

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」
概要

平成19年10月12日
内閣府
原子力政策担当室

核融合専門部会報告書の位置付け

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)

研究開発目標

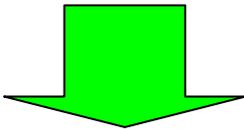
- ・自己点火条件の達成及び長時間燃焼の実現
- ・原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成

研究開発の中核を担う装置

トカマク型の実験炉を開発

研究開発期間

実験炉による研究開発が終了、かつ原型炉による研究開発が開始
又は第四段階核融合研究開発基本計画の策定のいずれか早い時点まで



計画策定から10年余りが経過

核融合専門部会

原子力委員会から以下の審議の実施を付託

- ・第三段階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
- ・チェック・アンド・レビュー結果を踏まえた今後の核融合研究開発の推進方策の検討

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

第1章 核融合研究開発の意義

エネルギー・環境問題解決への核融合の役割、
原子力政策の中での核融合開発の位置づけについて整理

第2章 第三段階核融合研究開発基本計画の進捗状況

第三段階計画の進捗のチェック・アンド・レビューを実施

第3章 核融合研究開発の基本的進め方

チェック・アンド・レビューの結果を踏まえ、核融合エネルギーの早期実現
に向けた開発戦略を検討

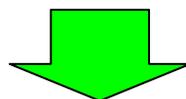
第4章 核融合研究開発の推進について

第3章の基本的進め方を踏まえ、第三段階計画における施策を明確化

進捗状況のチェック・アンド・レビュー

チェック・アンド・レビュー結果のまとめ

- (1) トカマク方式については、国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設に必要な研究開発において我が国が主要な役割を果たして、ITERの工学設計が確定するとともに、次段階につながる研究開発計画を具体化するための基盤が形成された。
- (2) トカマク方式以外 (ヘリカル方式とレーザー慣性閉じ込め方式等) においては、学術研究として研究が着実に進展した。
- (3) 核融合炉工学技術が着実に進展するとともに、その成果はナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、情報・通信、環境分野等多くの産業分野に波及効果をもたらした。



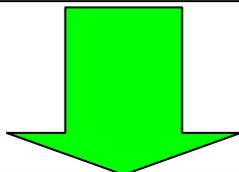
核融合研究開発は第三段階計画に沿って着実に進展していると結論

核融合研究開発の推進方策(要旨)

開発研究について

第三段階計画における原型炉

「定常炉心を実現するとともに、プラント規模での発電実証を実現するもの」



開発コストを抑えつつ、その早期実現を目指すためには、一定の経済性を念頭におくことが必須と結論

原型炉の目標

「定常炉心を実現し、同時にプラント規模での発電実証を一定の経済性を念頭において実現するもの」

目標を明確化し、上記の目標達成に向けて必要な研究開発を進める。

第三段階計画の中核であるITER計画を進める等、研究が進展しているトカマク方式において、開発研究として、ITERの主要な基本性能が達成される時期までに原型炉段階への移行の可否を判断するため、トカマク方式の原型炉建設に必要な研究開発を進める。

核融合研究開発の推進方策(要旨)

ヘリカル、レーザー方式等について

核融合エネルギーの選択肢を広げるとともに、学術研究の成果や人材育成が研究開発の進展に極めて重要であるとの認識から、学術研究として、トカマク方式と並行的にその科学的基礎の確立を目指して研究を進める。

総合的な研究開発の推進

開発研究と学術研究の相乗効果によって開発を加速する観点から、ITERを最大限活用しつつ実用化に向かって、開発研究と学術研究からなる総合的な研究開発を推進する。

チェック・アンド・レビュー(C&R)

- ・核融合研究開発全体の進捗状況についての総合的C & Rは、エネルギー、環境、原子力等の他分野、および民間事業者からの参画を得て、概ね5年毎に実施する。
- ・開発研究については、原型炉段階への移行条件を明確化するとともに、所要の開発研究の進捗の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移行の可否を判断する。
- ・その際には、他の方式を含む核融合研究開発の総合的C & Rを踏まえるとともに、実用化を見据えること、民間事業者の参画を得ることも重要であると指摘。

