

使用済燃料の中間貯蔵施設に使用する乾式金属キャスク

Development of Transport and Storage Dual-Purpose Dry Cask for Spent Nuclear Fuel

清水 仁 Masashi Shimizu 鴨志田 守 Mamoru Kamoshida
星川 忠洋 Tadahiro Hoshikawa 町田 隆志 Takashi Machida



輸送貯蔵乾式金属キャスクの $\frac{1}{3}$ モデル落下試験(a)と実規模キャスクの外観(b)

これまで実施した各種要素試験、および総合評価としての $\frac{1}{3}$ モデル落下試験によって確立した設計手法を用いて、実規模大の輸送貯蔵乾式金属キャスクを製作し、実機で想定される検査も行った。製造時検査の一項目である伝熱試験を行い、キャスク設計の妥当性を確認した。

原子力発電所から発生する使用済燃料を、リサイクル燃料資源として再処理されるまで貯蔵しておくため、原子力発電所の敷地外での中間貯蔵施設が必要とされている。この中間貯蔵施設では、輸送貯蔵乾式金属キャスクによる貯蔵が検討されており、2010年をめどとした実現に向けて法令なども整備され、指針や基準の策定も進められている。

日立製作所は、輸送回数と貯蔵物量を低減するために、高収納体数化を図った輸送貯蔵乾式金属キャ

スクを開発した。経済性と長期信頼性を追求し、組立が簡易な構造と経年変化の少ない材料を採用している。また、各種要素試験と総合評価を行うために、 $\frac{1}{3}$ モデル落下試験を実施し、安全性を確認している。

さらに、これまでに確立した設計手法を用いて、実規模大の輸送貯蔵乾式金属キャスクを製作し、実機製造時の完成検査で要求される各種試験や検査を実施した。これらの知見を実機の設計や製作に反映し、完成度の向上を図っている。

1 はじめに

わが国では、原子力発電所から発生する使用済燃料を再処理することとしている。しかし、今後発生する使用済燃料は再処理量を上回るために、再処理するまでの期間、リサイ

クル燃料資源として適切に貯蔵、管理する必要がある。このため、2010年をめどとして、発電所敷地外での大規模な中間貯蔵施設が必要とされている。

発電所内の使用済燃料の中間貯蔵には、貯蔵用乾式金属キャスクによる貯蔵が実用化されている。一方、現在検討が進められている中間貯蔵施設では、優れた安全性を有し、

柔軟かつ経済的な方法である輸送貯蔵乾式金属キャスクによる貯蔵が検討されている。実績のある貯蔵用乾式金属キャスクに輸送機能を持たせた輸送貯蔵乾式金属キャスクを採用することにより、使用済燃料の詰め替えによるリスクの増大も抑制できると考えられる。

ここでは、輸送貯蔵乾式金属キャスクの概要と、各種要素試験、および総合評価としての $\frac{1}{3}$ モデル落下試験を実施して輸送貯蔵乾式金属キャスクの設計手法を確立した開発状況、設計、製作の完成度を高めるために実施した実規模大の製作について述べる。

2 輸送貯蔵乾式金属キャスクの位置づけ

輸送貯蔵乾式金属キャスクは、実績のある貯蔵用乾式金属キャスクに輸送機能を持たせたものであり、現在、日本原子力学会や日本機械学会などで指針や基準の策定が進められている。それに準拠して、日立製作所は、輸送回数と貯蔵建屋物量の低減を図るための高収納体数化を実現する輸送貯蔵乾式金属キャスクを開発した。輸送貯蔵乾式金属キャスクの位置づけを図1に示す。

3 輸送貯蔵乾式金属キャスクの概要

3.1 輸送貯蔵乾式金属キャスクの特徴

開発した輸送貯蔵乾式金属キャスクのイメージを図2に示す。経済性と長期信頼性を追求した設計とするために、各部位に溶接を極力排した構造を採用して組立性の向上を図り、経年変化の少ない材料を採用した。

