

光渦を用いた新しい電子サイクロトロン加熱実験に向けた
スパイラル位相ミラーの開発

**Development of spiral phase mirror for new electron cyclotron heating
experiment using optical vortex**

辻村亨¹、後藤勇樹¹、岡田光司¹、小林策治¹、久保伸²

Toru I. Tsujimura¹, Yuki Goto¹, Koji Okada¹, Sakuji Kobayashi¹, Shin Kubo²

¹核融合研、²中部大

¹NIFS, ²Chubu Univ.

ミリ波は磁場閉じ込め核融合プラズマの加熱・電流駆動や計測に広く利用されている。スピン角運動量を表す波の偏波はそれぞれの目的に応じて適切に制御されている。一方で、「光渦」に代表される軌道角運動量を表す螺旋状の波面を持つ波は、上記目的には全く利用されていなかった。磁場中の伝播特性が不明だったからである。

最近、磁化プラズマ中の螺旋波面を持つ電子サイクロトロン (EC) 波の伝播特性の基礎理論を構築した。その結果、螺旋状波面を持つEC波の伝播特性は従来の平面波面を持つEC波とは異なることを示した[1]。

この結果は螺旋波面を持つミリ波を核融合プラズマ実験に応用する動機付けとなった。特に加熱実験では、高パワーのジャイロトロンを用いることにより、ミリ波帯光渦に変換させる光学素子には高パワー耐性が要求される。そこで本研究では、ミリ波帯の光渦を生成するため、軸外しスパイラル位相ミラーを開発した[2]。

図に製作した軸外しスパイラル位相ミラーを示す。入射ビームにはガウシアンビームのような平面的な波面を想定した。入射ビームを所望のトポロジカル量子数 L を持つ光渦に変換するために、 $0-2\pi$ 位相不連続高さを適切に設定した。反射の際の伝播距離の違いによる位相差はBragg様な反射条件を満たす。ミリ波帯では機械加工による製作が容易である。連続的に表面高さが変化するミラーを製作した。

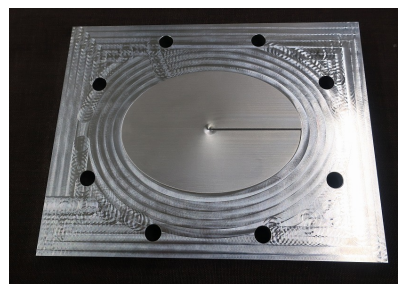
製作した $L = -3$ から $+3$ までの各スパイラル位相ミラーについて、低パワー試験による反射特性を調べた。その結果、ドーナツ状の強度分布を観測し、 $|L|$ が大きくなるにつれて大半径が大きくなった。各反射波のトポロジカル量子数を

確認するために、簡易な干渉計を構築した。その結果、各 L に対応した干渉強度分布を観測した。またGerchberg-Saxtonアルゴリズムに基づく位相回復法を位相特異点を持つ光渦ビームに対して適用した。その結果、各 L のスパイラル位相ミラーに対応したトポロジカル量子数を持つ反射波の位相分布を確認した。

光渦を用いた新しい電子サイクロトロン加熱を実証するためのプラットフォームとして、LHDの77 GHz伝送系とヘリオトロンJ装置の70 GHz伝送系の改造を現在行っている。図に示すスパイラル位相ミラーを電子サイクロトロン加熱用のミリ波伝送系のマイターベンダに取り付けるミリ波帯光渦伝送系を構築している。従来の実験と新しい光渦を用いた実験を両立するために、切替器を用いたバイパス導波管を設置している。

[1] T. I. Tsujimura and S. Kubo, Phys. Plasmas **28**, 012502 (2021).

[2] T. I. Tsujimura *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **93**, 043507 (2022).



製作したスパイラル位相ミラー