

コンクリートキャスク貯蔵方式における使用済燃料収納容器の 応力腐食割れに対する長期健全性評価

背景

軽水炉の使用済燃料を60年程度一時的に貯蔵（中間貯蔵）する方法の一つとして、コンクリートキャスク貯蔵の適用が検討されている。同方式では燃料をステンレス鋼製容器に収納し、崩壊熱を外気により自然空冷する構造となっている（図1）。中間貯蔵施設を発電所と同様に海岸に建てた場合、冷却空気に含まれる塩分が容器表面に付着することによって、容器に応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking; SCC）*1が起こる可能性がある（図2）。しかしながら、燃料の発熱が徐々に少なくなること、付着した塩が乾燥している間は腐食が起きないので割れも起きないことなどを考慮すると、貯蔵期間中にSCCが起こる時間は限られてくる（図3）。その時間は、実験などによって求めることができる。また、SCCによって材料が壊れる時間も実験によって求められる。両者を比較すれば貯蔵期間中に容器が壊れるかどうか予測することができる。また、SCCの対策としては幾つかの方法があるが、この研究では海水などの塩化物による腐食に強い、高耐食性ステンレス鋼の使用を選択した。

目的

SCCが起こる時間を見積もるために、SCCが起きる湿度と温度を明らかとする。また、SCCが起こる条件が整ったときに、各種ステンレス鋼が破損するまでの時間を実験によって求める。これらの結果から、貯蔵期間中に容器が破損するか否かを検討する。

主な成果

1. SCCが起こる条件

湿度を変えて種々の試験を行ったところ、15%以上でSCCが起こることが明らかとなった。また、温度の影響については、SCCの原因となる腐食の様子に着目して試験を行い、その結果25℃以上でSCCが起こることが明らかとなった。これらの結果から、容器でSCCが起こる時間は限られることがわかった（図4）。

2. 材料が破損する時間

汎用ステンレス鋼（304鋼）と高耐食性ステンレス鋼（海水に対しても強い材料を2種類選定）を、容器で想定されるよりも厳しい条件で試験したところ（図5）、304鋼が250h程度で破損したのに対して、高耐食性ステンレス鋼はいずれも63,000h以上経過しても破損しなかった。

3. ステンレス鋼容器の長期健全性評価

国内で湿度の高い地域の気象観測値、容器で予想される温度変化と、さらに1の結果からSCCが起こる時間は58,400hと求められた。高耐食性ステンレス鋼で容器を作れば破損しないと考えられる。

今後の展開

2の試験を継続し、より長時間経過した場合に高耐食性ステンレス鋼が破損するかどうかを調べる。

主担当者 材料科学研究所 原子力材料領域 上席研究員 谷 純一

関連報告書 「キャニスタ系貯蔵施設におけるSCC対策に関する研究（その2）—SCC評価のとりまとめ—」
電力中央研究所報告：Q08007（2009年3月）

*1：金属が穏やかに腐食する環境で、通常ならば破損しない程度のかかっているにもかかわらず割れる事象。ここではステンレス鋼に海塩が付着して大気中で割れることを対象としている。

