



日本原子力学会標準

使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスク の安全設計及び検査基準：202X（案）

202X年 X月

一般社団法人 日本原子力学会

(白紙)

全県家畜改良

まえがき

原子力発電所の使用済燃料に対する我が国の基本方針は、リサイクルによるプルトニウム及び回収ウランの再利用にあります。原子燃料サイクルにおける中間貯蔵は、再処理施設の操業に柔軟に対応するための手段と考えられています。1999年6月には原子炉等規制法が改正され、使用済燃料の貯蔵の事業が追加されました。また、民間事業者は2010年までに使用済燃料中間貯蔵施設を操業開始するという目標を掲げ準備を進めていました。このような状況を踏まえて日本原子力学会では、2002年6月に中間貯蔵用金属キャスクに関する標準を制定しました。その後、2002年10月に、原子力安全委員会は新たに金属キャスクによる中間貯蔵のための安全審査指針を策定し、これを受けて日本原子力学会では、2004年1月にこの標準を改定しました。また、2006年4月には、原子力安全・保安院が使用済燃料貯蔵施設に係る技術要件を改定し、これを受けて日本原子力学会では、2008年5月にこの標準を再度改定しました。さらに、この標準が、青森県むつ市に建設が予定されている国内初の使用済燃料中間貯蔵施設に対する“使用済燃料の貯蔵の事業の許可”及び“設計及び工事の方法の認可”の審査において有効に用いられるよう、規定内容の充実、最新知見の取入れなどを行い、2010年3月に再度改定しました。

今回の改定では、最新の法規、他規格の反映及び最新の知見を取り入れています。これによって、この標準が金属キャスクの安全設計及び検査において有効に用いられると考えられます。

この標準は、“使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010”を、上記の許認可審査においてより有効に利用できるよう、日本原子力学会が標準委員会原子燃料サイクル専門部会リサイクル燃料貯蔵分科会、同専門部会及び同委員会での審議を経て改定したものです。

この標準の対象とする金属キャスクは、使用済燃料中間貯蔵施設での使用済燃料の静置・貯蔵だけでなく、原子力発電所からの輸送、及び使用済燃料中間貯蔵施設からの輸送に一貫して使用するものです。したがって、この標準では貯蔵及び輸送上の基本的安全機能及び構造上の設計要求、並びに各過程での検査項目及び検査方法等を規定します。

また、この標準には、事業者の責任、発電所内における先行貯蔵、部材の長期健全性の確認についても規定しています。

Foreword

Japanese policy on the spent fuel generated at nuclear power station is to reprocess it and utilize retrieved plutonium and uranium. Under the policy, interim storage is important as a measure to add flexibility to the management of nuclear fuel cycle. Practically, future gap estimated between spent fuel generation and reprocessing capacity has promoted the needs for interim storage facilities to store spent fuel as a retrievable energy source.

The Law for the Regulations of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors was amended in June, 1999, adding the Spent Fuel Storage Business, and private enterprises were under preparation to construct interim storage facilities away from reactors by 2010.

Under the circumstances, Atomic Energy Society of Japan established a standard on metal casks for the spent fuel interim storage in June, 2002. In October 2002, the Nuclear Safety Committee of Japan newly decided “The Guidelines of Safety Review for Spent Nuclear Fuel Interim Storage Facility using Metallic Dry Casks.” In January 2004 Atomic Energy Society of Japan revised this standard reflecting the above guidelines. In April 2006 the Nuclear and Industrial Safety Authority of Japan revised “The Technical Requirements for Spent Nuclear Fuel Interim Storage Facility using Metallic Dry Casks.” In May 2008 Atomic Energy Society of Japan revised this standard reflecting the above technical requirements. Furthermore, in order to be effectively used in the safety review of "application for permission of business" and "application for approval of facility design and construction" for Japanese first interim storage facility planned to be built in MUTSU, Aomori, this standard was revised again in March 2010, including enhancement of standards and incorporation of the latest knowledge.

In this revision of this standard, information on the latest legislation and related standards are reflected and the latest knowledge is incorporated. As a result, it is considered that this standard is effectively used for safety design and inspection of metal casks.

This standard, which is the revision of the “Standard for Safety Design and Inspection of Metal Casks for Spent Fuel Interim Storage Facility: 2010”, has approved by Atomic Energy Society of Japan on the deliberation at the Subcommittee on Recycle Fuel Storage, the Nuclear Fuel Cycle Technical Committee and the Standards Committee, as to be more useful in the approval reviewing for the interim storage facility.

The metal casks objected in this standard are to be used not only for storage at the spent fuel interim storage facility, but also used consistently for transports to and from the facility. Therefore, this document provides the design requirements to maintain the basic safety functions and structural integrity during transport and storage, and inspection methods to ensure them at each process. Moreover, it prescribes responsibilities by the enterprises, demonstration methods of long term integrity of cask components and spent fuel including foregoing storage at power station.

制定：2002 年 6 月 7 日 第 1 回改定：2004 年 1 月 21 日 第 2 回改定：2008 年 5 月 15 日
第 3 回改定：2010 年 3 月 12 日 第 4 回改定：202X 年 X 月 X 日

この標準についてのご意見又はご質問は、日本原子力学会事務局標準委員会担当
(〒105-0004 東京都港区新橋 2-3-7 TEL 03-3508-1263) にご連絡下さい。

免責条項

この標準は、審議の公平性、公正性、公開性を確保することを基本方針として定められた標準委員会の規則類に従って、所属業種のバランスに配慮して選出された委員で構成された委員会にて、専門知識及び関心を有する人々が参加できるように配慮しながら審議され、さらにその草案に対して産業界、学界、規制当局を含め広く社会から意見を求める公衆審査の手続きを経て制定されました。

一般社団法人日本原子力学会は、この標準に関する説明責任を有しますが、この標準に基づく設備の建設、維持、廃止などの活動に起因する損害に対しては責任を有しません。また、この標準に関連して主張される特許権及び著作権の有効性を判断する責任もそれらの利用によって生じた特許権や著作権の侵害に係る損害賠償請求に応じる責任もありません。そうした責任は全てこの標準の利用者にあります。

なお、この標準の審議に規制当局、産業界の委員が参加している場合においても、この標準が規制当局及び産業界によって承認されたことを意味するものではありません。

Disclaimer

This standard was developed and approved by the Standards Committee of AESJ in accordance with the Standards Committee Rules, which assure Balance, Due process, and Openness in the process of deliberating on a standard. The Committee is composed of individuals who are competent or interested in the subject and elected, keeping the balance of organizations they belong in the subject, with their professional affiliations well-balanced as specified in the Rules. Furthermore, the standard proposed by the Committee was made available for public review and comment, providing an opportunity for additional input from industry, academia, regulatory agencies and the public-at-large.

AESJ accepts the responsibility for interpreting this standard, but no responsibility is assumed for any detriment caused by the actions based on this standard during construction, operation, or decommissioning of facilities. AESJ does not endorse or approve any item, construction, device or activity based on this standard.

AESJ does not take any position with respect to the validity of any patent rights or copyrights claimed in relation to any items mentioned in this document, nor assume any liability for the infringement of patent rights or copyrights as a result of using this standard. The risk of infringement of such rights shall be assumed entirely by the users.

The Committee acknowledges with appreciation the participation by regulatory agency representatives and industry-affiliated representatives, whose contribution is not to be interpreted that the government or industry has endorsed this standard.

著作権

文書による出版者の事前了解なしに、この標準のいかなる形の複写・転載も行ってはなりません。

この標準の著作権は、全て一般社団法人日本原子力学会に帰属します。

Copyright

No part of this publication may be reproduced in any form without the prior written permission of the AESJ.

Copyright © 202X Atomic Energy Society of Japan

All Rights Reserved.

日本原子力学会

日本原子力学会における原子力標準の策定について

標準委員会は、原子力安全の確保を目指して公平、公正、公開の原則のもと、学术界、産業界及び国の機関等に広く所属する幅広い分野の専門家の参加を得て、活動を進めています。東京電力福島第一原子力発電所の事故からの多くの教訓を踏まえて、原子力安全の向上を最も重要な目標として、国際的なエクセレンスに学び、我が国の社会経済的環境、国民性、産業構造の変化や技術の発達等を十分勘案し、原子力発電所など原子力に係るシステムや製品、仕組みに関連する基準を原子力標準として随時制定し、それを新たな知見を随時反映して改定していくことが、標準委員会の使命です。原子力標準は安全性向上に資する最新の知恵の体系であり、真摯な議論を踏まえて、国民が最新の知見を迅速に活用することを可能としています。また原子力安全を最優先として市場競争を行っている産業界は、当該技術が標準化されたことを前提として、比較優位性を生み出す技術開発等に努力を傾け、ひいては原子力安全をより確実にする活動に注力することが可能となります。

我が国においてはこれまで、国民の生活の質を確保し、経済社会の安定な発展を支えるため、国の規制機関が要の基準を国家標準として制定し、行政判断に使用してきました。さらに近年では、機能性化として標準策定の活動を学会に委ねる方向が進展してきました。しかしながら今後は、早期に体系化を整えることに加えて、新知見の取入れをより迅速に行うようにすることで、技術やニーズの変化に合わせて標準を適正化していく作業を加速し、原子力安全の確保の観点で決して陳腐化が起こらないように努めなければなりません。学会における標準の策定活動を通じて、福島第一原子力発電所事故の再発を防ぐことはもちろんのこと、いわゆる安全神話が復活することがないように努めていきたいと考えます。

標準委員会としては、原子力安全を担う原子力規制委員会とも緊密な協働の下で、学会が中核となって、全てのステークホルダーから専門家が参画して真摯に議論を深め、優先度を明らかにしつつ、原子力安全の目標を達成するため適正な原子力標準を迅速に策定する役割を担っていきます。

このような精神に則り、標準委員会においては構成する委員一人ひとりが専門家として学会の倫理規程を遵守し、公平、公正、公開の原則のもとに原子力安全の向上に資する原子力標準を策定していきます。公衆審査を経て制定される標準を規制機関と産業界が安全性向上を図るために利用していくことになれば、新しい技術的知見を迅速に、また国民の利用に供することになります。さらに、これらを国際的な標準として提示していく努力を行うことも学会の役割であり、その実現は我が国の国際技術戦略に加え、福島第一原子力発電所事故後の国際社会における原子力安全に対して重要な貢献となると考えます。

202X 年 X 月

標準委員会
委員長 関村 直人

原子力標準の位置付けについて

“使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：201X”は、1999年9月22日に設置された日本原子力学会標準委員会（Standards Committee of AESJ）が、原子力施設の安全性と信頼性を確保してその技術水準の維持・向上を図る観点から、原子力施設の設計・建設・運転・廃止措置などの活動において実現すべき技術のあり方を、原子力技術の提供者、利用者、専門家の有する最新の知見を踏まえ、影響を受ける可能性のある関係者の意見をパブリックコメントをも通じて聴取するなど公平、公正、公開の原則を遵守しながら審議し、合意したところを文書化した原子力標準の一つです。

標準委員会は、専門家集団の果たすべきこのような役割と責任を意識しながら、原子力施設の安全性と信頼性の達成に必要なニーズに対応する標準策定活動を行うために、公平、公正、公開の原則に則って定めた運営規則に従い、原子燃料サイクル専門部会でこの標準の原案を作成しました。この標準が標準委員会設置の趣旨を踏まえて各方面で活用されることを期待します。

なお、この内容については、常に最新知見を原子力標準に反映すべく、原則として5年ごとに改定することとしておりますので、本委員会はこの標準の利用に際してのご質問や改定に向けてのご提案をいつでも歓迎します。

202X年X月

標準委員会

委員長 関村 直人

原子燃料サイクル専門部会の活動について

原子燃料サイクル専門部会（以下、本専門部会という。）は、標準原案作成の任務を一般社団法人日本原子力学会標準委員会から与えられ、2000年4月以来、活動を行っています。

本専門部会は、“原子燃料サイクル施設（燃料加工施設、使用済燃料貯蔵施設、再処理施設、及び廃棄物処理処分施設）と核物質の輸送に供する設備などに関わる事項及びそれらの施設に特有の安全設計や運用、放射性物質の取り扱い”の標準原案作成を担当しています。

原子燃料のリサイクル路線をとっている我が国の原子力が、エネルギー源としての重要な役割を果たしていくためには、商業用原子炉とその周辺に展開される原子燃料サイクルとが一体となって、安全かつ経済的な発展を遂げていく必要があります。

しかし、我が国においては、これらの原子力施設において二つの重大な事故が発生しております。一つは茨城県東海村にあるウラン加工工場において1999年9月30日に発生した臨界事故であり、もう一つは、2011年3月11日の津波被災に起因する福島第一原子力発電所の事故です。現在、原子燃料サイクルに関わる教育・研究機関、学協会及び関連事業者は、このような事故が二度と起こらないようにすることはもちろんのこと、安全性の確保を最優先にさまざまな事故や不具合を防止する方策の構築を、民間再処理工場の建設・運転、混合酸化物燃料の軽水炉利用、放射性廃棄物の処理・処分などの原子燃料サイクルの確立に関連した分野において進めているところです。

このような状況の中にあって、本専門部会は、原子燃料サイクルに関連する施設の設計・建設・運転及び放射性廃棄物の埋設終了後の安全性と信頼性を確保し、その技術水準の維持向上を図るために必要な民間標準の原案を、公平、公正、公開の原則に立ち、学会活動の一環として作成しております。

本専門部会の下には、必要に応じて分科会が設置され、個々の標準原案の作成のための詳細な検討が行われています。また、本専門部会は公開で行われていますので、事前に連絡して下されば、傍聴することができます。その審議の過程は議事録として残し、ホームページにも掲載されておりますので、これまでの活動状況をご確認いただくことができます。

標準は、新技術の開発状況や新たに得られた知見にもとづいて適切に改定されていくことによって、その利用価値が維持できるものです。そのため、少なくとも年に1度は本専門部会で見直しの検討を行い、原則として5年ごとに改訂版を作成していき、その都度、忌憚のない意見を広く求め、適切に改訂版に反映させてまいりたいと考えております。

202X年X月

標準委員会

原子燃料サイクル専門部会

部会長 高橋 邦明

標準委員会，専門部会，分科会，作業会 委員名簿
標準委員会

(順不同，敬称略)
(202X年X月X日現在)

公眾審査用

制定後記載

原子燃料サイクル専門部会

(順不同，敬称略)
(202X 年 X 月 X 日現在)

公開審査用

制定後記載

リサイクル燃料貯蔵分科会

(順不同，敬称略)
(202X 年 X 月 X 日現在)

公衆審査用

制定後記載

リサイクル燃料貯蔵分科会 作業会 1

(順不同，敬称略)
(202X 年 X 月 X 日現在)

公衆審査専用

制定後記載

標準の利用に当たって

標準は対象とする技術，活動又は結果の仕様についての関係者のコンセンサスを規定しているものです。標準にはこうあるべきという義務的事項の他，こうあってもよいとして合意された非義務的な事項も含まれています。しかし，標準は，対象としている技術，活動又は結果の仕様について，規定している以外のものを排除するものではありません。

また，標準が規定のために引用している他の規格・標準は，記載された年度版のものに限定されます。標準は全体として利用されることを前提に作成されており，公式な解釈は標準委員会が行います。標準委員会はそれ以外の解釈については責任を持ちません。標準を利用するに当たってはこれらのことを踏まえてください。

なお，標準委員会では，技術の進歩に対応するため，定期的に標準を見直しています。利用に当たっては，標準が最新版であることを確認してください。

(白紙)

全書家畜用

目 次

	ページ
序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	2
4 金属キャスクの安全設計	7
4.1 安全設計の前提条件	7
4.1.1 金属キャスクの貯蔵条件	7
4.1.2 金属キャスクに収納する使用済燃料の条件	8
4.1.3 輸送と貯蔵の兼用に対する要件	8
4.1.4 経年変化に対する要件	8
4.2 安全設計の方法	9
4.2.1 基本仕様	9
4.2.2 密封設計	10
4.2.3 遮蔽設計	11
4.2.4 臨界防止設計	12
4.2.5 除熱設計	13
4.2.6 構造強度設計	13
5 金属キャスクの検査	17
5.1 検査を行う段階と検査項目	17
5.2 検査要領	21
附属書 A (規定) 事業者の責任	34
附属書 B (参考) 金属キャスクによる中間貯蔵施設	36
附属書 C (規定) 中間貯蔵における使用済燃料の長期健全性を 確認するための発電所構内などでの先行貯蔵	53
附属書 D (参考) 金属キャスクの構造と運用の様態	55
附属書 E (規定) 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の 長期健全性維持に関する設計基準	59
附属書 F (参考) 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の 経年変化に関するデータ	70
附属書 G (規定) 中間貯蔵における金属キャスク構成部材の 長期健全性確認方法	119
附属書 H (規定) 二重蓋構造における密封境界形成の考え方	121

附属書 I (参考)	金属キャスク内部乾燥時の残留水分による 燃料被覆管健全性評価例	124
附属書 J (参考)	金属キャスクの密封設計における使用済燃料の破損の仮定	126
附属書 K (参考)	断面積ライブラリ及び解析コード	134
附属書 L (規定)	金属ガスケットの漏えい率の設定方法	140
附属書 M (参考)	金属ガスケットの漏えい率の設定例	144
附属書 N (規定)	燃料被覆管の制限値	153
附属書 O (参考)	燃料被覆管の制限値に関するデータ	158
附属書 P (参考)	金属キャスク内部真空乾燥時の燃料被覆管温度制限方法例	177
附属書 Q (参考)	燃料被覆管の応力計算例	179
附属書 R (規定)	金属キャスクの検査要領	181
附属書 S (規定)	代表キャスクの伝熱検査による除熱設計の妥当性評価方法	204
附属書 T (参考)	代表キャスクの伝熱検査による除熱設計の妥当性の評価例	208

解説

1 制定の趣旨	212
2 前回までの改定の趣旨及び経緯	213
3 今回(202X)の改定の趣旨	214
4 主な改定点	215
5 懸案事項	219
6 その他の解説事項	220

日本原子力学会標準

使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの 安全設計及び検査基準：202X

Standard for Safety Design and Inspection of Metal Casks for Spent Fuel Interim Storage Facility

序文

使用済燃料中間貯蔵施設には、燃料詰替設備を設けるものと設けないものがあり、燃料詰替設備の有無により要求事項が異なっている。この標準は、燃料詰替設備を設けない使用済燃料中間貯蔵施設（以下、“中間貯蔵施設”という。）用金属キャスクの設計者、製造者及び使用者が金属キャスクを設計・製造・使用する際の、基本的安全機能及び構造強度に関する設計（以下、“安全設計”という。）及び検査方法を規定することによって、使用済燃料の中間貯蔵及び輸送の安全を確保することを目的としている。

1 適用範囲

この標準は、中間貯蔵施設で用いる金属製の乾式のキャスクについて、使用済燃料の原子力発電所からの輸送、中間貯蔵施設での貯蔵及び貯蔵終了後の他の施設への輸送に関する次の事項を規定する。

- a) 安全設計
- b) 検査の基準

2 引用規格

次に掲げる規格、指針及び標準は、この標準に引用されることによって、この標準の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、記載の年の版だけがこの規格を構成するものであって、その後の改訂（改正、改定）版・追補には適用しない。

なお、引用規格とこの標準の規定に相違がある場合は、この標準の規定を優先する。

- a) **JIS Z 2331-2006** ヘリウム漏れ試験方法
- b) **JIS Z 2332-2012** 圧力変化による漏れ試験方法
- c) **JIS Z 4001-1999** 原子力用語
- d) **JSME S FA1-2007** 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格
- e) 原子力安全委員会 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針，平成 18 年 9 月 19 日原子力安全委員会決定
- f) 原子力規制委員会 耐震設計に係る工認審査ガイド，平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定

- g) **AESJ-SC-F001-2008** 使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物・低レベル放射性廃棄物輸送容器定期点検基準：2008
- h) **AESJ-SC-F006-2013** 使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準：2013

3 用語及び定義

この標準で用いる主な用語及び定義は、**JIS Z 4001-1999**による。特に金属キャスクに関連する主な用語の定義は、次による。

3.1

金属キャスク (metal cask)

健全性を確保した使用済燃料を輸送及び貯蔵するための金属製の乾式容器¹⁾。

注¹⁾ 密封容器、バスケット、トラニオン及びその他の部品で構成し、輸送時には緩衝体及び必要な場合は三次蓋を取り付ける。この標準では、使用済燃料を収納した状態も含めて総称する。

3.1.1

密封容器 (containment vessel)

金属キャスクの構成要素であって、放射性物質を閉じ込めるための密封境界を構成するもの²⁾。

注²⁾ 本体（胴及び底板）、密封蓋及び密封蓋ボルト。ここで、密封蓋とは、輸送時又は貯蔵時において密封機能が要求される蓋をいう。

3.1.2

バスケット (fuel basket)

金属キャスクの構成要素であって、使用済燃料を保持し、未臨界状態を維持するもの。

3.1.3

トラニオン (trunnion)

金属キャスクの構成要素であって、金属キャスクの吊上げ³⁾及び固縛⁴⁾に使用するもの。

注³⁾ トラニオン以外に金属キャスク吊上げ専用の吊金具（本体吊金具）を用いる設計もあり、この標準では、それらも含めて総称する。

⁴⁾ 固縛にトラニオンを使用しない設計もある。

3.1.4

中間胴 (intermediate shell)

金属キャスクの構成要素であって、密封容器の外側に配置され、キャスク胴部の外荷重に対する構造強度部材として機能するもの⁵⁾。

注⁵⁾ 使用しない設計もある。

3.1.5

一次蓋 (primary lid)

金属キャスクの使用済燃料を収納する空間（以下，“金属キャスク内部”という。）を構成し，輸送時及び貯蔵時を通じて開放することなく使用する蓋。貯蔵時に密封境界となる。

3.1.6

二次蓋（secondary lid）

一次蓋の外側に取り付け，輸送時及び貯蔵時に使用する蓋。

3.1.7

三次蓋（tertiary lid）

二次蓋の外側に取り付け，輸送時のみに使用する蓋⁶⁾。

注⁶⁾ 輸送時のみに用いる密封境界として蓋形状以外のものを溶接によって取り付ける設計もあり，この標準では，それらも含めて総称する。使用しない設計もある。

3.1.8

シール部（seal part）

輸送時又は貯蔵時に，金属キャスクの密封境界又は二重蓋間圧力監視境界を構成する部品の接合部（蓋に設けられた貫通孔の部品の接合部を含む）。（例 蓋とフランジの接合部に設けられたガスケット並びに当該ガスケットと蓋及びフランジの接触部）

3.1.9

スツール（axial spacer）

金属キャスクと使用済燃料の軸方向位置関係を調整する場合に，金属キャスク内部に挿入する台。

3.2

中間貯蔵施設（interim storage facility）

金属キャスクに収納した使用済燃料を一時的に貯蔵する施設であって，燃料詰替設備を設けないもの。

注記 “核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律”（以下，“原子炉等規制法”という。）第 43 条の 4 に該当する。

3.3

基本的安全機能（safety function）

密封機能，遮蔽機能，臨界防止機能及び除熱機能。

3.3.1

密封機能（containment function）

金属キャスク内に存在する放射性物質を閉じ込める機能。

3.3.2

遮蔽機能（shielding function）

金属キャスクに収納した使用済燃料の出す放射線を遮蔽する機能。

3.3.3

臨界防止機能（criticality safety function）

使用済燃料が臨界に達することを防止する機能。

3.3.4

除熱機能 (heat removal function)

金属キャスクの基本的安全機能を持つ構成部材の健全性、及び使用済燃料の健全性を担保するため、使用済燃料の崩壊熱を除去する機能。

3.4

貯蔵建屋 (storage building)

中間貯蔵施設内において金属キャスク及びその他の設備を収納する建物又は構造物。

3.5

異常事象 (design basis abnormal event)

中間貯蔵施設において、中間貯蔵施設の供用期間中に、施設内の機器の単一の故障若しくは誤動作又は運転員の単一の誤操作及びこれらと同等の頻度で発生すると予想される外乱によって生じる事象。

3.6

事故 (design basis accident event)

中間貯蔵施設において、異常事象を超える状態であり、技術的にみて発生が想定される事象⁷⁾であって、発生した場合には放射性物質の放出の可能性がある事象であり、一般公衆の放射線被ばくの観点からみて重要と考えられる事象。

注⁷⁾ 中間貯蔵施設は静的な施設であり、安全設計上想定される事象を考慮する。

3.7

輸送法令 (regulations for transport)

日本国内の核燃料物質等の事業所外輸送に係る法令。

注記 “原子炉等規制法”，“核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則”，“核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則第三条等の規定に基づく核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等”，“核燃料物質等車両運搬規則”，“核燃料物質等車両運搬規則の細目を定める告示”，“船舶安全法”，“危険物船舶運送及び貯蔵規則”及び“船舶による放射性物質等の運送基準の細目等を定める告示”をいう。

なお、これらの法令において、“輸送”，“運搬”，“運送”という用語は同義に用いられており、この標準では、“輸送”に統一する。

3.8

輸送物 (transport package)

輸送に供するために、金属キャスクに使用済燃料を収納し、緩衝体及び必要な場合は三次蓋を取り付けたもの。

3.9

輸送時 (during transport)

輸送法令に従って輸送している状態。

注記 この状態には、通常輸送時、一般の試験条件及び特別の試験条件を含む。

3.10

貯蔵時 (during storage)

使用済燃料を収納した金属キャスクが中間貯蔵施設内にある状態のうち、通常貯蔵時及び通常貯蔵時に基準地震動 S_s ⁸⁾以下の地震力が作用する時。

注⁸⁾ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針及び耐震設計に係る工認審査ガイドで規定する耐震設計において基準とする地震動。

3.10.1

通常貯蔵時 (during storage under design basis normal condition)

中間貯蔵施設内で金属キャスクを通常に取り扱っている、又は静置している状態。

3.11

貯蔵法令 (regulations for storage)

日本国内の使用済燃料の貯蔵に関する法令。

注記 “原子炉等規制法”，“使用済燃料の貯蔵の事業に関する規則”，“使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則”，“使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則”，“原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則”，“核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示”及び“工場又は事業所における核燃料物質等の運搬に関する措置に係る技術的細目等を定める告示”をいう。

なお，これらの法令において，“運搬”という用語が用いられているが，この標準では“輸送”に統一する。

3.12

通常輸送時 (routine conditions of transport)

輸送物の荷積み，保管を含む輸送及び荷卸しを含む輸送全体において何の異常もない状態。

注記 “核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則”及び“核燃料物質等車両運搬規則”に規定する運搬の技術上の基準に従って保安のための必要な措置を講じた場合の事業所内の輸送を含む。

3.13

一般の試験条件 (normal conditions tests)

輸送法令に定める一般の試験条件。

注記 輸送物の安全性を評価する観点から想定する，軽微な出来事によって生じると想定する条件で，輸送法令に定めるもの。

3.14

特別の試験条件 (accident conditions tests)

輸送法令に定める特別の試験条件。

注記 輸送物の安全性を評価する観点から想定する過酷な条件で、輸送法令に定めるもの。

3.15

設計評価期間 (design service life)

設計上想定する金属キャスクとしての供用期間。

注記 原子力発電所での使用済燃料の収納から事業所外輸送、中間貯蔵施設での貯蔵、貯蔵後の事業所外輸送を経て再処理施設、その他の施設での使用済燃料の取出しまでを考慮する。

3.16

設計仕様書 (design requirements specifications)

金属キャスクの設計に関する要求事項を規定したもの。

注記 設計仕様書の詳細は、**附属書 A** による。

3.17

設計報告書 (safety analysis report)

金属キャスクの設計がこの標準に適合することを確認した結果を記載したもの。

注記 設計報告書の詳細は、**附属書 A** による。

3.18

金属キャスク支持架台 (support structure of metal cask)

中間貯蔵施設建屋内で金属キャスクを固縛して設置するための構造物。使用しない設計もある。

3.19

空容器 (empty metal cask)

収納物が収納されていない金属キャスク。

注記 AESJ-SC-F001-2008 参照。

3.20

定期検査 (periodic inspection)

金属キャスクの輸送機能が維持されていることの確認のため、定期的を実施する検査。

注記 AESJ-SC-F001-2008 参照。

3.21

輸送前検査 (inspection prior to transport)

金属キャスクの輸送機能の確認のためにそれまでの供用状態に応じ輸送前に行う検査。

注記 1 AESJ-SC-F001-2008 参照。

注記 2 この標準では、緩衝体及び三次蓋 (使用する場合) に対して、保管後に金属キャスクの一部として使用する場合に行う外観検査のことをいう。

3.22

検査仕様書 (inspection specifications)

金属キャスクの検査に関する要求事項を規定したもの。

注記 検査仕様書の詳細は、**附属書 A** による。

3.23

直接確認 (confirmation by real observation including record checks)

金属キャスクの検査の方法として、目視、計測器による実測によって直接検査結果が判定基準に適合することを確認するもの。ただし、材料証明書及び作業記録の確認も含む。

3.24

記録確認 (certification of the records)

金属キャスクの検査の方法として、当該検査とは別の検査項目又は別の検査の段階において実施した検査記録に基づき、その結果が当該検査の判定基準に適合することを確認するもの。

3.25

中期検査 (periodic inspection (mid-term))

金属キャスクの輸送機能が維持されていることの確認のため、中期間ごとに定期的に実施する検査。

注記 AESJ-SC-F001-2008 参照。

3.26

長期検査 (periodic inspection (long-term))

金属キャスクの輸送機能が維持されていることの確認のため、長期間ごとに定期的に実施する検査。

注記 AESJ-SC-F001-2008 参照。

4 金属キャスクの安全設計

4.1 安全設計の前提条件

4.1.1 金属キャスクの貯蔵条件

この標準は、次の **a) ～g)** のような中間貯蔵施設で貯蔵する金属キャスクに適用する (**附属書 B** 参照)。

- a) 使用済燃料の燃料詰替設備を設けない施設。
- b) 収納する使用済燃料の崩壊熱を自然冷却で除去する施設。
- c) 一般公衆の受ける線量が貯蔵法令で定める線量限度を超えない施設。
- d) 密封機能の異常に対して、金属キャスクの密封機能の修復性が考慮された施設。
- e) 貯蔵時において、金属キャスクが次の条件を満たせるように設備対応された施設。
 - 1) 金属キャスクからの放射性物質の放出がないこと。
 - 2) 燃料被覆管の健全性を維持していること。

- f) 異常事象時において、金属キャスクが次の条件を満たせるように設備対応された施設。
- 1) 金属キャスクからの放射性物質の放出がないこと。
 - 2) 燃料被覆管の健全性を維持していること。
 - 3) 密封機能の異常に対して必要な確認又は補修を行うことによって貯蔵継続又は施設外に搬出できること。
- g) 事故時において、金属キャスクが次の条件を満たせるように設備対応された施設。
- 1) 輸送のために必要な措置を講じることによって施設外に搬出できること。

4.1.2 金属キャスクに収納する使用済燃料の条件

この標準は、次の条件を満たす使用済燃料⁹⁾を貯蔵する金属キャスクに適用する。

注⁹⁾ “原子炉等規制法” 第43条の4に掲げるものであって、チャンネルボックス又はバーナブルポイズン集合体を組み込んで輸送及び貯蔵する場合には、それらも含めて総称する。

- a) 沸騰水型原子炉 (BWR) 又は加圧水型原子炉 (PWR) で発生した使用済燃料であって、次の 1) 又は 2) のもの。
- 1) **BWR 使用済燃料**
 - 1.1) 使用済燃料の燃焼度 40 000 MWd/t 以下の 8×8 燃料、新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料
 - 1.2) 使用済燃料の燃焼度 50 000 MWd/t 以下の高燃焼度 8×8 燃料
 - 2) **PWR 使用済燃料**
 - 2.1) 使用済燃料の燃焼度 39 000 MWd/t 以下の 14×14 燃料 (39 000 MWd/t 型)、15×15 燃料 (39 000 MWd/t 型)、17×17 燃料 (39 000 MWd/t 型)
 - 2.2) 使用済燃料の燃焼度 48 000 MWd/t 以下の 14×14 燃料 (48 000 MWd/t 型)、15×15 燃料 (48 000 MWd/t 型)、17×17 燃料 (48 000 MWd/t 型)
- b) 原子炉での運転中のデータ、外観検査及び必要に応じ燃料集合体シッピング検査によって燃料被覆管が健全であることを確認したもので、かつ、金属キャスクに収納後の真空乾燥作業において燃料被覆管から漏えいのないことを確認したもの (例 ^{85}Kr のモニタリングによる)。
- c) 通常輸送時における燃料被覆管の健全性及び貯蔵時における燃料被覆管の長期健全性が確保できることを蓄積したデータによって評価できるもの。
- なお、蓄積したデータによって燃料被覆管の長期貯蔵に対する健全性を評価できる場合であっても、予見できない劣化事象発生によって使用済燃料が系統的損傷に及ぶことがないことを確認できるまでの間、実際の中間貯蔵における燃料収納から貯蔵に至る間の取扱上の品質管理が同等とみなせる条件で発電所施設内又は他の国内外の施設内で先行的に貯蔵することができる。先行貯蔵の詳細は、**附属書 C** による。

4.1.3 輸送と貯蔵の兼用に対する要件

金属キャスクは、事業所外輸送において、輸送法令が規定する技術基準に適合し、AESJ-

SC-F006-2013 に従って設計し、かつ、貯蔵時においても、貯蔵法令に適合するよう施設設計及び運用に則して設計しなければならない（附属書 D 参照）。

4.1.4 経年変化に対する要件

- a) 金属キャスクは、経年変化を考慮し、材料及び構造を選定し、防食措置及び使用環境の緩和措置を施し、その他、必要がある場合には、熱、放射線照射及び／又は腐食を考慮し、設計しなければならない。

また、金属キャスク内部の不活性環境を維持し温度環境を制限することによって、経年変化が収納する使用済燃料に及ぼす影響を低減又は防止するよう設計しなければならない。

その他必要がある場合には、熱、放射線照射及び／又は腐食による経年変化の影響を算定し、設計入力値（例 寸法、形状、強度、材料物性値）又は設計基準値として設計に用いなければならない。金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の長期健全性維持に関する設計基準は、附属書 E による。また、附属書 E に示す設計基準の根拠とするデータを附属書 F に示す。

- b) 金属キャスクは、貯蔵後搬出前検査において一次蓋を開放しないこと、及び長期貯蔵実績が少ないことから、金属キャスク構成部材は、a) を考慮して設計で要求する機能を設計評価期間を通じて維持できることを先行的に確認したものでなければならない。

金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法は、附属書 G による。

4.2 安全設計の方法

4.2.1 基本仕様

金属キャスクは、次の a) ～f) の仕様を満たせるように設計しなければならない。

- a) **金属キャスクの密封境界** 輸送時及び貯蔵時にガスケットを使用した密封境界は、胴と密封蓋（蓋に付属する貫通孔蓋板を含む。）の接合部のみとする。二重蓋構造における密封境界形成の考え方は、附属書 H による。
- b) **金属キャスクの内部環境** 金属キャスクの内部環境は、次の 1) ～3) のとおりとする。
- 1) 不活性ガスを充填し、残留空気による酸素成分及び不純物成分の使用済燃料及び金属キャスク構成部材への影響（例 腐食、水素吸収）、並びに密封設計及び除熱設計への影響を評価できる、真空乾燥及び内部ガス置換手順を確立し、実行する。
 - 2) 残留水分は、不活性ガス、水蒸気及び残留空気の合計に対して 10 %（質量）以下とし、使用する不活性ガスの純度を管理する（附属書 I 参照）。
 - 3) 通常輸送時、一般の試験条件、貯蔵時、異常事象時に貯蔵を継続する場合及び異常事象時に貯蔵条件を満足できず輸送できる状態¹⁰⁾とするまでの間、負圧（気象変動を考慮した大気圧以下）に維持する（4.2.2 a) 1.3), b) 1.2) 及び 1.3) 参照）。

注¹⁰⁾ 輸送法令に適合する状態。

- c) **輸送時の密封構造** 二次蓋又は三次蓋を輸送法令に適合する密封蓋とする。
- d) **貯蔵時の密封構造** 一次蓋を貯蔵法令に適合する密封蓋とする。一次蓋と二次蓋による

二重蓋構造とし、これらの二重蓋間の空間を加圧して圧力障壁を設ける。

- e) **貯蔵時の密封機能のモニタリング** 二重蓋間圧力を連続的に監視するための圧力センサを設置する。この圧力センサによる二重蓋間圧力監視装置の構成図の例を図 1 に示す。
- f) **貯蔵時の除熱機能のモニタリング** 金属キャスク本体中央部の表面の代表点の温度を定期的に測定するための温度計を設置する。この温度計による表面温度監視装置の構成図の例を図 2 に示す。

4.2.2 密封設計

a) 輸送時

- 1) **設計要求事項** 金属キャスクは、内部の放射性物質を輸送法令に適合するよう閉じ込める構造としなければならない。密封境界形成の考え方は、**附属書 H** による。
 - 1.1) 輸送時に想定する外力及び温度に対して、輸送法令に適合する密封性能が維持できるガスケットを用いなければならない。
 - 1.2) 一次蓋の金属ガスケットは、貯蔵前輸送時の通常輸送時及び一般の試験条件（自由落下を除く）における振動及び外力に対して、貯蔵時に必要な密封性能が損なわれてはならない。
 - 1.3) 通常輸送時及び一般の試験条件では、金属キャスク内部を負圧に維持する。貯蔵後輸送時では、設計評価期間中の一次蓋シールの密封機能喪失及び密封設計に用いる燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定して、金属キャスクの内圧の上昇を算定しなければならない。
 - 1.4) 貯蔵後輸送時には、二次蓋の金属ガスケットを新品の金属ガスケット又はゴム O リングに交換するか、ゴム O リングを使用する三次蓋を用いることによって、設計報告書で規定する輸送時の漏えい率を超えない設計としなければならない。
- 2) **設計基準** 放射性物質漏えい率の基準値は、**AESJ-SC-F006-2013 4.2.1 b)** に従わなければならない。
- 3) **設計方法**
 - 3.1) **ソースタームの計算** 密封設計に用いるソースタームの計算は、**AESJ-SC-F006-2013 4.2.1 c) 1) 1.1)** に従う。また、長期貯蔵後の輸送においては、収納する使用済燃料からガス状放射性物質が金属キャスク内部に放出されると仮定し、使用済燃料からのガス状放射性物質の金属キャスク内部への移行量の評価の前提となる漏えい燃料発生率を 0.1 % とする（**附属書 J** 参照）。**附属書 K** に、断面積ライブラリ及び燃焼計算コードを示す。
 - 3.2) **放射性物質漏えい率の計算** 放射性物質漏えい率の計算は、**AESJ-SC-F006-2013 4.2.1 c) 2)** に従う。貯蔵前輸送及び貯蔵後輸送において放射性物質漏えい率の計算対象とする輸送用密封境界（二次蓋シール又は三次蓋シール及びそれぞれの蓋の貫通孔シール）を定義する。また、最大許容漏えい率は、発電所搬出前検査及び

貯蔵後搬出前検査の気密漏えい検査（5.2 e) 2) 参照）における判定基準に反映する。

b) 貯蔵時

1) **設計要求事項** 金属キャスクは、内部の放射性物質を環境に放出しない構造としなければならない。密封境界形成の考え方は、**附属書 H** による。

1.1) 貯蔵時用ガスケットには、耐熱性及び耐食性を持ち、耐久性の高い金属ガスケットを用いなければならない。これらの金属ガスケットは、貯蔵前輸送時の通常輸送時及び一般の試験条件（自由落下を除く）における振動及び外力に対して、貯蔵時に必要な密封性能が損なわれてはならない。

1.2) 貯蔵時において金属キャスク内部を負圧に維持しなければならない。このとき、設計評価期間中の密封設計に用いる燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定して、金属キャスクの内圧の上昇を算定しなければならない。また、一次蓋と二次蓋を有する構造とし、一次蓋と二次蓋との空間部を正圧に維持しなければならない。

1.3) 異常事象時に貯蔵条件を満足できない場合において、輸送できる状態¹¹⁾とするまでの期間、金属キャスク内部を負圧に維持する。このとき、輸送できる状態¹¹⁾とするまでの期間中の密封設計に用いる燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定して、金属キャスクの内圧の上昇を算定しなければならない。

注¹¹⁾ 輸送法令に適合する状態。

2) **設計基準** 貯蔵時に、密封境界の金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率を超えてはならない。また、異常事象時に貯蔵条件を満足できない場合においては、輸送できる状態¹²⁾とするまでの期間、金属キャスク内部が負圧に維持されていなければならない。

注¹²⁾ 輸送法令に適合する状態。

3) 設計方法

3.1) **基準漏えい率設定の考え方** 貯蔵時に対しては、設計評価期間、金属キャスク内部初期圧力、二重蓋間の初期圧力及び流体温度を条件として、流体力学の式を用いて、設計評価期間中、金属キャスク内部の圧力を負圧に維持できる密封境界（一次蓋シール及び一次蓋の貫通孔シール）からの漏えい率を求め、これを基準漏えい率とする。ここでいう負圧とは、a) 1.3) 及び b) 1.2) を考慮した値をいう。

3.2) **金属ガスケットの漏えい率の設定** 設計評価期間中に想定する温度履歴での応力緩和を考慮した、密封境界の金属ガスケットの漏えい率を設定する。漏えい率設定方法の詳細は、**附属書 L** による。また、金属ガスケットの漏えい率設定例を、**附属書 M** に示す。

なお、金属ガスケットの最大許容漏えい率は、発電所搬出前検査（5.2 e) 2) 参照）及び貯蔵前検査（5.2 e) 3) 参照）の気密漏えい検査における判定基準に反映する。

3.3) 異常事象時の内圧計算 異常事象時に貯蔵条件を満足できない場合において、輸送できる状態¹³⁾とするまでの期間中に想定される金属キャスクの内圧の上昇を算定する。一次蓋シール及び二次蓋シールの異常事象時の漏えい率での金属キャスク内部への漏えい量及び密封設計に用いる燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出量を仮定する。

注¹³⁾ 輸送法令に適合する状態。

4.2.3 遮蔽設計

a) **設計要求事項** 輸送物は、収納する使用済燃料から放出される放射線を、輸送法令に定める線量当量率基準値¹⁴⁾を超えないよう遮蔽する構造としなければならない。

注¹⁴⁾ 輸送法令に従い、輸送物の表面及び表面から 1 m の距離における基準値は、1 cm 線量当量率を用いる。

b) **設計基準** 輸送物の線量当量率の基準値は、AESJ-SC-F006-2013 4.2.2 b) に従わなければならない。

c) 設計方法

1) **使用済燃料の放射線源強度計算** 使用済燃料の放射線源強度は、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数及び燃焼時の比出力を考慮して、断面積ライブラリ及び燃焼計算コードによって核種の生成及び崩壊の計算結果から求める（附属書 K 参照）。また、使用済燃料の構造材について放射化計算を行い、放射線源強度を求める。

2) **輸送物の線量当量率計算** 輸送物の線量当量率は、1) で求めた放射線源強度を用いて、想定される条件に対して、その形状をモデル化し、断面積ライブラリ及び遮蔽解析コードを使用して求める（附属書 K 参照）。

中性子吸収材を使用する場合、その中性子の吸収及び中性子の遮蔽に有効な成分（例 ほう素及び水素）の、設計評価期間における放射線照射及び熱による減損量を計算し、線量当量率計算にはこの減損量を考慮したそれら成分の原子個数密度を用いる。

4.2.4 臨界防止設計

a) **設計要求事項** 金属キャスクは、バスケットの幾何学的形状及び中性子吸収材（例 ほう素）によって、技術的にみて想定されるいかなる場合にも使用済燃料が臨界に達することを防止する構造としなければならない。

b) **設計基準** 技術的にみて想定されるいかなる場合も、中性子実効増倍率は 0.95 を超えてはならない（AESJ-SC-F006-2013 附属書 AE 参照）。

c) 設計方法

1) **計算方法** 中性子実効増倍率の計算は、AESJ-SC-F006-2013 4.2.3 c) 1) に従う（断面積ライブラリ及び臨界解析コードについては、附属書 K 参照）。

また、設計評価期間中の中性子吸収材の減損量を計算し、減損量を考慮した原子個数密度を中性子実効増倍率の計算に用いる。

2) **計算上の保守的な考慮** 計算に当たって、保守的に仮定する条件を次の 2.1) ～2.5) に示す。

2.1) **収納する使用済燃料の濃縮度** 燃料仕様に基づき、最大反応度を保証できる濃縮度の値を用いる。

2.2) **金属キャスクの配列** 輸送法令で定める条件及び近隣に他の金属キャスクがある場合、最大反応度となるように金属キャスクの配列を考慮する。

2.3) **金属キャスク内外の水の存在** 金属キャスク内外は、最も燃料の反応度の高くなる密度の水の存在を仮定する。ここで、金属キャスク内への水の浸入を防止する特別の措置が講じられた部分は除いてよいが、金属キャスク仕立時の残留水分の存在を考慮する。

2.4) **バスケット内の燃料位置** 最も燃料の反応度の高くなる位置を考慮する。

2.5) **中性子吸収材の量（寸法、濃度及び分布）** 設計評価期間を通じて保証できる値を用いる。

4.2.5 除熱設計

a) **設計要求事項** 金属キャスクは、基本的安全機能及び構造強度を担保する部材並びに燃料被覆管が健全性を維持できるよう、使用済燃料の崩壊熱¹⁵⁾を除去する構造としなければならない。

注¹⁵⁾ 放射性物質の崩壊に伴って使用済燃料から発生する熱。

b) 設計基準

1) 輸送物及び金属キャスク

1.1) 輸送物の温度の基準値は、AESJ-SC-F006-2013 4.2.4 b) に従わなければならない。

1.2) 貯蔵時及び異常事象時において、各条件に応じた基本的安全機能及び構造強度の維持が必要な部材は、健全性が維持できる温度を超えてはならない。

2) **燃料被覆管** 原子力発電所での輸送物を仕立てるための取扱時、通常輸送時、一般の試験条件、貯蔵時及び異常事象時に、燃料被覆管の温度は、健全性を維持するために定める温度を超えてはならない。

c) 設計方法

1) **使用済燃料の崩壊熱の計算** 設計に用いる使用済燃料の崩壊熱は、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数及び燃焼時の比出力を条件として、断面積ライブラリ及び燃焼計算コードによって核種の生成、崩壊及びそれに基づく発熱を計算して求める（**附属書 K** 参照）。

2) **輸送物及び金属キャスク各部並びに使用済燃料の温度計算** 輸送物及び金属キャスク各部並びに燃料被覆管の温度は、使用済燃料の崩壊熱、金属キャスク外部からの入熱、金属キャスク周囲の温度、熱伝達率及び放射率を安全側に定め、金属キャスクの姿勢を考慮のうえ、想定される条件に対して、その形状をモデル化し、伝熱解析コー

ドを使用して求める（附属書 K 参照）。

- 3) **燃料被覆管の制限温度の計算** 燃料被覆管のクリープひずみを算出する実験式又は予測式に基づき，設計評価期間中の燃料被覆管温度の低下及びそれに伴う内圧の低下を考慮して，設計評価期間終了時までの累積クリープ量を計算し，累積クリープ量が 1 %となる初期温度，設計基準とする燃料被覆管強度に相当する照射硬化の回復が生じる温度，及び水素化物再配向による機械的特性の劣化が生じない温度のうち最も低い温度を制限温度とする。燃料被覆管の制限値に関する詳細は，附属書 N による。また，クリープによる燃料被覆管の温度制限値評価例を附属書 O に，金属キャスク内部真空乾燥時の燃料被覆管温度制限方法例を附属書 P に示す。
- 4) **特記事項** 中性子遮蔽材として，レジン又は液体遮蔽材（例 グリコール水溶液）を使用する場合には，それらの熱膨張及び化学的变化¹⁶⁾を評価し，安全設計の入力条件とする。

注¹⁶⁾ 放射線による化学変化を含む。

4.2.6 構造強度設計

- a) **設計要求事項** 金属キャスクは，基本的安全機能を担保する部材が必要な構造強度を持つよう，また，金属キャスクの基本的安全機能を維持するのに必要な収納物の構造健全性を維持できるよう設計しなければならない。
- 1) 金属キャスクの密封容器，バスケット，トラニオン及び中間胴は，JSME S FA1-2007 に従って設計しなければならない。
 - 2) JSME S FA1-2007 に規定されていない部材については，輸送時及び貯蔵時に想定する事象におけるそれら部材の状態を算定し，基本的安全機能に関する設計の入力条件としなければならない。
 - 3) 通常輸送時，一般の試験条件，貯蔵時及び異常事象時に，燃料被覆管を破損させないよう金属キャスクを設計しなければならない。
- b) **設計基準**
- 1) 密封容器，バスケット，トラニオン及び中間胴の発生応力が，JSME S FA1-2007 の各供用状態で定められた許容応力を超えてはならない。
密封容器，バスケット及び中間胴に塑性変形が生じる場合は，変形量を算定し密封設計又は臨界防止設計の入力条件としなければならない。
 - 2) JSME S FA1-2007 に規定されていない遮蔽機能又は除熱機能を持つ構造強度部材で，これらの機能を評価する状態において部材の形状維持が必要な場合は，それらの状態で部材に発生する応力が弾性範囲でなければならない。ただし，部材の塑性変形を許容する場合は，変形量を算定しこれら機能の設計の入力条件としなければならない。
 - 3) 通常輸送時，一般の試験条件，貯蔵時及び異常事象時に，金属キャスクに作用すると想定される加速度に伴い燃料被覆管に発生する応力が弾性範囲でなければならない。

(附属書 Q 参照)。

c) 設計方法

- 1) 密封容器、バスケット、トラニオン及び中間胴は、**JSME S FA1-2007** に適合する材料並びに製造及び検査方法を用いる。**JSME S FA1-2007** に規定されていない遮蔽機能又は除熱機能を持つ構造強度部材は、設計評価期間中これら機能及び強度を維持できることが確認された材料を用いる。
 - 2) **JSME S FA1-2007** の使用に当っては、設計事象と供用状態との組合せを設計仕様書で規定する。
 - 3) 金属キャスクの構造強度部材及び燃料被覆管については、それらの形状をモデル化し、作用する荷重（例 圧力荷重、取扱時の荷重、衝撃荷重、地震荷重）を境界条件として与え、構造解析コード（附属書 K 参照）又は応力計算式によって発生応力を求める。
 - 4) 基本的安全機能に関する設計上、構造強度部材又は燃料被覆管の変形量が必要な場合は、対象部材の形状をモデル化し、作用する荷重を与え、構造解析コード（附属書 K 参照）又は変形量計算式によって変形量を求める。
 - 5) 落下時に金属キャスクに作用する外力の緩和効果は、衝撃解析コード（附属書 K 参照）を用いて算定する。
- d) **特記事項 b) 及び c)** について、構造健全性が証明できる場合には、発生応力と許容応力との比較による判定ではなく、信頼性のある代替評価（例 破壊エネルギーとの比較、荷重試験、実験式）によってもよい。

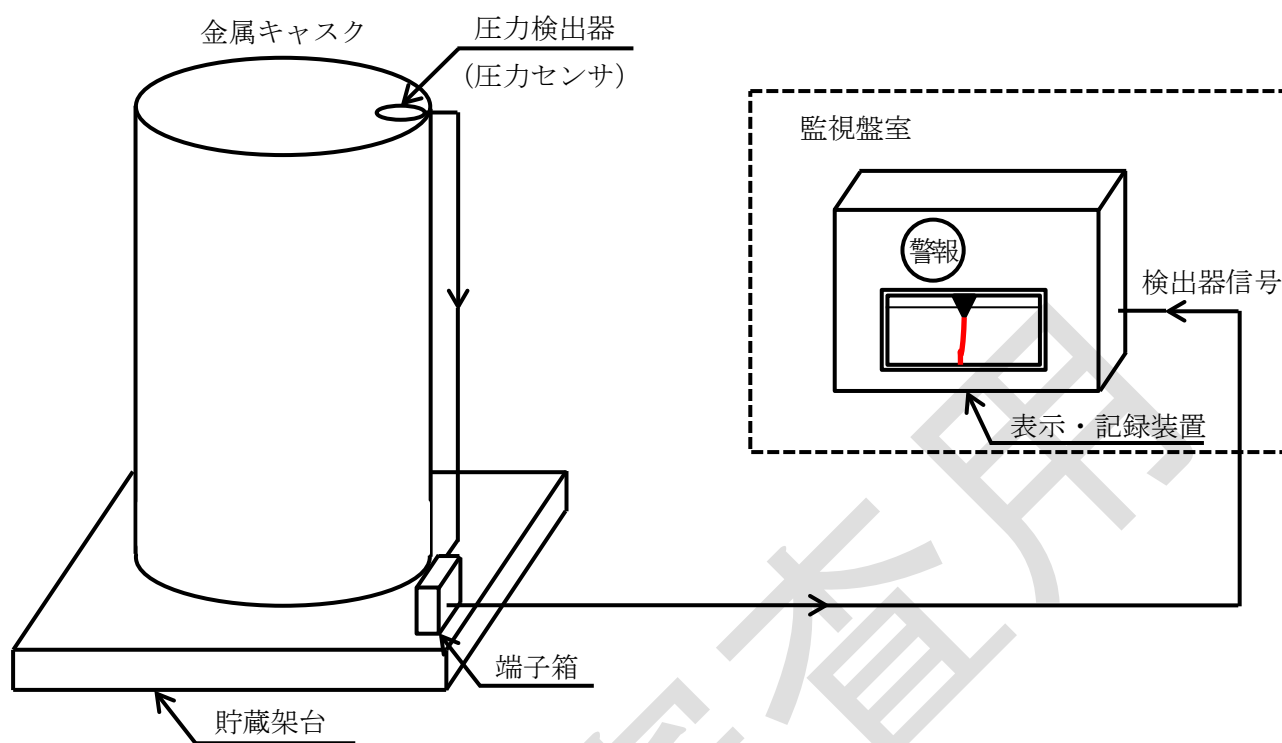


図 1—二重蓋間圧力監視装置の構成図の例

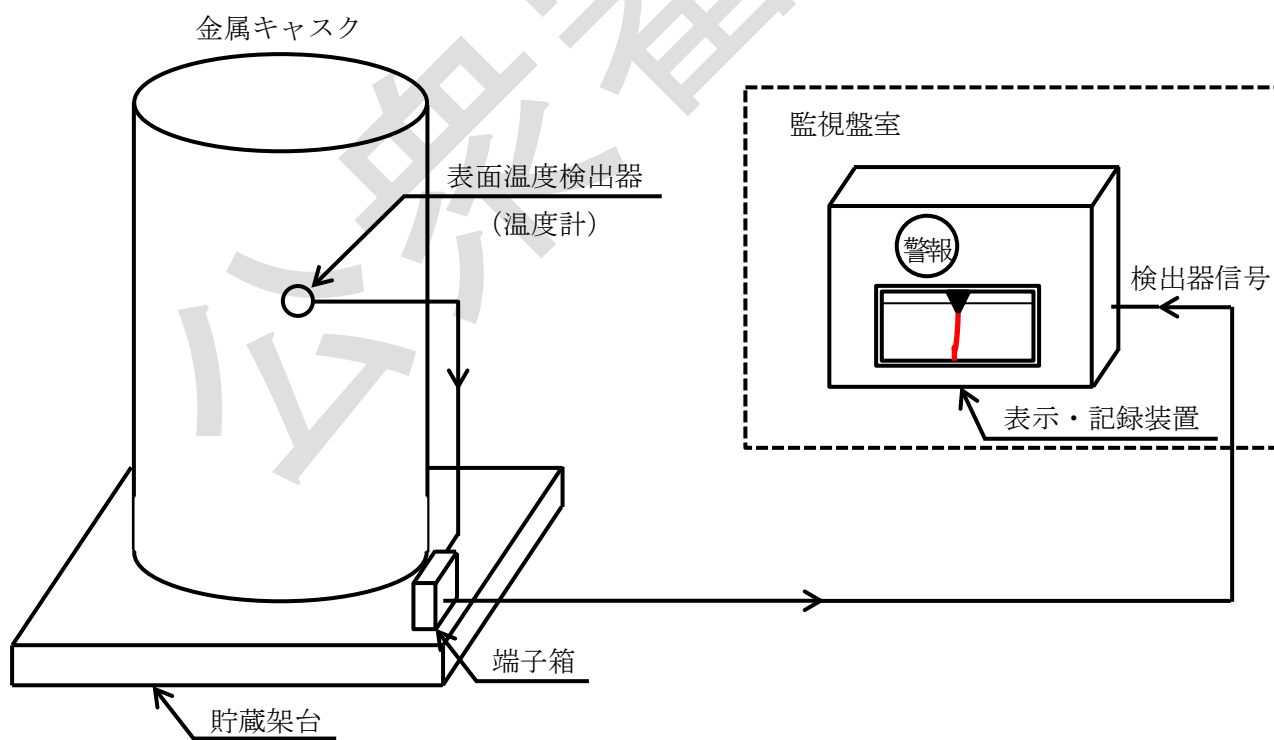


図 2—表面温度監視装置の構成図の例

5 金属キャスクの検査

5.1 検査を行う段階と検査項目

金属キャスクの検査は、次の **a) ～e)** の各段階ごとに、**表 1** の該当する検査項目について **5.2** に示す要領で直接確認又は記録確認によって実施し、各段階において金属キャスクが基本的安全機能及び必要な構造強度を持つことを確認する。また、原子力発電所搬出以降の段階においては、収納する使用済燃料が健全性を維持していることも確認する。金属キャスクの検査要領の詳細は、**附属書 R** による。

- a) 製造時** 工場での製造時に、金属キャスクの基本的安全機能及び構造強度に関して、設計で規定した性能を持つことを確認する。緩衝体及び三次蓋も対象とし、これらを複数の金属キャスクに共用する場合の取扱検査並びに三次蓋の気密漏えい検査及び耐圧・漏えい検査は、同一設計の任意の金属キャスクとの検査結果をもって代表する。また、交換品としてこれらを金属キャスクとは別個に製造する場合は、**表 2** の **a) ～ l)** のうち確認を要する機能を持つとして検査仕様書で規定する検査を行うものとし、その場合の気密漏えい検査、耐圧・漏えい検査及び取扱検査は、実機と同等の取合寸法及び形状を持つ模擬体を用いて行う。
- b) 発電所搬出前** 原子力発電所からの搬出時に、金属キャスクの輸送上の安全性を確認する。また、金属キャスクの貯蔵時に満足すべき事項の一部を確認する。
- c) 貯蔵前** 金属キャスクの中間貯蔵施設受入時、及び貯蔵開始時に金属キャスクが基本的安全機能及び構造強度を維持していることを確認する。
- d) 貯蔵期間中** 金属キャスクが貯蔵期間中に基本的安全機能及び構造強度を維持していることを定期的に確認する。さらに、随時搬出できるよう、輸送時に必要な基本的安全機能及び構造強度を維持していることも定期的に確認する。その間隔は、**AESJ-SC-F001-2008** の考え方を参考に、金属キャスクにおいて予想される故障頻度、健全性が喪失した場合の影響度合いを考慮して設定する。

なお、緩衝体及び三次蓋については、**AESJ-SC-F001-2008** の**附属書 G**「空容器期間中の点検」に準じて 1 年に 1 回以上の外観検査を行う。また、これらの使用に当たっては、**AESJ-SC-F001-2008** に規定する輸送前検査として外観検査を行う。

- e) 貯蔵後搬出前** 貯蔵終了後中間貯蔵施設からの搬出時に、金属キャスクの輸送上の安全性を確認する。

表 1—金属キャスクについて検査段階ごとに行う検査項目

検査を行う場所		製造工場	原子力 発電所	中 間 貯 蔵 施 設			
確認項目 (安全機能等)	検査の段階 検査で確認する機能	製造時	発電所 搬出前	貯蔵前	貯蔵期間中		貯蔵後 搬出前
	検 査 項 目	貯蔵・輸送	輸送	貯蔵	貯蔵	輸送	輸送
全 般	a) 材料検査 ^{a)}	◎	—	—	—	—	—
	b) 寸法検査 ^{a)}	◎	—	—	—	—	—
	c) 外観検査 ^{a)}	◎	◎	◎	◎	○	◎
	d) 溶接検査 ^{b)}	◎	—	—	—	—	—
密封機能	e) 気密漏えい検査	◎	◎	○,◎ ^{e)}	—	○	◎
	f) 二重蓋間圧力検査	—	—	◎	○	—	—
	g) 圧力測定検査	—	◎ ^{f)}	○	—	—	○
遮蔽機能	h) 遮蔽性能検査 ^{c)}	○,◎ ^{g)}	—	—	□	○	—
	i) 線量当量率検査	—	◎	◎	—	—	◎
臨界防止 機 能	j) 未臨界検査	○,◎ ^{h)}	◎	○	○	○ ⁱ⁾	○
除熱機能	k) 伝熱検査 ^{d)}	○,□	—	—	□	○	—
	l) 温度測定検査	—	◎	—	—	—	◎
	m) 表面温度検査	—	—	◎	◎	—	—

構造強度	n) 耐圧・漏えい検査 ^{b)}	◎	—	—	—	—	—
	o) 吊上荷重検査 ^{b)}	◎	—	—	—	—	—
	p) 吊上検査 ^{b)}	—	◎	◎	—	○	◎
	q) 重量検査 ^{b)}	◎	○	○	—	—	○
	r) 据付検査 ^{b)}	—	—	◎	—	—	—
使用済燃料	s) 収納物検査	—	◎	○	○	—	○
その他	t) 取扱検査	◎	—	—	—	—	—
	u) 作動確認検査	◎	—	—	—	—	—
	v) 表面密度検査	—	◎	◎	—	—	◎

注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの □：代表キャスクについて直接確認するもの —：検査対象外

注 a) JSME S FA1-2007 一部は、JSME S FA1-2007 に従って検査を行う。

b) JSME S FA1-2007 に従って検査を行う（同規格では据付検査は外観検査に含まれている）。

c) 製造時の材料、寸法、外観及び溶接検査記録によって、設計に適合する遮蔽性能を持つことを確認し、貯蔵期間中に遮蔽性能を維持していることを、代表キャスクの表面線量当量率測定値と解析値の比較によって確認する。

d) 製造時の材料、寸法、外観及び溶接検査記録によって、設計に適合する除熱性能を持つことを確認し、貯蔵期間中に除熱性能を維持していることを、代表キャスクの各部温度測定値又は表面温度測定値と解析値の比較によって確認する。また、製造時には、代表キャスクについて模擬発熱体を用いた伝熱検査を行う。

e) 中間貯蔵施設において取り付ける、又は交換する部分がある場合に適用する。

f) 蓋ボルト穴を含む二重蓋間については、水分が残っていないことを確認する。

g) 線源を用いた測定によって遮蔽性能を確認する場合に適用する。

h) 外観又は寸法を直接確認する場合に適用する。

i) バスケットの外観検査、寸法検査及び中性子吸収材検査について行う。

表 2—緩衝体及び三次蓋について検査段階ごとに行う検査項目

検査を行う場所		製造工場	原子力発電所	中 間 貯 蔵 施 設	
確認項目 (安全機能等)	検査の段階 検査で確認する機能 検 査 項 目 ^{a)}	製造時	発電所搬出前	貯蔵期間中	貯蔵後搬出前
		輸送	輸送	輸送	輸送
全 般	a) 材料検査	◎	—	—	—
	b) 寸法検査	◎	—	—	—
	c) 外観検査	◎	◎	○ ^{c)}	◎
	d) 溶接検査	◎	—	—	—
密封機能	e) 気密漏えい検査	◎	◎	—	◎
遮蔽機能	f) 線量当量率検査	—	◎	—	◎
除熱機能	g) 伝熱検査 ^{b)}	○,□	—	—	—
	h) 温度測定検査	—	◎	—	◎
構造強度	i) 耐圧・漏えい検査	◎	—	—	—
	j) 重量検査	◎	○	—	○
その他	k) 取扱検査	◎	—	—	—
	l) 表面密度検査	—	◎	—	◎

注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの □：代表キャスクについて直接確認するもの —：検査対象外

注 ^{a)} 検査仕様書で規定した項目について行う。
^{b)} 製造時の材料、寸法、外観及び溶接検査記録によって、設計に適合する除熱性能を持つことを確認する。また、製造時には、代表キャスクについて模擬発熱体を用いた伝熱検査を行う。
^{c)} **AESJ-SC-F001-2008 の附属書 G「空容器期間中の点検」**に準じて1年に1回以上の外観検査を行う。また、使用に当たっては、輸送前検査として外観検査を行う。

5.2 検査要領

a) 材料検査

- 1) **検査目的** 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の製作に用いる材料が設計報告書に適合する材料であることを確認する。
- 2) **検査対象**
 - 2.1) **密封機能に係る材料** ガasket
 - 2.2) **遮蔽機能に係る材料** 主要な遮蔽体
 - 2.3) **臨界防止機能に係る材料** バasketの中性子吸収体
 - 2.4) **除熱機能に係る材料** 主要な伝熱経路を構成する部材
 - 2.5) **構造強度に係る材料** 密封容器、Basket、トラニオン、中間胴及び三次蓋の構造強度部材並びに緩衝体
- 3) **検査方法**
 - 3.1) 材料証明書又はミルシートを確認する。
- 4) **判定基準**
 - 4.1) 検査仕様書で規定する材料仕様に適合しなければならない。
- 5) **その他**
 - 5.1) 主要な遮蔽体の素材については（溶融して鋳込むもの及び液体状のものを除く）、非破壊検査として超音波探傷試験又は放射線透過試験を行い、検査仕様書で規定する遮蔽性能に影響する欠陥がないことを確認する。
 - 5.2) 遮蔽性能上、化学成分及び密度の分布状態を確認する必要があるものについては、製品分析及び製造法確認によって、検査仕様書で規定する仕様に適合することを確認する。
 - 5.3) 臨界防止性能上、中性子吸収材の分布状態を確認する必要があるものについては、製品分析、中性子透過試験又は製造法確認によって、検査仕様書で規定する仕様に適合することを確認する。
 - 5.4) **JSME S FA1-2007** に記載のある構造強度部材については、同規格に従って検査する。

b) 寸法検査

- 1) **検査目的** 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋各部の主要寸法が設計報告書に適合する寸法であることを確認する。
- 2) **検査対象**
 - 2.1) **密封機能に係る寸法** シール部のBasket及びBasket取付部
 - 2.2) **遮蔽機能に係る寸法** 主要な遮蔽体
 - 2.3) **臨界防止機能に係る寸法** Basketの中性子吸収体（厚さ）及び燃料収納格子（格子間距離及び内のり）
 - 2.4) **除熱機能に係る寸法** 主要な伝熱経路を構成する部材

2.5) 構造強度に係る寸法 密封容器、バスケット、トラニオン、中間胴及び三次蓋の構造強度部材並びに緩衝体

3) 検査方法

3.1) 寸法計測器又は寸法計測治具によって測定する。

3.2) 遮蔽体の素材を溶融して鋳込む場合及び液体状の遮蔽体の素材を注入する場合は、鋳込前又は注入前に、鋳込部又は注入部の寸法を寸法計測器又は寸法計測治具を用いて測定を行う。

4) 判定基準 検査仕様書で規定する寸法に適合しなければならない。

5) その他 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材については、同規格に従って検査する。

c) 外観検査

1) 製造時検査

1.1) 検査目的 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の外観に基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。

1.2) 検査対象

1.2.1) 密封機能に係る外観 シール部のガスケット並びに蓋及び本体のガスケット当たり面

1.2.2) 遮蔽機能に係る外観 主要な遮蔽体

1.2.3) 臨界防止機能に係る外観 バスケット

1.2.4) 除熱機能に係る外観 主要な伝熱経路を構成する部材

1.2.5) 構造強度に係る外観 密封容器、バスケット、トラニオン、中間胴及び三次蓋の構造強度部材並びに緩衝体

1.3) 検査方法 目視による。

1.4) 判定基準 検査仕様書に規定する形状でなければならない。また、基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷があってはならない。

1.5) その他 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材については、同規格に従って検査する。

2) 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

2.1) 検査目的 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の外観に基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。

2.2) 検査対象 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋

2.3) 検査方法 目視による。

2.4) 判定基準 基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、腐食、傷、変形又は損傷があってはならない。

2.5) その他 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材については、同規格に従って検査する。また、中間貯蔵施設で二次蓋のガスケットを交換する場合は、交換後

の蓋部の外観を検査する。

3) 貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査

3.1) 検査目的 金属キャスクの基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。

3.2) 検査対象 金属キャスク

3.3) 検査方法 目視による。

3.4) 判定基準 基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、腐食、傷、変形又は損傷があってはならない。

3.5) その他

3.5.1) JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材については、同規格に従って検査する。

3.5.2) 金属キャスク及び金属キャスク支持架台の据付位置及び据付状態並びに外観について、目視によって確認する。

4) 貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査 中期検査及び長期検査として、**3)**の外観検査記録に基づき、金属キャスクの外観に異常のないことを確認する。緩衝体及び三次蓋については、空容器期間中の点検を行う。

d) 溶接検査

1) 検査目的 金属キャスク及び三次蓋の主要溶接継手について、設計報告書に適合する溶接であること、及び溶接が適切に行われたことを確認する。

2) 検査対象

2.1) 密封機能に係る溶接 検査仕様書で規定する密封機能に係る溶接継手

2.2) 遮蔽機能に係る溶接 主要な遮蔽体を取り付ける又は保持する部材の溶接継手

2.3) 臨界防止機能に係る溶接 バスケットの中性子吸収体を取り付ける又は保持する部材の溶接継手

2.4) 除熱機能に係る溶接 主要な伝熱経路を構成する部材を取り付ける溶接継手

2.5) 構造強度に係る溶接 密封容器、バスケット、トラニオン、中間胴及び三次蓋の構造強度部材の溶接継手

3) 検査方法

3.1) 開先部及び溶接部の外観を目視によって確認する。

3.2) 仮付け状態において開先寸法を寸法計測器、寸法計測治具又は開先ゲージによって測定する。

3.3) 検査仕様書において非破壊検査及び溶接部機械試験の対象とする溶接継手は、該当する検査を行う。

4) 判定基準

4.1) 検査仕様書に規定する溶接継手形状に適合しなければならない。

4.2) 溶接部の外観に基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する有害なもの（例 割

れ又はアンダーカット、オーバーラップ、クレータ、スラグ巻込み、ブローホール）があってはならない。

4.3) 非破壊検査を行う溶接継手は、溶接部に基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する欠陥があってはならない。

4.4) 溶接部機械試験を行う溶接継手は、必要な機械的特性を持たなければならない。

5) その他

5.1) 主要な遮蔽体自体が溶接部を持つ場合は、超音波探傷試験又は放射線透過試験を行い、検査仕様書で規定する遮蔽性能に影響する欠陥がないことを確認する。

5.2) JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材に係る溶接継手は、同規格に従って検査する。

e) 気密漏えい検査

1) 製造時検査

1.1) **検査目的** シール部が設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。

1.2) **検査対象** 一次蓋のシール部、二次蓋のシール部、三次蓋のシール部。それぞれの蓋の貫通孔シール部を含む。

1.3) **検査方法** 加圧法、真空法又はヘリウムリーク試験法によって漏えい率を測定する。

1.4) **判定基準** それぞれの蓋について、蓋シール部と貫通孔シール部（二次蓋の貫通孔シール部を除く）の合計漏えい率が検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。

1.5) **特記事項** 二次蓋の貫通孔シール部については、検査仕様書で規定する検査によって、判定基準に適合することを確認する。

2) 発電所搬出前検査及び貯蔵後搬出前検査

2.1) **検査目的** 輸送物が輸送法令に適合する密封性能を有することを確認する。また、発電所搬出前にあっては貯蔵に用いる金属ガasketが設計報告書に適合する密封性能を有することも確認する。

2.2) **検査対象** 輸送時に対する密封性能については、輸送時密封境界となるシール部。発電所搬出前の貯蔵時に対する密封性能については、貯蔵時密封境界及び二重蓋間圧力維持に必要となるシール部。それぞれの貫通孔シール部を含む。

2.3) **検査方法** 加圧法、真空法又はヘリウムリーク試験法によって漏えい率を測定する。

2.4) **判定基準** それぞれの蓋について、蓋シール部と貫通孔シール部（二次蓋の貫通孔シール部を除く）の合計漏えい率が、検査仕様書で輸送又は貯蔵に対して規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。

2.5) **特記事項** 二次蓋の貫通孔シール部については、検査仕様書で規定する検査によって、判定基準に適合することを確認する。

3) 貯蔵前検査

3.1) **検査目的** 金属キャスクの貯蔵時シール部が輸送中に異常なく、かつ、貯蔵に対し

て設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。

3.2) 検査対象 貯蔵時密封境界及び二重蓋間圧力維持に必要なシール部。貫通孔シール部を含む。

3.3) 検査方法 発電所搬出前検査の気密漏えい検査記録（**2**）参照）及び貯蔵前の二重蓋間圧力検査記録（**f**）参照）を確認する。

3.4) 判定基準 発電所搬出前検査におけるそれぞれの蓋の蓋シール部と貫通孔シール部（二次蓋の貫通孔シール部を除く）の合計漏えい率が、検査仕様書で貯蔵に対して規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。また、二重蓋間圧力が、検査仕様書で規定する圧力範囲内でなければならない。

3.5) 特記事項

3.5.1) 中間貯蔵施設において二次蓋のガスケットを交換する場合は、交換前に二重蓋間圧力を測定することによって一次蓋シール部（一次蓋の貫通孔シール部を含む）が健全であることを確認し、交換後の二次蓋のシール部について、発電所搬出前検査の気密漏えい検査と同じ方法（**2**）参照）で漏えい率を測定し、検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えないことを確認する。

3.5.2) 中間貯蔵施設において圧力センサを取り付ける場合は、圧力センサを含めた貫通孔シール部について、検査仕様書で規定する検査を実施し、検査仕様書で規定する判定基準を満たすことを確認する。

3.5.3) 二次蓋の貫通孔シール部については、検査仕様書で規定する検査によって、判定基準に適合することを確認する。

4) 貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査 中期検査及び長期検査として、**f** の二重蓋間圧力検査記録に基づき、金属キャスクが密封機能を維持していることを確認する。

f) 二重蓋間圧力検査

1) 検査目的 金属キャスクが密封機能を維持していることを確認する。

2) 検査対象 二重蓋間圧力

3) 検査方法

3.1) 貯蔵前検査 二重蓋間圧力センサを中間貯蔵施設の計測設備に接続する際、二重蓋間の圧力をセンサ信号によって測定する。

3.2) 貯蔵期間中検査 二重蓋間圧力の連続モニタリングの記録（**4.2.1 e**）参照）を確認する。

4) 判定基準 圧力センサの測定値又はモニタリング記録が検査仕様書で規定する圧力範囲内でなければならない。

g) 圧力測定検査

1) 検査目的 金属キャスク内部及び二重蓋間が乾燥し、かつ、設計報告書で規定した範囲の内圧及びガス成分であることを確認する。

2) 検査対象 金属キャスク内部及び二重蓋間の残留水分及びガスの成分・充填量・圧力

3) 検査方法

3.1) 発電所搬出前検査

3.1.1) **残留水分** 金属キャスク内部については、真空乾燥後の真空度又は内部ガス充填後の湿度を金属キャスク仕立作業記録によって確認する。蓋ボルト穴を含む二重蓋間については、吸水・拭取りによって水分が残っていないことを金属キャスク仕立作業記録によって確認する。

3.1.2) **ガス成分及び充填量** 金属キャスク内部及び二重蓋間へのガス充填時の作業記録を確認する。

3.1.3) **圧力** 実測又はガス充填量と充填部体積に基づく計算結果を、金属キャスク仕立作業記録によって確認する。

3.2) **貯蔵前検査** 発電所搬出前検査の圧力測定検査記録（**3.1**）参照）及び貯蔵前検査の二重蓋間圧力検査記録（**f**）参照）を確認する。

3.3) **貯蔵後搬出前検査** 発電所搬出前検査の圧力測定検査記録（**3.1**）参照），並びに貯蔵前検査及び貯蔵期間中検査の二重蓋間圧力検査記録（**f**）参照）を確認する。

4) 判定基準

4.1) **残留水分** 金属キャスク内部の真空度又は湿度は、検査仕様書で規定する値を超えてはならない。二重蓋間については、水分が残ってはならない。

4.2) **ガス成分及び充填量** 充填するガスは、検査仕様書で規定する種類、純度及び量でなければならない。

4.3) **圧力** 金属キャスク内部圧力及び二重蓋間圧力は、検査仕様書で規定する圧力範囲内でなければならない。

5) **特記事項** 中間貯蔵施設で二次蓋のガスケットを交換する場合又は圧力センサを取り付ける、交換する若しくは取り外す場合は、中間貯蔵施設での二重蓋間ガス充填後に、二重蓋間のガス成分及び充填量についてはガス充填作業記録によって、圧力については計算又は実測によって確認する。

h) 遮蔽性能検査

1) 製造時検査

1.1) **検査目的** 金属キャスクの遮蔽体が、設計報告書に適合する遮蔽性能を有することを確認する。

1.2) **検査対象** 主要な遮蔽体

1.3) **検査方法** 遮蔽体の材料検査記録（**a**）参照），寸法検査記録（**b**）参照），外観検査記録（**c**）1）参照）及び溶接検査記録（**d**）参照）を確認する。

1.4) **判定基準** 遮蔽体の材料、寸法、外観及び溶接が、検査仕様書に規定する材料仕様、寸法及び形状に適合し、かつ、健全でなければならない。

1.5) **特記事項** γ 線遮蔽体については、 γ 線源（例 ^{60}Co ）を用いて計数率を測定し、検査仕様書に規定する遮蔽性能を持つことを確認してもよい。また、鋳込みによつ

て缶体の寸法が変化する可能性がある場合（例 鉛）には、素材の固化後に適切な遮蔽性能検査（例 γ 線透過試験）を行わなくてはならない。

2) 貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査

2.1) 検査目的 金属キャスクが遮蔽性能を維持していることを確認する。

2.2) 検査対象 金属キャスク（代表キャスク）

2.3) 検査方法 金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵時期を考慮して代表キャスクを選定し、他の金属キャスクからの線量の寄与が無視又は補正できる状態で、金属キャスクの表面における γ 線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定し、当該金属キャスクの収納物仕様及び貯蔵期間に基づいた解析値と比較する。

2.4) 判定基準 線量当量率の測定値が解析値を上回ってはならない。

3) 貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査 長期検査として、代表キャスクの遮蔽性能検査記録（2）参照）に基づき、金属キャスクが遮蔽性能を維持していることを確認する。

i) 線量当量率検査

1) 検査目的 輸送物の最大線量当量率が、輸送法令に定める値を超えないことを確認する。

2) 検査対象 輸送物

3) 検査方法 輸送物の表面及び表面から 1 m の距離における γ 線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定する。

4) 判定基準 最大線量当量率が次の 4.1) 及び 4.2) の値を超えてはならない。

4.1) 輸送物表面における最大線量当量率 2 mSv/h

4.2) 輸送物表面から 1m の距離における最大線量当量率 100 μ Sv/h

5) 特記事項 貯蔵に必要な基本的安全機能の担保の観点から、輸送前の安全機能を維持していることを確認するため、貯蔵前検査においても実測する。

j) 未臨界検査

1) 製造時検査

1.1) 検査目的 バスケットが、設計報告書に適合する臨界防止機能を有することを確認する。

1.2) 検査対象 バスケット

1.3) 検査方法

1.3.1) バスケットの材料検査記録（a）参照）を確認する。

1.3.2) 寸法計測器又は寸法計測治具によって測定する。又は、バスケットの寸法検査記録（b）参照）を確認する。

1.3.3) 目視による。又は、バスケットの外観検査記録（c）1）参照）を確認する。

1.3.4) バスケットの溶接検査記録（d）参照）を確認する。

1.4) **判定基準** バスケットの材料、寸法、外観及び溶接が、検査仕様書に規定する材料仕様、寸法及び形状に適合し、かつ、健全でなければならない。

2) **発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査**

2.1) **検査目的** 金属キャスクが臨界防止機能を維持していることを確認する。

2.2) **検査対象** 金属キャスク

2.3) **検査方法**

2.3.1) **発電所搬出前検査** 使用済燃料の収納前に、金属キャスク内に収納されたバスケットの外観を目視によって確認する。

2.3.2) **貯蔵前検査** 発電所搬出前検査の未臨界検査記録及び貯蔵前検査の外観検査記録（c) 2) 参照）を確認する。

2.3.3) **貯蔵後搬出前検査** 発電所搬出前検査の未臨界検査記録、貯蔵期間中検査の未臨界検査記録（3) 参照）及び貯蔵後搬出前検査の外観検査記録（c) 2) 参照）を確認する。

2.4) **判定基準**

2.4.1) 発電所搬出前のバスケットに、臨界防止機能に影響する変形又は破損があってはならない。

2.4.2) 貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査では、2.4.1) に加え、貯蔵前検査の外観検査記録において輸送中に臨界防止機能に影響する金属キャスクの変形又は破損があってはならない。

2.4.3) 貯蔵後搬出前検査では、2.4.1) 及び 2.4.2) に加え、貯蔵期間中検査の未臨界検査記録において臨界防止機能に影響する異常がなく、かつ、貯蔵後搬出前検査の外観検査記録において臨界防止機能に影響する金属キャスクの変形又は破損があってはならない。

3) **貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査**

3.1) **検査目的** 金属キャスクが臨界防止機能を維持していることを確認する。

3.2) **検査対象** 金属キャスク

3.3) **検査方法** 発電所搬出前検査の未臨界検査記録（2) 参照）及び圧力測定検査記録（g) 3.1) 参照）、貯蔵前検査の収納物検査記録（s) 1) 参照）及び外観検査記録（c) 2) 参照）、二重蓋間圧力検査記録（f) 参照）並びに表面温度検査記録（m) 参照）によって確認する。

3.4) **判定基準**

3.4.1) 発電所搬出前のバスケットに臨界防止機能に影響する変形又は破損があってはならない。

3.4.2) 発電所搬出前に、残留水分量、不活性ガスの純度及び量並びに圧力が検査仕様書で規定する条件に適合していなければならない。

3.4.3) 収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内でなければならない。

- 3.4.4) 金属キャスクの外観に、バスケットの形状、寸法及び／又は強度に影響する変形又は破損があってはならない。
- 3.4.5) 金属キャスクの密封機能が健全であり、バスケットが腐食防止環境になければならない。
- 3.4.6) 金属キャスクの表面温度に、バスケットの形状、寸法及び／又は強度に影響する異常があってはならない。

4) 貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査

- 4.1) **外観検査** 中期検査及び長期検査として、貯蔵期間中の未臨界検査記録（**3**）参照）に基づき、バスケットの外観に影響する異常が生じていないことを確認する。
- 4.2) **寸法検査** 長期検査として、貯蔵期間中の未臨界検査記録（**3**）参照）に基づき、バスケット寸法に影響する異常が生じていないことを確認する。
- 4.3) **中性子吸収材検査** 長期検査として、貯蔵期間中の未臨界検査記録（**3**）参照）に基づき、収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内であることを確認する。

k) 伝熱検査

1) 製造時検査

- 1.1) **検査目的** 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋が、設計報告書に適合する除熱性能を有することを確認する。
- 1.2) **検査対象** 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋
- 1.3) **検査方法** 金属キャスクの除熱機能に係る部材の材料検査記録（**a**）参照）、寸法検査記録（**b**）参照）、外観検査記録（**c**）1）参照）及び溶接検査記録（**d**）参照）を確認する。
- 1.4) **判定基準** 材料、寸法、外観及び溶接が、検査仕様書に規定する材料仕様、寸法及び形状に適合し、かつ、健全でなければならない。
- 1.5) **特記事項** 同一施工法 17) で製造される同一設計の金属キャスクの代表キャスクについては、金属キャスク内部に模擬発熱体を挿入した状態で各部の温度を測定し、輸送時に対しては緩衝体及び必要に応じ三次蓋模擬体を取り付けた状態で、人が容易に接近できる輸送物表面の温度が輸送法令で定める値（専用積載の場合、85℃）を超えないことを確認する。さらに、貯蔵時に対しては金属キャスクの主要な部材の温度が検査仕様書で規定する最高使用温度又は設計時の評価温度を超えないことを確認する。

このとき、同一施工法で製造される同一設計の金属キャスクについては、除熱機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の判定基準に適合することをもって、上記の代表キャスクと同等の除熱機能を持つとみなす。

