

核科学総合研究連絡委員会核融合専門委員会報告

核融合研究の新しいあり方について

平成 14 年 11 月 26 日

日本学術会議
核科学総合研究連絡委員会
核融合専門委員会

この報告は、第 18 期日本学術会議核科学総合研究連絡委員会核融合専門委員会の審議を
取りまとめて発表するものである。

第18期 核科学総合研究連絡委員会核融合専門委員会

- 委員長 宮 健三 (慶応義塾大学理工学部特別研究教授)
- 幹事 香山 晃 (京都大学エネルギー理工学研究所教授)
松田 慎三郎 (日本原子力研究所理事・那珂研究所所長)
山中 龍彦 (大阪大学レーザー核融合研究センター長)
- 委員 柴田 徳思 (第4部会員、高エネルギー加速器研究機構教授)
木村 逸郎 (第5部会員、原子力安全システム研究所・技術システム研究所長)
豊田 淳一 (第5部会員、八戸工業大学工学部教授)
井口 哲夫 (名古屋大学大学院工学研究科教授)
伊藤 智之 (九州大学名誉教授)
犬竹 正明 (東北大学大学院工学研究科教授)
日野 友明 (北海道大学大学院工学研究科教授)
藤原 正巳 (核融合科学研究所所長)
堀池 寛 (大阪大学大学院工学研究科教授)

第18期 核科学総合研究連絡委員会核融合専門委員会
「核融合研究の新しいあり方について」検討小委員会

- 小委員長 香山 晃 (京都大学エネルギー理工学研究所教授)
- 幹事 関村 直人 (東京大学大学院工学系研究科教授)
鎌田 裕 (日本原子力研究所那珂研究所主任研究員)
- 委員 一政 祐輔 (茨城大学理学部教授)
牛草 健吉 (日本原子力研究所那珂研究所室長)
大塚 道夫 ((株)日立製作所原子力事業部)
大和田野 芳郎 (産業技術総合研究所電力エネルギー研究部門長)
岡野 邦彦 (電力中央研究所上席研究員)
菊池 満 (日本原子力研究所那珂研究所次長)
小西 哲之 (日本原子力研究所那珂研究所室長)
高瀬 雄一 (東京大学大学院新領域創成科学研究科教授)
田中 和夫 (大阪大学大学院工学研究科教授)
田中 知 (東京大学大学院工学系研究科教授)
野田 哲二 (物質・材料研究機構ナノマテリアル研究所研究主幹)
野田 信明 (核融合科学研究所教授)
花田 和明 (九州大学応用力学研究所教授)
松井 秀樹 (東北大学金属材料研究所教授)
森 雅博 (日本原子力研究所那珂研究所 ITER 開発室
グループリーダー)

「 要旨 」

1 . 報告書の名称

核融合研究の新しいあり方について

2 . 報告書の内容

(1) 作成の背景

- (イ) 現在、国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設を目指してサイト国や誘致条件などに関して関係国間で公式協議が続けられている。このような状況下において、本年 5 月 3 1 日に ITER の日本誘致に向けた措置が閣議了解された。
- (ロ) 核融合開発のこのような展開に対して、ITER 計画の成功と核融合実用化の早期達成に向けた開発計画を具体化する必要がある。そこで第 1 8 期日本学術会議核科学総合研究連絡委員会核融合専門委員会では小委員会を設置して、新しい状況に相応しい核融合研究の新しいあり方について検討してきた。

(2) 現状および問題点 :

- (イ) 研究初期の段階で色々な概念開拓が核融合界に閉じて並行、競争的に進められたことは、より良い方式の追求、効率の観点から仕方がない。この状態は約 3 0 年間継続した。しかしながら、ITER の建設が現実のものとなろうとしているとき、研究課題と全日本的な開発体制に関して従来の枠組みのままで良いのかどうか検討の必要性がある。
- (ロ) これまでの核融合研究は要素技術的であったが、ITER 建設を目前に控えて、システム工学的研究の側面が重要となるが、現在十分な研究環境にあるとは思えない。
- (ハ) また、実用化を目指した開発を加速する必要があるが、そのためには、核融合炉の実用化に必要な技術開発を促進することが不可欠である。その重要性は従来から認識されていたが、研究は期待通りに進捗していない。

