

重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

使用済燃料の長期貯蔵管理技術の開発

背景・目的

原子力発電所から出る使用済燃料は、再処理するまでの間、安全に中間貯蔵する必要がある。さらに、貯蔵量の増大や貯蔵期間の長期化に備えることも重要である。中間貯蔵の方式として、金属キャスクを使った乾式貯蔵は、国内外で数多くの実績があるが、今後、貯蔵期間中の経年劣化を考慮した貯蔵後輸送の安全性を明らかにする必要がある。また、米

国等で実績があり、経済性の観点で優れたコンクリートキャスクの実用化が望まれている。

本課題では、金属キャスク密封部の経年劣化に着目した評価手法を開発するとともに、コンクリートキャスクの実用化上の課題であるキャニスタ*1溶接部の応力腐食割れ(SCC)に関する対策技術や溶接検査方法を確立することで、使用済燃料の安全な中間貯蔵の実施に資する。

主な成果

1 金属ガスケットの長期密封性能評価手法の開発

金属ガスケットの長期密封性能評価に必要なデータを取得するため、断面径の異なる二種類の銀被覆のガスケットを用いた応力緩和試験を実施した^[1]。温度一定条件では、試験時間50,000時間以上経過後の金属ガスケットの

残留線荷重は、材料のクリープ特性を表すラーソン・ミラー・パラメータ(LMP)と高い相関があることを明らかにした(図1)。この結果に基づく長期密封性能評価手法の開発を通じて金属キャスクの貯蔵期間の長期化に寄与する。

2 コンクリートキャスクの日本機械学会規格改訂案の作成

使用済燃料を収納するキャニスタ一次蓋の初層溶接は、水蒸気環境下で欠陥が生じる可能性がある。水蒸気環境下での溶接試験を行った結果、溶接時のバックシールドガスの流量の安定性や酸素濃度管理(5%以下)が不十分な場合、初層溶接部に割れが発生する恐れ

があることを明らかにした(図2)。この結果を含め当所の成果は、2013年度作成のキャニスタ構造に関する日本機械学会規格*2の改訂案に反映された。今後、民間規格の整備を通じてコンクリートキャスク貯蔵の実現に寄与する。

3 キャニスタ表面塩分量遠隔計測機器の開発

貯蔵期間中のキャニスタのSCC発生をモニタリングするためには、キャニスタ表面の塩分量検査の実施が有効である。検査手法として、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)が有力であることを確認しているが、キャニスタとコンクリート容器との狭隘な間隙に機器を

挿入しての遠隔計測が課題となっていた。そこで狭隘部で上下に移動可能な機器を考案・試作し、性能確認試験を行った(図3)。その結果、レーザー光を実機で想定される約22m伝送した場合でも、塩分量を計測できることを確認した[H13004]。

4 ヘリウム漏えいを考慮したキャニスタ内熱流動解析モデルの構築

貯蔵中のキャニスタの密封性能をモニタリングする方法として、キャニスタ上部と下部の温度差を常時監視する方法を提案している。キャニスタ内部のヘリウムガスが漏えいした場合に生じるキャニスタ上下温度差の変化を評価するため、ヘリウムガスの密度変化(圧縮

性)を考慮した非定常熱流動解析モデルを構築した(図4)[N13008]。今後、この方法を検証しキャニスタの密封性能評価法を確立することで、コンクリートキャスク貯蔵の実現に寄与する。

*1 使用済燃料を収納したステンレス鋼製の円筒容器で、コンクリートキャスクの中に設置されている。

*2 日本機械学会, 使用済燃料貯蔵施設規格(JSME S FBI-2003)

[1] A.Béziat, M.Wataru, K.Shirai et al., 17th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, 2013年8月

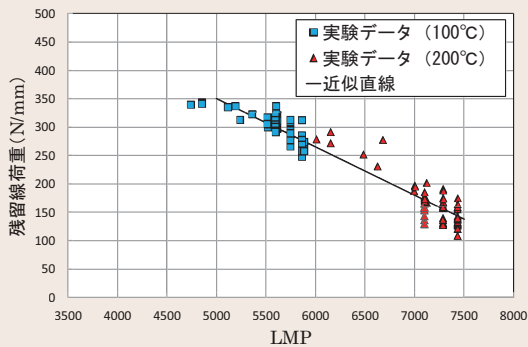


図1 銀被覆金属ガスケットの残留線荷重とLMPの関係

上図は金属ガスケットの断面径が6.2mmφのデータであり、横軸は $LMP = T^*(C + \log(t))$ で、 T は絶対温度(K)、 C は材料定数(ここでは $C=11$)、 t は時間(hr)である。縦軸は、金属ガスケットの残留線荷重である。温度100,200℃における残留線荷重とLMPは、高い相関があることが確認された。断面径8.4mmφのデータも同様である。本研究は、フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)およびドイツ原子力サービス会社(GNS)との共同研究として実施し、試験は、今後、10万時間(2015年度)まで継続する。

