

「今後の核融合研究の在り方について」
H14 年度文科省核融合研究 WG での議論を中心として

1. はじめに

本資料は、平成 13 年 6 月から平成 15 年 1 月にわたり審議された文部科学省科学技術・学術審議会学術分科会基本問題特別委員会核融合研究ワーキング・グループ(末松安晴座長)の報告書、およびその過程での審議内容を踏まえてまとめたものである。

2. 核融合研究の段階的開発と階層構造

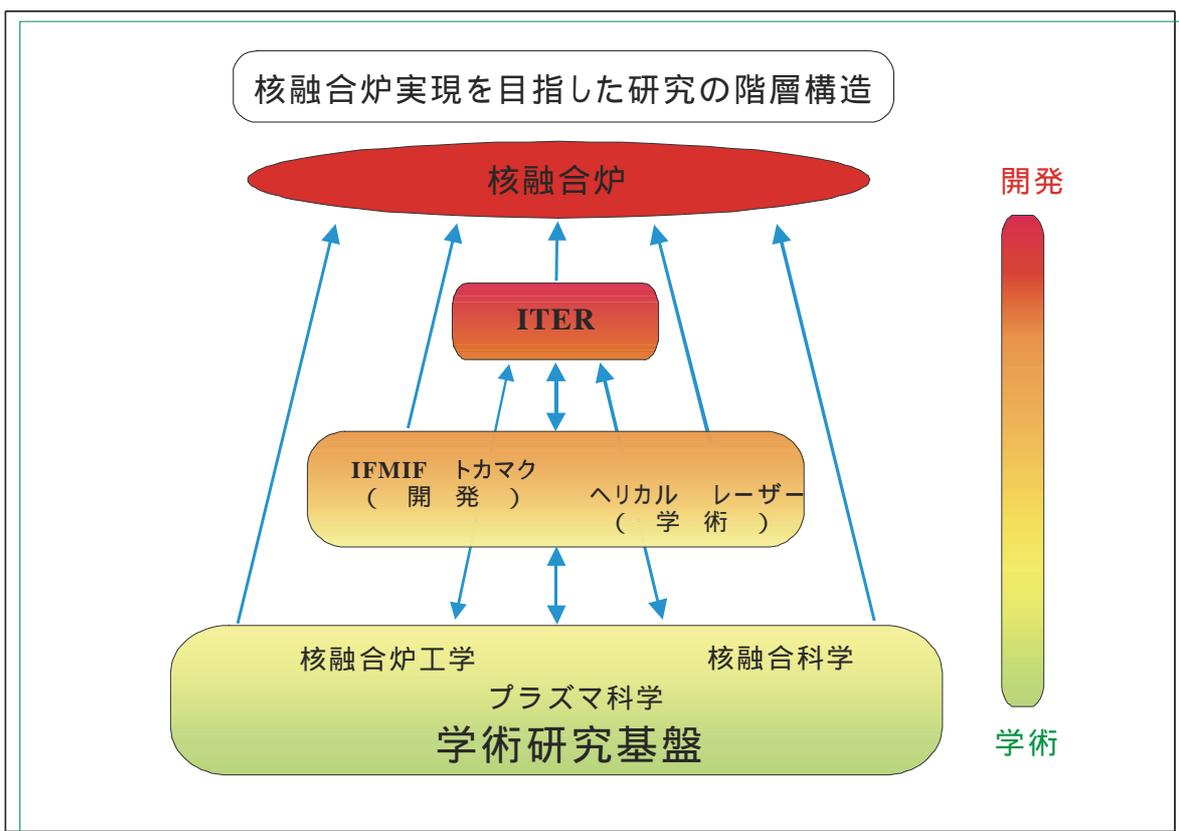


図 1 核融合研究の階層構造

「開発研究と学術研究を併せ持った総合的研究」

核融合エネルギーの実現を目指した核融合研究を

- ・ ITERとの有機的連携を図りつつ推進すべき核融合炉を目指した開発研究
- ・ 学理の探求に基づく当該研究分野の学問的体系化を目指す学術研究

という2つの側面を併せ持った総合的研究として捉え、開発研究と学術研究の間で構成される階層構造として描いた概念図を図1に示す。

核融合研究においては、ITERに代表される「人類の負託を受けた開発研究」と、それを支える「学術基盤研究とそれに基づく人材育成体制」とが重要である。前者は、特定の技術開発目標を一定期間に達成するための目的直結型の研究開発であるのに対して、主として後者を担う大学等の学術基盤研究は、研究者の自由な発想と旺盛な好奇心に基づいている。

