

ITER の設計思想と核融合開発に関する位置づけ（要約）

ITER 機構 DG Pietro.Barabaschi

1. 背景：過度な期待への懸念と説明責任

- 近年、民間投資の拡大や気候変動問題への関心の高まりにより、「核融合の商用化は目前」といった楽観的な見方が広がっている。
- しかし、こうした期待は、技術的・財政的ハードルの大きさ見えにくくし、失望や政治的支持の喪失を招く危険がある。
- 著者は、ITER 理事会メンバーが
 - a) ITER 設計の目的と限界、
 - b) ITER が依然として有効な最先端実験装置である一方、そのコスト超過から得られる教訓、
 - c) ITER のスコープ外に残された技術ギャップ、
 - d) これらを正直かつ一貫した形で社会に説明する必要性を十分理解することが重要だと強調している。

2. ITER 設計の基本方針とパラメータ選定

- ITER の初期検討（1980 年代後半～2000 年頃）では、設計改訂を重ねつつも、以下の三要件が一貫して維持された。
 - a) 外部加熱より自己加熱が支配的な「燃焼プラズマ」の実現
 - b) 機器の熱・機械条件が安定するだけの長パルス運転
 - c) 将来の増殖ブランケット試験を可能とする、プラズマと磁石の間の十分な空間確保
- トカマク閉じ込めは依然として経験則 (ITER-98(y,2)スケーリング) に支配されており、現実的なマージンを取ると電流約 15 MA、アスペクト比約 3 が妥当な解となる。
- 高磁場化による小型化案も詳細検討されたが、構造材（主に 316LN ステンレス）と銅安定化材が支配的となり、磁場を上げても機械強度・形状制御・コストの面で不利になり、大幅な寸法縮小はできないと結論づけられた。
- 実際、TF コイル断面で超伝導体が占めるのは約 4% に過ぎず、約 2/3 が構造材である。したがって、現在 HTS を用いても、同じ Q と β を保つ限り、装置寸法は本質的には大きく変わらないとされる。

3. コストと実装面での教訓

- ITER は「商用炉への橋渡し」として設計されたが、建設・運転コストは広範な展開には高すぎる水準になった。
- これは物理や材料だけでなく、多国間ガバナンス、複雑な組織構造、国境を越えた製造調整の難しさにも起因する。
- 小型化は必ずしも低コストを意味せず、アクセス性低下やクリアランス不足が設計・組立の複雑さとコストを増大させた。
- 重要な教訓として、設計の単純化・モジュール化・十分な作業空間がコスト抑制に不可欠であり、「過度な最適化」が総コストとスケジュールを悪化させうることが指摘されている。

4. ITER の外側に残る主要な技術課題

- ITER は発電炉ではなく、燃焼プラズマの長パルス運転を実証する「実験装置」であり、以

下のような課題は元来スコープ外に残ると整理されている。

- 高熱負荷下での第一壁・ダイバータ材料と冷却技術
- 高中性子束下での構造材・ブランケット材料の健全性
- トリチウム増殖ブランケットの実用設計 (>1 の増殖比、遮蔽厚さ約 1.3 m 以上などの要求)
- 高い信頼性と可用率を実現する RAMI (信頼性・保全性・遠隔保守・検査性)
- これらを解決するには、ITER の核環境を補完する高フラックス中性子源や技術試験施設が必要であり、既存の TBM 計画だけでは不十分とされる。
- 近い将来は、放射化がやや高くても実績ある材料 (ステンレス鋼など) を用い、まずは実現可能な熱・機械条件を確立することが現実的な道筋として提案されている。

5. 今後の展望と求められる姿勢 (ファインマンの言葉)

- 著者は、今後数十年で核融合を実用化するためには、
 - 高中性子束下でブランケット・材料を試験する施設の整備、
 - 熱流束を抑えつつ高 β を達成する閉じ込めシナリオの開発、
 - ITER で得られた製造・組立経験の体系的整理と、よりバランスの取れた将来設計への反映

が不可欠だと述べている。

- そのうえで、成功の鍵は「技術的・経済的現実にしつかり足をつけつつ、透明性・協調・批判的自己点検を重んじる文化」を維持できるかどうかにあると強調する。
- 結びとして、リチャード・ファインマンの言葉が引用されている。

For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for nature cannot be fooled.

(技術を成功させるためには、対外的なアピールよりも現実を優先しなければならない。自然は決してごまかせない。)

- 著者は、この姿勢を保ち続けるならば、核融合は「約束」から「実践」へ、そして「夢」から「現実」へと着実に歩みを進められると締めくくっている。

以上