

Title	Multi-Disciplinary Phenomena of Chemical Reaction and Thermal-Hydraulics in Sodium-Cooled Fast Reactor
Author(s)	高田, 孝
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48452
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 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	高田孝 ^{たか た たかし}
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21439 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	Multi-Disciplinary Phenomena of Chemical Reaction and Thermal-Hydraulics in Sodium-Cooled Fast Reactor (高速炉における液体ナトリウムの伝熱流動と化学反応の複合現象に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 山口 彰 (副査) 教授 竹田 敏一 教授 堀池 寛 教授 福田 武司

論文内容の要旨

本論文では、高速炉の冷却材として用いられる液体ナトリウムが空気または水と接触することにより発生する化学反応と周辺の伝熱流動との複合現象が、高速炉プラント安全性に及ぼす影響を、数値解析を用いて定量的に評価することを目的として、機構論的多次元数値解析手法の確立とそれを用いた安全評価への適用を行った。本論文は 5 章より構成されている。

序章では、高速炉が核燃料サイクルに果たす役割を明らかにし、液体ナトリウムの高速炉冷却材としての優位性を示すとともに、これまでに発生したナトリウムの反応性に関わる高速炉での事故事象をまとめた。また既存の安全性評価手法に関する考察を実施し、本研究の意義を示した。

第 2 章では、ナトリウムと空気との反応(ナトリウム燃焼)における機構論的数値解析手法の確立を行った。ナトリウムと空気および空気中の水蒸気との反応に関しては、Gibbs 自由エネルギー極小化法によりその平衡状態の組成を用いて燃焼時の反応量論比を定義するとともに、エネルギー輸送と物質輸送のアナロジより反応速度を評価するモデルを構築した。また、ナトリウム燃焼時の輻射伝熱に影響を及ぼす反応生成エアロゾル挙動のモデル化、およびガス輻射モデルによる輻射伝熱評価手法を構築した。これらのモデルを単相多次元伝熱流動評価手法とカップリングすることで、多次元の燃焼特性が評価可能な数値解析手法を確立した。

第 3 章では、高速炉蒸気発生器で発生するナトリウム-水反応の機構論的数値解析手法の確立を行った。ナトリウム-水反応メカニズムを推定するために、分子軌道法を用いた反応経路の評価を実施し、主反応生成物が水酸化ナトリウムであることを明らかにした。また、異なる 2 つの反応形態(表面反応、気相反応)が支配的であることを示し、圧縮性を考慮したナトリウム-水反応の多次元多成分多相伝熱流動解析手法を確立した。さらに確立した手法を用い、それぞれの反応形態の特性およびナトリウム-水反応時の伝熱流動特性を明らかにした。

第 4 章では、本論文にて確立した評価手法をプラント安全評価へ適用した。評価対象は、高速炉の 2 次系配管室でのナトリウム燃焼、および蒸気発生器内伝熱管群でのナトリウム-水反応とした。その結果、現象の多次元性が及ぼす影響や、伝熱流動と化学反応の複合現象などの、従来手法では評価が不可能な事象についても、本手法により詳細に評価できることを明らかにした。

最終章では、以上の研究で得られた成果をまとめて本論文の総括を行うとともに、本研究成果を踏まえた今後の研究展開をまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高速炉におけるナトリウム燃焼、ナトリウム-水反応現象について、多次元特性を考慮した機構論的モデル化および数値解析手法の構築についてまとめたものである。

ナトリウム燃焼に関しては、従来、一点近似 (zonal approach) で評価されている燃焼モデルを多次元 (field approach) に拡張するとともに、化学平衡状態よりその反応生成物を評価する新たな手法を構築している。ナトリウム-水反応については、分子軌道法を用いた反応経路の評価を実施し、その反応機構を評価し、ナトリウムや水の相状態に基づいた新たな反応モデルを導出している。また、新たに開発した反応モデルを用いた多次元数値シミュレーション手法を構築している。

本論文で開発された数値シミュレーション手法は、従来行われたナトリウム燃焼、ナトリウム-水反応実験の検証解析により、実用性を有することを明らかにしている。また、酸素、水蒸気などの各種ガス濃度、速度場、温度場等の局所性がナトリウム燃焼に及ぼす影響を明らかにしている。これらは従来手法 (zonal approach) では対応できない評価項目である。さらに、ナトリウム-水反応の多次元数値シミュレーションを実施し、反応界面が水素ガスに覆われることにより反応が抑制され最高温度に上限が見られることや、水酸化ナトリウムの蒸発により最高温度が低下すること等、従来の実験的知見で説明が困難であった事象について数値解析により機構論的に明らかにした。

以上のように、本論文はナトリウムを冷却材とした高速炉におけるナトリウムの化学的活性に起因する安全評価に関し、従来評価手法では不可能であった反応部周辺での空間依存性を加味した詳細な評価を提供するものであり、より現実的な構造健全性等の安全評価に資することが可能である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。