

塩化物溶融塩高速炉のフィージビリティ研究 (IV)

(1) 研究概要

Feasibility Study of Integral Molten Chloride Salt Fast Reactor (IV)

(1) Outline of the Study

*山脇 道夫¹, 望月 弘保¹, 石塚 知香子², 中瀬 正彦², 三田地 紘史¹, 島津 洋一郎¹,
有田 裕二³, 村上 毅⁴, 小山 正史⁴, 福元 謙一³, 後藤 琢也⁵

¹次世代エネルギー研究・開発機構, ²東工大, ³福井大, ⁴電中研, ⁵同志社大

塩化物溶融塩燃料を用いた統合型溶融塩高速炉 Integral Molten Salt Fast Reactor (IMSFR) システムを提案している。安全性、TRU 燃焼特性、TRU 三段消滅特性、燃料塩の熱物性、燃料再処理、材料の腐食等の観点から研究を行っている。

キーワード： 溶融塩高速炉、第4世代原子炉、塩化物燃料、固有の安全性、TRU 燃焼、乾式再処理

研究概要：

①安全解析：制御棒を有しない溶融塩高速炉は、FP 除去で注入する He 気泡のため二相流状態である。種々の過渡事象を、安全保護系がバイパスされた条件で RELAP5-3D と核動特性モデルを UDF で結合した FLUENT を用いた核熱連成モデルで解析した。過渡事象は、UTOP, USBO, ULOFF, ULOHS である。

②燃焼特性解析：PWR 使用済燃料組成の燃料塩を装荷した溶融塩高速炉の燃焼特性をモンテカルロコード Serpent 2 を用いて解析し、核変換特性の比較を行った。溶融塩高速炉は他の炉型の高速炉に比べ約 2 倍の燃料を装荷する必要があるが、同一出力のナトリウム高速炉と同等以上の性能を有することが明確になった。

③廃棄物処分方法検討：塩化物溶融塩高速炉の導入に際しては、再処理、廃棄体化、処分までのシステムをあらかじめ考えておくことが必要であるため、俯瞰的に塩化物燃料高速溶融塩炉から発生する廃棄物とその処分について、文献調査をベースに調査と考察を行った。

④小型溶融塩炉による TRU 三段消滅方式の検討：長寿命核廃棄物 TRU を有効に減容するため、700MWt 炉を組み合わせた三段消滅方式を検討した。He 気泡分散燃料塩を用い、燃料塩塩素が天然塩素の場合と Cl-37 の場合について、消滅比 (TRU 消滅量/TRU 投入量) と燃焼率 (1 GW・1 年あたり TRU 燃焼量) を求めた。

⑤塩化物燃料物性評価：FP との間で高融点の複合塩化物や白金族系化合物が生成する可能性が示されたが、その生成量はそれぞれ 0.5wt% よりも小さいことから影響は少ないものと期待される。しかしながら温度低下部分で析出する可能性もあり、今後溶解度等の補強データ取得や析出挙動などの確認が必要である。

⑥再処理プロセス構築に必要な塩化物溶融塩/液体金属間におけるアルカリ・アルカリ土類の分配挙動測定：アルカリ元素(Cs および Na) およびアルカリ土類元素(Sr および Ca) について、液体 Bi 電極を用いて電気化学的に回収した場合および還元抽出反応により液体 Bi 中に回収した場合の溶融 NaCl-CaCl₂/液体 Bi 間における分配挙動を測定した。

⑦塩化物共晶塩と Ni 基合金の Ni イオン照射後腐食試験による照射下共存性研究：Hastelloy 合金の照射組織について調べるため Ni セルフイオン照射を行い、照射欠陥種類や発達組織について知見を得た。腐食量計測では照射欠陥が導入されていることによって腐食速度や腐食深さは大きく変化しないということが分かった。Ni イオン照射材では C276 材と N 材ともに照射欠陥に大きな違いは見られなかった。

⑧腐食挙動試験及び解析：種々の想定される FP が含まれた模擬混合溶融塩中でのハステロイ系合金の腐食挙動解析と電気化学的挙動解析後に各種材料評価で分析評価により材料寿命評価を行った。その結果、溶融塩と触れる構造材料の腐食挙動は、材料を構成している主要な元素のレドックスポテンシャルと溶融塩中に含まれる元素のレドックスポテンシャルの差が大きいほど、腐食反応が進行しないことを明らかにした。

謝辞：本研究は、経済産業省の令和5年度「社会的要請に応える革新的原子力技術開発支援事業」の一環として、原子力研究開発機構から委託を受けて実施したものである。

*YAMAWAKI Michio¹, MOCHIZUKI Hiroyasu¹, ISHIZUKA Chikako², NAKASE Masahiko², MITACHI Koshi¹, SHIMAZU Yoichiro¹, ARITA Yuji³, KOYAMA Tadafumi⁴, MURAKAMI Tsuyoshi⁴, FUKUMOTO Ken-ichi³, GOTO Takuya⁵

¹Beyond Energy Research & Development Association (BERD), ²Tokyo Tech, ³Univ. of Fukui, ⁴CRIEPI, ⁵Doshisha Univ.