

塩化物熔融塩高速炉の フーズビリティ研究（Ⅲ）

（3）臨界解析

*田原 義壽^{1,2}、千葉 敏^{1,3}

¹東工大、²NAIS、³NAT

目的と解析の条件および手法

目的:

現行設計の700MWt炉心および、より小型の50MWt炉心について原子炉出力、炉心寸法、出力密度およびTRU臨界濃度の関係を明かにする。

解析条件:

(a) 溶融燃料塩の組成: $35NaCl + 35CaCl_2 + (30 - x)UCl_3 + xTRUCl_3$,
 $x: TRUmol数, 0 \leq x \leq 30 mol\%$

(b) 使用済燃料組成:

PWRのUO₂燃料 (3.9 wt%)、取出燃焼度45GWD/t、冷却10年時点⁽¹⁾

解析手法:

連続エネルギーモンテカルロコードSERPENT 2 (Finland VTT)⁽²⁾

核データライブラリ(米国のENDF/B-VIII.0)⁽³⁾

(1) Y. Ando, H. Takano, "Estimation of LWR Spent Fuel Composition, JAERI-Research 99-004, (1999); (2) Leppänen, J., et al. (2015) "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." Ann. Nucl. Energy, 82 (2015) 142-150; (3) Jeremy Lloyd Conlin, et al., "Release of ENDF/B-VIII.0-Based Ace Data Files," LA-UR-18-24034, May 23, 2018.

700MW炉心のTRU臨界濃度の評価

－ 形状と評価方法－

解析幾何形状：

プラントイメージ(図-1)で配管を省略した解析モデル(図-2)を使用した。

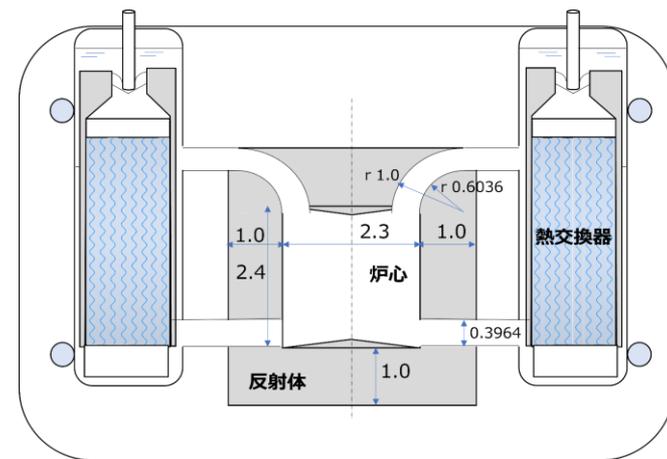


図-1 プラントイメージ

TRU臨界濃度の評価方法

- ① 燃料が1次系を循環する効果を見せず、 $k_{\text{eff}}=1.0$ を臨界とする。
- ② TRU濃度を仮定して原子数密度を求め、SERPENT2で k_{eff} が1.0になるまで濃度を変更して繰り返し計算を行う。

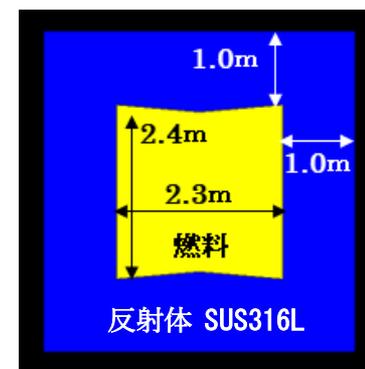


図-2 解析モデル

700MWt炉心の臨界富化度の評価

－ 結果 －

- (1) 現行設計の700MWt炉心（出力密度72.2W/cc）では、米国の核データライブラリを用いた場合、臨界TRU濃度は7.49mol%となった。
- (2) 核データライブラリ間の実効増倍率の差は大きく、この原因となる $^{35}\text{Cl}(n, p)$ 反応断面積の測定と評価が必要である⁽⁴⁾。

表-1 実効増倍率の比較

核データライブラリ	K_{eff} (7.49mol%TRU)	ΔK (%)
ENDF/B-VIII.0 (米)	0.99947 ± 0.00016	0.0 (基準)
JEFF-3.3 (欧)	1.00215 ± 0.00015	+0.27
JENDL-4.0 (日本)	0.98795 ± 0.00015	-1.15
JENDL-5.0 (日本)	1.02504 ± 0.00015	+2.56

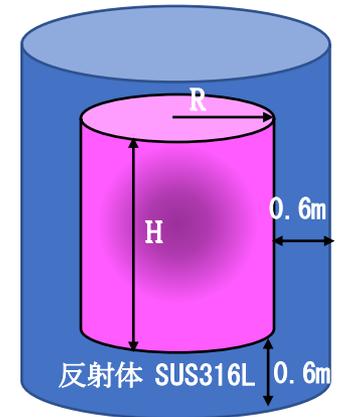
(4) 田原、稲倉、千葉, “塩化物を用いた熔融塩高速炉の炉心特性と ^{35}Cl 核断面積の影響,” 2021日本原子力学会秋の大会, 2116.

