

DEN-CHU-KEN

# TOPICS

2012 **11** NOVEMBER

VOL. **14**

Central Research Institute of Electric Power Industry

## 使用済燃料の貯蔵技術

1. 使用済燃料貯蔵の概要
2. 金属キャスク貯蔵技術
3. コンクリートキャスク貯蔵技術
4. 海外との連携

## 使用済燃料の貯蔵技術

## 1. 使用済燃料貯蔵の概要

2011年3月11日に発生した福島第一原子力発電所の事故後、原子力委員会は、今後の原子力発電・原子燃料サイクルの政策選択肢として、使用済燃料の「全量再処理」、「直接処分」、「再処理と直接処分の併存」の3つの方法を比較検討しました。今後、いずれの方法が選定されようとも、原子燃料サイクルの工程に柔軟性を与えることができるため、使用済燃料の貯蔵は必要不可欠な技術です。

電力中央研究所では、これまで金属キャスク貯蔵技術の開発・評価研究により、発電所敷地内外における貯蔵の許認可に必要な知見・データを整備してきました。現在は、経済的なコンクリートキャスク貯蔵技術の実用化に向けて、貯蔵施設の沿岸立地に伴う海塩の付着によるキャニスタの応力腐食割れ(SCC)の評価・対策研究を行い、その成果を関連の学会規格に反映していく予定です。

また、わが国の使用済燃料貯蔵期間は50年程度が想定されていますが、海外では再処理・処分に長い期間を要することから、100年を超える長期貯蔵の検討が行われています。当所は長期貯蔵の国際プロジェクトへの参加や海外機関との共同研究を積極的に進め、より一層の安全性の確認を行います。

地球工学研究所  
首席研究員 三枝 利有



金属キャスク貯蔵(日本原子力発電(株))



コンクリートキャスク貯蔵  
(コネティカットヤンキー原子力発電所)

図1-1に原子燃料サイクルにおける使用済燃料 (Spent Fuel, SF)の流れと、原子力発電所の敷地内または敷地外貯蔵の位置づけを、表1-1にそれらの主な特徴を示す。わが国にはこれまで、敷地内貯蔵施設しかなかったが、東京電力(株)および日本原子力発電(株)が共同で設立したりサイクル燃料貯蔵(株)は、現在、日本で初めて敷地外の貯蔵施設を青森県むつ市に建設している。世界的に見ても敷地内貯蔵が多いが、技術的・立地上の制約等から、今後は、敷地外の集中貯蔵も増えてくる可能性がある。表1-2に、わが国で実用化が見込まれる金属キャスクとコンクリートキャスクの両貯蔵方式の比較を示す。

表1-1 敷地内外貯蔵の主な特徴

	長 所	短 所
敷地内貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>敷地外輸送の回数・距離を最小化可能</li> <li>炉と一緒に核物質管理可能</li> </ul>	貯蔵量が制限され得る
敷地外貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数サイトの使用済燃料を大量・集中的に管理可能</li> <li>経済性が向上</li> </ul>	別途、立地点が必要

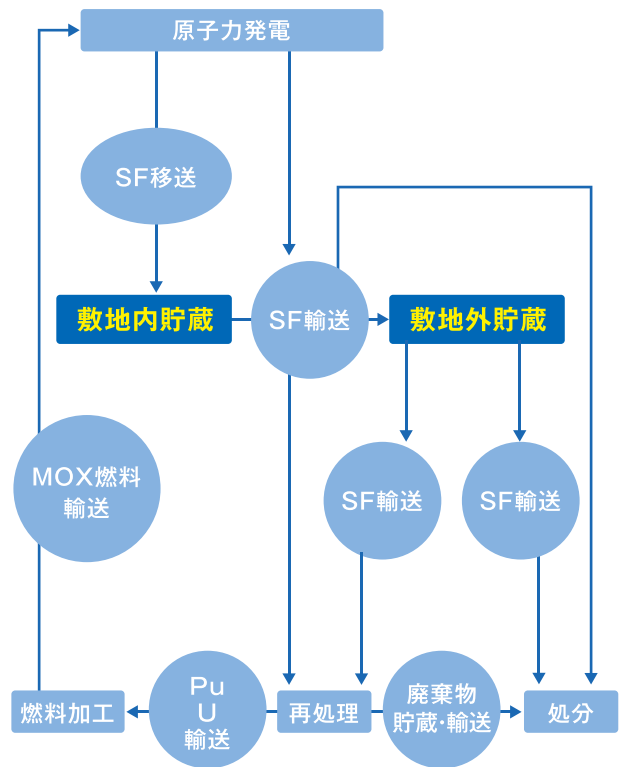


図1-1 使用済燃料の流れと敷地内外貯蔵の位置づけ

表1-2 金属キャスク貯蔵とコンクリートキャスク貯蔵の比較

方式	金属キャスク貯蔵	コンクリートキャスク貯蔵
貯蔵施設の概念例		
キャスク重量	110 t (燃料集合体数の例:PWR24体又はBWR69 体)	180 t (燃料集合体数の例:PWR24体又はBWR69 体)
主な機能	輸送・貯蔵兼用	貯蔵専用
密封機能	一次蓋、二次蓋とも金属ガスケット	一次蓋、二次蓋とも溶接構造
キャスク遮蔽機能	鋼、鉛、レジン(樹脂)、グリコール水の組合せ	コンクリート、鋼の組合せ(蓋にレジンを使用する場合あり)
未臨界機能	キャスクバスケットの幾何学的配置及び中性子吸収材により未臨界を維持	
除熱機能	金属キャスク表面を自然冷却	キャニスタ表面を自然冷却
メリット	貯蔵後、すみやかに輸送可能	経済性に優れ、地元の地域振興に寄与



