

一般セッション | III. 核分裂工学：302-1 新型炉システム

2024年9月11日(水) 14:45 ~ 15:35 G会場(講義棟B棟1F B101)

[1G08-10] 革新的新型炉利用

座長:相澤 康介(JAEA)

14:45 ~ 15:00

[1G08]

三菱多用途モジュール式超安全マイクロ炉の開発

(5) MOOSEフレームワークに基づく予備的な炉心熱解析

*淀 忠勝¹、大槻 昇平¹、小池 武史¹ (1. MHI)

15:00 ~ 15:15

[1G09]

蓄熱式高速炉の売電収入増加効果評価

*高野 和也¹、向井田 恭子¹、山野 秀将¹、安松 直人² (1. JAEA、2. NESI)

15:15 ~ 15:30

[1G10]

ナトリウム冷却材を使用したシリサイド燃料RFBBの燃焼特性

*小原 徹¹、Sambuu Odmaa² (1. 東工大、2. モンゴル国大)

15:30 ~ 15:35

座長持ち時間

三菱多用途モジュール式超安全マイクロ炉の開発

(5) MOOSE フレームワークに基づく予備的な炉心熱解析

Development of Mitsubishi multi-purpose modular ultra-safety micro reactor

(5) Preliminary core thermal analysis based on MOOSE framework

*淀 忠勝¹, 大槻 昇平¹, 小池 武史¹

¹三菱重工業 (株)

三菱重工で開発中のマイクロ炉 (以下、三菱マイクロ炉) に対して、マルチフィジックスの原子炉シミュレーション環境である MOOSE を使い、炉心材料に高配向性グラファイトブロックを適用した全固体原子炉の熱解析を実施した。

キーワード: マイクロ炉

1. 緒言

三菱マイクロ炉[1]は、原子炉の事故要因を極力低減するために、原子炉冷却材を用いず、炉心材料の熱伝導で発電系に熱輸送する全固体原子炉コンセプトを採用している (図 1)。本稿では、MOOSE (Multiphysics Object Oriented Simulation Environment)を用いた全固体原子炉の予備的な熱解析結果を報告する。

2. 炉心熱解析

2-1. コード開発環境

MOOSE は米国アイダホ国立研究所が開発した原子力分野向け解析コード開発環境である[2]。MOOSE には、伝熱や流動など複数の物理現象の解析機能が標準実装されており、コード開発者は解析目的に応じた機能を選択するのみで実行ファイルの生成が可能である。また、コード開発者は標準機能を基に容易に機能追加が可能である。

2-2. コード開発及び解析結果

三菱マイクロ炉の炉心材料は高熱伝導かつ異方性熱伝導の性質を持つ高配向性グラファイトブロックを採用する計画である。

全固体原子炉の炉心温度評価のために、MOOSE の Heat Conduction モジュールを基に異方性熱伝導の評価が可能な 3 次元場の熱伝導解析コードを開発した。予備的な炉心熱解析の結果、燃料から発電系伝熱管まで適切に熱伝導で熱輸送され、炉心温度は黒鉛の温度基準の目安である 1600℃以下の見込みを得た。

3. 結論

MOOSE をベースに炉心温度評価用の解析コードを開発し、全固体原子炉内の炉心温度分布を把握した。今後、三菱マイクロ炉のプラント評価に必要な物理現象を特定し、その評価機能を実装する計画である。

参考文献

[1] 淀 忠勝, 他, “三菱多用途モジュール式超安全マイクロ炉の開発 (1)原子炉概念”, 原子力学会, 2020 年秋の大会

[2] G. Giudicelli, et al, “3.0 - MOOSE: Enabling massively parallel Multiphysics simulations”, SoftwareX, Vol.26, 101690, 2024.

*Tadakatsu Yodo¹, Shohei Otsuki¹ and Takeshi Koike¹

¹MHI

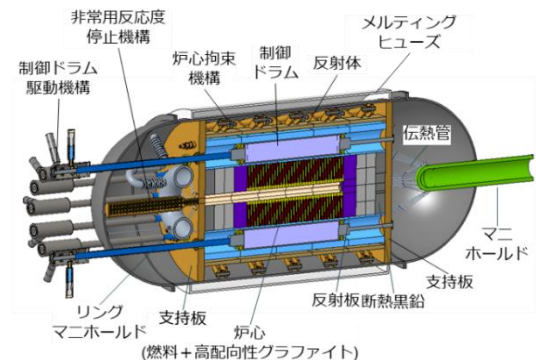


図 1. 三菱マイクロ炉の構成案
(2024 年 9 月時点)

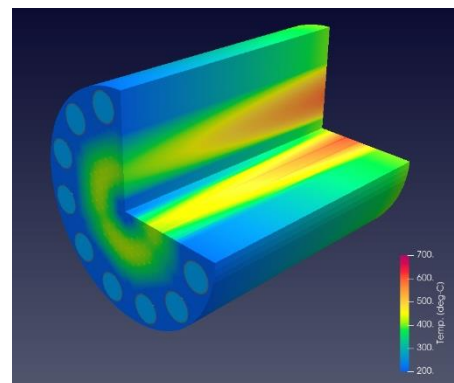


図 2. 炉心温度評価結果

蓄熱式高速炉の売電収入増加効果評価

Evaluation of improvement on electricity selling income with Sodium-Cooled Fast Reactor Coupled to Thermal Energy Storage System

