

原子力委員会核融合専門部会報告書(案)

2008年〇月〇日

原子力委員会 核融合専門部会

目次

第1章 はじめに	1
第2章 評価作業	3
第3章 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価	6
3.1 トカマク方式による開発研究	7
3.1.1 研究開発体制	7
i) ITER 計画	
ii) 幅広いアプローチ活動	
3.1.2 核融合炉の実現に向けた研究開発	14
i) ITER による開発研究	
ii) トカマク改良研究	
iii) 原型炉に向けた炉工学技術開発	
iv) その他の核融合炉の実現に向けた研究開発	
3.2 核融合に関する学術研究	19
i) ヘリカル型装置による研究	
ii) レーザー型装置による研究	
iii) 核融合基盤研究	
3.3 核融合研究開発を維持・発展させるための取組	25
i) 人材育成の方策と社会への発信	
ii) 知識・情報基盤の整備	
iii) 他の科学技術分野や社会への貢献	
iv) 核融合研究開発の国内体制	
第4章 結論	33
(付録1) 核融合専門部会の開催実績	
(付録2) 核融合専門部会の委員等名簿	

第1章 はじめに

原子力委員会は、平成 17 年 10 月に、数十年間程度の国内外情勢の展望を踏まえ、原子力発電や放射線利用の推進に関して、今後 10 年程度の間各省が推進すべき施策の基本的方向性や、原子力行政に関わりの深い地方公共団体、事業者、国民各層等への期待を示した原子力政策大綱を策定した。その中で、核融合研究開発は、「革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する研究開発」として位置付けられており、「今後とも技術概念や基盤技術の成熟度等を考慮しつつ長期的視野に立って必要な取組を決め、推進していくことが重要である」とされている。

原子力委員会では、平成 15 年に、「自己点火条件の達成及び長時間燃焼の実現並びに原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成」を主要な目標とした「第三段階核融合研究開発基本計画」（平成 4 年 6 月 9 日 原子力委員会決定）（以下「第三段階計画」という。）の進捗状況についての総合的なチェック・アンド・レビューを実施するとともに、その結果を踏まえた今後の核融合研究開発の推進方策について検討することとし、核融合専門部会にこれを付託した。これを受けて、核融合専門部会では、第三段階計画の進捗状況について総合的なチェック・アンド・レビューを実施し、その結果を踏まえた今後の核融合研究開発推進方策を「今後の核融合研究開発の推進方策について」（以下、「推進方策について」という。）にとりまとめた（平成 17 年 10 月）。

原子力委員会は、本専門部会から「推進方策について」の報告を受け、「ITER の建設に向けて具体的な取組を進めることとなった現時点以降における第三段階計画については、この報告書に示された推進方策に基づいて推進されるべきである。」とし、また、「原子力委員会は核融合研究開発に関する基本方針の調査審議を引き続き行うものとし、状況の変化が生じた際には、再び核融合研究開発の基本方針についてチェック・アンド・レビューを行う。」とした原子力委員会決定（平成 17 年 11 月 1 日）を行った。

それ以降、核融合研究開発については、平成 19 年 10 月の ITER 協定の発効等による ITER 計画の本格化や平成 19 年 6 月の B A 協定の発効等による幅広いアプローチ活動（B A 活動）の始動等により新たな展開が見られており、核融合研究開発全体を俯瞰して連携・協力を進める全日本的な取組が必要とされているところである。こうした状況を踏まえて、原子力委員会は、核融合研究開発に関して、関係機関等による取組の進捗状況を把握し、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された我が国における核融合研究開発に関する基本的考え方の妥当性について評価するとともに、

それを踏まえて、今後の関係機関等の施策の進め方に関する必要な提言・助言等を行うために、核融合専門部会において必要な調査審議を実施することを決定した（平成19年9月25日 原子力委員会決定）。

本報告書は、上述したような経緯から、本専門部会が原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された基本的考え方に基づく関係行政機関等の取組についてヒアリングを行い、また、国民からの御意見を聴き、その結果を踏まえて政策の妥当性を評価し、今後の関係行政機関等の施策の進め方に関する提言を取りまとめたもので、4章から構成されている。

序章である本章に続く第2章に「評価作業」、第3章に「核融合研究開発に関する取組の進捗状況及び評価」を述べ、第4章「結論」で今後の進め方に関する提言等を述べている。また、付録1には本部会の開催実績、付録2には本部会の委員等名簿を記載している。なお、本報告書を読まれる方の便に供するため、主な用語解説を末尾に添付している。

第2章 評価作業

本専門部会は、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示している、我が国における核融合研究開発に関する基本的考え方の妥当性を評価する作業を、以下のとおり行った。

(1) 評価の視点についての検討

本専門部会は、第10回(2007年10月12日)及び第11回(2007年12月20日)において、評価の視点について議論し、これを以下に示すように定め、この観点から関係機関における取組を聴取することとした。

1. 核融合研究開発の進め方は適切か。

- ① 実験炉段階で原型炉実現に必要な開発研究を先行して実施するための体制整備・資源配分は適切か。
 - a) 現状での技術達成点と開発目標との関係
 - － 開発目標達成に向けた今後の課題
 - b) 開発目標を達成するための戦略
 - － 開発目標を達成するための計画の妥当性(目標達成時期の見込み・資金計画・国際協力の活用等)
 - c) ITER・BAと国内研究との連携
 - － オールジャパンでこの開発研究を支援する体制が構築されているか。
- ② 学術研究において、科学的基礎の確立を目指した研究が適切に進められているか。
 - a) ヘリカル型及びレーザー型装置による研究
 - － 適切に研究計画が立てられているか(目標達成時期の見込み・資金計画・国際協力の活用等)
 - － 目標達成に向けた今後の課題
 - b) 基盤研究の充実
 - － 基礎研究の充実をはかるために適切な体制が整えられているか。
 - － 基礎研究の成果を核融合炉設計等に反映できるような体制は整えられているか。
 - － 資源配分は適切になされているか。
- ③ 開発研究と学術研究からなる総合的な研究開発の推進がなされているか。

2. 実用化に至るまで長期間を要する核融合研究開発を維持・発展させるための取組が適切に進められているか。

① 人材育成及び社会への発信

a) 研究人員の充実、研究環境の整備

－ 研究者に対して多様な研究の機会を提供するための取組等がなされているか。

b) 社会への発信

－ 核融合研究に対して社会から理解を得るための取組がなされているか。

② 知識・情報基盤の整備

a) 産業界の技術継承

b) 原型炉へ向けてのノウハウの蓄積

3. 他の科学技術分野（ひいては社会）に対する貢献や寄与を維持・拡大していくための取組が進められているか。

① 他の科学技術・学術分野への貢献

② 産業界への波及効果

(2) 関係行政機関等の取組状況の把握

関係行政機関等の取組の現状を、原子力政策大綱及び「推進方策について」の策定以降の進捗や変化を踏まえてより詳細に把握するために、以下のとおり関係行政機関等からヒアリング等を実施し、対応状況について広く意見交換を行った。

① 文部科学省からのヒアリング

【第10回核融合専門部会：2007年10月12日】

資料：核融合研究の現状について

【第11回核融合専門部会：2007年12月20日】

資料：核融合研究開発における開発研究に関する取組

【第12回核融合専門部会：2008年2月14日】

資料：ITER計画・BAの現状と我が国の取組

【第15回核融合専門部会：2008年7月16日】

資料：核融合開発の推進に必要な人材の育成・確保について

②(独)日本原子力研究開発機構 (JAEA) からのヒアリング

【第11回核融合専門部会：2007年12月20日】

資料：核融合研究開発における開発研究に関する取組

③自然科学研究機構 核融合科学研究所 (核融合研) からのヒアリング

【第13回核融合専門部会：2008年4月25日】

資料：大型ヘリカル装置 (LHD) による今後の核融合科学の進展について

④大阪大学レーザーエネルギー学研究所からのヒアリング

【第13回核融合専門部会：2008年4月25日】

資料：レーザー核融合研究の進展

⑤学協会からのヒアリング

【第14回核融合専門部会：2008年5月28日】

・プラズマ・核融合学会

資料：核融合に関わる基礎・基盤的分野の研究・教育について

⑥産業界からのヒアリング

【第14回核融合専門部会：2008年5月28日】

・日本原子力産業協会

資料：産業界における核融合をめぐる現状

(3) 報告書 (案) の取りまとめ

これらの会合における意見交換や資料の検討結果を踏まえて、まず、原子力政策大綱および「推進方策について」にある基本的考え方に関連する関係行政機関等の取組状況の説明を整理し、ついで、これらに関する意見交換の要点を整理した。そのうち関係者の説明や資料に対する疑問等については、関係者等からの追加説明を付加した。そして、それらを総覧して関連する取組が十分に成果を上げているか、あるいは政策の目標を達成しうる見通しがあるかの評価を行い、その結果も踏まえて今後の関係行政機関等の施策の進め方に関する提言も含めた「核融合専門部会報告書 (仮称)」と題する報告書 (案) を取りまとめた。