50MWt炉心のTRU臨界濃度の評価

— 形状と評価方法 —

炉心幾何形状：

TRU濃度14～20mol%の燃料を持つ反射体付き円筒炉心(図-3)とし、炉心の大きさは最小臨界炉心とした。



最小臨界炉心の決定方法

図-3 50MWt炉心形状

① TRU濃度に対する燃料の材料バックリングを決定する(5,6)。

$$B_m^2 = \left(\frac{\pi}{R_{vac}^{sph} + d} \right)^2 = \left(\frac{\pi}{\tilde{R}_{vac}^{sph}} \right)^2 \quad d \cong 0.71 \times \frac{\Sigma_t}{\Sigma_s \Sigma_{tr}} \quad vac: 真空, sph: 球$$

② 材料バックリングに対応する裸の円筒原子炉の最小臨界寸法を決定する(Lagrangeの未定乗数法)(7)。

$$\tilde{H}_{vac} = \pi \sqrt{\frac{3}{B_m^2}} = \sqrt{3} \tilde{R}_{vac}^{sph} \quad \tilde{R}_{vac} = v_0 \sqrt{\frac{3}{2B_m^2}} = \frac{v_0}{\pi} \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \tilde{R}_{vac}^{sph}$$

③ 反射体を付けて臨界寸法を決定する。

50MWt炉心の最小臨界炉心の評価

— 結果 —

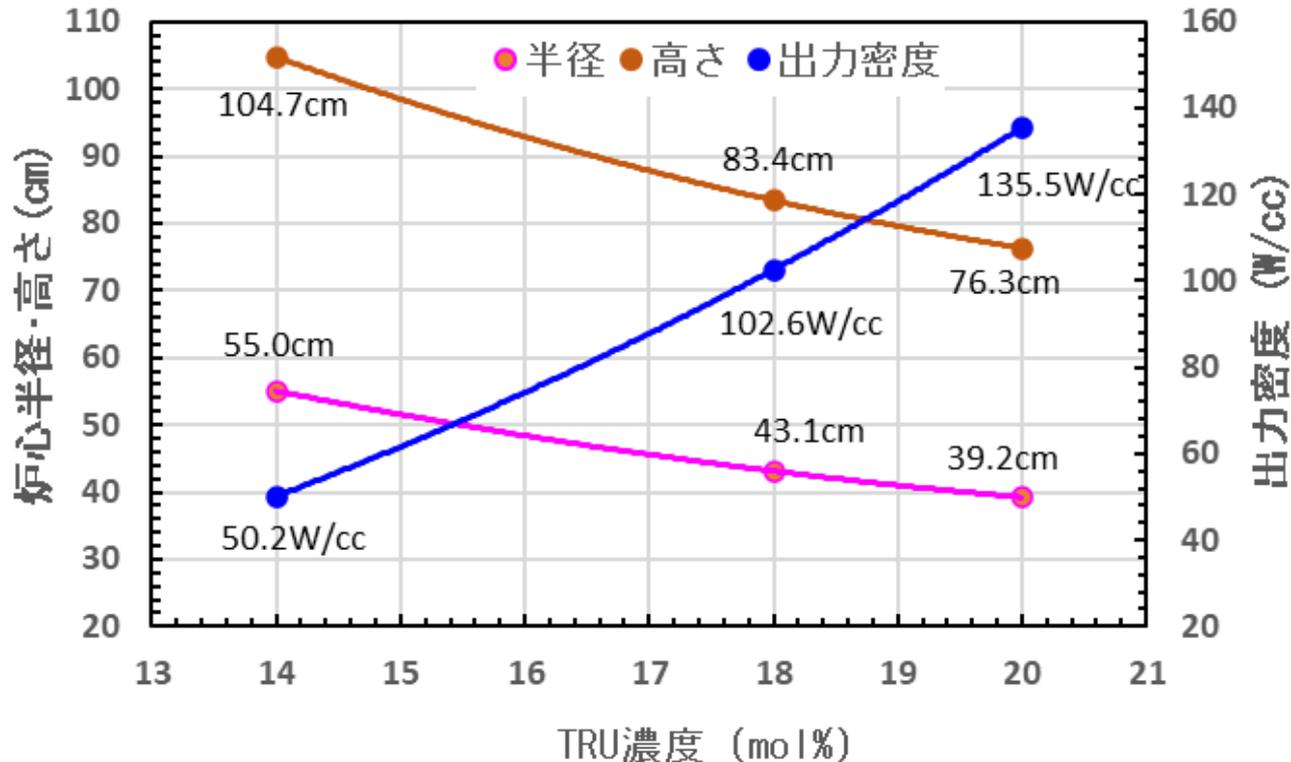


図-4 50MWt炉心の最小臨界炉心寸法とTRU濃度

- 50MWt炉心ではTRU濃度14~20mol%の範囲で寸法、出力密度の観点から妥当な炉心が構築できることが確認された。

結論

[I] 700MWt炉心

- ① ENDF/B-VIII.0を用いた場合臨界TRU濃度は7.49mol%であった。
- ② JENDL-5を用いた場合、 k_{eff} に2.56% Δk の差が表れた。
- ③ この大きな差の原因は、 ^{35}Cl の(n, p)反応にあるため、断面積の測定と評価(共分散行列を含む)が望まれる。

[II] 50MWt炉心

- ① TRU濃度14~20mol%の燃料に対し最小臨界炉心寸法を決定した。
- ② TRU濃度14~20mol%の範囲で寸法、出力密度の観点から妥当な炉心が構築できることが確認された。
- ③ 今後、供給燃料濃度の妥当性の検討が望まれる。

今後望まれる検討事項

検討事項案

- ① Cl^{35} の反応断面測定のための測定方法の検討。
- ② Cl^{35} の反応断面積評価のための臨界実験方法の検討。
- ③ 起動・停止・定常・負荷変動を含めた運転方法と制御方法の検討
[燃料供給方法、燃料再処理および熱流動解析を含む]

将来的検討事項

核的には基本的に問題ないという実証を行う。

- ① Cl^{35} の反応断面積の測定と理論的評価。
- ② 臨界実験による Cl^{35} の断面積評価の妥当性検証。
- ③ 熔融塩燃料のサンプルの照射試験と照射後試験による燃焼特性の実証。