



サロン

## 今後の核融合原型炉開発に向けて

### Towards Development of Demonstration Fusion Reactor from Now on

坂本修一, 山田弘司<sup>1)</sup>SAKAMOTO Shuichi and YAMADA Hiroshi<sup>1)</sup>

文部科学省 前研究開発戦略官, 1)合同コアチーム リーダー

(原稿受付: 2014年10月1日)

エネルギー環境問題への基本的な取組の見直しやITERの進捗を背景に「核融合エネルギーはいつ実現するのですか?」との問い合わせることが、これまで以上に真剣な命題となってきている。これに対して、核融合炉の研究開発にかかる者が核融合エネルギーによる発電実証を行う原型炉の開発計画について説明責任を果たしていくことが最初の回答となろう。文部科学省の科学技術・学術審議会に位置づけられた核融合研究作業部会の要請により設けられた核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中核的役割を担うチーム(以下、「合同コアチーム」という)の報告[1]がまとまったことを機会に、広く核融合に関する分野に携わっておられる方々に今後の方針について共感が喚起されることを願って、所感を述べたい。

#### 行政からの問題提起 坂本修一

核融合研究作業部会でまとめさせていただいた報告「核融合原型炉開発のための技術基盤構築の進め方について」(2013(平成25)年1月)[2]および合同コアチーム報告[1]を受けて、行政側からの問題提起をさせていただきたい。

現在、ITER計画および幅広いアプローチ(BA)活動が進められ、学術研究でもLHD計画やFIREX-I計画が実施されている。次の原型炉はさらに非常にスケールの大きなプロジェクトとなる。プロジェクトの規模が大きければ大きいほど、あるいは複雑であればあるほど、そのプロジェクトの在り方について、科学技術のみならず、資金、組織、制度等、非常に多くのファクターをコヒーレントに動かして解を見出していくなければならない。原型炉開発に向けて、政策、研究、そして技術開発をどう連結させていくかを考え、それらを実現させるために共同で作業をする、そういうプロセスが求められている。この認識を共有し、かつ、どうやってその解を見出していくかということを考えたい。

2005(平成17)年に原子力委員会の核融合専門部会でまとめられた「今後の核融合研究開発の推進方策について」[3]に定義されているように、現在、我々は核融合エネルギーの科学的・技術的実現性を示すことを目的とした段階にある。既に、ITERをはじめとして、非常に大規模な投資がなされている。成果も出てきている一方、課題も次々に明らかになってきている。エネルギー源として、核融合を成立させるための本当の正念場は次の発電実証である。そうであるならば、この正念場である発電実証の段階にどう移行していくのかということをコミュニティが本当に真剣に考えているということを、具体的な形をもって示していただき

\*将来を予測する際に、まず目標となる姿を想定し、その姿から現在を振り返って今何をすればいいかを考えるやり方。

く必要がある。

現状認識として申し上げたいことは、ITER計画、BA活動、LHD計画、あるいは各大学の研究等、各種プロジェクトは着実に進展している。一方で、これらに対する多額の投資を背景に、いつ核融合は実現するのかという問い合わせが頻繁に行われてきている。行政側としては、核融合コミュニティにとって、この問い合わせについて信頼度の高い具体性のある答えを出すことが説明責任を果たすうえで極めて重要であるという認識をもっている。

正念場である次の目標、発電実証を実現するためにはまだ技術的なギャップは大きい。様々な面で飛躍的なイノベーションが必要であり、そのイノベーションのプロセスをいかに効果的なものにするのか、最短コースで発電実証にどうやって向かっていくか、について重要な考え方がバックキャスト\*である。原型炉に求められるもの、原型炉のあるべき姿の方から見るバックキャストの手法に沿い、既存・進行中の研究開発計画を合理的なものにする、本格的な概念設計活動においてはITER計画、BA活動およびそれらを補完する研究開発の整合性、合理性など、全体を見据えた検討・検証を進捗に応じて行うことができるものとする体制を整備する。そして、総合的な活動の推進を図る。これらが必要であるということが「核融合原型炉開発のための技術基盤構築の進め方について」[2]で述べられている。

