

核融合炉開発についての私見

日立製作所 原子力事業部
先端技術ソリューション本部

大塚道夫

ITER 計画懇談会報告書(P1) :

核融合エネルギーは、

- ・ 資源的には地域的な偏在がなく量的にも制約は予想されていない
- ・ 核融合反応は核分裂と比べて安全対策が比較的容易である
- ・ 低レベル放射性廃棄物は発生するが、高レベル放射性廃棄物の処理処分の必要がない
- ・ 国際的な緊張を引き起こさず、エネルギーの逼迫を防ぐ

等の特徴があり、将来のエネルギー源の一つとして有望な選択肢である。

「なるほど分かりました。

ところで核融合炉は本当に出来るんですか？」

という疑問にどう答えるか。

残念ながらこの疑問への明確な回答はまだない。

- ・評価・判断のためのデータベースが十分ではない

ITER 計画懇談会報告書：

- ・「現時点ではその技術的実現性が実証されていないことから、他の代替エネルギーと同列に論じることが必ずしも適当でない」(P11)
- ・「核融合エネルギー研究開発に対して行う投資は～、例えば保険料のようなものである～」(P25)

ITER、トカマク重点化装置などによる研究開発結果を元に判断するのが適当

(1) 5 年毎程度の中間的 C & R の実施(ITER などの建設段階にも実施要)

- ・ ITER 完成遅延の可能性(LHC の経験)

(2) ITER、トカマク重点化装置などの研究開発結果が出た適切な時点で、他方式も含めた総合的 C & R の実施

- ・ トカマクで原型炉に進むのか、他方式での開発に移行するのか
- ・ 核融合炉開発を断念するか、規模を縮小するか

(3) 産業界の技術者を C & R に参加させ、使う・作る視点からの評価

(4) システム全体としての成立性評価

- ・ 個々の技術の完成とシステムの成立・実用化は別であることに留意

(5) 将来の技術進歩の評価

- ・ 進歩が極めて早い技術と遅いものがあることに留意要
- ・ 半導体、情報・通信など軽薄短小技術の進歩は極めて早い、重厚長大技術のそれはそれほどでもない(巨大な力の支持、重量物の取扱、金属の接合・切断などの技術)
- ・ エネルギー生産システムは概ね重厚長大技術が基礎にある

「本当に出来るんですか？」という疑問の出る背景は何か？

(1) 現在のエネルギー生産システム(例えば軽水炉)に比べて、システム構成や機器構造が格段に複雑(表 1、図 1)

- ・ 製作、組立・据付、保守
- ・ 運転制御
- ・ 信頼性(機器数が多いと個々の機器により高い信頼性が要求される)
- ・ コスト(コスト低減は部品数低減から始まる)

(2) 放射化した炉内機器の定期的交換が必要であり、点検・保守も含めて完全遠隔操作での実施が必要

- ・ 要求されている遠隔操作技術は現状レベルからの乖離大
(作業環境、取扱重量、精度、作業内容など)
- ・ 遠隔操作機器のトラブル時のレスキューシステムが必要
(人間は近づけない、最終的バックアップをどうするか)

* 発電システムに要望される特性

長時間安定に稼動し、トラブルなど発生時の迅速な再立上げが可能

- (1) 簡単な構造
- (2) 簡単な運転制御
- (3) 簡単な保守

・ 戦略検討分科会報告書(P7)

電気事業者から見た重要な要求特性

- (1) 発電コストが安い
- (2) 信頼性が高い
- (3) エネルギーセキュリティに優れている
- (4) 立地点の選択の幅が広い
- (5) 運転保守が容易

【参考】

- EPRI Report:「Criteria for Practical Fusion Power Systems」
(BR-104469 1994)

(1)Economics

- Size flexibility
- Rapid and simple construction
- High reliability
- Long life
- Minimal operating personnel
- Personnel qualification similar to those for competing technologies
- Low land requirements
- Design simplicity
- High unit availability
- Low fuel-cycle costs
- Low end-of-life costs

