

# Improved Characteristics of Flux-Concentration Type Electromagnetic Pump Taking Account of Driving Frequency

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/11697">http://hdl.handle.net/2297/11697</a>

## 原著論文

# 駆動電源周波数を考慮した 磁束収束型電磁ポンプの特性改善

Improved Characteristics of Flux-Concentration Type Electromagnetic Pump  
Taking Account of Driving Frequency

非 間々田 宏 (金沢大・工)      非 津山 和信 (金沢大・工)  
非 白石 良一 (金沢大・工)      正 山田 外史 (金沢大・工)  
正 岩原 正吉 (金沢大・工)      正 別所 一夫

Hiroshi MAMADA, Faculty of Technology, Kanazawa University,  
2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa 920

Kazunobu TSUYAMA, Kanazawa University  
Ryoichi SHIRAIISHI, Kanazawa University  
Sotoshi YAMADA, Kanazawa University  
Masayoshi IWAHARA, Kanazawa University  
Kazuo BESSHO

The electromagnetic pump can transfer liquid metal in continuous close-circulating system. These pumps have higher reliability comparing with mechanical one. These features make the attractive pump suitable for transferring liquid sodium in fast breeder reactor. But in conventional electromagnetic pumps, a large-sized pump means a larger magnetic circuit length, then leakage flux between the slots is increased and the efficiency is reduced. Therefore, for transferring liquid sodium, we have developed "Flux-Concentration Type Electromagnetic Pump" that employs the magnetic shielding effect of eddy currents. This paper described the dynamic characteristics of the flux-concentration type electromagnetic pump taking account of driving frequency by both experiments and FEM analysis. We constructed the circulating system for liquid metal to measure the dynamic characteristics of electromagnetic pump. In experiment, we used low-temperature melting alloy named "U-alloy47" instead of sodium. As a result, this pump produced the pressure about up to 1.3 times in all range of flow rate. We simulated the frequency characteristics for the width of conducting plate by FEM analysis.

**Key Words** : Electromagnetic Pump, Flux-Concentration effect, Magnetic Shielding Effect, Eddy Currents, Liquid Metal

## 1 緒 論

電磁ポンプは、誘導機の原理で液体金属を輸送する装置であり、かつ機械式ポンプと異なり、可動部が無く密閉状態で導電性流体を輸送できる特徴を持っている。また、構造が簡単で強度的にも優れていることから、現在、高速増殖炉(Fast Breeder Reactor, FBR)のナトリウム循環用ポンプへの適用が考えられている。しかし、機械式に比べ、効率、容量などの点で多くの問題が残されており、大容量を必要とする主循環系ポンプへの実用化には至っていない。

筆者らはこれまで交番磁界中の導体に流れる渦電流の作用について検討し渦電流による磁束収束作用の電気機器への適用について提案してきた[1],

[2]。磁束収束型電磁ポンプはこの原理を従来の電磁ポンプに応用し、その性能の向上を図ったものである。本文では、この電磁ポンプの動特性及び駆動する電源の周波数の依存性について、モデル装置による実験と有限要素法による解析により検討したので報告する。

## 2 磁束収束型電磁ポンプ

Fig.1は実験に用いた磁束収束型電磁ポンプの断面図である。従来のアニュラリニアインダクション型電磁ポンプと異なる点は、各スロットに配置した一対の励磁コイルの間に、銅製の導体板(Fig.2)を挟んだところにある。導体板には中心

のホールから半径方向にスリットが設けられており、この導体板に発生する渦電流の作用によってスロット間の漏れ磁束を軽減し、ギャップ中の磁束密度を高めることができる。Fig.3は、有限要素法により解析した磁束分布を示したものである。導体板を挿入した磁束収束型は、従来型に比べ、スロット間の漏れ磁束が減少し、より多くの磁束をギャップ中に導いているのがわかる。なお、このような構造にすると、ホール周辺部を流れる渦電流の電流密度が高くなり、熱損失が大きくなるため、その対策としてホール中心部に厚みを持たせ導体板の断面をT字型にしてある。

