

PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン
[原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ]
(第1版)

2026年4月

一般社団法人 原子力エネルギー協議会
炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会

本ガイドの位置づけ

本ガイドライン（以下「本ガイド」）は、従前より(一社)原子力安全推進協会(以下、JANSI)が策定・管理してきた「PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン[原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ]（第1版）」（以下「従来のガイド」）を原文のまま原子力エネルギー協議会（以下、ATENA）の管理体制下で引き継いで使用するものである。本ガイドの内容については、ATENA 炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会を経て改訂が決定されるまでの間、変更は行わない。

運用時期

本ガイドの運用開始日は 2026 年 4 月とする。

運用上の注意

1. 本ガイドは従来のガイドを踏襲したものであり、運用上の変更はない。
2. ATENA は必要に応じて、炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会を経て改訂しますが、その場合は別途改訂履歴を明示する。

本ガイドラインの情報等の取扱いについては、以下のとおりとする。

（免責）

ATENA、ATENA 従業員、会員、支援組織等本書の作成に関わる関係者（「ATENA 関係者」）は、本書の内容について、明示黙示を問わず、情報の完全性及び第三者の知的財産権の非侵害を含め、一切保証しない。ATENA 関係者は、本書の使用により使用者その他の第三者に生じた一切の損失、損害及び費用についてその責任を負わない。使用者は、自己の責任において本書を使用するものとする。

（権利帰属）

本書の著作権その他の知的財産権（「本件知的財産権」）は、ATENA に帰属する。本件知的財産権は、本書の使用者に移転せず、また、ATENA の承諾がない限り、本書の使用者には本件知的財産権に関する何らの権利も付与されない。

2026 年 4 月
原子力エネルギー協議会

PWR炉内構造物等点検評価ガイドライン

[原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ]

(第1版)

2023年12月

一般社団法人 原子力安全推進協会

炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会

はじめに

我が国の原子力発電所では、安全・安定運転を確保するため、炉内構造物等の健全性を確認あるいは保証することが、重要な課題となっています。本ガイドラインは、このような重要性に鑑み、損傷発生の可能性のある構造物について、点検・評価・補修等に関する要領を提案するものです。

2000年に（社）火力原子力発電技術協会に発足した「炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会」は、2007年より日本原子力技術協会に継承され、さらに2012年11月の日本原子力技術協会の改組に伴い、炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会は、原子力安全推進協会に発展的に継承され、活動を継続しています。また、検討会での審議を経て制定する「炉内構造物等点検評価ガイドライン」は、関係者の利便性向上を図るため、関連情報と併せ協会ホームページより公開しています。

本ガイドラインの策定にあたっては、常に最新知見を取り入れ、見直しを行っていくことを基本方針としています。この方針に則り、現行版の発行後も最新知見の調査および収集に努めることといたします。検討会では、点検評価ガイドライン（個別及び一般）の改訂審議の都度、国内外の運転実績に関する情報活用と、点検評価手法の在り方について議論を重ねており、その成果をガイドラインのなかで反映しつつあります。今後も継続的な改善提案に取り組み、より効果的な保全活動への合理的な資源配分を目指すことも検討課題といたします。

原子力発電の位置づけは地球温暖化防止のためにも重要であり、その具体化施策として原子力発電所の長期的な安全・安定運転への期待は高まりつつあります。本ガイドラインが原子力産業界で活用され、原子力発電所の安全・安定運転の一助になることを期待しております。

最後に、本ガイドラインの制定にあたり、絶大なご助言を賜りました学識経験者、電力会社、メーカーの方々等、関係各位に深く感謝いたします。

2023年12月

炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会
委員長 望月 正人

PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン

改訂履歴

ガイドライン名：原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ

| 改訂年月 | 版 | 改訂内容 | 備考 |
|----------|------|------|----|
| 2023年12月 | 初版発行 | — | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

ガイドラインの責任範囲

このガイドラインは、原子力安全推進協会に設置された炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会において、専門知識と関心を持つ委員と参加者による審議を経て制定されたものである。

原子力安全推進協会はガイドライン記載内容に対する説明責任を有するが、ガイドラインを使用することによって生じる問題に対して一切の責任を持たない。またガイドラインに従って行われた点検、評価、補修等の行為を承認・保証するものではない。

従って本ガイドラインの使用者は、本ガイドラインに関連した活動の結果発生する問題や第三者の知的財産権の侵害に対し補償する責任が使用者にあることを認識して、このガイドラインを使用する責任を持つ。

炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会 委員名簿

(2023年12月現在, 順不同)

| | | |
|-----|-------|--------------------------|
| 委員長 | 望月 正人 | 大阪大学教授 |
| 委員 | 笠原 直人 | 東京大学教授 |
| 委員 | 竹田 陽一 | 東北大学准教授 |
| 委員 | 西本 和俊 | 大阪大学名誉教授 |
| 委員 | 水谷 義弘 | 東京工業大学准教授 |
| 委員 | 森下 和功 | 京都大学准教授 |
| 委員 | 堂崎 浩二 | 東北大学特任教授 |
| 委員 | 浅山 泰 | 日本原子力研究開発機構 |
| 委員 | 古川 敬 | 発電設備技術検査協会 |
| 幹事 | 今井 直人 | 東京電力HD(株) |
| 幹事 | 天野 洋一 | 関西電力(株) |
| 幹事 | 寺門 剛 | 日本原子力発電(株) |
| 委員 | 青木 俊祐 | 北海道電力(株) |
| 委員 | 新藤 智也 | 東北電力(株) |
| 委員 | 神長 貴幸 | 東京電力HD(株) |
| 委員 | 稲垣 哲彦 | 中部電力(株) |
| 委員 | 網谷 宏和 | 北陸電力(株) |
| 委員 | 今村 雄治 | 関西電力(株) |
| 委員 | 中川 純二 | 中国電力(株) |
| 委員 | 松原 克幸 | 四国電力(株) |
| 委員 | 野崎 剛 | 九州電力(株) |
| 委員 | 町田 栄治 | 日本原子力発電(株) |
| 委員 | 高村 賢也 | 電源開発(株) |
| 委員 | 内山 好司 | 日立GEニュークリア・エナジー(株) |
| 委員 | 三橋 忠浩 | 東芝エネルギーシステムズ(株) |
| 委員 | 北条 公伸 | 三菱重工業(株) |
| 委員 | 新井 拓 | 電力中央研究所 |
| 委員 | 成宮 祥介 | 原子力安全推進協会 |
| 参加者 | 小林 広幸 | EPRI International, Inc. |
| 参加者 | 町田 秀夫 | (株)テプコシステムズ |
| 事務局 | 大畑 仁史 | 原子力安全推進協会 |
| 事務局 | 佐藤 寿志 | 原子力安全推進協会 |

PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン
[原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ]

目 次

| | | |
|--------|------------------------------------|------|
| 第1章 | 目的及び適用 | 1 |
| 1.1 | 目的 | 1 |
| 1.2 | 適用 | 1 |
| 1.2.1 | 適用範囲 | 1 |
| 1.2.2 | 適用時期 | 1 |
| 1.3 | 用語の定義 | 1 |
| 第2章 | 基本的考え方 | 2 |
| 第3章 | 点検及び評価 | 3 |
| 3.1 | 点検対象 | 3 |
| 3.2 | 点検方法 | 3 |
| 3.3 | 点検時期 | 3 |
| 3.3.1 | 点検開始時期 | 3 |
| 3.3.2 | 点検周期 | 3 |
| 3.4 | 評価 | 3 |
| 第4章 | 予防保全及び取替え | 4 |
| 解説 1-1 | ガイドライン制定の目的 | 6 |
| 解説 1-2 | サーマルスリーブの選定理由と適用プラント | 6 |
| 解説 2-1 | サーマルスリーブの機能 | 7 |
| 解説 2-2 | サーマルスリーブに想定される経年劣化事象 | 9 |
| 解説 2-3 | サーマルスリーブの機能維持 | 9 |
| 解説 2-4 | プラントのグループ化 | 9 |
| 解説 3-1 | 点検方法 | 10 |
| 解説 3-2 | 点検開始時期 | 10 |
| 解説 3-3 | 摩耗進行予測 | 10 |
| 解説 3-4 | 点検周期 | 10 |
| 解説 3-5 | 摩耗進行予測, 点検周期等の見直し | 10 |
| 解説 4-1 | サーマルスリーブに対する予防保全 | 11 |
| 解説 4-2 | サーマルスリーブの取替え | 11 |
| 付録 A | サーマルスリーブの摩耗事象について | A-1 |
| 付録 B | 評価対象の選定 | B-1 |
| 付録 C | サーマルスリーブ下降量の定義 | C-1 |
| 付録 D | サーマルスリーブの管理下降量の設定 | D-1 |
| 付録 D-1 | サーマルスリーブフランジ部の地震荷重による強度評価 | D-2 |
| 付録 D-2 | サーマルスリーブフランジ部の流体荷重及び RCP 荷重による強度評価 | D-9 |
| 付録 D-3 | 内面摩耗及び外面摩耗に対する評価 | D-13 |
| 付録 D-4 | 標準型 2 ループプラントの取扱い | D-15 |
| 付録 E | プラントのグループ化 | E-1 |
| 付録 F | 点検方法例 | F-1 |
| 付録 G | 摩耗進行予測の詳細 | G-1 |
| 付録 G-1 | プラントグループ 1 の摩耗進行予測 | G-2 |
| 付録 H | 点検結果のフィードバック方法 | H-1 |

| | |
|---|-------|
| 付録 I 点検周期 | I-1 |
| 参考資料 1 用語一覧表 | 参 1-1 |
| 参考資料 2 PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン [原子炉容器蓋用管台サーマル スリーブ] の概要 | 参 2-1 |
| 参考資料 3 引用文献 | 参 3-1 |

第1章 目的及び適用

1.1 目的

本ガイドラインは、加圧水型原子力発電所（以後、PWR と称す）に使用される原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ（以後、サーマルスリーブと称す）について、想定される経年劣化事象に対する合理的な点検、評価の方法を示すことにより、原子力発電所の安全及び安定運転を維持することを目的とする（解説 1-1）。

1.2 適用

1.2.1 適用範囲

本ガイドラインは、PWR のサーマルスリーブに適用する（解説 1-2）。

1.2.2 適用時期

本ガイドラインの適用時期は、商業運転開始後の PWR の供用期間中とする。

1.3 用語の定義

| | |
|--------------|---|
| ルースパーツ： | 機器や装置から脱落した部品をいう。 |
| フランジ摩耗： | サーマルスリーブフランジ部の摩耗をいう。 |
| 内面摩耗： | サーマルスリーブの内面の摩耗をいう。 |
| 外面摩耗： | サーマルスリーブの外面の摩耗をいう。 |
| サーマルスリーブ下降量： | サーマルスリーブロ金下端位置がフランジ摩耗及び蓋用管台の摩耗により初期状態の位置から下方方向に移動した距離をいう。 |
| 管理下降量： | サーマルスリーブフランジ部が破断する際のサーマルスリーブ下降量から定めた管理基準をいう。 |
| 摩耗比率： | サーマルスリーブフランジ部と蓋用管台との間の摩耗体積比率をいう。 |
| 摩耗深さ： | 内面摩耗及び外面摩耗について、摩耗により減肉した部位の水平方向長さをいう。 |
| 許容摩耗深さ： | 内面摩耗及び外面摩耗について、強度評価によりサーマルスリーブが破断する際の摩耗深さをいう。 |

第2章 基本的考え方

- (1) 本ガイドラインにおいて、最も重要で基本的な事項は、「原子炉の安全性確保」とする。
- (2) サーマルスリーブは、蓋用管台内に存在し、制御棒駆動軸の案内、炉内の1次冷却材流れに対する制御棒駆動軸の保護、蓋用管台に対する熱遮蔽(蓋用管台内への1次冷却材流入抑制、熱応力緩和)の機能を有する(解説 2-1)。
- (3) サーマルスリーブは、炉内の1次冷却材流れにより流動振動し、周辺機器と衝突、接触、摺動することで摩耗が生じる。摩耗進行によりサーマルスリーブフランジ部が徐々に減肉し、1次冷却材等による荷重を受けてサーマルスリーブフランジ部が破断し、ルースパーツ化した場合、制御棒駆動軸の挿入/引抜動作を阻害する可能性がある。そのため、本ガイドラインでは、サーマルスリーブの機能に影響を与える可能性のある経年劣化事象として、サーマルスリーブフランジ部の摩耗(以後、フランジ摩耗と称す)を想定し(解説 2-2)、サーマルスリーブの破断防止及び機能維持を目的に、サーマルスリーブの点検、評価、及び予防保全の指針を示す(解説 2-3)。
- (4) フランジ摩耗によってサーマルスリーブフランジ部が破断する前に適切な対策を行うため、点検により摩耗量(体積)を継続的に監視する。点検時期は、最新の点検結果を基に予測したサーマルスリーブ下降量が、サーマルスリーブフランジ部が破断するサーマルスリーブ下降量から定めた管理基準(管理下降量)に達すると予測される時期までに設定する。
- (5) サーマルスリーブフランジ部が流動振動する際のワークレート(サーマルスリーブフランジ部が蓋用管台と接触しながら振動する際の荷重×滑り距離(単位時間当たり))は、サーマルスリーブに作用する流体力に依存し、流体力はスプレイノズルから噴出する1次冷却材流れの流量(以後、頂部バイパス流量と称す)に依存する。このため、頂部バイパス流量に応じてプラントをグループ化したうえで、グループ毎にフランジ摩耗を管理する(解説 2-4)。