## 使用済燃料の貯蔵技術

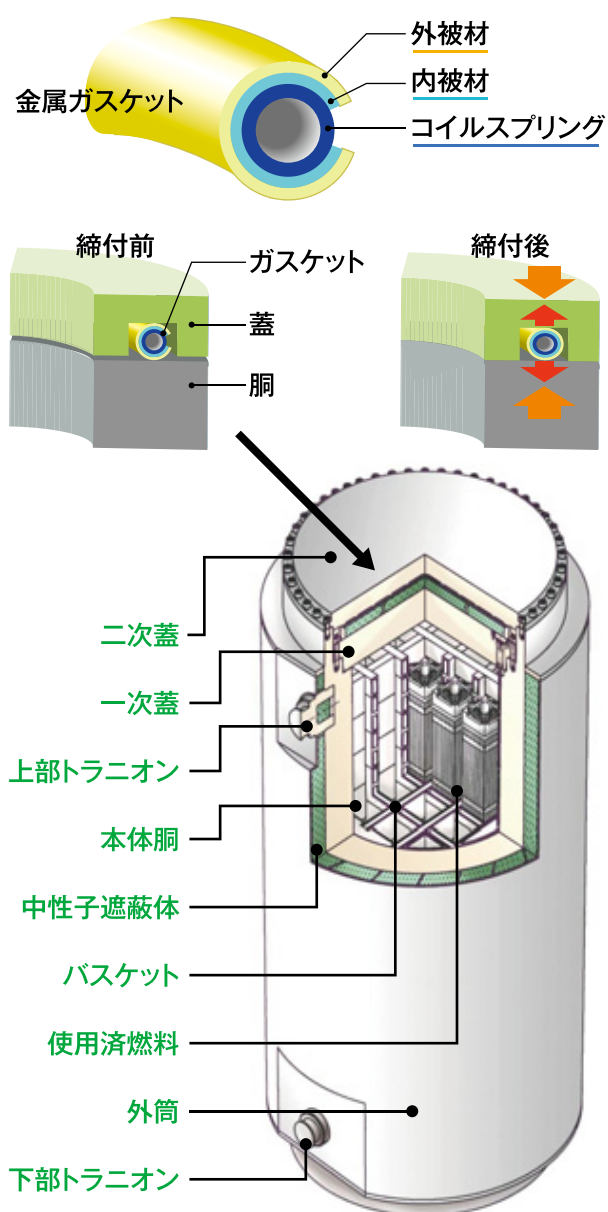
## 2. 金属キャスク貯蔵技術

金属キャスクは、もともと放射性物質の輸送容器として開発されたもので、輸送中の事故を想定した衝撃や火災に耐える堅固な性能を有しており、それ自体で臨界防止・密封・除熱・遮蔽の機能を有しています。金属キャスクを貯蔵に用いる場合、貯蔵期間中に燃料を酸化させないため、通常はキャスク内にヘリウムガスを充填し、さらに密封性をよくするため、金属ガスケットを用いた二重蓋構造を採用しています。金属キャスクを使った貯蔵は、わが国を含めて世界各国で行われています。必要に応じて簡単に増設ができるモジュール性が特徴で、費用を平準化できるため、投資リスクを低減できるメリットがあります。

当所では、金属キャスク方式の貯蔵施設の信頼性を確認するため、様々な実証試験を実施してきました。その成果は、国の指針や民間規格に採り入れられ、国内の乾式貯蔵施設の実用化に役立てられてきました。

福島第一原子力発電所の事故処理対応では、共用プールに貯蔵中の燃料を金属キャスクで一時保管することになっています。

地球工学研究所  
上席研究員 巨 真澄



(直径約2.5m、高さ約6m、重量約100トン)  
金属キャスクの概要



## 2.1 金属キャスク貯蔵の現状

わが国では、原子力発電所で発生した使用済燃料は、再処理するまでの50年程度、中間貯蔵されることになっている。現在、二つの発電所敷地内に金属キャスク貯蔵施設が設置されている。一つは、東京電力(株)福島第一原子力発電所内の貯蔵施設で、1995年から貯蔵専用金属キャスクによる乾式貯蔵(図2-1)が行われている<sup>1)</sup>。この施設は、もともと海上輸送前のキャスク保管庫として設置された経緯から、キャスクは横置きで、2012年現在、9基のキャスクが貯蔵されている。これらは東日本大震災時に津波に襲われたが、大きな被害を受けなかった。



図2-1 東京電力のキャスク貯蔵施設<sup>1)</sup>

もう一つは、日本原子力発電(株)東海第二発電所内の貯蔵施設で、2001年から貯蔵専用金属キャスクによる乾式貯蔵(図2-2)が行われている。キャスクは縦置きで貯蔵されており(床に固縛)、24基まで貯蔵できる<sup>2)</sup>。この他、中部電力(株)浜岡原子力発電所にも、輸送・貯蔵兼用金属キャスクによるウラン重量で700トン(700tU)規模の乾式貯蔵施設の設置計画がある<sup>3)</sup>。

一方、敷地外貯蔵施設として、東京電力(株)と日

本原子力発電(株)が共同で設立したリサイクル燃料貯蔵(株)が青森県むつ市に中間貯蔵施設を建設中である<sup>4)</sup>。貯蔵建屋は全長130m、幅60m、高さ30mで、3,000tUの使用済燃料を輸送・貯蔵兼用キャスクで貯蔵する。最終的には5,000tUの使用済燃料を最長50年間貯蔵する計画である(図2-3)。

