

ボイドを利用した溶融塩高速炉の反応度制御

Reactivity control of molten salt fast reactor using voids

*望月 弘保¹, 中瀬 正彦¹

¹東京工業大学 科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所

核分裂生成ガス除去システム用の He 気泡を利用して溶融塩高速炉の起動を制御し炉停止余裕を確保する方法に関して核熱連成解析を実施して予備検討した

キーワード：溶融塩高速炉、反応度制御、炉停止余裕、核分裂生成ガス除去システム、He ガスバブリング

1. 緒言：塩化物溶融塩高速炉 MCSFR では、燃料が核分裂する際に Xe 等の気体が発生する。この気体は、中性子吸収断面積が大きく、反応度に大きな影響を与える。したがって、溶融塩炉では He ガスのバブリングによって Xe を除去する必要がある。溶融塩炉の密度反応度係数は、大きな負の値であるため、ボイドが炉心に存在すると負の反応度が投入される。この事を利用して制御棒を有しない溶融塩高速炉の起動を行い、また原子炉が安全に停止された後の反応度の安全余裕を確保する事を検討する。

2. 評価体系と解析モデル：MCSFR の炉心は、直径が 2.3 m、高さが約 2.4 m の円筒状であり、入口管から約 850 K の溶融燃料塩が流入し、1 m/s 前後の速度で上昇して約 100 K の温度上昇をする。熱輸送系は、図 1 に示すように、炉心部の 1 次系、冷却溶融塩で蓄熱槽を有する 2 次系とガス発電システムの 3 次系から構成される。炉心の入口管からは数mmの He 気泡を噴出して Xe 等の気体を除去するシステムが設置される設計になっている。この時の He のボイド率は検討中であるが、例えば 0.4%として原子炉が停止した場合の炉停止余裕の大きさを評価する。計算は、図 1 の体系をそのままモデル化して RELAP5-3D の核熱結合モデルを用いて実施する。この時の炉心の状態は、2 成分 2 相流であるが、予備検討である事及びボイド率が非常に小さいため、単相の流れを仮定して解析する。

3. 解析結果：これまでの核解析によって、代表的な溶融燃料塩に対して、密度反応度係数は 12.5 pcm/kg/m^3 であると評価されている⁽¹⁾。これから、運転条件での燃料塩密度が 3000 kg/m^3 である場合に、ボイド率が 1%増加すると、 -375 pcm (-1.8%) の反応度フィードバックがあると評価される。まず、700 MWt の定格運転状態で 4%までのボイド率上昇がある場合を解析し、3%までは部分出力にとどまることが判明した。炉停止中の溶融燃料塩流量が定格の 1/10 でありボイド率が 4%と仮定し、ガス流量は変化させず燃料塩流量のみを増加させた場合の炉心出力変化を計算した。溶融燃料塩の流量が定格流量 12300 kg/s まで増加するに伴い、ボイド率は 0.4%まで低下するため、約 1350 pcm (6.5%) の反応度が印加される。実際の出力上昇は 1 日程度で実施するが、時間を約 10 倍加速して調べた結果を図 2 に示している。流量を直線的に増加させることによって出力が緩い曲線状に上昇している。

定格で運転されている溶融塩高速炉の燃料循環ポンプが停止した場合、原子炉出力は崩壊熱に移行する事が評価されている。逆に燃料塩流量が自然循環流量域まで低下することによって、原子炉は自然に停止し、ボイド率が 4%近く変化して約 -6.5% の大きな負の反応度余裕が加えられる。

4. 結言：崩壊熱出力 1/10 低流量運転状態で 4%相当の He ボイドを炉心に注入することにより、溶融燃料塩流量を定格流量まで増加させることによってボイド率を低減させ、原子炉を起動する事ができる。

参考文献：(1) 平野、他 3 名、日本原子力学会 2022 年秋の大会、1G06.

* MOCHIZUKI Hiroyasu¹, NAKASE Masahiko¹

¹Laboratory for Zero-Carbon Energy, Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology

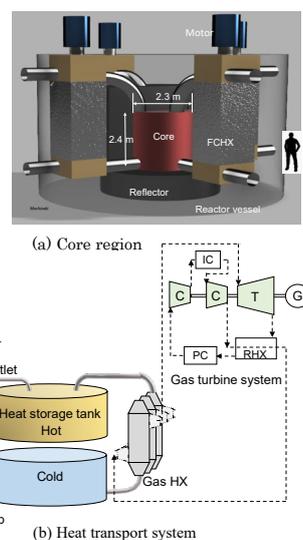


図 1 溶融塩高速炉の解析体系

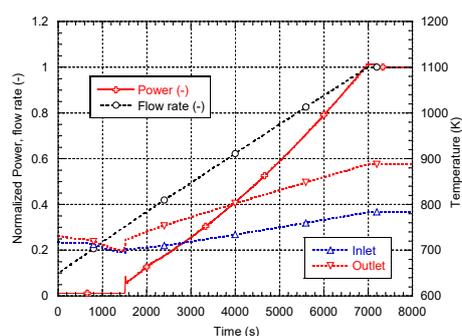


図 2 原子炉起動を模擬した解析結果