

第3回原子力委員会  
資料第1-1号

平成21年1月22日

原子力委員会委員長 殿

核融合専門部会部会長

原子力政策大綱等に示している核融合研究開発に関する取組の  
基本的考え方の評価について

当部会は、標記について、別添のとおり報告書を取りまとめましたので報告します。

以上

原子力政策大綱等に示している  
核融合研究開発に関する取組の  
基本的考え方の評価について

2009年1月22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	7
3.1 トカマク方式による開発研究	8
3.1.1 研究開発体制	8
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	15
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	20
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	26
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	35
(付録1) 核融合専門部会の開催実績	
(付録2) 「原子力委員会核融合専門部会 ご意見を聴く会」実施結果概要	
(付録3) 核融合専門部会の委員等名簿	
(付録4) 原子力政策大綱(関係部分抜粋)	
資料	主な用語解説

## 第1章 はじめに

原子力委員会は、平成 17 年 10 月に、今後数十年間にわたる我が国における原子力の研究、開発及び利用に関係する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に本部会の開催実績、付録2に「核融合専門部会 ご意見を聴く会」実施結果概要、付録3に本部会の委員等名簿、付録4に原子力政策大綱の核融合研究開発に係る関連部分抜粋を記載している。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
    - － この開発研究を全日本的に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、「ご意見を聴く会」の開催及び報告書の取りまとめ

① 報告書 (案) に対する意見募集

報告書 (案) に対して、2008年10月21日 (火) ～11月20日 (木) の間、国民の方々から意見募集を実施した結果、16名 (1団体を含む) から51件のご意

見を頂いた。

## ②「ご意見を聴く会」の開催

報告書のとりまとめに当たって、国民への施策についての説明及び意見聴取を行うため、①の意見募集と並行して、以下のとおり「ご意見を聴く会」を開催した。

### i) 開催日時及び場所：

日時：平成20年11月7日（金） 13：30～17：00

場所：つくば国際会議場 大会議室102（つくば市）

### ii) プログラム

#### (a) 開催趣旨説明

#### (b) 第1部：ご意見発表者との意見交換等

- ・核融合研究開発の現状と報告書（案）の概要について
- ・ご意見の聴取

時松 宏治 （財）エネルギー総合工学研究所主任研究員

永山 悦子 毎日新聞社科学環境部 記者

神田 久生 つくばエキスポセンター 運營業務部長

- ・部会構成員との意見交換

#### (c) 第2部：会場に参加された方々からご意見を頂く

参加者数：36名（うち、第2部でご意見を発表された方は 5名）

参加募集時に提出された意見数：23件

これら報告書（案）に対する意見募集や「ご意見を聴く会」にて頂いたご意見の対応について審議した結果、寄せられたご意見を可能な限り反映させた上で、本報告書を取りまとめた。

### 第3章 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価

「推進方策について」では、核融合エネルギー利用を早期に実現することを目指して、原型炉に向けた開発研究と核融合に関する学術研究を重点的に進めることとし、第三段階における施策を以下のように明確化した。

#### 1. トカマク方式による開発研究

トカマク型原型炉に向けた技術基盤を形成するために、実験炉 ITER による開発研究、トカマク改良研究、炉工学研究、核融合システム研究、トカマク理論・シミュレーション研究、社会・環境安全性の研究を進める。

#### 2. 核融合に関する学術研究

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。

本章では、第2章で示した評価の視点に沿って評価作業を実施した結果について、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を、「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」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。また、「推進方策について」で示された「人材育成の方策と社会への発信」等のその他の施策については、「3. 核融合研究開発を維持・発展させるための取組」として、同様に各関係行政機関等の取組状況を整理して、そ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、文部科学省及び JAEA が中心となって、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効果的・効率的に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、BA 協定の発効、実施機関（JAEA）の指定、BA 活動に対し国内研究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「ITER・BA 技術推進委員会」の設置等、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、この体制の下で、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、核融合エネルギーフォーラムの場を有効に活用するなど、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がなさ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-60SA 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、ITER における開発研究を目指して以下の取組が実施されている。

- －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 28 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) トカマク改良研究

##### <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に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、安全性研究や先進的な材料開発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、研究開発を進め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、我が国として推進すべきと考えられた科学技術については、別途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、関係研究機関においては、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進め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合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( $1.1 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$ )、 $\beta$ 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。

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。

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合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。

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、十分な成果を挙げていると評価できる。

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二つの機能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。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、学術研究がこれらのような活動に一層寄与すべく、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。

また、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。

このように、核融合研究が開発研究との相互作用を求められる段階にある一方で、核融合は、様々な科学や要素技術を統合し、同時にそれらの前線を切り開くことによって前進できるものである。現在、核融合研究が、未だ多くの科学的な未解決問題を残し、核燃焼プラズマという未知の領域へ挑む段階でもあることを考えると、長期にわたり核融合研究を維持・発展させるためには、この分野はこれまでも増して十分な「学際性」を備えていく必要がある。また、革新性や厳密性を高く評価する文化が醸成されることも重要である。大学等においては、核融合研究が、柔軟性を持ち、学際的な研究領域として他分野からの関心を引き込めるものとなるよう多彩な研究活動に取り組むことを期待する。

また、基礎的・基盤的な研究は、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。

### 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。

核融合研では、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。

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、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 JAEA 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。
- ・ 核融合研においては、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。

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。

また、核融合研においては、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 箇所で開催していきっている。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。

#### <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全日本的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。

各研究機関の取組については、核融合研の取組に関して、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も貢献しているものと評価できる。

また、大阪大学の取組に関して、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。

社会への発信については、JAEA や核融合研の取組に見られるように、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の認識を深めるために、特定の地域のみならず、国民各層に対して、エネルギー問題全般を始め、核融合の必要性、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議論を深め、発電への道筋が見える形で効果的・効率的な広聴・広報活動に取り組んでいくべきである。なお、核融合に関する国民との相互理解を図る際には、広聴活動を通じて得られる国民の核融合に対する意識や意見等を踏まえて、広報や対話の活動を丁寧に進めていくべきである。

## 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。

知的財産の取り扱いに関しては、ITER 計画においては、ITER 協定の附属書である「情報及び知的財産に関する附属書」を適用するために、ITER 機構における知的財産の管理等に関する規則を検討する必要性があり、このため、各極から派遣される専門家で構成される専門家会合が ITER 理事会の下に設置される予定である。

