

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
静岡大学工学部電気電子工学科	助教	青山 真大

研究テーマ

鋳造向け溶融アルミニウム揚程用小型高効率電磁ポンプの開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

産業用設備において、近年の省エネ・少力化に加えて生産効率の向上や自動化を目的に、新技術や電動化設備の開発が強く産業界から求められている。その1つに鋳造現場において、従来のとりへの傾動やガス加圧によるものから電磁ポンプを利用した溶融金属の汲み上げによる鋳型への自動注湯機の需要が高まっている。連続鋳造により省エネルギー化や歩留まりの向上に加えて、従来の鋳造設備からの小型化を実現できる。一方、従来の電磁ポンプは大型でポンプ下部の負圧で溶湯溶存水素が蒸発してしまい、ピンホールが発生しやすかった。それらを鑑みて、本研究では従来よりも体積を50%削減し、電磁力に対する揚程を20%向上できる次世代電磁ポンプの技術基盤を構築する。

2. 研究成果および考察

図1(a)に従来の導電性金属揚程用三相電磁ポンプを示し、同図(b)に提案する電磁ポンプを示す。両方式ともに導電性金属に移動磁界を鎖交させてローレンツ力で導電性金属を揚程する原理は同じであるが、楕円鉄心と、クローボール形且つ相間磁路絶縁磁路と磁気回路トポロジーが大きく異なる。

