

PWR炉内構造物等点検評価ガイドライン

[制御棒クラスター案内管 支持ピン回り止めピン]

(第1版)

2023年3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3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：制御棒クラスタ案内管 支持ピン回り止めピン

| 改訂年月 | 版 | 改訂内容 | 備考 |
|---------|------|------|--------------------------------------|
| 2023年3月 | 初版発行 | — | JANSI-VIEP-03-01 JANSI-VIP-47 第1版 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

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3月現在, 順不同, 敬称略)

| | | |
|-----|-------|--------------------------|
| 委員長 | 望月 正人 | 大阪大学 |
| 委員 | 笠原 直人 | 東京大学 |
| 委員 | 竹田 陽一 | 東北大学 |
| 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 |
| 委員 | 森下 和功 | 京都大学 |
| 委員 | 堂崎 浩二 | 東北大学 |
| 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 | 東京電力ホールディングス (株) |
| 幹事 | 棚橋 晶 | 関西電力 (株) |
| 幹事 | 寺門 剛 | 日本原子力発電 (株) |
| 委員 | 渡辺 健介 | 北海道電力 (株) |
| 委員 | 新藤 智也 | 東北電力 (株) |
| 委員 | 神長 貴幸 | 東京電力ホールディングス (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 | 天野 洋一 | 関西電力 (株) |
| 委員 | 荒芝 智幸 | 中国電力 (株) |
| 委員 | 松原 克幸 | 四国電力 (株) |
| 委員 | 木元 健悟 | 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 | 和地 永嗣 | 三菱重工業 (株) |
| 委員 | 新井 拓 | 電力中央研究所 |
| 委員 | 関 弘明 | 原子力安全推進協会 |
| 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
[制御棒クラスタ案内管 支持ピン回り止めピン]

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 |
| 3.4 | 評価..... | 3 |
| 第4章 | 予防保全及び補修..... | 4 |
| 解説 1-1 | ガイドライン制定の目的..... | 5 |
| 解説 1-2 | 支持ピンの回り止めピンの選定理由..... | 5 |
| 解説 2-1 | 支持ピン及び回り止めピンの機能..... | 6 |
| 解説 2-2 | 回り止めピンに想定される経年劣化事象及び運転経験..... | 6 |
| 解説 2-3 | 回り止めピン摩耗時の影響..... | 6 |
| 解説 3-1 | 点検方法..... | 7 |
| 解説 3-2 | 点検周期..... | 7 |
| 解説 3-3 | 設計上あり得る突き出し代..... | 7 |
| 解説 4-1 | 回り止めピンの予防保全及び補修..... | 8 |
| 付録 A | 支持ピン及び回り止めピンの概要..... | A-1 |
| 付録 B | 支持ピンの型式..... | B-1 |
| 付録 C | 回り止めピンの摩耗事象..... | C-1 |
| 付録 D | 過去の運転経験..... | D-1 |
| 付録 E | 回り止めピン摩耗の点検方法..... | E-1 |
| 付録 F | 流体力測定試験及びプラントのグループ化..... | F-1 |
| 付録 G | 点検周期の設定..... | G-1 |
| 付録 H | 突き出し代に対する取替えのクライテリア..... | H-1 |
| 参考資料 1 | PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン[制御棒クラスタ案内管支持ピン回り止めピン]の概要..... | 参 1-1 |
| 参考資料 2 | 引用文献..... | 参 2-1 |

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）に使用される制御棒クラスタ案内管支持ピン（以後、支持ピンと称す）のナット上部に設置された回り止めピンについて、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「隙間ばめ型」の支持ピンの回り止めピンに適用する（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。
- 調整運転： 定期検査のために停止したプラントが、営業運転再開の可否を判断するために実施される試運転をいう。
- 突き出し代： 「隙間ばめ型」の支持ピンでは、回り止めピンが支持ピンのナットに対して動き、回り止めピンの端部がナットの外面に突き出す可能性がある。このピンの外径とナットの外径を起点とした、ナットのピン穴から突き出している部分（図 1-1）をいう。

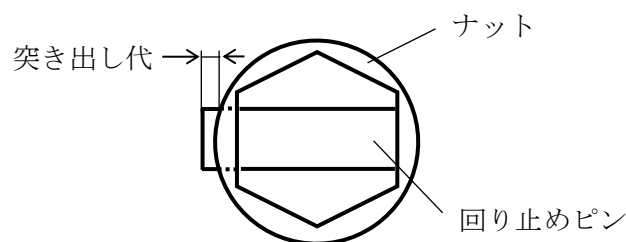


図 1-1 上から見た突き出し代

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) 支持ピンは、制御棒クラスタ案内管（以後、GT と称す）を上部炉心板に対して水平方向に位置決めする機能を有する。また、回り止めピンは、支持ピン本体とナットを回り止め（緩み止め）する機能を有する（解説 2-1）。本ガイドラインは、これらの機能を維持することを目的に、回り止めピンの点検、評価、予防保全の指針を示す。
- (3) 支持ピンの型式には、「隙間ばめ型」、「冷やしばめ型」、「かしめ型」の3種類があり、その中でも、回り止めピンとナットのピン穴を隙間ばめしている「隙間ばめ型」は、はめあいの関係によっては炉内の1次冷却材流れにより回り止めピンが流動振動し、お互いに衝突、接触、摺動することで回り止めピンの外面に摩耗が生じることがある（解説 2-2）。摩耗の進行により回り止めピンが徐々に減肉し、回り止めピンとピン穴とのかかり代が少なくなることで、回り止めピンが支持ピンから脱落し、ルースパーツ化する可能性がある（解説 2-3）。このため、本ガイドラインでは、支持ピンと回り止めピン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、回り止めピンの摩耗を想定する。
- (4) 回り止めピンの摩耗によって回り止めピンがルースパーツ化する前に適切な対策を行うため、点検により摩耗状態を継続的に監視する。点検方法は、カメラ等を用いた目視による確認とし、点検対象は摩耗の懸念のある回り止めピン全数とする（解説 3-1）。点検時期は、これまでの点検実績を参考にして定める（解説 3-2）。
- (5) 3種類ある支持ピンの型式の中で、回り止めピンが摩耗する懸念のある型式は「隙間ばめ型」だけであり、他の「冷やしばめ型」及び「かしめ型」では回り止めピンの摩耗の懸念はないため、点検対象は「隙間ばめ型」の回り止めピンのみとする（解説 1-2）。

第3章 点検及び評価

3.1 点検対象

点検対象は、「隙間ばめ型」の支持ピンの回り止めピンとする。点検対象本数は、回り止めピン全数とする。

3.2 点検方法

点検方法は、カメラ等を用いた目視による摩耗の有無やナットのピン穴からの回り止めピンの突き出し代の確認とする。(解説 3-1)。

3.3 点検時期

点検は、プラントをグループ分けし、以下の運転時間を目途に実施する(解説 3-2)。なお、グループ分けは過去に回り止めピンが脱落したプラントと比較し、支持ピンに作用する流体力が同等、あるいはそれより大きいプラントをグループ1、過去に回り止めピンが脱落したプラントより支持ピンに作用する流体力が小さいプラントをグループ2とする。表 3-1 に、各プラントグループの点検時期と各グループに属するプラントを示す。

表 3-1 各プラントグループの点検時期と属するプラント

| プラントグループ名 | 点検時期 | 各グループに属するプラント※ |
|------------|------------------------------|--|
| プラントグループ 1 | 前回点検から運転時間が 3万時間を目途に点検を実施 | 川内 1, 2 号機 高浜 3, 4 号機 敦賀 2 号機 大飯 3, 4 号機 泊 1, 2 号機 |
| プラントグループ 2 | 前回点検から運転時間が 5万時間を目途に点検を実施 | 高浜 1, 2 号機 |
| 点検対象外のプラント | - | 伊方 3 号機 玄海 3, 4 号機 泊 3 号機 美浜 3 号機 |

