

金属キャスクバスケット用アルミニウム合金事例規格の廃止に伴うアルミバスケットの健全性評価について

東京電力株式会社
2015年12月24日



無断複写・転載禁止東京電力株式会社

1. はじめに

1

- 日本機械学会が発行している金属キャスク構造規格の内、バスケット※の材料であるアルミニウム合金の事例規格が廃止となった（2015.10）。
- 福島第一に保管している乾式キャスク28基の内、廃止となった事例規格と同じアルミニウム合金製のバスケットを使用しているキャスクが20基（乾式貯蔵キャスク）ある。
- 事例規格の廃止に伴い、当該乾式貯蔵キャスクのバスケットの健全性について評価を行った。

項目	乾式貯蔵キャスク (中型)	乾式貯蔵キャスク (大型)
重量(t) (燃料を含む)	約96	約115
全長(m)	約5.6	約5.6
外径(m)	約2.2	約2.4
収納体数(体)	37	52
キャスク基数	12	8

乾式貯蔵キャスク 主な仕様

※バスケット：燃料を収納、支持する構造物



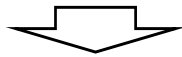
無断複写・転載禁止東京電力株式会社

- 除熱機能：使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できること
- 密封機能：内包する放射性物質を適切に閉じ込めること
- 遮へい機能：放射線を適切に遮へいすること
- 臨界防止機能：燃料が臨界に達しないこと
- 構造強度：安全機能維持のために必要な構造強度を有していること
→キャスクの各構造部材に生じる応力を解析評価し、許容応力値以下となることを確認する際に、日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」を参考に構造強度評価を実施。

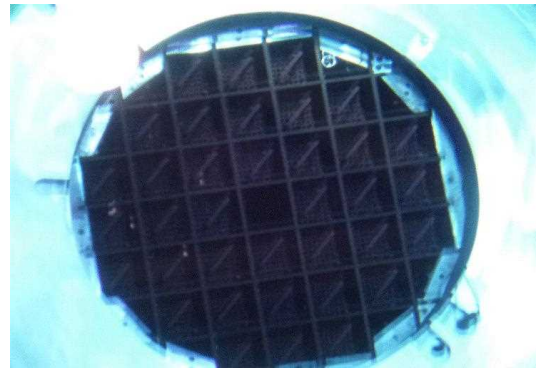
- 乾式貯蔵キャスクのバスケットの材料については、7種類のアルミニウム合金が金属キャスク構造規格のアルミニウム合金事例規格として登録済みであった。
- 日本機械学会は、強度および破壊靱性・耐衝撃特性に関する性能が十分な保守性が担保されていないこと等の理由から、アルミニウム合金事例規格を廃止した（2015.10）。
 - ✓ 強度機構的には“純アルミと大差なし”。それにも拘わらずアルミニウム合金としては異例に高い許容値を設定しており、強度の過大評価は明らか。これは過時効熱処理が不適切で、カウントしてはいけないSi、Cuの析出強化が強く残った結果と推察。
 - ✓ 破壊靱性・耐衝撃特性の指標として、鉄鋼に準じた横膨出量を採用しているが、その根拠が不十分であることが判明した。従って、破壊靱性・耐衝撃特性の判定指標としては J_{IC} 値（弾塑性破壊靱性値）の方が適切と判断した。

→日本機械学会の指摘を踏まえて、アルミニウム合金製のバスケットの健全性評価を実施。

- 当該乾式貯蔵キャスクのバスケットの健全性評価結果は以下のとおり。
 - ① 「強度評価」に関しては、バスケット材をアルミニウム合金のかわりに純アルミニウム材として健全性を評価した結果、応力評価結果が許容値を満足していることを確認した。
 - ② 「破壊靱性評価」に関しては、バスケットにき裂を仮定し最大荷重がかかった場合について評価した結果、弾塑性破壊靱性値 J_{IC} 値を下回り、バスケットが破壊しないことを確認した。
- 当該乾式貯蔵キャスクについて、内部点検（貯蔵から5年・10年後及び震災後）を実施[※]し、バスケットに有意な変形、損傷等がないことを確認済み。



当該乾式貯蔵キャスクについて、自主的にバスケットの健全性評価を実施し、問題がないことを確認した。今後、規制庁の指示に基づき適切に対応していく。



バスケットの外観確認結果
(確認日：2013年3月25日)

※：震災前から貯蔵している9基の内、3基



無断複写・転載禁止東京電力株式会社

【参考】①強度評価結果

- 日本機械学会の指摘を踏まえ、純アルミニウム（A1100系材料）としてバスケットの強度評価を実施した。
- 純アルミニウムで評価することにより、許容応力が小さくなるが、応力の計算値はいずれも許容応力を満足することを確認した。

