

平成23年12月27日

核融合エネルギーフォーラム提言 「原型炉に向けた核融合研究開発 の具体化について」

堀池 寛

大阪大学・工学研究科

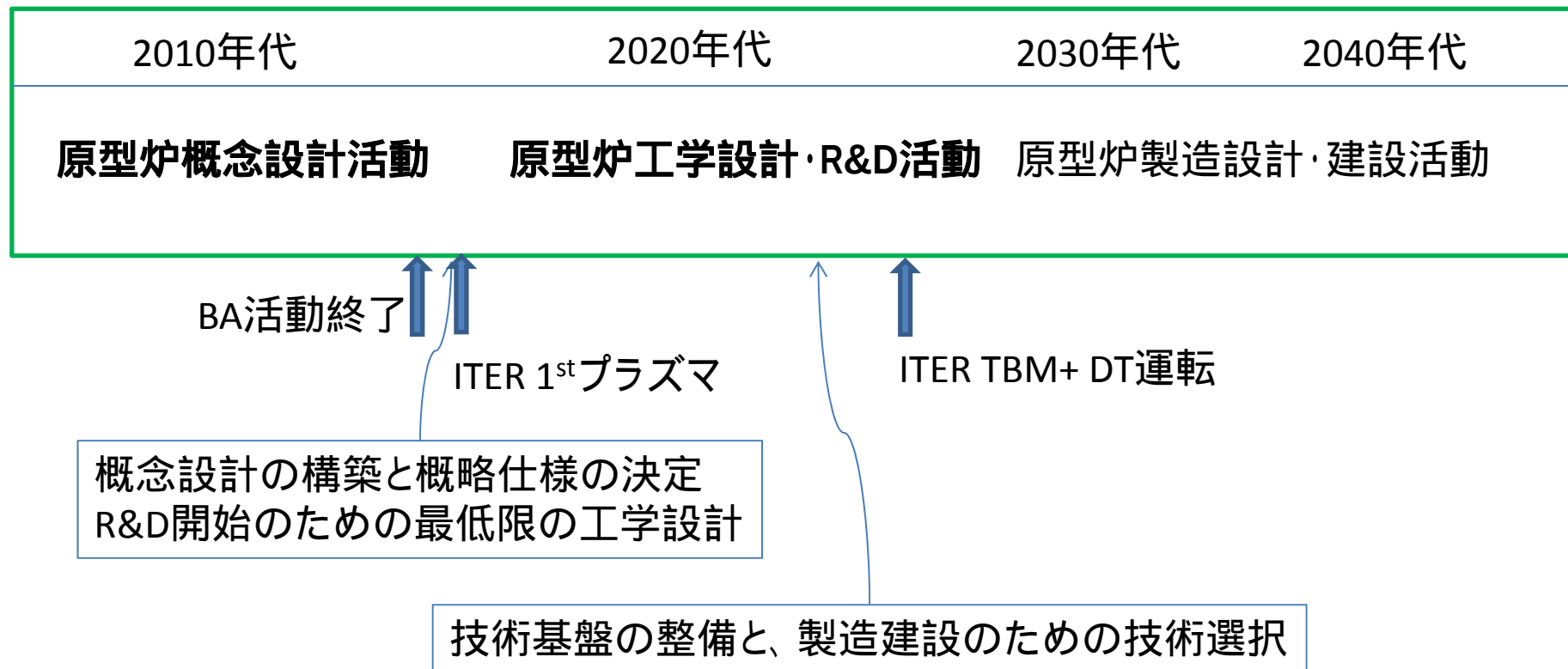
概要

- 現在日本は、ITER計画及びBA活動を中心に核融合エネルギーの研究開発が進められている。
- 核融合エネルギーの実用化には原型炉による発電実証が必要である。
- 原型炉の設計開発を進める上で、ITER計画とBA活動と平行して検討すべき項目が抽出された。
- 本提言では、緊急を要するそれら項目についての開発の進め方(原型炉設計作業活動)を検討し、提案した。
- 提案された活動を加えることにより、国際協力に貢献するとともに、ポストITERへ向けた独自の核融合技術を発展させ、その過程で若手人材の育成を図り、産業技術の育成と発展を目指すことは重要である。