核融合研究開発の基本的進め方

研究の進捗を踏まえ、トカマク方式の核融合研究開発において、核融合エネルギーの早期実現の観点から、核融合研究開発の次の段階を見通した開発戦略を検討

ITER計画を中核とし、ITERと連携する国内計画および国際協力計画を構築し進める。

研究開発の推進に当たっては、常に経済合理性を追求すること、及び高い安全性と建設から廃炉に至るライフサイクルでの環境負荷の最小化を追及することが必要。

学術研究の成果を重視することが必要不可欠であり、そのため、学術研究基盤の維持・整備と人材育成が極めて重要。

産業界の一層積極的な参画を期する観点から、核融合エネルギーの基盤技術の充実・発展は勿論のこと、研究開発成果の多様な応用を含めた研究等の幅広い展開が重要。

核融合研究開発の基本的進め方

3.1 核融合エネルギー早期実現のための開発戦略

核融合エネルギーの実用化を検討する前提

経済性の見通しを持つこと、安全性、運転信頼性を実証することが必要。

ITER計画が建設段階に移行しつつあること

トカマク方式における定常運転方式の原理実証が行われたこと

発電に向けた炉工学の基礎が進展したこと

を踏まえ、トカマク方式において、一定の経済性を念頭においた原型炉の研究開発をITERと並行して進めることが妥当。

3.1.1 開発段階の考え方

統合装置で実施することと要素技術開発で実施することを整理したうえで、
原型炉段階において、

「高いエネルギー増倍率を持つ定常炉心を実現し、同時にプラント規模での発電実証を一定の経済性を念頭において実現すること」を目標とすることが妥当と結論。
実験炉段階においては、この目標を実現するために必要な研究開発を実施。

3.1.2 段階の移行と実用化に向けて

諸々の条件が揃えば、今世紀中葉まで実用化の見通しを得ることも視野に入れることが可能と判断。

3.1.3 トカマク型原型炉

核融合研究開発の基本的進め方

3.1.4 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
- 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。

- ・統合装置であるITERを最大限に有効利用することが重要
- ・ITERでの実施が困難なものや、ITERへの適用の前に原理実証を必要とするものについては、JT-60施設を活用することが有意義。
- ・原型炉の設計は、それ以外の開発研究成果の反映と技術的整合性に留意しつつ進める。
- ・材料・炉工学技術開発については、要素技術開発として試験装置の整備を行いつつ、着実に開発研究を進める。

核融合研究開発の基本的進め方

3.1.4 実験炉段階での開発研究

(1) ITERによる研究開発

- **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。

(2) 高ベータ定常運転法の原理実証

核融合炉に近いプラズマ条件を実現できるJT-60等の施設を活用して、原型炉での高ベータ定常運転に向けたトカマク改良研究を実施する。

核融合研究開発の基本的進め方

(3) 原型炉に向けた材料・炉工学技術開発

- ・増殖・発電ブランケットの開発
- ・構造材料開発
- ・核融合照射施設を用いた材料試験
- ・超伝導磁石・加熱技術の高度化
- ・トリチウムおよび工学安全に関する技術開発

(4) 原型炉の概念設計

実用炉につながる経済性見通しと安全性・環境適合性を高め、廃止措置まで考慮したトカマク型原型炉の概念設計を進める。
(実用プラントを視野において民間事業者の参画を得ることが必要)

(5) トカマク理論・シミュレーション研究

原型炉のプラズマ性能に関する予測性を高めるために、トカマク理論・シミュレーション研究を進める。

(6) 社会・環境安全性の研究

核融合炉が社会的に認知されるために、広い視野での安全性研究の展開を行う。

核融合研究開発の基本的進め方

3.2 核融合に関する学術研究の意義・位置づけ

JT-60、LHD、GEKKO-XIIを中心として研究の効率化・重点化を図る。
ヘリカル方式とレーザー方式は核融合炉の選択肢を拡げる観点から、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る。