(4) 報告書 (案) に対する意見募集及び報告書の取りまとめ

パブコメ実施後に記載。

第3章 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価

本章では、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された基本的考え方について、「1. トカマク方式による開発研究」、「2. 核融合に関する学術研究」、「3. 核融合研究開発を維持・発展させるための取組」に区分し、各々に関する関係行政機関等の取組状況を整理し、ついで、それぞれの取組についての評価を取りまとめる。

3. 1 トカマク方式による開発研究

<推進方策での記載事項>

○実験炉段階での開発研究

核融合エネルギーの早期実現を目指すため、実験炉段階において、原型炉実現に必要なとなる開発研究を総合的に実施する。

その研究開発として、1) 自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立、2) 定常炉心プラズマの実現、3) システムの統合化技術の確立と発電ブランケットの試験、4) 経済性見通しを得るための高ベータ定常運転法の確立、5) 原型炉に関わる材料・炉工学技術開発、6) 原型炉の概念設計が必要である。また、7) 理論・シミュレーション研究、8) 社会・環境安全性の研究を進めることが重要である。

3. 1. 1 研究開発体制

i) ITER 計画

<推進方策での記載事項>

○ITER 計画への取り組み

国際協力が進められる ITER 計画を我が国の実験炉計画と位置付けて研究開発を進めるにあたって、国際合意に基づく実施体制と国内の支援体制を確立する。

－ITER 計画の実施体制－

我が国は、ITER 計画の実施主体である ITER 機構の参加極として、ITER を通して我が国の実験炉計画の技術目標を実現することになる。ITER の建設期においては、我が国の極内機関を中心として、ITER 機構に機器を物納する。さらに、機構への職員派遣を通じて、ITER 建設に貢献するとともに、システム統合技術の獲得を図る。さらに、実験・運転期においては、最大限の成果が国内へ還元・蓄積されるよう国内研究者の参加機会を確保する。

－ITER と国内研究の連携－

極内機関、大学、産業界等との相互連携の下、建設と実験運転を進めるとともに、核融合フォーラム等を充実発展させ、ITER 計画及び核融合研究への幅広い科学者、一般国民の理解を促進し、協力・支援を得る。

国内における研究成果が ITER 計画に適切に反映するよう ITER の運営に努めるとともに、大学等の研究者が ITER 計画に参加する仕組みを構築する。

<これまでの取組状況>

－ITER 計画の実施体制－

平成 18 年 11 月に、日本を含む 7 極が「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定」(ITER 協定)に署名し、平成 19 年 10 月 24 日の ITER 協定の発効により、ITER 計画を実施する国際機関である「ITER 機構」が正式に発足した。ITER 計画の実施体制は、最高意志決定機関である加盟 7 極の代表者で構成される ITER 理事会と、その下に設置されている運営諮問委員会 (Management Advisory Committee; MAC) 及び科学技術諮問委員会 (Science and Technology Advisory Committee; STAC) の 2 つの諮問機関からなる。そして、ITER 機構は、ITER 理事会の意志決定の下、ITER の建設及び運転等を実施する。機構長には我が国から駐クロアチア大使を務めていた池田要氏が就任している。ITER 機構においては、現在、その体制整備を進めており、順次ポストを提示して職員を募集している。

ITER 協定において、加盟極は ITER 機構に貢献を行う国内機関を設置することとされているが、我が国では、協定が発効した平成 19 年 10 月 24 日に、独立行政法人日本原子力研究開発機構 (以下、「JAEA」という。)が、文部科学大臣により ITER 協定に基づく国内機関として指定された。

ITER 計画では、各極から ITER 機器を調達することとなるが、その進捗について、毎月 1 回のペースで ITER 機構及び 7 極の国内機関の代表者で実務者会議が行われている。JAEA は、この実務者会議において、本事業の推進に積極的に貢献している。

物納機器の調達に関しては、JAEA は、平成 19 年 11 月に ITER 機構との間でトロイダルコイル導体に係る調達取決めを締結した。その後、国際競争入札を行った結果、3 月に日本のメーカー数社との契約締結に至り、現在は各メーカーにおいて製作が進められている。

また、ITER 機構への職員派遣に関しては、平成 20 年 5 月現在、ITER 機構専門職員のうち日本から採用された専門家は 17 名である。これは ITER 機構の専門職員数の 8.5%に相当する (平成 20 年 5 月現在の ITER 機構職員数 256 人 (専門職員 200 人、支援職員 56 人))。その他に、客員研究員や ITER 機構からの委託業務の実施のための人員が、日本から約 4 名程度派遣されている。

－ITER と国内研究の連携－

国内においては、平成 19 年 6 月に ITER 協定並びに幅広いアプローチ (BA) 協定の履行のため、独立行政法人日本原子力研究開発機構法が改正された。これに基づき、

ITER 協定に基づく国内機関として JAEA が位置付けられ、JAEA は、このために産学官の国内核融合関係者と積極的に連携するための体制を構築している。

また、「ITER 計画、幅広いアプローチをはじめとする我が国の核融合研究の推進方策について」（平成 19 年 6 月 文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合研究作業部会（以下、「核融合研究作業部会」という。)) の提案を受けて、これまで核融合研究・技術開発に関する産学官の情報交換や討議の場として活動してきた「核融合フォーラム」が、平成 19 年 7 月に「核融合エネルギーフォーラム」に発展・改組された。同フォーラムには、ITER 計画及び BA 活動に係る研究活動に関する意見の集約や国内連携協力の推進等を行うための組織として「ITER・BA 技術推進委員会」等が設置された。この、ITER・BA 技術推進委員会は、現在、国内において ITER ベースライン文書の国内評価を実施するなど、国内研究者の意見を反映する場としても活動を行っている。

なお、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会における「ITER 計画（建設段階）の推進」の中間評価（平成 19 年 8 月）では、以下の評価結果を基に「ITER 計画を今後も計画通りに継続するべきである」とされている。

- ・ 科学的・技術的意義のみならず、社会的・経済的意義も極めて大きいとともに、我が国の核融合に関する技術基盤の向上やさまざまな分野への波及効果も期待される。
- ・ 国際協力の枠組により実施されることから、我が国が単独で実施するよりも、成功可能性やリスク分散、費用対効果の面でメリットが大きいと判断される。
- ・ ITER 計画については、大きな前進が見られ、技術開発等の準備活動が順調に進められており、特に我が国において他の ITER 参加極を上回る成果を挙げている点は評価できる。

<評価>

文部科学省及び JAEA 等では、ITER 計画の実施体制の整備及び ITER と国内研究の連携を概ね着実に進めているものと評価できる。

ITER 計画の実施体制については、ITER 機構への日本人の派遣がなされてきているものの、現状は、同機構における日本の人材枠をまだ有効に活用できていない（日本の人材枠：18%）。我が国が ITER 建設を通じてシステム統合技術等を獲得していくためには、現地での ITER の設計・建設に積極的に関わっていくことが必要不可欠であることから、大学等の研究者の ITER 計画への参加を含め、ITER 機構への人員派遣の

在り方や方策について戦略的な観点から検討し、人材枠を充当していくことが必要である。

ITER と国内研究の連携については、国内の関係者の意見を集約する場として核融合エネルギーフォーラムを設置したことや、同フォーラム内に ITER・BA 技術推進委員会を設置して、ITER ベースライン文書の国内評価等に関し、国内研究者の意見を反映させる場としたことは適切である。