※本ガイドライン第1版発行時点において、供用期間中のプラントのみを記載する。

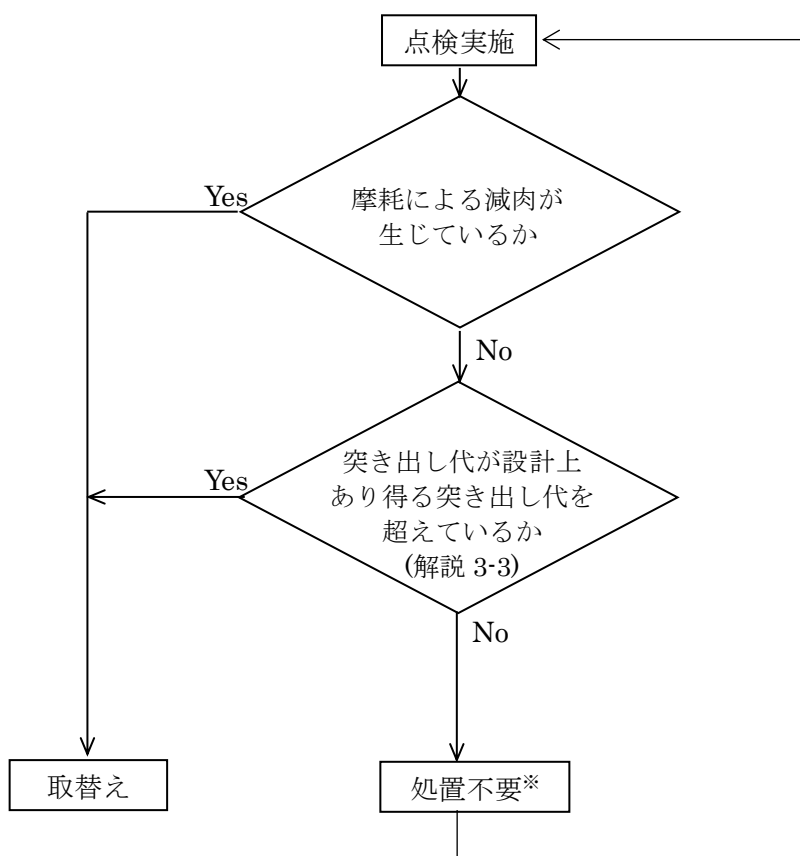
3.4 評価

点検の結果、摩耗による減肉が確認された場合や回り止めピンのピン穴からの突き出し代が設計上あり得る突き出し代(解説 3-3)を超えている場合は第4章に記載の処置を行う。

第4章 予防保全及び補修

点検の結果, 摩耗により回り止めピンが減肉している, 又は回り止めピンのピン穴からの突き出し代が設計上あり得る突き出し代を超えている場合は, 当該回り止めピンを支持ピンごと一式取替える(解説 4-1)。

回り止めピンの点検, 評価及び予防保全のフローを図 4-1 に示す。



※予防保全として取替えを行ってもよい(例えば, 前回点検時から突き出し代が変化しており, 回り止めピンが動いていることが確認できる場合など)

図 4-1 回り止めピンの点検, 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

支持ピンは、GT を上部炉心板に対して、水平方向に位置決めする機能を有する。また、回り止めピンは、支持ピン本体とナットを回り止め（緩み止め）する機能を有する（付録 A）。本ガイドラインは、当該事象が、支持ピンや回り止めピン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、もって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 支持ピンの回り止めピンの選定理由

回り止めピンは、1 次冷却材流れによる流動振動によって摩耗を生じ、ルースパーツ化することで、ほかの機器の正常な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、取替えなどの予防保全を実施する必要がある。

このため、本ガイドラインは、回り止めピンの摩耗事象を対象に、点検方法、点検時期、予防保全措置等を定めている。

なお、回り止めピンには、ナットに隙間ばめで設置されるタイプと冷やしばめで設置されるタイプがあり、本ガイドラインでは、摩耗が想定される前者のみを対象とする。また、摩耗に対する抜本的対策として、かしめによる回り止めが採用されているプラントもある（付録 B）。

解説 2-1 支持ピン及び回り止めピンの機能

回り止めピンは、支持ピンとナットの回り止め(緩み止め)の機能を有する。支持ピンが水平方向に位置決めしている GT は、原子炉の緊急停止機能を持つ制御棒クラスタを案内する機能を有するため、安全機能の重要度分類としては、MS-1（異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器）に該当する^[1]。

解説 2-2 回り止めピンに想定される経年劣化事象及び運転経験

3 種類ある支持ピンの型式の中で、回り止めピンとナットのピン穴を隙間ばめしているもの（付録 B）は、はめあいの関係によっては隙間が生じ、炉内の 1 次冷却材流れにより回り止めピンが流動振動し、お互いに衝突、接触、摺動することで回り止めピンとピン穴間、及び止め金とキー溝間に摩耗が生じる懸念があることが知られている。このため、本ガイドラインでは、回り止めピンの経年変化事象として摩耗を想定する。

回り止めピンの摩耗は、国内において 1991 年に初めて確認され、その後、同様の事象が確認されている（付録 D）。これらの事例を受けて、回り止めピンの点検が実施され、結果に応じて取替えが実施されてきている。本ガイドラインの第 1 版発行時点では、国内において述べ 80 回程度の点検が実施されており、このうち 2 回、回り止めピンの摩耗が確認された支持ピンが取替えられている。

解説 2-3 回り止めピン摩耗時の影響

回り止めピンの摩耗が顕著に進行し、かかり代が少なくなることで、回り止めピンが支持ピンから脱落した場合には（付録 C）、回り止めピンはルースパーツ化し、各種機器を損傷させる等の問題を発生させる可能性がある。

ただし、回り止めピンが脱落しても直ちにナットが緩むわけではないこと、ナットが脱落しても直ちに支持ピンが抜けるわけではないこと、また 1 本の GT につき 2 本の支持ピンで位置決めしていることから、回り止めピンの摩耗により、支持ピンの GT を位置決めする機能が失われる可能性は低いと考えられる。

解説 3-1 点検方法

具体的な要件は、付録 E に記載する。

解説 3-2 点検周期

摩耗量推定に係る一般式(Archard の式)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」、「ワークレート」、「時間」に依存する。各プラントの「ワークレート」が「流体力」と比例しているとして、モックアップを用いた流動試験^[2]により、「流体力」を計測した。ここで、「比摩耗量」は、ナットとピン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」に比例する。したがって、国内プラントを支持ピンに作用する流体力でグループ分けしたうえで、グループごとに点検周期を定める(付録 F)。

点検周期は、1991 年に回り止めピンの脱落が発見されて以来、脱落事象が発生したプラントと流体力が同等、又は大きいプラントでは、3 サイクル以内に 1 回、脱落事象が発生したプラントより流体力が小さいプラントでは、5 サイクル以内に 1 回の点検により、保全が実施されてきた。これらの点検実績を参考にし、1 サイクルが、調整運転を含めて 14 か月と想定すると、1 サイクルの運転時間は約 1 万時間となるので、これまで 3 サイクル以内に 1 回の点検が実施されてきたプラントでは、3 サイクルに相当する、「前回点検から運転時間が 3 万時間」を目途に点検を実施し、これまで 5 サイクル以内に 1 回の点検が実施されてきたプラントでは、5 サイクルに相当する、「前回点検から運転時間 5 万時間」を目途に点検を実施する(付録 G)。

解説 3-3 設計上あり得る突き出し代

回り止めピンには、止め金のキー部と支持ピン上部のキー溝との隙間を起因とする、ピン穴からの突き出しが発生し得る。この突き出しの最大値(設計上あり得る突き出し代)は回り止めピンと止め金のキー部の取り付け方位によって変化する(付録 H)。この突き出し代を超えている場合には、回り止めピンとナットのかかり代が少なくなっていると考えられるため、当該支持ピンの取替えを実施する。

解説 4-1 回り止めピンの予防保全及び補修

摩耗による回り止めピンの減肉が確認された，又は回り止めピンのピン穴からの突き出し代が設計上あり得る突き出し代を超えていた場合，当該回り止めピンを支持ピンごと一式取替える。

また，「冷やしばめ型」や「かしめ型」の支持ピンは回り止めピンの摩耗の懸念がないことから，予防保全として，支持ピン全数を回り止めピンの摩耗の懸念のない型式（付録 B）に取替えることで，回り止めピンの摩耗，脱落のリスクを抜本的に排除することが出来る。

付録 A 支持ピン及び回り止めピンの概要

1. 支持ピンの概要

支持ピンは、GT 底板に設置される部品であり、GT を上部炉心板に対して水平方向に位置決めする機能を有する。一方で、鉛直方向には、GT と上部炉心支持柱との熱膨張差を吸収できるように、拘束していない。なお、1 本の GT を 2 本の支持ピンで位置決めする。図 A-1 に支持ピンの構造を示す。

2. 回り止めピンの概要

回り止めピンは、支持ピン本体とナットを回り止め(緩み止め)する機能を有する。外径約 6mm、材質は SUS304 の円柱状の部品であり、1 プラントあたり、およそ 60～120 本設置されている (GT の設置体数による)。

支持ピンとナットの回り止めは回り止めピン、止め金、支持ピン上部のキー溝により行われる (図 A-2)。支持ピンの組み立ての手順は以下のとおりである。

- (1) 支持ピンを GT 底板に設置後、ナットを締め込む
- (2) 支持ピン上部のキー溝に止め金を設置する (止め金下面のキーをキー溝にはめ込む)
- (3) ナットのピン穴に回り止めピンを挿入する
- (4) 止め金と回り止めピンを溶接する

