

## 「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」について

平成 27 年 12 月 4 日

原子力規制企画課

## 1. はじめに

使用済燃料中間貯蔵施設は、原子力発電所で使用した燃料を再処理するまでの期間、原子力発電所外で貯蔵しておく施設である。

我が国では、使用済燃料中間貯蔵方式として、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムガスとともに金属製の乾式キャスク（以下、「金属キャスク」という。）に貯蔵する方式が採用されている。図1に、PWR用の金属キャスクの概要を示す。

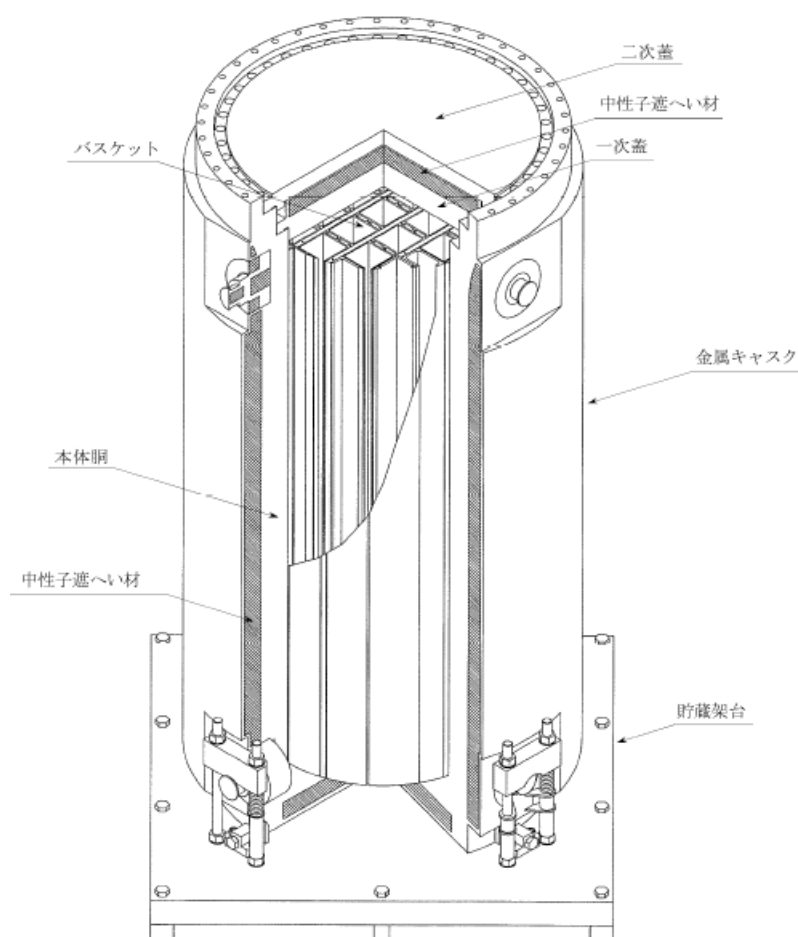


図 1 金属キャスクの概要図（PWR 用キャスク）

(出典：第 48 回原子力委員会資料第 1-3 号)

図1に示すバスケットは、個々の使用済燃料集合体を金属キャスク内部の所定の位置に収納するために、アルミニウム合金またはステンレス合金製のプレートにより、格子を形成する構造となっている。

金属キャスクは、使用済燃料を貯蔵する設計評価期間（60年）を通じて、基本的安全機能を維持して、収納する使用済燃料の健全性を維持できるように設計を行う必要がある。維持すべき基本的安全機能としては、除熱機能、閉じ込め機能、遮蔽機能、臨界防止機能、構造強度がある。

金属キャスクの構造強度設計においては、「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」（2007年、日本機械学会）を参考に、荷重条件や評価部位を考慮して、構造強度の評価を実施している。

## 2. 金属キャスク構造規格

日本機械学会は「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格（2007年版）」（JSME S FA1-2007）（以下「金属キャスク規格」という。）を2008年2月に発行した。金属キャスク規格には、添付3-3「バスケット材料としてアルミニウム合金およびボロン添加アルミニウム合金を使用する場合の規定」が定められており、また、新規アルミニウム合金をバスケット材料として登録するための「アルミニウム合金バスケット用新規材料採用ガイドライン」がその中に含まれている。当該ガイドラインに基づき、現在までに、表1に示す7件がアルミニウム合金事例規格（以下「事例規格」という。）として登録されている。

表1 事例規格として登録されているアルミニウム合金

事例規格番号	標題	発行時期
JSME S FA-CC-001	バスケット用ボロン添加アルミニウム合金 1%B-A6061-T6, 1%B-A6061-T651 に関する規定	2009年4月
JSME S FA-CC-002	バスケット用アルミニウム合金 A6061-T6, A6061-T651 に関する規定	2009年4月
JSME S FA-CC-003	バスケット用アルミニウム合金 A5083FH-0 に関する規定	2009年4月
JSME S FA-CC-005	バスケット用ボロン添加アルミニウム合金 BC-A6N01SS-T1 に関する規定	2009年4月
JSME S FA-CC-008	バスケット用ほう素添加アルミニウム合金 1%B-A3004N-H112 に関する規定	2013年6月
JSME S FA-CC-009	バスケット用アルミニウム合金 A3004N-H112 に関する規定	2013年6月
JSME S FA-CC-010	バスケット用アルミニウム合金 A3004-H112 に関する規定	2013年6月