第3章 点検及び評価

3.1 点検対象

点検対象は、サーマルスリーブフランジ部とし、サーマルスリーブ下降量を計測する。点検対象本数は、サーマルスリーブ全数とする。ただし、サーマルスリーブ下降量の点検データが蓄積され、フランジ摩耗の進行傾向が予測可能と判断される場合は、摩耗進行程度が大きいサーマルスリーブを含む部分点検とすることができる。

3.2 点検方法

点検方法は、蓋用管台下端からサーマルスリーブロ金下端までの寸法を計測し、サーマルスリーブ下降量を特定できる方法とする(解説 3-1)。

3.3 点検時期

3.3.1 点検開始時期

点検開始時期は、各プラントで定期検査計画等を考慮して適宜設定する(解説 3-2)。

3.3.2 点検周期

次回点検は、最新の点検結果を反映した摩耗進行予測(解説 3-3)で管理下降量に達すると予測される時期までに行う(解説 3-4, 解説 3-5)。

3.4 評価

- (1) 点検の結果、次回点検までの摩耗進行予測が管理下降量以下になるように点検周期を設定できる場合は、次回点検まで継続使用できる。
- (2) 前(1)項が満足されない場合は、試験的手法又は解析等の詳細評価を行い、次回点検までサーマルスリーブの機能が維持できることを示す、若しくは当該サーマルスリーブの取替え又は予防保全を実施しなければならない。なお、取替えたサーマルスリーブは取替え後の仕様に基づく摩耗進行予測を行う。

第4章 予防保全及び取替え

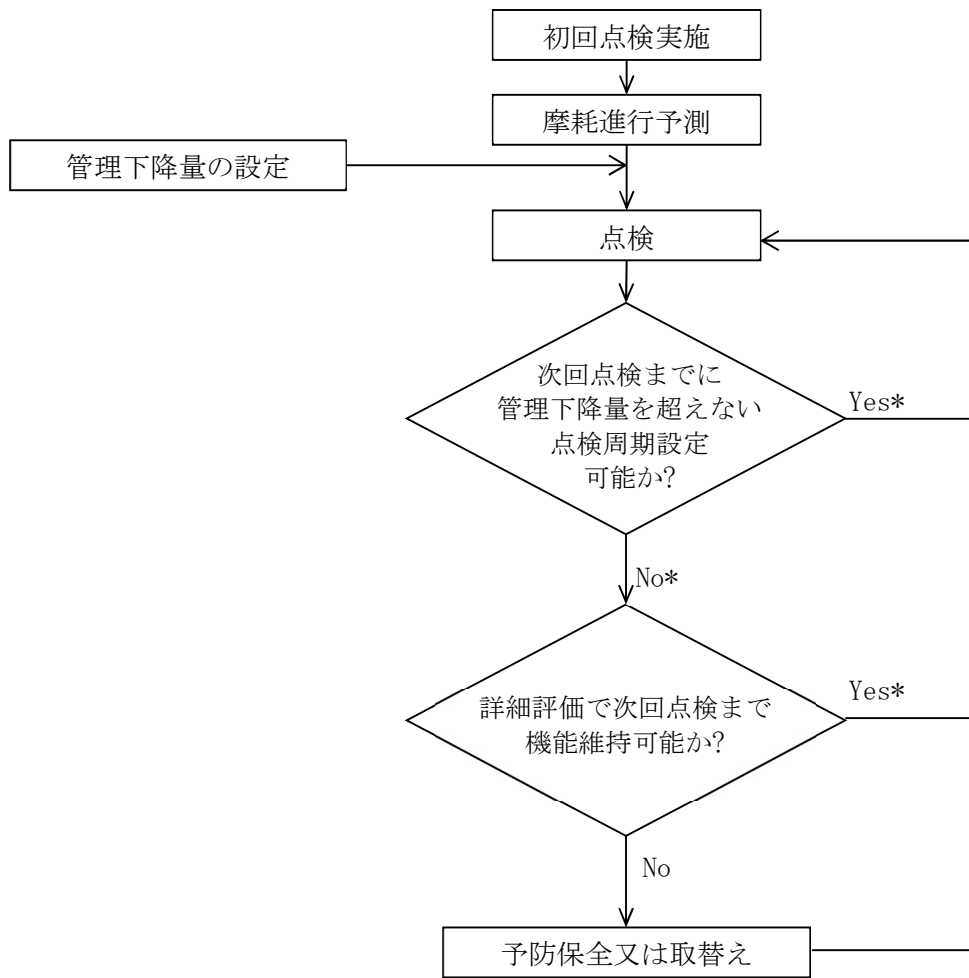
サーマルスリーブの点検，評価及び予防保全のフローを図4-1に示す。2回目以降の点検を実施する代わりに，摩耗進行が管理下降量に達する前に，以下の予防保全又は取替えを実施する。

(1) 予防保全

サーマルスリーブを蓋用管台に対して固定し，摩耗進行を防止する(解説4-1)。

(2) 取替え

サーマルスリーブ単体若しくは周辺機器を含めた取替え又はサーマルスリーブを含めた原子炉容器上蓋の取替えを実施する。取替え後の点検周期は，取替え後のサーマルスリーブの仕様に基づいて定める。なお，取替え後の点検周期は取替えまでに要した期間が経過するまでに定めればよい(解説4-2)。



* : 予防保全又は取替えを選択することも可能

図 4-1 サーマルスリーブの点検，評価及び予防保全のフロー

解説 1-1 ガイドライン制定の目的

本ガイドラインは、サーマルスリーブの経年劣化事象が、サーマルスリーブの機能や原子力発電所の安全・安定運転に及ぼす影響を適切に考慮したうえで、点検・評価の方法を示し、原子力発電所の安全及び安定運転を維持することを目的とする。

解説 1-2 サーマルスリーブの選定理由と適用プラント

サーマルスリーブは、炉内の 1 次冷却材流れによる流動振動によって摩耗が生じ、破断してルースパーツ化することで、制御棒駆動軸の挿入/引抜動作を阻害する可能性があるため、摩耗の有無及び進行状況を適切な周期で把握し、予防保全又は取替えを実施する必要がある(付録 A)。

このため、本ガイドラインは、サーマルスリーブの摩耗事象を対象に、点検方法、点検時期、予防保全等を定めている。

なお、本ガイドラインの適用プラントは、美浜 3 号機、高浜 1, 2, 3, 4 号機、大飯 3, 4 号機、伊方 3 号機、玄海 3, 4 号機、川内 1, 2 号機、敦賀 2 号機、泊 1, 2, 3 号機である。

解説 2-1 サーマルスリーブの機能

サーマルスリーブの構造を図 2-1-1 に示す。サーマルスリーブは、中空円筒の一般部、サーマルスリーブフランジ部、振れ止め金具及びサーマルスリーブ口金で構成される。サーマルスリーブフランジ部が蓋用管台に設置されることで自重を支持しており、位置決め、振動抑制のために中間部に振れ止め金具が設けられている。サーマルスリーブの材質は、SUS304 である。

サーマルスリーブは、以下の機能を有する。

- ・ 制御棒駆動軸の案内
定期検査時の原子炉容器上蓋を復旧する際に、炉内に存在している制御棒駆動軸を蓋用管台及び制御棒駆動装置（以後、CRDM と称す）ラッチアセンブリ内部に案内する。
- ・ 炉内の 1 次冷却材流れに対する制御棒駆動軸の保護
炉内の 1 次冷却材流れが直接制御棒駆動軸に作用しないように保護する。
- ・ 蓋用管台に対する熱遮蔽（蓋用管台内への 1 次冷却材流入抑制，熱応力緩和）
蓋用管台内側の流路を閉塞することで，蓋用管台への高温の 1 次冷却材の流入量を制限している。これにより，CRDM 上部からの放熱量を低減でき，CRDM コイルや CRDM 関連計装品の劣化を防止する。また，1 次冷却材が直接蓋用管台の溶接部に作用しないように保護し，過大な熱応力の発生を抑制する。

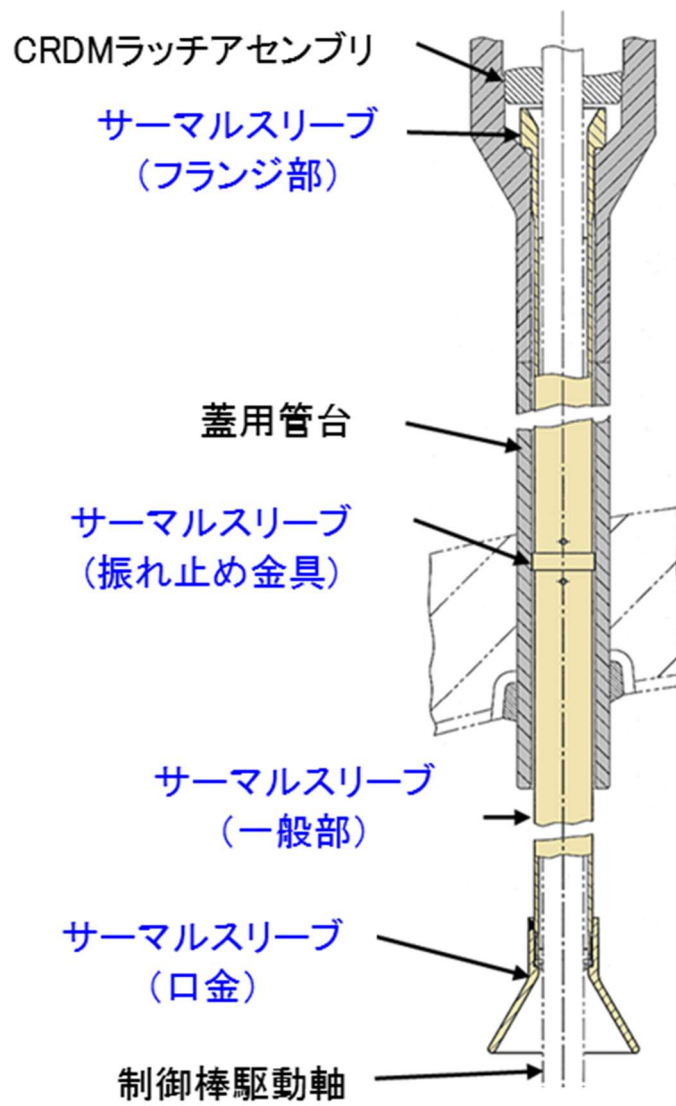


図 2-1-1 サーマルスリーブの構造

解説 2-2 サーマルスリーブに想定される経年劣化事象

サーマルスリーブが設置されている頂部プレナム内では、スプレイノズルから噴出する1次冷却材流れ（以後、頂部バイパス流と称す）が存在し、頂部バイパス流がサーマルスリーブに作用することで流動振動し、周辺機器と衝突、接触、摺動することで摩耗が生じることが知られている。このため、本ガイドラインでは、サーマルスリーブの経年劣化事象として、フランジ摩耗、外面摩耗及び内面摩耗の中で摩耗寿命が短い、フランジ摩耗を想定する（付録 B）。

解説 2-3 サーマルスリーブの機能維持

本ガイドラインは、サーマルスリーブの機能維持のために、サーマルスリーブフランジ部が摩耗した場合に、サーマルスリーブフランジ部の破断を防止するような点検、評価、及び予防保全の指針を示す（付録 C, D）。

解説 2-4 プラントのグループ化

プラント間でサーマルスリーブフランジ部の構造に大きな差はないため、摩耗量の観点でグループ化する。

摩耗量推定に係る一般式(Archard の式^[1])を以下に示す。

$$\begin{aligned}[\text{摩耗量}] &= [\text{比摩耗量}] \times [\text{押し付け力}] \times [\text{摺動距離}] \\ &= [\text{比摩耗量}] \times [\text{押し付け力}] \times [\text{摺動速度}] \times [\text{時間}] \\ &= [\text{比摩耗量}] \times [\text{ワークレート}] \times [\text{時間}]\end{aligned}$$

Archard の式をベースとした上記の式によると、「摩耗量」は「比摩耗量（単位ワークレートあたりの摩耗量）」、「ワークレート」、「時間」に比例する。各プラントの「ワークレート」は「流体力」に依存する。「比摩耗量」は、サーマルスリーブと蓋用管台の材料の組み合わせが同じであるため、すべてのプラントで同等であると想定すると、「摩耗量」は「流体力」に依存する。「流体力」は頂部バイパス流量に依存することから、頂部バイパス流量に応じてプラントをグループ化したうえで、グループ毎にフランジ摩耗を管理する（付録 E）。

解説 3-1 点検方法

点検方法は、蓋用管台下端からサーマルスリーブロ金下端までの寸法計測によるサーマルスリーブ下降量の確認とする（付録 F）。

解説 3-2 点検開始時期

各プラントにおける定期検査計画等を考慮して適宜初回点検を実施しサーマルスリーブ下降量の点検データを採取する。なお、同一グループ内の他プラントの点検結果がある場合は、そのプラントの初回点検結果から設定される 2 回目の点検時期を目途に、定期検査計画等を考慮して初回点検を行う（付録 E, I）。

解説 3-3 摩耗進行予測

サーマルスリーブの摩耗進行予測とは、サーマルスリーブ下降量の増加傾向を予測することをいう。サーマルスリーブの摩耗は Archard の式に則り、単位時間当たりの摩耗量一定として進行するものとする（付録 G）。

解説 3-4 点検周期

サーマルスリーブは全数とも機能を維持することが必要であるため、最も摩耗進行が早いサーマルスリーブに対して摩耗進行予測を行い、当該プラントの点検周期を決定する。なお、同一グループ内で明らかに摩耗進行が先行していると判断されるプラントがある場合は、その先行プラントの点検をもって代行することができ、先行プラントの次回点検時期を目途に、当該プラントの定期検査計画等を考慮して点検周期を決定することができる（付録 H, I）。

