

BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン  
[ジェットポンプ]  
(第5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「BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン[ジェットポンプ]（第5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

# BWR炉内構造物点検評価ガイドライン

[ジェットポンプ]

(第5版)

2024年7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及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に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。

2024年7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

# BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン

## 改訂履歴

ガイドライン名：ジェットポンプ

改訂年月	版	改訂内容	備考
2002年3月	初版発行		
2012年3月	第2版	未点検部位の取り扱い見直し	JANTI-VIP-14 第2版
2018年7月	第3版	付録N追加と全体構成見直し	JANSI-VIP-26 第3版
2021年12月	第4版	点検の考え方の明確化	JANSI-VIP-37 第4版
2024年7月	第5版	点検時期の延長に関する規定の追加， 亀裂進展速度式の見直し，運転経験の 更新，用語の統一	JANSI-VIPB-02-05 JANSI-VIP-54 第5版

※ 改訂の詳細は参考資料2参照

### 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

(2024年7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	若井 隆純	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	天野 洋一	関西電力 (株)
幹事	日下 純	日本原子力発電 (株)
委員	山崎 朗	北海道電力 (株)
委員	新藤 智也	東北電力 (株)
委員	中野 宏之	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	坂口 昌平	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

# BWR炉内構造物点検評価ガイドライン [ジェットポンプ]

## 目 次

第1章	目的及び適用	1
1.1	目的	1
1.2	適用	1
1.3	用語の定義	1
第2章	点検の考え方	1
第3章	点検対象	2
第4章	点検手法	5
第5章	点検範囲	7
第6章	点検時期	8
6.1	初回点検	8
6.2	再点検	9
第7章	点検結果の評価	10
7.1	ライザ管, インレットミキサ, ディフューザ	10
7.2	ジェットポンプビーム, ライザブレース, ブラケット	10
第8章	まとめ	13
解 説		
(解説 1-1)	ガイドライン制定の目的	18
(解説 1-2)	本ガイドラインの運用にあたって	18
(解説 2-1)	ジェットポンプの構造健全性及び機能維持の確保	19
(解説 2-2)	点検の考え方	22
(解説 2-3)	ジェットポンプに想定される経年劣化事象	22
(解説 4-1)	点検手法	24
(解説 4-2)	渦電流探傷試験	24
(解説 5-1)	溶接部の点検幅	25
(解説 6-1)	点検時期の延期	26
(解説 6-2)	SCC 予防保全技術	26
(解説 6-3)	初回点検	26

(解説 6-4)	健全部の長さ と 許容残存長さ の評価	28
(解説 6-5)	亀裂進展評価	29
(解説 6-6)	再点検周期の設定	30
(解説 7-1)	補修技術	31

## 付 録

付録A	ジェットポンプの各構造体に対する点検の考え方について	A-1
付録B	ジェットポンプの点検における接近性	B-1
付録C	SCC 亀裂進展速度式	C-1
付録D	溶接部の残留応力	D-1
付録E	ジェットポンプの管/管溶接部の SCC 亀裂進展評価	E-1
付録F	ローアリング/シュラウドサポートプレート溶接部の SCC 亀裂進展評価	F-1
付録G	ジェットポンプ溶接部の許容亀裂評価	G-1
付録H	管の溶接部の初回点検時期	H-1
付録I	炉心冷却水の漏えい量評価	I-1
付録J	国内プラントのジェットポンプビームの使用実績	J-1
付録K	想定する周方向初期亀裂の数等の検討	K-1
付録L	再点検周期の検討例	L-1
付録M	未点検範囲の亀裂想定法	M-1

## 参 考 資 料

- 参考資料 1 炉内構造物点検評価ガイドライン [ジェットポンプ] の概要
- 参考資料 2 改訂経緯

## 第1章 目的及び適用

### 1.1 目的

本ガイドラインは、沸騰水型原子力発電所（BWR）用機器のうち、原子力安全を確保する大前提のもと炉内構造物に要求される構造及び機能の健全性の維持、並びに損傷が与える安全機能への影響を踏まえた合理的な点検のあり方を示すことを目的とする。（解説 1-1，解説 1-2）

### 1.2 適用

本ガイドラインは、BWR 炉内構造物のうちジェットポンプに適用する。本ガイドラインの適用期間は、商業運転開始後の供用期間中とする。

### 1.3 用語の定義

本ガイドラインにおける用語の定義を以下に示す。

- ・点検健全部長さ：点検により異常が認められなかった溶接線の長さ。
- ・健全部の長さ：「点検健全部長さ」から想定亀裂及びその進展量並びに検出されたきずの進展量を減じた長さ。
- ・許容残存長さ：機能維持のために必要な溶接線の長さ。
- ・きず：非破壊試験の結果から判断される不完全部又は意図しない不連続部。
- ・亀裂：熱的又は機械的応力のために引き起こされる局所的な破断によって生じるすき間又は不連続部。特に、破壊力学による評価のため、きずをモデル化したものについても使用する。
- ・欠陥：判定基準を超え、不合格となるきず又は亀裂。

## 第2章 点検の考え方

点検の基本的な考え方を、以下に示す。

- (1) 原子炉に対してジェットポンプが持つ安全機能に着目し、ジェットポンプを構成する各種の構造体の経年劣化事象による損傷が安全機能の維持に影響を与えると考えられる構造体を点検対象とする。（解説 2-1，解説 2-2）
- (2) ジェットポンプに想定される経年劣化事象として、応力腐食割れ（以下、SCC と称する）及び高サイクル振動による摩耗を想定する。（解説 2-3）
- (3) 点検手法、点検範囲、点検時期は、点検対象の機能、形状及び材質、想定される経年劣化事象及び国内外の運転経験、損傷時の安全機能維持に対する影響等を考慮し、必要な手法、範囲、及び時期をそれぞれ選定する。

### 第3章 点検対象

ジェットポンプの点検対象と点検対象部位は、点検対象の機能、形状及び材質、想定される経年劣化事象及び国内外の運転経験、損傷時の安全機能維持に対する影響等を考慮し、ライザ管、インレットミキサ、ディフューザの接続部の周溶接部、ジェットポンプビーム、ライザブレース、ブラケット（ウエッジ、ウエッジボルト、及び位置決めボルト）と定めた。

点検対象部位を図3-1及び表3-1に示す。（解説2-3）

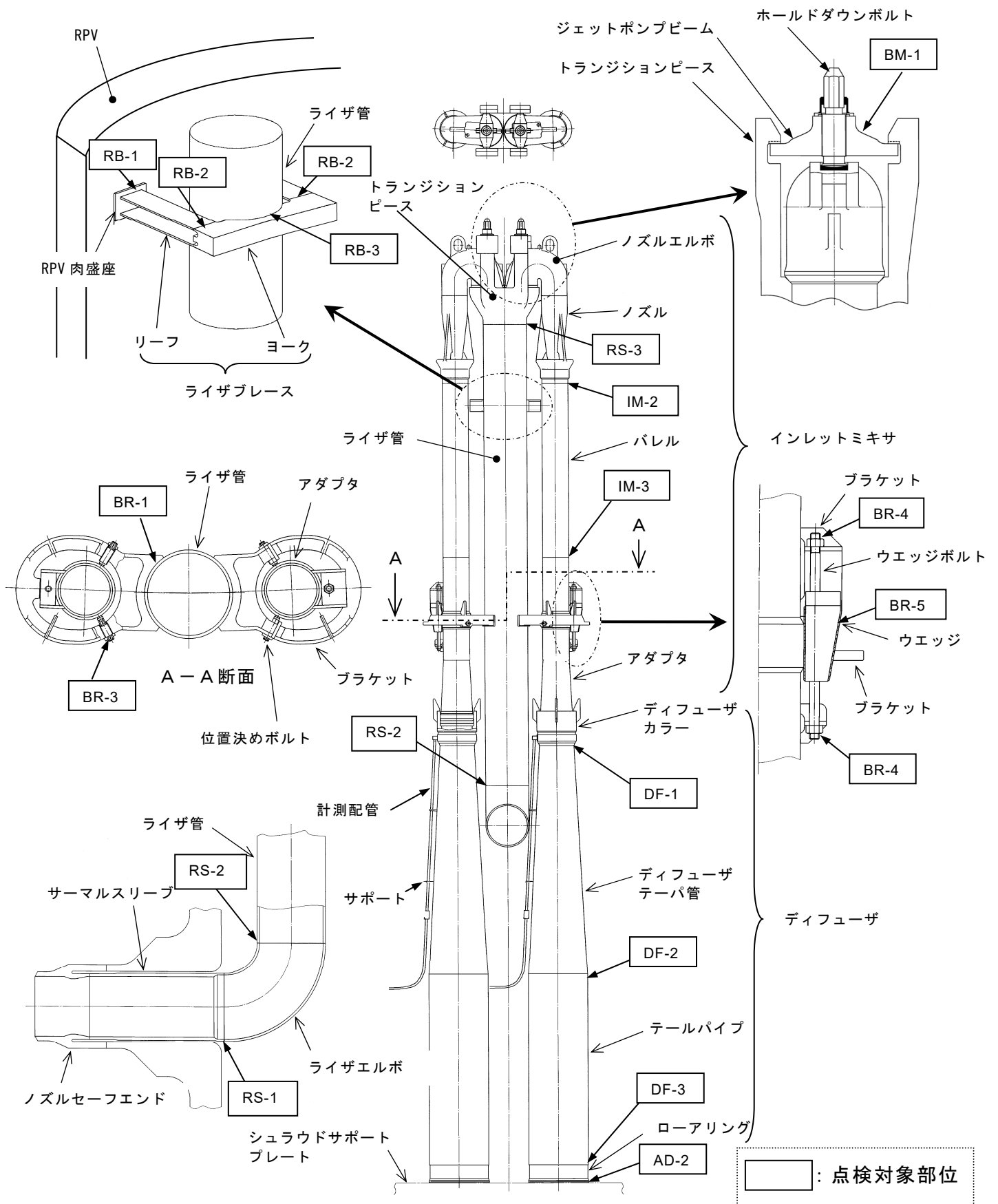


図 3-1 ジェットポンプの点検対象部位

表 3-1 ジェットポンプ点検対象部位

点検対象部位		点検対象 部位 No.
ライザ管	サーマルスリーブとライザエルボの溶接部	RS-1
	ライザエルボとライザ管の溶接部	RS-2
	ライザ管とトランジションピースの溶接部	RS-3
インレットミキサ	ノズルとバレルの溶接部	IM-2
	バレルとアダプタの溶接部	IM-3
ディフューザ	ディフューザカラーとディフューザテーパ管の溶接部	DF-1
	ディフューザテーパ管とテールパイプの溶接部	DF-2
	テールパイプとローアリングの溶接部	DF-3
	ローアリングとシュラウドサポートプレートの溶接部	AD-2
ジェットポンプビーム	ジェットポンプビーム	BM-1
ライザブレース	リーフと原子炉圧力容器肉盛座の溶接部	RB-1
	リーフとヨークの溶接部	RB-2
	ライザ管とヨークの溶接部	RB-3
ブラケット	ライザ管とブラケットの溶接部	BR-1
	位置決めボルト	BR-3
	ウエッジボルト	BR-4
	ウエッジ	BR-5

## 第4章 点検手法

ジェットポンプの点検手法は、点検対象の機能、形状及び材質、想定される経年劣化事象及び国内外の運転経験、損傷時の安全機能維持に対する影響等を考慮し、点検対象部位ごとに必要な手法を選択する。点検対象部位に対し適用する手法の例を表4-1に示す。(解説4-1)

点検に適用する非破壊試験は、目視試験 (VT)、超音波探傷試験 (UT) 又は渦電流探傷試験 (ET) が考えられる。

### (1) 目視試験 (VT)

#### a. MVT-1

表面のきずを検出するために行う試験であり、炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い実施する。

#### b. VT-3

機器の変形、芯合わせ不良、傾き、隙間の異常、ボルト締め付け部の緩み、部品の破損、脱落及び機器表面における異常を検出するために行う試験とする。

### (2) 超音波探傷試験 (UT)

超音波探傷試験は、JEAC4207「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程」にしたがって実施するか、又はこれに類する手法等を用いて実施してよい。

### (3) 渦電流探傷試験 (ET)

渦電流探傷試験は、JEAG4217「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」に準拠して実施するか、又はこれに類する手法を用いて実施してよい。(解説4-2)

表 4-1 ジェットポンプの点検手法の例

点検対象部位		点検対象 部位 No.	点検手法 の例*
ライザ管	サーマルスリーブとライザエルボの溶接部	RS-1	MVT-1
	ライザエルボとライザ管の溶接部	RS-2	MVT-1
	ライザ管とトランジションピースの溶接部	RS-3	MVT-1
インレットミキサ	ノズルとバレルの溶接部	IM-2	MVT-1
	バレルとアダプタの溶接部	IM-3	MVT-1
ディフューザ	ディフューザカラーとディフューザテーパ管の溶接部	DF-1	MVT-1
	ディフューザテーパ管とテールパイプの溶接部	DF-2	MVT-1
	テールパイプとローアリングの溶接部	DF-3	MVT-1
	ローアリングとシュラウドサポートプレートの溶接部	AD-2	MVT-1
ジェットポンプ ビーム	ジェットポンプビーム	BM-1	MVT-1
ライザブレース	リーフと原子炉圧力容器肉盛座の溶接部	RB-1	MVT-1
	リーフとヨークの溶接部	RB-2	MVT-1
	ライザ管とヨークの溶接部	RB-3	MVT-1
ブラケット	ライザ管とブラケットの溶接部	BR-1	MVT-1
	位置決めボルト	BR-3	VT-3
	ウエッジボルト	BR-4	VT-3
	ウエッジ	BR-5	VT-3

注 \*：必要に応じて他の点検手法による点検を実施してもよい。

## 第5章 点検範囲

ジェットポンプの点検範囲は、点検対象の機能、形状及び材質、想定される経年劣化事象及び国内外の運転経験、損傷時の安全機能維持に対する影響等を考慮し、点検対象部位ごとに定める。

溶接部の点検を行う場合は、溶接金属及びその両側の25mmの幅（熱影響部を含む）に対して行う。（解説5-1）

なお、技術的根拠がある場合は、別途、設定することができる。

また、前回の点検においてきずが検出された部位については、再点検を実施するものとする。

a. ライザ管、インレットミキサ、ディフューザ

点検範囲は、初回点検／再点検とも、接近可能な全ての範囲の溶接部とする。

b. ジェットポンプビーム

点検範囲は、初回点検／再点検とも、接近可能な全ての範囲の母材表面とする。

c. ライザブレース

点検範囲は、初回点検／再点検とも、接近可能な全ての範囲の溶接部とする。

d. ブラケット

ライザ管とブラケットの溶接部について、点検範囲は初回点検／再点検とも、接近可能な全ての範囲の溶接部とする。

位置決めボルト、ウエッジボルト、ウエッジについて、点検範囲は初回点検／再点検とも、廻り止め溶接部のきず及びボルトの緩み、並びにボルトの摩耗とする。

## 第6章 点検時期

ジェットポンプの初回点検と再点検は、点検対象の機能、形状及び材質、想定される経年劣化事象及び国内外の運転経験、損傷時の安全機能維持に対する影響等を考慮し、以下に示す時期に実施するものとする。