今後も引き続き、国内機関である JAEA を中心として、大学、産業界等を含めた全日本的な連携を図りつつ、技術開発目標の達成に向けて、着実に ITER 計画に取り組んでいくことを期待する。なお、ITER の建設に際しては、近年の鉄鋼材料や超伝導コイル用のニオブ等の価格高騰により、これまで想定されてきた製作コスト及び工程で対応可能かどうか改めて見直すことについての必要性についても指摘がなされている。多大な費用を要する ITER 計画については、文部科学省及び JAEA は、常に国民に対してその意義を説明する必要があるとともに、その費用を意識して計画を推進していくことが重要である。

ii) 幅広いアプローチ (BA) 活動

<推進方策での記載事項>

核融合エネルギーの実現を図る観点から、実験炉の技術目標の達成が期待される時期までに原型炉の概念設計、原型炉の開発に向けた炉心プラズマ・材料・炉工学の開発研究、社会・環境安全の研究、理論・シミュレーション研究を平行して実施することとし、適切な資源配分を行うことが必要である。

○原型炉実現に必要な開発研究

－高ベータ定常運転法の確立－

－原型炉に関わる材料（国際核融合材料照射施設）・炉工学技術開発－

－原型炉の概念設計－

－トカマク理論・シミュレーション研究－

<これまでの取組状況>

核融合原型炉の実現のために必要となる炉工学研究や ITER 計画だけでは実施できないプラズマ物理研究など、ITER 計画を補完・支援する先進的核融合研究開発のうち、日欧の共通の関心課題については、幅広いアプローチ (BA) 活動として日欧の共同実施による研究開発を進めることとなり、文部科学省に設置された ITER 計画推進検討会による決定（平成 17 年 9 月）を経て、以下の取組みが BA 活動によるプロジェクトとして選定された。

- ・ 国際核融合エネルギー研究センター (IFERC)
 - － 原型炉設計・研究開発調整センター
原型炉の概念設計及び原型炉に係る技術に関する研究開発
 - － 核融合計算機シミュレーションセンター
 - － ITER 遠隔実験センター
- ・ 国際核融合材料照射施設の工学実証及び工学設計活動 (IFMIF/EVEDA)
国際核融合材料照射施設 (IFMIF) の工学設計及び施設を構成する各設備の性能実証
- ・ サテライト・トカマク計画 (JT-60 の改修)
JT-60 を超伝導化 (JT-60SA) 改修し、ITER 運転シナリオの検討や人材育成、原型炉に向けて先進プラズマ領域等の ITER を補完する研究を実施

－BA 活動の実施体制－

これらを実施するため、平成 19 年 2 月に日欧は「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」(BA 協定)に署名し、同年 6 月 1 日に BA 協定が発効した。同月には、BA 協定に基づき、BA 活動の各事業の実施に関する全般的な指導及び監督に責任を有する BA 運営委員会が設立されるとともに、事業計画等の作成やその実施を行う事業長、事業チーム、また、その事業計画等の草案への勧告や事業の進捗状況を監視する事業委員会が設置された。

BA 協定では、各締約者は BA 活動の実施に係る義務を履行するための実施機関を指定することとされているが、我が国では、協定が発効した平成 19 年 6 月 1 日に、JAEA が文部科学大臣に BA 協定に基づく実施機関として指定された。

BA 活動の各事業の進捗については、青森県六ヶ所村のサイト地に IFERC 及び IFMIF/EVEDA の建屋建設が開始され、原型炉設計・研究開発活動の R&D 実施計画の策定、IFMIF/EVEDA の加速器試験計画及びターゲット試験計画を策定し、施設機器の設計及び実証試験等の検討が行われている。サテライト・トカマク計画については、概念設計報告書を作成し、詳細設計を作成するとともに真空容器やポロイダル磁場コイル導体等の調達が開始されている。

また、第 3 回運営委員会（平成 20 年 5 月）においては、より幅広い国際協力、連携について日欧以外の ITER 参加極の BA 事業への参加に関するガイドラインを作成し、他の ITER 参加極へ参加を要請している。

－BA 活動と国内研究の連携－

BA 活動の各事業の事業計画等の作成に当たっては、事業委員会の委員や JAEA 内の検討委員会に国内の大学等の研究者の参画を得るなど、大学等との連携も図られている。

また、「ITER 計画、幅広いアプローチをはじめとする我が国の核融合研究の推進方策について」（平成 19 年 6 月 核融合研究作業部会）の提案を受けて設置された核融合エネルギーフォーラムの「ITER・BA 技術推進委員会」は、国内において、BA 活動に国内研究者の意見を反映する場としても活動を行っている。

<評価>

BA 活動において実施される各事業は、「推進方策について」で示された原型炉に向

けた開発研究を実施するための計画として策定され、それらを実施するための体制が整えられつつある。日欧協力で実施する BA 活動については、最大限の成果が得られるよう、今後とも引き続き開発研究を実施することが期待される。なお、研究開発の実施に際しては、実施機関である JAEA 以外の大学関係者等が、BA 活動の実施内容や成果について、国内研究者間でより一層の情報共有を図れるような体制を構築していくとともに、BA 活動に参加するための枠組みを整備するなどして、より一層全日本的な連携を図りつつ事業を進めていくことを期待する。

3. 1. 2 核融合炉の実現に向けた研究開発

<推進方策での記載事項>

核融合エネルギーの実現を図る観点から、実験炉の技術目標の達成が期待される時期までに原型炉の概念設計、原型炉の開発に向けた炉心プラズマ・材料・炉工学の開発研究、社会・環境安全の研究、理論・シミュレーション研究を平行して実施することとし、適切な資源配分を行うことが必要である。

○ITER で実現すべき技術開発目標

- －自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立－
- －定常炉心プラズマの実現－
- －システムの統合化技術の確立と発電ブランケットの試験－

○原型炉実現に必要な開発研究

- －高ベータ定常運転法の確立－
- －原型炉に関わる材料（国際核融合材料照射施設）・炉工学技術開発－
- －原型炉の概念設計－
- －トカマク理論・シミュレーション研究－
- －社会・環境安全性の研究－

i) ITER による開発研究

<これまでの取組状況>

ITER 建設が進められている現在、JAEA では、ITER での実験に先立ち、国内のトカマク共同研究重点化装置である JT-60 において、ITER の設計改良に係わるプラズマ技術開発を大学等との共同実験により進めるとともに、ITER における我が国からの遠隔実験を想定して国内外の研究機関からの遠隔実験を実施している。その他、

- －自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立－

JT-60 の燃焼模擬試験により燃焼プラズマの応答と制御性の研究を実施（平成 19 年）。

- －定常炉心プラズマの実現－

JT-60 において、ITER で必要とされる規格化ベータと閉じ込め改善度を有するトカマクプラズマの運転時間 2.8 秒維持を達成（平成 17 年）。

- －システムの統合化技術の確立と発電ブランケットの試験－

発電ブランケットについては、第一壁実規模大モックアップの試作を完了。等の研究開発を着実に実施している（平成 20 年）。

なお、平成 20 年 6 月の第 2 回 ITER 理事会において、テスト・ブランケット・モジュール (TBM) 計画を ITER 協定下にて実施することとされ、参加各極それぞれが開発する TBM を ITER に取り付けて運転・実験する方針が承認された。我が国は、固体増殖水冷却方式の TBM を製作して ITER に持ち込むことを計画しており、我が国として原型炉の建設判断に必要な工学技術基盤を確立することが可能な体制を確保すべく努めている。

<評価>

JAEA においては、ITER 計画にその成果を活用すべく、JT-60 等を用いた研究開発を実施し、国際的な成果を挙げてきている。今後も、こうした成果を適切に ITER 計画に供与し、ITER 計画において当初の目標を達成することを目指し、着実な取組を進めることを期待する。