なお、ITER 計画における知的財産の取り扱いについては、JAEA がこれまで開催した「ITER 企業説明会」等において、産業界から ITER 機構内の管理体制の整備が求められていることから、今後、我が国産業界の意見を集約し、専門家会合を通じて、ITER 機構における知的財産の適切な管理体制の整備に貢献していく。

また、BA 活動においては、日欧双方は、幅広いアプローチの実施を通じて、実施機関において創出した知的財産を相手側に与えることが BA 協定に規定されている。また BA 活動以前に創出された知的財産は所有者に留まり保護の対象となる。このことを担保するため、知的財産に関する特約条項が制定され、JAEA では、「ITER 企業

説明会」の場において、BA 活動における知的財産の取り扱いについても説明を実施している。また、第3回運営委員会において、日欧以外の ITER 参加極が BA に参加するためのガイドラインが策定され、他極に BA 活動への参加を呼びかけていることを踏まえ、アクセス管理も含めた知的財産の管理方法の検討が進められているところである。

#### <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くるべき人材や、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。また、知的財産の取り扱いに関しても、文部科学省、JAEA においては、ITER 計画における ITER 機構の知的財産の適切な管理体制の整備の促進や BA 活動における知的財産の適切な管理体制の整備等に早急に取り組んでいくべきである。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、日中核融合協力取決めを結び、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組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であり、我が国の核融合研究開発は引き続き「推進方策について」に基づいて推進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確実に行われる体制の構築である。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があり得ることにも留意が必要である。

このため、JAEA を中心とした関係機関においては、核融合エネルギーの実現に向けては長期間を要することを踏まえて、ITER 機構への人材の派遣の方策や、将来の原型炉に向けて我が国として維持していくべき技術、ノウハウ、それらが蓄積されるべき機関等について、多方面からの戦略的な検討が必要である。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がなさ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。

### (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た取組を充実させていくとともに、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。

さらに、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。

長期にわたり核融合研究を維持・発展させるためには、優秀な人材を引き付け、多様な才能を育てていく必要がある。このためには、核融合に係る学術が大きな広がりをもつとともに、革新性あるいは厳密性を高く評価する文化が醸成されなくてはならない。大学等における基礎研究は、核融合エネルギーの早期実現あるいは高性能化などに大きな寄与をする可能性は極めて高く、大型プロジェクトの推進と相補的な観点からも、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。文部科学省、JAEA 等においては、関連する科学技術分野、特に原子力の他の分野との連携・協力をも視野に入れた戦略的な研究開発体制、人材育成・交流方策の構築を目指して、核融合分野の人材の育成・確保に関して様々な場で検討された結果を適宜適切に政策へ反映し、効果的かつ効率的な施策に具体化していくべきである。

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研究開発においては、その実現までに多大な予算が必要になる可能性があることから、各関係機関においては、国民に対して核融合エネルギーの意義や実現可能性、エネルギー問題全般とそこでの核融合の位置づけ等について常に説明責任を果た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。なお、核融合に関する国民との相互理解を図る際には、広聴活動を通じて得られる国民の核

融合に対する意識や意見等を踏まえて、広報や対話の活動を丁寧に進めていくべきである。

さらに、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、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、より一層の取組が必要である。

また、核融合研究が社会的理解を得るために、前述の広聴・広報活動に加え、他の科学技術分野との連携、協力を積極的に進め、核融合に関わる科学技術がより身近なものになるよう努めていくべきである。

#### (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ことから、「推進方策について」において、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とおり、文部科学省においては、今後も、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。

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） 10:00～11:35〕

- 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

○原子力委員会 核融合専門部会 報告書「原子力政策大綱等に示している核融合研究開発の取組に関する基本的考え方の評価について」（案）に対する意見募集

〔2008年10月21日（火）～11月20日（木）〕

意見募集に頂いたご意見数： 16名（1団体を含む）、51件

○「ご意見を聴く会」〔2008年11月7日 13:30～17:00〕（於 つくば市）  
プログラム

(a) 開催趣旨説明

(b) 第1部 : ご意見発表者との意見交換等

- ・核融合研究開発の現状と報告書（案）の概要について
- ・ご意見の聴取

時松 宏治 （財）エネルギー総合工学研究所主任研究員

永山 悦子 毎日新聞社科学環境部 記者

神田 久生 つくばエキスポセンター 運營業務部長

- ・部会構成員との意見交換

(c) 第2部 : 会場に参加された方々からご意見を頂く

参加者数：36名（うち、第2部でご意見を発表された方は 5名）

参加募集時に提出された意見数：23件

○第17回核融合専門部会〔平成20年12月15日（月） 14:00～15:30〕

- 議題：1. 「核融合専門部会 ご意見を聴く会」の開催結果について  
2. 報告書（案）に頂いたご意見への対応について

## (付録2)「核融合専門部会 ご意見を聴く会」実施結果概要

※ 第17回核融合専門部会 資料融第17-1号を掲載

### 1. 日時・場所

(日時) 平成20年11月7日(金) 13:30~17:00

(場所) つくば国際会議場 大会議室102

### 2. 出席者

(御意見発表者) 時松宏治氏：(財)エネルギー総合工学研究所 主任研究員

永山悦子氏：毎日新聞社 科学環境部 記者

神田久生氏：つくばエキスポセンター 運營業務部長

(一般参加者) 36名〔うち、第2部で御意見を発表された方は 5名〕

(部会構成員) <専門委員>

高村部会長、伊藤委員、植弘委員、内山委員、小川委員、尾崎委員、  
常松委員、寺井委員、原委員、三間委員、山下委員

<原子力委員>

近藤委員長、田中委員、松田委員、伊藤委員

(事務局) 土橋参事官、牧補佐、渡邊主査

### 3. 実施結果

冒頭、近藤委員長から開催にあたっての挨拶、高村部会長から開催趣旨の説明があった。事務局より核融合研究開発に関する現状整理及び報告書(案)を説明後、第1部では御意見発表者(3名)から御意見を聴取し、部会構成員を交えた意見交換を行った。また、第2部では会場に参加された方々(5名)から御意見を頂いた。なお、会の参加者募集の機会にも、関連する施策に関する評価について意見を募集した。第1部の御意見発表者、第2部の会場に参加された方々からの御意見及び参加募集時に寄せられた御意見等は以下の通りである。