解説 3-5 摩耗進行予測，点検周期等の見直し

プラントグループ毎にサーマルスリーブ下降量の点検データを蓄積した摩耗進行傾向が、本ガイドラインで設定した摩耗進行予測と異なると判断された場合は、点検結果に従い、ガイドラインに規定されている摩耗進行予測，点検周期，管理下降量，グループ化等を見直すことができる。

解説 4-1 サーマルスリーブに対する予防保全

サーマルスリーブフランジ部の摩耗進行が確認された、若しくは摩耗進行が予測されるサーマルスリーブを蓋用管台に対して固定し、フランジ摩耗の進行を防止する。

解説 4-2 サーマルスリーブの取替え

摩耗進行が予測されるサーマルスリーブ単体若しくは周辺機器を含めた取替え又はサーマルスリーブを含めた原子炉容器上蓋の取替えを実施した場合、取替え後の点検周期、摩耗進行予測、グループ化等は取替え後のサーマルスリーブの仕様に基づいて定める。

取替え後のサーマルスリーブの摩耗進行傾向が取替え前のものと同等以下の場合、取替えまでに要した期間はその機能を維持できること、及びその間に他プラントの点検実績等の反映により摩耗進行予測の精緻化を図ることが可能であると考えられるため、取替えまでに要した期間が経過するまでに点検周期を定めればよい。

なお、単体取替えの場合、取替えたサーマルスリーブ以外の点検周期は、取替えたサーマルスリーブの次に摩耗が進行しているサーマルスリーブの摩耗進行予測に基づいて定める。

また、点検実績等から得られる知見により取替えの他に適切な保全方法があればその方法を実施でき、技術的根拠を示すことができる場合は摩耗進行予測を見直すことができる。

付録A サーマルスリーブの摩耗事象について

サーマルスリーブは図 A-1 に示すように、蓋用管台に設置されている。サーマルスリーブが設置されている頂部プレナム内では頂部バイパス流が存在し、サーマルスリーブは蓋用管台に固定されていないことから、頂部バイパス流がサーマルスリーブに作用することで流動振動し、周辺機器と衝突、接触、摺動することにより摩耗が生じる。

サーマルスリーブの摩耗箇所は主に 3 か所あり、それぞれ、フランジ摩耗、外面摩耗及び内面摩耗と分類している。摩耗の進行イメージを図 A-2、図 A-3 及び図 A-4 に示す。

国内プラントではサーマルスリーブの損傷事例は確認されていないが、海外プラントでは、内面摩耗及びフランジ摩耗によるサーマルスリーブの損傷事例^[2]が確認されている。また、外面摩耗についても損傷には至っていないものの有意な摩耗が確認されている。

フランジ摩耗については、図 A-5 に示すようにサーマルスリーブフランジ部が破断し、ルースパーツ化することで、サーマルスリーブ内を通る制御棒駆動軸と干渉して、制御棒挿入不可となった事例^[3]がある。海外におけるサーマルスリーブの損傷は、頂部バイパス流量の大きいプラントで生じている。

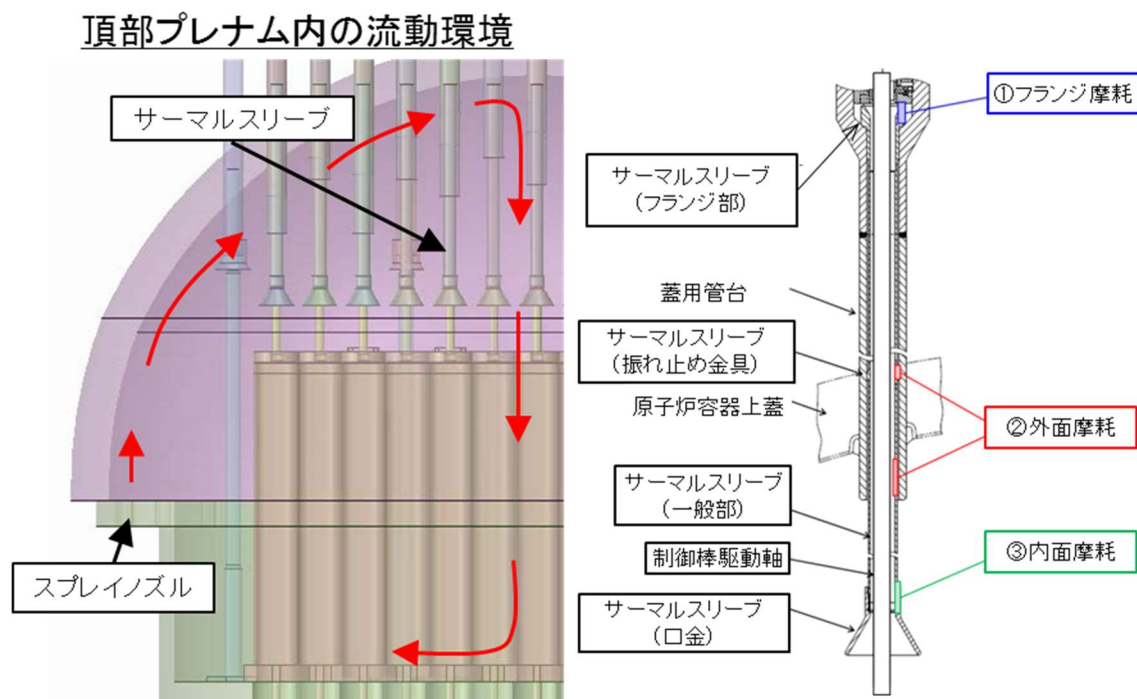


図 A-1 サーマルスリーブの構造と頂部プレナム内の流動環境

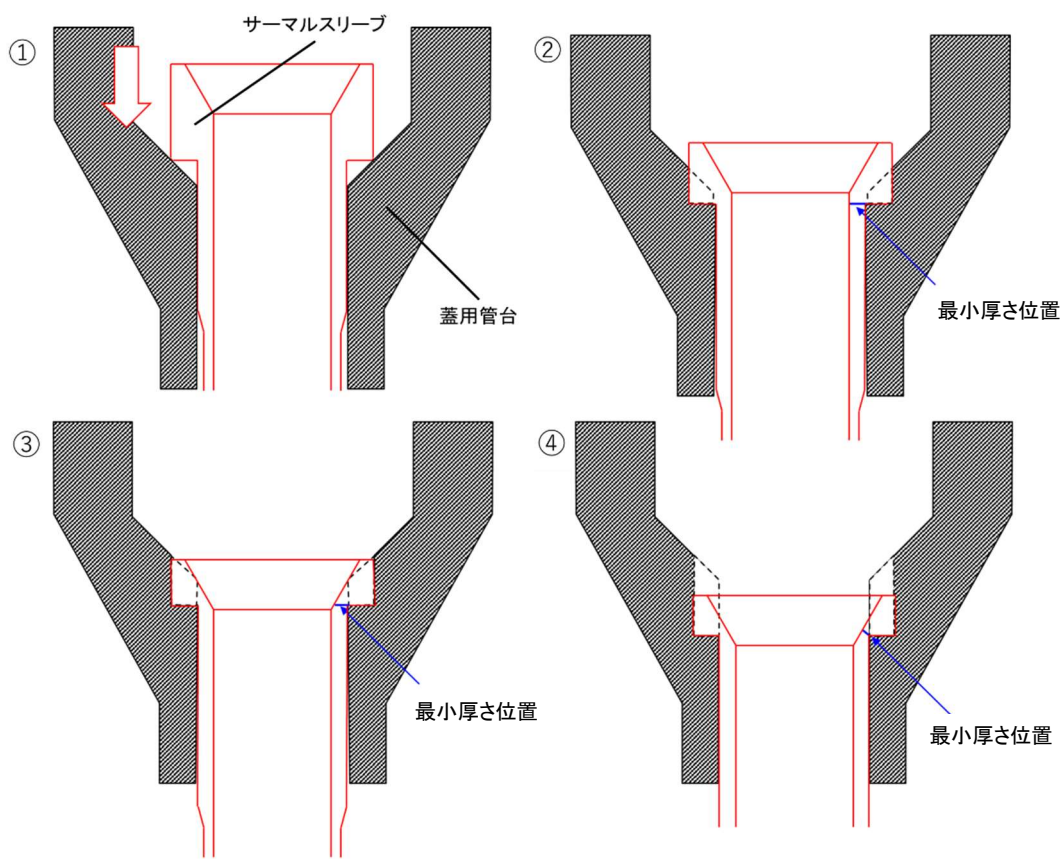


図 A-2 フランジ摩耗の進行イメージ

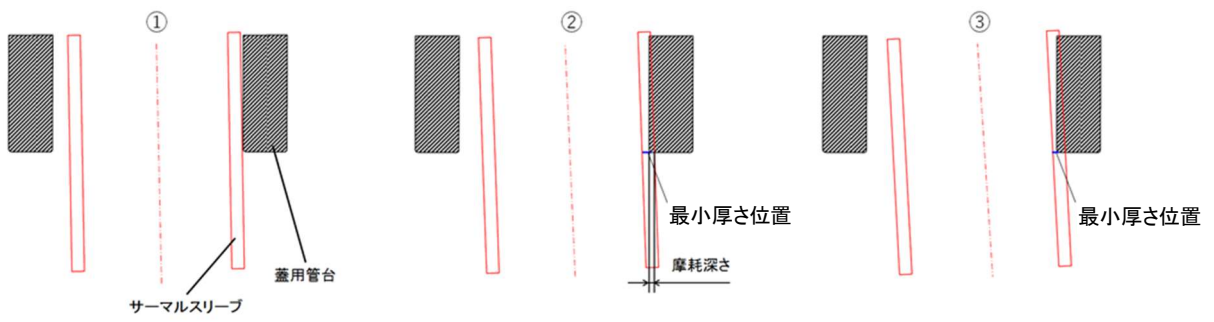


図 A-3 外面摩耗の進行イメージ

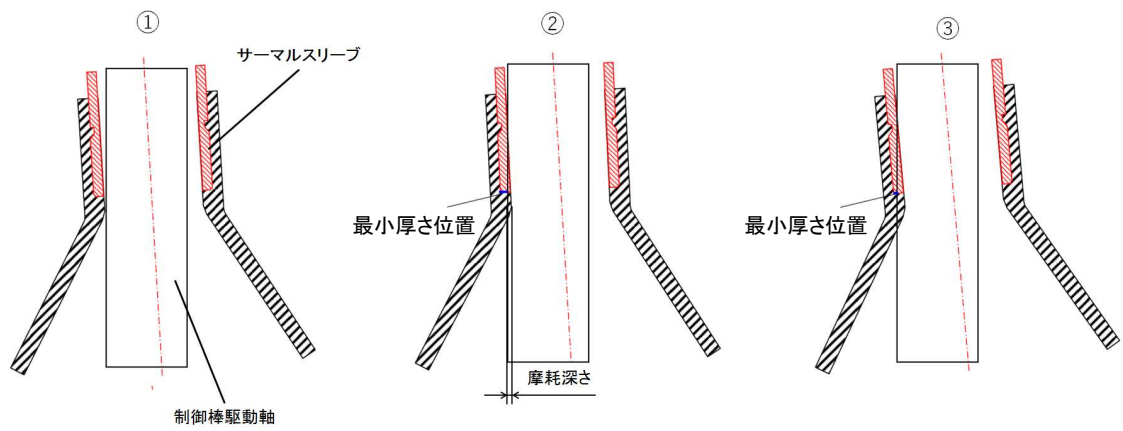


図 A-4 内面摩耗の進行イメージ

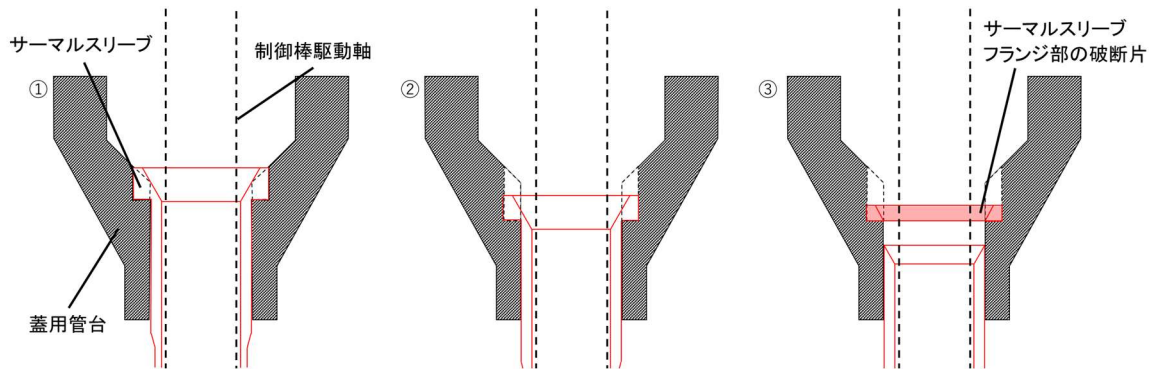


図 A-5 サーマルスリーブフランジ部の破断イメージ

付録 B 評価対象の選定

実機プラント（標準型 4 ループプラント）に対して実施したフランジ摩耗，内面摩耗及び外面摩耗の計測結果をもとに作成した摩耗進行予測曲線を図 B-1，図 B-2 及び図 B-3 に示す（摩耗進行予測曲線の考え方は付録 G 参照）。図中に赤文字で示した摩耗深さ及びサーマルスリーブ下降量は，運転時間 13.5EFPY 時点での実機計測結果である。また，許容摩耗深さ（内面摩耗及び外面摩耗について，強度評価によりサーマルスリーブが破断する際の摩耗深さ）及び管理下降量（サーマルスリーブ下降量の管理基準値）を青文字で示す（付録 D）。

