

原子力委員会核融合専門部会報告書 骨子案

1. はじめに

2. 評価方法及び評価の視点

3. 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価

①トカマク方式による開発研究

i) ITERによる開発研究

ii) 幅広いアプローチ活動

iii) 核融合炉の実現に向けた研究開発

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

ii) レーザー型装置による研究

iii) 核融合基盤研究

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

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

v) 核融合研究開発の全体像

4. 結論(今後の進め方に関する提言を含む)

原子力委員会核融合専門部会報告書 骨子案

1. はじめに

- 平成 17 年 10 月、原子力委員会は、今後 10 年程度の間原子力政策の基本方針を示す「原子力政策大綱」を決定した。原子力政策大綱では、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。
- 同年 10 月には、原子力委員会核融合専門部会は「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」）をとりまとめた。
- 当専門部会から「推進方策について」の報告を受けた原子力委員会は、「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。」とする原子力委員会決定を行った。
- 原子力政策大綱においては、関係行政機関の原子力に関する施策の実施状況を適時適切に把握し、国民意見も踏まえつつ、原子力政策の妥当性について定期的に評価すべきとしており、原子力委員会はこのことを踏まえ、核融合研究開発に関しては、当専門部会において核融合研究開発に関する政策評価を実施することとした。

2. 評価方法及び評価の視点

○政策を評価する観点

原子力政策大綱及び原子力政策大綱を踏まえて取りまとめられた原子力委員会核融合専門部会報告書「今後の核融合研究開発の推進方策について」に沿って、関係行政機関等において取組が進められているかを把握し、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を検討し、これの検討作業に基づき、政策の妥当性を評価する。

○評価の視点

また、当専門部会において、詳細な評価の視点について検討し、別添のとおりとした。

○評価方法

- －関係行政機関等からのヒアリングによる取組状況の把握
- －「ご意見を聴く会」の開催による国民への説明及び意見聴取
- －報告書（案）に対する国民からの意見募集

(別添1) 評価の視点

(第11回核融合専門部会 資料より抜粋)

○核融合研究開発の進め方は適切か。

- ☞ 開発研究において、実験炉段階で原型炉実現に必要な開発研究を実施するための体制整備・資源配分は適切か。
 - 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現時点での成果と今後の課題
 - 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)
 - ITER・BAと国内研究との連携
オールジャパンで開発研究を支援する体制が構築されているか。
- ☞ 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。
 - ヘリカル型及びレーザー型装置による研究
研究開発の進め方に沿って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)
目標達成に向けた現時点での成果と今後の課題
 - 基礎研究の充実
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。
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。
- ☞ 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。

○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進められているか。

- ☞ 人材育成及び社会への発信
 - 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。
 - 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。
- ☞ 知識・情報基盤の整備
 - 産業界の技術継承
 - 原型炉へ向けてのノウハウの蓄積

○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。

- ☞ 他の科学技術・学術分野への貢献
- ☞ 産業界への波及効果

3. 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価

3-1. トカマク方式による開発研究

i) ITERによる開発研究

<原子力政策大綱及び推進方策での記載事項>

○ITER 計画への取組体制

－国外体制－

協定の下に設立される法人格を持つ国際機関（ITER 機構）が、建設に約 10 年、運転と利用研究に 20 年、運転終了後 5 年間の放射性物質の除去を実施。

ITER 機構は、参加局の代表者からなる最高議決機関としての理事会や、理事会の下、ITER 計画の実施に責任を持つ機構長、及び機構職員によって構成。

参加各極に極内機関が設けられ、割り当てられた機器を物納。また、極内機関を通して ITER 機構への職員を派遣。

－国内体制－

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。

○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－

ITER において自己点火領域（エネルギー増倍率 20 程度以上）の燃焼プラズマを実現、燃焼プラズマ制御の見通しを得る。

－定常炉心プラズマの実現－

非誘導の定常運転法を ITER で確立し定常核燃焼を実現する。（エネルギー増倍率 5 以上、プラズマ継続時間 1000 秒程度以上）

－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－

ITER の建設・運転を通じてシステム統合技術の確立を図るとともに、ITER の安全性実証を行う。また、各極独自の活動として、ブランケット機能実証を進め、基本的な技術を獲得する。

○ITER 計画への取組体制

<これまでの取組状況>

－国外体制－

平成 19 年 10 月 24 日に、ITER 協定発効により ITER 計画を実施する国際機関「ITER 機構」が正式に発足し、同年 11 月の第 1 回 ITER 理事会では、ITER 機構長や首席副機構長、副機構長が任命された。また、ITER 理事会の諮問機関として、運営諮問委員会（MAC）、科学技術諮問委員会（STAC）が設置された。

