

トリウム溶融塩炉はプルトニウムを消滅できるか？

Can Thorium Molten-Salt Reactors Extinguish Plutonium?

*廣瀬保男¹

トリウム溶融塩でプルトニウムや超ウラン元素を燃焼しようとする試みが市民にもはやされているが、①核物質三フッ化物の溶解度、②超ウラン元素核分裂に伴う化学反応、③核物質の供給方法などの技術的・制度的観点で、期待されるように消滅できないことを説明する。

キーワード：溶融塩炉、トリウム溶融塩炉、プルトニウム消滅

1. 緒言

トリウム溶融塩増殖炉 (MSBR) は Th を燃料資源とする方法として ORNL で開発され、経済的理由で高濃縮 U の代わりに民生用 Pu で始動する条件が検討された。その後 Th - ²³³U サイクルが超ウラン元素を生成しないことから Pu 燃焼に転用する意図が生まれたが、技術的な裏付けに乏しいことが見過ごされている。

2. 検討結果

2.1 超ウラン元素三フッ化物の溶解度

溶融塩炉の安全性を担保するための本来の設計基準は、Pu で立ち上げる場合を含めて燃料塩が共融混合物であり (MSBR の場合に 500°C)、全成分が共融点で固化することを条件にして凝固弁と抽出タンクを設置している。しかし、MSBR 開発停止後、Th 溶融塩炉で Pu を燃焼して ²³³U を作る ORNL の思い付き¹⁾を含めて、Pu の溶解を確保するため炉心入口温度から少し低い温度 (その後 50°C で常態化) で PuF₃ だけが固化しなければよいものと解釈し、それでも凝固弁と抽出タンクで安全性を担保できると誤解され²⁾、無批判に模倣されている傾向がある。

2.2 超ウラン元素三フッ化物の核分裂に伴う化学変化

UF₄ の核分裂が燃料塩を酸化性にする (0.8 個の遊離フッ素を生成する) ことは核分裂生成物の収率と化学的挙動から想定された通りに溶融塩実験炉 (MSRE) の運転で確認され、UF₃ を経た不均化反応による金属 U の生成がなく、UF₄/UF₃ を酸化還元緩衝対とし、燃料塩に金属 Be を溶解して濃度比を管理できるとして溶融塩炉の成立性が確認できた。一方、PuF₃ の核分裂は当時の核分裂生成物収率情報が不完全で単に結合フッ素数が少ないことから燃料塩を還元性にするものと予断された³⁾。PuF₃ の核分裂寄与が 1% にも満たない MSRE の運転では確認する術がなかったにも関わらず PuF₃ は不均化反応を起こさないことから事実確認は看過された⁴⁾。著者らは PuF₃ の核分裂でも燃料塩を酸化性にすることを予想し⁵⁾、理論的にも中性子エネルギーに係わらず約 0.6 個の遊離フッ素を発生することが推定された⁶⁾。

2.3 超ウラン元素三フッ化物の装荷に係る技術と制度

溶融塩炉は核分裂物質を必要に応じて装荷できるということが好ましい機能であると誤解されている。それは核分裂性 UF₄ の装荷に係る特徴であって、UF₄ 固体あるいは LiF-UF₄ 共融混合物として MSRE で実績がある。しかし、Pu を MSRE に追装荷する場合には 30g-Pu バッチの PuF₃ 粉末を燃料塩ポンプ室内で溶解するために 3 時間を要している。LiF-PuF₃ 共融混合物は液相温度 (743°C) が炉心温度より高い。さらに、決定的なことは、少なくともわが国では分離プルトニウムの化合物を供給できる制度のないことが無視されている。

2.4 UF₆ 揮発分離法への過信

UF₆ 揮発分離法は MSRE で Pu-0.56kg を含む 4,730kg の燃料塩から 218kg の U を、4,200kg の洗浄塩から 6.5kg の U を回収したが、F₂ 利用率は 49% と 7% であった。処理中に発生する腐食生成物のうち揮発する Mo は 6.04kg と 0.99kg であったが、溶出する Ni、Fe、Cr は 7.85kg と 3.6kg であり、H₂ 吹込み (効率 2%) だけで還元除去できず、金属 Zr 箔添加 (1~5kg) が必要であった⁷⁾。F₂ 吹き込みで多量の Pu が PuF₄ となっている系で腐食生成物を除去し、PuF₃ を含んだ燃料塩を再生するための処置を考慮しなければならない。

2.5 超ウラン元素燃焼炉の概念例

CNRS を中心に EURATOM が開発する TRU 始動 Th 溶融塩高速増殖炉 (MSFR) は最近の設計見直しで燃料塩の共融点 (584°C) において溶解できるように TRU 量を低減し、UF₄/UF₃ 緩衝対で酸化還元電位を管理する目的で初期の TRU 核変換効率を大幅に犠牲にしても燃料塩に濃縮ウランを添加することにした⁸⁾。

熱中性子炉の FUJI-Pu は Pu を追装荷しながら燃焼し 900 日毎に残った TRU から ²³³U を分離回収するが、酸化還元緩衝対がなく、必要な Be 溶解量が多い。転換量は大きい、Pu 核転換率は 30% に満たない⁹⁾。

3. 結論

(1) TRU を生成しないことを拠り所とする TRU 燃焼用トリウム溶融塩炉は技術的・制度的に未成熟であり、Pu はおろか TRU を消滅するというに値しない。トリウム溶融塩炉は本来のトリウム資源活用に利用したほうがよい。

(2) 軽水炉の運転で生成する TRU 全量を U-Pu 溶融塩高速増殖炉¹⁰⁾ に閉じ込めて核拡散を不可能にし、減損 (回収) ウランを消費して核のゴミとエネルギー確保問題を解決し、温暖化ガス発生抑制に役立てるべきである。

参考文献：¹⁾ Engel, et al., ORNL-TM-6415 (1979), ²⁾ 日本原子力学会編、溶融塩増殖炉 (1981), ³⁾ Tohma, ORNL-TM-2256 (1959), ⁴⁾ Toth, et al., ADTTA (1994), ⁵⁾ Hirose, et al., GLOBAL'01, ⁶⁾ 島津他, 2015 秋の大会 B-20, ⁷⁾ ORNL-TM-2578 (1969), ⁸⁾ EVOL final report (2015), ⁹⁾ Yoshioka, et al., TEAC 2010, ¹⁰⁾ 廣瀬他, 2015 春の年会 K-38.

*Yasuo Hirose¹

¹Retired.