

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Design study on small sodium cooled CANDLE burning reactor
著者(和文)	NguyenHoang Hai
Author(English)	Hoang Hai Nguyen
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11646号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,千葉 敏,赤塚 洋,片淵 竜也,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11646号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Nguyen Hoang Hai	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小原 徹	教授	審査員	相樂 洋	准教授
	審査員	千葉 敏	教授			
		赤塚 洋	准教授			
片淵竜也		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Design study on small sodium cooled CANDLE burning reactor」と題し、5章より構成されている。

第1章「Introduction」では、はじめにこれまで研究されてきた CANDLE 燃焼高速炉について概観し、鉛・ビスマス共晶合金 (LBE) に比べナトリウム冷却材は炉内の中性子スペクトルが軟らかくなり中性子の漏れも大きくなるため CANDLE 燃焼高速炉には不利であるものの、これまでの高速炉開発により冷却材としての技術が確立されており、また熱除去性能に優れるため、CANDLE 燃焼高速炉の冷却材としてナトリウムを利用する意義はあると指摘している。さらに、近年小型炉開発の期待が高まっていることからナトリウム冷却小型 CANDLE 高速炉の有用性を指摘し、高い解析精度が期待できるモンテカルロ法による中性子輸送解析及び燃焼解析によって、既存のナトリウム冷却小型高速炉概念と同程度の大きさのナトリウム冷却小型 CANDLE 燃焼高速炉の設計が可能であることを明らかにするという本研究の目的を述べている。

第2章「Development of a Monte Carlo based procedure of CANDLE burning analysis」では、モンテカルロ法による中性子輸送解析を用いた CANDLE 燃焼解析システムの開発と LBE 冷却 CANDLE 燃焼高速炉心の解析結果について述べている。本解析システムでは、中性子輸送解析に連続エネルギーモンテカルロコード MVP3.0、燃焼解析に MVP-BURN 及び核データライブラリーに JENDL-4.0 を用いて、CANDEL 燃焼炉に固有な燃料移動を物質組成データの炉心内での位置を移動させることで模擬するプログラムを独自に開発し、MVP3.0 及び MVP-BURN と結合させることでモンテカルロ法をベースとした CANDLE 燃料解析システムを開発したことを述べている。本システムを用いて熱出力 300MW、炉心高さ 220 cm、有効炉心半径 145.5cm、LBE 反射体厚さ 50cm の LBE に冷却材を用いた基準炉心に対して解析を行った結果、本原子炉は平衡燃焼状態において実効増倍率 1.0126、取出し燃料の平均燃焼度 406GWd/t に達することを明らかにしている。

第3章「Burnup performance of sodium cooled CANDLE burning reactor」では、ナトリウム冷却炉心と LBE 冷却炉心の特性の違いの定量的な比較を行ったうえで、ナトリウム冷却小型 CANDLE 高速炉概念の成立性の検討を行った結果について述べている。無限体系における中性子バランスの解析の結果から、LBE 冷却炉心とナトリウム冷却炉心の中性子バランスの差は 3.7%程度であり、ナトリウムを冷却材として用いても小型 CANDLE 燃焼炉心が成立する可能性があることを示している。さらに、開発した解析システムを用い実炉心体系での解析を行った結果、LBE 冷却基準炉心と同じ炉心サイズの場合はナトリウムを冷却材に用いた場合 CANDLE 燃焼を実現することはできないものの、基準炉心の外側に 2 層の燃料集合体を追加し、有効炉心半径を 170cm とすることにより CANDLE 平衡燃焼状態で原子炉を臨界とすることが可能であることを明らかにしている。さらに、ナトリウム冷却材ポイド係数についても様々な条件で検討を行い、冷却材ポイドによってもたらされる正の反応度は既存のナトリウム冷却高速炉と同程度であることを明らかにしている。

第4章「Optimization of the small sodium cooled CANDLE burning reactor」では、第3章で設計した炉心を、原子炉出力を低下させることなくナトリウム冷却材の優れた除熱性能を生かしてできるだけ小型化した結果について述べている。はじめに定常運転時の炉心熱流動解析を熱流動解析ソフトウェア COMSOL Multiphysics を用いて行い、燃料最高温度 1573K 以下、被覆管最高温度 923K 以下となる燃料ピンピッチの検討とともに燃焼解析を行い炉心サイズを最適化することにより炉心半径を 170cm から 137cm へと 19%縮小することができることを明らかにしている。さらに、径方向反射体の最適化の検討を行い、通常のナトリウム冷却材の場合に比べ、鉛を反射体に用いた場合は中性子の漏れの減少効果により実効増倍率は約 1%向上し、これにより反射体厚さを減少することができることを明らかにしている。これによって反射体を含めた炉心半径は、158cm とすることができ従来のナトリウム冷却小型高速炉と同等の炉心サイズで CANDLE 燃焼高速炉が実現できることを明らかにしている。さらに冷却材ポイド係数についても検討を行い、鉛反射体を用いた場合においても冷却材ポイド係数が悪化することはないことを明らかにしている。

第5章「Conclusions」では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本論文はナトリウム冷却小型 CANDLE 燃焼高速炉の成立の可能性を検討し、熱流動解析と中性子輸送解析によって最適化した燃料ピンピッチを用いさらに炉心径方向に鉛反射体をもちいることで従来研究・開発が行われてきたナトリウム冷却小型高速炉と同等の炉心サイズでナトリウム冷却小型 CANDLE 燃焼高速炉が成立することを明らかにすることで、近年期待されている小型炉の開発に有用な選択肢を提示しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。