(単位：N/mm²)

部位	材料	設計事象	一次一般膜応力強さ				一次膜＋一次曲げ応力強さ				一次＋二次応力強さ				
			評価点(面)	計算値	許容応力 ¹⁾		評価点(面)	計算値	許容応力 ¹⁾		評価点(面)	計算値	許容応力 ¹⁾		
バスケットフレート	アルミニウム合金 (A6061P 及びB-AI) ↓ 純アルミニウム (A1100)	設計時	①	5	33 →10	33 →10	②	9	49 →15	49 →15	—	—	—	—	
		I, II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	②	9	99 →30	—
			②	—	—	—	—	—	—	—	—	②	8 ²⁾	—	49 ²⁾ →15
		I+S ₁ *	①	2	49 →15	39 →12	②	4	74 →22	59 →18	②	7 ²⁾	—	49 ²⁾ →15	
		I+S ₂	①	2	65 →20	65 →20	②	3	98 →30	98 →30	②	2 ³⁾	—	99 ³⁾ →30	

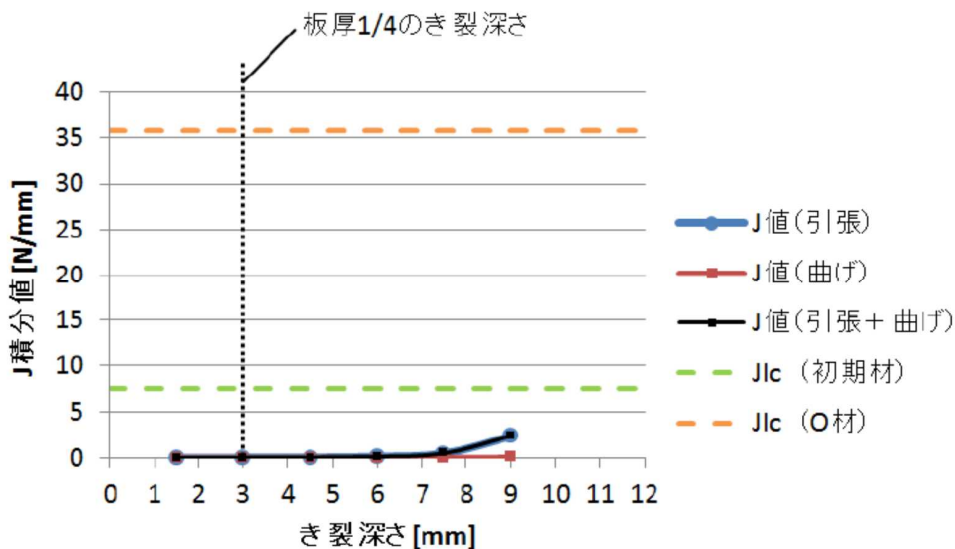
注1) 設計・建設規格に基づく許容応力値を左側に、構造規格に基づく許容応力値を右側に示す。
 注2) 応力強さのサイクルにおける応力の最大値を評価。
 注3) 短期荷重のみによる応力を評価。

工事計画認可申請書のバスケットの応力計算書の概要（一例）



無断複写・転載禁止東京電力株式会社

- バスケット格子の中央に長手方向全体に亘って欠陥を仮定し、乾式貯蔵キャスクにかかる最大荷重を用いて算出したJ積分値と、試験を実施して求めた弾塑性破壊靱性値 J_{IC} との比較を行った結果、J積分値が J_{IC} を下回り、バスケットが破壊されないことを確認した。



- 事例規格が廃止された主な技術的理由は以下のとおり。

【強度について】

A6000系材料について、Si、Cuの析出強化は長期間の入熱による粗大化進行に伴い効果を失うと予想され、MgがSi-Cu析出物に取られてMg固溶強化も期待できないため、60年後の状態でも期待する添加元素の強化機構はないと判断される。強度機構的には“純アルミと大差なし”。

それにも拘わらずアルミニウム合金としては異例に高い許容値を設定しており強度の過大評価は明らか。これは過時効熱処理が不適切で、カウントしてはいけないSi、Cuの析出強化が強く残った結果と推察。

【破壊靱性・耐衝撃特性について】

金属キャスク規格では、アルミニウム合金の破壊靱性・耐衝撃特性の指標として、鉄鋼に準じた横膨出量を採用しているが、その根拠が不十分であることが判明した。（アルミニウム合金の場合は鉄鋼のような脆性破壊は生じないが、横膨出量に対応した吸収エネルギーは鉄鋼より1桁小さく同じ横膨出量でもエネルギー吸収能は鉄鋼より数段低い。）

従って破壊靱性・耐衝撃特性の判定指標としては J_{IC} 値の方が適切と判断したが、各アルミニウム合金の J_{IC} 値計測結果が不足している。