サーマルスリーブの内面摩耗，外面摩耗及びフランジ摩耗は，摩耗部位が異なるが，いずれも炉内の 1 次冷却材流れによる流動振動によって引き起こされるものであり，摩耗進行予測曲線より，内面摩耗及び外面摩耗の摩耗寿命は，フランジ摩耗よりも長い結果となっていることから，サーマルスリーブの摩耗はフランジ摩耗で代表して管理する。なお，解説 4-1 及び解説 4-2 に記載のサーマルスリーブの予防保全及び取替えを実施したとしても，フランジ摩耗の代表性に変更はない。

また，付録 A に記載したとおり，海外プラントではフランジ摩耗により制御棒挿入不可となった事例があるが，内面摩耗及び外面摩耗により制御棒挿入不可となった事例はなく，内面摩耗及び外面摩耗が安全機能に与える影響は小さいと評価している。

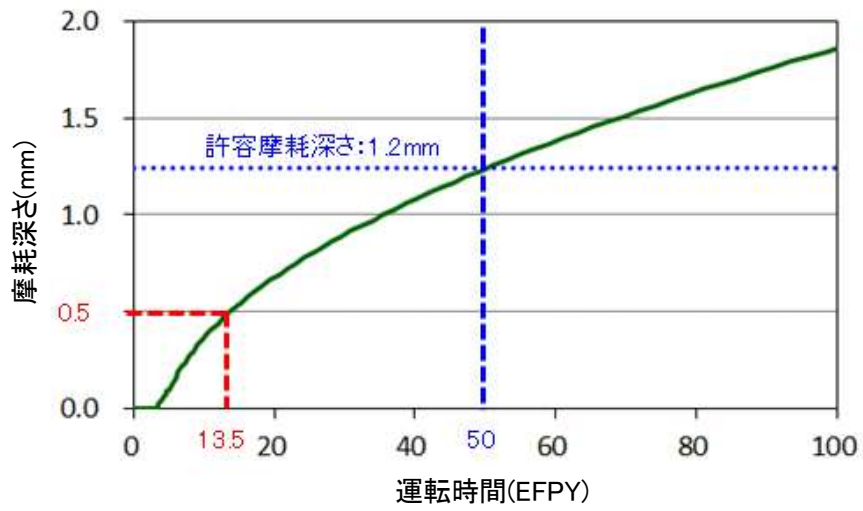


図 B-1 内面摩耗の摩耗進行予測曲線

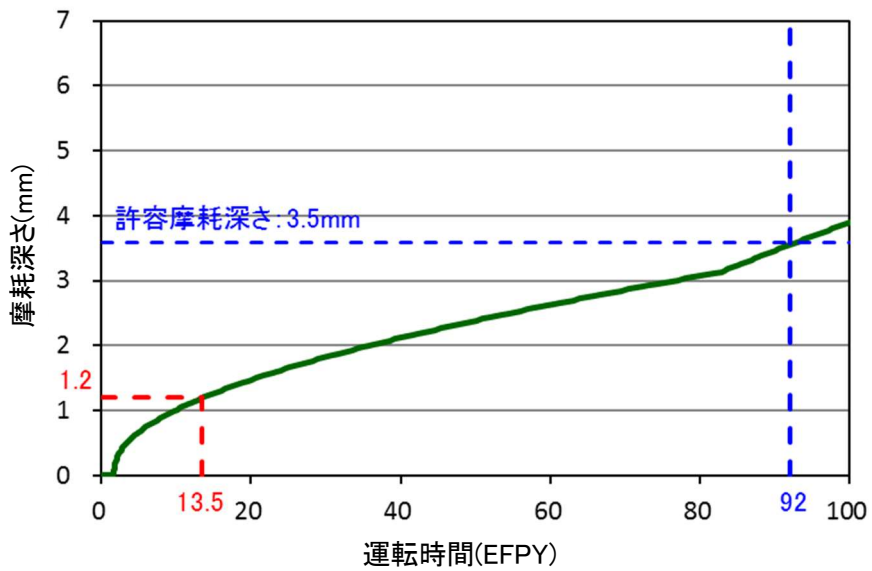


図 B-2 外面摩耗の摩耗進行予測曲線

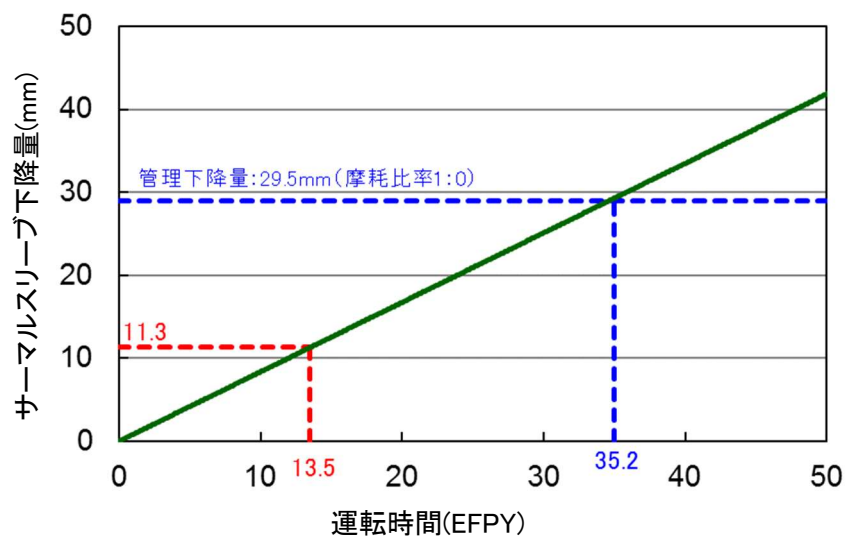


図 B-3 フランジ摩耗の摩耗進行予測曲線 (摩耗比率 1 : 0)

付録C サーマルスリーブ下降量の定義

フランジ摩耗の進行に伴いサーマルスリーブフランジ部が下面から摩耗すると、図 C-1 に示すようにサーマルスリーブが下降するとともに、サーマルスリーブフランジ部下面近傍の厚さが薄くなり、地震や流体等による荷重がサーマルスリーブに作用した場合、サーマルスリーブフランジ部の根本付近で破断又は亀裂が生じる可能性がある。したがって、フランジ摩耗を管理する必要がある。

フランジ摩耗の管理に当たっては、サーマルスリーブ下降量を定義し、摩耗量を評価する。サーマルスリーブ下降量は、図 C-2 に示すように、サーマルスリーブと蓋用管台の摩耗高さを足し合わせた長さとして定義する。

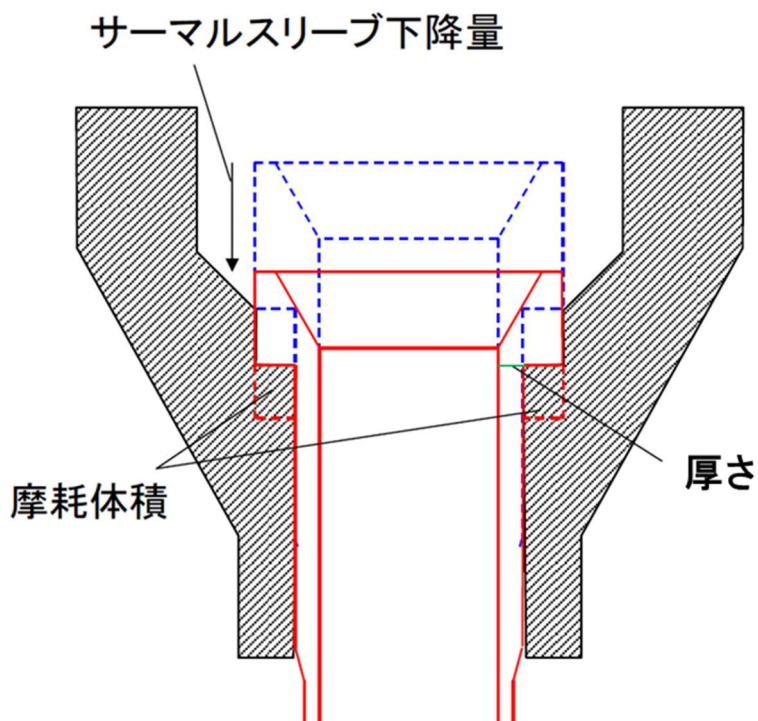


図 C-1 サーマルスリーブ下降量

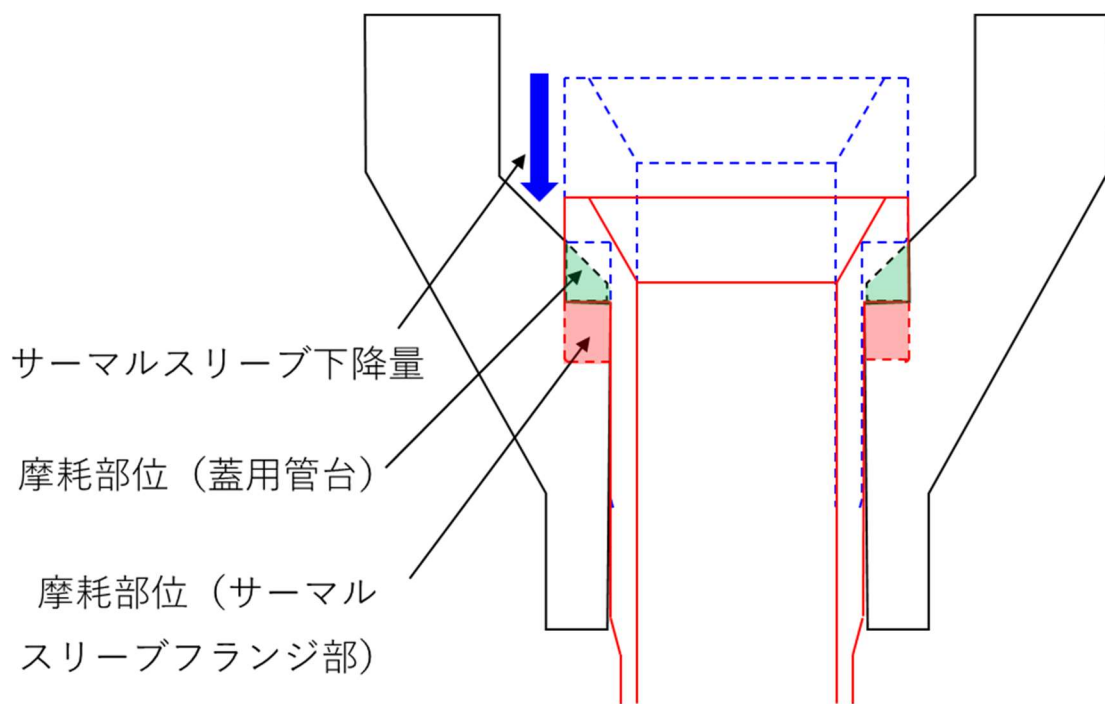


図 C-2 サーマルスリーブ下降量とフランジ摩耗の関係

付録D サーマルスリーブの管理下降量の設定

サーマルスリーブの管理下降量の検討においては、運転中にサーマルスリーブが破断により損傷することを防止するため、摩耗進行によりサーマルスリーブフランジ部の厚さが減少することを想定し、サーマルスリーブ下降量をパラメータとした場合の摩耗部に生じる応力を求め、地震荷重による強度評価、流体荷重及びRCPから原子炉容器上蓋に伝播する機械振動による荷重（以後、RCP荷重と称す）を考慮した強度評価の観点からその応力が許容値を超える際のサーマルスリーブ下降量を算出する*。地震荷重による強度評価（詳細）を付録D-1に、流体荷重及びRCP荷重による強度評価（詳細）を付録D-2に示す。

なお、管理下降量は、サーマルスリーブフランジ部の厚さを考慮して設定するため、サーマルスリーブフランジ部と蓋用管台との間の摩耗比率に依存する。ここでは摩耗比率 1:1 と 1:0（サーマルスリーブフランジ部のみが摩耗する条件）を考慮する。図C-2に示す通りサーマルスリーブ下降量はサーマルスリーブフランジ部と蓋用管台の摩耗高さの和となるが、摩耗比率 1:0 では、蓋用管台は摩耗しないことを想定しており、蓋用管台が摩耗することを想定した条件（摩耗比率 1:0 以外）よりも小さいサーマルスリーブ下降量でサーマルスリーブフランジ部の応力が許容値を超えるため、保守的な条件となる。摩耗比率は、今後知見の拡充に伴い見直すことができる。

管理下降量は、地震荷重による強度評価あるいは流体荷重及びRCP荷重による強度評価で算出されるサーマルスリーブ下降量のうち小さいもの（地震荷重による強度評価による管理下降量）を保守的に採用し、サーマルスリーブ下降量 59mm（摩耗比率 1:1）、29.5mm（摩耗比率 1:0）とする。

また、内面摩耗及び外面摩耗の許容摩耗深さについては管理下降量と同様の方法で算出しており、内面摩耗及び外面摩耗の許容摩耗深さの詳細については付録D-3に示す。

※標準型2ループプラントを除く。標準型2ループプラントの取扱いは付録D-4を参照。

付録 D-1 サーマルスリーブフランジ部の地震荷重による強度評価

地震荷重による強度評価によりサーマルスリーブフランジ部の管理下降量を算出した。概要は次の通りである。

地震荷重による地震応答解析を実施してサーマルスリーブフランジ部の部材力を算出し、FEM 解析を用いてサーマルスリーブフランジ部の応力評価を実施した。サーマルスリーブフランジ部の応力が許容応力に到達するサーマルスリーブ下降量から管理下降量を求めた。