ただし核融合研究は、国家的・社会的課題に対する問題意識が研究の原動力である学術研究、としての側面も有しており、このような社会との関係において一定の目的意識を持った学術研究としての位置付けも重要である。(補足資料No.1:「学術研究の重要性について」(科学技術・学術審議会学術分科会、平成13年7月24日)を参照。)

「重点化の推進と多様性の確保」

図1の核融合炉開発研究の階層構造を

- ・ 「開発」と「学術」とは連続的につながっている
 - ・ 「重点化とは縦軸」を、「多様性とは横軸」を向いたベクトル
- というような視点で捉える事ができ、以下のようにまとめられる。

核融合開発に向けた大規模装置による重点的な開発研究の適切なる選択と、その組織的な推進
核融合のための学術基盤の構築と不断の人材育成を図るための小規模装置を中心とした多様な学術研究の確保と、その自主的・自律的推進

核融合研究を実験装置規模として概観した場合、小規模な装置による原理探求的な研究から、より大きな装置での原理実証実験、性能拡張実験へと発展して行っており、パラメータの向上に併せて大規模装置への集約が必然である。ITER 計画において、我が国が主導的な立場を発揮できるような ITER との有機的な連携を図るためには、大規模装置の積極的な活用により我が国からの学術的貢献を拡充する事が有効である。

長期を要する核融合開発において、学術基盤の構築と不断の人材育成は必須である。先駆的・独創的研究は、学術基盤への貢献が大きく、人材育成にも大いに貢献する。今後もこのような研究を積極的に支援する具体的な方策を、個々の研究者・組織の自主性・自律性を尊重しつつ推進する必要がある。

「核融合研究における重点化の在り方と具体的な方針」

ITER 計画によって、核融合エネルギーの実現を目指す研究に大きな一歩を踏み出すにあたっては、研究基盤の充実とさらなる研究の発展を可能にするために国内の核融合研究について、今後の研究の重点を明確にする必要がある。

重点化において考慮すべき評価基準としての観点は以下の4点に集約される。

1. ITER への寄与の明確化と国際的競争力の強化
2. 核融合炉の可能性を広げる研究の充実
3. 学術的な普遍化を目指す研究の充実
4. 人材育成（学生教育並びに若手研究者の研鑽）の充実

この観点に立って当該分野の研究を迅速かつ効果的・効率的に進めるためには、

- a. 既存装置の整理・統合と、研究者コミュニティに開かれた新たな研究の展開を可能にする共同研究重点化装置の導入
- b. 共同利用・共同研究と連携協力研究の促進
- c. 新たな可能性への挑戦を目指した研究の創生

に重点を置いた施策の推進が肝要である。

3 . 重点化計画の策定と推進について

重点化計画の策定にあたっては、ITER が建設されることを前提として国内研究基盤の整備・推進を図ること、及び、今後 30 年程度で核融合原型炉を実現するための課題の解決に必要な研究計画である事を考慮した。

今後 10 年から 20 年にわたる我が国の核融合研究を推進するための重点化すべき計画として、トカマク、炉工学、レーザー、ヘリカルの 4 つの柱を策定した。(具体的な計画内容は、補足資料 No.2 を参照)

重点化される 4 つの研究の必要性は以下の通りである。

- ・ 無衝突プラズマ領域における高ベータ定常運転の研究を推進するため、国内のトカマク重点化装置を優先する必要がある。
- ・ IFMIF計画は核融合開発研究に不可欠である。従って、その工学実証・工学設計活動 (EVEDA) に速やかに着手する必要がある。
- ・ 高速点火方式レーザー核融合の原理実証計画第 1 期を開始することは、我が国の学術基盤の強化と知的財産権の確保のために必要である。
- ・ 炉心プラズマに外挿できるパラメータ下における環状プラズマの総合的理解、ITERへの寄与等を見据えて、LHDを用いた学術研究を継続して進めることが必要である。

重点化の柱となる JT-60、GEKKO-XII、LHD 以外の装置に関しては、然るべき時期に計画を完了すること。ただし、斬新な研究の展開による装置の運転延長の提案は、新たな可能性を目指した研究の候補になり得る。

4 つの重点化計画での共同利用・共同研究を活性化するとともに、独創的なアイデアによる新たな可能性への挑戦への機会の確保が必須。

4 . 共同利用・共同研究と新たな可能性への挑戦

我が国の核融合研究が新しい段階に入り、国内の共同研究重点化装置及び国際協力によるITERや核融合材料試験装置による研究への展開が行われようとしている現在、これらを軸とする重点化研究はもちろんのこと、新たな可能性を目指した研究機会を生み出すためにも、双方向的共同研究の促進、連携研究の実施等の共同利用・共同研究の推進が極めて重要である。