緊急を要する主要な9課題

-) 原型炉概念設計の構築及び工学設計段階に向けたR&D項目の厳選
-) 装置工学: 超伝導磁石や遠隔保守のR&Dと実機の概念設計
-) ブランケット工学: 核融合炉模擬環境下でのモジュール試験、特に「炉工学試験装置」の整備と試験
-) ダイバータ工学: $10\text{MW}/\text{m}^2$ レベルの高温除熱機器概念選択と技術的成立性の評価試験、シミュレーション解析
-) 核融合燃料工学: 熱媒体トリチウム制御、リチウム関連研究及び初期装荷トリチウムの確保と評価
-) 核融合材料工学: 炉構成材料の技術基準確立及び信頼性確保
-) 環境安全性評価: トリチウム安全管理など
-) 炉心プラズマ研究: 高圧力プラズマでの定常性能の実証
-) 加熱・電流駆動工学: R&D及び実機の概念設計

原型炉設計活動の想定スケジュール



核融合エネルギーの意義、原型炉の安全性及び環境特性並びに開発の必要性及び重大性について、その技術コンテンツと評価結果を国民に理解が得られる形で示す

原型炉概念設計とそれに続く工学設計

原型炉概念設計活動での課題

• 原型炉戦略設計コアチームの設立が必要

日本型原型炉概念を一方向に定めR&Dを調整
R&D実施主体と独立した立場で調整し設計統合

欧州はF4Eに動力炉チーム
(PPPT)を設立し、原型炉設計を
推進中

原型炉工学設計・R&D活動での課題

- 原型炉戦略設計コアチームを発展
- 工学R&Dを調整し、項目を厳選して
課題の成果を得るように責任を負う

日欧協力で進めるBA活動
IFERC事業原型炉設計では、
現在六ヶ所サイトで欧州と合意
の中で原型炉研究を実施中

全体目標

- 新たなエネルギー体系への対応を検討
- 遠隔保守方式との整合性確保
炉構造と遠隔保守概念、機器製造技術との整合性の確保
製造コスト、製造技術、保守維持性との整合
- 理論シミュレーション開発研究
モデルの高精度化と設計への活用
デジタルデザイン技術の確立

装置工学(原型炉・実用炉に向けた R&D、特に超電導コイル)

- 超伝導コイル用新線材の開発研究
- 原型炉概念設計期には、 Nb_3Sn 、 Nb_3Al 、高温超電導材の比較検討のための基礎研究
- 原型炉に採用可能な線材候補、それに必要なR&D, その中から要求性能に最適の素材の選択の手順、時期の見通しを得る
- 原型炉工学設計・R&D活動期には大型モックアップ試験と実機用線材製造のR&D

ブランケット工学

ITER-TBMの完遂

- 固体・水ブランケットの工学的技術統合
- 液体ブランケットの技術的な見通し
- 原型炉での構造と遠隔保守との整合性を確保

原型炉用TBMの開発

- 十分なTBRを確保した固体増殖フルブランケット
- 高温化と先進技術研究開発をモジュールにより段階的に実施
- ITER-TBM照射試験に加え、中性子負荷、熱負荷、トリチウム増殖比に関する反応確証試験が必要 → 「炉工学試験装置」を原型炉工学設計・R&D活動期間に整備
- 「炉工学試験装置」は、研究炉内には向かないサイズの試料や機器を中性子照射して、並行して熱負荷試験、イオンビーム試験を実施できるものが望ましい。
- 「炉工学試験装置」は、ブランケット研究開発、ダイバータ工学、材料開発研究、トリチウム増倍試験など、多目的な利用で原型炉工学研究に新分野を切り開くことができる。

ダイバータ工学

「原型炉概念設計活動」での課題

- ITER用タングステンダイバータの開発と並行して、既存研究設備での試験やシミュレーション解析で設計開発を推進：JAEA,NIFS,大学
- 設計では冷却材の選定が重要
- ダイバータカセットとしての中性子照射試験及び熱負荷試験を実施

「原型炉工学設計・R&D活動」での課題

- 「炉工学試験装置」でダイバータ要素の機器試験を実施
- 高密度プラズマとのPWIはLHDの特性を上手に利用して実施
- トカマクプラズマでの全システム開発試験はJT-60SAで実施

燃料工学(トリチウム、リチウム技術)

- 原型炉のDT運転のために、初期装荷トリチウムの入手、管理と、リチウム同位体技術開発を進める必要がある
 - 原型炉の運転にはトリチウムが必要だが、ITERのDT運転用のものと競合する。よって、
 - トリチウムの国内製造の準備と技術の蓄積、それと並行して外国からの入手と国際管理の調査研究を進める。
 - ITERでのトリチウム技術の経験の獲得とBA活動の国際核融合エネルギー研究センター事業での安全管理、環境挙動及び計量管理技術の開発を確実に継承し発展させる。
 - 原型炉のための工学としての安全技術、環境技術などについては、国内設備を別途活用して経験を積む必要がある。
-
- リチウム同位体回収は重要な技術
 - リチウム電池産業分野と連携協力し、国家基幹技術としての開発戦略を構築することが重要
 - 固体増殖・水冷却方式のブランケットはトリチウム増倍係数が小さいので、リチウム同位体を高効率で回収することが重要であるので、実験的なリチウム回収施設を整備するか、ベンチ規模の技術開発を進め、基盤技術を確立しておく
 - 将来的なリチウム元素戦略が重要 海水からのナトリウム、リチウムを抽出する技術を確立