3 実験システム

Fig.4に実験に用いたシステムを示す。液体金属

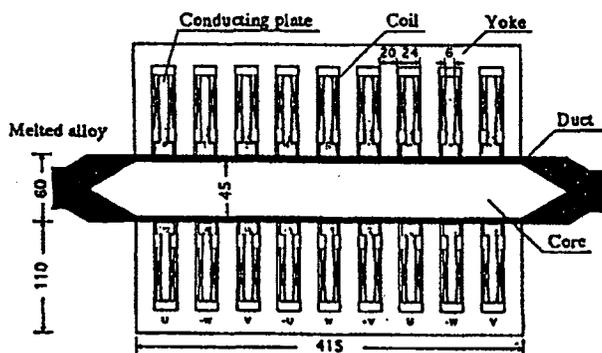


Fig.1 Flux-concentration type E.M.P

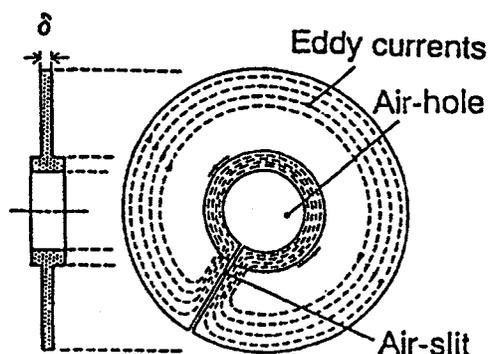
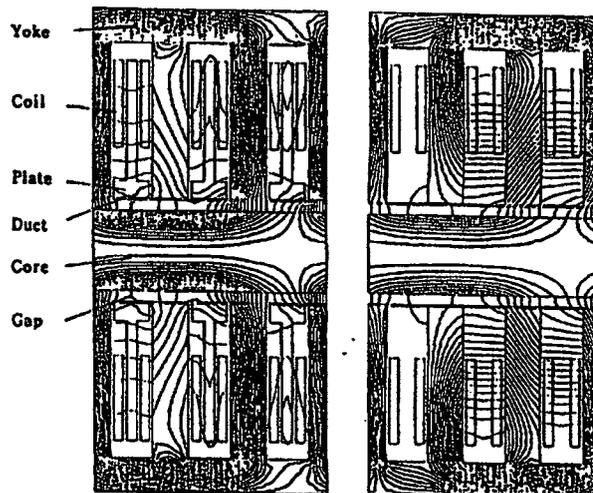


Fig.2 T-sharp type conducting plate.



(a) Flux-concentration (b) Pump without type pump conducting plate

Fig.3 Flux distribution

は循環し、経路の途中に取り付けたバルブによって流量を調節しながら圧力を測定した。流量は超音波流速計により読み取った値とパイプの断面積の積によって算出した。圧力は、電磁ポンプの両端に取り付けた高温用圧力計により測定しその差圧をポンプの吐出圧とした。また、電磁ポンプは商用周波数による励磁であるが、さらに特性を改善するため周波数を変化させ最適運転周波数について検討した。そのため本実験では商用周波数による流量特性の他、PMWインバータにより電源周波数を変化させ周波数依存性を調べた。液体金属として、融点  $46.7^{\circ}\text{C}$ 、常温において導電率  $2.3 \times 10^6 \text{ S/m}$ 、比重 8.8 の Pb と Sn の合金 (U70147) を

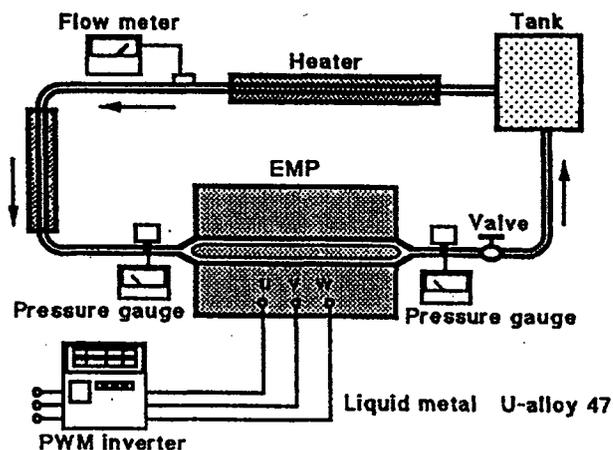


Fig.4 Testing experimental system

用いた。実際の装置では管路の全長が4mとなるため、その温度を一定(約70℃)に保つため経路全体にヒータを配し実験を行なった。なお、今回の実験では、磁束収束型と導体板を挿入しない従来型の2種類の電磁ポンプについて測定を行ない両者を比較した。