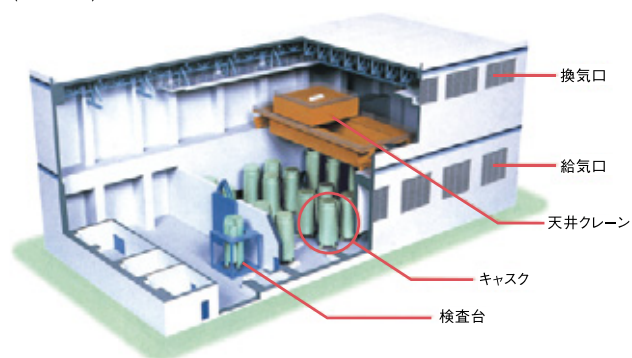


図2-2 日本原電のキャスク貯蔵施設<sup>2)</sup>

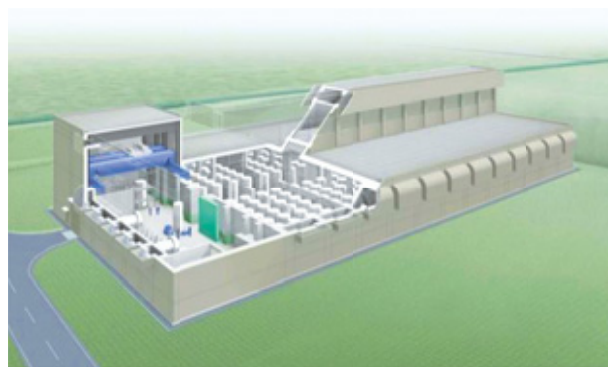


図2-3 むつ市に建設中の中間貯蔵施設のイメージ<sup>4)</sup>

海外では、米国、ドイツ、スペインなどで、金属キャスクによる貯蔵が行われている。米国の場合、貯蔵建屋はなく、屋外のコンクリートパッド上に、金属キャスクが縦置きで並べられている(図2-4)。ドイツ国内では、1998年に発覚した輸送キャスクの汚染問題(フランスの再処理工場への輸送に使用したキャスクの表面に、基準値を超える放射性物質が付着していた)により敷地外中間貯蔵施設

への使用済燃料輸送が頓挫しており、2002年の原子力法改正以降、使用済燃料の中間貯蔵は各発電所の敷地内貯蔵にて実施されることとなった。このため、事業者は原子力発電所建屋内での貯蔵以外に、緊急避難的な対策として、金属キャスクを横置きにした暫定保管庫による貯蔵を実施している(図2-5)。



図2-4 米国における金属キャスク貯蔵施設<sup>5)</sup>  
(Prairie Island発電所)



図2-5 ドイツにおける暫定保管庫の外観<sup>6)</sup>

## 2.2 健全性の評価

金属キャスクの多くの構成部材は、既存の試験データ等によれば、貯蔵期間中の温度、放射線等の環境下における経年変化はわずかであり、必要な安全

機能を維持する観点で問題はない。長期間の貯蔵で、経年変化を考慮すべき構成部材として、金属ガスケットが挙げられる。金属ガスケットの経年変化の要因は、使用済燃料の発熱により高温になることである。

当所では、わが国で貯蔵が開始される前から金属ガスケットの長期密封性能に着目し、実物大の金属キャスク蓋部モデル2体(図2-6)を用いた密封性能試験を19年4ヶ月間実施した。二つの試験体は、金属ガスケットの外被材の材質が異なっており、それぞれアルミニウム(I型モデル)と銀(II型モデル)が用いられている。試験の結果、漏えい率はほとんど変化せず(図2-7)、初期の密封性能が維持されることを実証した。本研究の成果は、国内の貯蔵施設の安全審査に用いられるとともに、世界的にも類のない試験であったため、長期貯蔵に関する国際プロジェクトの中でも活用されている。

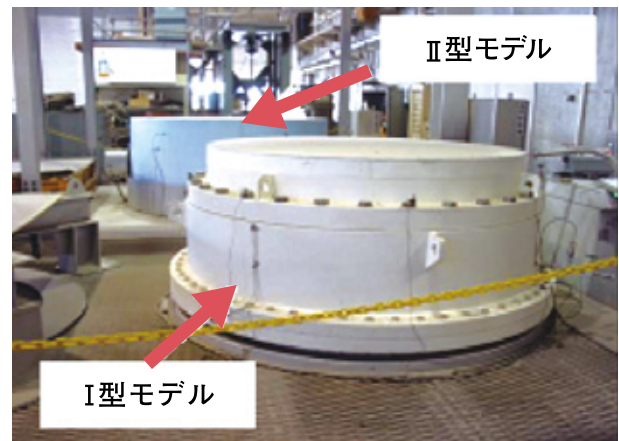


図2-6 長期密封試験の試験体

密封性能の評価手法として、従来から用いられているラーソン・ミラー・パラメータによる評価に加え、当所では、応力緩和解析による金属ガスケット密封性能評価手法を構築した<sup>7)</sup>。この手法では、金属ガスケットをモデル化し、ガスケット外被材のクリープ(変形)構成式を解析コードに組み込んで、温度・時間経過を

## 2.3 ASME 鋳鉄キャスク規格化への貢献

当所では、使用済燃料輸送・貯蔵兼用キャスクの多様化を図るため、従来使用されてきた鍛造(たんぞう)キャスクに比べ、経済的で調達しやすい鋳鉄キャスクの実用化研究を行ってきた。この研究成果に基づいて、当所は国際的標準を制定する機関として権威のある米国機械学会(ASME)に、鋳鉄キャスクの規格(ASME Code)の制定を2009年に申請し、2011年12月16日にASME理事会で承認された<sup>8)9)</sup>。

鋳鉄材料がASME規格に採り入れられたことにより、わが国でも鋳鉄キャスクの許認可が容易になり、今後、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することができた。

<参考文献>

- 1) Aida, T., Hara, T. and Kumano, Y., "Operating Experience in Spent Fuel Storage Casks", Presentation at IAEA's International Conference on Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors, 31 May to 4 June 2010, Vienna.
- 2) 日本原子力発電(株)ホームページ  
<http://www.japc.co.jp/project/cycle/drycask01.html>
- 3) 中部電力(株)「浜岡原子力発電所リプレース計画等について」平成20年12月22日
- 4) リサイクル燃料貯蔵(株)ホームページ  
[http://www.rfsc.co.jp/about/about\\_1.html](http://www.rfsc.co.jp/about/about_1.html)
- 5) Issard, H., "Innovation in the Design of the Used Fuel Storage System", Proceeding of ISSF2010, Japan
- 6) Thomaske, B.R., "Interim Storage of Spent Nuclear Fuel in Germany - Situation, State of Licensing Procedures, Prospects -", Proceeding of WM'02 Conference, 2002, U.S.A
- 7) 電力中央研究所 地球工学研究所・環境科学研究所 研究概要-2009年度研究成果-
- 8) ASME Section II, Part D, Subpart 3 "Charts and Tables for Determining Shell Thickness of Components under External Pressure", 2011a.
- 9) ASME Section III, Division 3 "Containments for Transportation and Storage of Spent Nuclear Fuel and High Level Radioactive Materials and Waste", 2011a.