上記の手順によって、支持ピンと止め金がキー・溝構造により固定され、ナットのピン穴に回り止めピンが差し込まれることで、両者が固定される。最後に、止め金と回り止めピンを溶接することで、支持ピンとナットが回り止めされる。

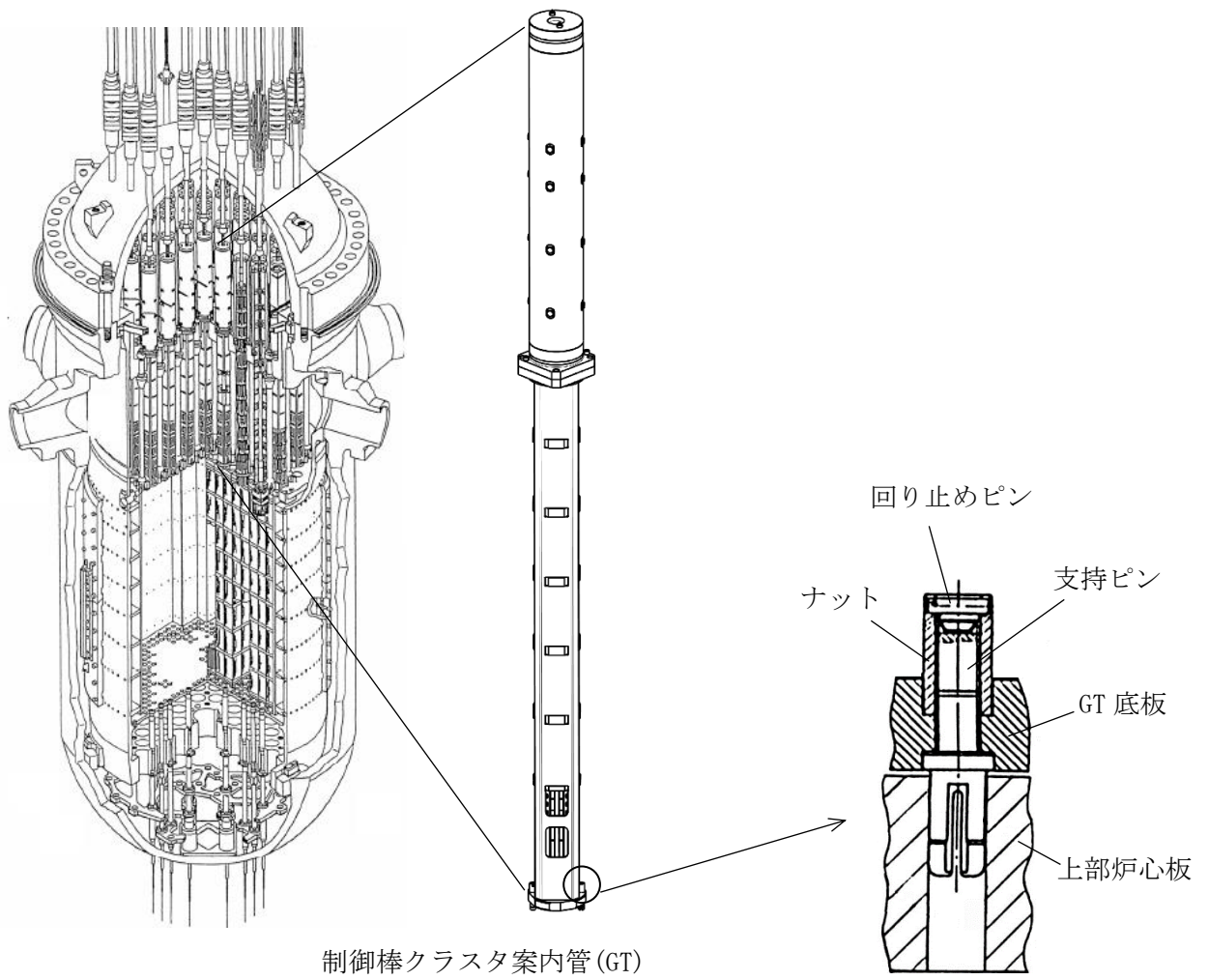
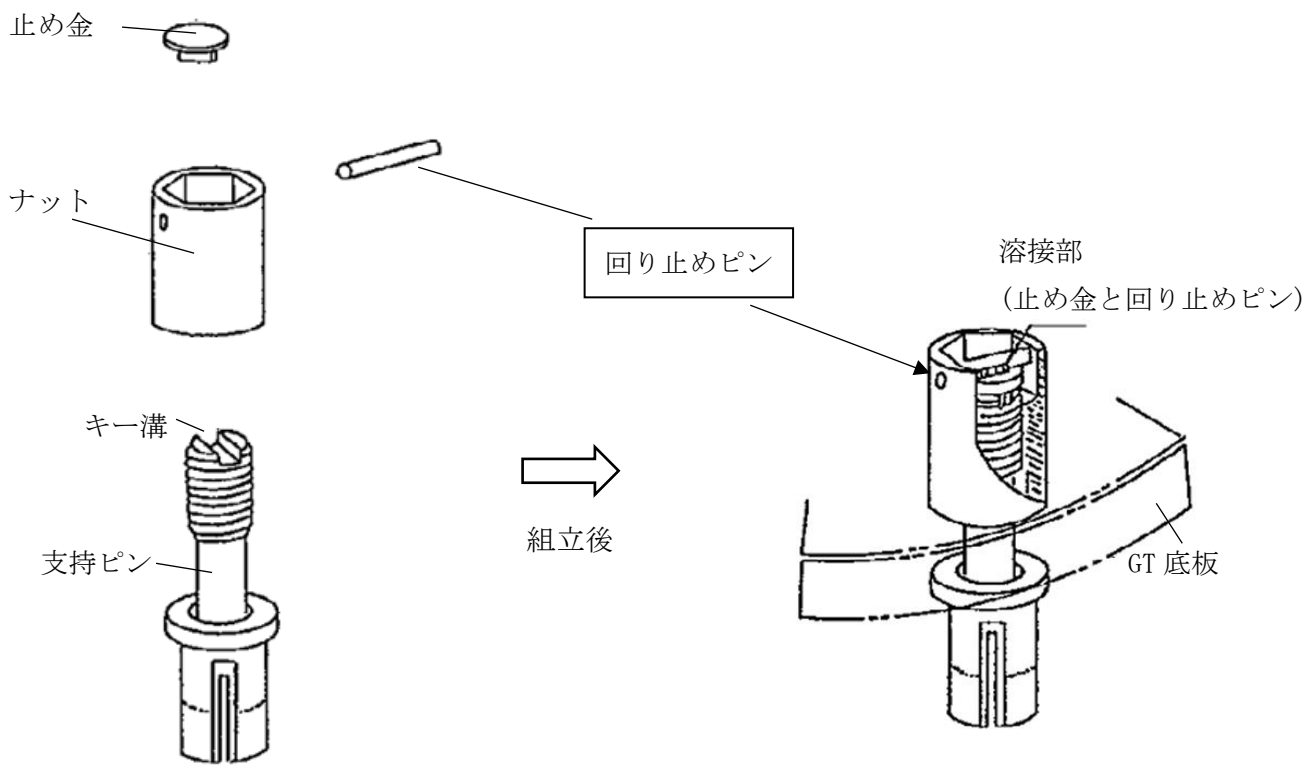


図 A-1 支持ピンの構造



支持ピンの回り止め構造

図 A-2 回り止めピンの構造

付録 B 支持ピンの型式

支持ピンには「隙間ばめ型」「冷やしばめ型」「かしめ型」の 3 種類の型式が存在する(表 B-1)。

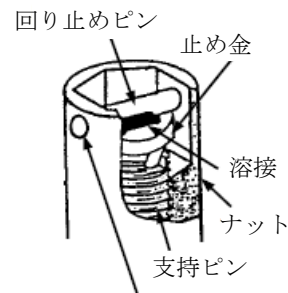
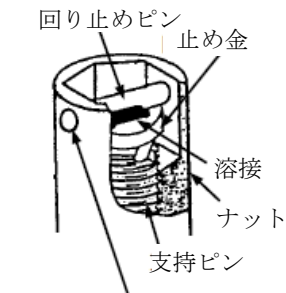
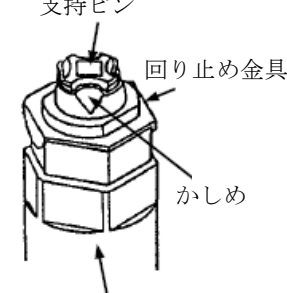
「隙間ばめ型」は、回り止めピンとナットのピン穴の間に隙間が生じ得る構造である。隙間が生じた場合、1 次冷却材流れによって回り止めピンが流動振動し、回り止めピンとピン穴が衝突、接触、摺動することで、摩耗が生じ得る。

