

環状流路の誘導型電磁ポンプの効率の評価

背景

高速増殖炉の主循環ポンプに大容量の電磁ポンプを適用することによってシステムの簡素化や経済性の向上につながることを期待されている(図1参照)。環状流路の誘導型電磁ポンプは大容量化に最も適した電磁ポンプであるが、一般に大容量化に伴ってポンプ効率の試験結果と解析結果の相違が顕著になることが知られている。

目的

電磁ポンプの試験結果と解析結果の比較をとおしてポンプ効率の評価を行い、大容量化に伴って顕著になる試験結果と解析結果の相違を分析し、大容量電磁ポンプを高効率化するための条件を検討する。

主な成果

1. 試験結果と解析結果の比較

定格流量が $2\text{m}^3/\text{min}$ のポンプ (ALIP-1) と $7\text{m}^3/\text{min}$ のポンプ (ALIP-2) の試験で得られた結果と解析結果の比較を行った。試験と解析は表1に示したように、運転周波数や電圧を変えることによって、場を支配する二つの無次元数、磁気レイノルズ数 R_{ms} と相互作用パラメータ N を変化させた3ケースで行った。一般にポンプの大容量化に伴い、これらの無次元数は大きくなる。電磁ポンプの効率 η は、所与の電圧 U とナトリウム流量 Q から次の式で計算されるので、効率のみならず、吐出圧 Δp 、コイル電流 I 、力率 P_f についても試験結果と解析結果の比較を行った。

$$\eta = \frac{\Delta p Q}{3UIP_f}$$

解析は当所が開発した電磁ポンプの解析コード MHDFLOW-EMP2D-RZ を用いて行い、ポンプの径方向と軸方向の2次元の詳細な電磁場と流体場を解くことにより、吐出圧、コイル電流、力率、ポンプ効率を計算した。

吐出圧、コイル電流、力率の結果の例を図2~4に示す。これらの試験結果と解析結果の相違は、不安定領域 ($R_{ms} > 1$) では不安定特性がもたらすエネルギー損失、安定領域 ($R_{ms} < 1$) では電磁場と流体場の周方向不均一性に起因するエネルギー損失や誘導磁場が解析では考慮されていないことが原因となっている。

ポンプ効率の結果を図5に示す。上記の吐出圧、コイル電流、力率の試験結果と解析結果の相違から、いずれのケースでもポンプ効率の試験結果は解析結果より低く、その相違は磁気レイノルズ数 R_{ms} と相互作用パラメータ N が大きくなるほど拡大していることがわかる。

2. 高効率化のための条件

以上の結果から、ポンプ効率を高めるためには、大容量化に伴って増大する磁気レイノルズ数 R_{ms} と相互作用パラメータを設計段階でできるだけ小さく設定する必要があることがわかった。

今後の展開

電磁ポンプの解析コードの解析手法を拡張して、汎用性のある電磁流体機器の解析コードとする。

主担当者 地球工学研究所 流体科学領域 上席研究員 荒関 英夫

関連報告書 「環状流路の誘導型電磁ポンプの効率の評価」 電力中央研究所報告: N05004

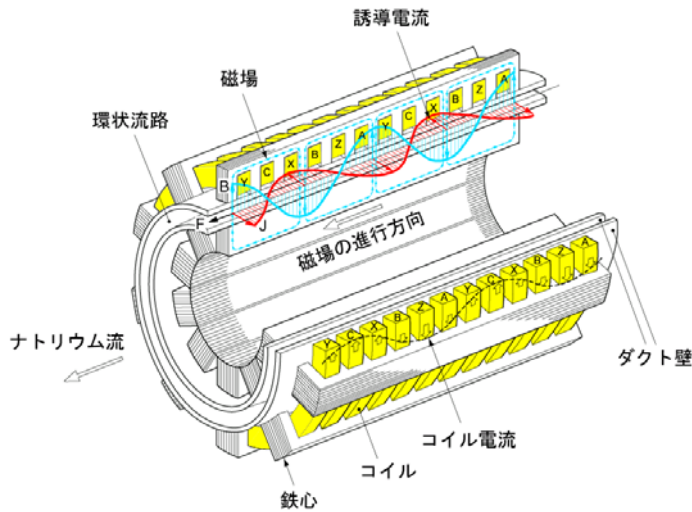


図1 環状流路の誘導型電磁ポンプ

磁場 B の進行によってナトリウム中に電流 J が生じ、この磁場と電流が電磁力 F を形成する。

	Case 1 ALIP-1,30Hz,188V	Case 2 ALIP-2,30Hz,160V	Case 3 ALIP-2,50Hz,250V
Rms	0.57	0.53	0.89
N	18.4	34.8	19.6