なお、技術的根拠がある場合は、別途、設定することができる。

また、点検時期を暦年で定めている点検対象においては、プラントが停止している期間分、点検時期を延期することができる。(解説 6-1)

点検範囲に対して、SCC の発生又は進展を抑制する予防保全工法を適用した場合には、その有効性を考慮して、点検周期を設定できる。(解説 6-2)

### 6.1 初回点検

#### a. ライザ管、インレットミキサ、ディフューザ

ライザ管、インレットミキサ、ディフューザの初回点検時期は、その材質によって、以下のように設定される。

##### i) 炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) の管の周溶接部

プラント供用開始時点からの実運転期間が 16 年を経過するまで。(解説 6-3)

##### ii) 炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) 製の管の周溶接部

プラント供用開始時点から暦年で 30 年を経過するまで。(解説 6-3)

##### iii) 溶加材が 182 合金又は 82 合金/改良 182 合金の管の周溶接部

プラント供用開始時点から暦年で 30 年を経過するまで。(解説 6-3)

#### b. ジェットポンプビーム

プラント供用開始時点からの実運転期間が 10 年を経過するまでに初回点検を実施する。

#### c. ライザブレース

プラント供用開始時点からの実運転期間が 10 年を経過するまでに初回点検を実施する。

#### d. ブラケット

プラント供用開始時点からの実運転期間が 10 年を経過するまでに初回点検を実施する。

## 6.2 再点検

### a. ライザ管，インレットミキサ，ディフューザ

#### ・前回点検できずが検出された場合

実施済みの点検範囲を確認し，点検未実施でかつ構造強度上影響のある周方向溶接にきずを想定する。点検範囲内に見つかったきずと，点検可能範囲外にあると想定したきずが，次回点検までの想定期間 N 年分進展することを考慮して算出した残存長さが，許容残存長さ以上となるように，点検時期 N 年を設定して点検を実施する。（解説 6-4，6-5，6-6）

#### ・前回点検できずが検出されなかった場合

前回点検できずが検出されなかった場合は，その材質によって，以下のように再点検時期を設定する。

##### i) 炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼（SUS304 等）

実運転期間が前回点検から 2.7 年経過するまで。

##### ii) 炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼（SUS304L，SUS316L 等）

実運転期間が前回点検から 12 年経過するまで。

##### iii) 溶加材が 182 合金又は 82 合金／改良 182 合金

実運転期間が前回点検から 12 年経過するまで。

### b. ジェットポンプビーム

再点検は，点検後実運転期間で 10 年の期間内に実施する。（解説 6-3）

### c. ライザブレース

再点検は，点検後実運転期間で 10 年の期間内に実施する。（解説 6-3）

### d. ブラケット

再点検は，点検後実運転期間で 10 年の期間内に実施する。（解説 6-3）

## 第7章 点検結果の評価

### 7.1 ライザ管，インレットミキサ，ディフューザ

ライザ管，インレットミキサ，ディフューザの周溶接部の点検・評価フロー図を，図7-1に示す。

点検の結果は，以下の判定基準により評価する。

- (1) 健全部長さが，次回点検までの想定期間N年分進展することを考慮して算出した残存長さ以上である場合は，N年分継続使用できる。
- (2) 健全部長さが，次回点検までの想定期間N年分進展することを考慮して算出した残存長さ未満である場合は，以下の方針により継続使用期間を設定する。
  - ① 点検範囲を拡大することにより，健全部長さが想定期間N年分進展することを考慮して算出した残存長さ以上となった場合は，N年分継続使用できる。
  - ② 点検範囲を拡大しても健全部長さが想定期間N年分進展することを考慮して算出した残存長さ未満の場合は，健全部長さが許容残存長さ以上であれば，点検周期N年を見直すことにより，継続使用できる。
  - ③ 上記②項を満足しない場合は，技術的に根拠のある詳細評価を実施し，健全部長さが許容残存長さ以上であれば，点検周期N年を見直すことにより，継続使用できる。
- (3) 上記(1)(2)に適合しない場合は，補修等の措置を行う。

なお，上記(1)(2)の健全な範囲は，健全部及び検出されたきずの進展を見込んだものである。(解説6-3)

### 7.2 ジェットポンプビーム，ライザブレース，ブラケット

ジェットポンプビーム，ライザブレース，ブラケットの周溶接部の点検・評価フロー図を，図7-2に示す。

点検の結果は，以下の判定基準により評価する。

- (1) 点検範囲に異常のないことが確認された場合は，継続使用できる。
- (2) 点検で異常が発見された場合に，技術的な根拠のある詳細評価を実施し，点検周期を見直すことにより，継続使用できる。
- (3) 上記(1)項，(2)項に適合しない場合には，補修等の措置を行う。(解説7-1)

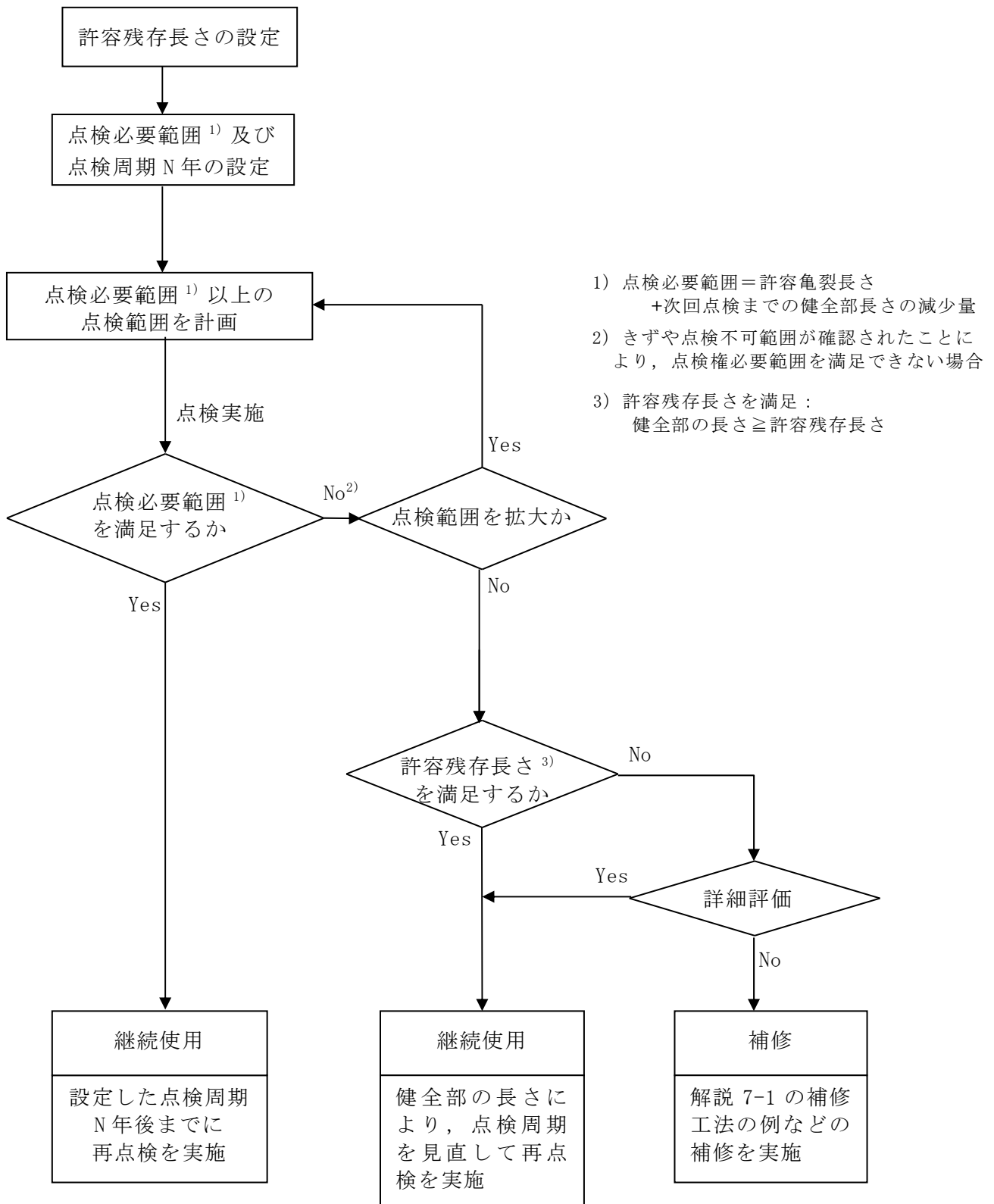


図 7-1 ライザ管，インレットミキサ，ディフューザの周溶接部の点検フロー

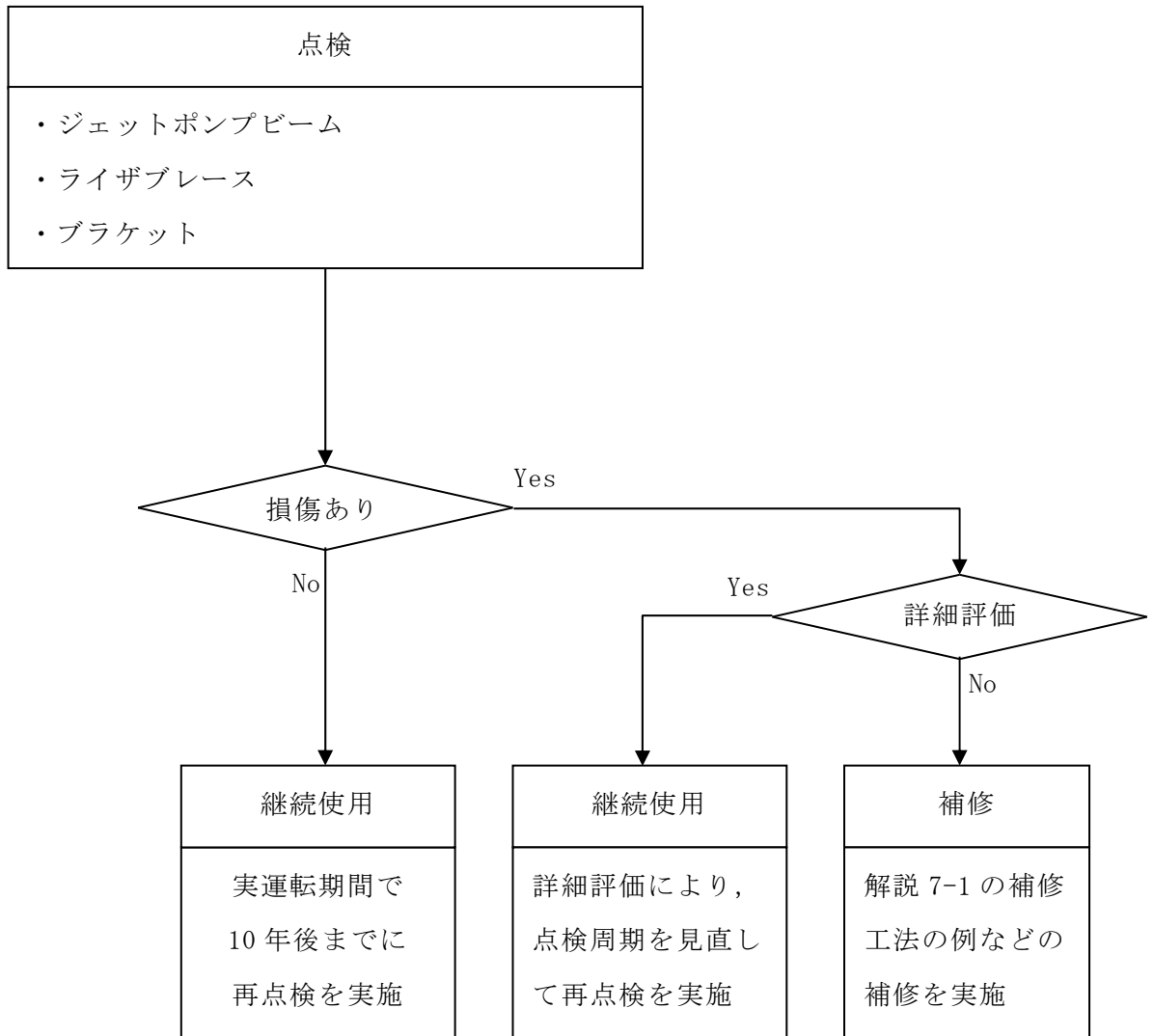


図 7-2 ジェットポンプビーム，ライザブレース，ブラケットの点検フロー

第8章 まとめ

ジェットポンプの点検方針を表 8-1 に示す。

表 8-1(1) ジェットポンプの点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
ライザ管	サーマルスリーブとエルボの溶接部 (RS-1),	MVT-1 <sup>(1)</sup>	初回点検の点検時期 i) 炭素含有量が 0.030% を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) プラント供用開始時点からの実運転期間が 16 年を経過するまで ii) 炭素含有量が 0.030% 以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) プラント供用開始時点から暦年で 30 年を経過するまで  初回点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の溶接部 <sup>(2)</sup>	次回点検時に想定される健全長さが、許容残存長さ以上であること
	エルボとライザ管の溶接部 (RS-2),  エルボとトランジションピースの溶接部 (RS-3)		再点検の点検時期 実施済みの点検結果から、亀裂進展を考慮して算出された健全部長さが、許容残存長さを超えない期間 N 年以内。ただし、前回点検できずが検出されなかった場合は、以下のとおり。 i) 炭素含有量が 0.030% を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) 実運転期間が前回点検から 2.7 年経過するまで ii) 炭素含有量が 0.030% 以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) 実運転期間が前回点検から 12 年経過するまで  再点検の点検範囲 次回点検までの安全機能の維持を確認するために必要な範囲 <sup>(3)(4)</sup>	
注： (1) 必要に応じて、UT 又は ET を実施してもよい。 (2) 必要に応じて、接近に支障となる炉内構造物を可能な範囲で取外すこと。 (3) 点検範囲は、6.2 項の点検周期 N 年に対応して設定する。 (4) 点検においてきずが検出された場合は、次回点検時に想定される健全範囲が許容残存面積以上となるように、点検範囲を拡大することができる。				

