2023年3月15日 講演番号22

第18回ERGサイエンス会議 / 名大ISEE共同研究集会

RT-1における磁気圏プラズマ波動現象の実験室研究の現状

東大新領域,核融合研^A 齋藤晴彦,西浦正樹^A,森敬洋,上田研二,仲川涼介,釼持尚輝^A,吉田善章^A

ダイポール磁場配位を用いたプラズマ現象の実験研究

1987 Hasegawa, Comm Plasma Phys. Contr. Fusion

磁気浮上超伝導コイルにより、惑星磁気圏と類似のプラズマ環境を実現

ひさき衛星(JAXA)webより



高速流を持つ高βプラズマ

"Dipole Fusion" by Hasegawa



内向き拡散・加熱: D-D or D-³He

東大RT-1, MIT LDX



2013 Yoshida+ PPCF 2010 Boxer+ Nature Phys.

• 超伝導コイル磁気浮上



2013 Ogawa, Mito, Yanagi+ 低温工学 2006 Yoshida+ Plasma Fusion Res. • 先進核融合/磁気圏現象



2022 Kenmochi, Nishiura+ Nucl. Fusion

• トロイダル非中性プラズマ



高温超伝導ダイポール磁場配位RT-1による「人工磁気圏」



	RT-1	Geospace
n _e	$10^{16} - 10^{17} \text{ m}^{-3}$	$10^6 - 10^9 \text{ m}^{-3}$
В	$5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-1} \mathrm{T}$	$10^{-7} - 10^{-5} \mathrm{T}$
$f_{\rm pe}$	900 MHz - 3 GHz	9 kHz - 300 kHz
f_{ce}	140 MHz - 3 GHz	3 kHz - 300 kHz
$f_{\rm pe}/f_{\rm ce}$	1-6	1-10
T _e	thermal, hot ($\sim 10 \text{keV}$)	thermal, warm, relativistic

- 高温超伝導(Bi-2223)コイルをフィードバック 制御により磁気浮上,約6時間の無冷却運転
- ・マイクロ波加熱による高温電子高βプラズマ
- ・ジオスペース環境と密度,磁場強度は大きく 異なるがf_pe/f_ceは近い
- 主に電子が圧力を担う高βプラズマ(局所β100%)が生成される(~秒)
- ・先進核融合を可能にする/磁気圏現象と共通するダイポールプラズマの 閉じ込め、波動粒子相互作用、プラズマの自己組織化現象が研究対象

2006 Yoshida+ PFR; 2016 Yoshida+ Adv. Phys.; 2019 Nishiura+ NF; 2022 Kenmochi+ NF

RT-1の粒子周期運動の時間スケールと,異なる周波数帯域に出現する揺動の分類



4/10

RT-1の高温電子プラズマ(温度非等方性を持つ)では磁力線方向 に伝搬するホイッスラー波の自発励起が観測される



高温電子(10keV以上)による高βの実現





X線計測によれば、10keV前後と
 100keV前後の高温電子が存在



揺動の伝搬方向と磁力線方向の位相速度から見積もった分散関係^{6/10}



観測された揺動周波数の上限から予測される温度非等方性

 $f < f_{ce}A/(A+1)$ ・線形安定性(1966 Kennel Petschek)から

 $A = T_{\perp}/T_{\parallel} - 1 = 0.7$ ・傾向 Tperp>Tpara は, ECHと内向き輸送の効果による位相空間分布と矛盾しない

磁力線上の伝搬方向から、赤道面付近で発生する傾向が見られる

発生頻度はプラズマ圧力増大により増加し(しきい値的なβの存在) ^{7/10} 低温電子成分の増加により安定化が見られる.



線平均電子密度とプラズマ圧力に対する依存性:
 高温電子成分による揺動励起と低温電子成分の増大による安定化

揺動の発生頻度と大強度のR波中の電子の加速



軌道がカオス化した高エネルギー電子はRT-1の磁場では補足 されず,弱磁場側の真空容器壁で損失する

●テスト粒子100個の軌道を追跡し、500us経過後の平均エネルギーと残存割合を計算した。

9/10



- Bdotプローブで観測される最大強度程度以上の揺動に対応する電場を持つR波が存在する時, 有意な割合の電子が損失する.
- RT-1で観測される密度変動の原因である可能性がある.

まとめと今後の課題

- 磁気圏型配位RT-1では揺動の内向き輸送と関わる低周波揺動(~f_{toroidal})と
 高温電子が駆動する比較的高周波の揺動(~f_{ce})が観測される.
- 低周波揺動はプラズマの自己組織化と関わる波であり、エントロピーモードとの類似性が見られる。
- ・温度非等方性を持つ高温電子の存在化で出現するホイッスラーは
 f~0.1-0.4f_{ce}, 0.6-0.8f_{ce}(チャープを示す), f_{ce}付近で間欠的に発生する.
- ●~0.1-0.4fceの揺動はコヒーレントな磁場揺動であり、磁力線に沿い伝搬.
- ・周波数の時間的な変化(多くは周波数低下)が観測される場合が多く, 非線形成長を示す電磁的なモードである。
- 観測される上限強度を持つR波は、RT-1の配位で電子を効率的に加熱可能であり、カオス化した軌道が粒子損失につながる可能性がある
- ・発生場所や粒子加速,高エネルギー粒子計測の導入を進めている.

2006 Yoshida+ PFR; 2016 Yoshida+ Adv. Phys.; 2019 Nishiura+ NF; 2022 Kenmochi+ NF