なお、核融合による発電を実証するために重要な技術としてブランケットの開発が必要となる。従来、ITER 計画外において各極が独自に行うものとされていた TBM (Test Blanket Module) 計画が ITER 協定の下で実施されることとなったことを踏まえ、その実施にあたっては、必要となる資金を適切な形で確保し、我が国として原型炉の建設判断に必要な工学技術基盤を確立することを目指して取組を進めていくべきである。

ii) プラズマ改良研究

<これまでの取組状況>

JT-60 を超伝導化する JT-60SA 計画が、日欧が共同で実施する BA 活動のプロジェクトのサテライト・トカマク計画と国内計画であるトカマク国内重点化装置計画との合同計画で実施されることになった。JT-60SA 計画の研究機会はサテライト・トカマク計画と国内計画とに同等に割り当てられる予定である。

なお、核融合研究作業部会では、平成 19 年 6 月に核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビューを行い、JT-60 については以下の評価及び課題の整理がなされている。

評価：研究成果は着実に進展しており、重点化後、大学等との共同研究が推進され、人材育成等の成果もあがっており、十分に評価できる。

課題：今後は、大学や核融合研との連携が一層システム化され、オープンな連携強化への展開が望まれる。また、大学の学術研究や国際企画が活かされるような運転時間を増強することが望ましい。

<評価>

JT-60 の超伝導化 (JT-60SA) は、「推進方策について」で示されたトカマク方式の改良を我が国独自に進めるものであるとともに ITER 計画にも貢献するものである。

JT-60SA において、トカマク国内重点化装置計画と BA 活動のサテライト・トカマク計画が同時に実施されることになるが、実施機関である JAEA においては、それぞれの計画に研究機会を適切に配分するようしていくことが重要である。また、ITER 計画と JT-60SA 計画が同時進行することから、両計画に対して人員・資金を適切に配分し、原型炉実現に向けて最大限の成果を挙げることを期待する。

なお、韓国や中国においても超伝導トカマクが建設されることに鑑み、これらの国々との協力・連携も視野に入れた国際協力研究等の実施について検討していくことも必要である。

iii) 原型炉に向けた材料・炉工学

<これまでの取組状況>

材料・炉工学研究開発については、IFMIF/EVEDAが日欧共同で実施するBA活動のプロジェクトとして実施されることになった。また、JAEAでは、米国のHFIR炉を利用して9dpaまでの照射条件での低放射化フェライト鋼材料特性データ取得や、低銀比高温超伝導線材の小規模導体の試作など、原型炉に向けた材料開発を主軸とした炉工学研究を着実に進めている。今後は、原型炉と同等の重照射条件での材料特性データの蓄積を目指すと共に、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進めることを予定している。

また、核融合科学研究所（以下、「核融合研」という）においては、大学等における炉工学研究を推進するために炉工学研究センターを設置し、大学との共同研究を通じて様々な特徴ある成果を挙げている。

なお、核融合研究作業部会における核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビュー（平成18年7-8月）において、以下の評価及び課題の整理が行われている。

(JAEA の炉工学研究)

評価：ブランケット研究の進展をはじめ、ITER に必要な主要機器の開発を主軸とした炉工学研究に大きく貢献しており、着実に進展している

課題：オールジャパンの視点から核融合研、大学等との役割分担を明確にした一層強力な連携体制の構築が望まれる。

(核融合研の炉工学研究)

評価：大学とのオープンな共同研究を通じて様々な特徴のある成果を挙げ、世界をリードする研究が展開されている。

課題：大学や原子力機構との役割分担を明確にした一層強力な連携体制の構築が望まれる。

<評価>

JAEA における取組については、超伝導技術や加熱技術の開発研究では進展がみられる。今後は、原型炉実現に向けて、安全性研究等を進めて原型炉の建設判断に必要な総合的な工学技術基盤を確立することを目指すことが重要である。

核融合研における取組については、所内に設置されている炉工学研究センターが、大学との炉工学共同研究推進に一定の貢献を果たしている。炉工学は、トカマクとヘリカルとの間で共通する部分も多いことから、今後は、JAEA や大学との役割分担を明確にしつつも、一層強力な連携体制を構築していくことを期待する。

なお、IFMIF/EVEDA に関しては、「推進方策について」において「他の主体により本体施設の建設が行われる十分な見通しがあり、かつ、我が国が工学設計活動に貢献することにより国際核融合材料照射施設本体での照射試験に一定の参加ができることが確保されるのであれば、国際協力の下で着手し、その技術基盤の整備に貢献する」とされている。国際協議において、これが確認できたと判断されたことから、BA 活動として実施されているところであるが、関係機関においては、研究開発の状況や国外の状況を適宜に把握しつつ、推進方策に沿った取組を引き続き着実に実施していくべきである。

iv) その他の核融合炉の実現に向けた研究開発（核融合炉システム研究、トカマク理論・シミュレーション研究、社会・環境安全性の研究）

<これまでの取組状況>

BA活動で実施されるIFERCにおいて、原型炉の概念設計及び原型炉に係る技術に関する研究開発を実施する原型炉設計・研究開発調整センター、及びスーパーコンピュータを用いてプラズマ挙動の解析等のシミュレーションを実施する核融合計算機シミュレーションセンターが設置されることとなった。

社会・環境安全性の研究については、JAEAにおいて、社会性向上のための廃棄物管理のあり方について検討が行われている。

また、核融合エネルギーフォーラムの ITER・BA 技術推進委員会においては、トカ

マク方式によって21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化準備を完了するためのロードマップを1つのケーススタディとして検討し、核融合エネルギー実現に必要な技術の検討も実施されている。

<評価>

BA 活動で実施される原型炉設計・研究開発調整センター及び核融合計算機シミュレーションセンターは、「推進方策について」に示された原型炉の概念設計及びトカマク理論・シミュレーション研究を実施するものである。原型炉の概念設計においては、ITER 計画及びサテライト・トカマク計画の成果やシミュレーション研究で得られた成果を適宜反映する等、炉心・炉工学技術開発の進捗を踏まえた概念検討を実施することが重要である。また、BA 活動は日欧の共同プロジェクトであり、その検討対象は日欧の共通の関心事項になるため、我が国として独自に保持するべきと考えられた技術については、別途必要な研究開発を行うことが必要である。

核融合エネルギーの安全性、環境および社会への適合性を確保するために必要な基盤的研究については、原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義を国民により納得できる形で説明するためにも、より一層の取組が必要である。原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義について、常に国民に対する説明責任を果たしていくという観点から、これらに関する研究開発を着実に実施していくことが望まれる。

なお、核融合エネルギーフォーラムの ITER・BA 技術推進委員会が検討した原型炉に向けた技術開発ロードマップにおいては、原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進めるにあたっては、現行の ITER 計画や BA 活動による事業では、十分に技術実証をしえない技術があることが指摘されている。核融合研究開発に関わる関係機関は、核融合研究開発の進捗状況に関する情報等を関係者間で共有しつつ、こうした技術の有無について検討し、可能な限り早期にそれに関する研究開発のあり方を検討していく必要がある。

3.2 核融合に関する学術研究

i) ヘリカル型装置による研究

<推進方策での記載事項>

ヘリカル方式：(中略) ヘリカル方式は、その3次元構造に起因した磁場配位の多様性に鑑み、さらなる最適化の余地がある。LHD による研究を中心として、ヘリカルプラズマの性能向上と磁場配位の最適化研究を世界のヘリカル研究と連携しつつ推進し、多様なヘリカル磁場配位の中からヘリカル型核融合炉心プラズマの方向性を明らかにするとともに、トカマクプラズマとの異同の理解を通じてトーラスプラズマの総理解に向けた研究を進めることが必要である。

(中略)

現在進められている LHD 計画と FIREX 計画は、引き続き、大学等において学術研究に重点をおいて研究を進め、その進捗を踏まえ適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討する。