表 8-1(2) ジェットポンプの点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
インレット ミキサ	ノズルと バレルの 溶接部 (IM-2),  バレルと アダプタの 溶接部 (IM-3)	MVT-1 <sup>(1)</sup>	初回点検の点検時期 i) 炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) プラント供用開始時点からの実運転期間が 16 年を経過するまで ii) 炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) プラント供用開始時点から暦年で 30 年を経過するまで  初回点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の溶接部 <sup>(2)</sup>	次回点検時に想定される健全長さが、許容残存長さ以上であること
			再点検の点検時期 実施済みの点検結果から、亀裂進展を考慮して算出された健全部長さが、許容残存長さを超えない期間 N 年以内。ただし、前回点検できずが検出されなかった場合は、以下のとおり。 i) 炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) 実運転期間が前回点検から 2.7 年経過するまで ii) 炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) 実運転期間が前回点検から 12 年経過するまで	
			再点検の点検範囲 次回点検までの安全機能の維持を確認するために必要な範囲 <sup>(3) (4)</sup>	
注： (1) 必要に応じて、UT 又は ET を実施してもよい。 (2) 必要に応じて、接近に支障となる炉内構造物を可能な範囲で取外すこと。 (3) 点検範囲は、6.2 項の点検周期 N 年に対応して設定する。 (4) 点検においてきずが検出された場合は、次回点検時に想定される健全範囲が許容残存面積以上となるように、点検範囲を拡大することができる。				

表 8-1(3) ジェットポンプの点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
ディフューザ	カラーとテーパ管の溶接部 (DF-1),  テーパ管とテールパイプの溶接部 (DF-2),  テールパイプとローアリングの溶接部 (DF-3),  ローアリングとシュラウドサポートプレートの溶接部 (AD-2)	MVT-1 <sup>(1)</sup>	初回点検の点検時期 i) 炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) プラント供用開始時点からの実運転期間が 16 年を経過するまで ii) 炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) プラント供用開始時点から暦年で 30 年を経過するまで iii) 溶加材が 182 合金又は 82 合金 プラント供用開始時点から暦年で 30 年を経過するまで  初回点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の溶接部 <sup>(2)</sup>	次回点検時に想定される健全長さが、許容残存長さ以上であること
			再点検の点検時期 実施済みの点検結果から、亀裂進展を考慮して算出された健全部長さが、許容残存長さを超えない期間 N 年以内。ただし、前回点検できずが検出されなかった場合は、以下のとおり。 i) 炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼 (SUS304 等) 実運転期間が前回点検から 2.7 年経過するまで ii) 炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等) 実運転期間が前回点検から 12 年経過するまで iii) 溶加材が 182 合金又は 82 合金 実運転期間が前回点検から 12 年経過するまで  再点検の点検範囲 次回点検までの安全機能の維持を確認するために必要な範囲 <sup>(3) (4)</sup>	
注： (1) 必要に応じて、UT 又は ET を実施してもよい。 (2) 必要に応じて、接近に支障となる炉内構造物を可能な範囲で取外すこと。 (3) 点検範囲は、6.2 項の点検周期 N 年に対応して設定する。 (4) 点検においてきずが検出された場合は、次回点検時に想定される健全範囲が許容残存面積以上となるように、点検範囲を拡大することができる。				

表 8-1(4) ジェットポンプの点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
ジェットポンプ ビーム	ジェットポンプ ビーム 外表面 (BM-1)	MVT-1 <sup>(1)</sup>	初回点検の点検時期 機器の供用開始後，実運転期間で10年以内	点検範囲に異常がないこと
			初回点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の外表面 <sup>(2)</sup>	
			再点検の点検時期 前回点検後，実運転期間で10年以内	
			再点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の外表面 <sup>(2)</sup>	
ライザ ブレース	リーフと 原子炉 圧力容器 肉盛座の 溶接部 (RB-1)， リーフと ヨークの 溶接部 (RB-2)， ライザ管と ヨークの 溶接部 (RB-3)	MVT-1 <sup>(1)</sup>	初回点検の点検時期 機器の供用開始後，実運転期間で10年以内	点検範囲に異常がないこと
			初回点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の溶接表面 <sup>(2)</sup>	
			再点検の点検時期 前回点検後，実運転期間で10年以内	
			再点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の溶接表面 <sup>(2)</sup>	
注：				
(1) 必要に応じて，UT 又は ET を実施してもよい。				
(2) 必要に応じて，接近に支障となる炉内構造物を可能な範囲で取外すこと。				

表 8-1(5) ジェットポンプの点検

点検対象	点検対象部位	点検手法	点検時期／点検範囲	点検結果の評価
ブラケット	ライザ管とブラケットの溶接部 (BR-1)	MVT-1 <sup>(1)</sup>	初回点検の点検時期 機器の供用開始後，実運転期間で10年以内	点検範囲に異常がないこと
			初回点検の点検範囲 接近可能な全ての範囲の溶接表面 <sup>(2)</sup>	
			再点検の点検時期 前回点検後，実運転期間で10年以内	
	位置決めボルト (BR-3)，ウエッジボルト (BR-4)	VT-3	初回点検の点検時期 機器の供用開始後，実運転期間で10年以内	点検範囲に異常がないこと
			初回点検の点検範囲 全てのボルトの廻り止め溶接部表面及びボルトの緩み，ボルトの摩耗 <sup>(2)</sup>	
			再点検の点検時期 前回点検後，実運転期間で10年以内	
ウエッジ (BR-5)	VT-3	初回点検の点検時期 機器の供用開始後，実運転期間で10年以内	点検範囲に異常がないこと	
		初回点検の点検範囲 全ての楔の接触面の摩耗 <sup>(2)</sup>		
		再点検の点検時期 前回点検後，実運転期間で10年以内		
			再点検の点検範囲 全ての楔の接触面の摩耗 <sup>(2)</sup>	
注：				
(1) 必要に応じて，UT 又は ET を実施してもよい。				
(2) 必要に応じて，接近に支障となる炉内構造物を可能な範囲で取外すこと。				

### (解説 1-1) ガイドライン制定の目的

炉内構造物の点検については、構造上、点検装置の接近を制約する範囲が大きいことから、随時、最新の知見と技術を反映し、点検技術の向上と運転経験の蓄積に努めてきている。

原子力安全確保のためには、これらの運転経験の評価と研究活動を通じて、過去の教訓を活かし我々が学ぶことにつれて発展するプロセスを構築するとともに、これを継続していくことが求められる。このため、本ガイドラインは、炉内構造物に対して、運転経験と最新知見を整理・評価し、部位毎に要求される安全上重要な機能、有意な劣化モード、及び最新知見の整理に基づく合理的な点検のあり方を示すことを目的としている。

### (解説 1-2) 本ガイドラインの運用にあたって

炉内構造物の保全活動は、確立された原子力発電所の品質保証マネジメントシステムのもとで行われる保守管理の一環として行われなければならない。よって、本ガイドラインで適用する点検及び評価は、品質保証活動全般の基本的事項を規定した日本電気協会の JEAC 4111「原子力安全のためのマネジメントシステム規程」及び品質保証活動のうち、事業者が供用期間中に実施すべき保守管理の基本要件を規定した JEAC 4209「原子力発電所の保守管理規程」に基づき実施されることを前提としている。

本ガイドラインでは、引用する学協会規格の改訂年度を記載していない。学協会規格は新知見反映等の理由で定期改訂されるため、利用者は最新版の適用可否を確認するとともに、原子力規制委員会による技術評価等の状況を総合的に勘案して、適切に判断する必要がある。

また、本ガイドラインでは、旧耐震設計審査指針で定める基準地震動  $S_2$  を用いた評価結果が記載されている場合があるが、利用者は「設置許可基準規則\*1」により定める基準地震動  $S_s$  を用いた評価を行う必要がある。さらに、ガイドライン付録で引用した材料物性値等についても、評価に際し適切に選定判断する必要がある。

\*1：「設置許可基準規則」とは、原子力規制委員会の「実用発電用原子炉及びその附属設備の位置、構造及び設備の基準に関する規則」をいう。

## (解説 2-1) ジェットポンプの構造健全性及び機能維持の確保

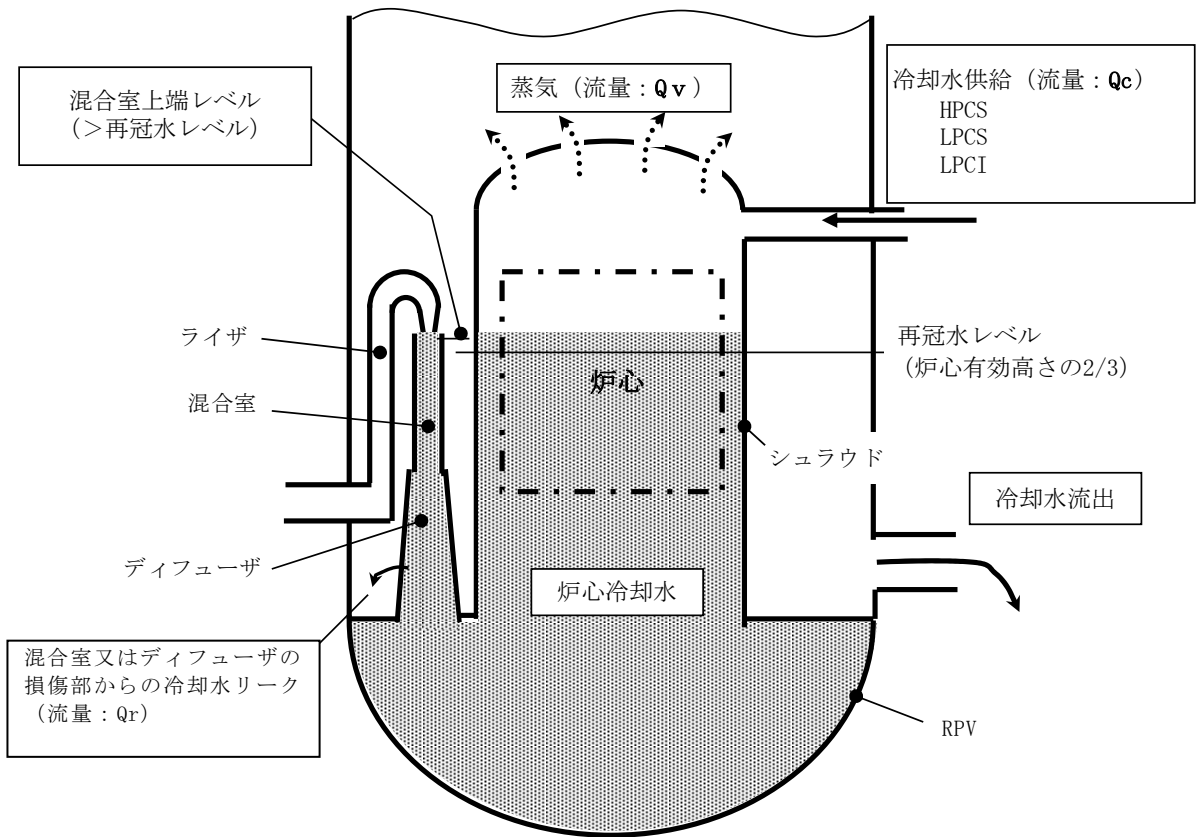
ジェットポンプに要求される安全機能は「炉心冠水と長期冷却の維持」であり、低圧注水（LPCI）系が原子炉再循環系に接続するプラントに対しては、「非常用炉心冷却の確保」も要求される。

「炉心冠水と長期冷却の維持」の安全機能に対し、ジェットポンプで想定される事象は、原子炉再循環系配管の破断に伴う冷却材喪失事故（LOCA）である。

本ガイドラインでは、仮にジェットポンプに貫通亀裂が存在した状態で LOCA を想定した場合でも、炉心再冠水機能及び LPCI 機能が維持されることを評価条件とした。ジェットポンプが炉心再冠水機能のみを有するプラントの機能維持評価の考え方を解説図 2-1-1 に、ジェットポンプが炉心再冠水機能及び LPCI 機能を有する機能維持評価の考え方を解説図 2-1-2 に示す。

なお、通常運転時のジェットポンプの機能である炉心流量の供給機能及び炉心流量の計測機能については、大きな損傷がジェットポンプに生じた場合には、これらの機能に影響を及ぼす可能性があるものの、その影響は炉心流量の低下、ジェットポンプ差圧の変化等により検知され、必要に応じて、所定の手順にしたがって安全にプラント停止が可能であることから、原子炉安全には影響しないため評価対象外とした。

ジェットポンプの機能と構造を付録 A に示す。

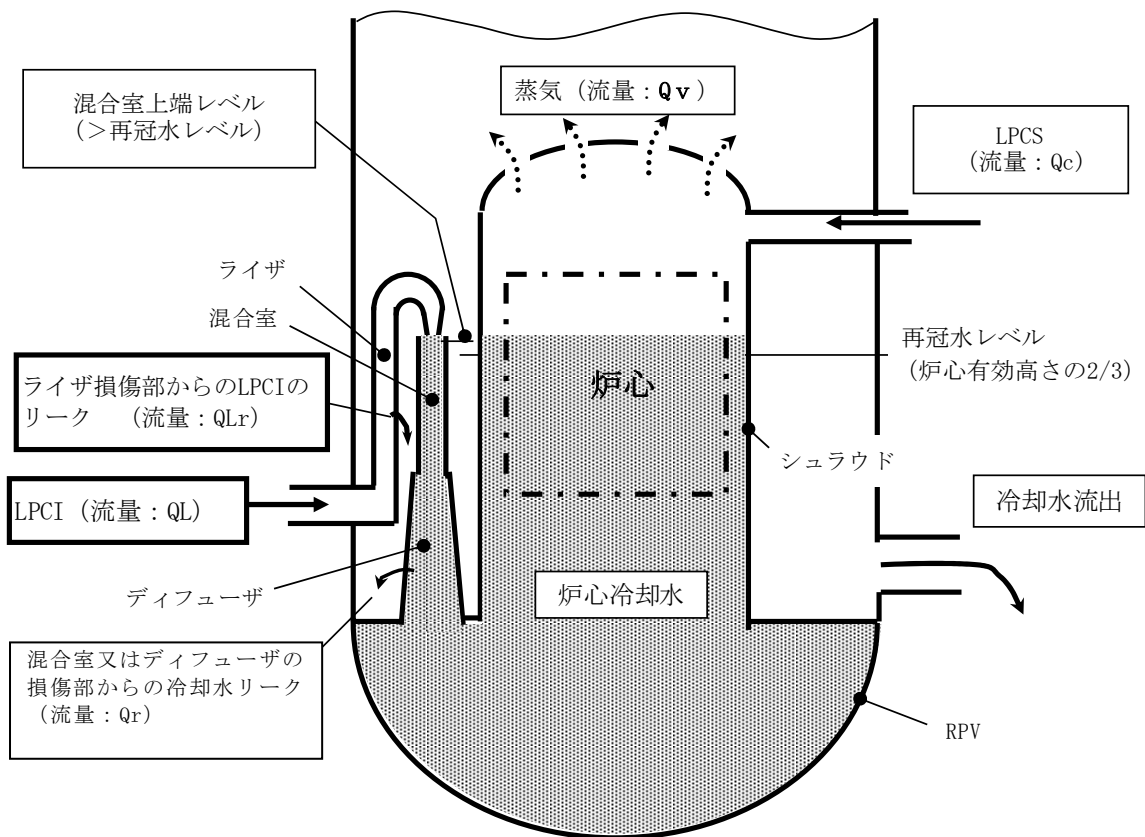


再冠水機能維持の条件：  
 $冷却水供給流量 (Q_c) - 蒸気流量 (Q_v) > 0 \rightarrow$  安全解析で確認済

冷却水供給量の設計裕度： $\Delta Q$   
 $=$  設計値 - 安全解析適用値

損傷によるリーク ( $Q_r$ ) がある場合の再冠水機能維持条件：  
 $冷却水供給流量の設計裕度 (\Delta Q) >$  損傷による冷却水リーク量 ( $Q_r$ )