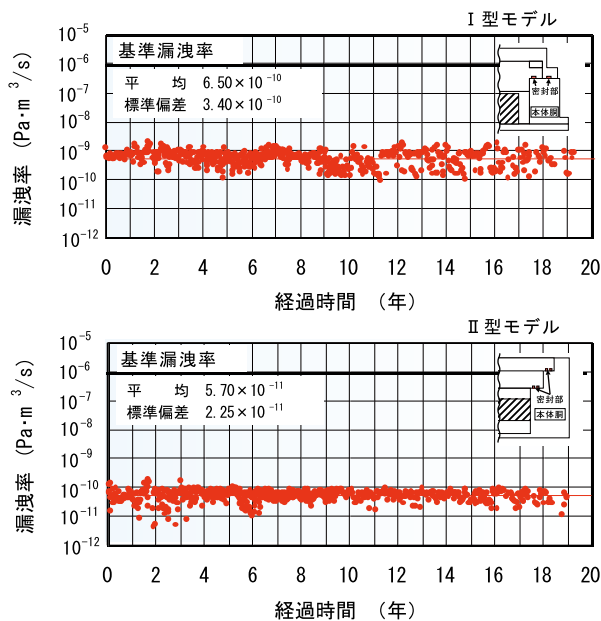


図2-7 長期密封試験で得られた漏えい率の変化

計算条件として、金属ガスケットの残留反発力を計算する。計算結果から、100年後においても残留反発力が密封喪失限界(ボルトを緩めて蓋を徐々に開けていった際、金属ガスケットから漏えいが生じる時の反発力)以上残っており、密封が維持されることが明らかになった(図2-8)。本研究は、原子力安全・保安院の受託研究として実施した。

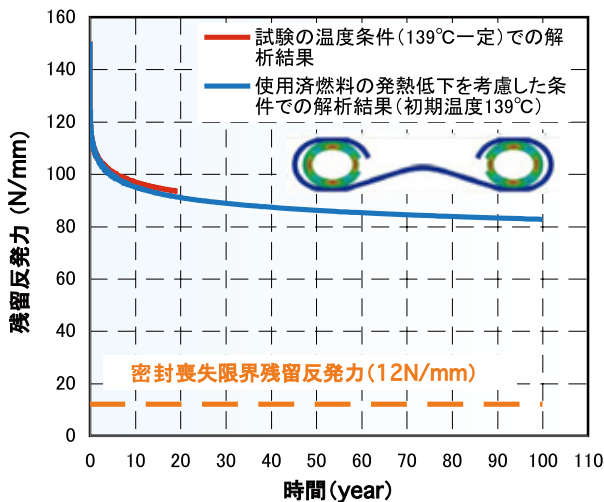


図2-8 金属ガスケットの応力緩和解析結果の例



## 使用済燃料の貯蔵技術

# 3.コンクリートキャスク貯蔵技術

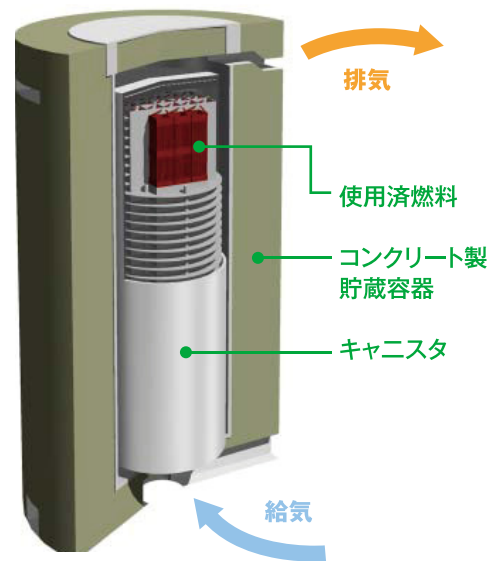
当所では、使用済燃料の経済的な長期・大容量貯蔵技術として有望なコンクリート製乾式キャスク(以下、コンクリートキャスク)方式の貯蔵施設を実用化するための研究を実施しています。

コンクリートキャスクは、コンクリート製貯蔵容器とステンレス鋼製の円筒状密封容器(キャニスタ)より構成されます。キャニスタ内の使用済燃料の崩壊熱は、上下に設けた空気の流通口を通じて外気を自然対流させることにより、効率的に除去する構造となっています。

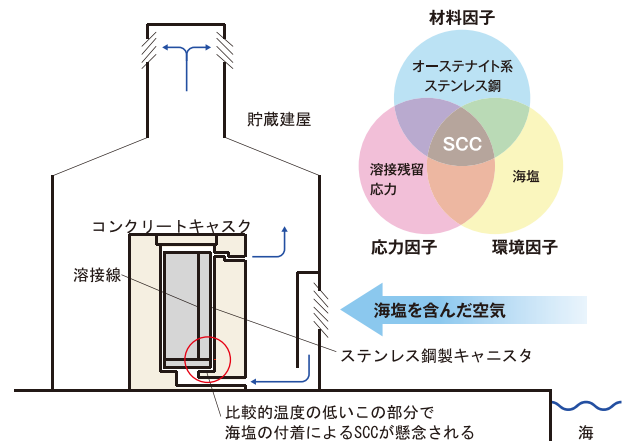
一方、キャニスタは溶接密封構造を採用しており、蓋溶接部の品質保証を向上させるため、超音波探傷検査(UT)等の非破壊検査の充実が望まれています。さらに、海岸立地を想定した場合、貯蔵施設へ流入する冷却空気に塩分が含まれることにより、応力腐食割れ(SCC)によるキャニスタの密封機能喪失が懸念されることから、SCCの発生要因とその防止技術の確立に取り組んできました。

日本機械学会や日本原子力学会では、コンクリートキャスクの民間規格を制定していますが、SCC対策やUT検査の規定がなく、当所でこれまでに得られた最新知見を踏まえた規定追加のための改訂を目指しています。