(1) 地震応答解析

地震応答解析モデルを作成し、地震荷重による地震応答解析を実施することで、サーマルスリーブフランジ部の部材力を算出した。地震応答解析モデルを図 D-1 に示す。地震荷重は国内プラントにおける地震条件について、CRDM の応答解析の入力となるオペレーションフロア位置の FRS を全包絡した FRS から応答解析の入力を設定した。

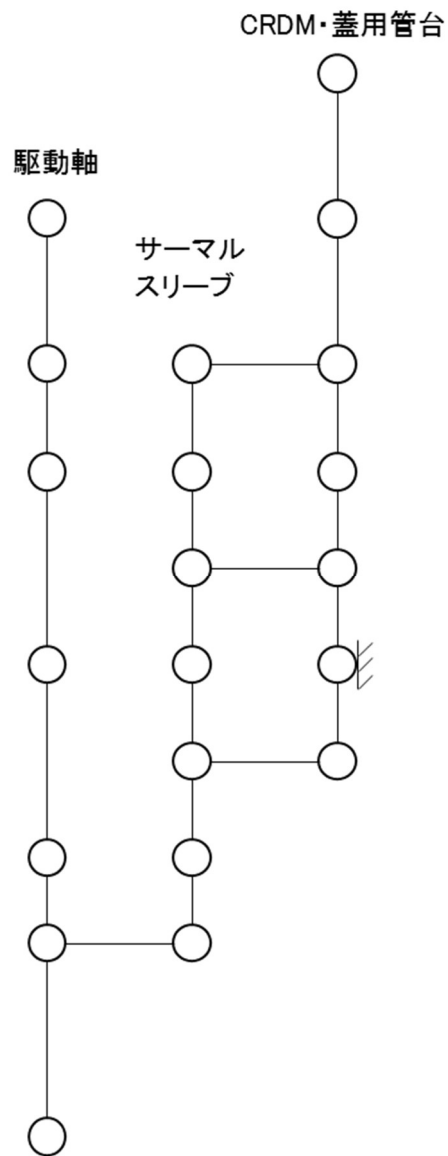


図 D-1 地震応答解析モデル

地震応答解析結果より求めた、サーマルスリーブフランジ部の部材力を表 D-1 に示す。

表 D-1 地震荷重により発生する部材力の算出結果

| 部位 | モーメント (Nm) | せん断荷重 (N) |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| サーマルスリーブ フランジ部 | 1.3×10^3 | 3.6×10^3 |

(2) 応力解析

(1) で求めた部材力より，サーマルスリーブフランジ部の応力解析を実施した。水平方向の地震荷重に対し，サーマルスリーブフランジ部内面にテーパがあるため，水平方向断面とは異なる位置で応力が最大となる可能性がある。そのため，FEM 解析により，水平方向に単位荷重を作用させた場合のサーマルスリーブフランジ部近傍の応力を求め，応力が最大となる断面位置を確認した。

FEM 解析では，図 D-2 に示すように，サーマルスリーブの形状を模擬した 3D ソリッドモデルを作成し，サーマルスリーブ下端部に単位荷重を作用させた場合のサーマルスリーブフランジ部に発生する応力を求めた。

なお，フランジ摩耗の進行（サーマルスリーブ下降量の増加）に伴いサーマルスリーブフランジ部の下面位置が上昇し，サーマルスリーブフランジ部の最小厚さが減少するため，サーマルスリーブフランジ部の応力はサーマルスリーブ下降量の増加に伴い変化する。このため，サーマルスリーブ下降量をパラメータとした複数の FEM 解析モデルを作成し，サーマルスリーブフランジ部の応力を算出した。なお，摩耗比率 1 : 0 の場合は，蓋用管台の摩耗量が 0 となることから，摩耗比率 1 : 1 の場合の半分のサーマルスリーブ下降量で同等の応力が生じる。

図 D-3 に示すように，サーマルスリーブフランジ部では水平方向断面及び最小厚さ断面とは異なる断面で最大応力が発生することを確認した。このため，管理下降量の算出に際しては，上記の FEM 解析結果より，サーマルスリーブフランジ部の最大応力と，部材力のうちモーメントとの比率※（以後，換算係数と称す）を求め，換算係数を表 D-1 のモーメントに乗じることでサーマルスリーブフランジ部の応力を算出した。

換算係数は，サーマルスリーブ下降量に応じて変化するため，FEM 解析を実施していないサーマルスリーブ下降量に対する換算係数は線形補間により求めた。サーマルスリーブ下降量に対する換算係数をまとめた結果を図 D-4 に示す。

※FEM 解析結果ではサーマルスリーブフランジ部の応力に対してモーメントによる曲げ応力が支配的であり，換算係数を算出する上では部材力のうちモーメントを代表とした。

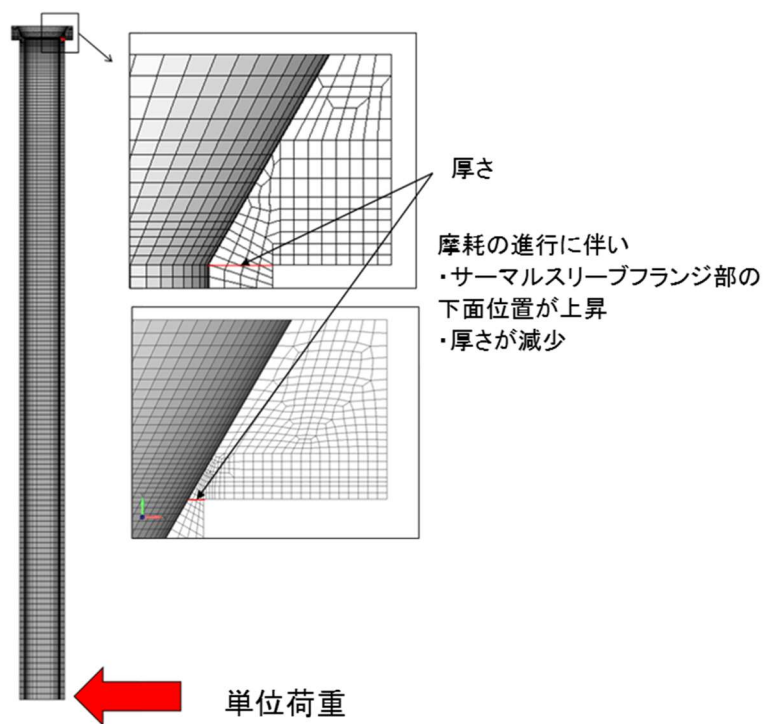


図 D-2 サーマルスリーブフランジ部の応力確認のための FEM 解析モデル

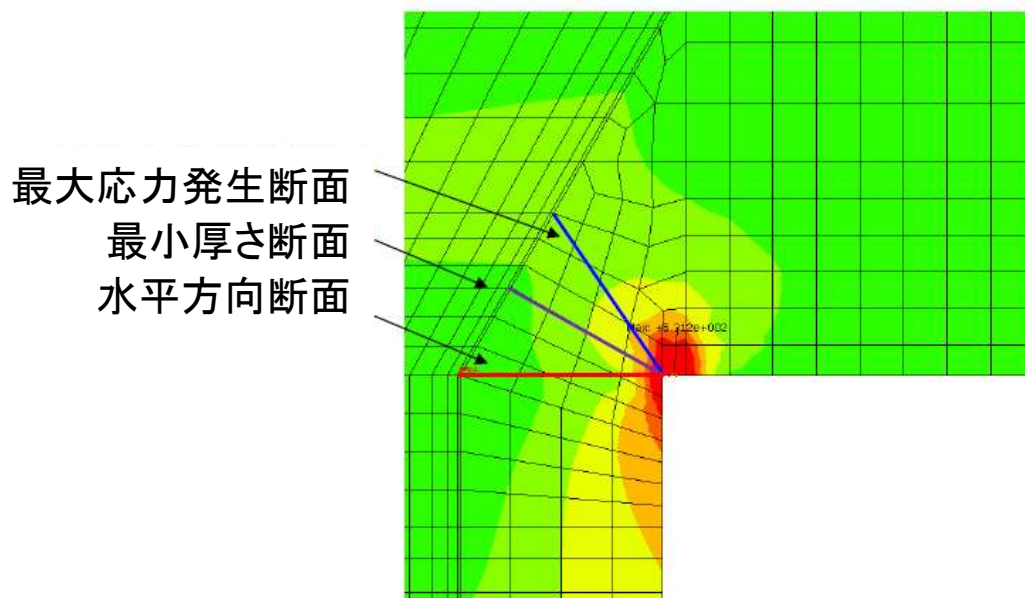


図 D-3 サーマルスリーブフランジ部の FEM 解析結果
 (応力分布, サーマルスリーブ下降量 43mm)

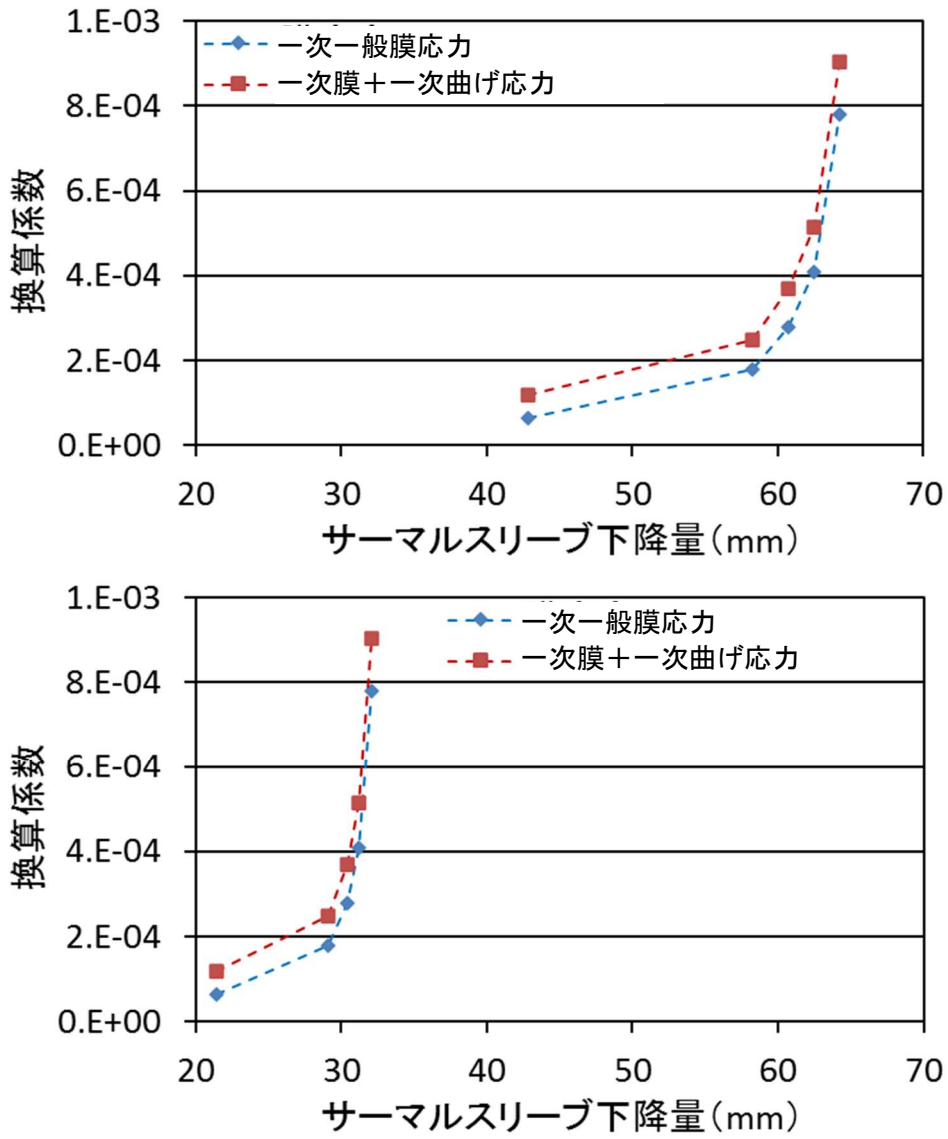
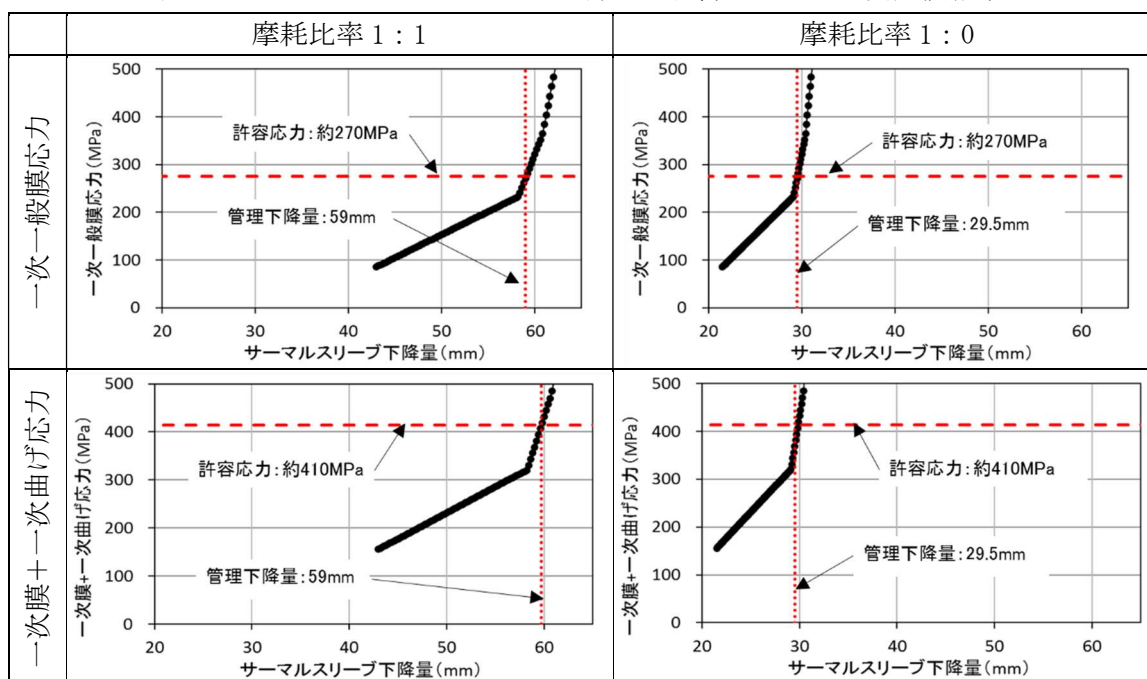


