

Oral presentation | III. Fission Energy Engineering : 301-2 Reactor Design, Nuclear Energy Strategy, Nuclear Transmutation

📅 Fri. Sep 13, 2024 10:50 AM - 11:55 AM JST | Fri. Sep 13, 2024 1:50 AM - 2:55 AM UTC 🏢 Room D(Recture RoomsA 1F A106)

[3D06-09] Pu-Thermal Reactor

Chair:Tatsuya Fujita(JAEA)

10:50 AM - 11:05 AM JST | 1:50 AM - 2:05 AM UTC

[3D06]

Future prospects of advanced pluthermal operation for BWR based on domestic reprocessing

(1) Application of the Rokkasho MOX fuel fabrication plant specification pellet to high burnup 10x10 MOX fuel

*Tsugumi Tsuchida¹, Daisuke Goto¹, Kasuhiko Matsumura¹, Manabu Yoshida¹, Junji Matsunaga¹ (1. GNF-J)

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[3D07]

Future prospects of advanced pluthermal operation for BWR based on domestic reprocessing

(2) Application of ATF cladding to high burnup 10x10 MOX fuel

*Manabu Yoshida¹, Daisuke Goto¹, Kazuhiko Matsumura¹, Tsugumi Tsuchida¹, Junji Matsunaga¹ (1. GNF-J)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[3D08]

Future prospects of advanced pluthermal operation for BWR based on domestic reprocessing

(3) Utilization scenarios of light-water-cooled fast reactor (RBWR)

*Sota Araki¹, Tetsushi Hino^{1,2}, Kenichi Yasuda² (1. Hitachi, 2. HGNE)

11:35 AM - 11:50 AM JST | 2:35 AM - 2:50 AM UTC

[3D09]

MA transmutation metal-fueled core concept assuming coexistence scenario with light water reactors

*Koji Fujimura¹, Junichi Miwa¹, Takeshi Mitsuyasu¹, Sho Fuchita², Daisuke Watanabe², Hirotaka Nakahara² (1. Hitachi, 2. HGNE)

11:50 AM - 11:55 AM JST | 2:50 AM - 2:55 AM UTC

Time reserved for Chair

国内再処理に基づくプルサーマル運転高度化の展望について
(1) 六ヶ所国内 MOX 加工工場ペレットの高燃焼度 10×10 燃料への適用

Future prospects of advanced pluthermal operation for BWR based on domestic reprocessing

(1) Application of the Rokkasho MOX fuel fabrication plant specification pellet to high burnup 10x10 MOX Fuel

*土田 嗣美¹, 後藤 大輔¹, 松村 和彦¹, 吉田 学¹, 松永 純治¹
¹GNF-J

GNF-J では 10×10 配列である GNF3 燃料を導入することにより、国内 ABWR の 24 か月運転で燃料の取出平均燃焼度 50GWd/t を実現しようとしている。本研究では、GNF3 燃料形状を用い、日本原燃（株）殿六ヶ所 MOX 燃料工場で取り扱うことができるプルトニウム含有率上限の範囲内において、達成可能な MOX 燃料の運転条件について評価した。

キーワード：原子力、プルサーマル運転、沸騰水型原子力発電所

1. 緒言 BWR におけるウラン燃料濃縮度上限は現在 5wt%であり、この範囲内で燃料集合体の濃縮度を高めていった場合、国内 ABWR の 24 か月運転、取出平均燃焼度 50GWd/t という運転条件が達成可能である。一方、国内の MOX 燃料は 8×8 配列であり、13 か月運転で取出平均燃焼度 33GWd/t というレベルにとどまっていることから、経済性向上及びプルトニウム利用促進のため、MOX 燃料も長期サイクル対応及び高燃焼度化を進めていく必要がある。

2. 炉心特性評価 国内 ABWR を想定した 24 か月運転、取出平均燃焼度 50GWd/t の条件で、GNF3 燃料形状を適用した MOX 燃料を装荷した炉心の炉心特性を評価した。解析コードは LANCR Ver.1/AETNA Ver.1 を用いた。初期核分裂性プルトニウム割合は 55wt%（全数 9×9 燃料の再処理を仮定）と設定し、MOX ペレットのプルトニウム含有率は六ヶ所 MOX 燃料工場で取り扱うことができる BWR ペレット上限値の 17wt%（MOX 燃料工場の事業許可上の制限値は 18wt%）¹⁾を使用した。炉心特性評価の結果、余剰反応度、原子炉停止余裕、最大線出力密度、最小限界出力比等の炉心特性は良好であることを確認した。