「冷やしばめ型」は、回り止めピンをナットに対して、冷やしばめによって固定するものであり、回り止めピンとピン穴の間に隙間のない構造であるため、1 次冷却材流れにより、回り止めピンとピン穴が衝突、接触、摺動することがないため、回り止めピンの摩耗の懸念がない。

「かしめ型」は、抜本的な対策として、ナット上部に設置した回り止め金具の外側をナットに、内側を支持ピン上部のかしめ溝にかしめることにより、ナットの回り止めをしているため、摩耗の懸念がない。

したがって、摩耗の懸念がある、「隙間ばめ型」の支持ピンの回り止めピンを、本ガイドラインの対象とする。

表 B-1 支持ピンの型式

| 回り止めタイプ | 隙間ばめ型 | 冷やしばめ型 | かしめ型 |
|----------|---|---|---|
| 構造 |  <p>ナット vs 回り止めピン: <u>隙間ばめ</u></p> |  <p>ナット vs 回り止めピン: <u>冷やしばめ</u></p> |  |
| 摩耗懸念 | あり | なし (摩耗対策済み) | なし (摩耗対策済み) |
| ガイドライン対象 | ○ | — | — |
| 対象プラント | 泊 1 ^{※1} /2 高浜 1 ^{※1} /2/3/4 川内 1/2 大飯 3/4 敦賀 2 | 伊方 3 玄海 3/4 | 泊 3 美浜 3 ^{※2} |

※1 過去に摩耗による減肉が生じたため一部「かしめ型」に取替え

※2 炉内構造物取替え後

付録C 回り止めピンの摩耗事象

回り止めピンがナットのピン穴に隙間ばめで固定されている、「隙間ばめ型」の支持ピンでは、回り止めピンとナットのピン穴、止め金のキー部とキー溝には隙間があるため、回り止めピンが流動振動し、回り止めピンとピン穴が衝突、接触、摺動することで摩耗が進行することがある。摩耗が過度に進行した場合、かかり代（図 C-1）が少なくなることで、回り止めピンは脱落し、ルースパーツ化に至る。図 C-2 に摩耗進展の様子を示す。

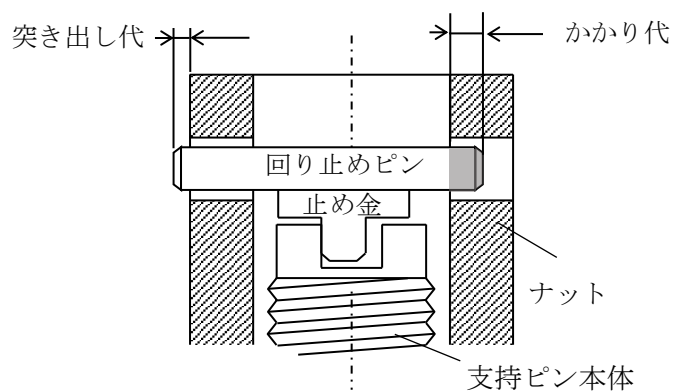


図 C-1 かかり代（イメージ）

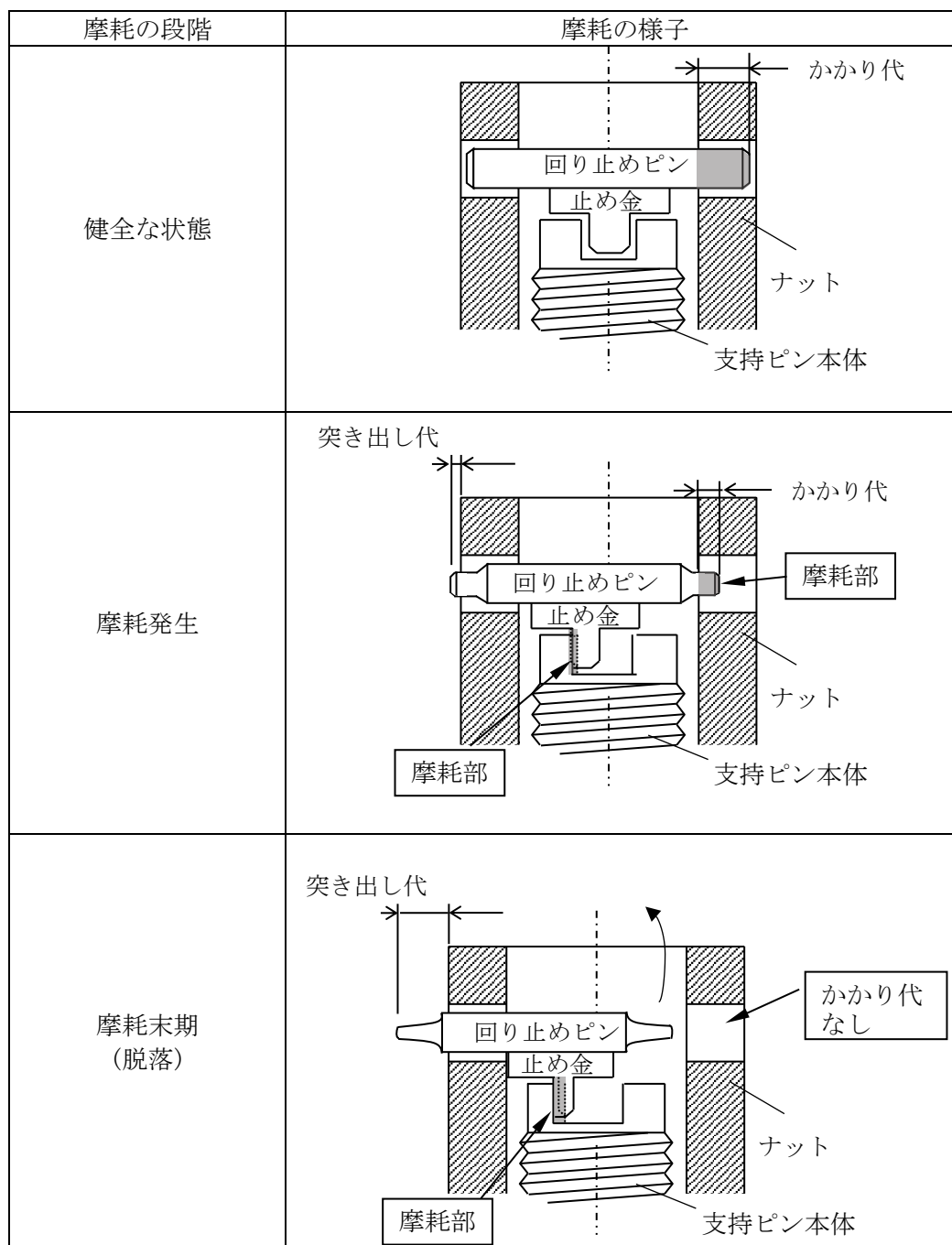


図 C-2 摩耗進展の様子 (イメージ)

付録 D 過去の運転経験

1991 年に国内プラントにて、定期検査中に、下部炉心板上に回り止めピン、及び止め金が発見された^[3]。この事例をうけ、1994 年に、上記の脱落事象に至るまでの運転時間に基づき、5 サイクルに 1 回の頻度で点検が実施されるものとして、通商産業省(現在の経済産業省)に説明された。また、支持ピンに作用する 1 次冷却材流れによる流体力が、脱落事象の発生したプラントと同等以上のプラントについては、3 サイクルに 1 回の頻度で点検を実施することになった。その後、継続的に点検が実施されてきている。

当該点検により、回り止めピンの摩耗が 2 回発見されたが、いずれも脱落に至る前に支持ピンが取替えられている^{[4][5]}。

なお、海外プラントにおける摩耗事象に係る情報は得られていない。

付録 E 回り止めピン摩耗の点検方法

回り止めピンの摩耗は, 上部から回り止めピンをカメラ等を用いて目視することで確認する。

点検時の目視に係る要件は, 以下のとおりとする。

- ・ 回り止めピンの摩耗による減肉の有無を確認すること
- ・ 回り止めピンのナットからの突き出し代を確認すること (図 E-1)
- ・ 対象の支持ピンのアドレス及び支持ピンの取り付け方位 (2 本のうちのいずれか) を記録すること

