

光渦が創る融解金属のカイラル構造の理論的シミュレーション

Numerical Analysis of Dynamics of Chiral Metal Structure Formation by Illumination of Optical Vortex

阪府大院理¹, 阪府大 LAC-SYS 研², 千葉大院工³, 千葉大分子キラリティー研⁴

○田村 守^{1,2}, 尾松 孝茂^{3,4}, 飯田 琢也^{1,2,*}

Grad. Sch. Sci.¹ & RILACS² Osaka Pref. Univ., Grad. Sch. Eng.³ & MCRC⁴ Chiba Univ.

°Mamoru Tamura^{1,2}, Takashige Omatsu^{3,4}, Takuya Iida^{1,2,*}

*E-mail: t-iida@p.s.osakafu-u.ac.jp

光は螺旋波面に由来する軌道角運動量と円偏光に起因するスピン角運動量を持つ。螺旋波面を持つ光を一般に光渦と呼ぶ。光の角運動量が物質と相互作用すると、物質が公転あるいは自転運動する。これまでに我々は、円偏光光渦によって光トラップされたナノ粒子集団において、散乱場を介したスピン軌道相互作用による粒子の回転運動の新原理を理論的に解明してきた[1,2]。近年、高出力円偏光光渦によるレーザーアブレーション加工において、レーザー照射後に光の全角運動量に依存した螺旋状の突起構造が形成されることが発見された[3]。一般にアブレーションには様々な物理現象が関与するが、角運動量に依存したカイラル構造が形成されることから、溶融した金属が光の角運動量を含む光圧によって駆動された結果であると推察できる。しかし、その動的過程において、軌道角運動量とスピン角運動量がどのように金属に作用しカイラル構造を創るのか、そのメカニズムは完全に理解できていない。本研究では、数値流体力学と電磁気学の手法を融合し、光圧で駆動される溶融金属を想定したシミュレーション手法を開発し、円偏光光渦がカイラル構造を形成するメカニズムの理論的解明を目指した。

光圧で駆動される金属はすべて融解している液相であると仮定し、非圧縮性流体に関する Navier-Stokes 方程式と質量保存の式を支配方程式として、有限体積法により溶融金属の時間発展を評価した。その際に、volume of fluid 法により自由表面の形状変化を取り扱った。また、逐次的に変化する金属構造に対して有限差分周波数領域法を用いて光学応答を評価するとともに、ローレンツ力として円偏光光渦による光圧を評価した。光源は波長 1064 nm の CW レーザーを想定し、近軸近似のラゲールガウスビームの表式を照射光として用いた。物質はタンタルを想定したが、密度や粘度などは溶融金属のオーダー程度の値を想定した。また、光圧による寄与を強調するために、実際よりも低い表面張力を採用した。結果として、Fig. 1 に示すように、光源の全角運動量に依存したカイラル構造が形成された。講演では、逐次的な構造変化や、その過程で作用した光圧の分布などについても議論する予定である。本研究成果は、連続体におけるスピン軌道相互作用の物理的機構の解明に繋がり、また光圧を用いたレーザー加工技術の発展に寄与するものである。

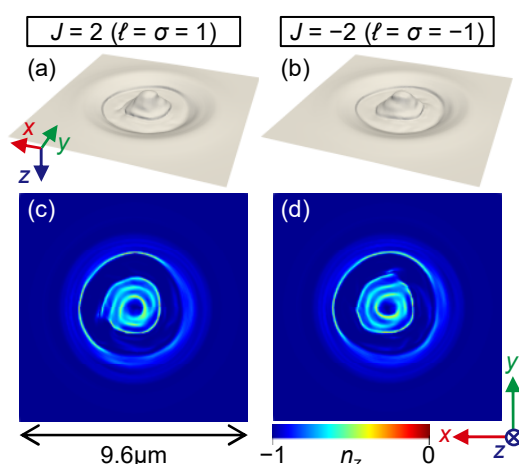


Fig. 1. Circularly polarized optical vortex with (a)(c) $J = 2$, and (b)(d) $J = -2$ created the chiral structure, where (a)(b) shows a 3D view of surface, and (c)(d) shows a z-component of normal vector on surface in overhead view. 0 and -1 of n_z indicate the normal vector for in-plane (x-y) and height (-z) directions. The width of region was 9.6 μm .

[1] M. Tamura, T. Omatsu, T. Iida, *J. Phys. Conf. Ser.* **1220**, 012008 (2019).

[2] M. Tamura, T. Omatsu, S. Tokonami, T. Iida, *Nano Lett.* **19**, 4873 (2019).

[3] K. Toyoda, K. Miyamoto, N. Aoki, R. Morita, T. Omatsu, *Nano Lett.* **12**, 3645 (2012).