3. プルトニウム利用量の評価 現在の 8×8MOX 燃料と今回炉心特性評価を実施した 10×10MOX 燃料のプルトニウム利用量を比較した。燃料集合体 1 体あたりのプルトニウム装荷量は、8×8MOX 燃料から約 2.8 倍となる。また、フル MOX 炉心を想定した場合の年間プルトニウム利用量は約 1.7 倍となる。

4. 結論

六ヶ所 MOX 燃料工場で取り扱うことができる BWR ペレットのプルトニウム含有率制限(17wt%)の範囲内で GNF3 燃料形状を適用した MOX 燃料を用いることで、国内 BWR における 24 か月運転、取出平均燃焼度 50GWd/t を達成できる見通しを得た。

参考文献

[1] 核燃料物質加工事業変更許可申請書（MOX 燃料加工施設），日本原燃株式会社，令和 2 年 9 月 18 日

*Tsumugi Tsuchida¹, Daisuke Goto¹, Kazuhiko Matsumura¹, Manabu Yoshida¹, Junji Matsunaga¹

¹Global Nuclear Fuel-Japan

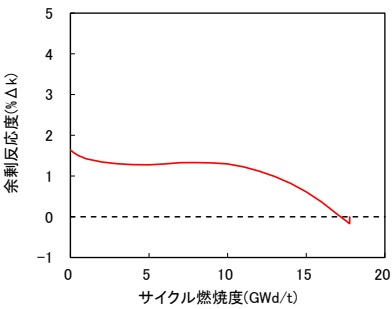


図1 余剰反応度の燃焼変化

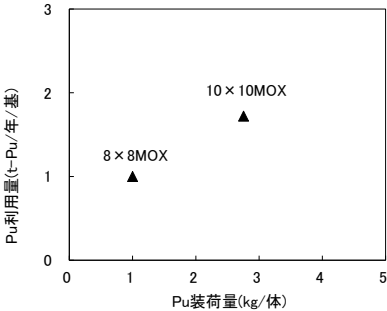


図2 Pu利用量の比較(8×8MOXに対する比)

国内再処理に基づくプルサーマル運転高度化の展望について (2) 高燃焼度 10×10MOX 燃料への ATF 被覆管の適用

Future prospects of advanced pluthermal operation for BWR based on domestic reprocessing

(2) Application of ATF cladding to high burnup 10x10 MOX fuel

*吉田 学¹, 後藤 大輔¹, 松村 和彦¹, 土田 嗣美¹, 松永 純治¹

¹GNF-J

10×10MOX 燃料により、ABWR で 24 か月運転、取出平均燃焼度 50GWd/t を達成できることが示されている。この 10×10MOX 燃料のジルカロイ構造材を、FeCrAl-ODS 材に置き換えた場合の影響について評価した。

キーワード： 事故耐性燃料，プルサーマル運転，沸騰水型原子力発電所

1. 緒言

BWR では運転中に常時発生する蒸気ボイドの非常に大きな反応度フィードバックがあり、また内部を单相減速材で満たすウォータロッドや、多彩な部分長燃料棒設計などによって、BWR の運転条件や燃料仕様に対する適応性は非常に高い。端的な例としては、2 年以上の連続運転や 20%以上の出力密度増加、高富化度プルトリウムや多数回リサイクルされたプルトリウムの全 MOX 炉心利用、トリウム燃料材の利用、ジルカロイ以外の燃料構造材の利用、MA の装荷、RI の製造、などが可能である。このうち本報告では、平均取出燃焼度 50GWd/t の 10×10MOX 燃料において、被覆管に事故耐性燃料材料の一つである FeCrAl-ODS^[1]を適用した場合の、所要プルトリウム富化度や、プルトリウム利用量などのサイクル特性について評価した。

2. 評価条件

1350Mwe 級 ABWR で 13～24 か月の連続運転を条件として平均取出燃焼度 50GWd/t となる燃料設計を実施した。燃料仕様としては、①通常のジルカロイ構造材燃料、②FeCrAl-ODS を被覆管に用いた燃料、③FeCrAl-ODS をチャンネルボックスやウォータロッドにも用いた燃料、の 3 ケースを評価。