解説図 2-1-1 炉心再冠水機能と機能維持条件  
 (ジェットポンプが炉心再冠水機能だけを有するプラントの場合)



1. 再冠水機能維持評価 (LPCIがPLR系以外の経路から注入されるプラントの評価と同じ)

損傷によるリーク (Qr)がある場合の再冠水機能維持条件:

$$\text{冷却水供給流量の設計裕度 } (\Delta Q) > \text{損傷による冷却水リーク量 } (Q_r)$$

$$Q = Q_c + Q_L$$

$$\Delta Q = \text{設計値} - \text{安全解析適用値}$$

2. LPCI機能維持評価

ライザ損傷部からのリーク (QLr)がある場合のLPCI機能維持条件:

$$\text{冷却水供給流量の設計裕度 } (\Delta Q) > \text{損傷による冷却水リーク量 } (Q_{Lr})$$

$$Q = Q_c + Q_L$$

$$\Delta Q = \text{設計値} - \text{安全解析適用値}$$

解説図 2-1-2 炉心再冠水機能と機能維持条件

(ジェットポンプが炉心再冠水機能と LPCI 機能を有するプラントの場合)

## (解説 2-2) 点検の考え方

ジェットポンプが炉心再冠水機能と LPCI 機能を有するプラントでは、ジェットポンプの全流路が機能維持に係わるため、ライザ管、インレットミキサ、ディフューザの管の周溶接部を点検対象とする。流路確保は、流路が崩壊しないことが前提となるため、流路の締結及び支持機能を有するビーム、ライザブレース、ブラケット（ウエッジ、ウエッジボルト、及び位置決めボルト）も点検対象とした。

ジェットポンプが炉心再冠水機能だけを有するプラントでは、直接機能維持に係わるのは、インレットミキサのジェットポンプノズル下端よりも下流側及びディフューザだけであるが、インレットミキサがライザ管及びディフューザから分離しないことが炉心再冠水機能維持の前提となるため、すべての管の溶接部及び管を締結又は支持しているビーム、ライザブレース、ブラケット（ウエッジ、ウエッジボルト、及び位置決めボルト）も含めて構造維持の観点から点検対象とした。

以上を踏まえ、これらの各点検対象に対して機能、形状及び材質、想定される劣化事象及び国内外の運転経験、安全機能への影響を考慮し、付録 A に点検方針を定め、それに基づいた点検対象部位を、表 3-1 に示した。

また、点検対象部位の接近性（代表プラントの吊り下げ式カメラによる接近性）を付録 B に示す。

## (解説 2-3) ジェットポンプに想定される経年劣化事象

これまでの損傷事例を考慮し、ジェットポンプの経年劣化事象として、溶接部においては応力腐食割れ（SCC）を想定した。また、溶接部以外においてはジェットポンプの構造健全性上重要な部位であるジェットポンプビーム（ニッケル合金 X750 製）の SCC、ウエッジ、位置決めボルトでの高サイクル振動による摩耗を経年劣化事象として想定した。

ジェットポンプの材料には、オーステナイト系ステンレス鋼（SUS304L 又は SUS316L）、ステンレス鋳鋼、ニッケル合金（182 合金、82 合金、改良 182 合金）、ニッケル合金（X750）が用いられている。

炭素含有量が 0.030% を超えるオーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）は溶接の熱影響によって、クロム炭化物の粒界析出による粒界近傍のクロムの欠乏に起因して SCC が発生する可能性がある。これと比較して炭素含有量を 0.030% 以下に抑えたオーステナイト系ステンレス鋼（SUS304L、SUS316L）は熱影響による SCC が発生する可能性は小さい。但し、機械加工による表面硬化や溶接残留応力の影響も考慮する必要がある。

ステンレス鋳鋼は耐食性に優れた二相ステンレス組織になっており、SCC が発生する可能性は無いと考えられる。

ニッケル合金の 182 合金は炭素含有量が 0.030%を超えるオーステナイト系ステンレス鋼と同様に、溶接入熱によるクロム炭化物の析出に伴う Cr 欠乏に起因して SCC 感受性を有する。これと比較して高 Cr、高 Nb 含有の 82 合金及び高 Nb 含有の改良 182 合金は SCC が発生する可能性が小さくなっている。

ニッケル合金 (X750) は高温水中で SCC 感受性を示し、その形態は粒界割れである。ニッケル合金 (X750) の SCC 感受性は熱処理条件に依存し、SCC 感受性を低減するための適切な溶体化条件及び熱時効処理条件が設定されている。ただし、ニッケル合金 (X750) の SCC 感受性は応力依存性を示すため、使用時の負荷応力に留意する必要がある。

上述のとおり、材料鋼種により SCC 感受性に相違があるが、本ガイドラインでは、材料鋼種によらず全ての溶接部に着目して検討を行う。

なお、低サイクル疲労に関しては、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準に準じた設計がなされており、管の板厚が薄く起動、停止等の熱過渡時に生じる繰返し荷重は小さいこと等から、本ガイドラインでは対象外とした。

#### (解説 4-1) 点検手法

各部位の点検手法は、点検の考え方（解説 2-3）に則り定めた点検方針（付録A）に基づき、個々の部位で目視点検方法を定めているが、点検手法に関する運用について以下に補足する。

- ・ライザ管，インレットミキサ，ディフューザの周溶接部及びライザブレース，ブラケットの溶接部及びビーム

SCC による亀裂が検知可能な MVT-1 により点検する。また，亀裂の深さを評価する場合等，必要に応じて，UT 又は ET を実施するものとする。

- ・ブラケットのウエッジ，位置決めボルト等

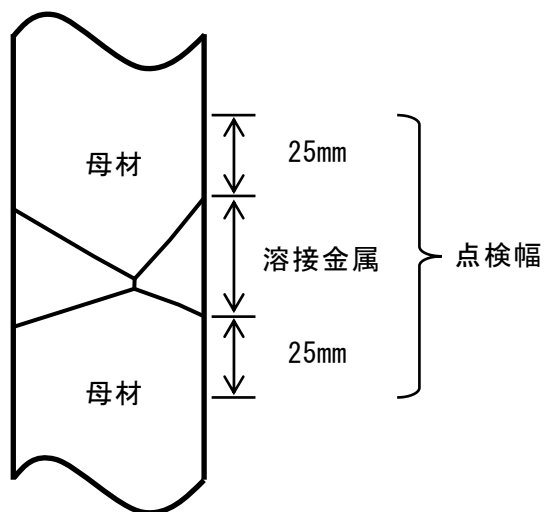
機械締結部品であり，摩耗に伴う緩み等がなく所定の位置に据え付けられていることを確認することを目的として，VT-3 により点検する。

#### (解説 4-2) 渦電流探傷試験

渦電流探傷試験（ET）を適用する場合には，点検対象部位と電磁気的特性が同等な材料の校正試験片により，検出感度を確認した手法を用いるものとする。試験装置及び器具等の要求仕様，試験の実施要領，並びに信号の解析手法については，JEAG 4217「原子力発電所用機器における渦電流探傷試験指針」に準拠して設定する。

### (解説 5-1) 溶接部の点検幅

溶接部の点検は溶接金属及びその両側 25mm の幅（熱影響部を含む）について実施するが，この 25 mm の点検幅は，米国における 1990 年代の炉内構造物の詳細目視試験の実績を参考に「1 インチ」を mm に換算して定めたものである。この値は目視試験対象表面とカメラとの距離及びカメラの角度から，現実的な視野範囲として設定されたもので，国内の炉内構造物の詳細目視点検においても 1 インチ（25mm）が適用されてきた。



### (解説 6-1) 点検時期の延期

本ガイドラインでは、40 年超の運転を行うプラントや長期停止期間を含むプラントも対象に、ジェットポンプに想定される経年劣化事象として、ライザ管、インレットミキサ、ディフューザにおいては SCC を想定して点検時期を定めている。プラント停止期間の経年劣化事象については、プラントの継続的な安全性の維持・向上を促すために発行された、原子力エネルギー協議会「プラント長期停止期間中における保全ガイドライン」の長期停止期間中に想定される経年劣化事象一覧表（機械編）を参考に、停止期間中の温度が 100℃未満であり、国内プラントでは適切に水質管理が実施され、SCC が発生・進行する可能性が低いことから、プラント停止期間分、点検時期を延期することができることとした。

### (解説 6-2) SCC 予防保全技術

SCC は、SCC 感受性を有する材料、引張残留応力及び腐食環境の三因子が重畳して発生するため、三因子の一つ以上の因子を改善することにより、SCC の発生又は進展を抑制できる。予防保全工法を適用した場合は、その有効性を考慮して、点検実施時期を設定できる。実機への適用実績があるか、又は将来適用が可能と考えられる予防保全工法は、別冊の「予防保全工法ガイドライン」に示すとおりである。解説表 6-2 に数例を示す。

解説表 6-2 予防保全の例

予防保全の種類	点検実施時期設定への反映
耐食材肉盛	耐 SCC 性が優れた材料と同等に取り扱うことができる。
水素注入	点検部位の腐食電位の評価結果に基づいて亀裂進展速度を求め、点検実施時期を設定することができる。
貴金属表面処理	同上

### (解説 6-3) 初回点検

初回点検とは、点検対象のうち接近可能な範囲に対して実施する最初の点検であり、適用する点検手法の基準となる条件（VT における照度、UT におけるキャリブレーション等）の設定を行うとともに、再点検の際に参照する点検記録を取得するために実施する基準となる点検である。

各部位の初回点検時期は点検の考え方（解説 2-3）に則り定めた点検方針（付録 A）及びの初回点検時期の設定根拠を以下に示す。

#### (1) ライザ管、インレットミキサ、ディフューザの周溶接部

ライザ管、インレットミキサ、ディフューザ（以下、管という）の内面に想定した初

期亀裂が板厚方向に進展，貫通し，外面からの目視点検によって検知可能と考えられる時期で，機能維持に対して裕度が確保される時期を初回点検時期として定めた。

初回点検時期は，以下の手順により設定した。

- a. 管の溶接部の溶接残留応力を評価し，内面に想定した初期亀裂の進展評価を実施。  
(付録 C, D, E, F)
- b. LOCA 時の地震に対して構造健全性の維持が可能な限界亀裂長さの評価。(付録 G)
- c. 上記 a, b から，LOCA 時の地震に対して構造健全性の維持が可能な供用開始からの期間の評価。(付録 A)
- d. 上記 c で評価された期間が経過した時点において LOCA の発生を想定し，亀裂開口からの炉心冷却水の漏えい量を評価し，漏えい量が炉心再冠水機能及び LPCI 機能の確保に影響を及ぼさないことの評価。(付録 I)

代表プラントについて亀裂進展評価を実施した結果，炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼製の管の周溶接部では，実運転期間で約 14 年を経過すると亀裂が貫通する可能性があると考えられること，実運転期間で 19 年を経過しても LOCA 時の機能維持が確保できることから，初回点検時期は，供用開始後実運転期間で 16 年までとした。

炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼製の管の周溶接部では，内面からの亀裂が貫通する可能性があるのは供用開始時点から実運転期間で 50 年を超えるが，健全性の確認を目的として，供用開始から暦年で 30 年までを初回点検時期として定めた。

なお，ディフューザ下端のローアリングとシュラウドサポートとのニッケル合金溶接部は，供用開始から 80 年を経過しても亀裂は板厚を貫通せず，LOCA 時の機能維持に有意な影響を及ぼさないものと考えられるが，低炭素ステンレス鋼製の管の周溶接部の初回点検時期に合わせて，供用開始から暦年で 30 年までを初回点検時期として定めた。

## (2) ジェットポンプビーム

ジェットポンプビームの初回点検時期は，解析，試験による定量的な評価が困難なことから，以下に示すように，これまでのプラント運転実績，先行損傷事例対策の実施状況を調査，検討して，供用開始から実運転期間で 10 年までと設定した。また，再点検周期も，これに合わせて実運転期間で 10 年以内と設定した。今後もプラント実績調査を継続し，適宜点検時期の見直しを行う必要があるものと考えられる。

- ・ 国内で使用されているジェットポンプビームの材料（ニッケル合金 X750）は，すべて，過去の海外でのジェットポンプビームの SCC 損傷事例の対策として開発された改良熱処理材が採用されており，SCC 感受性が低減されている。

- ・ 改良熱処理材のジェットポンプビームの実運転期間が10年を超える国内プラントが増え、着実に実績が積重ねられてきている。(付録J)
- ・ 唯一の国内での改良熱処理材の損傷事例は、ビームの据付施工不良により、実験室データで確認されたSCCの発生し得る程度の高応力が発生したことが原因であり、国内プラントではこの対策として、高応力発生防止のための締め付け力の低減、適切な据付管理方法の見直しによる予防保全がなされている。

### (3) ライザブレース，ブラケット

ライザブレースに対してはSCC，ブラケットに対しては高サイクル振動による摩耗事象が想定されるが，これらの部位には損傷事例は非常に少なく，国内では位置決めボルト及びウエッジの摩耗の事例が数件あるもののその程度は軽微である。しかし，ライザ，インレットミキサの支持部材であり，万一損傷が生じた場合には，他の部位の構造健全性に影響を及ぼす可能性があることから，ジェットポンプビームに合わせて，初回点検時期，再点検周期とも，実運転期間で10年以内とした。