なお、伝熱検査を代表キャスクの直接確認によって実施する場合は、確立された品質管理の下に金属キャスクが設計に従って製作されることを前提として、金属キャスク個々の伝熱性能の差異による影響が安全裕度に対して小さいこと並びに

除熱設計のモデル化及び製造方法が妥当であることを，金属キャスクの構造及び製作方法を考慮して確認する。代表キャスクの伝熱検査に基づく除熱設計の妥当性評価方法は，**附属書 S** による。また，その妥当性評価例を**附属書 T** に示す。

注 ¹⁷⁾ 伝熱性能に影響が考えられる施工法を変更する場合（例 伝熱フィンの溶接方法の変更，伝熱パスの接着方法の変更）は，同一施工法とはならない。なお，除熱性能に明らかに影響を及ぼさない設計の変更については新たな代表キャスクの選定は要しない。

2) 貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査

2.1) **検査目的** 金属キャスクが除熱性能を維持していることを確認する。

2.2) **検査対象** 金属キャスク（代表キャスク）

2.3) **検査方法** 金属キャスクの型式ごとに，収納物の仕様及び貯蔵時期を考慮して代表キャスクを選定し，各部温度測定値又は表面温度測定記録（**m**）参照）と当該金属キャスクの収納物仕様，貯蔵期間及び貯蔵環境（金属キャスクの配列及び周囲温度）に基づいた温度解析値を比較する。

2.4) **判定基準** 測定値が解析値を上回ってはならない。

3) **貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査** 長期検査として，2) の代表キャスクの伝熱検査記録に基づき，金属キャスクが除熱性能を維持していることを確認する。

l) 温度測定検査

1) **検査目的** 人が容易に近づくことができる輸送物の表面温度が，輸送法令に定める値を超えないことを確認する。

2) **検査対象** 輸送物

3) **検査方法** 人が容易に近づくことができる表面について温度計にて表面温度を測定する。

4) **判定基準** 周囲環境温度 38℃の場合の輸送物において，人が容易に近づくことのできる表面の温度が 85℃（輸送法令で定める専用積載の場合）を超えてはならない。

m) 表面温度検査

1) **検査目的** 金属キャスクが除熱機能を維持していることを確認する。

2) **検査対象** 金属キャスク

3) **検査方法** 貯蔵場所において，代表点として金属キャスク本体中央部の表面の温度を測定する。

4) **判定基準** 検査仕様書に規定する設計時の評価温度を超えてはならない。

n) **耐圧・漏えい検査** JSME S FA1-2007 に従って検査する。検査対象には，三次蓋を含む。

o) **吊上荷重検査** JSME S FA1-2007 に従って検査する。

p) 吊上検査

1) **発電所搬出前検査，貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査** JSME S FA1-2007 に従って

検査する。

- 2) **貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査** 中期検査及び長期検査として、c) 3) の外観検査記録に基づき、トラニオンの外観に汚れ、腐食、傷、変形又は損傷のないことを確認する。

q) **重量検査**

- 1) **製造時検査** JSME S FA1-2007 に従って検査する。検査対象には、緩衝体及び三次蓋を含む。
- 2) **発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査** 製造時の重量検査記録（1）参照）及び発電所搬出前の収納物検査記録（s) 1）参照）によって、検査仕様書で規定する重量以下であることを確認する。

- r) **据付検査** 金属キャスク及び金属キャスク支持架台の据付位置及び据付状態並びに外観について、据付作業記録又は目視によって確認する。トラニオンについては、JSME S FA1-2007 に従って検査する。

s) **収納物検査**

1) **発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査**

- 1.1) **検査目的** 金属キャスクに収納する使用済燃料について、その仕様、数量及び金属キャスク内の収納配置が輸送上及び貯蔵上の認可条件に適合していること並びに 4.1.2 に示す使用済燃料の条件に適合していることを確認する。

- 1.2) **検査対象** 使用済燃料（チャンネルボックス、バーナブルポイズン集合体を含む）、ツール、金属キャスク

1.3) **検査方法**

- 1.3.1) **発電所搬出前検査** 使用済燃料の仕様、数量及び収納配置については、原子炉での運転中のデータ及び燃料収納作業記録による。4.1.2 に示す使用済燃料の条件に適合していることについては、使用済燃料の仕様、原子炉での運転中のデータ、使用済燃料外観の目視及び真空乾燥時における漏えいモニタリング（例 ^{85}Kr のモニタリング）による。ツールの仕様、数量及び収納配置については、ツールの収納作業記録による。

- 1.3.2) **貯蔵前検査** 発電所搬出前検査の収納物検査記録及び貯蔵前検査の金属キャスクの外観検査記録（c) 2）参照）を確認する。

- 1.3.3) **貯蔵後搬出前検査** 発電所搬出前検査の収納物検査記録、貯蔵期間中検査の収納物検査記録（2）参照）及び貯蔵後搬出前検査の外観検査記録（c) 2）参照）を確認する。

1.4) **判定基準**

- 1.4.1) 発電所搬出前検査及び貯蔵後搬出前検査では、使用済燃料及びツールの仕様、数量及び収納配置が輸送物認可の条件のとおりでなければならない。貯蔵前検査にあつては、使用済燃料及びツールの仕様、数量及び収納配置が貯蔵認可の

条件のとおりでなければならない。

- 1.4.2) 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査では、4.1.2 に示す使用済燃料の条件に適合していなければならない。
- 1.4.3) 貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査では、1.4.1) 及び 1.4.2) に加え、貯蔵前検査の外観検査記録において輸送中に使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する金属キャスクの変形又は破損があってはならない。
- 1.4.4) 貯蔵後搬出前検査では、1.4.1) 、 1.4.2) 及び 1.4.3) に加え、貯蔵期間中検査の収納物検査記録において使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する異常がなく、かつ、貯蔵後搬出前検査の外観検査記録において使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する金属キャスクの変形又は破損があってはならない。

2) 貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査

- 2.1) 検査目的 使用済燃料が健全性を維持していることを確認する。
- 2.2) 検査対象 使用済燃料(チャンネルボックス、バーナブルポイズン集合体を含む)、スツール、金属キャスク
- 2.3) 検査方法 発電所搬出前検査の収納物検査記録 (1) 参照) 及び圧力測定検査記録 (g) 参照)、貯蔵前検査の金属キャスクの外観検査記録 (c) 2) 参照) 並びに貯蔵期間中検査の二重蓋間圧力検査記録 (f) 参照)、外観検査記録 (c) 3) 参照) 及び表面温度検査記録 (m) 参照) を確認する。
- 2.4) 判定基準
 - 2.4.1) 発電所搬出時の使用済燃料及びスツールが健全でなければならない。
 - 2.4.2) 金属キャスクの密封機能が健全であり、使用済燃料は腐食防止環境になければならない。
 - 2.4.3) 貯蔵時の使用済燃料の形状、スツールの形状、及び／又は燃料被覆管強度に影響する外力又は外部からの熱の作用があってはならない。

t) 取扱検査

- 1) 検査目的 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋が、支障なく取り扱えることを確認する。
- 2) 検査対象 金属キャスク、緩衝体及び三次蓋
- 3) 検査方法 バスケットの燃料収納格子内に模擬燃料集合体を挿入する。また、バスケット(挿入・取出しを行う構造の場合)、蓋、緩衝体及びその他付属品の脱着、挿入・取出し又は吊上げ・吊下ろしの取扱いを行う。
- 4) 判定基準 模擬燃料集合体の取扱いに支障がなく、また、バスケット(挿入・取出しを行う構造の場合)、蓋、緩衝体及びその他付属品の取扱いに異常があってはならない。

u) 作動確認検査

- 1) 検査目的 弁が装備された金属キャスクにあつては、当該弁が正常に作動することを確認する。

- 2) **検査対象** 弁
- 3) **検査方法** 弁の操作を行う。
- 4) **判定基準** 作動に異常があつてはならない。

v) **表面密度検査**

- 1) **検査目的** 輸送物の表面の放射性物質の密度が輸送法令に定める値を超えないこと、又は金属キャスクの表面の放射性物質の密度が貯蔵に支障のないことを確認する。
- 2) **検査対象** 輸送物表面又は金属キャスク表面
- 3) **検査方法** スミヤ法（拭取試験）による。
- 4) **判定基準** 表面の放射性物質の密度が次の 4.1) 及び 4.2) の値を超えてはならない。
 - 4.1) α 線を放出する放射性物質 0.4 Bq/cm²
 - 4.2) α 線を放出しない放射性物質 4 Bq/cm²

附属書 A (規定) 事業者の責任

序文

この附属書は、金属キャスクを用いようとする事業者¹⁾の責任について規定する。

注 ¹⁾ この標準では、“核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律”第 43 条の 4 に基づき使用済燃料の貯蔵の事業を行おうとする者又は当該事業の許可を受けた者、並びに同法律第 59 条に基づいた輸送物の設計承認申請者及び／又は輸送容器の容器承認申請者をいう。

A.1 設計仕様書の作成

事業者は、金属キャスクへの設計上の要求事項を規定するため、次の項目を含む設計仕様書を作成しなければならない。

- a) 適用法規，基準，規格類
- b) 材料の選定，設計，製作及び試験・検査の基礎資料となる設計条件，施設条件又は貯蔵の計画。金属キャスクの収納物である使用済燃料の仕様を含む。
- c) 金属キャスクの基本構造，基本形状，基本寸法
- d) 使用環境条件
- e) 中間貯蔵施設での異常事象の条件
- f) その他貯蔵経験によるデータなど参考にすべき事項
- g) 品質要求事項

A.2 設計報告書の作成

事業者は、設計仕様書に基づき、材料・構造を選定し、形状・寸法を設定して設計計算・解析を行い、この標準に適合することを確認した結果を、次の項目を含む設計報告書として作成しなければならない。

- a) 金属キャスクの主要仕様，主要材料，主要寸法，設計図面
- b) この標準に適合することを確認した設計計算書・解析書。設計者に委ねられている部分の詳細オプションの選択における，選択の妥当性の評価を含む。
- c) 設計結果に基づき，金属キャスクの製作，試験・検査及び運用において管理すべき事項

A.3 検査仕様書の作成

事業者は、設計仕様書及び設計報告書に基づき、金属キャスクの製作から貯蔵後搬出までに実施すべき検査の項目，検査時期，検査方法，判定基準，検査員資格及び品質要求事項を記載した仕様書を作成しなければならない。

A.4 検査要領書の作成

事業者は、検査仕様書に基づき、個々の検査内容を規定する要領書を作成しなければならない。

A.5 検査記録の作成

事業者は、検査要領書に基づいて実施した検査結果を、検査記録として作成しなければならない。

A.6 作業手順書の作成

事業者は、設計仕様書及び設計報告書に基づき、金属キャスクの仕立作業から貯蔵後搬出までに実施すべき作業手順を記載した作業手順書を作成しなければならない。

A.7 作業記録の作成

事業者は、作業手順書に基づいて実施した作業記録を作成しなければならない。

A.8 記録の保管

事業者は、**A.1～A.7** についての記録を、10 年又は当該金属キャスクの存続期間のいずれか長い方の期間、保管しなければならない。

A.9 品質保証

事業者は、**A.1～A.8** について、確立された品質保証システムのもとで実施しなければならない。

附属書 B (参考) 金属キャスクによる中間貯蔵施設

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

金属キャスクによる中間貯蔵施設の概念を示すことはこの標準の理解の一助になるため、この附属書では、本体の策定に当たって想定した中間貯蔵施設の基本的な概念を示す。

B.1 中間貯蔵施設の基本的な安全設計の考え方

中間貯蔵施設の主要な設備は金属キャスクであり、使用済燃料貯蔵に関する安全確保の多くの部分をそれに期待する。

輸送法令に適合する輸送容器は、一般公衆及び放射線業務従事者の安全を守る観点から基本的安全機能（密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能及び除熱機能）及び基本的安全機能を維持するために必要な構造強度を持つ。このような容器に一部の安全機能要件を付加して貯蔵に用いることで、中間貯蔵施設が維持すべき基本的安全機能の多くの部分を容器自身で確保することができる。

金属キャスク以外の中間貯蔵施設の構築物、系統及び機器は、このような金属キャスクを取り扱い、多数集合させて貯蔵するために必要となる機能を持つよう設計する。金属キャスク以外の施設の構築物、系統及び機器としては、金属キャスクを取り扱うための設備、運転管理のための設備及び補助的に遮蔽を付加するための貯蔵建屋があげられる。

B.2 中間貯蔵施設の基本的技術要件

中間貯蔵施設も、他の原子力施設と同様に、その周辺も含めて事故の誘因となるような事象が起きず、また、万一事故が発生した場合においても災害を拡大するような事象が少ない地点に立地するとともに、次の a) ～o) ¹⁾ を考慮した構築物、系統及び機器を持つ施設として設計する。

注 ¹⁾ “使用済燃料貯蔵施設（中間貯蔵施設）に係る技術検討報告書（資源エネルギー庁，平成 12 年 12 月）”，“金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針（平成 14 年 10 月 3 日 原子力安全委員会決定）”，“使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について（平成 14 年 9 月 20 日 原子力安全委員会 原子力安全基準専門部会）”，“使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「地震に対する考慮」の具体的適用について（平成 20 年 10 月 27 日 原子力安全委員会了承）”，“使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「自然環境」の考え方について（平成 20 年 10 月 27 日 原子力安全委員会了承）”，“使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備基準に関する規則（平

成 25 年 12 月 6 日 原子力規制委員会規則第 24 号)”及び“使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則（令和 2 年 3 月 17 日 原子力規制委員会規則第 8 号）”を参考とした。

- a) 通常時における一般公衆の線量を合理的に達成できる限り低くするとともに、事故時においても一般公衆に対して過度の放射線被ばくを及ぼさない設計とする。
- b) 放射線業務従事者の放射線被ばくを監視し、管理するための対策を講じる。
- c) 発生する放射性廃棄物を適切に処理することによって、周辺環境へ放出する放射性物質の濃度を合理的に達成できる限り低くする。
- d) 放射性廃棄物の放出の経路における放射性物質の濃度を適切に監視するための対策を講じるとともに、放射性物質の放出の可能性に応じ、周辺環境における線量及び放射性物質の濃度を監視するための対策を講じる。
- e) 想定される地震及び津波に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。
- f) 想定される自然現象（地震及び津波を除く）が発生した場合においても、基本的安全機能を損なわないよう設計する。また、事業所又はその周辺において想定される施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く）に対して、基本的安全機能を損なわないよう設計する。
- g) 火災又は爆発によって施設の基本的安全機能が損なわれないよう、次の措置を適切に組み合わせた措置を講じる。（①火災及び爆発の発生を防止，②火災及び爆発の発生を早期に感知及び消火，③火災及び爆発の影響を軽減）
- h) 外部電源系統からの電気の供給が停止した場合において、監視設備その他必要な設備に使用することができる予備電源を設ける。
- i) 異常時に対応した警報，通信連絡及び事業所内の人の避難のための対策を講じる。
- j) 安全機能を有する施設を他の原子力施設と共用し，又は安全機能を有する施設に属する設備を一つの施設で共用する場合には，施設の安全性を損なわないよう設計する。
- k) 施設の設計，材料の選定，製作，工事及び検査は，国内外の規格及び基準によって行う。
- l) 施設への人の不法な侵入などに対して，これを防止するための設備を設ける。
- m) 安全機能を有する施設は，当該施設の安全機能を確認するための検査又は試験及び当該安全機能を健全に維持するための保守又は修理ができるよう設計する。
- n) 施設には，使用済燃料を封入した金属キャスクの搬送及び受入時において基本的安全機能を確保することができる対策（例 金属キャスク取扱設備の金属キャスク落下防止対策，金属キャスク相互の衝突防止対策）を施した受入れのための設備を設ける。
- o) 基本的安全機能を維持する観点から，次の事項を含めた品質保証を行う。
 - 1) 中間貯蔵施設の設計，調達，製造，据付け及び特殊工程の管理，検査・試験の管理並びに運用管理
 - 2) 金属キャスクの製造時及び中間貯蔵施設の建設時の不適合資材の誤使用の防止に

関する不適合管理

- 3) 品質保証活動に関する十分な記録の保管
- 4) 1)～3) についての実施体制及び計画的かつ定期的な監査体制の確立並びに維持

B.3 中間貯蔵施設の構築物，系統及び機器 中間貯蔵施設の標準的な設計で想定される構築物，系統及び機器の例を図 B.1 に示す。

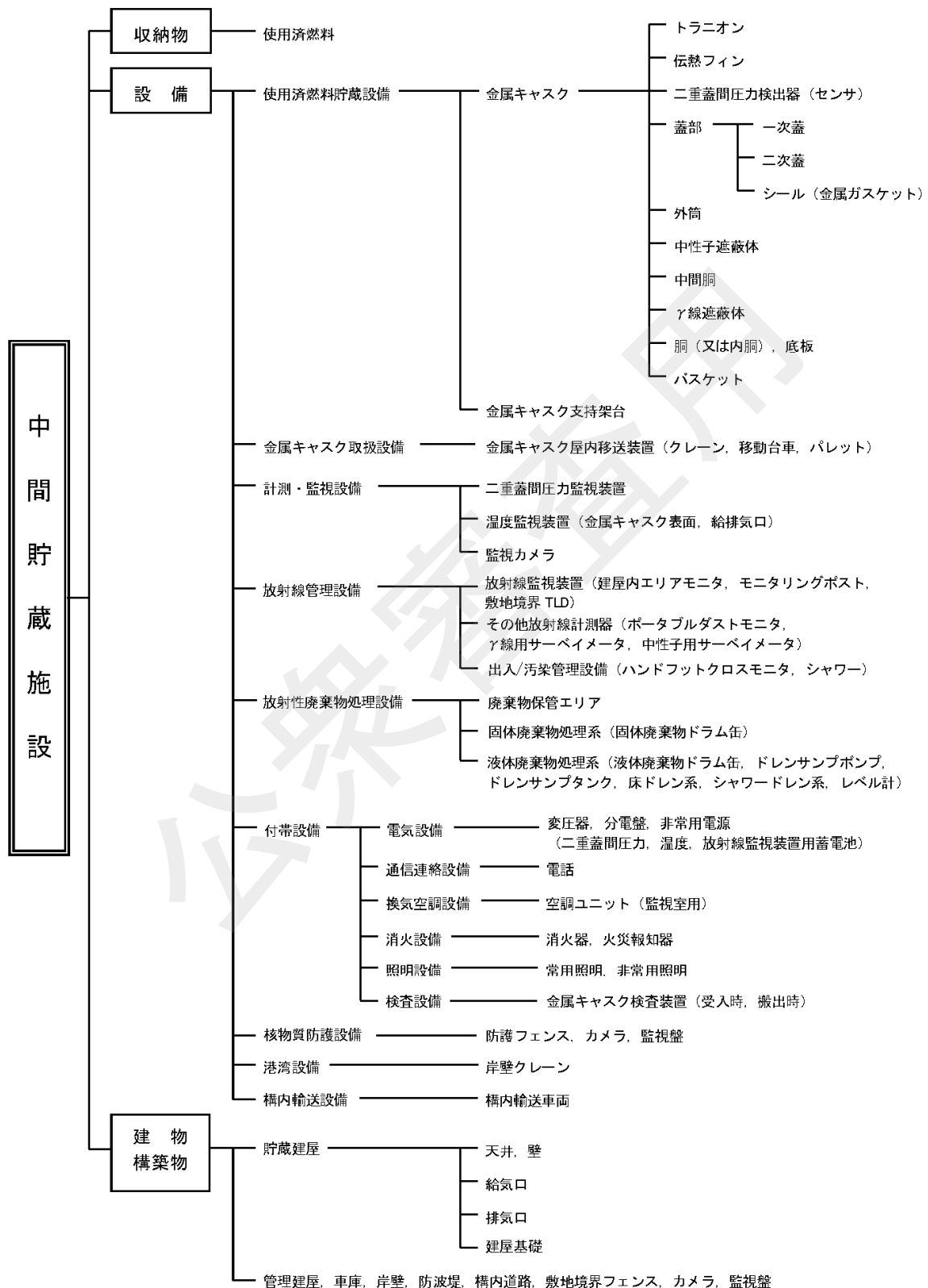


図 B.1—中間貯蔵施設を構成する構築物、系統及び機器の例

B.4 安全評価

B.4.1 安全評価の基本的考え方

中間貯蔵施設の安全評価においては、まず、中間貯蔵施設の設計及び運用形態を考慮して想定し得る異常事象を抽出する。さらに、異常事象を超えるような事故の発生の可能性を技術的観点から十分に検討して、最悪の場合、発生が想定される事故であって、一般公衆に対して最大の放射線被ばくを及ぼす事故を設計最大評価事故として選定し、その場合においても一般公衆に対し、過度の放射線被ばくを及ぼさないことを確認する。

異常事象時及び事故時に対する要求事項の考え方は以下のとおりである。

- a) **異常事象時** 放射性物質の漏えいがあってはならない。また、金属キャスクの遮蔽体損傷による若干の線量の増加があり得るが、一般公衆に対し放射線被ばくを十分に低くしなければならない。必要に応じて金属キャスクの補修を行い搬出できなければならない。
- b) **事故時** 金属キャスクの損傷による放射性物質の漏えい及び線量の増加があり得るが、補修及び／又は必要に応じての安全機能の復旧措置によって、一般公衆に対し過度の放射線被ばくを防止しなければならない。輸送のために必要な措置を講ずることによって施設外に搬出できなければならない。

B.4.2 異常事象の選定と評価

B.4.2.1 異常事象選定の考え方

中間貯蔵施設の供用期間中に施設内の系統及び機器の単一の故障若しくは誤動作又は運転員の単一の誤操作及びこれらと同等の頻度で発生すると予想される外乱によって生じる事象として選定する。

B.4.2.2 異常事象の評価の考え方

- a) **異常事象の評価条件の設定** 中間貯蔵施設における次の 1) ～3) の条件を考慮し、抽出された異常事象の評価条件を設定する。
 - 1) 金属キャスク取扱設備の仕様及び状態
 - 2) 金属キャスクを取り扱う際の位置
 - 3) 貯蔵に関する設備の仕様及び状態（経年変化及び材料の減損を含む。）
- b) **基本的安全機能及び使用済燃料健全性の維持の評価** a)で設定した条件に基づき評価し、基本的安全機能及び使用済燃料の健全性が維持されていることを確認する。

B.4.2.3 異常事象の選定例

異常事象の抽出においては、中間貯蔵施設が確保すべき基本的安全機能である密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能及び除熱機能に着目して、機能達成を阻害する要因の詳細分析を行い、その要因を構成する異常事象を選定する。

事象の抽出及び選定は施設の設計に即して行われるものであり、その結果は施設及び金属キャスクの設計及び運用に依存する。基本的安全機能に着目した事象の抽出例を**表 B.1**～**表 B.4**に示す。

さらに、中間貯蔵施設での取扱時及び貯蔵時の各作業において想定する起因事象の発生原因の分類に基づき、設計及び運用による対応を考慮して抽出した異常事象についての発生防止対策例を**表 B.5**に示す。ここで発生防止対策をもってしてもなお発生が想定される異常事象についてはその影響を評価する。

表 B.1ー金属キャスクの密封機能に着目した事象抽出例

安全機能	部位及び部材		要因		抽出した事象
密封機能 低下	一次蓋シール	金属ガスケット	変形・割れ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒
					金属キャスクの衝突
					金属キャスクへの重量物の落下
					外部事象(地震, 飛来物)
				内部圧力上昇 (キャビティ)	真空乾燥作業ミス
					ヘリウムガス充填作業ミス
					核分裂生成ガス放出
				内部圧力上昇 (蓋間)	真空乾燥作業ミス
					ヘリウムガス充填作業ミス
				ばね力低下 (クリープ)	内部温度異常 (キャビティ)
				外部温度上昇	火災
					給排気口閉塞
					経年変化
				腐食	経年変化
					真空乾燥作業ミス
					取付不良
		締付ボルト	変形・割れ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒
					金属キャスクの衝突
					金属キャスクへの重量物の落下
					外部事象(地震, 飛来物)
				締付力過大	締付不良
				締付力不足	締付不良
					経年変化
					真空乾燥作業ミス
				緩み	
				腐食	
		シール面	変形・割れ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒
					金属キャスクの衝突
					金属キャスクへの重量物の落下
					外部事象(地震, 飛来物)
					異物かみ込み
					経年変化
					真空乾燥作業ミス
				シール面損傷	
				腐食	

表 B.1—金属キャスクの密封機能に着目した事象抽出例（続き）

安全機能	部位及び部材		要因		抽出した事象		
	二次蓋シール	金属ガスケット	変形・割れ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒		
					金属キャスクの衝突		
					金属キャスクへの重量物の落下		
					外部事象(地震, 飛来物)		
				内部圧力上昇 (蓋間)	真空乾燥作業ミス		
					ヘリウムガス充填作業ミス		
				ばね力低下 (クリープ)	内部温度異常 (蓋間)	ヘリウムガス充填作業ミス	
					外部温度上昇	火災	
						給排気口閉塞	
				腐食	経年変化		
					経年変化		
					真空乾燥作業ミス		
						取付不良	
	締付ボルト	変形・割れ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒			
				金属キャスクの衝突			
				金属キャスクへの重量物の落下			
				外部事象(地震, 飛来物)			
			締付力過大	締付不良			
			締付力不足	締付不良			
			緩み				
			腐食	経年変化			
				真空乾燥作業ミス			
				シール面	変形・割れ	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒
							金属キャスクの衝突
							金属キャスクへの重量物の落下
							外部事象(地震, 飛来物)
シール面損傷	異物かみ込み						
腐食	経年変化						
	真空乾燥作業ミス						
金属キャスク本体 (胴・底板)/蓋	破損	外力の付加			金属キャスクの落下・転倒		
					金属キャスクの衝突		
					金属キャスクへの重量物の落下		
					外部事象(地震, 飛来物)		
		経年変化					
		腐食			経年変化		

表 B.2－中間貯蔵施設の遮蔽機能に着目した事象抽出例

安全機能	部位及び部材		要因	抽出した事象
遮蔽機能低下	金属キャスク	中性子遮蔽材	変形・割れ(レジン) — 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒
				金属キャスクの衝突
				金属キャスクへの重量物の落下
			消失(溶融) — 外部温度上昇	外部事象(地震, 飛来物)
				火災
				給排気口閉塞
		γ線遮蔽材	劣化 — 経年変化	金属キャスクの落下・転倒
			変形・割れ — 外力の付加	金属キャスクの衝突
				金属キャスクへの重量物の落下
		使用済燃料集合体	融解 — 外部温度上昇	外部事象(地震, 飛来物)
				火災
				給排気口閉塞
			腐食 — 経年変化	燃料集合体誤収納
	貯蔵建屋	建屋躯体	放射線量過大 — 燃料仕様不一致	金属キャスクの衝突
		破損・倒壊 — 外力の付加	コンクリート温度上昇	外部事象(地震, 飛来物)
				給排気口閉塞

表 B.3—金属キャスクの臨界防止機能に着目した事象抽出例

安全機能	部位及び部材		要因	抽出した事象
臨界防止機能低下	バスケット	バスケット格子	変形・割れ	外力の付加
				金属キャスクの落下・転倒
		中性子吸収材	腐食	外部温度上昇
			照射減損	火災
	使用済燃料集合体	燃料棒、スペーサ	変形・割れ	給排気口閉塞
			腐食	ヘリウムガス充填作業ミス
		反応度異常	燃料仕様不一致	経年変化
			燃料集合体誤収納	経年変化
	本体(胴・底板)／蓋	他キャスクとの接近	外力の付加	金属キャスクの落下・転倒
			冠水	金属キャスクの衝突
				外部事象(地震、飛来物)
				水系統配管破断
				外部事象(津波、洪水)

表 B.4－中間貯蔵施設の除熱機能に着目した事象抽出例

安全機能	部位及び部材		要因	抽出した事象
除熱機能低下	金属キャスク	金属キャスク本体(胴・底板)/蓋	変形・割れ 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 金属キャスクの衝突 金属キャスクへの重量物の落下 外部事象(地震, 飛来物)
		バスケット	変形・割れ 外力の付加	金属キャスクの落下・転倒 金属キャスクの衝突 金属キャスクへの重量物の落下 外部事象(地震, 飛来物)
		内部ガス(キャビティ・蓋間)	熱伝達低下	ヘリウムガス充填作業ミス 空気混入(充填後) 核分裂生成ガス放出
		使用済燃料集合体	発熱量過大 燃料仕様不一致 外部温度上昇	燃料集合体誤収納 火災
	貯蔵建屋	建屋躯体	破損・倒壊による 外力の付加	金属キャスクの衝突 外部事象(地震, 飛来物)
		給排気口	閉塞 異物による閉塞 給気フード・排気ルーバ異常 破損・倒壊 外力の付加	給排気口閉塞 外部事象(土砂崩れ) 外部事象(地震, 飛来物) 金属キャスクの衝突 外部事象(地震, 飛来物)

表 B.5ー金属キャスクにおける起回事象の発生原因に着目した事象発生防止対策例

異常事象の発生原因の分析		異常事象の発生原因に基づく事象発生防止対策例				
異常事象の原因		作業の工程	起回事象	異常事象	発生防止対策例	
異常事象の原因 内部事象(機器の破損、故障、誤操作)に起因 地震 火災 外部事象に起因 外部電源喪失 外部人為事象 地震以外の自然災害 (例:台風、積雪、凍結、津波) 外部事象に起因する異常事象は、立地選定、耐震設計、モニタリング、パトロール、建屋設計及び機器設計により発生を防止する。		金属キャスクの事業所内輸送時	内部事象	輸送車両整備不良	車両故障による衝突	・始業前点検及びブレーキの多重化により車両故障による衝突を未然に防ぐ。
				輸送車両の運転操作ミス	他車両への衝突	・交通規制、速度制限及びブレーキ多重化により他車両への衝突を未然に防ぐ。
					車両の転倒	・低床トレーラを用い、速度制限及びブレーキ多重化により車両の転倒を未然に防ぐ。
		貯蔵建屋 ^{a)} における金属キャスク受入時	内部事象	天井クレーン破損又は故障	金属キャスク落下	・天井クレーンの落下防止対策により金属キャスク落下を未然に防ぐ。
金属キャスク垂直吊具不具合	金属キャスク落下			・始業前点検及び外れ防止構造により吊具が外れることを未然に防ぐ。		
天井クレーンの運転操作ミス	金属キャスク支持架台への衝突			・操作監視		
注 ^{a)} 金属キャスクを金属キャスク支持架台に固定して貯蔵する設計の例						

B.4.2.4 異常事象の評価例

中間貯蔵施設における異常事象時には、金属キャスクの基本的安全機能及び使用済燃料の健全性を維持する設計とする。ここでは、**B.4.2.3** で抽出した異常事象のうち、金属キャスクの支持架台への衝突事象時の評価例を示す。

a) **金属キャスク及び使用済燃料の評価方法** 金属キャスク支持架台への衝突時の金属キャスクの基本的安全機能及び使用済燃料に関する評価を次に示す。

- 1) **評価条件** 天井クレーンの運転ミスによって、金属キャスクが吊下速度（最高 1.5m/min）で中間貯蔵施設の金属キャスク支持架台上の正規の位置へ垂直姿勢で衝突する。
- 2) **評価方法** 金属キャスクの持つ運動エネルギー及び位置エネルギーを金属キャスク支持架台のひずみエネルギーで吸収するとして、金属キャスクに生じる反力及び加速度を求める。これらが作用したとして金属キャスク及び燃料被覆管に発生する応力を求めて許容応力と比較する。その結果に基づき、金属キャスクの基本的安全機能及び使用済燃料の健全性に与える影響を評価する。

b) **金属キャスク及び使用済燃料の評価結果** 金属キャスク及び使用済燃料の評価結果の例を、**表 B.6** に示す。

表 B.6 によって、異常事象時にも金属キャスクは基本的安全機能を維持し、使用済燃料も健全性を維持することが確認できる。

したがって、金属キャスクをそのまま貯蔵し続ける、又は搬出することができる。

表 B.6—金属キャスク支持架台への衝突時の評価結果例（BWR 用燃料）⁽¹⁾

項 目		評価結果	設計基準	備 考
評価条件	金属キャスクに生じる加速度	5 G	—	輸送時の一般の試験条件における底部垂直落下時に生じる加速度は約 30 G である。
構造強度	一次蓋シール部の応力強さ	約 70 MPa	186 MPa 以下	発生応力は降伏応力以下であり、密封境界部は健全性を維持する。
	一次蓋締付ボルトの応力	約 340 MPa	848 MPa 以下	
	燃料被覆管応力強さ	約 70 MPa	560 MPa 以下	
基本的 安全機能	除熱	金属キャスク本体	約 150 °C	除熱機能を担保する構成部材が健全性を維持するため、各部温度は通常貯蔵時と変わらない
		中性子遮蔽体	約 130 °C	
		金属ガスケット	約 90 °C	
		バスケット	約 250 °C	
		燃料被覆管	約 260 °C	
	密封	金属ガスケットの漏えい率 ^{b)}	約 5.3×10^{-7} Pa・m ³ /s	金属ガスケット及びその取付部が健全性を維持するため、シールは基準漏えい率を維持する。
	遮蔽	表面線量当量率	約 1.1 mSv/h	遮蔽機能を担保する構成部材が健全性を維持するため、線量当量率は通常貯蔵時と変わらない。
		表面から 1 m の位置における線量当量率	約 81 μSv/h	
	臨界防止	実効増倍率	約 0.89	臨界防止機能を担保する構成部材が健全性を維持するため、中性子実効増倍率は通常貯蔵時と変わらない。
注 a)燃料被覆管の照射硬化が回復しない温度範囲を保守的に設定した値 b)上流側圧力が 1×10^5 Pa[abs]，下流側圧力が 0 Pa[abs]，温度が 25 °C の状態に換算したときの漏えい率				

B.4.3 事故の選定と評価

B.4.3.1 事故選定の考え方

異常事象を超える異常な状態であり，中間貯蔵施設の設計に即し，

- ・施設内移送中の誤操作などによる金属キャスクの衝突・落下
- ・自然災害

など，中間貯蔵施設の基本的安全機能を損なうおそれのある事故の発生の可能性を，金属キャスクの構成部材の経年変化も踏まえ，技術的観点から十分に検討し，技術的に発生が想定される事故であって，公衆の放射線被ばくの観点から重要と考えられる事故を選定する。

ただし，事故の発生の可能性が極めて小さく無視できること（例 貯蔵建屋への航空機の落下確率）を示すことができれば，その場合は事故解析は不要とするが，根拠データ，評価手法などの妥当性に留意する必要がある。

B.4.3.2 事故評価の考え方

a) **事故の評価条件の設定** 中間貯蔵施設における次の 1) ～3) の条件を考慮し，選定された事故の評価条件を設定する。

- 1) 金属キャスク及びキャスク取扱設備の仕様及び状態
- 2) 金属キャスクを取り扱う際の位置
- 3) 貯蔵に関する設備の仕様及び状態（経年変化及び材料の減損を含む。）

b) **事故の評価項目** a)で設定した条件に基づき基本的安全機能に影響を与える部位について影響を評価する。事業所周辺の公衆が被ばくする線量を評価し貯蔵法令で定められる線量限度を超えないことを確認し，必要な措置を講ずることによって施設外に搬出する。

B.4.3.3 事故の選定例

事故の選定は施設の設計に即して行われるものであり，その結果は施設と金属キャスクの設計及び運用に依存する。基本的安全機能に着目した事象の抽出例を表 B.1～表 B.4 に示す。さらに，事象の発生防止対策例を表 B.5 に示す。抽出した事象と施設設計に即した事象発生防止対策を考慮し，事故事象を選定する。

B.4.3.4 事故の評価例

ここでは，放射性物質の放出に対するリスクを確認する観点から，最も厳しい事象として考えられる金属キャスクの落下，転倒について評価例を示す。

a) 金属キャスクの落下

- 1) **評価条件** 金属キャスクを輸送架台から受取検査場所へ移送する時に，何らかの原因によって金属キャスクが落下し，垂直姿勢で床に衝突する。

- 2) **評価方法** 金属キャスクの持つ運動エネルギー及び位置エネルギーを床（又は床面に設置された構造物）のひずみエネルギーで吸収するとして、金属キャスクに生じる反力及び加速度を求め、金属キャスクの基本的安全機能に与える部位について影響を評価する。事業所周辺の公衆が被ばくする線量を評価し貯蔵法令で定められる線量限度を超えないことを確認する。

b) 金属キャスクの転倒

- 1) **評価条件** 金属キャスクを輸送架台からたて起こす時に、何らかの原因によって金属キャスクが輸送架台上に衝突する。
- 2) **評価方法** 金属キャスクの持つ運動エネルギー及び位置エネルギーを、金属キャスク及び輸送架台又は底面に設置された緩衝構造物のひずみエネルギーで吸収するとして、金属キャスクに生じる反力及び加速度を求め、金属キャスクの基本的安全機能への影響を評価する。事業所周辺の公衆が被ばくする線量を評価し貯蔵法令で定められる線量限度を超えないことを確認する。

B.5 金属キャスクに関連する管理・運用

B.5.1 モニタリング

貯蔵中の金属キャスクを含む中間貯蔵施設の基本的安全機能に関し、次の **a)** ～ **c)** のモニタリングを行う。金属キャスクは貯蔵時において臨界となることはないため、臨界防止機能に関するモニタリングは必要ない。

- a) 密封機能** 金属キャスクの二重蓋間圧力を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。
- b) 遮蔽機能** 金属キャスクの遮蔽機能が維持されていることを確認するため、貯蔵エリアの空間放射線量率を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。また、周辺監視区域外で人が居住する可能性があり、施設からの直接線・スカイシャイン線量の寄与が大きい周辺監視区域境界において積算線量を測定するとともに、空間放射線量率を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。さらに、施設の設計によって周辺監視区域境界外において中性子線による線量寄与の割合が有意である場合は、貯蔵エリア内の中性子線を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。
- c) 除熱機能** 金属キャスクの除熱機能が維持されていることを確認するため、金属キャスク本体中央部の表面について代表点を定め、その温度を定期的に測定する。また、金属キャスクの環境温度が設計範囲内に維持されていることを確認するため、貯蔵建屋の給排気口の温度及び温度差を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。

B.5.2 異常時の措置

貯蔵中の金属キャスクの基本的安全機能に異常が生じて警報を発信した場合、金属キャスクに関する異常事象又は事故が発生した場合は次の **a)**、**b)** 又は **c)** の措置を講ずる。

a) 警報発信時の措置

- 1) **密封機能** 二重蓋間圧力モニタが警報を発した場合、金属キャスクの二次蓋の気密漏えい検査を行う。二次蓋シール部が漏えいしている場合は、中間貯蔵施設で二次蓋の金属ガスケットを交換し、密封機能の回復を確認した後、貯蔵を継続する。

また、一次蓋シール部が漏えいしていると判断できる場合は、二次蓋又は三次蓋について気密漏えい検査を行って密封性能の健全性を確認した上で、施設外に搬出する。

- 2) **遮蔽機能** 管理区域の空間放射線量率が上昇してモニタが警報を発した場合は、放射線サーベイメータによって異常がある金属キャスクを特定し必要に応じ補助遮蔽を施し搬出する。

周辺監視区域境界における空間放射線量率が上昇してモニタが警報を発した場合は、管理区域の空間放射線量率に異常が発生していることを確認するとともに、上記と同様の対応をする。

- 3) **除熱機能** 金属キャスク表面温度が設計時の評価温度を超えた場合は、金属キャスクの外観及び周囲環境を確認し、異常の原因を除去する。

貯蔵建屋の給排気温度に異常が生じ警報を発した場合は、給排気口において空気の流れを自然換気を阻害する原因を除去し、排気温度が通常値に復旧することを確認する。

- b) 異常事象時の措置** 異常事象が発生した場合は、事象に基づく設計評価を行い、金属キャスクが基本的安全機能を維持すること及び使用済燃料又は燃料被覆管が健全性を維持していることを確認する。さらに、外観検査、表面温度検査、線量当量率検査及び二重蓋間圧力検査を行って金属キャスクが基本的安全機能及び構造強度を維持していること並びにこれらの結果に基づいて使用済燃料又は燃料被覆管が健全性を維持していることを確認した後、設計仕様書で規定する通常輸送時及び貯蔵時の負荷に対する設計基準を満足する場合には貯蔵を継続するか、又は施設外に搬出する。また、設計仕様書で規定する通常輸送時及び貯蔵時の負荷に対する設計基準を満足しない場合には、必要に応じて金属キャスクの補修を行い施設外に搬出する。

- c) 事故時の措置** 事故が発生した場合は、輸送のために必要な措置を講ずることによって施設外に搬出する。

参考文献

- (1) “使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクについて (HDP-69B 型)”, HLR-110 訂 2, 日立 GE ニュークリア・エナジー(株), (2014) (一部修正)

附属書 C

(規定)

中間貯蔵における使用済燃料の長期健全性を確認するための 発電所構内などでの先行貯蔵

序文

現在までの知見において、金属キャスクに収納して中間貯蔵を行う使用済燃料の長期健全性は確保できるものと判断できる。しかしながら、長期に貯蔵した実績がないため、この附属書では、予見できない劣化事象発生などによって系統的に使用済燃料が破損することがないことを発電所構内などでの先行貯蔵の知見を蓄積することによって確認する方法について規定する。

C.1 先行貯蔵する燃料の選定

先行貯蔵する燃料は、仕様の異なる全てのタイプの燃料を選ぶ必要はなく、長期貯蔵における燃料被覆管健全性の観点から、次の a) ～ d) を考慮して、選定する。

- a) **燃料被覆管材質**：機械的強度、クリープ特性、腐食、水素化物再配向などに影響
- b) **燃焼度**：機械的強度などに影響
- c) **温度**：クリープ特性、腐食、水素化物再配向などに影響
- d) **応力**：クリープ特性、水素化物再配向に影響

C.1.1 燃料被覆管材質

先行貯蔵する燃料は、実際に中間貯蔵する燃料を代表する必要があり、BWR 燃料と PWR 燃料は、燃料の種類が異なるものとして、先行貯蔵する使用済燃料を選定しなければならない。

C.1.2 燃焼度、温度及び応力

燃料被覆管の機械的特性は、**附属書 E** に示すとおり、中性子照射量が約 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ ($E > 1 \text{ MeV}$) (燃焼度で約 5 GWd/t) を超えると顕著な変化を示さなくなる。

したがって、実際に中間貯蔵する燃料がこれ以上の燃焼度であることを前提に、先行貯蔵する燃料についても、これを上回る燃焼度の燃料を選定する必要がある。

なお、燃焼に伴って増大する燃料被覆管内圧の影響については、最大内圧を考慮した場合においてもクリープ及び水素化物再配向による燃料被覆管の機械的特性に大きな変化が生じない温度制限下での貯蔵を前提として考慮する必要はない。温度制限条件は、**附属書 N** による。

また、燃焼に伴って増大する燃料被覆管の水素吸収量の影響については、我が国で設置の

許可を受けた BWR 及び PWR で発生した使用済燃料であって、この標準の対象とする燃焼度の範囲では、**附属書 N** に示すとおり燃料被覆管の強度が十分に維持されることから先行貯蔵燃料の選定条件として特に考慮する必要はない。

C.2 先行貯蔵方法に対する品質管理

中間貯蔵における使用済燃料の長期健全性を先行貯蔵にて確認するためには、先行貯蔵に供する燃料の環境が中間貯蔵される燃料の貯蔵状況を模擬していなければならない。このためには、先行貯蔵の品質管理は、次の **a)** 及び **b)** を考慮して行わなければならない。

- a) **燃料被覆管温度の管理** 中間貯蔵における燃料被覆管の温度が、**附属書 N** に規定する制限温度を超えなければ 60 年間を想定した長期貯蔵中の燃料被覆管の機械的特性はほとんど変化しない。したがって、先行貯蔵は、**附属書 N** に規定する温度範囲で行う。
- b) **燃料貯蔵環境の管理** 先行貯蔵燃料の貯蔵環境は、実際の中間貯蔵における圧力、不活性環境及び水分環境と同等でなければならない (**附属書 I** 参照)。

C.3 長期健全性確認方法

C.3.1 確認の方法

先行貯蔵のために使用済燃料を収納している容器の内部ガスをサンプリングし、燃料棒漏えいの有無を確認する (例 ^{85}Kr のモニタリングによる)。漏えいを検出した場合には、漏えいしている燃料棒数を確認するとともに、外観検査及び材料試験によって、漏えいの発生状態を確認する。

C.3.2 燃料の健全性

C.3.1 の方法による確認の結果、次の **a)** 又は **b)** の結果が得られた場合は、使用済燃料は、健全燃料、又は健全燃料と同様に取り扱えると判定する。

- a) 燃料棒からの漏えいが検知されない場合
- b) 漏えい燃料棒数が安全設計においてあらかじめ考慮している値以下であり、かつ、貯蔵中及び貯蔵後の輸送において、き裂の拡大を生じない微小なき裂 (例 ピンホール) で、安全機能に影響しないことが確認された場合 (**附属書 J** 参照)

C.3.3 確認の頻度

中間貯蔵施設の運用を考慮して先行貯蔵時の確認の頻度を決定しなければならない (例 5 年)。

附属書 D (参考) 金属キャスクの構造と運用の様態

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

D.1 金属キャスクの構造

金属キャスクは、収納物である使用済燃料を収納し放射性物質に対する密封境界を形成する“密封容器”、密封容器内にあって使用済燃料を支持し臨界防止機能を担保する“バスケット”、金属キャスクの支持・固縛などの取扱いに用いる“トラニオン”及びその他の部品で構成する。設計によっては、密封容器を補強・支持する機能を担保する“中間胴”を設ける。金属キャスクの構造例を図 D.1 に示す。

金属キャスクは、輸送に当たっては緩衝体及び設計によっては三次蓋を取り付ける。また、貯蔵に当たっては金属キャスク支持架台上に固縛して設置する場合がある。

D.2 金属キャスクの運用の様態

金属キャスクは、製造工場で製造し、原子力発電所で使用済燃料を収納して事業所外輸送により中間貯蔵施設に搬入し、設置する。ここで長期間使用済燃料を貯蔵した後、再び事業所外輸送により再処理施設、その他の施設に向けて輸送する。この標準で想定した金属キャスクの運用の様態を表 D.1 に示す。表 D.1 には、それぞれの工程において考慮する事象の例を記載した。(中間貯蔵施設の事象抽出例については、附属書 B 参照)

貯蔵前後の事業所外輸送においては、緩衝体を取り付けた金属キャスク(設計によっては三次蓋を取り付ける。)は輸送物として扱われ、輸送法令の規制を受けることから、法令が定める要求事項に対応するよう設計する。ここで考慮する事象及び荷重条件は輸送法令において設計条件及び試験条件として規定しており、明確である。

一方、中間貯蔵施設においては使用済燃料の貯蔵用容器として扱われ、貯蔵法令の規制を受ける。貯蔵時において安全設計で考慮すべき条件は施設設計及び運用に依存する部分が多いため一様には規定できず、設計に即して個々の施設ごとに設定しなければならない。ただし、この標準では、技術的にみて発生が想定される事故に対して、必要な措置を講じることによって、施設外に搬出することとしている。

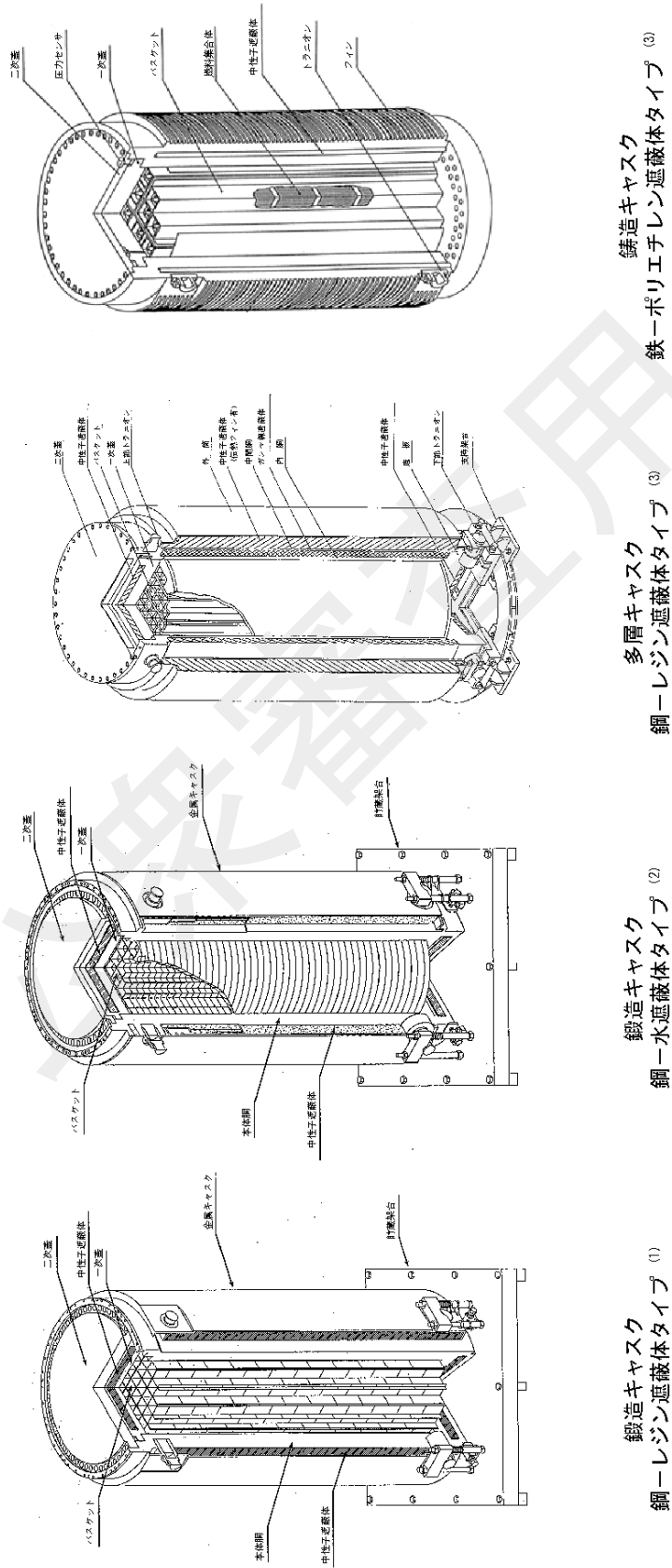
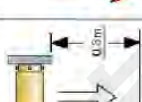


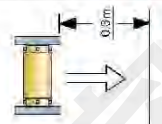
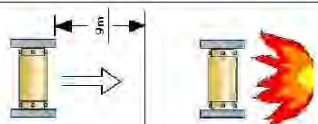
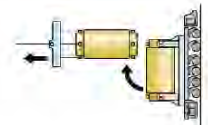
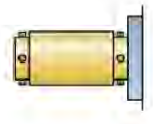
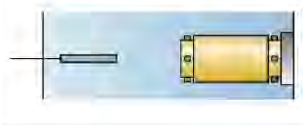
図 D.1-金属キャスクの構造例

表 D.1—金属キャスクの運用の様態（その1）

工 程	工 場	原 子 力 発 電 所		事業所外輸送（原子力発電所→中間貯蔵施設）			中 間 貯 蔵 施 設			
		燃料収納	取扱い	事業所内輸送	通常輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件	事業所内輸送	貯 蔵	事業所内輸送
工 程	製造									
	製造、検査	・燃料収納 （燃料プール水中、蒸なし）	・一次蒸気取付け ・内部排水 ・真空乾燥 ・二次蒸気取付け	・金属キャスク吊上げ ・金属キャスク横転 ・輸送架台積載 ・緩衝体取付け ・構内輸送	・事業所外輸送（陸上輸送、海上輸送）	・38℃環境 ・水浸露 ・0.3 m落下 ・積重ね ・軟鋼棒貫通	・9 m落下 ・軟鋼棒上1 m落下 ・800℃、30分 火災 ・15 m浸漬 ・200 m浸漬 ^{a)}	・構内輸送 ・施設搬入 ・緩衝体取外し ・金属キャスクたて起こし ・金属キャスク吊上げ	・施設内設置・固縛 ・監視装置取付け ・貯蔵	・金属キャスク吊上げ ・金属キャスク横転 ・輸送架台積載 ・緩衝体取付け ・構内輸送
様態の説明	試験状態 （耐圧試験）	—	・排水時加圧 ・内部真空 ・内部昇温	・吊上加速度 ・輸送時加速度 ・輸送振動	・吊上加速度 ・輸送時加速度 ・輸送振動 ・外圧60 kPa ・最低使用温度 ～38℃	・38℃環境 ・水浸露 ・0.3 m落下 ・積重ね ・軟鋼棒貫通	・9 m落下 ・軟鋼棒上1 m落下 ・800℃、30分 火災 ・15 m浸漬 ・200 m浸漬 ^{a)}	・吊上加速度 ・輸送時加速度 ・輸送振動 ・異常事象 （金属キャスクの衝突など）	・地震 ・異常事象 （金属キャスクの衝突など）	・吊上加速度 ・輸送時加速度 ・輸送振動 ・異常事象 （金属キャスクの衝突など）
考慮する事象										

注^{a)} A₀の10万倍を超える放射能を収納した輸送物の追加条件

表 D.1－金属キャスクの運用の様態（その2）

工 程	事業所外輸送(中間貯蔵施設→再処理施設)			再 処 理 施 設		
	通常輸送時	一般の試験条件	特別の試験条件	事業所内輸送	蓋取外し・冷却	燃料取出し
工 程						
	・事業所外輸送(陸上輸送、海上輸送)	・事業所内輸送 ・施設搬入 ・緩衝体取外し ・金属キャスクたて起こし ・金属キャスク吊上げ	・二次蓋外し ・容器内注水 ・内部冷却	・燃料取出し (燃料プール水中、蓋なし)	—	
様態の説明	・吊上加速度 ・輸送時加速度 ・輸送振動 ・外圧60 kPa ・最低使用温度 ～38℃	・38℃環境 ・水噴霧 ・0.3 m落下 ・積重ね ・軟鋼棒貫通	・9 m落下 ・軟鋼棒上1 m落下 ・800℃、30分 火災 ・15 m浸漬 ・200 m浸漬 ^{a)}	・吊上加速度 ・輸送時加速度 ・輸送振動 ・異常事象 (金属キャスクの衝突など)	・注水時加圧 ・内部蒸気＋水 ・内部降温	—
考慮する事象						

注^{a)} A₉の10万倍を超える放射能を収納した輸送物の追加条件

参考文献

(1) “使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクについて (HDP-69B 型)”, HLR-110 訂 2, 日立 GE ニュークリア・エナジー(株), 4, (2014)

(2) “使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクについて (NEO-2569CB 型)”, OCL-TR-001-改 1, (株)オー・シー・エル, 4, (2009)

(3) JSME S FA1-2007 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格, 解説 MGB-1100-1

附属書 E (規定)

金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の長期健全性維持に関する設計基準

序文

この附属書は、設計評価期間中における金属キャスクの構成部材の基本的安全機能及び構造強度、並びに燃料の健全性を確保するため、それらに要求される機能及び経年変化要因を抽出し、長期健全性に関する評価方法及び設計基準を規定するものである。ここで、**JSME S FA1-2007**に規定する材料であっても、経年変化要因である放射線照射及び腐食の観点からの設計基準を示している。また、**JSME S FA1-2007**に規定しない材料については、経年変化要因である熱、放射線照射及び腐食の観点からの設計基準を示している。設計基準の根拠としたデータを、参考として、**附属書 F**に示す。

なお、この附属書で規定されていない材料を使用する場合は、本附属書に示す経年変化に関する要求機能が維持されることを確認した上で用いる。

E.1 設計に用いる構成部材の特性の抽出

金属キャスクの構成部材及び燃料に関する経年変化の評価に当たっては、まず、設計において用いる金属キャスクの構成部材及び燃料の特性を、基本的安全機能及び構造強度に着目して**表 E.1**に従って抽出する。

E.2 設計特性上考慮すべき経年変化要因

構成部材について抽出した特性ごとに考慮すべき経年変化要因を次に示す。

なお、燃料についても同様の考え方を適用する。

- a) **熱** 低温又は高温での材料組成・材料組織の変化、強度・延性・脆性・クリープ・その他物性値の変化及び質量減少
- b) **放射線照射** γ 線及び中性子線照射による材料組成・材料組織の変化及び強度・延性・脆性・その他物性値の変化
- c) **腐食** 全面腐食、隙間腐食、応力腐食割れ、異種材料接触部の化学反応及びジルカロイにおける水素吸収・酸化

E.3 構成部材及び燃料の長期健全性に関する評価方法及び設計基準

金属キャスクに使用する個々の材料について、長期貯蔵及びその後の輸送における**E.2**の環境条件の影響や負荷条件を考慮して、経年変化を考慮する必要の有無を文献や試験データに基づき判定する。考慮する必要ありと判定したものについては、経年変化の影響を低減・防止する、又はそれを織り込んだ設計対応を行わなければならない（例 材質・構造の変更、使用環境の緩和措置、防食措置、定期点検・保守、予想寿命での部品交換）。

これら設計対応を考慮した上でも、経年変化によって基本的安全機能及び構造強度に影響が生じることが考えられるものについては、金属キャスクの設計に当たって経年変化の評価を行う。評価結果は、強度、材料物性値、解析入力値又はその他の許容基準値として金属キャスクの設計に反映しなければならない（例 腐食代の考慮）。

金属キャスクでの使用を想定する主要な構成部材について、経年変化を考慮した設計基準を表 E.2 に示す。また、燃料についての設計基準を表 E.3 に示す。ここで、密封、除熱、遮蔽、臨界防止を担保する部材については、安全機能を維持する観点に基づき設計基準を定めた。

なお、緩衝体に用いる緩衝材（例 木材）は緩衝体缶体内に密閉するよう設計する等によって、緩衝性能に及ぼす経年変化の影響を防止しなければならない。

参考文献

- (1) 土肥謙次, 秀耕一郎, 黛正己, 恩地健雄, 大岡紀一, 304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果(その 2)－熱鋭敏化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響－, 電力中央研究所研究報告, T96301, 電力中央研究所, (1997).
- (2) B.K.Singh, Vakil Singh, “Effect of fast neutron irradiation on tensile properties of AISI 304 stainless steel and alloy Ti-6Al-4V”, *Materials Science and Engineering A*, 528, 5336-5340 (2011).
- (3) 長谷川正義, 原子炉材料ハンドブック, 長谷川正義, 三島良績編, 日刊工業新聞, 東京, 662 (1977).
- (4) 土肥謙次, 曾根田直樹, 恩地健雄, G.R.Odetto, G.E.Lucas, 軽水炉压力容器鋼の照射脆化メカニズムの解明－銅含有量の低い鋼材における照射速度の影響－, 電力中央研究所研究報告, T00032, 電力中央研究所, (2001).
- (5) J.P.Robertson, et al., “Temperature dependence of the deformation behavior of type 316 stainless steel after low temperature neutron irradiation”, *ASTM STP 1325*, 671 (1999).
- (6) *Considerations Applicable to the Transportability of a Transportable Storage Cask at the End of the Storage Period, SAND 88-2481, TTC-0841, Sandia National Laboratory, (1991).*
- (7) R.R.Vandervoort, E.L.Raymond, C.J.Echer, “High-Energy Neutron Irradiation Effect on the Tensile Properties and Microstructure of 316 Stainless Steel”, *Radiation Effects*, 45, 191-198 (1980).
- (8) 日本電気協会 原子力規格委員会, 原子炉構造材の監視試験方法, 日本電気協会, **JEAC 4201-2007** (2007).
- (9) 原子力安全基盤機構, 平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告, 04 基シ報-0007, 原子力安全基盤機構, (2004).

- (10) K.Farrell, S.T.Mahmood, R.E.Stoller, L.K.Mansur, “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys”, *Journal of Nuclear Materials*, 210, 268-281 (1994).
- (11) R.J.McElroy, et al., “Low temperature embrittlement of LWR RPV support structure”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 54, 171-211 (1993).
- (12) S.Tahtinen, et al., “Effect of neutron irradiation on fracture toughness behavior of copper alloys”, *Journal of Nuclear Materials*, 258-263, 1010-1014 (1998).
- (13) S.J.Zinkle, G.L.Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, **ASTM STP 888**, 141-160 (1986).
- (14) S.E.Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, *Nuclear Technology*, 96, 346-352 (1991).
- (15) 日本原子力研究所 材料試験炉部, JMTR 試用期間照射報告書, 第4部ジルコニウムその他の材料, JAERI-M5648, (1974).
- (16) K.Farrell, “Microstructure and Tensile Properties of Heavily Irradiated 5052-O Aluminum Alloy”, *Journal of Nuclear Materials*, 97, 33-43 (1981).
- (17) K.Farrell, R.T.King, “Tensile Properties of Neutron-Irradiated 6061 Aluminum Alloy in Annealed and Precipitation-Hardened Conditions”, *Effects of Radiation on Structural Materials*, **ASTM STP 683**, 440-449 (1979).
- (18) J. A. Dunlap et al., “Effect of Irradiation in a Spallation Neutron Environment on Tensile Properties and Microstructure of Aluminum Alloys 5052 and 6061”, *Effects of Radiation on Materials: 17th Int. Sympo.*, **ASTM STP 1270**, 1047-1056 (1996).
- (19) K.Farrel, A.E.Richt, “Microstructure and tensile of heavy irradiation 1100-O aluminum”, *Effects of Radiation on Structural Materials*, **ASTM STP 683**, 427-439 (1979).
- (20) H.Yoshida, et al., “Reactor irradiation effects on Al1100”, *Proc. Jpn. Congr. Mater. Res.*, 24, 1-6 (1981).
- (21) *Neutron Cross Sections Volume1, Resonance Parameters*, BNL 325 Third Edition, National Neutron Cross Center Brookhaven National Laboratory (1973).
- (22) S.Shirai, M.Takani, O.Umegaki, Y.Irisa, K.Sakai, K.Maruoka, H.Nishioka, O.Kadota, Y.Momma, M.Matsumoto, “Evaluation Test on the Thermal Stability of Resin as Neutron Shielding Material for Spent Nuclear Fuel Transport Cask”, *Proc. the 12th Int. Conf. on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, Paris, May10-15, 1998, 4, 1645-1652 (1998).
- (23) M.Nodaka, T.Iida, H.Taniuchi, K.Kakunai, H.Nagahama, “Neutron shielding material applicable for advanced transport packaging”, *Proc. the 10th Int. Sympo.*

on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, Yokohama, Sep.13-18, 1992, 3, 1493 (1992).

- (24) 原子力発電技術機構, 平成 14 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書, 原子力発電技術機構, (2003).
- (25) M.B.Bruce, M.V.Davis, *Radiation Effects on Organic Materials in Nuclear Plants*, NP-2129, Electric Power Research Institute, 4-5-4-6 (1981).
- (26) W.W.Parkinson, O.Sisman, "The Use of Plastics and Elastomers in Nuclear Radiation", *Nuclear Engineering and Design*, 17, 247-280 (1971).
- (27) R.P.Shogan, "NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON THE TENSILE PROPERTIES OF INCONEL 718, WASPALOY AND A-286", *WANL-TME-2791* (1971).
- (28) T.S.Byun, K.Farrell, "Tensile Properties of Inconel 718 after low temperature neutron irradiation", *Journal of Nuclear Materials*, 318, 292-299 (2003).
- (29) 小崎明郎, "使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他", 日本原子力情報センター主催セミナー「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」, No.9801754, 114 (1998).
- (30) 原子力安全基盤機構, 平成 18 年度 高燃焼度 9×9 型燃料信頼性実証成果報告書 (総合評価編), 07 基炉報-0002, 原子力安全基盤機構, (2007).
- (31) 原子力発電技術機構, 平成 13 年度 高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書 (PWR 高燃焼度燃料 総合評価編), 原子力発電技術機構 (2002).
- (32) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ, 金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について, (2009).

表 E.1－金属キャスク構成部材及び燃料の主要な設計用特性値

部位・部品		安全機能等				
		密封	遮蔽	臨界防止	除熱	構造強度
本体	密封境界構成部材	—— ^{a)}	寸法・形状 密度 元素組成	——	寸法・形状 密度 熱的物性値	寸法・形状 強度 機械的物性値 熱膨張係数
	その他構成部材 ^{b)}	——				
	伝熱フィン ^{b)}					
	トラニオン ^{c)}		——		——	寸法・形状 強度
バスケット	構成部材	——	寸法・形状 密度 元素組成	寸法・形状 密度 元素組成	寸法・形状 密度 熱的物性値	寸法・形状 強度 機械的物性値 熱膨張係数
	中性子吸収材					寸法・形状 強度
遮蔽体	γ線遮蔽材 ^{d)}	——	寸法・形状 密度 元素組成	——	寸法・形状 密度 熱的物性値	寸法・形状 ^{e)} 機械的物性値 ^{e)}
	中性子遮蔽材					熱膨張係数 ^{e)}
ガスケット		漏えい率	——	——	——	寸法・形状 機械的物性値
燃料 ^{f)}		——	——	——	——	寸法・形状 機械的物性値

注 a) 部位・部品の構造強度が密封機能に間接的に影響を与えるため、構造強度に係る設計用特性を設定する。
b) 右欄の安全機能等（基本的安全機能及び構造強度）に関連する部材に限る。
c) 検査・点検によって異常が認められた場合、交換可能な部品である。
d) 構造強度を担保しない遮蔽材（例 鉛）の場合である。
e) 固体の遮蔽材で構造強度上、熱膨張による影響評価を要する場合に用いる。
f) 燃料は収納物であり、本標準の対象外であるが、貯蔵中の燃料被覆管の健全性維持は金属キャスクの安全設計の前提であることから記載した。

——：金属キャスクの設計に応じて部位・部品が安全機能を直接担保するものではないが、安全機能を直接担保する部位・部品を支持するなど、間接的に安全機能に影響与える場合、担保すべき機能に応じた設計用特性を設定する。

表 E.2—金属キャスクの構成部材の長期健全性に対する設計基準

材 料		要 因	設計基準	参考文献
本 体	ステンレス 鋼(胴, 底 板, 蓋, ト ラニオン, その他部 品)	熱	JSME S FA1-2007 に規定するステンレス鋼では, JSME S NC1-2007 日本機械学会 設計・建設規格(以下, “JSME S NC1-2007” という。)に, 350 °C~425 °Cまでの設計用強度・物性値があり, 構造強度部材としては, この温度範囲で使用しなければならない。JSME S FA1-2007 に規定しない部位に使用するステンレス鋼で JSME S FA1-2007 に記載のない材料を使用する場合は, 設計に応じて適切な構造強度を確認できる温度範囲で使用しなければならない。	—
		照射	中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく, 照射の影響を考慮する必要はない。	(1) (2) (3) (5) (6) (7)
		腐食	ステンレス鋼は耐食性に優れた材料であるが, 金属キャスク外面において, 海塩粒子雰囲気にあつて応力腐食割れを生じる可能性がある場合は, 塗装その他の防錆措置を講じなければならない。 金属キャスク内面については, 残留水分が 10 % (質量) 以下の不活性ガス雰囲気であるため, 水分による腐食を考慮する必要はなく, 貯蔵期間中の燃料被覆管の破損を考慮する場合においても, 20 g/m^3 程度のような素ガス濃度となる燃料破損率 (1%燃料破損相当) 以下であれば腐食を考慮する必要はない。	(9)
	炭素鋼, 低合金鋼 (胴, 底 板, 蓋, ボルト, そ の他部品)	熱	JSME S FA1-2007 に規定する炭素鋼及び低合金鋼では, JSME S NC1-2007 及び JSME S FA1-2007 に 300 °C~425 °Cまでの設計用強度・物性値があり, 構造強度部材としては, この温度範囲で使用しなければならない。JSME S FA1-2007 に規定しない部位に使用する炭素鋼及び低合金鋼で JSME S FA1-2007 に記載のない材料を使用する場合は, 設計に応じて適切な構造強度を確認できる温度範囲で使用しなければならない。	—
		照射	中性子照射量が 10^{16} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく, 照射の影響を考慮する必要はない。	(3) (4) (8) (10) (11)
		腐食	安全機能を維持するうえで腐食を防止する必要がある場合には, ステンレス鋼オーバーレイ, メッキ, 塗装などの防錆措置を講じる。 金属キャスク内面については, 残留水分が 10 % (質量) 以下の不活性ガス雰囲気にあるため, 水分による腐食を考慮する必要はなく, 貯蔵期間中の燃料被覆管の破損を考慮する場合においても, 20 g/m^3 程度のような素ガス濃度となる燃料破損率 (1 %燃料破損相当) 以下であれば腐食を考慮する必要はない。	(9)

表 E.2—金属キャスクの構成部材の長期健全性に対する設計基準（続き）

材 料		要 因	設計基準	参考文献
本 体	銅 (伝熱フィン)	熱	構造強度部材として使用する場合は、貯蔵中の熱劣化による設計用強度の低下などの影響を適切に考慮する必要がある。 JIS B8265, ASTM STP181 に200℃までの設計用強度・物性値があり、この温度範囲で使用するが、この温度範囲を超えて使用する場合、及び JIS B8265, ASTM STP181 に記載のない材料を使用する場合は、設計に応じて適切な設計用強度・物性値を確認できる温度範囲で使用しなければならない。構造強度部材として使用しない場合は、使用条件に対して安全機能を維持できる温度範囲で使用しなければならない。	—
		照射	中性子照射量が 10^{16} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。	(12) (13)
		腐食	密封空間に取り付けられる場合には、腐食が生じるおそれはない。外気に曝される場合には腐食量を評価して安全機能への影響を評価しなければならない。	—
バスケット	ステンレス鋼, ほう素添加ステンレス鋼	熱	JSME S FA1-2007 に規定するステンレス鋼では、 JSME S NC1-2007 に350℃～425℃までの設計用強度・物性値があり、構造強度部材としては、この温度範囲で使用しなければならない。 ほう素添加ステンレス鋼は、 JSME S FA1-2007 に従った材料でなければならない。 なお、 JSME S FA1-2007 の事例規格 FA-CC-004 に規定するほう素添加ステンレス鋼では、 FA-CC-004 に300℃までの設計用強度・物性値があり、構造強度部材としては、この温度範囲で使用しなければならない。	—
		照射	中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。また、照射影響に対するほう素含有量による影響は見られない。	(1) (2) (3) (5) (6) (7) (14)
		腐食	中性子照射による中性子吸収材の減損量を計算して、臨界設計に反映しなければならない。ただし、実効増倍率に有意な影響を与えない範囲の中性子吸収材の減損は無視してよい。	—
		腐食	金属キャスク内部は、残留水分が10%（質量）以下の不活性ガス雰囲気にあるため、この環境におけるステンレス鋼は、腐食を考慮する必要はなく、貯蔵期間中の燃料被覆管の破損を考慮する場合においても、 20 g/m^3 程度のような素ガス濃度となる燃料破損率（1%燃料破損相当）以下であれば腐食を考慮する必要はない。	(9)

表 E.2—金属キャスクの構成部材の長期健全性に対する設計基準（続き）

材 料		要 因	設計基準	参考文献
バスケット	アルミニウム合金, ほう素添加アルミニウム合金	熱	構造強度部材として使用する場合は、貯蔵中の熱劣化による設計用強度の低下などの影響を適切に考慮する必要がある。 JIS B8265 に設計用強度・物性値があり、この温度範囲で使用するが、この温度範囲を超えて使用する場合、及び JIS B8265 に記載のない材料を使用する場合は、設計に応じて適切な設計用強度・物性値を確認できる温度範囲で使用しなければならない。構造強度部材として使用しない場合は、使用条件に対して安全機能を維持できる温度範囲で使用しなければならない。	—
		照射	中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。また、照射影響に対するほう素含有量による影響は見られない。	(15) (16) (17) (18) (19) (20)
			中性子照射による中性子吸収材の減損量を計算して、臨界設計に反映しなければならない。ただし、実効増倍率に有意な影響を与えない範囲の中性子吸収材の減損は無視してよい。	—
		腐食	金属キャスク内部は、残留水分が 10 % (質量) 以下の不活性ガス雰囲気にあるため、この環境におけるアルミニウム合金、ほう素添加アルミニウム合金は、腐食を考慮する必要はなく、貯蔵期間中の燃料被覆管の破損を考慮する場合においても、20 g/m^3 程度のような素ガス濃度となる燃料破損率 (1 %燃料破損相当) 以下であれば腐食を考慮する必要はない。	(9)
遮蔽体	鉛	熱	構造強度を要さず、使用温度が鉛の融点に対し十分余裕がある温度範囲で使用しなければならない。	—
		照射	参考文献(21) に示すように鉛の中性子吸収断面積は小さいため、中性子照射による鉛の減損は無視してよい。また、耐放射線材料として使用実績も豊富である。	(21)
		腐食	密封空間に取り付けられるため、腐食を生じるおそれはない。	—
	レジン	熱・腐食	参考文献(9), (24) に示すエポキシ系レジン ^{a)} 及びシリコーン系レジン ^{b)} は、170 °C以下では長期使用可能である。ただし、信頼性のあるデータに基づき、使用温度における質量減損を遮蔽設計に反映しなければならない。 参考文献(9), (24) に示すレジンの質量減損は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータ又は見かけの活性化エネルギーを用いた整理によって評価を行う。 参考文献(9), (24) に示すレジン以外のレジンを使用する場合には、設計に応じた長期使用可能温度を信頼性のあるデータに基づいて評価し、使用温度における元素の減量を考慮する。	(9) (22) (23) (24)

表 E.2—金属キャスクの構成部材の長期健全性に対する設計基準（続き）

材 料		要 因	設計基準	参考文献
遮 蔽 体	レジン	照 射	参考文献(9), (24) に示すエポキシ系レジン ^{a)} 及びシリコーン系レジン ^{b)} では、 10^{15} cm^{-2} 程度の中性子照射量及び 10^4 Gy 程度の吸収線量に対して質量減損が評価されており、照射による影響は熱による劣化の影響に比べ小さく、無視してよい。また、照射と熱による相乗効果もない。	(9) (24) (25) (26)
			中性子吸収材を含有する場合は、中性子照射による吸収材の減損量を計算して、遮蔽設計に反映しなければならない。ただし、線量当量率に有意な影響を与えない範囲の中性子吸収材の減損は無視してよい。	—
	グリコール水	熱	高温で熱分解が生じるが、原子個数密度には影響はなく、遮蔽性能は維持される ^{d)} 。 参考文献(9) に示すグリコール水 ^{c)} は、 140°C 程度の温度での長期使用では有意な劣化が生じることはなく、影響は無視してよい。 参考文献(9) に示すグリコール水以外のグリコール水を使用する場合には、設計に応じた長期使用可能温度を信頼性のあるデータに基づいて評価したうえで使用しなければならない。	(9)
		照 射	参考文献(9) に示すグリコール水 ^{c)} は、 10^{14} cm^{-2} 程度の中性子照射量及び 10^4 Gy 程度の吸収線量に対してプロピレングリコール濃度への影響が評価されており、照射による影響は熱による劣化の影響に比べ無視できる程度である。また、照射と熱による相乗効果もないことが確認されており、照射による影響は無視してよい ^{d)} 。	(9)
			中性子吸収材を含有する場合は、中性子照射による吸収材の減損量を計算して、遮蔽設計に反映しなければならない。ただし、線量当量率に有意な影響を与えない範囲の中性子吸収材の減損は無視してよい。	—
		腐 食	熱分解・放射線分解による酸などの分解生成物による接液部材の腐食については、腐食代を考慮するか又は耐食性のよいステンレス鋼を採用することで設計対応しなければならない。	(9)

表 E.2—金属キャスクの構成部材の長期健全性に対する設計基準（続き）

材 料		要 因	設計基準	参考文献
ガスケット	ニッケル基合金, アルミニウム合金 (金属ガスケット)	熱	設計評価期間中金属キャスク内を負圧に維持できる基準漏えい率を下回る漏えい率を実現できる温度以下で使用しなければならない。基準漏えい率は、 附属書 L に従って設定する。	—
		照射	外被材に用いるアルミニウム合金は、中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。（バスケット材料に関する記載参照）アルミニウム合金以外の材質を用いる場合は、照射による影響を確認して使用しなければならない。 スプリング及び内被材に用いるニッケル基合金（例 インコネル®）は、照射量が $0.0006 \text{ dpa}^{\text{e)}$ ($3.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$) 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。	(27) (28)
		腐食	不活性ガス雰囲気中使用する場合は、腐食を考慮する必要はない。塩水噴霧環境においても漏えい率に変化はなく、金属ガスケットは腐食によって短期間で密封性能を喪失することはないが、大気中で使用する場合は腐食の可能性を考慮し、密封監視を行わなければならない。	(29)
注 a) BISCO NS-4-FR。 b) kobesh SR-T01。 c) プロピレングリコール 55 %水溶液（ほう素 3 000 ppm） d) 液体の中性子遮蔽材を用いる場合は、一般には膨張室を設ける設計とするため、分解ガスは膨張室に収集され遮蔽体液位に影響を与えない。このような設計を行わない場合は、分解ガスが液位に与える影響を考慮する必要がある。 e) dpa：照射損傷量(displacement per atom)の単位				

表 E.3—使用済燃料の長期健全性に対する設計基準

材 料		要 因	設計基準	参考文献
燃 料	ジルカロイ (燃料被覆管)	熱	附属書 N に規定する温度範囲で貯蔵しなければならない。	—
		照射	中性子照射に伴い機械的特性が変化するものの、型式によらず、照射量が 10^{21} cm^{-2} (炉内環境相当)以上では機械的特性は飽和傾向を示す。貯蔵中の中性子照射量は炉内環境に比べて十分小さいため、貯蔵中の機械的特性の変化を考慮する必要はない。	(30) (31) (32)
		腐食	ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガス（よう素など）の放出はなく、また、原子炉運転中にペレットから放出されたよう素はヨウ化セシウムとして安定に存在することから、応力腐食割れが発生する化学的雰囲気はない。 なお、腐食性雰囲気の整った条件下での応力腐食割れ試験でジルカロイ-2 及びジルカロイ-4 の応力腐食割れ発生のしきい応力はそれぞれ 150 MPa 及び 200 MPa であり、貯蔵時の応力はこれに比べて十分低い。また、残留水分が 10 % (質量)以下の不活性ガス雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視できる程度である（附属書 I 参照）。	(32)

附属書 F

(参考)

金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の経年変化に関するデータ

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

この附属書は、**附属書 E** に示す設計基準の根拠としたデータを示している。

F.1 構成部材及び燃料の経年変化に関するデータ

附属書 E の設計基準設定の考え方を**表 F.1**に示すとともに用いた文献の該当箇所を**表 F.2**以降及び**図 F.1**以降に示す。

なお、参考文献番号に該当する参考文献名は、**附属書 E**に記載している。

表 F.1—附属書 E の設計基準設定の考え方

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
ステンレス鋼	照射	中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。	下記文献データより、機械的特性の有意な差がみられない中性子照射量のうち最小の値を照射の影響を考慮する必要のない範囲として選定した。 図 F.1—563 K 及び 643 K で照射された 304 ステンレス鋼の 563 K での 0.2 %耐力及び一様伸びに対する照射量の影響：中性子照射量が $10^{22} \text{ m}^{-2} (10^{18} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性(0.2 %耐力及び一様伸び)の有意な差はみられない。 図 F.2—室温で照射された 304 ステンレス鋼の室温での強度及び伸びに対する照射量の影響：中性子照射量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 以下では未照射材に対する機械的特性(強度及び伸び)の有意な差はみられない。 図 F.3—200 °C 以下で照射されたオーステナイト系ステンレス鋼の室温での耐力及び伸びに対する照射量の影響：中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} を超える場合、照射量の増加に伴い機械的特性(耐力及び伸び)への影響が大きくなる。 図 F.5—250 °C 以下で照射された 304 系、316 系とチタン含有オーステナイトステンレス鋼の室温から 250 °C での降伏応力に対する照射量の影響：中性子照射量が $0.0003 \text{ dpa} (10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ 程度})$ 以下では未照射材に対する機械的特性(降伏応力)の有意な差はみられない。 図 F.6—80 °C で照射された 347 ステンレス鋼の強度、伸び及び絞りの変化の関係：中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性(強度、伸び及び絞り)の有意な差はみられない。 図 F.7—60 °C 以下で照射された 316 ステンレス鋼の伸びの低下量と照射量との関係：中性子照射量が $10^{21} \text{ m}^{-2} (10^{17} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性(伸び)の有意な差はみられない。

表 F.1－附属書 E の設計基準設定の考え方（続き）

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
炭素鋼， 低合金鋼 (胴，底板，蓋， ボルト，その他 部品)	照 射	中性子照射量が 10^{16} cm^{-2} 以下では未照射材の機械 的特性に対して有意な差 がなく，照射の影響を考慮 する必要はない。	下記文献データより，機械的特性の有意な差がみられ ない中性子照射量のうち最小の値を照射の影響を考 慮する必要のない範囲として選定した。 図 F.4－290 °Cで照射された低合金鋼の室温での未 照射材からの強度変化量に対する照射量の影響：中 性子照射量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 以下では未照射材に対す る機械的特性（降伏応力及び最大引張応力）の変化は 小さい。 図 F.8－55 °C以下で照射されたフェライト鋼及び合 金鋼の 25 °Cでの降伏応力に対する照射量の影響：中 性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機 械的特性（降伏応力）の有意な差はみられない。 図 F.9－フェライト鋼及び合金鋼の遷移温度変化に 対する照射量の影響：中性子照射量が $10^{20} \text{ m}^{-2}(10^{16}$ $\text{cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性（遷移温 度）の有意な差はみられない。 図 F.10－低合金鋼(A302B 鋼)の遷移温度変化に及ぼ す照射量の影響：中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では 未照射材に対する機械的特性（遷移温度）の有意な差 はみられない。 図 F.11－100 °C以下で照射された圧力容器用鋼材の 降伏応力変化に対する照射量の影響：中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性（降 伏応力）の有意な差はみられない。
銅 (伝熱フィン)	照 射	中性子照射量が 10^{16} cm^{-2} 以下では未照射材の機械 的特性に対して有意な差 がなく，照射の影響を考慮 する必要はない。	中性子照射の影響を示す下記文献データより設定し た。 図 F.14－25 °Cで照射された銅の硬さの変化量と照 射量の関係：中性子照射量が 10^{16} cm^{-2} 以下では未照 射材に対する機械的特性(硬さ)の有意な差はみられ ない。

表 F.1—附属書 E の設計基準設定の考え方（続き）

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
ステンレス鋼, ほう素添加ス テンレス鋼	照 射	中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。また、照射影響に対するほう素含有量による影響は見られない。	下記文献データより、機械的特性の有意な差がみられない中性子照射量のうち最小の値を照射の影響を考慮する必要のない範囲として選定した。 図 F.1—563 K 及び 643 K で照射された 304 ステンレス鋼の 563 K での 0.2 %耐力及び一様伸びに対する照射量の影響：中性子照射量が $10^{22} \text{ m}^{-2} (10^{18} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性(0.2 %耐力及び一様伸び)の有意な差はみられない。 図 F.2—室温で照射された 304 ステンレス鋼の室温での強度及び伸びに対する照射量の影響：中性子照射量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 以下では未照射材に対する機械的特性(強度及び伸び)の有意な差はみられない。 図 F.3—200 °C 以下で照射されたオーステナイト系ステンレス鋼の室温での耐力及び伸びに対する照射量の影響：中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} を超える場合、照射量の増加に伴い機械的特性(耐力及び伸び)への影響が大きくなる。 図 F.5—250 °C 以下で照射された 304 系, 316 系とチタン含有オーステナイトステンレス鋼の室温から 250 °C での降伏応力に対する照射量の影響：中性子照射量が $0.0003 \text{ dpa} (10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ 程度})$ 以下では未照射材に対する機械的特性(降伏応力)の有意な差はみられない。 図 F.6—80 °C で照射された 347 ステンレス鋼の強度、伸び及び絞りの変化の関係：中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性(強度、伸び及び絞り)の有意な差はみられない。 図 F.7—60 °C 以下で照射された 316 ステンレス鋼の伸びの低下量と照射量との関係：中性子照射量が $10^{21} \text{ m}^{-2} (10^{17} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性(伸び)の有意な差はみられない。 図 F.12—22 °C で照射されたステンレス鋼及びほう素添加ステンレス鋼の室温での引張強さ及び降伏応力：異なる含有量のステンレス鋼及びほう素添加ステンレス鋼について、中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性(引張強さ及び降伏応力)の有意な差はみられない。 図 F.13—22 °C で照射されたほう素添加ステンレス鋼の室温での衝撃強さ：異なる含有量のほう素添加ステンレス鋼について、中性子照射量が 10^{17} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性(衝撃強さ)の有意な差はみられない。