#### 【人材育成に関して】

- ①人材育成は一朝一夕でできるものではなく、一刻も早く具体的な政策を策定する必要がある。
- ②近い将来の原型炉につながる学術研究、基盤研究を自由な発想で積極的にまた着実に進めることは、産業界への人材輩出を含めて重要であり、この観点から、現在実施されている双方向型共同研究を維持し、また、発展させて行くことは不可欠(この点を評価した報告書の趣旨に賛同)。

- ③実現まで長期間を要するビッグプロジェクトであるならば、人材の流動性を高めることよりも、研究者が腰を落ち着けて研究できるような環境作りも必要なのではないか。
- ④関係予算は増えているというが、現場としては、少なくともこれに比例して増えているような印象は全く持っていない。ITER や BA など今後やらなければいけないことが多くあるが、それを担うだけの十分な人の数がないので対応が必要ではないか。
- ⑤研究開発の即戦力となる人材と啓蒙・教育活動を行う人材の両方が必要ではないか。後者を育てるためには、学校でエネルギーに関する教育に力を入れていく必要があるのではないか。
- ⑥ITER 機構は、現状では日本人の就職の仕方に馴染まないところもある。したがって、人員枠を利用していくためには、現在研究機関等に在職している人がポストをとっておいてもらった上で休職出向ができるようにする等、制度面での対応が必要ではないか。また、大学でも、国際機関に自分を売り込むという姿勢が培われるような教育をしてほしい。

#### 【核融合炉の研究開発に関して】

- ①資源の乏しい我が国において、エネルギー開発は必須の課題であり、商業化までにたとえ50年かかろうとも、着実な開発を進めなければならない。EUとともに、我が国は核融合開発の中心的役割を果たすべきである。現在の核融合開発の中心はITER計画であるが、そのためには予算や設備のみならず、人材も大量に派遣して主導権を握るべきである。
- ②核融合研究開発を進めるにあたっては、多くの資源を必要とすることも考慮し、早期にエネルギー源として確立するとの視点が大切。核融合で、早期に、かつ、安くエネルギーを取り出せる仕組みがほかにないのかという点などについて、もう少しスタディーが必要ではないか。
- ③国民は核融合で実際に発電をしないと核融合の開発を現実的な計画と見てくれていないと思う。早く、発電できるような計画を立ち上げることが重要ではないか。
- ④選択肢を拡げる他方式や基盤技術研究など、裾野を広げる努力も怠るべきでない。トカマク方式を中心に今後進めていくことになるが、これ以外のオールタナティブなパスという考え方、見方も議論しておく必要があるのではないか。
- ⑤ITER および核融合原型炉の開発を国のエネルギー開発の1つとして位置付けて、他のエネルギー開発スケジュールも総合的に考慮した開発計画を議論することが重要である。これを策定して確実に実行していくこと、また、十分な予算計画に基づいたスケジュールが見える形になることが、産業界の積極的な参加において重要である。
- ⑥ITER や BA をオールジャパンで推進することが今まで以上に重要になると考えられるが、現状では原子力機構以外の大学関係者等の参加は限られているように思われる。その原因が何であるのかを把握することが、真のオールジャパン体制を構築する第1歩ではないか。
- ⑦最終目標である核融合炉による商用発電まで道のりは長く、今後、研究開発の更なる加速が必

要であり、そのためには、研究者、研究予算の確保は不可欠だが、現実には研究機関の研究者、研究予算は減らされ続けている。国の方針として本当に核融合炉による商用発電を目指すのであれば、それに見合うだけの研究者、研究予算をつけるべきで。個々の研究機関の自助努力が限界にきていることを国も有識者も認識し、適切な対策をとるべき。

- ⑧現在核融合に関するロードマップが検討されているが、そこで示されていることが万事順調に進むほど技術開発は簡単ではないのではないかと思っている。そういう点も含めてロードマップを理解していく必要がある。

#### 【国際協力と知的財産保護に関して】

- ①核融合は国際協力による研究開発の実施が盛んな分野の一つだが、全てを国際協力に委ねることはわが国の国益に必ずしも合致するものとは思えないので、具体的に何を国際協力で実施して行くかの戦略が重要。
- ②国際協力をとおして積極的に技術を得ていこうとする国もあり、そのこと自体を否定しては協力が進まないということがある。一方で、知的財産権は企業にとって競争力の源泉である。現在、ITER 計画における知的財産権に関する取り扱いは企業側に不利な状況になっているようであり、国際協力で進めるのは重要ではあるが、知的財産権の保護がされなければ、これまで協力してきた企業が参加できにくい状況になる。国の政策としての知的財産権に関する議論をする必要があるのではないか。
- ③知的財産権を行使できる能力の維持という観点での議論が必要ではないか。日本として残したい知的財産、技術、能力を整理するとともに、どこが責任をもって維持していくのかという議論も必要ではないか。今後、ロードマップを策定する中で、クリティカルな技術が明らかになってくると思われるので、このような議論もあわせて行うべき。

#### 【広報・情報発信に関して】

- ①核融合研究開発に関する目標、課題、進捗を整理したロードマップを示して、わかりやすい形で国民に示していくことが必要ではないか。
- ②実感を持てるような発電プラントの絵姿が必要ではないか。そのような絵姿が描けないと核融合に関する議論が進まないのではないか。
- ③国民に核融合の重要性を理解してもらうためには、まずはエネルギーの重要性について認識してもらうことが重要ではないか。様々なエネルギーの特徴について知ってもらい、その上で、将来の選択肢の一つとして核融合を紹介できるのではないか。
- ④報告書（案）には、「核融合研究が社会的理解を得るために、他の科学技術分野との連携、協力を積極的に進め、核融合に関わる科学技術がより身近なものになるように努めていくべきであ

る」とあるが、これに加えて、核融合が必要になる日本のエネルギー事情、日本のエネルギー構成、日本全体のエネルギー戦略の中での核融合の位置づけを加え、より国民にとって身近に感じられるようにしてはどうか。

- ⑤報告書（案）には、なお一層の情報発信、アウトリーチ活動が必要と書いてあるが、アウトリーチ活動の努力は十分やっているのではないか。
- ⑥核融合に関係する研究機関では、スーパーサイエンス・ハイスクールやサイエンス・パートナーシップ・プログラムを通じたアウトリーチ活動を行っているが、これらのプログラムは、若い世代が、自分で実験したり、それを発表するという経験ができ、科学や核融合に親しみを持ち、好きになってもらうための非常に有効な方法ではないかと考えている。ぜひこのような活動を積極的に続けていってはどうか。