表1 試験と解析のケース

Rms (磁気レイノルズ数) は誘導磁場と印加磁場の比を表す。N (相互作用パラメータ) は慣性力と電磁力の比を表す。

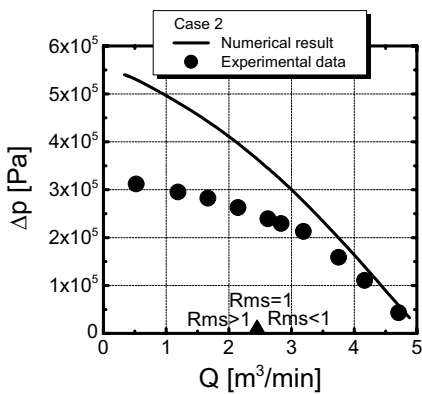


図2 吐出圧

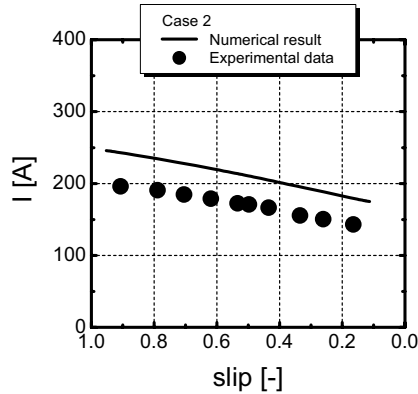


図3 コイル電流

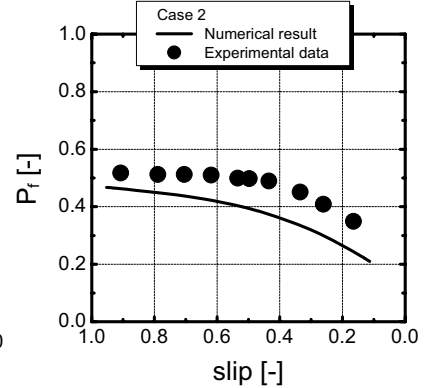
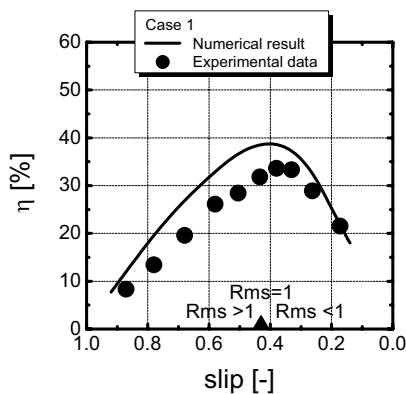
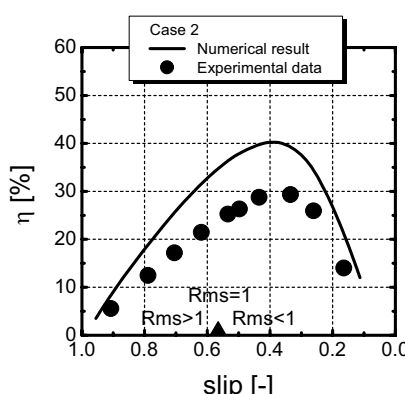


図4 力率

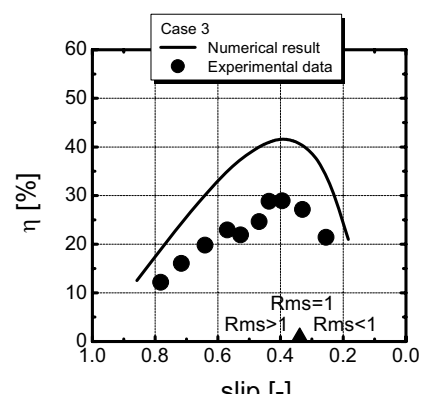
slip は無次元流速で、この値が小さいほどナトリウム流速(流量)が大きいことを表す。



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

図5 ポンプ効率

磁気レイノルズ数と相互作用パラメータの増加に伴って、ポンプ効率の試験結果と解析結果の差が拡大する。