3. 評価結果

①②ではペレット最高富化度 17wt%で 24 か月運転までの設計が可能であった。③では 13 か月運転のみ 17wt%で設計でき、24 か月運転では 20wt%が必要となった。プルトリウム利用量は右図のように、例えばケース②では約 3 トン/年となり六ヶ所再処理量の約 45%を 1 基で利用できる。

4. 結論

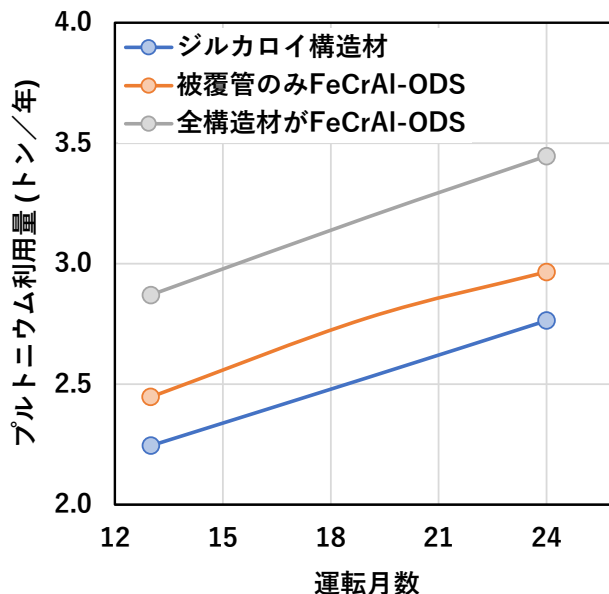
10×10MOX 燃料に FeCrAl-ODS 材を適用しても富化度 17wt%以下で 50GWd/t の設計は可能であり、かつその場合には六ヶ所再処理量の半分近くを ABWR 1 基で利用することができることが分かった。

参考文献

[1] 事故耐性燃料開発に関するワークショップ FeCrAl-ODS 被覆管及び SiC 被覆管の開発，日立 GE，GNF-J，令和 5 年 12 月 14 日

*Manabu Yoshida¹, Daisuke Goto¹, Kazuhiko Matsumura¹, Tsugumi Tsuchida¹, Junji Matsunaga¹

¹Global Nuclear Fuel-Japan



国内再処理に基づくプルサーマル運転高度化の展望について
(3) 軽水冷却高速炉 RBWR の活用シナリオ

Future prospects of advanced pluthermal operation for BWR based on domestic reprocessing
(3) Utilization scenarios of light-water-cooled fast reactor (RBWR)

*荒木 颯太¹, 日野 哲士^{1,2}, 安田 賢一²
¹ 日立, ² 日立 GE

プルトニウム利用推進による使用済燃料の減容、及び高速炉サイクルへのスムーズな移行への寄与をめざした、四角格子燃料型の RBWR（四角格子 RBWR）を開発している。四角格子 RBWR は現行 MOX 燃料よりも Pu 利用量を増加するとともに核分裂性 Pu の減損を抑制する。

キーワード：プルサーマル運転，沸騰水型原子力発電所（BWR），軽水冷却高速炉（RBWR）

1. 緒言

Pu 装荷量を増加することで Pu 利用を促進しつつ、使用済 MOX 燃料体数を削減するとともに、燃焼による Pu-239 の減損を抑制することで長期保管後の Pu の再利用性を高める四角格子 RBWR を開発中である[1]。

2. 炉心特性

図 1 に高燃焼度化を図った 12×12 格子燃料、及び開発要素が少ない 10×10 格子燃料の水平断面と炉心特性を示す。いずれも国内 MOX 加工工場の事業許可上の制限値であるペレット最高 Pu 含有率 18wt%以下で、国内再処理工場フル稼働時に回収される 6.6t/年の Pu の約半分をフル MOX-ABWR 1 基で利用できる。

3. 使用済 MOX 燃料特性

図 2 に使用済 MOX 燃料中 TRU の等価フィッサイルの使用済燃料冷却期間による変化を示す。12×12 格子燃料及び 10×10 格子燃料のいずれも、冷却期間が長期化した場合でも、概ね高速炉[2]で必要となる等価フィッサイルを維持できる。

