

Adaptive array analysis of oblique electron cyclotron emission
with phased-array antenna加藤凌哉¹, 出射浩², 福山雅治¹, 工藤倫大¹,
武田康佑¹, 池添竜也², 恩地拓己², 黒田賢剛²Ryoya KATO¹, Hiroshi IDEI², Masaharu FUKUYAMA¹, Michihiro Kudo¹,
Kosuke TAKLEDA¹, Ryuya IKEZOE², Takumi ONCHI², Kengoh KURODA²九大総理工¹, 九大応力研²,
IGSES, Kyushu Univ.¹, RIAM, Kyushu Univ.²,

1. 研究背景

九州大学QUEST装置では、電子サイクロトロン波の斜め入射で効率よく高速電子を生成し、高電流プラズマの非誘導立ち上げに成功している。高速電子の発展過程を明らかにすることで、さらに効率の良いプラズマの立ち上げが期待される。本研究では、高速電子の発展・成長を捉える斜め電子サイクロトロン放射(ECE)計測を検討している。現在、相対論的ドップラーシフトが高速電子由来の斜めECE放射率に及ぼす影響、9素子(3x3)位相配列アンテナを用いてアダプティブアレイ受信した斜めECEの指向性について検討を進めている。

2. 高速電子由来 ECE の放射率評価

高速電子由来 ECE の放射率を相対論的ドップラーシフト共鳴条件から評価する。図 1(a)に電子のエネルギーを $E = 1 \text{ keV}, 10 \text{ keV}, 50 \text{ keV}$ とした際に相対論的ドップラーシフト共鳴条件を満たす主半径 $R \text{ [m]}$ 及び計測周波数の範囲を示す。相対論効果によって電子のエネルギーが大きいほど電子サイクロトロン周波数は低くなり、ドップラーシフト効果によって磁場に平行方向屈折率・電子速度の積($N_{\parallel}v_{\parallel}$)で共鳴条件が広がる。

図 1(b)にアンテナ位置($R_{\text{ant}} = 1.3 \text{ m}$)で観測 $N_{\parallel} = 0.2$ の場合に、 $E = 50 \text{ keV}$ の電子の共鳴条件を満たす v_{\parallel} 項の評価を、電子速度 v との比で示す。また、図 1(c)にその相対論的ドップラーシフト共鳴条件で評価される ECE 放射率を示す。ECE の

偏波は O モード波で、電子密度は $n_e = 2.0 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ とした。14 GHzの場合、斜め ECE は相対論的ドップラー効果を考慮しない共鳴周波数位置($R = 0.32 \text{ m}$)より低磁場(外)側 ($R \sim 0.4 \text{ m}$)で、 $v_{\parallel}/v \sim 0.8$ の速度成分を持つ電子の放射率が高く評価される。高磁場(内)側で大きな N_{\parallel} ($R = 0.34 \text{ m}, N_{\parallel} = 1$)で放射した ECE は、アンテナ位置では $N_{\parallel} = 0.2$ の ECE として受信される。行った放射率評価で、観測視線に沿った N_{\parallel} の変化は考慮されている。

今回の評価結果から、14 GHz観測では低磁場側からのアップシフト共鳴放射が主となることが分かる。アンテナ位置で $N_{\parallel} = \pm 0.2$ の視野で高い強度の ECE が得られると、 $R \sim 0.4 \text{ m}$ において $v_{\parallel}/v \sim \pm 0.8$ を持つ50 keV電子の分布が評価でき、得られた N_{\parallel} スペクトルから電子速度の実空間・速度空間領域を評価できると考えられる。

3. 輻射計システム

本研究で開発中の輻射計システムは、ヘテロダイン検波法を用いており、計測可能周波数帯域は7-14 GHzである。アンテナは3x3の位相配列アンテナを採用している。中間周波数をソフトウェア無線機(SDR)で計測し、インコヒーレント(放射)波からの位相抽出を可能である。受信された中間周波数成分をアダプティブアレイ解析することで、斜め視野 ECE 計測で観測 N_{\parallel} スペクトラムが得られると期待されている。

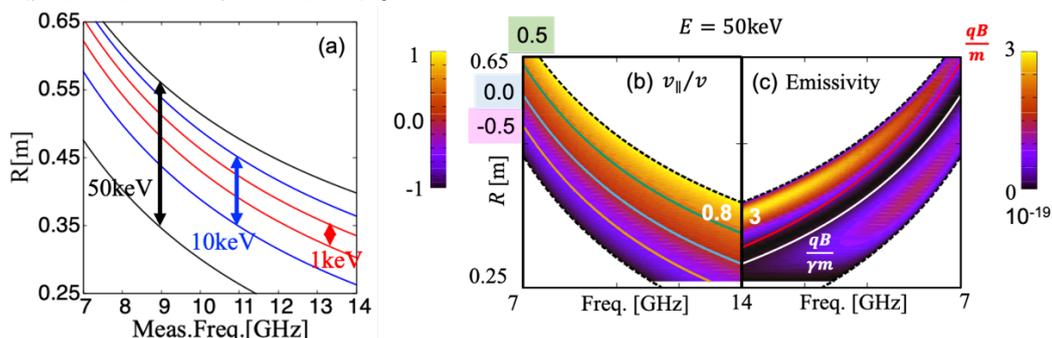


図 1.(a):アンテナ位置で $N_{\parallel} = 0.2$ の時の相対論的ドップラーシフト共鳴条件を満たす主半径・周波数範囲、
(b): (a)に対応する v_{\parallel}/v 評価、(c): (a)に対応する放射率評価