(3) 改善策、提言等の内容

- (イ) 核融合実用化に責任を有する方式としてトカマク型を確定する。慣性核融合については最近の成果を反映して研究の更なる進展に努力を傾注する。他の方式については学術研究として位置づけ、適宜に成果を評価し研究の進め方を検討する。
- (ロ) 核融合炉の実用化に欠かせない材料、ブランケット及び炉心プラズマに関する技術を開発するため、「強力中性子源を活用した材料開発」、「ブランケット総合工学の構築」及び「高ベータ定常化高性能炉心プラズマの開発」を重点的に取り上げ、強力で推進すべきである。さらに、要素技術の結合である核融合システムの構築のため、「システム統合化技術の開発」も進めるべきである。
- (ハ) ITER 計画の成功と早期実用化に向けた革新的技術開発に資するため、大学研究者の自己組織化と日本原子力研究所・大学間の今まで以上の密接な連携が望まれる。また、核融合研究開発の進展を推進機関から独立して評価する民間の評価機関が自律的に形成されることが望まれる。

内容：

- 1 . はじめに
- 2 . 学術会議における検討の経緯
- 3 . 核融合炉研究開発の新しい視点
- 4 . 核融合炉研究開発の新しいあり方
- 5 . 核融合研究体制の新しいあり方
- 6 . 提言

1. はじめに

地球規模の環境問題解決と国際的貢献：

人類が持続して生存するためには、エネルギーの持続的供給が欠かせないのはいままでもない。わが国は人口の低減化時代に突入しているが、世界的には急激な増大傾向にあり、やがて枯渇する化石燃料の下、新エネルギーの開発は必須である。このとき、地球温暖化防止といった環境にやさしいエネルギーであるという要件は満足されねばならない。核融合エネルギーは永続的なエネルギー源であるという特性に加えて、幸運にも地球温暖化問題解決の切り札としてのポテンシャルも持つ。一方、世界のエネルギー需給の推移から判断すれば、今世紀半ばまでに核融合エネルギーが電力市場に参入していることが期待されており、最近の急激な進展をばねにして核融合研究開発を加速させる必要性が認識されてきた。

これに加えて、アジア諸国が急激に台頭しつつある現在、我が国が、科学技術の分野において国際的な貢献を果たしつつ国際社会をリードする力量を明示的に示すことは特に重要である。我が国が、核融合分野でこれまで果たしてきた研究業績に依拠して、アジアはもとより世界に対して突出した科学技術的姿を示威することは若者を鼓舞する点からも重要である。これらを基盤としながら更なる国際貢献を果たしていくことは、我が国の将来にとって特別の意味があるのではないだろうか。

巨大プロジェクトと人類の夢：

核融合エネルギーの実用化を目指した研究開発は巨大プロジェクトであり、その実現が人類にとって夢であるのは現在でも変わらぬ真実である。この事実は、今でも核融合研究の底流であり若手研究者を魅了して止まない。核融合の実用化は、この夢に支えられて、宇宙のとる普遍的なエネルギー形式に直結し、この惑星に燃料が無尽蔵に存在するという幸運に恵まれて、核融合研究開発の普遍性を所与のものとしている。

一方、巨大プロジェクトの成功は、はじめにそれに見合った夢が存在し、次いで現実的な困難を伴った悪夢に悩まされ、最後に成功を勝ち取るという経過をたどる、という。現在、幸か不幸か、核融合研究開発もこのパターンを取りつつある、と認識できるのではないだろうか。事実、核融合の実用化を達成し地球温暖化問題解決に向けた貢献が決して平坦でないことは、研究開発の推移から明白であり、核融合研究者も認め一般の人々の感じるところとなっているからである。