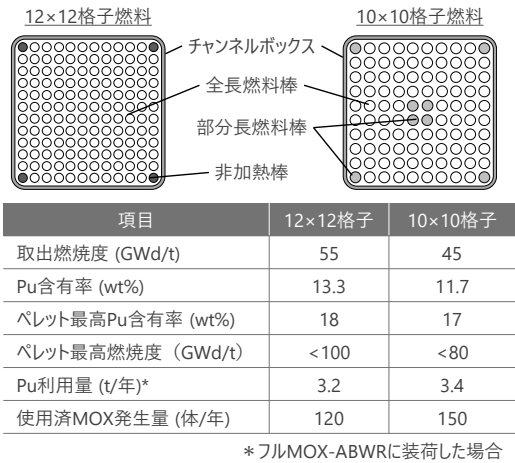


図 1 燃料集集体水平断面と炉心特性

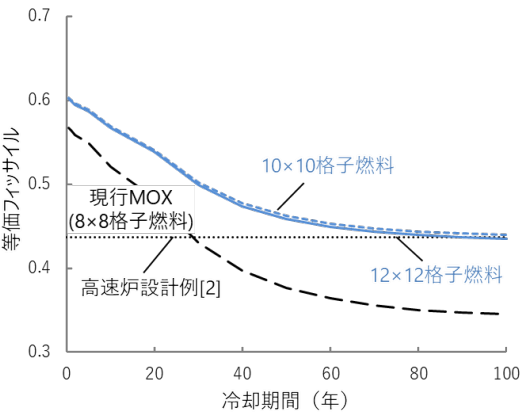


図 2 等価フィッサイルの変化

本報告は経済産業省補助事業「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」の成果を含む。

参考文献

[1] 日野哲士、他 2 名、日本原子力学会誌 ATOMOS 64 (3)、149-151、2022
[2] 高増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズII技術検討書 - (1) 原子炉プラントシステム - (2006)

*Sota Araki¹, Tetsushi Hino^{1,2} and Kenichi Yasuda²
¹Hitachi., ²HGNE.

軽水炉との共存シナリオを想定した MA 燃焼金属燃料炉心概念

MA transmutation metal-fueled core concept assuming coexistence scenario with light water reactors

*藤村 幸治¹, 三輪 順一¹, 光安 岳¹, 湊田 翔², 渡邊 大輔², 中原 宏尊²

¹日立, ²日立 GE

プルサーマル軽水炉の使用済燃料を再処理して金属燃料高速炉に供給しつつ軽水炉と高速炉が持続的に共存できるシナリオを検討している。このシナリオにおいて、軽水炉起源の全てのマイナーアクチニド(MA)を燃焼し、高レベル廃棄物(HLW)の有害度低減を実現するための、MA 燃焼金属燃料高速炉の炉心概念を開発した。MA を炉心の反応度係数への影響が小さな軸方向ブランケットに装荷することで目標値を上回る MA 燃焼量を達成でき、共存シナリオが成立する見通しが得られた。

キーワード: ナトリウム冷却高速炉, 金属燃料, マイナーアクチニド(MA), ボイド反応度, ドブラー係数

1. 緒言

天然 U の供給が当面続いた場合に、軽水炉の運転を継続するには、U 燃料軽水炉に加え、プルサーマル軽水炉の使用済燃料を再処理して回収した Pu をリサイクルする必要がある。プルサーマル軽水炉では核分裂性 Pu (以下 Pu_f) の燃焼が進み同位体組成が劣化するため、リサイクルには限界がある。そこで、プルサーマル軽水炉の使用済燃料(SF)から回収した Pu を高速炉に供給し、高速炉の増殖機能を活用して、Pu 同位体組成の回復をはかり、プルサーマル軽水炉でのマルチリサイクルを実現する軽水炉と高速炉の共存シナリオを検討する。高速炉としては、増殖性能に優れる金属燃料高速炉を想定し、併せて軽水炉で生成される全ての MA を消費して HLW の有害度低減を実現するための MA 燃焼金属燃料炉心概念を開発する。