図 E-2 に過去に確認された, 摩耗した回り止めピンの様子を示す。

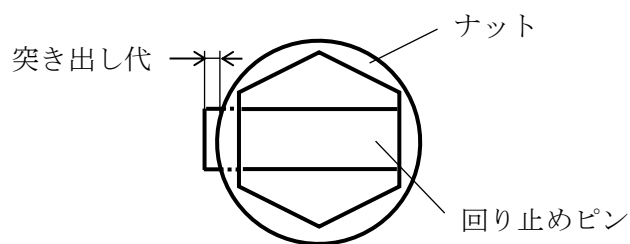


図 E-1 上から見た突き出し代

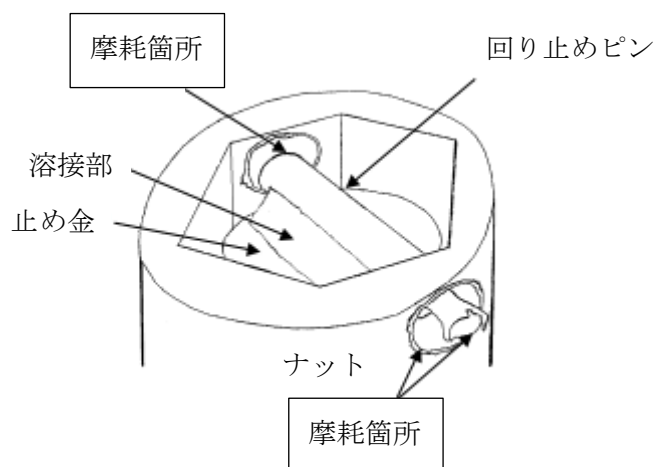


図 E-2 摩耗した回り止めピン (NUCIA より抜粋)^[4]

付録 F 流体力測定試験及びプラントのグループ化

1. 支持ピンの流体力測定試験の概要

プラントタイプごとの回り止めピンに作用する 1 次冷却材流れによる流体力を測定するために、支持ピンを模擬した流動試験が過去に実施されている^[2]。概要は次のとおりである。

(1) 試験対象範囲

流体力測定試験の試験対象範囲を図 F-1 に示す。GT は囲板の有無によって 2 種類あり、それぞれ試験対象範囲は次のとおりである。

a) 囲板のあるタイプ (17×17A, 及び AS タイプ)

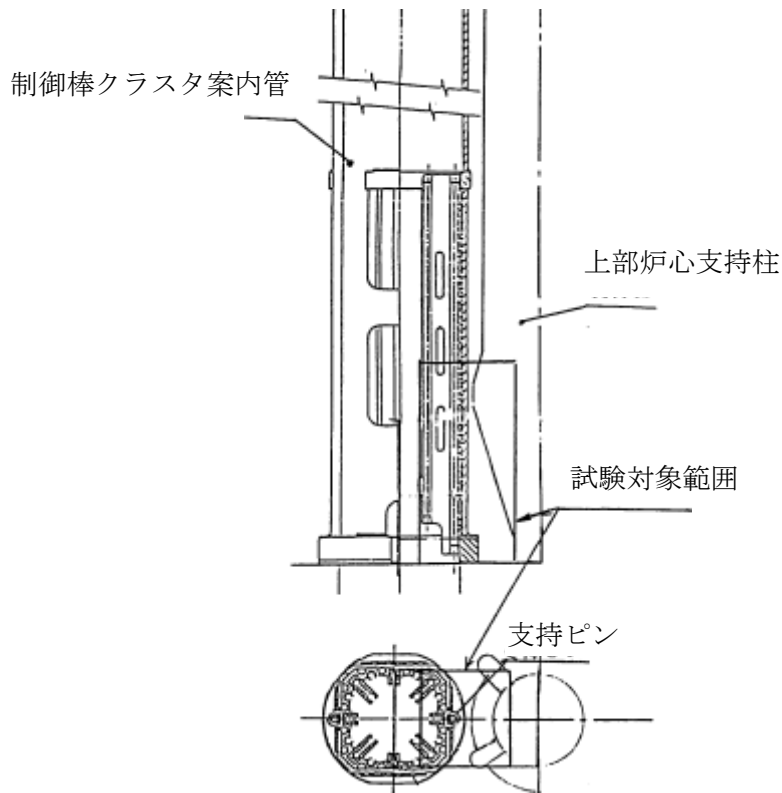
i) 水平方向：GT の切欠きからの流れの影響を受けると予想されるため、切欠き窓からの流れを阻害しないと考えられる範囲

ii) 高さ方向：支持柱等が支持ピン付近の流れに影響しなくなると考えられる範囲

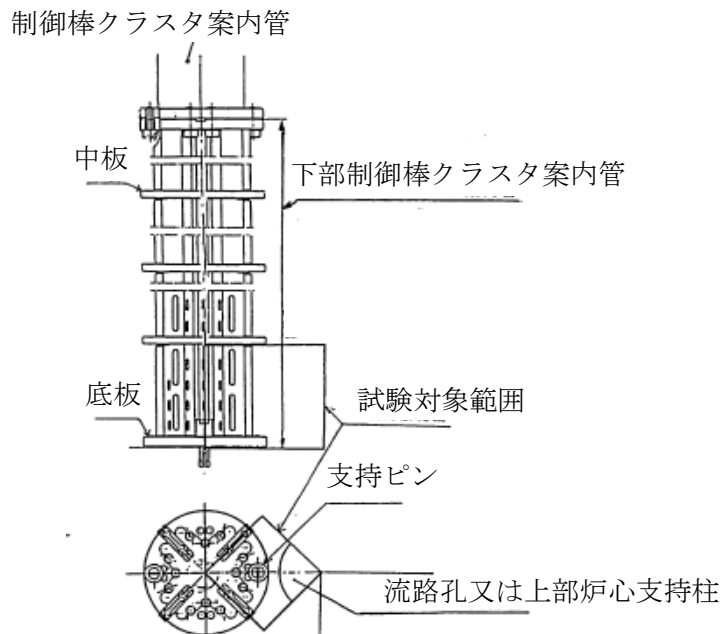
b) 囲板の無いタイプ (15×15 タイプ, 14×14 タイプ ITH 型, 及び FLAT 型)

i) 水平方向：囲板の無いタイプでの支持ピン付近の流れは、GT 側から見ると、支持ピンを中心に 90° に開いている鞘板の影響を強く受けると考えられるため、この範囲 (1/4 セクター) とこれに相対する上部炉心支持柱側を切り出した範囲

ii) 高さ方向：支持ピン付近の流れに影響しなくなると考えられる範囲



(a) 囲板のある GT タイプ (17×17A, 及び AS タイプ)
 図には 17×17A タイプを示す。



(b) 囲板の無い GT タイプ (15×15 タイプ, 14×14 タイプ ITH 型, 及び FLAT 型)
 図には 15×15 タイプを示す。

図 F-1 試験対象範囲(モックアップ作成範囲)

(2) 試験条件

試験は GT 型式, ループ数, GT と上部炉心板 (以後, UCP と称す) のギャップ (図 F-2) の組み合わせを変えた 9 条件で, それぞれ回り止めピンと GT 囲板のなす角度 α が 0° , 45° , 90° において, 回り止めピンにかかる流体力を測定している (17×17A のみ 0° , 30° , 90°)。試験条件を表 F-1 に示す。また, 回り止めピンと GT 囲板のなす角度 α を図 F-3 に示す。

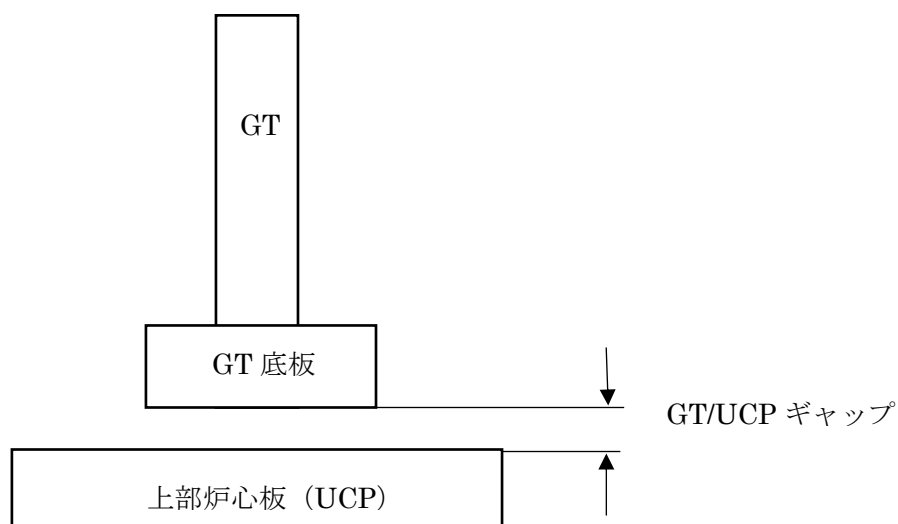


図 F-2 GT/UCP ギャップ

表 F-1 試験条件

| GT 型式 | ループ数 | GT/UCP ギャップ | 測定された回り止めピンと GT 囲板のなす角度 α |
|-----------------------|------|-------------|----------------------------------|
| 17×17A | 4 | 大 | 0° , 30° , 90° |
| 17×17AS | 4 | 小 | 0° , 45° , 90° |
| | | 大 | 0° , 45° , 90° |
| | 3 | 小 | 0° , 45° , 90° |
| | | 大 | 0° , 45° , 90° |
| 15×15 | 3 | 小 | 0° , 45° , 90° |
| 14×14FLAT 型 (12ft) | 2 | 小 | 0° , 45° , 90° |
| 14×14FLAT 型 (10ft) | 2 | 小 | 0° , 45° , 90° |
| 14×14ITH 型 | 2 | 小 | 0° , 45° , 90° |