(2)Public Acceptance

(3)Regulatory Simplicity

* 機器製作の立場からの要望事項

(1)幾何学的に簡単な構造であり、特殊な構造を採用しない

ex. トーラスリンク構造、二重壁、二重管

(2)特殊な材料を使わない

ex. タングステン(ダイバータ)、ベリリウム(第一壁)、セラミック(真空窓)

(3)特殊な製作法、製作機械や治工具を使わない

ex. HIP(ブランケット) (HIP: Hot Isostatic Pressing: 拡散接合の1種)

(4)常識的な加工・組立精度

ex. TFC ウエッジ部(12m×1mの範囲で平滑度: 0.2mm)、各種キー

(5)組立・据付が容易な構造

ex. TFC ウエッジ部、シアパネル、ブランケット、ダイバータ、輻射シールド

(6)検査しやすい機器構造

ex. 二重壁真空容器、ブランケット、ダイバータ、コイルケース

(7)保守・点検・修理が容易な構造

* 開発推進上の留意点

- (1) 製品化を視野に入れる段階ではシーズオリエントからニーズオリエントの開発への移行が必要。ニーズの正確な把握が必要
- (2) 使用者や社会のニーズを踏まえた開発ターゲット(仕様)の設定
 - ・ ベースロード電源、あるいは水素製造、あるいはその複合、あるいは・ ・ ・ ・ ・
- (3) 仕様達成に最適なシステムコンセプトの徹底的な検討とレビュー
 - ・ コンセプトの良し悪しで開発の成否は殆ど決まる。コンセプトが悪ければ頑張ってもそこそこしかいかない。
 - ・ 「気球に乗って月に行こう」としていかないかの不断のチェック
- (4) 製品化時期から逆算した詳細なエンジニアリングスケジュールの立案と確実な実行
 - ・ 資源(人、金、物)の割り付けと柔軟な運用
- (5) 適切な D R、C & R の実施
 - ・ 個別技術の進捗状況
 - ・ システム全体から見た成立性
 - ・ ニーズとの整合(市場は変化する)
 - ・ コスト、使い勝手、信頼性など使用者の立場に立った評価
 - ・ 製作性、検査性、保守性など製作者の立場に立った評価
- (6) 出来るだけ早期にシステム総合試験を実施
 - ・ 個別技術が開発終了しても組合せた場合に予想通りに動作しないことは良くある
 - ・ システムとしての問題点の早期摘出が早期製品化に重要

* 今後の研究開発での留意事項

(1) トカマク型炉の簡素化を指向した研究開発

- ・ CS コイルの削除、真空容器の厚肉化、磁場の強さの低減、コイル数の削減、発電ブランケット構造の簡素化、周辺機器の削減などなど

(2) 炉システム構成・機器構造を大幅に簡素化できるコンセプトの研究開発

(3) 遠隔操作技術の重点的開発

- ・ 耐放射線性に優れた構成機器の開発
- ・ 放射線環境での動作試験
- ・ 炉での使用条件を模擬した状況での作業試験(ブランケットの交換など)
使用後は配管の変形、ボルトの焼付き、構造体の変形なども予想され、実機ではこの条件下での寸法合わせ、開先合わせ、ボルト接続、溶接などが必要
- ・ 炉内でトラブル発生時のレスキューシステムの開発、最終的なバックアップ方法

(4) 材料開発

- ・ 誘導放射能の少ない材料
- ・ 軽量・高強度の材料
- ・ 耐放射線性、耐真空性、耐熱性が高く、高強度の絶縁材料

(5) 核融合炉開発のような高度な技術が必要で開発期間の長い課題について、産業界の技術ポテンシャルを有効に効率よく活用する施策の実行

- ・ 企業は利益をあげるのが目的の組織であり、金が無ければ人も技術も維持出来ない
- ・ 核融合炉を将来の大きなビジネスとは、現時点では捉えていない
- ・ 「国家プロジェクトで推進される核融合炉開発には出来るだけ協力する」というのが基本的スタンス
出来るだけ：ビジネスとして成立する範囲で
協力する：自己資金を投入するまではしない
- ・ 企業内では核融合は自立できていない、近い将来自立出来るという展望も持てない