表 F.1—附属書 E の設計基準設定の考え方（続き）

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
アルミニウム合金, ほう素添加アルミニウム合金	照射	中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。また、照射影響に対するほう素含有量による影響は見られない。	下記文献データより、機械的特性の有意な差がみられない中性子照射量のうち最小の値を照射の影響を考慮する必要のない範囲として選定した。 図 F.15—328 K で照射された A5052 材の 323 K での引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はないと考えられる。 図 F.16—328 K で照射された A5052 材の 373 K での引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はないと考えられる。 図 F.17—328 K で照射された A5052 材の 423 K での引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はないと考えられる。 図 F.18—328 K で照射された A6061-T6 材の 323 K での引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はないと考えられる。 図 F.19—328 K で照射された A6061-T6 材の 373 K での引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はないと考えられる。 図 F.20—120 °C で照射された室温における A6061-T6 材の引張特性と照射量の関係：中性子照射量が 10^{21} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はみられない。 図 F.21—120 °C で照射された 100 °C における A6061-T6 材の引張特性と照射量の関係：中性子照射量が 10^{21} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性（強度及び伸び）の有意な差はみられない。 図 F.22—328 K で照射された A1100 材の 323 K における引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ を超える場合、照射量の増加に伴い機械的特性（強度及び伸び）への影響が大きくなる。 図 F.23—328 K で照射された A1100 材の 423 K における引張特性と照射量の関係：中性子照射量が $10^{25} \text{ m}^{-2}(10^{21} \text{ cm}^{-2})$ を超える場合、照射量の増加に伴い機械的特性（強度及び伸び）への影響が大きくなる。 図 F.24—50 °C 以下で照射された A1100 材の 50 °C における引張特性と照射量の関係：中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性（引張強さ及び伸び）の有意な差はみられない。 図 F.25—A1100 材の引張特性への照射の影響/既往の試験結果との比較：中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性（引張強さ）の有意な差はみられない。 図 F.26—純アルミの引張特性に及ぼすほう素含有量の影響：$1.2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ の照射量においてほう素含有量による機械的特性（耐力及び引張強さ）の有意な差はみられない。

表 F.1ー附属書 E の設計基準設定の考え方（続き）

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
レジン	熱・腐食	参考文献(9), (24)に示すエポキシ系レジン及びシリコン系レジン は、170℃以下では長期使用可能である。 ただし、信頼性のあるデータに基づき、使用温度における質量減損を遮蔽設計に反映しなければならない。参考文献(9), (24)に示すレジンの質量減損は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータ又は見かけの活性化エネルギーを用いた整理評価を行う。参考文献(9), (24)に示すレジン以外のレジンを使用する場合には、設計に応じた長期使用可能温度を信頼性のあるデータに基づいて評価し、使用温度における元素の減量を考慮する。	下記文献データより 170℃以下でエポキシ系レジン及びシリコン系レジンが長期使用可能であるとした。 図 F.27ー中性子遮蔽材の熱的影響評価結果（エポキシ系レジン）：180℃×5000時間での質量損失は4%(質量)以下、170℃×5000時間での質量損失は3%(質量)以下であり、放出ガスはほとんど水分である。2000時間以降では質量変化はほとんど観察されない。 図 F.28ー中性子遮蔽材の熱的影響評価結果（シリコン系レジン）：170℃×360日間で水素含有量が5%(質量)から4.7%(質量)に減少。140℃×360日間で質量損失は1.5%(質量)、170℃×360日間で質量損失は2.1%(質量)。 下記文献データよりレジンの質量減損は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータ又は見かけの活性化エネルギーを用いた整理によって評価可能とした。 図 F.29ーエポキシ系レジン劣化パラメータによる整理、図 F.30ーエポキシ系レジン見かけの活性化エネルギーを用いた整理：エポキシ系レジン質量減損(開放系)は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータ又は見かけの活性化エネルギーを用いた整理によって評価できる。 図 F.31ーシリコン系レジン劣化パラメータと重量減損(質量減損)との関係：シリコン系レジン質量減損(開放系)は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータを用いた整理によって評価できる。 図 F.32ーエポキシ系レジン劣化パラメータによる整理：エポキシ系レジン質量減損(閉鎖系)は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータを用いた整理によって評価できる。 図 F.33ーシリコン系レジン劣化パラメータによる整理：シリコン系レジン質量減損(閉鎖系)は温度及び加熱時間を基に劣化パラメータを用いた整理によって評価できる。 また、質量減損率は、密閉系<閉鎖系<開放系の順であることが以下の文献で示されている。 図 F.34ー試験体系の比較：エポキシ系レジン及びシリコン系レジンとも、温度に関係なく、質量減損率は、密閉系<閉鎖系<開放系の順となっている。

表 F.1－附属書 E の設計基準設定の考え方（続き）

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
レジン	照射	参考文献(9), (24)に示すエポキシ系レジン及びシリコン系レジンでは、 10^{15} cm^{-2} 程度の中性子照射量及び 10^4 Gy 程度の吸収線量に対して質量減損が評価されており、照射による影響は熱による劣化の影響に比べ小さく、無視してよい。また、照射と熱による相乗効果もない。	下記文献データより質量減損の影響が少なく照射による影響は無視してよいとした。 図 F.35－各試験における質量減損率比較：エポキシ系レジン及びシリコン系レジンに加熱試験と比較すると、照射単体の影響は、有意ではない。 表 F.2－中性子遮蔽材の照射影響評価結果、表 F.3－中性子遮蔽材の照射影響評価結果：各種樹脂及びゴム材の機械的特性の変化がみられるしきい値を示している。機械的特性の変化がないことは物質としての変化がないことであり、しきい値を超えない範囲での使用において遮蔽性能を損なわないと類推できる。
ニッケル基合金、アルミニウム合金 (金属ガスケット)	照射	外被材に用いるアルミニウム合金は、中性子照射量が 10^{19} cm^{-2} 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。アルミニウム合金以外の材質を用いる場合は、照射による影響を確認して使用しなければならない。 スプリング及び内被材に用いるニッケル基合金（例 インコネル®）は、照射量が 0.0006 dpa ($3.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$) 以下では未照射材の機械的特性に対して有意な差がなく、照射の影響を考慮する必要はない。	アルミニウム合金についてはバスケット材料に関する記載参照のこと。 下記文献データより機械的特性の有意な差がみられない中性子照射量のうち最小の値をニッケル基合金の照射の影響を考慮する必要のない範囲として選定した。 図 F.36－585 °R で照射されたインコネル®718 材の 540 °R での降伏点の変化と照射量の関係：中性子照射量が 10^{18} cm^{-2} 以下では未照射材に対する機械的特性(降伏点)の有意な差はみられない。 図 F.37－100 °C 以下で照射されたインコネル®718 材の室温での引張特性と照射量の関係：中性子照射量が 0.0006 dpa ($3.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$) 以下では未照射材に対する機械的特性(強度及び伸び)の有意な差はみられない。
	腐食	不活性ガス雰囲気中使用する場合は、腐食を考慮する必要はない。塩水噴霧環境においても漏えい率に変化はなく、金属ガスケットは腐食によって短期間で密封性能を喪失することはないが、大気中で使用する場合は腐食の可能性を考慮し、密封監視を行わなければならない。	下記文献データより、腐食を考慮する必要はないとした。 図 F.38－金属ガスケットの腐食影響評価結果：金属キャスク蓋部縮小モデル（アルミニウム被覆及び銀被覆金属ガスケット並びにシリコンゴム O リング）に海水噴霧を行い、漏えい率の経時変化を測定。約 3 年を経過しているが、漏えい率に変化はない。

表 F.1－附属書 E の設計基準設定の考え方（続き）

材 料	要 因	設計基準（附属書 E）	設定の考え方
ジルカロイ (燃料被覆管)	照 射	中性子照射に伴い機械的特性が変化するものの、型式によらず、照射量が 10^{21} cm^{-2}(炉内環境相当) 以上では機械的特性は飽和傾向を示す。貯蔵中の中性子照射量は炉内環境に比べて十分小さいため、貯蔵中の機械的特性の変化を考慮する必要はない。	中性子照射の影響を示す下記文献データより設定した。 図 F.39－BWR 用燃料被覆管の 0.2 %耐力と高速中性子照射量の関係（被覆管軸方向引張試験）、図 F.40－BWR 用燃料被覆管の破断伸びと高速中性子照射量の関係（被覆管軸方向引張試験）：中性子照射量が 10^{25} cm^{-2}(10^{21} cm^{-2})以下では未照射材に対する機械的特性(0.2 %耐力及び破断伸び)の有意な差はみられない。 図 F.41－PWR 用燃料被覆管の 0.2 %耐力と高速中性子照射量の関係（被覆管軸方向引張試験）、図 F.42－PWR 用燃料被覆管の破断伸びと高速中性子照射量の関係（被覆管軸方向引張試験）：中性子照射量が 10^{25} cm^{-2}(10^{21} cm^{-2})以下では未照射材に対する機械的特性(0.2 %耐力及び破断伸び)の有意な差はみられない。

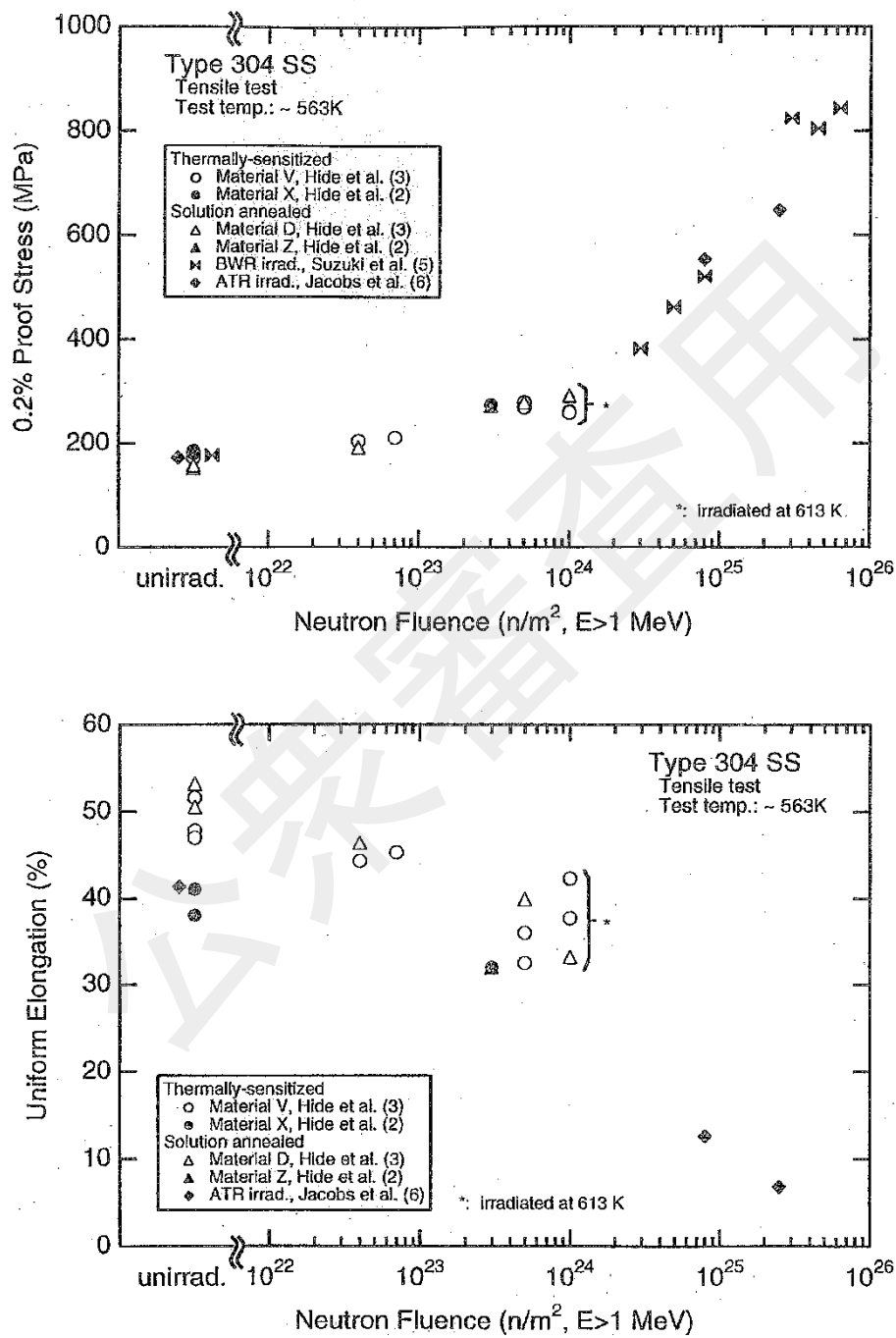


図 F.1—563 K 及び 643 K で照射された 304 ステンレス鋼の 563 K での
0.2 %耐力及び一様伸びに対する照射量の影響⁽¹⁾

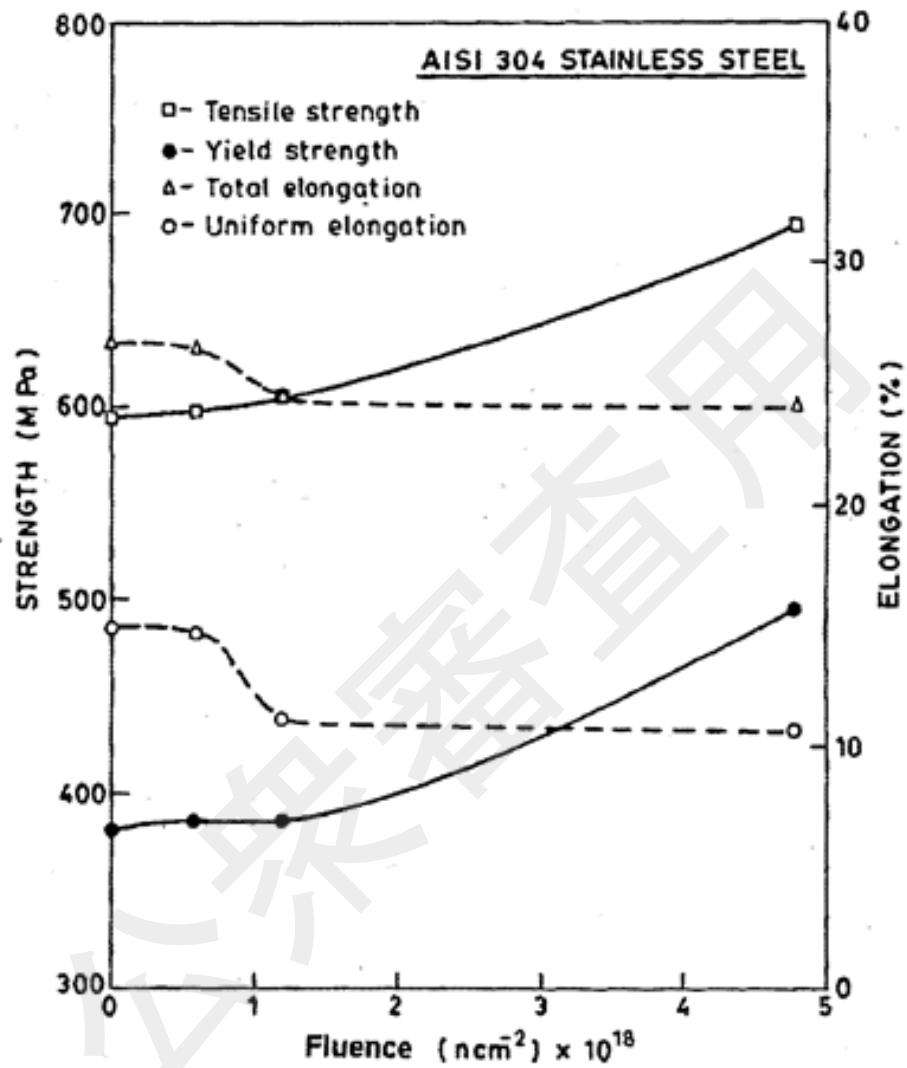
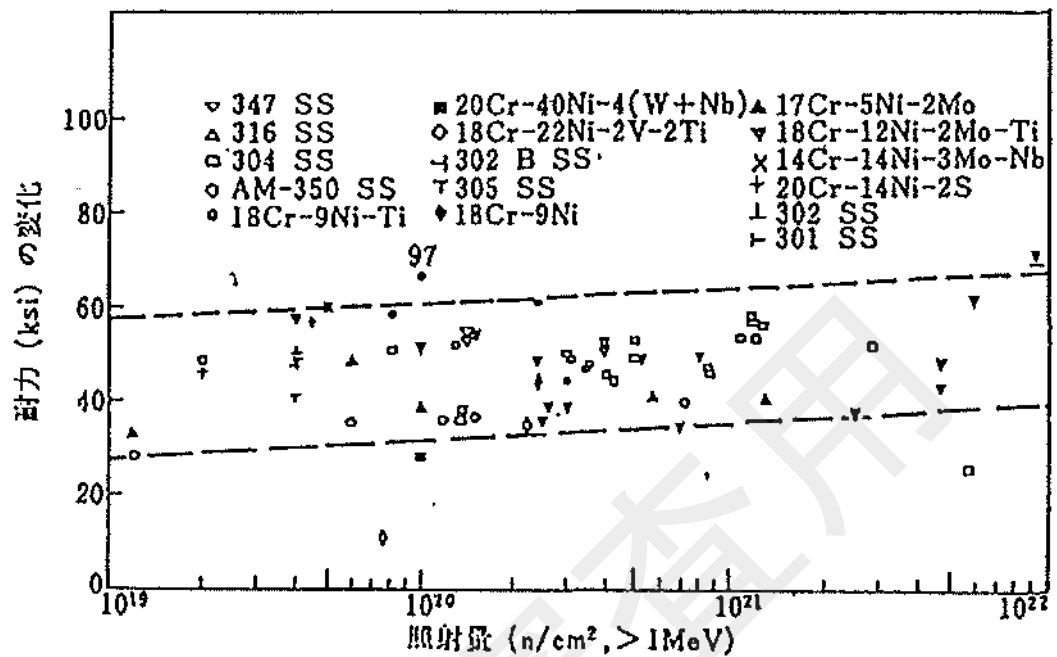
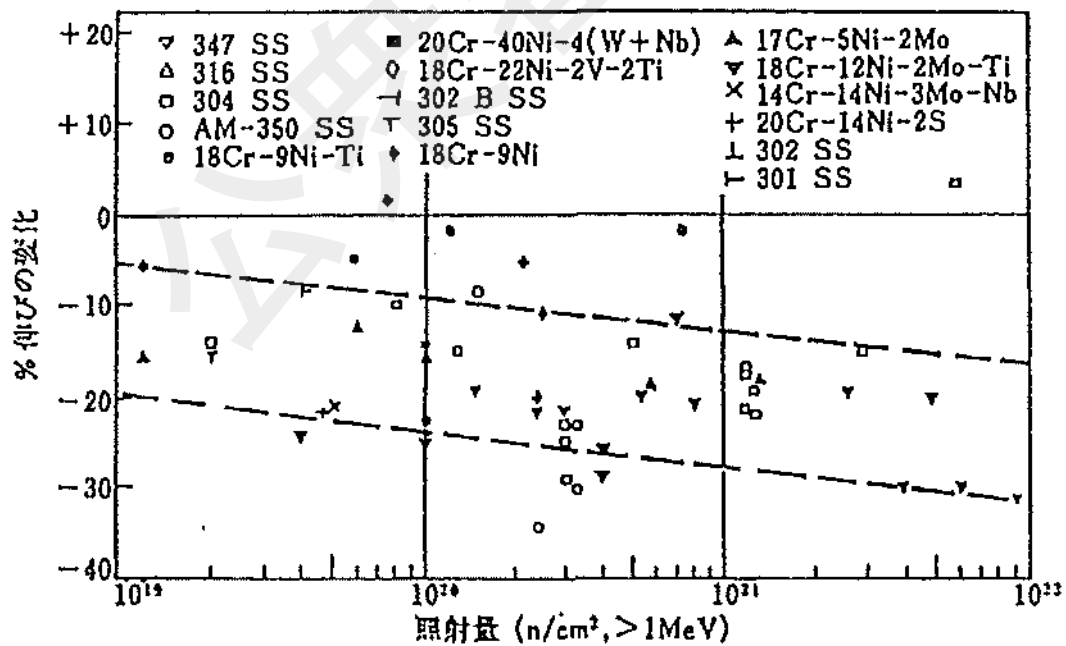


図 F.2—室温で照射された 304 ステンレス鋼の室温での
強度及び伸びに対する照射量の影響⁽²⁾

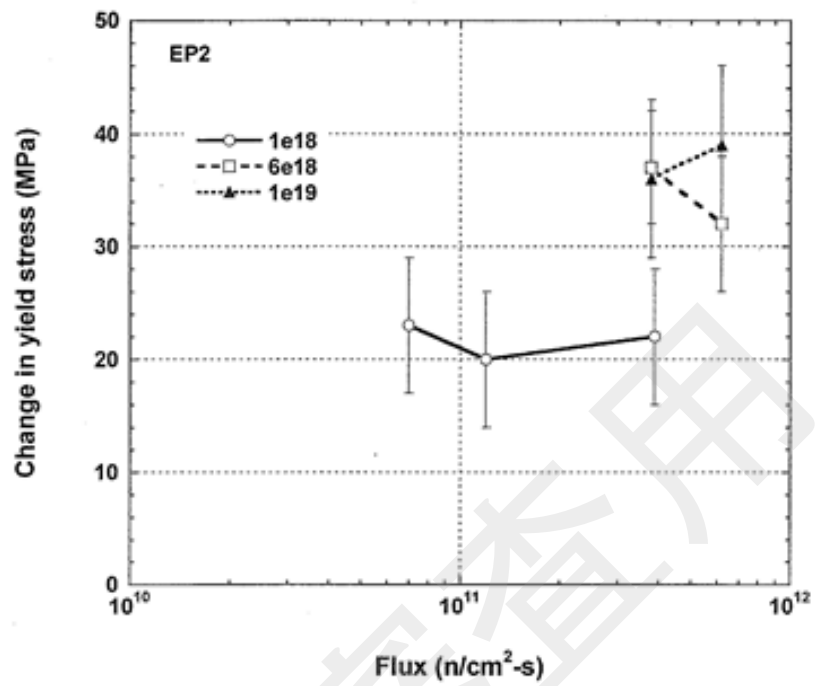


a) 耐力

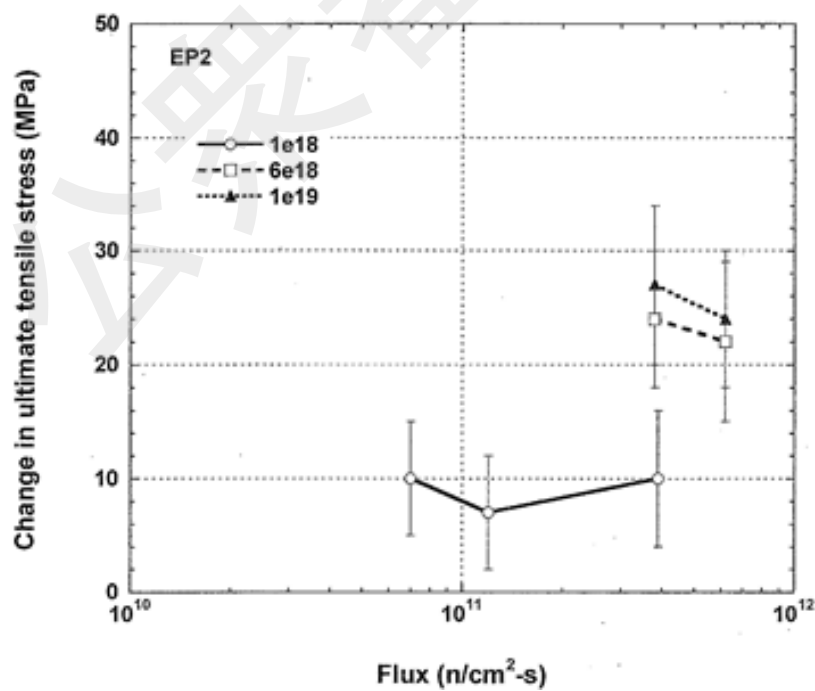


b) 伸び

図 F.3-200 °C 以下で照射されたオーステナイト系ステンレス鋼の室温での
耐力及び伸びに対する照射量の影響⁽³⁾



a) 降伏応力



b) 引張強さ

図 F.4-290 °Cで照射された低合金鋼の室温での未照射材からの
強度変化量に対する照射量の影響⁽⁴⁾

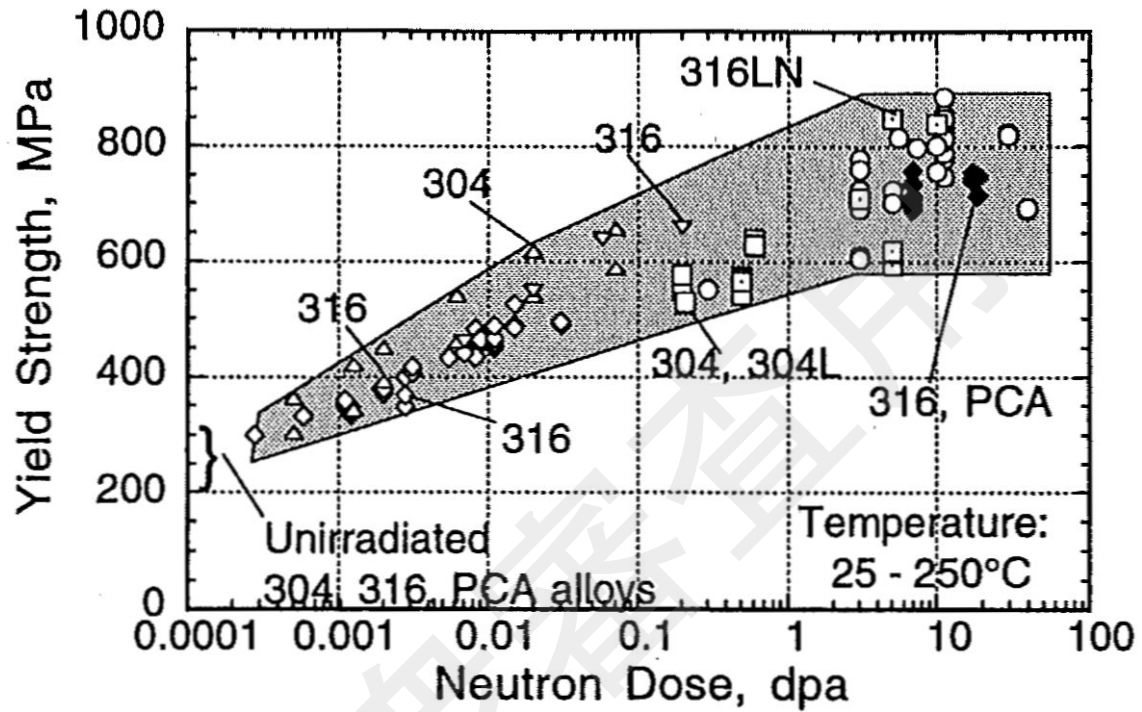


図 F.5—250 °C以下で照射された 304 系, 316 系とチタン含有オーステナイトステンレス鋼の室温から 250 °Cでの降伏応力に対する照射量の影響⁽⁵⁾

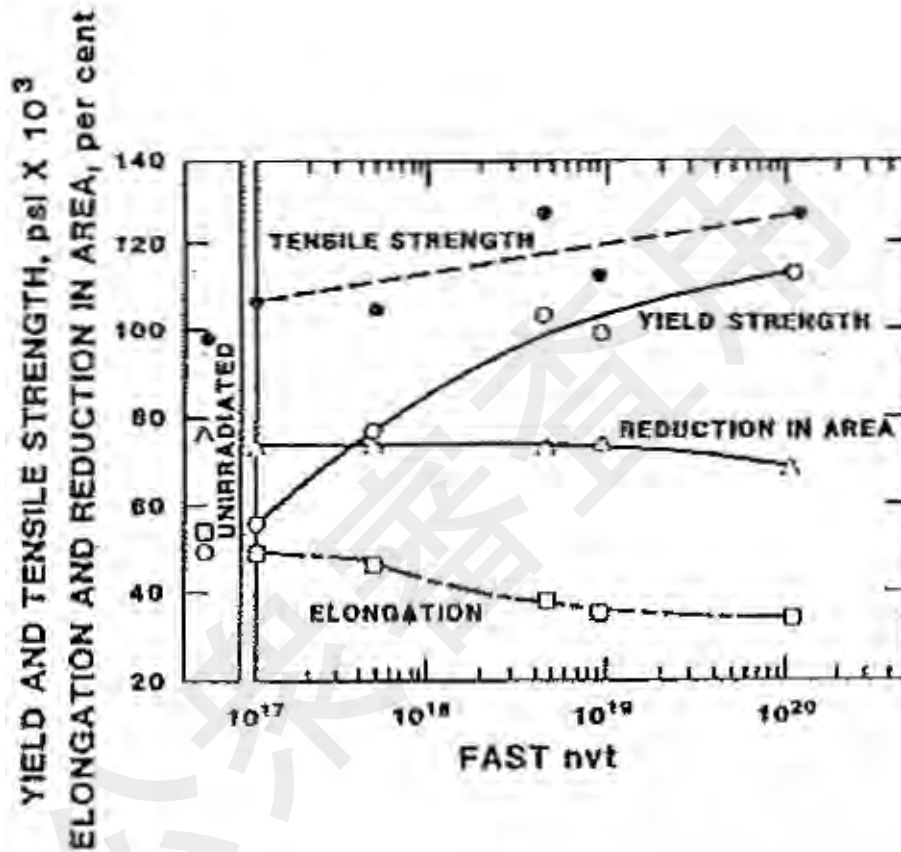


図 F.6—80 °Cで照射された 347 ステンレス鋼の強度, 伸び及び絞りの変化の関係⁽⁶⁾

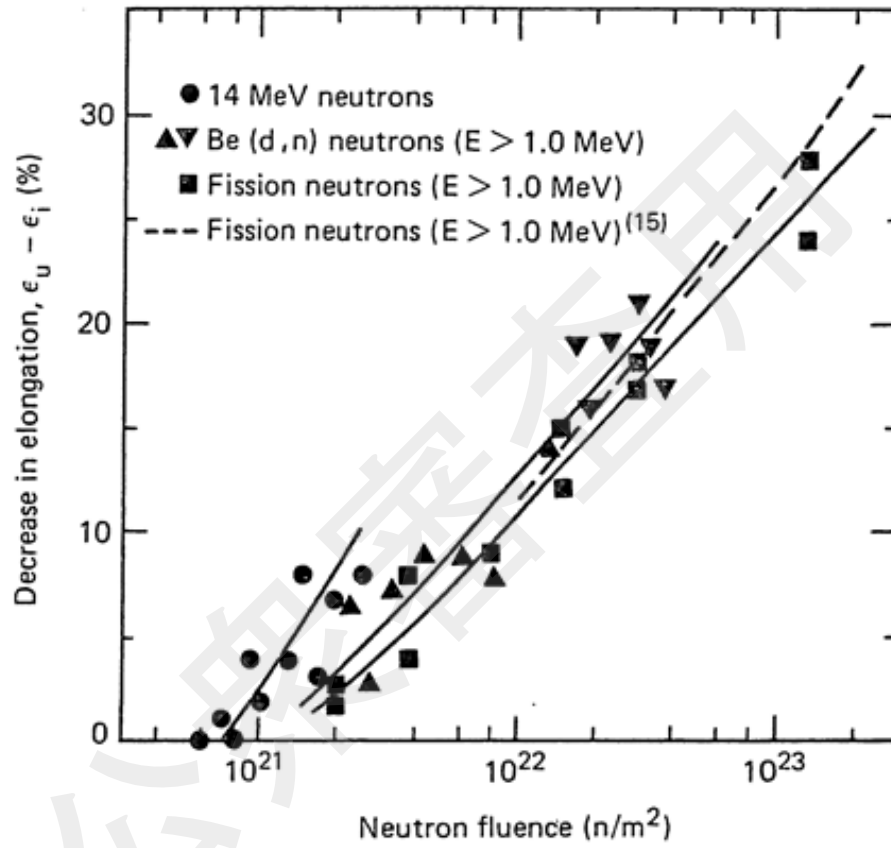
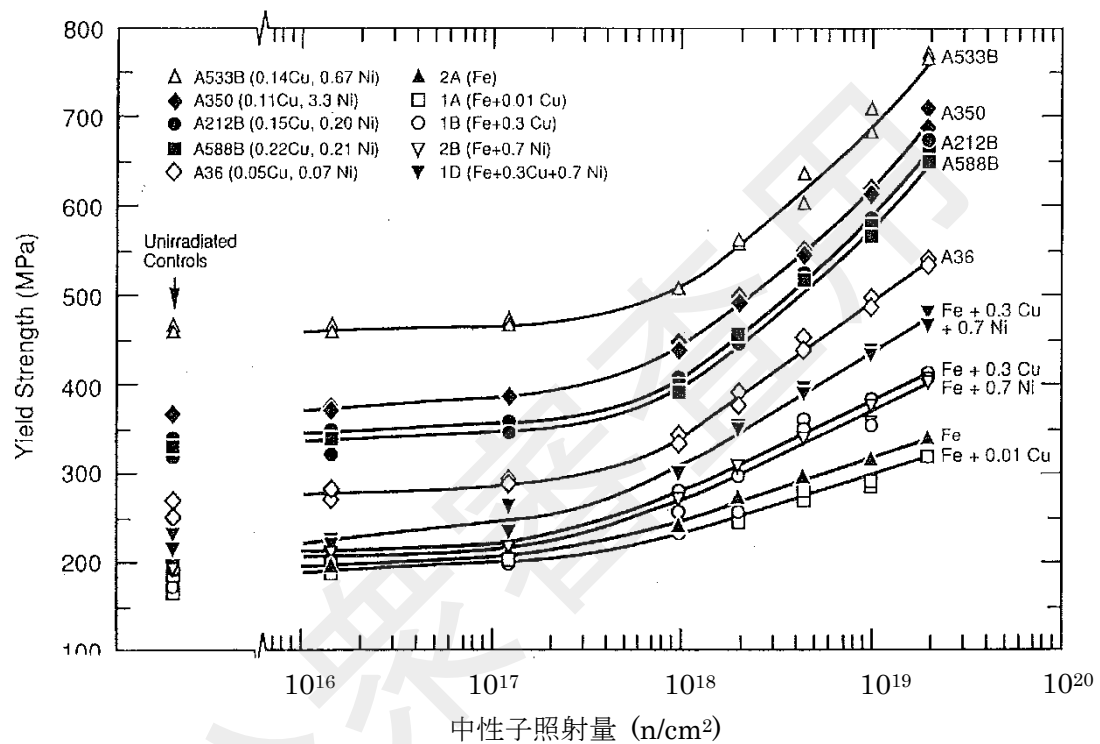


図 F.7—60 °C以下で照射された 316 ステンレス鋼の伸びの低下量と照射量との関係⁽⁷⁾



注記 参考文献には図中の横軸（中性子照射量）が直接示されていないため、本図では、参考文献に示される別図から類推して横軸を追加している。

図 F.8—55 °C 以下で照射されたフェライト鋼及び合金鋼の 25 °C での
降伏応力に対する照射量の影響⁽¹⁰⁾

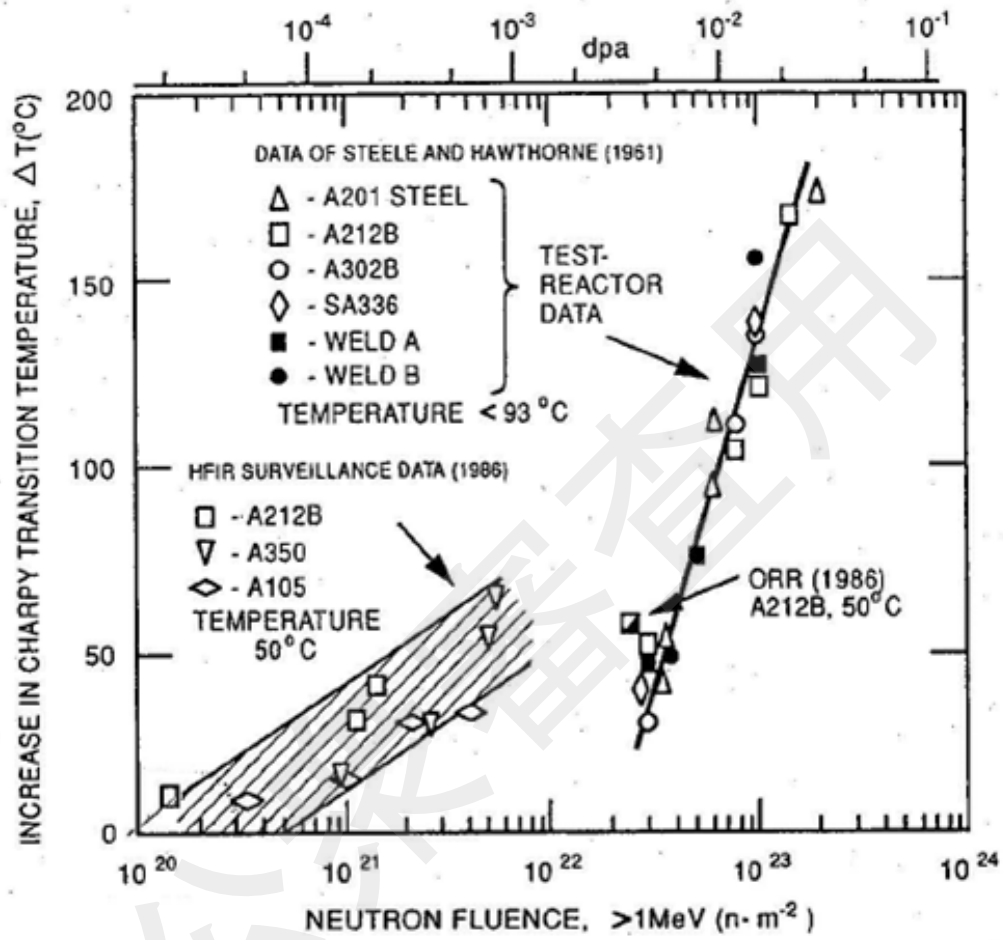


図 F.9—フェライト鋼及び合金鋼の遷移温度変化に対する照射量の影響⁽¹⁰⁾

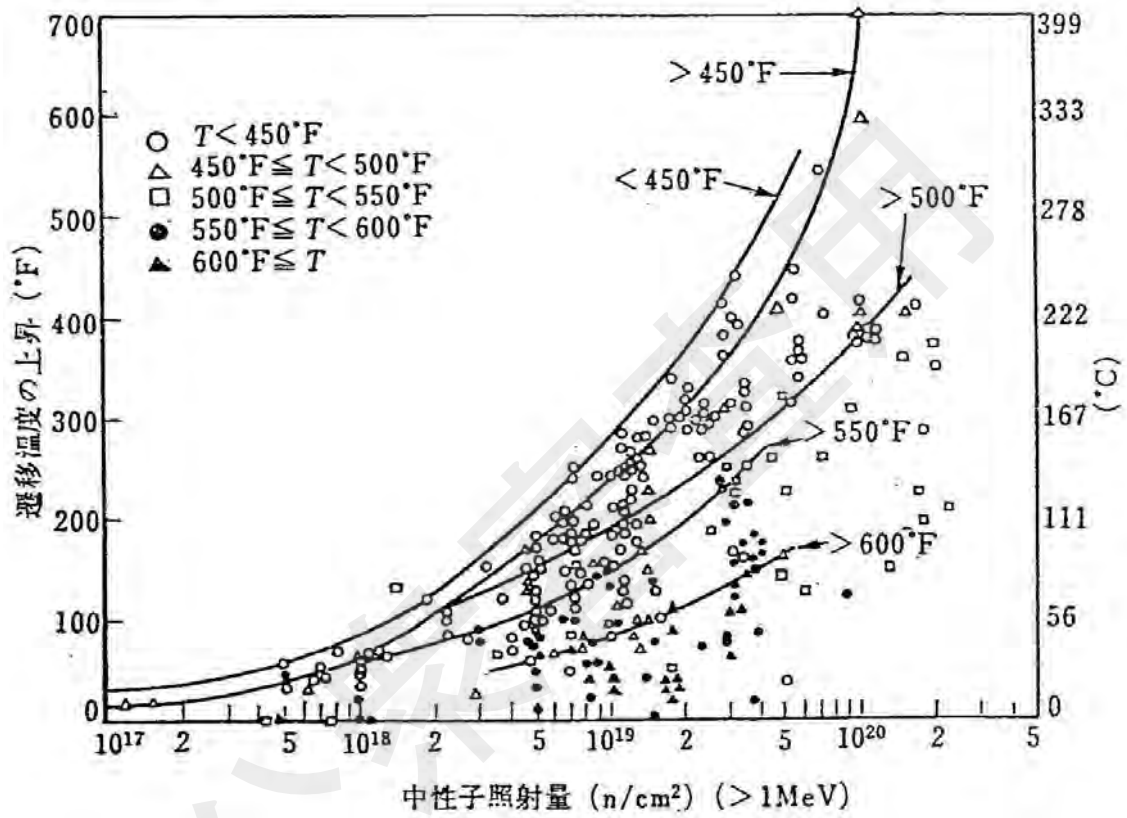


図 F.10—低合金鋼(A302B 鋼)の遷移温度変化に及ぼす照射量の影響⁽³⁾

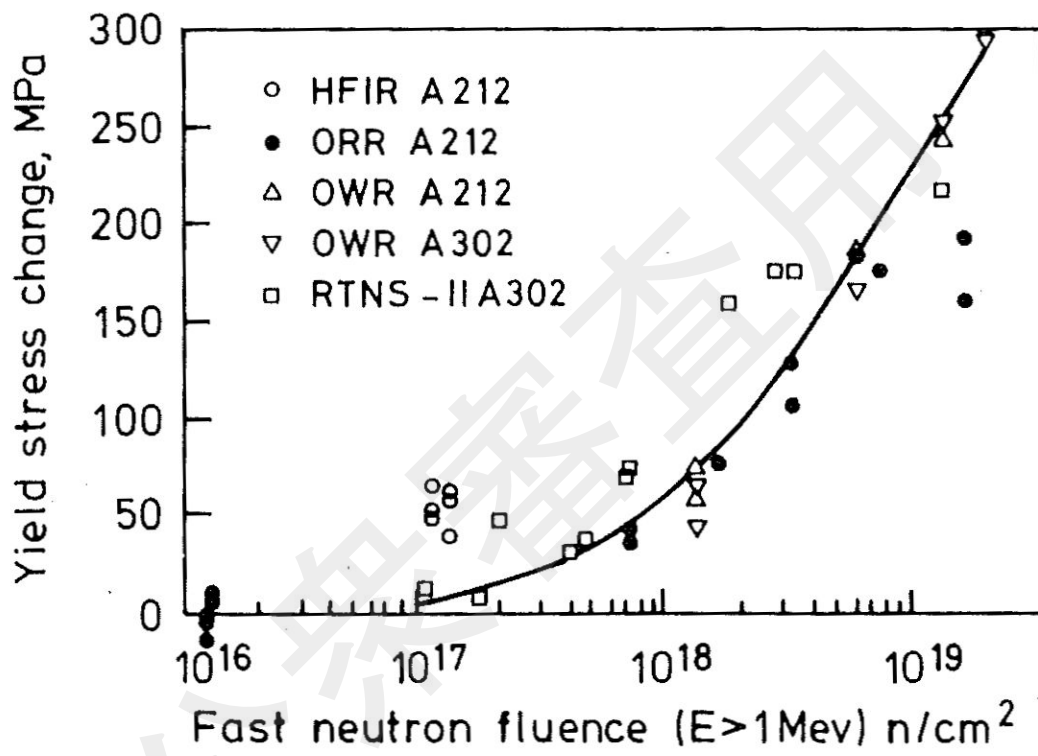
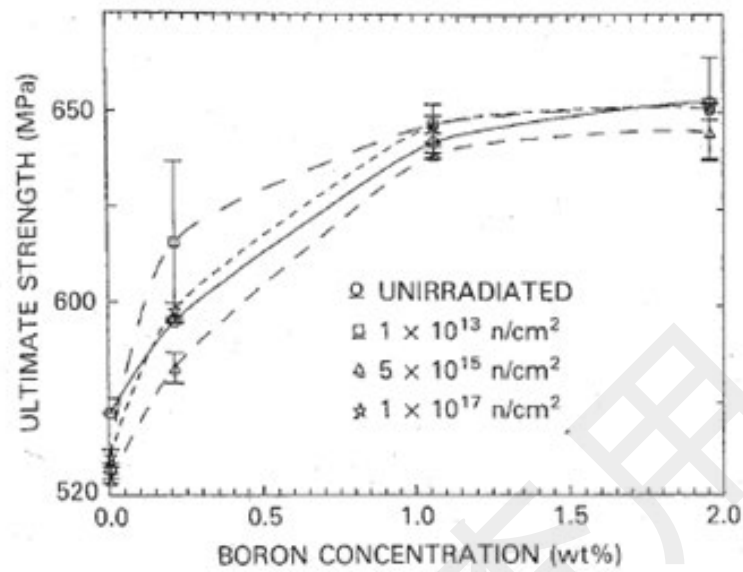
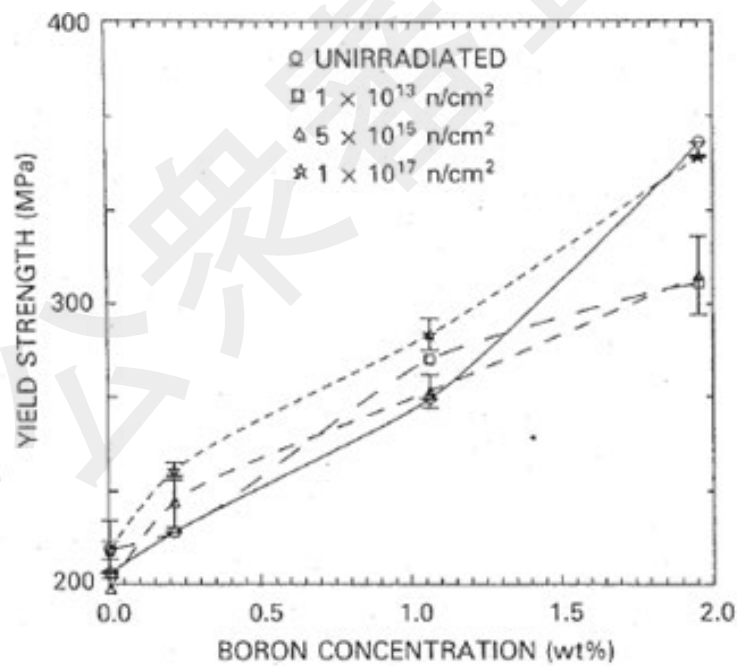


図 F.11-100 100 °C以下で照射された圧力容器用鋼材の降伏応力変化に対する
照射量の影響⁽¹¹⁾

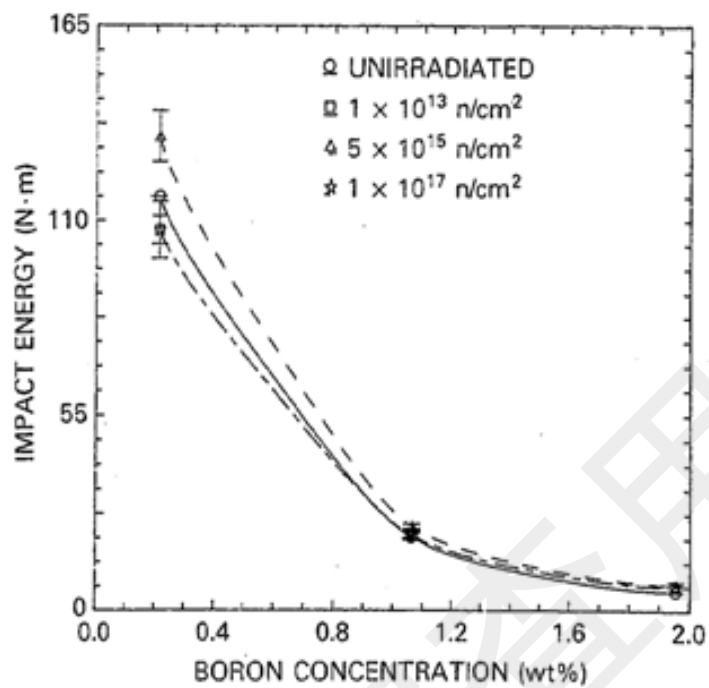


a) 引張強さ

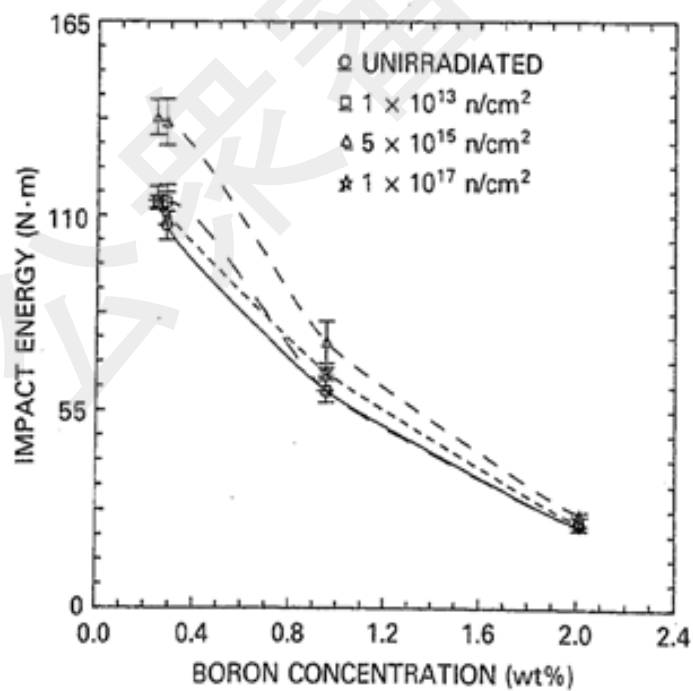


b) 降伏応力

図 F.12—22 ℃で照射されたステンレス鋼及びほう素添加ステンレス鋼の
室温での引張強さ及び降伏応力⁽¹⁴⁾



a) 圧延工法材



b) 放射冶金材

図 F.13—22 °Cで照射されたほう素添加ステンレス鋼の室温での衝撃強さ⁽¹⁴⁾

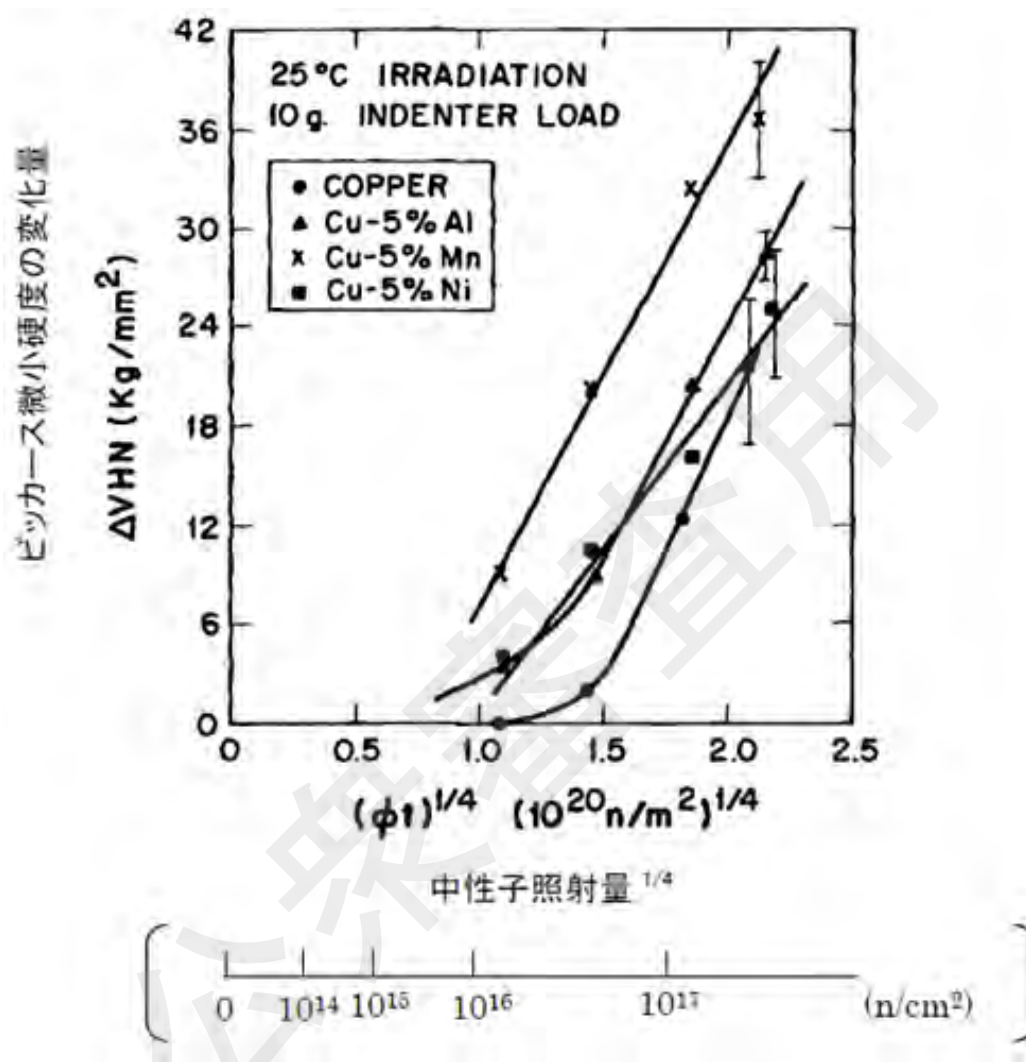


図 F.14—25 °Cで照射された銅の硬さの変化量と照射量の関係^(1.3)