#### 【政策評価について】

- ①政策評価にあたっては、一般からどのように見られているかの視点が大切。また、報告書（案）は推進する立場の意見でまとめられており、一般の人の意見が入っていない。そこで、一般の人からの意見として、招聘者、ご意見発表者等からいただいた御意見を取り入れ、記述していくべき。
- ②核融合研究開発に関する基本方針の策定及びその評価について、今後も引き続き原子力委員会を中心となって継続して頂きたい。
- ③核融合研究開発においては、特に大型施設の建設期に入ったこともあり、これに対応した評価が重要。
- ④報告書では核融合エネルギーフォーラムで検討されたロードマップの作成は有効な取り組みであるとしているが、原子力委員会は、核融合エネルギーフォーラムで検討されたロードマップに沿って、我が国の核融合研究開発を進めるべきとの立場なのか否か、明記するべき。
- ⑤原型炉に向けた開発のためには我が国の産業界の参画が必須であるが、そのためにそのロードマップに対し強い国の関与が必要と考える。この点、今後どのように国の施策として反映するべきかを明確に報告書に記載ありたい。

### (付録3) 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 罔興	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。

## 第1章 原子力の研究、開発及び利用に関する取組における共通理念

### 1-2. 現状認識

#### 1-2-10. 原子力研究開発

原子力が今後とも長期間にわたって競争力のある安定的なエネルギー源であり続けるためには、当面の課題に対応するだけでなく、既存の技術システムに置き換わる革新的な技術システムの実用化への努力も重要であり、計画期間の異なる研究開発活動が並行して進められる必要がある。すなわち、原子力発電について国際的に優れた運転成績に比肩できるレベルを達成するために、既存設備の高経年化技術、定期検査の柔軟化に対応できる検査技術及び、出力増強を実現するための安全評価技術の高度化等の技術やシステムの改良・改善をもたらす研究開発が重要である。また、既存システムを置き換え、あるいは新しい市場を開発できる技術を準備するとの観点から、将来において他のエネルギー技術に対して競争力のある高速増殖炉サイクル技術などの次世代原子力発電技術や、原子力による水素製造技術などの革新技术の実用化を目指す研究開発も継続的に実施されることが重要である。

国民に身近で広範な分野において利用が進んでいる放射線利用技術についても同様に、既存技術の改良努力のみならず、これらを置き換え、あるいは新市場を開拓できる可能性がある革新技术の開発努力も並行して続けられるべきである。

さらに、原子力の研究、開発及び利用に関する技術基盤を維持・発展させ、原子力の安全確保のための知的基盤を整備する役割を果たしている基礎・基盤研究は、新しい技術概念の原理を実証して技術革新にシーズを提供するとともに、人類共通の財産である新しい知識の獲得にも貢献していること、また、こうした技術開発を支える加速器や研究用原子炉といった大型研究開発施設は、ライフサイエンスやナノテクノロジー・材料等の分野に対しても、欠くことのできない研究手段を提供してきていることにも留意する必要がある。

このような原子力研究開発、とりわけ国が行うものについては、その総合性のゆえに、民間の技術水準の維持・向上や、我が国産業の国際競争力にも影響を及ぼし、その有用性が高い。しかしながら、近年の厳しい財政事情の中、科学技術関係予算の重点分野への配分、特殊法人等改革等が相まって、国の原子力研究開発に係る予算額は減少している。そこで、2005年10月に、日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構の統合により、日本原子力研究開発機構が発足したことを一つの契機として、今後

の原子力研究開発の取組に当たっては、継続的取組の重要性は認識しつつも、エネルギー政策、科学技術政策との整合性、補完性に留意し、有効性・費用対効果の検証等を行うことにより、効果的、効率的に選択と集中を図っていくことが重要となっている。

## 第4章 原子力研究開発の推進

### 4-1. 原子力研究開発の進め方

原子力発電を基幹電源として維持していくことには大きな公益があるが、これを可能にするためには、核燃料サイクルを含めた既存技術の安全性、信頼性、経済性、供給安定性、環境適合性等を絶えず改良・改善していくとともに、次世代の供給を担うことのできる競争力のある革新技术の研究開発を実施していく必要がある。放射線利用の分野においても、放射線の発生から利用までの至るところで様々な改良や革新の可能性が提起されており、その実現は学術の進歩や産業の振興をもたらすので、今後とも多様な研究開発を進めていくことが適切である。また、これらの原子力開発利用の技術に関する基盤を維持し新たな概念を生み出していく基礎的・基盤的な研究開発活動は、今後とも継続していくべきである。なお、原子力技術は国際場裡においてはどの国を起源とする技術かが厳格に追求され、自国産の技術でないと国際展開等に不都合を生じることも少なくないために、他の分野に比べ、我が国の独自技術を保有することを目指した研究開発を推進する重要性が高い。

さらに、原子力研究開発は、その総合性のゆえに、研究開発手段である大型研究開発施設等が他の科学技術分野に有力な研究手段を提供する一方、長期的視点に立った実現時期がかなり遠い将来と考えられる技術の探索的な研究から実用技術の改良・改善という短期的視点に立った研究開発まで、様々な段階にある研究開発課題に並行して取り組むことによって、その波及効果として様々な技術革新のシーズを提供している。

以上の諸点を踏まえれば、原子力研究開発は、今後とも、1) 基礎的・基盤的な研究開発、2) 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、3) 革新的な技術システムを実用化候補にまで発展させる研究開発、4) 革新技术システムを実用化するための研究開発、5) 既に実用化された技術を改良・改善するための研究開発 という異なる段階にある研究開発課題に対する取組を並行して進めていくことが適切である。

ただし、原子力研究開発には、実用化に至るまで長期の期間を要するため実用化の不確実性が大きく、民間が単独で行うにはリスクが大きすぎることや放射性物質を取り扱える研究開発施設が必要であること等の特徴がある。したがって、原子力の社会に対する貢献や寄与を継続・拡大していくためには、国あるいは研究開発機関が、革新的な技術システムを実用化候補にまで発展させる段階までを中心に、他の科学技術分野に比べてより大きな役割を果たしていく必要がある。その場合であっても、国の活動は、公益の観点から期待される成果を明確にし、効果的かつ効率的に進められるべきである。したがって、国は、上の取組について、一定期間のうちに予想される成果と課題、その実用化時期における予測される環境条件を踏まえて実施される多面的な評価結果に基づく投資の費用対効果、研究開発の段階に応じた官民の役割分担と資源配分のあり方、国際協力の効果的活用の可能性等を総合的に評価・検討して、「選択と集中」の考え方に基づいて研究開発資源の効果的かつ効率的な配分を行っていくべきである。

