

原子力システム研究開発事業基盤技術開発分野
革新技術創出型 事後評価総合所見

評価の概略	
研究開発課題名（研究機関名）： 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 （株式会社東芝） 研究期間及び予算額：平成20年度～平成22年度（3年計画） 289,799千円	
項目	要 約
1. 研究開発の概要	高温で厳しい放射線環境にあるナトリウム冷却炉の原子炉内に設置でき、大規模な実流での校正を必要としない電磁流量計を、最先端のセラミックスや電磁流体連成解析技術を取り入れて技術開発する。
2. 総合評価	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px; text-align: center; width: 30px;">A</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> ・新しい概念に基づいて、環状流路に適合する電磁流量計を提案し、開発を行い、優れた成果が挙げられている。ナトリウムを用いた試験を行って、実機に適用するための基礎的知見を蓄積すると共に、実機に適用するための校正試験を行い、経済性があることも示している。ナトリウム中、高温・高放射線場での実用化に向けてさらなる研究開発が期待される。 </div> </div>
S) 極めて優れた成果を挙げ、今後の展開が大いに期待できる。 Ⓐ) 優れた成果を挙げ、今後の展開が期待できる。 B) 成果の一部は得られてないが、他は相応の成果を挙げている。 C) 成果の多くが得られておらず、一部についてのみ相応の成果を挙げている。 D) 成果がほとんど挙げられていない。	

評価の詳細

研究開発課題名（研究機関名）：
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 (株式会社東芝)

研究開発の実施者

機関名：株式会社東芝	代表者氏名：大田裕之
機関名：国立大学法人大阪大学	代表者氏名：堀池寛
機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構	代表者氏名：平林勝

研究期間及び予算額：平成20年度～平成22年度（3年計画） 289,799千円

研究開発予算

平成20年度	39,105千円
平成21年度	144,965千円
平成22年度	105,729千円

項目	内容
1. 目的・目標	<p>高速炉のループ型炉においては、一般には配管に電磁流量計を設置することが可能であるが、高速増殖炉サイクルの実用化開発で検討されている大型高速炉（JSFR*1）では配管に磁性鋼を用いているため電磁流量計を設置できず、超音波流量計の設置を検討している。しかしながら、JSFRの1次系配管は、短尺で大口径であるため、配管内流況が乱れており、超音波での平均流速の計測性に課題があった。一方、4S*2のようなタンク型炉では、1次系に配管が無いため、流量計の設置が困難であった。そこで、本研究開発では通常の配管でのNa流量計測ではなく原子炉プラントに存在する環状流路部に着目し、かつ、炉内の過酷環境でも使用可能な環状流路のNa流量計を開発する。さらに、環状流路部に複数の電磁流量計を設置し1台ずつの流量計は大規模な実流校正が不要とする革新的な効果も生じる。</p> <p>課題としては、炉内でも使用可能な環状流路計測用の電磁流量計の成立性確認、および、隣接の電磁流量計の影響を低減させたセグメント流量計の成立性確認にある。本研究の実施項目としては(1)電磁流量計設計、(2)電磁流量計試験体の設計・試作、(3)電磁流量計試験体のNa試験 (4)実機適用性検討があり、新型電磁流量計の特性・成立性を試験・解析によって確認を行うことが全体のゴールとなる。</p> <p>*1: JSFR: 高速増殖炉サイクルの実用化開発で検討されている大型高速炉: Japan Sodium Fast Reactor *2: 4S: 小型高速炉: Super-Safe, Small and Simple Fast Reactor</p>

2. 研究成果

- ・ 成果
- ・ 副次的な成果
- ・ 論文、特許等
- ・

【研究開発項目(1) 電磁流量計設計】

[得られた成果]

(1) 電磁流量計設計・試作

電磁流量計の基本設計としてターゲットとするプラントの検討及び基本特性を電磁流体解析によって確認した。電磁流量計は、高速炉炉内の使用を考慮し、耐熱・耐放射線性の励磁コイル・鉄心・電極とシンプルな構成とした(図1参照)。ループ型炉としては、JSFRのIHX-EMP合体機器^{*3}、IHX-MP合体機器^{*4}の環状流路部、タンク型炉としては4Sをターゲットとして想定した。電磁流体解析は、電磁流体解析コードFalcon^{*5}と汎用CFDコードStar-CDを連成解析させ、誘導電流・電位ポテンシャル・出力電圧特性等の基本特性仕様を確認し、所期目標通り実施した。