バスケットとレジンプロックの構造を図3に示す。バスケットでは、バスケットプレートをサポートシリンダの溝に挿入し、垂直

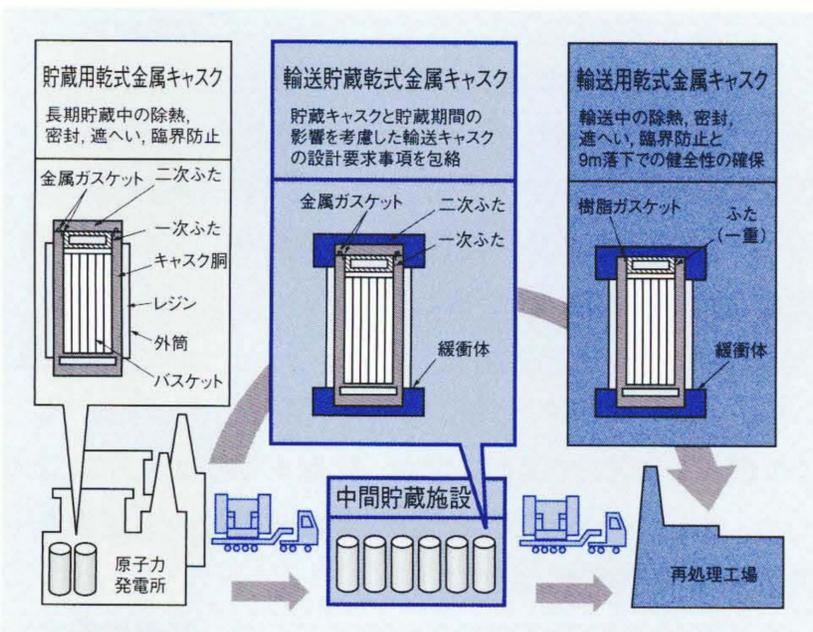
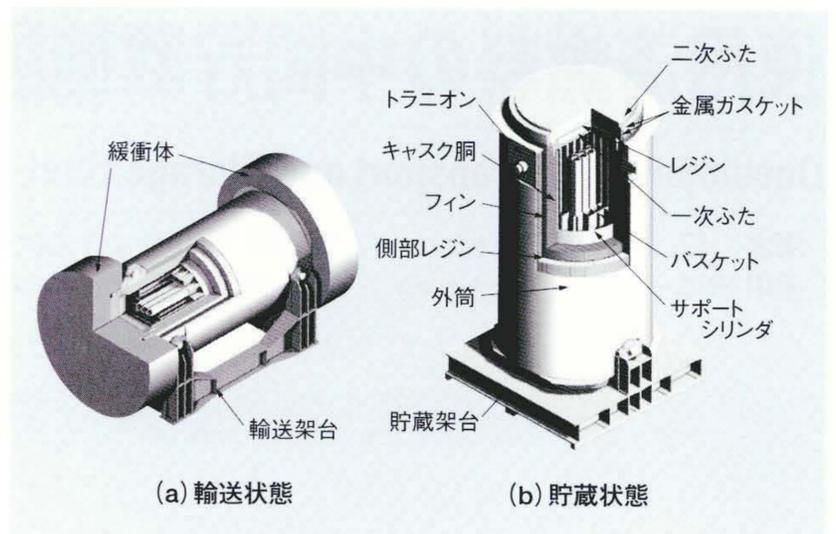


図1 輸送貯蔵乾式金属キャスクの位置づけ

輸送貯蔵乾式金属キャスクでは、貯蔵中や貯蔵前後の輸送を考慮した設計が必要である。



注：略語説明 BWR(Boiling Water Reactor)

図2 開発した輸送貯蔵乾式金属キャスクのイメージ

BWR燃料(ステップI, 10年冷却)を69体収納する。全長は約5.5 mで、外径は約2.5 mである。質量は、輸送時で約130 t、貯蔵時で約120 tである。

