

Title	高速炉蒸気発生器中のナトリウム-水反応時のボイド率-熱伝達率相関図を用いた高温ラプチャ評価に関する研究
Author(s)	松本, 俊慶
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59213
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【148】

氏 名	まつもととしのり 松 本 俊 慶
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 5 5 3 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	高速炉蒸気発生器中のナトリウム-水反応時のボイド率-熱伝達率相関図 を用いた高温ラプチャ評価に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 山 口 彰 (副査) 教 授 福 田 武 司 准教授 高 田 孝

論 文 内 容 の 要 旨

ナトリウム冷却高速炉の蒸気発生器におけるナトリウム-水反応時の伝熱管の高温ラプチャ評価に関して、反応領域中にある伝熱管の温度と熱伝達率との関係についての評価を行った。反応時の熱伝達率履歴を数値解析により求め、流体の状態についての推定を行った。管表面近傍の熱流動場解析の結果から熱伝達率-ボイド率相関図を構築し、熱伝達率履歴に適用することでボイド率履歴の計算を行った。構築した相関図を数値解析の結果により得られるボイド率から熱伝達率を求めるために用いて、伝熱管温度解析を可能とし、高温ラプチャ評価への適用性について示した。

第2章では、伝熱管の温度評価に対する熱伝達率の影響を確認するために、実験で計測された温度データを基にした伝熱管壁温度の解析を行った。流体の温度を境界条件として固定熱伝達率を与え、熱伝導方程式を数値解析により解くことで伝熱管温度の解析を行った。実験値との比較を行った結果、熱伝達率は大きく変動している可能性を示した。また、管壁断面の2次元解析の結果から周方向の熱伝導の影響は小さく、半径方向の熱移行が管壁温度の評価において重要であることを確認した。

第3章ではまず、反応領域中にある伝熱管表面における熱伝達率履歴の解析を行った。熱伝達率を2分法で更新して繰り返し計算し、管壁温度が実験値を再現する熱伝達率を求めた。解析された熱伝達率の変動は、流体のボイド率の変動によるものと推定し、管周辺流体の状態の推定を行った。次に、管表面近傍の熱流動場について均質二相流を仮定して、1次元境界層近似、低レイノルズ数型乱流モデルを導入し、ボイド率や速度をパラメータとして熱流動場解析を行った。解析された温度場から熱伝達率を得ることで、熱伝達率-ボイド率の相関図を構築した。これにより、実験で計測された温度データを用いて、計測の難しいボイド率を推定することが可能となった。また、熱伝達率履歴から推定した流体の状態についての確認を行った。

第4章では構築した相関図を高温ラプチャ評価に適用した。ナトリウム-水反応解析コードSERAPHIMと組み合

わせることで、伝熱管温度を計算し、高温ラプチャモデルにより破損時間の計算を行った。この手法により解析により得られるボイド率のデータを効果的に用いた評価が可能となった。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、次世代型発電システムの有望技術であるナトリウム冷却高速炉の蒸気発生器におけるナトリウム-水反応時の安全評価において計算科学的方法を導入することにより、個々の現象の解像度と安全解析の精度を著しく向上させるとともに、その検証度と説明性を付与するものである。これにより、高速炉蒸気発生器伝熱管の高温ラプチャ現象に関して、数値シミュレーションと実験データに基づく工学的判断に依拠する安全評価を可能とした。

第1章では、ナトリウム冷却高速炉の特徴と安全性の観点からのナトリウム-水反応現象の位置づけを概説した。そして、現状技術において、同現象に関する安全評価の手法を解説し、その問題点を指摘した。その問題点は、反応性混相流の解明をしなければならないこと、ナトリウムが不透明であるとともに実験における測定が困難であること、現存する実験データは空間的に限られた温度履歴データのみであることにある。そして、これら問題点を克服するために数値シミュレーションの重要性と役割を論評した。

第2章では、伝熱管の温度評価に対する熱伝達率の影響を確認するために、実験で計測された温度データを基にした伝熱管壁温度の解析を行った。流体の温度を境界条件として固定熱伝達率を与え、熱伝導方程式を数値解析により解くことで伝熱管温度の解析を行った。実験値との比較を行った結果、熱伝達率は大きく変動している可能性を示した。また、管壁断面の2次元解析の結果から周方向の熱伝導の影響は小さく、半径方向の熱移行が管壁温度の評価において重要であることを確認した。

第3章ではまず、反応領域中にある伝熱管表面における熱伝達率履歴の解析を行った。熱伝達率を2分法で更新して繰り返し計算し、管壁温度が実験値を再現する熱伝達率を求めた。解析された熱伝達率の変動は、流体のボイド率の変動によるものと推定し、管周辺流体の状態の推定を行った。次に、管表面近傍の熱流動場について均質二相流を仮定して、1次元境界層近似、低レイノルズ数型乱流モデルを導入し、ボイド率や速度をパラメータとして熱流動場解析を行った。解析された温度場から熱伝達率を得ることで、熱伝達率-ボイド率の相関図を構築した。これにより、実験で計測された温度データを用いて、計測の難しいボイド率を推定することが可能となった。また、熱伝達率履歴から推定した流体の状態についての確認を行った。

第4章では構築した相関図を高温ラプチャ評価に適用した。ナトリウム-水反応解析コードSERAPHIMと組み合わせることで、伝熱管温度を計算し、高温ラプチャモデルにより破損時間の計算を行った。この手法により解析により得られるボイド率のデータを効果的に用いた評価が可能となった。

以上のように、本論文は、環境・エネルギー工学、特に次世代型エネルギーシステムの安全性を確保するための評価技術に新たな道筋を示したものであり、将来のエネルギーセキュリティとしての核燃料サイクルの確立に、安全性の観点から寄与するところがきわめて大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。