

磁場印加時の液体金属の応答と電磁流体力学的無次元数との関係 Liquid metal response in applying magnetic field and relation of normalized parameters

石川 大貴*, 成田 祐貴, 高橋 一匡, 佐々木 徹, 菊池 崇志
Hiroki Ishikawa*, Yuki Narita, Kazumasa Takahashi, Toru Sasaki, Takashi Kikuchi

長岡技術科学大学
Nagaoka Univ. of Tech.

高繰り返しパルスパワーの応用として、短波長光源^[1]、パルスパワー慣性核融合^[2]等がある。これらは金属細線から発生させたプラズマを用いる。しかし、この手法では放電させる度に細線が蒸発してしまうため細線の再装填が必要となる。そのため、金属細線の代わりに液体金属を負荷とする手法が考案されている^[3]。先行研究では、液体金属の表面や直径の挙動が、無次元数であるレイノルズ数（慣性力/粘性力）及びウェーバ数（慣性力/表面張力）により決定されることが明らかとなった^[4]。しかし、液体金属の速度変化にかかる時間スケールは液体金属の音速程度のため、遅延が生じてしまう。このため、液体金属の時間応答性を良くする必要があり、液体金属に磁場を印加する手法が検討されている^[5]。

MagnetoHydroDynamics(MHD)効果による液体金属の形状のダイナミクスを Fig.1 に示す。磁気レイノルズ数が大きい場合、液体金属の流れ方向に垂直な磁場(B)を印加することで、液体金属内に起電力(E)が発生する。この発生した起電力(E)により液体金属に電流(I)が流れ、電流(I)と直交する磁場(B)がブレーキ力(F)となって作用する。一方、内部では磁場(B)と直交する電流(I)により加速し、剪断力が働くと考えられる。

本研究の目的は、液体金属の外部磁場印加時の挙動について理論的及び実験により検討を行い、液体金属の制御性を明らかにすることである。本研究では、低融点 U-アロイ (Bi:32.5%, In:51%, Sn:16.5%, 融点 60°C)を試料として磁場を変化させた時の微細液体金属流の挙動について実験的に観測を行い、電磁流体力学的無次元数を用いて流体挙動の検討を行った。

実際に液体金属に磁場を印加した際の挙動変化を観測するため、レーザーバックライト法を用いて高速度カメラ (20000fps) で撮影を行った。ノズルから液体金属が射出した後の流速、直径の変化を撮影画像より解析を行った。液体金属の流速は Time-of-flight(TOF)法を用いて、撮影した画像から得られる液体金属の距離と時間の差分から算出した。その結果、低融点 U-alloy がドロップレット状になった時、ノズル径よりも小さくなる傾向が見られ連続体の時は時間進展に伴い液体金属先端が大きくなることが分かった。

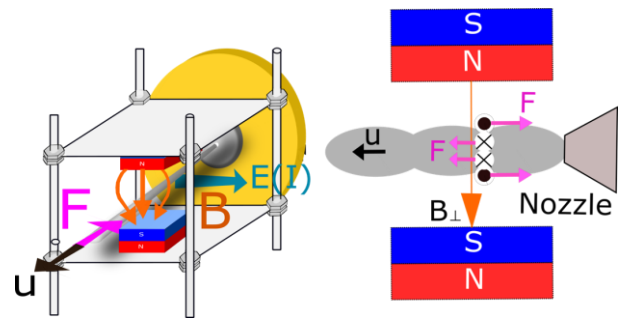


Fig.1 MHD 効果を利用した液体金属制御方法の断面図

算出した流速を用いて液体金属の挙動の依存性について評価を行った。評価パラメータは流体力学的な無次元数であるレイノルズ数とウェーバ数を使用した。また、磁場が液体金属挙動に及ぼす影響を見るため、電磁流体力学的な無次元数である、磁気レイノルズ数とハルトマン数（電磁力/粘性力）等も用いて検討を行った。その結果、レイノルズ数が大きく、ハルトマン数が小さいと液体金属がドロップレットになりやすいことが分かった。講演では、液体金属流の時間変化について、形状の違いを無次元数により比較した結果について議論を行う。

References

- [1] T. Higashiguchi, et al, "Development of a liquid tin microjet target for an efficient laser-produced plasma extreme ultraviolet source", Review of Scientific Instruments., vol. 78, 036106, (2007)
- [2] S. V. Lebedev, et al., "Exploring astrophysics-relevant magnetohydrodynamics with pulsed-power laboratory facilities" Reviews of Modern Physics, 91, 025002 (2019)
- [3] Ryota Mabe et al., "Depend of diameter on flow velocity of liquid metal jet for repeatable pulse powered plasma sources", High Energy Density Physics 36 pp. 1-5 (2020)
- [4] T. Sasaki, et al., "Fine Liquid-Metal Load for Repeatable Applications of Pulsed-power Discharge," 2019 IEEE Pulsed Power & Plasma Science (PPPS), Orlando, FL, USA, 2019, pp. 1-3
- [5] D Hernandez et al., "Dynamics of liquid metal droplets and jets influenced by a strong axial magnetic field", Materials Science and Engineering 228 (2017)