最終段階での技術的困難：

核融合研究開発の最後の障壁ともいべき技術的困難は、機能が複雑で期待される性能の実現が容易でないことに起因する。設備の大型化に加え構造が複雑であること、これに加えて機器が過酷な条件にさらされるからである。これらが技術的困難を象徴する。それだけに、この困難の克服は人類史上最も大きなブレークスルーの一つであり、核融合研究者の挑戦を誘発して止まない。挑戦の結果、困難の克服に成功するかどうか、成功しなければ人類は究極のエネルギー源の確保を断念しエネルギー消費に対するライフスタイルを大きく変更せざるを得ないであろう。とは言え、発展途上国におけるエネルギー需要の急増を前にしてライフスタイルの変更だけで済むかどうか、将来予測は全く不確実である。また開発が技術的に成功しても経済的に成立しないケースも考えられる。そのうえ、核融合エネルギーの実用化は、実現性が近づけば近づくほど、科学技術的な要因だけでは決まらず、経済性・安全性といった社会的要因にも大きく左右されるという事実がはっきりしてくる。宇宙の核融合を地上に実現することを決意して始められた核融合研究開発は今実用化を前にして正念場に立たされている。

研究者のエネルギーと熱意の自己組織化：

核融合開発が俯瞰的な立場から社会の各層によって評価されるようになった現在、研究開発の行く手に閉塞感が投げかけられる場面にしばしば遭遇する。それでは閉塞感を打破する要因は存在するのだろうか。

第一の要因としては、これまで潜在的であった核融合研究者のエネルギーと底知れない熱意を、自己組織化を通して顕在化することに求められるのではないだろうか。エネルギーと熱意の自己組織化が広い層の大学研究者の自己組織化に発展し、創発的な研究が多く誘発されていく状況は、今最も早急に実現すべき重要な目標である、と認識できるからである。

技術的課題の成功例に着目してみれば、第二の要因として、ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor : 国際熱核融合実験炉) のために実施され最近終了した大型機器開発の成功例を挙げる

ことができよう。これは、このような技術的障壁は創意・工夫のもと果敢な挑戦によって克服できるのだという確信を人々に与える。しかしながら、ここで戒めておかなければならないことは、障壁の単なる技術的解決策が示されれば良いというものではなく、革新的な技術の開発により安全性はもとよりコストの問題を抜本的に改善できなくてはならない、ということである。

それ故、核融合研究者のエネルギーを有効に組織化しその熱意に新しい形を与えるメカニズムを構築することが肝要で、従来にない課題解決に向けた新しい試みなのである。この目に見えない意気込みが目前に立ちほだかる技術的障壁の克服に繋がると考えられるからである。

この対外報告書は、これらの課題を具体的に解決する方策について、最近急速に動き出した核融合研究開発の動向を踏まえながら検討したものである。

現在と将来の課題：

ITER を日本へ誘致する提案が閣議了解された現在、核融合研究開発はホップ、ステップ、ジャンプの最終段階に突入したと認識できる。核融合実験炉は早晚わが国を含めた世界のどこかに建設されるからである。このとき、現在と将来に関する二つの問題が発生する。一つは ITER 計画を通して得られる核融合開発の大きな前進をいかに確実なものにするかという現在の問題であり、もうひとつは現状技術と実用化技術の間に存在するギャップをいかに克服するかといった将来の方策の問題である。

現在の問題は、ITER との関係において現状の核融合研究開発の構造改革をいかに図っていくかに関連し、将来の問題は、ITER 計画に並行して動力炉の早期実現に向けた研究開発とこれを支える大学等に置ける基礎・基盤研究をどのように展開していくかに関わる。

推進方策の改革と世代交代：

前者は現状の改革を伴う。古い世代の研究者と既存の組織にとって痛みを伴うかも知れない改革である。しかしながら、若手研究者にとっては大きな夢と希望である。それ故、研究推進方策の変革と世代交代が円滑に図られることが望まれるのである。

後者の動力炉に向けた研究開発は世界の核融合界に実用化計画の構築という大きな課題を課することになる。その使命は、これまでに獲得された科学的・技術的知見を総集して早期に核融合の実用化を図ることにある。このとき、ブレークスルーに繋がる独創的研究が自己組織化された大学研究者によって活発に実施されることが期待されるのである。

核融合の加速計画に必要な動力炉へ向けた研究開発費は ITER 計画のおよそ十分の一と推測されるが、時期的には ITER 計画とほぼ並行でなければならず、資源の有効活用という観点から ITER 以上に国際協力を活用することが望まれる。この点の検討は原子力委員会ですなごまごまばかりであり、計画の早急な策定が期待される。

