

Mini-RT 装置における強磁場側からの異常波入射による 電子バーンシュタイン波の励起実験 Excitation Experiment of Electron Bernstein Wave by Injecting Extraordinary Wave from High-Field Side in the Mini-RT Device

東京大学工学部システム創成学科 竹本 卓斗

1. 序論

1.1 研究の背景

高周波加熱を行う場合、通常の電磁波モードでは伝搬可能なプラズマ密度に限界があり、それ以上のプラズマ密度では目的の位置まで伝搬することができない。そこで、伝搬可能な密度に限界がない電子バーンシュタイン波(EBW, Electron Bernstein Wave)と呼ばれるモードが注目されている。

EBW は、通常の電磁波とは異なり磁場変化を伴わず、電場が波の伝搬する方向に振動する縦波の静電波である。電子とイオンの密度変化によって伝搬するため、真空中で伝わることはできない。そのため、真空中から入射した電磁波をプラズマ中でモード変換する必要がある。

1.2 研究の目的

EBW の研究は大型装置を含めて多くの装置で行われている。しかし、プラズマ温度の高い大型の装置などでは、アンテナを直接プラズマ中に挿入することは不可能であるため、電子密度やプラズマ電流から EBW が励起したことを間接的に推測している。一方、本研究で用いた Mini-RT 装置では電子密度・電子温度が低いため、アンテナを直接プラズマ中に挿入して電場、磁場を計測することができる。本研究では、Mini-RT 装置において EBW を励起し、ポールアンテナを用いて直接確認することを目的としている。

2. 電子バーンシュタイン波の励起

EBW は高域混成共鳴(UHR, Upper Hybrid Resonance)層において X 波からモード変換される。X 波を UHR 層まで送るには、以下の3つの方法が挙げられる[1]。

1. 弱磁場側から斜め入射した O 波を X 波に変換する。(O-X-B 変換)
2. 弱磁場側から X 波を垂直入射する。(FX-SX-B 変換)
3. 強磁場側から X 波を垂直入射する。(SX-B 変換)

Mini-RT では、前者 2 つの方法は既に実験されている[2]。今回の実験では、3 つ目の SX-B 変換によって EBW を励起する方法を用いた。O-X-B 変換では、適切な入射角を選択することが難しく、FX-SX-B 変換は、一度伝搬不可能領域を通過するため、その領域が狭くなければ実現できない。SX-B 変換の場合、強磁場側にアンテナを設置するという工学的困難があるが、伝搬不可

能領域を通さずに X 波を UHR まで直接送ることが可能である。

3. 実験結果・考察

実験では、コイルに 64 A 流し、1.0 GHz の X 波を強磁場側から入射した。実験の結果得られた縦波の電場成分を図 1 に示す。これは、入射波と同じ周波数の信号とのミキシングによって時間依存のないある瞬間の電場分布を Mini-RT の径方向に沿って計測したものである。EBW の波長は短く、Mini-RT 装置では数 mm 程度である。実験の結果、 E_r 方向には点線で示された位置に非常に波長の短い成分が生じている。また、図 2 に示した位相変化をみると、この位置で大きく変化し、勾配の符号も逆転しているため、これが後進波である EBW だと推測される。位相変化から点線の位置が UHR であると推察される。今回の実験では、同一ショットで密度の同時計測ができていないが、 $R = 320$ mm が UHR であるとする、これに対応するプラズマ密度は $1.15 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ であり、これは通常の Mini-RT 装置で生成されているプラズマ密度とほぼ一致する。

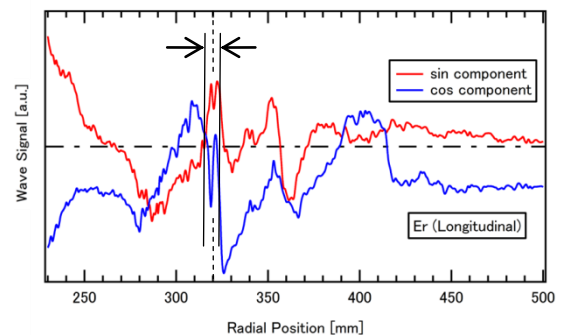


図 1: 縦波の電場成分

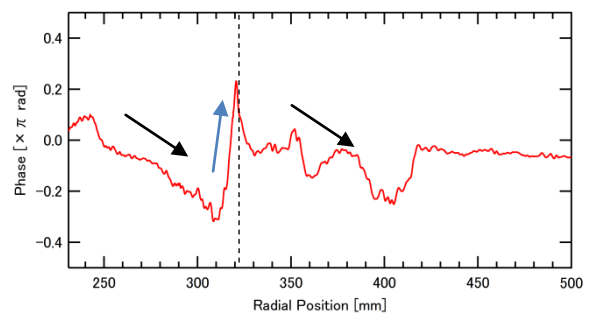


図 2: 位相変化

参考文献

- [1] T.Maekawa, J. Plasma Fusion Res 78,508-520(2002).
- [2] 内島健一郎: 修士論文, 東京大学 (2011).