## (解説 6-4) 健全部の長さ と 許容残存長さ の評価

「健全部の長さ」とは，点検対象溶接部のうち，「点検健全部長さ」から想定亀裂及びその進展量と検出されたきずの進展量を減じた長さである。また，「許容残存長さ」とは，機能維持のために必要な溶接線の長さをいう。

許容残存長さは，「発電用原子力設備規格 維持規格」(JSME S NA1)の添付 E-8 に示される極限荷重評価法により評価した。評価条件を以下に示す。(付録G参照)

### (1) 荷重

Ss 地震荷重を考慮する。

### (2) 想定する亀裂

周方向板厚貫通亀裂を想定する。

### (3) 安全率

Ss 地震荷重に対しての安全率を 1.39 とする。

ジェットポンプの周方向溶接部に亀裂がある場合には，剛性の低下による固有振動数への影響が考えられる。これを考慮して，ジェットポンプと同等な長さ，外径，板厚の配管について，亀裂がない場合と貫通亀裂が複数ある場合の固有振動解析を実施し，その影響は有意でないことが確認された。(付録K参照)

よって，許容残存長さの評価には，健全な状態を前提に評価された地震応答を適用した。

## (解説 6-5) 亀裂進展評価

(1) 周溶接部の SCC 亀裂進展評価条件を以下に示す。

a. 想定初期亀裂

初期亀裂として溶接部内面に周方向亀裂（深さ  $50\mu\text{m}$ ，長さ  $500\mu\text{m}$  の半楕円）1 個を想定する。

b. 応力分布

溶接残留応力及び差圧による応力を考慮する。

c. 亀裂進展速度式

板厚方向の亀裂進展速度は，SCC 亀裂進展試験データから設定された亀裂進展速度式を適用する。板厚貫通亀裂の周方向への進展速度は，貫通時の内面側亀裂長さを保守的に仮定し，前記亀裂進展速度式の上限值を適用する。（付録 C 参照）

(2) 初回点検時期等の点検時期を定める上で想定する初期亀裂として，管の溶接部内面に周方向亀裂（深さ  $50\mu\text{m}$ ，長さ  $500\mu\text{m}$ ）1 個を設定したのは以下の理由による。

a. SCC による軸方向亀裂は，進展範囲が溶接熱影響部に限られ，貫通に至ったとしても強度に有意な影響を及ぼさないものと考えられることから，周方向亀裂を想定した。

b. 周方向亀裂を進展させる主要な軸方向応力は溶接残留応力であり，溶接残留応力は管の内面側で引張応力，外面側で圧縮応力となることから，管内面側に SCC が発生する可能性が高いと考え，管内面側に初期亀裂を想定した。

c. 初期亀裂の個数については，以下に示す本ガイドラインでの評価条件及び国内実機配管 SCC 事例の調査結果を総合的に検討した結果，点検周期を定める上で想定する亀裂の数は 1 個とした。

- ・建設時の検査できずがないことが確認されているが，亀裂進展評価においては，供用開始時に初期亀裂（深さ  $50\mu\text{m}$ ，長さ  $500\mu\text{m}$ ）を想定して，亀裂の発生までの期間を無視した保守側の評価を実施している。また，板厚貫通後の亀裂の周方向進展速度は，本ガイドラインで設定した亀裂進展速度の上限值を適用している。

- ・裕度評価において，評価された周方向亀裂が強度上最も厳しくなる位置（引張応力が最大となる位置）にあるものとして評価し，また，検査が困難な範囲は荷重伝達されないものとして評価している。

- ・国内の配管の SCC 事例を調査した結果，半分以上の事例で同一溶接線上に確認された亀裂は 1 個であった。

同一溶接線上に複数の亀裂が確認された事例のうち，1 例を除くいずれの事例でも，確認された複数の亀裂は比較的接近した位置にあり，本評価で想定する初期亀裂 1 個の板

厚貫通時の亀裂長さに相当する範囲に含まれている。

残りの一例は、比較的離れた位置にあり、本評価で想定する初期亀裂 1 個の板厚貫通時の亀裂長さに相当する範囲に包絡されないが、本評価で想定する貫通亀裂を最も強度上厳しくなる位置にあるものとして評価することにより、強度評価上十分に包絡される。

本ガイドラインで想定している亀裂の板厚貫通時の亀裂長さは、板厚に比べ非常に長い。亀裂長さの長い単一周方向貫通亀裂は、合計長さがこれと等しい複数の周方向貫通亀裂に比べ、強度上保守側の評価となる。(付録K)

本ガイドラインで設定した想定初期亀裂は、現状の知見では適切であると考えられるが、配管の内面側に 1 個の初期亀裂のみを想定することは、工学的に十分な検証がなされていないことから、今後の知見を反映し、適宜見直しを行うこととする。

#### (解説 6-6) 再点検周期の設定

管の周溶接部の再点検時期は、図 7-1 の点検フローに従い、設定、評価する。

再点検周期の設定における健全部の長さの減少量は、以下のように考慮して評価する。

(付録L)

- (1) 検査が困難な範囲は、荷重伝達が行われない範囲として取り扱うものとするが、周方向への進展は考慮しない。
- (2) 点検（外面からの MVT-1）できずが発見されなかった場合は、板厚貫通寸前までの亀裂が存在していることを保守的に仮定して、点検終了後の運転開始時から板厚貫通直後の亀裂が周方向に進展するものとして再点検時までの亀裂進展量を評価する。
- (3) 点検できずが発見された場合は、きずの長さ/深さを測定して亀裂進展評価を行う。
- (4) アクセス可能な全範囲を点検し、周長の 75%以上の点検範囲が確保された場合で、点検範囲にきずが発見されなかった場合には、未点検範囲に SCC の発生/進展に關与する特異性が確認されない限り、未点検範囲を上記(1)の「検査が困難な範囲」として取り扱わず、健全部として取り扱うことができる。(付録M)

## (解説 7-1) 補修技術

ジェットポンプにきずが検出された場合の補修工法として、実機への適用実績があるか、又は将来適用が可能と考えられるものは、以下に示す別冊の「補修工法ガイドライン」又は補修技術に示すとおりである。以下に例を示す。

- ・補修工法ガイドライン [封止溶接工法]
- ・補修工法ガイドライン [水中レーザ肉盛溶接工法]
- ・補助ウエッジ
- ・SMA (形状記憶合金) カップリング

## 付録A ジェットポンプの各構造体に対する点検の考え方について

### 1. 目的

本付録は、ジェットポンプを構成する構造体について、①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷を考慮した安全機能への影響を考慮した点検の考え方を示したものである。

### 2. ジェットポンプの説明

#### 2.1 安全機能

ジェットポンプは安全機能として、再循環系の配管破断時にも炉内の水位を確保することによる「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。

また、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、低圧注水系の流路を確保することによる「非常用炉心冷却の確保」の機能を有している。

#### 2.2 ジェットポンプを構成する各構造体（図 A-2.2-1～5）

ジェットポンプは、炉心シュラウドと原子炉压力容器と炉心シュラウドとの間のアニュラス部に10組（一部のプラントは8組）設置される機器である。1組のジェットポンプは、1本のライザ管と、それぞれ2個のインレットミキサ（180°エルボ～バレル～アダプタ）及びディフューザより構成される。

ディフューザの下端は、シュラウドサポートプレート上に溶接して組み立てられる。

ライザ管は、入口部を原子炉压力容器の再循環水入口ノズルのサーマルスリーブに溶接され、上部をライザブレースにより原子炉压力容器内壁に支持される。

インレットミキサは取外し可能な構造となっており、下端をディフューザ上端に差込み、上端をライザ管上端のトランジッションピースの球面座にジェットポンプビームを介してホールダウンボルトにより押さえつけて固定する。インレットミキサはライザ管に固定してあるブラケットにより横方向を支持される。

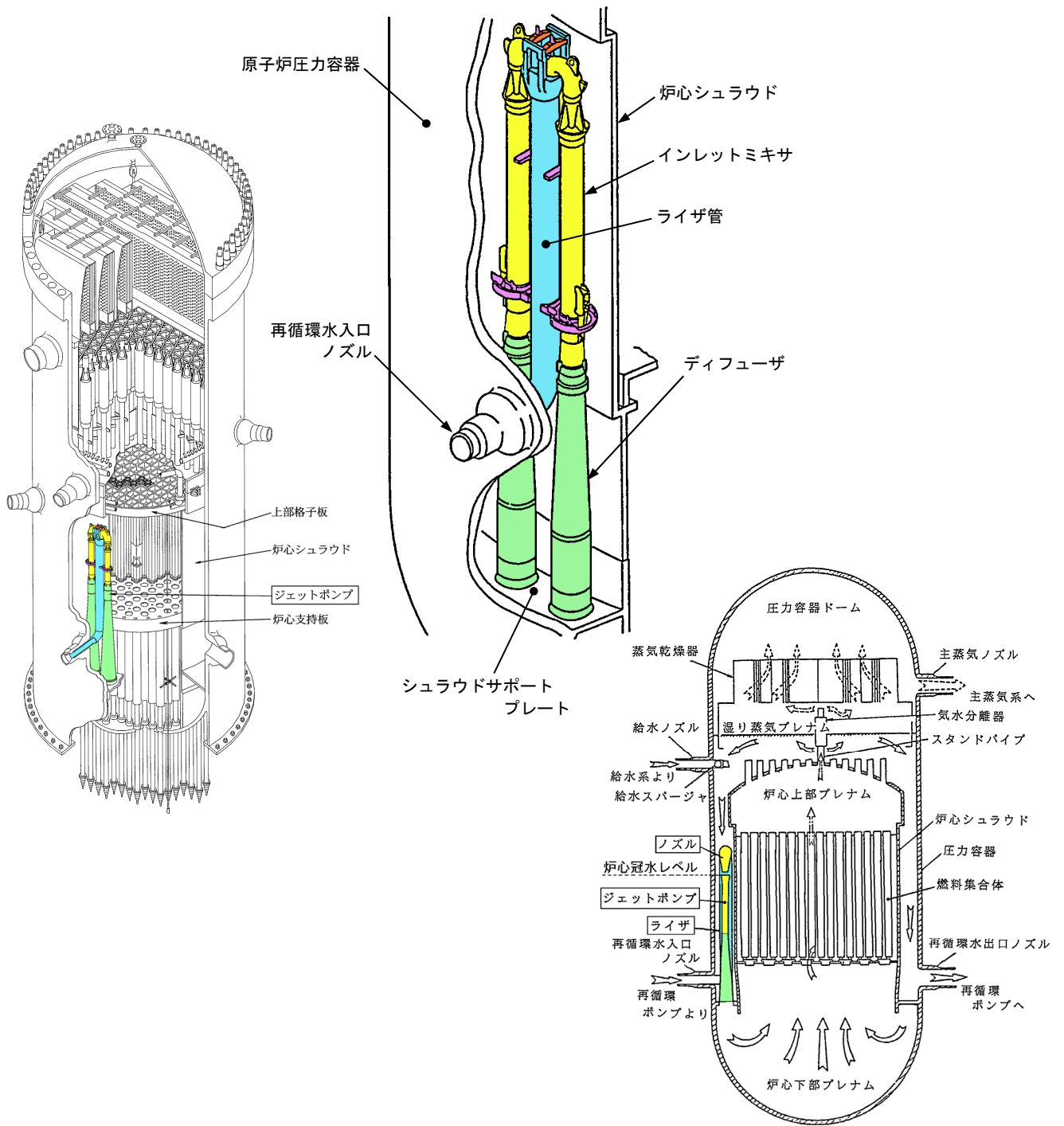


図 A-2.2-1 ジェットポンプの配置と構造

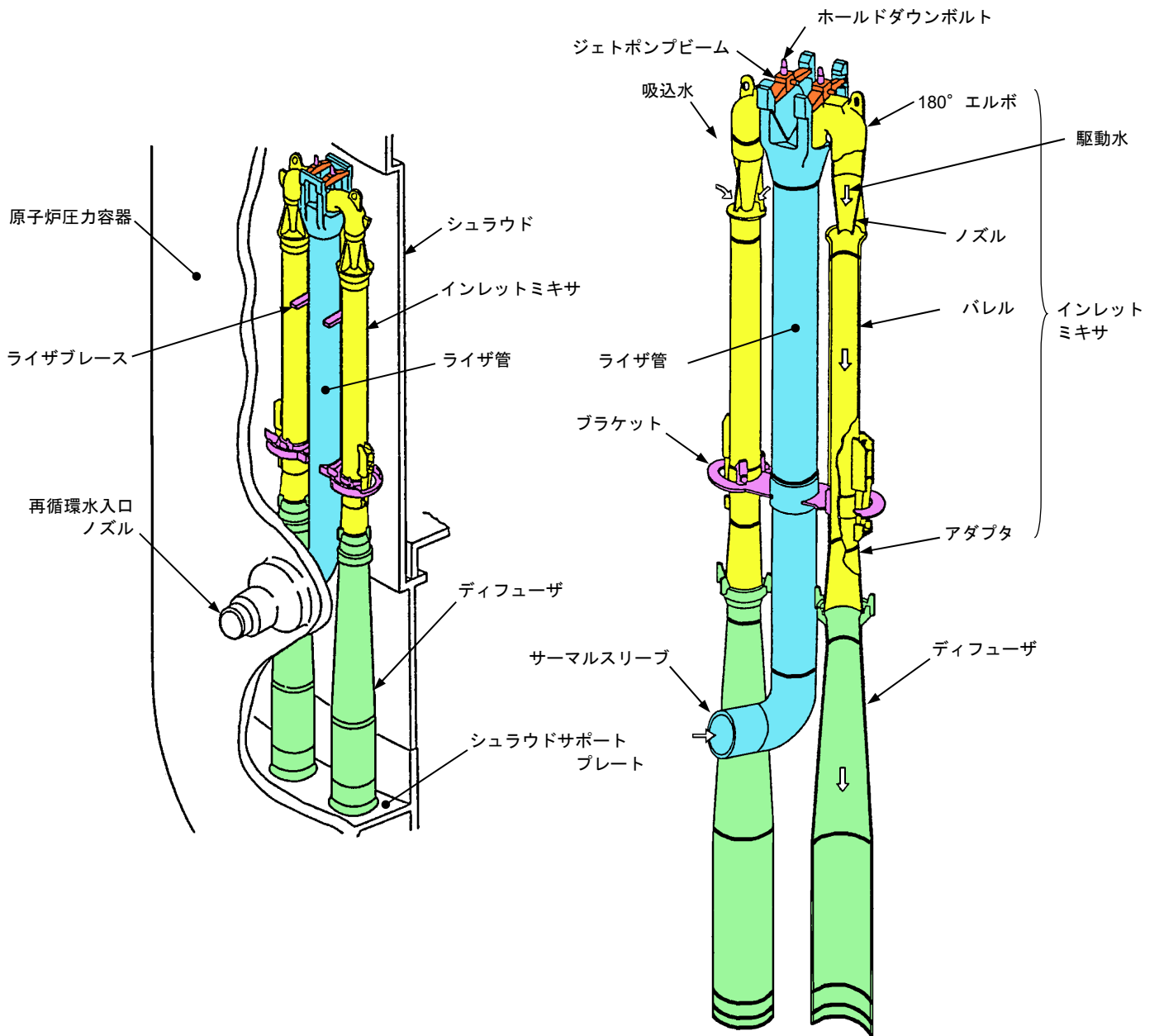


図 A-2. 2-2 ジェットポンプの構造(1)