5. 原子力発電／リサイクル燃料等の貯蔵・輸送技術の開発

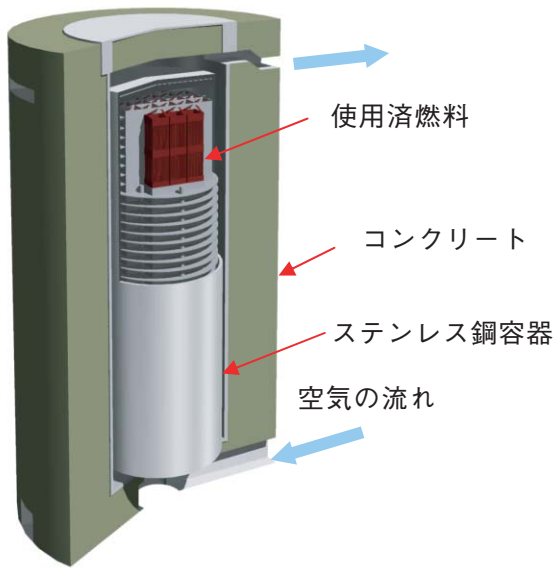


図1 コンクリートキャスク貯蔵の概要
燃料はステンレス鋼容器に閉じ込めて、まわりのコンクリートで放射線を遮へいする。

上下方向に引っ張られている

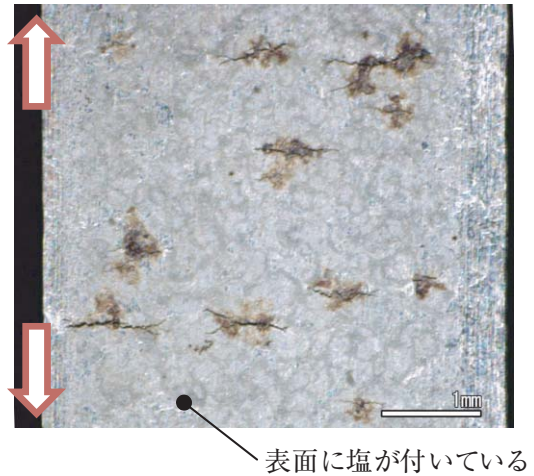


図2 応力腐食割れの例
ステンレス鋼に塩を塗布し少しの力を加えると割れが生じる。

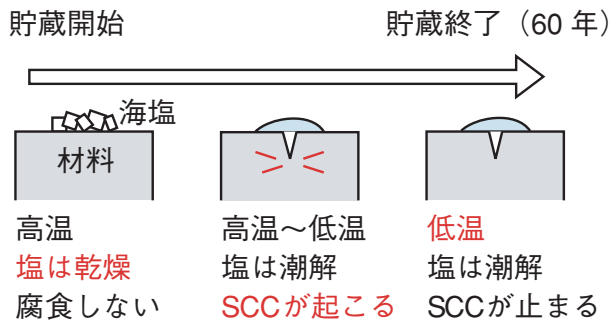


図3 SCCが起こる時間は限られる
温度が高いと塩が乾くので腐食もSCCも起こらない。また、腐食も一種の化学反応なので低温ではSCCが止まる。

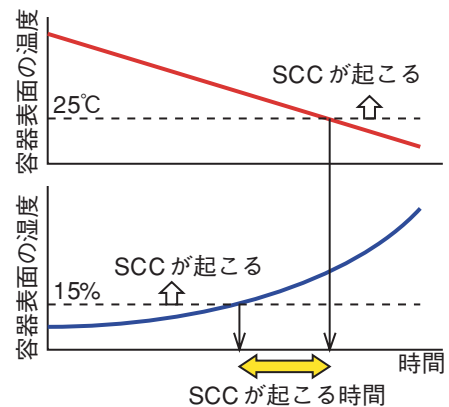
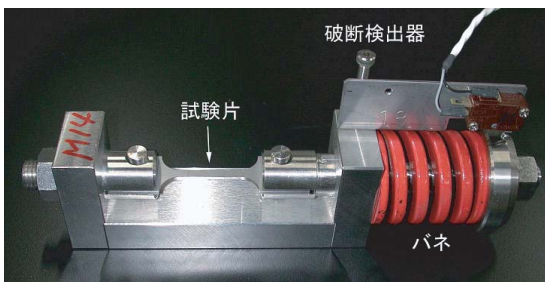


図4 SCCが起こる条件とSCCが起こる時間
容器の温度は燃料の冷却に伴い、単調に低下する。また、空気中の湿度が一定とすると、容器表面の湿度は温度の低下に対応して徐々に上昇する。



バネで荷重をかけた試験片を、温度湿度を一定に保つ装置の中に置き、試験片がSCCで破損するまでの時間を調べた。

図5 ステンレス鋼がSCCで破損する時間を調べるための試験

比較的高温 (80°C) で、海塩が十分に湿る湿度 (35%) に設定し、さらに十分な量の塩 (海岸沿いの屋外相当) を試験片に塗布した。