また、国の研究開発投資の配分の検討に当たっては、大型の研究開発施設等が他の科学技術分野に有力な研究手段を提供する等、原子力研究開発が我が国の科学技術活動全般に果たしている機能についても評価し、この点も適切に考慮されることが望ましい。

#### 4-1-1. 基礎的・基盤的な研究開発

基礎的・基盤的な研究開発活動は、我が国の原子力利用を分野横断的に支え、その技術基盤を高い水準に維持したり、新しい知識や技術概念を獲得・創出する目的で行われ、研究者・技術者の養成にも寄与するところが大きい。したがって、この段階の研究開発は、国や研究開発機関、大学によって、国際協力を効果的に活用しつつ、主体的に推進されるべきである。

原子力安全研究は、原子力利用の大前提である安全の確保に直結し、全ての原子力の研究、開発及び利用に関する活動の基盤となるので、原子力安全委員会の定める「原子力の重点安全研究計画」を踏まえて着実に進める必要がある。

その他の基礎的・基盤的な研究開発の主要な活動には、核工学、炉工学、材料工学、原子力シミュレーション工学等原子力の共通基盤技術の研究や保障措置技術、量子ビームテクノロジー、再処理の経済性の飛躍的向上を目指す技術や放射性廃棄物中の長寿命核種の短寿命化等による放射性廃棄物処理・処分の負担軽減に貢献する分離変換技術の研究開発等がある。R I 等を利用した放射線利用研究や量子ビームテクノロジーに関しては、革新技術の探索や新しい利用分野を開拓する研究、原子力以外の広範

な分野での利用を開発する研究等を着実に推進することが必要である。核燃料サイクルの推進等において将来の社会情勢の変化等に柔軟に対応できる技術的選択肢を確保するための基礎的な調査研究も、国は適宜に推進するべきである。

国は、この段階で生まれた新しい知識や技術概念を適切に評価して、革新的な技術システムの実現を目指す活動の対象とどうかを判断していくべきである。

#### 4-1-2. 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

基礎的・基盤的な研究開発で生まれた革新的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ための研究開発については、国はその実用化に至るまでに要する費用との関係において予想される実用化に伴う公益の大きさに応じて取組のあり方を定めるべきである。

この考え方に基づいて進められてきている、第三段階核融合研究開発基本計画に基づくITER計画をはじめとする核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発、高温の熱源や経済性に優れた発電手段となり得る高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発等については、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。その際、シミュレーション技術の高度化等による、大規模な技術システム開発の効率化も考慮する必要がある。また、量子ビームテクノロジーについても、小型加速器がん治療システム等革新的技術概念に基づく技術システムの開発に同様の考え方で取り組むべきである。

#### 4-1-3. 革新的な技術システムを実用化候補まで発展させる研究開発

原子力利用や広範な科学技術分野に革新をもたらす可能性が大きい革新技術システムを、実用化の候補にまで発展させるための研究開発については、国及び研究開発機関が、産業界とロードマップ等を共有し、大学や産業界の協力・協働を得つつ、主体的に取り組むべきである。この場合、段階的な計画として取り組み、段階を進める際には国が成果と計画の評価を行い、実施すべき研究開発を重点化して進めることが肝要である。さらに、産業界が実用化の対象として選択できる環境を整えるために、研究開発政策と産業政策を担当する関係行政機関が政策連携を進めることも重要である。

この段階にある取組の最大のもは高速増殖炉サイクル技術の研究開発である。高速増殖炉サイクル技術は、長期的なエネルギー安定供給や放射性廃棄物の潜在的有害

度の低減に貢献できる可能性を有することから、これまでの経験からの教訓を十分に踏まえつつ、その実用化に向けた研究開発を、日本原子力研究開発機構を中核として着実に推進するべきである。具体的には、研究開発の場の中核と位置付けられる「もんじゅ」の運転を早期に再開し、10年程度以内を目途に「発電プラントとしての信頼性の実証」と「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」という所期の目的を達成することに優先して取り組むべきである。その後、「もんじゅ」はその発生する高速中性子を研究開発に提供できることを踏まえ、燃料製造及び再処理技術開発活動と連携して、高速増殖炉の実用化に向けた研究開発等の場として活用・利用することが期待される。その具体的な活動の内容については、その段階までの運転実績や「実用化戦略調査研究」の成果を評価しつつ計画されるべきである。これらの活動には国際協力を活用することが重要であるから、「もんじゅ」及びその周辺施設を国際的な研究開発協力の拠点として整備し、国内外に開かれた研究開発を実施し、その成果を国内外に発信していくべきである。

また、日本原子力研究開発機構は、「もんじゅ」等の成果も踏まえ、高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究開発計画を2015年頃に提示することを目的に、電気事業者とともに、電力中央研究所、製造事業者、大学等の協力を得つつ「実用化戦略調査研究」を実施している。その途中段階での取りまとめであるフェーズⅡの成果は2005年度末に取りまとめられ、国がその成果を評価して方針を提示することとしており、その後もその方針に沿って研究開発を的確に進めるべきである。その際、第四世代原子力システムに関する国際フォーラムにおけるこの分野の成果を取り入れることも重要である。

また、日本原子力研究開発機構は、「常陽」を始めとする国内外の研究開発施設を活用し、海外の優れた研究者の参加を求めて、高速増殖炉サイクル技術の裾野の広い研究開発も行うものとする。電力中央研究所、大学、製造事業者等においても、これらに連携して研究開発を実施することを期待する。

国は、これらの進捗状況等を適宜評価して、柔軟性のある戦略的な研究開発の方針を国民に提示していくべきである。特に、「実用化戦略調査研究」の取りまとめを受け、高速増殖炉サイクルの適切な実用化像と2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について2015年頃から国としての検討を行うことを念頭に、実用化戦略調査研究フェーズⅡの成果を速やかに評価して、その後の研究開発の方針を提示するものとする。なお、実用化に向けた次の段階の取組に位置付けられるべき実証炉については、これらの研究開発の過程で得られる種々の成果等を十分に評価した上で、具体的計画の決定を行うことが適切である。

#### 4-1-4. 革新技术システムを実用化するための研究開発

実用化候補技術システムの中から対象を選んで実用化するために計画・実施される研究開発は、原則としてそのシステムによる事業を行う産業界が自ら資源を投じて実施すべきである。国は、その技術システムの実用化が原子力に期待される公益の観点から重要と考えられる場合等に限って、その費用対効果を適宜適切に評価し、支援等を行うべきである。