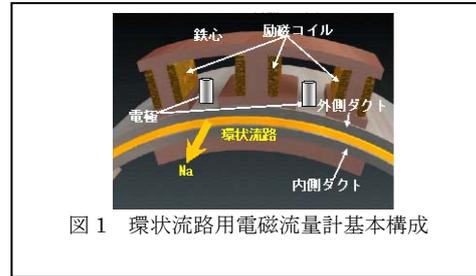


図1 環状流路用電磁流量計基本構成

*3：IHX-EMP 合体機器：プラントコンパクト化を狙い、中間熱交換器(Intermediate Heat Exchanger)と電磁ポンプ(Electro Magnetic Pump)を合体させた機器

*4：IHX-MP 合体機器：プラントコンパクト化を狙い、中間熱交換器(Intermediate Heat exchanger)と機械式ポンプ(Mechanical Pump)を合体させた機器

*5:Falcon：東芝が所有している電磁場解析コード名

【研究開発項目(2) 電磁流量計試験体の設計・試作】

[得られた成果]

(1) 電磁流量計試験体の設計・試作

東芝のNa試験設備の最大流量約1.3m³/minの制限を考慮した電磁流量計Na試験体の基本設計検討を実施した。その結果、環状流路部全周にNaが流れ、6箇所流量計を設置した試験体(以下試験体Aという)と、60°部分のみNaが流れ、1個の流量計を設置した試験体(以下試験体Bという)の2種類の試験体によるNa試験を計画した。

平成21年度には図2(1)、(2)に示す試験体A、Bの詳細設計、試作を行い、東芝Na試験ループ設備への設置を行った。図3に試作した電磁流量計を、図4(1)、(2)にNa試験体外観を示す。試験体A、B共に構造としては、Na試験設備の最大流量の制限とNa流速を考慮し試験体の外側ダクト内径^{*5}800mm、Na流路高さ^{*6}10mmとし、電磁石コイルは銅素線に耐熱・耐放射線性の無機絶縁を施し、鉄心・電極を配置した。

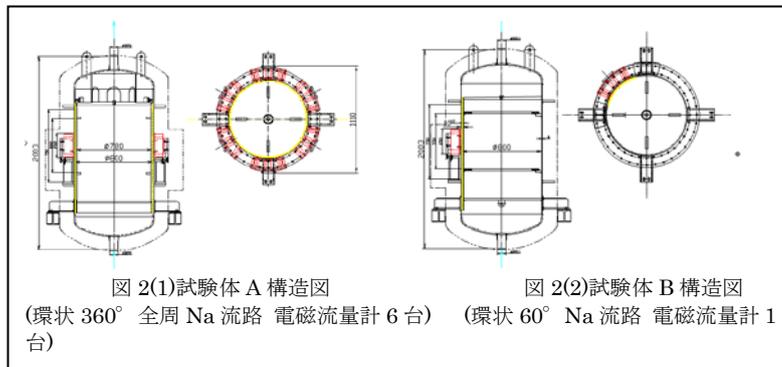


図2(1)試験体A構造図
(環状360°全周Na流路 電磁流量計6台)
図2(2)試験体B構造図
(環状60°Na流路 電磁流量計1台)

さらに、電磁場と流動場の連成解析では、6台

の電磁石の励磁方法を図5に示す様に同極性^{*7}ではなく、逆極性^{*7}とすることで、隣り合う電磁石による励磁電流の影響を低減できることを予測した。この逆極性の励磁方法については、特許「電磁流量計測システム及びその校正方法 特願2010-192718」として出願を行った。



図3 電磁流量計外観

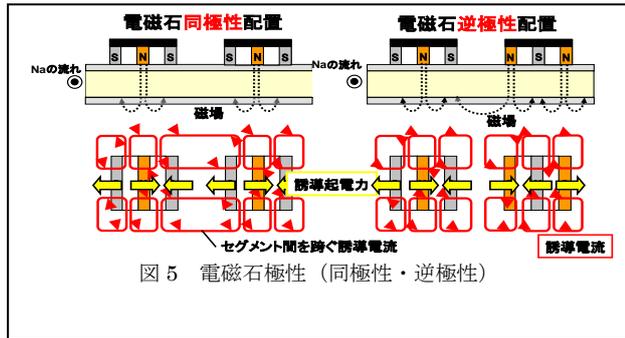


4(1)試験体 A 外観



図 4(2)試験体 B 外観

- *5: 外側ダクト：環状 Na 流路部の外周部
- *6: Na 流路高さ：環状流路の幅
- *7: 同極性：隣り合う電磁石の N 極、S 極が同じ極性
- 逆極性：隣り合う電磁石の N 極、S 極が合い異なる極性



