

磁化プラズマにおけるヘリカル波面を持つ電子サイクロトロン波の分散特性

Dispersion properties of electron cyclotron waves with helical wavefronts in magnetized plasma

辻村 亨, 久保 伸

TSUJIMURA I. Toru, KUBO Shin,

自然科学研究機構 核融合科学研究所

National Institute for Fusion Science, National Institutes of Natural Sciences

高周波は磁場閉じ込め核融合プラズマの加熱、電流駆動、計測に広く用いられている。磁化プラズマ内での高周波の伝搬特性は入射アンテナなどの高周波システムの設計に重要である。高周波の伝搬特性は波の位相が平面波のように $\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t$ として議論されることが多い。一方で、最近、円軌道を描く電子から軌道角運動量を持つ光子が放出されることが理論的および実験的に明らかになった [1, 2]。この時、放射場の波の位相は $l\varphi + k_z z - \omega t$ で表される。ここで l はトポロジカルチャージ、 φ は伝搬軸 z の周りの方位角である。このヘリカル波面を持つ波は光渦と呼ばれている。Fig. 1 に光渦の伝搬の様式図を示す。これまで光渦は光学素子を用いて人工的に生成される電磁波ビームの特別なモード (Laguerre-Gaussian モード; LG モード) と認識されていたが、回転する電子から放射されることから自然界において普遍的なものであると考えられる。そこで、光渦が磁化プラズマ中をどのように伝搬するのか、加熱・電流駆動など磁場閉じ込め核融合プラズマに有益なものかどうか、などの疑問が湧いた。

本研究 [3] では、電子サイクロトロン (EC) 周波数帯において、ヘリカル波面を持つ光渦の伝搬特性を冷た

い様な磁化プラズマ中で理論的に調べた。理論の詳細について本講演で述べる。その結果、光渦のトポロジカルチャージが大きくなったり、位相特異点からの距離が小さくなるにつれて、EC 波の屈折率や電場が平面波の場合から大きく変わることが見出された。また有限要素法を用いた COMSOL Multiphysics による LG ビームの 3 次元空間中の伝搬計算においても、通常の Hermite-Gaussian ビームとは異なる伝搬特性が確認された。重要な結果の一つは、低密度側から励起されたトポロジカルチャージ l の正常波 (O 波) LG ビームの一部が、高域混成共鳴層 (UHR) において、 $l-1$ の高波数の異常波 (X 波) の LG ビームに変換され、高密度側を伝搬することである。これは低磁場側から垂直入射された X 波が UHR で電子バーンシュタイン波にモード変換されることと似ている。

この新しい渦 EC 波の伝搬特性を実験的に検証して加熱・電流駆動に応用するためには、特定のトポロジカルチャージ l を持つミリ波帯光渦を伝送系内で生成し、磁場閉じ込め核融合プラズマに入射する必要がある。既に我々は特定の l の光渦を生成可能な高パワー用のスパイラル形状のミラーをミリ波帯で開発した [4]。このミラーを既存の EC 伝送系内のジャイロトロンと入射アンテナの間に設置するだけで良い。高密度プラズマの加熱・電流駆動の新たな手法の一つとして利用価値があるかどうか今後検証していく。

本研究は NINS 若手研究者による分野間連携研究プロジェクト 01311802, 01311903, JSPS 科研費 JP19K14687, および NIFS 実行予算 ULRR703, ULRR036 の支援を受けて行われた。

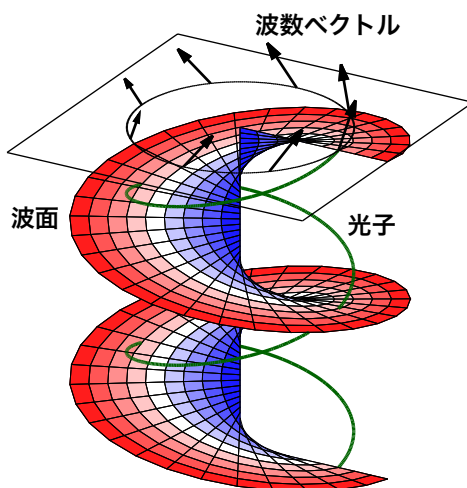


Fig. 1: 光渦の伝搬の様式図

- [1] M. Katoh *et al.*, Phys. Rev. Lett. **118**, 094801 (2017).
- [2] M. Katoh *et al.*, Sci. Rep. **7**, 6130 (2017).
- [3] T. I. Tsujimura and S. Kubo, Phys. Plasmas *submitted*.
- [4] Y. Goto, T. I. Tsujimura, and S. Kubo, J. Infrared Milli. Terahz. Waves **40**, 943 (2019).