

磁気圏型装置RT-1の高 β プラズマにおける高周波揺動の励起Excitation of high frequency fluctuations in the high- β plasma of the RT-1 magnetospheric experiment

齋藤晴彦¹, 吉田善章¹, 西浦正樹^{1,2}, 鈿持尚輝², 佐藤直木¹, 森敬洋¹, 上田研二¹
SAITOH Haruhiko¹, YOSHIDA Zensho¹, NISHIURA Masaki^{1,2}, KENMOCHI Naoki² *et al.*,
東大新領域¹, 核融合研² U.Tokyo¹ and NIFS²

磁気浮上させた超伝導コイルが作り出すダイポール磁場実験配位RT-1では、実験室に模擬した惑星磁気圏の環境下で高 β プラズマの安定生成が実現されている[1-3]. RT-1の高 β プラズマでは、内向き輸送による自己組織化を駆動する低周波揺動に加えて、ホイッスラー波等、より高周波の揺動が観測される. こうした揺動や不安定性の性質や、その構造形成との関係を明らかにすることは、プラズマの基礎的性質を理解する上で、さらに超高 β 状態の実現による先進核融合を目指す上で重要である.

またジオスペースにおいて、ホイッスラー波は幅広いエネルギーの電子と結合可能な重要な波であり、相対論的粒子加速や放射線帯の形成、またピッチ角散乱を介した粒子降下によるオーロラ活動といった広範な現象と関連が深い[4-5]. 磁気圏プラズマ現象の研究は、理論及びシミュレーションや衛星観測の手法を用いて活発に展開されているが、計測自由度や現象再現性に関する実験の特性を生かした研究の展開が考えられる. こうした磁気圏現象の実験室研究を実施する上では、不安定性を駆動する電子のエネルギー分布関数の制御に加えて、磁気圏と等価な磁場配位の効果が重要となる. 線形解析によれば、ホイッスラーの不安定性成長率が最大となるのは電子サイクロトロン周波数が最小となる赤道面付近であり、非線形成長を示しながら高緯度側へと伝搬するコヒーレントなコーラスの発生源と目されている. このような現象の実験的理解には、等価な実験環境の実現が欠かせない. RT-1では、磁気圏と大域的に一致する環境下でプラズマの揺動の実験解析が可能であり、波動励起や相対論的粒子加速等の磁気圏現象への実験室研究からのアプローチを目指している.

RT-1において、ECHにより生成した高温電子プラズマ中で、周波数変調を示す電磁揺動の自発励起が観測されている(図1). 低密度状態では、交換型不安定性と考えられるフルート状のモードが出現する[6]. 観測帯域の拡大により、より高周波(計測点の磁場強度に対して0.1~0.8

f_{ce} 程度)でコヒーレントな電磁揺動が間欠的に発生することが観測された. 反磁性信号とX線の計測によれば、揺動の出現は高温電子の担うプラズマ圧力と強い相関を持つ. 超伝導コイルの磁気浮上状態では、揺動が出現するためには、反磁性信号が約0.8mWb(最大局所 β 値~15%)を上回る必要があった. また、赤道面上に導入したリミタやコイル支持機構の導入により、揺動の発生頻度の減少が観測された. 観測された波動は、磁力線に沿って伝搬する傾向を示し、トロイダル方向(ダイポール磁場中で磁場垂直方向)には局在化して観測された. 周波数特性を改善したシングルループタイプのプローブによる計測を進め、電場と磁場成分を分離した観測を行った. 磁場信号の観測によれば、継続時間が100 μ s程度のオーダーのコヒーレントな揺動が間欠的に発生して周波数変調を示し、rising toneとfalling toneの双方が確認された.

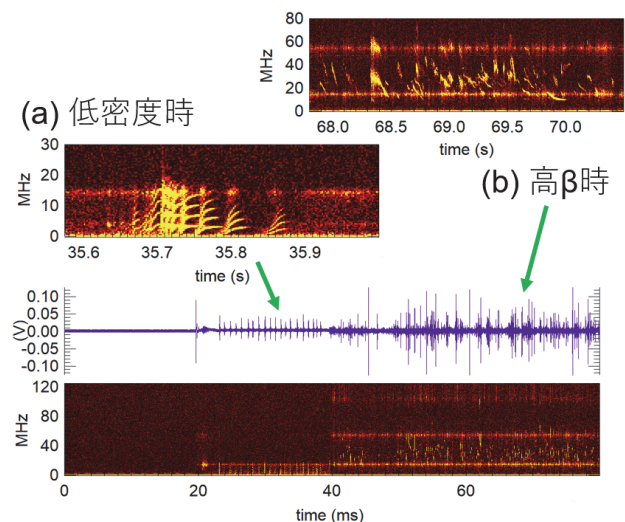


図1: RT-1の高温電子プラズマにおいて観測される(a)低密度時と(b)高 β 時の磁場揺動信号の例.

References:

1. Z. Yoshida+, Phys. Plasmas **17**, 112507 (2010).
2. M. Nishiura+, Nucl. Fusion **55**, 053019 (2015).
3. M. Nishiura+, Nucl. Fusion **57**, 086038 (2017).
4. Y. Omura+, J. Geophys. Res. **113**, A04223 (2008).
5. Y. Miyoshi+, J. Geophys. Res. **120**, 7728 (2015).
6. H. Saitoh+, Phys. Plasmas **19**, 064502 (2012).