小委員会設置の趣旨：

第 18 期日本学術会議の核融合専門委員会はこれらが真剣に検討すべき重要な課題であると認識して、「核融合研究の新しいあり方について」検討する小委員会を設置することを決定した。その趣旨は、若手研究者を中心に委員構成のもとに、幅広い議論を展開し、適切な提言をまとめてもらうことにあった。

以下の報告は、小委員会の中間及び最終報告を踏まえて、核融合研究開発の今後のあり方について核融合専門委員会の見解をとりまとめたものである。

2. 学術会議における検討の経緯

第 17 期核科学総合研究連絡委員会・核融合専門委員会は、核融合動力炉の早期実現を意図して中核的な技術課題に焦点を当てて議論を展開した。大学等において重点的に進めるべき課題として、材料システムを中心とした核融合総合工学のあり方を明らかにして、それを遂行するための今後の研究推進体制について提言をとりまとめた。これは「核融合炉工学の再構築と体系化について」と題する対外報告としてまとめられ、平成 12 年 5 月に公表されている。

一方、旧文部省の学術審議会特定研究領域推進分科会原子力部会においても、大学等における核融合研究の現状が整理され、「大学における核融合研究の在り方について」と題する報告が平成 12 年 11 月に公表されて

いる。

この直後、平成13年1月に中央省庁の統合が実施され、これに伴い核融合を推進する枠組みが大きく変化しようとしている。文科省の発足や内閣府原子力関連審議会の充実に始まり、現在では日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構の統合問題、旧文部省の直轄研であった核融合科学研究所の研究機構化などがあり、従来考えられない大きな変化が生じようとしている。

このような状況の中、ITERの日本誘致に向けた措置が平成14年5月31日に閣議了解されたのである。ITERについての見解は先に述べたとおりであるが、これらは小委員会が広範な議論を展開するとき念頭に置いた重要事項である。

3. 核融合炉研究開発の新しい視点

核融合炉の特徴：

核融合研究開発に見られる際だった特徴は、トカマク炉のような磁場閉じ込め方式の場合、高温プラズマの閉じ込め性能が磁場強度と装置のスケールに大きく依存すること、プラズマに面する第一壁材料や燃料生産とエネルギー抽出にあずかるブランケット構造物が強力な中性子照射に曝されることにある。装置半径と中性子高フルエンスと高磁場が核融合炉を高価にし、技術的課題の克服を困難なものにしている。この困難は避けて通れない道筋である。しかし、絶対的なものに見えるこの困難は、研究者の創意と工夫や行政の支援によって相対的な解決可能な課題に還元でき、最終的に解決に至る、という確信を持つことができる。いわゆる最終的な悪夢の克服である。

具体的には、高ブートストラップ電流モードの発見による定常運転の見通しや ITER のために実施された大型工学機器開発の成功や ITER 詳細設計の成立性、といった三つの事実に基づいて建設を見通せるまでになったことを挙げることができる。これらは、核融合研究者の英知を結集すれば実用化に向けた技術的困難を克服できる、という確証を与える。自己組織化と英知の結集と課題への挑戦、これらがキーワードである。

この信念を国民に伝えることは重要であり、学会会議としてメッセージを社会に発する活動の一環である。

核融合実用化の三つの障壁：

高温プラズマの閉じ込めに関する研究基盤が整い核燃焼プラズマを指呼の内に望めるようになった現在、核融合エネルギーの実用化に向けて三つの障壁が立ちはだかっている、という認識を持つことは重要である。ここでの議論はそこから展開するのが妥当である。障壁とは、統合技術実証と発電実証と経済性実証の三項目である。発電実証は安全性実証も含む。統合技術の実証は基本的に ITER 計画の成功に依存し、早期実現に向けた発電実証と経済性追及は今後の計画の立案と実施による。

検討の新しい視点：

このような状況の中、核融合開発研究を新しい視点から捉えようとするれば次の観点に着目せざるを得ない。

1) 核融合開発の時間的制約条件

核融合開発に対する当面の最大の期待は、CO₂ガスを発生せず、環境負荷が少ないエネルギー源の供給にある。そしてこの恒久的なエネルギー源が、幸運にも深刻化する地球温暖化問題の緩和に貢献できる、という点は特筆に価する。