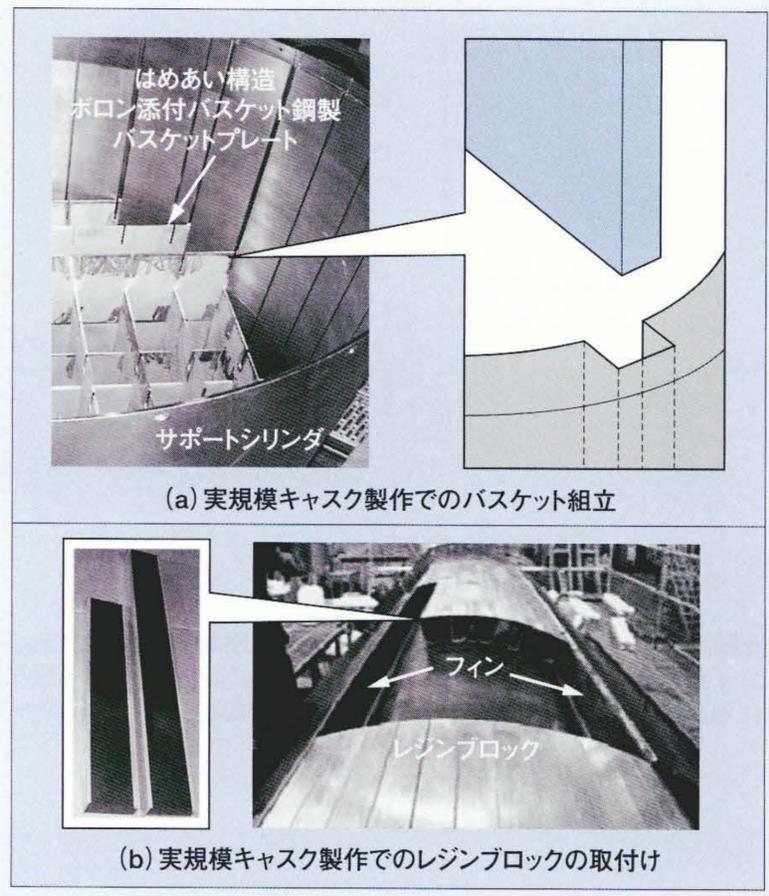


図3 バスケット構造(a)とレジンプロック構造(b)の概要

信頼性の向上と製造費の低減を図るため、はめあい構造やブロック構造を各部分に採用した。

方向で交互にはめ合う構造とした。バスケットプレートには、燃料支持と臨界防止機能を考慮し、長期貯蔵中の経年劣化が小さく、長期貯蔵後の輸送時に健全性を確保することができるボロン添加ステンレス鋼を用いて、信頼性の確保を図った。

一方、側部レジンをブロック構造とすることにより、キャスク本体の製作工程との並行作業を可能とし、製作工程を短縮している。アルミケースにレジンを鋳込んでレジンプロックを製作し、キャスク胴に接続した炭素鋼製の伝熱フィンで仕切られた位置に取り付ける構造である。レジンプロックは単体での直接検査(質量、寸法、割れや気泡の有無など)が可能である。

3.2 輸送貯蔵乾式金属キャスクの開発

輸送貯蔵乾式金属キャスクの開発の流れを図4に示す。輸送貯蔵乾式金属キャスクの基本的な安全機能は、密封、臨界防止、遮へい、除熱の各機能維持と、そのための構造強度を有することである。

開発では、これらの安全機能にかかわる各種要素試験を実施し、その安全性を確認するとともに、安全評価手法を確立した。

緩衝体要素落下試験では、輸送時の落下時の衝撃加速度を効果的に低減する緩衝体を開発するために、約 $\frac{1}{15}$ の模擬緩衝体を用いた。緩衝体を構成する木材の物性値を取得して、木材種類や配置などをパラメータとしてデータを蓄積し、落下衝撃が生じた状態を再現して解析する手法を確立した。これにより、後述の $\frac{1}{3}$ モデル落下試験体の緩衝体を設計した。

密封性能試験では、貯蔵後の輸送時の落下時にふたの変位が生じた場合を想定し、ふた部シール材として採用した金属ガスケットを加熱して、経年劣化を模擬した条件で実施した。これにより、ふたの変位量に対する金属ガスケットの密封性能の裕度を確認している。

