

プロジェクト課題 - リスクの最適マネジメントの確立

使用済燃料の輸送・貯蔵

背景・目的

我が国の将来の原子燃料サイクル技術については、原子力委員会の新大綱策定会議で複数の技術選択肢が検討されているが、再処理・直接処分などのいずれの場合にも、使用済燃料の中間貯蔵の重要性が指摘されている。

本課題では、原子力発電所から発生する使用済燃料の、経済的な長期・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信頼性を確認することで実用化を促進する。また、実績のある輸送・貯蔵兼用金属キャスクにおいては、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。加えて、経済的な鋳鉄材料を使用した代替金属キャスクの実用化を図り、選択肢の拡充を図る。

主な成果

1 キャニスタ検査技術の開発 -超音波探傷検査による溶接部の欠陥検出能力の向上-

オーステナイト系ステンレス鋼キャニスタ蓋溶接部の欠陥検査としてフェーズドアレイ(PA)法の超音波探傷(UT)検査手法(図1)を適用する試験結果に基づき、蓋溶接部に

内包される欠陥の画像化による探傷方法を提案した[N11057]。今後、学協会の民間規格に反映し、キャニスタ密封機能確保に関わる検査手法の実用化を図る。

2 キャニスタ塩分付着管理技術の開発 -塩分の環境測定と低減によるSCC対策の向上-

海塩が飛来する環境(気中塩分量約 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$)下で、鉛直状態の高温金属試験片への飛来塩分付着量は、SUS304L材の応力腐食割れ(SCC)発生限界塩分量 $0.8\text{g}/\text{m}^2$ に比べ小さく、1年間で $0.03\text{g}/\text{m}^2$ であった[N11028]。また、キャスク内の冷却流路狭隘部を想定した、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)によるキャニスタ表面塩分

濃度計測方法の評価を行い、Cl濃度 $0.05\sim 1.0\text{g}/\text{m}^2$ の範囲で定量計測が可能であることを示した(図2)[H11020]。さらに、コンクリートキャスクの給気口に装着でき、除熱性能に影響を及ぼさない高性能の塩分流入低減装置を開発した[N11044]。これにより、キャニスタ塩分付着管理技術によるSCC対策向上に見通しを得た(図3)。

3 金属キャスクの密封機能の経年変化評価 -60年貯蔵後の密封性能評価法の提案-

アルミ製金属ガスケットを対象とした経年変化評価を行い、貯蔵後に必要な復元変位を有限要素解析で算定する方法を提案(図4)した。その結果、60年が経過して

も、ガスケットに密封性能を維持するだけの復元変位が残されていることを示した。(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。)

4 代替材料金属キャスクによる選択方式の拡充 -鋳鉄製金属キャスクのASME規格化-

当所が実施した鋳鉄製金属キャスクの実用化研究成果に基づいた同キャスクの規格を米国機械学会(ASME)に申請し、承認を得

た[N11027]。これにより、我が国での許認可も容易となり、金属キャスクの調達において経済的で有望な選択肢を拡充した。

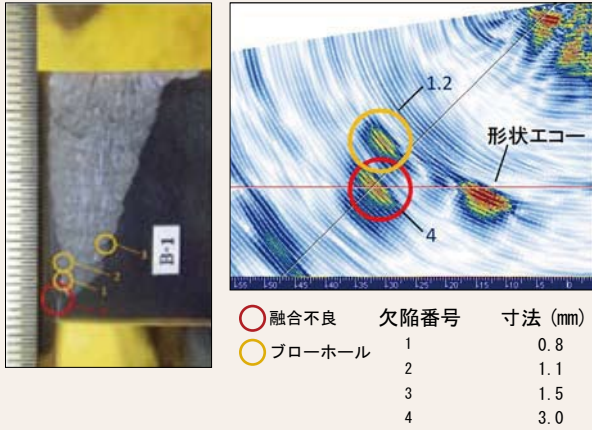


図1 溶接不良模擬欠陥に対する検出性能

溶接欠陥（放電加工欠陥と溶接不良欠陥）を挿入した実径大のSUS304L製キャニスタ蓋モデル（直径1.83m、胴部板厚12.7mm、溶接深さ32mm）を製作し、自動化したPA法UT試験を実施し、断面マクロ撮影による溶接欠陥寸法との比較を行った。その結果、構造評価では溶接深さの1/4（8mm）以上に発生する欠陥の検出が要求されているが、当所提案のUT検査は深さ2mmから検出可能であることを確認した。また、初層に発生した融合不良の欠陥（図中の赤丸）についても識別可能であった。一方、ブローホールのような小さい球状欠陥（図中の黄丸）に関しては、2mm以上であれば識別可能であった。