図 D-4 サーマルスリーブ下降量に対する応力の換算係数
 (上図：摩耗比率 1 : 1, 下図：摩耗比率 1 : 0)

(3) 管理下降量の算出

表 D-1 のサーマルスリーブフランジ部の部材力を図 D-4 の換算係数に乗じることで、サーマルスリーブフランジ部に発生する応力を求め、許容応力に到達するサーマルスリーブ下降量を算出した結果を表 D-2 に示す。表 D-2 より管理下降量を求めると、一次一般膜応力、一次膜+一次曲げ応力の評価ともサーマルスリーブ下降量 59mm(摩耗比率 1 : 1), 29.5mm(摩耗比率 1 : 0)となる。

表 D-2 サーマルスリーブフランジ部の地震荷重による強度評価結果※



※サーマルスリーブフランジ部内側のテーパにより、サーマルスリーブフランジ部の下端がテーパに差し掛かるまで摩耗が進行するとサーマルスリーブフランジ部の水平方向厚さは減少し始める。このため、サーマルスリーブフランジ部の応力はあるサーマルスリーブ下降量から急激に増加する傾向となる。

付録 D-2 サーマルスリーブフランジ部の流体荷重及び RCP 荷重による強度評価

流体荷重及び RCP 荷重による強度評価によりサーマルスリーブフランジ部の管理下降量を算出した。概要は次の通りである。

流体荷重及び RCP 荷重による振動応答解析を実施してサーマルスリーブフランジ部の部材力を算出し、FEM 解析を用いてサーマルスリーブフランジ部の応力評価を実施した。サーマルスリーブフランジ部の応力が許容応力に到達するサーマルスリーブ下降量から管理下降量を求めた。

なお、流体荷重及び RCP 荷重による強度評価は一次応力評価よりも厳しい疲労評価で代表した。

(1) 頂部プレナム CFD 解析

頂部バイパス流量が大きく流体荷重が大きいと考えられる実機プラント（標準型 4 ループプラント）の通常運転時の条件を模擬した頂部プレナム CFD 解析により、サーマルスリーブに作用する流体荷重を算出した。解析範囲を図 D-5 に示す。解析結果（流速分布）を図 D-6 に示す。

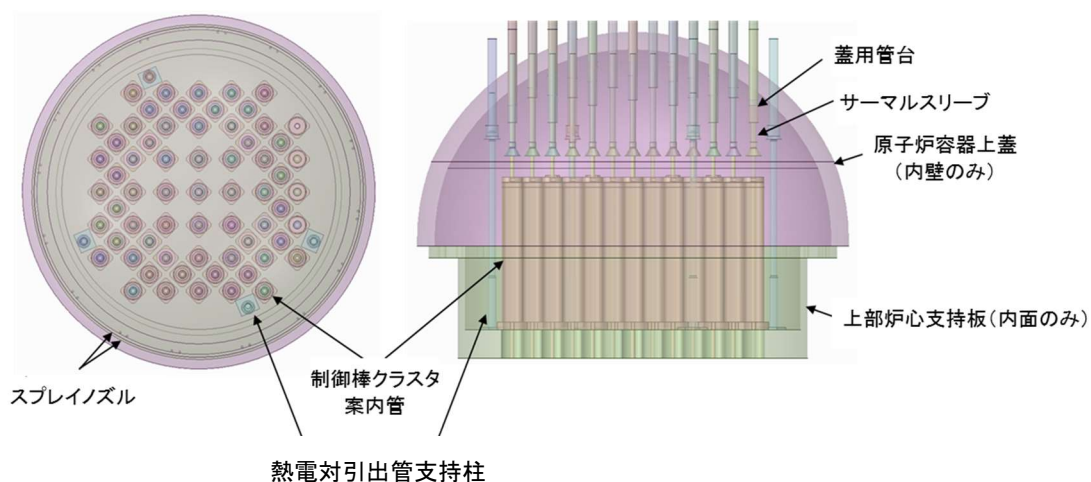


図 D-5 解析範囲

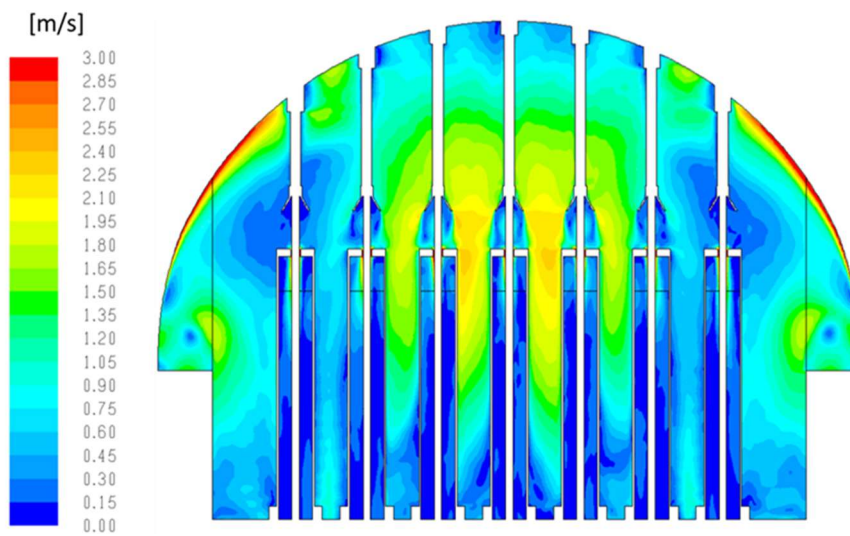


図 D-6 CFD 解析結果（流速分布）

(2) RCP 荷重の算出

サーマルスリーブに作用する外力として通常運転時の RCP 荷重を設定した。RCP 荷重は、実機プラント（標準型 4 ループプラント）において原子炉容器上蓋で計測しているルースパーツモニタの加速度データを振動変位に変換することで算出した。

(3) 振動応答解析

図 D-1 の地震応答解析モデルをもとに、サーマルスリーブフランジ部の接触状況を模擬できるように接触条件を変更することで振動応答解析モデルを作成し、通常運転時に作用する流体荷重及び RCP 荷重に対する振動応答解析を実施することで、サーマルスリーブフランジ部の部材力を算出した。なお、振動応答解析において流体荷重はサーマルスリーブに、RCP 荷重は蓋用管台に入力した。

振動応答解析結果より求めた、サーマルスリーブフランジ部の部材力を表 D-3 に示す。

表 D-3 流体荷重及び RCP 荷重により発生する部材力の算出結果

| 部位 | モーメント (Nm) | せん断荷重 (N) |
|-------------------|------------|-----------|
| サーマルスリーブ フランジ部 | 3.4 | 25 |

(4) 応力解析

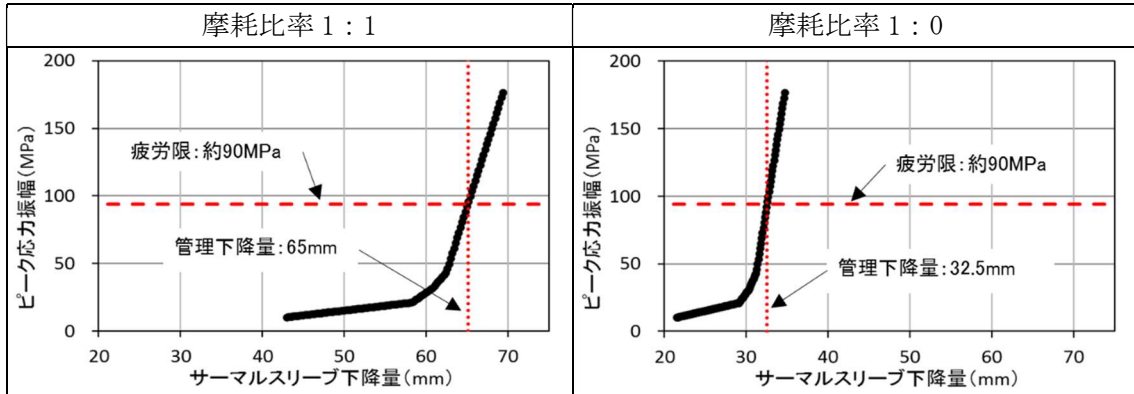
(3) で求めた部材力より、サーマルスリーブフランジ部の応力解析を実施した。水平方向の流体及び RCP 荷重に対し、サーマルスリーブフランジ部内面にテーパがあるため、水平方向断面とは異なる位置で応力が最大となる可能性がある。そのため、付録 D-1 に記載の FEM 解析により、応力が最大となる断面位置を確認した。

FEM 解析結果より、サーマルスリーブフランジ部では水平方向断面及び最小厚さ断面とは異なる断面で最大応力が発生することを確認した。このため、管理下降量の算出に際しては、付録 D-1 で FEM 解析より求めた換算係数 (図 D-4) を表 D-3 のモーメントに乗じることでサーマルスリーブ下降量に対応したサーマルスリーブフランジ部の応力を算出した。なお、疲労評価に用いるピーク応力は一次膜+一次曲げ応力に、応力集中係数：5 を乗じて算出した。

(5) 管理下降量の算出

表 D-3 のサーマルスリーブフランジ部の部材力を図 D-4 の換算係数に乗じることで、サーマルスリーブフランジ部に発生するピーク応力を求め、疲労限に到達するサーマルスリーブ下降量から管理下降量を算出した結果を表 D-4 に示す。表 D-4 より管理下降量を求めると、サーマルスリーブ下降量 65mm (摩耗比率 1 : 1), 32.5mm (摩耗比率 1 : 0) となる。

表 D-4 流体荷重及び RCP 荷重による強度評価結果*



※サーマルスリーブフランジ部内側のテーパにより、サーマルスリーブフランジ部の下端がテーパに差し掛かるまで摩耗が進行するとサーマルスリーブフランジ部の水平方向厚さは減少し始める。このため、サーマルスリーブフランジ部の応力はあるサーマルスリーブ下降量から急激に増加する傾向となる。

付録 D-3 内面摩耗及び外面摩耗に対する評価

内面摩耗及び外面摩耗についても、サーマルスリーブフランジ部と同様に地震荷重による強度評価と流体荷重及び RCP 荷重による強度評価によりサーマルスリーブが破断する際の許容摩耗深さを求めた。地震荷重による強度評価に用いる部材力は付録 D-1 (1) の地震応答解析より、表 D-5 に示す通り求めた。流体荷重及び RCP 荷重による強度評価に用いる部材力は付録 D-2 (3) の振動応答解析より、表 D-6 に示す通り求めた。

表 D-5 地震荷重により発生する部材力の算出結果

| 部位 | モーメント (Nm) | せん断荷重 (N) |
|--------------------------|----------------------|-------------------|
| サーマルスリーブ 下端 (内面摩耗) | 2.9×10^{-1} | 5.9×10^2 |
| 蓋用管台下端 (外面摩耗) | 1.1×10^3 | 1.6×10^3 |

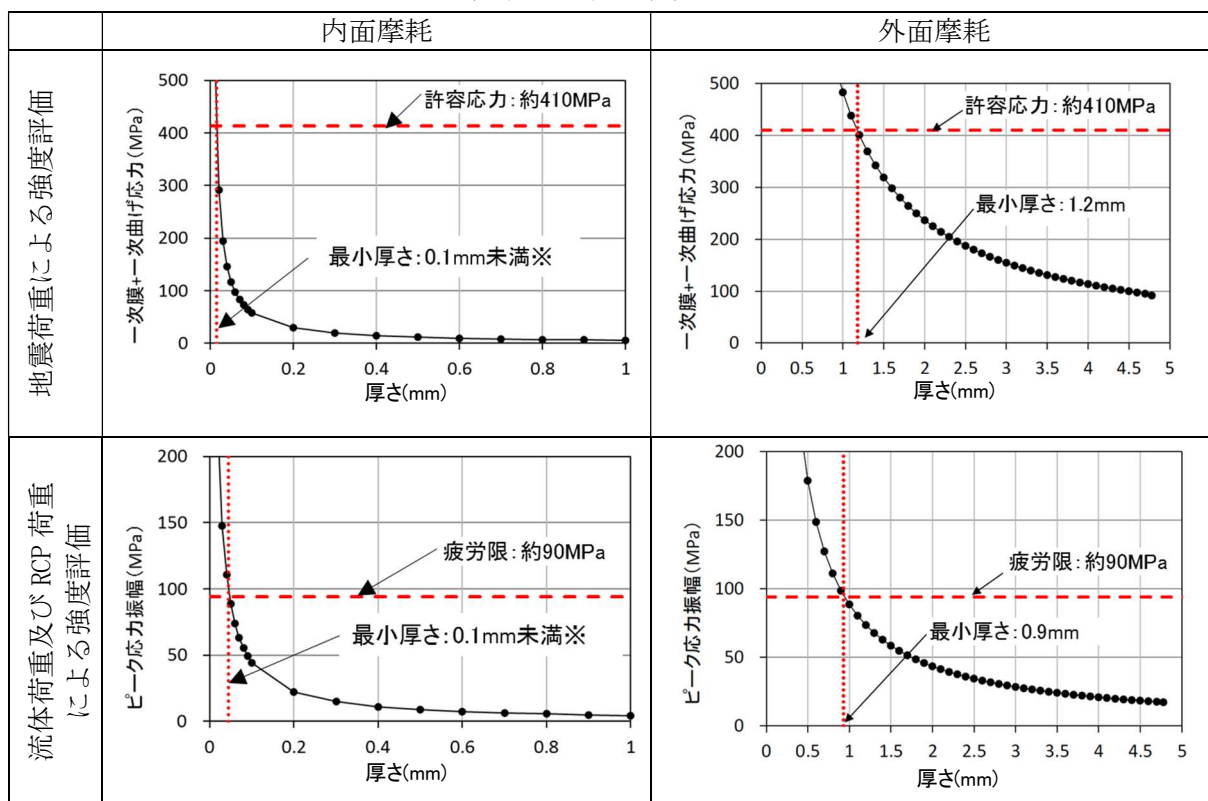
表 D-6 流体荷重及び RCP 荷重により発生する部材力の算出結果

| 部位 | モーメント (Nm) | せん断荷重 (N) |
|--------------------------|----------------------|-----------|
| サーマルスリーブ 下端 (内面摩耗) | 3.8×10^{-3} | 8.6 |
| 蓋用管台下端 (外面摩耗) | 6.9 | 11 |