*高野 和也¹, 向井田 恭子¹, 山野 秀将¹, 安松 直人²

¹IAEA, ²NESI

小型ナトリウム冷却高速炉に対して原子炉定格出力の 50%相当を 5.5h に渡り出力可能な規模の熔融塩蓄熱設備を付加し、高速炉と蓄熱設備のシステム全体による発電時間帯を高売電価格帯へシフトすることによる売電収入増加を定量的に評価した。

キーワード：ナトリウム冷却高速炉, 熔融塩, 蓄熱, 売電収入

1. 緒言

ナトリウム冷却高速炉に変動性再生可能エネルギーとの共生という新たな価値を付加すべく、硝酸系熔融塩を熱媒体とした蓄熱技術を組み合わせたナトリウム冷却高速炉の技術開発を進めている^[1]。本報告では、蓄熱式高速炉の経済性評価の一環として、小型ナトリウム冷却高速炉に熔融塩蓄熱設備を付加し、高速炉と蓄熱設備のシステム全体による発電時間帯を高売電価格帯へシフトすることによる売電収入増加を定量的に評価した。

2. 検討内容及び結果

2-1. 検討方法

定格電気出力 300MWe の小型ナトリウム冷却高速炉に、定格出力の 50%相当を 5.5h に渡り出力可能とする規模の熔融塩蓄熱設備を接続することを想定する。売電基本単価としては、2020~2022 年度の日本卸電力取引所 (JEPX) エリアプライスに基づき、各年度年間平均値として評価したエリアプライス日変動データを用いた (図 1)。なお、エリアプライスは東京エリアに加え、再生可能エネルギーの導入が比較的進んでいる九州エリアを対象とした。運転モードとしては図 2 に示すようにエリアプライス日変動データにおいて最低価格時間帯となる 5.5h に蓄熱設備に入熱、最高価格時間帯となる 5.5h に蓄熱設備から放熱するモードと 24h 定格出力 (蓄熱設備無を想定) とするモードを想定して売電収入をそれぞれ評価し、両者の差から蓄熱式高速炉の売電収入増加効果の評価した。

2-2. 売電収入増加効果の評価結果

蓄熱設備導入に伴う売電収入増加率を評価した結果を図 3 に示す。各年度のエリアプライス日変動データの違いにより評価値にはバラつきがあるが、東京エリアでは+5~9%、九州エリアでは+10~12%の売電収入増加効果となった。東京エリアより九州エリアの方が、エリアプライス日変動データにおける最低価格と最高価格の差が大きく、蓄熱設備導入による売電収入への感度が大きい結果となった。

3. 結言

小型ナトリウム冷却高速炉に対して原子炉定格出力の 50%相当を 5.5h に渡り出力可能な規模の熔融塩蓄熱設備を付加し、高速炉と蓄熱設備のシステム全体による発電時間帯を高売電価格帯へシフトすることによる売電収入増加を定量的に評価した。その結果、東京エリアでは+5~9% (年間 18~36 億円の増収に相当)、九州エリアでは+10~12% (年間 28~45 億円の増収に相当) の売電収入増加効果が得られる見込みを得た。蓄熱設備導入に伴う設備コストを評価した際には、本評価を活用して当該コストの回収見通しを得ることも可能となる。

参考文献

[1] Yamano et al., "Development of Safety Design Technologies for Sodium-Cooled Fast Reactor Coupled to Thermal Energy Storage System with Sodium-Molten Salt Heat Exchanger", New Energy and Future Energy Systems, Advances in Transdisciplinary Engineering, Vol.45, pp. 27-34 (2023).

¹Kazuya Takano¹, Kyoko Mukaida¹, Hidemasa Yamano¹ and Naoto Yasumatsu², ¹IAEA, ²NESI

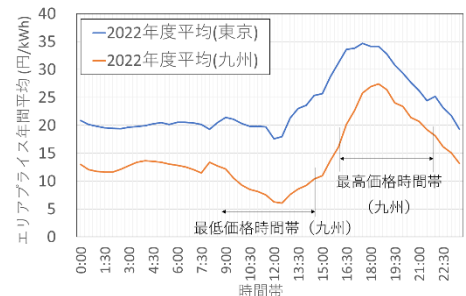


図 1 エリアプライス日変動データ (2022 年度平均)

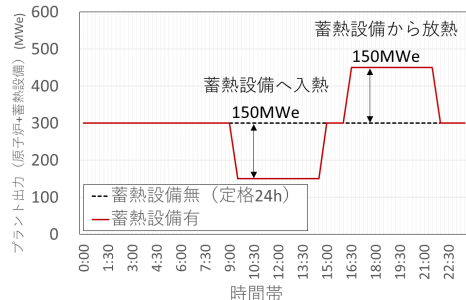


図 2 運転モード (2022 年度、九州エリア)