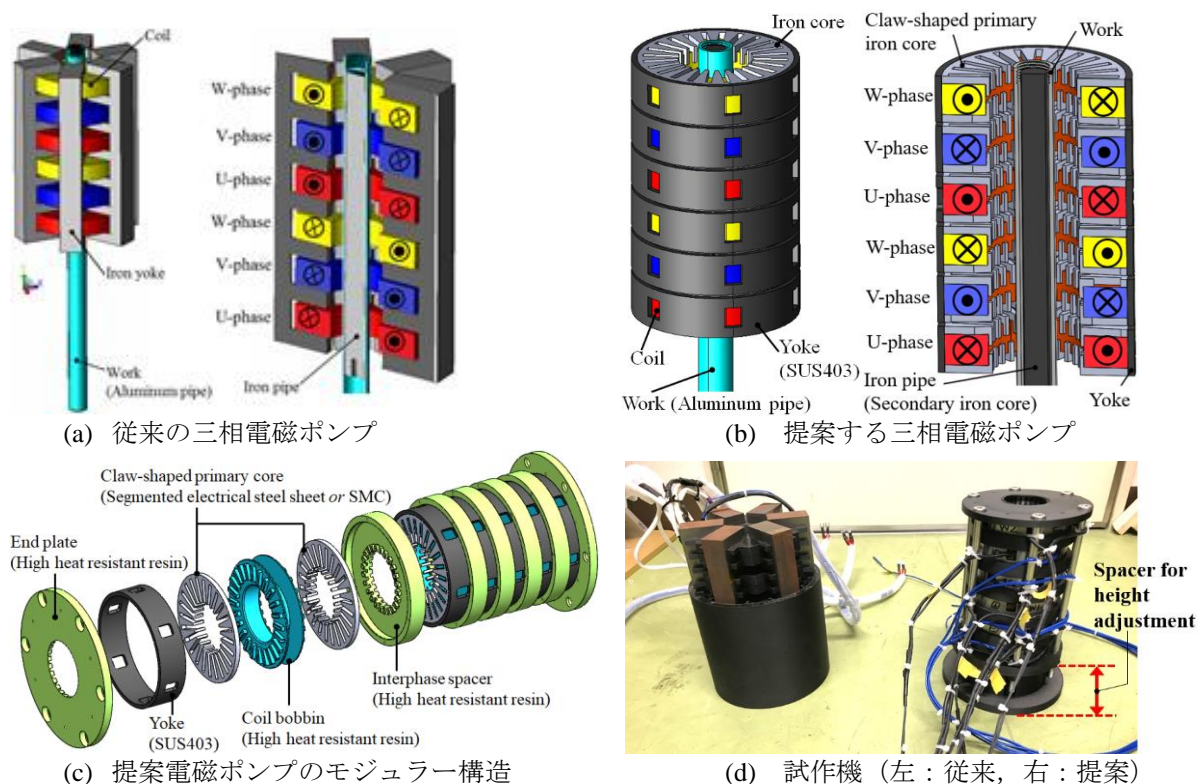


図1. 従来の電磁ポンプと提案する電磁ポンプ

同図(c)に示すように、提案構造はモジュラー構造を採用しており、設備に要求される性能に対してモジュール数を調整することで容易に仕様調整が可能であるという特長を持つ。同図(d)に試作機を示す。

2-1. アルミパイプ揚程代替実験

最初にアルミパイプによる代替実験を行った。アルミパイプが揚程されないように機械的に固定させ、電磁ポンプを通电した時にアルミパイプに作用する電磁力をロードセルを介して測定した結果を図2に示す。同図に示すように、提案モデルは低起磁力下から電磁力を発生させることができ、電磁力を大幅に向上できていることがわかる。平均的には約2倍電磁力が向上する結果であった。次にアルミパイプの固定を解除し、電磁ポンプを通电させてアルミパイプを揚程させたときの揚程速度をレーザー変位計で計測した結果を図3に示す。同図からほぼすべての駆動条件において揚程速度を向上できていることが確認できる。一例として、印加電圧15V且つ励磁周波数30Hzの条件下では提案モデルの0-255mm間の揚程速度が4.25 m/s、従来モデルが0.59 m/sであった。印加電圧18V且つ励磁周波数60Hzの条件下では提案モデルが0.84 m/s、従来モデルが0.25 m/sであった。

また、提案モデルは従来モデルに対して外径が28%縮小、軸長が13%短縮そして3.0kg軽量を実現できている。

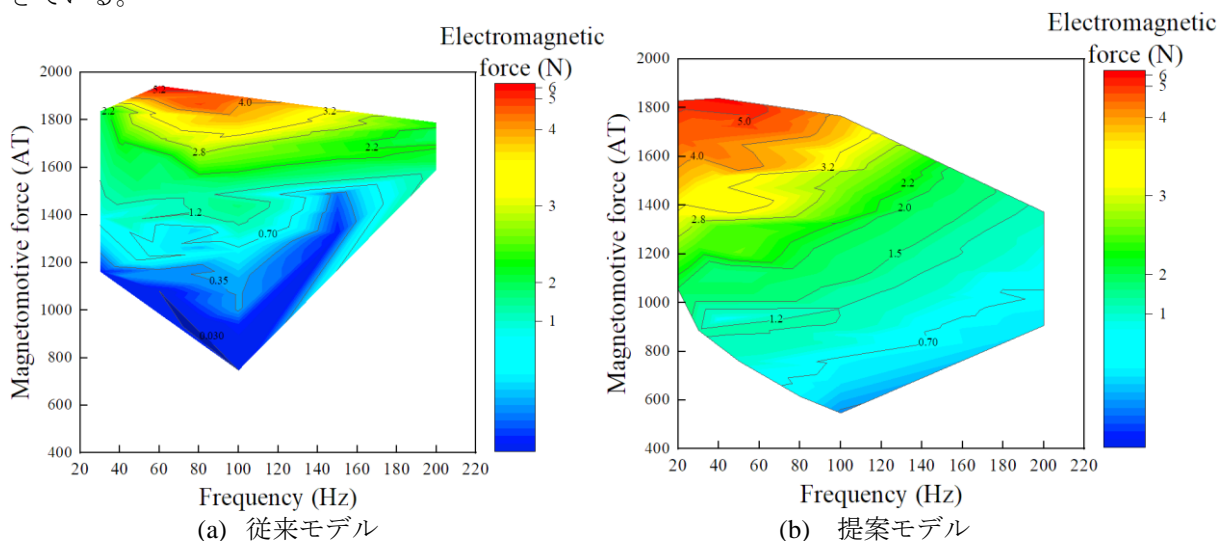


図2. ワーク静止時のワークに作用する電磁力マップ (測定値)

