

リサイクル燃料の輸送・貯蔵

背景・目的

わが国では、原子力発電後の使用済燃料は再処理し、リサイクルすることが基本方針とされており、原子力委員会の新大綱策定会議でも中間貯蔵の重要性が指摘されている。

本課題では、原子力発電所の安定運転および柔軟な原子燃料サイクル路線を支援するため、経済的で信頼性の高い長期・大容量貯蔵技術として有望なキャニスタを用いたコンクリートキャスク方式の貯蔵施設の実用化を促進する。また、実績のある輸送・貯蔵兼用金属キャスクについては、将来の貯蔵後輸送に備え、金属ガスケットの密封機能の経年変化評価手法を確立する。

主な成果

1. キャニスタの塩化物応力腐食割れ評価法の開発

自然換気を利用したコンクリートキャスク貯蔵施設では、使用されるキャニスタ表面の塩化物応力腐食割れ（SCC）による密封機能の喪失がない設計や検査技術の実証が残された課題である。SUS304L等の従来材を使用したキャニスタについて、SCC発生防止基準およびき裂進展管理基準による密封機能評価シナリオを構築し、設計貯蔵期間（60年）に対してキャニスタが成立する環境条件（図1）や溶接残留応力低減によるSCC抑制技術について見通しを得た [N10035]。また、非接触かつ遠隔での計測が可能なレーザー誘起ブレイクダウン分光法（LIBS）により、SCC発生限界塩分濃度を定量的に検出できること（図2）を世界に先駆けて示し、定期監視への応用技術として有望であることを示した。本成果は学会標準・規格に反映させる予定である。

2. 貯蔵施設への塩分流入低減技術の開発

自然換気を利用した貯蔵施設では、コンクリートキャスク内部に入る海塩粒子を低減することによるSCC対策も有効な選択肢である。そこで、貯蔵施設の除熱性能に影響を与えない低圧力損失で高い塩分捕獲率を有する塩分流入低減装置を開発し、実環境下での長期にわたる性能評価データを取得し、その有効性を確認した [N10024]。

3. 金属キャスクの内部雰囲気ガス分析評価による長期間貯蔵燃料の健全性評価

米国アイダホ国立研究所（INL）で約25年間実貯蔵中の金属キャスクの内部雰囲気ガス分析の情報収集を行い、 ^{85}Kr の測定による使用済燃料の健全性評価（図3）、および長期間貯蔵した場合の破損燃料の検出方法の妥当性を確認した [L10017]。

4. 金属キャスクの密封機能の経年変化評価

金属キャスクの密封機能は金属ガスケットにより保持される。金属ガスケットの残留反発力と漏えい限界反発力との比較による密封寿命の定量的な評価手法を確立し、貯蔵中の金属キャスクの温度管理記録に基づく貯蔵後の金属ガスケットの劣化状態を明らかにした（図4）。また、実物大金属キャスク蓋部モデルを用いて、蓋の締め付け手順が密封性能に及ぼす影響を明らかにし、作業手順等の重要性を明らかにした。

（本成果の一部は、経済産業省原子力安全・保安院からの受託研究として実施した。）

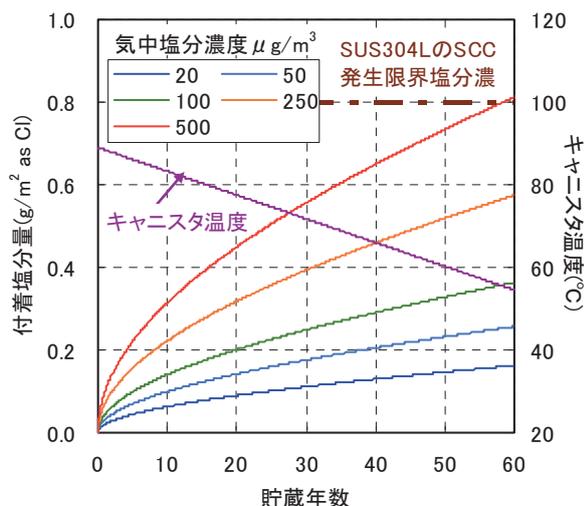


図1 貯蔵年数とキャニスタ表面に付着する塩分量との関係

SUS304L材のSCC発生限界塩分濃度は0.8g/m² as Clであり、気中塩分濃度が0.5mg/m³を下回る環境であれば、SUS304L製キャニスタを用いたコンクリートキャスク貯蔵(60年)の成立性が期待できる。