評価に当たっては、図 A-3 及び図 A-4 に示す通り外面摩耗及び内面摩耗によってサーマルスリーブの厚さが減少することを想定した。なお、外面摩耗の地震荷重による強度評価については、サーマルスリーブに生じる荷重がモーメント支配であり、曲げ応力が厳しいと考えられることから、一次膜+一次曲げ応力について評価した。流体荷重及び RCP 荷重による強度評価については、一次応力評価よりも厳しい疲労評価で代表した。

サーマルスリーブが破断する際の厚さ（最小厚さ）の評価結果を表 D-7 に示す。最小厚さより許容摩耗深さを求め、地震荷重による強度評価結果と流体荷重及び RCP 荷重による強度評価結果により求められる許容摩耗深さのうち小さいものを保守的に採用すると、内面摩耗については 1.2mm（流体荷重及び RCP 荷重による強度評価による許容摩耗深さ）、外面摩耗については 3.5mm（地震荷重による強度評価による許容摩耗深さ）となる。

表 D-7 地震荷重による強度評価並びに流体荷重及び RCP 荷重による強度評価結果
(内面・外面摩耗)



※小数点第1位まで切り上げ、最小厚さを0.1mmとする。

付録 D-4 標準型 2 ループプラントの取扱い

サーマルスリーブフランジ部の破断を想定した管理下降量 29.5mm に対して，標準型 2 ループプラントの初期状態におけるサーマルスリーブ口金下端が制御棒クラスタ案内管に到達するまでの距離は，製作公差を考慮すると約 22.5mm であり，摩耗によりサーマルスリーブフランジ部が破断する前にサーマルスリーブ口金下端が制御棒クラスタ案内管に接触する（図 D-7）。サーマルスリーブ口金下端が制御棒クラスタ案内管に接触した場合，制御棒の挿入時間に影響を与える可能性があるため，サーマルスリーブ口金下端が制御棒クラスタ案内管に接触する前に点検や予防保全及び補修を実施する必要がある。したがって，標準型 2 ループプラントはグループ 2 とするが，管理下降量は 22.5mm とし，標準型 2 ループの初回点検は，この管理下降量をもとに設定する。

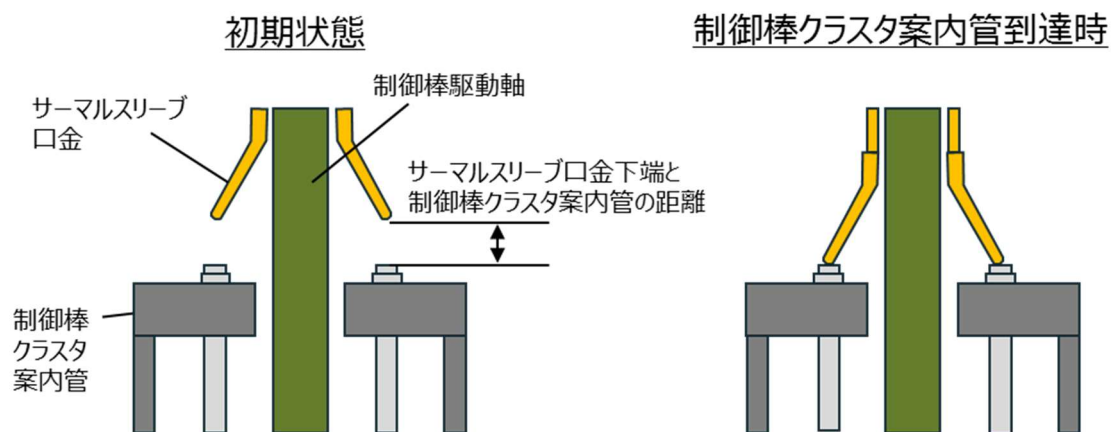


図 D-7 標準型 2 ループプラントにおけるサーマルスリーブと制御棒クラスタ案内管の位置関係

付録E プラントのグループ化

頂部バイパス流量は、プラント毎にそれぞれ異なる。評価に当たっては、頂部バイパス流量が摩耗量に大きく影響することから、頂部バイパス流量によって、グループ1とグループ2に分類する（表E-1）。現状知見では、頂部バイパス流量が大きいグループ1のプラント（標準型4ループプラント）で相対的に摩耗量が大きいことが推定される。

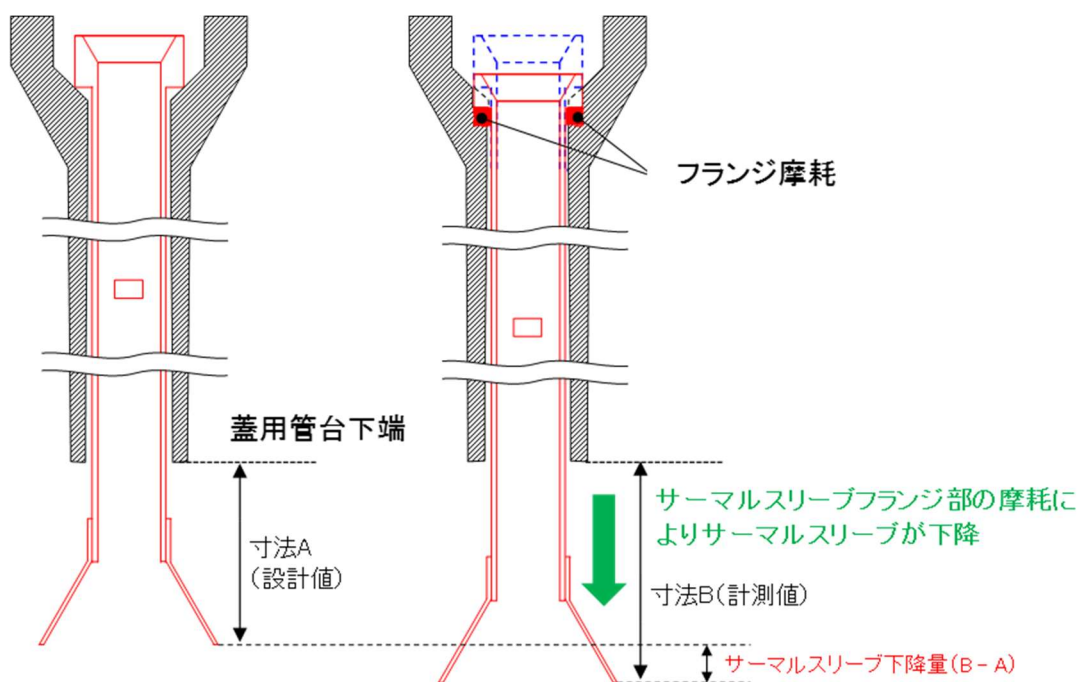
表E-1 プラントのグループ化

| | グループ1 | | グループ2 | |
|----------|---|---|-------------------------|--------------|
| ループ数 | 標準型4ループ | 標準型3ループ | 初期型3ループ | 標準型2ループ |
| 頂部バイパス流量 | 1.6% | 0.7% | 0.2% | 0.4%~0.9% |
| 対象プラント | 大飯3号機 大飯4号機 玄海3号機 玄海4号機 敦賀2号機 | 高浜3号機 高浜4号機 伊方3号機 川内1号機 川内2号機 泊3号機 | 美浜3号機 高浜1号機 高浜2号機 | 泊1号機 泊2号機 |

付録F 点検方法例

サーマルスリーブ下降量の点検方法は、レーザー計測等によって、蓋用管台下端からサーマルスリーブ口金下端までの寸法を計測し、サーマルスリーブ下降量を下式により算出する(図F-1)。

サーマルスリーブ下降量 = 計測値 - 設計値



図F-1 サーマルスリーブ下降量の算出方法

付録 G 摩耗進行予測の詳細

摩耗量を評価する一般式として Archard の式があり，以下のような式で表される（解説 2-4）。

$$[\text{摩耗量}] = [\text{比摩耗量}] \times [\text{ワークレート}] \times [\text{時間}]$$

上式から，ワークレートが一定であれば，摩耗量は時間に比例することが分かる。一方，フランジ摩耗はサーマルスリーブ下降量で管理するため，摩耗量と時間の関係をサーマルスリーブ下降量と時間の関係で表す必要がある。サーマルスリーブの幾何学的な形状から，摩耗量とサーマルスリーブ下降量の関係を求め，実機の点検データ（運転時間，サーマルスリーブ下降量）にフィッティングさせることにより，摩耗進行予測を行う。

以上の関係は，サーマルスリーブの形状で決まるので，ワークレートの値そのものは未知であっても，サーマルスリーブ下降量と時間の関係を導くことができる。

付録 G-1 プラントグループ 1 の摩耗進行予測

プラントグループ 1 の点検実施済プラントの点検結果を反映した摩耗進行予測を図 G-1 に示す。

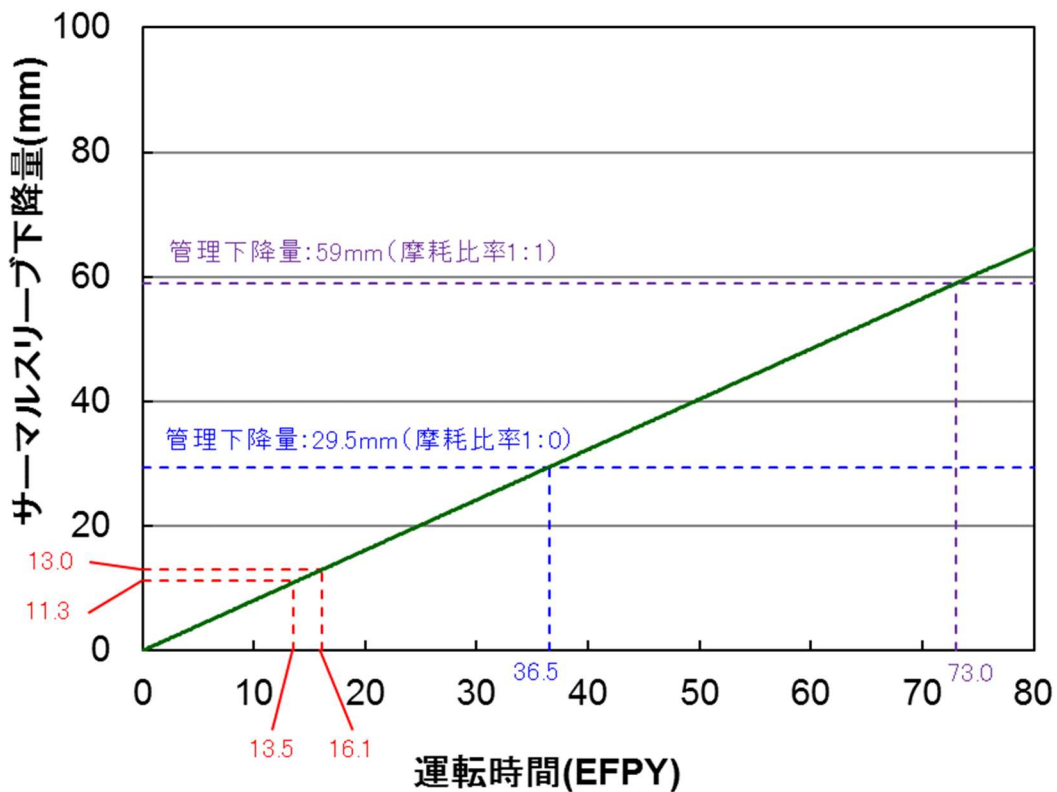
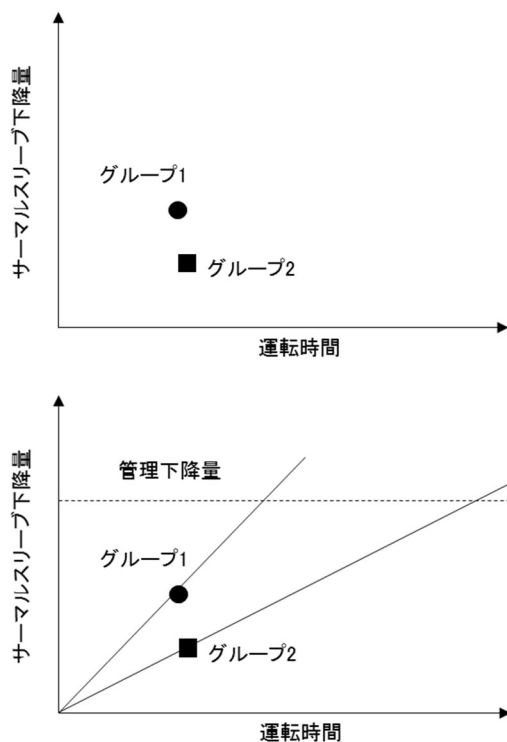