これに関連して、これまでのエネルギー需給分析によれば、核融合が市場参入に成功し期待される役割を果たすための時期的な制約条件は今世紀半ばとされている。この目標は、研究開発を国際的規模で効率的に推進すること、基礎・基盤研究は奨励されるとしても責任路線を確定して進めること、実用化に必須な重点課題の開発を ITER と並行に実施すること、などを要請するが、開発の効率化、重点化を行うことで目標達成の可能性は高められる。即ち、ぎりぎりの可能性を持った構想が真剣に追求されなければならないのである。

2) 責任路線としてのトカマク方式

これまで30年にわたる核融合研究開発の中でトカマク方式を中心としながらも多岐路線に沿った開発が実施されてきた。それらの路線が核融合の研究基盤を構築するのに多大の貢献があったことは否定できない。しかしながら現実的な炉の設計と設備の建設を可能とする方式となればそれを可能とするのはトカマク方式のみである。実験炉の後に来る動力炉をトカマク以外の炉形式で構想するのは非現実的である、というのが開発スケ

ジュールを勘案した現実的な認識である。トカマク方式は核融合の実用化に対して大きな責任を有するのである。

なお、慣性核融合は磁場閉じ込め核融合とは別のカテゴリーに属し、異なった評価を必要とする。わが国におけるレーザー慣性核融合研究において、新手法としての「高速点火」は大きく進展し、点火・燃焼の早期実現の可能性があるので、今後の進展に特段の配慮が望まれる。

3) 核融合開発重点課題の変革

同じ状態がいつまでも継続するという状況は形式であっても内容に関してであっても原則として望ましくない、というのは我々の経験則である。特に核融合の場合、開発目的が核融合の実用化にあることに照らせば、開発の進展に応じて課題の重心を移しそれに呼応して体制を変革していくのは当然である。変革の論点は学術としての内的な研究課題と体制としての外的な組織問題の二つに帰着させられる。核融合学がこれまで隣接分野との関係が問われず、多くの他分野と同様、細分化の惰性の中に埋没しようとする傾向が顕著な現在、この2点について変革を試みることの意義は大きいのである。

例えば、ITER はシステムに直結した多くの工学的課題の解決を要請して止まない。研究は要素的であるが開発はシステムのあり、システムは要素技術の結合を要請するからである。それを研究課題とする研究者は我が国大学には今のところ極めて少ない。新しい要素を含むそれらの課題が現在学会で発表されている課題と著しく異なるのは明白であろう。研究論文の生産に価値が置かれて得られる研究成果とシステムの構築が普遍的に要請している有用な成果とは峻別されなければならない。一般性の高い従来の課題と新しい課題の適切なバランスが望まれるのは当然として、後者の解決は世代交代によって促進されるという側面は強調されて良い。

とはいえ、第17期核融合専門委員会でも検討されたように、核融合工学の主要技術に通じる研究課題についてはそれらが未開発であればその可能性を精査して高い優先度をもって計画が実現されなければならないのは当然であろう。

4) 体制の変革

体制の変革は通常極めて困難であるが、ITER 計画は変革を実行できる絶好の機会である。これに加えて省庁再編や法人化に伴った大規模研究所や大学の抜本的改革もまた、またとない変革の機会を提供する。変革に当たっての理念やガイドラインをここで提供することが期待される。

そもそも、体制は計画を実現できる重要な形式である。効率的に目標を達成するため体制を適切な形態にすることは極めて重要である。そこでは、イ) まず研究者の意識改革が期待され、ロ) 次いで研究者の組織的流動性が構想され、ハ) 最後に研究所の組織のスクラップ&ビルドの実施を計ることであろう。ITER 時代の到来はイ) に対応し、研究所や大学の独立法人化はロ) に対応する。ここでハ) に踏みこめるか否か、難しい課題である。

かつてピラミッド状の組織は高効率達成に最適とされた。インターネット時代にあっては、ネットワーク化された平坦組織とのベストミックスが理想とされる。自己組織化の行動がこの認識の妥当性を裏付けるであろう。

さらに重要な視点は、体制の変革は究極的にはその規模を国際的な組織にまで広げることである。また容易に効果を引き出せる方策として、競争的資金の導入があり、それは実質的に組織を変革させるのと同等の効果を持つ。