燃料タイプ	PWR
集合体タイプ	15×15 (21体)
燃焼度	30～36 GWd/tHM
冷却時間	2.2～3.8年
濃縮度	2.9～3.1 wt%
平均発熱量	28.4 kW

図3 INLで内部雰囲気ガス分析を行っているCASTOR-V/21型金属キャスクとその燃料仕様
INLで実貯蔵中の乾式キャスクのうち、PWR使用済燃料を収納したCASTOR-V/21を対象とした。1985年から2010年までの貯蔵期間を通して実施したCASTOR-V/21の内部雰囲気ガスに含まれる⁸⁵Kr濃度の測定値は、燃料破損時の濃度に比べ極めて低く、1999年に実施した使用済燃料の目視検査でも異常はなく、現在まで燃料の健全性は維持されている。

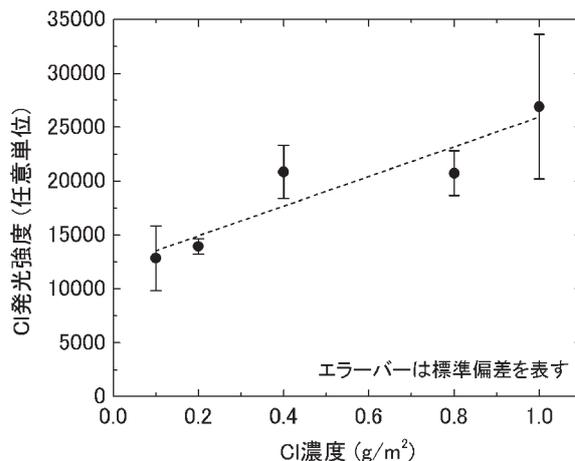


図2 LIBSによるダブルパルス計測におけるCl濃度に対するCl発光強度依存性

元素の励起効率が高くなるダブルパルス計測をCl濃度の異なるSUS304L試験片に対して行い、計測した範囲(0.1～1.0g/m²)においてClの発光強度がCl濃度に比例することおよびClを十分に励起させることにより定量計測できることが分かった。

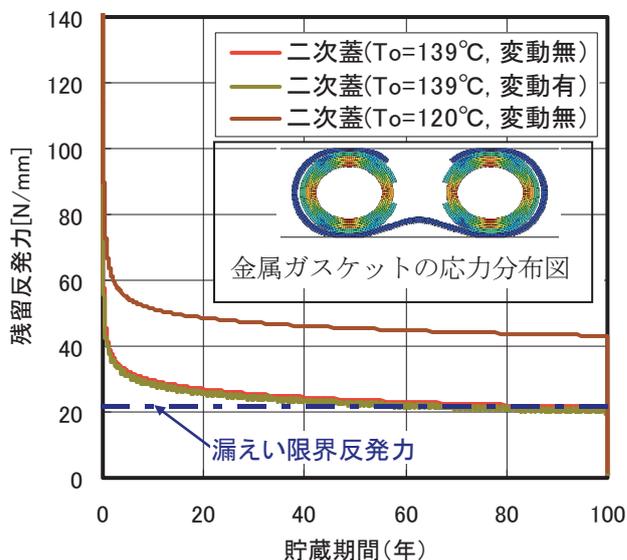


図4 実物大金属キャスクを対象としたアルミ製金属ガスケットの応力緩和解析

ガスケット用アルミニウムA1050-O材の高温圧縮クリープ試験よりクリープ構成式を構築し、実貯蔵で想定される温度履歴を考慮した応力緩和解析を実施した。初期温度139°C、60年経過時点で、残留反発力は漏えい限界反発力22N/mmを上回っており、金属ガスケットの長期密封性能の信頼性が確認された。