LHD において核融合炉への展望と乱流輸送や閉じ込め改善等に関する普遍的知識の取得を目的とした研究を推進する。

炉心プラズマの閉じ込めに関する学術基盤を築き、ヘリカル磁場配位の最適化研究、ヘリカル型定常核融合炉の設計研究を進める。

科学技術・学術審議会等におけるこれらの研究成果等の評価を踏まえて、ヘリカル型装置による学術研究の展開の方向を定める。

<これまでの取組状況>

ヘリカル型装置による研究は核融合研の LHD を中心として進められている。LHD においては、近年、NBI の増強、ペレット入射装置の開発などの適切な機器整備が行われ、超高密度プラズマの生成 ($1.1 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$)、 β 値 (5%)、長時間プラズマの維持 (54 分 28 秒)、中心イオン温度 (6.8keV) 及び中心電子温度 (10keV) をそれぞれ個別に達成した。これらは、核融合炉心プラズマを見通すことを目指したプラズマの高性能化を図る観点から、大きな成果である。

核融合研では、平成 16 年度より、これまで各大学において個別に行われてきた研究を、核融合研が中核機関となって調整を行い推進する新しい形態の「双方向型共同研究」を実施しており、平成 20 年度は 68 件の研究課題が採択された。こうして核融合研では、大学等における学術研究のネットワークの中心としての役割を果たすと

もに、大学における萌芽的・独創的研究の進展を支援している。

さらに、国際共同研究拠点ネットワーク形成事業の一環として、大学院生や若手研究者の海外派遣や、海外の若手研究者の積極的な招へい等を行い、国内外の若手研究者を国際的に活躍できる人材として養成する等、若手研究者の育成に努力している。平成 19 年度実績は日本から 41 人を派遣し、海外から 49 人を招へいしている。

また、周辺住民との間でのコミュニケーションを深めたり、周辺住民から重水素実験に関する理解を得るため、同研究所における実験をテーマとした市民学術講演会や重水素実験に関する市民説明会を実施してきており、市民説明会については、これまで計 24 箇所で開催してきている。平成 18 年度には約 300 人、平成 19 年度には約 450 人の参加を得ている。

なお、核融合研究作業部会では、平成 19 年 6 月に核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビューを行い、LHD については以下の評価及び課題の整理がなされている。

評価：重点化後、優れた成果をあげ、着実に研究が進展し、大学共同利用機関としての共同利用・共同研究の役割がより強化されており、実験データをオープンに利用できる体制の構築等、重点化後の成果は期待通りあがっている

課題：学術分野での重要なターゲットの解明に向けた一層の努力が望まれる。

<評価>

LHD による研究を中心としたヘリカル方式による研究は、ヘリカルプラズマの高性能化等の世界的な研究成果を挙げてきている。

文部科学省や核融合研では、外部専門家によるチェック・アンド・レビューを適宜に実施し、それらの結果を以降の研究計画に反映しつつ、研究を進めており、その取組は適切である。

核融合研は、大学共同利用研究機関として国内外の大学等との共同研究を積極的に進めるとともに、大学間の研究ネットワークの構築、若手人材育成など、核融合科学に関する学術研究の中核的拠点としての役割を果たす努力を積極的に行っている。また、LHD を中心とした国際共同研究拠点ネットワーク形成事業に取組み、多くの国際共同研究、国際連携の窓口として国際的なリーダーシップを発揮している。こうした取組は、世界の核融合に係る学術基盤の形成に貢献しているものと評価できる。

また、今後重水素実験を始めるに当たり、市民説明会や市民学術講演会等を行うとともに、一般公開等による社会への研究成果の発信も積極的に行っている。

今後は、核融合エネルギーの実用化に向けて、核融合研の炉工学研究センターを中心として大学における研究も含めて、炉工学研究へのより一層の貢献がなされ、リーダーシップを取ることを期待する。また、トカマクプラズマとの異同の理解を通じてトーラスプラズマの総理解に向けた学術研究を一段と進め、他分野からも高く評価される学術研究を生み出していくことを期待する。

また、核融合研においては、ヘリカル型核融合炉の方向性を明らかにしていくため、将来計画について更にて十分な検討を行っていく必要がある。文部科学省においては、LHD 等による研究の進捗を踏まえて適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

ii) レーザー型装置による研究

<推進方策での記載事項>

3. 2. 1 トカマク方式以外の重点化計画

レーザー方式：(中略) 高速点火レーザー方式では、高密度に圧縮された燃料の一部をレーザーで加熱することにより核融合点火を起こし、点火領域から発生するアルファ粒子が燃料を順次加熱して、燃料全体を燃焼させることにより、最終的なレーザー核融合炉で必要となる100以上の高いエネルギー増倍率の目処を得ることを目標とする。高速点火方式の実証については、(1) 比較的小規模の装置を用いて燃料を点火温度まで加熱することを実証し、(2) 大規模の装置を用いてアルファ粒子の飛程より大きな燃料を加熱して点火・燃焼を実証するように段階を追って進めることが必要である。

(中略)

現在進められているLHD計画とFIREX計画は、引き続き、大学等において学術研究に重点をおいて研究を進め、その進捗を踏まえ適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討する。

レーザー核融合方式による点火、及び燃焼プラズマの実現を目指し、大阪大学を中心とするFIREX第1期計画を進める。(中略) その成果により、点火・燃焼の実現を目指す第2期計画に発展させるか否かの判断を、科学技術・学術審議会等における評価を踏まえて行う。

<これまでの取組状況>

FIREX の第 1 期計画において、点火温度 5keV への加熱実証を目標として新たに世界最高出力の加熱用レーザーLFEX の建設を平成 20 年 3 月に完了した。平成 20 年 2 月より照射実験を開始するとともに、プラズマ実験、ターゲット技術開発、ならびに統合シミュレーション研究等の高速点火核融合に関する基礎研究を進め、先進的ターゲット設計を提案している。

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターは、核融合研との双方向型共同研究や連携研究を含め、平成 18 年 4 月からは、全国共同利用施設として激光 XII 号を広く一般に共同利用・共同研究を募集するなどの透明性の高い共同研究体制の強化を図っており、平成 19 年度には 21 件の激光 XII 号共同実験と 8 件のグループ形成提案を受け入れている。また、これらの取組等を通じて若手研究者の育成など人材育成にも努めている。

なお、核融合研究作業部会では、平成 19 年 6 月に核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビューを行い、レーザー核融合については以下の評価及び課題の整理がなされている。

評価：重点化後、高速点火において大きな成果を挙げており、パワーフォトリクスをベースとした特徴的な貢献や、共同利用・共同研究の強化の面で、重点化後、十分な成果をあげつつあり評価できる。

課題：今後は、分野の展開を含めてオールジャパンの課題や体制の構築に向けた一層の取組が望まれる。次段階へ進むためには、FIREX-I における原理実証に加えて、炉システムの実現性を示す炉工学研究の展開が必要である。

<評価>

高速点火方式による研究に大きな成果があり、パワーフォトリクスをベースにした拡がりを含む研究等、十分な成果をあげていると評価できる。また、激光 XII 号をレーザー核融合の中核研究設備とする全国共同利用施設として透明性の高い共同研究体制の強化を図っている取組は非常に有効であると評価できる。

今後、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいては、レーザー核融合による高速点火方式の実証について、「推進方策について」に示されたように段階を追って研究開発を進めることが必要である。また、レーザー核融合炉の実現性を判断するために、炉工学研究の展開について検討していくべきである。文部科学省においては、FIREX 計画の進捗を踏まえて適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

iii) 核融合基盤研究

＜推進方策での記載事項＞

核融合に関する学術研究については、重点化された大型計画研究を進めるとともに、プラズマ実験、理論、炉工学分野での先駆的・萌芽的研究に基づく多様な研究を確保することで核融合基盤研究の充実を図る。また、核融合理工学としての学問体系化を図る。

＜これまでの取組状況＞

核融合研がコミュニティと協議しながら中核機関として調整を行い推進する双方向型共同研究では、これまで各大学において個別に行われてきた研究に対して、大学の附置研究所、センター等の装置・設備を有機的に活用し、プラズマの高性能化に必要な物理機構の解明が進められている。具体的には、京都大学（HeliotronJ）との間で、閉じ込め改善とヘリカル磁場構造の関係の共同研究が、九州大学（TRIAM-1M/QUEST）の間では高温プラズマ定常化とプラズマ壁相互作用の共同研究及び球状トーラスに関わる研究計画が、筑波大学（GAMMA10）の間ではプラズマ閉じ込め改善の物理機構解明の共同研究が、また、大阪大学（激光XII号/LFEX）の間ではレーザーによる高速点火に関する共同研究が実施されている。