3.2.1 トカマク方式以外の重点化計画

ヘリカル方式: LHDによる研究を中心として、世界のヘリカル研究と連携しつつ、ヘリカル型核融合炉心プラズマの方向性を明らかにし、トーラスプラズマの総合理解に向けた研究を進める。

レーザー方式: レーザー核融合で必要となる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に、高速点火方式の実証を段階を追って進める。

3.2.2 核融合基盤研究の充実

核融合プラズマ科学の基礎実験、理論・シミュレーション、材料・炉工学の基礎研究等の充実

3.2.3 学術としての普遍化

研究成果を学術として体系化・普遍化することが重要。
基盤学術の複合による新たな学問領域の創成も期待される。

核融合研究開発の基本的進め方

3.3 人材育成と核融合基盤技術の持続的な発展

人材育成

- ・多様かつ魅力ある研究の機会を若い優秀な研究者に提供することが必要であり、共同利用・共同研究を積極的に活用し、研究およ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、高度専門性養成への努力に鑑み、大学等との連携・協力の強化に基づく人材養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。

核融合基盤技術の持続的な発展

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、さらに、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。

3.4 国際協力の推進

国際貢献の観点や、開発リスクおよびコストの低減の観点から、国際協力を一層積極的に推進することが重要。韓国、中国との国際協力をアジアの一員として強化する。

核融合研究開発の基本的進め方

3.5 研究開発のバランスとチェック・アンド・レビュー

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である。
- ・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である。

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年毎に実施する。
- ・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移行の可否を判断する必要がある。
- ・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としてC&Rを行い、適切な時期に研究の展開の方向を定める。

核融合研究開発の推進について

核融合研究開発の分担

原子力委員会

第四段階への移行等の基本方針の改訂や、文部科学省等において実施されたチェック・アンド・レビューの確認等、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。

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、科学技術・学術審議会等において核融合研究開発のチェック・アンド・レビューを実施する。

