

JT-60SAのためのTESPEL入射装置の開発研究
Development research of the TESPEL injector for JT-60SA tokamak

田村直樹¹, 仲野友英¹, 大山直幸¹
TAMURA Naoki^{1,2}, NAKANO Tomohide¹, OYAMA Naoyuki¹

¹量研機構
¹QST

現在、量研機構那珂核融合研究所では、日欧協力により進められているJT-60SA装置の組立が完了し、実験開始のための準備が着々と進められている。JT-60SAでは研究フェーズを大きく3つに分けて研究計画が策定されているが、初期研究フェーズのフェーズ2から、不純物輸送は重要な研究課題の一つとして位置付けられている。JT-60SAにおいて不純物輸送研究を着実かつ効果的に実施するためには、定量的な研究を進める必要があり、JT-60SAのコアプラズマに対して既知の量の不純物を確実に入射できる手法が必要である。そのための手法として、自然科学研究機構核融合科学研究所で開発された日本独自の技術であるトレーサー内蔵固体ペレット(Tracer-Encapsulated Solid Pellet: TESPEL)[1]が採用され、現在、TESPELをJT-60SA装置に入射するための装置の設計・開発を進めている。

TESPEL入射装置を設計する上でまず決定すべきことは、TESPELの大きさ、即ちJT-60SAプラズマに入射すべき不純物量である。これは、これまでの大型磁場閉じ込めプラズマ実験装置(Large Helical Device(LHD)、Wendelstein 7-X(W7-X))でのTESPEL入射実績を基に決定した。ともにプラズマ体積が約30 m³であるLHD, W7-XにTESPELで入射された典型的な不純物粒子数は 7×10^{17} 個程度であったことから、プラズマ体積が約133 m³であるJT-60SAプラズマに対しては典型的に 3×10^{18} 個程度の不純物粒子を入射するとした。この時、JT-60SAプラズマの平均密度を 8×10^{19} m⁻³とすると、TESPELによって入射される不純物の混入率は約0.03%となる。JT-60SAプラズマ中に確実に不純物を入射するためにはできるだけ大きいTESPELが望ましいが、不純物輸送研究としてはプラズマに対する摂動をできるだけ抑える必要もある。プラズマに対する摂動の目安の一つとして固体水素ペレ

ットを考え、固体水素ペレット1個による摂動を超えないことを条件とすると、TESPEL外殻部としては、直径1.2 mm、内径0.4 mmのポリスチレン中空球が望ましいことが分かった。

JT-60SAプラズマにおける直径1.2 mmのTESPELの侵入長を不純物ペレットに対する中性ガス雲遮蔽モデルに基づくスケールリング則[2]を用いて評価した。TESPELの速度を600 m/sとした場合、JT-60SAで生成が予定されている高性能プラズマ(中心電子密度約 8×10^{19} m⁻³、中心電子温度約14 keV)では、規格化ポロイダル磁束 $\Psi_N = 0.969$ 程度でTESPELの外殻は溶発を終え、その位置に不純物を供給できることが分かった。TESPELの速度を2倍の800 m/sにしても、TESPEL到達位置は $\Psi_N = 0.966$ 程度であることから、TESPELの健全性確保の観点から、TESPELの速度としては、600 m/s程度を目標とすることとした。直径1.2 mmのTESPELを600m/sまで加速するための手法としては、従来のTESPEL入射装置と同様に、ニューマティックパイプガン方式を採用することとした。この場合、長さ約50 cmの加速管に対して、4~5 MPaの高圧ヘリウムを印加すれば、達成できる見込みである。このTESPELの加速に用いられるヘリウムガスは、JT-60SA装置に極力突入させないようにする必要がある。そのための方策として、これまでの検討の結果、LHD、W7-Xに取り付けられた入射装置と同様に3段の差動排気システムを用いることで、JT-60SA近傍の最終拡散槽の真空度は 10^{-5} Pa以下に抑えることができると考えている。

講演では、以上の他、JT-60SA装置に対するTESPEL入射装置の取り付け予定位置なども含めて詳しく紹介する予定である。

- [1] S. Sudo, J. Plasma Fusion Res. **69**, 1349 (1993).
[2] V. Sergeev et al., Plasma Phys. Rep. **32**, 363 (2006).