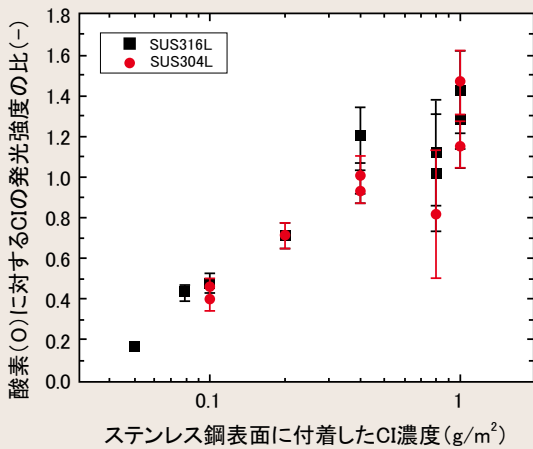


図2 LIBS計測による付着塩分量の推定

2本のレーザー光を重ね合わせる同軸照射方式を採用し、元素の励起効率を高め、レーザー照射部における光学系をコンパクト化することに成功した。さらに、ダブルパルス計測により、酸素に対するClの発光強度比がCl濃度0.05～1.0g/m²の範囲で単調増加することを確認した。これにより、定量計測の実用化に向けた原理が実証された。

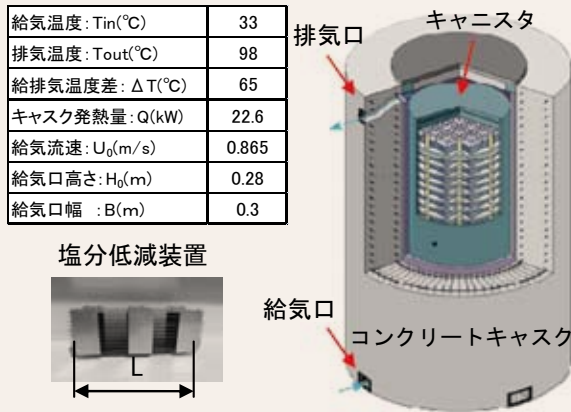


図3 塩分流入低減装置のコンクリートキャスクへの適用例

当所横須賀地区の海岸近傍での塩分環境に対し、塩分粒子捕獲板（長さ $L=0.5m$ ）の数量（15枚）を最適化した低減装置を用いた場合、塩分捕獲率は40%、圧力損失増加による排気温度上昇は1℃以下と小さかった。これにより、装置の実用化に見通しを得た。

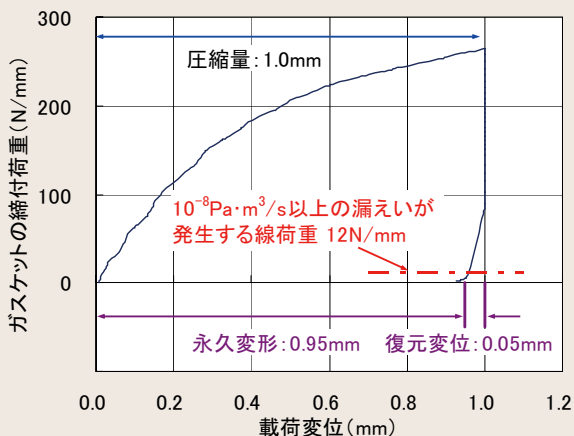


図4 60年経過後の金属ガスケットの復元力特性

アルミニウム製金属ガスケットの応力緩和手法を構築し、貯蔵期間60年で想定される温度履歴（初期温度139℃）に対する金属ガスケットの残留復元力特性を評価した。この条件では、60年貯蔵後に経年変化した金属ガスケットの有効復元変位は0.05mmとなる。この時のガスケットの締付荷重は十分な密封性を維持する。