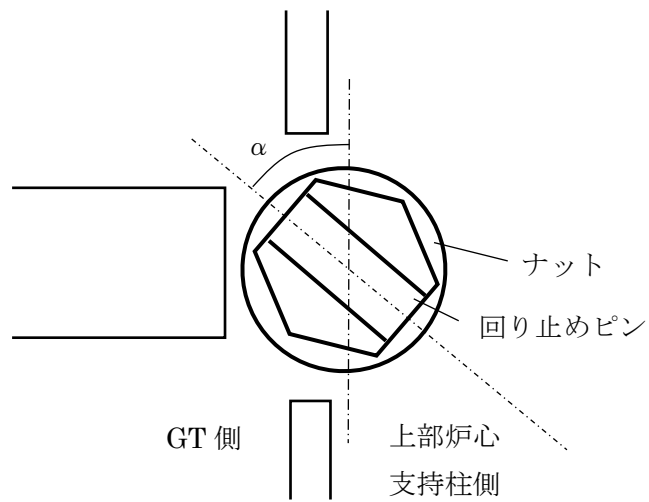


図 F-3 回り止めピンと GT 囲板のなす角度 α

(3) 試験結果

測定された各試験条件での回り止めピンに作用する流体力について図 F-4 に示す。流体力は GT 型式により異なる。GT 型式が 17×17A タイプで、回り止めピンと GT 囲板のなす角度 α が 30° の回り止めピンのみが脱落した。

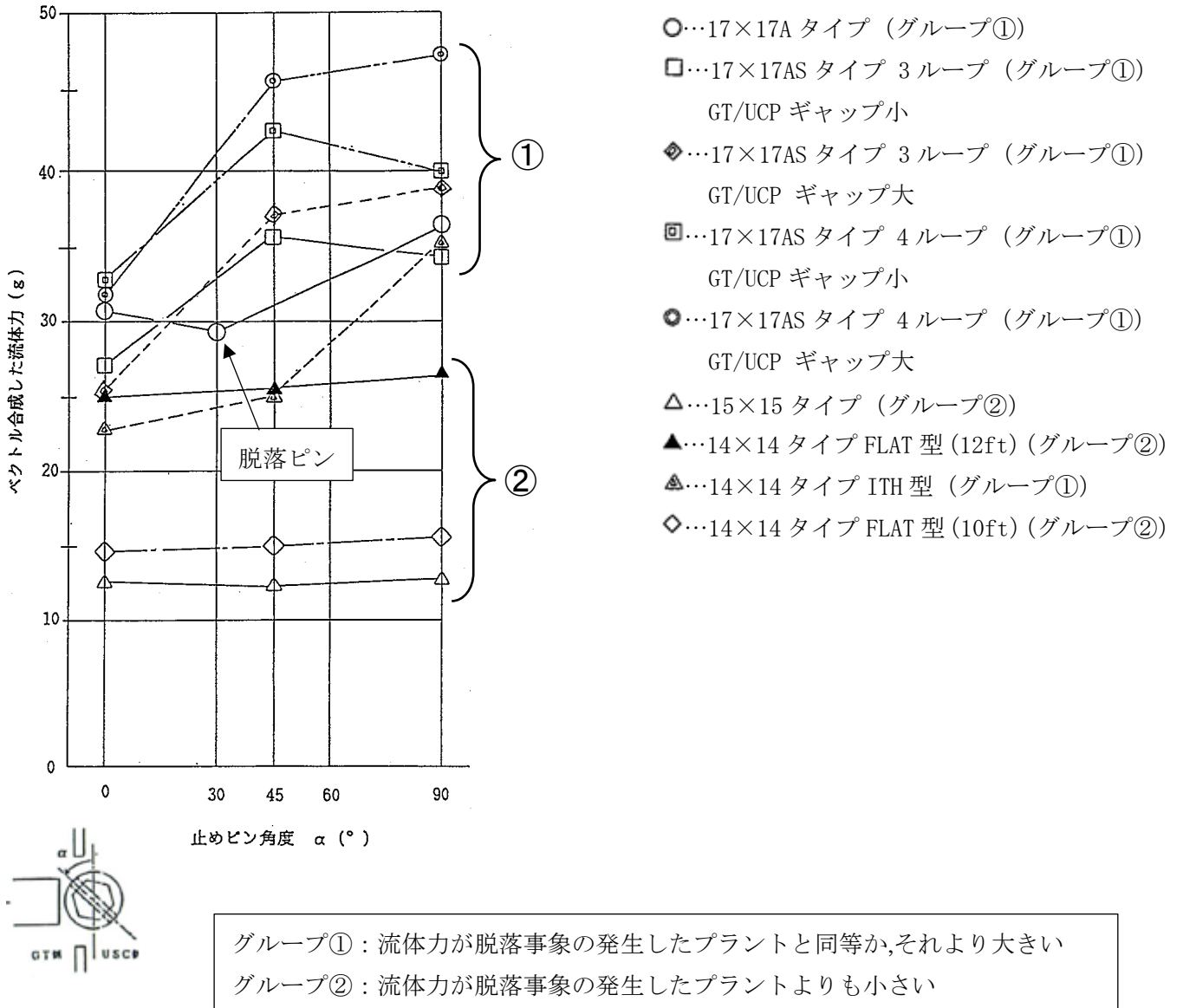


図 F-4 流体力測定試験結果

2. プラントのグループ化

流動試験の結果に基づいて、国内プラントをグループ分けしたものを表 F-2 に示す。回り止めピン脱落事象が発生したプラントと流体力が同等以上のプラントをグループ①、回り止めピン脱落事象が発生したプラントより流体力が小さいプラントをグループ②とする。

表 F-2 国内プラントのグループ分け

| グループ | プラント | 備考 |
|------|---|-----------------------------------|
| ① | 川内 1 号機 川内 2 号機 高浜 3 号機 高浜 4 号機 敦賀 2 号機 大飯 3 号機 大飯 4 号機 泊 1 号機 泊 2 号機 | 回り止めピン脱落事象の発生したプラントと流体力が同等以上のプラント |
| ② | 高浜 1 号機 高浜 2 号機 | 回り止めピン脱落事象の発生したプラントより流体力が小さいプラント |

※「隙間ばめ型」の支持ピンのプラントのみ記載

付録 G 点検周期の設定

回り止めピンの摩耗点検は 1990 年代より、現在に至るまで実施されてきており、その点検周期はプラントグループごとに以下のとおりである。また、現在に至るまで、回り止めピンの摩耗は以下の点検周期により、脱落に至るまでに回り止めピンの摩耗を確認できている(付録 D)。

- ・プラントグループ 1 : 3 サイクル以内に 1 回
- ・プラントグループ 2 : 5 サイクル以内に 1 回

上記のとおり、従来の点検周期はサイクル回数を基準とされていたが、サイクル長さは変動し得るため、本ガイドラインでは運転時間を基準に点検周期を規定する。

回り止めピンの摩耗は調整運転中も進行し得るため、調整運転も含めた 1 サイクルを 14 か月と想定すると、点検周期は以下のように計算される。

- ・プラントグループ 1 : $365.25 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \div 12 \text{ か月} \times 14 \text{ か月} \times 3 \text{ サイクル}$
= 約 3 万時間
- ・プラントグループ 2 : $365.25 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \div 12 \text{ か月} \times 14 \text{ か月} \times 5 \text{ サイクル}$
= 約 5 万時間

