

マイクロ波領域での光渦発生素子の開発

Development of microwave components for optical vortex generation

久保 伸¹, 辻村 亨¹, 後藤 勇樹²

Shin KUBO¹, Toru I. TSUJIMURA¹, Yuki GOTO²

中部大¹, 核融合研²

Chubu U.¹, NIFS²

光渦の真空中での伝搬については 1992 年の光渦の発見以前から電信方程式の近軸近似の真空中での解析解であるラゲール・ガウスビームとして扱われて来ているが、物質中の光渦 (ラゲール・ガウスビーム) の伝搬に着目した研究はされてこなかった、2021 年になって、辻村らによって初めて異方性分散媒質である磁化プラズマでの伝搬特性が平面波のそれとは大きく異なり、さらに不均一プラズマでの伝搬についてもその特異性が示され [1]、すでに LHD やヘリオトロン J 装置においてこの効果を示すための実験が着手されている [2, 3]。しかし、光渦の生成に関してはこれまで受動的な光学素子の応用 [4] が中心に行われており、特に、マイクロ波領域の大電力での光渦の生成には、準光学的効果を考慮した素子を開発する必要がある。また、精度の高い物理実験のためには純度の高い光渦の生成が望ましい。そこで、本研究では、[3] で行われた幾何光学的なミラー設計手法の高性能化と並行して、準光学的なミラー、グレーティングの設計手法を適用した光渦発生ミラーの最適化を行うとともに、新たに、光渦発生用位相アレイアンテナアレイを開発することを考えている。

■準光学ミラーの位相補正鏡・グレーティング設計手法 ミリ波領域で実証したスパイラルミラーやグレーティングミラーなどの準光学手法を用いてミラー面やグレーティングミラー構造を設計するもので、グレーティングミラーに関しては、光学素子として光渦発生に用いられる透過型グレーティングの反射型グレーティングで準光学的な位相補正グレーティングの構造決定手法はすでに開発されており [5]、今後、最適化と具体的な製作方法を検討する段階にある。

■位相制御アンテナアレイ 新たにダイポール 2 次元アレイを用いた任意の光渦生成や受信を提案し、光渦生成のための 2 次元アンテナアレイの配置の最適化を検討している。

いずれの場合であっても、ミラー面上またはアレイ

面での位相分布と強度分布を与えることで、ターゲット面での放射場 \mathbf{E}_{rad} の計算は可能であり、その放射場から所望のラゲール・ガウスビーム (ウェイトサイズ w とウェイト位置 z_0 、周方向モード数 ℓ)

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{\text{rad}} = & \mathbf{E}_0 \sqrt{\frac{2n!}{\pi(n+|\ell|)!}} \left(\frac{\sqrt{2}r}{w(z)}\right)^{|\ell|} \frac{w_0}{w(z)} L_{|\ell|}^n \left(\frac{2r^2}{w(z)^2}\right) \\ & \times \exp\left[-\frac{r^2}{w(z)^2}\right] \\ & \times \exp[i\ell\phi] \cdot \exp\left[-ik_0\frac{r^2}{2R(z)}\right] \exp\left[-i(|\ell|+2n+1)\eta\right] \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $w(z)^2 = w_0^2 \left[1 + \left(\frac{\lambda(z-z_0)}{\pi w_0^2}\right)^2\right]$,

$$R(z) = (z - z_{0,\sigma}) \left[1 + \left(\frac{\lambda(z-z_0)}{\pi w_0^2}\right)^2\right]$$

$$\eta(z) = \tan^{-1}\left(\frac{\lambda(z-z_0)}{\pi w_0^2}\right)$$

と放射場との変換効率 η は次式から計算される。

$$\eta^{p,m} \equiv \frac{\int_{S_{\text{target}}} \mathbf{E}_{\text{rad}}(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{E}_{\text{LG}\ell,n}^*(\mathbf{r}) dS}{\sqrt{\int_{S_{\text{target}}} |\mathbf{E}_{\text{rad}}(\mathbf{r})|^2 dS} \sqrt{\int_{S_{\text{target}}} |\mathbf{E}_{\text{LG}\ell,n}(\mathbf{r})|^2 dS}} \quad (2)$$

これらを用いて現在、マイクロ波領域での素子の最適化をすすめている。

References

- [1] T. I. Tsujimura and S. Kubo, Phys. Plasmas **28**, 012502 (2021).
- [2] T. I. Tsujimura, Y. Goto et al., Review of Scientific Instruments **93**, 043507 (2022).
- [3] 辻村亨 他、本年会 **23Pa24**.
- [4] Z. Zhao, C. Liu et al., APL Photon. **6**, 030901 (2021).
- [5] Y. Goto, S. Kubo et al., Plasma and Fusion Research **13**, 3405089 (2018).