伝熱試験では、スライスモデルを用いて、三次元構造である、はめあい構造バスケットの伝熱評価手法を確立し、伝熱性能の検証も行った。

これらの要素試験の結果を基に $\frac{1}{3}$ モデルを製作し、落下試験に供した。ここでは、開発の総合評価として、以下の評価を実施した。

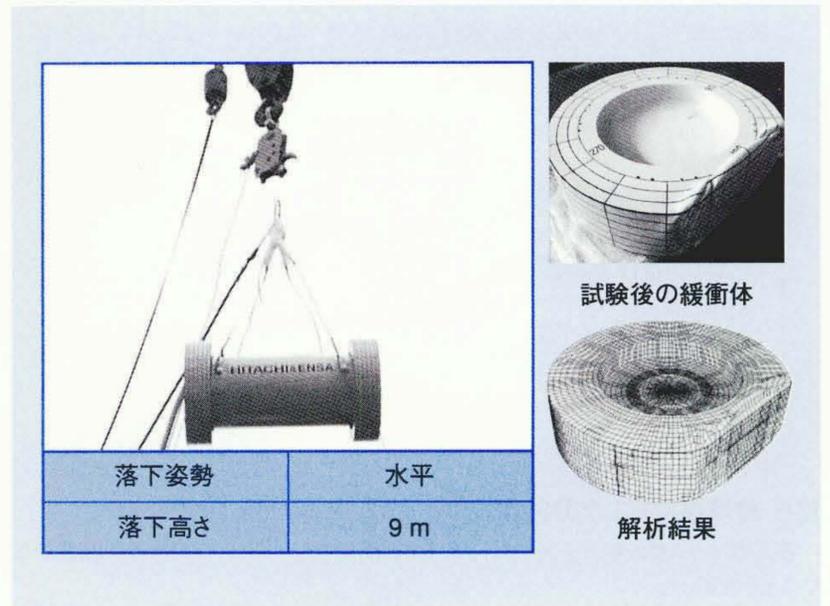


図5 $\frac{1}{3}$ モデル落下試験の結果

緩衝体要素落下試験で確立した解析手法により、衝撃荷重に対する緩衝体の変形挙動を再現することができた。

- (1) 緩衝体の設計
 - (a) 衝撃加速度の低減効果
 - (b) 緩衝体の変形挙動
- (2) キャスクの健全性
 - (a) 金属ガスケットの密封性能
 - (b) キャスク本体とふたの変形挙動
 - (c) 内部収納物の衝撃荷重に対する健全性

$\frac{1}{3}$ モデル落下試験の結果を図5に示す。これにより、緩衝体の設計手法が確立でき、かつ開発した緩衝体が高い衝撃吸収性能を持つことが確認できた。

また、キャスク設計の選択肢を増やすために、レジブロックを構成するレジ材料の開発も行っている。このレジは、ベースレジに加熱硬化型エポキシ系樹脂を、難燃剤として水酸化マグネシウムをそれぞれ用いている。加熱硬化型エポキシ系樹脂は架橋密度が高く、水酸化マグネシウムは脱水温度が高いことから、レジの加熱による減損量を抑制できる。開発したレジ材の熱劣化特性の加速劣化試験では、60年間の貯蔵期間を想定した場合の重量減損量が1%以下であった。このときの劣化生成物は、二酸化炭素が主であった。ガンマ線照射試験などの各種試験も実施し、開発したレジ材を輸送貯蔵乾式金属キャスクに採用した場合に、要求仕様を満たしていることを確認した。