一方、大阪大学レーザーエネルギー学研究所と九州大学応用力学研究所は、全国共同利用施設として広く開放されており、基盤研究の研究拠点としての役割を果たすとともに、人材育成の面でも貢献がなされている。

＜評価＞

新たな段階に入りつつある核融合研究における学術研究においては、ITER計画をはじめとした核融合開発研究を支えると同時に学術の芽を見いだしていくことと、開発で得られた知を学問体系の中に組み入れると共に学術としての普遍的な知の探求を行うことという2つの役割を果たしていくことが求められる。

このため、大学等における学術研究は、これら二つの機能が、開発研究との相互作用により効果的なものとなるよう更に発展的に取り組んでいくことが不可欠であり、これにより核融合開発研究を支援できることになることを再認識しなければならない。すなわち、学術研究と開発研究の間で双方向的で密接なコミュニケーションを図っていくことが必須である。

特に、ITER やトカマク、ヘリカル、レーザー等の大型装置による研究では十分に

実施できない多様な課題、例えば先進的な計測法、プラズマ-壁相互作用、材料等について、新たな知見や技術革新を生み出す基盤研究が果たすべき役割は大きいことから、核融合研が中心となって進める双方向型共同研究の充実を図るなどして今後も着実に進めていく必要がある。

学术界はこれまでややもすれば先送りされてきた炉工学分野における学術研究を強化すると共に、核融合炉システムとして統合・総合化される中で必要とされる課題をロードマップの中で俯瞰し、先取りし、学術として位置づけていく力量を持たなければならない。なお、ITER と基盤研究の間の双方向的研究展開の一例としては、ITER を物理面で支援する国際トカマク物理活動 (ITPA) やテスト・ブランケット・モジュール (TBM) 活動等への積極的な参加等が考えられ、核融合の研究開発ポテンシャルを有効に活用した主体的な国際協力の推進が望まれる。

また、基礎的・基盤的な学術研究は、研究者・技術者の養成にも寄与するところが大きく、核融合研究開発を長期に支える有用な人材の輩出に貢献できることから、これに携わる人材も含めて、核融合基盤研究の一層の充実が図られることを期待する。

なお、学術研究は、特段の要請がない限りは、原則的に研究者の自由な発想のもとに実施されるものであるから、核融合エネルギーフォーラムや核融合ネットワーク等の場において、研究者の発意による研究協力等が一層推進されることを期待する。

3.3 核融合研究開発を維持・発展させるための取組

i) 人材育成の方策と社会への発信

<推進方策での記載事項>

○人材育成

共同利用・共同研究を積極的に活用し、研究及び研究者の積極的な交流・流動化を可能とする組織・制度設計を行う必要がある。

大学等にあっては、双方向性を有する共同研究の一層の拡充が必要である。

大学以外の研究機関にあっては、高度専門性人材の養成に努めるため、大学等との連携・協力の強化に基づく人材育成の枠組みの検討が必要である。

産業界を中心とした基盤技術の育成を支える人材確保の方策等を模索しつつ、広い視野に立ち科学技術創造立国を支える人材を核融合界から輩出することが必要である。

○社会への発信

核融合エネルギーの意義や安全性等に対する社会の理解を得ることが重要。

核融合フォーラム等において、ITER 計画及び核融合研究への幅広い科学者・一般国民の参加を促進することが重要。

<これまでの取組状況>

－人材育成－

核融合エネルギー開発は長期にわたる開発・基盤研究と広範な要素技術の総合化に支えられることから、核融合研究作業部会において「人材育成・確保等」が重要な課題として指摘された。この指摘を受けて、同作業部会においては、平成 19 年秋より、核融合研究分野における人材の確保について長期的・短期的課題を整理しつつ、緊急に必要な施策及び長期的に必要な施策の両方の観点から検討が行われ、平成 20 年 7 月に報告書「核融合研究の推進に必要な人材の育成・確保について」がとりまとめられた。

また、核融合エネルギーフォーラムの ITER・BA 技術推進委員会においても、トカマク方式によって 21 世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化準備を完了するためのロードマップの検討が 1 つのケーススタディとして行われ、ロードマップの検討結果に基づいた分野ごとに必要とされる人材の検討を実施されている。

なお、重点化後の各施設における人材育成については、核融合研究作業部会において、以下の評価がなされている。

- ・ JAEA では、若手研究者を積極的に活用するなど、内部での人材育成の努力がなされている。今後は、若手研究者の採用や原子力機構外の研究者等との間の人材の流動化のための取り組みが望まれる。
- ・ NIFS においては、総合研究大学院大学ならびに複数の大学との連携大学院の大学院生受け入れや、共同研究を通じた全国の学生の教育等、我が国の核融合分野の人材育成に重要な役割を果たしている。
若手研究者の自由な発想による企画を促す研究環境の確保が望まれる。
- ・ 大阪大学においては、若手研究者育成への積極的な取り組みや、国内外の研究機関等への人材派遣によって人材育成に貢献している。

このように、核融合分野の人材育成のあり方について各方面において評価、検討が進められているところであるが、産業界では、近年、核融合装置の建設機会の減少のため、技術の継承ができないままに多数の技術者がリタイアしている状況にあり、技術者数が不足しているという問題が指摘されている。

－社会への発信－

核融合エネルギーの意義や安全性等に対する社会の理解を得るために、核融合エネルギー研究開発について文部科学省や JAEA、核融合研はホームページ等を通じて情報提供を行っている。また、JAEA は六ヶ所村での住民説明会の開催や、研究者・技術者による出張授業、施設見学の受け入れなども積極的に実施している。さらに、国内研究者に対しては、核融合エネルギーフォーラムを通じて、ITER 計画、BA 活動等に対する意見集約、情報共有を図っている。

<評価>

人材の育成・確保は、原子力分野における共通の課題であり、核融合分野に限定されるものではないが、文部科学省等においては、様々な場で核融合分野の人材の育成・確保に関して真剣に検討が実施されていることについては評価できる。

今後は、これら核融合研究作業部会等の検討結果を適宜適切に政策へ反映させ、効果的かつ効率的な施策に具体化していくことに加え、核融合研究開発はその実用化に至るまで非常に長期間を要するものであることを踏まえ、核融合研究開発に関わる人材の状況について定期的にレビューを実施するなどして、人材の育成・確保に向けた取組について必要な見直しをしていくことも重要である。

また、原型炉に向けたロードマップを策定し、明確化することは、産学官の間で技術開発等に関する目標を共有化すること等により、産業界における人材を確保するた

めにも有効である。そのため、様々な技術開発に対して優先順位付けを行うなどにより、原型炉の実現に向け、我が国として確保、維持すべき技術を明確にした戦略的なロードマップを策定することが必要である。なお、ロードマップの策定は、研究者だけでなく産業界の参画も得て、相互に情報を共有し、施策の提案等による議論を重ねながらオールジャパンの観点から推進されるべきであり、また、研究開発の進捗を踏まえて適宜適切に見直していく活動も重要である。さらに、核融合研究開発に必要な人材を長期的に確保していくためには、核融合研究分野内だけでなく、我が国の科学技術活動全体の中での核融合研究開発の位置づけを踏まえて、関連性のある他の科学技術分野との連携を図りつつ、相互に情報交流、人材交流等を積極的に進めていくことが必要である。

社会への発信については、核融合関連の施設がある地域に対して重点的な広報活動が展開されているが、一般国民全体に対して幅広く発信がなされているとはいえない。今後は、核融合に対する国民各層からの一層の理解が得られるよう、特定の地域のみならず、国民各層に対して、他の原子力分野にはない核融合の特色や魅力、将来性等についての効果的・効率的な広聴・広報活動にも取り組んでいくべきである。

ii) 知識・情報基盤の整備

<推進方策での記載事項>

産業界に蓄積された技術の継承と発展を図ることが重要であり、先端的な技術開発を必要とする実験装置の設計・製作が行われることが不可欠。

技術の民間への円滑な移転や実用化、研究開発で得られた知識や経験の継承・活用を図るための知的・情報基盤の整備に取り組むことが重要。

<これまでの取組状況>

ITER 建設や BA 関連施設の物納機器の調達等については、ITER 協定、BA 協定の発効を受けて、それぞれ国内機関、実施機関である JAEA により平成 19 年度から物納機器の調達が開始され、ITER においては、我が国は他極に先駆け超伝導コイルの調達に着手するなど積極的な活動を実施している。