地球工学研究所  
副研究参事 白井 孝治



**コンクリートキャスクの概要**  
使用済燃料を収納したキャニスタを円筒形のコンクリート製遮蔽構造物内に設置



**コンクリートキャスクで懸念されているSCC**

### 3.1 キャニスタ溶接部検査技術の提案

コンリートキャスク貯蔵方式では、オーステナイト系ステンレス鋼製キャニスタの密封機能の確保が重要であり、キャニスタ蓋溶接部の施工時の不良欠陥を検出する、超音波探傷検査(Ultrasonic Testing, UT)の信頼性が課題とされている。

当所では、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<sup>\*)</sup>のUT検査手法を適用した試験結果をもとに、蓋溶接部に内包される欠陥を画像化する探傷方法を提案した。キャニスタ蓋溶接部におけるUT検査は、胴部側および蓋部側からの探傷が考えられる(図3-1)。これらのうち、蓋部上面から自動スキャナを用いるPA法や従来の固定角探傷<sup>\*\*)</sup>の画像化によるUT検査を実施した。

溶接欠陥(放電加工欠陥と溶接不良欠陥)を溶接内部に人工的に作った実径大の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検査を実施して(図3-2)、断面マクロ撮影による溶接欠陥寸法との比較を行った(図3-3)。その結果、構造評価では溶接深さの1/4(8mm)以深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が明らかとなった。また、初層に発生した融合不良による欠陥やブローホールのような小さい球状欠陥に関しても大きさが2mm以上であれば検出可能であった。

今後は、実機条件を想定した高温環境や溶接余盛のUT検査への影響を解明し、キャニスタ溶接部検査技術の確立を目指している。

<sup>\*)</sup> 多数の振動子を持つ探触子を用いて多数のデータを同時に得て画像化する手法

<sup>\*\*)</sup> 単数の振動子を持つ探触子を用いる手法

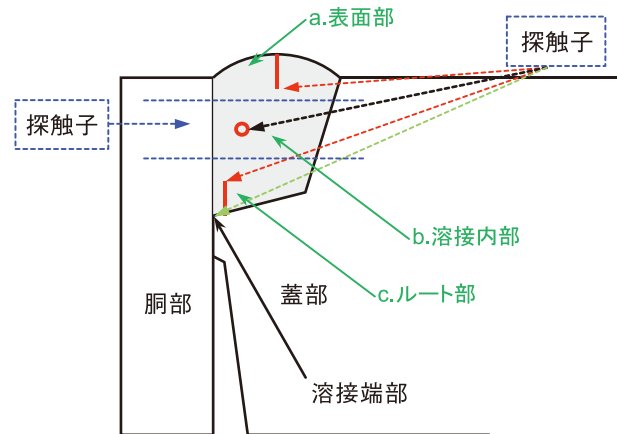


図3-1 キャニスタ蓋溶接部におけるUT検査<sup>1)</sup>

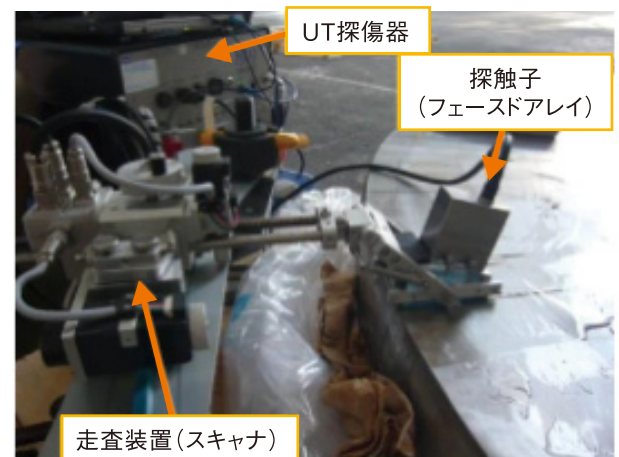


図3-2 PA法による自動UT検査装置の開発<sup>1)</sup>

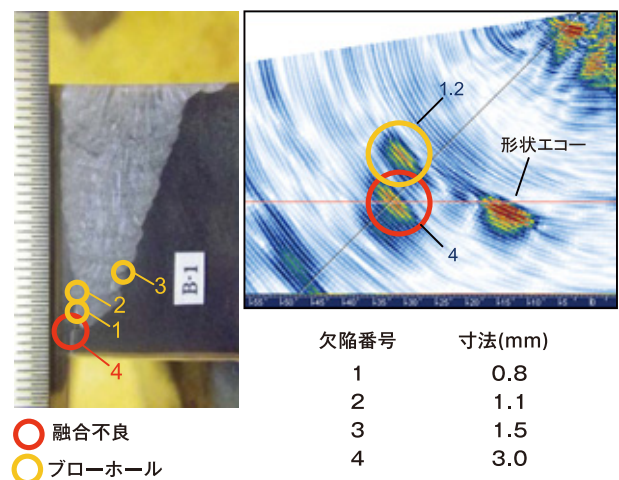


図3-3 融合不良部のUT検査結果(右)と断面マクロ写真(左)<sup>1)</sup>

### 3.2 海塩によるキャニスタの応力腐食割れ評価法の開発と対策

設計貯蔵期間(50年)にわたってSUS304L等の従来材を使用したキャニスタが応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking, SCC)を起こさずに密封健全性を維持するためには、キャニスタ表面の付着塩分濃度がSCCが発生する限界塩分濃度に達するまでの年数の評価や、表面塩分濃度の監視技術ならびに塩分付着低減技術の確立が重要である。

当所では、海塩が飛来する沿岸部の空气中塩分濃度とキャニスタ表面の付着塩分濃度との関係を明らかにするとともに、材料試験によりSCCが発生する限界塩分濃度を明らかにした(図3-4)。これらの結果をもとに、設計貯蔵期間にわたってキャニスタの健全性が保たれる環境条件や、溶接残留応力の改善によるSCC抑制技術について見通しを得た。

