

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	バックエンドを起点とした核燃料サイクルシミュレーターの開発と21世紀後半原子力発電シナリオの研究
Title(English)	Development of the dynamic nuclear fuel cycle simulator originated on the back-end process and scenario study on the nuclear power generation for the second half of the 21st century
著者(和文)	岡村知拓
Author(English)	Tomohiro Okamura
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11825号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:竹下 健二,加藤 之貴,小林 能直,塚原 剛彦,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11825号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

本論文は「バックエンドを起点とした核燃料サイクルシミュレーターの開発と 21 世紀後半原子力発電シナリオの研究 (Development of the dynamic nuclear fuel cycle simulator originated on the back-end process and scenario study on the nuclear power generation for the second half of the 21st century)」と題し、5 章により構成されている。本論文では、バックエンドプロセスのマスバランス解析を起点に、核燃料サイクルのフロントエンドからバックエンドまでをモデル化した統合的な核燃料サイクルシミュレーターの開発を行い、21 世紀後半に想定される原子力発電シナリオの分析を行った。

第 1 章「緒言」では、バックエンドのマスバランスに影響を与える核燃料サイクルの諸条件と核燃料サイクルシミュレーションについて整理した。核燃料サイクルシミュレーションは原子力発電に伴って生じる様々な物質の流れ（マスバランス）を解析することであり、その手法は「静的手法」と「動的手法」に分類される。本章では、それぞれの手法の特性や用途、既存のコードについてまとめた上で、バックエンドのマスバランスを柔軟に可能な動的手法の核燃料サイクルシミュレーターの開発の重要性を示した。また、その核燃料サイクルシミュレーター開発するに当たって必要となる技術課題についても整理した。

第 2 章「核燃料サイクルの諸条件がバックエンドプロセスのマスバランスに与える影響」では、静的手法を用いて核燃料サイクルに存在する多様なパラメーターが如何にバックエンドプロセスのマスバランスに影響するのか分析を行った。具体的には、ORIGEN と COMSOL Multiphysics を用いて、燃焼度、濃縮度、再処理、ガラス固化、地層処分場の設計、時間因子等のパラメーターが持つ、高レベル放射性廃棄物の物量や発熱特性、処分面積に対する感度を明らかにした。また、物量や処分面積を削減するために有効となるパラメーターの組合せについても示した。この検討によって、核燃料サイクルシミュレーションを実施する際のシナリオ設定やデータの考察に必要な基盤的な情報が得られた。

第 3 章「NMB4.0：統合的な核燃料サイクルシミュレーターの開発」では、本研究で開発した核燃料サイクルシミュレーター NMB4.0 (Nuclear Material Balance analysis code version 4.0) のモデルとそのベンチマークの結果をまとめた。NMB4.0 は新規に開発した燃焼計算手法 OEM (Okamura explicit method) を実装したことで、従来コードに比べてバックエンドのシナリオ解析機能が拡張された。OEM は短半減期核種を含む燃焼計算において課題であった計算コストを各核種の半減期に応じた可変タイムステップを与えることで解決した。NMB4.0 のベンチマークは静的手法と動的手法の両方で実施し、NMB4.0 は既存コードと同等の計算結果を得られることが示された。NMB4.0 の開発により、国産の核燃料サイクルシミュレーションの基盤システムの整備に貢献した。

第4章「21世紀後半の原子力利用シナリオの分析」では、NMB4.0を用いて21世紀後半から22世紀前半における多様な原子力発電シナリオについて解析を行った。特に本研究では、高レベル放射性廃棄物の減容の観点に重点をおいてシナリオを分析した。本章で示したシナリオは、2023年に運転開始を予定している六ヶ所再処理工場から生じる高レベル放射性廃棄物の性状を分析する「六ヶ所再処理工場運転シナリオ」と、21世紀後半から22世紀にかけて原子力発電利用を維持する「原子力継続シナリオ」である。この検討により、将来の原子力発電シナリオ、分離変換技術の導入シナリオ、放射性廃棄物の発生量や処分場面積等が定量的に明示された。特に、核燃料サイクルとMA分離・変換技術の確立が今後の持続的な原子力発電利用のためには重要であることが示された。これらの結果は、今後の原子力政策や研究開発方針を多面的に議論する際に使用可能な基盤的データとして活用されることが期待される。

第5章「結言」では、各章で得られた成果を総括し、本論文の結論を述べた。また、本研究の今後の展望についてもまとめた。

Outline

The quantitative analysis and prediction of the envisioned nuclear utilization scenarios in the future are required for the establishment of an advanced nuclear energy system. On the other hand, there is an issue that the computational system for the analyzing future scenarios of the nuclear fuel cycle in an integrated manner has not been established. In this study, an integrated nuclear fuel cycle simulator NMB4.0 (Nuclear Material Balance analysis code version 4.0), which models the nuclear fuel cycle from the front to the back-end, had been developed. In addition, the nuclear energy utilization scenarios and the specific technical options for the second half of the 21st century were quantitatively clarified by using NMB4.0.

The most significant feature of NMB4.0 is the implementation of a originally developed burnup calculation method OEM (Okamura explicit method), resulting in faster calculations and expanded scenario analysis capabilities compared to existing codes. OEM was developed as an effective method for nuclear fuel cycle scenario analysis codes such as NMB4.0 because it can solve burnup calculations involving short-lived nuclides at a computational cost equivalent to the Eulerian method.

In the scenario study on the nuclear energy power generation for the second half of the 21st century, the various scenarios were analyzed with emphasis on the perspective of high-level radioactive waste management. The scenarios presented in this study were the "Rokkasho Reprocessing Plant Operation Scenario", which analyzes the properties of high-level radioactive waste generated from the Rokkasho Reprocessing Plant, scheduled to start operation in 2023, and the "Continued use of Nuclear Energy Scenario" which maintains the use of nuclear power in the late 21st to 22nd centuries. As a result of this study, future nuclear power generation scenarios, partitioning and transmutation technology (P&T) deployment scenarios, and radioactive waste generation and repository area were quantitatively presented. In particular, it was shown that the establishment of nuclear fuel cycle and P&T are important for the sustainable use of nuclear power in the future. These results were expected to be used as fundamental data to support multifaceted discussions on future nuclear energy policy and R&D policy.

The NMB4.0 developed in this study has been released free of charge in order to establish it as a fundamental system for scenario analysis of the nuclear fuel cycle. The information was also summarized in this document.