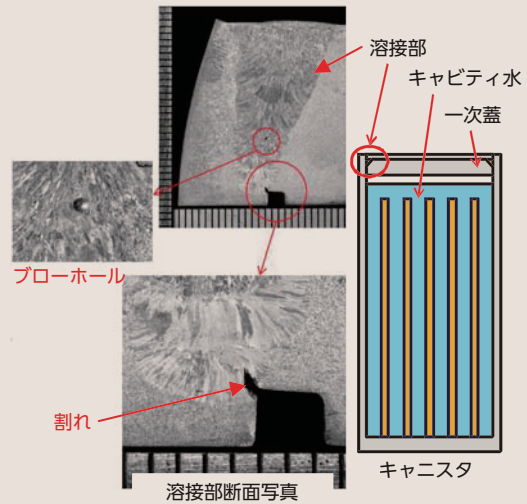
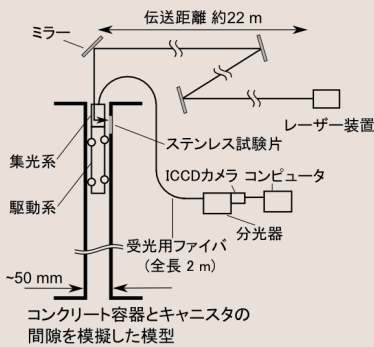
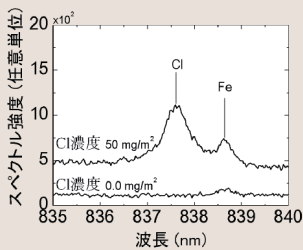


図2 水蒸気環境下での蓋溶接部施工試験で観察された欠陥

使用済燃料装荷後のカニスタ一次蓋溶接時には、燃料の崩壊熱により、キャビティ水が温められ、水蒸気を含む環境下での溶接となる。SUS304L材の小規模試験体(直径50cm、肉厚12.6mm)で溶接施工確認試験を行った結果、バックシールドガス(Arガス)流量が減少した場合やArガス中の酸素濃度が5%を超えた場合、初層に欠陥が発生した。これより、水蒸気環境下での自動溶接では、溶接士や検査員のトレーニングの充実が必要なことや施工前の実機大の溶接施工試験実施の重要性を規格改訂案に反映させた。



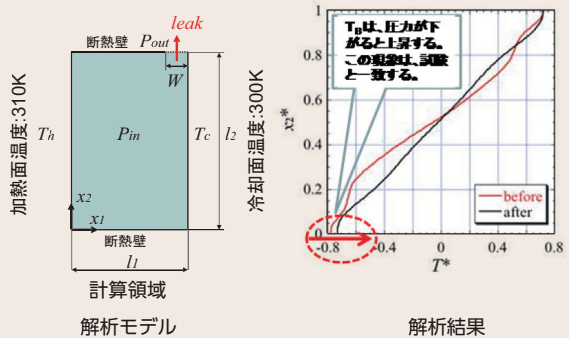
コンクリート容器とカニスタの間隙を模擬した模型



レーザー光長距離伝送後のLIBS結果

図3 コンクリートカニスタの狭隙部を模擬した模型を用いた遠隔計測実験

カニスタ表面の付着塩分を遠隔で計測するための機器(レーザー光の集光とプラズマ受光機能を備えたもの)をカニスタとコンクリート容器の間隙を模擬した模型に挿入し、LIBS計測を行った。ミラーを用いて、空間的にレーザーを約22m伝送した場合でも、塩分中の塩素の発光が計測可能であり、塩分量を推定できることを確認した。



解析結果 (縦軸は無次元高さ、横軸は無次元温度である。)

流体:ヘリウム
 計算領域の各方向長さ: $l_1 = 0.1$ [m]、 $l_2 = 0.2$ [m]
 開放壁面幅 $W : 1.0 \times 10^{-3}$ [m]
 容器内初期平均圧力 $P_{in} : 1.5$ [atm]
 容器外圧力(大気圧) $P_{out} : 1.0$ [atm]

図4 二次元矩形を対象としたヘリウムガス漏えい解析

既往の圧縮性解法では、基礎式を非保存型で表し、時間経過を段階的に進める手法がとられてきた。本手法では、保存型かつ安定して解析が行える圧縮性解法モデルを構築した。本手法を検証するため、二次元矩形の一部からヘリウムが漏えいする事象の熱流動解析を行い、安定した解が得られることを確認した。今後、実機への適用のための三次元化、さらにカニスタ内部構造を模擬した複雑形状での解析により、本手法を検証する。