# 使用済燃料乾式貯蔵キャスク
# -安全性・経済性の両立-

Dry Storage Cask for Spent Nuclear Fuel - Compatibility of Safety and Economy -

原子力セグメント
機器設計部

安全が確認された原子力発電所の再稼働の進展や運転開始から相当期間を経た原子力発電所の廃炉の進展に伴い，相当数の使用済燃料が発生することから，使用済燃料対策が重要課題となっており，安全性の高い輸送・貯蔵兼用キャスク（乾式キャスク）による乾式貯蔵への取組みが推進されている。当社は，原子力総合メーカとして安全・安心な乾式貯蔵の早期実現に貢献すべく，当社にて開発し規制当局から型式認証を受けた乾式キャスクをはじめとし，燃料タイプやお客様ニーズに合わせて多様な乾式キャスクの提供が可能であることを紹介する。

## 1. 乾式キャスクの特徴

当社乾式キャスク（MSF キャスク：Mitsubishi Spent Fuel Cask）は，国内の原子力発電所から発生する使用済燃料を安全かつ経済的に中間貯蔵するために開発したものである。MSF キャスクは輸送及び貯蔵両方の要件（IAEA 輸送規則等の規則，サイト固有の設計条件等）に適合するよう設計される。MSF キャスクの概要を図1に示す。本キャスクの主な特徴は次のとおりである。

（1） 実機大落下試験モデルによる安全性実証

MSF キャスクのプロトタイプモデルである実機大落下試験モデルを用いて，IAEA 輸送規則において輸送事故時を想定し規定されている9.3m落下試験（傾斜落下，垂直落下），及び1m貫通試験を実施し，落下時の密封健全生及び構造健全性を実証している。また，取得した加速度やひずみ等のデータを基に解析検証を行い，実機キャスク設計のための解析手法を構築しており，本試験で実証された安全性の高いプロトタイプの設計を MSF キャスクの設計に展開している（図2）。

また，キャスクが落下し，キャスク本体が地面に衝突した直後に，内部収納物（燃料及びバスケット）が時間遅れを伴ってキャスク本体に衝突することにより，内部収納物に作用する衝撃荷重に増倍が生じることが実機大落下試験の知見として得られている。この衝撃荷重の増倍を考慮しても未臨界性の維持が可能となるように，塑性変形を生じさせないバスケット構造としている（図3）。

（2） 長期健全性の検証

PWR（加圧水型軽水炉：Pressurized Water Reactor）燃料用乾式キャスクのバスケット材としてアルミニウム合金を採用している。アルミニウム合金は一般的に高温環境下においてクリープ強度が低下することが知られている。そのため，本材料をキャスク用バスケットに適用するにあたり，貯蔵中の熱履歴を受けた状態の材料強度を適切に考慮する必要があるため，当社ではアルミニウム合金に対する長期間の高温暴露時の強度を評価する手法を独自に提案及び検証し，バスケット材としての長期健全性を確認している。（図4）。また，中性子遮蔽材や金属ガスケットについても，長期耐熱試験等により長期的安全性を確認している。