平成 27 年 10 月 1 日、日本機械学会は、事例規格について強度及び破壊靱性・耐衝撃特性に係る性能が必ずしも十分な保守性を担保できないことから、添付 3-3 及び事例規格を廃止した。

### 3. アルミニウム合金の特徴と事例規格の廃止の理由

アルミニウム合金は、圧延用合金と鋳造用合金に大別され、それぞれ、非熱処理型合金と熱処理型合金に分類される。非熱処理型合金は圧延加工などの冷間加工によって、熱処理型合金は焼き入れや焼もどし等の熱処理によって、所定の強度を得ている。金属キャスクに用いられているアルミニウム合金は、表 2 のように分類される。また、参考として、アルミニウム合金の熱処理方法と時効硬化を、図 2～3 に示す。

表 2 事例規格に登録されているアルミニウム合金の分類

種類	合金系統	処理型		表示番号
A6000 系	Al-Mg-Si 系	熱処理型	人工時効熱処理	1%B-A6061-T6, 1%B-A6061-T651, A6061-T6, A6061-T651
			自然時効熱処理	BC-A6N01SS-T1
A5000 系	Al-Mg 系	非熱処理型		A5083FH-0
A3000 系	Al-Mn 系	非熱処理型		1%B-A3004N-H112, A3004N-H112, A3004-H112

事例規格が廃止された主な技術的理由は以下の通りである。

#### (1) 破壊靱性<sup>\*</sup>・耐衝撃特性に関する懸念

- ・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。)
- ・そのためアルミニウム合金に適した独自の破壊靱性・耐衝撃特性の判定指標を新たに制定する必要がある。

#### (2) 強度 (Sy<sup>\*</sup>、Su<sup>\*</sup>設定値) に関する懸念

- ・A6000 系：Si、Cu の析出強化は長期間の入熱による粗大化の進行に伴い効果を失うと予想され、Mg が Si-Cu 析出物に取りられて Mg 固溶強化も期待できないため、60 年後の状態を期待する添加元素の強化機構はないと判断される。材料試験時の過時効熱処理が不適切で強度の過大評価となっている。

- ・ A5000 系：長期間の入熱により過飽和 Mg が析出すると Mg の溶解度が減少しその時点の Mg 溶解度相当の強度しかなくなるが、事例規格値は、Mg 過飽和が解消されていない状態での数値であり、過大評価となっている。
- ・ A3000 系：強化機構は Mg 固溶強化と Mn 析出強化なので 60 年後でも効果は期待できるが、試験に Cu 等が高い濃度の供試材が使用されており、Cu 析出強化効果による嵩上げが含まれている可能性が高い。

<※用語の説明>

Sy 値：設計降伏点

Su 値：設計引張強さ

破壊靱性：脆性破壊の起こりやすさの指標

【参考】アルミニウム合金の熱処理

[状態図] ASM International, Alloy Phase Diagram Database より

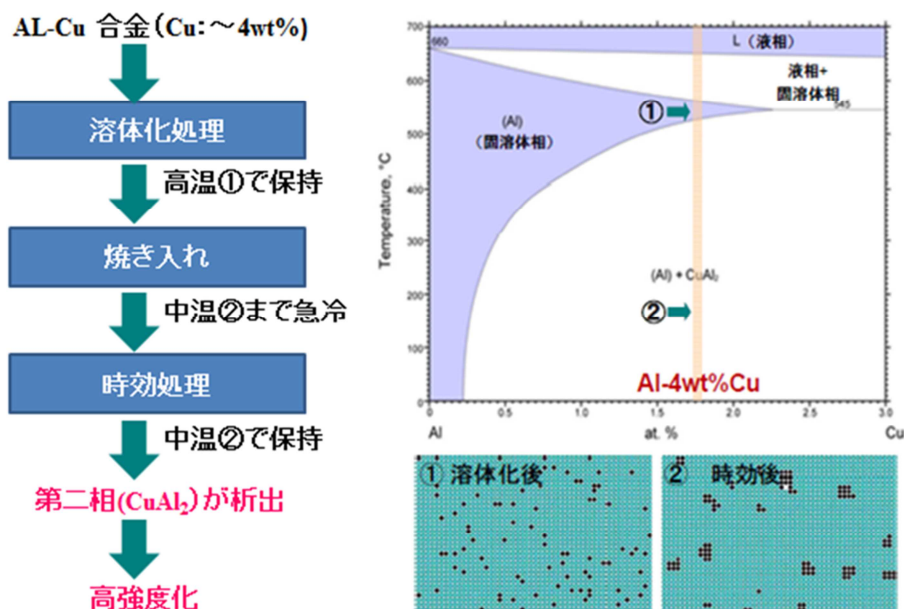


図2 アルミニウム合金の熱処理の例

(出典：千星「マテリアル工学実験 I<金属材料：合金設計と組織観察(2)>」、  
(東北大学金属材料研究所関西センター) を一部改変)