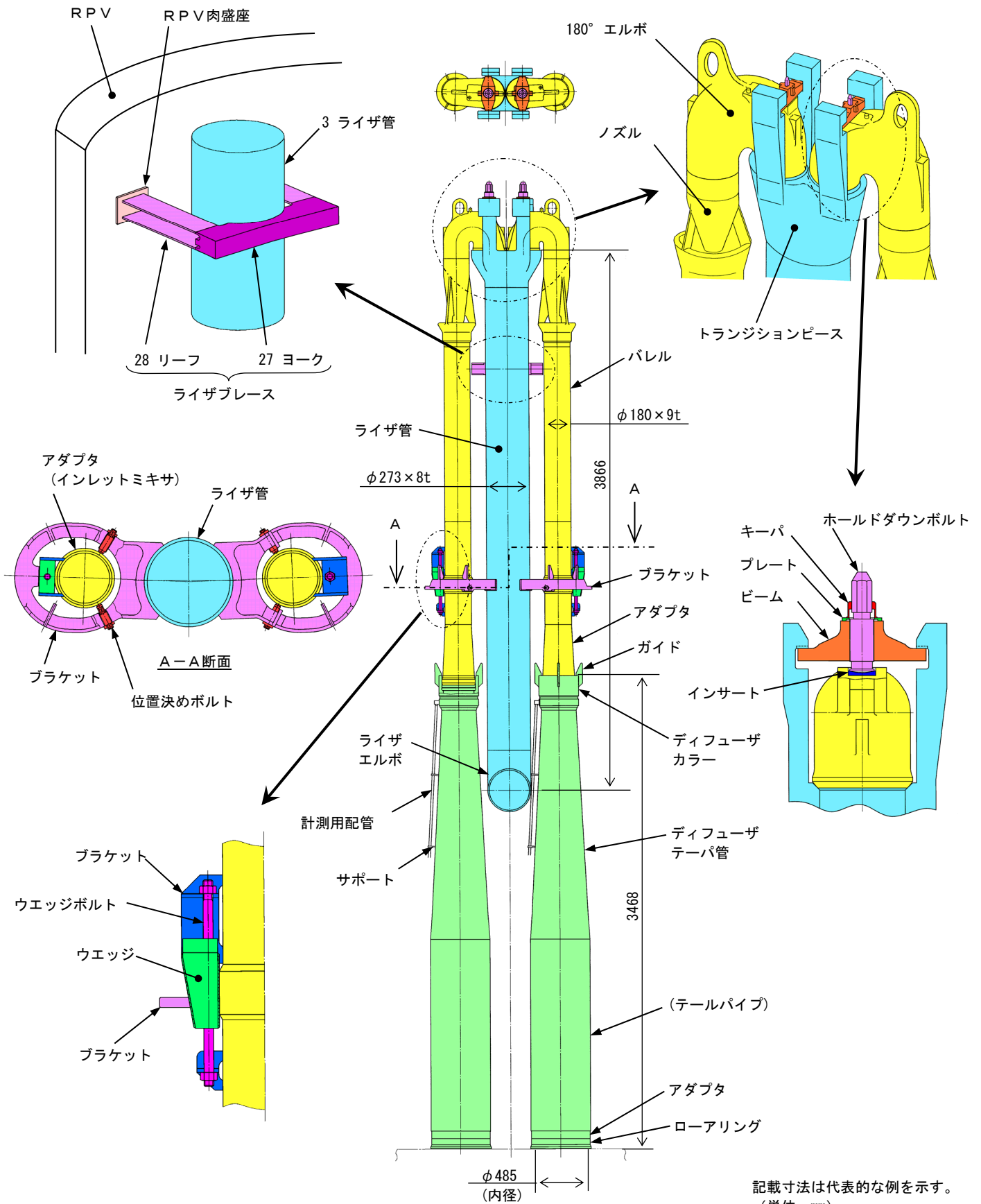


図 A-2.2-3 ジェットポンプの構造 (2)

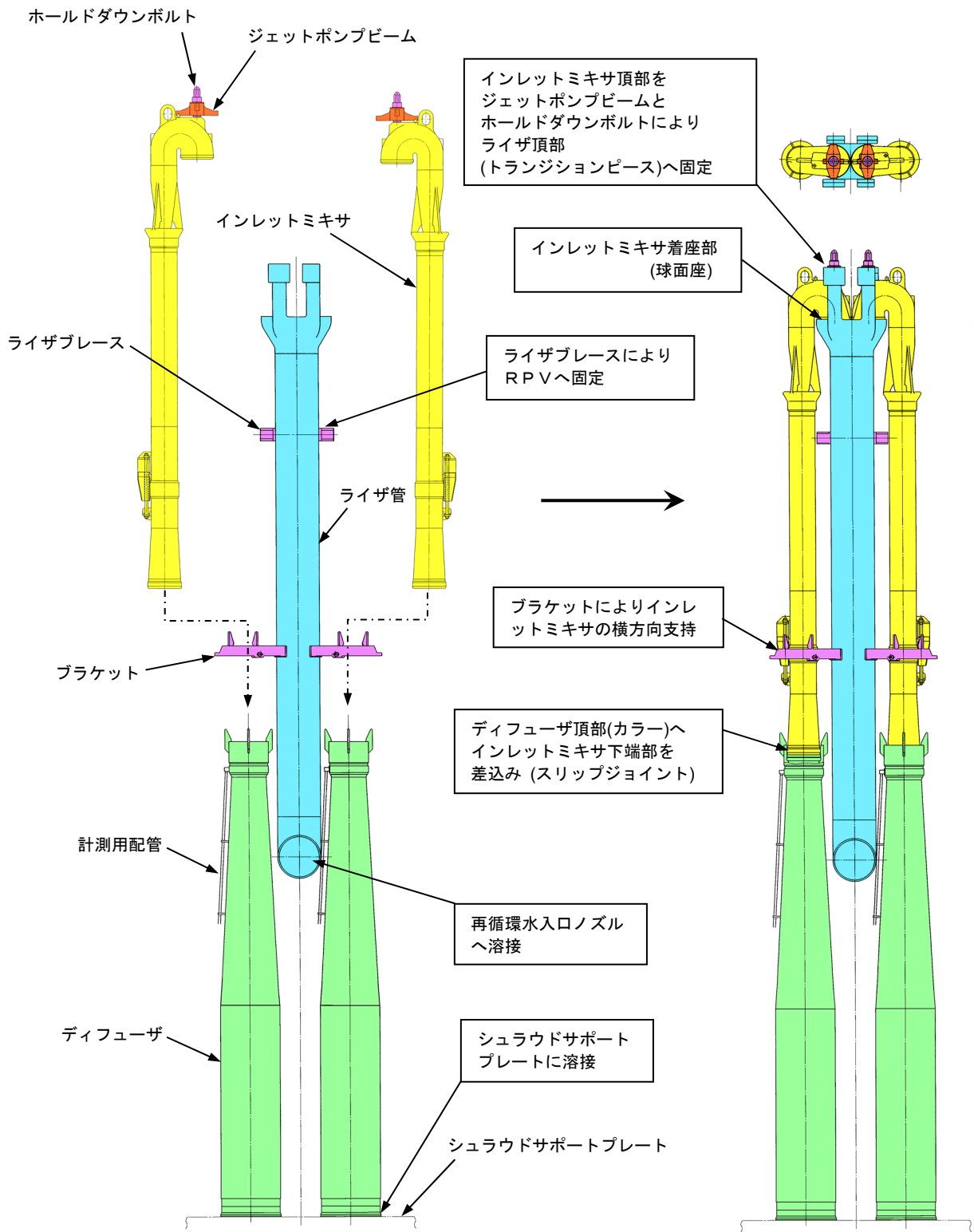


図 A-2. 2-4 ジェットポンプの組立構造

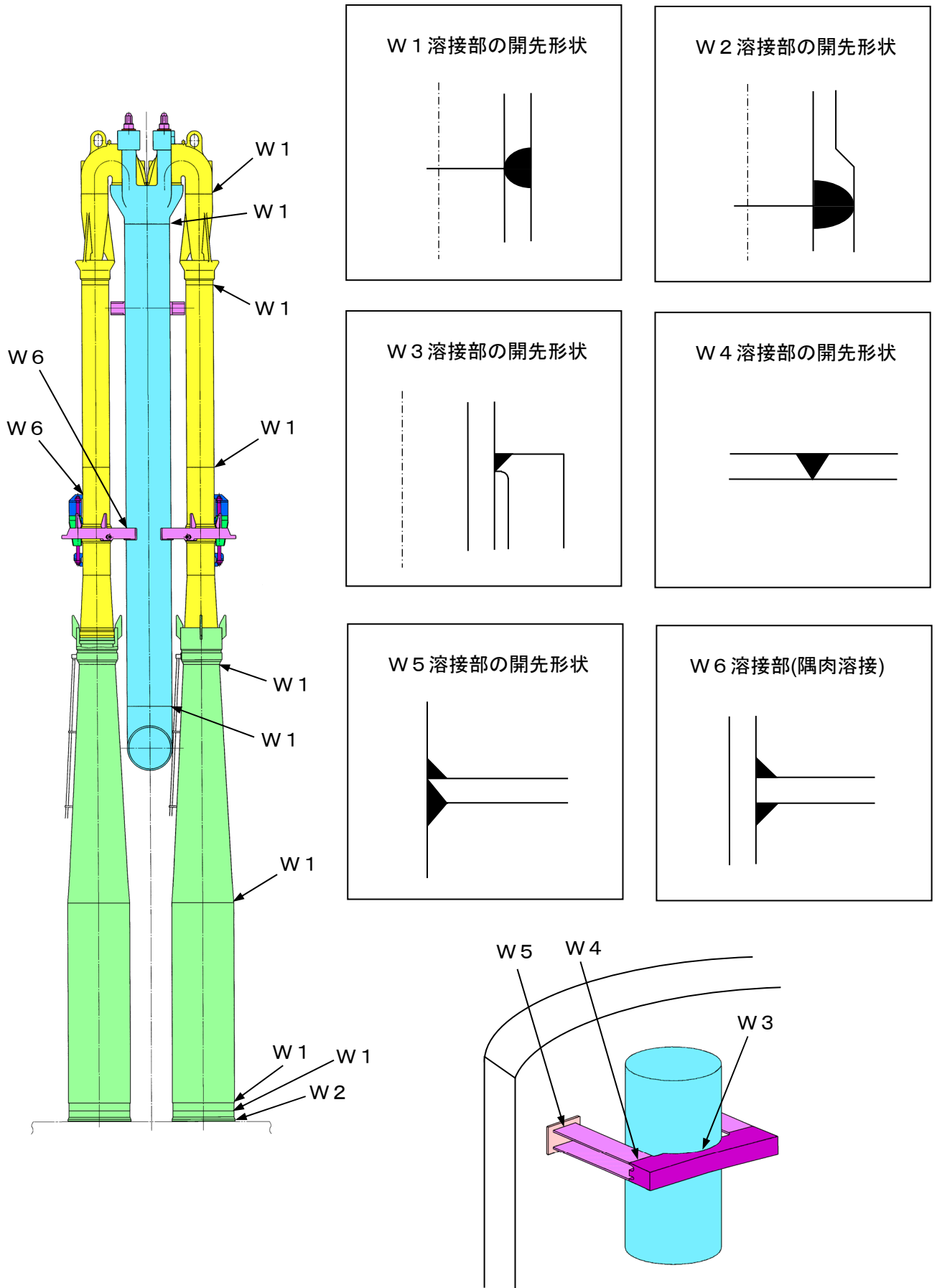


図 A-2.2-5 ジェットポンプの溶接構造

### 3. ジェットポンプの各部位の構造体に対する点検方針

ここでは、ジェットポンプを構成する、ライザ管、トランジションピース、インレットミキサ、ディフューザカラー、ディフューザ、ジェットポンプビーム、ライザブレース、ブラケット、計測用配管に対し、点検方針を記載する。

#### 3.1 ライザ管

##### 3.1.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、ライザ管の①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.1.1.1 安全機能

ライザ管は、再循環系の配管破断時にも炉内の水位を確保するインレットミキサを支持することにより、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。また、原子炉再循環系の流路を構成していることから、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

##### 3.1.1.2 形状及び材料

###### 3.1.1.2.1 形状 (図 A-3.1.1.2.1)

ライザ管はライザ管とエルボを溶接 (RS-2) により結合した円筒構造物であり、下部はサーマルスリーブを介して原子炉圧力容器ノズル部のサーマルスリーブに溶接 (RS-1) で接合されており、上部はトランジションピースと溶接 (RS-3) により結合されている。また、上部をライザブレースにより原子炉圧力容器に溶接で連結されている。