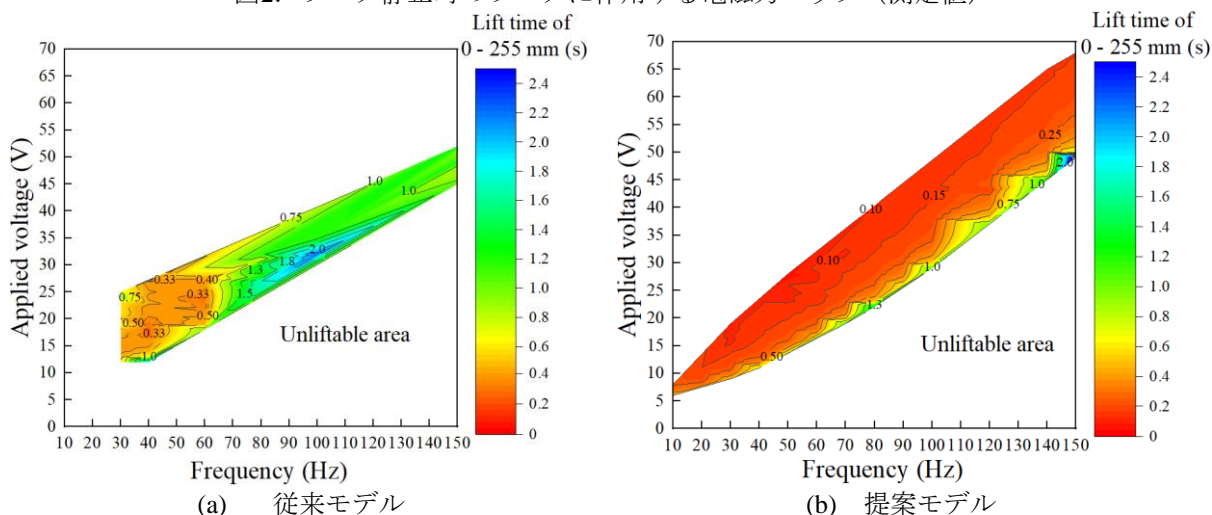


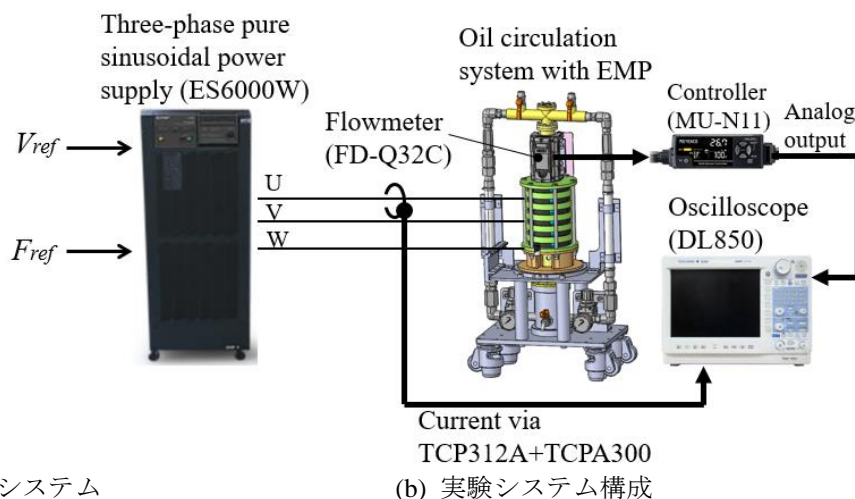
図3. ワークの揚程速度マップ (測定値)

