄って一つに組み立てるという物納方式を採用している。そのため、ITER 機構及び参加 7 極がほぼ対等な立場でプロジェクトに関わることとなり調整がうまく進まず、責任の所在が不明確なままプロジェクトが進められたことや、高度かつ複雑なプロジェクトに内在する種々のリスクを正しく評価し、マネジメントしていく仕組みが未成熟であったことが、今般のスケジュール遅延とコスト増につながってしまったものと言わざるを得ない。

現在は、ビゴ機構長のリーダーシップの下、意思決定プロセスが改善され、開発工程のリスクに対する再評価を速やかに実施するなど、全体マネジメントが有効に機能し始めていると評価できる。また、新たなコスト見積りは、具体的な作業の積み上げに基づくものであり、プロジェクトの先進性や規模、我が国の JT-60SA の経験に照らして妥当であると評価できる。今後は、参加各極がプロジェクトに対して一層責任を持って取り組むとともに、リスク評価や進捗状況の見える化など、ITER 機構において現在改革が進められているプロジェクト管理を徹底し、十分なマネジメント体制を整えることにより、様々なリスクを最小化していくことが重要である。

他方で、我が国においては、これまで着実に機器製作に取り組むとともに、ITER 機構と各極の利害調整の仕組みや手続きの簡素化の導入等に貢献してきたことは評価できるが、一部のリスクが全体の遅延要因となる可能性にも十分留意し、リスクの最小化に努めるべきであったと言える。今後は、我が国としても、参加各極とともに新たに導入するレビューの仕組みも活用してプロジェクトの進捗を引き続き管理・監視し、必要な場合には適切な対処を促すなど、ITER 計画に主体的に貢献していくことが重要である。

なお、ITER 計画は、世界の主要な 7 極が対等な立場で関与するという今までにない大型の国際プロジェクトであり、今後、現地において世界的に例のない規模で複雑な組立・据付作業が進められていく過程において、新たな課題が生じるリスクは常に潜在する。これまでも、副機構長を 7 名から 2 名に削減する等のマネジメント改革を断行しているが、今後とも、技術的側面のみならず、マネジメント面においても常に迅速な対応と適切な改革・改善を図るとともに、リスクが顕在化してスケジュールやコストに影響を与えることのないよう各極が協力して未然に対処し、細心の注意を払ったプロジェクト遂行が求められることを忘れてはならない。

(4) その他

課題の推進に当たっては、以下の点に留意するべきである。

- ・大きな予算を必要とし、長期間にわたる事業であることから、核融合研究開発の意義や重要性、エネルギー政策の中での位置づけ等について国民との対話を図り、核融合エネルギーのメリット、デメリットを早期の段階から国民と共有する必要がある。また、長期、中期、短期でのそれぞれの目標をもって取り組むことが重要である。なお、安全性等の社会受容性を高める取組を一層推進する必要がある。
- ・スケジュールの遅延及びコストの増加は、将来の原型炉へ向けた技術基盤の構築など、核融合エネルギーの実現に向けた工程への影響が懸念される。ITER 建設工程を継続的にフォローし、これ以上の遅延とコスト増を極力生じさせないように、我が国として ITER 計画の運営に主導性をさらに発揮する必要がある。
- ・スケジュール及びコストの状況に関しては、社会からの理解を得るため情報公開に積極的に取り組むべきである。
- ・今後の国際協力プロジェクトにおける我が国の主導性を確保し、核融合エネルギーの早期実現に貢献するため、ITER 機構における日本人職員の増加や、原型炉に至る長期間の開発を支える人材の育成に産学官と緊密に連携して取り組むべきである。