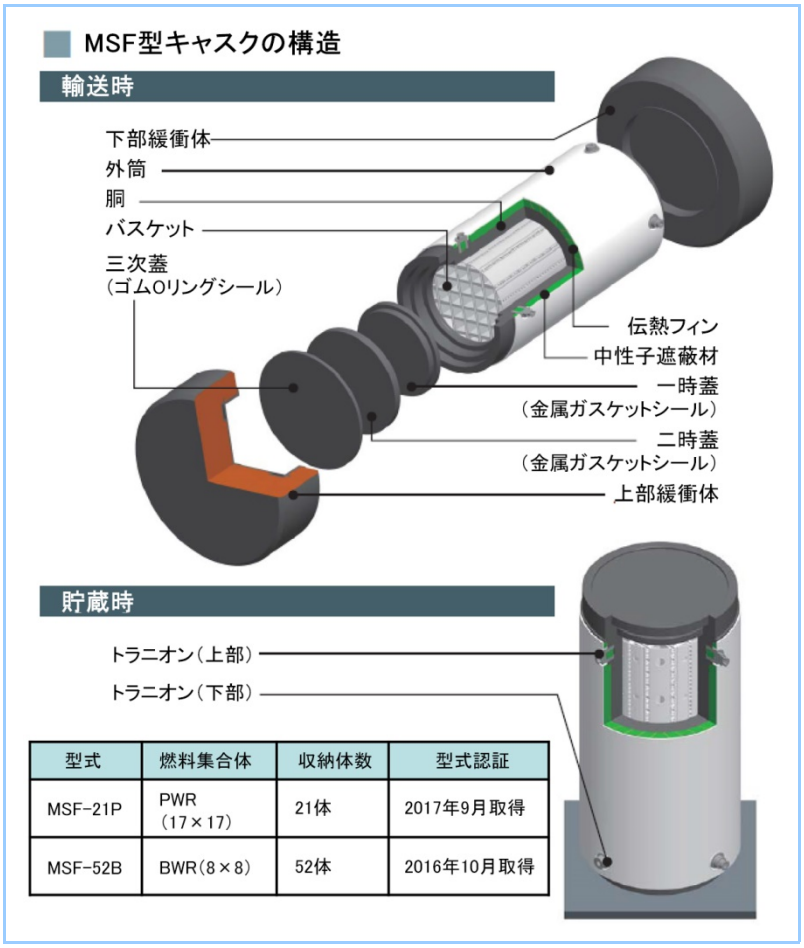


図1　MSF キャスクの概要

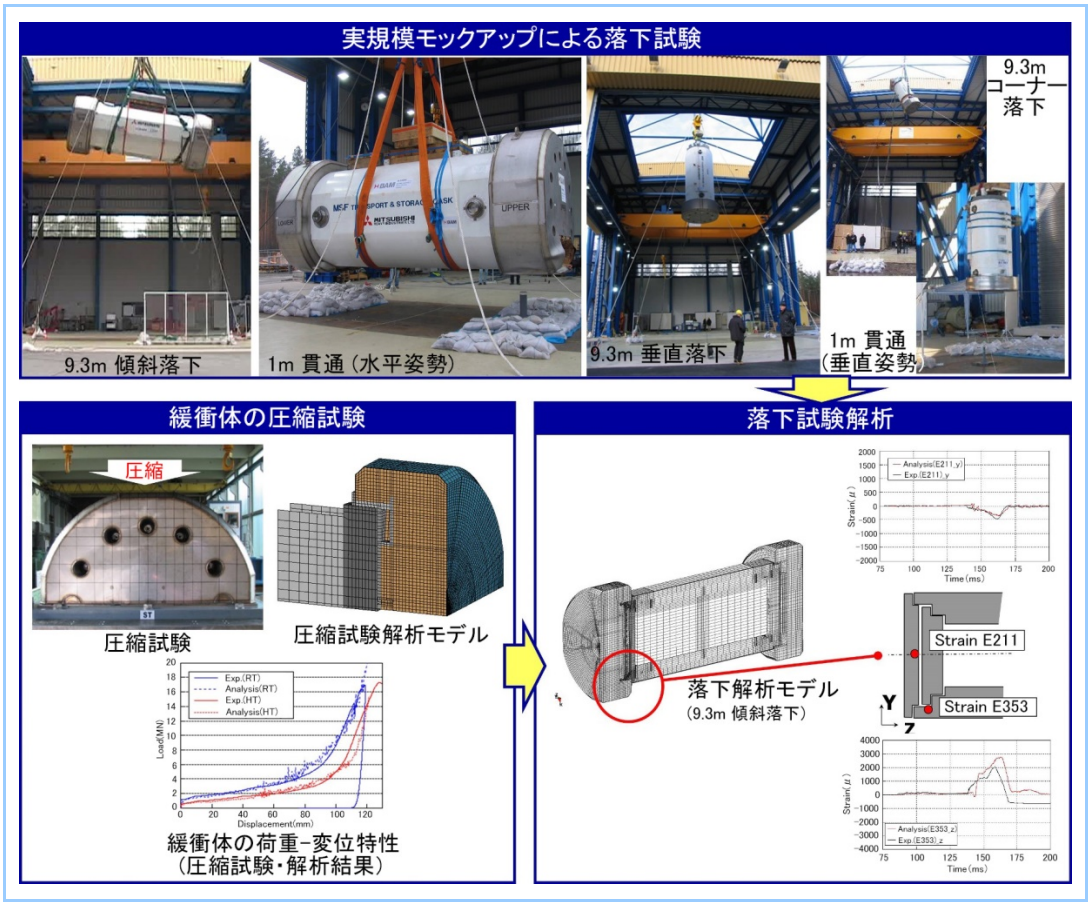


図2　MSF キャスク安全性実証試験による検証

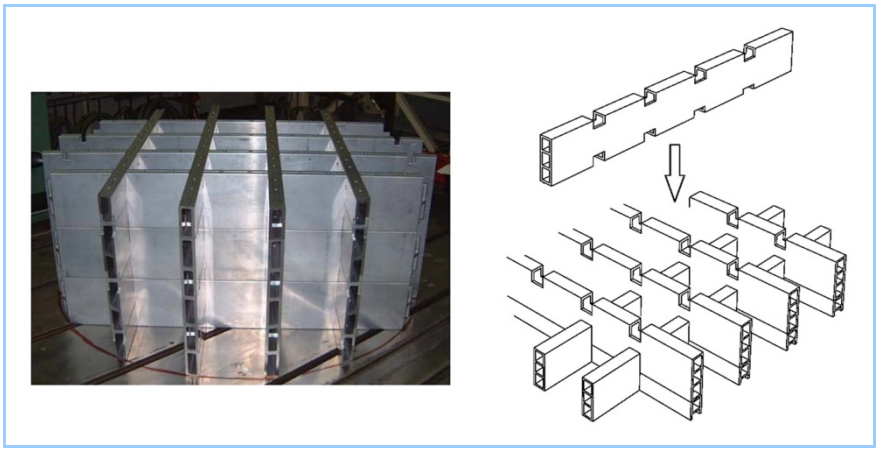

図3 PWR バスケット構造図

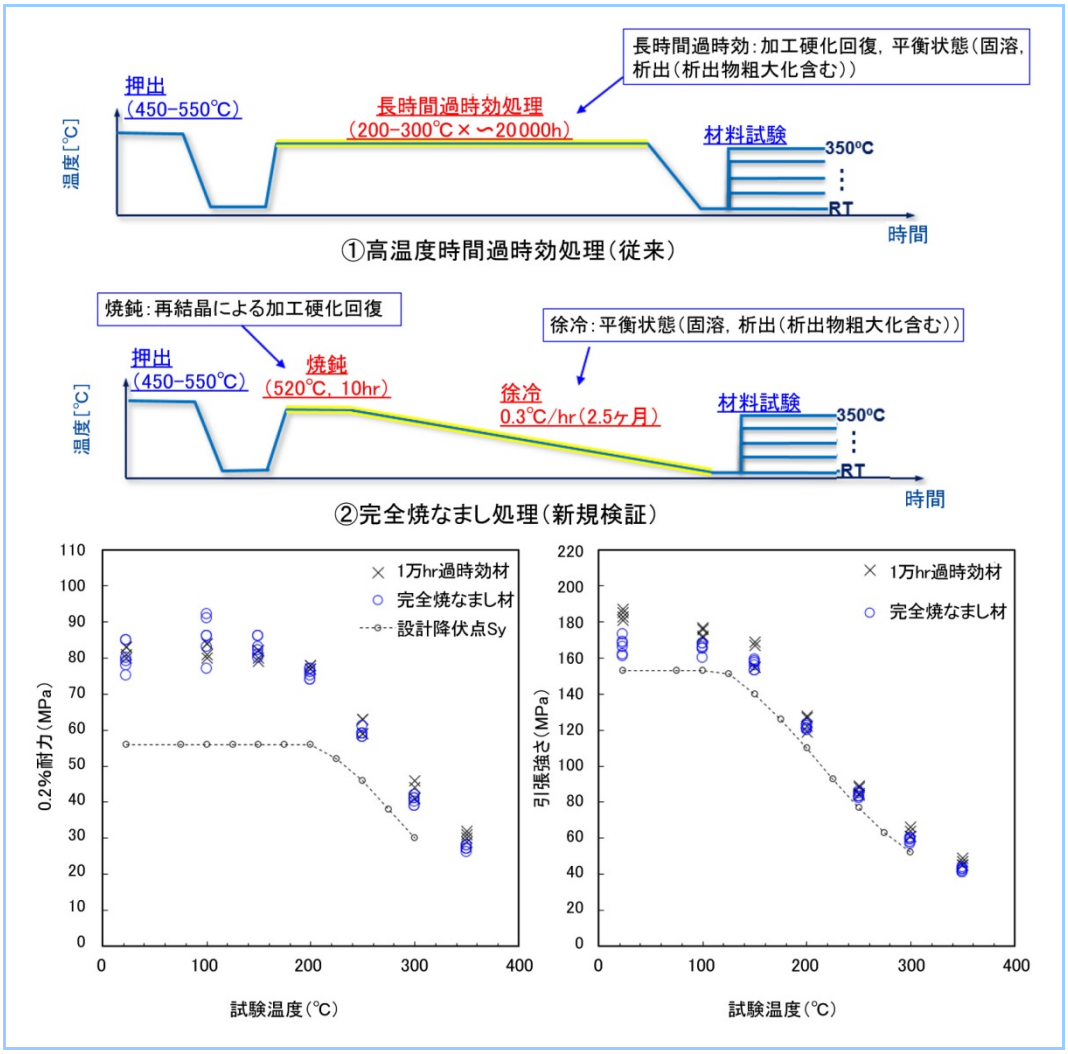


図4 アルミバスケット材 高温暴露時の熱処理方法及び試験結果

## 2. 製品ラインナップ

原子力施設に保管されている使用済燃料を乾式貯蔵するニーズに応えるべく，当社はさまざまなラインナップを取り揃えている（表1）。

原子力発電所構外における中間貯蔵施設向けとして BWR（沸騰水型原子炉：Boiling Water Reactor）燃料を 52 体収納可能な MSF-52B 型，及び PWR 燃料を 21 体収納可能な MSF-21P 型を開発し，国内メーカとして初めて型式認証(注1)を取得している。さらに，BWR 燃料を 69 体収納可能な MSF-69B 型や PWR 燃料を 24 体/32 体収納可能な MSF-24 P/32P 型を開発済であり，MSF-24P 型については，原子力発電所構内における使用済燃料乾式貯蔵施設向けに型式証

明を申請中である。また，四国電力(株)でMSF-24P/32P型，九州電力(株)でMSF-21P/24P型の採用が決定している。

（注1）“使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則”に規定された型式認証制度

