

磁気圏型プラズマ閉じ込めにおける 圧力駆動不安定性に対する安定限界解析

学生証番号 76216 氏名 林 裕之
(指導教員 吉田 善章 教授)

Key Words : magnetically confined plasma, pressure driven instability, compressibility, marginal stability, dipole configuration

磁気圏型磁場配位におけるプラズマ閉じ込めでは、超高 β (β 値:プラズマ閉じ込め効率, β =プラズマ圧/磁気圧)プラズマ平衡の実現が指摘されており[1, 2], 我々の研究室では磁気圏型プラズマ実験装置「RT-1」を開発し、高 β なプラズマ閉じ込めの研究を行っている。現在実験では、局所最大 β 値が0.3を超える安定なプラズマ閉じ込めが実現されている。本研究では圧力駆動不安定性に対して、実験的に高 β なこのプラズマ平衡が理論的にも安定であることを示し、その安定性の物理的メカニズムを磁力線垂直方向・平行方向のプラズマ変位と磁束管の比体積変化を調べることで明らかにした。

磁気圏型プラズマにおける高 β 平衡では、圧力駆動による不安定性が起こる可能性があり、この不安定性が安定限界を決めていると考えられている。それにも関わらず、 $\beta_{\max} > 0.3$ という高 β 平衡が実現されるのは、磁気圏型磁場配位における圧縮性効果、ECHプラズマによる運動論的效果、プラズマ流の効果などがプラズマの安定性に関わっているためと考えられている。特に、磁場の圧縮性効果に関しては、従来の研究[3]においてその安定化効果が報告されており、RT-1プラズマにおいても大きく関わっていると考えられる。しかし従来の研究[3]では、ポイント・ダイポール磁場配位という簡略化された配位において解析を行っており、精度の高い解析とは言えない。また磁力線垂直方向変位のみで表されたモデルによる解析を行っているため、磁力線平行方向のプラズマ現象に関してはよくわかっていない。さらにダイポール磁場配位における解析では、領域全体に渡って安定性を確保すると、装置「壁」においてもプラズマ圧が残るような平衡状態となり、これは装置内に閉じ込められるプラズマの境界問題としては不適切である。以上のような問題点が残されているため、従来の解析モデルをRT-1における高 β 平衡の安定性解析に適用するのは適切ではなく、より精度の高い解析を行う必要がある。したがって本研究では、磁力線平行方向の運動も含めた圧力駆動不安定性の解析をRT-1の有限 β なプラズマ平衡に対して行った。これにより、平衡による磁場配位の変化を考慮した解析、プラズマ存在領域の明確な境界(セパトトリックス)を考慮した解析を行うことができ、従来の研究では不明であった圧縮性の安定化効果に対する①磁力線平行方向のプラズマ運動の影響、②吊上げコイルによる磁場配位変化の影響、③有限 β な平衡による磁場配位変化の影響についても調べることができた。

まず、磁力線平行方向の運動も考慮することで、従来から言われている圧力駆動不安定性に対する理論的な安定条件式 $p'/p + \gamma U'/U < 0$ ($p(\psi)$:圧力, $U(\psi)$:磁束管比体積)と解析結果が一致し、本研究における数値解析が理論的にも正しく評価され、圧縮性の安定化要因は磁束管の比体積変化にあることが示された。また、吊上げコイルにより磁場配位が変化することで、磁束管比体積が増大し、さらに圧縮性の安定化効果が強まることが明らかになった。そして高 β 平衡時には、エッジ領域における磁束管比体積の減少により圧縮性による安定化効果が弱まることで不安定性が生じることも示され、RT-1における安定限界の物理的要因が解明された。

圧縮性の安定化効果を解析することで、実験的に実現されている $\beta_{\max} > 0.3$ のプラズマ平衡の安定性が理論的に示された。仮定された圧力分布によっては、 β 値が1を超えるような平衡も理論的には安定となるが、そのような平衡の存在は現在の計測段階では明らかになっていない。今後、計測環境の改善により高 β 平衡時の圧力分布を計測し、実験的に想定されるプラズマ平衡状態を考察する必要がある。

[1] A. Hasegawa, Comments Plasma Phys. Controlled Fusion **1**, 147 (1987).

[2] S. M. Mahajan and Z. Yoshida, Phys. Rev. Lett. **81**, 4863 (1998).

[3] A. N. Simakov, P. J. Gatto, and R. D. Hazeltine, Phys. Plasmas **7**, 1831 (2000).