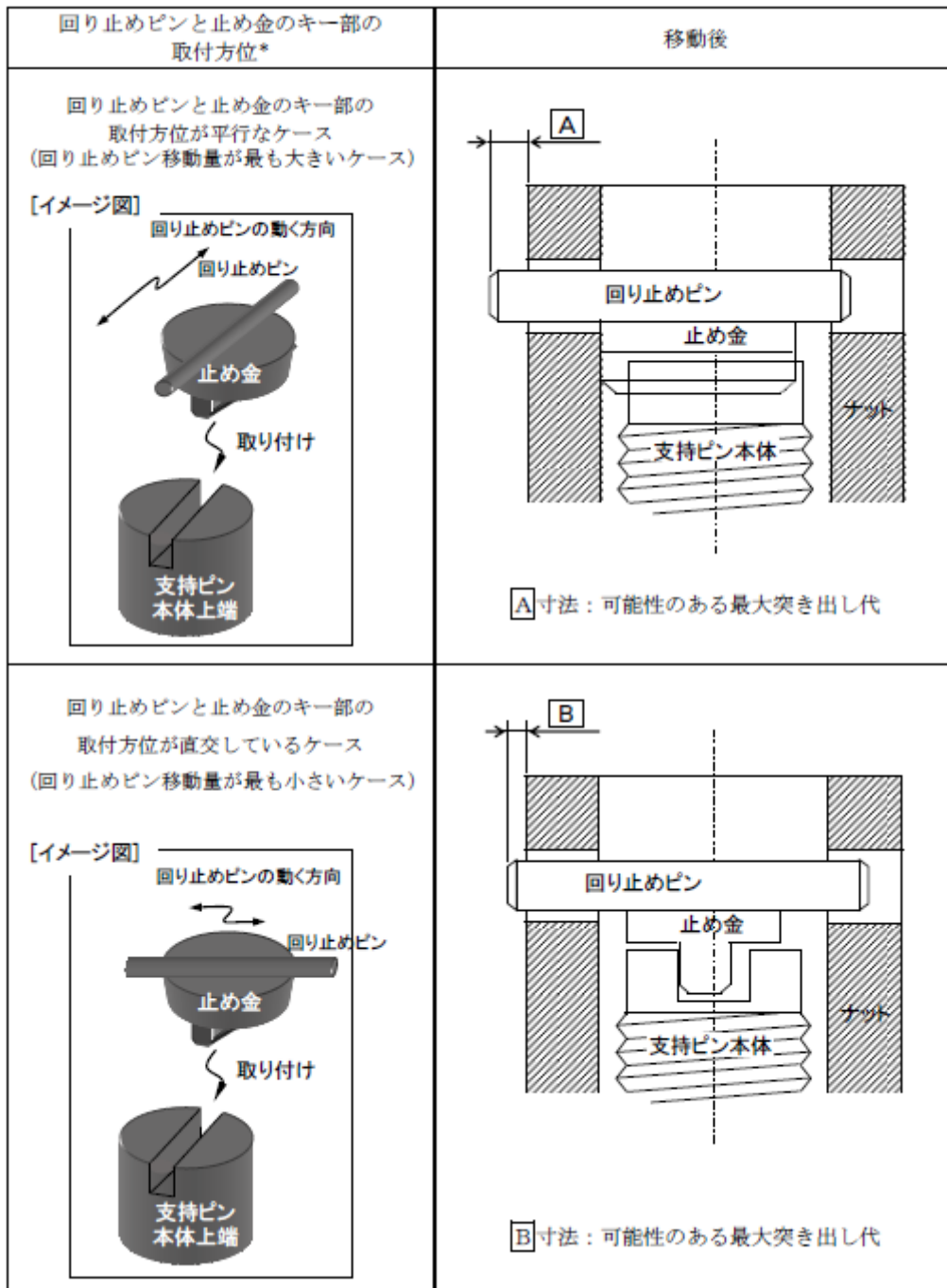
したがって、点検はプラントグループごとに、前回点検から以下の運転時間を目途に実施するものとする。

- ・プラントグループ 1 : 3 万時間
- ・プラントグループ 2 : 5 万時間

付録 H 突き出し代に対する取替えのクライテリア

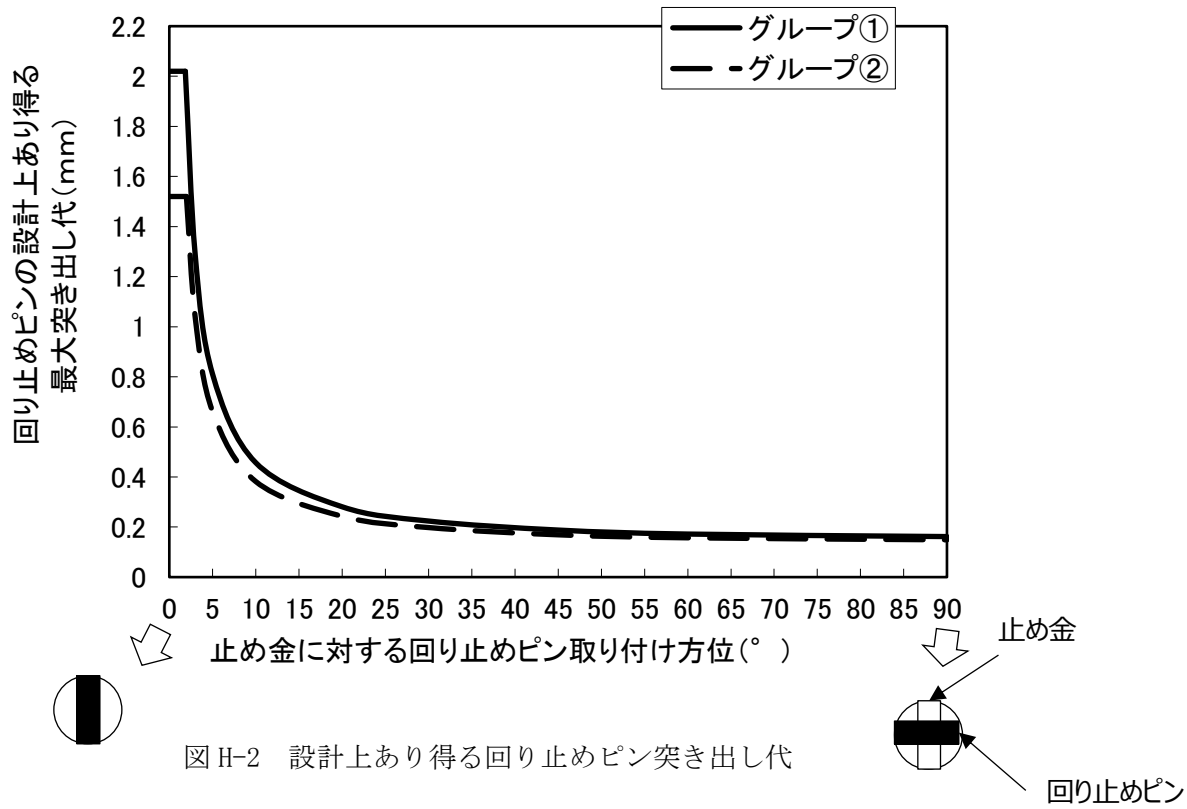
回り止めピンには、止め金周りの隙間を起因とする、ピン穴からの突き出しが発生する。この突き出しの最大値(設計上あり得る突き出し代)は回り止めピンと止め金の取り付け方位によって変化する。取り付け方位による突き出し代の違いを図 H-1 に示す。

また、図 H-2 に回り止めピンの設計上あり得る最大突き出し代と止め金に対する回り止めピン取り付け方位の関係を示す。回り止めピンの設計上あり得る最大突き出し代を超えると、回り止め構造の一部の摩耗により、回り止めピンとナットのかかり代が少なくなり、今後回り止めピンの脱落が発生しやすい支持ピンであると判断できるため、取替えのクライテリアは設計上あり得る最大の突き出し代とする。



*：回り止めピンと止め金のキー部の取り付け方位は、支持ピン本体とナットのねじ込み量及びねじ切り加工の始点によって支持ピンごとに異なる。

図 H-1 取り付け方位による突き出し代の違い



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「隙間ばめ型」の支持ピンの回り止めピン(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。支持ピンと回り止めピンの機能、想定劣化事象は次のとおり。

- 支持ピンの機能：制御棒クラスタ案内管（GT）を上部炉心板に対して水平方向に位置決め
- 回り止めピンの機能：支持ピン本体とナットを回り止め
- 想定劣化事象：回り止めピンの流動振動による摩耗