この段階の主要な取組としては、放射性廃棄物処分技術や改良型軽水炉技術、軽水炉の全炉心MOX利用技術等がある。日本原子力研究開発機構においては、六ヶ所再処理工場への必要な技術支援を継続する。六ヶ所再処理工場に続く再処理工場に向けての技術開発のあり方については、六ヶ所再処理工場の運転実績、高速増殖炉及び再処理にかかる研究開発の進捗状況等を踏まえて処理の方策が明らかにされることを受けつつ、関係者間で検討を進める。これらのうち、高燃焼度燃料や軽水炉使用済MOX燃料の実証試験等については、日本原子力研究開発機構が、六ヶ所再処理工場及び六ヶ所再処理工場に続く再処理工場に係る技術的課題の提示を受けた上で実施する。また、改良型軽水炉技術の開発においても、日本原子力研究開発機構の有する技術ポテンシャル、安全性試験装置等を効果的に活用することが効率的である。

放射線利用分野におけるこの段階の研究開発は、産業界が前段階までに蓄積した知見を効果的に活用して推進することが多くの場合に有効であるから、そうした知見が周知されるよう、技術移転及び産学官の連携・協働を一層推進するべきである。

#### 4-1-5. 既に実用化された技術を改良・改善するための研究開発

既に実用化された技術を改良・改善する研究開発は事業者が自ら資源を投じて実施すべきである。ただし、その成果が多くの事業者間で共有されることが望ましい場合や、その研究開発の成功が公益に資するところが大きい場合等には、国が、その内容を適宜適切に評価しつつ、共同開発の仕組み等を整備して、これを支援・誘導することが妥当である。なお、今後、原子力発電所の新規建設の停滞が続くことが予想され、産業界に築き上げられてきた技術基盤の維持に懸念が生じているが、このような技術開発の推進は、この技術基盤の維持に貢献することにも留意する必要がある。

この段階の主要な活動としては、既存軽水炉技術の高度化、遠心法ウラン濃縮技術の高度化、我が国初の民間MOX燃料加工工場へ適用するMOX燃料加工技術の確証、高レベル放射性廃液のガラス固化技術の高度化を図るための技術開発等がある。

#### 4-2. 大型研究開発施設

原子力研究開発を進めるに当たって、加速器や原子炉等比較的大規模な研究施設の建設を必要とする場合がある。こうして建設された大型の研究開発施設については、科学技術活動の広い分野において重要な役割を果たし、この有効利用に基づき、その施設を中心として科学技術のCOE（センター・オブ・エクセレンス）を形成することが可能である。国は、こうした性格を有する施設の計画については、当該施設の主な目的である、これを用いた研究開発の最終成果の利益の大きさのみならず、当該施設が他分野にもたらす研究水準の飛躍的向上といった外部性についても評価を行って、その建設の可否を決定していくべきである。

また、こうした施設が建設される場合、国は、これが多くのユーザに開放されるべきものとして、設置する研究開発機関に対して、関連する研究者コミュニティはもとより、事業者、施設・設備が整備される地方公共団体とも連携・協力して、それを活用するユーザの利便性の向上や、様々な研究分野のユーザが新しい利用・応用方法を拓きやすい環境を整備することを求めていくべきである。ただし、こうした研究開発施設・設備の利用に当たっては、受益者が、その成果が広く国民に還元される場合を除き、原則として応分の費用を負担するべきである。

#### 4-3. 知識・情報基盤の整備

遠心法ウラン濃縮技術、MOX燃料加工技術、再処理技術、放射性廃棄物処理・処分技術等、特に民間が技術移転を求めている国の研究開発や民間が国から技術移転を受けて実施している研究開発については、産学官の役割分担を踏まえつつ柔軟な実施体制で推進されることが重要である。知識・技術の移転には人の移転のみならず、ノウハウの移転のために研究開発施設や設備の民間による利用も重要であることを踏まえて、知的財産を適切に管理しつつ、効果的、効率的な技術移転システム等を構築することが必要である。

また、こうした研究開発の成果として得られる技術の実用化や、これまでに得られた知識・経験を次代において積極的に活用するためには、組織内部あるいは組織間で知識・技術を体系的に管理して、円滑に継承することや、移転することが必要である。したがって、研究開発機関や研究者、技術者は、実用化に向けた努力の早い段階から産学官相互の知的連携が図られるよう研究開発活動の相互乗り入れや相互学習のためのネットワークの整備を心がけ、さらにはこれらを通じ世代を超えた知的財産管理の取組を推進していくべきである。

さらに、我が国の研究開発活動に知識の国際ネットワークの利用も有用であることに鑑み、国内外の人材の流動性の向上、研究データや関連情報の発信等のための基盤整備を進める等、多面的かつ国際的ネットワークも構築・整備していくべきである。

#### 4-4. 日本原子力研究開発機構の発足と原子力研究開発

2005年10月発足の日本原子力研究開発機構においては、原子力基本法に定められる唯一の原子力研究開発機関として、国際的な中核的拠点となることを期待する。具体的には、基礎・基盤研究とプロジェクト研究開発との連携、融合を図り、多様で幅広い選択肢を視野に入れ、柔軟性と迅速性を有した研究開発を推進する。また、研究開発成果の普及や活用の促進、施設の供用、人材育成、国際協力・核不拡散への貢献、原子力安全研究の実施等国の政策に対する技術的な支援等を通じて、我が国の原子力研究開発活動に寄与することが求められる。