2-2. アルミパイプ粉末混合油による代替実験

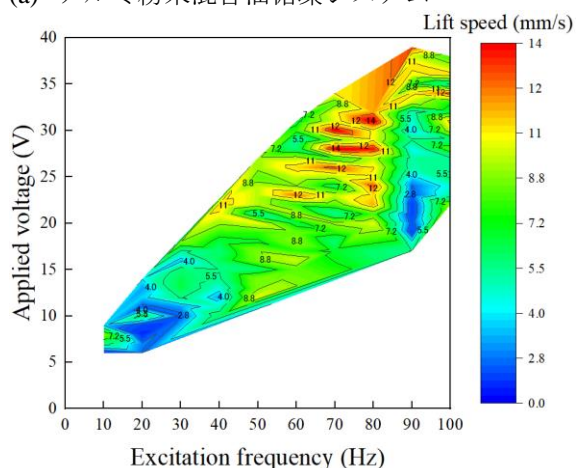
大学研究室内という環境制約下で電磁流体要素を考慮した評価を行うため、アルミ粉末混合油による代替実験を行った。工業用低粘度油に純度99.9%のアルミ粉末を重量比30%の割合で混合させた導電性コロイド溶液を用いる。図4(a)に示す循環システムを試作・構築し、図4(b)の実験環境で駆動評価した。図4(c)に測定した揚程速度マップを示す。ここで揚程速度は流量計を用いて測定した。同図から、励磁条件によって最適な流速となる条件が存在することがわかる。このことから、目標となる揚程速度指令に対して、高効率駆動させるために最適な励磁条件で駆動することで省エネルギー化およびシステムの小型・最適化を実現できることが見込める。



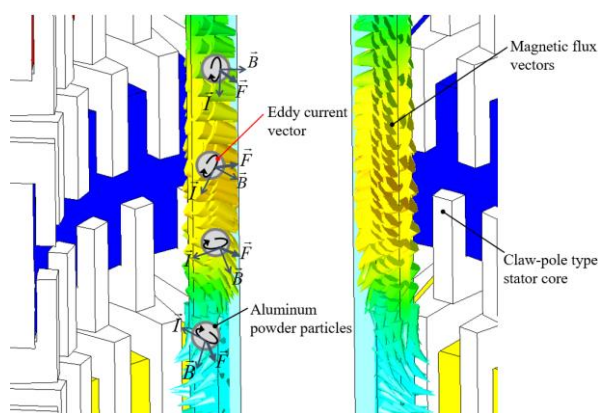
(a) アルミ粉末混合油循環システム



(b) 実験システム構成



(c) アルミ粉末混合油揚程速度マップ



(d) 油内のアルミ粉末に作用するローレンツ力

図4. アルミ粉末混合油代替実験

3. 将来展望

アルミ粉末混合油による代替実験では図4(d)に示すように導電性物質がコロイド状態となっているため、アルミ粉末1つ1つに作用するローレンツカベクトルが異なるため、本来の目的のアルミ溶湯とは異なるローレンツ力の作用となってしまふ。渦電流も離散的に生じるため、この点においてもローレンツ力の作用が異なる。この課題に対して、大学研究室内の環境制約下の中、ガリウムによる代替実験を検討していく予定である。

4. 研究発表

4-1. 査読付学術論文

- [1] 青山真大・小堀幸伸・西村浩治：「アルミニウム自動注湯用電磁ポンプの高電磁力化とパイプ揚程代替実験による実機検証」, 電気学会論文誌D, Vol. 141, No.11, pp. 865-878 (2021)

4-2. 国内口頭発表

- [1] 青山真大・小堀幸伸・西村浩治：「アルミニウム鋳造用三相電磁ポンプにおける電磁流体要素考慮実験」, 電気学会マグネティクス/モータドライブ/リニアドライブ合同研究会, LD-21-053 (2021).