(2) 試験体計測システムの試作

Na 流量が小さい場合には、励磁電磁力によって周方向に流速分布が発生する可能性があり、電磁場と流動場の連成解析によっても流速分布発生が予測された。しかし、Na 流路高さが 10mm と狭隘であり、局所的な流速計測に特化した計測手段として超音波による試験体計測システムが必要となった。平成 20 年度に Na 流路高さ 10mm と狭隘な Na 流路部が計測可能な超音波センサによる計測性の基本検討を行い、平成 21 年度に水試験による常温での基本性能の確認を行った。その結果を踏まえ平成 22 年度に図 6 に示す高温 Na 用の超音波センサを試作し試験体 B へ設置し、データ採取・評価を行った。



図6 超音波センサ

以上研究開発項目 2 について、電磁流量計試験体の詳細設計および試作を行い、さらに超音波の局所流速計測システムを試作し、所期目標通り実施した。

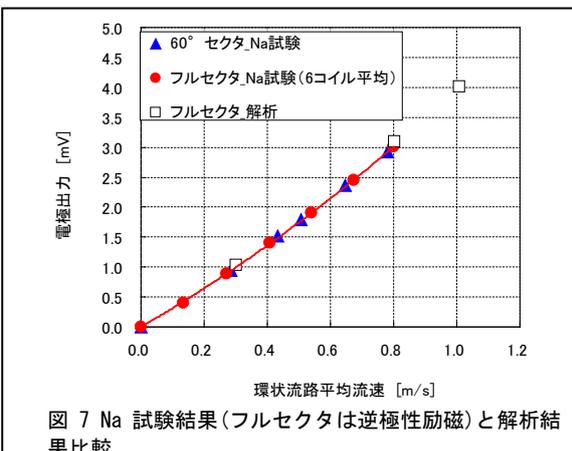
【研究開発項目(3) 電磁流量計試験体の Na 試験】

[得られた成果]

(1) Na 試験

試験体 A(360° 全周試験体)、試験体 B(60° 部分試験体)により Na 試験 (Na 温度：200°C~395°C) を実施し、2 種類の試験体の出力電圧等の基本特性データを採取し、試験データ評価を行った。

具体的には、最大流量約 1.3m³/min までの Na 流量の試



験を実施し、流速（試験体 A：0～約 0.8m/s、試験体 B：0～約 5m/s）、温度（200、280、355、395℃）、励磁電流（150～3000AT*8）、励磁電流方法（同極性・逆極性、通電台数等）を試験パラメータとした試験を実施した。図 7 に示す様に Na 試験結果として、流速、励磁電流、温度等に対する出力電圧特性の取得を行い、流速に対応した出力電圧が得られること、温度依存性が少ないこと、逆極性励磁とすることで試験体 A の出力電圧が試験体 B とほぼ同じとなり、セグメント流量計としての成立性の根拠となる貴重なデータを得た。

(2) 電磁流体解析の妥当性評価

Na 試験結果を元に、3次元電磁流体解析手法の妥当性評価のための解析を行った。具体的には、試験体の上下のプレナムも解析体系に取り入れた解析を行い、Na 試験結果と比較し良好な一致が得られることを確認した。また、試験体 A の逆極性励磁と試験体 B 単独での解析結果が良く一致し、また Na 試験結果とも合致していることを確認した。このことにより、逆極性の励磁により隣り合う電磁石の影響を低減できることが実測・解析の両面で裏付けされた。また、温度依存性について 200℃と 395℃の解析を行い、395℃では出力電圧が約 4%程度低下することを確認し、温度依存性が小さいことも確認できた。

以上研究開発項目 3 について、Na 試験による電磁流量計特性の確認及び電磁流体解析による評価を所期目標通り実施した。

*8：AT：Ampere Turn：電流とコイル巻き数の積

【研究開発項目（4） 実機適用性検討】

[得られた成果]

(1) 校正方法の検討

部分的な電磁流量計（1台ないし数台分のナトリウム流量）によってナトリウム実流校正が可能ないように、実流校正装置周端の影響等を低減させるための方策等のナトリウム実流校正方法の検討を行った。