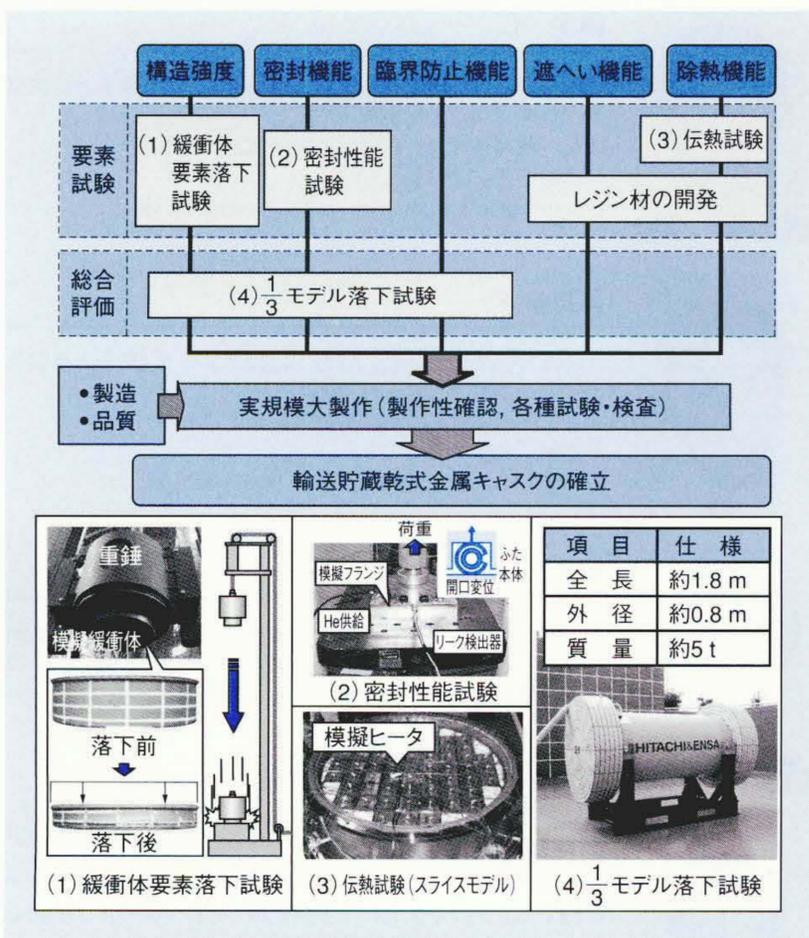


図4 輸送貯蔵乾式金属キャスクの開発の流れ

各種要素試験や $\frac{1}{3}$ スケールモデル落下試験により、安全機能の確認と設計手法の確立を行った。

4 実規模キャスクの製作

4.1 実規模キャスクの製作状況

開発した輸送貯蔵乾式金属キャスクの品質の向上と製作性の確認を行い、キャスクの完成度を高めることを目的に、実規模キャスクの製作を実施した。製作の概略工程を図6に、実機を想定して実施した各種検査と試験項目を表1にそれぞれ示す。

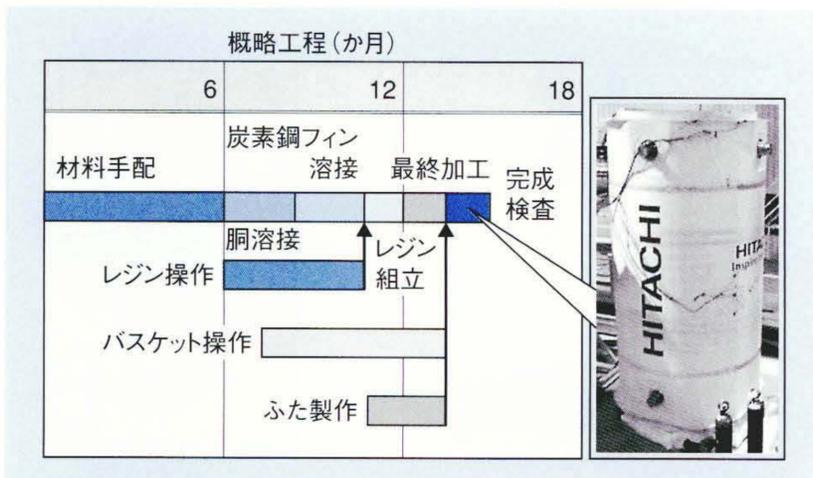


図6 実規模キャスクの製作

実規模キャスクの製作を通して、これまでに開発したキャスクの製作性に問題がないことを確認した。

表1 実規模キャスクの製作における検査および試験項目

社団法人日本原子力学会で策定中の基準に照らし合わせて検査および試験を実施し、実規模キャスク製作において設計、製作手順、制作方法が妥当であることを確認できた。

安全機能	実規模大キャスク製作における検査および試験項目
構造強度	材料検査, 寸法検査, 外観検査, 溶接検査, 耐圧・漏えい検査, 吊り上げ荷重検査, 重量検査
密封機能	気密漏えい検査
臨界防止機能	材料検査, 寸法検査, 外観検査
遮へい機能	材料検査, 寸法検査, 外観検査
除熱機能	伝熱試験 材料検査, 寸法検査, 外観検査

4.2 実規模伝熱試験

実規模伝熱試験では、燃料集合体と同等の発熱量と発熱領域を有する69組のヒータを用いた。ヒータや温度測定用の熱電対のケーブルを取り出すために、伝熱試験用のふたを製作して伝熱試験に供した。貯蔵状態を模擬するため、内部にはヘリウムガスを充てんした。

実規模伝熱試験の結果、要素試験であるスライスモデルでの伝熱試験によって確立した伝熱解析評価手法は、キャスクの温度分布を安全側に評価することを確認した(図7参照)。