表1 MSFキャスクラインナップ（仕様）

| 型　式(注2) | MSF-52B | MSF-69B | MSF-21P | MSF-24P | MSF-32P |
|---|---|---|---|---|---|
| 収納燃料 | 8×8 BWR | 8×8 BWR | 14×14 PWR<br>17×17 PWR | 15×15 PWR<br>17×17 PWR | 14×14 PWR |
| 収納体数 | 52 | 69 | 21 | 24 | 32 |
| 冷却年数(年) | ≧12 | ≧20 | ≧15 | ≧15 | ≧15 |
| U-235 濃縮度(%) | 3.7 | 3.7 | 4.9(14×14)<br>4.2(17×17) | 4.2 | 4.2 |
| 最高燃焼度(GWd/t) | 50 | 50 | 55(14×14)<br>48(17×17) | 48 | 48 |
| 発熱量(kW) | 13.7 | 13.2 | 13.9 | 15.8 | 14.8 |
| 重量(ton)(注3) | 116 / 132.1* | 116.9 / 135.0* | 116.6 / 131.2* | 117.7 / 134.4* | 116.6 / 135.5* |
| 寸法(m)(注3) | φ3.6×6.9* | φ3.6×7.2* | φ3.6×6.8* | φ3.6×6.8* | φ3.6×6.8* |

(注2) MSF-XXB/P　Mitsubishi Spent Fuel Cask の略称。(XX:収納体数　B/P:燃料型式)
(注3) ＊は輸送用緩衝体を含む重量/寸法を示す