各極においては、協定に定める国内機関が指定されており、日本は、協定が発効された10月24日に、日本原子力研究開発機構（JAEA）を指定した。

現在、毎月2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、事業の進め方やスケジュール管理を始め様々な提案を行っており、積極的に貢献している。

並行して、ITER機構では順次ポストを提示して職員募集を行い、体制整備を進めている。平成20年1月現在、日本から採用されたITER機構専門職員は13名である。また、客員研究員としての参加やITER機構からの委託業務の実施のため、ITER機構において活動に貢献している日本人もいる。

また、物納機器の調達に際し、ITER機構と調達をしようとする国内機関の間で締結される調達取決めについては、日本は他極に先駆けて11月に最初の調達取決め（トロイダルコイル導体）を締結した。

－国内体制－

ITER計画では、文部科学省がJAEAを国内機関として指定し、ITER計画を実施する国内体制が整えられている。JAEAは、機構内の体制を整備し、ITER調達準備の国際協力活動を組織的に進めている。

<評価>

文部科学省及びJAEAによるITER計画への取組体制は、ITER計画を着実に進めるために十分な取組がなされている。今後とも、当初の目的を果たせるよう着実に計画を進めるべきである。

<これまでの部会での主な意見>

- ・機器の物納による貢献だけでなく、人材面においても貢献できるようにすることが必要ではないか。ITERプロジェクトにおける日本のプレゼンスを確保できるように、国全体として取り組んで行く必要があるのではないか。
- ・我が国はITER機構への人材派遣枠の約20%を保有しているにも関わらず、現状では約8%程度の人材しか派遣されていない。サポーティングスタッフについては、ほとんどが欧州人である。人材面で十分な貢献ができるような国内体制の整備が必要ではないか。
- ・派遣された研究者・技術者は、やがて帰国してITER計画への参加で得られた知識や経験を国内に普及することが望まれるべきである。したがって、職員応募に当たっては、我が国としてITER計画から得たい知見を考慮しつつ、適切なポストへと選択的に応募する観点も重要である。

○ITERで実現すべき技術開発目標

<これまでの取組状況>

現在、ITERは欧州において建設が進められているところであり、ITER実機による研究は実施されていないが、国内機関であるJAEAは、ITER計画に積極的・戦略的に貢献している

－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。

－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×閉じ込め改善度]の28秒間維持を達成。

－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。

<評価>

国内機関であるJAEAを中心に研究開発が着実に進められており、他のITER参加極を上回る研究開発成果を挙げてきている。今後ともITER建設に向けて必要な貢献を進めるとともに、国内においても着実に研究開発を進めていくべきである。

<これまでの部会での主な意見>

- ・ITER計画は、長期間に渡るものである。我が国の核融合研究開発全体の中での位置づけを常に意識して、我が国独自のロードマップを検討して着実に進展していくべきではないか。

ii) 幅広いアプローチ活動 (BA)

<原子力政策大綱及び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。

○原型炉実現に必要となる開発研究

－高ベータ定常運転法の確立－

高出力密度が必要とされる原型炉の基盤を確立するため、高ベータ ($\beta_N=3.5-5.5$) プラズマの長時間安定維持の研究開発を重点的に進める。また、ITER 支援研究を行うトカマク国内重点化装置計画を進め、原型炉の建設判断に必要な炉心プラズマ技術基盤を確立する。

－原型炉に関わる材料・炉工学技術開発 (国際核融合材料照射施設) －

国際核融合材料照射施設の工学設計活動については、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。

－原型炉の概念設計－

核融合エネルギー実用化につながる経済性見通しと安全性・環境適合性を高めたトカマク型原型炉の概念設計を進め、炉心・炉工学技術開発計画に反映するとともに、炉心・炉工学技術開発の進捗を踏まえた概念設計を行う。

－トカマク理論・シミュレーション研究－

最先端の計算科学手法に基づくシミュレーション手法の開発と非線形・開放系プラズマに関する理論研究を進める。

<これまでの取組状況>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・大学関係者等、JAEA以外の機関に属する人材がBAに参加するための枠組みを確立・周知することが必要ではないか。

iii) 核融合炉の実現に向けた研究開発

<原子力政策大綱及び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

ー原型炉に関わる材料・炉工学技術開発ー

増殖・発電ブランケット技術開発、構造材料開発、超伝導・加熱機器等の高性能化、安全性研究を進め、原型炉の建設判断に必要な工学技術基盤を確立する。

ー社会・環境安全性の研究ー

環境・社会および市民の視点に立ち、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を行う。

<これまでの取組状況>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・核融合は最終的には、エネルギー発生装置であるから、その要となる炉工学分野の取組みは重要である。
- ・「推進方策について」で示された研究開発課題で、技術基準や健全性確保のための検査システムの標準化等、ITER/BAで手当てされていない部分について、今後十分な検討を進めていくことが望まれる。
 - 例) 安全性に関する技術開発研究、放射性廃棄物低減・処理に係わる技術開発
核融合エネルギーシステムの総合評価
社会・環境安全性の研究
- ・核融合炉実現に向けた技術開発ロードマップを作成し、各段階で評価すべき技術的要件を明確にすべきではないか。