###### 3.1.1.2.2 材料

ライザ管の主な材料は、低炭素ステンレス鋼 (炭素含有量が 0.030%以下) であり、溶接により構成される構造物である。

ライザ管の材料を表 A-3.1.1.2.2 に示す。

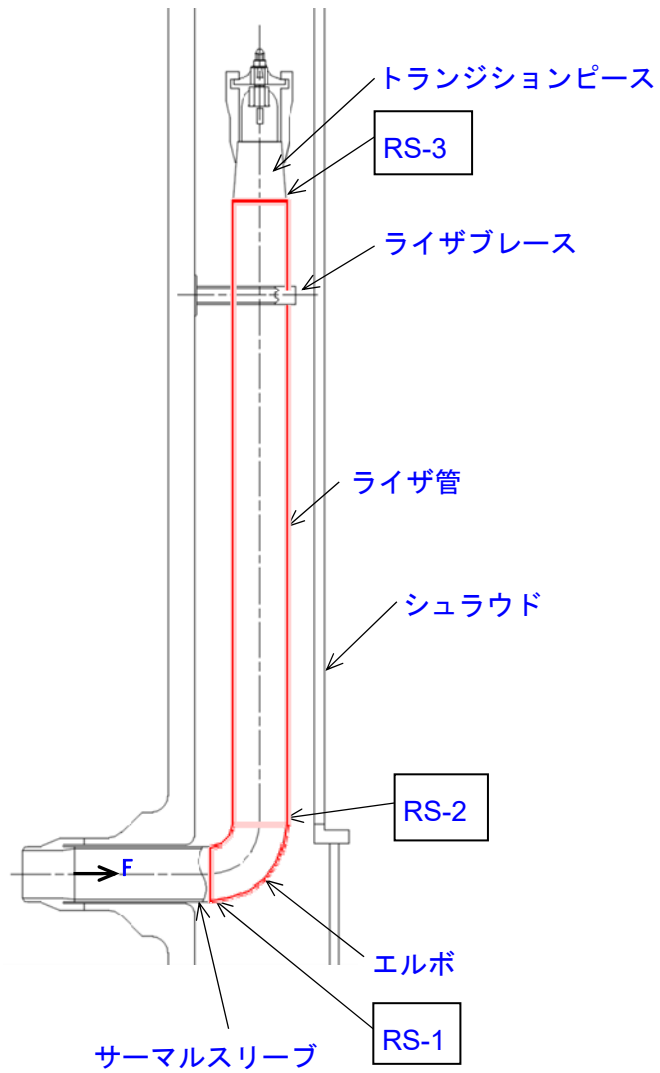


図 A-3. 1. 1. 2. 1 ライザ管の形状

表 A-3. 1. 1. 2. 2 ライザ管の材料

形状	部品	材料
図 A-3. 1. 1. 2. 1	エルボ	ステンレス鋼
	ライザ管	ステンレス鋼

### 3.1.1.3 想定される劣化事象

ライザ管の材料はステンレス鋼であり、応力腐食割れ（以下、SCC と称す。）発生の可能性がある。また、溶接部（RS-3）については、トランジションピース側の材料がステンレス鋳鋼（耐食性にすぐれた二相ステンレス組織）であることからライザ管側にのみ SCC 発生の可能性がある。なお、炭素含有量が 0.030%を超えるステンレス鋼（SUS304、以下「SUS304」）に比べて、炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼（SUS304L、SUS316L 等、以下「低炭素ステンレス鋼」）では、SCC 発生の可能性は低い。ただし、機械加工による表面硬化や溶接残留応力の影響も考慮する必要がある。なお、国内プラントでは低炭素ステンレス鋼が多用されている。

### 3.1.1.4 国内外の運転経験

国内では、1996 年に SUS304 を用いた比較的初期のプラントにおいて溶接部（RS-1）に 1 件（2 カ所/10 本）の損傷事例があり、低炭素ステンレス鋼に交換された。その他の損傷事例は報告されていない。

米国では 2018 年時点において、溶接部（RS-1）でのべ約 300 の点検で 6%の割合できずが確認されており、溶接部（RS-2）でのべ約 300 の点検で 0.3%の割合できずが確認されている。なお、その後の点検においても、溶接部（RS-1）で新たな損傷が確認されているが、プラント停止に至る事象は発生していない。溶接部（RS-3）のライザ管側では、2018 年時点において、のべ約 300 の点検できずは確認されておらず、その後の点検においても新たな損傷は確認されていない。なお、米国では比較的 SUS304 が多用されている。

### 3.1.1.5 損傷による安全機能への影響

エルボ両端の溶接部（RS-1 又は RS-2）での全周破断を仮定した場合には、破断部から下流側のライザ管～インレットミキサを圧力容器に固定する構造物は上下方向に柔軟性のあるライザブレースのみとなり、インレットミキサが上昇しディフューザから分離する可能性は否定できない。また、ライザ管とトランジションピースとの溶接部（RS-3）のライザ管側での全周破断を仮定した場合、破断部から下流側のトランジションピース～インレットミキサを圧力容器に固定する構造物はなく、インレットミキサが上昇しディフューザから分離する可能性がある。

エルボの周溶接が全周破断し、インレットミキサがディフューザから分離した場合、炉内の水位はディフューザ上端までしか確保できなくなり、「炉心冠水と長期冷却の維持」に影響がある。また、インレットミキサがディフューザから分離することで、低圧

注水系の炉心冷却水を炉内に送り込む流路が損なわれることから、「非常用炉心冷却の確保」に影響がある。なお、通常運転時に上記のライザ管の溶接部（RS-1～RS-3）が破断し、インレットミキサがディフューザから分離したとしても、ジェットポンプの流量、炉心流量、炉出力に変化が現れ検知が可能であり、炉を安全に停止することは十分可能である。

### 3.1.2 ライザ管の点検方針

ライザ管の①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響に基づき、ライザ管の点検方針として、点検対象、点検手法、点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.1.2.1 点検対象の選定

ライザ管の点検対象を図 A-3.1.2.1 に、点検方針を表 A-3.1.2 に示す。なお、図 A-3.1.2.1 は、国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として、ライザ管の各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し、定性的に可視化したものである。

ライザ管については、国内外のプラントでの運転経験において溶接部に対する損傷事例が確認されており、溶接部には損傷のポテンシャルがあると考えられる。また、損傷による安全機能に対する影響の評価結果から、ライザ管本体が損傷した場合には安全機能への影響が生じると考えられる。これらのことから、周方向溶接部（RS-1～RS-3）を個別点検の対象とする。

上記を含めたその他の部位については、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

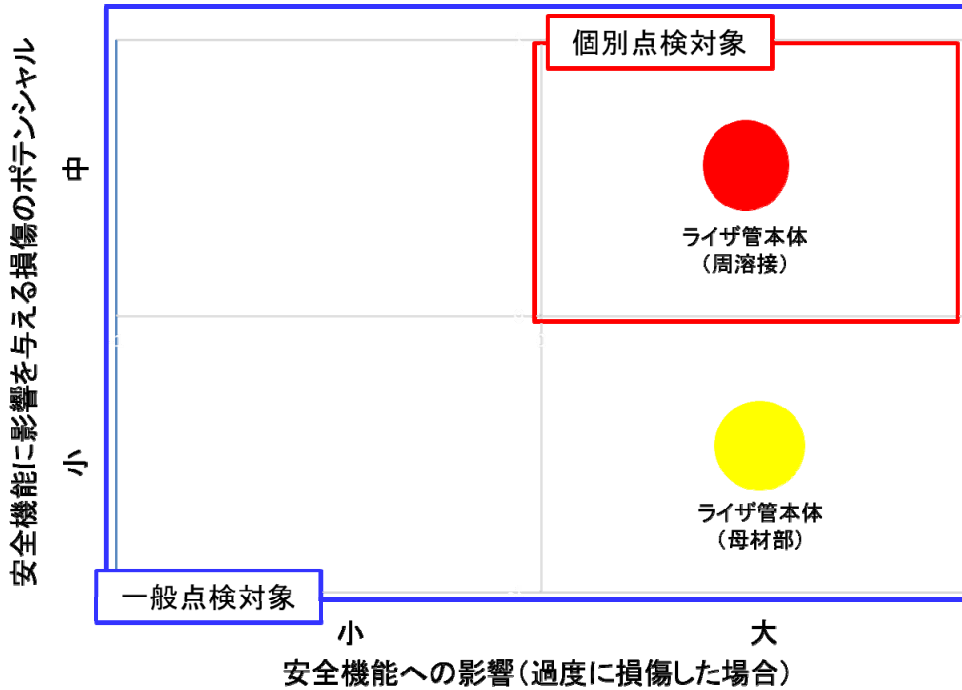


図 A-3.1.2.1 ライザ管の点検対象<sup>(注)</sup>

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3.1.2 ライザ管の点検方針

検討対象		機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
①	ライザ管	<ul style="list-style-type: none"> <li>インレットミキサの支持</li> <li>再循環水の流路形成</li> </ul>	有(冠/非)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>周方向溶接部の破断により、インレットミキサとディフューザの結合が維持できなくなることで、再循環水の流路確保ができなくなることから、安全機能の維持に影響がある。</li> </ul>	点検対象(RS-1～RS-3)

冠：炉心冠水と長期冷却の維持

非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 3.1.2.2 点検手法の選定

点検対象である周方向溶接部（RS-1～RS-3）において，想定される経年劣化事象は，ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。SCC により表面のきずの検出を目的とし，炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い，目視試験を実施する。（表 8-1(1)参照）

#### 3.1.2.3 点検範囲の選定

ライザ管の点検対象は周方向溶接部（RS-1～RS-3）である。初回点検，再点検とも，インレットミキサの取外しを行わなくても点検可能な外表面全周を点検範囲とする。（表 8-1(1)参照）

#### 3.1.2.4 点検時期の選定

点検時期は，ライザ管の周方向溶接部の内面に初期亀裂を想定した亀裂進展評価法を用い，地震荷重が加わった際に全周破断に至る前の貫通亀裂長さと，漏えい量の計算において急激に漏えい量が増える貫通亀裂長さを比較し，厳しい方を基準として選定する。（表 8-1(1)参照）

## 3.2 トランジションピース

### 3.2.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、トランジションピースの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

#### 3.2.1.1 安全機能

トランジションピースは、再循環系の配管破断時にも炉内の水位を確保するインレットミキサを支持することにより、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。また、原子炉再循環系の流路を構成していることから、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

#### 3.2.1.2 形状及び材料

##### 3.2.1.2.1 形状 (図 A-3.2.1.2.1)

トランジションピースは、ライザ管からの上昇流を2つに分岐するY字型の流路を内部に持つ構造物である。

トランジションピースは、ライザ管の上端に溶接 (RS-3) で接続されている。また、トランジションピースの支柱の溝に取り付けられたジェットポンプビーム及びホールドダウンボルトにより、インレットミキサをトランジションピースの球面座に押し付けることでトランジションピースに機械的に接合する構造になっている。

トランジションピースの形状を図 A-3.2.1.2.1 に示す。

##### 3.2.1.2.2 材料

トランジションピースの材料は、ステンレス鋳鋼である。

トランジションピースの材料を表 A-3.2.1.2.2 に示す。

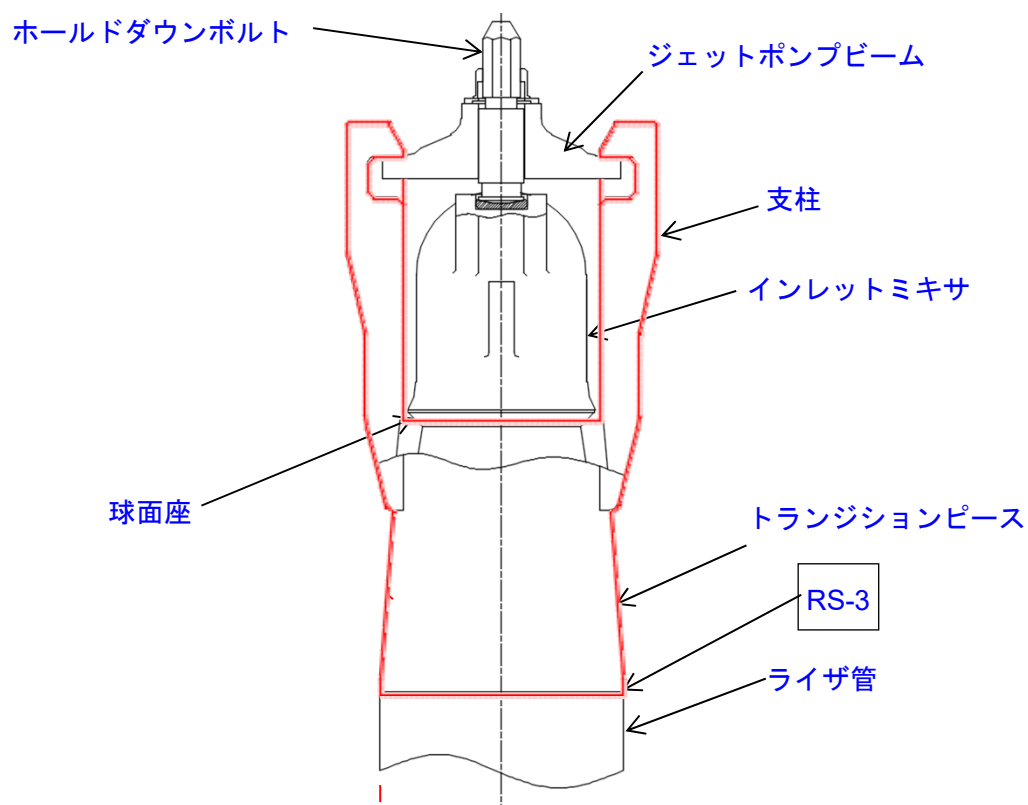


図 A-3. 2. 1. 2. 1 トランジションピースの形状

表 A-3. 2. 1. 2. 2 トランジションピースの材料

形状	部品	材料
図 A-3. 2. 1. 2. 1	トランジションピース	ステンレス 鋳鋼

### 3.2.1.3 想定される劣化事象

トランジションピースの材料であるステンレス鋼は耐食性にすぐれた二相ステンレス組織になっているため、トランジションピースとライザ管との溶接部（RS-3）のトランジションピース側に SCC が発生する可能性はないと考えられる。なお、ライザ管側については 3.1.1.3 項に示す。

トランジションピースとインレットミキサのジェットポンプビームによる機械的な接合部（トランジションピースの支柱とジェットポンプビームとの接触部、ホールダウンボルトとインレットミキサとの接触部、インレットミキサとトランジションピースとの接触部（球面座）等の接触）については、ジェットポンプの振動に伴い摩耗の可能性がある。

### 3.2.1.4 国内外の運転経験

溶接部（RS-3）についての国内外での損傷事例はない。なお、米国においては、トランジションピース側は点検対象ではない。

### 3.2.1.5 損傷による安全機能への影響

溶接部（RS-3）の安全機能については、ライザ管側で記載済みであり、ライザ管側で管理するものとする。

トランジションピースとインレットミキサのジェットポンプビームによる機械的な接合部については、インレットミキサの振動に伴って生じる摩耗の程度が大きくなった場合には、インレットミキサの振動も大きくなり、最終的にはジェットポンプビームが外れる等の安全機能に影響を与える可能性は否定できない。ただし、摩耗は振動に伴いゆるやかに進行する事象であり、摩耗を適切に管理することで、「炉心冠水と長期冷却の維持」機能及び低圧での「非常用炉心冷却の確保」機能に影響を及ぼすことを防止できる。

### 3.2.2 トランジションピースの点検方針

トランジションピースの①安全機能，②形状及び材料，③想定される経年劣化事象，④国内外の運転経験，⑤損傷による安全機能への影響に基づき，トランジションピースの点検方針として，点検対象，点検手法，点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.2.2.1 点検対象の選定