## — 主な用語解説 —

## 【力行】

- ・ 開発研究  
実用に供することを目的として系統的に実施する研究開発のこと。開発のための重要課題／達成目標の選定、その課題解決の手法分析、研究の実施による目標の達成を優先する。
- ・ 学術研究  
一定の理論に基づいて体系化された知識と方法としての学問と芸術の総称である学術に関する研究のこと。ここでは、自然科学としての核融合に関する学問の研究を意味する。核融合の実現を目指す上で、体系化された知識として確立することを優先することにより、研究の進展を図る。
- ・ 核融合エネルギー  
核融合反応によって発生するエネルギー。1g の重水素 (D) とトリチウム (T) 燃料の核融合反応から発生するエネルギーは、タンクローリー1台分の石油 (約 8 トン) を燃やしたときの熱量に相当する。
- ・ 激光 X II 号  
大阪大学のガラスレーザーを用いた慣性閉じ込め装置。レーザーのビーム数は 12 本、エネルギーは 30kJ (レーザー波長 1.05  $\cdot$  m)、15kJ (同 0.53  $\cdot$  m)、10kJ (同 0.35  $\cdot$  m) である。
- ・ 高出力ジャイロトロン  
ジャイロトロンとは、弱い相対論電子ビームが磁気圧縮をうけて、その運動エネルギーを電磁場のエネルギーに変換し、強力なミリ波を発振させる電子管である。ミリ波領域から遠赤外にかけての周波数領域は、これまで開発が遅れた谷間の周波数帯であったが、最近の研究の進展に伴い、核融合への利用のみならず、マイクロ波推進、重イオン源、X 線源、高性能レーダー、プラズマプロセッシング等への応用が期待される。
- ・ 高ベータ  
プラズマを閉じ込める磁場の圧力に対するプラズマの圧力比、すなわちベータ値 = プラズマ圧力 / 磁場圧力。ベータ値が高いほど弱い磁場で高い圧力のプラズマを閉じ込めることができる。核融合炉の出力は、プラズマ圧力の自乗  $\times$  プラズマ体積に比例するため、ベータ値を高めることで、コンパクト (小さな体積) な炉心をつくることができる。すなわち、高ベータは、核融合炉の経済性を高める上で、必要不可欠な要素である。
- ・ 国際熱核融合実験炉 (ITER) 計画<sup>\*3</sup>  
制御された核燃焼プラズマの維持と長時間燃焼によって核融合の科学的・技術的実現性を実証することを目指したトカマク型の核融合実験炉計画。1992 年から日本・米国・欧州・ロシアの国際協力として推進され、9 年間の工学設計及び、主要機器の技術開発を行った。平成 13 年 11 月からは、政府間協議を開始し、平成 17 年 6 月にモスクワで開催された第 2 回 6 極閣僚級会合において ITER の建設地がフランス・カダラッシュに決定。平成 19 年 10 月に ITER 協定が発効し、ITER 機構が正式に発足した。現在の参加極は日本、EU、米国、韓国、中国、ロシア、インドの 7 極である。

## 【サ行】

- ・ サテライト・トカマク計画  
幅広いアプローチ活動のプロジェクトの一つ。日本原子力研究開発機構の臨界プラズマ試験装置 JT-60 を活用し、プラズマの長時間維持や ITER を模擬した配位が可能ないように JT-60 のコイルを超伝導化する等の改修を行い、ITER の運転シナリオの最適化などの ITER 支援研究や、原型炉に向けて ITER を補完する研究を実施する。

- ・セラミック焼結技術

セラミックスの成形体を加熱すると、隣合う原料粒子が徐々に接着し、粒子間のすき間が小さくなると同時に全体が収縮する。この現象を「焼成」といい、「焼き締め」「焼結」ともいう。一般的には焼成温度が高いほど、また原料の粒が小さく、丸く、大きさが揃っているほど製品は硬くなる。この焼成工程では、硬度以外にも気孔率や導電性、熱やほかの物質に対する耐性や透光性などさまざまな製品の特性が決まる。温度や時間、雰囲気といった焼成条件を組み合わせ、それぞれに最適な特性をつくり出す技術。

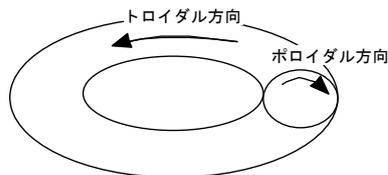
### 【タ行】

- ・中性子粒子ビーム生成技術

プラズマ中に存在する正イオンあるいは負イオンを電界により引出し加速すると、その高速のイオンは原子分子、電子、壁などとの衝突で電荷交換して中性化される。この時、運動エネルギーは保存され、方向性をもった中性粒子ビームが生成される。この高速の中性粒子を生成する技術。

- ・トカマク方式

トロイダルな形状の閉じ込め方式でプラズマは磁場により閉じ込められる。主たる磁場はトロイダル方向のトロイダル磁場であるが、これだけではプラズマを閉じ込めることができない。プラズマの圧力と磁力がバランスして平衡を保つためにはポロイダル磁場も必要である。ポロイダル磁場は、プラズマ中にトロイダル方向の電流を流すことにより作られる。プラズマ電流はオーム加熱の原理により、プラズマ加熱としての役割も果たしている。旧ソビエトのクルチャトフ研究所で考案され、その優れた閉じ込め性能のために世界各国の研究所で、この形式のプラズマ実験装置が建設され研究されてきた。



- ・トロイダルコイル

トロイダル方向の磁場を作るコイル。トカマクは基本的に3つのコイル：トロイダルコイル、ポロイダルコイル、中心ソレノイドコイルをもつ。このうち、プラズマを閉じ込めるための強い磁場を作り出すのがトロイダルコイル。いわばプラズマの骨格となる磁場を作り出します。ITERは18個のトロイダルコイルをもちNb3Sn（ニオブ3スズ）で出来た超伝導線をもっている。この超伝導線は、強い磁場を作り出し、もっとも強い所では、12テスラに達する。

### 【ハ行】

- ・プラズマ

温度の上昇とともに物質の状態は一般に固体から、液体、気体へと変化してゆく。さらに高温になると、原子核のまわりを廻っている電子がはぎとられて原子は正の電荷を持つイオンと負の電荷を持つ電子に分かれて（イオン化）、両者が高速で不規則に運動している状態になる。この状態をプラズマという。核融合では、温度が数億度に及ぶ超高温プラズマが対象となる。プラズマは雷やオーロラなど自然界に広く存在するが、身近な例としては蛍光灯などの希薄な気体中の放電によって作られるプラズマがある。

- ・ブランケット

核融合反応発生装置において、核融合が発生しているプラズマを包むように設置される構造体を、ブランケットという。ブランケットの機能は、真空容器やその外側の超伝導コイルを中性子から遮蔽、核融合反応によって発生する中性子を利用してリチウム化合物をトリチウムに転換、中性子をうけてその運動エネルギーを熱に変換する、などの機能のいずれかを担う。

- ・ヘリカル方式  
トロイダルな形状の閉じ込め型でプラズマは磁場により閉じ込められるのはトカマクと同様である。しかし、トカマクと異なり、プラズマ閉じ込めに必要なポロイダル磁場をプラズマ電流ではなく外部コイルにより形成する。外部コイルとしては、螺旋状のねじれたコイル（ヘリカルコイル）あるいは複雑な形状をしたモジュラーコイル等が用いられている。このような方式によってプラズマを閉じ込める方式をヘリカル型と呼ぶ。
- ・ペレット技術  
レーザー核融合研究で開発されたペレットの生成技術。特に、エマルジョン法により製作される中心点火用燃料容器の真球性は 99.98%に及ぶため、この高い精度を利用し、衝撃センサーに応用する研究がある。