行政の理解としては、この報告書の考え方を受けて、今、大目標である発電実証の早期実現に向けて核融合コミュニティにおいては、コミュニティの方々が一丸となって、関連分野の優れた人材、特に若手をより多く巻き込んで、しっかりと技術基盤の構築、それを土台とした原型炉

corresponding author's e-mail: yamada.hiroshi@nifs.ac.jp

開発の計画策定に邁進することが求められているのではないか。これがまず一つ目の基本的な問題提起である。

さらに踏み込んで、この原型炉開発の計画がどうあるべきかも考えたい。「今後の核融合研究開発の推進方策について」[3]に、原型炉段階への移行の可否の判断をどう行うかということが書かれており、そこには、実用化を見据えて民間事業者の参画を得つつ判断するとされている。このためには、当然、その経済合理性あるいは安全性等に対する社会の要求に十分応え、広く支持が得られる計画が核融合コミュニティによって作成される必要がある。

そのためにはどうするか? コミュニティ全体の活動を統合的視座で把握し、共通目標を設定して活動を組織化、あるいはその指向性を強化することが求められているといえる。

昨年、この作業部会での提言を受けて、日本原子力研究開発機構と核融合科学研究所を中心に設置していただいた合同コアチームが、まさにこの課題に正面から取り組む議論を今行っていると我々は理解をしている。この合同コアチーム報告[1]は様々な原型炉開発の側面の議論をしているが、行政から見た重要なポイントとしては、統合的視座からの研究開発システムの変革を求めていることではないかと理解をしている。

この統合的視座からの変革とは何か? 我々は、少なくとも統合的視座として必要なものは二つあると考えている。一つは学問・技術面、これはサイエンス、エンジニアリング、そしてマニュファクチャリング、これらをいかに有機的に統合していくかということ、これがまず一つの重要な視座、もう一つは構造面、これはプロジェクトの運営あるいは制度の運営といったコミュニティの活動を動かすシステムの構造、それについて統合的視座をもつ必要があると考えている。

まず学問・技術面の統合的視座から必要とされるのは、共通目標の設定、共通課題の特定とその共有であろう。現在進行中の活動によってどこまで達成可能なのか、あるいは原型炉開発のボトルネックとなる課題として何が見えてきているのかということ、これをまずしっかりとコミュニティの中で評価し、特定していただくことが必要である。そういう課題をいつまでにどのように解決するのか、各組織が果たすべき役割は何かということを具体的に考えていくことが必要である。このためには、特に学会をはじめとして、核融合エネルギーフォーラム、あるいは核融合ネットワーク、こういった様々な産学官の関係者の方々が集まる場が非常に重要になる。

なぜならば、これから核融合の発電システムを作っていくときにシステムエンジニアリングあるいはシステムインテグレーションが重要であるということは、合同コアチーム報告書でも指摘をされているところであり、このためには、既存の学術分野あるいは技術領域の中ではなかなか評価されない全体を統合させ、成立させるための知的価値をどう評価して、それを伸ばしていくのかということ、その価値の創出に若手あるいは他分野の人材をどのように巻き込んでいくのかということが極めて重要な課題になってく

るからである。

特に、学会が知的生産の評価をし、それらを育てる、あるいは新しい活動の場を作っていく、こういう学会の役割が極めて重要であると我々は認識している。核融合にまだ十分な接点をもっていない様々な他分野とのインタラクションというものをもっと学会が中心になって作っていただく必要があるのではないか。私は、この核融合分野は可能であると思っている。

核融合技術は、当然、エネルギーの生産システムを作ることを大目標として進めるわけであるが、核融合研究開発を通じて様々な先端技術、波及効果が非常に大きい技術が出てくることが期待される。こういった展開が可能であるのであれば、核融合科学あるいは核融合技術というものが様々な分野との接点をもっと拡大していく、チャンネルを太くしていくことは当然可能であろう。他分野との人材の交流、あるいはどんどん新しい視点をもって核融合の課題に挑んでいただく他分野の方々の参画、そういうものを求めていくことは可能であろうと考えられる。それを是非に仕組みとしてコミュニティの中で作っていただきたい。さらに、そこでは、斬新かつ有望な若手がもつアイデアを積極的にそのプロジェクトに組み込んでいくシステムが長期にわたる原型炉開発には必要とされている。