核融合材料工学

- 炉工学試験装置及び原子炉での照射データを解析することにより、原型炉に使用される材料の強度特性と安全性確保のための使用基準を原型炉設計の進展と合わせながら詰め、その過程を通じて原型炉設計及び安全性確保のための規格基準の整備を進める。
- 核融合固有の安全上の特徴に留意した規格・基準の策定の検討作業を産業界、学協会界の連携の下に進める。
- 国際的なデファクトスタンダードを確保する。

環境安全性評価

- 総合的なトリチウムの安全性、環境安全評価手法あるいは交換後のブランケットモジュールの解体と廃棄処分のための研究開発を実施
- ITERや原型炉という核融合施設でのトリチウム安全管理と評価についての、社会への説明と、社会からの受容性を確保
- 低レベル固体放射性廃棄物の安全管理と処理処分技術の研究開発を実施
- 既存原発の廃止措置に係わる技術開発を踏まえつつ、ピーニング技術や安全解体及び廃止措置技術にかかわる研究開発を実施

炉心プラズマ研究

- 原型炉プラズマ設計の基本的要件は、ITER、JT-60SA、LHDなどのプラズマ研究及び理論シミュレーション研究から供給
- 特に、高圧力プラズマの定常化研究(JT-60SA)とその実証は重要
- プラズマの理論解析研究

加熱電流駆動工学

- ・ ITERとJT-60SAでの機器開発成果の先に、更に高効率化・高エネルギー化の開発を実施
- ・ 原型炉では稼働率が高いことから、作動信頼性の向上と放射線対応技術の確保に努める

人材の育成・確保を含む資源確保(1)

シミュレーション研究

- 原型炉とITERの性能ギャップを埋める一つの方法として、シミュレーション研究に基づく予測設計が重要である。この分野の拡充をはかるため、大型計算機の整備だけでなく、人材の育成も視野に入れる必要がある。

設計基準及び並行する許認可の準備検討

- 原型炉の設計作業、中でも設計基準及び並行する許認可のための準備検討を効率的に進めるため、ITERの規格・基準と安全規制分野との人的交流や若手担当者の派遣などを通じて人材の育成をはかる必要がある。

原型炉戦略設計コアチーム

- 本チームは、原型炉開発の司令塔であり、次段階の原型炉工学設計・R&D活動を担うコア組織であることも想定されるので、若手中心の構成として人材を育成する運営が望ましい。その際、関連研究機関、大学や産業界などからの人材を確保する上で、人材の流動性の確保についての留意も必要である。

人材の育成・確保を含む資源確保(2)

JT-60SA

- ITERでの実験・運転を主導し、原型炉開発を担う国際性を有する若手研究者・技術者をJT-60SAでの研究開発を通じて育成することは、JT-60SAが果たすべきもう一方の大きな役割である。

多角的な理解確保

- 核融合エネルギーの実現を目指す目的は、エネルギー確保だけでなく地球規模の環境問題への寄与がある。後者では二酸化炭素削減や環境適合性を評価して国民や関係府省に強く訴え、多角的な理解の確保に努める必要にも留意すべきである。

核融合エネルギー実現に向けた継続的な産業界の関与について

- 産業界は、核融合の研究開発が超長期にわたることから、人材や資金などの投入には慎重である。産業界の継続的な関与を得るためには、本提言の「原型炉概念設計活動」をITER計画とBA活動と並行して、続いて「原型炉工学設計・R&D活動」をITERのDT運転とともに適正規模で実施することが不可欠である。

まとめ

- 核融合原型炉の製造設計・建設段階への技術的な円滑な移行を行うため、ITER計画とBA活動が実施される期間に並行して研究開発を進める必要がある課題を整理した。
- 具体的な研究開発を進めておくことにより、ITER計画とBA活動が目的とする核融合エネルギーの利用に向けた将来戦略を世界に先駆けて社会に明示することができる。
- この提言が提案する「原型炉設計作業活動」によって、ITER計画やBA活動の終了による技術及び人材を有効に育成し活用し続けて次の段階に円滑に進むことができる。