このような視点から研究が展開され実用化の兆しが見えたとき、核融合研究者はようやく研究開発の最終目標の達成を確信できるようになり、そのことを国民に自信を持って語るができるのではないだろうか。

4. 核融合炉開発研究の新しいあり方

4.1 トカマク方式の重点課題と新しい課題

先に述べた三つの障壁のうち、システム統合技術の基本は ITER で取得され、発電実証の鍵は材料開発とブランケット総合工学にあり、経済性実証の鍵は出力密度の向上と連続運転の実現にあり、高ベータ定常トカマク高性能炉心の開発によって技術確証が得られる。これらの諸課題の重要性は度重なるこれまでの検討によって自明であり、

- 1) 強力中性子源を活用した材料開発、
- 2) ブランケット総合工学に関わる研究開発、
- 3) 高ベータ定常運転などのトカマク高性能炉心プラズマ開発、

の課題を重点的に推進しなければならない、ということに集約される。これらの課題は、ITER 計画の開発項目に含まれていない。また、材料とブランケットについては第 17 期の時から最重要課題として予算措置の必要性が主張されてきた。上記の課題は部分的には ITER 計画の高度化に寄与できるものの、主要部分は動力炉を展望した技術となっており、核融合の早期実用化に欠かせぬ技術である。

一方、研究開発がこの段階に至れば、これらの課題の解決だけでは核融合炉成立の十分条件が満たされないことに留意することは重要である。つまり、それらに加えて、新しい課題として、

4) エネルギー生産システムの早期実現に向けた統合化技術の開発

が本質的に重要なものであることを認識すべきである。

建設や運転管理に必要な技術が実験室での研究をどれだけ超えているか、その実態を正しく認識するのは容易ではないが、このような認識を持ってこの分野における新しい研究者を育成していくことの重要性は極めて大きい。品質保証の問題、安全率の問題、裕度の最適配分の問題、規格・基準の問題、運転管理の問題、事故・故障に対する方策など、数え上げればきりがない。これらの課題は定性的なものを定量化するというこれまで容易に解決できなかった課題ともなっており、最近の研究によって解決の糸口が得られつつある。核融合がこの普遍的な課題の解決に何時までも無関心でいることは好ましくない。これらが経済性と安全性に強く関係すると認識して、原発技術者や高速炉の開発担当者がいかに創意と工夫を重ねているか、参考とすべき点が多々存在する。開発がシステムの構築に向かうとき、それを支える技術が自閉的であっては、成功は覚束ないのである。

4.2 トカマク路線以外の閉じ込め方式

核融合研究はプラズマの閉じ込め方式に関して多様である。多岐路線と呼ばれて研究が促進されてから久しく数十年の年月が経過した。現在大学には中小規模の研究所や研究センターが存在していてプラズマ物理に関する実験が継続されている。これらは未成熟で現状ではエネルギー開発に直接寄与するというより、学術研究として位置づけるのが適当である。この中であって、慣性核融合は独自に世界に冠たる学術成果を挙げており、その位置づけも特徴的でなければならない。

各方式の持つ炉心プラズマ性能を、自己点火条件に対して核融合積で比較すれば次のようになる。

- 1) トカマク方式では、相対値で約 5 分の 1、
- 2) ヘリカル方式では、数百分の 1、
- 3) スフェリカルトカマクでは数千分の 1、
- 4) その他の磁場閉じ込め方式では 5 桁も低い値となっている。

要するに、トカマク以外の方式で動力炉概念と工学的成立性に関してトカマク方式に比肩できるものは存在しない、ということである。このことは、核融合発電をトカマク方式と同時期に実現させる方式は現実的には存在しない、ことを意味する。従って、トカマク以外の閉じ込め方式にあっては以下に示すように、今後、適宜成果のレビューを行い、エネルギー開発として高い可能性を持つものを開発戦略の中に適切に位置づけていく、というのが現在とり得る最も合理的な選択である。すなわち、

1) 慣性閉じ込め方式は、磁場方式とは独立したエネルギー開発路線を描くことができ、国際的連携のもと、研究開発計画を構築すべきである。高速点火方式は、比較的小型の装置で欧米の大型計画と同時期に点火燃焼が可能であると考えられ、今後 10 年間の研究進展によっては、磁場閉じ込め方式とは異なるアプローチで核融合エネルギー開発としての大きな進展を見込む可能性がある。次の研究ステップでは、ペタワットレーザ等の建設による高速点火概念の実証を目指すとともに、炉設計と工学的成立性の研究に力を注ぐべきである。