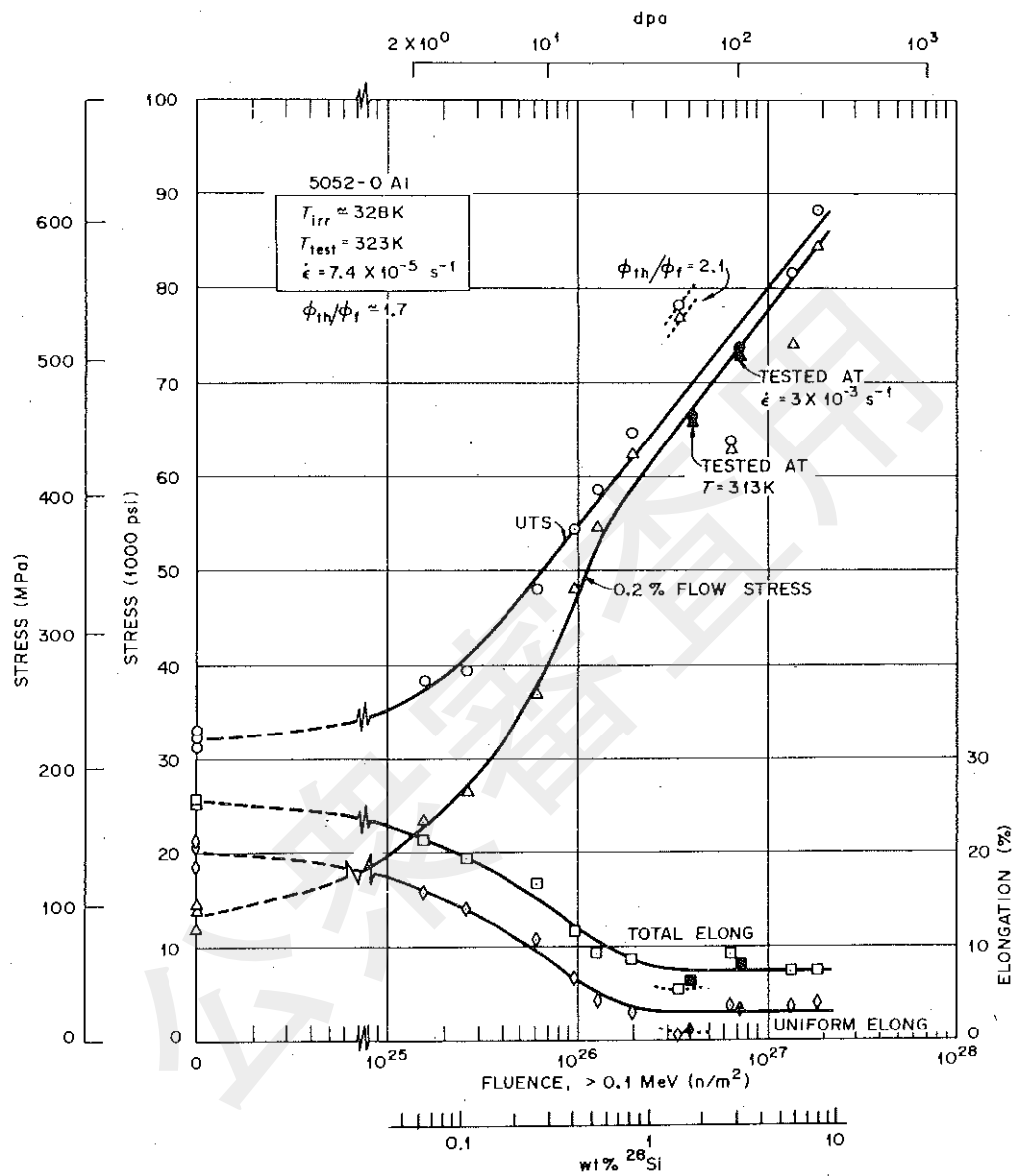


図 F.15—328 K で照射された A5052 材の 323 K での引張特性と照射量の関係⁽¹⁶⁾

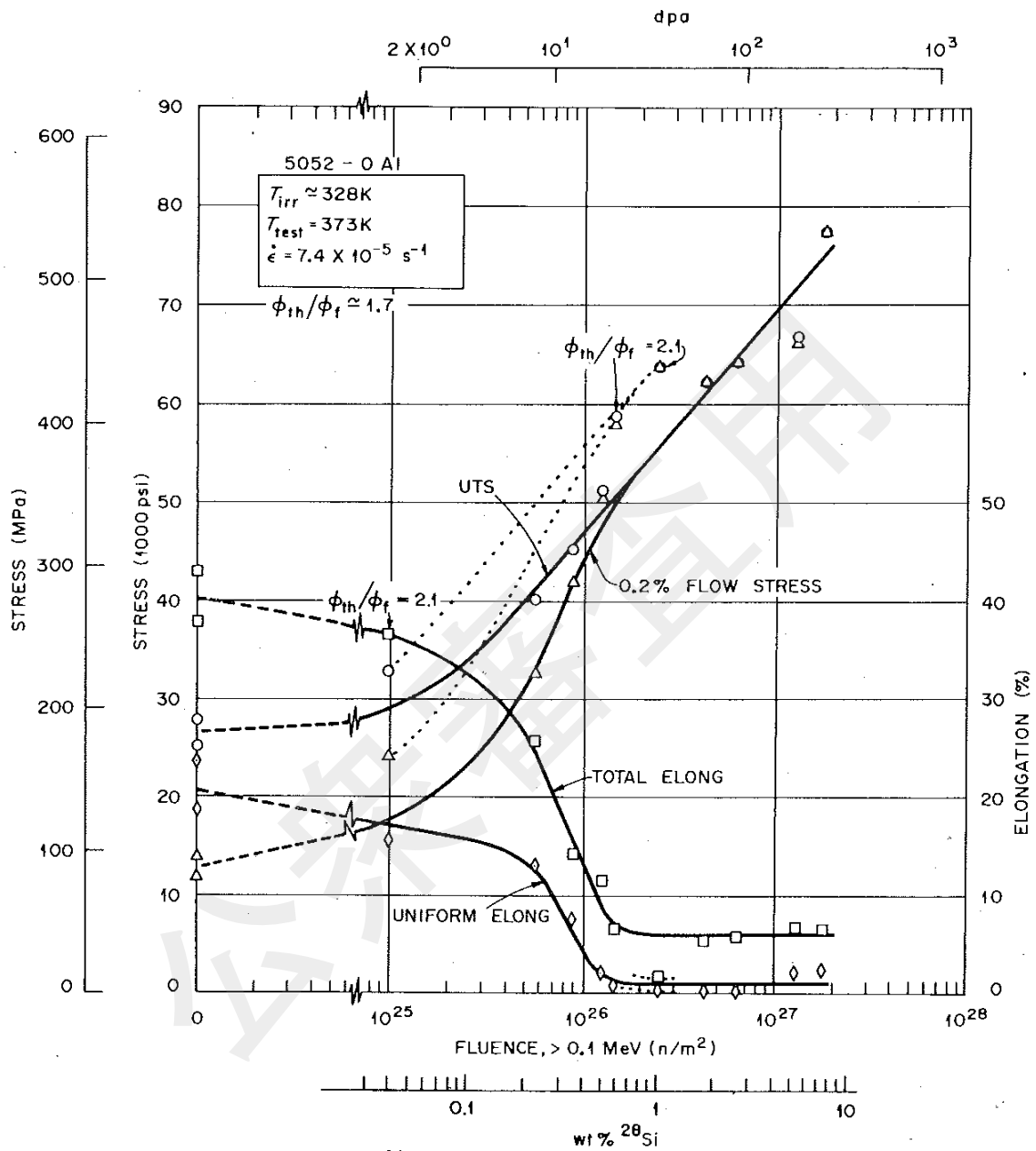


図 F.16—328 K で照射された A5052 材の 373 K での引張特性と照射量の関係⁽¹⁶⁾

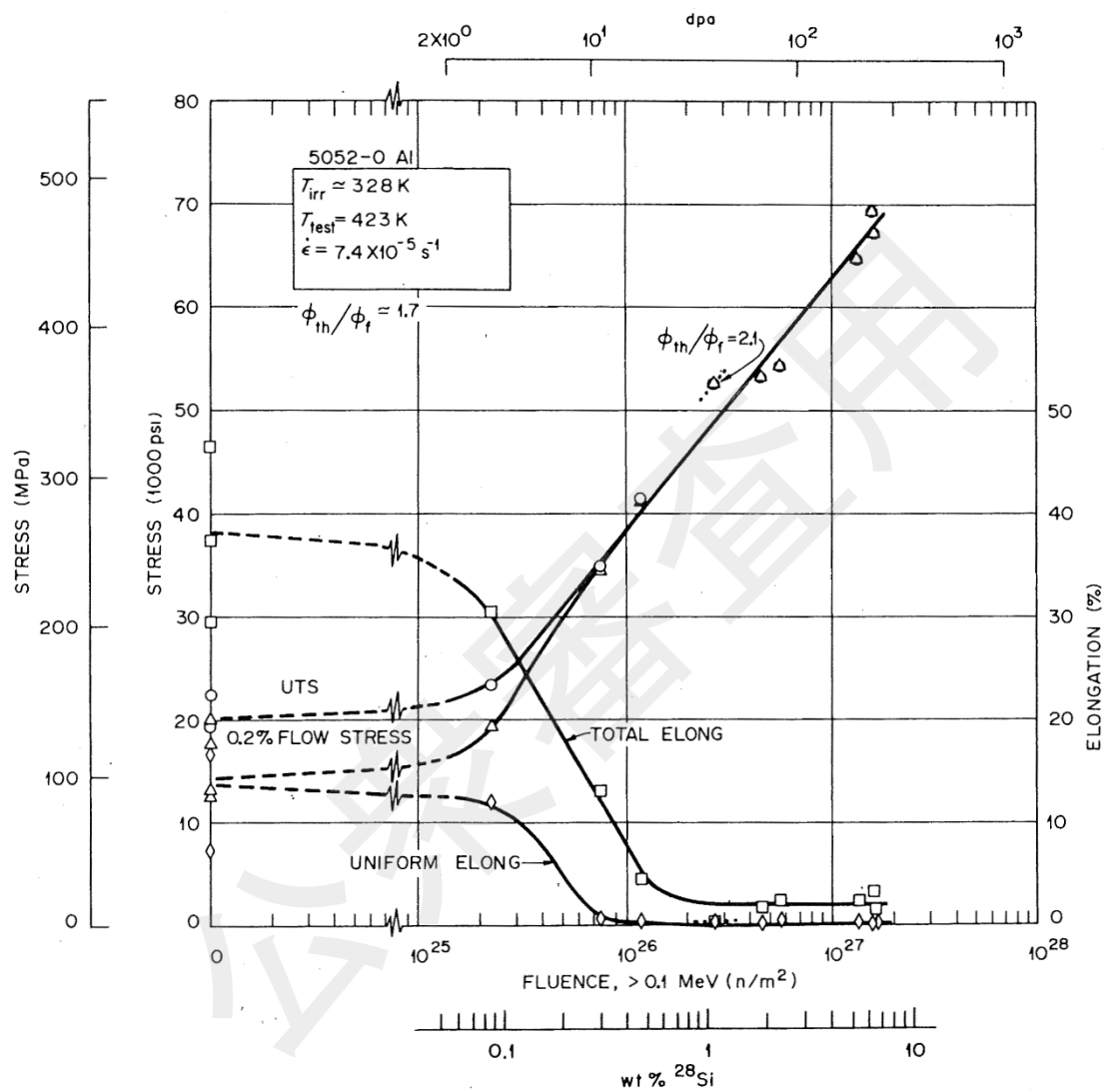


図 F.17—328 K で照射された A5052 材の 423 K での引張特性と照射量の関係⁽¹⁶⁾

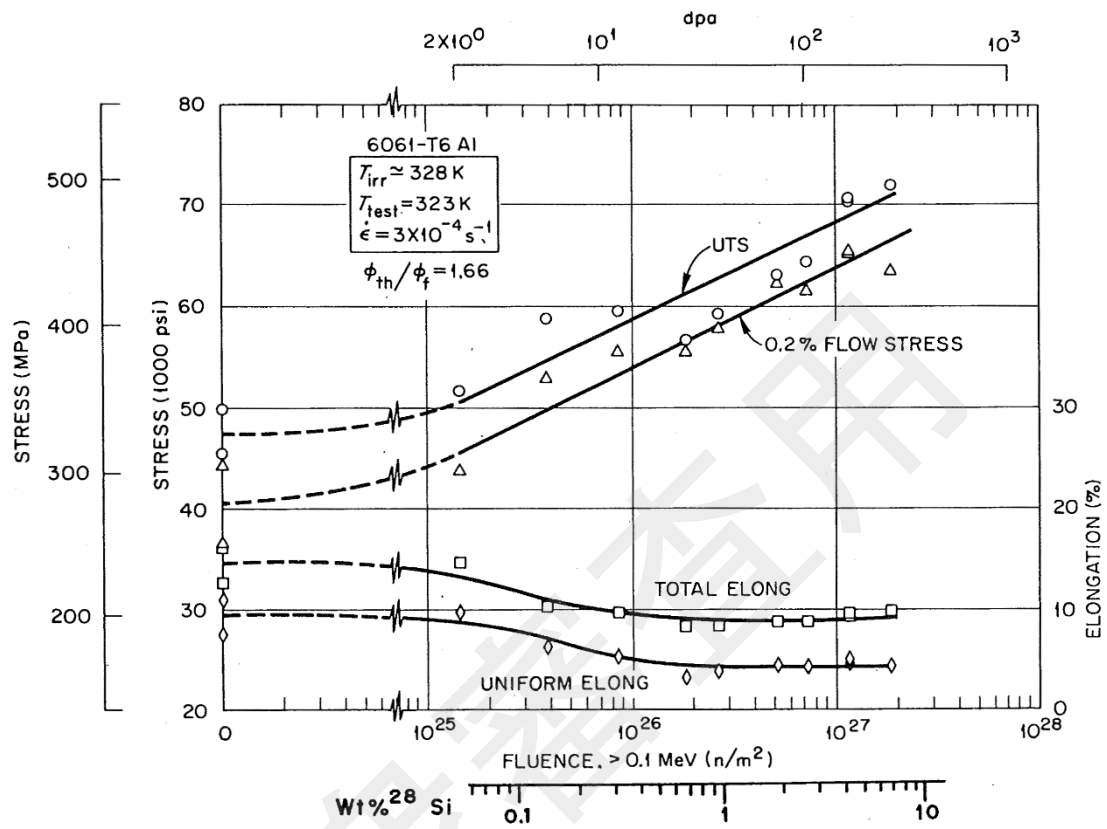


図 F.18—328 K で照射された A6061-T6 材の 323 K での引張特性と照射量の関係⁽¹⁷⁾

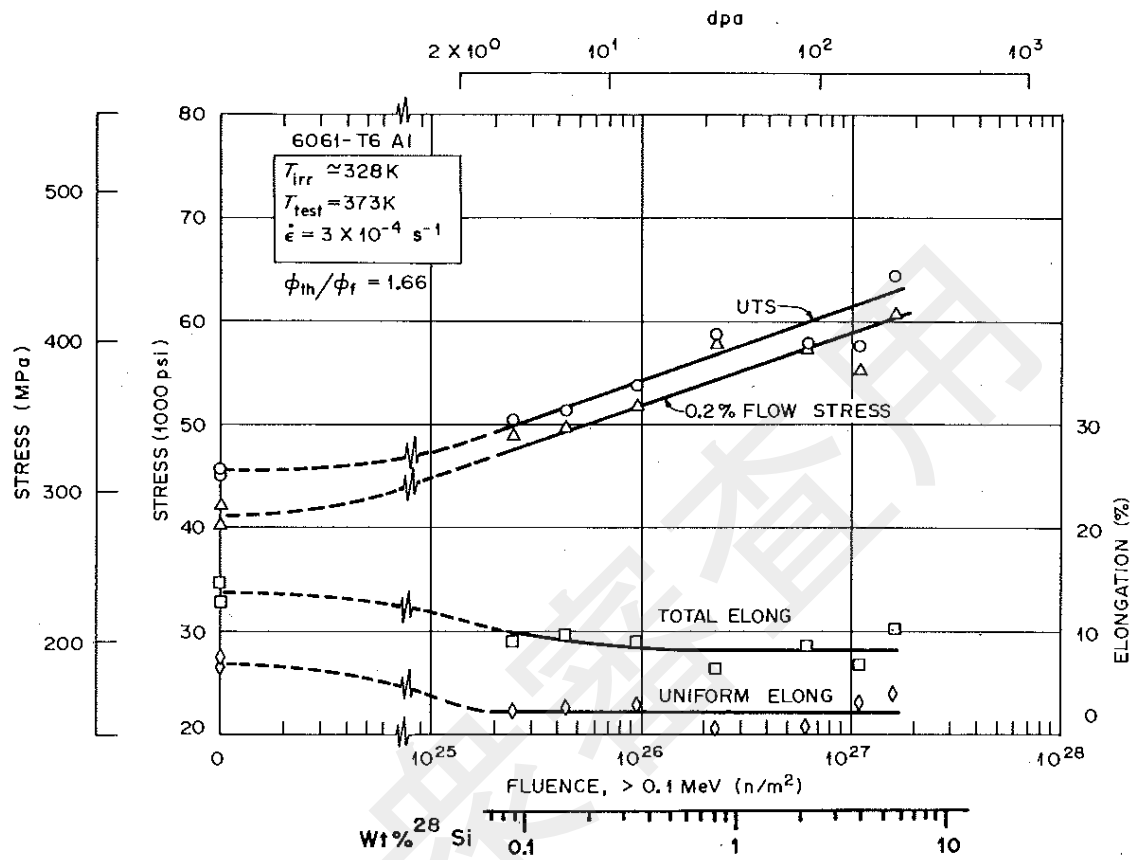


図 F.19—328 K で照射された A6061-T6 材の 373 K での引張特性と照射量の関係⁽¹⁷⁾

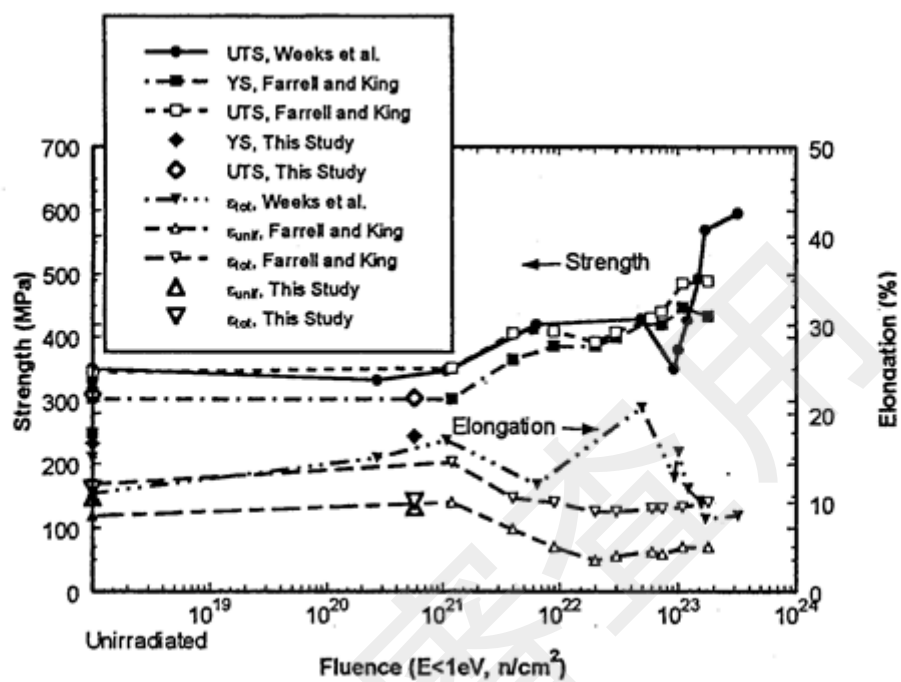


図 F.20—120 °Cで照射された室温における A6061-T6 材の引張特性と照射量の関係⁽¹⁸⁾

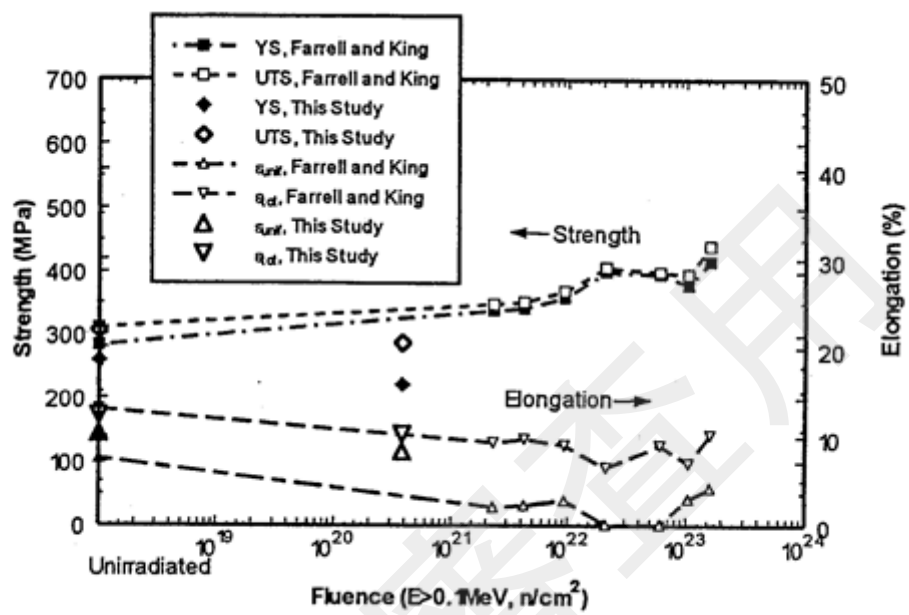


図 F.21—120 °Cで照射された 100 °Cにおける A6061-T6 材の引張特性と照射量の関係⁽¹⁸⁾

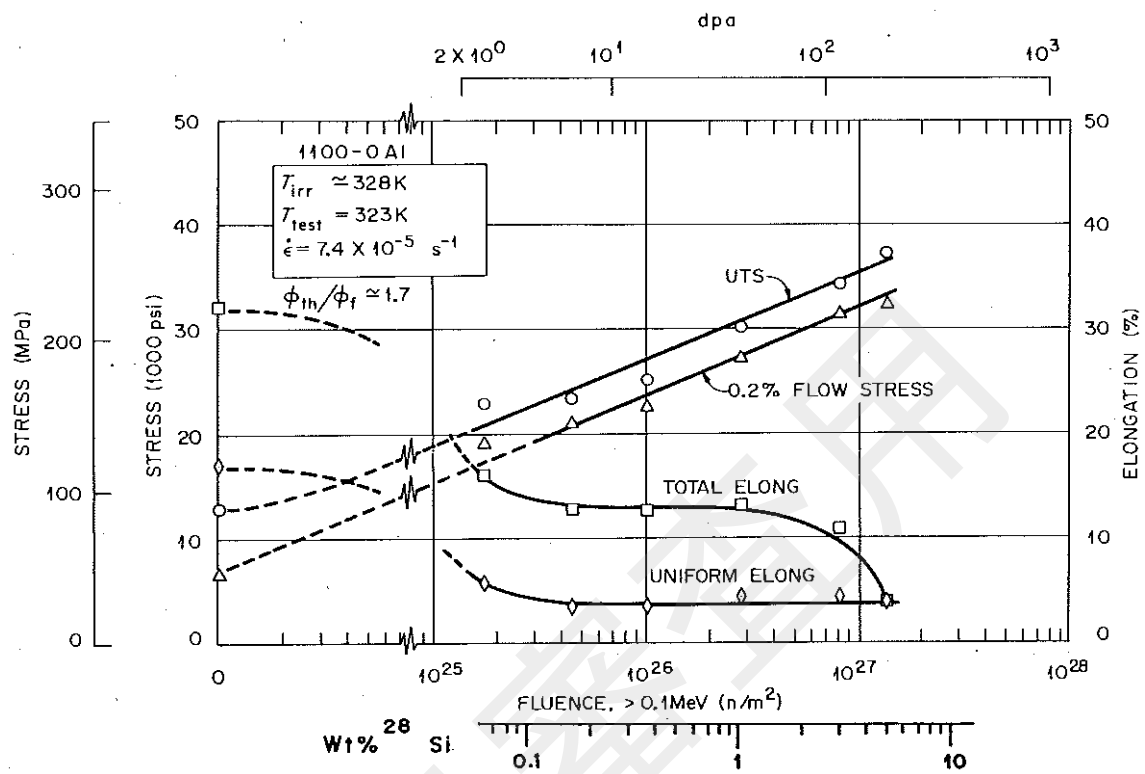


図 F.22—328 K で照射された A1100 材の 323 K における引張特性と照射量の関係⁽¹⁹⁾

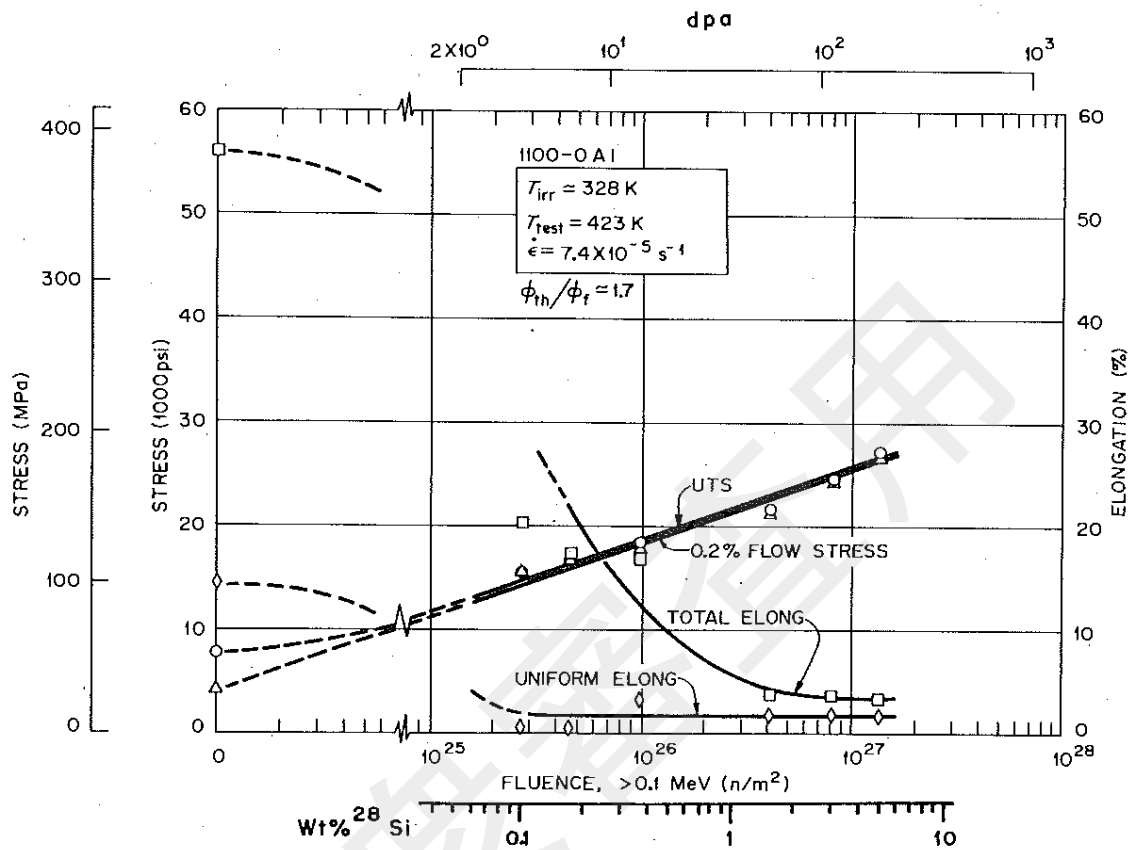


図 F.23—328 K で照射された A1100 材の 423 K における引張特性と照射量の関係⁽¹⁹⁾

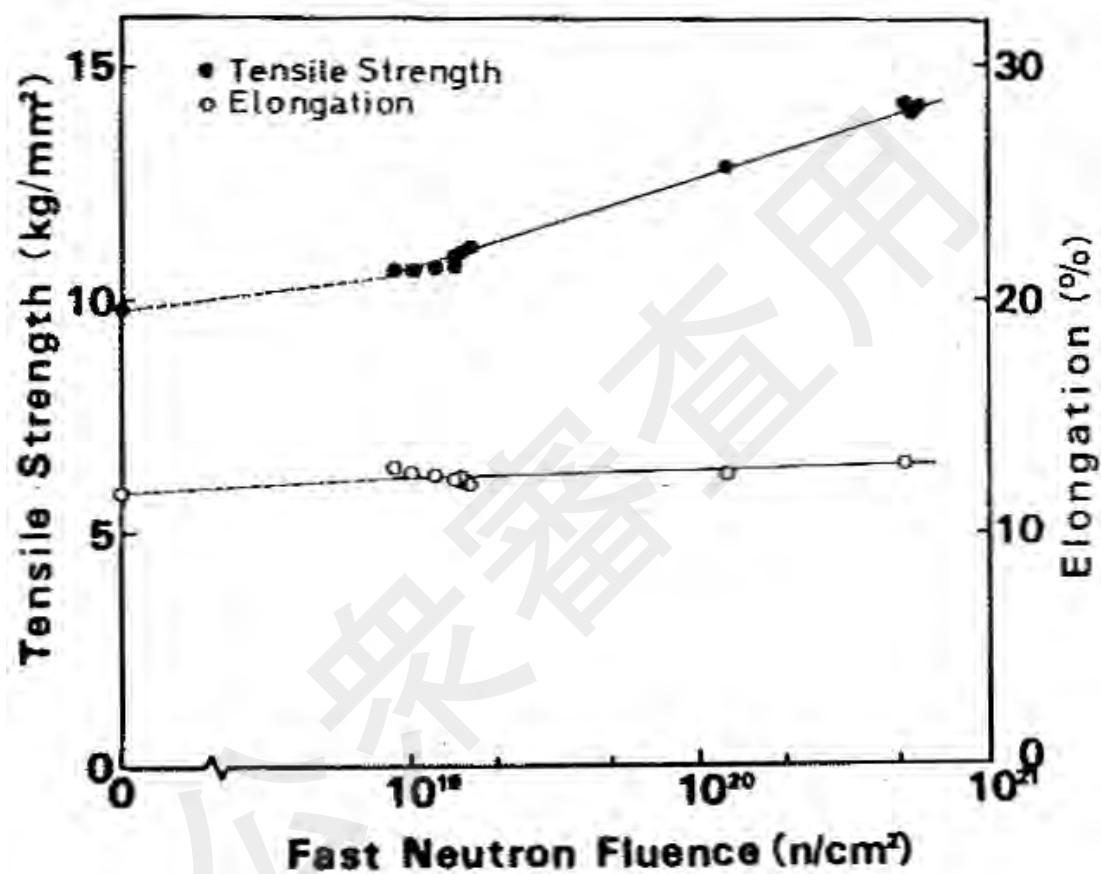


図 F.24—50 °C以下で照射された A1100 材の 50 °Cでの引張特性と照射量の関係⁽²⁰⁾

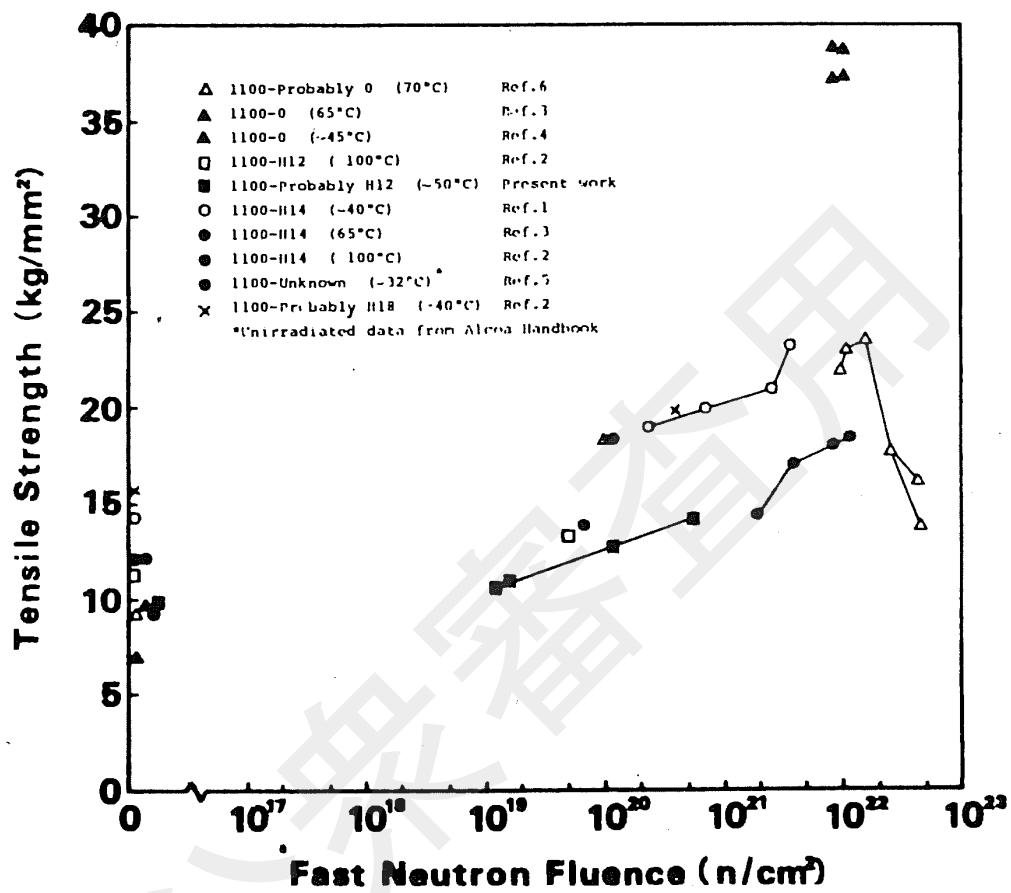


図 F.25—A1100 材の引張特性への照射の影響/既往の試験結果との比較⁽²⁰⁾

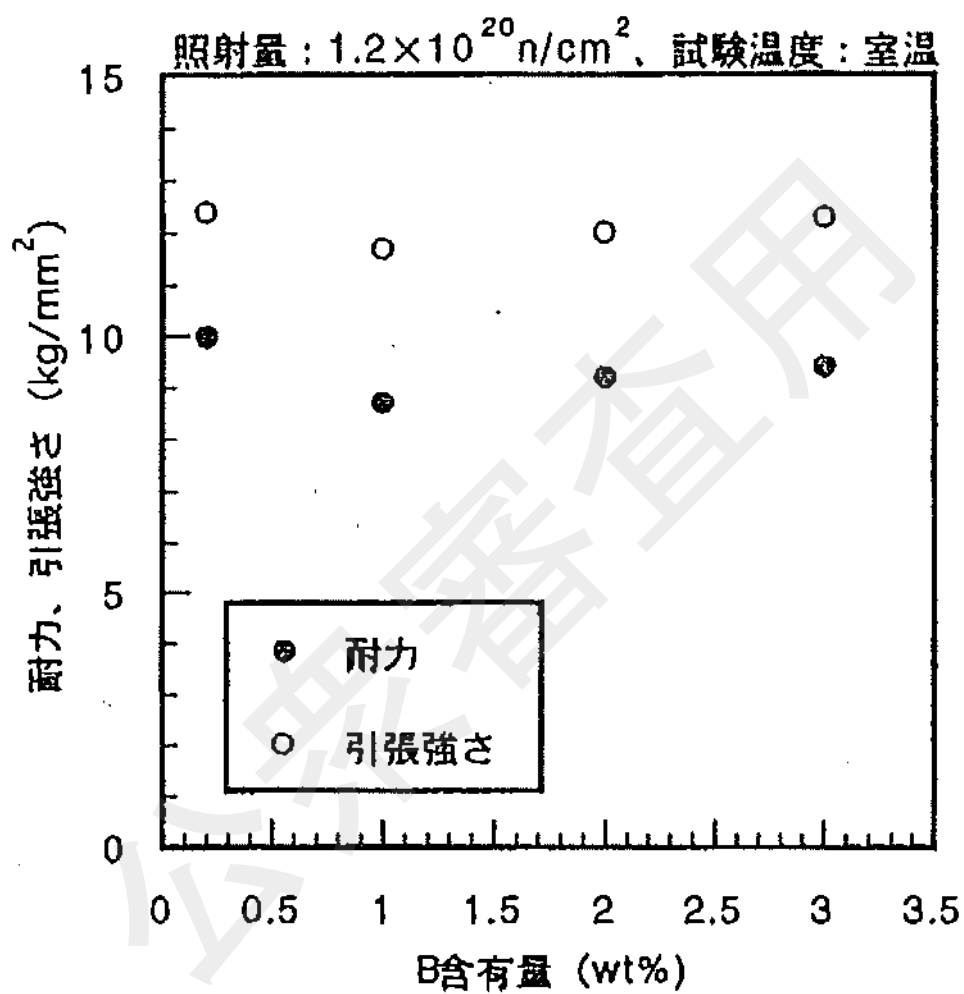
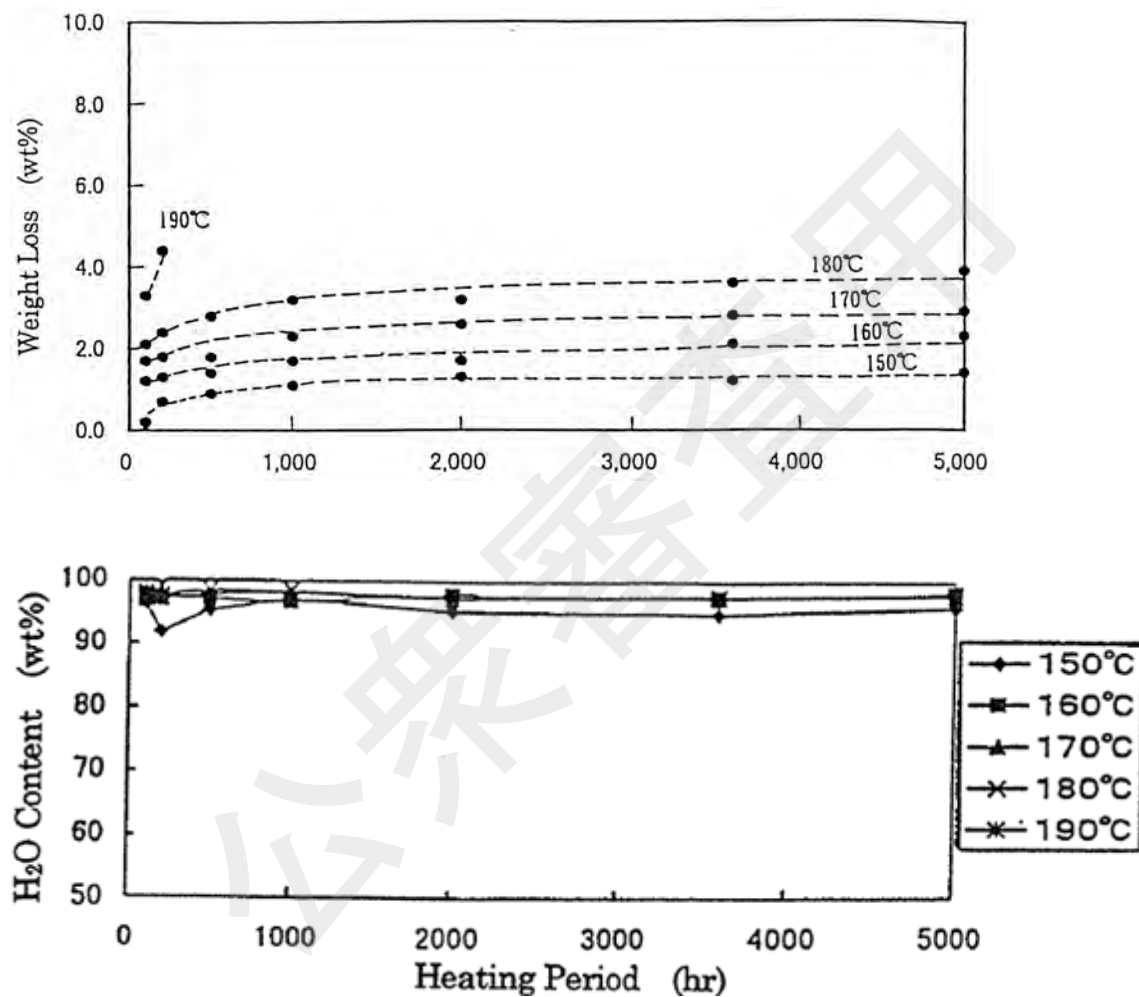
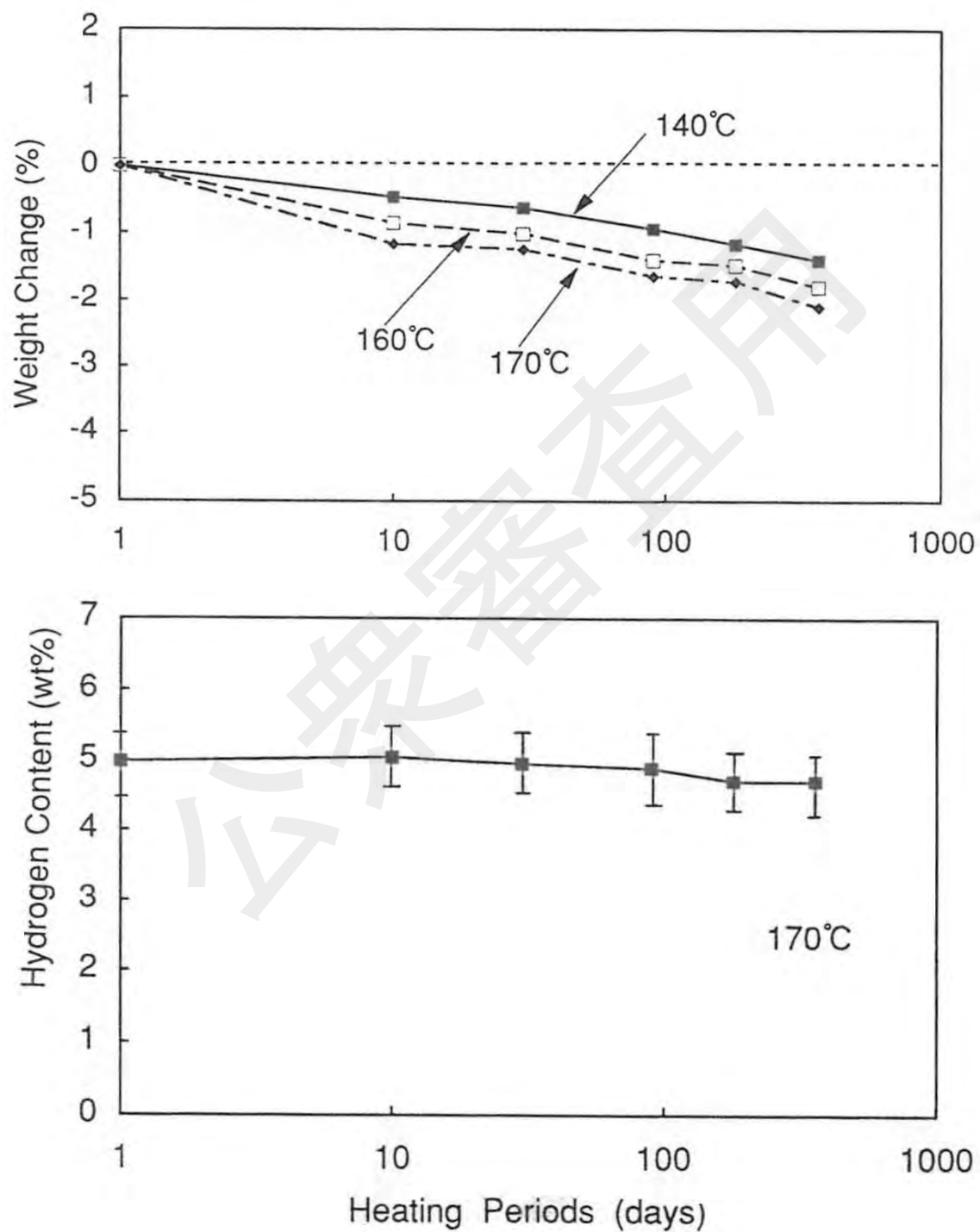


図 F.26—純アルミの引張特性に及ぼすほう素含有量の影響⁽¹⁵⁾
(JAERI-M5648 を元に作成)



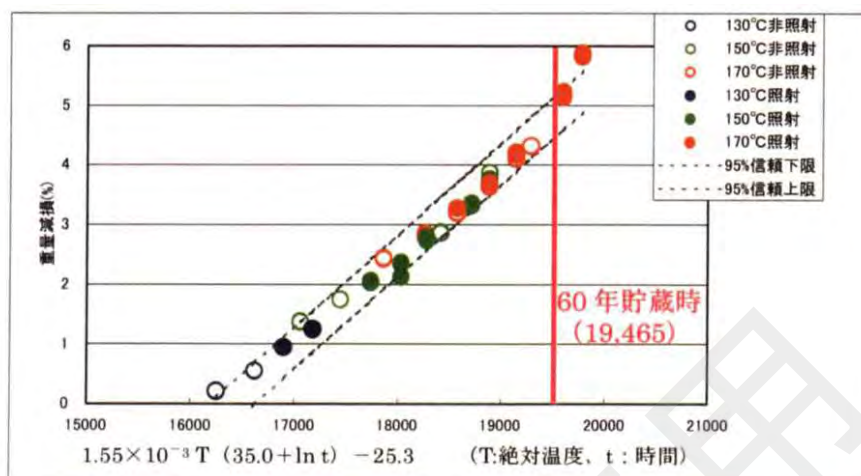
注記 180 °C×5000 時間での質量損失は 4 % (質量) 以下, 170 °C×5000 時間での質量損失は 3 % (質量) 以下であり, 放出ガスはほとんど水分である。2000 時間以降では質量変化はほとんど観察されない。

図 F.27—中性子遮蔽材の熱的影響評価結果 (エポキシ系レジン) ⁽²²⁾



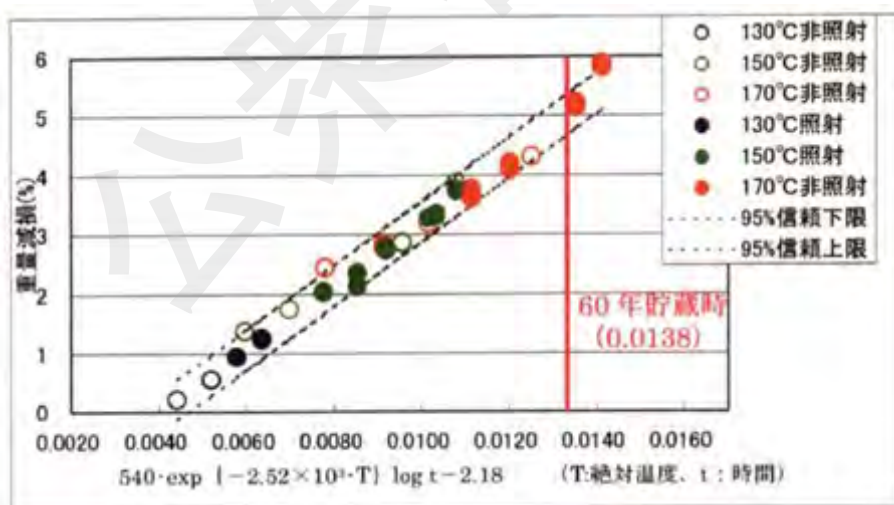
注記 170 °C×360 日間で水素含有量が 5 % (質量) から 4.7 % (質量) に減少。140 °C×360 日間で質量損失は 1.5 % (質量), 170 °C×360 日間で質量損失は 2.1 % (質量)。

図 F.28—中性子遮蔽材の熱的影響評価結果 (シリコン系レジン) ⁽²³⁾



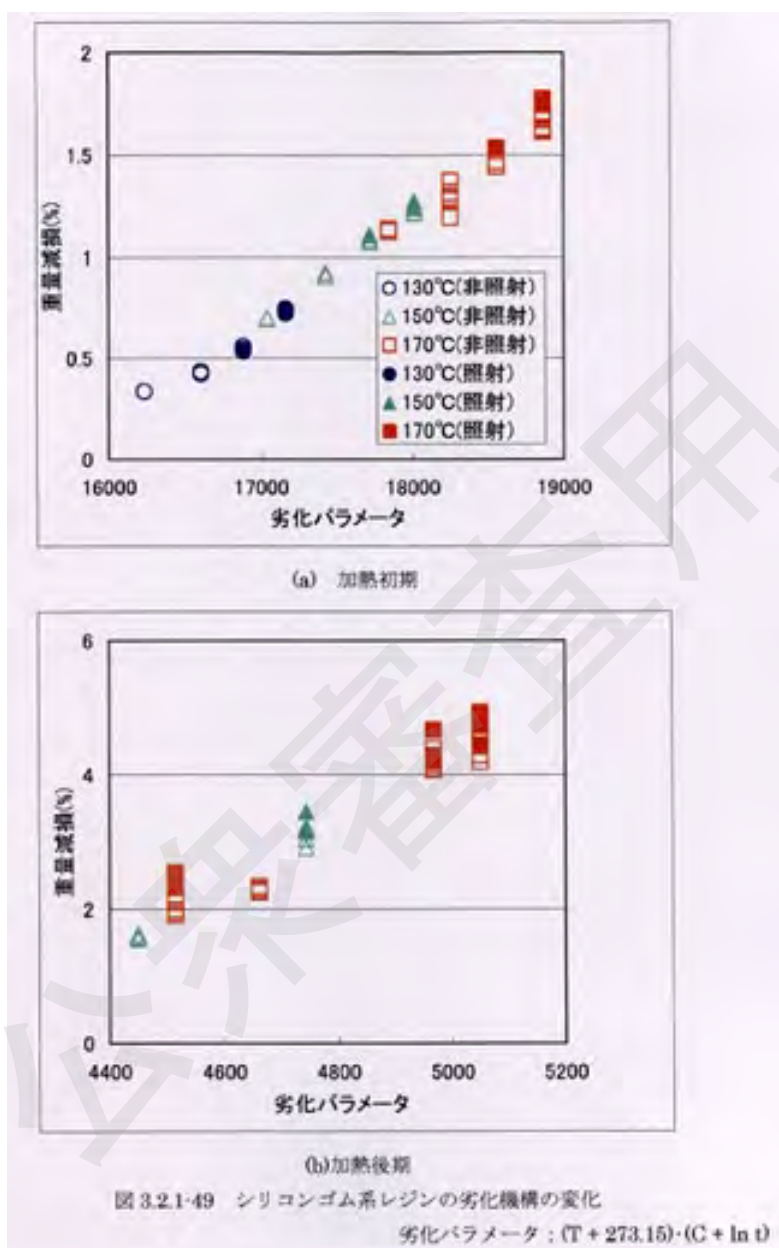
注記 質量減損 $\Delta w = 1.55 \times 10^{-3} (T + 273.15) (35.0 + \ln t) - 25.3$
 T : 絶対温度 t : 加熱時間(h)

図 F.29—エポキシ系レジンの劣化パラメータによる整理⁽⁹⁾
 (加熱試験条件: 開放系 照射試験条件: 閉鎖系)



注記 質量減損 $\Delta w = 540 \cdot \exp (-2.52 \times 10^3 / T) \log t - 2.18$
 T : 絶対温度 t : 加熱時間(h)

図 F.30—エポキシ系レジンの見かけの活性化エネルギーを用いた整理⁽⁹⁾
 (加熱試験条件: 開放系 照射試験条件: 閉鎖系)

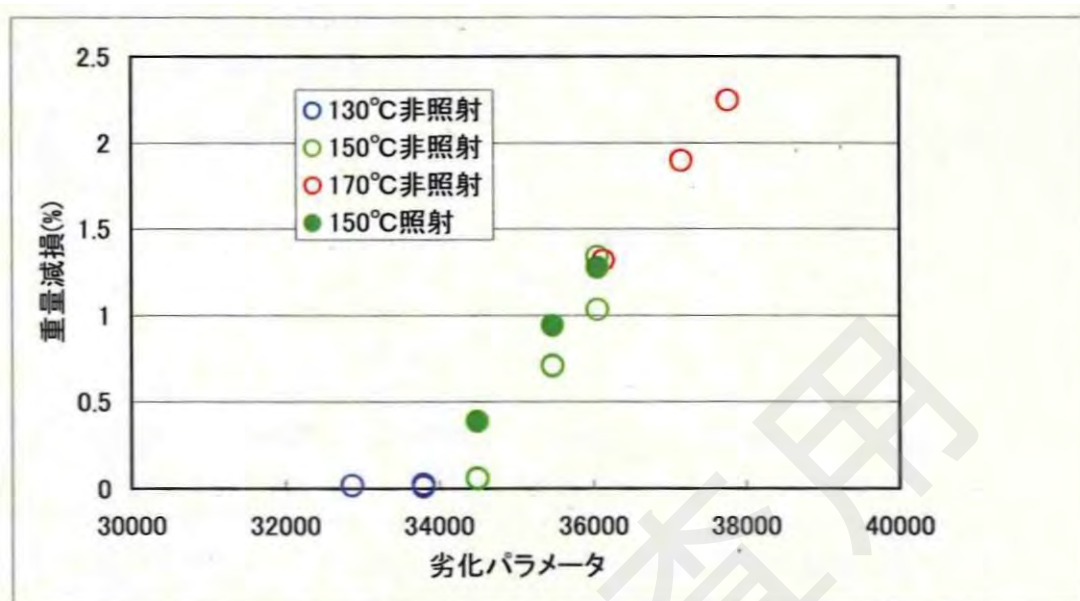


C=35.0

C=2.00

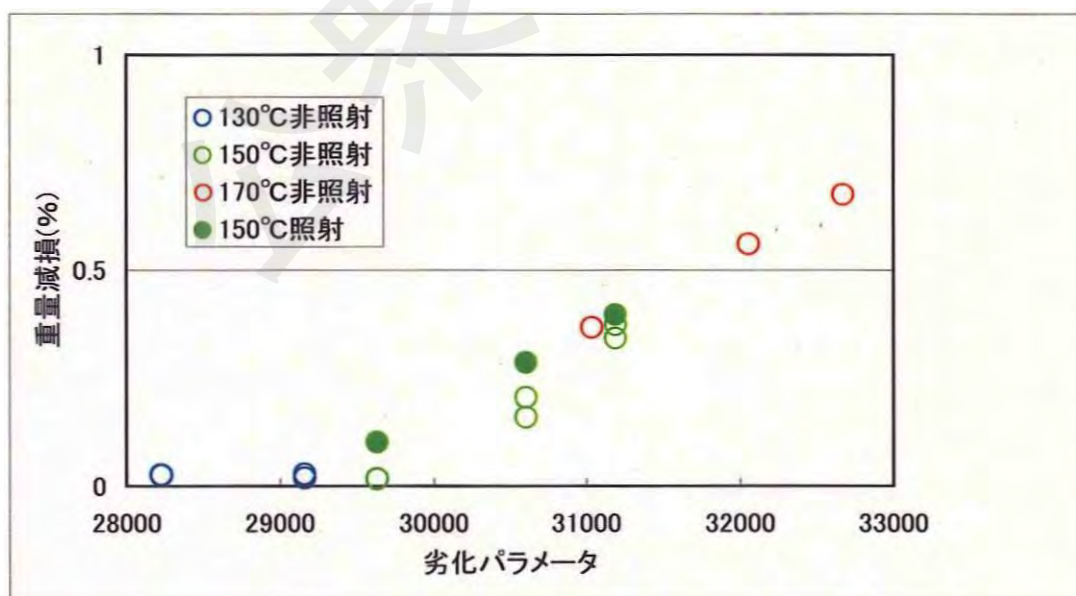
注記 温度が 150 ℃の場合には 5000 時間まで、170 ℃の場合には 3600 時間までを加熱初期、それ以降を加熱後期とする。

図 F.31—シリコン系レジン劣化パラメータと重量減損（質量減損）との関係⁽²⁴⁾
(加熱試験条件：開放系 照射試験条件：閉鎖系)



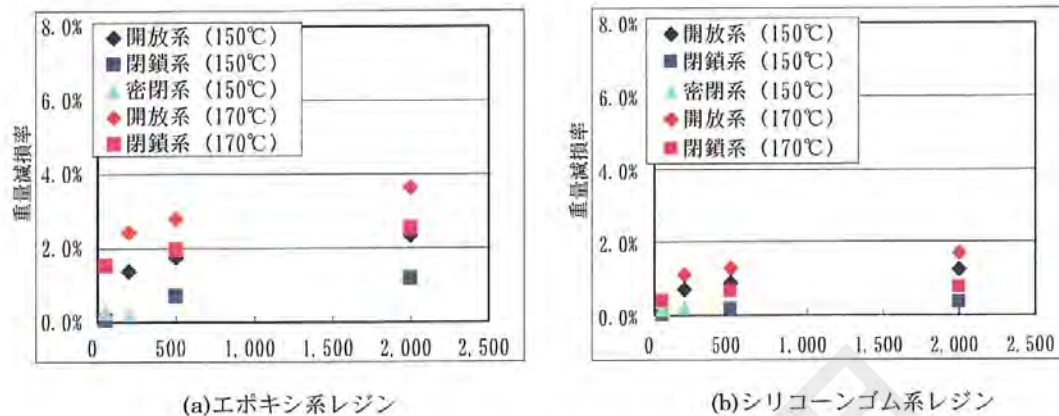
注記 質量減損 $\Delta w(\%) = 5.69 \times 10^{-4} \cdot (T + 273.15) (77.6 + \ln t) - 19.2$
 T : 絶対温度 t : 加熱時間(h)

図 F.32—エポキシ系レジンの劣化パラメータによる整理⁽²⁴⁾
 (加熱試験条件: 閉鎖系 照射試験条件: 閉鎖系)



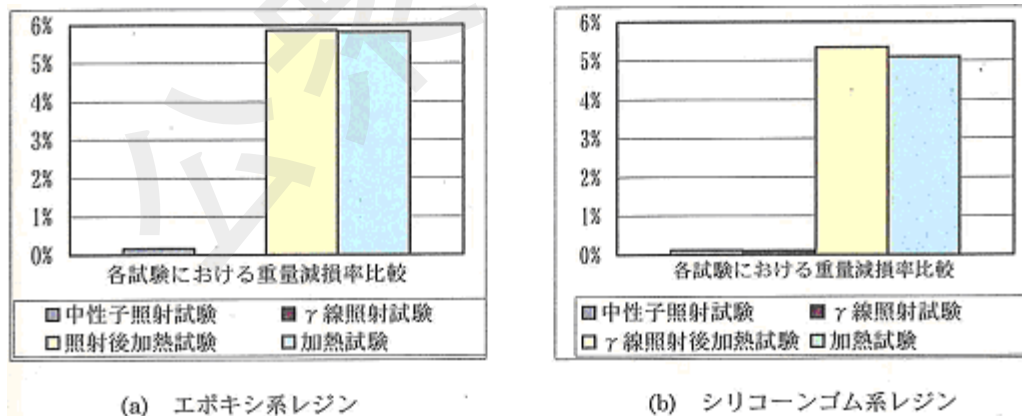
注記 質量減損 $\Delta w(\%) = 1.89 \times 10^{-4} \cdot (T + 273.15) (66.1 + \ln t) - 5.51$
 T : 絶対温度 t : 加熱時間(h)

図 F.33—シリコン系レジンの劣化パラメータによる整理⁽²⁴⁾
 (加熱試験条件: 閉鎖系 照射試験条件: 閉鎖系)



- 注記 1** 開放系：試験片を高温槽内に放置，空気雰囲気，大気圧，加熱空気を常時供給した体系
閉鎖系：試験片は個別容器に入れられ高温槽内に放置，細径管（端部開放）を設置してガス排気できる状態，初期ガスは空気，大気圧
密閉系：試験片は密封容器に封入，初期ガスは空気，ガス放出に伴い圧力上昇
- 注記 2** エポキシ系レジ及びシリコン系レジとも，温度に関係なく，質量減損率は，密閉系＜閉鎖系＜開放系の順となっている。横軸単位は，時間(h)である。

図 F.34—試験体系の比較⁽⁹⁾



注) 中性照射試験及びガンマ線照射試験の重量減損率は，実際の結果の 10 倍の数値で表示した。

- 注記 1** 試験条件
加熱試験：開放系，照射試験：閉鎖系
- 注記 2** 試験条件
中性子照射量（計画値）： $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ，ガンマ線照射量（計画値） $3.9 \times 10^4 \text{ Gy}$
加熱条件：170 °C×15 000 h
- 注記 3** 加熱試験と比較すると，照射単体の影響は，有意ではない。

図 F.35—各試験における質量減損率比較⁽⁹⁾

表 F.2—中性子遮蔽材の照射影響評価結果⁽²⁵⁾

Table 4-1 (Continued) *

Generic Name Material	Lowest Reported Threshold (Rads)	Report Ref.	Property Changed
Cellulose acetate	8×10^5	9	Tensile strength
Graphite-filled phenolic	8×10^5	36	Elongation
Neoprene	8×10^5	48	Compression set
Polyacrylonitrile (Fiber)	1×10^6	25	Tensile strength
Propylene-ethylene polyallomer	1×10^6	55	Tensile/ elongation
Polyacrylate elastomer	10^6	36	Set at break
Silicones	1×10^6	37	Tensile/ elongation/ hardness
Ethylene propylene elastomer	10^6	55	Compression set
Butadiene rubber	10^6	37	Compression set
Nitrile rubber	10^6	36	Compression set
Urethane rubber	10^6	55	Compression set
Polychlorotrifluoroethylene	1.2×10^6	55	Shear strength/ elastic modulus
Polyvinyl chloride acetate	1.4×10^6	55	Elongation
Ethyl cellulose	1.5×10^6	36	Impact strength
Parylene	None established	55, 48	
Styrene butadiene rubber	1.8×10^6	37	Compression set/elonga- tion
Vinyl pyridine rubber	2×10^6	36	Compression set
Natural rubber	2×10^6	36	Compression set
Ionomer resins	2×10^6	36	Tensile/ elongation
Polyvinyl butyral	3×10^6	55	Tensile st.

注* (財)電力中央研究所提供

Table 4-1 (Continued) *

Generic Name Material	Lowest Reported Threshold (Rads)	Report Ref.	Property Changed
Polyvinylidene chloride	3.7×10^6	37	Elongation
Casein resin	4×10^6	36	Impact strength
Polyethylene terephthalate	4.4×10^6	36	Tensile/ elongation
Melamine formaldehyde (cellulose-filled)	6.7×10^6	36	Impact strength
Aromatic polyamides	7×10^6	36	Elongation
Urea formaldehyde	7.5×10^6	36	Tensile/ elongation
Tefzel	None established	28	Elongation
Polyvinylidene fluoride	8×10^6	13	Not given
Polyimide	10^7	47	Elongation/ tensile
Polyvinyl fluoride	10^7	36	Elongation
Polyvinyl formal	1.6×10^7	36	Elastic modulus
Acrylonitrile butadiene	10^7	61, 55	Tensile strength
Polystyrene	2×10^7	14	Tensile strength
Polysulfone	5×10^7	16	Flex strength
Polyurethane resin	6×10^7	37	Tensile strength
Polyester resin (mineral- filled)	7.9×10^7	37	Elongation (most)
Polyvinyl carbazole	8.8×10^7	36	Impact strength
Pyrrone resin	10^8	55	Flexural strength
Epoxy resin	2×10^8 or more	26, 42	Varies
Furan resin (asbestos and CB-filled)	3×10^8	37	Tensile/ elongation
Polyester glass laminate	4×10^8	38	Flexural st.
Silicone-asbestos laminate	6×10^8	36	Flexural st.
Asbestos phenolic laminate	10^9	36	Flexural st.
Glass-filled diallyl phthalate	1.8×10^9	33	Tensile strength/ elongation

EPRI makes no warranty or representations, expressed or implied, with respect to the accuracy, completeness, or usefulness of the information contained in Report. Additionally, EPRI assumes no liability with respect to the use of, or for damages resulting from the use of Report.

注記 本表は各種樹脂及びゴム材の機械的特性の変化が見られるしきい値を示している。機械的特性の変化がないことは物質としての変化がないことであり、本表のしきい値を超えない範囲での使用において遮蔽性能を損なわないことが類推できる。

表 F.3—中性子遮蔽材の照射影響評価結果⁽²⁶⁾

Table 2. (continued)

Material	Initial Value ^(b)	Dose Rate Mrads/hr	Thickness, (in.)	Percent of Initial Value Retained at Given Dose (rads) ^(a,c)
8. Furane Resin-graphite filled				10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁷ 10 ⁸ 10 ⁹ 10 ¹⁰
Tensile Strength, psi	2200	1	0.37	(2)
Elongation at Break, %	0.39			
Notch Impact Strength, ft-lb/in.	0.31			
9. Epoxy Polymer				
a. Aromatic amine-cured (diamino diphenyl methane)				
Flexural Strength, psi	17000	3	0.12	(9)
b. Aliphatic amine-cured (piperidine)				
Flexural Strength, psi	18500	3	0.12	(9)
c. Acid anhydride-cured (hexahydrophthalic anhydride)				
Flexural Strength, psi	18000	3	0.12	(9)
d. Acid anhydride-cured (dodecyl succinic anhydride) (long side chain)				
Flexural Strength, psi	11500	3	0.12	(9)
e. Araldite Type B Casting Shear Strength, psi	8000	2	0.16	(3) ?
B. Nitrogen-containing Polymers				
1. Polyurethane (Estane VC)				
Tensile Strength, psi	6390			(10)
Elongation at Break, %	500			
2. Cellulose pulp-filled urea-formaldehyde				
Tensile Strength, psi	7800	2	0.12	(2)
Elongation at Break, %	0.5			
Notch Impact Strength, ft-lb/in.	0.3			
3. Aniline-Formaldehyde Polymer				
Tensile Strength, psi	9200	2	0.20	(2)
Elongation at Break, %	1.8			
Notch Impact Strength, ft-lb/in.	0.2			

Table 3. (continued)

Material	Initial ^(b,d,e) Value	Percent of Initial Value Retained at Given Dose (rads) ^(a,c)
Vinyl Pyridine (Philprene VP-15-1)		10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁷ 10 ⁸ 10 ⁹ 10 ¹⁰
Tensile Strength, psi	2790	(15)
Elongation at Break, %	405	
Polychloroprene Rubber Neoprene W		
Tensile Strength, psi	2900	(3)
Elongation at Break, %	450	
Shore Hardness, Scale A	78	
Compression Set, recovery, %	62	
Fluororubber Viton A		
Tensile Strength, psi	1875	(14)
Elongation at Break, %	160	
Polyurethane Rubber (Genthan)		
Tensile Strength, psi	4040	(15)
Elongation at Break, %	500	
Sulfur-containing Rubbers		
Adduct Rubber (92% Saturation)		
Tensile Strength, psi	2660	(10)
Elongation at Break, %	490	
Chlorosulfonated Polyethylene Rubber (Hypalon)		
Tensile Strength, psi	1980	(10)
Elongation at Break, %	350	
Polysulfide Rubber Thiokol ST		
Tensile Strength, psi	800	(3)
Elongation at Break, %	162	
Shore Hardness, Scale A	74	
Compression Set, recovery, %	90	
Miscellaneous Rubbers		
Silicone Rubber Silastic 7-170		
Tensile Strength, psi	525	(3)
Elongation at Break, %	95	
Shore Hardness, Scale A	59	
Compression Set, recovery, %	97	

(a) Key for radiation effects:

- 100 to 80% of initial value retained.
- 80 to 50% of initial value retained.
- 50 to 10% of initial value retained.
- 10 to 0% of initial value retained.

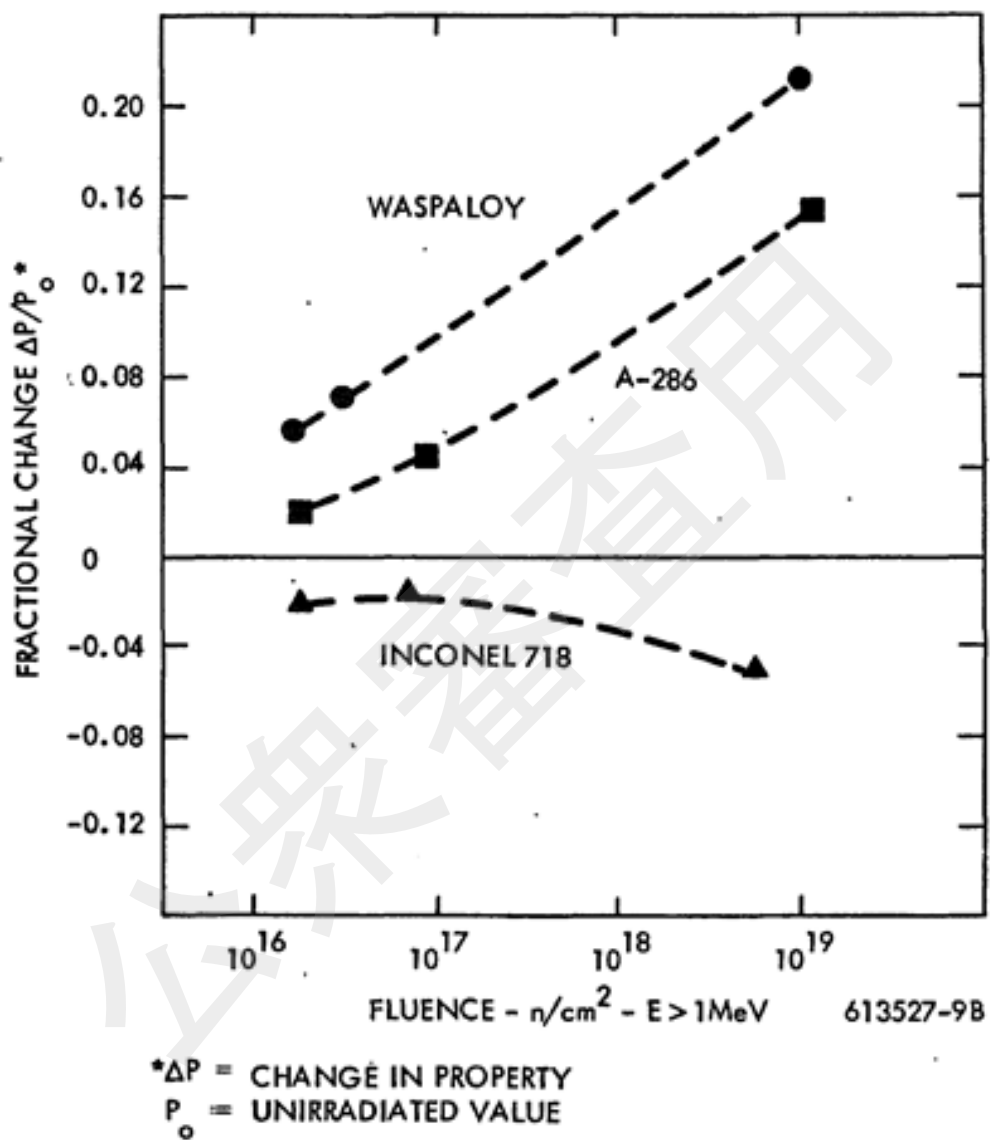
(b) To convert lb/in² to Kg/mm², divide by 1422 so that 14220 lb/in² equals 10 Kg/mm².

(c) rad equals 100 ergs/gram of sample material.

(d) Shore Durometer Hardness, described in ASTM-D676-49T.

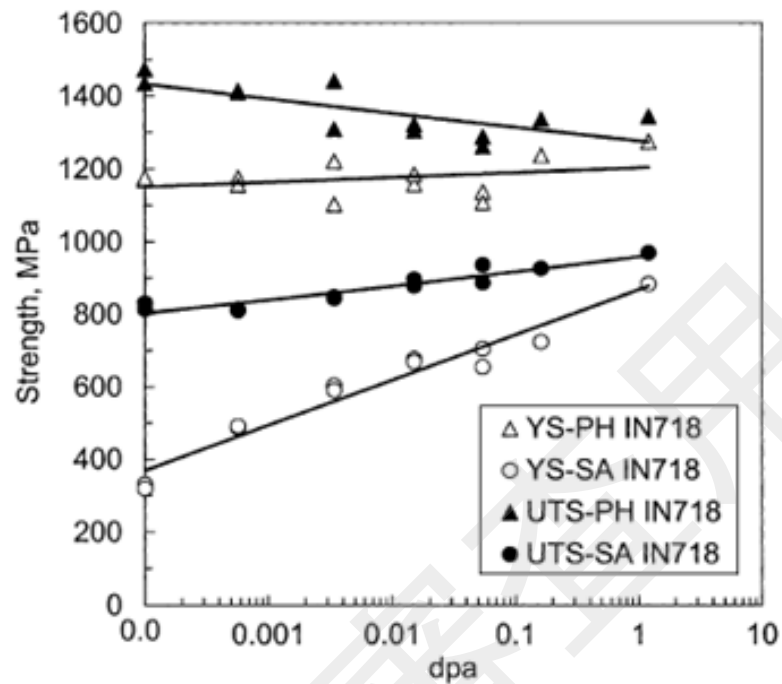
(e) Compression set, Test B, described in ASTM-D395-49T.

注記 本表は各種樹脂及びゴム材の機械的特性の変化が見られるしきい値を示している。機械的特性の変化がないことは物質としての変化がないことであり、本表のしきい値を超えない範囲での使用において遮蔽性能を損なわないことが類推できる。

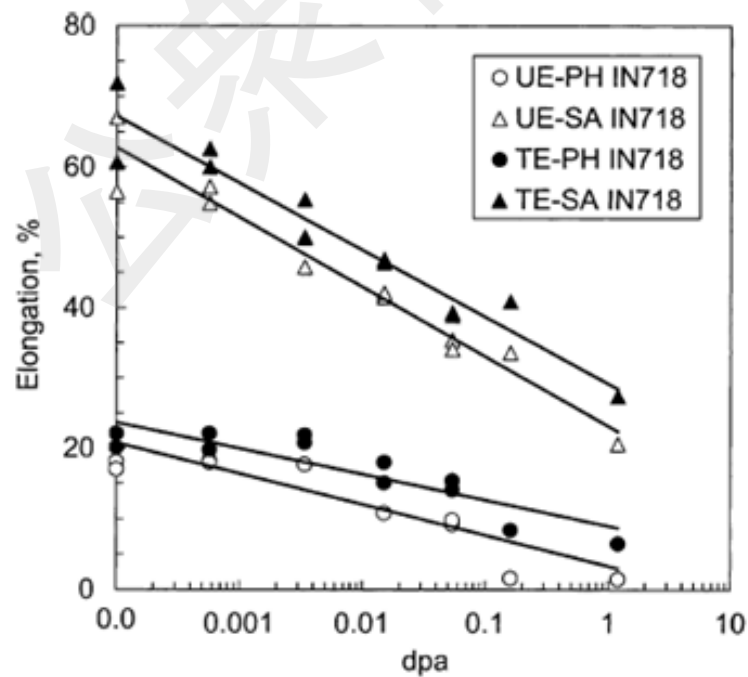


注記 585 °R は 51.9 °C， 540 °R は 26.9 °C である。

図 F.36—585 °R で照射されたインコネル®718 材の 540 °R での
降伏点の変化と照射量の関係⁽²⁷⁾



a) 耐力及び引張強さ

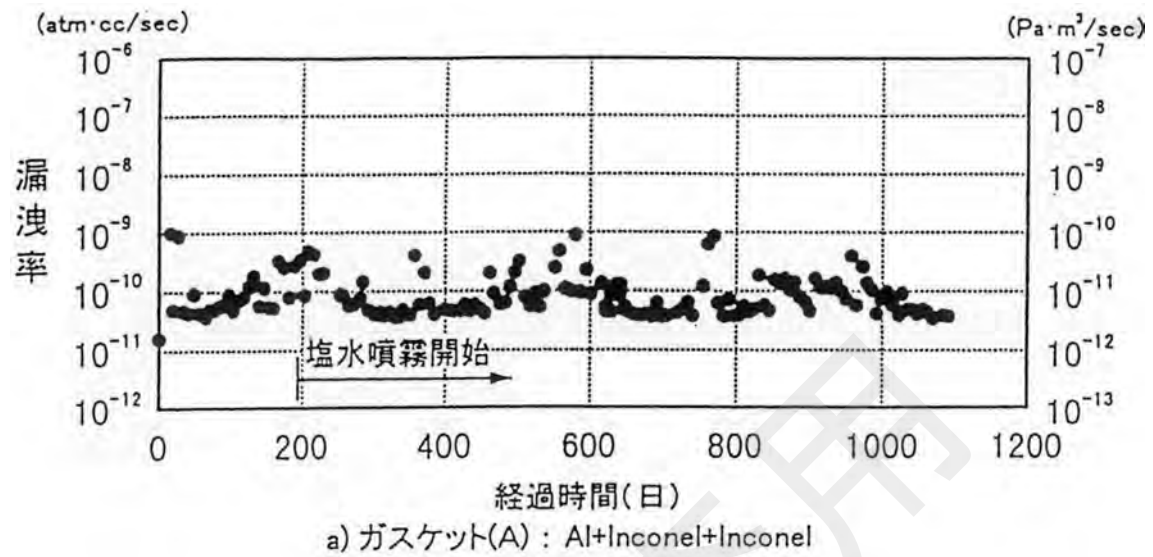


b) 一様伸び及び破断伸び

注記 PH : 析出硬化処理材, SA : 固溶化処理材

YS : 降伏点, UTS : 引張強さ, UE : 一様伸び, TE : 破断伸び

図 F.37-100 °C以下で照射されたインコネル®718 材の室温での
引張特性と照射量の関係⁽²⁸⁾



注記 金属キャスク蓋部縮小モデル（アルミニウム被覆及び銀被覆金属ガスケット並びにシリコンゴムOリング）に海水噴霧を行い、漏えい率の経時変化を測定。約3年を経過しているが、漏えい率に変化はない。

図 F.38—金属ガスケットの腐食影響評価結果⁽²⁹⁾

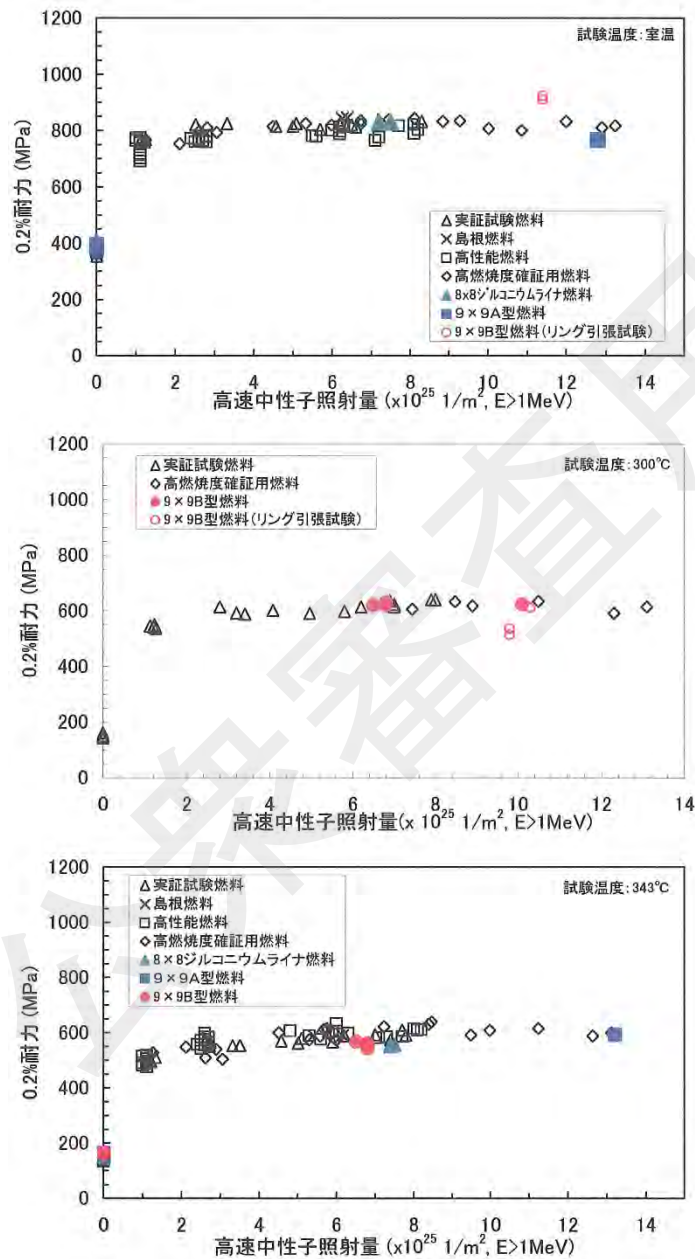


図 F.39—BWR 用燃料被覆管の 0.2 %耐力と高速中性子照射量の関係
(被覆管軸方向引張試験) (30)

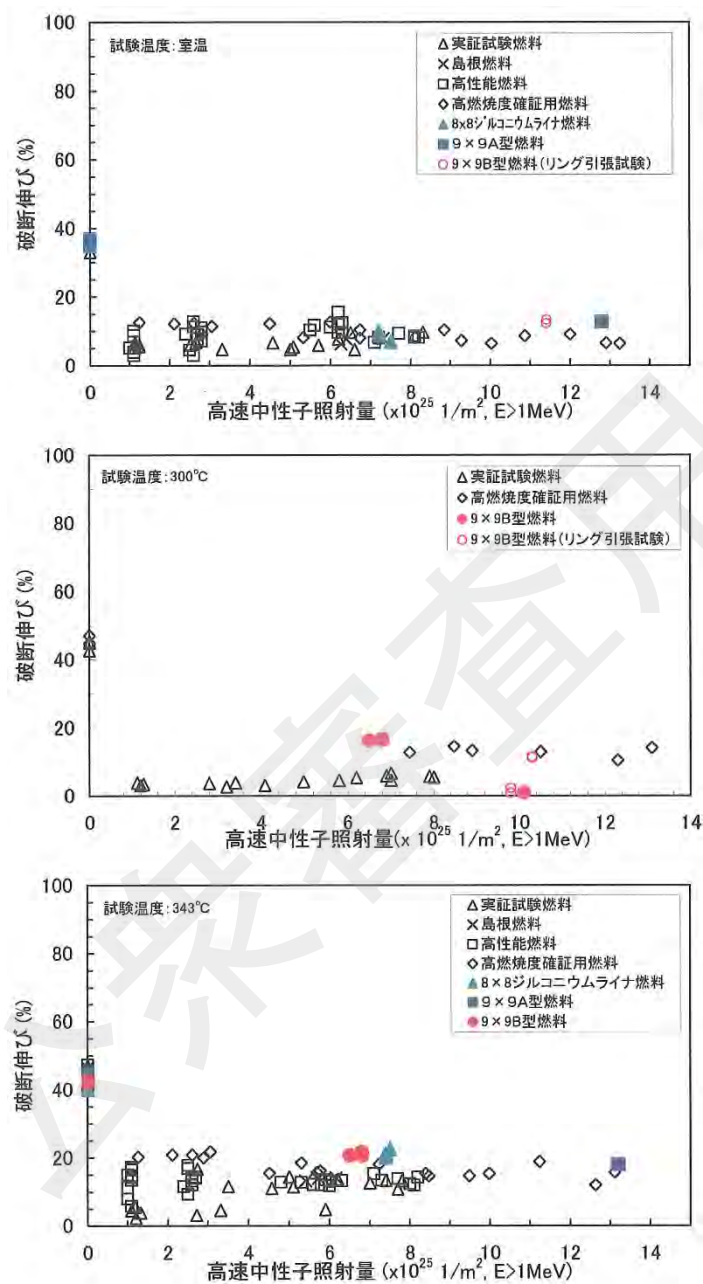


図 F.40—BWR 用燃料被覆管の破断伸びと高速中性子照射量の関係
(被覆管軸方向引張試験) (30)

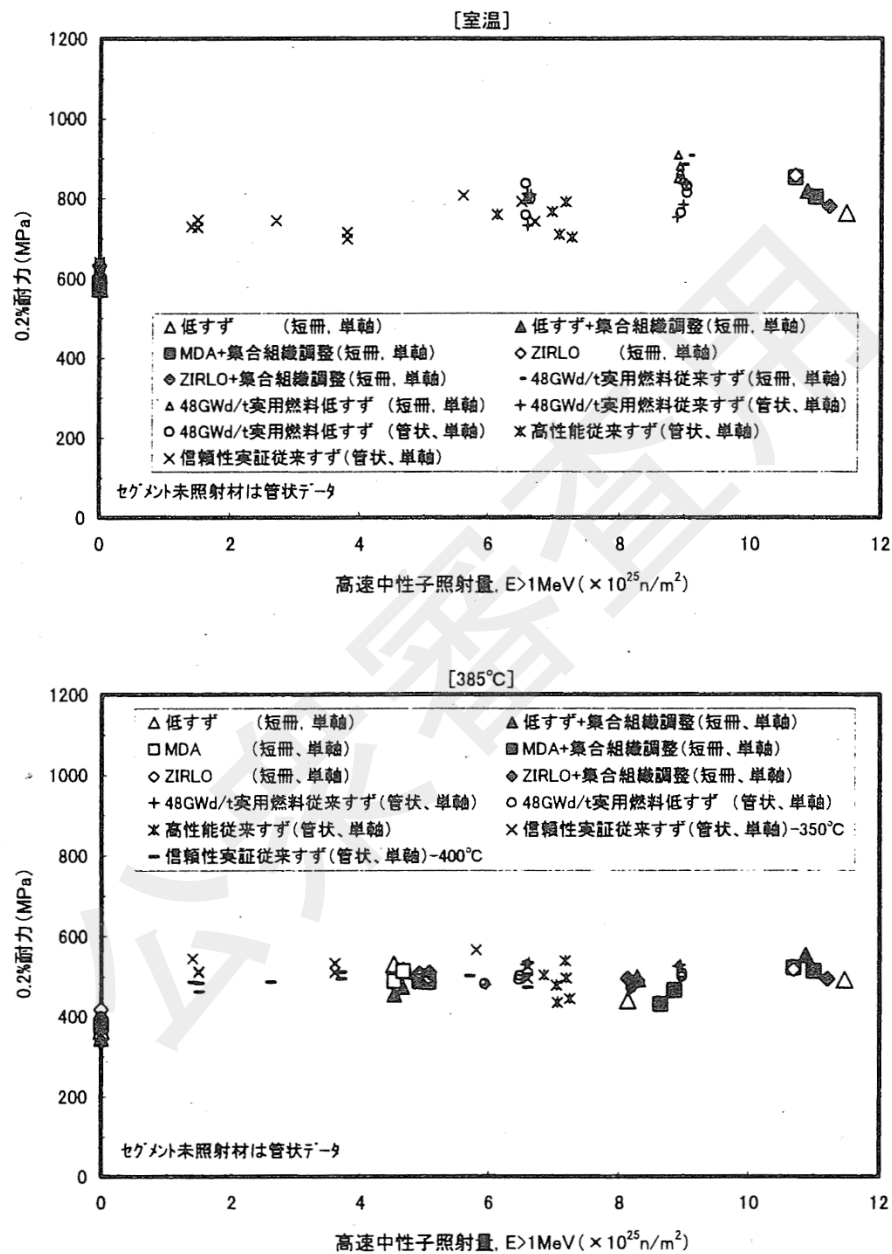


図 F.41—PWR 用燃料被覆管の 0.2 %耐力と高速中性子照射量の関係
(被覆管軸方向引張試験) (31)

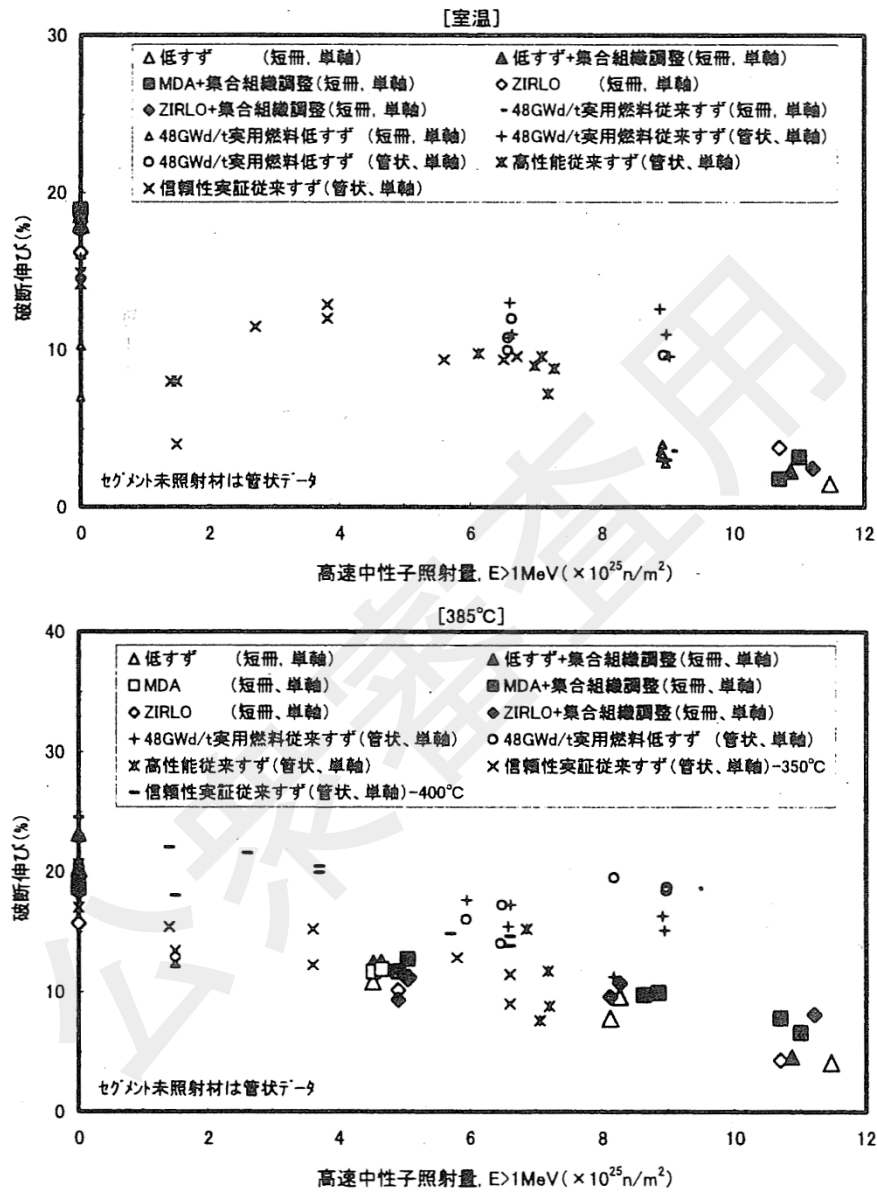


図 F.42—PWR 用燃料被覆管の破断伸びと高速中性子照射量の関係
(被覆管軸方向引張試験) (31)

附属書 G (規定)

中間貯蔵における金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法

序文

この附属書は、中間貯蔵を開始する前に、金属キャスク構成部材の長期健全性を確認する方法について規定する。

G.1 長期健全性確認の基本的な考え方

金属キャスクの構成部材は、長期健全性確認として、設計で要求する機能が設計評価期間を通じて維持できることを設計データによる評価によって確認しなければならない(4.1.4 参照)。

ここでは、設計で講じる方法によって、経年変化の影響を低減又は防止することを考慮するものとする。

長期健全性確認の評価に用いる設計データは、各劣化要因(例 温度、照射線量、腐食環境)に対して、金属キャスクの設計条件を包絡したものでなければならない。設計データは、構成部材の材質特性に係る要素試験、部分的に金属キャスクを模擬した確証試験、又は文献に基づくものでなければならない。

なお、設計データの取得に用いる試験体は、金属キャスクと同等の品質管理の下で製造したものでなければならない。

G.2 長期健全性確認を必要とする構成部材の選定

- a) 附属書 E によって、構成部材の特性、環境条件、貯蔵後輸送を含めた負荷条件を考慮し、文献及び設計データに基づき、経年変化を設計上考慮する必要がある部材を選定しなければならない。
- b) 経年変化を設計上考慮する必要がある部材のうち、経年変化量を計算によって容易に、かつ十分な安全裕度をもって評価できるもの(例 中性子吸収材の照射減量)は、その評価による確認を長期健全性確認としてもよいものとする。

G.3 金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法

金属キャスク構成部材の長期健全性確認において、附属書 E では、鉄鋼系材料は金属キャスクの使用条件の範囲で、熱、放射線照射の有意な影響を受けず、腐食については防錆措置を講じることによって経年変化の影響を低減又は防止することができている。しかし、アルミニウム合金及び特殊材料である樹脂材については、長期健全性確認に係る十分な設計データの蓄積がないため、ここでは、アルミニウム合金を用いるバスケット材及び中性子遮蔽材(レジン)の長期健全性の確認方法を規定する。

G.3.1 バスケット

バスケット材料は、乾式・不活性ガス環境で使用することを前提としているため、実際の設計における金属キャスク内部の湿分管理、残留酸素分を考慮して、それらの影響が無視できることを文献又は設計データによって確認しなければならない。

G.3.2 中性子遮蔽材（レジン）

G.3.2.1 遮蔽機能の確認

中性子遮蔽材の遮蔽機能の維持は、貯蔵後輸送時の搬出前検査において直接確認できるため、基本的に遮蔽機能に関して長期健全性を確認する必要はない。しかしながら、遮蔽設計で用いる中性子遮蔽材の原子個数密度の信頼性を確認するために、熱及び照射の影響による質量減損量及び水素減損量を次のように評価しなければならない。

- a) 熱及び照射の影響を文献又は設計データによって考慮しなければならない。
- b) 試験データに基づいて設計評価期間中の経年変化を外挿によって評価する場合は、試験データを経験的に整理して外挿の妥当性を説明できるだけの試験数及び試験期間を必要とする。
- c) 温度をパラメータとした試験データを内挿して、中性子遮蔽材の最高使用温度を設定する場合は、中性子遮蔽材の熱劣化機構が同等とみなせる温度範囲内での内挿でなければならない。

G.3.2.2 発生ガス、水分の影響の確認

熱及び照射によって発生するガス及び水分による金属キャスクの構造材及び伝熱フィン部の腐食に及ぼす影響、並びに中性子遮蔽体部の内圧上昇に及ぼす影響を考慮し、設計に反映しなければならない。

附属書 H (規定) 二重蓋構造における密封境界形成の考え方

序文

金属キャスクの密封機能に関する設計要求事項は、貯蔵時には金属ガスケットの採用、二重蓋構造と二重蓋間圧力監視及び金属キャスク内部の負圧維持によって密封機能を維持し、異常事象時には必要に応じて金属キャスクの補修を行い、貯蔵条件を満足できない場合においては、輸送できる状態とするまでの期間、金属キャスク内部を負圧に維持するものとする。また、輸送時には輸送要件に適合できる密封境界を維持するものとする。(4.2.1 b), 4.2.2 a) 1.3) 及び 4.2.2 b) 1.3) 参照)

この附属書は、このような設計を適用する金属キャスクの蓋部密封境界の形成方法について、密封機能異常時及び貯蔵後輸送に対する運用の考え方を規定する。

H.1 密封機能維持に対する基本的考え方

金属キャスクは二重蓋構造によって、二重蓋間圧力を正圧として圧力障壁を設け、金属キャスク内部を負圧とすることによって内部ガスを閉じ込めるとともに、貯蔵中、二重蓋間圧力を監視し、密封機能が維持されていることを確認しなければならない。

なお、貯蔵中に二重蓋間から基準漏えい率で気体が流入して金属キャスク内部の圧力は徐々に上昇するが、それを考慮しても貯蔵中はもとより貯蔵後の輸送時にも大気圧を超えないよう設計しなければならない。

二重蓋各々にシール部を設けて密封機能を二重化していることから、一方のシール部の機能が低下した場合でも、他方のシール部の機能は健全であると考ええるため、金属キャスクの内部ガスが放出されることはなく、また、修復措置を施すことによって貯蔵を継続する、又は中間貯蔵施設外に搬出するための措置を施すことによって輸送することができる。

このような密封境界形成及び二重蓋間圧力監視境界形成の手順を図 H.1 に示し、次のように運用しなければならない。

注 ¹⁾ 原子力発電所から中間貯蔵施設への輸送において、二次蓋にゴム O リングを取り付けて輸送し中間貯蔵施設搬入時に金属ガスケットに交換する方法、又はゴム O リングを取り付けた三次蓋を用いる方法が適用できる。それによって運用も異なる。ここでは、一次蓋及び二次蓋とも金属ガスケットとして輸送する場合を代表的なケースとして示す。

- a) 原子力発電所搬出時に 2 つの蓋とも貯蔵時の状態に仕立てておき、二重蓋間も設計で規定する圧力（正圧）に加圧する。中間貯蔵施設搬入時に二重蓋間圧力を確認し、検査仕様書で規定する圧力以下に低下していなければ両方の金属ガスケットは健全と判断できるので、圧力センサを接続してそのまま貯蔵する²⁾。

注 ²⁾ 中間貯蔵施設搬入時に圧力センサを取り付ける設計とすることもできる。

- b) 貯蔵中は圧力センサで二重蓋間圧力を連続監視する。また、圧力センサは定期的に校正して機能維持を図らなければならない。
- c) 二重蓋間圧力低下の警報が発出した場合は、二次蓋シール部の気密漏えい検査を行わなければならない。二次蓋が漏えいしている場合には、二次蓋を開いて金属ガスケットを交換し、二重蓋間圧力監視機能を修復して貯蔵を継続する。
- d) 前記気密漏えい検査で二次蓋シール部が健全な場合は、一次蓋シール部の漏えいであるから、中間貯蔵施設外へ搬出するための必要な措置を講じ、中間貯蔵施設外に搬出して一次蓋密封機能の修復又は使用済燃料を取出す措置を施さなければならない。

H.2 貯蔵後輸送時の密封境界形成の考え方

貯蔵後輸送時の密封境界形成の例として、二次蓋の金属ガスケットを新品の金属ガスケット若しくはゴム O リングに交換する、又は三次蓋を追加設置する若しくは二次蓋を溶封することによって密封境界を形成する方法がある。また、一次蓋の密封機能の異常が判明した場合の貯蔵後輸送では、三次蓋の取付け又は二次蓋の溶封によって新たな密封境界を設けなければならない。

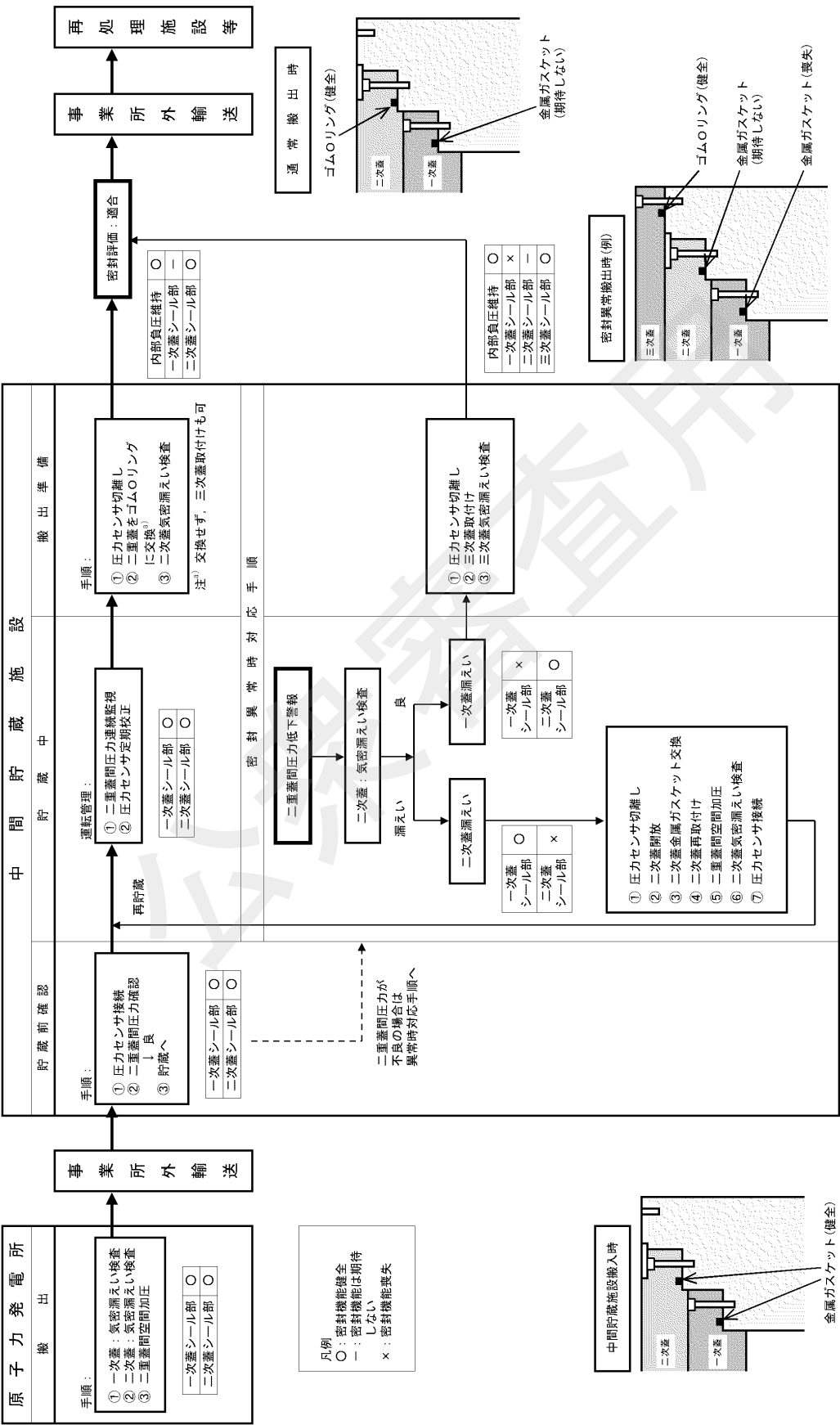


図 H.1 一密封境界形成及び二重蓋間圧力監視境界形成の考え方（貯蔵後輸送時にゴムリング等によって密封境界を形成）

附属書 I

(参考)

金属キャスク内部乾燥時の残留水分による燃料被覆管健全性評価例

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

この附属書は、金属キャスク内部乾燥時の制限残留水分が燃料被覆管の健全性に及ぼす影響を評価した例を示すものである。

I.1 燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量の計算例

4.2.1 b)に従って、水分を 10 % (質量) 以下に制限すれば、表 I.1 に示すように現在想定されている金属キャスクの設計例に基づき保守的に計算しても、燃料被覆管の酸化量や水素吸収量はわずかとなり、燃料被覆管の健全性に影響を与えることはない。また、残留空気中の酸素及び水素による酸化量及び水素吸収量は、無視できる程度である。

表 I.1－燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量の計算例

項 目			酸化量及び水素吸収量の計算例	
			B W R	P W R
評価条件	金属キャスク内部ガス組成	水分	10 % (質量)	
		酸素	1 % (質量) ^{a)}	
		窒素	3.33 % (質量) ^{a)}	
		水素	1×10^{-4} % (質量) ^{b)}	
		不活性ガス(He)	85.67 % (質量)	
	金属キャスク内部体積		5 m ³	
	金属キャスク内部ガス質量 ^{c)}	水分	100.9 g	
		酸素	10.1 g	
		窒素	33.6 g	
		水素	0.001 g	
		不活性ガス(He)	864.3 g	
		合計	1 008.9 g	
	燃料集合体型式		8×8 燃料集合体	14×14 燃料集合体
	使用済燃料収納体数		61 体	24 体
	燃料棒本数		60 本	179 本
	燃料被覆管外径		12.3 mm	10.7 mm
	燃料被覆管肉厚		0.86 mm	0.6 mm
	燃料有効長		3 708 mm	3 642 mm

	燃料有効部被覆管表面積	$5.2 \times 10^2 \text{ m}^2$	$5.3 \times 10^2 \text{ m}^2$
	燃料有効部被覆管体積	$4.1 \times 10^{-1} \text{ m}^3$	$3.0 \times 10^{-1} \text{ m}^3$
評価結果	燃料被覆管表面酸化減肉厚さ ^{d)}	0.08 μm	0.08 μm
	燃料被覆管中水素濃度 ^{e)}	4.2 ppm	5.8 ppm
注 a) 金属キャスク内部を 700 Pa まで減圧した後に、不活性ガスを充填した場合を仮定し、空気中の酸素量割合を 23.1 % (質量)、窒素量割合を 76.9 % (質量) として算出した酸素量は、不活性ガスを充填した後の金属キャスク内部全ガス量 (0 °C, 1 気圧と仮定) の 1 % (質量) となる。また、金属キャスク内部全ガス量の 1 % (質量) の酸素量を基準として算出した窒素量は、3.33 % (質量) となる。 b) 残留空気中の水素量を安全側に 1×10^{-4} % (質量) と仮定。 c) 金属キャスク内部ガス圧力を 0 °C, 1 気圧と仮定。 金属キャスク内部は 1 気圧以下の負圧に調整されているが、燃料被覆管と反応する酸素及び水素の質量を保守的に 1 気圧と仮定して算出。 d) 水分中の酸素及びガス中の酸素の全てがジルコニウムと反応すると仮定。 $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$, $\text{Zr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$ e) 水分中の水素及びガス中の水素の全てが燃料被覆管に吸収されると仮定。			

附属書 J

(参考)

金属キャスクの密封設計における使用済燃料の破損の仮定

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

J.1 密封設計における使用済燃料の破損の仮定

原子力発電所から直接、再処理施設へ使用済燃料を輸送する場合においては、本体に示すうちの輸送に係る安全設計及び検査を実施し、使用済燃料が健全であることを確認する¹⁾。このうちの検査について、発電所搬出時には、輸送容器への燃料収納前に使用済燃料の目視による健全性確認を行っている。

注 1) 健全燃料輸送を前提とし、金属キャスク内部を負圧とする設計の乾式輸送容器の場合。

中間貯蔵施設では、輸送貯蔵兼用の金属キャスクを用いることによって、使用済燃料を再処理施設等に輸送する際には、輸送容器への詰替えを行わないため、貯蔵後搬出前検査において使用済燃料を直接目視検査できない。しかし、貯蔵前輸送時、貯蔵期間中及び貯蔵後輸送時を通しての安全設計及び検査を実施するため、次の考慮によって、使用済燃料の健全性は確保できる。

- 原子力発電所において、原子炉での運転中のデータ、必要に応じ燃料集合体 SHIPPING 検査、外観検査によって燃料被覆管が健全であることが確認されたものを収納し、発電所搬出前検査として使用済燃料の目視による健全性確認を行う。
- 使用済燃料の詰替えを行わないことによって、詰替作業に伴う燃料への負担がない。
- 長期間の貯蔵による劣化要因を考慮し、使用済燃料の健全性を維持するよう設計し、貯蔵期間中の健全性を確保する。
- 貯蔵中には貯蔵期間中検査を行い、使用済燃料の貯蔵環境が設計で想定した範囲内であることを検査することによって、使用済燃料の健全性が維持されていることを確認する。

しかしながら、貯蔵後搬出前検査において使用済燃料の外観目視検査を実施しないこともあり、密封機能に更なる安全裕度をもたせるという観点から、密封設計に用いるソースタームとしてはある程度の使用済燃料の破損を仮定して設計することとする。

J.2 漏えい燃料の発生率

- a) **米国におけるキャスク貯蔵中の漏えい燃料発生率** 米国にて、乾式キャスク貯蔵の性能試験として、BWR 及び PWR の使用済燃料を装荷したキャスクの内部ガス及び姿勢を変えた除熱機能及び遮蔽機能のデータ取得並びに解析コードの検証が

行われた。性能試験で通常燃料の燃料棒 16 700 本中、2 本に Kr が検出され、燃料被覆管の漏えいが生じていた⁽¹⁾。性能試験終了後、乾式貯蔵が開始され、長期貯蔵時の使用済燃料の健全性評価として PWR の使用済燃料を装荷している同一キャスクの内部ガスを定期的に採取・分析しており、貯蔵から約 29 年経過しても、燃料被覆管の漏えいはないことが確認されている^{(2),(3)}。

以上の事例から、性能試験及び長期貯蔵を合わせて貯蔵とみなして、米国における貯蔵中の漏えい燃料発生率を、約 0.01 %とした。

また、その他の貯蔵の準備作業での事例として、真空乾燥時に 6 200 体の PWR 燃料集合体のうち 3 本の燃料被覆管に破損が生じた事例が米国ドミニオン社から報告されている⁽⁴⁾。

- b) 日本におけるキャスク貯蔵中の漏えい燃料発生率** 我が国で実施された使用済燃料の乾式貯蔵の健全性調査では、2 つの原子力発電所内で貯蔵している BWR 燃料（37 体用キャスク 4 基、52 体用キャスク 5 基、61 体用キャスク 15 基）について、貯蔵から約 5, 7, 10 及び 18 年経過後にそれぞれ一部のキャスクを開封して内部の使用済燃料を調査した結果、燃料被覆管の漏えいはないことが確認されている^{(5),(6)}。PWR 用燃料については実燃料の金属キャスクと同等の温度、圧力及び雰囲気模擬できる専用容器により PWR 燃料 2 体を乾式貯蔵する試験が計画されている。計画では、当初は 48 GWd/t 仕様の燃料集合体 1 体のみ、その 10 年後から 55 GWd/t 仕様の燃料集合体も追加して貯蔵し、貯蔵後 5 年毎に専用容器キャビティ部ガスをサンプリングして燃料被覆管の健全性を確認するもので、既に 48GWd/t 仕様の燃料集合体は 2017 年より貯蔵が開始された⁽⁷⁾。
- c) 日本における軽水炉運転中の漏えい燃料発生率** 乾式貯蔵中の環境条件に比べて、軽水炉運転中の方が燃料は厳しい環境に置かれている。参考として、我が国の軽水炉運転中の漏えい燃料の発生率を以下に示す。

- 1) BWR 1994～2006 年における漏えい燃料発生率 : 最大 6.9 ppm ⁽⁸⁾
- 2) PWR 1994～2006 年における漏えい燃料発生率 : 最大 3.7 ppm ⁽⁸⁾

J.3 長期貯蔵後の輸送における漏えい燃料の想定

J.2 より、長期貯蔵後の輸送における漏えい燃料発生率としては、米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率（約 0.01 %）、日本の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料がないこと及び日本の軽水炉運転中における漏えい燃料発生率（最大 6.9 ppm/0.000 69 %）を考慮し、事例における最も高い漏えい燃料発生率をもとに、さらに保守的な値として 0.1 %を想定する。

J.4 漏えい燃料発生の影響

- a) 破損形態** 燃料被覆管の酸化、水素化及び応力腐食割れによる劣化が貯蔵中に生じ

ることは考えにくく、長期貯蔵を経た使用済燃料の輸送時に、燃料被覆管に生じている破損の形態としては、ジルカロイの破壊機構である微小き裂孔のクリープ変形が想定される。

通常の貯蔵中の温度（約 300℃以下）及び応力条件（約 80 MPa）での燃料被覆管の支配的なクリープ変形モードは、**図 J.1** より粒界拡散クリープである。さらに、変形モードを温度及び応力レベルによる破壊モードでみると、前記貯蔵条件下では**図 J.2** の斜線部分（拡散支配キャビテーション）となり、機構的には**図 J.3** に示す結晶粒界で生じるボイド形成モードであり、結晶粒内ボイドは形成されないものとみられる。

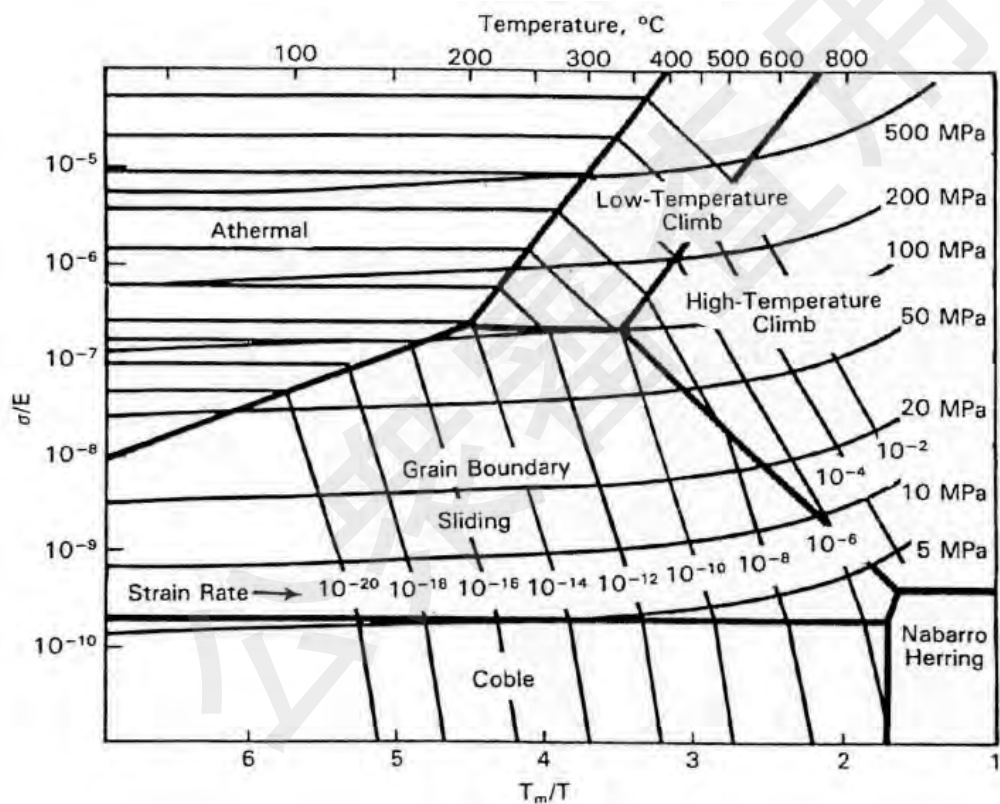


図 J.1—ジルカロイの変形マップ⁽⁹⁾

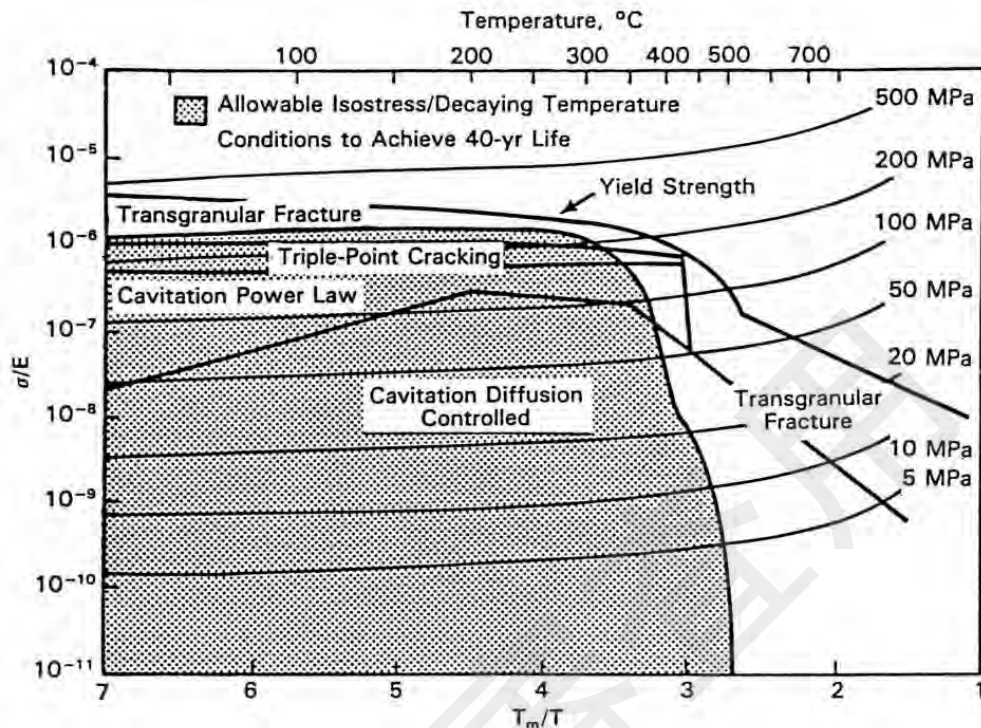


図 J.2—ジルカロイの破壊マップ⁽⁹⁾

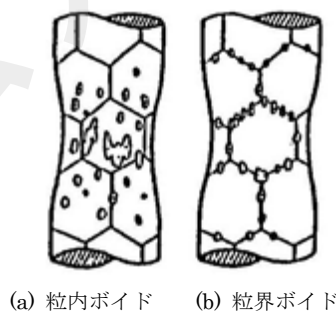


図 J.3—破壊機構（ボイド形成）⁽¹⁰⁾

したがって、仮に貯蔵後の輸送時に燃料被覆管の漏えい箇所の形状を想定する場合、ジルカロイの結晶粒は約 $5\ \mu\text{m}$ であるので、結晶粒界に沿って発生する微小なき裂孔を想定すればよい。米国の事例でも、Kr 検出量より燃料被覆管の貫通は極めて微小と推定されている⁽¹⁾。

なお、ボイド（き裂）が形成されれば、そこから燃料被覆管内部のガスが放出されて内圧が減少し燃料被覆管応力が低下するので、クリープ変形は停止するため、その

微小孔が広がることはない。

- b) **燃料被覆管の構造強度への影響** 燃料被覆管に生じる微小き裂の寸法は数 μm のオーダーと想定されるが、保守的に周方向長さ 0.5 mm の単一の貫通き裂があるとして、そのき裂が輸送時に燃料被覆管に作用する荷重によって進展・拡大するかどうかについて静的破壊靱性値 K_{IC} を用いた評価例を示す。

金属キャスクの標準的な緩衝体の設計に基づき、輸送時に金属キャスクに作用する加速度を**表 J.1** のように想定する。燃料被覆管のき裂にそれを拡大させるような引張応力が作用するのは水平落下時であるので、そのときにき裂先端近傍に生じる応力拡大係数 K_I が、燃料被覆管材料の静的破壊靱性値 K_{Ic} を上回らないことを確認する。応力拡大係数 K_I の計算は、無限板中き裂と仮定して次式⁽¹⁾による。

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

ここに、 σ : き裂に垂直に作用する引張応力 (MPa)

a : き裂の長さの半分 (mm)

計算結果例を表 J.2 に示す。表 J.2 にみられるように、この評価例では輸送時にき裂に作用する引張応力が最も大きくなる特別の試験条件の 9 m 水平落下時においても、き裂は進展することはない。したがって、輸送時において、燃料被覆管にき裂があったと仮定してもその破損は拡大しない。

表 J.1—輸送時に作用する加速度例

状 態	通常 輸送時	一般の試験条件 (0.3 m 落下)		特別の試験条件 (9 m 落下)	
		垂直落下	水平落下	垂直落下	水平落下
金属キャスク及び燃料被覆管 に作用する加速度 (G)	2	60	20	100	70

表 J.2—特別の試験条件におけるき裂進展検討例

燃料の種類	き裂の寸法 $2a$ (mm)	燃料被覆管に作用する加速度 (G)	き裂に垂直に作用する引張応力 (MPa)	き裂先端近傍の応力拡大係数 K_I (MPa $\cdot$ mm ^{0.5})	燃料被覆管材料の破壊靱性値 K_{IC} (MPa $\cdot$ mm ^{0.5})	検討結果
BWR	0.5	70	約 230	約 210	約 500 ^{a)}	$K_I \leq K_{IC}$ であるので、き裂は進展しない。
PWR			約 490	約 440	約 560 ^{b)}	

注 ^{a)} 文献(12)において、中性子照射量を 8×10^{21} cm⁻²、燃料被覆管温度を保守的に -20°C として与えられる値。
^{b)} 文献(13)において、中性子照射量を 2×10^{21} cm⁻² 以下、水素濃度を 100~500 ppm、燃料被覆管温度を 100°C 以下として与えられる値。

- c) **金属キャスク内部圧力及び温度への影響** 漏えい燃料は、ヘリウムより熱伝導率が低い核分裂生成ガスを金属キャスク内部に放出し、金属キャスク内部に圧力上昇と温度上昇をもたらす。代表的な金属キャスクの設計において、収納する燃料棒の0.1 %が漏えいを生じると仮定して、放出される核分裂生成ガスによる金属キャスク内圧及び温度への影響を解析すると、表 J.3 のようになる。

表 J.3 にみられるように、内圧の上昇はわずかで金属キャスク内部の負圧は維持され、金属キャスク本体の構造強度に与える影響は無視できる。また、燃料被覆管及びバスケットの温度上昇も 1℃以下とわずかであり、これらの健全性に与える影響は無視できる。

表 J.3—0.1 %燃料漏えい時の金属キャスク内部への影響解析例

燃料 の 種類	解 析 条 件					解 析 結 果		
	収 納 燃 料 仕 様				金属 キャスク の発熱量 (kW)	金属キャ スクの 内圧上昇 (MPa)	金属キャスク内部 の温度上昇(℃)	
	型 式	最大 燃焼度	冷却 期間	収納 体数			燃料被覆管	バスケット
BWR	新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料	40 GWd/t	5 年 以上	61 体	20	0.000 2	約 0.2	約 0.2
PWR	17×17 燃料	50 GWd/t	5 年 以上	21 体	20	0.000 4	約 0.4	約 0.2

- d) **金属キャスクの線量当量率への影響** 漏えい燃料が生じ、かつ、特別の試験条件に遭遇したと仮定しても、燃料被覆管のき裂は小さく、かつ、拡大しないため、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落・飛散することではなく、遮蔽評価上の金属キャスク内の放射線源の形状に変化がないことから、金属キャスクの線量当量率に変化はない。燃料被覆管から放出された核分裂生成ガスの線源移動があると仮定しても、その量はわずかであり、線量当量率に与える影響は無視できる。
- e) **金属キャスクの臨界防止性能への影響** 漏えい燃料が生じ、かつ、特別の試験条件に遭遇したと仮定しても、燃料被覆管のき裂は小さく、かつ、拡大しないため、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落・飛散することではなく、臨界評価上の金属キャスク内の燃料位置に変化がないことから、金属キャスクの臨界防止性能に変化はない。燃料被覆管から核分裂生成ガスの放出があると仮定しても、その量はわずかであり、臨界防止性能に与える影響は無視できる。

以上より、0.1 %の漏えいが生じたとしても、金属キャスクの除熱機能、遮蔽機能及び

臨界防止機能への影響は無視でき、また、使用済燃料についても漏えい孔以外の健全性に影響はない。したがって、0.1%の漏えい燃料収納時の安全設計においては、密封設計におけるソースタームのみを考慮し、その他の安全機能については健全燃料収納時と同じとすることでよい。

参考文献

- (1) M. A. McKinnon, A. L. Doherty, *Spent Nuclear Fuel Integrity During Dry Storage – Performance Tests and Demonstrations*, PNNL-11576, Pacific Northwest National Laboratory, (1997).
- (2) 笹原昭博, 三枝利有: “米国アイダホ研の乾式貯蔵使用燃料の長期健全性評価 - 金属キャスクのカバーガス分析評価 - ”, 電力中央研究所報告, L10017, 電力中央研究所, (2011) .
- (3) P. L. Winston, *GNS Castor V/21 Headspace Gas Sampling 2014*, Idaho National Laboratory, (2016).
- (4) Dominion, Nuclear Analysis and Fuel, “Used Fuel Storage Operating Experience at Dominion”, *NEI Used Fuel Management Conference*, Savannah, Georgia, May 2-4, 2017 (2017).
- (5) 輸送物技術顧問会, “使用済燃料中間貯蔵に係る貯蔵後輸送の安全性確保方策について”, 輸送物技術顧問会, (2010).
- (6) 経済産業省, “福島第一原子力発電所 乾式貯蔵キャスク全基の点検終了報告”
<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/130530/130530_03gg.pdf>
- (7) I. Fukuda, *Demonstration Test Program for Long-Term Dry Storage of PWR Spent Fuel*, IAEA-TECDOC-1878 "Demonstrating Performance of Spent Fuel and Related Storage System Components during Very Long Term Storage" ANNEX VI, International Atomic Energy Agency, (2019).
- (8) International Atomic Energy Agency, *Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors*, IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-2.1 (2010).
- (9) B. A. Chin, E. R. Gilbert, “Prediction of Maximum Allowable Temperatures for Dry Storage of Zircaloy-Clad Spent Fuel in Inert Atmosphere”, *Nuclear Technology*, American Nuclear Society, Vol.85, 57-65 (1989).
- (10) M. F. Ashby, C. Gandhi, D. M. R. Taplin, “Overview No.3, Fracture-Mechanism Maps and Their Construction for F.C.C. Metals and Alloys”, *Acta Metallurgica*, Pergamon Press, Vol.27, 700 (1979).
- (11) 日本機械学会, 日本機械学会 機械工学便覧 基礎編 応用編, 基礎編 A4 材料力学, 日本機械学会, A4-105 (1987).
- (12) ABB Combustion Eng. Inc. & Anatech Research Corp., *Fuel-Assembly Behavior under Dynamic Impact Loads Due to Dry-Storage Cask Mishandling*, EPRI NP-7419,

US-EPRI, (1991).