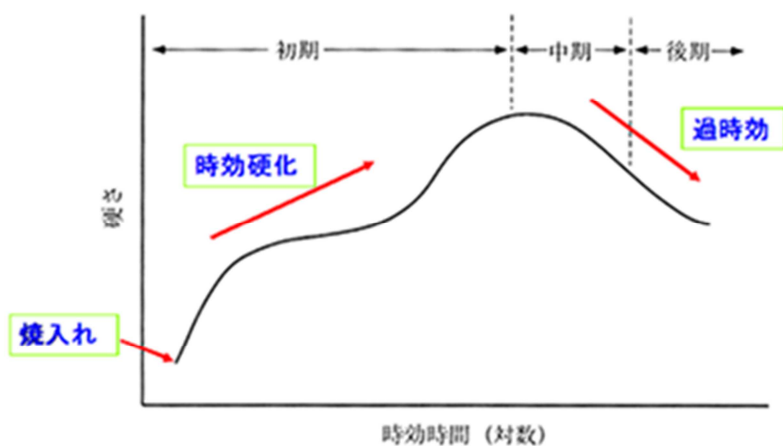


図3 典型的な時効硬化のイメージ

(出典：里「誰でもわかる鋳物基礎講座、アルミニウム合金の時効熱処理と析出硬化(第11回)」、(日本鋳造工学会関東支部))

#### 4. 当該規格の規制での活用状況

使用済燃料貯蔵施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する省令の解釈（内規）（平成 21 年 3 月 27 日、原子力安全・保安院）の第 6 条（材料及び構造）においては、「使用済燃料貯蔵施設の金属キャスクのバスケット材料としてアルミニウム合金及びボロン添加アルミニウム合金を使用する場合には、金属キャスク構造規格添付 3-3 に適合させること。」として、金属キャスク構造規格（2007 年版）の添付 3-3 が引用されているが、現在、これを用いて認可されたものはない。

リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業において、廃止された事例規格に登録されているアルミニウム合金と同じ材料をバスケットに使用する金属キャスクについて事業許可を受けていたが、新規制基準適合性に係る事業変更許可申請において当該金属キャスクは取り下げられている。

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（平成 25 年 6 月 19 日、原子力規制委員会決定、以下「技術基準解釈」という。）においては、金属キャスク構造規格は引用されていない。

#### 5. 事例規格廃止に伴う問題点

##### (1) 原子力発電所内で使用されている金属キャスク

事例規格に登録されているアルミニウム合金をバスケット材として使用している金属キャスクが以下の 2 箇所の原子力発電所内で使用されている。

- ・東京電力福島第一原子力発電所：20 基
- ・日本原子力発電東海第二発電所：15 基

このうち、東京電力福島第一原子力発電所の 11 基が工認において、金属キャスク規格添付 3-3 を参照している。

金属キャスク規格は、技術基準解釈において引用されている規格ではないが、日本機械学会において強度及び破壊靱性・耐衝撃特性に係る性能が十分な保守性が担保されていないと判断されていることから、当該キャスクの継続使用の可否を検討する必要がある。

両事業者は、日本機械学会の事例規格の廃止の方針を受け、自主的に当該キャスクの健全性評価を実施しており、以下の理由により継続使用を希望している。

- ① バスケット材をアルミニウム合金の替りに純アルミ系合金材料として健全性を評価した結果、「強度評価」に関しては応力評価結果が工認の許容値を満足していること。
- ② 同様に、「破壊靱性評価」に関しては、き裂の深さを板厚の 1/4 に仮定した

場合でも、不安定破壊しないことを確認したこと。

#### (2) PWR 使用済燃料先行貯蔵試験で使用予定の乾式貯蔵試験容器

乾式貯蔵中の PWR 使用済燃料の長期健全性に関する知見の蓄積を目的として、実機と同様な環境において使用済燃料の長期貯蔵試験を行い、燃料の健全性が維持されることを確認する試験計画が平成 21 年度より実施されている。

この試験において、事例規格に登録されているアルミニウム合金 (BC-A6N01SS-T1) を構造材として使用している 1 基の乾式貯蔵試験容器が使用される予定である。

試験容器設計メーカーは、当該試験容器で使用されているアルミニウム合金に関しては、長期組織安定性、機械的強度、破壊靱性データともに問題はないとしている。

#### 6. 今後の規制対応

(1) 技術基準に関する省令の解釈（内規）の変更を行う手続きを進める。

(2) 福島第一及び東海第二原子力発電所で使用されている金属キャスクに関しては、必要な事業者情報を収集し、その妥当性について評価するとともに必要に応じて具体的な規制対応を検討する。

(3) 先行貯蔵試験で使用されている乾式貯蔵試験容器に関しても、必要な事業者情報を収集し、その妥当性について評価するとともに必要に応じて具体的な規制対応を検討する。