#### 4 電磁ポンプの動特性

Fig.5は電源周波数60Hz、入力皮相電力を1.5kVA一定とした時のポンプの性能曲線を示したものである。なお、右端の値はバルブを開放したときの値であり、これより先は管路の抵抗により流量が増加せず測定できなかった。電磁ポンプの出力は流量と吐出圧の積により求めることができる。導体板を挿入した磁束収束型(With plate)は、従来型(Without plate)に比べ全流量において1.3倍の吐出圧を得ており、磁束収束型の有効性を確認することができた。また、流量の増加に伴って吐出圧が減少していく傾向が見られるが、今回測定を行なった流速の範囲(すべり $s \approx 1$ )を考慮すると、これはギャップ中の流体力学的な抵抗が影響していると考えられる。

Fig.6は、入力皮相電力1.5kVA一定を保ちながら電源周波数を変化させた時の周波数特性である。Fig.6(a)は静止圧力、Fig.6(b)は流量の周波数依存性を示している。Fig.6(a)、(b)どちらの場合において

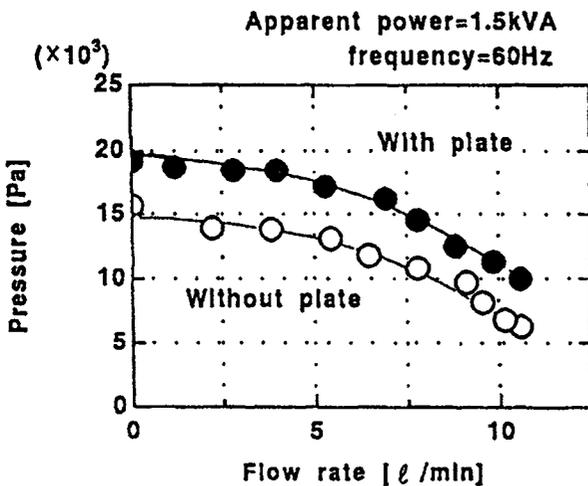
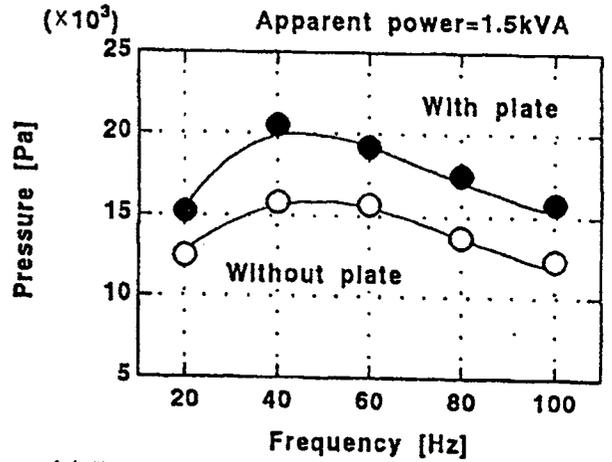
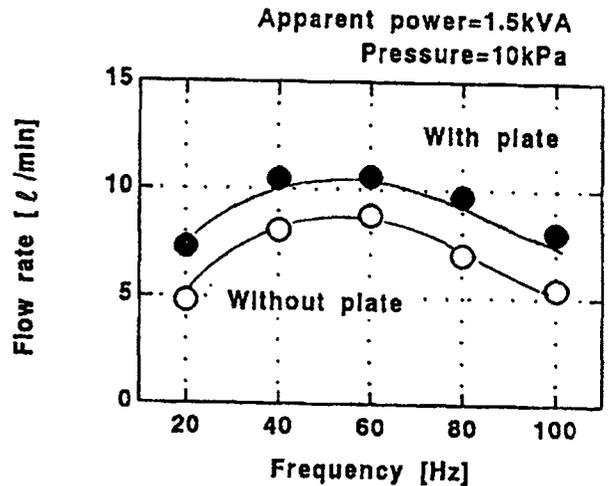