#### 【ラ行】

- ・レーザー方式  
高強度レーザーを用いて、直径数 mm の燃料小球を、等方的に爆縮（断熱圧縮）させ、瞬時に超高密度・高温プラズマを生成し、核融合反応を起こさせる方式をレーザー型と呼ぶ。

### アルファベット順

- ・BA 活動  
幅広いアプローチ活動。日本と欧州連合（EU）が ITER 計画と並行して核融合発電用の原型炉開発を目指すプロジェクトで、2005年6月にモスクワで開催された第2回6極閣僚級会合において、日欧協力の下、我が国で実施することが決定された。実施プロジェクトは、文部科学省に設置された ITER 計画推進検討会における検討を経て、①国際核融合エネルギー研究センター、②サテライトトカマク計画、③国際核融合材料照射施設工学実証・工学設計活動の3つのプロジェクトが選定された。2007年6月に協定が発効。
- ・dpa 照射損傷量  
照射損傷量。displacement per atomの略であり、中性子照射によって材料の構成原子が格子点からはじき出される割合を示す指標である。1dpaの照射損傷量は、材料の構成原子が平均すると1回格子点からはじき出されたことを意味する（あくまでも平均であり、個々には2度はじき出されたり、はじき出されない構成原子もある）。
- ・FIREX  
大阪大学レーザーエネルギー学研究中心で進められており、爆縮プラズマを短パルス超高強度レーザーで瞬間的に加熱することにより、効率的な核融合点火と自己燃焼へのシナリオを明らかにし、高速点火核融合の原理を実証するプロジェクト。
- ・GAMMA10  
筑波大学プラズマ研究中心で運転中の複合ミラー型装置。中央ミラー間距離は6m、全長約27m。  
軸方向閉じ込めを改善するため、装置両側に設置されているプラグ部において電子サイクロトロン共鳴加熱を行い、イオン閉じ込め電位を形成している。
- ・HeliotronJ  
京都大学エネルギー理工学研究所のヘリカル型磁場閉じ込め装置。先進的磁場閉じ込め配位（ヘリカル軸ヘリオトロン）により磁場スペクトラムの基本因子（トロイダル、ヘリカル、バンピー）に対する制御自由度を拡大し、磁場配位研究における新しいパラメータ領域の開拓とフレキシブルな実験が可能。

- ・ HFIR 炉 High Flux Isotope Reactor  
 軽水冷却・減速型の研究炉、 $^{252}\text{Cf}$ をはじめとする超ウラン元素の製造と核種の中性子照射試験を目的としたもの。  
 研究の一つとして中性子散乱実験があり、生成された熱中性子や冷中性子を試料に当てることにより材料の構造を解明する固体物理、化学、生物、高分子、金属等の研究に用いられている。
- ・ ITPA International Tokamak Physics Activity  
 国際トカマク物理活動のこと。  
 ITER/DEA 期間中に行っていた ITER 物理 R&D を継承し、2001 年から EU、米国、ロシア、日本の 4 極、その後、ITER 参加極の増加に伴い、現在 7 極の研究者がトカマクプラズマの物理解明および ITER 等の核燃焼プラズマの性能検討を行う国際的な研究活動。閉じ込め、輸送物理、ダイバータ、周辺、定常運転、MHD、計測に関する 7 つの専門グループと調整委員会がある。
- ・ JT60 臨界プラズマ試験装置  
 臨界プラズマ試験装置 JAERI Tokamak-60 の略称であり、日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所が有する世界最大級のトカマク装置（主半径  $R=3.4\text{m}$ 、小半径  $a=1.0\text{m}$ 、トロイダル磁場  $B_t=4.0\text{T}$ 、プラズマ電流  $I_p=3.0\text{MA}$ ）である。米国の TFTR（運転終了）、欧州の JET 装置と併せて 3 大トカマクといわれた。JT-60 で達成された 5.2 億度を越える世界最高温度は、ギネスブックにも登録されている。BA 活動のサテライト・トカマク計画における超伝導化改修のため、2008 年 8 月 29 日から運転を停止している。
- ・ LFX  
 LFX は、「高速点火原理実証プロジェクト第 1 期 -FIREX-I-」における高速点火用レーザーシステム。  
 最終ビーム口径は、 $370\text{mm} \times 370\text{mm}$  の四角ビームを 4 ビーム有する。この 4 ビームを 1 つのビームとして集光することにより、 $10\text{kJ}/10\text{ps}=1\text{PW}$  の高エネルギー・高ピーク出力を発生できる。増幅装置は、省スペース化と省コスト化を両立するための新しい技術が数多く試みられる。その一つとして、ディスクガラス増幅器のガラス 1 枚の大きさは、世界最大級の  $800\text{mm} \times 400\text{mm} \times 40\text{mm}$  であり、1 ビーム当たり、8 枚使用されている。そして、ゲインを最大限に引き出すため、4 回通過するマルチパス光路となっている。
- ・ NBI  
 NBI とは Neutral Beam Injection（中性粒子入射）の頭文字をとった略称でプラズマの加熱装置の一種。プラズマを加熱する方法として、より高温な（エネルギーの高い）粒子をプラズマに導入することでプラズマ全体の温度を上昇させるしくみになっているもの。
- ・ TRIAM-1M/QUEST  
 TRIAM-1M  
 九州大学応用力学研究所で稼動した超伝導強磁場トカマク装置。トロイダルコイルに Nb3Sn（ニオブ 3 スズ）で出来た超伝導線を用いている。マイクロ波を用いたプラズマ電流駆動法の開発、プラズマ位置制御法の開発ならびに粒子供給法の開発等により、世界最長の 5 時間 16 分のトカマクプラズマの定常維持に成功した。

QUEST  
 九州大学応用力学研究所で稼動している球状トカマク装置。プラズマの主半径が  $0.68\text{m}$ 、小半径が  $0.4\text{m}$  であり、その比が 1.7 と通常のトカマクよりも小さく、プラズマ形状は球形となる。平成 20 年度から実験が開始され、高ベータの達成が可能である球状トカマクプラズマの長時間維持やプラズマ壁相互作用等の研究が行われる。