5 おわりに

ここでは、輸送貯蔵乾式金属キャスクの開発、設計手法などについて述べた。

日立製作所は、実用化が近いと考えられる輸送貯蔵乾式金属キャスクの開発を行い、各種試験や実規模製作などによって所定の性能を発揮していることを確認し、設計手法の確立を図った。これらの知見を反映して、今後、実機の設計や製作での完成度を高めていく計画である。

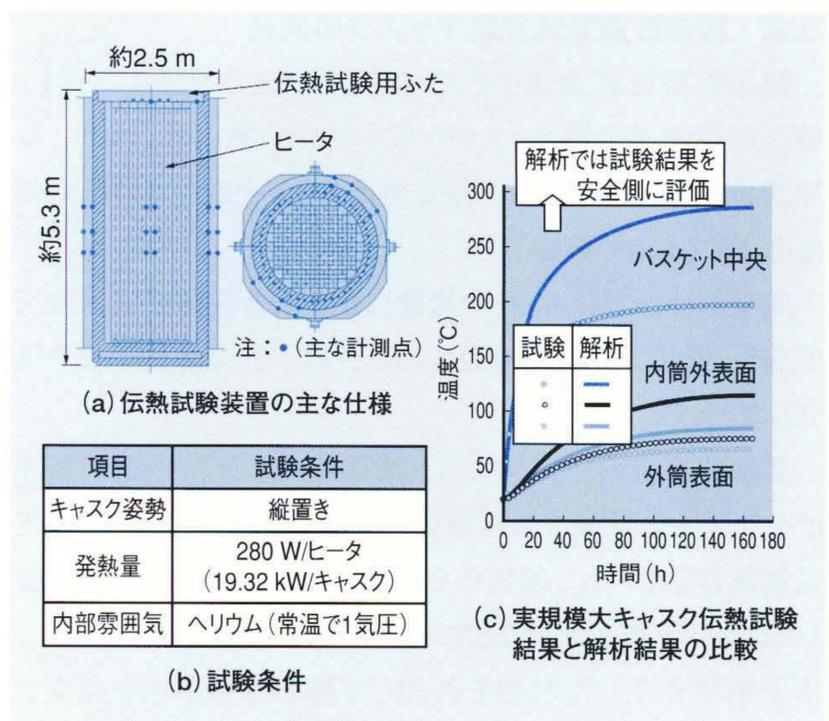


図7 実規模伝熱試験の条件と結果の概要

実機では、キャスクの構成部材は許容温度を下回り、かつ使用済燃料の温度は十分な裕度を持って300℃を下回ると評価できる。

参考文献

- 1) 総合エネルギー調査会 原子力部会 中間報告「リサイクル燃料資源中間貯蔵の実現に向けて」(平成10年6月11日) 他
- 2) 清水, 外: 輸送・貯蔵兼用金属キャスクの開発(I)~(XIV), 日本原子力学会, 2001年春の年会(2001)~2003年秋の大会(2003)
- 3) 星川, 外: リサイクル燃料貯蔵システムの開発, 日本機械学会, 第8回動力・エネルギー技術シンポジウム(2002)
- 4) 鴨志田, 外: 使用済燃料輸送/貯蔵金属キャスクの開発, International Seminar on Interim Storage of Spent Fuel ISSF 2003(2003)

執筆者紹介



清水 仁

1983年日立製作所入社, 電力・電機グループ 原子力事業部 サイクルプロジェクト部 所属
現在, 使用済燃料貯蔵設備の設計業務に従事
日本原子力学会会員
E-mail: masashi_shimizu @ pis. hitachi. co. jp



星川忠洋

1990年日立製作所入社, 電力・電機グループ 原子力事業部 サイクルプロジェクト部 所属
現在, 使用済燃料貯蔵設備の設計業務に従事
日本原子力学会会員
E-mail: tadahiro_hoshikawa @ pis. hitachi. co. jp



鴨志田守

1992年日立製作所入社, 電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 所属
現在, 燃料サイクルのバックエンド技術開発に従事
日本原子力学会会員
E-mail: mamoru_kamoshida @ pis. hitachi. co. jp



町田隆志

1984年日立製作所入社, 日立研究所 材料・デバイス研究センター エネルギー材料研究部 所属
現在, 原子力機器の構造強度評価業務に従事
日本機械学会会員
E-mail: tmachida @ gm. merl. hitachi. co. jp