さらに、非接触かつ遠隔計測が可能なレーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)を用いて、キャニスタ表面の塩分濃度計測試験を行い、定量計測が

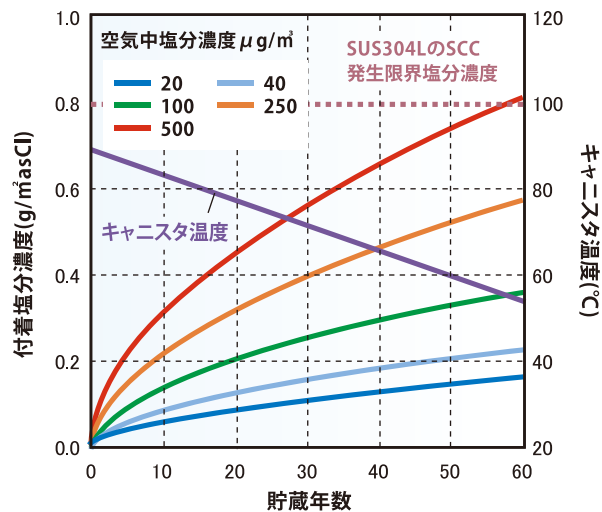


図3-4 貯蔵期間とキャニスタ表面付着塩分濃度<sup>2)</sup>

可能であることを明らかにし(図3-5)、貯蔵中のキャニスタ表面塩分の監視技術として有望であることを示した。

また、コンクリートキャスク内部に入る海塩粒子を低減する技術として、給気口に装着でき、圧力損失が少ないため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(図3-6)。

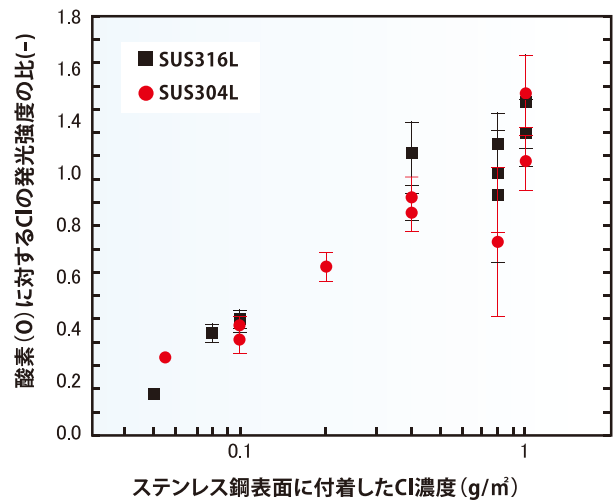


図3-5 LIBS計測による付着塩分濃度の推定<sup>3)</sup>

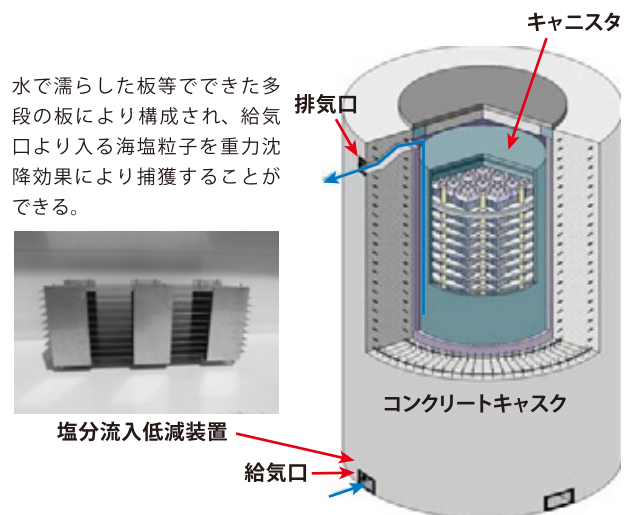


図3-6 塩分流入低減装置のコンクリートキャスクへの適用例<sup>4)</sup>



### 3.3 学会規格の改訂への貢献

各国の工業製品等の規格が貿易障害とならないよう配慮するため、規制緩和は国際的な動向となっている。わが国においても行政法令で性能を規定し、技術の詳細は民間規格として整備する動きが進んでいる。その一環として、使用済燃料貯蔵施設の主要機器について、日本原子力学会が原子力安全上の技術要件の標準化を、また日本機械学会が構造強度上の技術要件の規格化(図3-7)を行っている。さらに、学協会では、合理的な技術規格を継続的に提供するため、関連規格との整合性の確認、最新の技術的知見の取込みによる高度化等を図っている。

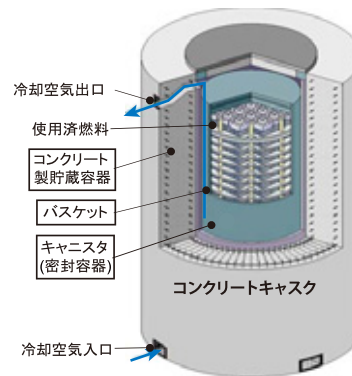
近年、国は、コンクリートキャスクの安全設計(特に、密封機能)の強化を打ち出している。貯蔵期間中にキャニスタ表面温度が85℃を下回るとSCCの発生リスクが高まることから、このリスクを回避するための密封監視やそれと同等のモニタリングを要求している。

この要求に応えるべく、日本機械学会では、キャニスタのSCC対策やキャニスタ蓋溶接部の非破壊検査の規定を追加した構造規格の改定作業を

2013年度に予定しており(図3-8)、当所が開発したSCC防止や抑制技術、キャニスタ蓋溶接部のUT検査技術に関する研究成果の反映が期待されている。

<参考文献>

- 1)後藤、東海林、白井、「コンクリートキャスク方式による使用済燃料貯蔵の実用化研究-304Lステンレス鋼キャニスタ蓋溶接部における画像化による超音波探傷試験の適用性評価-」、電中研研究報告、N11057、2012.4
- 2)白井、谷、三枝、「コンクリートキャスク方式による使用済燃料貯蔵の実用化研究-304Lステンレス鋼キャニスタ蓋溶接部における画像化による超音波探傷試験の適用性評価-」、電中研研究報告、N10035、2011.5
- 3)江藤、藤井、白井、「レーザーを用いたキャニスタ付着塩分計測技術の開発-同軸照射方式の適用-」、電中研研究報告、H11020、2012.6
- 4)竹田、三枝、「キャニスタSCC防止に対する塩分流入低減装置の開発(その2)-塩分流入低減装置の適用性評価-」、電中研研究報告、N11044、2012.4