核融合科学研究所は、大学共同利用研究の中核的な機関として大学との強い連携・双方向性の強化等が必要であり、運営体制や研究の対象範囲等の見直しを行い、研究計画の一層の活性化を可能とする制度設計の充実を図る必要がある。

大学における研究は、学術基盤への貢献と共に、不断の人材育成において中心的な役割を果たしており、今後も大学における研究の展望が的確に把握し、振興策を施してゆくことが必要である。具体的には、上述の重点化研究の中核としての推進、各種閉じ込め方式に共通する要素還元された学術研究、および他分野への学術交流・学術発信を見据えた裾野の広い学術基盤研究の促進を、個々の大学の自律性・自主性の尊重しつつ進める事が肝要である。また学内における競争力の涵養を図りつつ、研究拠点としての学術的評価を高めることが双方向性ある共同研究の受け皿となるためにも必須である。

日本原子力研究所及び核燃料サイクル開発機構との統合後の新法人の役割と共同研究の強化については、ITER計画、トカマク炉心プラズマ開発、炉工学開発を我が国の中核的な機関として推進し、核融合開発研究に必要な共同企画・共同研究の運用体制を早期に確立するとともに、人材育成を進めることが必要である。

核融合研究の進展を図るためには、常に新たな可能性への挑戦を可能とする研究上の価値観及び研究体制が必要である。ITERにより核燃焼プラズマを用いた研究機会が実現するものの、核融合炉の早期実現並びに更に優れた核融合炉の可能性

を高めるために、さらには学術基盤の構築の観点からも、萌芽的、独創的なアイデアを積極的に伸ばす必要がある。

従来の評価基準は概して、「核融合炉方式としての独自性、方式間のパラメータ競争」的色彩が強かったが、今後は、「方式を超えた普遍的な理解に繋がる学術基盤への寄与」や、「開発研究への寄与」などの複数の評価軸を、プロジェクトの規模に応じて加味する必要がある。

5 . 人材育成と啓蒙活動

開発に長期を要する核融合研究において、ITER 計画のような国際的大型プロジェクトを成功させ、かつ我が国が主導的役割を担うためには、研究実践に基づく世界をリードする人材の育成とともに、未踏の領域へチャレンジする若手研究者の高度な専門教育に基づいた不断の人材育成が必須である。

人材育成にとって、優秀な若手研究者が最先端の研究の場に身を置けるような環境整備が肝要である。具体的には、国際的レベルの大型実験装置への直接的関与、または大学等の得意とする機動的な小規模装置での萌芽的・独創的研究への参加等を挙げることができる。人材育成においては、このような多様かつ魅力ある研究の機会を多くの研究者に提供することが重要である。

重点化後の人材育成においては、共同利用・共同研究の効率的な活用を踏まえ、研究及び教育が最適化されるような適正な競争的環境の設定、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・制度設計が必要となる。具体的には、学生教育の観点からも相応しい、旅費の仕組み、受け入れ機関の身分等の整備、受入先でのリサーチアシスタント等の大学院生の経費の新設、学生宿泊施設の整備等を早急に検討し、遅滞なく実現することが期待される。従って、人材育成においても、共同利用・共同研究促進措置や、新たな可能性への挑戦への措置を十分に活用することが肝要である。

核融合開発研究の推進において、核融合に対する国民の理解を深め、広範な支援を得ることが肝要である。このため、一般市民への啓蒙活動を積極的に推進することに加え、大学生・高校生には、核融合研究が魅力ある科学・技術であることを理解してもらう努力が必要である。さらに大学院生レベルでは、核融合研究における最先端の科学・技術の経験を活かし、他分野でも大いに活躍できる人材育成が重要である。このような核融合研究への理解と支援を得るための様々なレベルでの活動とそれらに対する支援の強化が必要不可欠である。

開発研究とは 開発研究では

現在の科学的知見に基づいた最高性能を出せる装置を推進

開発目標に向かったの外挿性を追究する
開発研究においては、これを最優先すべき

これを改良する可能性のある革新的開発研究も併せて推進

改良の可能性や新たなブレイクスルーの模索。
最先端装置での新たな課題に対する機動性に富んだ対応
= => 開発のリスクを最小化
ただし適正規模で推進すべき

さらに一般学術として体系化、不断の人材育成

独創性・革新性を踏まえた高度な専門教育
学術的体系化（理学、工学） 他分野への学術発信、
競争の原理、 失敗の経験

核融合開発研究の特徴

- ・数十年以上の、世代間の伝承を要する長期プロジェクト
- ・人類未踏の領域（学術的、技術的）への挑戦
 - ・新たな学問領域の創出
 - ・最先端技術開発の牽引車（科学技術安全保障）
- ・人類共通の利益となる
- ・巨額の投資を要する