まとめると、核融合コミュニティが全体として共通目標を設定し、その実現への寄与度を最も重要な評価軸と捉えて、プロジェクトや組織、制度の運営から個々の研究活動まで方向性をそろえていくことが必要ではないかというのを我々からの問題提起である。

数十年かけて行う大きな目標をもった原型炉開発というプロジェクトは、行政とコミュニティがしっかりとキャッチボールをして作っていくべきものであり、文科省も積極的に今考えようとしている。このことを、コミュニティの方々にも理解していただいて、研究開発システムの変革、あるいは真のオールジャパン体制の構築に向けて真剣な議論と取組をお願いしたい。

### 合同コアチーム報告から 山田弘司

原子力委員会核融合専門部会や核融合研究作業部会をはじめとする多くの原型炉開発段階への議論を基盤として、核融合研究作業部会では2013(平成25)年7月に、大型プロジェクトの実施主体である日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門と核融合科学研究所が中心となり、合同コアチームの構築を求めることとした。合同コアチームの目的はITER計画およびBA活動や、LHDをはじめとする学術研究の進展を踏まえ、核融合原型炉の開発に必要な技術基盤構築の在り方を、我が国の核融合コミュニティの総意を踏まえつつ検討することである。構築された合同コアチーム[4]は核融合研究作業部会の求めに沿って、1)検討の前提となる核融合原型炉概念、2)実施すべき活動とその目標(研究活動、検討活動)、3)上記の活動に必要な科学的・技術的検討作業を検討し、2014(平成26)年7月18日付で報告書をまとめた[1]。

坂本前研究開発戦略官が述べられた問題提起に対して、

核融合コミュニティ全体で真剣に議論し、具体的な形をもって回答を示していくための取組を実行していくことが必要であると考える。その足掛かりとなるよう合同コアチームが検討し、まとめたものが、この報告書である。詳細は報告書[1]を参照いただくこととし、合同コアチームを代表して、概要を紹介する。

まず、原型炉に求められる基本概念と進め方として、以下の5点をあげる。

- 原型炉の目的は核融合エネルギーが他のエネルギー源と競合可能な経済合理性と社会的合理性を達成できる見通しを示すことである。
- 原型炉の目標は核融合エネルギーの実用化に備え、数十万kWを超える定常かつ安定な電気出力、実用に供する稼働率、燃料の自己充足を実現することである。
- 目標達成に至るまでの原型炉の運転開発期を、調整運転、発電実証および経済性実証の段階に分ける。それぞれの段階において、マイルストーンを定義し、経済性向上をめざした先進技術を段階的に達成すること。
- 原型炉の目標に照らして、まず、最も開発段階の進んだトカマク方式によって第四段階への移行条件を満足させ得るための技術課題を共通目標として定め、ITER計画とともに全日本体制で課題解決に当たる必要がある。
- 革新的成果による加速と課題解決を促し、また移行判断を核融合研究開発の総合的進捗状況を踏まえて行うため、トカマク方式に対して相補的・代替的な役割をもつヘリカル方式やレーザー方式、さらには様々な課題に対する革新的概念など、研究開発において一定の多様性をもった取組をバランスのとれた形で、より戦略につなげて進める必要がある。

次に、研究開発と原型炉設計活動について、以下の4点をあげる。

- 原型炉の構成要素の技術課題を11項目に整理し、個別の分析を行った。全ての技術課題項目に共通する問題認識は原型炉設計と個々の技術課題の研究開発の間のジレンマ、すなわち、設計が固まらないから研究開発目標が設定されない、あるいは研究開発の見込みが不明なため設計が固まらないという状況から、それぞれの成果が相乗的に加速を促す状況へと変革させが必要である。
- 中間チェック・アンド・レビューをITERのファーストプラズマが得られる2020年ごろ、これを受けた第4段階への移行判断をITERにおけるDT燃焼実証が行われる2027年ごろに想定し、これらの時機に照らして、原型炉の構成要素となる11の技術課題項目における課題の構造と課題の解決に向けた取組を示した。
- 原型炉開発は関連技術すべてを統合的視座から結集してなされるものである。広義の原型炉設計活動には個々の技術の目標設定と成熟度評価によって開発計画全体を管理し、主案の確実な進展を図るとともに革新的な新規の技術開発を提言する役割がある。

