

流量拡張性に優れ苛酷環境に適用する電磁流量計に関する研究開発

(受託者)株式会社 東芝

(研究代表者)大田裕之 原子力開発設計部

(再委託先)国立大学法人大阪大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構

(研究開発機関)平成20年度～22年度

1. 研究開発の背景とねらい

1. 1 研究の背景

ナトリウム冷却高速炉においては、電磁流量計を配管の外側に設置してナトリウム流量を計測することが一般的である。しかし、高速炉実用化にあたって、プラント出力規模が大きくなり、ナトリウム流量が多くなると様々な課題を抱えることになる。例えば、高速増殖炉サイクルの実用化開発で検討されているループ型大型高速炉 JSFR (Japan Sodium-cooled Fast Reactor) では配管に磁性鋼を用いるため電磁流量計を設置できず、配管以外の非磁性鋼に設置できる電磁流量計が必要となってきた。また、大流量のナトリウム実流校正は校正設備に非常にコストがかかるという本質的な課題がある。タンク型高速炉では、1次系に配管が無く、さらに温度・放射線環境が厳しいため、通常タイプの電磁流量計の設置が困難であるという課題があった。

1. 2 研究の狙い

上記の課題を克服することを狙いとして、本研究では一般的な配管での流量計測ではなく、中間熱交換器 IHX (Intermediate Heat eXchanger) とポンプの合体機器や電磁ポンプにある環状のナトリウム流路部に着目し、その環状流路のナトリウム流量を複数の電磁流量計 (セグメント分割) で計測するという新しい概念を創出した。図1にその1セグメント分の電磁流量計の概念図を示す。環状流路の外側ダクト部に M 型の耐熱・耐放射線性電磁石と1対の電極を設置し、フレミングの法則によりナトリウムの流速に応じて発生する起電力を計測するという方式である。

本研究では、上記概念を元に、ループ型炉である JSFR やタンク型炉である 4S (Super-Safe, Small and Simple) の環状流路部のナトリウム流量を計測するために、セグメントで分かれていることで流量拡張性に優れかつ、大規模な実流校正が不要であり、ナトリウム冷却炉の高温・高放射線環境下で使用可能な電磁流量計を開発することを目的とする。

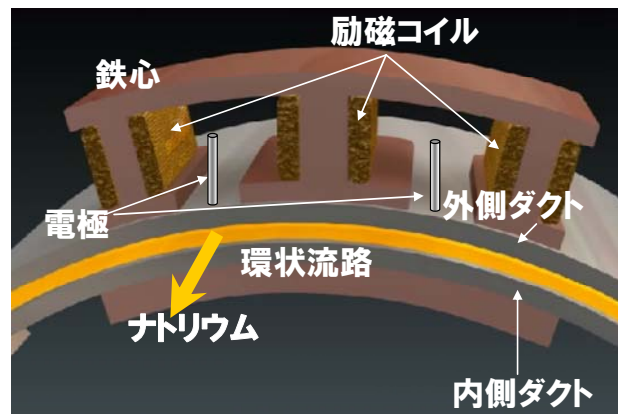


図1 新型電磁流量計概念図

(1セグメント分のみ図示)

2. 研究開発成果

本研究は平成20年度～22年度の3ヵ年で実施した。平成22年度はナトリウム試験による電磁流量計の特性確認、電磁流体解析の検証、実機適用性検討を行った。以下にその研究開発成果を示す。

2. 1 電磁流量計のナトリウム試験による特性確認

平成 22 年度に試作した図 2、図 3 に示す様な 360 度の環状ナトリウム流路部に 6 台の電磁流量計を設置した試験体 A と 60 度部分のみナトリウム流路部を持つ試験体 B を用いて、ナトリウム温度 200~395°C、ナトリウム流量~約 1.3m³/min の範囲で電磁流量計特性を取得した。図 4 に示す様に流速に対して単調増加する出力が得られた。また、ナトリウム温度に対して大きな変化が無いことを確認した。さらに、試験体 A において隣合う電磁石の磁石極性を変えた逆極性励磁とすることで、図 5 に示す様に試験体 B の出力と最大 2% の誤差で一致する結果が得られた。このことにより逆極性とすることで隣合う電磁流量計同士が電磁流体的に独立していることをナトリウム試験で確認した。また電磁流体解析においても図 6 に示す様に逆極性配置が電磁流体的に独立していることを確認した。