- (13) A. Machiels, *Fracture Toughness Data for Zirconium Alloy Application to Spent Fuel Cladding in Dry Storage*, 1001281, EPRI, (2001).

公眾圖書館

附属書 K
(参考)
断面積ライブラリ及び解析コード

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

K.1 断面積ライブラリ及び解析コード

本文中に記載した安全設計及び検査を実現するために、使用する断面積ライブラリ及び解析コードを選定する際の参考として、**表 K.1** に断面積ライブラリ及び解析コードの例を示す。

表 K.1ー断面積ライブラリ及び解析コードの例

項目	ライブラリ・コード
(1)断面積ライブラリ	
燃焼計算用断面積ライブラリ	ORIGEN ⁽¹⁾ 内蔵ライブラリ
遮蔽解析用断面積ライブラリ	DLC23 ⁽²⁾ SCALE ⁽³⁾ 内蔵ライブラリ SFCX-J33 ⁽⁴⁾ MATXSLIB ^{(4),(5),(6)}
臨界解析用断面積ライブラリ	HANSEN-ROACH 16 群 ^{(7),(8)} SCALE 内蔵ライブラリ
元の核データライブラリ	JENDL ^{(5),(9)} ENDF/B ⁽¹⁰⁾
(2)解析コード	
燃焼計算コード	ORIGEN DECANT ^{(11),(12)} (崩壊熱)
遮蔽解析コード	QAD ⁽¹³⁾ ANISN ^{(14),(15)} DOT ⁽¹⁶⁾ MCNP ^{(17),(18)} DORT ^{(19),(20)} TORT ⁽²¹⁾ PHITS ^{(22),(23)}
臨界解析コード	KENO ^{(24),(25)} (SCALE コードシステム) MCNP MVP ⁽²⁶⁾
伝熱解析コード	TRUMP ⁽²⁷⁾ Abaqus ^{(28),(29)} FLUENT ^{(30),(31)}
構造解析コード	NASTRAN ^{(32),(33)} ANSYS ^{(29),(34)} Abaqus LS-DYNA ^{(35),(36),(37)}
衝撃解析コード	CRUSH ⁽³⁸⁾ SHOCK ^{(39),(40)} LS-DYNA AUTODYN ^{(41),(42)}

参考文献

- (1) A. G. Croff, “*ORIGEN2 - A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code*”, ORNL-5621, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, (1980).
- (2) Oak Ridge National Laboratory - RADIATION SAFETY INFORMATION COMPUTATIONAL CENTER, “*CASK-81 22 Neutron, 18 Gamma-ray Group, P₃, Cross Sections for Shipping Cask Analysis*”, RSICC DATA LIBRARY COLLECTION, DLC-23 CASK81, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, (1987).
- (3) B. T. Rearden, M. A. Jessee, eds., “*SCALE Code System*”, ORNL/TM-2005/39, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, (2016).
- (4) 大西世紀, 中田幹裕, 小田野直光, 森島誠, 大村昌輝, 澤田健一, 近内亜紀子, 浅見光史, “²⁵²Cf 核分裂中性子源を用いた遮へい透過実験及び二次元離散座標計算コードによる輸送容器評価用断面積セット SFCX-J33 の適用性に関する研究”, 海上技術安全研究所報告, 第 7 巻, 第 3 号, (平成 19 年度) 研究報告.
- (5) K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, et al., “*Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3*”, J. Nucl. Sci. Technol., **39**[11], 1125-1136, (2002).
- (6) K. Kosako, N. Yamano, T. Fukahori, et al., “*The Libraries FSXLIB and MATXSLIB Based on JENDL-3.3*”, JAERI-Data/Code 2003-011, (2003).
- (7) G. E. Hansen, W. H. Roach, “*Six and Sixteen Group Cross-Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies*”, LAMS-2543, Los Alamos Scientific Laboratory, (1961).
- (8) R. M. Westfall, J. R. Knight, “*SCALE System Cross Section Validation with Shipping-Cask Critical Experiments*”, Submitted for Presentation to the American Nuclear Society San Francisco, California, November 11-16, (1979).
- (9) K. Shibata, O. Iwamoto, T. Nakagawa, et al., “*JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering*”, J. Nucl. Sci. Technol., **48**[1], 1- 30, (2011).
- (10) D. A. Brown, M. B. Chadwick, R. Capote, et al., “*ENDF/B-VIII.0: The 8th Major Release of the Nuclear Reaction Data Library with CIELO-project Cross Sections, New Standards and Thermal Scattering Data*”, Nuclear Data Sheets, **148**, 1-142, (2018).
- (11) 日本原子力学会「原子炉崩壊熱基準」研究専門委員会, “崩壊熱の推奨値とその使用法 (「原子炉崩壊熱とその推奨値」別冊)”, (1990).
- (12) 日本原子力学会「原子炉崩壊熱基準」研究専門委員会, “原子炉崩壊熱とその推奨値”, (1989).

- (13) V. R. Cain, “*A Users Manual for QAD-CG, the Combinatorial Geometry Version of the QAD-P5A Point Kernel Shielding Code*”, NE007, Bechtel Power Corp., (1977).
- (14) R. G. Soltesz, “*Revised WANL ANISN Program User’s Manual*”, WANL-TMI-1967, (1969).
- (15) K.KOYAMA, Y.TAJI, K.MINAMI, et al., “*ANISN-JR, A ONE-DIMENSIONAL DISCRETE ORDINATES CODE FOR NEUTRON AND GAMMA-RAY TRANSPORT CALCULATIONS*”, JAERI-M 6954, (1977).
- (16) Oak Ridge National Laboratory - RADIATION SAFETY INFORMATION CENTER, “*DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code*”, RSIC COMPUTER CODE COLLECTION, CCC-276, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, (1976).
- (17) X-5 Monte Carlo team, “*MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5*”, LA-UR-03-1987(Volume I), LA-CP-03-0245(Volume II), Los Alamos National Laboratory, (2008(Volume I)), (2003(Volume II)).
- (18) D. B. Pelowitz, eds., “*MCNP6™ USER’S MANUAL, Version 1.0*”, LA-CP-13-00634, Los Alamos National Laboratory, (2013).
- (19) W. A. Rhoades, R. L. Childs, “*The DORT Two-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code.*”, Nucl. Sci. Eng. **99**[1], 88-89, (1988).
- (20) B. L. Broadhead, J. S. Tang, R. L. Childs, et al., “*Evaluation of Shielding Analysis Methods in Spent Fuel Cask Environments*”, EPRI TR-104329, (1995).
- (21) W. A. Rhoades, D. B. Simpson, “*The TORT Three-Dimensional Discrete Ordinates Neutron/Photon Transport Code (TORT Version 3)*”, ORNL/TM-13221, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, (1997).
- (22) T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, et al., “*Particle and Heavy Ion Transport Code System, PHITS, Version 2.52*”, J. Nucl. Sci. Technol. **50**[9], 913-923, (2013).
- (23) 後神進史, “原子力規制庁長官官房技術基盤グループにおける PHITS コード改良”, RIST ニュース, No.62, (2017).
- (24) L. M. Petrie, N. F. Landers, “*KENO V.a: An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping*”, NUREG/CR-0200, Rev.6, **2**[F11], ORNL/NUREG/CSD-2/R6, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, (2000).
- (25) D. F. Hollenbach, L. M. Petrie, S. Goluoglu, et. al., “*KENO-VI: A GENERAL QUADRATIC VERSION OF THE KENO PROGRAM*”, ORNL/TM-2005/39 Version 6.1, (2011).
- (26) Y. Nagaya, K. Okumura, T. Mori, M. Nakagawa, “*MVP/GMVP II : General*

- Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods*", JAERI 1348, (2005).
- (27) A. L. Edwards, "*TRUMP: A Computer Program for Transient and Steady-State Temperature Distributions in Multidimensional Systems*", UCRL-14754, Rev.3, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California, (1972).
- (28) "*ABAQUS Analysis User's Manual*", Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, Rhode Island.
- (29) 幾島毅, 金衛敬興, 島田裕久他, "核燃料輸送容器熱・構造計算コードの比較検討", 日本原子力学会誌, **26**[9], 781-792, (1984).
- (30) "*ANSYS FLUENT User's Guide*", Release 19.2, ANSYS Inc. Canonsburg, Pennsylvania, (2018).
- (31) H. Yagihashi, J. Katayama, M. Hishida, "Study on Temperature Estimation Method of PWR Spent Fuel Cladding in Dry Storage", *Proc. the 18th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, Kobe, Japan, September 18-23, 2016.
- (32) "*The NASTRAN User's Manual*", SP-222(06), NASA, (1983).
- (33) "*The NASTRAN DEMONSTRATION PROBLEM MANUAL*", SP-224(03), NASA, (1978).
- (34) "*ANSYS, Inc. Release Notes 19.1*", ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, (2018).
- (35) "*LS-DYNA Theory Manual*", Livermore Software Technology Corporation.
- (36) 原子力安全基盤機構, "平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書", 04 基シ報-0007, 100-198, (2004).
- (37) M. R. Feldman, K. D. Handy, P. T. Singley, et. al., "Comparison of Analytical and Physical Testing Results for the DPP-2 Shipping Package", *Proc. the 14th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, Berlin, Germany, September 20-24, 2004.
- (38) 幾島毅, 浅田和雄, "放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発, (I) 緩衝体付き輸送容器衝突計算コード CRUSH", 日本原子力学会誌, **33**[4], 381-390, (1991).
- (39) V. K. Gabrielson, R. T. Reese, "*SHOCK CODE USER'S MANUAL A Computer Code to Solve the Dynamic Response of Lumped-Mass Systems*", SCL-DR 69-98, Sandia National Laboratory, (1969).
- (40) 幾島毅, 中里力, 下田収他, "SHOCK-JR: 核燃料輸送容器の衝撃解析プログラム", JAERI-M 83-010, 18,19,38-48, (1983).
- (41) N. Robertson, C. Hayhurst, G. Fairlie, "*Numerical simulation of impact and*

- fast transient phenomena using AUTODYNTM-2D and 3D* ", Nuclear Engineering and Design, **150**, 235-241, (1994).
- (42) "*ANSYS Autodyn user's manual version 18.1* ", ANSYS Inc., Canonsburg, Pennsylvania, (2017).

今泉家本堂

附属書 L
(規定)
金属ガスケットの漏えい率の設定方法

序文

この附属書は、金属キャスクの密封設計において、使用する金属ガスケットの経年変化を考慮した漏えい率の設定方法を規定するものである。

L.1 貯蔵中の金属ガスケットの漏えい率の設定

L.1.1 金属ガスケット使用条件

貯蔵時の密封設計では、貯蔵時密封境界として使用する一次蓋の金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率（設計評価期間経過後の金属キャスク内部圧力を負圧に維持できる漏えい率）以下であることを確認する。

このために、まず金属ガスケットの反発力の緩和によって漏えい率が過大にならない使用条件を確認する。

一般に金属ガスケットの反発力の緩和は、使用温度と時間によって決まるため、使用する金属ガスケットについて温度と時間をパラメータとして漏えい試験を行い、以下に示すように反発力の緩和の原因となるパラメータ（例 塑性変形率）とその結果の漏えい率をラーソン・ミラーパラメータ（以下、“*LMP*” という。）で整理する。

*LMP*は、次式で与えられる。

$$LMP = T \cdot (C + \log(t))$$

ここに、*LMP*：ラーソン・ミラーパラメータ

T：温度 (K)

C：定数 (—)

t：時間 (h)

定数 *C*は、試験結果をグラフに整理して *LMP*とパラメータ（例 塑性変形率）の関係が一本の線で表されるように設定する。例えば試験結果の塑性変形率が等しい二つの試験条件があったとすると、次のように二つの試験条件の *LMP*が等しくなるように *C*を定める。

$$LMP_1 = T_1 \cdot (C + \log(t_1))$$

$$LMP_2 = T_2 \cdot (C + \log(t_2))$$

$$LMP_1 = LMP_2$$

よって、

$$C = (T_2 \cdot \log(t_2) - T_1 \cdot \log(t_1)) / (T_1 - T_2)$$

*C*が決まれば、*LMP*に対して漏えい率をプロットし、漏えい率が上昇する *LMP*のしきい値を求め、設計評価期間中の金属ガスケットの最大の *LMP*がそのしきい値を下回ることを確認する。したがって、設計評価期間を定めれば、*LMP*の制限に従って、金属ガスケットの使用条件として、温度条件が設定されることになる。

L.1.2 基準漏えい率の設定

基準漏えい率は、設計評価期間中金属キャスク内を負圧に維持できる漏えい率とし、金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率を下回っていることを確認する。金属ガスケットにおける基準漏えい率の設定フローは、**図 L.1** に示すとおりであり、金属キャスクのシール部の設計仕様（温度、圧力、内部ガス、シール部の対象容積及び金属ガスケット形状）に基づき、漏えい率 Q_o （漏えい孔径 D ）をパラメータとして設計評価期間に対して繰返計算を行って設計評価期間後の金属キャスク内圧を求め、その値が所定圧力 P_r となる漏えい率 Q_o （漏えい孔径 D ）を標準状態に換算して基準漏えい率とする。設定した基準漏えい率は、使用する金属ガスケットが確保可能な密封性能（製品仕様値）及び貯蔵前漏えい検査の判定基準として確認可能な漏えい率（最大許容漏えい率）を上回るものでなければならない。

注 1) 大気圧の変動を考慮して設定する。

漏えい率計算に用いる漏えい孔のモデルとしては、**図 L.2** に示すシール部を最短で横切る丸孔を仮定し、漏えい孔中の流体の流れの形態としては、自由分子流と連続流を考慮して、漏えい率は次式で与えられる^{(1),(2)}。

$$Q = (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d) \cdot P_a \quad \text{----- (1)}$$

$$F_c^{2)} = \frac{\pi}{128} \cdot \frac{D^4}{a \cdot \mu} \quad \text{----- (2)}$$

$$F_m^{2)} = \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \cdot \frac{D^3 \sqrt{T_a/M}}{a \cdot P_a} \quad \text{----- (3)}$$

$$P_a = \frac{1}{2}(P_u + P_d) \quad \text{----- (4)}$$

注 2) ANSI N14.5 の記載式を理論式で表した。

ここに、 Q : 漏えい率 ($\text{MPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ at T_a)

F_c : 連続流の流動伝導係数 ($\text{m}^3/(\text{MPa} \cdot \text{s})$)

F_m : 自由分子流の流動伝導係数 ($\text{m}^3/(\text{MPa} \cdot \text{s})$)

P_u : 上流側の圧力(=蓋間ガス圧力(安全側に初期圧で一定とする)) (MPa)

P_d : 下流側の圧力(=金属キャスク内部圧力) (MPa)

P_a : 流れの平均圧力 (MPa)

D : 漏えい孔径 (m)

a : 漏えい孔長 (m) (金属ガスケットにおいては金属ガスケットとフランジなどのガスケット当たり面との接触長さとする。)

μ : ガスの粘性係数 ($\text{MPa} \cdot \text{s}$)

R_0 : 気体定数 ($\text{J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$)

T_a : 漏えい孔中のガス温度 (K)

M : ガスの分子量 (kg/mol)

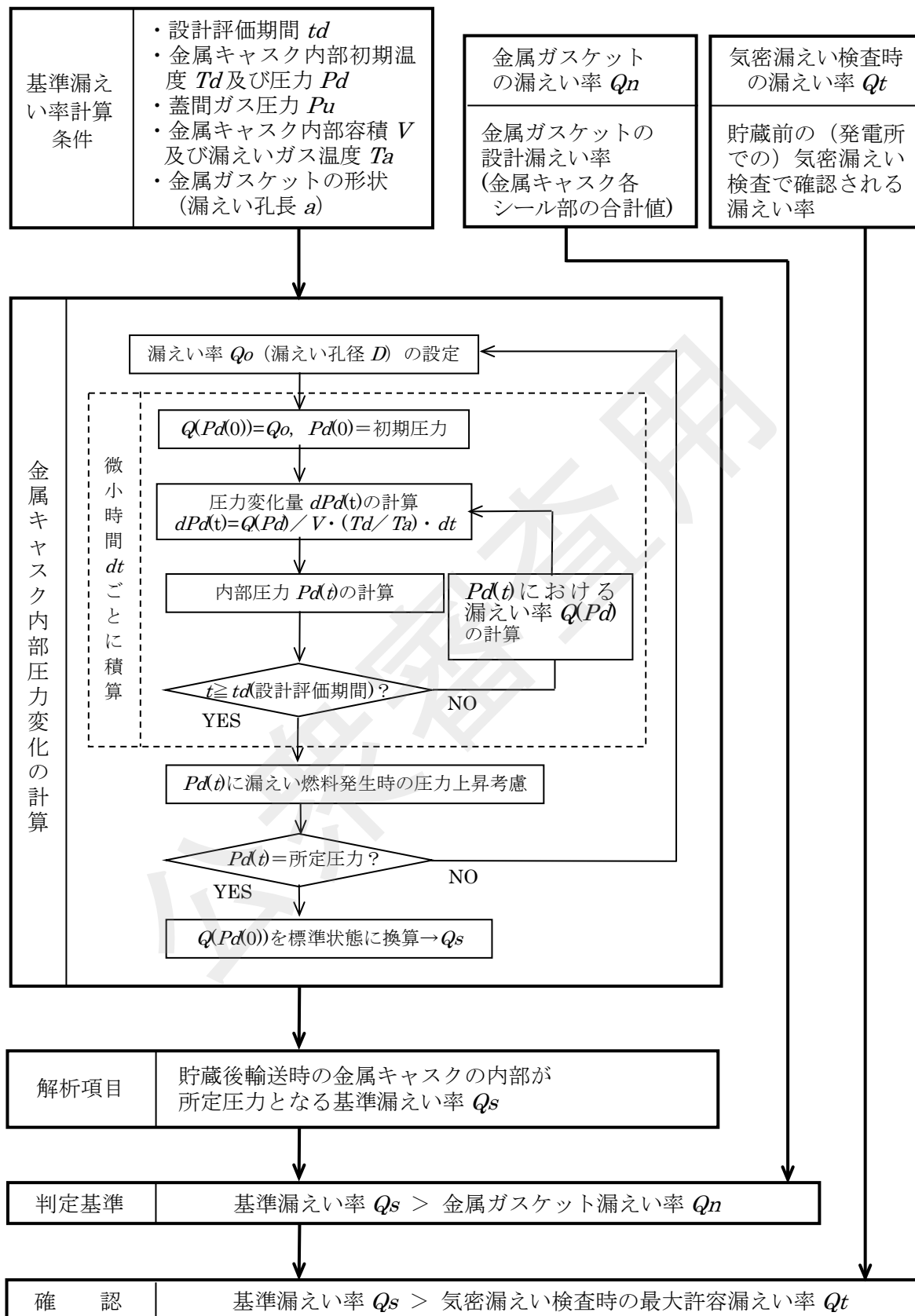


図 L.1ー基準漏えい率の設定フロー

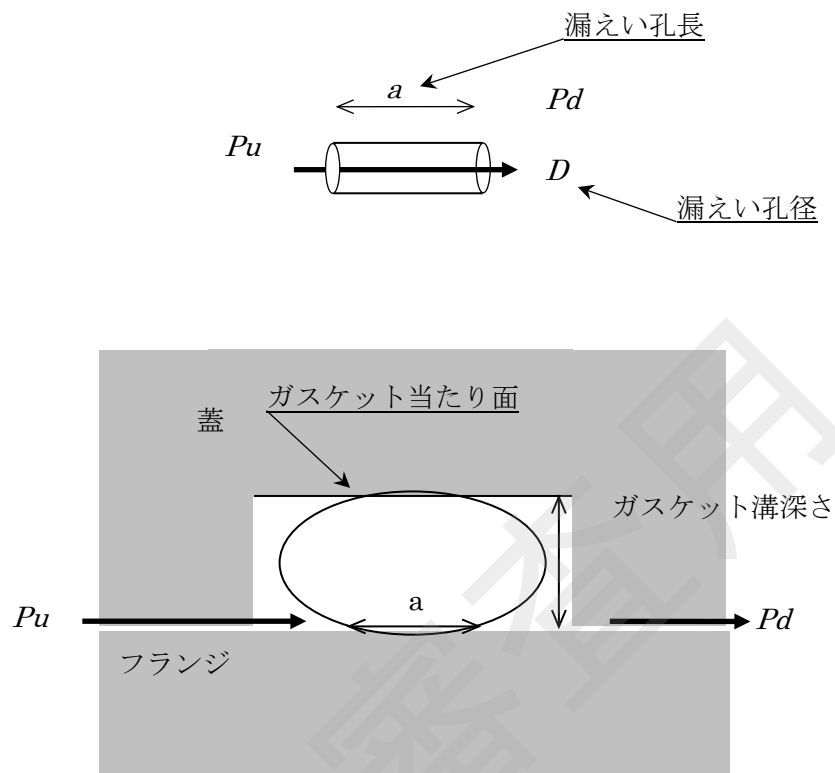


図 L.2-漏えい孔モデル

参考文献

- (1) Institute for Nuclear Materials Management, “*American National Standard for Radioactive Materials Leakage Tests on Packages for Shipment*”, ANSI N14.5-2014, American National Standards Institute, New York, 43, (2014).
- (2) “*Safe transport of radioactive materials - Leakage testing on packages*”, ISO 12807-1996, International Organization for Standardization, Genève, 74, (1996).

附属書 M
(参考)
金属ガスケットの漏えい率の設定例

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

この附属書は、漏えい率の設定例及び経年変化が長期貯蔵中の金属ガスケットの漏えい率に及ぼす影響について説明するものである。

M.1 貯蔵中の金属ガスケットの漏えい率の設定

M.1.1 基準漏えい率の設定

金属ガスケットの密封性能は、ラーソン・ミラーパラメータ（以下、“*LMP*”という。*LMP*は附属書 **L.1.1** の式を参照。）を制限することによって極めて低い初期の漏えい率を維持する。したがって、基準漏えい率は、設計評価期間中金属キャスク内を負圧に維持できる漏えい率とし、金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率を下回っていることを確認する。金属ガスケットにおける基準漏えい率の設定フローは、**図 L.1** に示すとおりであり、金属キャスクのシールの設計仕様（温度、圧力、内部ガス、シール対象容積及び金属ガスケット形状）に基づき設計評価期間に対して繰返計算を行って設定する。設定した基準漏えい率は、使用する金属ガスケットが確保可能な密封性能（製品仕様値）及び貯蔵前漏えい検査の判定基準として確認可能な漏えい率（最大許容漏えい率）を上回ることを確認する。

基準漏えい率の設定例を**表 M.1** に示す。

表 M.1－基準漏えい率の設定例

項 目		条件値及び計算結果	
評価条件	圧 力	金属キャスク内部 $Pd(0)$	8×10^4 Pa [abs] (初期)
		二重蓋間圧力(熱的平衡状態) Pu	4×10^5 Pa [abs]
		大気圧	9.7×10^4 Pa [abs]
	温 度	金属キャスク内部ガス Td	200 ℃
		漏えいガス温度(二重蓋間ガス, 最低使用温度を仮定) Ta	-13 ℃
		金属キャスク内部及び二重蓋間空間内部ガス	ヘリウム
	設計評価期間 td		60 年
	金属キャスク内部容積 V		4 m ³
	二重蓋間容積		0.02 m ³
	漏えい孔長 $a^a)$		0.004 6 m
計算結果	基準漏えい率 $Q_S^{b),c)}$		1.6×10^{-6} Pa・m ³ /s
	気密漏えい検査時の許容漏えい率 $Q_{t^{b)}}$		1.0×10^{-6} Pa・m ³ /s
	貯蔵 60 年後の金属キャスク内部圧力 ^{c)}		8.8×10^4 Pa [abs]
	貯蔵後輸送時の金属キャスク内部圧力 ^{d)}		9.1×10^4 Pa [abs]

注 ^{a)} 金属ガスケットの断面直径 d が 0.01 [m], ガスケット溝深さ H が 0.008 9 [m] とし, $a = \sqrt{d^2 - H^2}$ により求めた (下図参照)。

^{b)} 上流側圧力が 1×10^5 Pa [abs], 下流側圧力が 0 Pa [abs], 温度が 25 ℃ の状態に換算したときの漏えい率。

^{c)} 保守的解析とするため, 評価期間中の金属キャスク温度の低下を考慮せず。また, 二重蓋間圧力は金属キャスク内部への流入を無視し, 一定圧力として評価した。

^{d)} 一次蓋の密封機能は無視し, 仮想的な 0.1 % 漏えい燃料発生による内圧上昇 400 Pa [abs] を考慮 (表 J.3 参照)。

(漏えい孔長 a の計算式を示す概念図)

ガスケット断面直径
 d [m]

ガスケット溝深さ
 H [m]

漏えい孔長 $a = \sqrt{d^2 - H^2}$ [m]

M.1.2 経年変化する金属ガスケットの漏えい率への影響

貯蔵時の密封設計では, 使用する金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率以下であることを確認する。すなわち, 温度が比較的高温下にあるため, 長期貯蔵中の経年変化によって金属ガスケットの反発力が緩和することが考えられ, これによって漏えい率が過大にならない範囲に留まっていることを確認する必要がある。

金属ガスケットは, コイルスプリングと二重の被覆材(内被材, 外被材)から構成されている。密封性能は, 一番外側にある外被材をコイルスプリングの反発力でフランジ面に押し当てることで達成される。外被材には比較的柔らかい金属が用いられており, 長期間, 加熱

状態で使用されると、変形が進み、厚さが減少する。外被材の厚さが減少すると、圧縮されたコイルスプリングの変形が元に戻ることで、溝の中にある金属ガスケット全体での反発力が緩和する。金属ガスケットの漏えい率は、金属ガスケットの反発力に支配され、反発力の経時変化は、*LMP*で評価できる。

漏えい率については、(財)電力中央研究所にて実施された長期密封性能試験結果⁽¹⁾に基づいて整理された漏えい率、塑性変形率と *LMP* の関係 (図 M.1) によって設定するものとし、次にその考え方を示す。試験では、金属ガスケットの反発力が測定されていないことから、反発力と相関のある塑性変形率のデータを用いた。

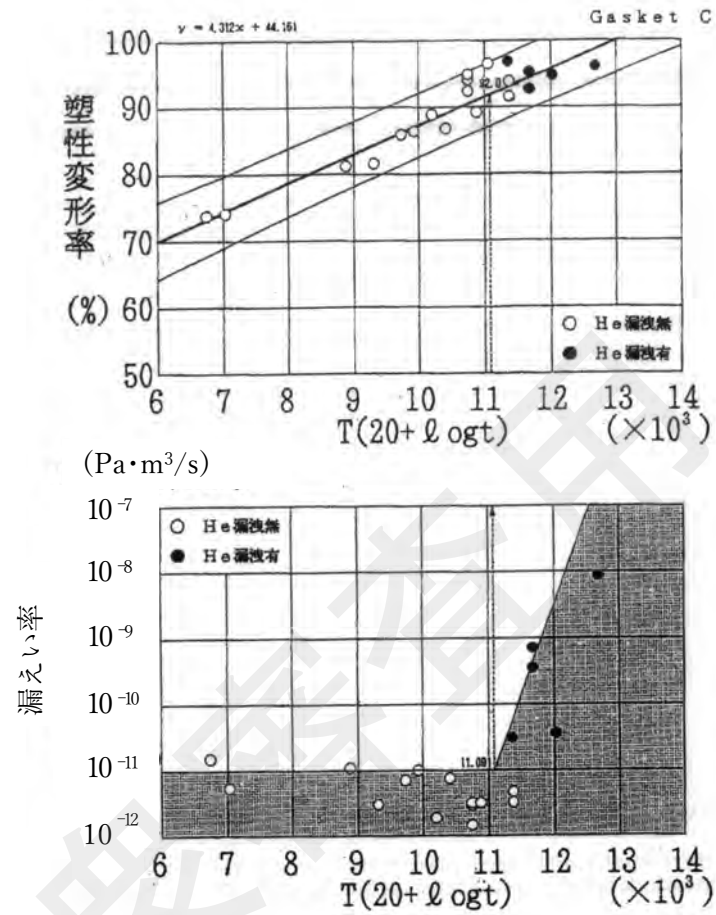
当該試験の金属ガスケットは、図 M.2 に示すようにコイルスプリングと二重の被覆材 (内被材: インコネル®, 外被材: アルミニウム) からなるタイプであり、フープ径は $\phi 176\text{ mm}$, 断面径は $\phi 5.5\text{ mm}$ である。キャスク用金属ガスケットの外被材には、アルミニウムと銀を用いる二つのタイプがあるが、本評価例では我が国で使用されているアルミニウム被覆ガスケットを対象とする。

図 M.1 の例では、金属ガスケットの漏えい率が $10^{-11}\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ を上回る漏えいは塑性変形率約 90 % 以上で生じており、これに対応する *LMP* は約 11×10^3 である。*LMP* ($C=20$) が約 11×10^3 を超えると漏えい率が増加する傾向があることから、このタイプの金属ガスケットを用いる場合は、金属ガスケットの *LMP* が約 11×10^3 を超えないように設計すれば、金属ガスケット反発力の緩和を考慮しても初期の漏えい率を維持できる。

金属ガスケットの温度を $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ とすると、漏えい率が $10^{-11}\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ を上回るまでの時間は、*LMP* から約 190 年となり、温度を $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ としても約 47 年となる。

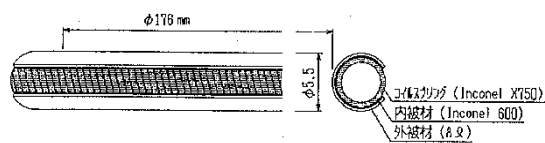
金属キャスクの設計評価期間は 40～60 年であり、シール部に過大な変形がなければ、基準漏えい率 (一般的には $10^{-6}\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 程度) は十分に維持される。

なお、*LMP* には、式中に定数 C が含まれている。*LMP* は材料特性を表すパラメータで、 C は材料によって決まる定数である。一方、金属ガスケットはコイルスプリングと二重の被覆材 (外被材、内被材) で構成されており、本設定例では金属ガスケット全体で C を決定し、評価に使用している。前述の(財)電力中央研究所にて実施された長期密封性能試験結果⁽¹⁾に基づいて評価した例では $C=20$ が最適値であることが示されている。定数 C の求め方として、金属ガスケットの塑性変形率を C をパラメータとして、線形近似線と実験結果の標準誤差を計算し、その標準誤差が最小になるケースの C を最適値としている。本標準ではこの値を採用する (図 M.3)。



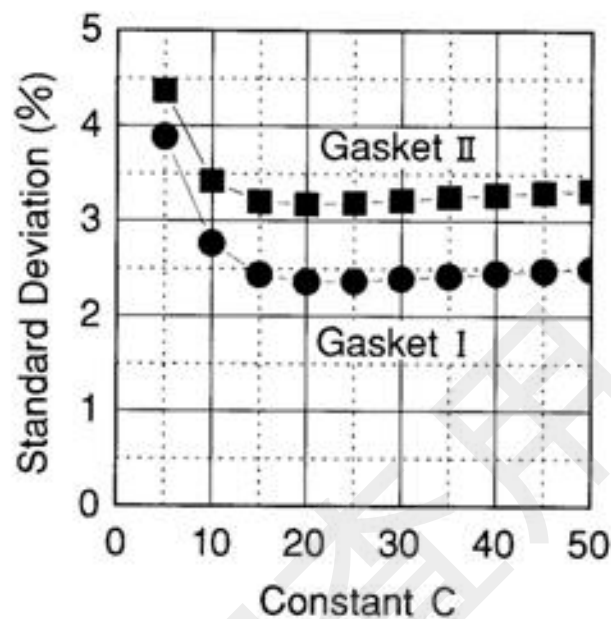
(外被材：アルミニウム)

図 M.1—塑性変形率，漏えい率と LMP ⁽¹⁾



(外被材：アルミニウム)

図 M.2—試験で使用された金属ガスケットの構造 ⁽¹⁾



Gasket I : 外被材 アルミニウム

Gasket II : 外被材 銀

注記 図中の Gasket I が対象とするガスケット

図 M.3—*LMP* の *C* と標準誤差の関係⁽²⁾

M.1.3 金属ガスケット長期密封性能試験

基準漏えい率は、高精度の気密漏えい検査（例 ヘリウムリーク試験）でなければ測定できない微小な値であるが、そのような漏えい率が長期間維持できることを加速試験によって確認している。（財）電力中央研究所では、経済産業省（開始当時：通商産業省）からの受託研究において、蓋部実物大モデルを用いた金属ガスケットの長期密封性能試験を実施した。M.1.2 の評価例ではアルミニウム被覆ガスケットを対象としたが、本試験ではアルミニウム被覆ガスケットと銀被覆ガスケットの両方で長期データが取得されている。

a) 長期密封性能試験の概要 試験モデルは、図 M.4 に示すような蓋部実寸モデルで、内部に貯蔵時温度を模擬するためのヒータがあり、2 タイプの金属ガスケットを用いている。金属ガスケットは、図 M.4 に示すようにコイルスプリングと二重の被覆材からなるタイプであり、フープ径は $\phi 1\,441\text{ mm}$ ～ $\phi 1\,767\text{ mm}$ 、断面径は $\phi 6.1\text{ mm}$ （外被材：アルミニウム）、 $\phi 10\text{ mm}$ （外被材：銀）である。試験装置は、図 M.5 に示すように、二次蓋シールの漏えい率をヘリウムリークディテクタで測定する。試験は、一つが平成 2 年 10 月、もう一つが平成 2 年 11 月に開始された。

試験結果を図 M.6 及び図 M.7 に示す。試験温度は、一次蓋シールで約 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、二次

蓋シールで 130～140 °C が保たれている。二次蓋の金属ガスケットは、試験終了時まで金属キャスクで想定する基準漏えい率 $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ を十分下回る $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ の漏えい率を維持した。

- b) **試験結果の解析** 試験は、2010 年 1 月に、約 19.4 年継続して終了しており、二次蓋金属ガスケットの密封機能は健全であった。ここで、これまでの試験結果から *LMP* によって貯蔵期間を計算すると二次蓋金属ガスケットの密封健全性が確認できた貯蔵期間と初期温度の範囲は、**図 M.8** に示すとおりであり、貯蔵期間 60 年に対して健全性を確認できた初期温度は、134 °C（Ⅰ型）及び 125 °C（Ⅱ型）である。

参考文献

- (1) 加藤治, 伊藤千浩, “使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性”, 電力中央研究所研究報告, U92009, (財)電力中央研究所, 5, 41 (1992).
- (2) 伊藤千浩, 加藤治, 三枝利有, “使用済燃料輸送・貯蔵キャスクの長期密封性能試験”, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.2, No.2, 158-162, (2003).
- (3) (財)電力中央研究所, “平成 21 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(中間貯蔵設備等長期健全性等試験)”, (2010.3.)(経済産業省委託事業) (一部追加) .

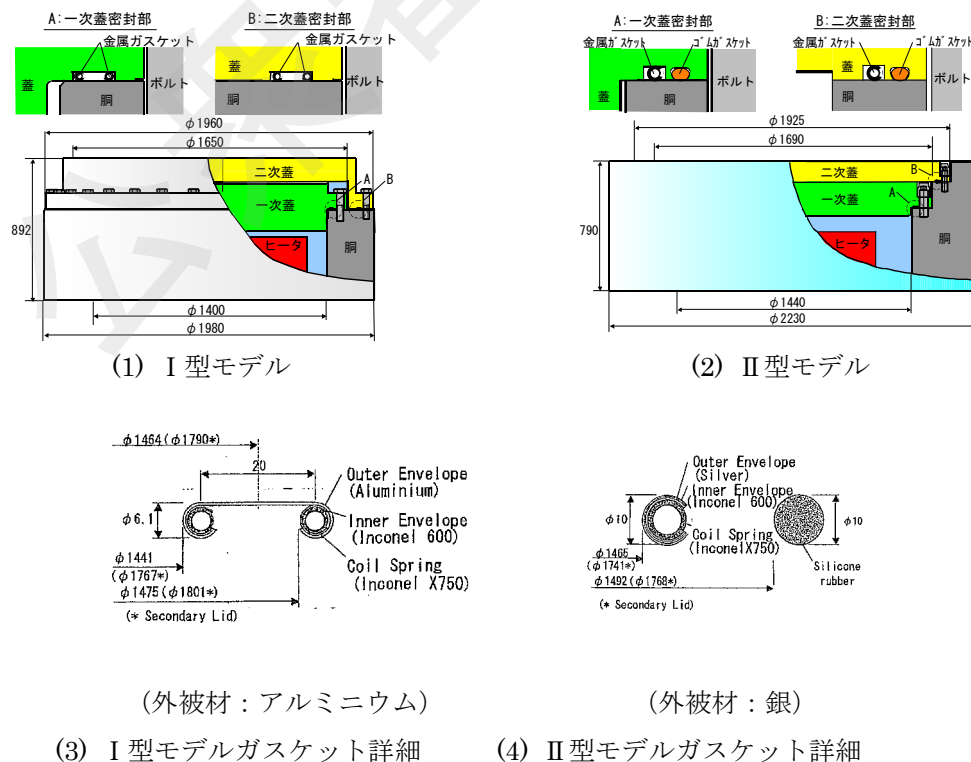


図 M.4ー試験モデルの形状・寸法 (3)

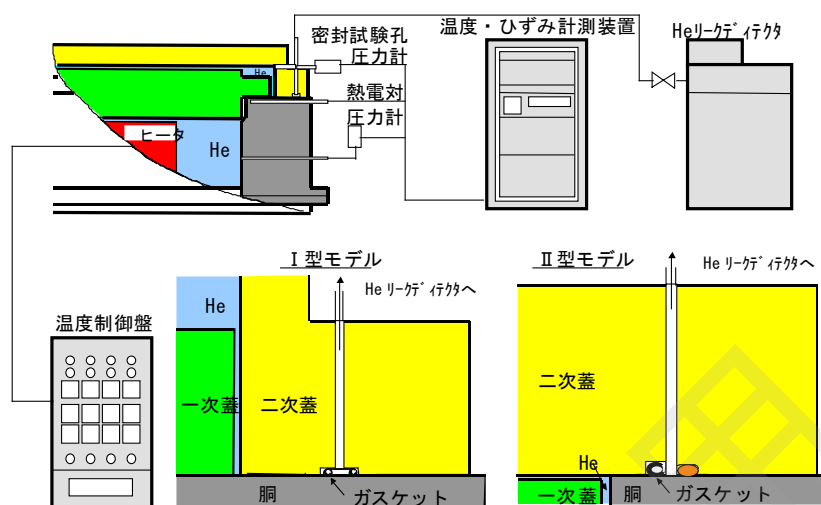
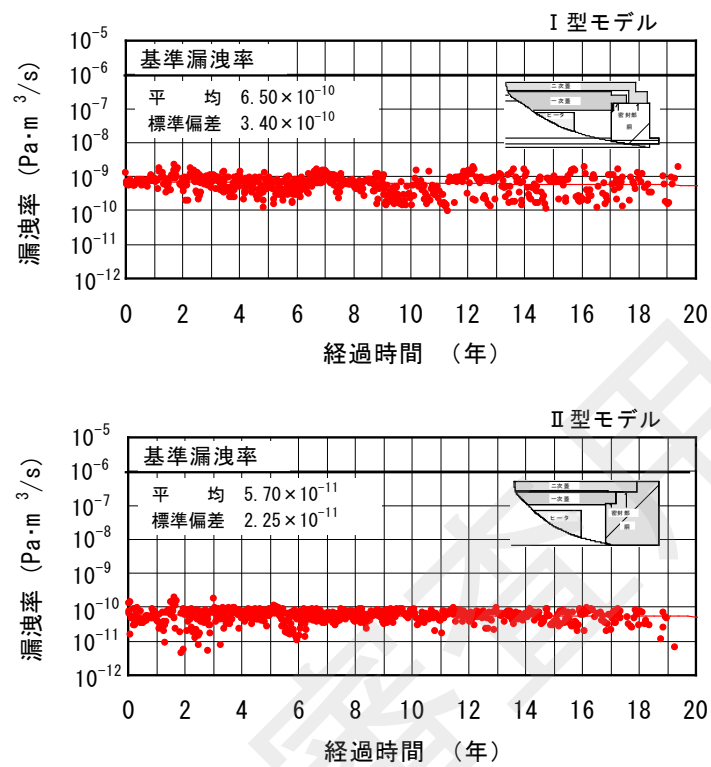


図 M.5ー金属ガスケットの長期密封性能試験の概要 (3)

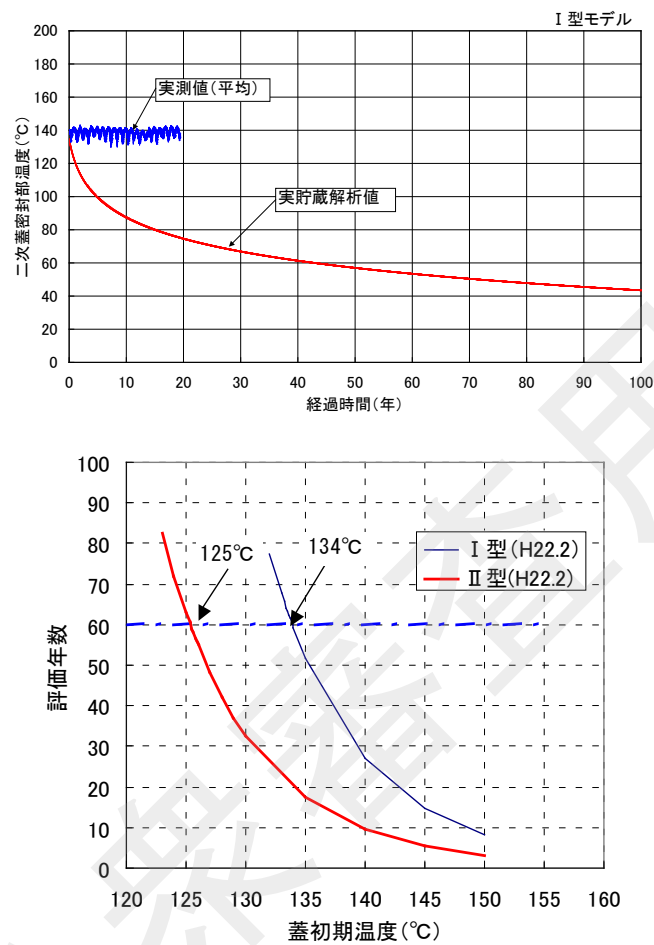
(外被材：I型モデル アルミニウム，II型モデル 銀)

図 M.6ー金属ガスケットの長期密封性能試験結果（温度の経時変化） (3)



(外被材：I 型モデル アルミニウム，II 型モデル 銀)

図 M.7ー金属ガスケット(二次蓋)の長期密封性能試験結果 (漏えい率の経時変化) ⁽³⁾



注記 評価に用いた温度履歴は、PWR17×17 燃料，燃焼度 43 GWd/t，5 年冷却の燃料集合体を 21 体収納する金属キャスクでの計算例である。

図 M.8—密封性能健全性の推定（2010 年 1 月）⁽³⁾

附属書 N (規定) 使用済燃料被覆管の制限値

序文

この附属書は、乾式状態で長期貯蔵中の使用済燃料の健全性に影響を与える因子であるクリープ、水素吸収、水素化物再配向及び照射硬化の回復現象を考慮して、燃料被覆管の制限値を設定する方法を規定するものである。

ここで規定する方法を用いて設定した制限値は、金属キャスクの輸送時においても適用する。

N.1 クリープによる制限

N.1.1 クリープひずみの累積量の制限値

燃料被覆管の健全性を確保するため、燃料被覆管のクリープひずみの累積量が設計評価期間を通して 1 %を超えてはならない（附属書 O 参照）。

N.1.2 クリープひずみの累積量の計算方法

燃料棒内圧によって生じる燃料被覆管のクリープひずみの累積量は、国内の実験によって得られた以下の計算方法を用いる。

- a) **BWR 用燃料被覆管** 燃焼度 47～50 GWd/t の燃料被覆管については、(独)原子力安全基盤機構の実験に基づく下記の使用済燃料被覆管クリープ式^①によって計算し、計算結果を 2 倍する（附属書 O 参照）。この式は、BWR 用ジルカロイ-2 燃料被覆管に対し、温度 420℃以下、周方向応力 300 MPa 以下において適用できる（附属書 O 参照）。

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \dot{\varepsilon}_s \cdot t \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}_s = \dot{\varepsilon}_{s,L} + \dot{\varepsilon}_{s,H} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_{s,L} = A_{s,L} \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{E}\right)^{n_{s,L}} \cdot \exp\left(-\frac{Q_{s,L}}{R \cdot T}\right) \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$A_{s,L} = 8.12 \times 10^{-2} \text{ (K/Pa/h)}, \quad n_{s,L} = 1.3, \quad Q_{s,L} = 1.28 \times 10^5 \text{ (J/mol)}$$

$$\dot{\varepsilon}_{s,H} = A_{s,H} \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{E}\right)^{n_{s,H}} \cdot \exp\left(-\frac{Q_{s,H}}{R \cdot T}\right) \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$A_{s,H} = 2.41 \times 10^{26} \text{ (K/Pa/h)}, \quad n_{s,H} = 7.7, \quad Q_{s,H} = 2.63 \times 10^5 \text{ (J/mol)}$$

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p^s (1 - \exp(-r \cdot t^n)) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$r = 1.64 \times 10^{-1}, \quad n = 4.65 \times 10^{-1}$$

$$\varepsilon_p^s = B_p \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_p}{E}\right)^{n_p} \cdot \exp\left(-\frac{Q_p}{R \cdot T}\right) \quad \text{-----} \quad (6)$$

$$B_p = 8.33 \times 10^{-2} \text{ (K/Pa)}, \quad n_p = 1.3, \quad Q_p = 7.71 \times 10^4 \text{ (J/mol)}, \quad \text{ただし } \varepsilon_p^s \leq 5.70 \times 10^{-3}$$

ここに、 ε : クリープひずみ (-)

ε_p : 一次クリープひずみ (-)

$\dot{\varepsilon}_s$: 二次クリープ速度 (1/h)

t : 時間 (h)

$\dot{\varepsilon}_{s,L}$: 低応力側機構による二次クリープ速度 (1/h)

$\dot{\varepsilon}_{s,H}$: 高応力側機構による二次クリープ速度 (1/h)

E : 縦弾性係数 (Pa)

T : 絶対温度 (K)

σ_θ : 周方向応力 (Pa)

R : 気体定数 (J/(mol·K))

$Q_{s,H}$ 及び $n_{s,H}$: 高応力側機構二次クリープ速度の活性化エネルギー (J/mol)
及び応力指数 (-)

$Q_{s,L}$ 及び $n_{s,L}$: 低応力側機構二次クリープ速度の活性化エネルギー (J/mol)
及び応力指数 (-)

$A_{s,H}$: 高応力側機構による二次クリープ速度の比例定数 (K/(Pa·h))

$A_{s,L}$: 低応力側機構による二次クリープ速度の比例定数 (K/(Pa·h))

ε_p^s : 飽和一次クリープひずみ (-)

r 及び n : 定数

B_p : 飽和一次クリープひずみの比例定数 (K/Pa)

Q_p 及び n_p : 飽和一次クリープひずみの活性化エネルギー (J/mol)
及び応力指数 (-)

燃焼度 0～47GWd/t の燃料被覆管については、(財)電力中央研究所の実験に基づく下記の未照射燃料被覆管クリープ式^②によって計算し、計算結果を 1.43 倍する（**附属書 O 参照**）。この式は、BWR 用ジルカロイ-2 燃料被覆管に対し、温度 320～425℃、周方向応力 178 MPa 以下において適用できる（**附属書 O 参照**）。

$$\varepsilon = \varepsilon_T^S [1 - \exp\{-\beta \cdot (\dot{\varepsilon}_S \cdot t)^n\}] + \dot{\varepsilon}_S \cdot t \quad (7)$$

$$\dot{\varepsilon}_S = 2.1 \times 10^9 \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \exp\left(\frac{2880\sigma_\theta}{E}\right) \cdot \exp\left(-\frac{53600}{R \cdot T}\right) \quad (8)$$

$$\varepsilon_T^S = 5.0 \times 10^{-10} \cdot \exp(0.0428 \cdot T) \cdot (\dot{\varepsilon}_S)^{0.00543T-2.603} \quad (9)$$

ただし, $\varepsilon_T^S \leq 0.06$

$$\beta = 2.24 \times 10^{10} \cdot \exp(-0.0275 \cdot T) \cdot \exp\left(-1200 \left(\frac{\sigma_\theta}{E}\right)\right) \quad \text{-----} \quad (10)$$

ここに, ε : クリープひずみ (-)	ε_T^S : 飽和遷移クリープひずみ (-)
β : 温度及び応力の関数 (-)	$\dot{\varepsilon}_s$: 定常クリープ速度 (1/h)
t : 時間 (h)	n : 定数 (=0.61)

E : 縦弾性係数 (kgf/mm²) T : 絶対温度(K)
 R : 気体定数 (cal/(mol・K)) σ_θ : 周方向応力 (kgf/mm²)¹⁾

注 1) 文献(2)内では周方向応力を σ と記載しているが、使用済燃料被覆管クリープ式 (式(1)～(6)) に合わせて周方向応力を σ_θ と記載する。

b) **PWR 用燃料被覆管** (独)原子力安全基盤機構の実験に基づく下記の評価式⁽¹⁾によって計算する。この式は、PWR 用低すずジルカロイ-4 及び従来すずジルカロイ-4 燃料被覆管に対し、温度 420℃以下、周方向応力 250 MPa 以下において適用できる。なお、以下の評価式から得られる値を使用済燃料被覆管クリープ式 (燃焼度 30～53 GWd/t) では 1.55 倍、未照射燃料被覆管クリープ式 (燃焼度 0～30 GWd/t) では 1.28 倍する (附属書 O 参照)。

$$\varepsilon = \varepsilon_p^s + \dot{\varepsilon}_s \cdot t \quad \text{-----} \quad (11)$$

$$\dot{\varepsilon}_s = \dot{\varepsilon}_{s,L} + \dot{\varepsilon}_{s,H} \quad \text{-----} \quad (12)$$

$$\dot{\varepsilon}_{s,L} = A_{s,L} \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{E}\right)^{n_{s,L}} \cdot \exp\left(-\frac{Q_{s,L}}{R \cdot T}\right) \quad \text{-----} \quad (13)$$

(燃焼度 30～53GWd/t) $A_{s,L}=4.04 \times 10^1$ (K/(MPa・h)), $n_{s,L}=0.48$,
 $Q_{s,L}=109.9 \times 10^3$ (J/mol)

(燃焼度 0～30GWd/t) $A_{s,L}=2.51 \times 10^9$ (K/(MPa・h)), $n_{s,L}=1.69$,
 $Q_{s,L}=156.0 \times 10^3$ (J/mol)

$$\dot{\varepsilon}_{s,H} = A_{s,H} \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{E}\right)^{n_{s,H}} \cdot \exp\left(-\frac{Q_{s,H}}{R \cdot T}\right) \quad \text{-----} \quad (14)$$

(燃焼度 30～53GWd/t) $A_{s,H}=2.50 \times 10^{35}$ (K/(MPa・h)), $n_{s,H}=7.39$,
 $Q_{s,H}=297.7 \times 10^3$ (J/mol)

(燃焼度 0～30GWd/t) $A_{s,H}=1.70 \times 10^{34}$ (K/(MPa・h)), $n_{s,H}=6.12$,
 $Q_{s,H}=313.7 \times 10^3$ (J/mol)

$$\varepsilon_p^s = B_p \cdot \left(\frac{E}{T}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{E}\right)^{n_p} \cdot \exp\left(-\frac{Q_p}{R \cdot T}\right) \quad \text{-----} \quad (15)$$

(燃焼度 30～53GWd/t) $B_p=6.58 \times 10^4$ (K/MPa), $n_p=1.29$, $Q_p=77.2 \times 10^3$ (J/mol)

(燃焼度 0～30GWd/t) $B_p=1.34 \times 10^7$ (K/MPa), $n_p=1.75$, $Q_p=80.6 \times 10^3$ (J/mol)

ここに、 ε : クリープひずみ (-)

ε_p^s : 飽和一次クリープひずみ (-)

$\dot{\varepsilon}_s$: 二次クリープ速度 (1/h)

t : 時間 (h)

$\dot{\varepsilon}_{s,L}$: 低応力側機構による二次クリープ速度 (1/h)

$\dot{\varepsilon}_{s,H}$: 高応力側機構による二次クリープ速度 (1/h)

σ_θ : 周方向応力 (MPa)

E : 縦弾性係数 ($=1.148 \times 10^5 - 59.9 \times T$) (MPa)

R : 気体定数 (8.3144 (J/(mol·K)))

T : 絶対温度 (K)

$Q_{s,H}$ 及び $n_{s,H}$: 高応力側機構二次クリープ速度の活性化エネルギー (J/mol)
及び応力指数 (-)

$Q_{s,L}$ 及び $n_{s,L}$: 低応力側機構二次クリープ速度の活性化エネルギー (J/mol)
及び応力指数 (-)

$A_{s,H}$: 高応力側機構による二次クリープ速度の比例定数 (K/(Pa·h))

$A_{s,L}$: 低応力側機構による二次クリープ速度の比例定数 (K/(Pa·h))

Q_p 及び n_p : 飽和一次クリープひずみの活性化エネルギー (J/mol)
及び応力指数 (-)

B_p : 飽和一次クリープひずみの比例定数 (K/Pa)

N.2 水素吸収に関する考慮

水素吸収が燃料被覆管の機械的特性に与える影響を考慮する必要がある。ただし、BWR 燃料については、燃料被覆管が低 Fe 濃度(0.17%(質量)未満)、低 Si 濃度(50 ppm 未満)の材料であり、かつ、照射期間が 2000 日を超える燃料は、この標準の対象としない(附属書 O 参照)。

N.3 水素化物再配向による制限

設計評価期間中に水素化物再配向によって燃料被覆管の機械的特性が劣化しない条件で貯蔵しなければならない。設計評価期間中に水素化物再配向によって燃料被覆管の機械的特性が劣化しない条件を以下に規定する(附属書 O 参照)。

a) BWR 用燃料被覆管

- 1) 高燃焼度用燃料(ライナあり)の場合、周方向応力が 70 MPa 以下で 300℃以下。
- 2) ライナなし燃料の場合、周方向応力が 70 MPa 以下で 200℃以下。

b) PWR 用燃料被覆管 周方向応力が 100 MPa 以下で 275℃以下。

N.4 照射硬化の回復現象による制限

燃料被覆管の強度計算においては照射硬化した燃料被覆管の強度を用いることができる。

ただし、金属キャスクに収納する使用済燃料の被覆管温度が、焼きなまし効果によって照射硬化が回復し、強度が低下する温度範囲になる場合、燃料被覆管の強度計算に当たっては、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下を考慮する必要がある。ただし、BWR 用燃料被覆管については 270℃以下、PWR 用燃料被覆管については 300℃以下では照射硬化の回復の可能性は小さい(附属書 O 参照)。

N.5 燃料収納時の内部乾燥における制限

燃料収納時の金属キャスク内部の乾燥は、収納した使用済燃料の被覆管温度が **N.1**, **N.3** 及び **N.4** に示す燃料被覆管温度制限値、及び設計基準とする燃料被覆管強度に相当する照射硬化の回復が生じる温度を超えないように実施しなければならない。

参考文献

- (1) (独)原子力安全基盤機構, “平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験 (燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書)”, (2004).
- (2) 黛正己, 吉鋪信也, 安田隆芳, 中司雅文, “乾式貯蔵時の BWR 燃料被覆管許容温度の検討”, 電力中央研究所研究報告, T88068, (財)電力中央研究所, (1989).

附属書 O
(参考)
使用済燃料被覆管の制限値に関するデータ

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

この附属書は、**附属書 N**に示す燃料被覆管の制限値に関連するデータを示している。

O.1 クリープによる制限

O.1.1 クリープひずみの累積量の制限値

高温では、材料の降伏強度以下でも徐々に塑性変形（クリープ）が生じ、この変形量（クリープひずみの累積量）が限界を超えると破断する。このため、クリープひずみの累積量に制限値を設けることによって、燃料被覆管の健全性を確保する。

(独)原子力安全基盤機構によって、国内で照射された BWR50 GWd/t 燃料, PWR48 GWd/t 燃料の照射済ジルカロイ-2, ジルカロイ-4 燃料被覆管を用いたクリープ試験が実施されており、クリープ速度が増加し破断に至る三次クリープへ移行するクリープひずみの累積量は、使用済燃料被覆管では 1 %以上であることが確認されている⁽¹⁾ (**図 O.1** 及び **図 O.2**)。したがって、クリープひずみの累積量が設計評価期間を通して 1 %を超えないように制限する。

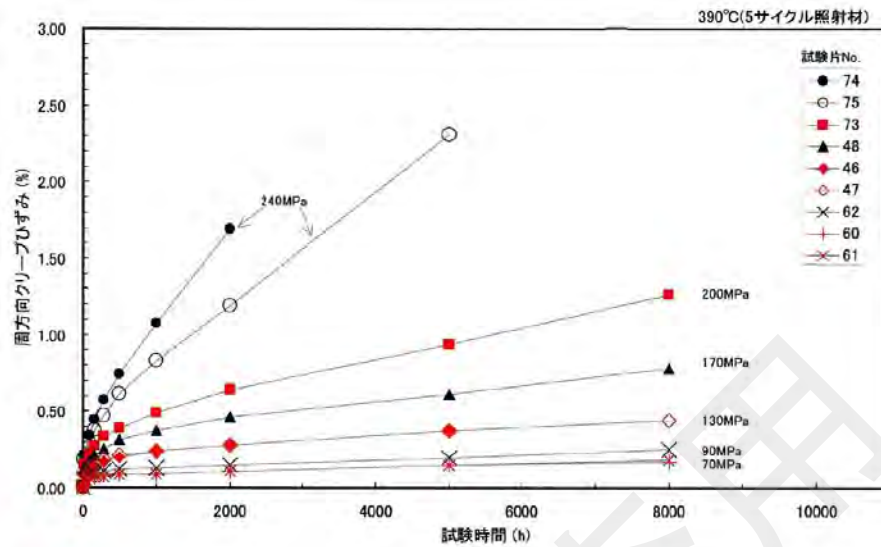
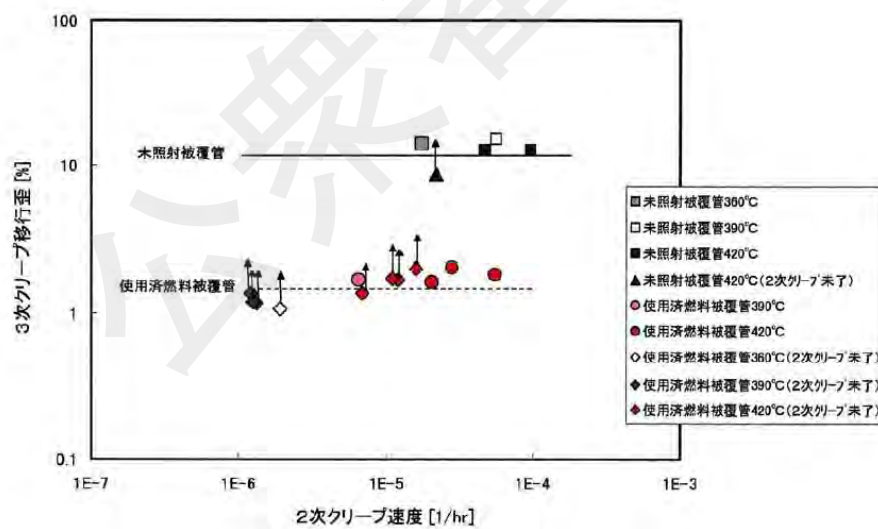


図 O.1—BWR 使用済燃料被覆管のクリープ曲線⁽¹⁾



注記 三次クリープに移行していない条件のプロット点には矢印を付し、三次クリープ移行ひずみがより大きいひずみであることを示している。

図 O.2—PWR 使用済燃料被覆管の三次クリープ移行ひずみと二次クリープ速度の関係⁽¹⁾

O.1.2 クリープひずみの累積量の計算方法

- a) **BWR 用燃料被覆管** 照射材のクリープを、(財)電力中央研究所の実験に基づく未照射燃料被覆管クリープ式²⁾ (**附属書 N** の式(7)～(10)) を用いて評価を行うことは、安全側の結果 (**図 O.3** 及び **図 O.4**) を与える。

また、実験データの不確かさを考慮して、評価式から得られる値を使用済燃料被覆管クリープ式 (燃焼度 47～50 GWd/t) では 2 倍¹⁾、未照射燃料被覆管クリープ式 (燃焼度 0～47 GWd/t) では 1.43 倍¹⁾する。なお、未照射燃料被覆管クリープ式は、燃料被覆管温度が 320℃～425℃²⁾、周方向応力が 178 MPa 以下の領域で適用する。

注 1) 二次クリープ領域のクリープひずみの上側 95%信頼区間として評価された値である¹⁾。

2) 320℃程度より低い温度領域で、クリープひずみの累積量が低温部で大きくなるという逆転が生じる³⁾。

- b) **PWR 用燃料被覆管** 実験データの不確かさを考慮して、評価式 (**附属書 N** の式(11)～(15)) から得られる値を使用済燃料被覆管クリープ式 (燃焼度 30～53 GWd/t) では 1.55 倍³⁾、未照射燃料被覆管クリープ式 (燃焼度 0～30 GWd/t) では 1.28 倍³⁾する。

注 3) クリープひずみ (一次クリープ+二次クリープ) の確からしさを 95 %とし、95%信頼区間の上側として評価された値である。

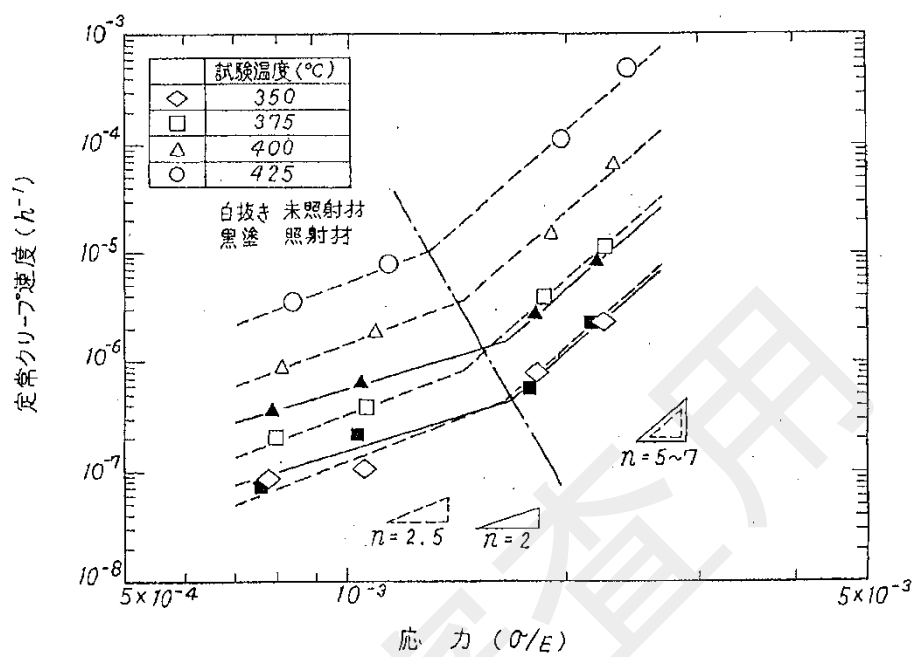
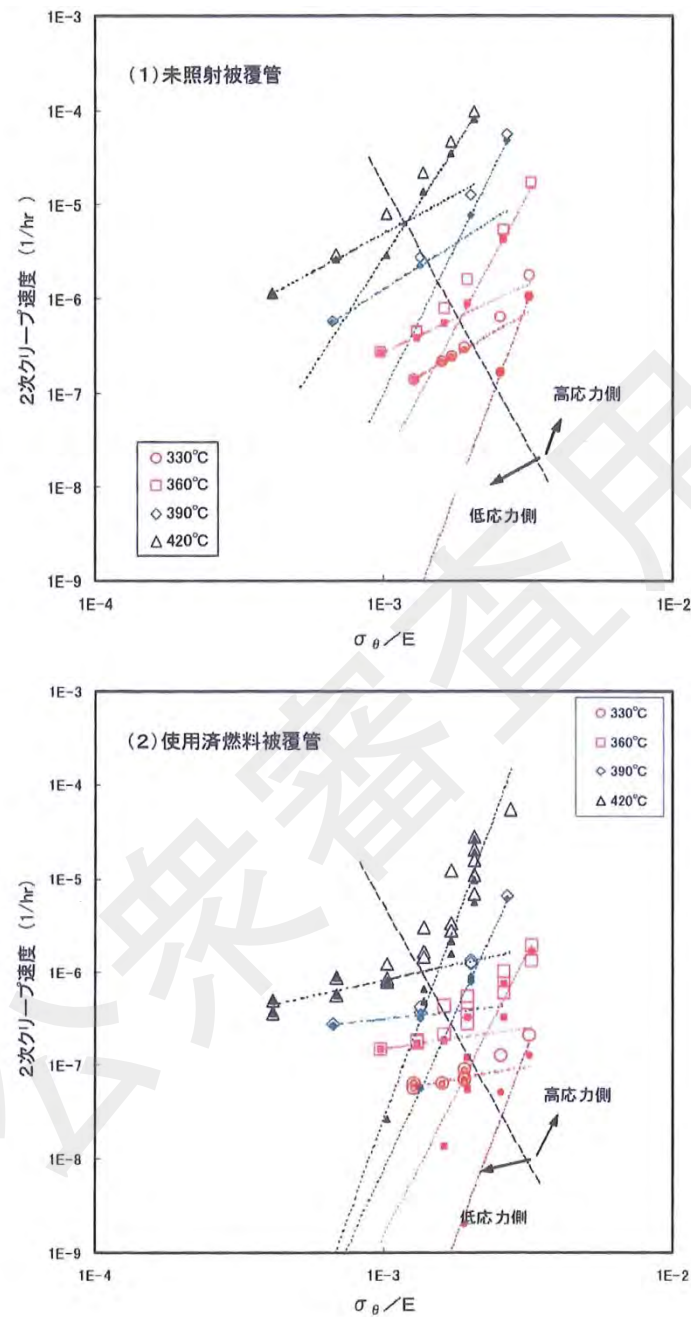


図 0.3—定常クリープ速度の応力依存性⁽²⁾



(塗潰し点はそれぞれ、低応力側と高応力側クリープ機構の寄与分を示す)

図 O.4—一定常クリープ速度の応力依存性 (PWR 燃料) (1)

0.1.3 燃料被覆管のクリープによる制限値の評価例

過去の評価例^{(4),(5)}においては、BWR 用燃料被覆管では温度 265℃、周方向応力 70 MPa のとき、クリープひずみの累積量は約 0.3 %となる。また、周方向応力 70 MPa のとき、クリープひずみの累積量が 1 %となる燃料被覆管温度は 320℃程度となる。PWR 用燃料被覆管では温度 275℃、周方向応力 100MPa のとき、クリープひずみの累積量は約 0.7 %となる。

なお、BWR 用燃料被覆管及び PWR 用燃料被覆管ともに、計算に当たっての前提条件は以下のとおりであり、安全側の評価をしている。

- 1) 試験に基づく試験でのばらつきを考慮したクリープひずみの累積量の予測式を使用
- 2) 温度及び応力が一定（低下しない）
- 3) クリープひずみの累積量は、真空乾燥時及び貯蔵初期温度を包絡した温度が 60 年間一定で継続する

0.2 水素吸収に関する考慮

a) **BWR 用燃料被覆管** 使用済燃料の燃料被覆管の水素吸収量は、BWR では以下に述べる特異的なケースを除き、**図 0.5** に示すように最大で 400 ppm 程度⁴⁾である。この程度の水素吸収量では、強度が維持される（**図 0.6**）。一方、この水素吸収量の範囲において、高照射量、高水素濃度、室温で燃料被覆管の周方向耐力が低水素濃度の値に比べ低下した結果が報告されている（**図 0.7** 及び **図 0.8**）。

注 4) **図 0.5** に示すように BWR 燃料のうち、照射期間が長くなる（2000 日超）と、燃料被覆管合金組成（低 Fe 濃度（0.17 %（質量）未満）、低 Si 濃度（50 ppm 未満））及び低流速等の照射環境、すべてが重なった特殊な条件下で特異的に水素吸収量が高くなったケースが確認された。しかし、特殊な条件であることから BWR 燃料について、低 Fe 濃度（0.17 %（質量）未満）、低 Si 濃度（50 ppm 未満）の材料であり、かつ、照射期間が 2000 日を超える燃料は、この標準の対象としない。

b) **PWR 用燃料被覆管** PWR では、この標準の対象となる燃料（39 GWd/t, 48 GWd/t 燃料：従来すずジルカロイ-4, 低すずジルカロイ-4）の燃料被覆管の水素吸収量は、**図 0.9** に示すように最大でも 800 ppm 程度である。この程度の水素量では、強度が維持される（**図 0.10**）。

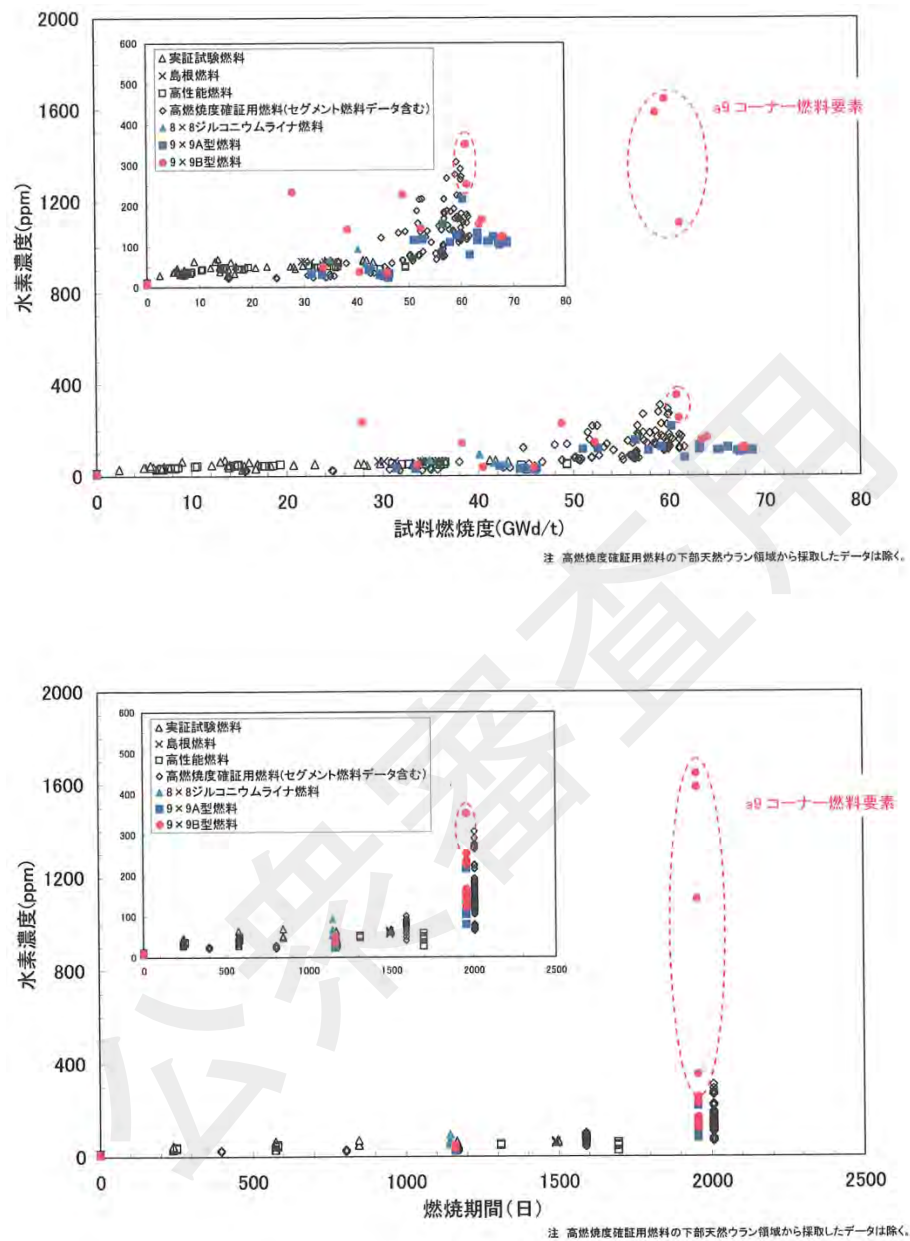


図 O.5—ジルカロイ—2 燃料被覆管の水素吸収量と照射期間との関係 (BWR) (6)