2) ヘリカル方式にあっては、各種ヘリカル平衡を体系的に評価するなどしながら炉心プラズマ特性の高度な理解を意図して、国際的連携のもと、研究を継続すべきである。初心に帰って、トラスプラズマの学術的理解に専念するかエネルギー開発を目指して炉概念の構築と工学的成立性に勢力を注ぐか方針が分かれるところであり、このことを勘案して LHD (大型ヘリカル装置) の将来計画を策定すべきである。

3) その他の磁場閉じ込め方式は、エネルギー開発研究の観点から見たとき、トカマク方式、慣性閉じ込め方式、ヘリカル方式に比べて比較できるレベルにない、といえる。スフェリカルトカマクなどのように革新的成果が期待できる方式については、当面はブレークスルーを喚起する基盤研究として位置づけ人材育成にも主眼を置きつつ、国際協力のもと学理の進展に貢献すべきであろう。

以上が、各方式が持つポテンシャルと実績を勘案して得られた総合的な評価である。今後の開発研究の策定に対して、資金とマンパワーをどのように配分していくかを考える上で指標となることを期待したい。

5. 核融合研究体制の新しいあり方

改革の現状：

特殊法人の見直しによって2004年の合体を目指して、日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構の統合問題が活発に議論されている。また独立法人化を目指した核融合科学研究所の自然科学研究機構化への統合化方針が示され、今後将来計画の議論に移ると思われる。さらに、法人化を目指した大学改革ははるかに重大で現在独立法人化に向けて改革のさなかにある。研究室やセンター群の改革は予算措置のあり方が変わることでは半ば強制的に進行するものと思われる。早晩いずれの研究機関も大きな変革を遂げるのであろう。

日本原子力研究所と大学：

このような状況下において、ITER計画を通して達成される研究開発の躍進と核融合の早期実用化を推進することを理念とした体制の変革を図るべきである、というのが基本である。日本原子力研究所がITERに対して主体的に参画していくのは当然として、大学を主体とした研究組織が従来の制約を乗り越えて動力炉開発に積極的に参画していく体制は大学に置ける研究開発の新しいあり方として探求されるべきである。

競争的資金：

先に、体制の根幹に触れないで変革に見合った効果を確保する手段がある、と述べた。それは計画的資金に並行して競争的資金を導入することである。予算配分に当たっては、核融合の進展に貢献する重要課題に対して優先的に配慮するのは当然である。このようにして重要課題について必要な数の研究者が確保される。これは予算措置によって組織を実質的に変革したことに相当する。資金注入による研究テーマの変更、これは第一の組織変更である。第二の組織変更は、政府が審議会を組織し、科研費とは別に相当額の競争的資金を用意して小規模のグループに対して公募を行い、効率的な研究開発を実行して行くことである。透明性、公平性、柔軟性の確保の観点から、小規模組織が競争的資金を日本原子力研究所や核融合科学研究所のような大規模機関を経ることなく直接活用できる形態が重要である。このような状況は、研究者の活動を活性化だけでなく、研究者の自己組織化にも繋がり、体制の変革を効率的に実現したのと同等の効果をもたらす。競争的資金の導入はあらゆる研究領域においてすでに我が国に定着しつつあり、核融合においても大きな効果が期待できる。

研究機関の動向：

個別の研究機関について近未来に期待される体制の動向について述べれば次のようになる。

1) 日本原子力研究所

- ・核燃料サイクル開発機構との統合による総合的原子力機関へ変貌する中において、核融合研究開発の位置づけを明確にし、放射能取り扱い等、共通資産を十分に活用する機能を保持する。
- ・先に述べた4つの重要課題を担う中核機関としての機能を確保し、共同企画・共同研究の形態を模索する。また、文部科学省傘下にあることを利用して大学等との今までに無い密接な協力・連携の道を追求する。
- ・ITER建設に関わる国内実施機関として国際事業体と密接な関連を保ち、ITER計画の成功に主体的に貢献する。