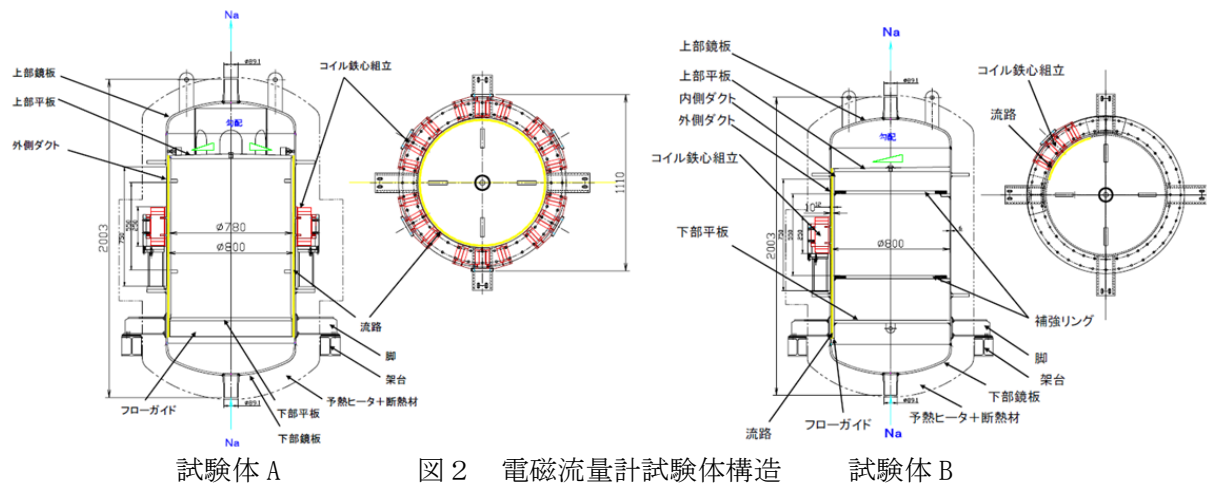


図 2 電磁流量計試験体構造



図 3 電磁流量計試験体外観

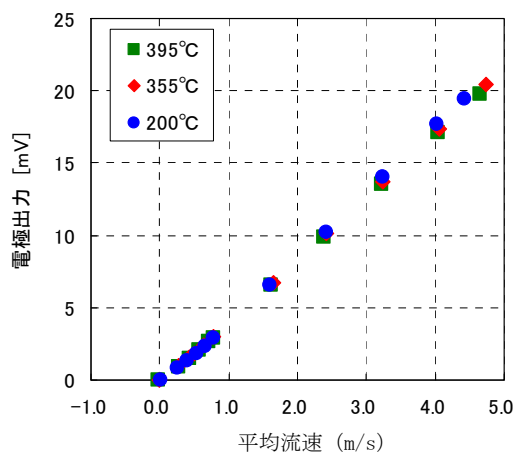


図 4 流速と出力電圧 (試験体 B)