表 1 核融合炉と核分裂炉の比較

網掛け部：核融合炉が優れていると思われる項目

項 目	核融合炉	核分裂炉(軽水炉)
反応持続時出力	大、小さくするのが困難 ・小から大への開発ステップが踏めない ・実用化時の選択肢が制限	十分小さく出来る (最初の原子炉CP-1出力:0.5W)
反応形態	連鎖反応ではない	連鎖反応
出力制御	各種パラメータ(今後の課題)	制御棒と冷却水流量
炉心構造 (図 1)	複雑 (リンク構造、極低温の断熱、電磁力支持、電気絶縁など)	簡単 (基本的には電気ヒータの冷却・除熱と等価な構造)
力	重力、圧力、熱応力、電磁力	重力、圧力、熱応力
発熱密度	小($\sim 3\text{MW}/\text{m}^3$)	大($\sim 50\text{MW}/\text{m}^3$)
除熱	除熱面積/発熱体積を大に出来ない	除熱面積/発熱体積が大
材料	タングステン、ベリリウム、超伝導材料 絶縁物など各種材料要	鉄、SUS などの金属材料主体
放射化物種類	・種類限定 ・半減期短く出来る (選択の余地有り)	・核分裂生成物 ・半減期長い(選択の余地無し)
構造物の放射化	大 ・14MeV 中性子 ・発生エネルギー当りの中性子数は軽水炉の約 5 倍	燃料集合体以外は小
周辺装置	加熱装置、冷凍機など多種類要	少ない
所内電力	加熱装置などに大電力要 ($\sim 16\%$) (ITER : 73MW)	少ない(3.4%)
起動電力	数十万 kW 要	基本的に不要
燃料サイクル	所内で完結	所外も必要
保守	・炉心内機器の定期的交換要 ・炉心内線量率が高い	・燃料以外は基本的に交換不要 ・線量率が低い(燃料除去)
技術分野	超伝導、真空、極低温、高電圧、高温、高圧、伝熱流動など多種類	基本的に高温、高圧、伝熱流動のみ