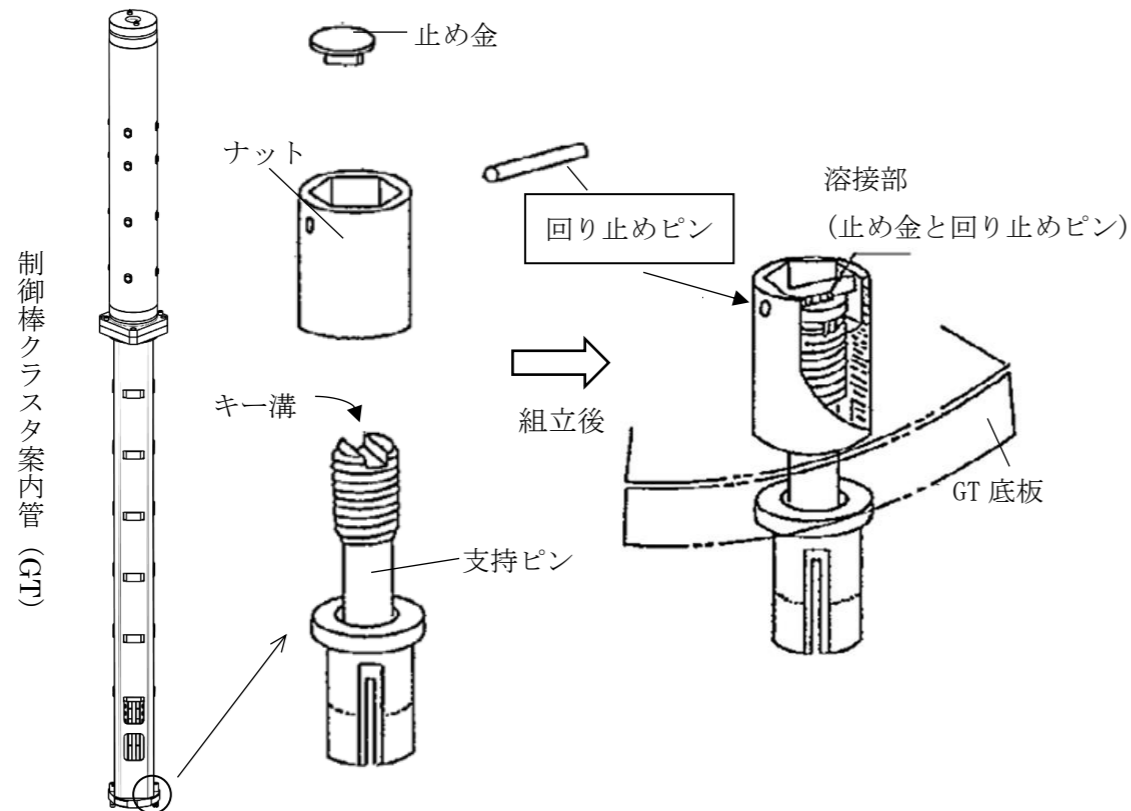


図1 支持ピンと回り止めピン概略図

2. 点検及び評価

2.1 点検対象

点検対象は、「隙間ばめ型」の支持ピンの回り止めピンとする。点検対象本数は、回り止めピン全数とする。

2.2 点検方法

点検方法は、目視による摩耗の有無やナットのピン穴からの回り止めピンの突き出し代の確認とする。

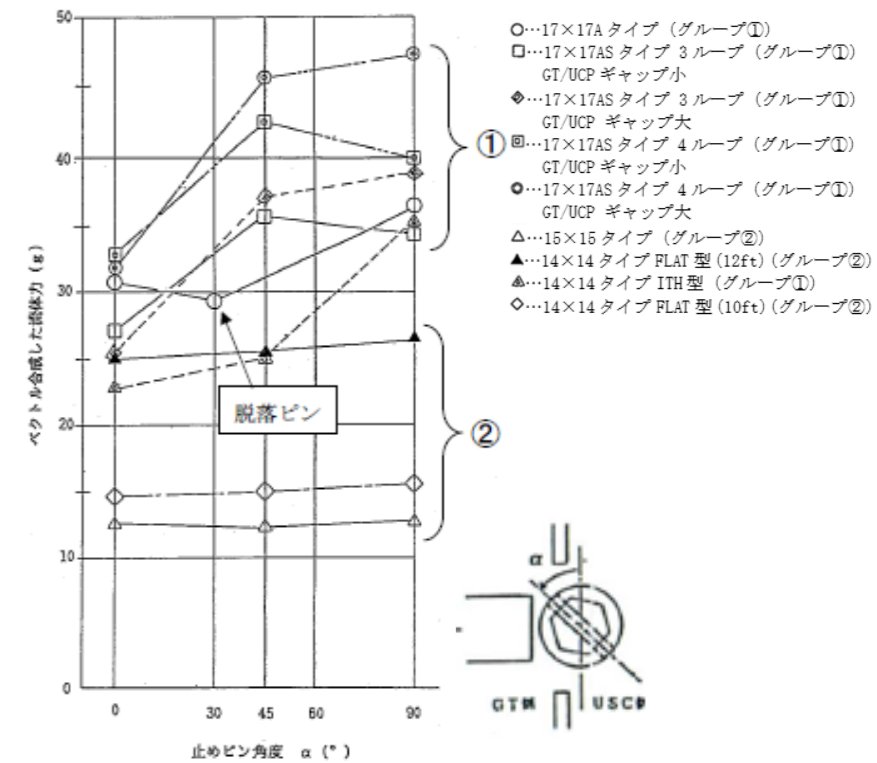
2.3 点検時期

点検は、表1に示すプラント運転時間を目途に実施する。なお、プラントグループは支持ピンに作用する1次冷却材の流体力の大小(図2)で分けられている。

表1 プラントグループごとの点検周期

| グループ | プラント | 点検周期* |
|-------|---|-------|
| ① | 川内1号機 川内2号機 高浜3号機 高浜4号機 敦賀2号機 大飯3号機 大飯4号機 泊1号機 泊2号機 | 3万時間 |
| ② | 高浜1号機 高浜2号機 | 5万時間 |
| 点検対象外 | 伊方3号機 玄海3号機 玄海4号機 泊3号機 美浜3号機 | — |

※これまでの点検周期を基に規定されている。
 プラントグループ①：3サイクル以内に1回
 プラントグループ②：5サイクル以内に1回



グループ①：流体力が脱落事象の発生したプラントと同等か、それより大きい
 グループ②：流体力が脱落事象の発生したプラントよりも小さい

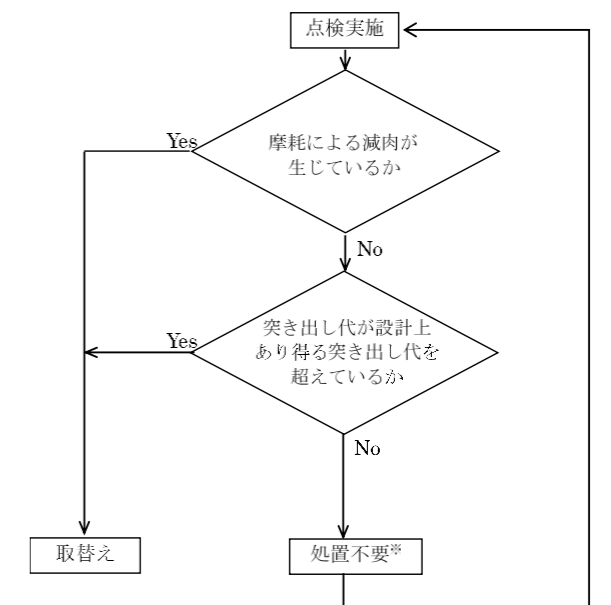
図2 流体力測定試験

3. 予防保全及び補修

点検の結果、摩耗により回り止めピンが減肉している、又は回り止めピンのピン穴からの突き出し代が設計上あり得る突き出し代を超えている場合、当該回り止めピンを支持ピンごと一式取替える。

回り止めピンの点検、評価及び予防保全のフローを図3に示す。

また、「冷やしばめ型」や「かしめ型」の支持ピンは回り止めピンの摩耗の懸念がないことから、予防保全として、支持ピン全数を回り止めピンの摩耗の懸念のない型式に取替えることで、回り止めピンの摩耗、脱落のリスクを抜本的に排除することが出来る。



※予防保全として取替えを行ってもよい(例えば、前回点検時から突き出し代が変化しており、回り止めピンが動いていることが確認できる場合など)

図3 回り止めピンの点検、評価及び予防保全のフロー

- [1] 原子力安全委員会, 発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針, 平成2年8月30日
- [2] 1991年5月 電力共研『制御棒クラスタ案内管支持ピン回り止め金具の健全性評価に関する研究』
- [3] NUCIA, 制御棒クラスタ案内管支持ピン回止め金具の脱落について, 1991-関西-T001
- [4] NUCIA, 制御棒クラスタ案内管支持ピン (ナット、止めピン) 摩耗, 2004-関西-M002
- [5] NUCIA, 泊発電所1号機制御棒クラスタ案内管支持ピン (ナット、止めピン) 摩耗について, 2009-北海道-M009

PWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン
[制御棒クラスター案内管 支持ピン回り止めピン]
(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。