

磁場中を流動する液体金属の表面波形成

A Study on surface wave formation of liquid metal flowing in a magnetic field

平賀涼輔¹, AL SALAMI Jabir¹, 次木匠¹, 花田和明², 胡長洪²

HIRAKA Ryosuke¹, AL SALAMI Jabir¹, TSUGIKI Takumi¹, HANADA Kazuaki²,
HU Changhong²

九大総理工¹, 九大応力研²

IGSES, Kyushu Univ¹, RIAM, Kyushu Univ²

1 研究背景

液体金属ダイバータは、原型炉における巨大な熱・粒子負荷の処理方法として提案されている。プラズマ対向面の熱を除去するためには効果的な流動による熱攪拌が必要だが、核融合炉内では磁場による電磁流体力学的影響を受けることで流れが妨げられることが懸念される。常にプラズマフラックスに曝されるダイバータでの滞留は熱負荷が集中し大量蒸発・機能損失の原因となり危険である。したがって本研究では、基礎研究[1]とそれに基づくMHDシミュレーション[2]を行い、液体金属ダイバータにおいて重要な磁場中の流動の理解を目的とする。

2 実験

電磁石とアルミニウムCチャンネルを組み合わせた基礎実験装置を作成し、大気中にて観測を行った(Fig.1)。印加磁場は任意に変更可能で、最大1.0 Tである。試料には常温で液体である低融点金属のガリウム(GaInSn)を使用した。傾けたCチャンネル上に手でGaInSnを流し込み、流れに垂直方向の磁場を通過した後の自由表面の変化をハイスピードカメラで撮影した。MHDシミュレーションで流速や印加磁場等を設定して実験結果が再現できるかを確認する。シミュレーションで実験が再現できれば核融合炉の実験条件での検証をすることも可能となる。

3 実験結果

基礎実験、シミュレーション共に、電磁石の端面から表面波が生成し、電磁石の下流側で流れが交差し、狭化するように流れが中心に集まり隆起様子が観測された(Fig.2 (a)及び(b))。この表面波は、より強い磁場を印加することでより明瞭に観測された。一方、基礎実験とシミュレーションでの表面波の交差点差異があった。シミュレーションにより独自に実験条件の解析を行ったところ、自由表面に働く表面張力を変更することで表面波の形状が変化することが判明した。GaInSnは酸素と接触することで薄いGa酸化物を中心とした被膜を生成するという特性があり、この酸化被膜は液体GaInSnの表面張力を低下させることが知られている[3]。そのため実験とシミュレーションの比較をさらに詳細に行うためには、表面張力の影響を排除することが必要である。

現在手動の流し込みをポンプに変更しかつ表面被膜が生じない工夫を施した密閉型液体金属循環

ループを開発している。

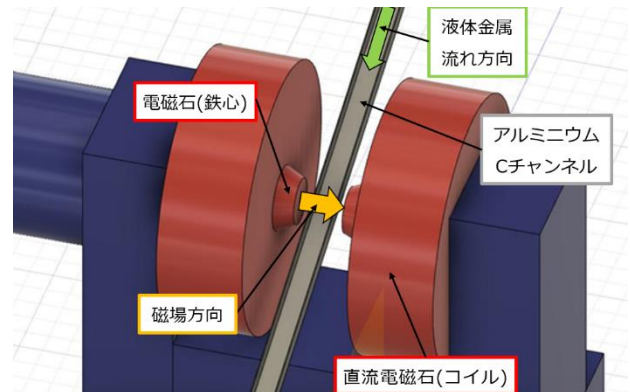


Fig.1 基礎実験装置。電磁石は向かい合った一対の鉄心とコイル(赤色)から成る。向かい合う鉄心の間にアルミニウム C チャンネルを通し、流れと垂直に磁場を印加する。

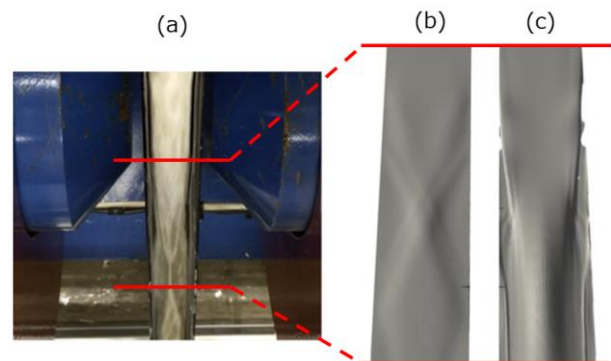


Fig.2 (a) 鉄心通過直後の自由表面の写真。赤い日本の線ではさまれた区間は、基礎実験・シミュレーションにおいて同一の区間であり、表面波が見られる。(b)と(c)は流速と印加磁場ともに(a)と同条件だが、(b)は表面張力 0.53 N/m (GaInSn の物性値) の場合であり、(c)は表面張力 0 N/m の場合である。

4 参考文献

- [1] Takumi Tsugiki, “磁場中での液体金属の開水路流れ”, 令和2年九州大学総合理工学府修士論文
- [2] Jabir Al-Salami, “Proposal for a Liquid Metal MHD Experiment for CFD Code Validation”, (2020)
- [3] Daeyoung Kim et al, “Recovery of Nonwetting Characteristics by Surface Modification of Gallium-Based Liquid Metal Droplets Using Hydrochloric Acid Vapor”, ACS Appl. Mater. Interfaces 2013, 5, 179–185