==> **国民の理解が必要**

大学におけるプラズマ・核融合研究の在り方

学術的発展と体系化

- ・「理学」、「工学」としての貢献
(例えば、ハンドブックの応用編のみならず基礎編に)
- ・理学研究の例として、非線形・非平衡・開放系、遷移現象・自己組織化現象、自律系・複雑系、カオスやソリトン

先端技術開発と広範な産業応用

- ・核融合炉工学技術：超伝導技術、高耐熱負荷機器、
- ・プラズマ応用技術：半導体プロセッシング、プラズマディスプレイ、

高度な専門教育による不断の人材育成

- ・オリジナリティ、イノベーションある学術的基礎研究
- ・最先端の多様な研究機会の確保

補足資料 No.1：「学術研究の重要性について」

科学技術・学術審議会

2001/07/24 答申

学術研究の重要性について

学術研究の重要性について

平成13年7月24日

科学技術・学術審議会学術分科会

本年3月30日に閣議決定された科学技術基本計画の実行に向けて、政府の総合科学技術会議においては、「平成14年度の科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針」が取りまとめられた。

科学技術基本計画においては、研究開発投資の効果を向上させるため、重点的な資源配分を行うこととされている。具体的には、「科学技術の戦略的重点化」として、「基礎研究の推進」と「国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化」をいわば車の両輪として位置づけ、それぞれを進めることとされている。科学技術の振興を図る上で、長期的視野からこれら両者がバランスよく推進されることが必要である。

大学等（大学及び大学共同利用機関をいう。）における学術研究活動は、科学技術の戦略的重点化における「基礎研究の推進」について中核的な役割を果たすことはもちろん、「国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化」においても大きな役割を担うものであり、それに対する資源配分の在り方は科学技術基本計画の成否を左右する重要性を持つと考える。

本分科会は、このような観点から、大学等が主として担う基礎研究の重要性を再確認するとともに、重点化戦略における大学等の役割の重要性について検討を行い、その考え方を以下のとおり取りまとめたものである。

1. 基礎研究への十分な投資の必要性

(1) 大学等における学術研究は、個々の研究者の自由な発想と旺盛な好奇心に基づき行われるものであり、それによって初めて未知の分野を開き、未来社会の在り方を変えるブレークスルーを生み出し得るのである。人類の未来を拓き、国家・社会の発展の基盤となるような独創的な研究

成果は、過去の歴史に照らしても、研究者の自由な発想に基づく多様な基礎研究を幅広く推進する中から生まれるものである。

(2) 経済発展や社会的課題の解決のためには、もちろん達成目標を明確化して特定の分野・課題の研究開発を重点的に推進することが必要である。しかし、それと同時に、次の世代に向けての技術革新の芽を育てるという中・長期的な視点に立った幅広い取組が不可欠である。現時点で見通せる短期的な投資効果を重視するあまりに、研究者が自発的にテーマを発掘する長期的視野の研究を軽視すれば、結果として、10年先、20年先に、我が国の研究は国際的な指導性と競争力を喪失してしまうことになる。

さらに、研究者の自由な発想に基づく基礎研究の成果が課題解決型の研究の発展に波及効果を及ぼす可能性が大きく、また課題解決型の研究を担う優れた研究者はこのような基礎研究を推進する中から育つものである。

(3) 以上の観点から、基礎研究を推進することは国として極めて重要なことであり、今後の研究投資において、国家的・社会的課題に対応した研究開発への重点的投資と並んで、研究者の自由な発想に基づく幅広い分野の基礎研究に対しても十分な投資が行われるべきである。

このため、大学等における長期的・継続的な研究活動をも支える基盤的経費や国際的に卓越した研究を推進するためのプロジェクト経費を確実に措置するとともに、競争的資金の倍増に当たっては、その中核を占める科学研究費補助金の倍増を図るべきである。

(4) なお、基礎研究の中には行政ニーズに対応した特定の技術開発を視野に置くなど、政策目的の実現を意図して行われるものもある。このような研究は、政策の実現という観点からは重要な意義を有するが、研究者がその独創性を遺憾なく発揮し、将来にわたって優れた研究成果を生み出していくためには、研究者の自発性を尊重した知識創造型の研究である学術研究を推進することが極めて重要であることを改めて指摘しておきたい。