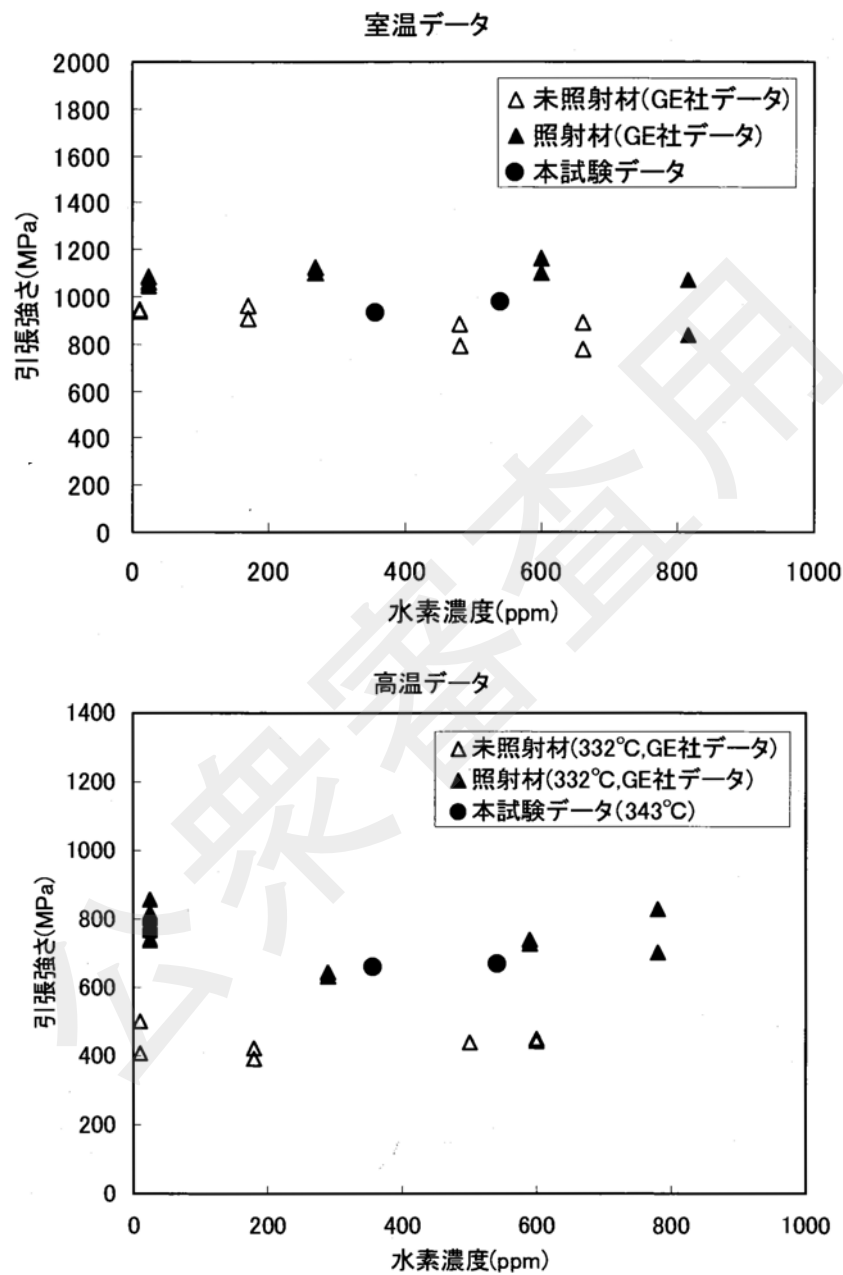


図 O.6—ジルカロイ—2 燃料被覆管の水素濃度と引張強さの関係 (BWR) ⁽⁷⁾

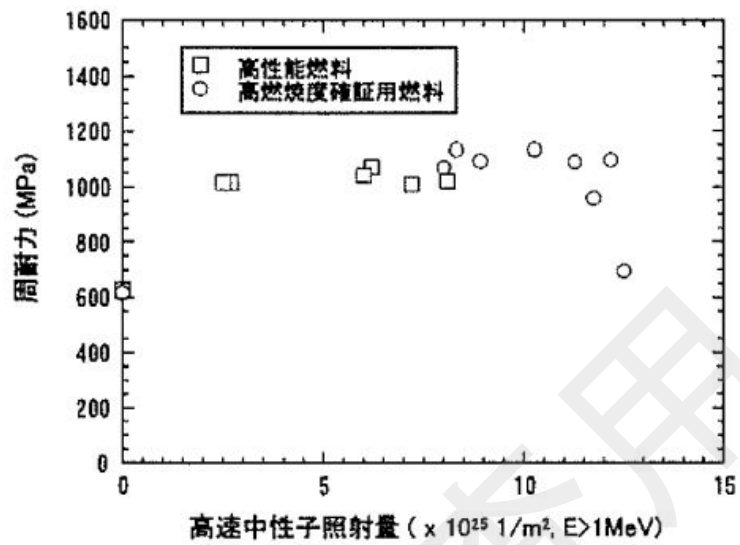


図 O.7—室温におけるジルカロイ-2 燃料被覆管の中性子照射量と周方向耐力の関係 (BWR) ⁽⁸⁾

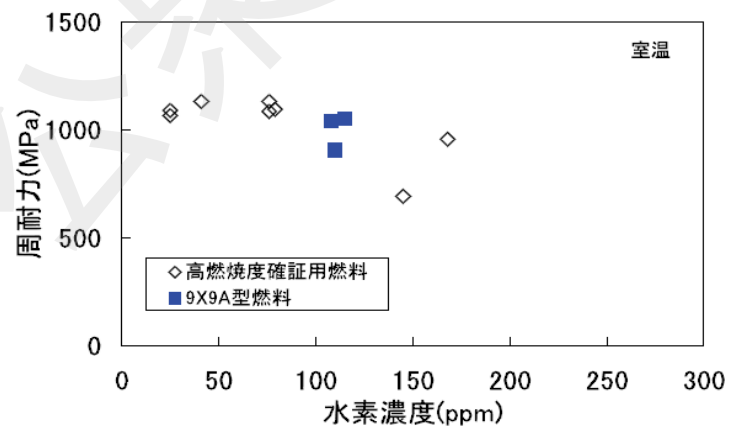


図 O.8—ジルカロイ-2 燃料被覆管の水素濃度と周方向耐力の関係 (BWR) ⁽⁶⁾

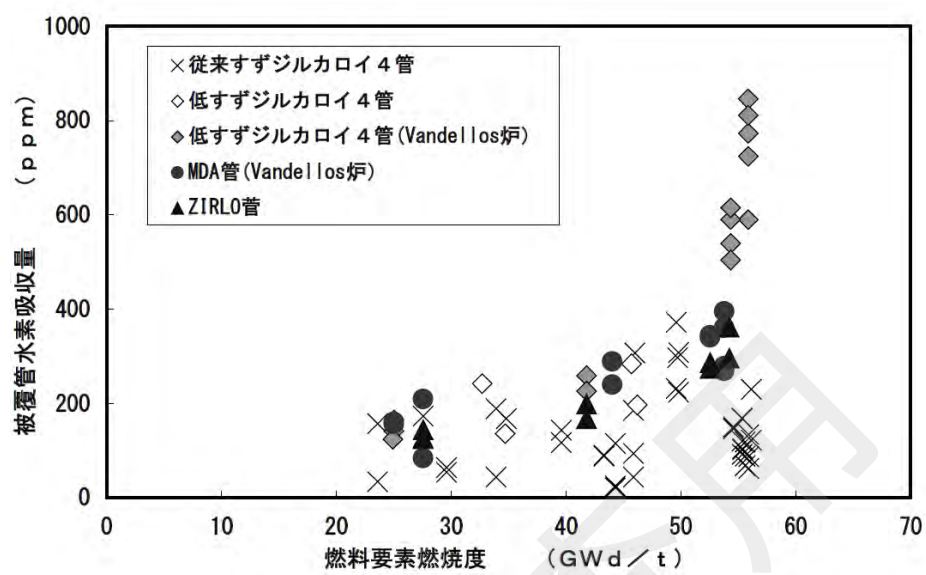


図 0.9—ジルカロイ—4 燃料被覆管の燃焼度と水素吸収量との関係 (PWR) ⁽⁹⁾

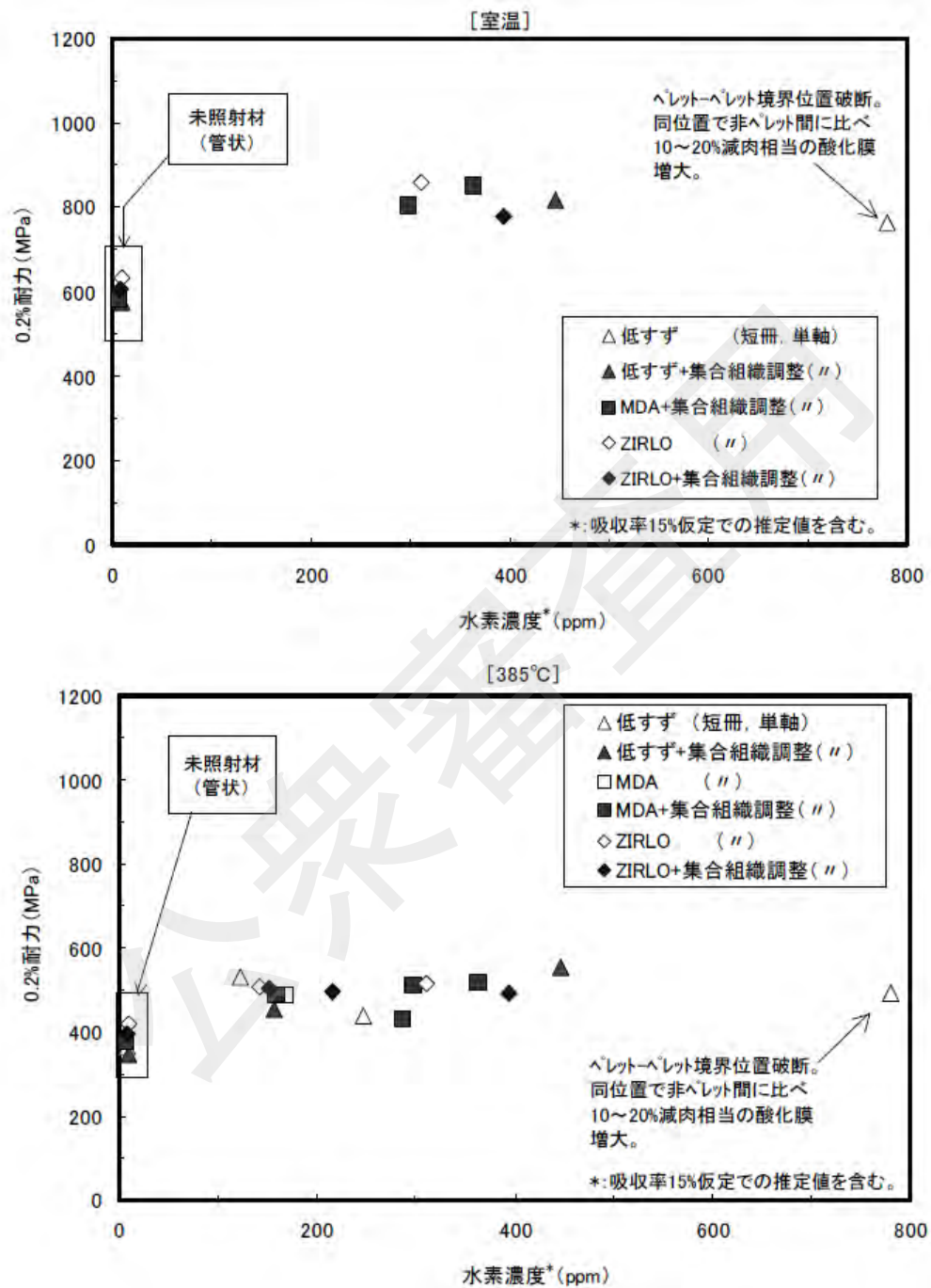


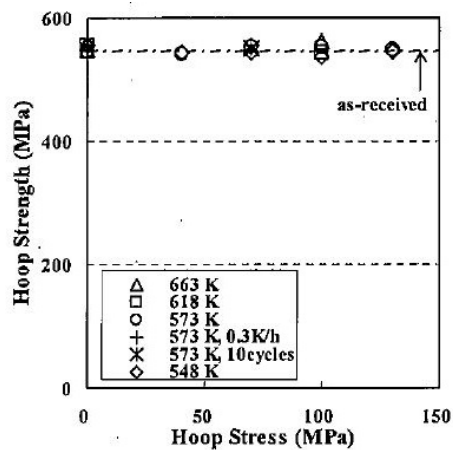
図 O.10—ジルカロイ-4 燃料被覆管の水素濃度と耐力の関係 (PWR) (9)

O.3 水素化物再配向による制限

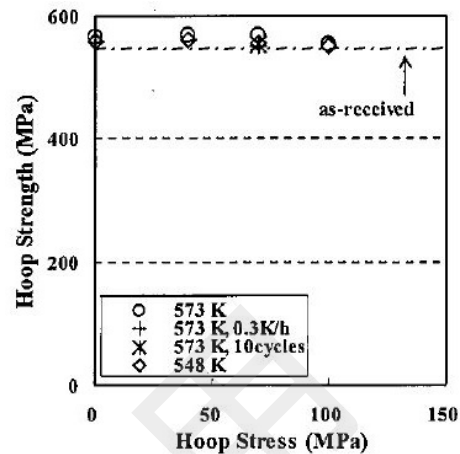
原子炉の運転中に燃料被覆管に吸収された水素は、燃料被覆管温度が低下して水素固溶度を越えた分はジルカロイ水素化物として析出する。このとき、ジルカロイ水素化物は、燃料被覆管に応力が作用していると応力に直角方向に析出する傾向がある。高温で燃料被覆管内圧が高く周方向応力が大きい状態から温度が低下すると、水素化物が燃料被覆管半径方向に析出して機械的特性が劣化する可能性が指摘されている。

水素化物の再配向による機械的特性の劣化の影響を考慮した設計方法もあるが、水素化物が再配向した燃料被覆管の機械的特性の劣化の影響を定量的に設計に反映する方法に関する知見が十分でない現状では困難と考えられる。したがって、当面、水素化物再配向によって機械的特性が劣化しない条件で貯蔵することとする。

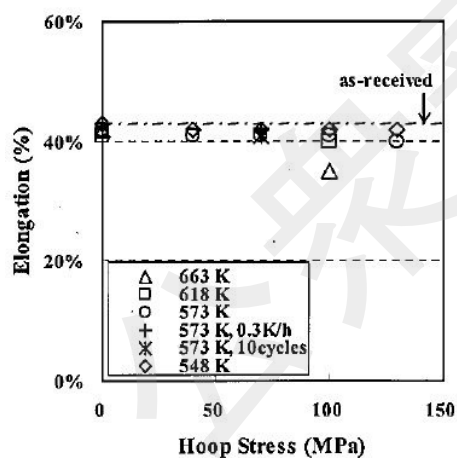
- a) **BWR 用燃料被覆管** これまでに得られている知見では、ジルカロイ-2 については、高燃焼度用燃料（ライナあり）の場合、図 O.11 及び図 O.12 に示すように周方向応力が 70 MPa 以下の場合、300℃程度でも機械的特性に影響は見られない。また、冷却速度による影響については、図 O.13 に示すように、有意な影響は認められない。ライナなし燃料については、図 O.14 に示すように、周方向応力が 70 MPa 以下の場合、200℃までは機械的特性に影響はない。
- b) **PWR 用燃料被覆管** ジルカロイ-4 については、図 O.15 に示すように、100 MPa の場合、275℃まで機械的特性に影響は認められない。



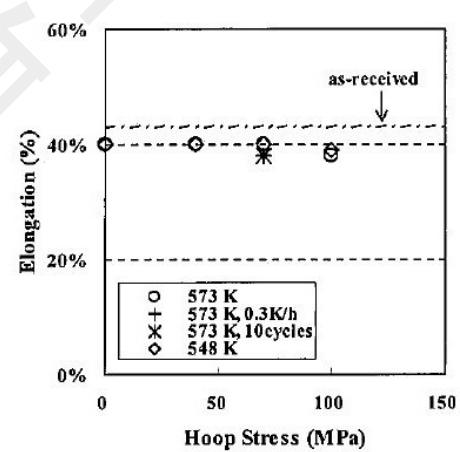
(低水素濃度 : < 80 ppm)



(高水素濃度 : > 200 ppm)

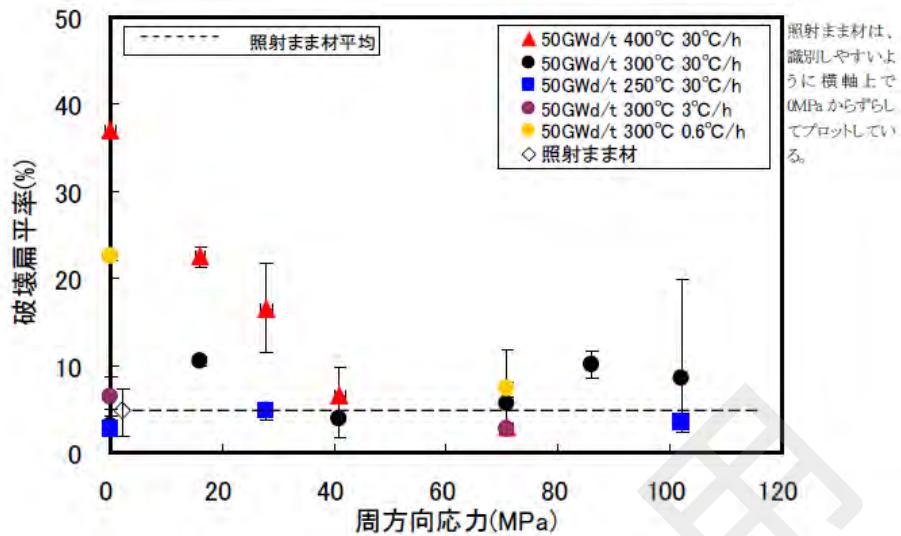


(低水素濃度 : < 80 ppm)



(高水素濃度 : > 200 ppm)

図 O.11—未照射ジルカロイ-2 被覆管のリング引張試験結果 (BWR) ⁽¹⁰⁾



注記 図中の“照射まま材”とは、照射後高温曝露を行っていない材料をいう。

図 O.12—ジルカロイ-2 燃料被覆管のリング圧縮特性と配向試験時の温度・周方向応力との関係（BWR（高燃焼度用，ライナあり））⁽¹¹⁾

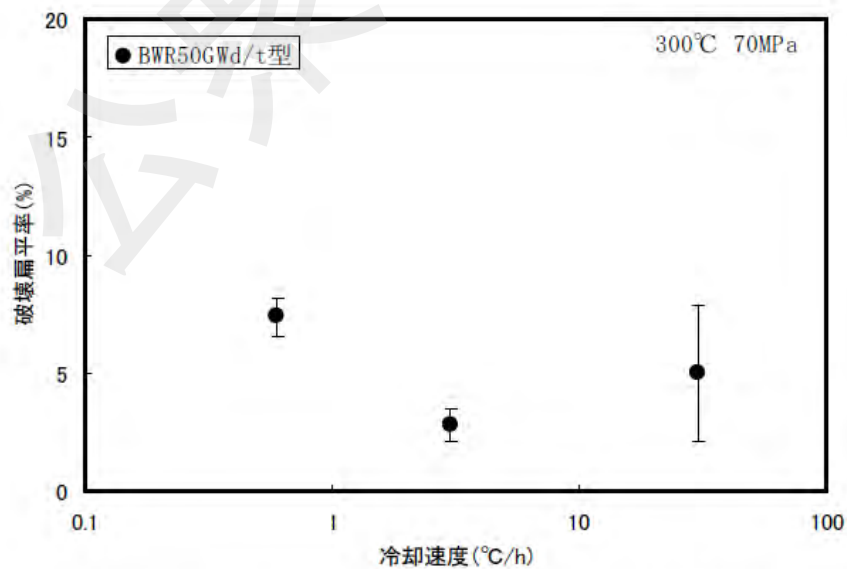
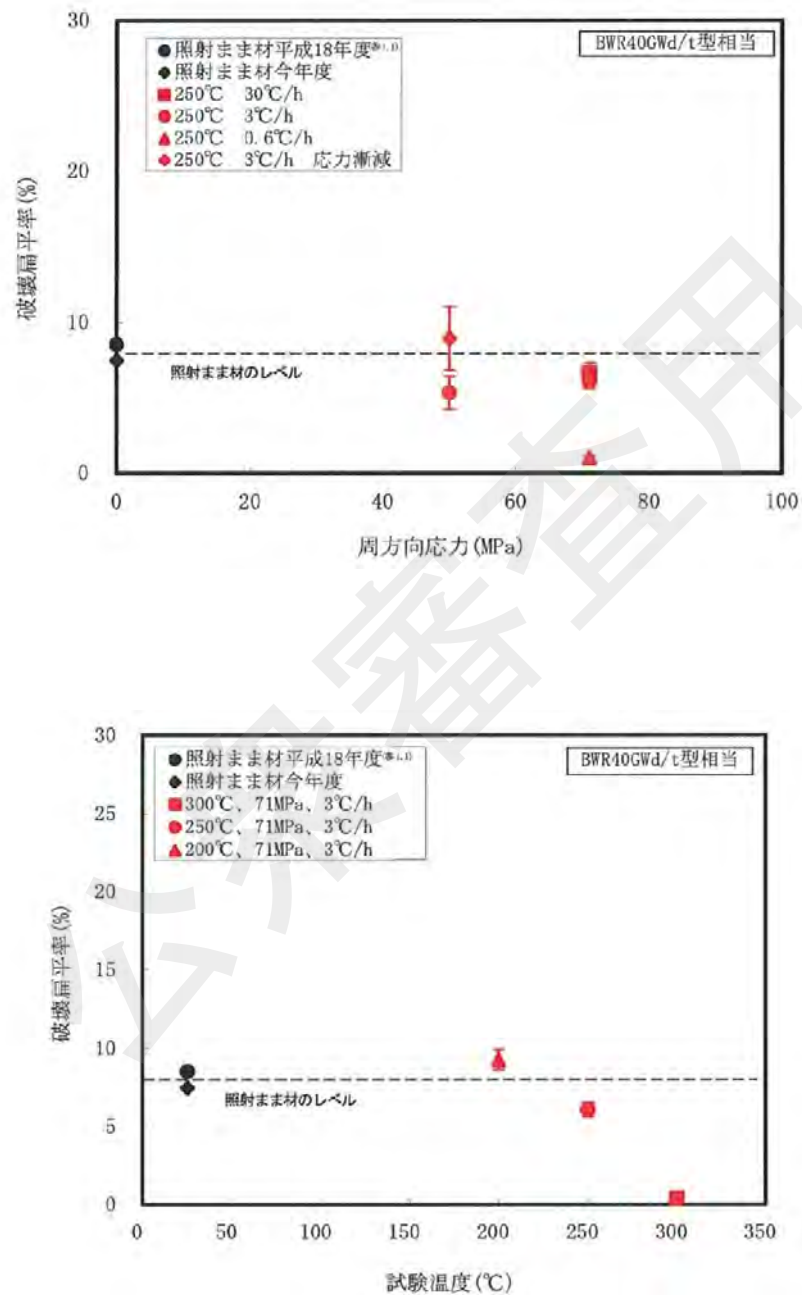
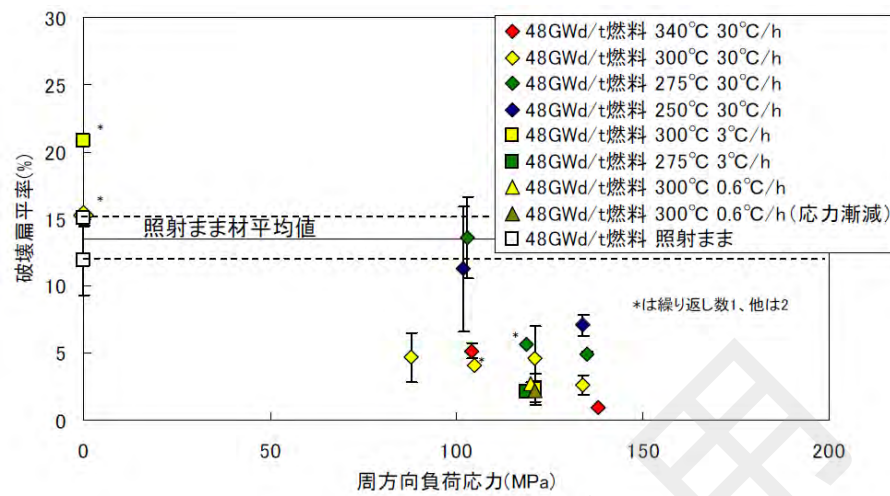


図 O.13—ジルカロイ-2 燃料被覆管のリング圧縮特性と冷却速度との関係（BWR）⁽¹¹⁾



注記 図中の“照射まま材”とは、照射後高温曝露を行っていない材料をいう。

図 O.14—ジルカロイ-2 燃料被覆管のリング圧縮特性と配向試験時の温度・周方向応力との関係（BWR（ライナなし））⁽¹²⁾



注記 図中の“照射まま材”とは、照射後高温曝露を行っていない材料をいう。

図 O.15—ジルカロイ-4 燃料被覆管のリング圧縮特性と配向試験時の
温度・周方向応力との関係 (PWR) (11)

O.4 照射硬化の回復現象による制限

- a) **BWR 用燃料被覆管** ジルカロイ-2 については、図 O.16 に示すように、270℃程度までは照射硬化の回復の可能性は小さい。
- b) **PWR 用燃料被覆管** ジルカロイ-4 については、図 O.17 に示すように、300℃では照射硬化の回復の可能性は小さい。

資料館蔵書印

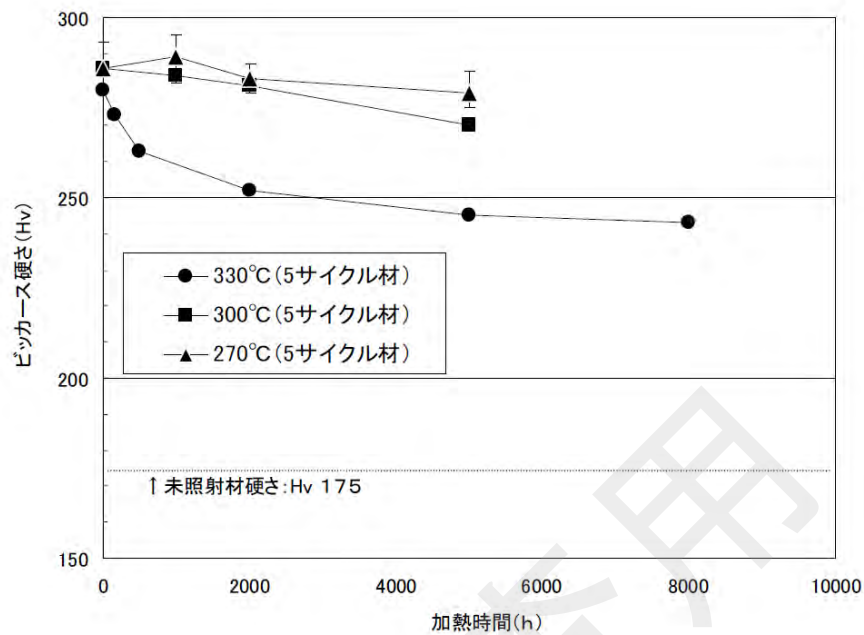
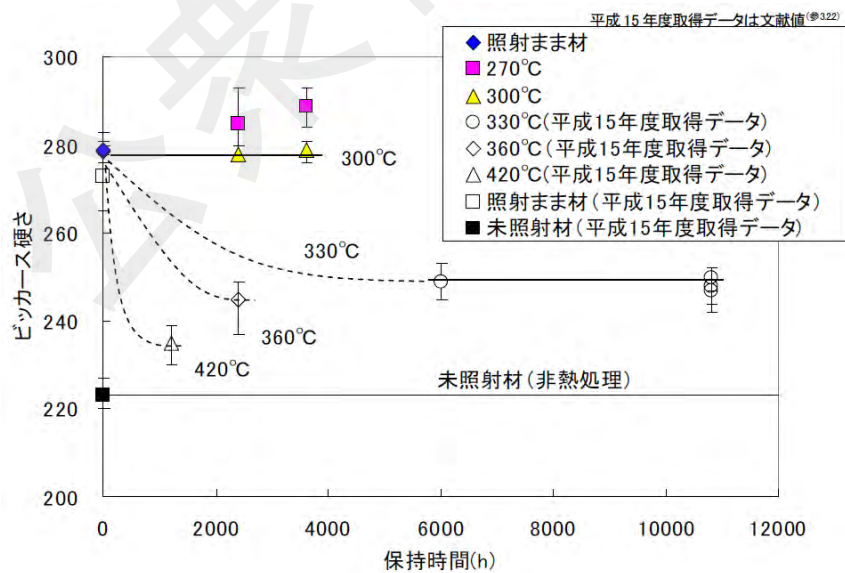


図 O.16—燃料被覆管の照射硬化の回復率（BWR）⁽¹¹⁾



注記 図中の“照射まま材”とは、照射後高温曝露を行っていない材料をいう。

図 O.17—燃料被覆管の照射硬化の回復率（PWR）⁽¹¹⁾

参考文献

- (1) (独)原子力安全基盤機構, “平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験 (燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書)”, (2004).
- (2) 黛正己, 吉舗信也, 安田隆芳, 中司雅文, “乾式貯蔵時の BWR 燃料被覆管許容温度の検討”, 電力中央研究所研究報告, T88068, (財)電力中央研究所, (1989).
- (3) (独)原子力安全基盤機構, “平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験 (使用済燃料被覆管制限温度解析コードの改良整備に関する報告書)”, (2004).
- (4) 輸送物技術顧問会, “使用済燃料中間貯蔵に係る貯蔵後輸送の安全性確保方策について”, (平成 22 年 2 月 3 日).
- (5) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会, “金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について”, (平成 21 年 6 月 25 日).
- (6) (独)原子力安全基盤機構, “平成 18 年度 高燃焼度 9 × 9 型燃料信頼性実証成果報告書 (総合評価編)”, (2007).
- (7) (独)原子力安全基盤機構, “平成 18 年度 高燃焼度 9 × 9 型燃料信頼性実証成果報告書 (総合評価編)”, 付録 1,3.1.14-44 (2007).
- (8) (財)原子力発電技術機構, “平成 13 年度 高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書 (BWR 高燃焼度燃料 総合評価編)”, (2002)
- (9) (財)原子力発電技術機構, “平成 13 年度 高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書 (PWR 高燃焼度燃料 総合評価編)”
- (10) K Sakamoto, et al., “Study on Hydride Reorientation in Zry-2 Fuel Claddings during Interim Dry Storage”, Proc. the 2007 Int. LWR Fuel Performance Meeting, San Francisco, Oct. 3, 2007, 1016(2007).
- (11) (独)原子力安全基盤機構, “平成 18 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)”, (2007).
- (12) (独)原子力安全基盤機構, “平成 19 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)”, (2008).

附属書 P
(参考)
金属キャスク内部真空乾燥時の燃料被覆管温度制限方法例

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

この附属書は、原子力発電所で使用済燃料を収納し、内部水を排水した後、残留水分量を制限するため金属キャスクの内部を真空乾燥する場合に、燃料被覆管温度を制限値以下とする運用方法の例を示すものである。

P.1 真空乾燥時の燃料被覆管温度

真空乾燥時は、金属キャスク内部のガスが希薄となるため、長時間真空乾燥を続けると燃料被覆管温度が上昇する可能性がある（図 P.1 の破線）。

これについては、従来からの乾式輸送容器並びに国内外の乾式貯蔵キャスク及び使用済燃料貯蔵用キャニスタでの真空乾燥の実績に基づき、内部圧力を監視しながら作業を行い、適宜真空乾燥を中断して不活性ガスを充填して金属キャスク内部温度の均一化を図った後、真空乾燥を再開することで過度な燃料被覆管温度の上昇を防止する。このような作業を行った場合の金属キャスク内部温度の解析例を図 P.1 に示す。この例は、真空乾燥を 8 時間行い、ヘリウム充填・放置時間 16 時間（夜間）としたサイクルを行った場合で、真空乾燥状態においては内部残存気体の熱伝導を無視し放射のみで伝熱するとして保守的に解析を行っている。長時間真空放置すれば燃料被覆管温度は上昇し続けるが、上記のようなサイクルで真空乾燥を行えば、燃料被覆管温度は十分低く抑えられ、機械的特性に影響を与える燃料被覆管制限温度を超えることはない。

P.2 作業記録

真空乾燥時において、金属キャスク内部の燃料被覆管温度が設計仕様の範囲内であることは、附属書 A の作業手順書に従った作業がなされたことを示す作業記録によって確認する。

解析条件	
金属キャスク発熱量	: 20 kW
周囲温度	: 40 °C
バスケット材質	: アルミニウム合金 (放射率 0.04)
使用済燃料	: BWR 新型 8×8 燃料集合体 61 体 (燃料被覆管放射率 0.8)

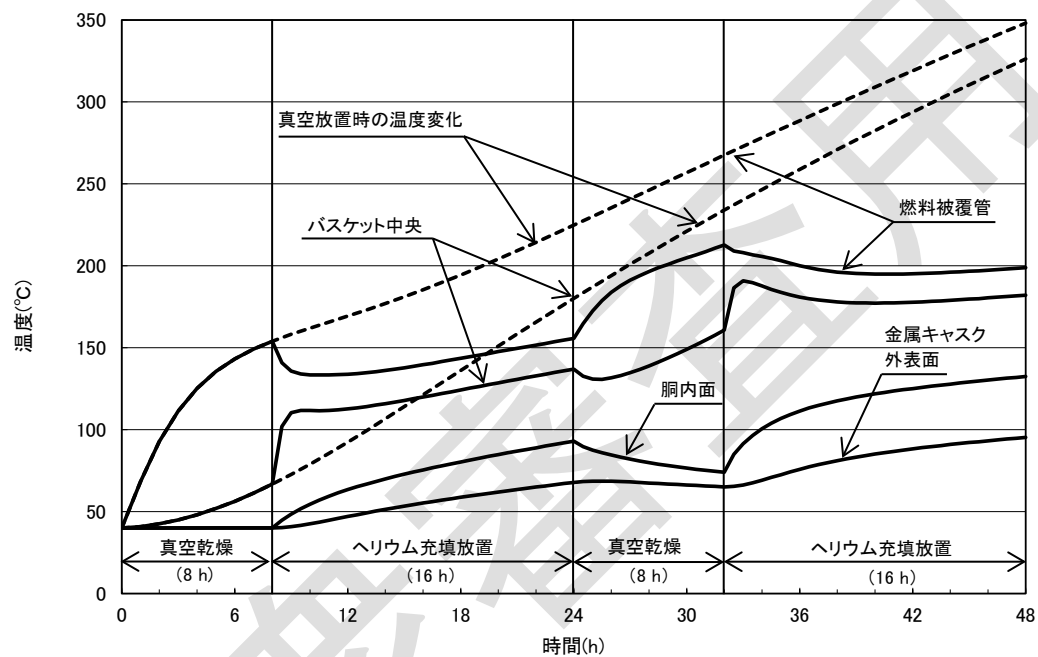


図 P.1—真空乾燥時の燃料被覆管温度の解析例

附属書 Q

(参考)

燃料被覆管の応力計算例

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

Q.1 燃料被覆管の応力計算方法

燃料被覆管に加速度が作用した場合の典型的な応力計算方法を表 Q.1 に示す。

表 Q.1—燃料被覆管の応力計算方法

加速度の方向	計算する応力	強度基準値
垂 直 (燃料棒に平行)	加速度による燃料集合体慣性力が作用した時の燃料被覆管下端に生じる最大圧縮応力	照射後の燃料被覆管材料の降伏応力
水 平 (燃料棒に垂直)	加速度による燃料棒の慣性力が作用した時の燃料被覆管に生じる最大曲げ応力	

Q.2 輸送時における燃料被覆管応力計算例

事業所外輸送規則の特別の試験条件の 9 m 落下試験で発生する応力が照射後の燃料被覆管の降伏応力以下となる許容加速度を求めた結果と、標準的な緩衝体設計において設計可能な落下時加速度との比較を表 Q.2 に示す。

これによって、金属キャスクの輸送時に想定される衝撃加速度に対して、燃料被覆管は健全性を維持することがわかる。

表 Q.2—燃料被覆管の応力計算例

金属キャスクに生じる加速度例			燃料被覆管の許容加速度例（G）			
条件	加速度（G）		BWR（ジルカロイ 2）降伏応力：約 540 MPa ^{b)}		PWR（ジルカロイ 4）降伏応力：約 540 MPa ^{b)}	
			垂直	水平	垂直	水平
通常輸送時	2 以下		約 360	約 160	約 325	約 75
一般の試験条件 （0.3 m 落下）	垂直	60 ^{a)}				
	水平	20 ^{a)}				
特別の試験条件 （9 m 落下）	垂直	100 ^{a)}				
	水平	70 ^{a)}				

注 ^{a)} 標準的な緩衝体設計で可能な落下時衝撃加速度

^{b)} 文献(1), (2) に示される 300℃における照射後の降伏応力（照射硬化を考慮）。燃料被覆管温度が高く照射硬化が回復する場合は、回復による降伏応力の低下を考慮する必要がある。

Q.3 地震時における燃料被覆管応力の試験結果例

中間貯蔵施設で金属キャスクの貯蔵中において Ss 地震力作用時における燃料被覆管に発生する応力の目安として、未照射燃料集合体を用いた加振試験において測定された応力値を示す。

ここで、試験に使用した燃料集合体は、使用済燃料に相当するスペーサあるいはグリッドの燃料被覆管保持力を低下させたものを使用した。また、試験に使用した模擬地震波は、「震源を事前に特定できない地震の考え方と地震層の策定について」に基づいて作成したものである¹⁾。

BWR 用燃料被覆管²⁾に発生した応力は、約 30 MPa（入力最大加速度 450 gal）³⁾、PWR 用燃料被覆管³⁾に発生した応力は、約 28 MPa（入力最大加速度 450 gal）³⁾である。

これによって、金属キャスクの貯蔵中に想定される地震荷重に対して発生する応力は、降伏応力に比べ小さいことがわかる。

注¹⁾ 原子力安全委員会：原子力発電耐震設計専門部会 地震・地震動WG に基づき作成（支持基盤：せん断波速度 $V_s=700$ m/s，縦波速度 $V_p=2000$ m/s，耐専スペクトルの地震規模 $M=6.8$ ， $X_{eq}=10$ km，震源近傍における破壊伝播(NFRD)効果あり）

注²⁾ 9×9B型燃料

注³⁾ 17×17型燃料

参考文献

- (1) 三島良績，大久保忠恒，大石政夫，他，“沸騰水型原子炉燃料集合体の信頼性実証試験”，日本原子力学会誌，29[2]，106，(1987)。
- (2) S. Doi, S. Abeta, Y. Iriya, S. Inoue, “High Burn-up Experience of PWR Fuel in Japan”, *International Topical Meeting on LWR Fuel Performance*, Avignon, France, April 21-24, 1991, Vol.2, 588-597, (1991)。
- (3) “平成19年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等（貯蔵設備長期健全性等確証試験）”，（財）電力中央研究所，123, 139, (2008)。

附属書 R (規定) 金属キャスクの検査要領

序文

この附属書は、金属キャスクの製造から中間貯蔵施設搬出までの各段階において行う検査の要領を規定する。ただし、構造強度部材の材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査、並びに耐圧・漏えい検査、吊上荷重検査、吊上検査、重量検査及び据付検査は、**JSME S FA1-2007** に従ったものとする。

また、輸送容器としての定期検査については、**AESJ-SC-F001-2008** に規定されているところであるが、貯蔵期間中の金属キャスクについては、同標準では考慮されていないため、本附属書に規定する貯蔵期間中の検査を適用するものとする。

R.1 検査区分

金属キャスク又は輸送物に関する検査は、実施する検査段階及び検査の方法によって次のように区分する。

- a) **検査段階** 金属キャスク又は輸送物の検査は、次の 1) ～5) の各段階において行う。
(5.1 参照)
 - 1) 製造時
 - 2) 発電所搬出前
 - 3) 貯蔵前
 - 4) 貯蔵期間中（貯蔵機能維持確認及び輸送機能維持確認）
 - 5) 貯蔵後搬出前
- b) **検査の方法** 金属キャスク又は輸送物の検査は、次の 1) 又は 2) のいずれかの方法によって行う。
 - 1) **直接確認** 目視、計測器による実測によって直接検査結果が判定基準に適合することを確認する。ただし、材料証明書及び作業記録の確認も含む。
 - 2) **記録確認** 先に実施した別の検査の記録に基づき、その結果が当該検査の判定基準に適合することを確認する。

R.2 検査要領

各検査の標準的な検査要領は、次による。各検査において、計測を伴う検査は、校正され有効期限内にある計測器具を用いて行う。

R.2.1 材料検査

R.2.1.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
材料検査	全 般	◎	—	—	—	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.1.2 材料検査要領

R.2.1.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の製作に用いる材料が設計報告書に適合する材料であることを確認する。
2.検査時期	製造工場における材料受入時
3.検査対象	検査仕様書に規定する金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の主要材料
4.検査方法	材料メーカーで実施された試験検査の結果を、ミルシート等によって確認する。
5.判定基準	規格及び検査仕様書に要求のある項目についてミルシート等に記載されている試験検査結果が以下に適合しなければならない。 a) 化学成分：材料規格等に示す化学成分値に適合すること。 b) 引張試験：耐力、引張強さ及び伸び（又は絞り）が、材料規格等に示す値に適合すること。 c) 硬度試験：材料規格等に示す硬さに適合すること。 d) 破壊靱性試験 1) 吸収エネルギー：検査仕様書に従った衝撃試験が実施され、試験結果が材料規格等に示す吸収エネルギーに適合すること。 2) 横膨出量：検査仕様書に従った衝撃試験が実施され、試験結果が材料規格等に示す横膨出量に適合すること。 3) 関連温度：設計で定めた関連温度に従った衝撃試験及び落重試験が実施され、試験結果が材料規格等に示す基準値に適合すること。 e) 曲げ試験：検査仕様書に従った曲げ試験が実施され、結果が良好であること。 f) 浸透探傷試験：検査仕様書に従った浸透探傷試験が実施され、結果が合格であること。 g) 磁粉探傷試験：検査仕様書に従った磁粉探傷試験が実施され、結果が合格であること。 h) 超音波探傷試験：検査仕様書に従った垂直法又は斜角法による超音波探傷試験が実施され、結果が合格であること。 i) 密度計測：検査仕様書が要求する材料について、密度測定が実施され、測定結果が検査仕様書で規定する値に適合していること。また、検査仕様書が要求する材料について、検査仕様書で規定する成分の含有量が検査仕様書で規定する値に適合していること。
注記 1	主要材料とは、密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能、除熱機能及び構造強度の観点から、それぞれの機能確保のために重要な材料をいう。
注記 2	主要な遮蔽体の素材については（溶融して鑄込むもの及び液体状のものを除く）、非破壊検査として超音波探傷試験又は放射線透過試験を行い、検査仕様書で規定する遮蔽性能に影響する欠陥がないことを確認する。
注記 3	検査仕様書で材料中の特定の化学成分及び密度等の分布を確認するよう規定する材料にあつては、検査仕様書に規定された方法で分布を確認する。
注記 4	JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材の材料仕様は、同規格に従う。

R.2.2 寸法検査

R.2.2.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
寸法検査	全 般	◎	—	—	—	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.2.2 寸法検査要領

R.2.2.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋各部の主要寸法が設計報告書に適合する寸法であることを確認する。
2.検査時期	製造工場における金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の各部品製作中及び製作完了後
3.検査対象	a) 金属キャスク本体部（胴又は内筒、底板、中間胴、外筒、伝熱フィン、主要遮蔽体） b) 蓋（一次蓋、二次蓋、三次蓋、金属ガスケット、ゴムOリング） c) 吊上装置（トラニオン） d) バスケット e) 緩衝体
4.検査方法	巻尺、ノギス、マイクロメータ、その他の計測器具を用いて主要寸法測定箇所を測定する。遮蔽体を鋳込む場合は、鋳込前に鋳込部寸法を計測器具（例 スルーゲージ）で確認してもよい。
5.判定基準	主要寸法測定箇所の寸法が、検査仕様書に規定された判定基準に適合しなければならない。
注記 1 検査仕様書に基づき、検査記録に主要寸法測定箇所を図示する。	
注記 2 主要寸法測定箇所とは、密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能、除熱機能及び構造強度の観点から、それぞれの機能確保のために重要である寸法をいう。	
注記 3 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材の寸法検査は、同規格の規定に従う。	

R.2.3 外観検査

R.2.3.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
外観検査	全 般	◎	◎	◎	◎（貯） ○（輸）	◎
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						
注記 2 （貯）：貯蔵機能維持確認検査 （輸）：輸送機能維持確認検査						

R.2.3.2 外観検査要領

R.2.3.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の外観に基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。
2.検査時期	製造工場における金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の各部品製作完了後

3.検査対象	a) 金属キャスク本体部（胴又は内筒、底板、中間胴、外筒、伝熱フィン、主要遮蔽体） b) 蓋（一次蓋、二次蓋、三次蓋、金属ガスケット、ゴムOリング） c) 吊上装置（トラニオン） d) バスケット e) 緩衝体
4.検査方法	完成した金属キャスク及び各部品の外観を目視検査する。
5.判定基準	a) 形状が検査仕様書に規定された図示どおりでなければならない。 b) 基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、傷、変形又は損傷があつてはならない。
注記1 外観検査に当たっては、密封機能、遮蔽機能、臨界防止機能、除熱機能及び構造強度の観点から、それぞれの機能確保のために重要な要素・部品に着目して行う。 注記2 構成部品相互の位置関係が重要なもの（例 バスケットの方位）については、最終組立の外観検査において確認する。 注記3 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材の外観検査は、同規格の規定に従う。	

R.2.3.2.2 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の外観に基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。
2.検査時期	a) 原子力発電所において、輸送物の搬出前 b) 中間貯蔵施設において、輸送物の受入時及び二次蓋のガスケットを交換する場合は交換後の蓋部 c) 中間貯蔵施設において、輸送物の搬出前
3.検査対象	a) 金属キャスク本体（三次蓋を含む。） b) 緩衝体
4.検査方法	輸送物又は金属キャスクの外観を目視で検査する。
5.判定基準	基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、腐食、傷、変形又は損傷があつてはならない。
注記 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材の外観検査は、同規格の規定に従う。	

R.2.3.2.3 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクの基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵中定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	a) 金属キャスクの設置位置、設置状態について目視で検査する。 b) 金属キャスク（トラニオンを含む）の外観について目視で検査する。
5.判定基準	a) 金属キャスクが検査仕様書で規定する位置に、規定する形態で設置されていなければならない。 b) 金属キャスク支持架台を用いる場合は、金属キャスクが支持架台に確実に固定されていなければならない。 c) 金属キャスク（トラニオンを含む）に、基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、腐食、傷、変形又は損傷があつてはならない。
注記 JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材の外観検査は、同規格の規定に従う。	

R.2.3.2.4 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）

1.検査目的	輸送に必要な基本的安全機能及び／又は構造強度に影響を及ぼすような異常のないことを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、中期検査及び長期検査として定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	貯蔵期間中の外観検査記録（R.2.3.2.3 参照）を確認する。
5.判定基準	金属キャスク（トランニオンを含む）に、基本的安全機能及び／又は構造強度に影響する汚れ、腐食、傷、変形又は損傷があつてはならない。
注記 緩衝体及び三次蓋については、AESJ-SC-F001-2008 の附属書 G “空容器期間中の点検” に準じて 1 年に 1 回以上の頻度で目視によって外観検査を行い、異常のないことを確認する。また、これらの使用に当たっては、輸送前検査として目視によって外観検査を行い、異常のないことを確認する。	

R.2.4 溶接検査

R.2.4.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
溶接検査	全 般	◎	—	—	—	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.4.2 溶接検査要領

R.2.4.2.1 製造時検査

R.2.4.2.1.1 JSME S FA1-2007 で溶接検査対象としている溶接部

1.検査目的	金属キャスク及び三次蓋の主要溶接継手について、設計報告書に適合する溶接であること、及び溶接が適切に行われたことを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク及び三次蓋の各主要部品の溶接前後
3.検査対象	JSME S FA1-2007 で検査対象としている構造強度部材の継手
4.検査方法	JSME S FA1-2007 に従う。
5.判定基準	JSME S FA1-2007 に従う。

R.2.4.2.1.2 JSME S FA1-2007 で溶接検査対象としていない溶接部

JSME S FA1-2007 で溶接検査対象としていない溶接部の溶接検査がある場合は、検査仕様書に規定された方法で検査を行う。

R.2.5 気密漏えい検査及び二重蓋間圧力検査

R.2.5.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
気密漏えい検査	密封機能	◎	◎	○, ◎	○(輸)	◎
二重蓋間圧力検査		—	—	◎	○(貯)	—

注記 1	◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの ー：検査対象外
注記 2	(貯)：貯蔵機能維持確認検査 (輸)：輸送機能維持確認検査

R.2.5.2 気密漏えい検査要領

R.2.5.2.1 製造時検査

a) 金属ガスケット部

1.検査目的	シール部が設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク完成後
3.検査対象	a) 一次蓋の金属ガスケットによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部） b) 二次蓋の金属ガスケットによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部）
4.検査方法	a) 蓋シール部及び一次蓋の貫通孔シール部：以下の手順でヘリウムリークテストを実施し、漏えい率を求める。 1) 金属キャスク内部（又は二重蓋間）にヘリウムを充填し、濃度を計測又は算定する。 2) シール部検査孔から二重金属ガスケット間を真空引きし、ヘリウムリークディテクタを接続する。 3) ヘリウムリークディテクタに表示された指示値を読み取り、国内外の規格（例 JIS Z 2331-2006 ）の式によって漏えい率を求める。 b) 一次蓋の貫通孔シール部（ヘリウムリークテストができない場合）：二重金属ガスケット間を真空引きした後、10 分間以上保持し、国内外の規格（例 JIS Z 2332-2012 ）の式によって漏えい率を求める。 c) 二次蓋の貫通孔シール部：検査仕様書で規定する検査方法による。
5.判定基準	一次蓋の蓋シール部と貫通孔シール部の合計漏えい率及び二次蓋の蓋シール部の漏えい率がそれぞれ、検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。また、二次蓋の貫通孔シール部については検査仕様書で規定する判定基準に適合しなければならない。

b) ゴム O リング部

1.検査目的	シール部が設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク本体完成後、密封蓋（二次蓋又は三次蓋）を金属キャスク本体に組み込んで実施する。
3.検査対象	二次蓋又は三次蓋のゴム O リングによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部）
4.検査方法	二重 O リングの間に検査仕様書で規定する圧力のヘリウムガス、空気又は窒素ガスを加えるか、又は二重 O リングの間を真空引きした後、10 分間以上保持し、国内外の規格（例 JIS Z 2332-2012 ）の式によって漏えい率を求める。
5.判定基準	蓋シール部と貫通孔シール部の合計漏えい率が、検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。

R.2.5.2.2 発電所搬出前検査

a) 金属ガスケット部

1.検査目的	輸送物が輸送法令に適合する密封性能を有することを確認する。また、貯蔵に用いるシール部が設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。
2.検査時期	発電所において、燃料収納後の一次蓋及び二次蓋閉止時

3.検査対象	a) 一次蓋の金属ガスケットによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部） b) 二次蓋の金属ガスケットによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部）
4.検査方法	a) 蓋シール部：以下の手順でそれぞれの蓋の蓋シール部についてヘリウムリークテストを実施し、漏えい率を求める。 1) 金属キャスク内部（又は二重蓋間）に充填したヘリウムの濃度を計測又は算定する。 2) シール部検査孔から二重金属ガスケット間を真空引きし、ヘリウムリークディテクタを接続する。 3) ヘリウムリークディテクタに表示された漏えい率を読み取り、国内外の規格（例 JIS Z 2331-2006）の式によって漏えい率を求める。 b) 一次蓋の貫通孔シール部：二重金属ガスケット間を真空引きした後、10 分以上保持し、国内外の規格（例 JIS Z 2332-2012）の式によって漏えい率を求める。 c) 二次蓋の貫通孔シール部：検査仕様書で規定する検査方法による。
5.判定基準	一次蓋の蓋シール部と貫通孔シール部の合計漏えい率及び二次蓋の蓋シール部の漏えい率がそれぞれ、検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。また、二次蓋の貫通孔シール部については検査仕様書で規定する判定基準に適合しなければならない。

b) ゴム O リング部

1.検査目的	輸送物が輸送法令に適合する密封性能を有することを確認する。
2.検査時期	発電所において、二次蓋又は三次蓋閉止時
3.検査対象	輸送用密封蓋（二次蓋又は三次蓋）のゴム O リングによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部）
4.検査方法	二重 O リングの間に検査仕様書で規定する圧力のヘリウムガス、空気又は窒素ガスを加えるか、又は真空引きした後、10 分以上保持し、国内外の規格（例 JIS Z 2332-2012）の式によって漏えい率を求める。
5.判定基準	蓋シール部と貫通孔シール部の合計漏えい率が、検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。

R.2.5.2.3 貯蔵前検査

a) 二次蓋のガスケットを交換せずそのまま貯蔵する場合

1.検査目的	金属キャスクの貯蔵時シール部の密封性能が輸送中に異常なく、かつ、貯蔵に対して設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、金属キャスク受入時
3.検査対象	a) 一次蓋の金属ガスケットによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部） b) 二次蓋の金属ガスケットによるシール部（蓋シール部及び貫通孔シール部） ^{a)}
4.検査方法	a) 発電所搬出前検査の気密漏えい検査記録（R.2.5.2.2 参照）を確認する。 b) 貯蔵前検査の二重蓋間圧力検査記録（R.2.5.3.1 参照）を確認する。
5.判定基準	a) 発電所搬出前検査における一次蓋の蓋シール部と貫通孔シール部の合計漏えい率及び二次蓋の蓋シール部の漏えい率がそれぞれ、貯蔵に対して検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。また、二次蓋の貫通孔シール部については検査仕様書で規定する判定基準に適合しなければならない。 b) 二重蓋間圧力が、検査仕様書で規定する圧力範囲内でなければならない。

注記	二重蓋間圧力に低下が認められなかった場合、原子力発電所での気密漏えい検査で測定された漏えい率が維持されているとみなすことができ、各蓋の金属ガスケットによるシール部の漏えい率は発電所搬出前検査記録に基づくものとする。
注 a)	中間貯蔵施設で圧力センサを取り付ける場合は、圧力センサを含めた二次蓋の貫通孔シール部に対して検査仕様書で規定する検査を実施し、検査仕様書で規定する判定基準に適合することを確認する。

b) 二次蓋のガスケットを交換して貯蔵する場合

1.検査目的	二次蓋が貯蔵に対して設計報告書に適合する密封性能を有することを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、金属キャスク受入後の二次蓋のガスケット交換前後
3.検査対象	二次蓋の金属ガスケットによるシール部 ^{a)}
4.検査方法	a) 二重蓋間圧力：二次蓋取替前に二重蓋間圧力センサを密封監視装置に結線して監視装置にて圧力を測定し、一次蓋のシール部が健全であることを確認する。 b) 蓋シール部：以下の手順でヘリウムリークテストを実施し、漏えい率を求める。 1) 二重蓋間に検査仕様書で規定する圧力のヘリウムを充填し、濃度を計測又は算定する。 2) シール部検査孔から二重金属ガスケット間を真空引きし、ヘリウムリークディテクタを接続する。 3) ヘリウムリークディテクタに表示された漏えい率を読み取り、国内外規格（例 JIS Z 2331-2006）の式によって漏えい率を求める。 c) 貫通孔シール部：検査仕様書で規定する検査方法による。
5.判定基準	a) 二次蓋の蓋シール部の漏えい率が、貯蔵に対して検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。また、貫通孔シール部については検査仕様書で規定する判定基準に適合しなければならない。 b) 二重蓋間圧力が、検査仕様書で規定する圧力範囲内でなければならない。
注記	上記方法によって輸送中に二重蓋間圧力の低下がないことを確認した場合には、一次蓋の漏えい率は発電所搬出前検査記録に基づく値とすることができる。
注 a)	中間貯蔵施設で圧力センサを取り付ける場合は、圧力センサを含めた二次蓋の貫通孔シール部に対して検査仕様書で規定する検査を実施し、検査仕様書で規定する判定基準に適合することを確認する。

R.2.5.2.4 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが輸送に必要な密封機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、中期検査及び長期検査として定期的の実施する。
3.検査対象	二次蓋の金属ガスケットによるシール部
4.検査方法	貯蔵期間中検査の二重蓋間圧力検査記録（R.2.5.3.2 参照）を確認する。
5.判定基準	二重蓋間圧力が検査仕様書で規定する圧力範囲内になければならない。
注記 1	この検査は、貯蔵後の輸送において二次蓋を輸送時密封境界（金属ガスケットのまま、又はゴム O リングに交換する）とする設計の場合に適用する。
注記 2	貯蔵後の輸送において三次蓋を輸送時密封境界とする設計の場合は、AESJ-SC-F001-2008 の附属書 G “空容器期間中の点検” に準じて、1 年に 1 回以上、金属キャスクの三次蓋シール面及び三次蓋を目視で外観検査し、異常のないことを確認する。

R.2.5.2.5 貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	輸送物が輸送法令に適合する密封性能を有することを確認する。
--------	-------------------------------

2.検査時期	中間貯蔵施設において、搬出前（三次蓋を取り付けたり二次蓋のガスケットを輸送用ガスケットに交換する場合は、取付け又は交換後）
3.検査対象	a) 輸送時密封境界（二次蓋又は三次蓋）の蓋シール部 b) 輸送時密封境界（二次蓋又は三次蓋）の貫通孔シール部
4.検査方法	輸送時密封境界の二重ガスケットの間に検査仕様書で規定する圧力のヘリウムガス、空気又は窒素ガスを加えるか、又は真空引きした後、10 分間以上保持し、国内外の規格（例 JIS Z 2332-2012）の式によって漏えい率を求める。
5.判定基準	蓋シール部と貫通孔シール部の漏えい率の合計が、輸送に対して検査仕様書で規定する最大許容漏えい率を超えてはならない。

R.2.5.3 二重蓋間圧力検査要領

R.2.5.3.1 貯蔵前検査

1.検査目的	金属キャスクが密封機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵場所設置時
3.検査対象	二重蓋間圧力
4.検査方法	金属キャスクの二重蓋間圧力センサを密封監視装置に結線し、監視装置にて二重蓋間圧力を測定する。
5.判定基準	二重蓋間圧力が検査仕様書で規定する圧力範囲内になければならない。

R.2.5.3.2 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	一次蓋及び二次蓋のシール部が密封機能を維持していること、及びそれによって金属キャスク内の雰囲気は維持されていることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵中に定期的に行う。
3.検査対象	二重蓋間圧力
4.検査方法	二重蓋間圧力の連続監視記録を確認する。
5.判定基準	二重蓋間圧力が検査仕様書で規定する圧力範囲内になければならない。

R.2.6 圧力測定検査

R.2.6.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
圧力測定検査	密封機能	—	◎	○, ◎	—	○
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.6.2 圧力測定検査要領

R.2.6.2.1 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	金属キャスク内部及び二重蓋間が乾燥し、かつ、設計報告書で規定した範囲の内圧及びガス成分であることを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において、燃料収納後の搬出前 b) 中間貯蔵施設において、金属キャスク受入時 c) 中間貯蔵施設において、輸送用密封境界閉止時
3.検査対象	a) 金属キャスク内部及び二重蓋間の残留水分 b) 内部ガス、二重蓋間ガスの成分及び充填量

	c) 金属キャスク内部圧力及び二重蓋間圧力
4.検査方法	a) 発電所搬出前検査 1) 残留水分：金属キャスク内部については真空乾燥後の真空度測定結果又は内部ガス充填後の湿度を、蓋ボルト穴を含む蓋間については吸水・拭取り又は真空乾燥によって脱水されていることを、金属キャスク仕立作業記録によって確認する。 2) ガス成分及び充填量：内部ガス、二重蓋間ガスの種類（ヘリウム）、純度及び充填量を、金属キャスク仕立作業記録によって確認する。 3) 圧力：圧力計による実測結果又はガス充填量と充填部体積に基づく計算結果を、金属キャスク仕立作業記録によって確認する。 b) 貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査 1) 残留水分：発電所搬出前検査の圧力測定検査記録を確認する。 2) ガス成分及び充填量：発電所搬出前検査の圧力測定検査記録を確認する。 3) 圧力：金属キャスク内部圧力は、発電所搬出前検査の圧力測定検査記録を確認する。二重蓋間圧力は、二重蓋間圧力検査記録（貯蔵前検査は R.2.5.3.1 、貯蔵期間中検査は R.2.5.3.2 参照）を確認する。
5.判定基準	a) 残留水分：金属キャスク内部は、残留水分が 10 %以下となるよう検査仕様書で規定する真空度又は湿度以下でなければならない。二重蓋間については、水分が除去されていなければならない。 b) ガス成分及び充填量：検査仕様書で規定する種類（ヘリウム）及び純度のガスが、検査仕様書で規定する量充填されていなければならない。 c) 圧力：金属キャスク内部圧力及び二重蓋間圧力がそれぞれ検査仕様書で規定する圧力範囲内でなければならない。
注記 1 金属キャスク仕立作業記録を確認する。 注記 2 中間貯蔵施設で二次蓋のガasketを交換する場合及び圧力センサを取付け、交換若しくは取外しする場合は、二重蓋間ガスの成分及び充填量は、中間貯蔵施設での二次蓋仕立作業記録によって確認する。	

R.2.7 遮蔽性能検査

R.2.7.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
遮蔽性能検査	遮蔽機能	○, ◎ ^{a)}	—	—	□(貯) ○(輸)	—
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの □：代表キャスクについて直接確認するもの —：検査対象外						
注記 2 (貯)：貯蔵機能維持確認検査 (輸)：輸送機能維持確認検査						
注 a) γ線透過試験を実施する場合						

R.2.7.2 遮蔽性能検査要領

R.2.7.2.1 製造時検査

R.2.7.2.1.1 γ線遮蔽性能検査要領

a) γ線透過試験を実施しない場合

1.検査目的	金属キャスクのγ線遮蔽体が、設計報告書に適合するγ線遮蔽性能を有することを確認する。
--------	--

2.検査時期	製造工場において、金属キャスク製作中。鍛造キャスクの場合は胴と底板の溶接完了後。鋳鉄キャスクの場合は機械加工完了後。
3.検査対象	a) 胴、底板、一次蓋及び二次蓋 b) 胴と底板の溶接部（鍛造キャスクの場合）
4.検査方法	a) 胴、底板、一次蓋及び二次蓋： 1) 遮蔽機能に係る材料検査記録（R.2.1.2.1 参照）を確認する。 2) 遮蔽機能に係る寸法検査記録（R.2.2.2.1 参照）を確認する。 3) 遮蔽機能に係る外観検査記録（R.2.3.2.1 参照）を確認する。 b) 胴と底板の溶接部（鍛造キャスクの場合）：溶接検査の放射線透過試験記録を確認する。
5.判定基準	a) 遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査及び外観検査の判定基準に適合していなければならない。 b) 鍛造キャスクの場合は、胴と底板の溶接部の放射線透過試験で規定される判定基準に適合しなければならない。

b) γ 線透過試験を実施する場合

1.検査目的	金属キャスクの γ 線遮蔽体が、設計報告書に適合する γ 線遮蔽性能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスクに鉛遮蔽体の充填後
3.検査対象	鉛充填部
4.検査方法	a) γ 線源（例 ^{60}Co ）を用いて、検査対象部位の最小遮蔽厚さと等しい厚みの鉛製試験片の γ 線の透過量をシンチレーションカウンタで計測する。 1) 鉛充填の容器内部に同じ γ 線源を挿入し、透過線量をシンチレーションカウンタで測定する。 2) 測定は、鉛充填部の全長・全周にわたって行う。 3) 検査中の線源の減衰を考慮し、適切な時間間隔で試験片による校正を行う。
5.判定基準	測定された計数率と試験片によって得られる計数率を比較し、容器の遮蔽寸法が最小遮蔽寸法を上回らなければならない。

R.2.7.2.1.2 中性子遮蔽性能検査要領

1.検査目的	金属キャスクの中性子遮蔽体が、設計報告書に適合する中性子遮蔽性能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク製作中の中性子遮蔽体充填時
3.検査対象	a) 金属キャスク本体部の中性子遮蔽体 b) 蓋部の中性子遮蔽体 c) 底部の中性子遮蔽体
4.検査方法	a) 遮蔽機能に係る材料検査記録（R.2.1.2.1 参照）を確認する。 b) 遮蔽機能に係る寸法検査記録（R.2.2.2.1 参照）を確認する。 c) 遮蔽機能に係る外観検査記録（R.2.3.2.1 参照）を確認する。
5.判定基準	遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査及び外観検査の判定基準に適合していなければならない。
注記 遮蔽体材料の成分の分布の確認が必要な場合は、材料検査において検査する。	

R.2.7.2.2 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが遮蔽機能を維持していることを確認する。
--------	----------------------------

2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵中に定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク（代表キャスク）
4.検査方法	a) 選定された代表キャスクを、他の金属キャスクからの線量の寄与が無視できる場所に移動する。 b) 代表キャスクの表面における γ 線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定する。 c) 代表キャスクの収納物仕様及び貯蔵期間に基づいた線量当量率解析値と前記測定値を比較する。
5.判定基準	測定値が解析値を上回ってはならない。
注記 1 代表キャスクは、金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵期間を考慮して選定する。 注記 2 検出器に遮蔽体及びコリメータを取り付けるなどして他の金属キャスクからの線量の寄与が無視できる場合、並びに寄与が計算によって補正できる場合には、代表キャスクを移動しなくてもよい。	

R.2.7.2.3 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが輸送容器としての遮蔽機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、長期検査として定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	検査対象の金属キャスクに対応する代表キャスクの貯蔵期間中の遮蔽性能検査記録（R.2.7.2.2 参照）を確認する。
5.判定基準	代表キャスクが遮蔽機能を維持していなければならない。
注記 代表キャスクは、金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵期間を考慮して選定する。	

R.2.8 線量当量率検査

R.2.8.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
線量当量率 検査	遮蔽 機能	—	◎	◎	—	◎
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.8.2 線量当量率検査要領

R.2.8.2.1 発電所搬出前検査、貯蔵前検査、貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	輸送物の最大線量当量率が、輸送法令に定める値を超えないことを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において、輸送物の搬出前 b) 中間貯蔵施設において、輸送物の受入時 c) 中間貯蔵施設において、輸送物の搬出前
3.検査対象	a) 輸送物表面における最大線量当量率 b) 輸送物表面から 1 m の距離における最大線量当量率
4.検査方法	輸送物の表面及び表面から 1 m の距離における γ 線量当量率及び中性子線量当量率をサーベイメータで測定する。
5.判定基準	a) 輸送物の表面において最大線量当量率（ γ 線量当量率と中性子線量当量率の合計）が 2 mSv/h 以下でなければならない。

	b) 輸送物の表面から 1 m の距離において最大線量当量率（ γ 線量当量率と中性子線量当量率の合計）が 100 μ Sv/h 以下でなければならない。
--	--

R.2.9 未臨界検査

R.2.9.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
未臨界検査	臨界防止機能	○, ◎ ^{a)}	◎	○	○ (貯), (輸)	○
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外 注記 2 (貯)：貯蔵機能維持確認検査 (輸)：輸送機能維持確認検査 注^{a)} 外観又は寸法を直接確認する場合に適用する。						

R.2.9.2 未臨界検査要領

R.2.9.2.1 製造時検査

1.検査目的	バスケットが、設計報告書に適合する臨界防止機能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、材料受取時及びバスケット製作完了時
3.検査対象	バスケット
4.検査方法	a) 製造時の臨界防止機能に係る材料検査記録 (R.2.1.2.1 参照) を確認する。 b) 巻尺、ノギス、マイクロメータ、その他の計測器具を用いて主要寸法測定箇所を測定する。又は、製造時の臨界防止機能に係る寸法検査記録 (R.2.2.2.1 参照) を確認する。 c) バスケットの外観を目視検査する。又は、製造時の臨界防止機能に係る外観検査記録 (R.2.3.2.1 参照) を確認する。 d) 製造時の臨界防止機能に係る溶接検査記録 (R.2.4.2.1 参照) を確認する。
5.判定基準	臨界防止機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の判定基準に適合しなければならない。
注記 中性子吸収材の分布の確認が必要な場合は、材料検査において検査する。	

R.2.9.2.2 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	金属キャスクが臨界防止機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において、燃料収納前 b) 中間貯蔵施設において、輸送物の受入時 c) 中間貯蔵施設において、輸送物の搬出前
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	a) 発電所搬出前検査：使用済燃料を収納する前の状態において、金属キャスク内に収納されたバスケットの外観を目視によって確認する。 b) 貯蔵前検査 1) 発電所搬出前検査の未臨界検査記録を確認する。 2) 貯蔵前検査の外観検査記録 (R.2.3.2.2 参照) を確認する。 c) 貯蔵後搬出前検査 1) 発電所搬出前検査の未臨界検査記録を確認する。 2) 貯蔵期間中検査の未臨界検査記録 (R.2.9.2.3 参照) を確認する。 3) 貯蔵後搬出前検査の外観検査記録 (R.2.3.2.2 参照) を確認する。

5.判定基準	a) 発電所搬出前検査にあつては、臨界防止機能に影響するバスケットの変形又は破損があつてはならない。 b) 貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査にあつては、臨界防止機能に影響する金属キャスクの変形又は破損があつてはならない。 c) 貯蔵後搬出前検査にあつては、a)及びb)に加え、貯蔵期間中検査の未臨界検査記録において臨界防止機能に影響する異常があつてはならない。また、貯蔵後搬出前検査の外観検査記録において臨界防止機能に影響する金属キャスクの変形又は破損があつてはならない。
--------	--

R.2.9.2.3 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが臨界防止機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵中に定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	a) 発電所搬出前検査の未臨界検査記録（R.2.9.2.2 参照）を確認する。 b) 発電所搬出前検査の圧力測定検査記録（R.2.6.2.1 参照）を確認する。 c) 貯蔵前検査の収納物検査記録（R.2.16.2.1 参照）を確認する。 d) 貯蔵期間中の外観検査記録（R.2.3.2.3 参照）を確認する。 e) 貯蔵期間中の二重蓋間圧力検査記録（R.2.5.3.2 参照）を確認する。 f) 貯蔵期間中の表面温度検査記録（R.2.11.3.1 参照）を確認する。
5.判定基準	a) 発電所搬出前に、臨界防止機能に影響するバスケットの変形又は破損が生じていてはならない。 b) 発電所搬出前に、残留水分量、並びに不活性ガスの純度、量及び圧力が検査仕様書で規定する条件に適合していなければならない。 c) 収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内でなければならない。 d) 貯蔵中のバスケットの形状、寸法及び／又は強度に影響する金属キャスクの変形又は破損があつてはならない。 e) 貯蔵中の金属キャスクの密封機能が健全であり、バスケットの腐食防止環境が維持されていなければならない。 f) 貯蔵中のバスケットの形状、寸法及び／又は強度に影響する金属キャスクの表面温度の異常があつてはならない。

R.2.9.2.4 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが輸送に必要な臨界防止機能を維持していることを以下の検査によって確認する。 a) 外観検査 b) 寸法検査 c) 中性子吸収材検査
2.検査時期	a) 外観検査：中間貯蔵施設において、中期検査及び長期検査として定期的に行う。 b) 寸法検査、c) 中性子吸収材検査：中間貯蔵施設において、長期検査として定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	a) 外観検査：貯蔵期間中の未臨界検査記録（R.2.9.2.3 参照）を確認する。 b) 寸法検査：貯蔵期間中の未臨界検査記録（R.2.9.2.3 参照）を確認する。 c) 中性子吸収材検査：貯蔵期間中の未臨界検査記録（R.2.9.2.3 参照）を確認する。
5.判定基準	a) 外観検査：バスケットの外観に影響する金属キャスクの異常があつてはならない。 b) 寸法検査：バスケットの寸法に影響する金属キャスクの異常があつてはならない。 c) 中性子吸収材検査：収納物の仕様及び貯蔵期間が設計評価条件内でなければならない。

R.2.10 伝熱検査

R.2.10.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
伝熱検査	除熱機能	○, □	—	—	□(貯) ○(輸)	—
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの □：代表キャスクについて直接確認するもの —：検査対象外 注記 2 (貯)：貯蔵機能維持確認検査 (輸)：輸送機能維持確認検査						

R.2.10.2 伝熱検査要領

R.2.10.2.1 製造時検査

a) 代表キャスクの場合

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋が、設計報告書に適合する除熱性能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク、緩衝体（製品を使用する場合）及び三次蓋（製品を使用する場合）の製作完了後
3.検査対象	a) 金属キャスクの人が容易に近接できる表面（輸送状態） b) 金属キャスク胴内面及びバスケット（貯蔵状態）
4.検査方法	a) 金属キャスク内外面及びバスケットに温度測定器（例 熱電対）を取り付ける。 b) 燃料集合体を模擬した電気ヒータをバスケットに収納し、一次蓋及び二次蓋を模擬した試験用仮蓋を取り付ける。 c) 金属キャスク内部及び蓋間空間にヘリウムガスを規定量又は規定圧力で封入する。 d) 輸送状態の検査では、輸送架台上に設置し、緩衝体並びに必要なに応じて近接防止金網及び三次蓋を取り付ける。（緩衝体、近接防止金網及び三次蓋は模擬体を使用してもよい。） 貯蔵状態の検査では、貯蔵時の姿勢に設置する。 e) 電気ヒータに通電し、設計発熱量以上を負荷する。 f) 発熱量、各部温度、周囲温度を連続記録する。 g) 金属キャスクの温度が平衡状態に達した後、発熱量、各部温度及び周囲温度を計測し記録する。 h) 検査終了後、電気ヒータの通電を止め、金属キャスクを冷却する。 i) 検査で測定された温度は、次式によって補正する。 $T_c = (T_m - T_a) \times (Q_s / Q_m) + T_e$ T_c ：補正温度（℃） T_m ：測定温度（℃） T_a ：環境温度（℃） T_e ：設計環境温度（輸送状態では 38℃、貯蔵状態では検査仕様書で規定する温度）（℃） Q_s ：設計発熱量（kW） Q_m ：計測発熱量（kW）
5.判定基準	a) 人が容易に近接できる輸送物表面の温度が 85℃を超えてはならない。（輸送状態） b) 胴内面温度が、検査仕様書で規定する胴の最高使用温度を超えてはならない。（貯

	蔵状態) c) バスケット温度が、検査仕様書で規定するバスケットの最高使用温度を超えてはならない。(貯蔵状態)
注記 1 伝熱検査温度測定部位図を添付する。	
注記 2 同一施工法で製造する同一設計の金属キャスクの代表キャスクに適用する。	
注記 3 b) 代表キャスク以外の場合と同様に、除熱機能に係る材料検査記録、寸法検査記録、外観検査記録及び溶接検査記録を確認する。	

b) 代表キャスク以外の場合

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋が設計報告書に適合する除熱性能を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク、緩衝体及び三次蓋の製作完了後
3.検査対象	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋
4.検査方法	a) 除熱機能に係る材料検査記録 (R.2.1.2.1 参照) を確認する。 b) 除熱機能に係る寸法検査記録 (R.2.2.2.1 参照) を確認する。 c) 除熱機能に係る外観検査記録 (R.2.3.2.1 参照) を確認する。 d) 除熱機能に係る溶接検査記録 (R.2.4.2.1 参照) を確認する。
5.判定基準	除熱機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の判定基準に適合しなければならない。

R.2.10.2.2 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが除熱性能を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵中定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク（代表キャスク）
4.検査方法	a) 選定された代表キャスクについて、温度計にて各部温度を測定するか、又は貯蔵期間中の表面温度検査記録 (R.2.11.3.1 参照) を確認する。 b) 代表キャスクの収納物仕様、貯蔵期間及び貯蔵環境に基づいた表面温度解析値と前記測定値を比較する。
5.判定基準	測定値が解析値を上回ってはならない。
注記 代表キャスクは、金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵時期を考慮して選定する。	

R.2.10.2.3 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが輸送に必要な除熱機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、長期検査として定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	検査対象の金属キャスクに対応する代表キャスクの貯蔵期間中の伝熱検査記録 (R.2.10.2.2 参照) を確認する。
5.判定基準	代表キャスクが除熱機能を維持していなければならない。
注記 代表キャスクは、金属キャスクの型式ごとに、収納物の仕様及び貯蔵時期を考慮して選定する。	

R.2.11 温度測定検査及び表面温度検査

R.2.11.1 検査区分

検査項目	確認項目	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設
------	------	------	--------	--------

	(安全機能等)	製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
温度測定検査	除熱機能	—	◎	—	—	◎
表面温度検査		—	—	◎	◎(貯)	—
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						
注記 2 (貯)：貯蔵機能維持確認検査						

R.2.11.2 温度測定検査要領

R.2.11.2.1 発電所搬出前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	人が容易に近づくことのできる輸送物の表面温度が、輸送法令に定める値を超えないことを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において、輸送物の搬出前 b) 中間貯蔵施設において、輸送物の搬出前
3.検査対象	輸送物
4.検査方法	温度計によって人が容易に近づくことのできる輸送物表面の温度を測定し、周囲温度 38℃での値に補正する。 $T_c = (T_s - T_a) + 38 \text{ (}^\circ\text{C)}$ T_c ：表面温度補正值 (°C) T_s ：表面温度実測値 (°C) T_a ：周囲温度実測値 (°C)
5.判定基準	人が容易に近づくことのできる輸送物の表面温度が、85℃を超えてはならない。

R.2.11.3 表面温度検査要領

R.2.11.3.1 貯蔵前検査及び貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクが除熱機能を維持していることを確認する。
2.検査時期	a) 中間貯蔵施設において、貯蔵場所設置時 b) 中間貯蔵施設において、貯蔵中定期的に行う。
3.検査対象	金属キャスク
4.検査方法	金属キャスクの本体中央部の表面温度を代表点として温度計又は温度センサによって測定する。
5.判定基準	金属キャスク本体中央部の表面温度が、設計報告書で規定する設計時の評価温度を超えてはならない。

R.2.12 耐圧・漏えい検査

R.2.12.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
耐圧・漏えい検査	構造強度	◎	—	—	—	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.12.2 耐圧・漏えい検査要領

R.2.12.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスク及び三次蓋の密封部が所定の耐圧性能を有することを確認する。
--------	-------------------------------------

2.検査時期	製造工場における密封容器構成部の組立溶接，溶接後熱処理及び機械加工終了後
3.検査対象	密封容器（一次蓋，二次蓋及び三次蓋）
4.検査方法	JSME S FA1-2007 に従う。
5.判定基準	JSME S FA1-2007 に従う。

R.2.13 吊上荷重検査及び吊上検査

R.2.13.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中 間 貯 蔵 施 設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
吊上荷重検査	構造強度	◎	—	—	—	—
吊上検査		—	◎	◎	○(輸)	◎
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						
注記 2 (輸)：輸送機能維持確認検査						

R.2.13.2 吊上荷重検査要領

R.2.13.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスクの吊上装置が，吊上強度を有することを確認する。
2.検査時期	製造工場において，金属キャスク本体製作後で吊上装置取付け完了後
3.検査対象	吊上装置（トラニオン）
4.検査方法	JSME S FA1-2007 に従う。
5.判定基準	JSME S FA1-2007 に従う。

R.2.13.3 吊上検査要領

R.2.13.3.1 発電所搬出前検査，貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	金属キャスクの吊上装置の外観に異常がないことを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において，金属キャスクの吊上時 b) 中間貯蔵施設において，金属キャスク受入時及び搬出前における吊上時
3.検査対象	吊上装置（トラニオン）
4.検査方法	JSME S FA1-2007 に従う。
5.判定基準	JSME S FA1-2007 に従う。

R.2.13.3.2 貯蔵期間中検査（輸送機能維持確認検査）

1.検査目的	金属キャスクの吊上装置の外観に異常がないことを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において，中期検査及び長期検査として定期的実施する。
3.検査対象	吊上装置（トラニオン）
4.検査方法	貯蔵期間中の外観検査記録（R.2.3.2.3 参照）を確認する。
5.判定基準	吊上装置（トラニオン）の外観に汚れ，腐食，傷，変形又は損傷があつてはならない。

R.2.14 重量検査

R.2.14.1 検査区分

検査項目	確認項目	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設
------	------	------	--------	--------

	(安全機能等)	製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
重量検査	構造強度	◎	○	○	—	○
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.14.2 重量検査要領

R.2.14.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋が設計報告書に適合する所定の重量であることを確認する。
2.検査時期	製造工場において、各部品製作完了後
3.検査対象	a) 金属キャスク本体部 b) 一次蓋、二次蓋及び三次蓋 c) バスケット（金属キャスク本体と一体構造の場合は、本体に含めてよい。） d) 上部、下部緩衝体
4.検査方法	JSME S FA1-2007 に従う。 ここで、各部品重量を、はかりで計測し、合計重量を求める。
5.判定基準	JSME S FA1-2007 に従う。 ここで、合計重量が、検査仕様書で規定する貯蔵時及び輸送時の設計重量以下でなければならない。

R.2.14.2.2 発電所搬出前検査, 貯蔵前検査, 貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	a) 搬出前：輸送物の重量が輸送に支障のないことを確認する。 b) 貯蔵前：金属キャスクの重量が貯蔵に支障のないことを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において、輸送物の搬出前 b) 中間貯蔵施設において、金属キャスクの受入時 c) 中間貯蔵施設において、輸送物の搬出前
3.検査対象	a) 搬出前：輸送物の重量（緩衝体及び三次蓋を含む。） b) 貯蔵前：金属キャスクの重量
4.検査方法	a) 搬出前：金属キャスク、緩衝体、三次蓋及び収納物の合計重量を、製造時の重量検査記録（R.2.14.2.1 参照）及び発電所搬出前の収納物検査記録（R.2.16.2.1 参照）によって確認する。 b) 貯蔵前：金属キャスク及び収納物の合計重量を、製造時の重量検査記録（R.2.14.2.1 参照）及び発電所搬出前の収納物検査記録（R.2.16.2.1 参照）によって確認する。
5.判定基準	検査仕様書で規定する重量以下でなければならない。
注記 貯蔵後搬出前検査において、新しく製造した緩衝体又は三次蓋を用いる場合には、それらの製造時検査記録によって確認する。	

R.2.15 据付検査

R.2.15.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中 間 貯 蔵 施 設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
据付検査	構造強度	—	—	◎	— ^{a)}	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外 注^{a)} 外観検査に含む。						

R.2.15.2 据付検査要領

R.2.15.2.1 貯蔵前検査

1.検査目的	金属キャスクが設計報告書で規定する状態で設置されていることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、金属キャスク設置時
3.検査対象	a) 金属キャスク b) 金属キャスクの固縛装置（固縛して設置する場合）
4.検査方法	a) 金属キャスクの据付位置及び据付状態について据付作業記録又は目視によって確認する。 b) 金属キャスクの外観について目視で検査する。
5.判定基準	a) 金属キャスクが検査仕様書で規定する位置に、規定する状態で据え付けられていなければならない。また、金属キャスク支持架台を用いる場合は、金属キャスクが所定の支持架台に確実に固定されていなければならない。 b) 金属キャスクに、支持機能に影響する汚れ、傷、変形又は損傷があってはならない。
注記 トラニオンについては JSME S FA1-2007 に記載の外観検査の規定に従う。	

R.2.16 収納物検査

R.2.16.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
収納物検査	使用済燃料	—	◎	○	○(貯)	○
注記 1 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						
注記 2 (貯)：貯蔵機能維持確認検査						

R.2.16.2 収納物検査要領

R.2.16.2.1 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	金属キャスクに収納する使用済燃料について、その仕様、数量及び金属キャスク内の収納配置が輸送上及び貯蔵上の認可条件に適合していること並びに 4.1.2 に示す使用済燃料の条件に適合していることを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において、使用済燃料収納時 b) 中間貯蔵施設において、金属キャスクの受入時 c) 中間貯蔵施設において、輸送物の搬出前
3.検査対象	使用済燃料（チャンネルボックス、バーナブルポイズン集合体を含む）、ツール、金属キャスク
4.検査方法	a) 発電所搬出前検査 1) 使用済燃料について、運転記録及び燃料収納作業記録によって仕様、数量及び金属キャスク内の収納配置を確認する。 2) 使用済燃料の外観を目視によって検査する。 3) 真空乾燥時における漏えいモニタリング（例 ^{85}Kr のモニタリング） 4) ツールについて、ツールの収納作業記録によって仕様、数量及び収納配置を確認する。 b) 貯蔵前検査 1) 発電所搬出前検査の収納物検査記録を確認する。