また、核融合エネルギーフォーラムにおいて、トカマク方式によって 21 世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目処を得るためのロードマップを 1 つのケーススタディとして作成し、国内に保持すべき技術等について検討がなされている。あわせて、その実現に必要な人材計画についても検討がなされている。

一方、今後 10 年程度の期間で ITER 建設と BA 活動を進めていく必要がある中、産業界においては、これまでの核融合装置の建設機会の減少等により技術の空洞化が生じたため、技術継承が十分になされていない状況にあり、産業界における現有の技術者や設備では十分な対応ができない可能性が指摘されている。

<評価>

現在、国内機関、実施機関である JAEA によって ITER 建設や BA 関連施設の物納機器の調達等が実施されているところであるが、ITER 建設において我が国が実施する物納は、他極と同様に ITER を構成する機器の一部にすぎない。このため、我が国は、他極が物納を担当する機器の作成のための技術や ITER を構成する機器の統合に関するノウハウ等を保持し得なくなる可能性が高い。この課題に対しては、我が国がホスト国として ITER 計画を補完する BA 活動において得られる技術やノウハウ等を適切に保持し、活用していくことが期待される。

また、ITER 建設や BA 関連施設の整備は、研究開発機関と産業界とが連携、協力して可能となるものであるが、産業界が現在直面している課題は、今後の核融合研究

開発を推進する上で極めて深刻な問題である。

このため、ITER 計画へ参画し、原型炉へ向けての技術やノウハウを獲得してこべき人材や、獲得した技術やノウハウの国内での蓄積されるべき適切な機関についても早急に検討がなされるべきである。

なお、ITER・BA 技術推進委員会で検討された原型炉に向けたロードマップ作成は、この問題に対処するための第一歩であると考えられ、このロードマップ検討作業において、産業界も参加して全日本的な体制で検討がなされていることは一つの有効な取組である。このような技術開発ロードマップを関係者間で適切な形で共有し、それに示された技術課題について、我が国として維持・向上すべき技術に優先順位を付けるなどしつつ、その技術開発課題に対する産学官の取組体制を明確にしていくことも必要である。

iii) 他の科学技術分野や社会への貢献

<推進方策での記載事項>

核融合研究で開発された先端技術の他分野への活用を積極的に進める必要がある。多様な要素が複雑に統合された核融合炉研究開発では、研究成果を還元して学術として体系化・普遍化することが重要である。また還元された基盤学術の複合により新たな学問領域の創成も期待される。

原子力研究開発に必要な大型研究施設は、広範な科学技術分野に有用な研究手段を提供することが多いため、他の科学技術分野にもたらす研究水準の飛躍的向上などの有用性も加味し、また、それが多くのユーザーに開放するための環境が整備されることが重要である。

<これまでの取組状況>

核融合炉工学技術は、超伝導技術、高周波技術、真空技術、遠隔操作技術、コンピュータ技術等、様々な工学分野での革新的な技術基盤をベースに進展してきており、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、情報・通信、環境分野を始め、多くの産業分野に波及効果をもたらしてきている。

例えば、LHD においてプラズマ加熱用に開発された高周波技術は、セラミック焼結技術として応用が進められている。また、レーザー核融合研究で開発された原子過程のシミュレーション・コードや診断技術、ペレット技術を利用して、次世代半導体

のための極端紫外光源開発が進むとともに、そのためのレーザー技術開発が行われている。

<評価>

核融合研究が社会的理解を得るためには、核融合に関わる科学技術をより身近なものにする努力が不可欠である。このための取組の一つとして、核融合研究開発で得られた成果、例えば中性粒子ビーム生成技術、高出力ジャイロトロン、セラミック製真空排気系、プラズマシミュレーションコード等をコアとして、他の科学技術分野との連携、協力を積極的に進めていくべきである。

同様に、他の学術分野から核融合研究が認められ、評価されるためには、核融合研究から得られた学術的成果が普遍性と汎用性を持ち、他分野にも大きなインパクトを与えていくことが大切であり、研究開発の取組にあたっては、このようなことも追求していくことが必要である。

iv) 核融合研究開発の体制

<推進方策での記載事項>

核融合研究開発の分担

原子力委員会...核融合研究開発に関する基本方針の調査審議の実施

文部科学省 ...原子力委員会の基本方針に基づき、核融合研究開発に関する政策・施策の企画・実施等を行うとともに、審議会等において核融合研究開発のチェック・アンド・レビューを実施

日本原子力研究開発機構...トカマク方式による開発研究の中核的機関としての役割

核融合科学研究所...核融合プラズマの学理とその応用の研究を図り LHD を用いた学術研究等や、大学の炉工学研究の取りまとめの役割を果たすことを期待。

大学他...学術研究の推進と学生の教育を大きな柱として位置づけ。

産業界...原型炉に向けた製造技術の確立と経済合理性追及の観点から、核融合機器の製造技術の蓄積・向上に務めることを期待。

原型炉の設計や核融合炉の実用化の検討については、産業界関連機関、製造業、電力業界の参画を期待。

国際協力

多国間協力や二国間協力を積極的に立ち上げ、有効に活用していくことが重要。

共同利用・共同研究と連携協力

ITER や原型炉へ向けた研究では、産業界も含めた全日本的な協力体制が必要であり、そのような全体を俯瞰した連携・協力のあり方を検討する必要がある。

チェック・アンド・レビュー (C&R)

核融合研究開発の進捗状況についての総合的な C&R は、概ね 5 年毎に実施。

開発研究については、C&R を踏まえ、原子力委員会が第三段階終了以前に原型炉段階への以降の可否を判断

学術研究については、ヘリカル方式とレーザー方式を中心に C&R を行い、適切な時期に研究の展開の方向を定める。

<これまでの取組状況>

－核融合研究開発の分担－

原子力委員会が決定した第三段階計画、推進方策に則って、文部科学省の政策が推進され、平成 18 年には核融合研究作業部会において、チェック・アンド・レビュー

が実施されている。本レビューにおいては、JT-60の重点化、LHDの重点化、激光XII号の重点化、炉工学の重点化により、核融合研究開発が進展していることが確認されている。

－国際協力－

ITER計画に加え、日欧でITER計画を補完・支援するBA活動を実施している。また、従来の日欧協力、日米協力に加え、日韓核融合協力取決め、日中核融合協力取組めを結び、各国の所有する核融合実験装置を活用した二国間での協力活動も推進している。

－共同利用・共同研究と連携協力－

主に大学を中心として取り込まれている学術研究と、ITER計画やBA活動に代表される開発研究の情報流通に関して、ITER・BA技術推進委員会においてITER計画、BA活動に関する情報の提供が随時行われている。さらに、核融合エネルギーフォーラムにおけるクラスター活動や核融合ネットワークによる活動その他により、関係者間の情報の共有が図られている。また、ITER計画における各種委員会やBA活動の3つの事業委員会など、研究開発プロジェクトの意思決定の場に、大学等学術界で活躍している研究者の参画が得られており、学術界の意見を反映できる体制となっている。

また、核融合研では、19年4月、BAサイトのある六ヶ所村に、ITER計画及びBA活動への参加拠点としての将来を見据えて、3次元高速仮想現実システムの開発を実施するため「六ヶ所研究センター」を開設した。

<評価>

ITER計画が本格化している現在、関係機関においては、「推進方策について」に示した役割分担に沿って着実に取組を実施している。

今後、「推進方策について」では、概ね5年毎に核融合研究開発全体の進捗状況についての総合的なチェック・アンド・レビューを実施することとしていることから、今後も、文部科学省においては、核融合研究開発の総合的な進捗状況を踏まえて、適宜・適切なチェック・アンド・レビューを実施していくべきである。

