



|                     |                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | 高速炉の事故時における冷却材ナトリウム燃焼挙動に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]                                                                         |
| Author(s)           | 西村, 正弘                                                                                                              |
| Degree Grantor      | 北海道大学                                                                                                               |
| Degree Name         | 博士(工学)                                                                                                              |
| Dissertation Number | 乙第7079号                                                                                                             |
| Issue Date          | 2019-03-25                                                                                                          |
| Doc URL             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/74097">https://hdl.handle.net/2115/74097</a>                                   |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</a> |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                     |
| File Information    | Masahiro_Nishimura_abstract.pdf, 論文内容の要旨                                                                            |



## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 西村 正弘

## 学 位 論 文 題 名

高速炉の事故時における冷却材ナトリウム燃焼挙動に関する研究

(Study on Combustion Behavior of Liquid Sodium Coolant under Accident Condition in Fast Reactor)

深刻な地球温暖化、異常気象による地球環境の著しい変化のなか、持続可能な社会の実現のため大量消費型の社会からリサイクルを旨とする循環型社会への構造改革が不可欠である。その中で省資源、循環型社会の流れに沿ってクリーンで持続的なエネルギー源として原子力エネルギーは有力な候補であり、安全性を一層向上させた原子力システムの利用を進めるべきである。

近年、核拡散抵抗性、廃棄物と天然資源利用の最小化の観点でナトリウム冷却高速炉が着目されている。わが国では 1995 年に発生した高速増殖炉「もんじゅ」におけるナトリウム漏えい火災事故、および東日本大震災時の福島第一原子力発電所事故の影響を鑑み高速炉の研究のあり方も再検討がなされた。

その中で「もんじゅ」は廃止措置に移行する方針が示されたものの、経済産業省の高速炉開発会議が示した「高速炉開発の方針」では、高速炉の推進を含めた核燃料サイクルの推進については堅持する方針が示されている。日本原子力研究開発機構では高速炉研究開発の中核を担う組織として将来の高速炉の実現に向け、関係機関との連携を強化しつつ研究開発が進められている。

高速炉の冷却材であるナトリウムは、優れた伝熱特性と低い運転圧力といった水を冷却材とする炉と比較してシステム上の利点がある一方で化学的に活性であることから空気中の酸素や湿分と反応して熱を発生し、構造物に熱的なダメージを与えることなどが懸念されている。

このような背景のもと、液体金属ナトリウム冷却型の高速炉の実用化を目指すにあたり必要とされている安全性向上のため、ナトリウム燃焼について従来の基本的な安全確保の考え方を踏まえつつ、合理的な設計のための評価手法高度化に必要な現象解明のための実験研究を行った。

「ナトリウムの小規模漏えい時のプール拡がり挙動と燃焼挙動に関する研究」では、従来実施されてきたナトリウム燃焼に関する実験研究を調査し、これまで着目されていなかった小規模 (10kg/h 程度) のナトリウム漏えい率において床ライナの限定した範囲でナトリウムが燃焼する条件におけるライナの最高温度とこれに影響を及ぼす燃焼速度、ナトリウムプール拡がり挙動について明らかにした。

「ナトリウム燃焼における反応継続機構および着火遅れに関する研究」では、ナトリウムの特徴的な樹枝状酸化物を介した燃焼形態に着目し、要素的な単一ナトリウム液滴の燃焼実験を実施することにより、燃焼評価解析コードにおける機構論的評価モデル構築に資する知見を取得した。また、反応の継続機構において、ナトリウム反応生成物 (樹枝状酸化物) 中をナトリウムが反応界面に向けて移行する経路の確保が重要な要因となることを明らかにした。

「ナトリウムの燃焼反応抑制に関する研究」では、ナトリウムの特徴的な樹枝状酸化物を介した反応の継続機構において、ナノ粒子分散ナトリウムの反応抑制効果を確認した。ナノ粒子分散ナトリウムは、ナトリウムとナノ粒子の原子間力によって、その化学的活性度を制御する概念のもと開発がすすめられており、反応に関与する物性として、表面張力、蒸発速度に変化が現れることが実

験によって確認されている。樹枝状酸化物を介した反応の継続機構において、表面張力の増加は反応面を減少させ、反応面での蒸発速度の低下は燃焼の原料であるナトリウムの供給速度を減少させることから反応は抑制される。

さらに、ナトリウムに分散させるナノ粒子に酸素、ナトリウムとの安定化合物を形成するチタンナノ粒子を選定することによって、ナノ粒子とナトリウムの原子間力に起因する反応抑制効果とは異なる反応抑制機構として樹枝状酸化物中のナトリウム供給経路がナノ粒子の安定化合物によって阻害される効果が加わる。これらの効果の累積として大きな反応抑制機構が働き、ナトリウムが残存しているにもかかわらず燃焼反応が停止 (消火) することを樹枝状酸化物の成長挙動、およびプール燃焼挙動の比較観察によって実証した。従来、ナトリウム燃焼の消火に関しては、表面を消火剤で覆ったり、閉空間に窒素を注入して酸素濃度を低下させて反応を停止させる方法が対策設備として準備されていた。しかし反応の原料であるナトリウムそのものの反応性を抑制するという全く異なる概念によって燃焼反応を停止、つまり消火できることが明らかとなった。

以上のように本研究 (「高速炉における冷却材ナトリウム燃焼挙動に関する研究」) では、高速炉に特有なナトリウムの燃焼挙動について、要素実験、検証実験を通じてその機構を把握するとともに新しい反応抑制 (消火) の概念を提示、検証した。その結果、省資源、循環型社会への構築に向けて次世代の有力なエネルギーシステムである高速炉の安全性を高める研究において、今後の工学的実証、実機適用につながる従来の考え方 (安全対策設備) によらないシンプル且つロバストな高速炉の安全確保の概念の重要な知見の整備に貢献した。