Fig.5 Flow rate vs. pressure characteristics



(a) Pressure vs. frequency characteristics



(b) Flow rate vs. frequency characteristics

Fig.6 Characteristics as a function of frequency

も、磁束収束型、従来型ともに40~60Hz付近に最大値をとり、最適周波数が商用周波数よりも若干小さいところに存在することが確認できる。

一般に、誘導型電磁ポンプの吐出圧は、液体金属中の誘導電流とギャップ中の磁束密度の積によって決まり、その積が最大となる周波数が存在すると思われる。そのため、その最適周波数は導体板に流れる渦電流の磁束収束作用にも大きく左右される。また、導体板に誘起する渦電流の浸透深さは

$$d = \sqrt{\frac{2}{\omega \kappa \mu}} \quad (1)$$

( $\omega$ :角周波数  $\kappa$ :導電率  $\mu$ :透磁率)

で与えられ、今回用いた導体板は銅の浸透深さ(60Hzで8.4mm)を考慮し、その厚み $\delta$ を6mmに

設計していることからこのような特性が得られたと考えられる。

## 5 有限要素法による解析

モデル装置の実験において吐出圧の周波数依存性を調べることができたが、その特性は、電磁ポンプの構造や液体金属の種類などによって変化すると考えられる。そこで、導体板の厚さ $\delta$ を変化させた場合の特性を、有限要素法により解析した。解析対象としてはFig.1のモデル装置を参考にし、軸対称三次元場で解析を行なった[3]。また、電磁ポンプのような多数の単位素子を並べたモデルではその解析対象が大きくなってしまいうため、回転機の解析に用いられている周期境界条件を適用し、最小限の解析対象でその特性を検討した。Fig.7は、入力皮相電力1.5kVA一定としたときの静止圧力の周波数特性を示したものである。導体板を厚くしたことにより、低周波数域における静止圧力の増加が確認できる。これは、導体板を流れる渦電流の浸透深さが、低周波になるほど大きくなることに起因していると考えられる。このことから、今回実験に用いたモデル装置においては、導体板のホール周辺部の厚さなどについてさらに検討を行なうことにより、低周波数域での特性の改善が可能であると考えられる。

## 6 結論

磁束収束型電磁ポンプは、渦電流による磁束遮弊効果によりギャップ中の有効磁束を増加させ、磁束密度を高めることができるため、従来型に比べ優れた特性を示すことが確認できた。また、インバータにより電源周波数を変化させ、その依存性を調べたところ、今回用いたモデル装置においては40~60Hz付近において最適駆動周波数が存在することを確認した。また、導体板の厚さを変化させた場合の特性について、有限要素法による解析を行なったところ、導体板の形状をさらに検討することにより、低周波数域での特性の改善が可能であることを確認した。

(1994年3月16日受付)

## 参考文献

- [1] 間々田、他：二重管構造の磁束収束型電磁ポンプの検討、平成5年度電気関係学会北陸支部予稿集 B-69 (1993).
- [2] 間々田、他：磁束収束型電磁ポンプの特性とその改善、平成6年度電気学会全国大会予稿集, 1014 (1994).
- [3] K.Bessho, et.al, Characteristics of a New Flux Concentration Type Electromagnetic Pump for Fast Breeder Reactor, Proc. of ISEM-Sendai, pp.27-30 (1991).

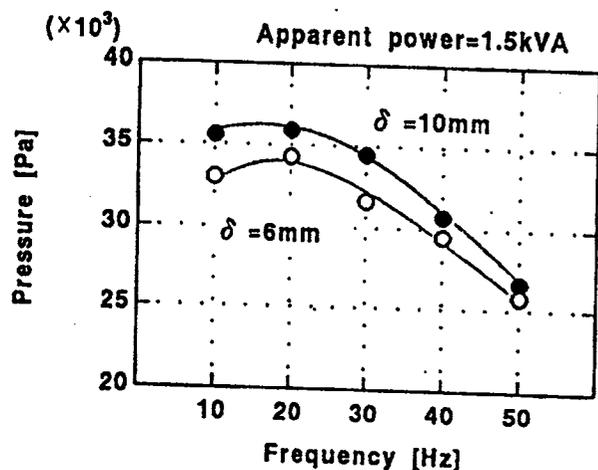


Fig.7 Pressure vs. frequency characteristics (calculated results)