2. 国家的・社会的課題に対応した研究開発における学術研究の重要性

(1) 大学等における学術研究は、研究者の自由な発想と旺盛な好奇心に基づいて行われるものであるが、同時に研究者の社会的問題意識が研究の原動力となり、社会との関係において一定の目的意識をもった研究が行われる場合が少なくない。このような研究は、基礎的な段階のものが中心になると思われるが、基礎研究・応用研究といった区分にとらわれる必要はない。

(2) 科学技術基本計画における「国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化」の推進に当たっては、重点事項に係る特定の技術開発目標を短期間に達成するためのいわばトップダウン方式による政策目的直結型の研究開発の実施が重視されるものと思われる。しかし、中・長期的観点に立って国家的・社会的課題の解決に向けて取り組むためには、上記のような一定の目的意識をもった学術研究の推進についても重視すべきであり、これに対して十分な投資が行われることが重要であると考える。

(3) このような一定の目的意識をもった学術研究を推進するための研究資金の配分に当たっては、目標設定の考え方、対象となる研究課題の審査・選定方式等の仕組みが、学術研究の本質である研究者のイニシアティブを十分尊重したものとなることが特に重要である。

補足資料 No.2 : 「重点化のための具体的計画」

トカマク国内重点化装置計画

核融合エネルギーの早期実現に向けて、トカマク方式の改良（高ベータ定常運転の実現による経済性向上等）を我が国独自に進めるとともに、ITER 計画での主導権の確保と、数百名規模での人材養成による ITER 計画との有機的連携を図るために、国内のトカマク装置を重点化することが必要である。本装置は、臨界プラズマクラスのプラズマ性能をもった超伝導装置とし、プラズマアスペクト比、断面形状制御性、帰還制御性において、機動性と自由度を最大限確保できるものとし、原型炉で必要な高ベータ（ $\beta_N=3.5-5.5$ ）非誘導電流駆動プラズマを、100 秒程度以上保持することを目指すものである。計画の実施にあたっては、設置主体である日本原子力研究所 / 新法人と研究者コミュニティが研究計画を共同企画・立案しつつ実施することが重要であり、JT-60 をトカマク国内共同研究の中核的役割を担う装置として位置づけて、トカマク国内重点化装置の建設開始まで運転を継続し共同研究を推進するとともに、ITER の動向を踏まえつつトカマク国内重点化装置への転換を図る必要がある。

核融合材料試験装置計画

同じく核融合エネルギーの早期実現に必要な材料・ブランケット開発は、プラズマ閉じ込め方式の如何にかかわらず必須の課題である。特に、今後、実用化までの核融合炉用の第一壁候補構造材料の開発及びその材料が核融合炉環境下で中性子照射に耐えることを確認し、その特性データを取得するためには、IEA（国際エネルギー機関）の国際協力による核融合材料照射試験装置（IFMIF）計画が不可欠である。この計画は、効率的な材料開発に必要とされる学術研究にも大きな貢献が期待される。従って、IFMIF の重要システム要素について工学的な実証を行い、建設に必要な工学設計を完成することを目的とする工学実証・工学設計活動（EVEDA）に速やかに着手する必要がある。計画の実施にあたっては、日本原子力研究所 / 新法人と核融合科学研究所・大学が連携協力しつつ実施することが重要である。

レーザー高速点火計画

レーザー高速点火計画 FIREX は、最先端のレーザー技術と極限状態の科学を応用して、磁場核融合方式と質的に異なる方式により、核融合エネルギー実現の可能性を切り拓くものである。我が国独自の高速点火方式レーザー核融合の原理実証を目的とする FIREX 第 1 期計画は、世界最高出力の超高強度レーザーにより核融合点火温度（0.5- 1 億度）への加熱を行うものである。この計画は、核融合炉の可能性を拓くばかりでなく、我が国の学術基盤の強化とレーザー技術に関する知的財産権の確保に貢献するものである。さらには、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行うことも可能となる。FIREX 計画を研究者コミュニティ全体の計画とするために、大学共同利用機関との連携等の方策を検討することが望ましい。

大型ヘリカル装置（LHD）計画

上記の 3 つの重点化計画を推進する場合、大学共同利用機関である核融合科学研究所において推進されている LHD 計画が、当該分野の学術研究の発展に果たす重要な役割にも注目しなければならない。LHD は、我が国で発案されたヘリオトロン磁場配位を採用することにより、無電流環状プラズマによる核融合炉を目指して造られた磁場閉じ込め装置である。LHD を共同研究重点化装置として活用することによって、今後も、炉心プラズマに外挿できるパラメータ下における環状プラズマの総合的理解、ITER への寄与、新しい閉じ込め配位研究のための装置との連携等を目標に、LHD を用いた学術研究を継続して進めることが必要である。