	2) 貯蔵前検査の金属キャスクの外観検査記録 (R.2.3.2.2 参照) を確認する。 c) 貯蔵後搬出前検査 1) 発電所搬出前検査の収納物検査記録を確認する。 2) 貯蔵期間中検査の収納物検査記録 (R.2.16.2.2 参照) を確認する。 3) 貯蔵後搬出前検査の外観検査記録 (R.2.3.2.2 参照) を確認する。
5.判定基準	a) 使用済燃料及びスツールの仕様、数量及び金属キャスク内の収納配置が、発電所搬出前検査及び貯蔵後搬出前検査にあつては輸送認可条件、貯蔵前検査にあつては貯蔵認可条件のとおりでなければならない。また、発電所搬出前検査にあつては使用済燃料の外観の異常又は漏えいがあつてはならない。 b) 発電所搬出前検査、貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査にあつては、4.1.2 に示す使用済燃料の条件に適合していなければならない。 c) 貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査にあつては、使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する金属キャスクの変形又は破損があつてはならない。 d) 貯蔵後搬出前検査にあつては、a)、b)及びc)に加え、貯蔵期間中検査の収納物検査記録において使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する異常があつてはならない。また、貯蔵後搬出前検査の外観検査記録において使用済燃料の健全性に影響する金属キャスクの変形又は破損があつてはならない。
注記 必要に応じ、金属キャスクの封印を確認する。	

R.2.16.2.2 貯蔵期間中検査（貯蔵機能維持確認検査）

1.検査目的	使用済燃料が健全性を維持していることを確認する。
2.検査時期	中間貯蔵施設において、貯蔵中に定期的に行う。
3.検査対象	使用済燃料（チャンネルボックス、バーナブルポイズン集合体を含む）、スツール、金属キャスク
4.検査方法	a) 発電所搬出前検査の収納物検査記録 (R.2.16.2.1 参照) を確認する。 b) 発電所搬出前検査の圧力測定検査記録 (R.2.6.2.1 参照) を確認する。 c) 貯蔵前検査の金属キャスクの外観検査記録 (R.2.3.2.2 参照) を確認する。 d) 貯蔵期間中検査の外観検査記録 (R.2.3.2.3 参照) を確認する。 e) 貯蔵期間中検査の二重蓋間圧力検査記録 (R.2.5.3.2 参照) を確認する。 f) 貯蔵期間中検査の表面温度検査記録 (R.2.11.3.1 参照) を確認する。
5.判定基準	a) 発電所搬出時において、使用済燃料及びスツールの外観に異常があつてはならない。 b) 発電所搬出前に、残留水分及び不活性ガスの充填が検査仕様書で規定する条件に適合していなければならない。 c) 輸送中に使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する外力の作用した形跡があつてはならない。 d) 貯蔵中の使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する外力の作用した形跡があつてはならない。 e) 貯蔵中の金属キャスクの密封機能が健全であり、使用済燃料及び／又はスツールの腐食防止環境が維持されていなければならない。 f) 貯蔵中の使用済燃料及び／又はスツールの健全性に影響する金属キャスクの表面温度の異常があつてはならない。
注記 必要に応じ、金属キャスクの封印を確認する。	

R.2.17 取扱検査

R.2.17.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
取扱検査	その他(取扱性)	◎	—	—	—	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.17.2 取扱検査要領

R.2.17.2.1 製造時検査

1.検査目的	金属キャスク、緩衝体及び三次蓋が、支障なく取り扱えることを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク、緩衝体及び三次蓋完成後
3.検査対象	a) 金属キャスク本体 b) 一次蓋、二次蓋及び三次蓋 c) バスケット d) 緩衝体
4.検査方法	金属キャスク等の取扱いを以下の手順で実施する。 a) 金属キャスク本体をたて置きし、設置状態を確認する。 b) 金属キャスク本体にバスケット（挿入・取出しを行う構造の場合）を挿入する。 c) バスケット孔への模擬燃料集合体の収納及び取出しを行う。 d) 金属キャスク本体に一次蓋、二次蓋及び三次蓋を取り付ける。 e) 金属キャスクを輸送架台上に横置きに設置する。 f) 緩衝体の取付け及び取外しを行う。 g) 金属キャスクを輸送架台上でたて起こし、移動し、たて置きに設置する。 h) 三次蓋を取り外す。 i) 二次蓋及び一次蓋を取り外す。 j) バスケット（挿入・取出しを行う構造の場合）を抜き出す。
5.判定基準	a) 各部品の組込み、取外し、吊上げの取扱いが支障なく行えなければならない。 b) 模擬燃料集合体の収納及び取出しが支障なく行えなければならない。

R.2.18 作動確認検査

R.2.18.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
作動確認検査	その他(取扱性)	◎	—	—	—	—
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.18.2 作動確認検査要領

R.2.18.2.1 製造時検査

1.検査目的	弁が装備された金属キャスクにあっては、当該弁が正常に作動することを確認する。
2.検査時期	製造工場において、金属キャスク製作完了後で弁を金属キャスク本体、蓋に組込み完了後
3.検査対象	弁
4.検査方法	各弁を手動にて操作（開閉）する。
5.判定基準	弁が正常に作動しなければならない。

R.2.19 表面密度検査

R.2.19.1 検査区分

検査項目	確認項目 (安全機能等)	製造工場	原子力発電所	中間貯蔵施設		
		製造時検査	搬出前検査	貯蔵前検査	貯蔵期間中検査	搬出前検査
表面密度検査	その他	—	◎	◎	—	◎
注記 ◎：直接確認するもの ○：記録確認によるもの —：検査対象外						

R.2.19.2 表面密度検査要領

R.2.19.2.1 発電所搬出前検査，貯蔵前検査及び貯蔵後搬出前検査

1.検査目的	a) 搬出前：輸送物の表面の放射性物質の密度が，輸送法令に定める値を超えないことを確認する。 b) 貯蔵前：金属キャスクの表面密度が，貯蔵に支障のないものであることを確認する。
2.検査時期	a) 発電所において，燃料収納後の搬出前 b) 中間貯蔵施設において，金属キャスク受入時 c) 中間貯蔵施設において，輸送物の搬出前
3.検査対象	a) 搬出前：輸送物の表面 b) 貯蔵前：金属キャスクの表面
4.検査方法	スミヤ法によって輸送物又は金属キャスクの表面の放射性物質の密度を測定する。
5.判定基準	a) α線を放出する放射性物質：0.4 Bq/cm ² 以下でなければならない。 b) α線を放出しない放射性物質：4 Bq/cm ² 以下でなければならない。

附属書 S
(規定)
代表キャスクの伝熱検査による除熱設計の妥当性評価方法

序文

この附属書は、金属キャスクの製造時に実施する代表キャスクを用いた伝熱検査による除熱設計の妥当性評価方法を規定する。

S.1 基本的考え方

代表キャスクの伝熱検査結果から除熱設計の妥当性を確認するに当たっては、製造上の個体差を考慮する必要がある。すなわち、代表キャスクの伝熱検査における温度測定値が解析値を下回るだけでは除熱設計の妥当性確認には不十分であり、代表キャスクの寸法検査結果（伝熱部材に係る溶接検査結果を含む。）を反映した解析評価を行って、その場合でも測定値がその解析値を下回ることを確認するとともに、伝熱部材の熱物性値のバラツキが除熱設計の妥当性評価に影響しないことを確認しておく必要がある。

S.2 評価パラメータの抽出

製造上、個々の金属キャスクの除熱性能に影響する以下の項目について評価パラメータを抽出する。

- ① 伝熱部材の寸法
(例 伝熱フィンの取付部寸法 (例 溶接脚長), ギャップ幅 (例 バスケット外面と胴内面のギャップ幅))
- ② 伝熱部材の熱的性質
(例 熱伝導率, 比熱, 比重, 表面処理)

S.3 伝熱部材の寸法による影響評価方法

S.3.1 伝熱性能に影響する伝熱部寸法公差の確認

S.2 で抽出した評価パラメータの寸法公差を確認する。

S.3.2 伝熱部寸法公差の金属キャスク各部温度への影響評価

S.3.1 で抽出した寸法公差が金属キャスクの各部温度に与える影響について、形状をモデル化し、信頼性のある伝熱解析コードを使用して評価する。ただし、安全側の評価結果を与えることが十分な根拠を持って予想される場合には、簡易モデルによる解析又は計算式による評価を用いてよい。

S.4 伝熱部材の熱的性質による影響評価方法

S.4.1 伝熱性能に影響する熱物性値のバラツキの確認

S.2 で抽出した評価パラメータの熱物性値のバラツキを確認する。

なお、伝熱部材の熱物性値については、同一材料ロットで製造されたものに関しては違いが無視できると考えられ、全製造号機の伝熱部材が代表キャスクの伝熱部材と同じ材料ロットであることが証明できる場合は、製造号機ごとに伝熱部材の熱物性値の影響を評価する必要はない。製造号機によって材料ロットが変わる場合については、その影響の確認が必要である。

S.4.2 熱物性値の金属キャスク各部温度への影響評価

S.4.1 で抽出した熱物性値が金属キャスクの各部温度に与える影響について、形状をモデル化し、信頼性のある伝熱解析コードを使用して評価する。ただし、安全側の評価結果を与えることが十分な根拠を持って予想される場合には、簡易モデルによる解析又は計算式による評価を用いてよい。

S.5 伝熱検査結果の評価方法

S.5.1 評価部位の選定

金属キャスクの設計に照らし、温度裕度が比較的少ない部位を選定する。

(例 金属バスケット、中性子遮蔽材、バスケット (アルミニウム合金製の場合)、燃料集合体) (図 S.1 参照)

S.5.2 評価方法

以下の方法によって除熱設計の妥当性を評価する。

1) S.3 及び S.4 によって評価した最大温度変動幅 A °C (最高温度と最低温度の差) を求める (図 S.2 参照)。

2) 代表キャスクの伝熱検査における温度測定値が解析値に比べ A °C 以上低い場合は、除熱設計は当該部位に対し十分な余裕を持つと判断できる。

2) を満たさない場合には、製造検査記録によって明確となっている代表キャスクの実寸法及び熱物性値を基準として、寸法公差及び熱物性値のバラツキによる最大温度変動幅 B °C を、S.3 及び S.4 と同様の評価によって求め (図 S.2 参照)、代表キャスクの伝熱検査における温度測定値が解析値に比べ B °C 以上低い場合は、除熱設計は対象部位に対し十分な余裕を持つと判断できる。

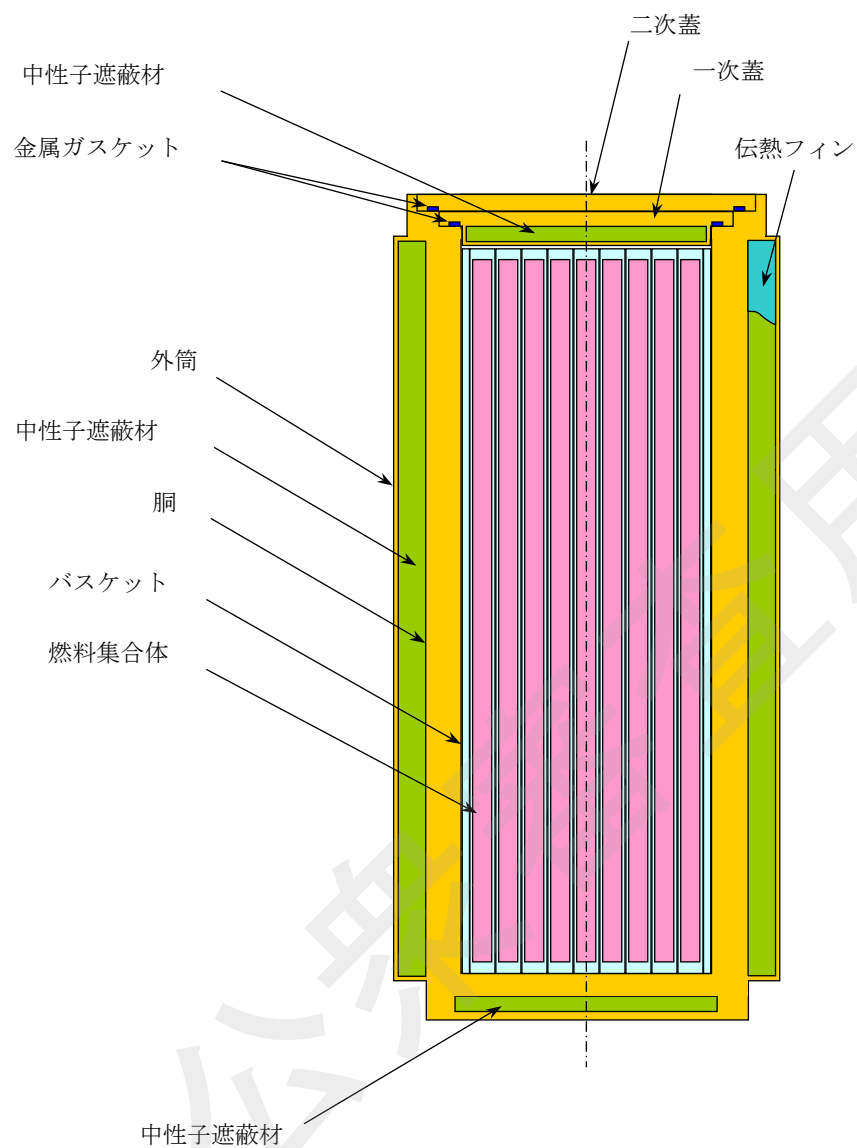


図 S.1ー金属キャスクの構造例

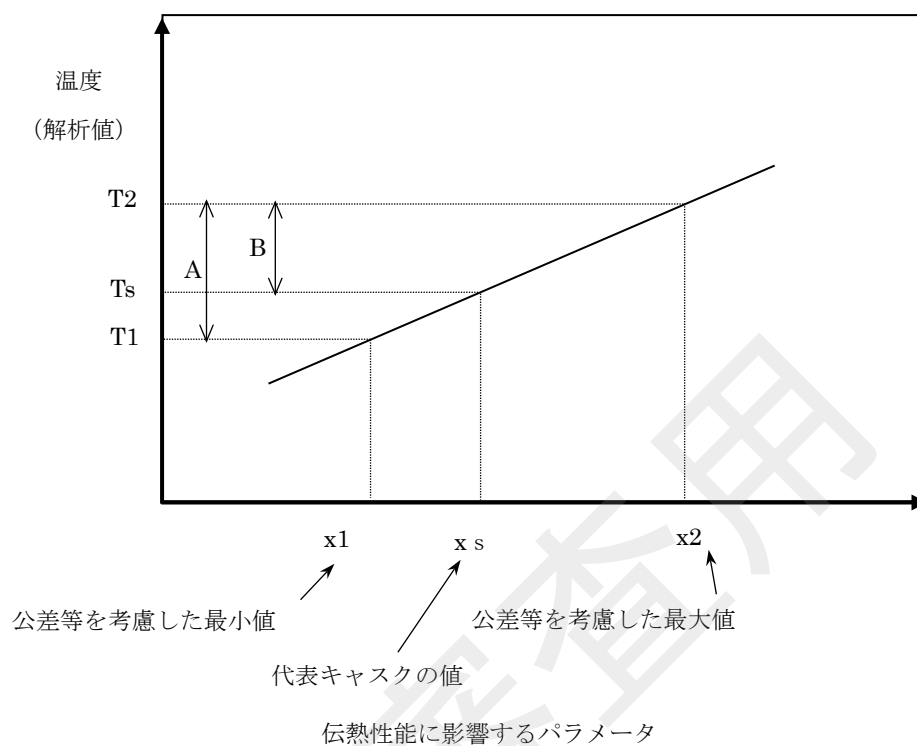


図 S.2—妥当性の判断に用いる温度差の概念

附属書 T

(参考)

代表キャスクの伝熱検査による除熱設計の妥当性の評価例

序文

この附属書は、本体に関連する事柄を説明するものであり、規定の一部ではない。

この附属書は、金属キャスクの製造時に実施する代表キャスクを用いた伝熱検査による除熱設計の妥当性評価例を示すものである。

この附属書では、金属キャスクの燃料温度に最も影響の大きいバスケットと胴内面のギャップ幅の公差による影響とバスケット材料の熱伝導率の変動による影響を評価した例を示す。

T.1 伝熱部材の寸法による影響

T.1.1 伝熱部寸法公差例

金属キャスクの燃料温度に最も影響の大きいものとして、バスケットと胴内面のギャップがある。一般的に金属キャスクの胴内面及びバスケット外面は機械加工されるため、その直径の公差は ± 2 mm 程度に抑えられている。すなわち、ギャップ幅としては片側 ± 2 mm が許されることになる。

T.1.2 伝熱部寸法公差の燃料温度への影響

金属キャスクの径方向温度分布への寸法の影響例を図 T.1 に示す。胴内面とバスケット外面の温度差はギャップ中のヘリウムの熱伝導率と放射率で定まり、ギャップ幅 ± 2 mm による燃料温度の変動は、 ± 9.5 °C¹⁾である。なお、この例ではバスケットの偏芯は考慮していない。

注 1) 温度変動は設計に依存し、ここでの数値は一例である。以下も同様。

T.2 伝熱部材の熱的性質による影響

T.2.1 熱物性値例

金属キャスクのバスケットに用いられるアルミニウム合金の熱伝導率の測定結果例を図 T.2 に示す。溶解平均値のバラツキは、全平均値に対して 2 %未満である。

T.2.2 熱物性値の燃料及び金属キャスク胴部温度への影響

金属キャスクの径方向温度分布への熱物性値の影響例を図 T.3 に示す。外筒表面と胴内面の温度差は 10 °C、バスケット外面とバスケット格子温度最高点の温度差は 52 °C である。胴内面とバスケット外面の温度差はギャップ中のヘリウムの熱伝導率と放射率で定まるため、部材の熱伝導率には影響されない。したがって、伝熱部材の熱伝導率のバラツキに影響

される温度差は $10+52=62$ °Cであり、熱伝導率が ± 2 %変動しても燃料温度の変動は ± 1.2 °Cである。また、胴内面温度では、変動は ± 0.2 °Cである。

T.3 伝熱検査結果の評価例

バスケット格子温度最高点の最大温度変動幅は、ギャップ寸法の影響と熱物性値の影響を合わせて $\pm(9.5+1.2)=\pm 10.7$ °Cである。したがって、バスケットや燃料に関しては、代表キャスクの伝熱検査における温度測定値が解析値より 21.4 °C(附属書 S の S.5.2 の A °C に相当する。 ± 10.7 °Cの最大温度変動幅) 以上低ければ、除熱設計はこれらの部位に対して十分な余裕を持つと判断できる (図 T.4 参照)。

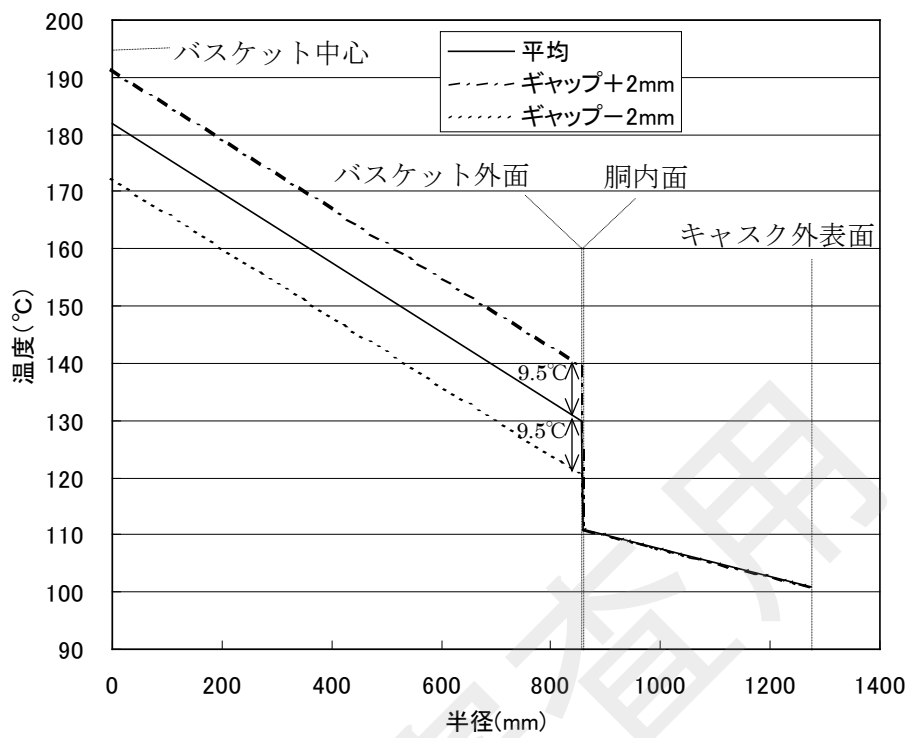


図 T.1ー金属ヘルメットの半径方向温度分布へのギャップ部寸法の影響例

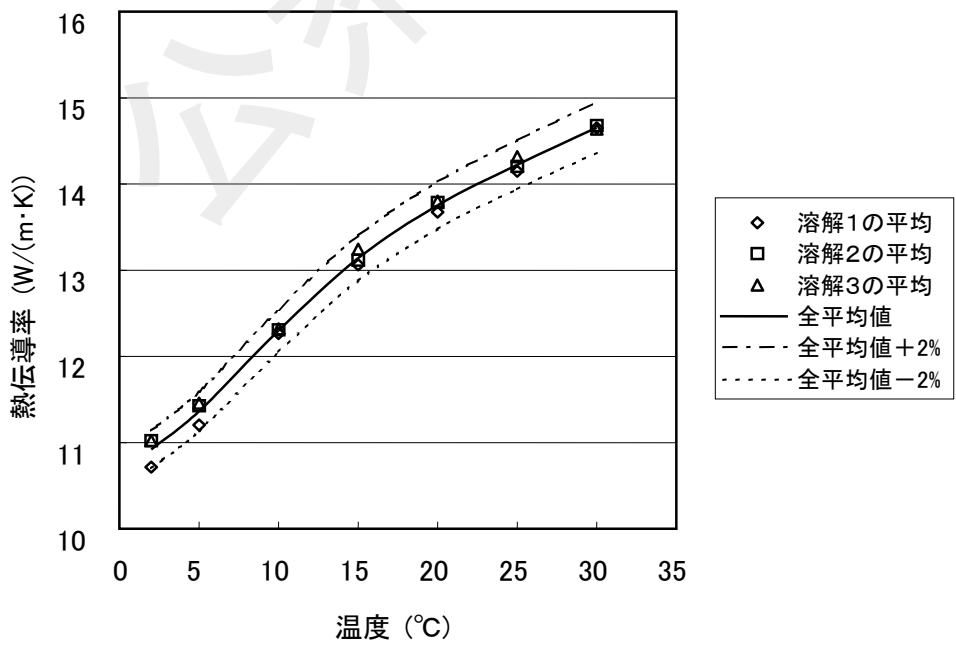


図 T.2ーアルミニウム合金の熱伝導率例

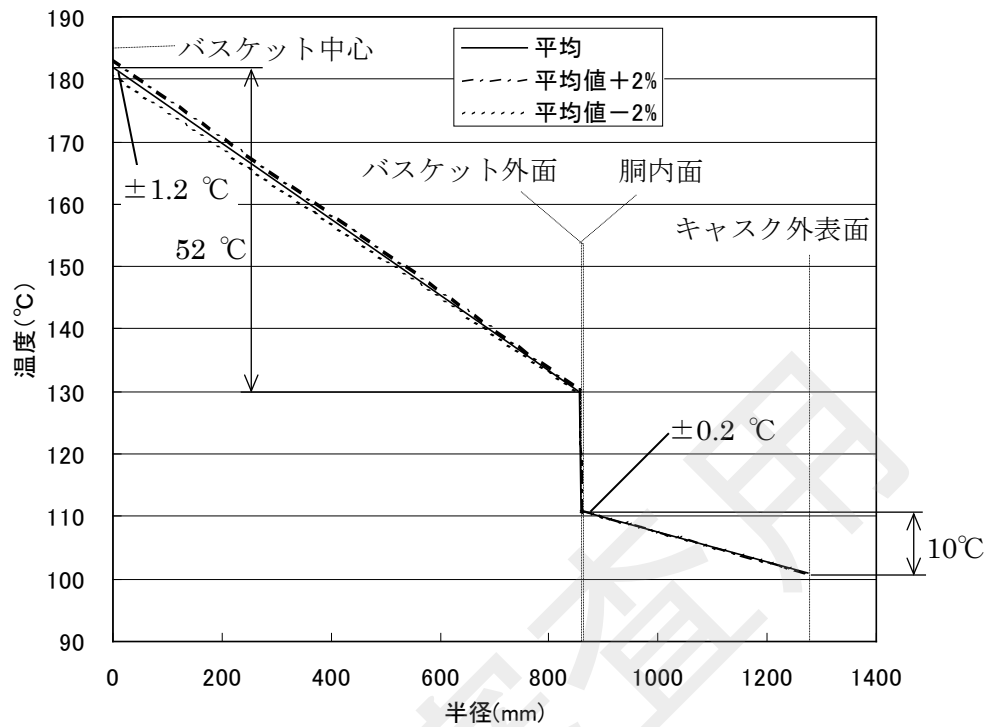


図 T.3—金属キャスクの半径方向温度分布への熱伝導率の影響例

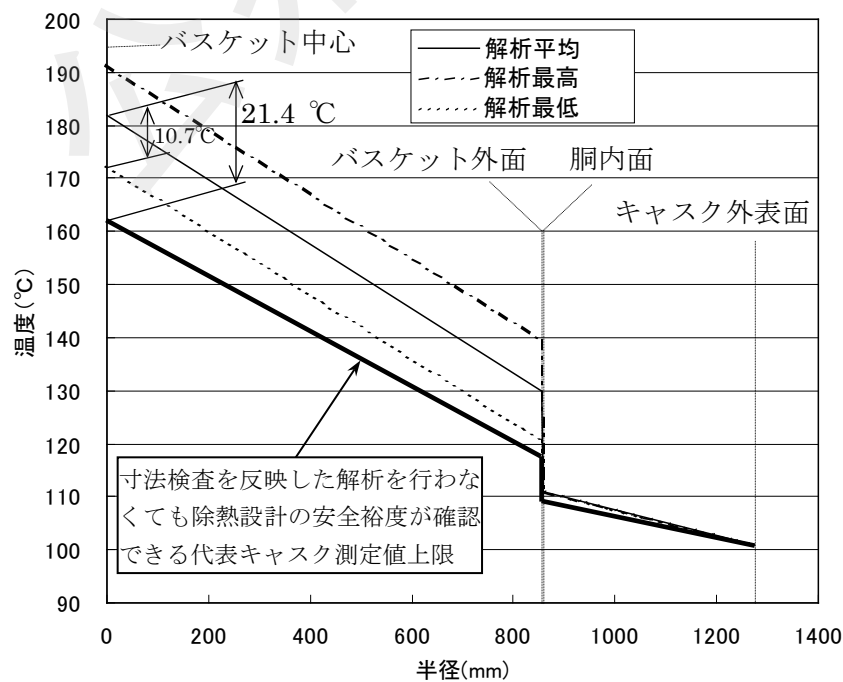


図 T.4—代表キャスクの測定値による評価例

AESJ-SC-F002 :202X

使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの 安全設計及び検査基準

解 説

この解説は、本体及び附属書に記載した事柄並びにこれらに関連した事柄を説明するものであり、標準の一部ではない。

1 制定の趣旨

我が国においては、原子力発電所から発生する使用済燃料は全量再処理し、リサイクルすることによって有効利用することとしている。しかしながら、使用済燃料発生量と再処理量のギャップなどから、使用済燃料をリサイクル燃料資源として備蓄する中間貯蔵施設の必要性が高まっており、1999年6月には原子炉等規制法が改正されて使用済燃料の貯蔵の事業が加えられている。

(社)日本原子力学会標準委員会原子燃料サイクル専門部会では原子力標準の策定の一環として原子燃料リサイクル分野の民間基準を充実すべく、2000年6月にリサイクル燃料貯蔵分科会を設置して検討を開始した。最も基準化のニーズが高いものとして本分科会で最初に取り上げたのが、中間貯蔵施設で使用する金属キャスクに関するこの標準である。

金属キャスクによる中間貯蔵施設の技術開発は1970年代後半から始められ、既に海外で実用化されている。これは、輸送貯蔵兼用である金属キャスクによる発電所外中間貯蔵施設は、優れた安全性を持ち、柔軟かつ経済的な中間貯蔵の方法として評価されているためである。我が国でも同じ観点から、原子力発電所外に立地する中間貯蔵施設に用いる技術として、最も実用化が早いとみられている。

この標準の策定においては、折からの通商産業省（現経済産業省）による金属キャスク貯蔵施設の技術基準の検討や原子力安全委員会による安全設計及び安全評価に関する指針の検討と並行して作業が進み、相互に影響しあって、これら技術基準や指針に対応する金属キャスクに関する民間基準として本標準を2002年6月に制定した。

金属キャスクによる中間貯蔵の利点は、中間貯蔵施設においては金属キャスクを搬入・設置・搬出するだけであり、使用済燃料を直接取り扱う必要がないことに負う部分が多い。中間貯蔵施設で使用済燃料を金属キャスクから取り出して扱うことになれば、そのための設備を要することはもちろん、燃料取扱いに関わる事故や放射性物質放出の機会が増すこととなり、単に金属キャスクを貯蔵する場合に比べて安全確保のための負担が大きく

なることが懸念される。したがって、使用済燃料を直接取り扱う必要がない、すなわち、燃料詰替設備を要しないことが、金属キャスクによる中間貯蔵施設のあるべき姿といえる。

これを実現するためには、貯蔵期間中において金属キャスクが基本的安全機能を維持し、貯蔵後の輸送に対応する安全機能を維持し、かつ、収納する使用済燃料の健全性を維持できる必要がある。この観点から、この標準は、数十年にわたる貯蔵期間とその後の輸送を考慮しても金属キャスクの基本的安全機能及び使用済燃料の健全性を維持するための安全設計の方法、並びにそれらが維持されていることを確認するための検査の方法を確立することを目的として、策定作業を行った。

その結果、中間貯蔵施設での貯蔵環境条件は金属キャスクにとって、加えられる負荷の少ない穏やかなものであり、貯蔵期間中の金属キャスクの基本的安全機能への影響は設計上予見し得る、また、収納される使用済燃料についても、不活性雰囲気中で燃料被覆管にわずかなクリープしか生じ得ない温度範囲で貯蔵することによって、使用済燃料の系統的損傷の発生は十分防止し得ると判断した。したがって、金属キャスクの製造から輸送、貯蔵にわたるまで、安全設計で想定した条件内にあることを検査することによって、金属キャスクの基本的安全機能及び使用済燃料の健全性の維持を確認することができる。

ここで、使用済燃料の健全性については、金属キャスク内部のガスをサンプリングして確認する方法も考えられるものの、サンプリングを行うことは密封境界を壊すことであり、かつ、そのため金属キャスクに新たな設備を追加することは、貯蔵時の密封機能を脆弱にすることとなり、金属キャスクによる貯蔵の理念に相反することとなる。

なお、この標準では、貯蔵後搬出前検査において使用済燃料の外観目視などによって健全性を直接的に確認しないこともあり、貯蔵後輸送時における密封機能に更なる安全裕度をもたせる観点から、密封設計に用いるソースタームはある程度使用済燃料の破損を仮定して設計することを要求した。

2 前回までの改定の趣旨及び経緯

この標準は、2004年、2008年及び2010年の3回の改定を経て、今回（202X年）の改定にいたった。改定の経緯を次に示す。

a) 2004年の改定の趣旨は、次のとおりである。

原子力安全委員会によって“金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針”及び“使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について”が2002年10月に制定されたことから、この標準についても安全審査指針などと不整合を生じないように、また、安全審査指針などの内容を反映した、より使いやすい標準になるよう一部改定を行った。

b) 2008年の改定の趣旨は、次のとおりである。

2006年4月に、原子力安全・保安院が“金属キャスクを用いる使用済燃料貯蔵施設の安全審査に係る技術要件”を改定したことから、この標準についても技術要件を踏

まえ、また、今後の国の安全審査などにおいてこの標準がより有効に使われるために、標準の内容の充実を図る改定を行った。

また、原子力安全委員会の“使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について”の要求を反映して、金属キャスクに収納する使用済燃料の条件の一つに、長期健全性の維持についての判断をするに必要なデータが得られていることを要求し、これまでの標準に規定として要求していた発電所施設内又はその他の施設内で先行的に貯蔵して健全性を確認している実績のあることを示す方法については、データによる評価の妥当性確認方法の一方法であるとの位置付けとした。先行貯蔵による燃料健全性に関する知見の蓄積方法についても示した。

c) 2010 年の改定の趣旨は、次のとおりである。

むつ市に建設を予定している国内初の中間貯蔵施設は、安全審査の段階にあり、原子力安全・保安院は、その後の設計及び工事の方法の認可（以下“設工認”という。）の審査のための準備に入っていたことから、この標準が、設工認の審査において有効に用いられるよう、規定内容の充実、最新知見の取入れなどを行い、改定を行った。

また、この機会に最新の JIS 規格を反映した JIS 記載様式への変更も併せて行った。

3 今回(202X)の改定の趣旨

むつ市に建設中の中間貯蔵施設は新規制基準への適合性の審査中であり、これまでの審査状況を踏まえ、適宜記載への反映を検討した。

貯蔵時の異常事象／事故に対して、従来は、“異常事象”は輸送の一般の試験条件以下、“事故”は輸送の特別の試験条件以下との概念で金属キャスクへの要求事項を定めていたが、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故以降、原子力規制委員会の安全審査において“新規制基準”が導入され、事故などで想定すべき事象や頻度の見直しが行われており、“異常事象”が輸送の一般の試験条件を超え、“事故”が輸送の特別の試験条件を超えることが想定される。そこで今回の改定では、貯蔵時の事象に対する要求事項を輸送時の要求事項と切り離して整理することとした。ただし、各事象の安全設計に必要な事項は、今後の施設審査で明確になるため、次回改定時に審査実績全体を含めて反映することとした。

各安全機能に対する要求事項の基本的な思想は以下のとおりである。

一 異常事象時

放射性物質の漏えいがないことを求める。また、金属キャスクの遮蔽体損傷による若干の線量の増加がありうるが、施設として一般公衆の放射線被ばくを十分に低くするものとし、金属キャスクに対する線量当量率基準は定めない。必要に応じて金属キャスクの補修を行い搬出できることを求める。

一 事故時

金属キャスクの損傷による放射性物質の漏えい及び線量の増加がありうるが、補修及び／又は必要に応じての安全機能の復旧措置によって、施設として一般公衆の過度の放射線被ばくを防止するものとし、金属キャスクに対する密封機能、遮蔽機能の維持は要求しない。輸送のために必要な措置を講ずることによって搬出できることを求める。

また、**JSME S FA1-2007** のバスケット用アルミニウム合金の事例規格の廃止を反映するとともに、他の規格・標準の最新版との整合を図り、他の規格との線引き及び他の標準との棲分けを考慮し、記載の見直しを行った。

そのほか、主として金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の経年変化に関する最新知見の取入れを図るとともに、関連する引用文献の見直し及びそれに伴う記載の見直しを行った。

4 主な改定ポイント

主な改定ポイントは、次のとおりである。

- a) **序文** 燃料詰替設備を持たない中間貯蔵施設用の金属キャスクを本標準の対象とする理由を記載した。
- b) **1 適用範囲** 適用範囲として、金属製の乾式キャスクであることを明確にした。
- c) **2 引用規格** 引用規格の最新化及び追加を行った。
- d) **3 用語及び定義** 主な改定ポイントは、次のとおりである。その他、法令改正の反映及び必要な修正を行った。
 - 1) **JSME S FA1-2007** との整合を図り、金属キャスクの構成部材である“密封容器”と“中間胴”の定義を修正した。
 - 2) 貯蔵時の二次蓋の位置付けを二重蓋間圧力監視境界としたため、“一次蓋、二次蓋及び三次蓋”の記載を“密封蓋”に変更した。
 - 3) “シール部”の定義を追加した。
 - 4) 検査における“直接確認”及び“記録確認”の定義を追加した。
 - 5) **AESJ-SC-F001-2008** との整合を図り、“中期検査”と“長期検査”については、輸送機能の維持を目的とした検査であることを明確にした。
- e) **4 金属キャスクの安全設計** 主な改定ポイントは、次のとおりである。その他、必要な修正を行った。
 - 1) **4.1.1 金属キャスクの貯蔵条件** 貯蔵建屋内に金属キャスクを設置する法令要求はないため、a)を削除するとともに、中間貯蔵施設の具体化に伴い、貯蔵時、異常事象時及び事故時の要求事項を見直した。
 - 2) **4.1.2 c)** の使用済燃料の冷却期間条件は技術的な要件でないため削除した。

- 3) **4.1.3 輸送と貯蔵の兼用に対する考慮** 4.1.1 と重複する記載を削除した。
 - 4) **4.2.1 a) 金属キャスクの密封境界** 二次蓋の位置付け見直しのため、“一次蓋，二次蓋，必要に応じ三次蓋”の記載を“密封蓋”に変更した。
 - 5) **4.2.1 b) 金属キャスクの内部環境** 異常事象時及び事故時の要求事項の見直しに伴い，事故時に負圧維持を要求しないこととした。
 - 6) **4.2.1 e) 貯蔵時の密封機能のモニタリング** 二重蓋間圧力監視装置の概略図の例を追加した。
 - 7) **4.2.1 f) 貯蔵時の除熱機能のモニタリング** 表面温度監視装置の概略図の例を追加した。
 - 8) **4.2.2 密封設計** AESJ-SC-F006-2013 との棲み分けを考慮して，重複する設計については AESJ-SC-F006-2013 を引用した。また，貯蔵時の設計要求から設計例を削除し，事故時に負圧維持を要求しないこととした。併せて，設計基準については，貯蔵時と異常事象時に分けて規定した。
 - 9) **4.2.3 遮蔽設計** 貯蔵の異常事象時，事故時の設計要求を見直した。また，AESJ-SC-F006-2013 との棲み分けを考慮して，重複する設計については AESJ-SC-F006-2013 を引用した。さらに，発電所外貯蔵時の金属キャスクに対する遮蔽機能については法令上の規定がないことから，設計基準から削除した。ただし，発電所外貯蔵時の金属キャスクに対する線量当量率の基準値は，設計仕様書に定められる場合がある。その他，中性子遮蔽材の放射線照射及び熱による減損の考慮は，中性子遮蔽材の種類に関わらず要求した。
 - 10) **4.2.4 臨界防止設計** AESJ-SC-F006-2013 との棲み分けを考慮して，重複する設計については AESJ-SC-F006-2013 を引用した。また，金属キャスクの配列については，要求事項のみの記載とした。
 - 11) **4.2.5 除熱設計** 貯蔵の事故時の設計要求を見直した。また，AESJ-SC-F006-2013 との棲み分けを考慮して，重複する設計については AESJ-SC-F006-2013 を引用した。
 - 12) **4.2.6 構造強度設計** 貯蔵の事故時の設計要求を見直した。また，JSME S FA1-2007 との線引きを考慮して，重複する設計については JSME S FA1-2007 を引用した。
- f) **5 金属キャスクの検査** 主な改定点は，次のとおりである。
- 1) **5.1 検査を行う段階と検査項目** 貯蔵期間中の空容器の定期点検について，引用規格である AESJ-SC-F001-2008 の“空容器期間中の点検”に準じている旨を明確化した。表 2 の注 c) も同様の改定を行った。また，表 1 において，貯蔵前における温度測定検査を検査対象外とした。さらに，表 2 の注 b) において，伝熱検査の考え方を明確化した。
 - 2) **5.2 a) 材料検査** 5) その他において，ここでの確認は検査仕様書で規定する仕様に基づく旨を明記するとともに，JSME S FA1-2007 に記載のある構造強度部材

は、同規格に従って検査する旨を明記した。**5.2 b) 寸法検査**、**5.2 c) 外観検査**及び**5.2 d) 溶接検査**についても同様の改定を行った。

- 3) **5.2 c) 外観検査** 3) **貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査**の検査対象について、金属キャスク支持架台を対象外とした。
- 4) **5.2 e) 気密漏えい検査** 貫通孔シール部の定義を明確化するとともに、貫通孔シール部の検査を漏えい率基準としない場合について記載した。
- 5) **5.2 j) 未臨界検査** 1) **製造時検査**において、寸法、外観を直接確認してもよいとした。また、2) **発電所搬出前検査**、**貯蔵前検査**及び**貯蔵後搬出前検査**の検査対象について、金属キャスクの外観検査記録を参照する場合もあるため、“金属キャスク”とし、**5.2 s) 収納物検査**についても同様の改定を行った。さらに、3) **貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査**の検査方法において、発電所搬出前検査の圧力測定検査の記録確認を追加した。
- 6) **5.2 k) 伝熱検査** 伝熱検査の考え方を明確化した。
- 7) **5.2 q) 重量検査** 製造時検査とそれ以外を分けて記載した。
- 8) **5.2 r) 据付検査** JSME S FA1-2007 の据付時の外観検査との整合を図った。
- 9) **5.2 s) 収納物検査** 2) **貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査**の検査方法において、発電所搬出前検査の圧力測定検査及び貯蔵前検査の外観検査の記録確認を追加した。
- g) **附属書 A 事業者の責任** 設計仕様書の作成に当たり、貯蔵施設の貯蔵計画を明示した。
- h) **附属書 B 金属キャスクによる中間貯蔵施設** 新規制基準施行後の、中間貯蔵施設に係る関連規則を考慮して記載を最新化した。また、貯蔵中の異常事象時／事故時に対する安全評価の考え方、評価項目及び措置の見直しを行った。
- i) **附属書 D 金属キャスクの構造と運用の様態** 考慮する事象抽出例について、**附属書 B**との関連性を追加した。
- j) **附属書 E 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の長期健全性維持に関する設計基準**、**附属書 F 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の経年変化に関するデータ** 従来、**附属書 E**の設計基準の根拠としたデータ（文献抜粋）を**附属書 F**に示しているが、文献を再評価して見直すとともに、新たに調査した文献のデータを追加した。併せて、**表 E.2—金属キャスクの構成部材の長期健全性に対する設計基準**も一部見直した。また、**附属書 F**に**表 F.1—附属書 E の設計基準設定の考え方**を追加した。
- k) **附属書 G 中間貯蔵における金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法** 金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法として、設計データから評価にて確認する方法を要求していることを明確化し、また、“先行確認”は誤解を招く表現であるため、本附属書のタイトルに合わせて“長期健全性確認”との表現に改めた。

- l) **附属書 J 金属キャスクの密封設計における使用済燃料の破損の仮定** 米国の燃料貯蔵中の漏えい燃料発生率及び国内の燃料貯蔵実績を最新化した。また、国内の軽水炉運転中の漏えい燃料発生率の出典を明確化した。さらに、PWR 用燃料被覆管材料の破壊靱性値を最新化した。
- m) **附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード** 最新の知見を反映して、ライブラリ／コードの追加及び削除を行った。ただし、ライブラリ／コードについては、妥当性確認までは行わず、標準使用者の便宜のため、適用性があるライブラリ／コードを“参考”として紹介する位置付けとした。また、参考文献の最新版への変更又は最新版の併記を行った。その他、検証例の文献を追加した。
- n) **附属書 L 金属ガasketの漏えい率の設定方法** 漏えい率の計算式の出典としている規格について、最新版の反映を行うとともに、当該計算式中に含まれる係数について、理論値に変更した。
- o) **附属書 M 金属ガasketの漏えい率の設定例** ラーソン・ミラーパラメータ（以下、“*LMP*”という。）の定数に $C=20$ を採用している根拠を示した。図M.6, 7, 8 は、2010 年版では 2009 年 3 月時点のデータを示していたが、試験は 2010 年 1 月まで実施されたため、データを最新化した。
- p) **附属書 N 燃料被覆管の制限値** 照射材のクリープは、(財)電力中央研究所の実験に基づく未照射の燃料被覆管クリープ式を用いることで安全側の結果を与えるとして、BWR 用燃料被覆管のクリープ式は(財)電力中央研究所の実験に基づく未照射の燃料被覆管クリープ式のみを記載していたが、(独)原子力安全基盤機構において照射済の燃料被覆管クリープ式を作成しているため、これを追加した。また、未照射の燃料被覆管クリープ式中の変数の単位を修正した。さらに、(独)原子力安全基盤機構において実施された BWR 用燃料被覆管を用いた内圧破裂試験結果によると、BWR 用燃料被覆管で想定される水素吸収量 400 ppm を下回る水素吸収量において周耐力に低下傾向を示すデータが見られるため、“水素吸収が燃料被覆管の機械的特性に与える影響を考慮する必要がある”との記載に変更した。
- q) **附属書 O 燃料被覆管の制限値に関するデータ、附属書 P 燃料被覆管のクリープによる温度制限値評価例** クリープひずみの累積量の制限値について、その根拠となるデータを追加した。また、燃料被覆管の制限値に関連した附属書(参考)が**附属書 O**、**附属書 P**として複数存在していたため、これらを統合した。さらに、燃料被覆管のクリープによる制限値の評価例を削除し、評価例を記載している別資料を引用することとした。また、水素吸収に関する文献の追加、及び水素化物再配向に関する文献の変更を行った。
- r) **附属書 Q 燃料被覆管の応力計算例** 地震時における燃料被覆管応力の試験結果例について、最新の文献に見直すとともに、発生応力の値についても、当該文献に記載されている値に変更した。

- s) **附属書 R 金属キャスクの検査要領 JSME S FA1-2007** との線引きを明確にするとともに、貯蔵後輸送のための検査項目を“使用済燃料中間貯蔵に係る貯蔵後輸送の安全性確保方策について”（平成 22 年 2 月 3 日，輸送物技術顧問会）と比較して整合を図った。また，最新の知見を反映した。

従来の“**附属書 T 金属キャスク製造時検査の立会区分例**”は標準としての必要性がないと判断したため削除した。

- t) **附属書 S 代表キャスクの伝熱検査による除熱設計の妥当性評価方法，附属書 T 代表キャスクの伝熱検査による除熱設計の妥当性の評価例** 従来評価部位の選定箇所を規定していたが，設計によるため例示とした。

5 懸案事項

今回の改定に当たって懸案事項として残された事項は，次のとおりである。

- a) **金属キャスクに収納する使用済燃料の条件** この標準の適用範囲として，金属キャスクに収納する使用済燃料の型式及び燃焼度を **4.1.2 a)**に示した。ここで適用範囲とした使用済燃料は，燃料被覆管の健全性について十分なデータが蓄積され，原子炉での使用実績が豊富なものであるが，近年，さらに燃焼度の高い型式の使用済燃料についても，多くの照射後試験データが蓄積されている。燃焼度の比較的低い型式の使用済燃料が当面の中間貯蔵の対象とする燃料になると考えられるが，将来的には高燃焼度使用済燃料についても中間貯蔵の対象になるため，この標準の今後の改定においては，高燃焼度使用済燃料の燃料被覆管の健全性に関するデータの蓄積状況を勘案し，適切な時期にこの標準の適用範囲に取り入れる必要がある。
- b) **貯蔵後輸送時の金属ガasketの扱いについて 4.2.2 a) 1.4)**において，貯蔵後輸送時の密封境界は，二次蓋の金属ガasketを新品の金属ガasket又はゴム O リングに交換するか，ゴム O リングを使用する三次蓋によって形成することを規定している。2008 年版の標準においては，貯蔵後輸送時の密封境界として金属ガasketを貯蔵時から連続して使用することを許容する記載とし，この場合には，金属ガasketの密封機能に関するデータを充実することを条件としていた。また，データの例として(独)原子力安全基盤機構において実施された金属ガasketの静的口開き試験，静的横ずれ試験，動的口開き試験，動的横ずれ試験にもとづく検討結果を附属書に記載していた。

2010 年の改定において，この標準が中間貯蔵施設の認可審査においてより有効に利用されることを考慮して，記載内容を可能な限り規定化する方針とした。この観点から，貯蔵後輸送時の密封境界として金属ガasketを貯蔵時から連続して使用することを許容できるかどうかについて，当時の知見にもとづいて検討した。その結果，データ量は十分ではないと判断し，関連する記載を規定からは削除することとし，従来の記載を解説に残すことによって，今後のデータの充実を待つて再度規定化できる

余地を残し、この標準の今後の改定において引続き検討すべき事項とした。今回の改定時点においても引き続き今後の課題である。

- c) **燃料被覆管の制限値について** 附属書 N に示す燃料被覆管の制限値のうち、**N.2 水素吸収に関する考慮**については、附属書 O の O.2 に示す(独)原子力安全基盤機構において実施された引張試験による強度データを根拠として、BWR 用燃料被覆管では 400 ppm 程度の水素吸収量では強度が維持される、としている。一方で、引張試験と同時期に(独)原子力安全基盤機構において実施された BWR 用燃料被覆管を用いた内圧破裂試験結果によると、400 ppm 以下の水素吸収量においても周耐力及び周伸びに低下傾向を示すデータが見られる。したがって、この標準では水素吸収に関する考慮が必要であると規定した。ただし、**N.3 水素化物再配向による制限**において BWR 用燃料被覆管は前述の水素吸収による影響が表れる応力より十分小さい周方向応力以下に制限されるため、**N.3 水素化物再配向による制限**を満足すれば、水素吸収による強度低下を考慮しても十分な余裕が確保され则认为られる。今後、根拠とするデータについて、新たな知見を反映する必要がある場合は、燃料被覆管に関する信頼できるデータが蓄積された時点で改定を検討する必要がある。

また、**N.4 照射硬化の回復現象による制限**については、附属書 O の O.4 に示す(独)原子力安全基盤機構において実施された試験によるビッカース硬さの加熱時間に伴う変化データを根拠としているが、BWR 用燃料被覆管について、照射硬化の回復を考慮する必要がない温度とした 270 °C の加熱試験データについて、わずかにビッカース硬さの低下傾向が見えるとの意見もあった。したがって、根拠とするデータについて、新たな知見を反映する必要がある場合は、燃料被覆管に関する信頼できる定常データが蓄積された時点で改定を検討する必要がある。

- d) **AESJ-SC-M001-2020 標準作成ガイドラインの経過措置の適用について** この標準は、**標準作成ガイドライン:2020 (AESJ-SC-M001-2020) の箇条 9**の経過措置を適用して旧様式を使用して作成した。

6 その他の解説事項

前回(2010 年)の改定時に解説で記載していた事項で、特に重要と思われる事項について、以下に記載する。ここで、前回改定時の解説事項の内容についても現状との整合を考慮して一部改定している。**k)**は今回追加した事項である。また、箇条番号などは、今回の改定版の番号に対応させている。

- a) **適用範囲及び金属キャスクの貯蔵条件** この標準の策定に当たっては、まず、発電所内貯蔵施設が実用化されていることもあって技術的検討が進んでおり、発電所外中間貯蔵施設としても実用化が最も早いであろうと考えられた金属キャスクによる中間貯蔵の方式を対象とすることとし、この方式による中間貯蔵施設全体に関する基準化について検討した。検討に際しては、(財)原子力安全研究協会“使用済燃料中間貯蔵

施設の安全設計・評価手法について「金属キャスク貯蔵方式」（2000年3月）を出発点とし、**附属書 B**に示す金属キャスクによる中間貯蔵施設の概念を想定して、金属キャスクを含む中間貯蔵施設としての設計、評価、検査及び運用を範囲とした幅広い基準の策定を目指した。

しかしながら、以下の理由によって、この標準では施設としての事項は**附属書 B**に基本概念を紹介するに留め、対象範囲を金属キャスクのみに絞り込んで、その基本的安全機能及び構造強度に関する設計（この標準では“安全設計”という。）及びそれに関する検査の方法について規定することとした。

- 中間貯蔵施設において、金属キャスクは基本的安全機能の大部分を担う主要な機器であり、かつ、法体系の異なる輸送と貯蔵の分野にまたがる安全機能を担保するこれまでにない機器であるため、安全設計基準の整備が必要である。
- 金属キャスク以外の構築物、系統及び機器の安全性に関する設計については、安全上の要求事項がこれまでの原子力発電所を含む原子力施設の構築物、系統及び機器と大きな差はないことから既存の手法で設計でき、現時点での基準化のニーズは低い。加えて、中間貯蔵施設としてのこれら構築物、系統及び機器の運用実績は我が国ではまだ少なく、施設としての安全性を評価するための条件は具体化しにくい段階にある。
- 検査については、本来、別途基準化されるべき性質のものであるが、金属キャスクによる中間貯蔵においては使用済燃料を長期間貯蔵した後の金属キャスクの施設外への輸送があり、その輸送安全を確認できることが技術上の大きなポイントとなることから、そこへ至る安全機能維持確認の重要性を考慮し、この標準内に取り込む。

参考までに、現時点での法体系に基づく金属キャスクによる中間貯蔵施設の設置及び運用の流れを**解説図 1**に示し、この標準の適用範囲を●で記す。

また、**解説図 1**中の事業所外輸送と事業所内輸送の区分と検査の関係の例を**解説図 2**に示す。

解説図 2でわかるとおり、事業所内を輸送する場合でも、事業所外輸送の技術基準で行う輸送がある。すなわち、事業所内輸送であっても、“核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則”及び“核燃料物質等車両運搬規則”に規定する運搬の技術上の基準に従って保安のための必要な措置を講じている場合には、事業所外輸送の一環と位置付けられる。

また、金属キャスクの安全機能に関する貯蔵法令の技術基準と本標準の対応を**解説表 1**及び**解説表 2**に示す。

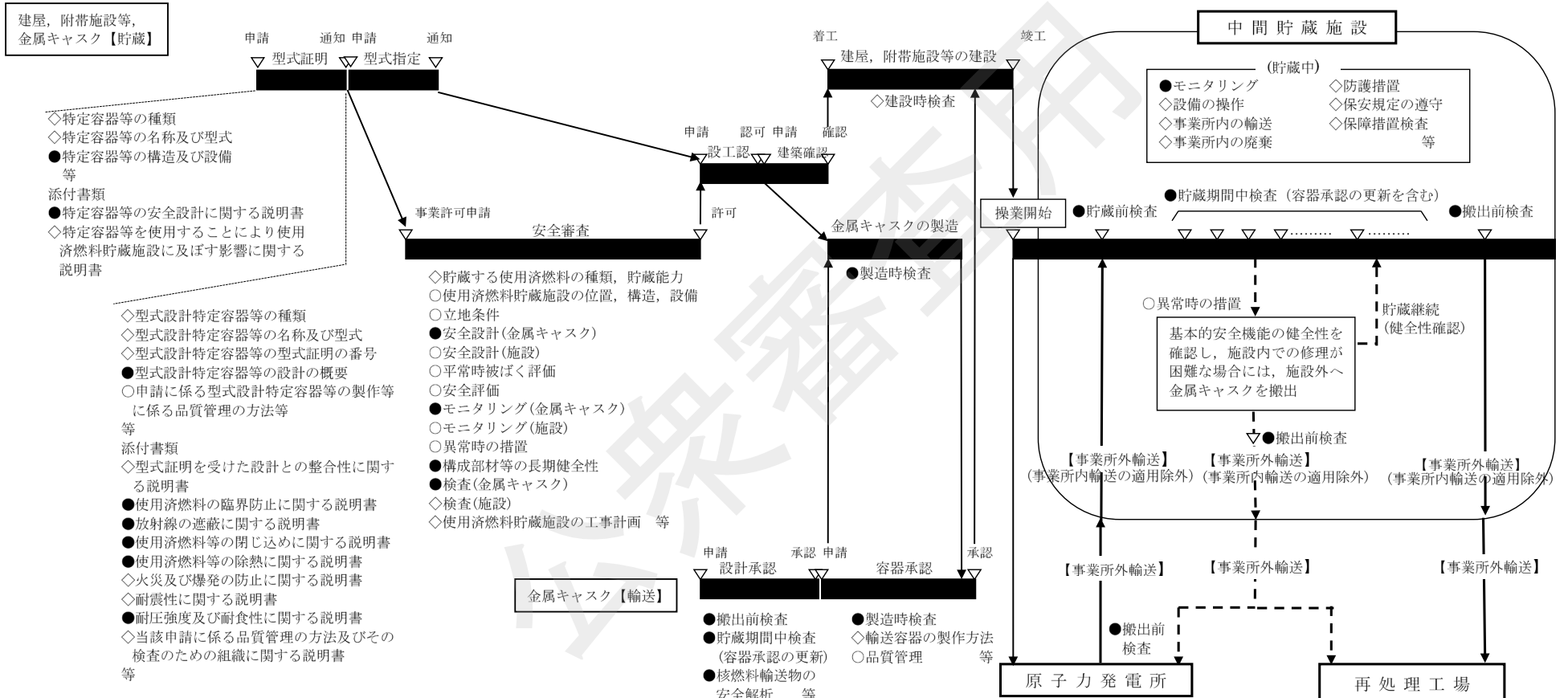
この標準は、中間貯蔵施設用の金属キャスクが事業所外輸送にも適合するために必

要な安全設計及び検査基準を規定している。

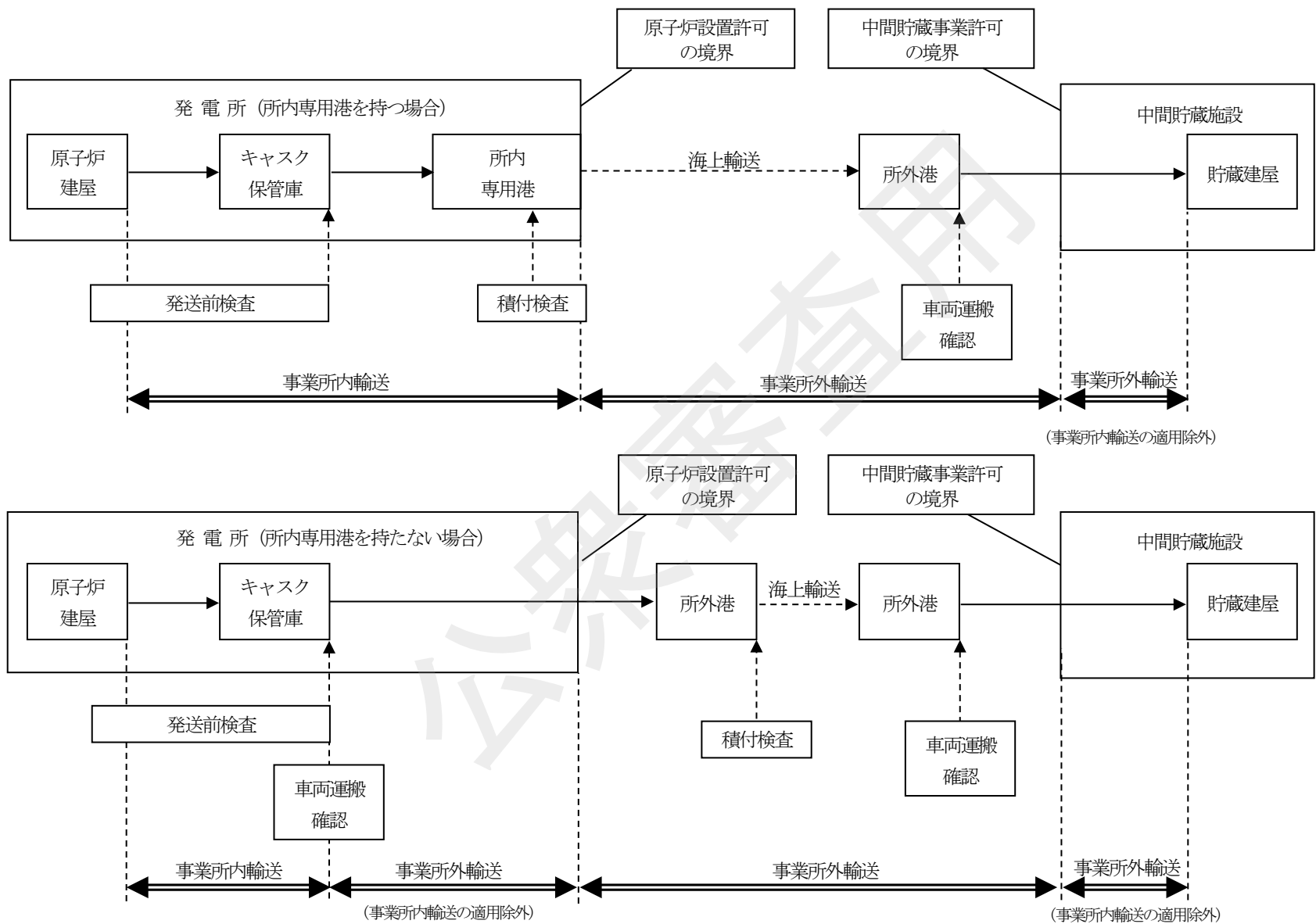
また，この標準は，燃料詰替設備を持たない中間貯蔵施設で貯蔵することを前提として，金属キャスクの安全設計及び検査基準を規定しているが，発電所内での使用済燃料の貯蔵に用いる金属キャスクの設計及び検査にも資すると考えられる。

この標準は、燃料詰替設備を持たない中間貯蔵施設で貯蔵することを前提として、金属キャスクの安全設計及び検査基準を規定しているが、発電所内での使用済燃料の貯蔵に用いる金属キャスクの設計及び検査にも資すると考えられる。

- ◇：“リサイクル燃料貯蔵分科会”における検討範囲外
○：“リサイクル燃料貯蔵分科会”における検討範囲
●：この標準の適用範囲（ただし、事業者の行為について適用）



解説図 1－中間貯蔵施設の設置及び運用上におけるこの標準の適用範囲



解説図 2ー金属カスクの輸送に係る規制例

**解説表 1—安全機能に関する使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の
基準に関する規則の条項と本標準の対応 (1/2)**

安全機能	使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則	本標準の対応部分	備考
(使用済燃料の臨界防止)	第三条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料が臨界に達するおそれがないものでなければならない。	本文 4.2.4 臨界防止設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 c) 設計方法 1) 計算方法 2) 計算上の保守的な考慮 2.1) 収納する使用済燃料の濃縮度 2.2) 金属キャスクの配列 2.3) 金属キャスク内外の水の存在 2.4) バスケット内の燃料位置 2.5) 中性子吸収材の量 (寸法、濃度及び分布) 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード	
(遮蔽等)	第四条 使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。 2 使用済燃料貯蔵施設は、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。	本文 4.2.3 遮蔽設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 c) 設計方法 1) 使用済燃料の放射線源強度計算 2) 輸送物の線量当量率計算 3) 特記事項 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード	貯蔵時の金属キャスク単体の線量基準は規定しない。
(閉じ込めの機能)	第五条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料等を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものでなければならない。	本文 4.2.2 密封設計 b) 貯蔵時 1) 設計要求事項 2) 設計基準 3) 設計方法 3.1) 基準漏えい率の計算 3.2) 金属ガスキットの漏えい率の設定 3.3) 異常事象時の内圧計算 関連附属書 附属書 H 二重蓋構造における密封境界形成の考え方 附属書 J 金属キャスクの密封設計における使用済燃料の破損の仮定 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード 附属書 L 金属ガスキットの漏えい率の設定方法 附属書 M 金属ガスキットの漏えい率の設定例	

**解説表 1—安全機能に関する使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の
基準に関する規則の条項と本標準の対応 (2/2)**

安全機能	使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則	本標準の対応部分	備考
(除熱)	第六条 使用済燃料貯蔵施設は、動力を用いしないで使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるものでなければならない。	本文 4.2.5 除熱設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 1) 輸送物及び金属キャスク 2) 燃料被覆管 c) 設計方法 1) 使用済燃料の崩壊熱の計算 2) 輸送物及び金属キャスク各部並びに使用済燃料の温度計算 3) 燃料被覆管の制限温度の計算 4) 特記事項 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード 附属書 N 燃料被覆管の制限値 附属書 O 燃料被覆管の制限値に関するデータ 附属書 P 金属キャスク内部真空乾燥時の燃料被覆管温度制限方法例	
(金属キャスク)	第十五条 2 金属キャスクは、当該金属キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保するものでなければならない。	本文 4.1.4 経年変化に対する考慮 関連附属書 附属書 E 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の長期健全性維持に関する設計基準 附属書 F 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の経年変化に関するデータ 附属書 G 中間貯蔵における金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法	

解説表 2—使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の条項と本標準の対応 (1/2)

安全機能	使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	本標準の対応部分	備考
(使用済燃料の臨界防止)	第五条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料が臨界に達するおそれがないようにするため、核的に安全な形状寸法にすることその他の適切な措置が講じられているものでなければならない。	本文 4.2.4 臨界防止設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 c) 設計方法 1) 計算方法 2) 計算上の保守的な考慮 2.1) 収納する使用済燃料の濃縮度 2.2) 金属キャスクの配列 2.3) 金属キャスク内外の水の存在 2.4) バスケット内の燃料位置 2.5) 中性子吸収材の量 (寸法、濃度及び分布) 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード	
(材料及び構造)	第十四条 使用済燃料貯蔵施設に属する容器及び管並びにこれらを支持する構造物のうち、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を確保する上で必要なもの (以下この項において「容器等」という。) の材料及び構造は、当該容器等がその設計上要求される強度及び耐食性を確保できるものでなければならない。	本文 4.2.6 構造強度設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 c) 設計方法 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード 4.1.4 経年変化に対する考慮 関連附属書 附属書 E 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の長期健全性維持に関する設計基準 附属書 F 金属キャスクの構成部材及び使用済燃料の経年変化に関するデータ 附属書 G 中間貯蔵における金属キャスク構成部材の長期健全性確認方法	
(除熱)	第十六条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料又は使用済燃料によって汚染された物 (以下「使用済燃料等」という。) の崩壊熱を適切に除去するように施設しなければならない。	本文 4.2.5 除熱設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 1) 輸送物及び金属キャスク 2) 燃料被覆管 c) 設計方法 1) 使用済燃料の崩壊熱の計算 2) 輸送物及び金属キャスク各部並びに使用済燃料の温度計算 3) 燃料被覆管の制限温度の計算 4) 特記事項 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード 附属書 N 燃料被覆管の制限値 附属書 O 燃料被覆管の制限値に関するデータ 附属書 P 金属キャスク内部真空乾燥時の燃料被覆管温度制限方法例	

解説表 2—使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の条項と本標準の対応 (2/2)

安全機能	使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則	本標準の対応部分	備考
(閉じ込めの機能)	第十一条 使用済燃料貯蔵施設は、次に掲げるところにより、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込める機能を保持するように施設しなければならない。 一 金属キャスクは、使用済燃料等が外部に漏えいするおそれがない構造であること。 (以下省略)	本文 4.2.2 密封設計 b) 貯蔵時 1) 設計要求事項 2) 設計基準 3) 設計方法 3.1) 基準漏えい率の計算 3.2) 金属ガスケットの漏えい率の設定 3.3) 異常事象時の内圧計算 関連附属書 附属書 H 二重蓋構造における密封境界形成の考え方 附属書 J 金属キャスクの密封設計における使用済燃料の破損の仮定 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード 附属書 L 金属ガスケットの漏えい率の設定方法 附属書 M 金属ガスケットの漏えい率の設定例	
(遮蔽)	第二十一条 使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量が原子力規制委員会の定める線量限度を十分下回るように施設しなければならない。 2 事業所内における外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場所には、放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有する遮蔽設備を施設しなければならない。この場合において、当該遮蔽設備に開口部又は配管その他の貫通部がある場合であって放射線障害を防止するために必要がある場合には、放射線の漏えいを防止するための措置を講じなければならない。	本文 4.2.3 遮蔽設計 a) 設計要求事項 b) 設計基準 c) 設計方法 1) 使用済燃料の放射線源強度計算 2) 輸送物の線量当量率計算 3) 特記事項 関連附属書 附属書 K 断面積ライブラリ及び解析コード	貯蔵時の金属キャスク単体の線量基準は規定しない。

- b) **金属キャスクに収納する使用済燃料の仕様** 本体の 4.1.2 c) でいうデータが蓄積された使用済燃料としては、二酸化ウラン燃料においては燃料集合体最高燃焼度が BWR では 55 GWd/t 以下、PWR では 48 GWd/t 以下のもの、また、混合酸化物燃料においては燃料集合体最高燃焼度が BWR では 40 GWd/t 以下、PWR では 45 GWd/t 以下のものがある。

なお、混合酸化物燃料及び燃料集合体最高燃焼度が 55 GWd/t として設計された二酸化ウラン燃料は、他の燃料と比較して使用実績が少ないため、国内外における照射後の燃料試験データによって貯蔵時の条件に対する裕度を確認しておくこととした。

また、上記照射範囲を超える高燃焼度領域の使用済燃料又は上記照射範囲であっても燃料被覆管の材料を有意に変更したものを収納するためには、本体の 4.2.5 b) 2) 及び 4.2.6 b) 3) に示す規定の適用性を十分に検討し、設計評価期間中に生じ得る因子を考慮しても燃料被覆管の健全性が確保できることを確認しておくこととした。

- c) **金属キャスクの耐震設計** 中間貯蔵施設においては、JSME S FA1-2007 に示されているように、貯蔵時の荷重条件の一つである基準地震動 S_s による地震力が作用した場合であっても、金属キャスクが貯蔵継続に必要な基本的安全機能を損なわないよう設計することとしている。これは、金属キャスクはそれ自身が輸送に供される容器であって、輸送時の荷重は地震時に比べて極めて大きい（表 Q.2 参照）ことから、基準地震動 S_s による地震力が作用した場合においても、輸送物の要件を満たす構造強度を維持することは自明であり、あえて耐震重要度分類を定める必要はないと判断したものである。このようなことから、基準地震動 S_s による地震力に対して、貯蔵継続に必要な基本的安全機能を維持することを確認するものとした。
- d) **安全設計基準設定の考え方** 中間貯蔵施設に用いる金属キャスクは、輸送と貯蔵に用いられ、また、中間貯蔵施設に燃料詰替設備を設置しないことから、それらの整合を考慮して次のように金属キャスクの安全設計の基準を設定した。

- 1) **設計対象とする状態と設計基準** 輸送時において設計の対象とする輸送物の状態は以下のとおりで、その設計基準は輸送法令に定められている。設計対象とする状態の定義は本体の 3 に定義したとおりである。

- 通常輸送時
- 一般の試験条件
- 特別の試験条件

ここで、輸送法令での一般の試験条件における安全設計基準設定の考え方は、“輸送がそのまま継続できること”であり、中間貯蔵施設への輸送においてそれに遭遇した輸送物はそのまま輸送されて中間貯蔵施設に搬入され貯蔵できる設計とする

ことが望ましい。ただし、一般の試験条件の自由落下相当の外力を与えられた場合には、中間貯蔵施設にて貯蔵する前に貯蔵に必要な安全機能を維持しているか確認することを貯蔵の前提とする。

一方、貯蔵時において設計の対象とする金属キャスクの状態は、本体の**3**に定義したように以下に分けられる。

本体の**3**では、これらの状態は中間貯蔵施設特有の設備又は取扱いに起因する事象を対象としているため、中間貯蔵施設における異常事象、事故として定義しているが、金属キャスクに対してもその安全機能に影響を与える可能性のある事象を指している。

- － 貯蔵時
- － 異常事象時
- － 事故時

中間貯蔵施設に燃料詰替設備を設置しないことから、異常事象に遭遇した金属キャスクは、蓋を開放して点検又は補修することなく“貯蔵がそのまま継続できるか、又は、輸送物（緩衝体を取り付けて）としてそのまま搬出できる”ことが望ましいが、金属キャスクの状態は、施設と金属キャスクの設計及び遭遇する異常事象によるため、貯蔵がそのまま継続できないと判断した場合は、密封機能、遮蔽機能及び取扱上の必要な補修（例 三次蓋の追加装着、二次蓋の溶接）を行い、施設外に搬出できるようにすることを要求することとした。ただし、輸送に入るまでの間、負圧の維持を要求し、収納する使用済燃料も健全性を維持することを要求した。

また、事故に遭遇した金属キャスクは、密封機能、遮蔽機能及び取扱上の必要な措置を講ずることによって、施設外に搬出できることを要求した。

異常事象時及び事故時において金属キャスクに求める遮蔽機能としては、被ばく評価の結果として、一般公衆に対し、異常事象時には放射線被ばくを十分に低く抑えること、及び事故時には過度の放射線被ばくを及ぼさないことが要求されるが、施設及び金属キャスクの全体としての評価となるため、金属キャスク単体での基準値は設定しないこととした。

- 2) **構造強度設計** 金属キャスクの構造強度設計の目的は、金属キャスクが遭遇すると考えられる各事象において金属キャスクの構造体の状態を明らかにし、基本的安全機能に関する設計のための前提条件を与えることである。このとき、特定の基本的安全機能を担保する構造体の状態を規格によって規定すれば、構造強度設計によってその安全機能維持が確認でき、利便性が高い。

この観点から日本機械学会において金属キャスク構造規格（JSME S FA1-2007）が制定されており、本標準では金属キャスク構造規格に規定された部材のほか、金属キャスク構造規格に規定されていない部材及び使用済燃料についての構造強度

設計を規定した。その考え方は次のとおりである。

- 2.1) 金属キャスク構造規格に規定された部材** 基本的安全機能のうち、金属キャスクの密封境界及びバスケットの形状が一定範囲内に保たれば密封機能及び臨界防止機能を維持できる。したがって、**JSME S FA1-2007**においては、密封機能及び臨界防止機能に着目し、密封容器及びバスケット並びに主要な支持・強度部材であるトラニオン及び中間胴について規格化を行っている。これらの部材については、**JSME S FA1-2007**に従って設計する。
- 2.2) 金属キャスク構造規格に規定のない部材及び金属キャスク構造規格で考慮されていない安全機能の維持** 遮蔽機能と除熱機能については、それら安全機能を担保する構成部材の一部が破損しても金属キャスク又は中間貯蔵施設の安全機能を維持できることがあるので、構造強度設計だけでこれらの安全機能の維持が判断できない。このため、これらの機能を担保する又はこれら機能に関係する構造強度部材の構造強度設計については**JSME S FA1-2007**では規格化されていない。また、金属キャスクの輸送上及び取扱上の機能に関係する構造強度部材で規格化されていない部分もある。これら**JSME S FA1-2007**に規定のない部材の構造強度設計の考え方は、次のとおりである。
- 2.2.1) 金属キャスク構造規格による構造強度設計で包絡される部材** 遮蔽機能、除熱機能及びその他の機能を担保する部材又はこれらの機能を担保する部材を支持することによってそれら部材の形状を維持する機能を担保する部材のうち、**JSME S FA1-2007**に従った構造強度設計によってその部材が荷重の発生頻度を考慮して維持しなければならない構造強度を持つことが評価されるもの（例 密封容器の胴及び底板、密封蓋）は、これら機能の観点から改めて構造強度評価を行う必要はない。**JSME S FA1-2007**に従った構造強度設計の結果（部材の形状）がこれら機能に関する設計の入力条件（例 モデルの形状）となる。
- 2.2.2) 金属キャスク構造規格による構造強度設計で包絡されない部材** 遮蔽機能、除熱機能及びその他の機能を担保する部材又はこれらの機能を担保する部材を支持することによってそれら部材の形状を維持する機能を担保する部材のうち、**JSME S FA1-2007**で評価対象とされていない部材（例 外筒、伝熱フィン（金属キャスク内部）、放熱フィン、レジンカバー）及び**JSME S FA1-2007**に従った構造強度設計結果では荷重の発生頻度を考慮して維持しなければならない構造強度を持つと評価されないものについては、次の **2.2.2.1)** 及び **2.2.2.2)** のように構造強度評価を行い、その結果（部材の形状）を遮蔽設計、除熱設計及びその他機能の評価の入力条件（例 モデルの形状）とすることとした。
- なお、これら部材の構造強度設計を行うに当たっては、次の **2.2.2.3)** ～ **2.2.2.6)** の事項に留意すべきである。

- 2.2.2.1) 形状維持を要する部材** 遮蔽機能，除熱機能及びその他機能の評価上，初期形状を維持することが必要な部材については，部材が弾性範囲内であることとした。すなわち，部材の形状及び作用する荷重を適切にモデル化して求めた発生応力が，部材材料の降伏点（又は 0.2%耐力）に基づく許容応力を超えないようにする。このとき，繰返荷重による疲労破壊の発生が予想される場合には，荷重の繰返回数が部材材料の許容繰返回数を超えないこと，初期欠陥などによる脆性破壊の発生が予想される場合には，部材に生じる応力拡大係数が部材材料の破壊靱性値を超えないことを確認する必要がある。このような基準は発生頻度の高い荷重に対して適用するのが一般的であるが，発生頻度がまれな荷重に対してもそのような事象での機能維持が必要な場合には適用することがある。
- 2.2.2.2) 形状維持を要しない部材** 遮蔽機能，除熱機能及びその他機能の評価上，形状を維持しなくてもよい部材については，荷重が作用した際の部材の変形を算定してこれら機能評価の入力条件とすることとした。部材が破損する場合には，その部材及びそれに支持される部材がないものとして機能評価を行うか，破損する範囲を特定してこれら機能評価の入力条件とする。このような基準は発生頻度がまれな荷重に対して適用されるのが一般的である。
- 2.2.2.3) 材料選定** それぞれの機能に関する構造強度評価上必要とされる化学成分，強度，延性，靱性，その他材料物性（例 縦弾性係数，熱膨張係数）を持つもので，設計評価期間中にその特性を維持するとともに他の金属キャスクの部材に有害な物理的及び化学的影響を生じないことが確認されたものを選定する。必要に応じて，長期健全性を維持するための措置（例 塗装，メッキ）を考慮してもよい。金属キャスクは通常，部品交換が必要ないよう設計されるが，可能な場合には部品交換を考慮することもできる。一般産業で用いられる構造規格を適用する場合には，その規格で定められた材料又はそれと同等以上の性能を持つことが確認された材料を用いる。
- 2.2.2.4) 構造強度評価手法** 部材の形状及び作用する荷重を適切にモデル化して部材に発生する応力を求め，荷重の発生頻度を考慮して設定する許容応力を超えないことを確認する。また，必要な場合，疲労評価又は破壊力学的評価を行う。これら評価に当たっては，材料力学で一般的に認められた公式，一般産業で用いられる構造規格又は **JSME S FA1-2007** を適用することができる。これらの公式又は規格は，部材の荷重状態と破壊形態を考慮して適切に発生応力などを算定できるものを用いる。
- 2.2.2.5) 荷重の状態** それぞれの機能に関する構造強度評価上考慮する荷重の状態は，その機能の評価が必要な状態で作用する荷重の状態とする。これら機能の評

価が必要とされる状態が **JSME S FA1-2007** で定義された設計事象の全て又はその一部と一致する場合は、そこで定義された事象での荷重の状態とできるが、それに対応する許容応力状態又は許容応力はこれら機能評価上で必要とする部材の状態を考慮して設定する必要がある。

2.2.2.6) 許容応力 部材の材料の強度特性に基づき部材に発生する応力の形態と適切な安全余裕を考慮して設定する必要がある。一般産業で用いられる構造規格を適用する場合及び **JSME S FA1-2007** を準用する場合は、これら規格で与えられる許容応力が部材の荷重状態と破壊形態を考慮して適切に設定されたものであることが前提である。部材が接合部（例 溶接継手）を持つ場合は、許容応力は接合方法及びその検査方法に応じた適切な効率（例 溶接継手効率）を考慮する。

2.3) 使用済燃料 使用済燃料は、輸送及び貯蔵を考慮して設計されたものではないが、金属キャスクの基本的安全機能の評価に必要な次の条件を与えるものである。

- 密封設計：密封対象となる放射性物質の量
- 遮蔽設計：遮蔽対象となる放射線源の量と形状
- 臨界防止設計：臨界評価に用いる核分裂性物質の量と形状
- 除熱設計：除熱対象となる発熱の量と発熱体の形状

これらのうち、基本的安全機能の評価に必要な状態で燃料被覆管が破損しなければ、放射性物質は、燃料被覆管内に閉じ込められているので密封設計では考慮すべき放射性物質の量は貯蔵期間中及び貯蔵前後の輸送時において変化しない。また、燃料被覆管に発生する応力が弾性範囲内であれば、遮蔽設計で考慮する放射線源の形状、臨界防止設計で考慮する核分裂性物質の形状及び除熱設計で考慮する発熱体の形状も貯蔵期間中及び貯蔵前後の輸送時において変化しない。

このように、基本的安全機能の評価に必要な入力条件を与える観点から、使用済燃料に荷重が作用する事象での燃料被覆管の構造強度を評価することとした。

2.3.1) 発生頻度の高い荷重に対する評価 燃料被覆管は弾性範囲内であること、すなわち、燃料被覆管の形状及び作用する荷重を適切にモデル化して求めた発生応力¹⁾が、燃料被覆管材料の降伏点（又は0.2%耐力）に基づく許容応力²⁾を超えないこととした。

注 ¹⁾ 一般的には、燃料被覆管を円管にモデル化し、軸方向荷重については管の圧縮応力を、軸直角方向荷重については燃料スペーサ間で支持されたはりの曲げ応力を求めている。

²⁾ 照射硬化が回復しない温度範囲で金属キャスクの仕立て、輸送及び貯蔵がなされている場合には、照射硬化を考慮した許容応力を用いることができる。その温度範囲を超えることがあって照射硬化が回復する場合は、それによる許容応力の低下を考慮する。

2.3.2) 発生がまれな荷重に対する評価 発生がまれな荷重に対する基本的安全機能の評価上、燃料被覆管の初期形状を維持する必要がある場合は、**2.3.1)** による。形状維持が必要ない場合は、荷重が作用した際の燃料被覆管の変形を算定してこれら機能評価の入力条件とすることとした。ただし、これら機能評価上、燃料被覆管が変形しても破損しなければよいとする場合には、燃料被覆管材料の引張応力に基づく許容応力を超えないこととできる。燃料被覆管が破損する場合には、燃料ペレットを支持する部材がないものとして各安全機能の評価を行うか、破損する範囲を特定してこれら評価の入力条件とする。

2.4) その他の評価

2.4.1) 規格品の利用 公的規格（例 JIS）に適合する製品を用いる場合は、金属キャスクの使用条件を考慮した上で、作用する荷重及び温度条件がその製品の規格使用条件を超えていないことをもって構造強度評価に代えることができる。

2.4.2) 振動 輸送時及び貯蔵時に金属キャスクが加振される場合、金属キャスクの固有振動数を算定し、これら振動に共振しないことを確認する。

2.4.3) エネルギー比較 基本的安全機能の評価上、変形量の算定が必要なく、破断しないことが確認されればよい部材については、次のようなエネルギー比較によって応力評価に代えることができる。

(部材を破断するのに要するエネルギー) > (荷重によって部材に働くエネルギー)

2.4.4) 試験による実証 工学的知見によるモデル化や応力算定が困難な場合又は総合的に基本的安全機能の維持を実証する必要がある場合は、荷重条件を代表又は包絡する条件で行われた試験（例 落下試験、火災試験、加振試験、荷重試験）の結果によって応力評価又は変形量評価に代えることができる。

2.4.5) 緩衝体などの変形 基本的安全機能の評価に影響を与えることが予想される場合は、構造強度部材でないものの変形（例 落下時の緩衝体や外部フィンの変形）も算定して、これら機能評価の入力条件とする。

3) 臨界防止設計における金属キャスクの配列の考慮 輸送法令では輸送物の輸送制限個数に基づいた保守的な個数（一般の試験条件では 5 倍、特別の試験条件では 2 倍）による任意配列を考慮することが求められており、評価においては、保守的に無限個の近接配列を考慮することが一般的に行われている。一方、貯蔵中の配列の考慮においては、いかなる場合でも臨界を防止する要求から、保守的には貯蔵される金属キャスクの全数の近接配列を考慮するか、輸送と同様に無限個の近接配列を考慮することが考えられる。また、配列される金属キャスク間の水の量は最大反応度となるように考慮する(AESJ-SC-F006-2013 の附属書 AL 参照)。

e) 金属キャスクの検査の考え方 金属キャスクの検査については、次の 1)～6) に示す考

え方で検査項目及び検査内容を設定した。

なお、構造強度に関する検査については、金属キャスク構造規格に規定があるので、それに従うこととしている。

- 1) **製造時検査** 金属キャスクの製造時検査については、これまで輸送容器で多数の実績があり、かつ、輸送容器も金属キャスクも基本的安全機能は変わらないことから、輸送容器の実績を参考に検査項目及び内容を設定した。これらの検査項目、検査方法及び判定基準は原子力規制委員会決定(令和2年2月26日 原規規発第2002264号、令和2年2月26日)“核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に係る核燃料輸送物設計承認及び容器承認等に関する申請手続ガイド”別記第3の備考に記載されており、それも参考とした。