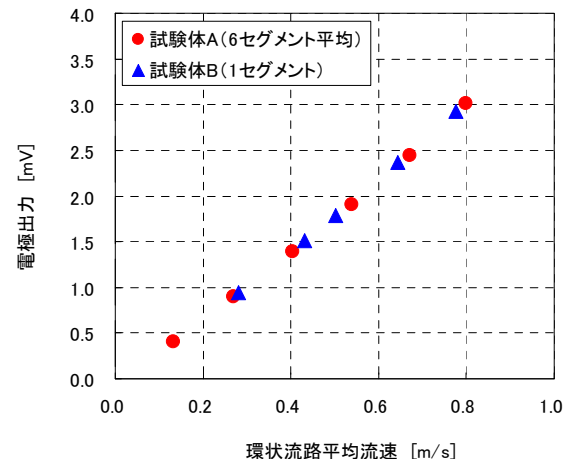


図 5 試験体 A (逆極性) と試験体 B 比較

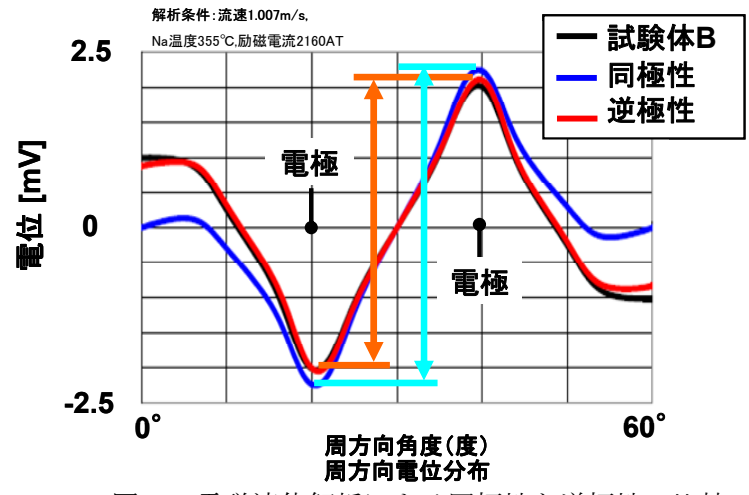


図6 電磁流体解析による同極性と逆極性の比較

2. 2 電磁流量計設計コードの検証

電磁流体解析コードFalconと汎用CFDコードStar-CDを連成させた電磁流量計設計コードの検証として、平均流速と出力電圧についてナトリウム試験結果と解析との比較を図7に示す。同極性、逆極性励磁において出力電圧を3%の誤差で予測できることを確認できた。また、図8に示す局所流速計測用の超音波センサを試作し試験体Bに設置し、励磁電流を変化させた場合の流速分布の違いにおける解析と実測の比較を図9に示す。励磁電流の違いによって、電磁力による制動効果が変わりそれに伴い流速分布が変化する。励磁電流が3000ATの場合には、電磁力による制動力が大きく、周方向で大きな流速分布が発生する。また、励磁電流が955ATにおいては制動力が小さく周方向での流速分布は発生しない。電磁流体解析により、これらの局所的な状態までも再現できていることを確認した。以上により、電磁流量計設計コードとしての検証を行った。

