

## RT-1におけるBdotループと電気光学センサを用いたホイッスラー波の磁場揺動計測 Measurement of magnetic fluctuations of whistler wave in RT-1 with Bdot loop and electro-optic sensor

齋藤晴彦<sup>1</sup>, 西浦正樹<sup>1,2</sup>, 森敬洋<sup>1</sup>, 上田研二<sup>1</sup>, 仲川涼介<sup>1</sup>, 大沢隆二<sup>3</sup>  
SAITOH Haruhiko<sup>1</sup>, NISHIURA Masaki<sup>1,2</sup>, MORI Takahiro<sup>1</sup>, UEDA Kenji<sup>1</sup>,  
NAKAGAWA Ryosuke<sup>1</sup>, and OSAWA Ryuji<sup>3</sup>  
東大<sup>1</sup>, 核融合研<sup>2</sup>, 精工技研<sup>3</sup> Univ. Tokyo<sup>1</sup>, NIFS<sup>2</sup>, and Seikoh Giken<sup>3</sup>

RT-1[1]では、磁気浮上させた超伝導コイルによるダイポール磁場中で、惑星磁気圏と実験室に共通する波動粒子相互作用に関わるプラズマ現象の研究を進めている[2,3]。ECHによる高 $\beta$ 運転時、RT-1ではホイッスラー波の自発励起が観測される。磁場揺動プローブ（Bdotプローブ）により出現条件や伝搬方向等の特性を調べており、周辺部で100MHz程度までの揺動が測定対象となる。ノイズ環境下で周波数特性に優れた磁場揺動計測法として、コイルループとポッケルス効果を利用した電気光学センサを組み合わせた計測[4]を導入しており、本研究ではその初期結果を報告する。図1に示すように、磁場揺動によるフラックス変化がコイルループに誘起する変動電圧は、ループのごく近傍で電気光学センサにより光信号へ変換され、光ファイバにより転送される。誘導電圧を直接計測する通常の Bdot プローブと比較して、センサが電氣的に絶縁されノイズ耐性が高いことが特徴であり、また計測系の静電容量を抑制することでより高周波までの適用が期待される。

ポッケルス効果は一次の電気光学効果であり、物質内で電場に応じて分極率の変化を通して屈折率が線形に変化する現象である[5]。高電圧の非接触測定やプラズマ中の電場計測[6]、また電気信号の変調など幅広い分野に活用されるが、本研究ではこれを磁場揺動による誘導電圧の計測に使用する。センサは結晶上に2つの光導波路を設置して干渉を利用するタイプであり、磁場情報は光信号として検出される。

図2は、今回導入したプローブ（実線）と、光ファイバと同一長と同軸ケーブルで信号を転送した場合（点線）の周波数特性である。容量性負荷が大きくなる同軸ケーブルで伝送した場合と比較して、高周波までフラットな周波数特性が得られる。また、計算値は実測値（▲と●）と良い一致を示している。

RT-1のECHによる高温電子プラズマにおいて磁気計測を行い、周辺部で電子サイクロトロン周波数（140MHz）付近の揺動を観測した。

この種類の揺動は超伝導コイル支持状態で頻繁に出現する傾向があり、高温電子の温度と割合だけでなく、閉じ込め磁場配位が波動励起に関わるパラメータであることを示している。

磁場揺動信号が観測された一方で、今回使用したシステムの計測感度は通常の磁気プローブと比較して低い（図2）。レーザー強度の向上と安定化、また光検出器の帯域最適化を通じた感度とS/Nの向上が今後の課題となる。

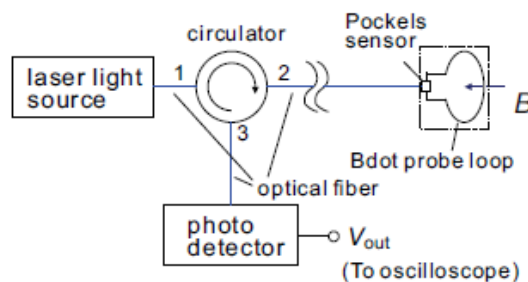


図1: ループコイルと電気光学センサを組み合わせ、信号を光ファイバで伝送する磁場揺動計測。

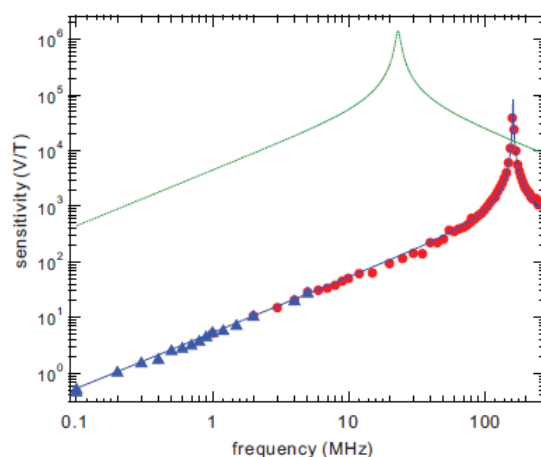


図2: 電気光学センサを使用した磁気センサ（実線の計算値とデータ点）と同軸伝送線路を用いたセンサ（実線）の測定感度の周波数特性の比較。

1. Z. Yoshida+, Plasma Fusion Res., **1** 008 (2006).
2. N. Kenmochi+, Nucl. Fusion **62**, 026041 (2022).
3. Z. Yoshida+, PPCF **55**, 014018 (2013).
4. H. Saitoh+, Rev. Sci. Inst. **93**, 103540 (2022).
5. 日高邦彦, 応用物理 **61**, 736 (1992).
6. M. Nishiura+, Rev. Sci. Inst. **88**, 023501 (2017).