また、核融合エネルギーフォーラムにおけるクラスター活動などITER計画を支援する研究体制が強化され、円滑な活動が行われるよう特段の配慮が必要である。

第4章 結論

本部会は、第3章に取りまとめられた評価を踏まえて、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示されている核融合研究開発に関する取組の基本的考え方は引き続き尊重されるべきと考える。同時に、その目指すところが実現されるためには、関係行政機関等が、今後、以下に示す提言を踏まえて、関連する取組の改善を図りつつ着実に推進していくことが必要であると評価する。

(1) ITER 計画及び BA 活動について

第三段階核融合研究開発基本計画の中核装置である ITER については、平成 19 年に ITER 機構が正式に発足し、文部科学省及び国内機関である JAEA を中心として、ITER 建設に向けた取組みが着実に進展している。また、BA 活動においても、ITER 支援研究や原型炉に向けた研究開発を実施する体制が整いつつあり、着実に計画が進展されている。今後もそれぞれの計画において最大限の成果を得るように引き続き全日本的な連携を図りつつ着実に計画を進展させることが必要である。

その際、特に留意すべき点は、ITER 計画に参画する優秀な人材の確保と、核融合炉実現に向けて国内での知識やノウハウ等の確保がしっかりと行われる体制の構築が図らなければならない点である。また、ITER 協定の下で実施される TBM 計画が着実に進めるように取り組むことも重要である。

BA 活動に関しては、実施内容について国内研究者間で一層の情報共有を図れるような体制の構築と参加のための枠組みを整備することが求められる。

また、トカマク方式による核融合エネルギーの実現のためには ITER 計画及び BA 活動だけでは補えない分野もあることが予想される。JAEA を中心として、核融合エネルギー実現に向けて我が国が保有すべき技術について、戦略的な検討が必要である。

(2) 学術研究について

ヘリカル、レーザー方式については、核融合の選択肢を拡げる観点から着実に研究開発が実施されている。今後は、それぞれの方式についての方向性を明らかにしていくため、将来計画について十分な検討を行っていく必要がある。文部科学省においては、ヘリカル、レーザー方式による研究の進捗を踏まえて適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

また、基盤学術研究と ITER 計画の間の双方向的研究を促進する観点から、ITPA や

TBM 活動への積極的参加がスムーズに行えるよう核融合エネルギーフォーラム等を通じて潤滑油的資源を確保する必要がある。

これまでやや後手に回っていた炉工学基盤研究を強化すると共に総合的核融合工学として発展させる必要がある。

また、核融合エネルギーフォーラムにおいて1つのケーススタディとして検討された原型炉に向けた技術開発ロードマップの中で明らかにされた課題を解決できる学術基盤を先見的に取り上げ、国民の期待の大きい核融合エネルギー開発に向けて責任のある道筋を明示する必要がある。また、これらの学術研究は産官学で活躍する人材育成の源泉でもあることに鑑み着実に推進されなければならない。

(3) 研究開発体制について

核融合エネルギーを実現するためには、今後数多くの研究者が必要になることが予想される。こうした人材需要を核融合コミュニティだけで賄うのは困難であると考えられる。今後は、関連する科学技術分野、特に原子力の他の分野との連携・協力を視野に入れた戦略的な研究開発体制、人材育成・交流方策の構築が望まれる。

また、産官学にわたる全日本的な体制の強化を今後とも図っていくことが必要である。

(4) 社会への発信について

核融合エネルギーの実現には、今後も多大な国費を投入することが必要になることが予想され、各関係機関においては、国民に対して常に核融合エネルギーの意義を説明していく努力が求められる。また、核融合を学生にとって魅力的な分野とすることは、核融合エネルギー実現に向けた人材確保の面でも重要である。

また、核融合エネルギーの安全性、環境および社会への適合性を確保するために必要な基盤的研究については、原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義を国民により納得できる形で説明するためにも、より一層の取組が必要である。原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義について、常に国民に対する説明責任を果たしていくという観点から、これらに関する研究開発を着実に実施していくことが望まれる。

(5) 次段階への移行の判断について

「推進方策について」では、核融合エネルギーの実現を目指して、中間段階（ITER 機構発足後、約 10 年程度）での達成目標と最終的な次段階（原型炉段階）への技術

上の移行条件が示されている。関係機関においては、引き続きこれらの技術条件を達成することを目安として施策を実施することが望まれる。なお、その場合、「選択と集中」の考え方にに基づき、引き続き効果的かつ効率的な資源配分を行うことが必要不可欠である。

原子力委員会には、関係行政機関等がこれらの提言も踏まえて核融合研究開発に関する取組を適切に進めているかどうかについて、確認に努めることを期待する。また、核融合研究開発はその実用化に至るまで長期間を要するものであることから、原子力委員会は、関係行政機関等に関連の取組状況について定期的に報告を求め、これらの提言を踏まえた取組の改善状況を確認しつつ、状況を踏まえた適切な提言を行っていくべきである。

(付録1) 核融合専門部会の開催実績

○第10回核融合専門部会〔平成19年10月12日(金) 15:30～17:30〕

- 議題：1. 核融合専門部会の設置について
2. 核融合研究開発の現状について
3. 核融合専門部会の当面の進め方について

○第11回核融合専門部会〔平成19年12月20日(金) 10:00～12:10〕

- 議題：1. 核融合専門部会の評価の進め方について
2. 関係行政機関等からのヒアリング
(1) 文部科学省
(2) (独) 日本原子力研究開発機構

○第12回核融合専門部会〔平成20年2月14日(木) 10:00～11:50〕

- 議題：1. 関係行政機関等からのヒアリング(文部科学省)

○第13回核融合専門部会〔平成20年4月25日(金) 14:00～16:30〕

- 議題：1. 関係行政機関等からのヒアリング
(1) 文部科学省
(2) 核融合科学研究所
(3) 大阪大学
2. ITER設計の国内評価について(状況報告)

○第14回核融合専門部会〔平成20年5月28日(水) 14:00～16:00〕

- 議題：1. 学協会・産業界からのヒアリング
2. 報告書骨子案について
3. 最近のITER・BAの進捗状況について

○第15回核融合専門部会〔平成20年7月16日(水) 14:00～16:00〕

- 議題：1. 関係行政機関等からのヒアリング(文部科学省)
2. 核融合エネルギーフォーラムにおけるロードマップ等の検討結果について(報告)
3. 報告書(案)について

○第16回核融合専門部会〔平成20年9月25日（木） 10:00～ : 〕

議題：1. 報告書（案）について

2. 「ご意見を聴く会」の開催について

(付録2) 核融合専門部会の委員等名簿

○核融合専門部会 構成員

池田 右二	元在ウィーン国際機関日本政府代表部特命全権大使
伊藤 早苗	九州大学 応用力学研究所 教授
植弘 崇嗣	(独) 国立環境研究所 環境研究基盤技術ラボラトリー長
内山 洋司	筑波大学大学院 システム情報工学研究科リスク工学専攻教授
小川 雄一	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
尾崎 章	(社) 日本原子力産業協会 政策本部調査役
木村 晃彦	京都大学 エネルギー理工学研究所 教授
高村 秀一	愛知工業大学 工学部電気学科 教授
常松 俊秀	(独) 日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門長
寺井 隆幸	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻 教授
後藤 清	東京電力(株) 執行役員 技術開発研究所 所長 (平成20年8月まで)
原 築志	東京電力(株) 技術開発研究所 所長 (平成20年8月から)
三間 圀興	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 教授
本島 修	自然科学研究機構 核融合科学研究所所長 理事・副機構長
山下 ゆかり	(財) 日本エネルギー経済研究所地球環境ユニット総括研究主幹

○原子力委員会

近藤 駿介	原子力委員会委員長
田中 俊一	原子力委員会委員長代理
松田 美夜子	原子力委員会委員
広瀬 崇子	原子力委員会委員
伊藤 隆彦	原子力委員会委員

※ 原子力委員会委員長及び委員については、「核融合専門部会の構成員について」(平成19年9月25日 原子力委員会決定)に基づき、原子力政策の妥当性の評価に関する調査審議を行う場合に限り構成員として出席することとしている。