2. 検討条件・方法

本検討の高速炉炉心は米国で検討された小型金属燃料高速炉の仕様^{[1][2]}に基づき熱出力 840MW の径方向非均質炉心とした。Pu 富化度の上限は 25wt%^[3]、最大線出力の上限は 500W/cm とした。シナリオの検討に用いる軽水炉は文献^[4]に基づき、U 燃料軽水炉は BWR ステップⅢ燃料装荷炉心とし、プルサーマル軽水炉はステップⅡ燃料ベースの 8×8 燃料を装荷するフル MOX ABWR とした。高速炉の炉心燃料の SF の一部とプルサーマル軽水炉の SF 中の Pu を次サイクルの金属燃料高速炉の炉心燃料にリサイクルし、残りの炉心燃料の SF とブランケットの SF から回収される Pu と U 燃料軽水炉の SF の Pu を次サイクルのプルサーマル軽水炉にリサイクルする。各炉型の設備容量を図 1 の値(合計は 35GWe)とすれば、炉型間でやり取りする Pu (Pu_f、偶数核 Pu とも)がバランスし、炉外で蓄積する Pu の増加を回避できる。軽水炉で生成される全ての MA を高速炉で燃焼するための燃焼量の目標値は 100kg/GWe/年となった。

3. 検討結果

MA 燃焼金属燃料炉心の軸方向ブランケット(AB)には MA と同じ富化度の Pu も添加した。図 2 に燃料配置を、表 1 に主要な仕様と炉心特性の評価結果を示す。ボイド反応度の制限(≦8\$)から AB の富化度は 20wt%である。MA 燃焼量は目標値を上回る。基準炉心と同等のドブラー係数が維持できており、過渡解析によって、制御棒誤引抜型の ATWS である UTOP 時の燃料健全性が確保できることも確認した。

参考文献

[1] B. Triplett, et al., Nucl. Technol., 175, 5, (2012).[2] A. Dubberley, et al., Proceedings of ICONE 8, 8002(2000/4). [3] K. Nakamura et al., JNST Vol. 38 No. 2, p.112-119. [4] T. Ihara, et al., Proceedings. of GENES4/ANP2003, 2003(Paper No. 1018).

*Koji Fujimura¹, Junichi Miwa¹, Takeshi Mitsuyasu¹, Sho Fuchita², Daisuke Watanabe² and Hirotaka Nakahara²/

¹Hitachi, Ltd., ²Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

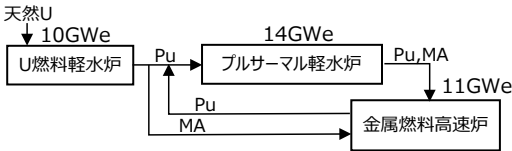


図1 軽水炉/高速炉の共存シナリオ

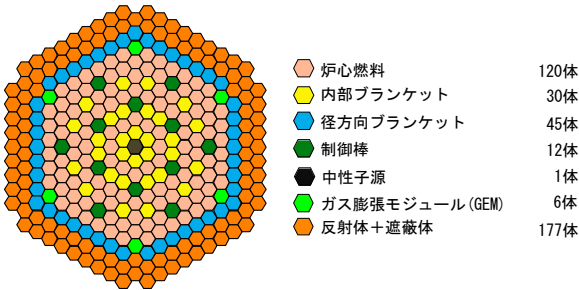


図2 炉心燃料配置

表1 主要な仕様と炉心特性の比較

項目	単位	基準炉心 [炉心燃料に製造・ 照射実績の範囲の 富化度のMAを装荷]	MA燃焼炉心 [ボイド反応度の制限 内で軸方向ブラン ケットにMAを装荷]
出力(電気/熱)	MW	311/840	
連続運転期間	日	580	722
燃料集合体ピッチ	mm	161.4	
燃料棒外径(炉心燃料/IB/RB)	mm	7.44/12.01/12.01	
炉心燃料MA富化度	wt%	4.2	4.2
軸方向ブランケット(MA/Pu)富化度	wt%	0/0	20/20
炉心燃料Pu富化度	wt%	22.3	19.8
MA燃焼量	kg/GWe/年	76	185
ボイド反応度	\$	6.0	7.6
ドブラー係数(炉心燃料)	TdK/dT	-1.76×10 ⁻³	-1.63×10 ⁻³
増殖比	—	1.22	1.14

*IB: 内部ブランケット, RB: 径方向ブランケット