コンクリートキャスクの□部に加えて、キャニスタ詰替装置、キャニスタ輸送キャスクが構造規格の対象部位

図3-7 コンクリートキャスクの構造規格対象部位

方式	2009~2012	2013~	
国等の動向	キャニスタ蓋溶接施工 ・UT検査(JNES)	↓ 日本機械学会規格 原子力学会標準 ↑	国の技術要件あるいは 審査指針への反映 ↑
学会動向			
電中研	キャニスタSCC対策研究 蓋溶接施工部UT検査適用性		
電気事業	大型コンクリートキャスクの 国内適用性検討		

図3-8 コンクリートキャスクの実用化ロードマップ

## 使用済燃料の貯蔵技術

# 4. 海外との連携

使用済燃料の貯蔵はわが国をはじめ、海外でも実用化されています。一方、近年、海外においては貯蔵期間が長期化した場合の安全性に対する評価・実証への関心が高まっており、100年を越える貯蔵期間を想定した検討が行われています。このような検討は貯蔵期間を概ね50年としているわが国にとっても、より一層の安全性の確認につながるため、当所では使用済燃料貯蔵に関する国際プロジェクトへの参加、及び海外機関との共同研究を積極的に進めています。

国際原子力機関(IAEA)は超長期貯蔵に関する実証試験の国際協調研究に着手し、また米国では使用済燃料の長期貯蔵研究プロジェクトが2010年に開始されました。当所はいずれのプロジェクトにも参加しています。さらにドイツ連邦材料研究所(BAM)やフランス原子力代替エネルギー庁(CEA)とは、ガasketの長期健全性に関する共同研究を実施し、使用材料の長期クリープデータ等の取得を行っています。

地球工学研究所  
上席研究員 伊藤 千浩



国際原子力機関(IAEA)–ウィーン<sup>1)</sup>



ドイツ連邦材料研究所–ベルリン<sup>2)</sup>  
(Federal Institute for Materials Research and Testing)

## 4.1 IAEA

### ① 使用済燃料の挙動評価研究に関する国際共同プロジェクト (SPAR) への参加

[SPAR: Spent Fuel Performance Assessment and Research]

IAEAでは各国の使用済燃料の貯蔵状況や貯蔵中の燃料の挙動に関する研究・開発状況を収集・整理し、加盟国に情報提供するプロジェクトを実施している。本プロジェクトには加盟国の規制当局、研究機関、事業者等が参加している(表4-1)。当所は本プロジェクトの開始時から参加し、当所の研究成果やわが国における使用済燃料貯蔵の状況等を報告するとともに、本件に関するIAEAの技術資料(TECDOC)作成に参画してきた。現在、本プロジェクトはフェーズⅢの段階にあり、2012年度末を目途に、世界主要国で貯蔵されている使用済燃料の性状や研究開発状況等に関するTECDOCのドラフトが作成されることになっている。

表4-1 SPAR 主な参加機関

国名	機関名
フランス	TN Int.(容器メーカー)
韓国	KAERI(研究機関)
ハンガリー	TS ENERCOM(コンサルタント)
米国	NRC(規制機関),EPRI(研究機関),PNNL(国研究機関)
イギリス	Sellafield(事業者)
ドイツ	GNS(事業者)
日本	JNES,電中研

### ② 超長期貯蔵における燃料と貯蔵システムの性能実証に関する国際共同プロジェクトへの参加

[Demonstrating Performance of Spent Fuel and Related Storage System Components during Very Long Term Storage]

使用済燃料は、再処理して資源として再生する方針の国(例えばフランス)がある一方、廃棄物として直接処分する方針の国(例えばフィンラ

ンド)もある。しかし、現時点で再処理か直接処分かを決めず、当面は使用済燃料を貯蔵しておく方針を採る国が多い。したがって、世界的に使用済燃料の貯蔵量は増加し(図4-1)、かつ貯蔵期間が長期化する傾向にあり、長期貯蔵における燃料や関連機器の経年変化の解明が急がれている。

このような背景から、IAEAでは2012年8月から当面5カ年の予定で使用済燃料の長期貯蔵に関する研究プロジェクトを開始した(表4-2)。本プロジェクトでは、参加機関からの情報提供に基づいた実験データの蓄積や評価ツールの開発を行うこととしている。

当所は、これまで実施してきた金属キャスク蓋密封部ガスケットの耐久性評価結果およびコンクリートキャスクのキャニスタ溶接部のSCC評価結果をもって本プロジェクトに貢献している。

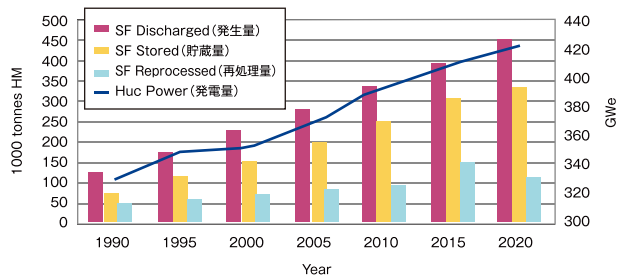


図4-1 世界の累積使用済燃料発生量・貯蔵量・再処理量<sup>3)</sup>

表4-2 長期貯蔵研究プロジェクト 主な参加機関

国名	機関名
フランス	TN Int.(容器メーカー)
米国	NRC(規制機関),EPRI(研究機関)
ドイツ	BAM(国研究機関)
イギリス	NNL(国研究機関)
スペイン	CSN(国)
ポーランド	NCNR(国研究機関)
日本	電中研