- 原型炉設計活動においては、技術仕様を固めるための体制強化だけではなく、研究開発計画の企画立案・管理・調整について、PDCAサイクルを機能させることや、他分野までを俯瞰して、学会との連携を含めて活動を組織化させることに、全日本体制で戦略的に取り組む仕組みが合わせて必要である。

さらに、以下の4点の留意事項をあげる。

- 原型炉の建設に向けた本格的な工学開発活動は第四段階移行判断によって開始が決定される。一方、原型炉の早期実現につながるよう、移行判断までを準備期間として、中間チェック・アンド・レビューでの評価・判断を受けての相当規模の工学開発活動への着手を促進すべきである。
- ITER計画の遂行は原型炉に向けた技術基盤の構築の最も大きな柱である。ITER計画における開発実績を反映させることはもとより、この機会を利用して、原型炉の技術課題の解決に資するデータの取得を進めることが重要である。ITERの建設の経験を活かして、原型炉の建設コストの軽減につながる研究開発等が考えられる。
- 原型炉設計には将来の産業化を見据えた設計合理性が求められる。このためには、概念設計の初期段階から相当規模の産業界との共同作業が必要である。さらに、長期的展望に基づいて、産業界が継続的かつ段階的に責務を負った形で参画すること、また、それらができる体制とするための措置を講ずることが重要である。
- 政策的なリーダーシップへの期待として以下をあげる。実施体制の責任の在り方、計画についてコミュニティの独善的なものではなく、進展に応じステークホルダーを巻き込んでいく仕組みやテクノロジーアセスメントに国民が参加する仕組み作り、核融合がもつ固有の安全性に立脚した立地条件の考え方や環境影響評価の在り方。

本報告は、最初に述べたように「今後の核融合研究開発の推進方策について」[3]をはじめとする先達の検討を基とし、最新のものとするためにヒアリングや中間報告の説明会などを通じて我が国の核融合コミュニティからいただいた意見を分析した。コミュニティの総意を踏まえつつ検討するという使命に対して、不足の点が多々あることは今後の課題としてご寛恕いただき、関与された全ての方々に感謝申し上げる。さらに、この報告での検討をより有用としていくために合同コアチームでは、包括的かつ詳細な時系列展開の総覧図を作成する作業に取り組んでいる。報告書と合わせてこれらが今後の企画や活動および評価に活かされ、坂本前研究開発戦略官が述べられた問題提起への回答につながっていくことを望む。

### 参考文献

- [ 1 ] 核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中核的役割を担うチーム（略称 合同コアチーム）報告 平成26年7月18日。  
NIFS-MEMO-69 (Sept.22,2014) National Institute for Fusion Sciece  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/056/shiryo/1350763.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/056/shiryo/1350763.htm)  
<http://www.naka.jaea.go.jp/>  
<http://www.jspf.or.jp/2014/141001JCT.pdf>
- [ 2 ] 核融合原型炉開発のための技術基盤構築の進め方について（第6期作業部会報告書）平成25年1月 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会核融合研究作業部会。

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/056/shiryo/attach/1338925.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/056/shiryo/attach/1338925.htm)

- [ 3 ] 今後の核融合研究開発の推進方策について 平成17年10月26日 原子力委員会 核融合専門部会  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/kakuyugo2/shiryo/kettei/houkoku051026/index.htm>

- [ 4 ] メンバー：尾崎章（日本原子力産業協会），笠田竜太（京都大学），坂本隆一（核融合科学研究所），坂本宜照（日本原子力研究開発機構），竹永秀信（日本原子力研究開発機構），田中照也（核融合科学研究所），谷川尚（日本原子力研究開発機構），山田弘司（核融合科学研究所），専門家：飛田健次（日本原子力研究開発機構），岡野邦彦（慶應義塾大学），事務局：金子修（核融合科学研究所），牛草健吉（日本原子力研究開発機構）