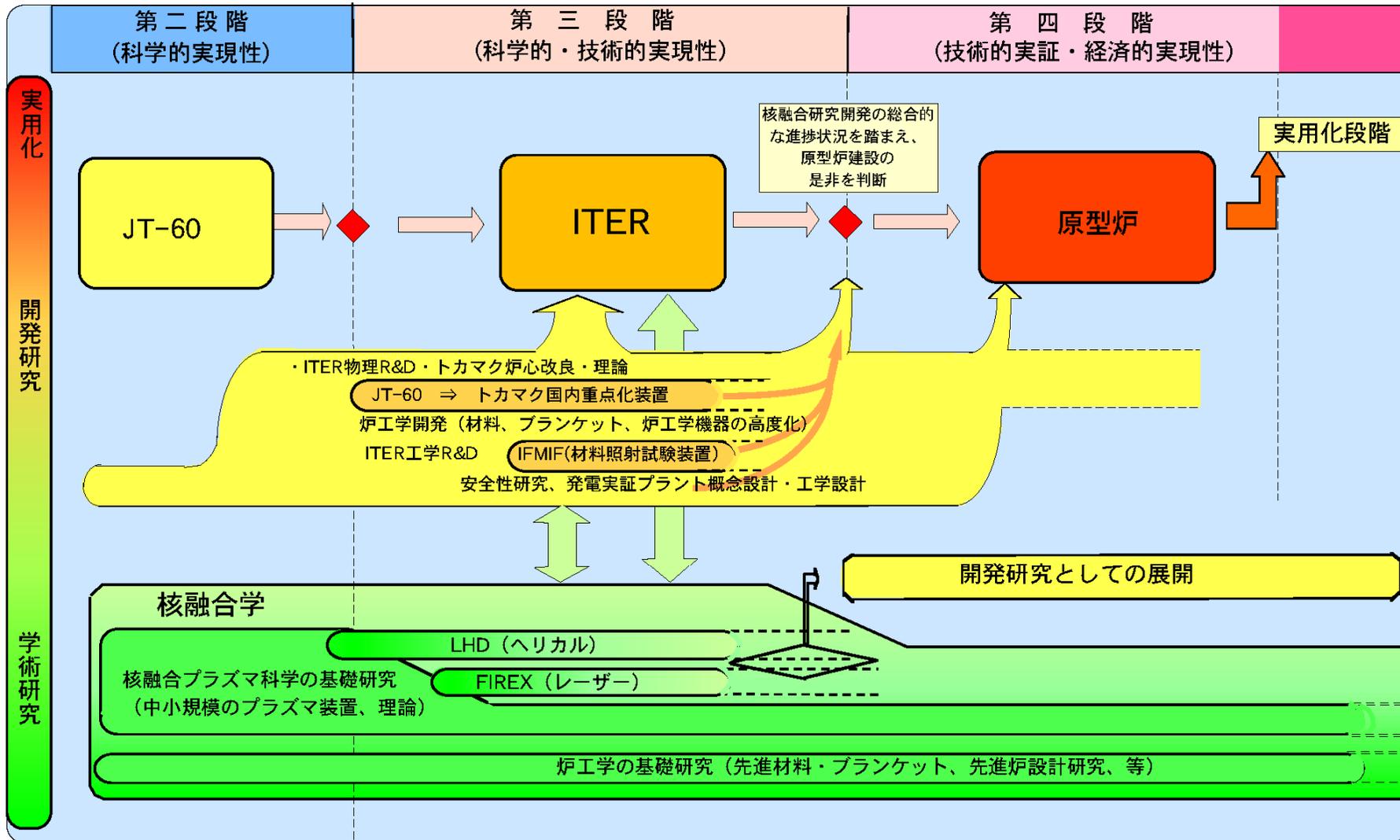
日本原子力研究開発機構

トカマク方式による開発研究の中核的機関として、ITER計画に積極的に協力するとともに国内におけるトカマク方式の開発研究を大学等、産業界との連携のもとに推進する等の中核的機関としての役割を果たす。また、研究施設を大学等の研究者との共同企画・共同研究に供する役割が求められる。

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、理論・シミュレーション研究、大阪大学を中心とするレーザー高速点火計画との連携、大学の炉工学研究の取りまとめの役割を果たすことが期待される。

核融合開発のロードマップ



次段階への移行条件

項目	中間段階でのC&Rまでの達成目標*	原型炉段階への移行判断
実験炉による自己加熱領域での燃焼制御の実証	・ITER実機を踏まえた実験炉の技術目標の達成計画の作成。	・ITERによるQ=20程度以上の(数100秒程度以上)維持と燃焼制御の実証。
実験炉によるQ=5以上の非誘導定常運転の実現	・ITER実機を踏まえた達成計画の作成。	・ITERによるQ=5以上の非誘導電流駆動プラズマの長時間維持(1000秒程度以上)の実証。
実験炉による統合化技術の確立	・ITER施設の完成。 ・機器製作・据付・調整に関わる統合化技術の取得。	・ITERの運転・保守を通じた統合化技術の確立。安全技術の確認。
経済性見通しを得るための高ベータ定常運転法の確立	・ITER支援研究と定常高ベータ化準備研究の遂行とトカマク国内重点化装置による研究の開始。	・トカマク国内重点化装置等による無衝突領域での高ベータ($\beta_N=3.5-5.5$)定常運転維持の達成。
原型炉に関わる材料・炉工学技術開発	・発電ブランケットの技術基盤の整備の完了。ITERでの機能試験に供する試験体の製作を完了。 ・低放射化フェライト鋼の原子炉照射データを80dpaレベルまで取得し、核融合と類似の中性子照射環境における試験に供する材料を確定。	・ITERでの低フルエンスDT実験により、発電ブランケットのトリチウム増殖・回収機能や除熱・発電機能を実証。 ・80dpaレベルまでの低放射化フェライト鋼の重照射データの検証を完了。
原型炉の概念設計	・原型炉の全体目標の策定。 ・原型炉概念設計の基本設計。 ・炉心、炉工学への開発要請の提示。	・炉心、炉工学技術の開発と整合をとった、原型炉概念設計の完了。

* ITER機構の発足後、10年程度を想定。