2) 核融合科学研究所

- ・共同利用研究機関として大学における研究を支援しつつ、基盤的研究活動を一層効率的に推進できるよう組織および運営形態を検討する。
- ・LHDを用いてヘリカルシステムの最適化研究を国際的枠組みの下で推進するとともに環状磁場閉じ込め系の学術研究を他方式との連携の下で進める。

3) レーザー核融合研究センター

- ・高速点火方式の早期実証を目標としたプロジェクトの構築が求められる。国際協力を念頭に置きながら爆縮施設等の集中的な検討が望まれる。
- ・レーザードライバー開発などクリティカルな工学的課題を解決することが重要であるが、研究段階が進展したと評価できる段階においてはそれにふさわしい体制に改組することが望まれる。

評価組織：

最近の行政改革における物事の決定プロセスを見ると、透明性、公平性を前提にして合理的な決定に至ろうという意図が明白である。これは核融合の今後の進め方にも反映されなければならない。

核融合界が今後 ITER シフト体制をとるようになると裁量権の集中が生じ、研究の推進方法に関して公平性や競争的側面が失われる恐れが出てくる。このような事態を避け、わが国における大型プロジェクトのつまづきを避けるためにも、政府やその意向を受けて施策を実施する機関とは独立した自律的な民間組織が存在することが望まれる。これはプロジェクト推進機関と国民の間を橋渡しする自主・独立を旨とする評価組織であり、その狙いは核融合開発プロジェクトの成功を共有することにある。

6. 提言

ITER 計画の成功に向けた核融合界の構造改革という現在の問題と核融合の早期実用化に向けた将来の問題に適切に対応することが現在の最重要課題である。優れて環境負荷の少ないエネルギー供給を通して、地球温暖化問題解決への寄与を決意すれば、これらの課題に対して 21 世紀前半での発電実証とそれに引き続く 21 世紀中葉での経済性実証という時間的制約が被さってくる。この困難で大きな課題を克服するために、現実的に取るべき最善の方策として以下の提言を行う。

1) 責任路線の確定と中核的課題の遂行

プラント規模での発電実証を早期に実現するために、トカマク方式を責任路線と確定する。ITER の推進とほぼ並行して、4 つの重要課題（**強力中性子源を活用した材料開発、ブランケット総合工学の構築、高ベータ定常化高性能炉心プラズマ開発、システム統合化技術の開発**）を重点的に取り上げ、予算措置はもとより人的配置も含めて強力に推進すべきである。なお核融合開発を基盤的に支える研究との連携が重要であるのは言を待たない。

2) 他路線の位置づけ

慣性閉じ込め方式は、高速点火による点火概念の実証を目指すとともに工学的成立性の研究に力を注ぎ、ヘリカル方式は、各種ヘリカル平衡の評価や環状磁場閉じ込め系物理にかかわる学術研究として進めるべきである。トカマク方式、ヘリカル方式および慣性閉じ込め方式以外の方式の研究は、独自の研究計画の下で研究資金等の獲得に努めるべきである。

3) 目指すべき体制の変革

体制については新しい課題の解決に向けて大学研究者を中心とした機能的な自己組織化の実践が望まれる。そのためには、現状のネットワークを情報伝達から研究計画の策定や研究者の自己組織化促進等の機能を有するよう改革することが肝要である。大学改革や研究所統合のなかで、新しい研究課題の抽出と世代交代が起こり、分野間の連携と人材の流動化が促進されることが望まれる。

さらに、体制の変革を側面から支援するために、競争的資金導入の実現が強く望まれる。

なお日本原子力研究所は、ITER 計画への主体的貢献に加え、自己組織化が期待される大学等との間にこれまでにない強力な連携・協力関係を築き、ITER と並行して実施する 4 つの重要課題の解決にむけ、枢要な役割を果たすべきである。

4) 民間評価グループの自律的形成

核融合研究開発が新しい展開を遂げようとしている現在、開発の透明性、公平性を確保し、開発の社会的重要性を広く国民に知らせるために国の研究開発機関から独立した中立の自律的なグループが形成されることが望まれる。そのようなグループによる評価活動は、核融合の孤立性の打破や核融合を取り巻く環境の改善に通じ、国民の理解に支えられた健全で安定した核融合研究開発の実現に繋がる。