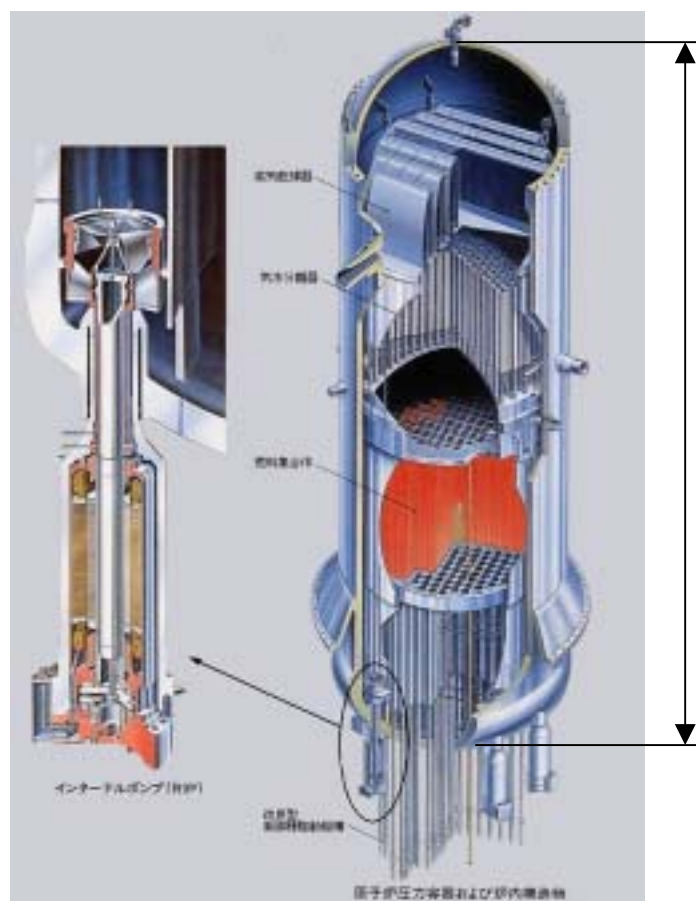
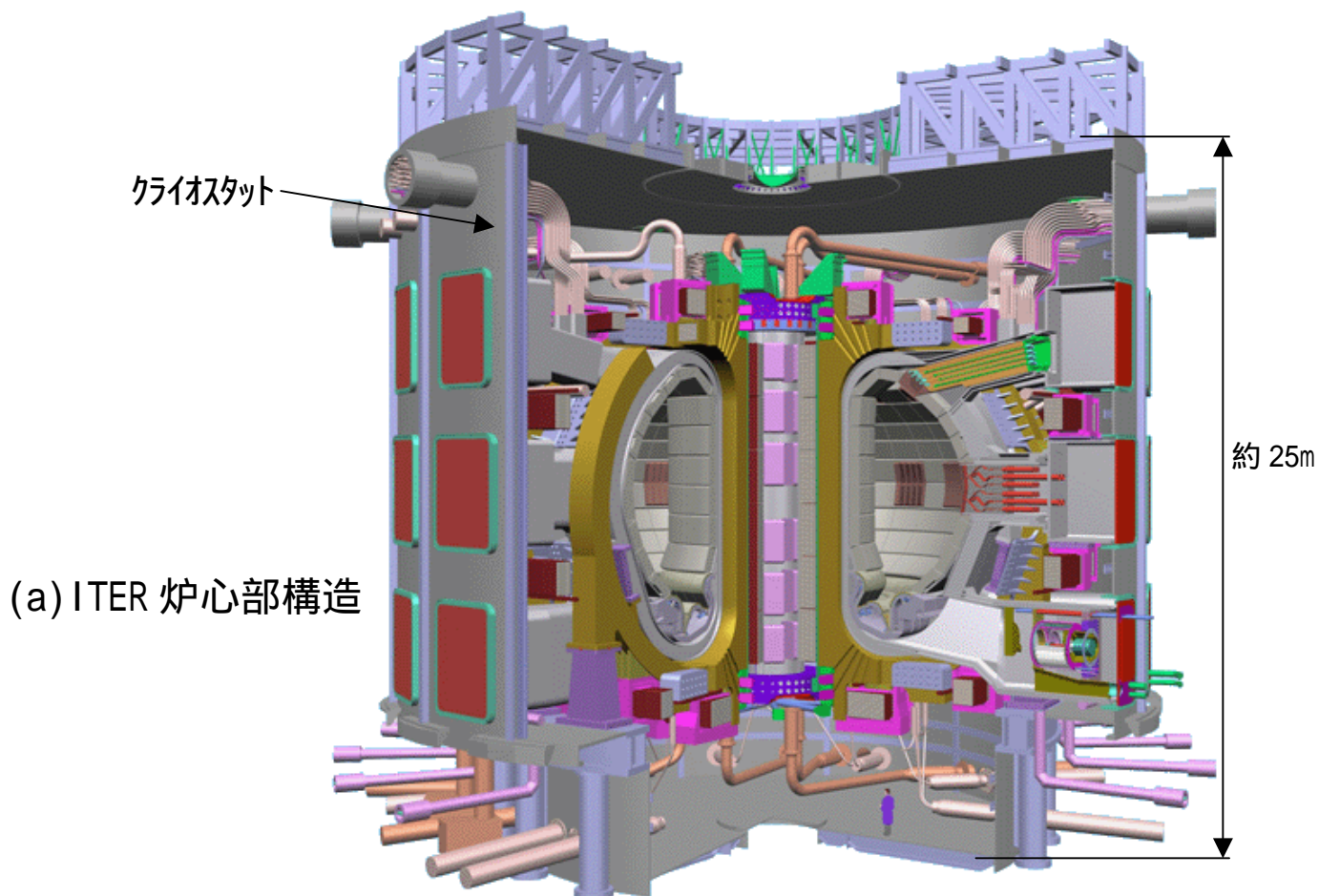


図 1 ITER と ABWR 炉心構造