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

<原子力政策大綱及び推進方策での記載事項>

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の普遍的知識の取得を目的とした研究を推進する。

世界のヘリカル研究と連携しつつ、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推進するとともに、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報告を定める。

<これまでの取組状況>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・核融合科学研究所は、開発研究と基礎研究の両方に対して研究ネットワークを形成して共同研究や人材育成の場を提供するなど、長期的な視野に立った取組を行っており評価できる。
- ・大学共同利用機関として、双方向型研究の実施等により共同利用・共同研究の役割が強化され、国際的・国内研究ネットワークを構築していることは評価できる。
- ・炉工学研究センターを中心として、炉工学研究へのより一層の貢献が求められる。

ii) レーザー型装置による研究

<原子力政策大綱及び推進方策での記載事項>

レーザー核融合による点火、及び燃焼プラズマの実現を目指して、大阪大学を中心とする FIREX 第1期計画を核融合研との連携を強化しつつ推進し、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。また、高速点火型レーザー核融合炉の概念検討を進める。

<これまでの取組状況>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・レーザー核融合炉への見通しを持つためには、炉工学分野の研究を一層進めることが重要ではないか。
- ・人材養成においては、他大学の大学院生に教育の場を提供する努力が必要。

iii) 核融合基盤研究

<原子力政策大綱及び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>

<評価>

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

<原子力政策大綱及び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>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・技術ロードマップの検討と平行して、今後どのような分野にどの程度の人材が必要かといった検討を行っていく必要がある。
- ・人材育成は非常に重要な問題。核融合分野だけの閉じた議論ではなく、国全体として整合のとれた人材育成方策について議論が必要。
- ・国内だけでなく、アジア地域全体での学生の育成まで視野を広げるべきではないか。
- ・優れた研究者を養成するには、大学院教育だけではなく、ドクタートレーニングコース等のシステム化も重要ではないか。
- ・核融合が魅力あるものだという点を社会にアピールしていくことが重要である。社会への発信は、「推進方策について」でも示されているところであり、関係者の積極的な対応を望む。
- ・産業界との技術者の交流あるいは行き来が可能だという点を、学生にも伝わるような形で展開してなければいけないのではないか。

ii) 知識・情報基盤の整備

<原子力政策大綱及び推進方策での記載事項>

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。

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>

<評価>

iii) 他の科学技術分野や社会への貢献

<原子力政策大綱及び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>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・ロードマップ的な時間の観念との関連づけや、産業界と近い部分で横に広がりのある研究であるということを示すことが重要ではないか。

iv) 核融合研究開発の国内体制

<原子力政策大綱及び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。

<これまでの取組状況>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・核融合エネルギーフォーラムのようなオープンな組織ができたことは非常に評価できるが、情報発信の問題やフォーラムでの意見集約等について、組織の現状が見えない。
- ・核融合研究は息の長い研究であり、国民に対してこの技術について説得していただけるかが継続していくための重要なポイント。トカマク、ヘリカル、レーザーとあるが、縦割りではいけない。核融合技術が横方向ではどのような技術の発展があって、そのつながりはどうなっているのか、また、それが産業部門にもどのように別の形で科学技術の発展に寄与しているのか、そういうビジョンがあるとよい。

v) 核融合研究開発の全体像

<原子力政策大綱及び推進方策での記載事項>

計画実施のバランス

第三段階計画の推進にあたっては、「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。

ITER の着実な目標達成のために、我が国が分担する責務を果たす必要がある。

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までに原型炉の概念設計、原型炉の開発に向けた開発研究等を実施し、適切な資源配分を行うことが必要。

学術研究と開発研究の異なる階層間の連携を十分に図り、開発研究と学術研究の間で、研究資源の適切な配分を行うことが重要。

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>

<評価>

<これまでの部会での主な意見>

- ・核融合炉実現に向けたロードマップを作成するなど、核融合研究開発の目指す将来のターゲットをより明確にすることが必要ではないか。研究の性質にもよるところがあるが、研究の進捗状況等について定量的な評価が困難となってしまう。

4. 結論

(今後の進め方に関する提言を含む)