### ③IAEA指針類策定への寄与

IAEAでは使用済燃料の輸送・貯蔵に係わる指針類を策定している。その中で、当所が貢献あるいは研究成果が反映されている指針類を表4-3に示す。

表4-3 当所が寄与しているIAEAの最近の使用済燃料輸送・貯蔵に係わる指針類

指針類の名称
<b>No.SSG-15 指針</b> 使用済燃料貯蔵の安全指針 Storage of Nuclear Fuel (2012)
<b>No.NF-X.X 技術報告書</b> 使用済燃料管理の境界領域における潜在的課題 Potential Interface Issues in Spent Fuel Management (印刷中)
<b>No.NS-X.X 指針</b> 使用済燃料の輸送・貯蔵兼用キャスクの安全事例指針 Guide on Dual purpose cask safety case for transport/storage casks containing spent fuel (作成中)
<b>No.NF-G-3.1 指針</b> 再処理または処分までの長期貯蔵の指針 Extending Spent Fuel Storage until Reprocessing or Disposal (作成中)

## 4.2 米国長期貯蔵対策プロジェクトへの参加

米国では、ユッカマウンテンでの処分プロジェクトが中止となり、当面、使用済燃料は長期貯蔵する政策へとシフトしつつある。このようなことから使用済燃料の長期貯蔵対策を着実に推進するため、EPRI(Electric Power Research Institute)が主導して使用済燃料の長期貯蔵研究プロジェクト「Extended Storage Collaboration Project (ESCP)」が2010年度に着手された。これまでに、米国政府機関、国立研究所、電力会社、原子力産業界の代表からなるESCP運営委員会を中心に2020年度から実施が予定されている長期貯蔵実証試験に向けた活動が行われている(表4-4)。

表4-4 ESCP国際協力WG 主な参加機関

国名	機関名
ドイツ	BAM(国研究機関)
ハンガリー	Som Sys.(コンサルタント)
韓国	KAERI(国研究機関)
スペイン	ENRESA(公社)
イギリス	NNL(国研究機関)
日本	電中研
米国	SNL(国研究機関)

また、米国のエネルギー省(DOE)やサンディア国立研究所から、特に高燃焼度燃料を対象にして貯蔵期間を120年以上(評価対象期間は300年)、貯蔵後の再取出と複数回にわたる貯蔵後輸送の安全確保を前提として行ったギャップ評価(貯蔵期間が長期化した場合に予見される不足データや評価方法の抽出とその優先順位付け)が報告されている。一方、NRC(Nuclear Regulatory Commission)は、長期貯蔵に関する知見は不十分との観点から、経年変化に対する知見の充実を求めている。

当所は2010年からESCP運営委員会傘下の国際協力Sub-WGの委員、同じく実証試験Sub-WGキャニスタSCCタスクの委員として参加しており、本プロジェクトで計画されている長期貯蔵実証試験の成果がわが国にとっても有用なものとなるように、わが国の使用済燃料貯蔵の動向を踏まえながら活動している。

## 4.3 共同研究

### ①ドイツ連邦材料研究所(BAM)

#### —長期熱劣化を受けたガasketの分析・評価—

ドイツではわが国に先行し金属キャスクによる使用済燃料の中間貯蔵が実施されており、金属キャスクの安全性に関する様々な研究が実施され

ている。BAMは、物質・材料研究に関するドイツの代表的な公的機関の一つで、使用済燃料貯蔵の安全審査を行う役割も担っている。

BAMとの共同研究では、当所が原子力安全・保安院受託研究の一環として19年間実施してきた、実物大金属キャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験に用いた金属およびゴム製のガスケットの分析評価を双方で行っている。

本ガスケットは、19年以上にわたり高温状態にさらされたもので、劣化現象のメカニズム解明と経年劣化評価の精度向上に役立つと考えている。

## ② フランス原子力代替エネルギー庁(CEA)・ドイツ原子力サービス(GNS)

### — 金属製ガスケット応力緩和試験・評価 —

本共同研究では、CEAにおいて金属ガスケットの長期熱劣化試験(10万時間程度、11年相当)が実施されるとともに、各機関で金属ガスケットの応力緩和現象の解明やクリープ評価手法の確立・精度向上を目指した検討を行っている。

また、このような検討によって得られた成果をもとに、長期間供用された金属キャスクが輸送時の振動のような動的な荷重をうけた際の蓋密封部評価手法の提案を目指している。なお、本共同研究は熱劣化試験の継続も含め2016年まで実施する計画である。

## ③ 米国アイダホ国立研究所(INEL)

### — コンクリートの経年劣化評価 —

INELでは、1980年代から実際の使用済燃料を金属キャスクやコンクリートキャスクに貯蔵する実証試験を行っている(図4-2)。当所は、INELと共同で、わが国では得難い、実際の使用済燃料を収納した貯蔵キャスクの経年劣化に係わる試験データ

を取得した。

なお、本共同研究は既に終了しているが、東日本大震災による東京電力福島第一発電所の事故に伴う使用済燃料の取り扱いに関し、スリーマイル原子力発電所(TMI)事故で発生した破損燃料の輸送・貯蔵の経験を踏まえた貴重な情報の提供を受けた。

以上のように、海外機関との共同研究により、主に材料の劣化に関する貴重な情報が得られている。わが国における使用済燃料貯蔵のより一層の安全性を確保するために、今後、共同研究で得られた成果を活用していきたい。



図4-2 アイダホ国立研究所におけるキャスク貯蔵実証試験<sup>4)</sup>

#### <参考文献>

- 1) [ja.wikipedia.org/wiki/国際原子力機関](http://ja.wikipedia.org/wiki/国際原子力機関)
- 2) [http://www.bam.de/en/ueber\\_uns/wege/index.htm](http://www.bam.de/en/ueber_uns/wege/index.htm)
- 3) IAEA: "Costing of Spent Nuclear Fuel Storage", No. NF-T-3.5 (2009)
- 4) Nuclear Waste Technical Review Board Fall 2011 Board Meeting Salt Lake City, Utah September 13, 2011

DEN-CHU-KEN  
**TOPICS**

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

---

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 (大手町ビル7階)

TEL:03-3201-6601 FAX:03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>