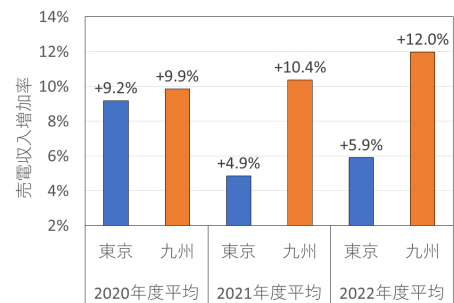


図 3 蓄熱設備付加による売電収入増加効果

ナトリウム冷却材を使用したシリサイド燃料 RFBB の燃焼特性

Burnup Characteristics of Silicide Fueled RFBB with Sodium Coolant

*小原 徹¹, Odmaa Sambuu²

¹東工大, ²モンゴル国大

シリサイド燃料を用いたナトリウム冷却回転型シャッフリングブリードバーン高速炉(RFBB-SS)の炉心成立性を検討した。その結果起動から平衡状態に至るまで臨界を維持することが可能な炉心を設計可能であることが明らかになった。

キーワード： RFBB, シリサイド燃料, ナトリウム冷却, ブリードバーン高速炉

1. 緒言

回転型燃料シャッフリングブリードバーン高速炉(RFBB)は再処理を必要とせず天然ウランまたは劣化ウランを燃料として高燃焼度を達成する原子炉である。近年シリサイド燃料の動力炉利用への研究が行われている。シリサイド燃料は窒化物燃料に比べ重金属密度、熱伝導度に劣るものの窒化物燃料で必要となる同位体濃縮を必要としないというメリットがある。本研究の目的は、シリサイド燃料とナトリウム冷却材を使った RFBB (RFBB-SS)の実現可能性とその燃焼特性を明らかにすることである。

2. 解析

表 1 に原子炉の主要諸元、図 1 に 1/6 炉心の燃料シャッフリングパターンを示す。図 1 のハッチング部分は制御棒アセンブリである。初めに天然ウランのみを装荷した炉心で燃料シャッフリングを行いながら燃料解析を行い平衡燃焼炉心の特性を求めた。次に平衡燃焼炉心の各燃料集合体の中性子増倍率をもとに起動炉心を構成し、新燃料に天然ウランを装荷する燃料シャッフリング繰り返しつつ燃焼解析を行い、原子炉の起動から平衡燃焼に至るまでの炉心特性を解析した。解析にはモンテカルロコード SERPENT 2.1 及び ENDF/B-VII.0 を用いた。

3. 結果

燃料シャッフリングの間隔は実効増倍率の変化を抑制するため、最初のシャッフリングステップまでの間隔を 300 日としたのち、その後第 2 ステップから第 4 ステップまでは 700 日、第 5 ステップから第 11 ステップまでは 900 日、それ以降は 700 日とした。その結果得られた各ステップでの実効増倍率の変化を図 2 に示す。図 2 に示すように、この原子炉は平衡燃焼状態で臨界となる炉心であり、また起動から平衡燃焼にいたるまでも臨界を維持していることがわかる。また起動から平衡燃焼にいたるまでの炉内の出力分布はほとんど変化していなかった。本解析により RFBB-SS の実現可能性が明らかとなった。

表 1 主要諸元

項目	仕様
熱出力	750MW
燃料	U ₃ Si ₂
冷却材	ナトリウム
炉心高さ	180cm
炉心等価直径	200cm
燃料集合体数	324体

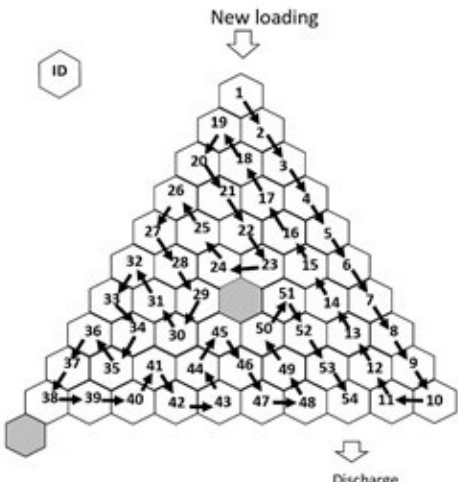


図 1 燃料シャッフリングパターン (1/6 炉心)

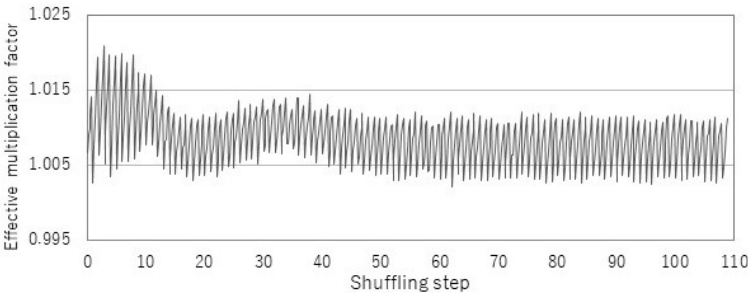


図 2 実効増倍率の変化

*Toru Obara¹ and Odmaa Sambuu²

¹Tokyo Tech, ²NUM