また、同ガイドの別添“輸送容器の製作に係る品質マネジメント指針”において、特殊材料への注意が喚起されており、**JEAG 4121-2015[2018年追補版]の8.4.2 管理の方式及び程度**において、特殊材料について元データを確認することなどの具体的方法が定められている。これらについては当然遵守すべきことであるため、この標準では特に内容を引用していない。貯蔵も兼用する金属キャスクとして考慮した点としては、次の2点があげられる。

- 1.1) **気密漏えい検査** 金属キャスクは二重の蓋を持ち、設計によっては三次蓋を用いる場合もあり、これらのシール部について製造時に検査することとした。
- 1.2) **伝熱検査** 従来の輸送容器では製作した各容器ごとに模擬発熱体を収納して昇温し、輸送物の人が容易に近接可能な表面の温度を測定する検査を実施している。このような検査の実績が多く積み重ねられた結果、設計解析の信頼性が高まってきたこと、及び少なくとも製造の代表号機(代表キャスク)で伝熱検査にて確認しておけば、他の号機(代表キャスク以外)は除熱機能に関する材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査によって代表号機と同じ除熱性能を持つことを確認できることから、除熱機能に関する材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の記録確認をもって伝熱検査とすることとし、製作した全ての金属キャスクについてまで模擬発熱体を収納しての伝熱検査を要求しないこととした。ただし、基準値に対して余裕の小さい設計の場合、代表キャスクで基準値を満たしても必ずしも全ての金属キャスクが基準値を満たすとは限らないことから、金属キャスク個々の伝熱性能の差異による影響が代表キャスクの伝熱検査結果の裕度に対して十分小さいことを、解析によって評価することを要求することとした。

なお、海外においてはこれまで、貯蔵キャスクの昇温試験を実施している例はなく、また、輸送容器についても代表キャスクのみの伝熱検査としている例が多い。ここで、代表キャスクとしての必要抽出基数については、金属キャスクの構造及び製作方法によって自ずと差異が生じる。すなわち、製作上の個体差が生じ

にくいタイプの金属キャスクでは、代表キャスクを多く抽出する必要はないと考えられる。また、今後の種々の金属キャスクについての更なる伝熱検査実績の蓄積及び設計解析の信頼性の向上も考えられることから、現時点で代表キャスクの必要抽出基数を一律に定める必要はないと判断した。

- 1.3) 緩衝体及び三次蓋に係る検査** 中間貯蔵用金属キャスクは、使用済燃料を収納して中間貯蔵施設まで輸送すると、その後数十年間は、輸送されることはない。したがって、輸送のために用いる緩衝体及び三次蓋の使用頻度は低く、緩衝体及び三次蓋は、複数の金属キャスクの輸送に対し、繰り返し使用することが合理的であり、緩衝体及び三次蓋の製造数量は、金属キャスクの製造数量に比べて少なくてもよい。このような状況を考慮して、緩衝体及び三次蓋の金属キャスク本体との組合わせで行う検査については、任意の金属キャスク本体との組合わせで実施した検査をもって、同一設計の全ての金属キャスクとの組合わせを代表できるものとした。

また、金属キャスク本体側の検査については、実機と同等の取寸法及び形状を持つ緩衝体及び三次蓋の模擬体を用いて実施してよいものとした。

- 2) 発電所搬出前検査** 発電所における搬出前検査については、これまで使用済燃料の輸送において多数の実績があり、その実績に基づいて検査項目及び内容を設定した。

貯蔵も兼用する金属キャスクとして考慮した点としては、次の3点があげられる。

- 2.1) 気密漏えい検査** 金属キャスクは、貯蔵施設搬入時に貯蔵時密封境界及び二重蓋間圧力監視境界を改めて気密漏えい検査することは、むしろ中間貯蔵施設での漏えいの機会を増し、また、そのための放射線業務従事者の被ばくを生じることから好ましくなく、発電所で仕立てた密封境界及び二重蓋間圧力監視境界のまま貯蔵することを基本的運用方法としている。したがって、発電所搬出前の気密漏えい検査は、本来は安全輸送の観点から、輸送時密封境界が核燃料（又は放射性物質）輸送物設計承認申請書添付書類である安全解析書の密封解析で用いた漏えい率（最大許容漏えい率）以下であることを確認すればよいが、貯蔵前提条件の確認を発電所において行うこととし、貯蔵時に用いる密封境界及び二重蓋間圧力監視境界については、貯蔵時に必要とされる密封性能及び気密性能を担保することを確認する。

なお、蓋間空間も貯蔵時と同じ状態に加圧することとしている。

- 2.2) 圧力測定検査** **2.1)**と同様に貯蔵前提条件の確認を発電所において行うこととし、金属キャスク内部及び蓋間空間の残留水分の量、並びに充填ガスの純度、量及び圧力を確認する。ここで、二重蓋間について、“水分が残ってはならない”という判定基準は、吸水・拭取りによって達成できる水分除去レベルを意味している。
- 2.3) 収納物検査** 使用済燃料の輸送に際して通常実施する収納物検査においては、原

子炉での運転中データ，外観検査及び必要に応じ燃料集合体 SHIPPING 検査によって燃料被覆管の健全性を確認する。これに加えて，従来の乾式の使用済燃料輸送容器による輸送及び発電所内での金属キャスクによる貯蔵においては，真空乾燥時に燃料被覆管の漏えいモニタリング（例 ^{85}Kr のモニタリング）が実施されている。また，発電所内などでの金属キャスクによる先行貯蔵においては，長期貯蔵に対して燃料被覆管からの漏えいのないことを内部ガスのサンプリングによって確認（例 ^{85}Kr のモニタリング）する。これらを踏まえて，金属キャスクによる輸送においても真空乾燥時の漏えいモニタリング（例 ^{85}Kr のモニタリング）による燃料被覆管からの漏えいのないことの確認を，発電所搬出前の収納物検査内容として規定に加えることとした。

- 3) **貯蔵前検査** 中間貯蔵施設における受入時に，金属キャスクが貯蔵に必要な基本的安全機能を担保していること，及び貯蔵の前提条件に適合することを確認する観点から検査項目及び検査内容を設定した。ここで，貯蔵時の安全機能と輸送時の安全機能は基本的に同じであること，通常の輸送が行われたならばこれら安全機能への影響は生じないことから，金属キャスク搬入時の外観検査で異常なく輸送されたことを確認することによって，輸送前の安全機能や確認した条件を維持していると判断できる。したがって，発電所搬出前検査記録の確認を検査の基本とするが，線量当量率及び表面の放射性物質の密度については実測する。

なお，一次蓋のシール部及び二次蓋のシール部が貯蔵時にそれぞれ必要とされる密封性能及び気密性能を維持していることは二重蓋間圧力を測定して確認するが，中間貯蔵施設において二次蓋のガスケットを輸送用から貯蔵用に交換する場合，二次蓋の蓋シール部の気密漏えい検査を行って漏えい率を測定する。また，二重蓋間圧力センサを中間貯蔵施設にて取り付ける場合には，圧力センサを含めた二次蓋貫通孔シール部に対しても気密漏えい検査を行う。

4) 貯蔵期間中検査

- 4.1) **基本的考え方** 中間貯蔵施設で貯蔵する使用済燃料は，貯蔵期間の経過につれてその発熱量及び放射線源強度が単調に減少する特性を持っている（解説図 3 参照）。また，使用済燃料は，不活性ガス雰囲気中で静的に貯蔵する。

金属キャスクは設計評価期間にわたって，環境変化，経年変化を考慮した安全設計及び材料選定を行っており，基本的安全機能に影響を及ぼすような構成部材及び使用済燃料の劣化は考えられない。したがって，貯蔵終了までの間，金属キャスク及び使用済燃料に有意な変化が生じる可能性は小さい。

金属キャスク及び使用済燃料に影響を与える因子として考えられるのは外力及び外部からの熱の作用であるが，地震，外気温変化などの自然現象による外力及

び外部からの熱の作用の影響は安全設計で考慮しており、考えられるのは他の金属キャスクとの衝突やその他重量物の落下、設計範囲を超える環境温度上昇などの異常事象である。これらの事象が生じれば外観検査及び温度モニタリング結果によって基本的安全機能に与える影響は確認できる。また、腐食による異常については、金属キャスク表面については外観検査で確認でき、シール部については二重蓋間圧力検査で確認できる。金属キャスク内部のバスケット及び使用済燃料については、不活性ガス雰囲気中であるので腐食が生じるおそれはなく、不活性ガス環境を維持していることは二重蓋間圧力検査で確認できる。

以上より、外観検査並びに表面温度モニタリング及び二重蓋間圧力モニタリングの記録確認による基本的安全機能の維持確認を検査の基本とする。

4.2) 貯蔵期間中における FMEA に基づく故障確率の評価 各種設備、機器類の定期検査の項目、内容及び頻度の設定に当たっては、“故障モード・影響解析手法 (FMEA－Failure Mode and Effect Analysis) ³⁾” による評価が有効である。

注 ³⁾ 定期検査に対する FMEA の手法及びその適用については、**AESJ-SC-F001-2008** を参照。

FMEA を適用して輸送容器と金属キャスクについて故障発生と比較を行い、金属キャスクとして定期的に行うべき検査の項目と頻度を評価した例を**解説表 3**に示す。繰返荷重の作用する輸送容器と異なり、金属キャスクは中間貯蔵施設内に静置され、ほとんど荷重は作用しないことから、この例に示すように基本的安全機能と取扱時に大きな荷重の作用する部分（トラニオン）について、6～10 年の長期間に 1 回程度の検査を行えばよいことがわかる。

このようなことから、**4.1)** で述べた外観検査及びモニタリングに基づく次の基本的安全機能及び使用済燃料に関する検査を、1 年に 1 回以上行う。

- － 伝熱機能＋表面温度検査：外観検査、表面温度モニタリング及び二重蓋間圧力検査に基づく
- － 密封機能検査（二重蓋間圧力検査）：二重蓋間圧力モニタリングに基づく
- － 遮蔽機能検査：外観検査に基づく
- － 未臨界検査：外観検査、表面温度検査及び二重蓋間圧力検査に基づく
- － 収納物検査：外観検査、表面温度検査及び二重蓋間圧力検査に基づく

さらに、6～10 年の長期間に 1 回程度の頻度で、基本的安全機能のうちの次の 2 検査について定量的な性能確認検査を行う。ただし、同型の金属キャスクが同じ環境で多数貯蔵されていることから、金属キャスクの型式ごとに代表キャスクを選定して行うこととする。

- － 伝熱検査：表面温度測定値と解析値を比較する
- － 遮蔽性能検査：線量当量率測定値と解析値を比較する

密封機能については連続モニタリングを行っていること、臨界防止機能及び使

用済燃料については定量的性能確認になじまないことと1年ごとの点検で十分故障の可能性を排除できることから、これら記録の確認をもって代えることとする。

なお、貯蔵中に発生する応力レベルが低く、かつ、変動がほとんどないことから、製造時において許容限界以下の欠陥が存在していたとしても、その欠陥が貯蔵中に進展することはない。したがって、耐圧検査を実施する必要はない。

- 4.3) 輸送機能維持確認検査** 金属キャスクは、中間貯蔵施設での貯蔵中、必要な場合、直ちに搬出できる必要があることから、貯蔵期間中検査の一環として、輸送機能が維持されていることを確認する検査を行う。これは、輸送上の官庁認可（輸送容器承認）の維持のための基礎データとすることができる。

このための検査は **AESJ-SC-F001-2008** に規定されており、次の **4.3.1)～4.3.4)** の観点で同標準の規定への適合性を評価した。

- 4.3.1)** 貯蔵上の要求から同等の検査を行うものについては、当該検査で代替する。
4.3.2) 輸送においては繰り返して荷重が作用する観点から規定する検査で、貯蔵中に荷重の作用しないものについては、検査不要とする。
4.3.3) 金属キャスクの構造上、該当する機構・部品がないものについては、除外する。
4.3.4) 輸送時には使用するが、貯蔵時には使用しない構成要素（例 緩衝体、三次蓋）については、保管空容器の定期検査として、1年に1回以上の外観検査を実施する。

適合性の評価結果を **解説表 4** に示す。**解説表 4** に示すように、輸送機能維持確認のための検査は、金属キャスクに該当する適用部位がないものと荷重が作用しないため検査不要と判断できるものを除き、貯蔵時の要求から行う貯蔵期間中検査に包絡されており、これら検査記録を確認することで検査できる。

なお、耐圧検査については、貯蔵上の検査では実施しないこととしており、容器特性を考慮して、輸送機能維持確認検査としても実施しないこととする。

また、遮蔽性能検査と伝熱検査については、輸送容器の場合は、様々な仕様の収納物を収納し、様々な環境のもとで繰り返し使用されることから、個々の輸送容器について長期検査として直近の輸送時の線量当量率及び温度測定結果と当該収納物仕様に基づく解析値との比較を行うこととしている。金属キャスクの場合は、同型又は類似の容器が同じ環境に長期間静置され、これら性能は代表キャスクの検査で十分確認できるため、貯蔵上の遮蔽性能検査と伝熱検査とで代替する。

検査頻度については、**4.2)** の FMEA による評価に基づけば6～10年の長期検査のみで十分であるが、貯蔵上の検査は1年ごとであることに合わせ、1年に1回以上の頻度で行うこととする。ただし、性能確認に関する検査については、長期検査とする。

- 4.4) 貯蔵期間中の除熱機能維持に係る検査** 貯蔵期間中の金属キャスクの除熱機能維

持の確認のために、“伝熱検査”と“表面温度検査”が行われる。“伝熱検査”は、金属キャスクを対象として、代表キャスクの表面温度の測定値を解析値と比較することによって、金属キャスクの除熱機能が維持されていることを確認する。また、“表面温度検査”は、金属キャスクを対象として、金属キャスクの貯蔵期間中の熱的環境条件が設計で想定している条件を超えていないことを確認するものであり、伝熱検査と合わせて貯蔵期間中に金属キャスクが設計条件の範囲内で除熱機能が維持されていることが確認できる。

なお、“温度測定検査”は、施設からの搬出時に、輸送物として輸送法令の表面温度基準を満足していることを確認するものである。貯蔵前においても本検査を実施し、輸送中の金属キャスクに熱的に異常を生じるような事象のなかったことを確認するという考え方もあるが、我が国における輸送の実務における管理・監視体制を考慮すれば、そのような事象の発生は、確実に把握されることが明らかであるため、貯蔵前における本検査の実施は求めないこととした。

- 5) **貯蔵施設搬出前検査** 安全輸送の観点から、輸送物が輸送法令に適合することを確認する検査であり、その大部分は、発電所における搬出前検査と同様に検査できる。この中で、未臨界検査と収納物検査は、通常、発電所においては輸送容器の蓋を開放し、内部のバスケット及び使用済燃料の健全性を目視などによって確認するが、燃料詰替設備を設置しない中間貯蔵施設では金属キャスクの蓋を開放しないため、目視検査を行わない。この場合でも、次の **5.1)** 及び **5.2)** に示すように、目視検査を実施しなくともこれらの健全性が確認でき、貯蔵後搬出前検査として問題はない。
- また、圧力測定検査も、金属キャスクの蓋を開放しないため改めて直接確認することはしないが、**5.3)** に示すように、記録確認によって健全性が確認でき、貯蔵後搬出前検査として問題はない。

- 5.1) 未臨界検査** 未臨界検査は、臨界防止機能として必要なバスケットの構造強度の健全性を確認するため、バスケットの外観に臨界防止機能に影響を与えるような変形・破損がないことを目視検査によって確認するものである。発電所搬出前検査では、使用済燃料の収納前に金属キャスクに挿入したバスケットの外観を目視で確認し、臨界防止機能に異常がないことを確認している。

貯蔵後搬出前検査では、バスケットの外観を直接確認できないが、熱・放射線照射・腐食による経年変化の影響については、安全設計で考慮しており、その設計条件を逸脱していないことを中間貯蔵施設における貯蔵期間中検査の各項目において確認している。さらに、異常事象が生じた場合には、外観検査、二重蓋間圧力検査、線量当量率検査及び表面温度検査並びに設計評価によって、金属キャスクが基本的安全機能を維持していることを確認することとしている。

以上のことから、発電所搬出前検査及び貯蔵期間中検査並びに必要な応じての

異常事象時の確認によって、金属キャスクが臨界防止機能を維持していることを確認できる。

- 5.2) 収納物検査** 収納物検査は、安全設計の前提条件となる燃料仕様などと使用済燃料の健全性を確認するために、記録による燃料仕様などの確認と使用済燃料の外観の目視検査を行うものである。発電所搬出前検査では、原子炉での運転記録によって放射能の量、ウラン重量、使用済燃料集合体重量、燃焼度、発熱量、冷却期間及び濃縮度が、燃料収納作業記録によって数量と金属キャスク内の収納配置が輸送物仕様範囲内であることを確認している。また、使用済燃料の外観を目視などによって検査し、異常のないことを確認している。

貯蔵後搬出前検査では、使用済燃料の外観を直接目視確認できないが、熱・放射線照射・腐食による経年変化の影響については、安全設計で考慮しており、その設計条件を逸脱していないことを中間貯蔵施設における貯蔵期間中検査の各項目において確認している。さらに、異常事象が生じた場合には、外観検査、二重蓋間圧力検査、線量当量率検査及び表面温度検査並びに設計評価によって、使用済燃料が健全性を維持していることを確認することとしている。

なお、使用済燃料の数量については、金属キャスクの封印確認によっても、異常のないことが確認できる。

以上のことから、発電所搬出前検査及び貯蔵期間中検査並びに必要な応じての異常事象時の確認によって、使用済燃料の仕様、数量などに変化がなく、かつ、健全性を維持していることが確認できる。

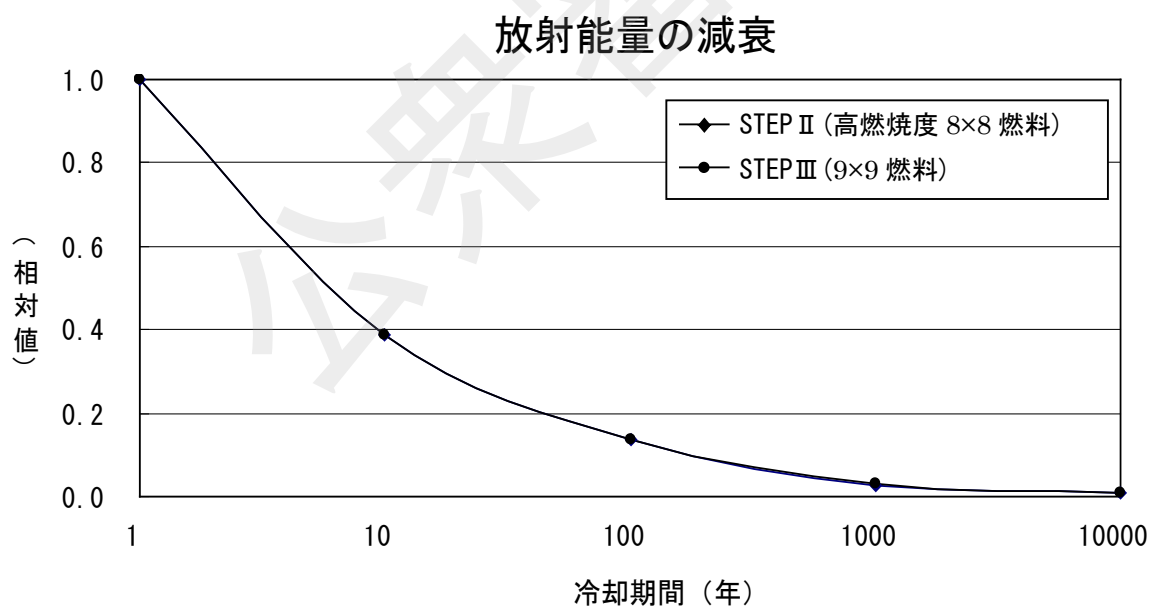
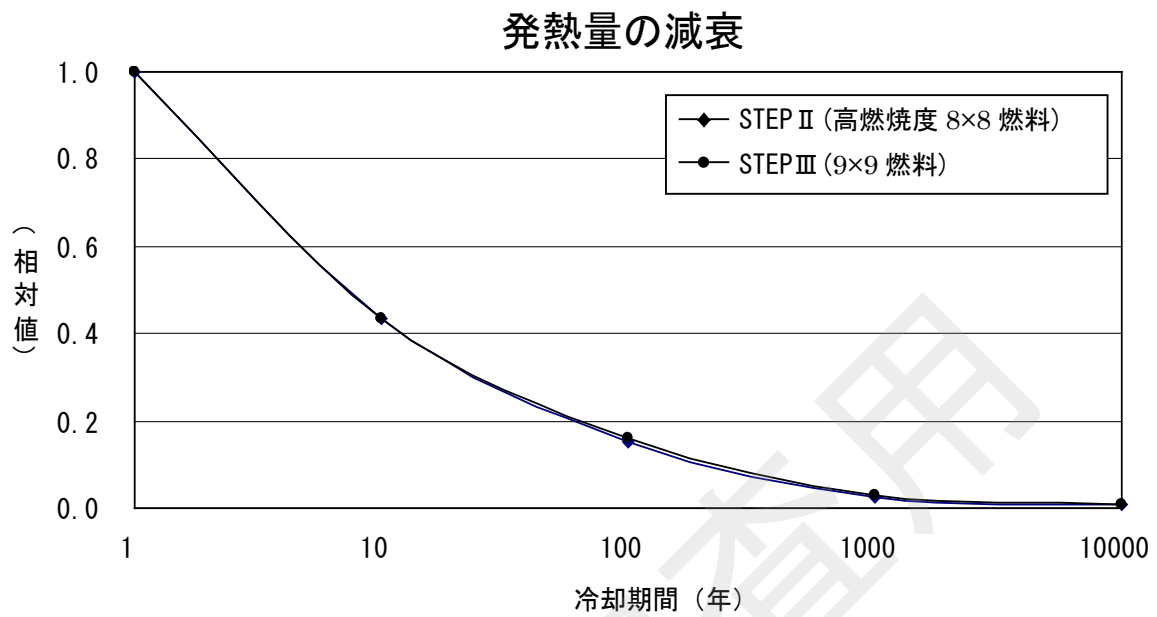
- 5.3) 圧力測定検査** 圧力測定検査は、安全設計の前提条件となる金属キャスクと使用済燃料の健全性を確認するために、記録による金属キャスク内部のガスの圧力及び成分の検査を行うものである。発電所搬出前検査では、金属キャスク仕立作業記録によって残留水分、ガス成分、充填量及び圧力を確認している。

貯蔵後搬出前検査では、金属キャスク内部のガスの圧力及び成分を直接確認できないが、貯蔵前及び貯蔵期間中の二重蓋間圧力検査記録を確認することによって、一次蓋の密封性能に異常がないことが確認できる。また、貯蔵後搬出前検査の収納物検査によって使用済燃料の健全性が確認されるため、これらの確認結果を合わせて金属キャスク内部のガスの圧力及び成分に設計条件を逸脱する変化がないことを確認できる。

- 6) 検査の方法** 金属キャスク又は輸送物の検査は、様々な検査項目について、製造時から貯蔵後搬出前に至る各段階にわたって実施される。各検査においては、当該検査で初めて確認するものと、当該検査とは別の検査項目又は別の検査の段階（前段階又はさらに前の検査段階）の検査記録を参照するものがある。本標準においては、これらを区別するため、当該検査で初めて確認するものを“直接確認”（本体の **3.23**

参照)，当該検査とは別の検査項目又は別の検査の段階の検査記録を確認するものを“記録確認”（本体の **3.24** 参照）ということとした。このことから，製造時検査における材料証明の確認や，発送前検査における作業記録の確認は，一般には“記録確認”と呼ばれるが，本標準においては“記録確認”ではなく“直接確認”に分類される（本体の **3.23** 参照）。

本標準における“記録確認”の例としては，製造時検査の遮蔽性能検査（本体の **5.2 h) 1)**参照）において，別の検査項目である材料検査の記録に基づいて判定基準に適合することを確認するものや，貯蔵期間中の輸送機能維持確認検査の外観検査（本体の **5.2 c) 4)**参照）において，別の検査の段階である貯蔵期間中の貯蔵機能維持確認検査の記録に基づいて判定基準に適合することを確認するものがある。



解説図 3—貯蔵期間中の使用済燃料の発熱量と放射エネルギーの減衰
(BWR 燃料集合体の例)

解説表 3—輸送容器の故障発生と金属キャ

輸送容器(NFT 型の例)							
構成部位	部品	箇所	故障モード	故障原因	影響		
容器本体 (除く蓋)	胴, 内筒, 底板, フランジ (溶接組立部品)	本体	傷・変形	取扱時損傷	・除染性の低下		
				取扱時損傷(蓋シール部)	・密封機能不全		
				異物の付着・堆積等	・密封機能不全・取扱不能		
			表面の荒れ	異物付着による発錆	・除染性の低下		
				腐食 腐食	・構造強度低下・密封機能, 遮蔽機能不全・取扱不能		
			疲労	繰返使用			
			割れ	SCC			
			変質	熱・照射			
		ガスケット接触面	傷	取扱時損傷 異物の付着	・密封機能不全		
		蓋ボルト穴	変形	取扱時損傷 異物の付着・堆積 ヘリサートの緩み	・蓋ボルト締付不良(ヘリサート挿入不良による) ・汚染物質の蓄積による隙間から外部への漏れ ・ヘリサート交換時の下穴損傷による挿入不良		
		緩衝体取付用ボルト穴	変形	取扱時損傷 異物の付着・堆積 ヘリサートの緩み	・緩衝体ボルト締付不良(ヘリサート挿入不良による) ・ヘリサート交換時の下穴損傷による挿入不良		
		中間胴及び外筒 (溶接組立部品(内筒含), 遮蔽材充填) (遮蔽材: 鉛, レジン)	本体	傷・変形	取扱時損傷	・取扱不能	
				変形	腐食	・構造強度低下, 遮蔽機能不全・取扱不能	
				疲労	繰返使用		
	割れ			SCC			
	変質			熱・照射			
	鉛, レジン (充填材)		変質	熱・照射	・外部線量当量率の上昇(遮蔽性能低下)		
			変形	腐食			
	伝熱フィン (銅)		変質	熱・照射	・除熱性能低下		
			変形	腐食			
			レジンカバー	外表面(本体)	変形・割れ	取扱時損傷	・除染性の低下(傷からの汚染源のにじみ)
	腐食	・取扱不能					
	変質	熱・照射			・プール水流入, 流出による汚染		
	トランゾン (ステンレス鋼)	本体	傷・変形	取扱時損傷	・除染性の低下		
			変形	腐食・取扱損傷	・構造強度低下・取扱不能		
			割れ	SCC			
			変質	熱・照射			
			疲労	繰返使用			
			変質	熱・照射			
		シリコンシーラント充填部	変形	取扱時損傷	・プール水の隙間部への浸入及び外部へのにじみによる汚染		
			変質	熱・照射			
		取付ボルト (合金鋼)	変形	取扱時損傷	・ボルト締付不良		
変質			熱・照射				
取付ボルト穴			疲労	繰返使用			
注 a) 故障等級 I: 安全性能に影響を及ぼすもの II: 安全性能に影響があるが, 補修及び部品交換によって容易に回復するもの III: 安全上, 直接的な影響を及ぼさないもの 安全性能 ①: 容器の取扱い ③: 遮蔽性能／伝熱性能 ②: 密封性能 ④: 臨界防止性能							

スクの貯蔵中の故障発生と比較 (1/3)

						金属キャスク(貯蔵中)				
故障等級 ^{a)}	頻度等級 ^{b)}	故障検知方法	燃料輸送の都度	3～5年次点検	5～10年次点検	頻度等級 ^{b)}	故障検知方法	3～5年次点検	5～10年次点検	備考
Ⅱ-①	1	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・密封性能は連続監視。
Ⅱ-②	2	外観・気密漏えい検査	○	○	○	5	外観・気密漏えい検査	—	—	
	2	外観・気密漏えい検査	○	○	○	5	外観・気密漏えい検査	—	—	
Ⅱ-①	1	外観検査	○	○	○	4	外観検査	—	○	
Ⅰ-② Ⅰ-③	5	遮蔽検査	—	—	○	5	遮蔽検査	—	○	・解析値との比較評価
	5	外観検査	—	—	○	5	外観検査	—	—	・繰返使用はない。
	5	非破壊検査	—	—	○	5	非破壊検査	—	—	・金属キャスクは塗装によって SCC 防止するため検査不要。
	5	耐圧検査	—	—	○	5	耐圧検査	—	—	・貯蔵中は繰返荷重が作用しないため検査不要。
Ⅱ-②	2	外観検査 気密漏えい検査	○	○	○	5	外観検査 気密漏えい検査	—	—	・一次蓋／二次蓋間は不活性ガスが充填され、密封性能は連続監視される。 ・輸送用追加蓋を装着する場合は発送前に外観及び気密漏えい検査を行う。 ・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。
Ⅱ-②	2	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	
Ⅱ-①	2	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。
Ⅱ-①	1	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	
Ⅰ-③	5	外観検査(外部露出部)	—	—	○	5	外観検査(外部露出部)	—	○	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・腐食、SCC に対しては材料選定、塗装によって防止されている。
Ⅰ-③	5	遮蔽性能検査	—	—	○	5	遮蔽性能検査	—	○	・同一環境に長期間静置されることから代表キャスクによって実施。
Ⅰ-③	5	伝熱性能確認検査	—	—	○	5	伝熱検査	—	○	・同一環境に長期間静置されることから代表キャスクによって実施。
Ⅱ-①	4	外観検査	—	—	○	5	外観検査	—	○	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・腐食、SCC に対しては材料選定、塗装によって防止されている。
Ⅰ-①	5									
Ⅰ-①	5									
Ⅱ-①	1	吊上検査(外観検査)	○	○	○	5	吊上検査(外観検査)	—	—	・繰返使用がないため PT は不要である。
Ⅱ-①	5	非破壊検査(PT)	—	○	○	5		—	○	
Ⅱ-①	2	外観検査	○	○	○	2	外観検査	—	—	・搬入先で対応するため検査不要。
	5	密閉検査	○	○	○	5	密閉検査	—	—	
Ⅱ-①	3	外観検査(取外点検)	—	○	○	5	外観検査	—	○	・繰返使用がないため取外点検は不要である。
	5									
b) 頻度等級 1:しばしば発生する(取扱いの都度) 2:ごく普通に発生する(1 回/1 年) 3:少ないけれども発生する(1 回/数年程度) 4:めったに発生しない(1 回/10 年) 5:発生しない(設計評価期間)										

解説表 3—輸送容器の故障発生と金属キャ

輸送容器(NFT 型の例)					
構成部位	部品	箇所	故障モード	故障原因	影響
蓋	蓋板 (ステンレス鋼, 炭素鋼)	本体	傷・変形	取扱時損傷	・除染性の低下(傷からの汚染のにじみ)
				取扱時損傷(蓋シール部)	・密封機能不全
				異物の付着・堆積等	・密封機能不全・取扱不能
			表面の荒れ	腐食	・除染性の低下(傷からの汚染のにじみ)
				異物付着による発錆	・構造強度低下・密封機能、遮蔽機能不全・取扱不能
			疲労	繰返使用	
			割れ	SCC	
			変質	熱・照射	
		緩衝体取付用ボルト穴	変形	取扱時損傷 異物の付着・堆積 ヘリサートの緩み	・プール入水用防染ボルトの締付不良によるボルト穴汚染及びS/A 取付けボルトの汚染 ・ヘリサートの緩みによる、ボルト締付不良 ・ヘリサート交換時の下穴損傷による挿入不良
		ガスケット溝部	傷・変形	取扱時損傷 異物の付着	・漏えい(発送前など各種気密漏えい検査)
		ガスケット(密封部)	変形	取扱時損傷	
			変質	照射・熱	
	蓋ボルト (合金鋼)	本体	表面の荒れ	腐食	・取扱性低下
			疲労	繰返し	・構造強度低下・密封機能不全・取扱不能
			変質	熱・照射	
		ねじ部	傷・変形	取扱時損傷 メッキ剥離部の発錆	・ボルト締付不良 ・ボルト穴への錆付着
	バルブカバープレート (ステンレス鋼) (蓋板用)	本体(ボルト穴含む)	傷・変形	取扱時損傷	・除染性の低下
		ガスケット溝部	傷・変形	取扱時損傷	・漏えい(密封境界外) (バルブ部など付着汚染水の漏えい)
		ガスケット接触面		異物の付着	
		ガスケット	変形	取扱時損傷	
			変質	照射・熱	
		取付ボルト 取付ボルト用穴	傷・変形	取扱時損傷	・プール入水時カバーの取付不良 ・ヘリサートの緩みによる、ボルト締付不良 ・ヘリサート交換時の下穴損傷による挿入不良
バスケット		主要構造材 (ステンレス鋼) ボロン入りステンレス鋼 ボロン入りアルミニウム合金 アルミニウム合金	本体	変形	取扱時損傷
	変形			腐食	・構造強度低下・取扱不能
	割れ			SCC	
	変質			熱・照射	
	ボロン入りステンレス鋼 ボロン入りアルミニウム合金		変質	照射	
	注 a) 故障等級 I:安全性能に影響を及ぼすもの II:安全性能に影響があるが、補修及び部品交換によって容易に回復するもの III:安全上、直接的な影響を及ぼさないもの 安全性能 ①:容器の取扱い ③:遮蔽性能／伝熱性能 ②:密封性能 ④:臨界防止性能				

スクの貯蔵中の故障発生と比較 (2/3)

						金属キャスク(貯蔵中)				
故障等級 ^{a)}	頻度等級 ^{b)}	故障検知方法	燃料輸送の都度	3～5年次点検	5～10年次点検	頻度等級 ^{b)}	故障検知方法	3～5年次点検	5～10年次点検	備考
Ⅱ-①	1	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・密封性能は連続監視され、一次蓋は不活性ガス雰囲気中であり外観検査は不要。
Ⅱ-②	2	外観・気密漏えい検査	○	○	○	5	外観・気密漏えい検査	—	—	
	2	外観・気密漏えい検査	○	○	○	5	外観・気密漏えい検査	—	—	
	1	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	○	
Ⅰ-②	5	遮蔽検査	—	—	○	5	遮蔽検査	—	○	・解析値との比較評価
	5	外観検査	—	—	○	5	外観検査	—	—	・繰返使用はない。
Ⅰ-③	5	非破壊検査・耐圧検査	—	—	○	5	非破壊・耐圧検査	—	—	・金属キャスクは塗装によって SCC 防止するため検査不要 ・貯蔵中は繰返荷重が作用しないため検査不要。
	5									
Ⅱ-①	2	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。
Ⅱ-②	2	外観・気密漏えい検査	○	○	○	5	外観・気密漏えい検査	—	○	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・密封性能は連続監視。 ・輸送用追加蓋を装着する場合は、発送前に外観及び気密漏えい検査を行う。
	5					5				
Ⅱ-②	5	外観検査	—	—	○	5	外観検査	—	○	
Ⅱ-③	5		—	—	○	5		—	○	
Ⅱ-③	5		—	—	○	5		—	○	
Ⅱ-①	2	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	・輸送用追加蓋を装着する場合は、発送前に外観検査を行う。
Ⅱ-①	1	外観検査、ねじ確認	○	○	○	5	外観検査、ねじ確認	—	—	・一次蓋に設けられるバルブカバープレートは不活性ガス雰囲気中であり外観検査は不要。 ・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。
Ⅲ	2	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	—	
	5	外観検査	○	○	○	5	外観検査	—	○	
Ⅱ-①	2	外観検査・ねじ確認	○	○	○	5	外観検査、ねじ確認	—	—	
Ⅰ-④	5	外観検査(金属キャスク収納状態)	—	—	○	5	外観検査(金属キャスク収納状態)	—	—	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・密封性能の連続監視によって確認される不活性ガス雰囲気中に静置されるため、腐食、SCCの発生はない。 ・収納物検査、表面温度検査によって、熱・照射による影響が設計想定範囲内であることが確認される。
		外観検査(単体)	—	—	○		外観検査(単体)	—	—	
		スルーゲージ確認	—	○	○		スルーゲージ確認	—	—	
		外観検査	—	—	○		(収納物検査、表面温度検査)	—	(○)	
		中性子吸収材劣化確認	—	—	○		中性子吸収材劣化確認	—	○	・設計時計算評価
b) 頻度等級 1:しばしば発生する(取扱いの都度) 2:ごく普通に発生する(1回/1年) 3:少ないけれども発生する(1回/数年程度) 4:めったに発生しない(1回/10年) 5:発生しない(設計評価期間)										

解説表 3—輸送容器の故障発生と金属キャ

輸送容器(NFT 型の例)						
構成部位	部品	箇所	故障モード	故障原因	影響	
上部緩衝体	カバープレート	本体	傷・変形	取扱時損傷	・割れ腐食などの誘発	
下部緩衝体	(ステンレス鋼:溶接組立部品)		割れ	SCC	熱・照射	・取扱不能
			変質(溶接)			
		充填材(木材)	被覆材内部	変質		熱・照射
	緩衝体ボルト (ステンレス鋼)	本体	表面の荒れ	腐食	・ボルト締付不良 ・ボルト穴への錆付着	
			疲労	繰返し		
			変質	熱・照射		
		ねじ部	傷・変形	取扱時損傷		
収納物 (燃料集合体)			変形	取扱時損傷	・未臨界性能の変化 ・構造強度低下 ・燃料被覆管からの漏えい及び金属キャスクの除熱性低下	
			変形	腐食		
			割れ	SCC		
			変質	熱・照射		
注 a) 故障等級 I :安全性能に影響を及ぼすもの II :安全性能に影響があるが、補修及び部品交換によって容易に回復するもの III :安全上、直接的な影響を及ぼさないもの 安全性能 ①:容器の取扱い ③:遮蔽性能／伝熱性能 ②:密封性能 ④:臨界防止性能						

スクの貯蔵中の故障発生と比較 (3/3)

						金属キャスク(貯蔵中)				
故障等級 ^{a)}	頻度等級 ^{b)}	故障検知方法	燃料輸送の都度	3～5年次点検	5～10年次点検	頻度等級 ^{b)}	故障検知方法	3～5年次点検	5～10年次点検	備考
Ⅱ-①	1	外観検査	○	○	○					・輸送容器としての運用となる。
I-①	5	非破壊検査(PT)	—	—	○					
I-③	5	内部の気密性試験	—	—	○					
Ⅱ-③	5	外観検査	—	—	○					
Ⅱ-①	2	外観検査	○	○	○					
I-② I-③ I-④	—	発送前収納物検査				5	外観検査	—	—	・貯蔵中は取扱作業がほとんど発生しないため、取扱いに伴う故障頻度は低い。 ・密封性能の連続監視によって確認される不活性ガス雰囲気中に静置されるため、腐食、SCCの発生はない。 ・収納物検査、表面温度検査によって、熱・照射による影響が設計想定範囲内であることが確認される。
						外観検査	—	—		
						外観検査	—	—		
						(収納物検査、表面温度検査)	—	(○)		
b) 頻度等級			1:しばしば発生する(取扱いの都度)			2:ごく普通に発生する(1回/1年)				
			3:少ないけれども発生する(1回/数年程度)			4:めったに発生しない(1回/10年)				
			5:発生しない(設計評価期間)							

解説表 4-輸送容器の性能維持のための検査項目

AESJ-SC-F001-2008 に記載された輸送容器の性能維持のための検査						中間貯蔵施設で行う輸送容器性能維持のための検査					
項 目		対象機器・要素	実 施 区 分			中間貯蔵施設での状態	輸送容器の性能維持確認検査の実施				
			定期検査 ^{a)}	中期検査	長期検査		中期検査 ^{d)}	長期検査	説 明		
外観検査		輸送容器	○	—	—	貯蔵時の基本的安全機能維持確認のため定期検査する（トランオンを含む）。	—	—	貯蔵時の定期検査（外観検査）に包絡される（トランオンを含む）。緩衝体三次蓋は、保管中を含めて定期検査を実施し、実輸送前には輸送前検査を実施する。		
		本体、蓋、緩衝体及び輸送準備作業時解体部品	—	○	○		(○)	(○)			
		弁部等の密封境界を構成する要素の構成部品	—	○	○		×	×		密封監視装置の弁部は輸送時の密封境界とはならないので、検査不要。	
気密漏えい検査		輸送容器密封装置	—	○	○	貯蔵時の密封機能維持確認のため、二重蓋間圧力モニタリング結果に基づき定期検査する。	(○)	(○)	貯蔵時の定期検査（二重蓋間圧力検査）に包絡される。		
吊 上 検 査	外観検査	輸送容器本体吊上装置（トランオン）	—	○	○	荷重は作用しない。固縛に使用する場合は、貯蔵時の安全機能維持確認のため定期外観検査を実施する。	(○)	(○)	貯蔵時の定期検査（外観検査）に包絡される。 荷重が作用しないので検査不要。		
	浸透探傷検査		—	○	○		×	×			
未 臨 界 検 査	外観検査	収納物収納装置（バスケット）	—	○ ^{b)}	○ ^{b)}	貯蔵時の臨界防止機能維持確認のため、定期的に代替検査を実施する。	(○)	(○)	貯蔵時の定期検査（未臨界検査）に包絡される。 貯蔵時の定期検査（未臨界検査）に包絡される。 貯蔵時の定期検査（未臨界検査）に包絡される。		
	寸法検査		—	—	○ ^{b)}		—	(○)			
	中性子吸収材検査		—	—	○ ^{b)}		—	(○)			
作動確認検査		輸送容器の弁、安全装置	—	○ ^{b)}	○ ^{b)}	弁、安全装置のない構造である。ただし、密封監視装置が弁を持つことがある。	×	×	密封監視装置の弁部は輸送時の密封境界とはならないので、検査不要。		
伝熱性能検査（この標準では伝熱検査という。）		輸送容器	—	—	○ ^{b)}	貯蔵時の除熱機能維持確認のため、表面温度測定結果に基づき定期検査を実施する。	—	(○)	貯蔵時の定期検査（除熱性能確認検査）で代替できる。		
遮蔽性能検査		輸送容器	—	—	○ ^{b)}	貯蔵時の遮蔽機能維持確認のため、線量当量率測定結果に基づき定期検査を実施する。	—	(○)	貯蔵時の定期検査（遮蔽性能確認検査）で代替できる。		
耐圧検査		輸送容器密封境界	—	—	○ ^{b)}	貯蔵時は、負荷が小さいので不要である。	—	×	貯蔵時と同じ理由で検査不要。		
その他	密閉検査	耐浸水性を持つ要素	—	○ ^{b)}	○ ^{b)}	汚染水に接することはない。	×	×	汚染水に接しないので検査不要。		
	浸透探傷検査	蓋吊金具等	—	○ ^{b)}	○ ^{b)}	荷重は作用しない。	×	×	荷重は作用しないので検査不要。		
注記 ○：実施するもの (○)：実施するが、貯蔵時の検査に包絡されるもの —：輸送容器検査として実施していないもの ×：貯蔵の様態から実施不要のもの											
注 ^{a)} 1年に1回以上実施する。 ^{b)} 輸送容器の特性及び供用状況により必要に応じて実施するもの。 ^{c)} 密封監視装置が弁を持ち、かつ、輸送時の密封境界を構成する場合には実施する。 ^{d)} 貯蔵時の中期検査は、年次検査として実施する。											

f) **モニタリングの考え方** 中間貯蔵施設において貯蔵中に次の 1)～4) の基本的安全機能に関するモニタリングを行うこととしており、その中から金属キャスクに関する項目を抽出し、本体の 4.2.1 の基本仕様とした。

1) **除熱機能のモニタリング** 金属キャスクの各部温度が設計範囲内にあることが、他の基本的安全機能を担保する部材及び使用済燃料の健全性維持の前提となっていることから、金属キャスクの代表点として本体中央部の表面温度を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。また、貯蔵建屋を設置する場合は、除熱機能を担保している給排気口に異常が発生しないように設計する必要がある。したがって、中間貯蔵施設の除熱機能が維持されていることの確認のため、給排気温度を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。

2) **密封機能のモニタリング** 金属キャスクの二重蓋間圧力監視境界の圧力を正圧とし、二重蓋間圧力を連続モニタリング・記録する。これによっていずれかの金属ガスケットに漏えいが生じた場合には二重蓋間圧力の低下を検知して警報を発出し、放射性物質の漏えいを未然に防ぐことができる。併せて、使用済燃料を貯蔵する不活性ガス環境が維持される。また、建屋排気口での放射性物質濃度のモニタリングについては、金属キャスクの密封機能低下の可能性のある部位が蓋部のみであり、二重蓋間圧力監視によって放射性物質の放出監視ができることから、不要である。

ここで、圧力低下の検知精度を上げるために、二重蓋間容積は、小さく設計されることから、貯蔵時の基準漏えい率を超えない微量の二重蓋間ガスの漏えいであっても、二重蓋間圧力が低下することはあり得る。したがって、そのような状況が生じた場合には、密封機能のモニタリングを継続するために、二重蓋間ガスの補充を行い、所定の圧力範囲を維持する運用を行うが、補充ガス量を記録することによって、金属キャスク内圧の状況について常時確認できる。

3) 遮蔽機能のモニタリング

3.1) “使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則”に定められている管理区域の線量当量率を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。

3.2) “原子力災害特別措置法”において、原子力事業所の区域の境界付近における放射線量に異常があった場合は通報する必要があるため、施設の境界における空間放射線量率を連続モニタリング・記録し、異常時には警報を発出する。

4) **臨界防止機能のモニタリング** 金属キャスクは輸送時及び貯蔵時において、内部に水が浸入することは想定されず、かつ、経年変化を考慮してもバスケットが臨界防止機能を維持し、使用済燃料が健全性を維持するよう設計するため臨界となること

はない。したがって、臨界防止機能に関するモニタリングは必要ない。

なお、中間貯蔵施設においてこれらの設計条件を逸脱していないことは、金属キャスクの二重蓋間圧力、表面温度のモニタリング及び定期的な外観検査によって確認できる。

- g) **使用済燃料の先行貯蔵** 使用済燃料の長期健全性については**附属書 E** に示すように熱、照射及び腐食が経年変化要因であるが、貯蔵環境を設計上考慮することによって確保できる。また、外力についても**附属書 Q** に示すように燃料被覆管の許容加速度は通常輸送時、一般の試験条件及び貯蔵時に作用する加速度よりはるかに大きく問題にはならない。

これらの経年変化要因のうちで、温度については燃料被覆管のクリープ強度、水素化物再配向及び照射効果の回復現象への影響が大きく、**附属書 N** に示すとおり、設計及び運用面では特に注意を払い、燃料被覆管温度が、各々の現象に対して制限となる温度を超えないようにする必要がある。

附属書 P においては、真空乾燥時においてもこれらの温度を超えない運用ができることを示している。

以上のことから、先行貯蔵を実施する際の燃料温度の管理方法として、実際の間中貯蔵において真空乾燥時を含めて燃料被覆管の温度が、**附属書 N** に規定する制限温度を超えなければ、先行貯蔵時の温度を規定する必要はないものとした。また、健全性の確認方法については実際の間中貯蔵と同等の品質管理を行う観点から貯蔵雰囲気は極力外乱を加えないために、例えば、貯蔵容器の内部ガスの一部をサンプリングして核分裂生成ガスのうち ^{85}Kr を検知することとした。万一、漏えいを検知した場合には**附属書 J** において検討したように極めて微小なき裂孔しか発生していないことを確認するための外観検査を要求することとした。

なお、確認の頻度については実際の間中貯蔵と先行貯蔵の実施期間を考慮して実運用に過大な負担とならないよう任意に定めてよいものとした。

- h) **金属キャスク構成部材の長期健全性に関する知見の蓄積方法** 金属キャスク構成部材の長期健全性については**附属書 E** に示すように熱、照射及び腐食が経年変化要因であるが、材料の特性、環境条件及び負荷条件を設計上考慮することによって確保できる。**表 E.2** では、経年変化要因に照らし、金属キャスク構成部材の設計基準を示している。ここで、金属キャスクの設計に照らし、構成部材の材料選択及び保守によって明らかに設計上経年変化を考慮する必要のないもの、又は設計上考慮する必要がある場合でも計算によって経年変化量を容易に評価できるものもあり、これらについては改めて長期健全性に関する知見の蓄積の必要性はないと判断できる。

一方、経年変化を設計上考慮する必要がある、その変化量について十分な知見が蓄

積されていない構成部材の材料については、実際の間蔵に先行して長期健全性を確認することとし、**附属書 G**に基本的な考え方及び長期健全性確認を要する構成部材の選定方法を規定し、さらに、**附属書 E**に基づいて知見の蓄積が望まれる構成部材の材料について、具体的な長期健全性確認方法をまとめた。

- i) **燃料被覆管のクリープ式** (独)原子力安全基盤機構では、高燃焼度の燃料被覆管を含めた材料を用いてクリープ試験を行い、BWR 用燃料被覆管及び PWR 用燃料被覆管のそれぞれに対し、燃焼度の範囲に応じた累積クリープひずみ計算式を新たに作成している。この中で、BWR 用燃料被覆管については、この標準の対象とする使用済燃料の燃焼度を超える高い燃焼度に対応する累積クリープひずみ計算式を作成するとともに、低燃焼度燃料に対する累積クリープひずみ計算式として、(財)電力中央研究所の計算式を用いることが安全側の評価結果になるとして推奨している。また、(財)電力中央研究所の実験を再評価し、統計的な処理を行って 95%信頼区間の上側を得る係数を算出している。

(独)原子力安全基盤機構では、BWR 用燃料被覆管と同様に、PWR 用燃料被覆管についても燃焼度の範囲に応じた累積クリープひずみ計算式を新たに作成している。

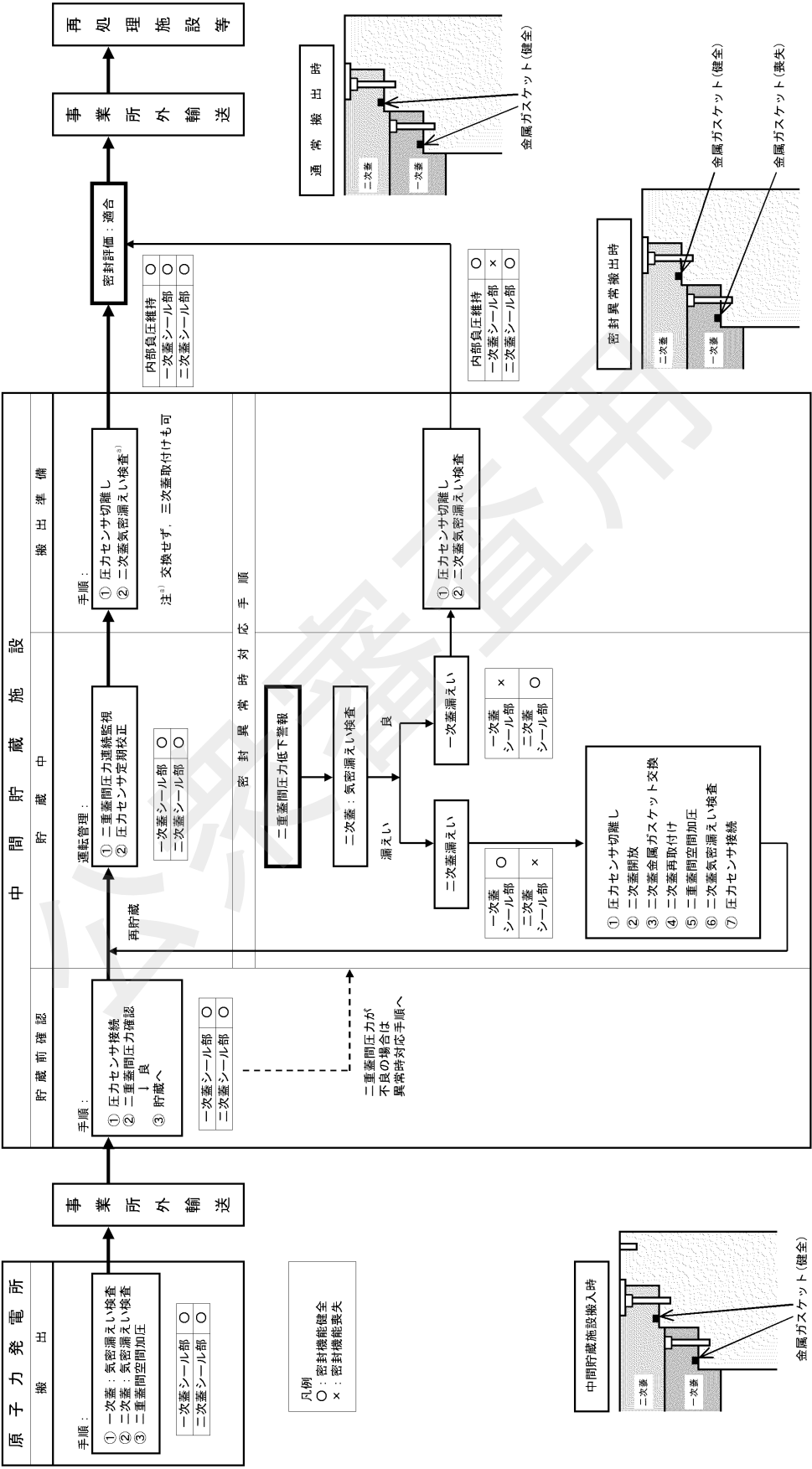
この標準では、BWR 用燃料被覆管については、高燃焼度に対しては(独)原子力安全基盤機構の計算式を用い、低燃焼度に対しては(財)電力中央研究所の計算式を用い、それぞれ 95%信頼区間の上側を得る係数とともに用いることとした。また、PWR 用燃料被覆管については、(独)原子力安全基盤機構の計算式を 95%信頼区間の上側を得る係数とともに用いることとした。

j) 貯蔵後輸送時の金属ガスケットの漏えい率の設定

- 1) **基本的考え方** 貯蔵後輸送において、貯蔵中に使用した金属ガスケットを継続して使用し輸送時の密封境界とする設計では、**解説図 4**に示すとおり二次蓋の気密漏えい検査を行い⁴⁾、密封機能が健全であることを確認したうえで搬出する。この場合、金属ガスケットの密封機能に関するデータを充実することによってその信頼性を確認しておかなければならない。次項では、貯蔵後輸送に対する金属ガスケットの密封機能に関するデータについて、現状の知見を示す。

また、貯蔵中に密封機能の異常が発生し、二次蓋シール部の気密漏えい検査を行って、二次蓋シール部が健全な場合は、一次蓋シール部の漏えいと判断できるため、中間貯蔵施設外に搬出して一次蓋密封機能の修復又は使用済燃料を取出す措置を施す必要がある。この搬出も“貯蔵後輸送”であり、その場合の密封境界形成方法は、**附属書 H**に示すとおりゴム O リング付の三次蓋を追加設置する又は二次蓋を溶封することによって密封境界を形成する方法が例として考えられる

注 ⁴⁾ 圧力センサを取外し、閉止蓋に交換して搬出する設計とすることもできる。



解説図 4ー密封境界形成及び二重蓋間圧力監視境界形成の考え方（貯蔵後輸送時に金属ガスケットによって密封境界を形成）

- 2) 貯蔵後輸送時の金属ガスケットの漏えい率の設定方法 貯蔵後輸送において、貯蔵中使用した金属ガスケットを継続して密封境界とする場合には、金属ガスケットの密封機能に関するデータを充実することによってその信頼性を確認する必要がある。以下に現状の知見に基づいた漏えい率の設定方法を示す。

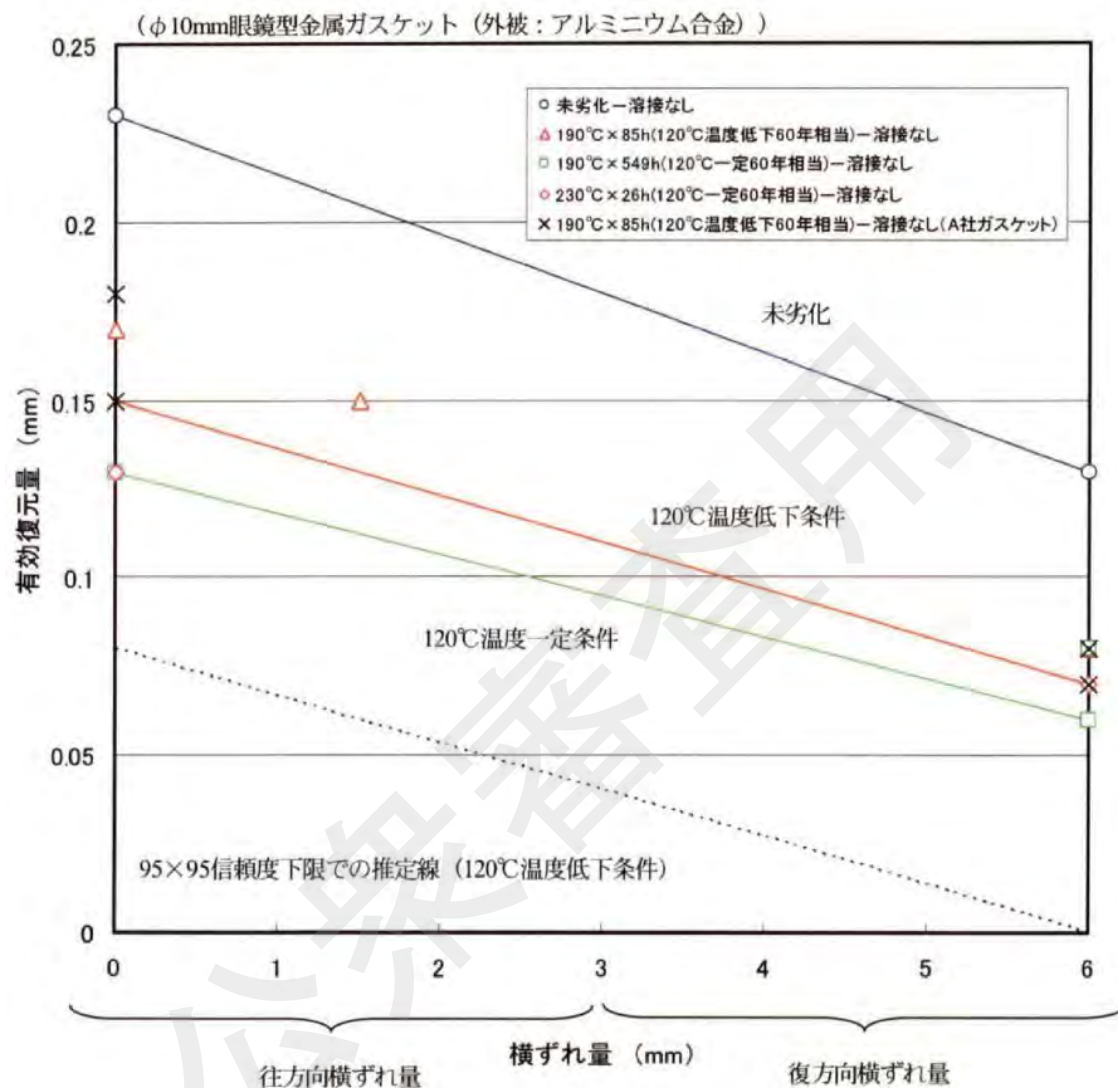
輸送中の金属ガスケットの漏えい率は、落下試験などの衝撃によって貯蔵中より増加する可能性がある。貯蔵後の輸送においては、貯蔵前と比較して金属ガスケットの反発力の緩和が進んでいることから、これを考慮する必要がある。

(独)原子力安全基盤機構などにおいて、長期貯蔵後の輸送時密封性能に関する要素試験として、金属ガスケットの静的口開き試験、静的横ずれ試験、動的口開き試験、動的横ずれ試験が実施されている。当試験では静的口開きと横ずれが同時に発生した場合に、輸送時の基準漏えい率を確保するための横ずれ量と有効復元量（許容口開き量）の相関関係が検討され、**解説図 5** に示す相関が得られている。当該試験の金属ガスケットは、コイルスプリングと二重の被覆材からなるタイプであり、フープ径は $\phi 250$ mm、断面径は 10 mm である。また、*LMP* は 7375、確保できる基準漏えい率は $1.0 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ である。

密封設計において、金属ガスケットの静的口開きと横ずれの許容量は**解説図 5** の 95×95 信頼度下限での推定線（120 °C 温度低下条件：破線）を用い、必要な基準漏えい率に制限しなければならない。ここで、実金属キャスクに必要な基準漏えい率は、**解説図 5** の試験に用いられた金属ガスケットのフープ径との差を考慮し、漏えい率がフープ径に比例するとしてフープ径の違いによる補正を行う。また、輸送の落下試験条件に対しても金属ガスケットの密封機能を期待する場合には、**解説図 6** に示す試験結果を用いて密封設計を行う。**解説図 6** では、落下試験を想定した動的横ずれと漏えい率の関係をまとめ、統計誤差を考慮した安全側の評価線が示されている。当該試験の金属ガスケットは、コイルスプリングと二重の被覆材からなるタイプであり、外被はアルミニウム合金、内被は Inconel - 600、コイルスプリングは Nimonic 又は Inconel - X750 である。また、フープ径は $\phi 250$ mm、断面径は 10 mm、*LMP* は 7375 である。また、試験に用いられた金属ガスケットのフープ径との差を考慮し、漏えい率がフープ径に比例するとしてフープ径の違いによる補正を行う。

なお、当該試験の金属ガスケットは、*LMP* が 7375 以下では、動的口開き変位について再締め切り状態で試験結果の漏えい率が $1.0 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下であり、静的口開き特性の基準漏えい率を考慮して、 $1.0 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下の密封性能を確保できる⁽¹⁾。

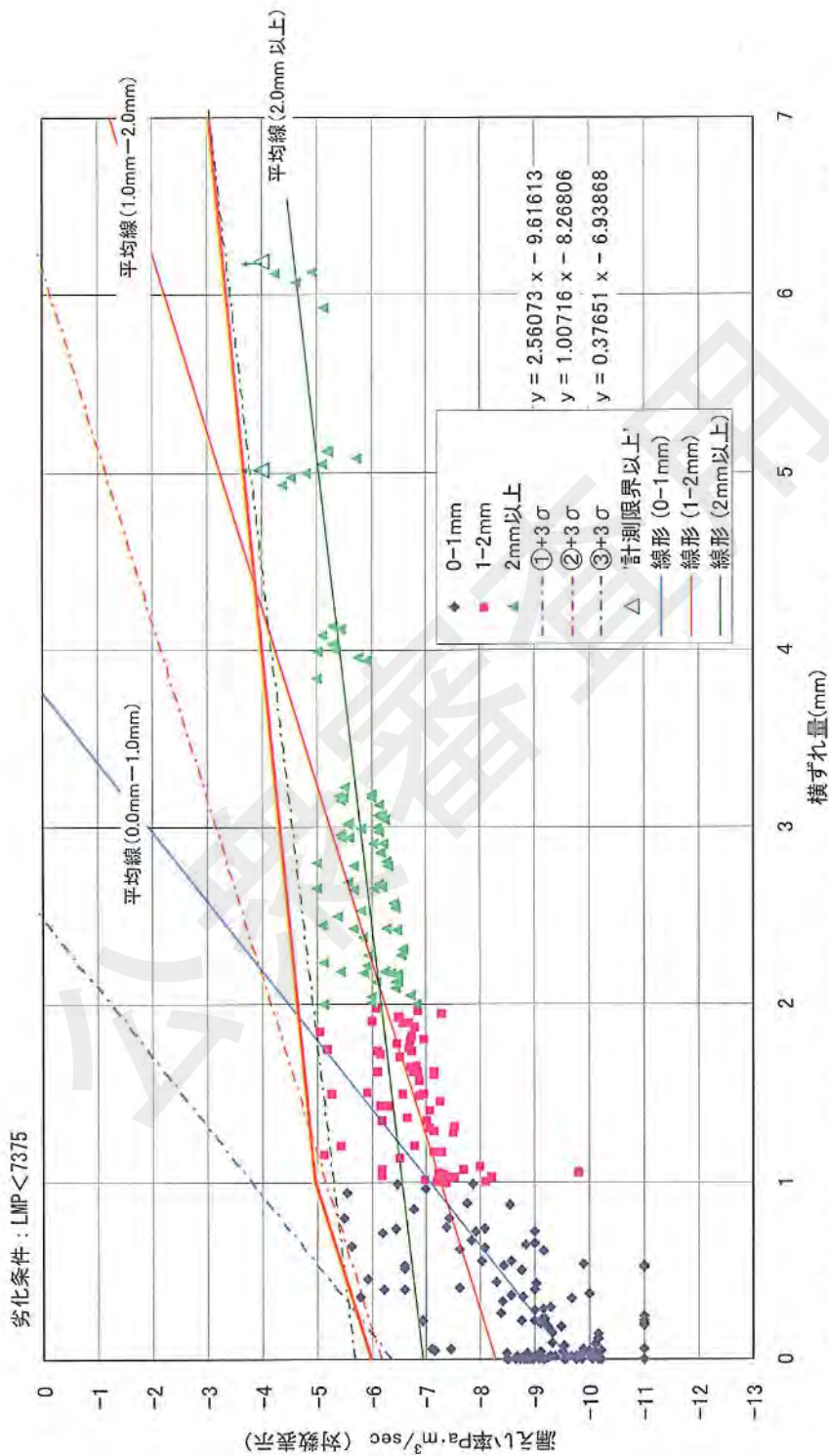
なお、金属ガスケットの材質、断面径又は *LMP* を異なる条件で用いる場合には、同様の試験を行い、漏えい率の設定を行わなければならない。



注記1：図中のラインは、横ずれ後の口開き試験を行ったデータにつき、劣化条件ごとの下限線を示す。

注記2：破線で示す値及びラインは全データでの95×95信頼度下限値の値 (0.08mm) と120°C温度低下条件での下限ラインと平行に引いた場合の想定線である。

解説図 5—静的横ずれ変位と口開き変位が同時に起こった場合の許容量推定図⁽¹⁾
(基準漏えい率に対する有効復元量)



【注記】 金属ガスケットの外縁に過大な凹み変形を生じないよう、金属キャスク蓋部の寸法は設定すること。具体的には、φ10mm 眼鏡型金属ガスケット（アルミ外被）に対して金属ガスケットと設置用溝測面の隙間が2mm（ガスケット取付け時圧縮前）の場合は、単一方向の横ずれ量の最大値が4mm以下。単一方向の横ずれ量がこれを超える場合、急な漏えい率の増加について検討する必要がある。

解説図 6ー金属ガスケット動的横ずれの整理 ②

3) 輸送中の金属ガスケットの漏えい率の設定例 2)の漏えい率設定方法に基づいた基準漏えい率の設定例を示す。

解説図 5 から、例えば 95×95 信頼度下限での推定線 (120 °C 温度低下条件：破線) を用いると、横ずれ量が 2 mm 程度生じる設計では有効復元量 (許容口開き量) は 0.05 mm 程度に制限することによって、輸送時の基準漏えい率を $1.0 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ とする。ただし、漏えい率がフープ径に比例するとしてフープ径の違いによる補正を行う。また、落下試験を想定した動的横ずれと漏えい率の関係については、解説図 6 に示すように横ずれ量と漏えい率の関係がまとめられ、統計誤差を考慮した安全側の評価線が提案されている。

解説図 6 から、例えば横ずれ量が 4 mm 程度生じる設計では、輸送時の基準漏えい率を $1.0 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ とする。ただし、漏えい率がフープ径に比例するとしてフープ径の違いによる補正を行う。

なお、当該試験の金属ガスケットは、 $LMP: 7375$ 以下では動的口開き変位について再締め切り状態で基準漏えい率: $1.0 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以上の密封性能を確保できる。

k) ラーソン・ミラーパラメータを用いた貯蔵中の金属ガスケットの漏えい率設定

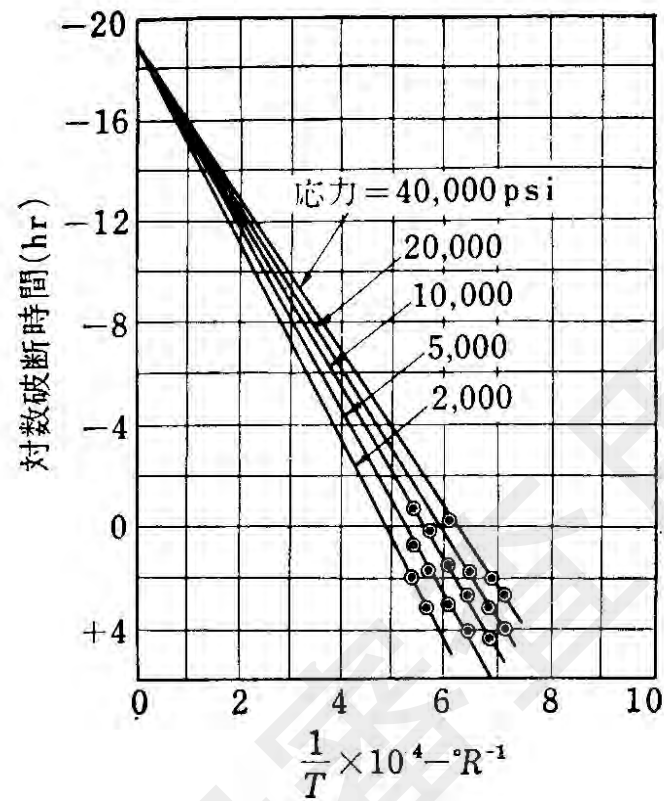
1) 金属ガスケットの反発力と LMP の相関 金属ガスケットは、コイルスプリングと二重の被覆材から構成されている。密封性能は、一番外側にある外被材をスプリングの反発力でフランジ面に押し当てることで達成される。外被材には比較的柔らかい金属 (例 アルミニウム及び銀) が用いられており、長期間、加熱状態で使用されると、クリープによって変形が進み、厚さが減少する。外被材の厚さが減少すると、圧縮されたコイルスプリングの変形が元に戻ることで、溝の中にある金属ガスケット全体での反発力が緩和する。ガスケット反発力の緩和によって、外被材をフランジ面に押し付ける力が減少すると、あるしきい値を下回ったところから漏えい率の増加が生じる。クリープ変形は LMP により評価される⁽³⁾ (解説図 7)。外被材のクリープが反発力緩和現象に影響を与える要素となると考えられるので、現象の整理に LMP を用いて評価がなされている。金属ガスケットの長期密封性能に関して、小型のフランジ試験体を用いた試験 (外被材がアルミニウムである金属ガスケットを使用) が (財) 電力中央研究所⁽⁴⁾ 及び (独) 原子力安全基盤機構⁽¹⁾ で実施され、金属ガスケットの塑性変形率及び残留反発力は LMP で整理できることが示されている (図 M.1, 解説図 8, 9, 10)。以上の結果から、 LMP を用いて漏えい率の評価を行うことは妥当と判断した。

ここで、(財) 電力中央研究所の試験で用いられた金属ガスケットは、単線型で、フープ径は $\phi 176 \text{ mm}$ 、断面径は $\phi 5.5 \text{ mm}$ である。単線型のガスケットは図 M.4 の II 型モデルガスケットである。図 M.1 では、 LMP が約 11×10^3 を超えると漏えい率に増加傾向が見られており、本標準ではこの値を漏えい率増加のしきい値と見な

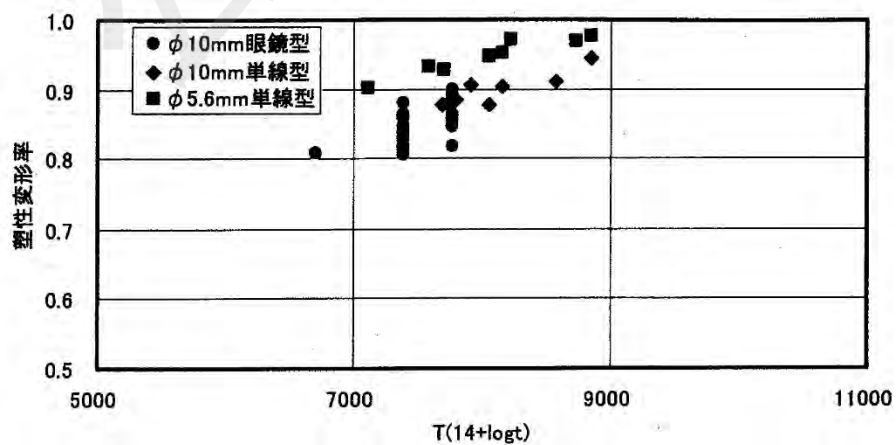
している。また、(独)原子力安全基盤機構の試験結果では、フープ径 $\phi 176$ mm, 250 mm, 断面径 $\phi 5.6$ mm, 10 mm, 単線型と眼鏡型の金属ガスケットが用いられている。眼鏡型のガスケットは図 M.4 の I 型モデルガスケットである。(独)原子力安全基盤機構の試験は、漏えい率増加が見られる前に試験を終了している。上記の両試験では最長 1 万時間の試験であるのに対し、(財)電力中央研究所は、さらに、フランス原子力代替エネルギー庁 (CEA) 及びドイツ 原子力サービス会社 (GNS) との共同研究で、フープ径約 $\phi 240$ mm, 断面径 $\phi 6.2$ mm, $\phi 8.4$ mm, 外被材が銀の金属ガスケットを用いて 10 万時間の応力緩和試験 (反発力の緩和試験) を行い、残留線荷重と LMP に相関があることを明らかにしている⁽⁵⁾ (解説図 11)。

- 2) **LMP の定数 C の設定について** LMP の計算式には定数 C が含まれている。 LMP は材料特性を表すパラメータで、 C は材料によって決まる定数である。一方、金属ガスケットはコイルスプリングと二重の被覆材 (外被材, 内被材) で構成されており、金属ガスケット全体の経年劣化による反発力の低下を LMP で整理する場合、(財)電力中央研究所では、これらの構成部材全体の変形によって C を決定することが妥当と考え、評価に使用している。附属書 M に記載のあるとおり、(財)電力中央研究所にて実施された長期密封性能試験結果⁽³⁾ に基づいてアルミニウム被覆ガスケットを評価した例では $C=20$ が最適値であることが示されており、本標準ではこの値を採用している (図 M.3)。これに対し、(独)原子力安全基盤機構の引用文献⁽⁴⁾ では、 $C=14$ としている。(独)原子力安全基盤機構は、金属ガスケットの場合、応力緩和 (反発力の緩和) に最も寄与する外被材であるアルミニウムに基づいて決定することが妥当と考え、アルミニウム単体のクリープデータから $C=14$ としている (解説図 12)。解説図 8, 9, 10 に、(独)原子力安全基盤機構の試験結果として、 LMP の C を 14 で整理した結果を示す。

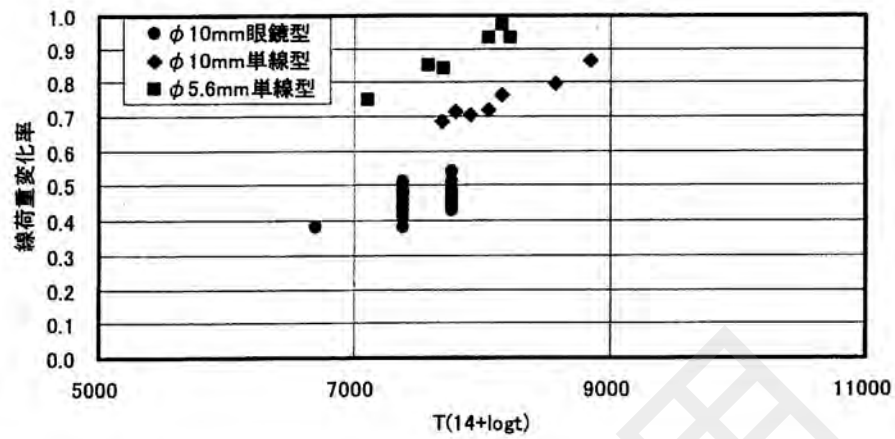
なお、アルミニウム被覆ガスケットについて、 LMP と残留反発力の相関関係及び C の設定に関し、実験データを追加取得する計画が進められている。また、漏えい率の設定に、 LMP を用いない方法として、金属ガスケットの残留反発力を有限要素法解析で求める手法も研究開発が行われている⁽⁶⁾。これらの研究によって新知見が得られれば、本標準に反映していく。



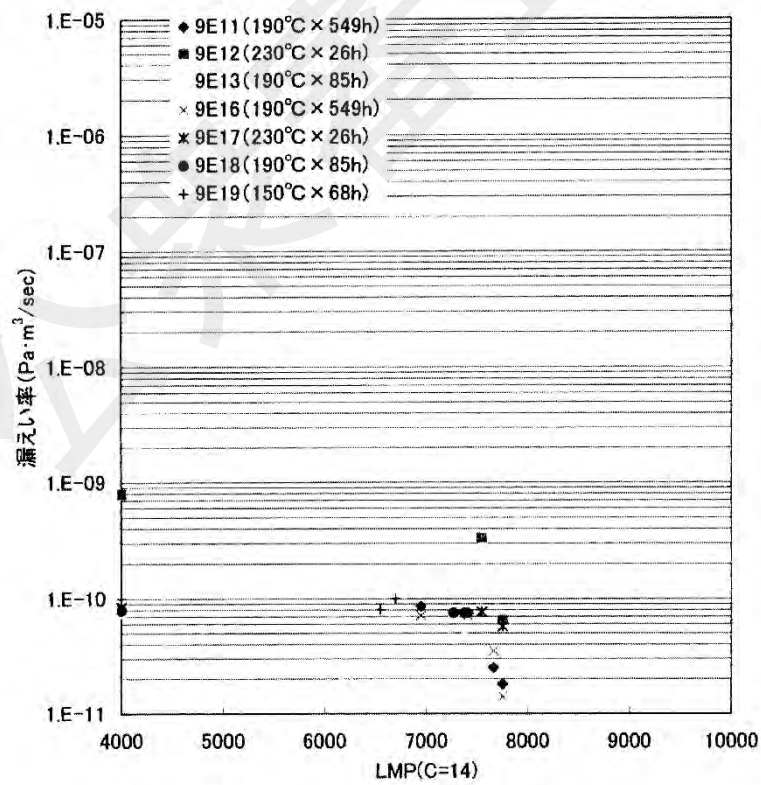
解説図 7—C-Mo 鋼の対数破断時間—絶対温度の逆数の関係 (3)



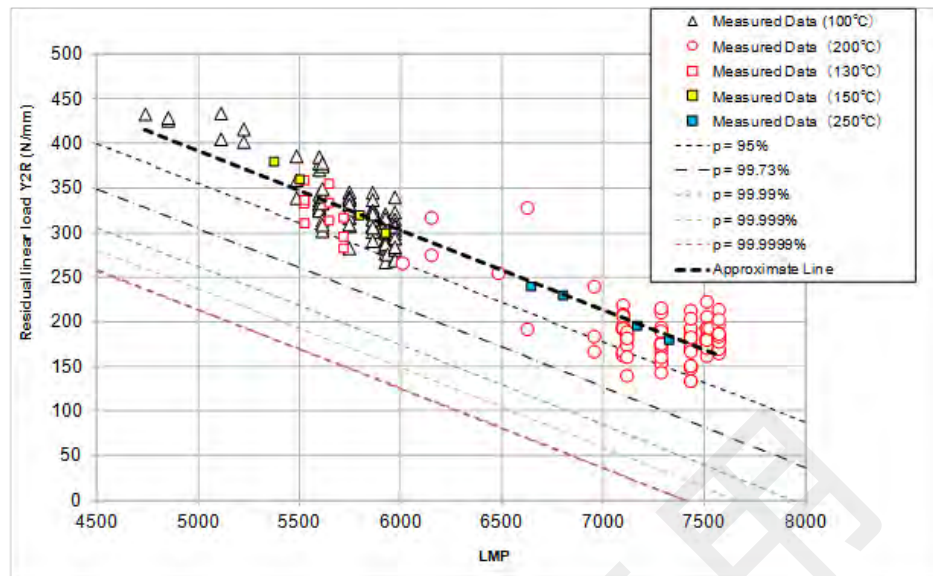
解説図 8—塑性変形率と $LMP^{(1)}$



解説図 9—線荷重変化率と $LMP^{(1)}$

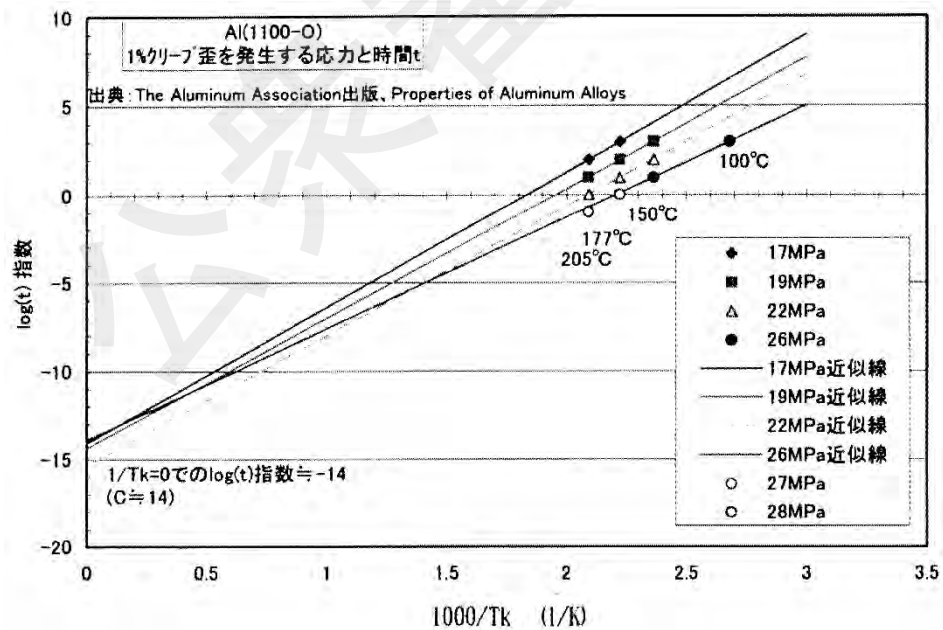


解説図 10—漏えい率と $LMP^{(1)}$



注記 対象のガスケットは銀被覆ガスケットで、 LMP の定数 C は 11 である。

解説図 11—残留線荷重と LMP ⁽⁵⁾



注記 金属ガスケットの外被材 (A1050-O) に類似の材料として、A1100-O のデータが用いられている。

解説図 12—アルミ材のクリープデータに基づく LMP 定数の導定⁽¹⁾

- 1) **AESJ-SC-F006-2013 の規定** この標準の対象とする金属キャスクは、輸送貯蔵兼用キャスクであることから、輸送キャスクの安全設計及び検査基準を定めた **AESJ-SC-F006-2013** の規定に適合するものでなければならず、本体の **4.1.3** にその旨を記載している。ただし、この標準と **AESJ-SC-F006-2013** の制定時期の違いによって、記載振りに違いがあり、この標準に比べて **AESJ-SC-F006-2013** の安全設計に関する記述は、相対的に詳細なものとなっている。したがって、本体の **4.1.3** の記載のとおり、金属キャスクは、**AESJ-SC-F006-2013** に従って設計し、かつ、この標準に記載の中間貯蔵施設で貯蔵することを考慮した規定に適合するよう設計する。一方、この標準の検査に関する規定は、**AESJ-SC-F006-2013** の規定を網羅しているため、**AESJ-SC-F006-2013** を参照する必要はない。

参考文献

- (1) 原子力安全基盤機構, “平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書 1/3 最終報告”, 04 基シ報-0007, 268,269,272,273,286,291,292,299,304, (2004).
- (2) 原子力安全基盤機構, “平成 16 年度 中間貯蔵施設健全性評価手法等調査報告書 (1/2) 最終報告”, 05 基シ報-0006, 96, 97, (2005).
- (3) 宮川松男, クリープ変形理論と設計, 日刊工業新聞社, (1963).
- (4) 加藤治, 伊藤千浩, “使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性”, 電力中央研究所研究報告, U92009, (財)電力中央研究所, 5, 41 (1992).
- (5) M.Wataru, et al., “Ageing of HELICOFLEX® metallic gasket for spent fuel cask: results of sealing performances of a 100,000h campaign”, *Proceedings of PATRAM2016*, (2016).
- (6) F.Ledrappier et al., “Numerical Simulation of HELICOFLEX® Metallic Gasket Ageing Mechanism for Spent Fuel Cask”, *Proceedings of PATRAM2016*, (2016).