図 G-1 プラントグループ 1 の摩耗進行予測

付録H 点検結果のフィードバック方法

1. 摩耗進行予測と点検周期

サーマルスリーブの点検を行い、サーマルスリーブ下降量の点検データと摩耗進行予測曲線からサーマルスリーブ下降量が管理下降量に達するまでの時間を算出する（図 H-1）。



①初回点検

各プラントにおける定期検査予定を勘案し、グループ毎に適宜初回点検を実施する。

②暫定的な摩耗進行予測

グループ毎にサーマルスリーブ下降量の点検データに基づく摩耗進行予測曲線を作成し、摩耗進行予測を行う。

図 H-1 グループ毎の摩耗進行予測曲線イメージ

2. 次回点検時期の設定

点検結果を用いて摩耗進行予測を行い、サーマルスリーブ下降量が管理下降量に達するまでに次回点検時期を設定する。同一グループで摩耗が明らかに先行している他プラントの点検で点検時期を代行して設定することも可能とする。

3. 点検時期の設定の見直し

点検による知見の蓄積により、定量的な評価が可能になった場合は、点検時期の設定の見直しをすることができる。例えば、管理下降量については実際の摩耗量を考慮した下降量とすることができる。また、管理下降量に達するまでに設定する点検時期の裕度について見直しを図ることができる。

付録 I 点検周期

1. 次回点検までの期間

次回点検までの期間の設定は、最新の点検結果を反映した摩耗進行予測が、管理下降量に達する運転時間までに定期検査計画を考慮して設定する。

2. 未点検のプラントの扱い

未点検のプラントは、先行点検プラントのサーマルスリーブ下降量（付録 G）を基準に摩耗進行予測を設定する。

同一グループ内で他のプラントの点検結果がある場合（グループ 1）は、そのプラントの初回点検結果から設定される 2 回目の点検時期を目途に、定期検査計画を考慮して初回点検を行う。

点検実績のないグループ（グループ 2）のプラントについては、点検実績のあるグループ（グループ 1）の初回点検結果から設定される 2 回目の点検時期を目途に、定期検査計画を考慮して初回点検を行う。

用語一覧表

| | |
|------|--|
| CFD | 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics) |
| CRDM | 制御棒駆動装置 (Control Rod Drive Mechanism) |
| EFPY | 定格負荷相当年数 (Effective Full Power Year) |
| FEM | 有限要素法 (Finite Element Method) |
| FRS | 床応答スペクトル (Floor Response Spectrum) |
| PWR | 加圧水型原子力発電所 (Pressurized Water Reactor) |
| RCP | 1次冷却材ポンプ (Reactor Coolant Pump) |

PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン[原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ]の概要

1. 基本的な考え方

本ガイドラインは、加圧水型原子力発電所（PWR）のサーマルスリーブ（図 1）に想定される摩耗に対し、点検、評価及び予防保全等の指針を示すものである。サーマルスリーブの機能、想定劣化事象は次の通り。

- サーマルスリーブの機能：制御棒駆動軸の案内、炉内の 1 次冷却材流れに対する制御棒駆動軸の保護、蓋用管台に対する熱遮蔽（蓋用管台内への 1 次冷却材流入抑制、熱応力緩和）
- 想定劣化事象：流動振動によるサーマルスリーブフランジ部の摩耗（以後、フランジ摩耗と称す）

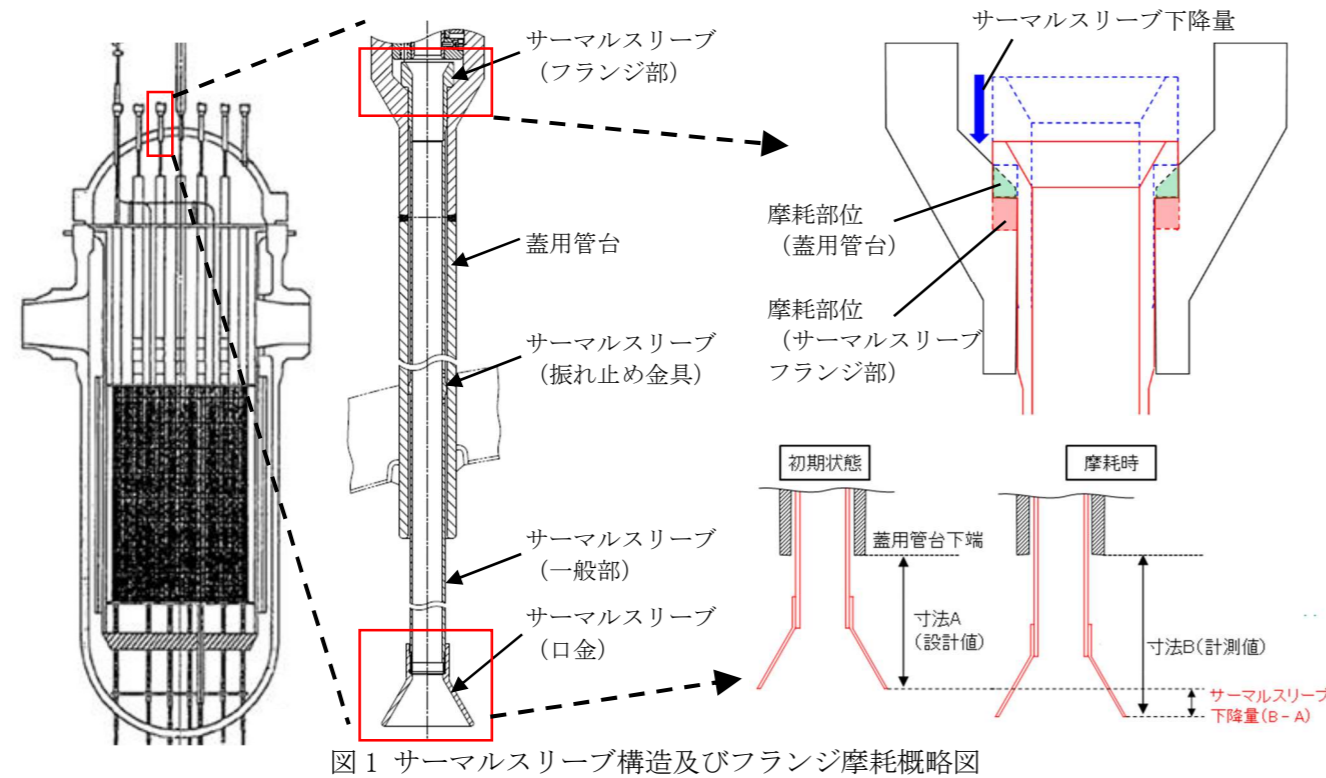


図 1 サーマルスリーブ構造及びフランジ摩耗概略図

2. 点検及び評価

2.1 点検対象

点検対象は、サーマルスリーブフランジ部とし、サーマルスリーブ下降量を計測する。点検対象本数は、サーマルスリーブ全数とする。

2.2 点検方法

点検方法は、蓋用管台下端からサーマルスリーブ口金下端までの寸法を計測し（図 1）、サーマルスリーブ下降量を特定できる方法とする。

2.3 点検時期

点検時期は、点検結果を基に予測したサーマルスリーブ下降量（図 2）が、サーマルスリーブフランジ部が破断するサーマルスリーブ下降量から定めた管理基準（管理下降量）に達すると予測される時期までに行う。なお、頂部バイパス流量に応じてプラントをグループ化したうえで、グループ毎にフランジ摩耗を管理する（表 1）。

表 1 プラントのグループ化

| Gr. | プラント | 頂部バイパス流量 |
|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 大飯 3/4 号機 | 1.6% |
| | 玄海 3/4 号機 | |
| | 敦賀 2 号機 | |
| 2 | 高浜 3/4 号機 | 0.7% |
| | 伊方 3 号機 | |
| | 川内 1/2 号機 | |
| | 泊 3 号機 | |
| | 美浜 3 号機 | |
| 高浜 1/2 号機 | 0.2% | |
| 泊 1/2 号機 | | 0.4%~0.9% |

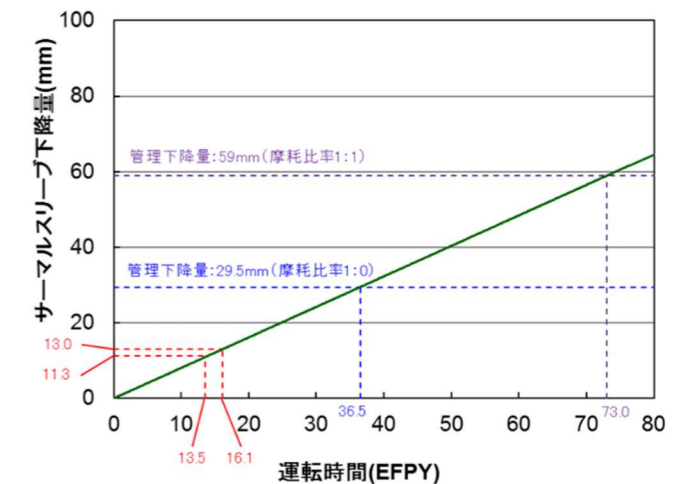


図 2 プラントグループ 1 の摩耗進行予測

2.4 評価

点検の結果、次回点検までの摩耗進行予測が管理下降量以下になるように点検周期を設定できる場合は、次回点検まで継続使用することができる。

次回点検までの摩耗進行予測が管理下降量以下となるよう点検周期を設定できない場合は、試験的手法又は解析等の詳細評価を行い、次回点検までサーマルスリーブの機能が維持できることを示すか、当該サーマルスリーブの取替え又は予防保全を実施する。

3. 予防保全及び取替え

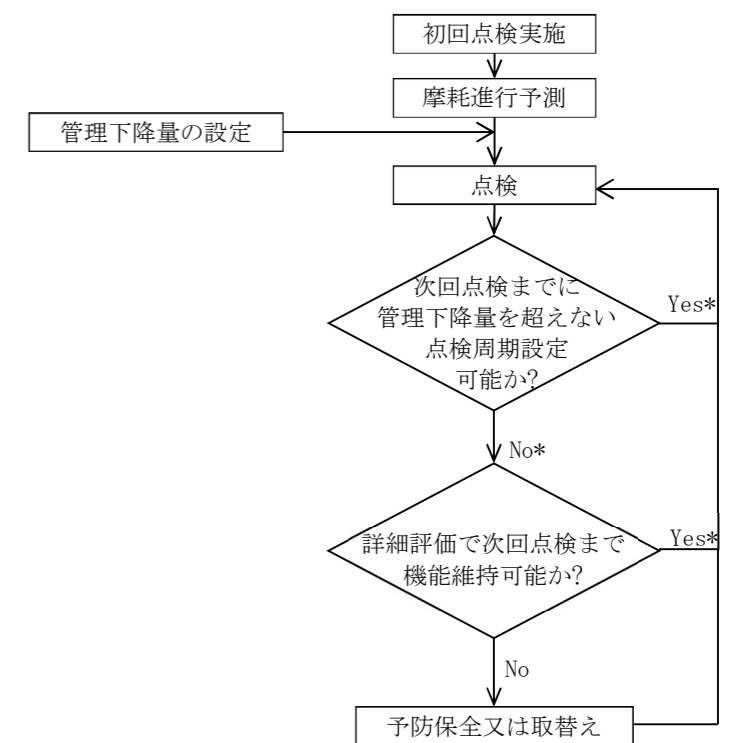
摩耗進行が管理下降量に達する前に、以下の予防保全又は取替えを実施する。サーマルスリーブの点検、評価及び予防保全のフローを図 3 に示す。

(1) 予防保全

サーマルスリーブを蓋用管台に対して固定し、摩耗進行を防止する。

(2) 取替え

サーマルスリーブ単体若しくは周辺機器を含めた取替え又はサーマルスリーブを含めた原子炉容器上蓋の取替えを実施する。取替え後の点検周期は、取替え後のサーマルスリーブの仕様に基づいて定める。



*予防保全又は取替えを選択することも可能

図 3 サーマルスリーブの点検、評価及び予防保全のフロー

引用文献

- [1] Archard, J. F. : J. Appl. Phys., 32[8], 1420-1425 (1961)
- [2] Westinghouse Electric Company LLC., 「Reactor Vessel Head Adapter Thermal Sleeve Wear (TB-07-2, Rev.2)」, Feb 2015, p.6 (2015)
- [3] Roch MENAND, and Emmanuel LEMAIRE, 「EDF Operating Experience RV Internals」, Electricite de France, May 2019, p.26 (2019)

PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン
[原子炉容器蓋用管台サーマルスリーブ]
(第1版)

編集者 一般社団法人 原子力安全推進協会
炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会

発行者 一般社団法人 原子力安全推進協会
〒108-0014 東京都港区芝 5-36-7 三田ベルジュビル 13～15 階
TEL 03-5418-9312 FAX 03-5440-3606

©原子力安全推進協会，2023

本書に掲載されたすべての記事内容は、原子力安全協会の許可なく、
転載・複写することはできません。