具体的には、局所流速分布が発生する 4S 等の Na 流量が約 10m³/min と少ない体系では、校正精度を向上させるために実規模の Na 実流校正を行う。JSFR 等の約 630m³/min と大流量の体系では、電磁流量計の設置台数を偶数（例えば 6 台等）とし、電磁流量計の励磁方法を逆極性とすることで、単一の電磁流量計ごとに Na 実流校正を行う方法を提案した。このような校正を行うことにより Na 実流校正設備規模を大きく低減できることになり経済的に大きなメリットとなる。

(2) 実機適用にあたっての課題の抽出と影響確認

1) JSFR をベースとしたループ型実用炉

設置位置・設置方法を検討し、実機適用にあたっての課題項目の抽出を行った。具体的には、IHX-EMP 合体機器では EMP 出口部に電磁流量計を設置し、IHX-MP 合体機器ではポンプ出口の環状流路部に設置することとした。課題としては、IHX-EMP 合体機器では近傍の磁性材料の電磁流量計へ与える影響、IHX-MP 合体機器ではポンプのインペラによる旋回流の影響等の課題を抽出し、旋回成分 30%を仮定しても高々3%程度の出力電圧低下であり、電磁流量計出力電圧大きな影響を与えないことを確認した。

2) タンク型炉（4S）

設置位置・設置方法を検討し、実機適用にあたっての課題項目の抽出を行った。具体的には、EMP 出口部に電磁流量計を設置することから、近傍の磁性材料の電磁流量計へ与える影響等を課題として抽出し、磁性材料の電磁流量計へ与える影響については磁場解析を行い、電磁ポンプの鉄心による影響は小さいことを確認した。

	<p>以上研究開発項目4について実機適用性検討を行い、所期目標通り実施した。</p> <p>【論文、特許等】 [口頭発表・ポスター発表] 1) 流量拡張性に優れ苛酷環境に適用する電磁流量計の開発 -新型電磁流量計の開発・試験計画- 2009年春原子力学会口頭発表 東芝 小舞他(東工大) 2) 流量拡張性に優れ苛酷環境に適用する電磁流量計の開発 -電磁流量計ナトリウム試験体の試作- 2010年春原子力学会 口頭発表 東芝 小舞他(茨城大) 3) Development of a new electromagnetic flow meter in Sodium-cooled Fast Reactor FR09 東芝 小舞他 ポスター発表(京都) 4) 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 (1)電磁流体解析による電磁流量計の特性評価 東芝 浅田他 2010年秋原子力学会 口頭発表(北大) 5) 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 (2)ナトリウム試験による電磁流量計の特性評価 JAEA 平林他 2010年秋原子力学会 口頭発表(北大) 6) 小型高速炉4Sと高速炉技術 東芝レビュー 東芝 大田他 Vol. 65 No. 12 2010 ISSN0372-0462 7) 「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」電磁流体解析による電磁流量計の特性評価および解析精度評価 東芝 浅田他 2011秋原子力学会 口頭発表 (九州)</p> <p>[特許] 1) 電磁流量計測システム及びその校正方法 特願2010-192718 出願:2010年8月30日 2) 電磁流量計、電磁流量計測システム及び方法 特願2011-68879 出願:2011年3月25日</p>
<p>3. 事後評価 1) 目標達成度 2) 技術の革新性 3) 研究開発効果 4) 総合評価</p>	<p>【目標達成度】 ・ループ型炉およびタンク型炉の環状流路の流量計測に使用できる新型炉の電磁流量計の開発を計画通りに実施し、所定の目標を十分に達成している。</p> <p>【技術の革新性】 ・実用化に向け、「逆極性の励磁方法」、「セグメント流量計の成立性確認」、「FALCONによる解析結果の検証」など、高いレベルの革新性に富んだ技術を開発して優れた研究成果を得ている。</p> <p>【研究開発効果】 ・実機適用性の検討を行い、大きい課題がないことを確認したことを評価する。大規模な実流校正試験装置が不要になることで、資源の有効利用や安全性向上、経済性への寄与が十分期待できる。</p>

4. その他	・ナトリウム冷却炉では、革新的な電磁機器やベースとなる電磁流体解析が重要な役割を担うが、本研究で得られた成果はその技術基盤づくりに大きく貢献するものとする。
--------	--