## 3. 専用量産設備の導入

当社は，MSF キャスクを安定した品質で製造するために，キャスク専用の量産設備を導入し，溶接・機械加工・組立の集中一貫生産を可能としている。本体胴フランジのステンレスオーバレイや伝熱フィンと本体胴の自動溶接装置の採用により，これらの製造プロセスに生じていた時間を大幅に削減しており，20 基以上/年の供給が可能である。

① 品質安定化
- 溶接等の自動化による効率・再現性向上
- 集中製造・検査による習熟度向上

② 経済性の向上
- 製品動線の最適化
- 省力化，最短工期の実現

③ 供給の安定化
- IT 生産管理，確実な納期管理

## 4. 乾式貯蔵施設の取組み

当社は乾式キャスク単体だけではなく，原子力プラントメーカとしての各種技術をベースにした乾式貯蔵施設の基本設計も実施している。貯蔵施設の遮蔽及び除熱に関する安全評価を行い最適な配置設計を実現（図5）するとともに，乾式キャスクの搬送・固縛システムについては実機モデルを製作し，施設内のハンドリング性・メンテナンス性を踏まえた高い運用性を実現できることを確認している。乾式貯蔵施設の設計コンセプトとして乾式キャスクを中心に安全性，許認可性，運用性，メンテナンス性を有しており，お客様ニーズに対してフレキシブルな提案が可能である。

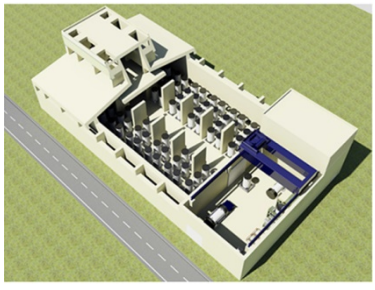

図5 乾式貯蔵施設鳥観図

## 5. 今後の展開

当社はこれまで取り組んできた落下試験に基づく安全性実証，材料開発，安全評価技術，製造技術を MSF キャスクに集積しており，安全性・品質・経済性の高い製品の提供が可能である。また，乾式キャスクを貯蔵する乾式貯蔵施設の基本設計についても取り組んでおり，原子力プラントメーカとしての総合力を発揮し使用済燃料乾式貯蔵の推進に引き続き貢献していく。