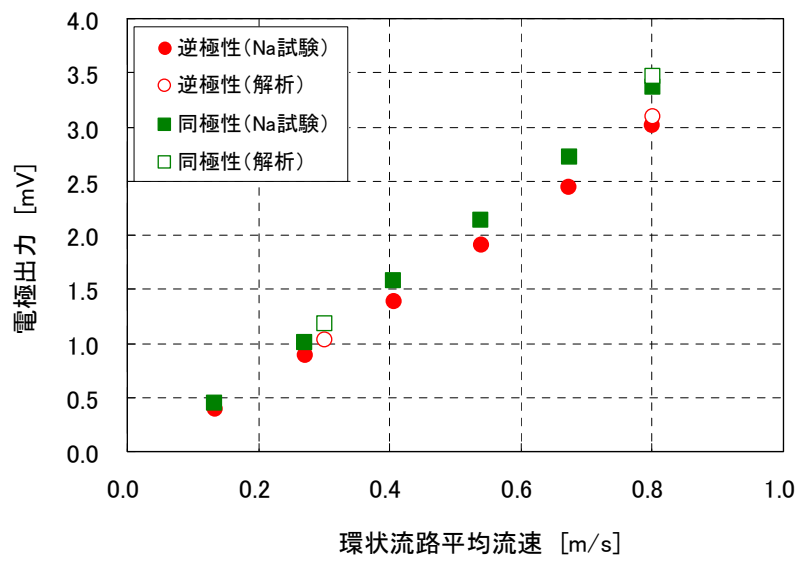


図7 電磁流体解析とナトリウム試験結果比較

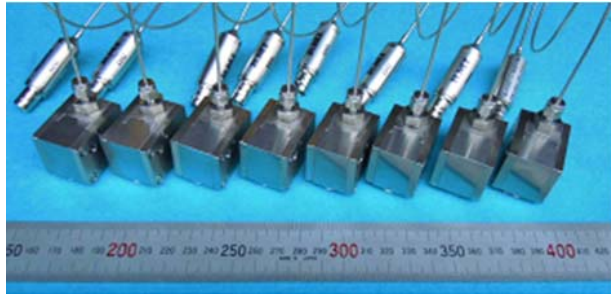


図8 局所流速計測用超音波センサ

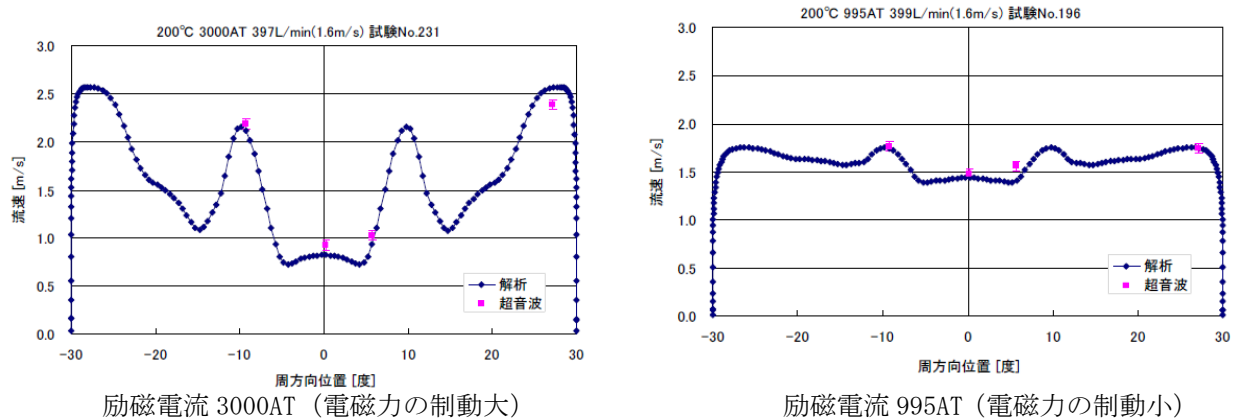


図9 流速分布の解析と実測

2. 3 実機適用性検討

セグメント流量計としての成立性を踏まえ、経済的なナトリウム実流校正方法の検討を実施した。また、IHX MP (Mechanical Pump) 合体機器におけるメカニカルポンプによって生じる旋回流の出力電圧へ与える影響を検討し大きな影響は無いことを解析で確認した。また、電磁流量計近傍の電磁ポンプ鉄心等の磁性体が磁場に与える影響を解析的に評価し、電磁流量計磁場に与える影響は小さいことを確認した。

3. 今後の展望

原子炉炉内でも使用可能な環状電磁流量計の成立性確認の成果を踏まえ、東芝が開発している小型高速炉4Sにおける1次主循環系の流量計として採用し、2010年代後半に実用化する予定である。

4. 参考文献

- (1) 三井久安, 他, 電気学論 A, 117 巻 8 号(1996).
- (2) T. Shimizu, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.37, No.12, pp1038-1048 (2000).
- (3) T. Shimizu, et al., Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.38, No.1, pp19-29 (2001)