

SV-3

日本独自の ST 研究の進め方と将来展望 -全日本 ST 研究計画-

炉設計から見た球状トカマク研究の重要性

Spherical Tokamak Research from the Viewpoint of Reactor Design Study

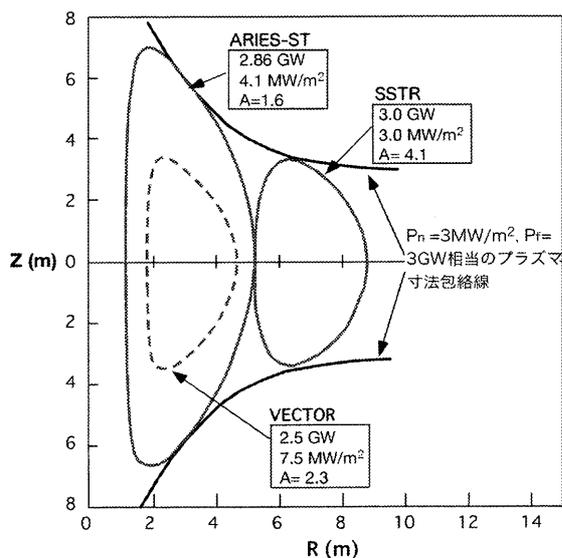
飛田 健次 (日本原子力研究開発機構)

TOBITA Kenji, Japan Atomic Energy Agency

1. 球状トカマク炉の展望

球状トカマク (ST) を従来のスフェリカルトーラス (アスペクト比 $A < 2$) とすれば, ST 炉の代表的設計例は ARIES-ST (UCSD) と UKAEA の ST 炉である. これらの ST 炉は, 20m に及ぶその高さが特徴的であり, 現在のコンパクトな ST 実験装置とは似ても似つかぬほど巨大である. しかし, 従来のトカマク炉設計と同等の除熱技術に依存する限り, ST 炉が巨大になることは自明である. 下図は核融合出力が 3GW, 中性子壁負荷が $3\text{MW}/\text{m}^2$ となるプラズマサイズの包絡線を示したもので, 主半径が小さい ST 炉では通常トカマク炉と同程度の壁面積を確保する必要があるので Z 方向に伸ることになる. コンパクトな ST 炉を目指すのであれば, 超高熱負荷をハンドリングする技術を開発するか, 核融合出力を減らすか, のどちらかが求められる. 低 A を実現するために遮蔽を薄くしなければならない ST 炉では常伝導コイルを採用せねばならず, ここで生ずる膨大なジュール損失のペナルティを考慮すると, 後者ではエネルギー生産システムとしての展望は厳しい. このような理由で, コストパフォーマンスの良い (コンパクトな) 中性子源としての ST 炉開発路線が出てくることになる.

低 A 領域には, 高楕円度での安定性 (Greenwald 密度上昇による高出力化, 高ベータ化に結びつく), 高ベータ限界といった炉心プラズマに関連したメリットに加えて, 磁気エネルギーの大幅低下によるトロイダル磁場コイルの軽量化, 高稼働率を実現しうるセクター一括引き抜き保守方式との整合など, 炉設計上の大きなメリットがある. これらの特長を生かしつつ, 超伝導コイルを採用して動力炉を狙った炉概念が VECTOR である. 超伝導コイルの採用により遮蔽厚が増し $A=2-2.4$ となり ST の範疇 ($A < 2$) からは外れるが, ST 研究の先に展望しうる炉概念といえる. VECTOR の実現のためには $7.5\text{MW}/\text{m}^2$ という未踏の高熱流束除熱技術が必要になる. 通常 A のトカマク炉では, このような技術が利用可能になっても, 炉心プラズマに対する厳しい要請 (高 HH, 高 n/n_{GW}) のためコンパクト炉の実現は困難であるが, 低 A の場合には実現可能性のある炉心パラメータでコンパクト炉を構想しうる点は注目に値する. 他方, 高熱流束の除熱技術の開発が困難ならば, 電力システムの容量が小さい地域への導入に適する核融合出力 2GW 以下の低出力炉を目指すという選択肢も低 A 炉には残されている.



中性子壁負荷制約下での ST 炉 (ARIES-ST) と通常トカマク炉 (SSTR) のプラズマ断面比較. VECTOR のようなコンパクト炉実現のためには革新的除熱技術が不可欠.

2. トカマクプラズマの拡張としての ST 研究

将来のトカマク炉は必然的に高ベータ化による経済性向上を目指すと考えてよく, ST 研究は, 当面のトカマク研究ではカバーできない高ベータ領域の知見先取りのため重要な意義がある. 特に, NTM, RWM を抑制による定常高ベータ領域へのアクセスの研究は将来のトカマク炉の開発路線 (低 A 化) を判断するうえで不可欠である. 高ベータプラズマに対する不安要因の一つは, 高エネルギー粒子起因の MHD モード (EPM, energetic particle mode) の出現である. EPM は MAST, NSTX でしばしば観測されており, このような ST での EPM 発生時の高エネルギー粒子研究は, 高ベータトカマク炉におけるアルファ粒子挙動を予見する役割を担いうる.