

早期発電実証炉の運転パラメータと先進トカマクの実現による運転領域拡大

Operating Parameters of a Reactor for Early Demonstration of Electric Power Generation and the Expansion by Realization of Advanced Tokamak Plasma

岡野邦彦、朝岡善幸、日渡良爾

(財)電力中央研究所

OKANO Kunihiro, ASAOKA Yoshiyuki, HIWATARI Ryoji

Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

2002年の本学会において提案した早期発電実証炉 Demo-CREST 炉は、ITER での安定した長時間核融合燃焼と、ITER または別の補間装置による完全定常運転の達成が確認された時点で、その実績からの最少の外挿によって設計を開始できる発電実証炉概念をめざした。そのため、ITER の標準パラメータと同程度 ($n_e < 2$, $HH < 1$ など) でも 1GW 程度の熱出力でネット電気出力(循環電力を引いた電気出力)がゼロ以上とできる比較的大きなサイズ($R=7.25m$)を採用した。この程度の性能の実証炉しか実現できないと考えているのではなく、早期に確実にできるプラズマでゼロ出力を達成した後、ITER でも計画されている高性能運転パラメータ(例えば $n_e \sim 3.4$ など)ならば 3GW 程度の熱出力による 60-100 万 kW のネット電気出力に発展できることや、将来の経済性を実証するためのさらなる高ベータプラズマでの発電実証も目指せることを目標としている。そのような運転開始後の展開が可能な設計領域は $R=7m-7.5m$ になることが示されており[1]、 $R=7.25m$ という値はそれに基づいて設定されたものである。本報告では、この炉で先進運転を考えた場合の電流駆動・MHD 解析の結果を主に報告する。なお、炉設計の進展、とくにメンテナンス概念の検討結果は本学会で別途報告する [27aB04]

Demo-CREST 炉の設計で設計基準としたビーム駆動平衡は、あくまで保守的選択という観点から正磁気シアの $n_e=1.9$ から 3.4 までであった。文献[2]ではこれらを MHD 的に安定に維持可能な各種電流駆動パラメータを詳細に調べた結果を報告した。今回は、さらに高い n_e ではどのような展望が開けるかを新たに調べ、そのために必要となる電流駆動設備などの変更点なども明らかにした。負磁気シアならば電流駆動で安定に維持可能な $n_e=4.0$ 以上の平衡解がある。このような高 n_e 平衡ならブートストラップ電流も増加するのでビームパワーは大きく削減可能で、循環電力を減らすことが期待できる。ただし、この平衡の維持には、 n_e の上昇と共に、閉じ込めの改善や密度のグリーンワールド限界との比(GW 比)の拡張、ビームの再配置などが必要になる。

n_e の上昇により出力パワー密度が増加できるが、ブランケットの工学設計の観点からは無改造で対応可能な熱出力には上限があり $3GW_{th}$ 以上は難しい。そこで、表面 q を上げて出力は約 $3GW_{th}$ に維持したまま、プラズマ電流を減らしつつブートストラップ電流割合をふやす方向で、電流駆動パワーをどこまで減らせて、なにがその実現の制約になるかを調べた。例えば、ビームエネルギーは定格設計の 1.5MeV にしたままで、ビームパワーを定格 188MW ($n_e=1.9$, $q=5.2$) から 106MW ($n_e=4.0$, $q=6.5$) まで下げられ、実用炉の目標に近いレベルにできた。閉じ込め係数 HH は 1.5 程度が必要になるが、21keV の高温運転と併用できれば密度の GW 比は 1 程度に押さえられる。一方、もし高温運転がダイバータなどの観点から許されず、17KeV での運転とすれば GW 比は 1.3 に上昇する。興味深いことに、 HH の変化はこの温度範囲では GW 比に比べて小さい。すなわち、プラズマ温度の高温化は主に GW 比だけを下げることには利用できる可能性がある。 n_e は磁場強度、 HH は装置サイズと関連させて調整が可能だが、GW 比は強磁場にしても装置を大型化しても下ならず、高温運転化以外では下げることが難しいことから、炉設計者を悩ませるパラメータである。もし GW 比 < 1 が今後も炉設計の大きな制約になるならば、高温運転の可能性を探ることは重要と思われる。

[1] Hiwatari, R. et al., J. Plas. Fus. Res. 78(2002)991.

[2] Okano, K., et al., J. Plas. Fus. Res. 79, No.6 (2003).