トランジションピースの点検対象を図 A-3.2.2.1 に，点検方針を表 A-3.2.2 に示す。なお，図 A-3.2.2.1 は，国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として，トランジションピースの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し，定性的に可視化したものである。

トランジションピース本体は耐食性にすぐれたステンレス鋳鋼であり損傷のポテンシャルは小さいと考えられる。また，損傷による安全機能に対する影響の評価結果から，トランジションピース本体が損傷した場合には，安全機能への影響が生じると考えられる。ただし，トランジションピースの溶接部（RS-3）については，ライザ管で記載済みであり，ライザ管側で管理するものとする。

トランジションピースの機械的接合部の摩耗に関しては，トランジションピースとインレットミキサのジェットポンプビームによる機械的な接合部等にジェットポンプの振動の兆候として観測されることが考えられるが，摩耗は緩やかに進行する現象であり損傷ポテンシャルは小さいと考えられる。また，損傷による安全機能に対する影響の評価結果から，機械的接合部が損傷した場合には安全機能への影響が生じることが考えられるが，損傷は，付録A 3.8.2 項に記載の，より接触面積が小さいブラケットの位置決めボルト（BR-3）及びウエッジ（BR-5）とインレットミキサ（アダプタ部）の接触部に顕著に現れることから，摩耗に対しての個別点検としては，この部分（BR-3，BR-5）で点検・監視するものとする。

したがって，トランジションピースは個別点検の対象とはせず，一般点検により健全性の確認を行うものとする。

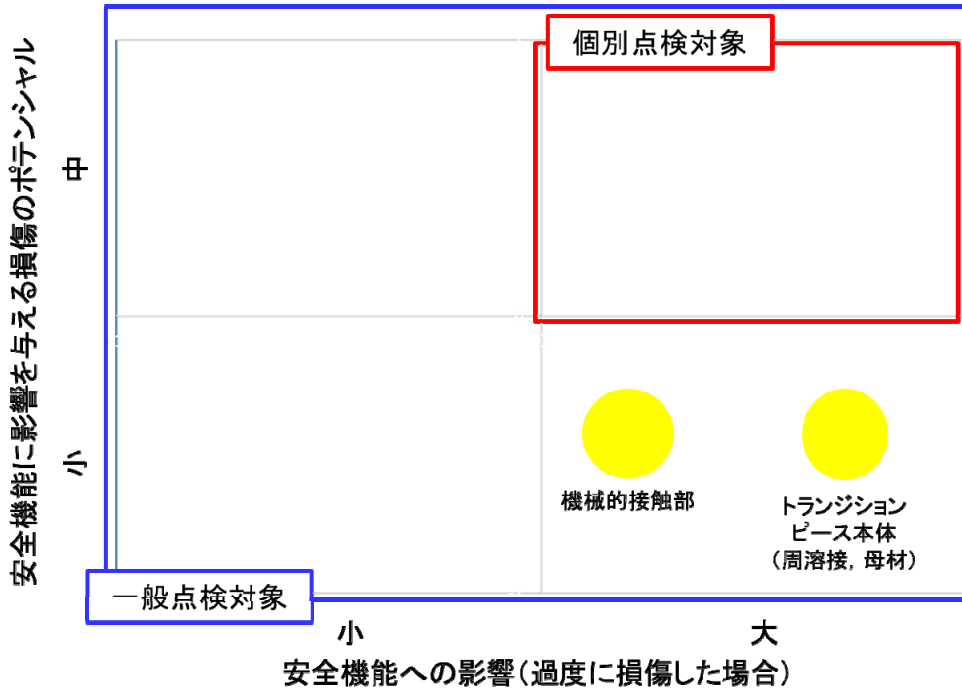


図 A-3.2.2.1 トランジションピースの点検対象 (注)

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3.2.2 トランジションピースの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
② トランジションピース	・インレットミキサの支持 ・再循環水の流路形成	有 (冠/非)	—	・摩耗の程度が大きくなった場合には、振動も大きくなり、最終的にはジェットポンプビームが外れる等の安全機能に影響を与える可能性は否定できない。	不要

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

### 3.3 インレットミキサ

#### 3.3.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、インレットミキサの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.3.1.1 安全機能

インレットミキサは、再循環系の配管破断時にも炉内の水位を確保することにより、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。

また、原子炉再循環系の流路を構成していることから、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

##### 3.3.1.2 形状及び材料

###### 3.3.1.2.1 形状 (図 A-3.3.1.2.1)

インレットミキサは、インレット部 (180° エルボ、スリーブ、ノズル) とミキサ部 (バレルとアダプタ) で構成された管状構造物であり、その構成部品は溶接で接合されている。ノズルとバレルの境界の上流側をインレット部、下流側をミキサ部と呼ぶ。

インレットミキサの上流端の 180° エルボはライザ管上端のトランジションピースの球面座でジェットポンプビーム及びホールダウンボルトにより押し付けられて機械的に接合されている。

下流端のアダプタは、ディフューザの上端とスリップジョイントにより連結されている。スリップジョイントは、原子炉圧力容器に取り付けられているライザ管側とシュラウドサポートプレートに取り付けられているディフューザ側の鉛直方向の熱膨張差を吸収するために設置されている。

###### 3.3.1.2.2 材料

インレット部の 180° エルボとノズルは、ステンレス鋳鋼であり、これらをつなぐスリーブの材料は、ステンレス鋼又はステンレス鋳鋼で、180° エルボとスリーブ、スリーブとノズルは溶接部 (IM-1) により接合されている。インレット部のノズル下端はバレル上端と溶接部 (IM-2) で接合されている。ノズル部下端の溶接部 (IM-2) は、図 A-3.3.1.2.1(2) に示すように、ノズルの穴が 1 つのタイプでは、ノズルには 3 本の支柱と支柱下端でそれらを連結するように形成されたリング部が一体となっている。一方、ノズルの穴が 5 つのタイプでは、ノズルには 5 本の支柱が一体となっており、

1 穴タイプのリング部に相当する部分はバレル側に形成されている。このため、溶接部（IM-2）の位置はノズルのタイプで異なる。

ミキサ部は、バレルとアダプタは溶接部（IM-3）で接合されている。バレルの材料は5 穴ノズルのプラントはステンレス鋳鋼であるが、1 穴ノズルのプラントではステンレス鋼とステンレス鋳鋼が用いられているものがある。また、ノズルとアダプタの材料はすべてステンレス鋳鋼である。

インレットミキサの材料を表 A-3. 3. 1. 2. 2 に示す。

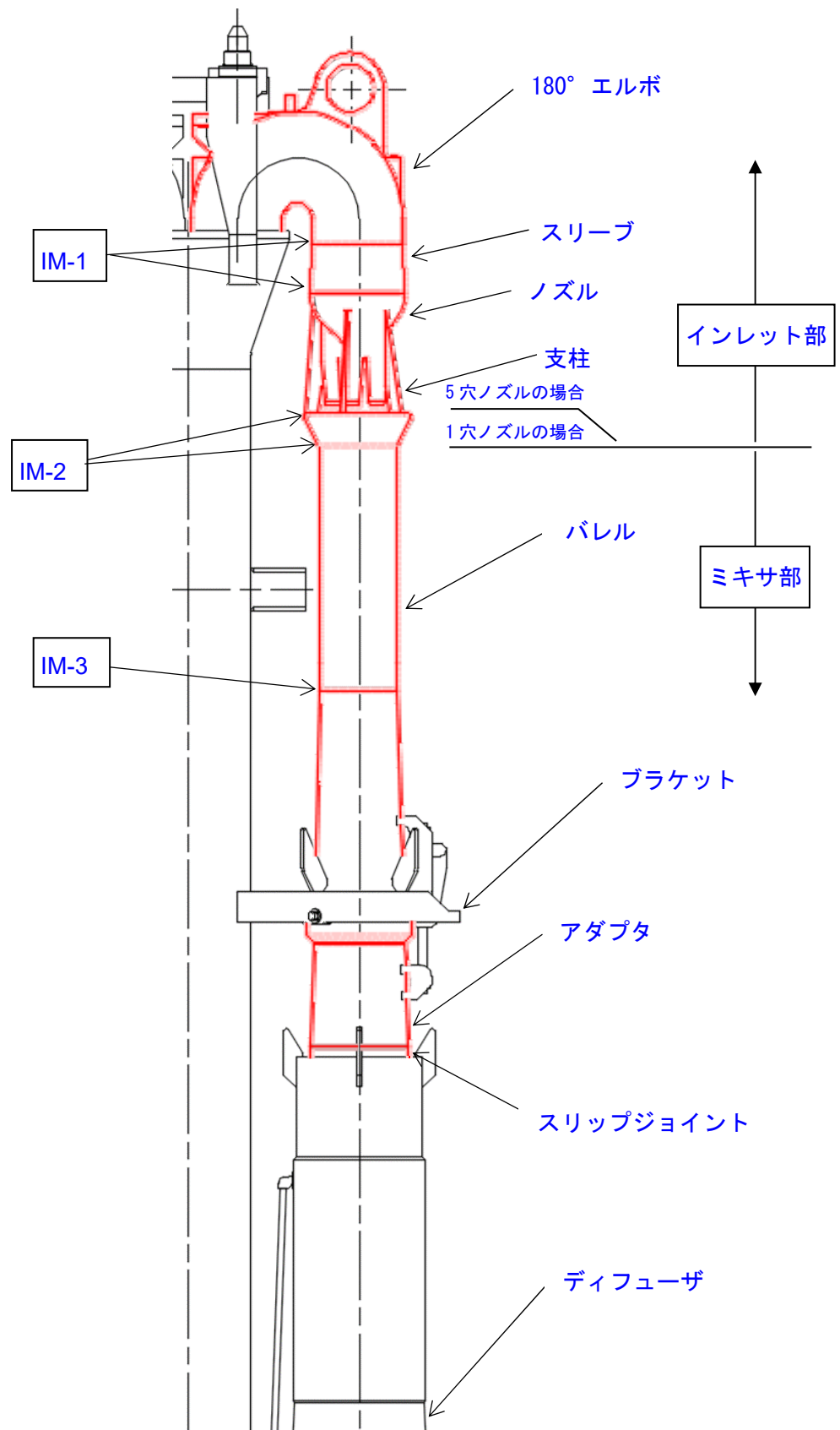
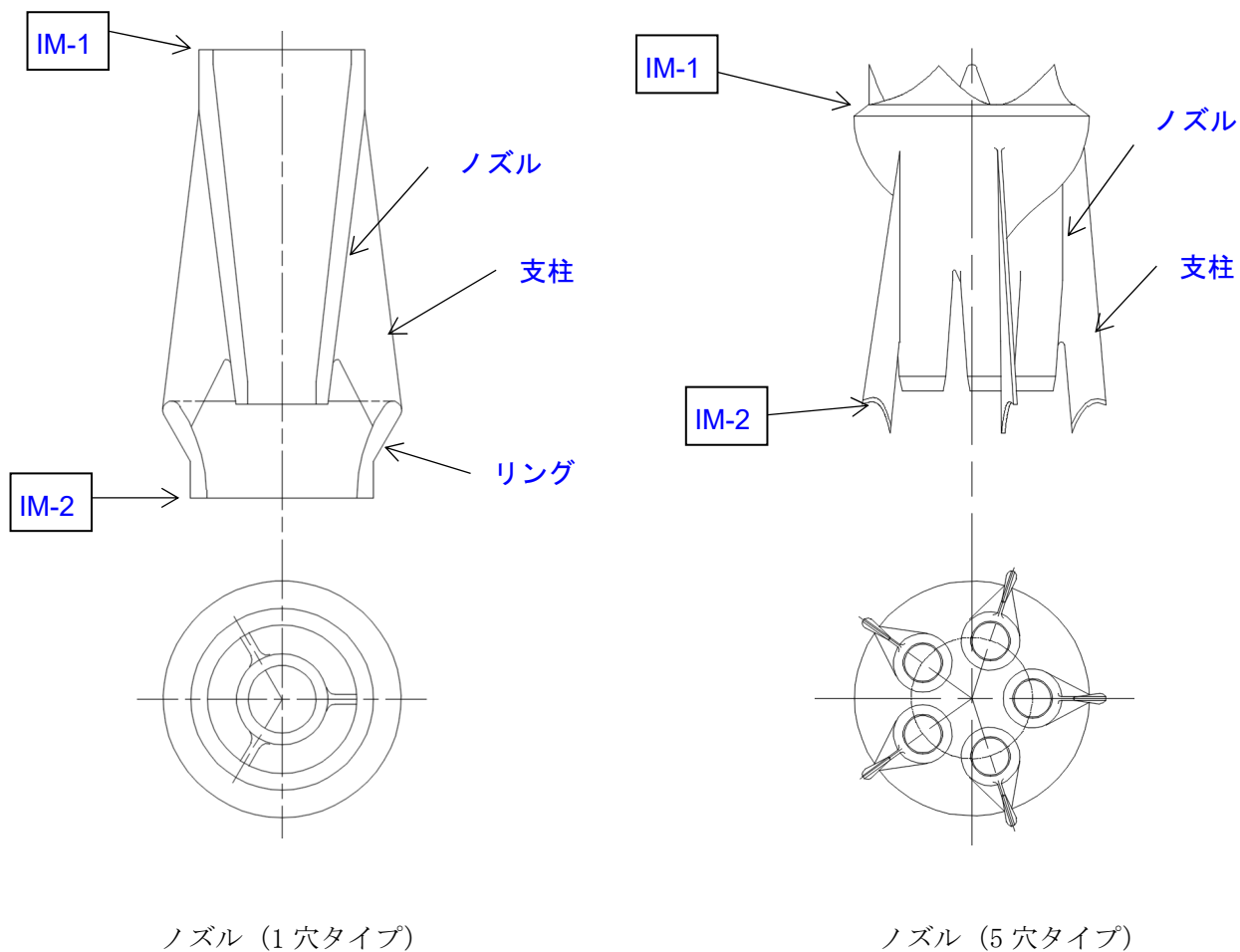


図 A-3. 3. 1. 2. 1 (1) インレットミキサの形状



ノズル (1 穴タイプ)

ノズル (5 穴タイプ)

図 A-3. 3. 1. 2. 1 (2) インレットミキサの形状

表 A-3. 3. 1. 2. 2 インレットミキサの材料

形状	部品	材料
図 A-3. 3. 1. 2. 1 (1) 図 A-3. 3. 1. 2. 1 (2)	180° エルボ	ステンレス 鋳鋼
	スリーブ	ステンレス 鋳鋼
		ステンレス 鋼
	ノズル	ステンレス 鋳鋼
	バレル	ステンレス 鋳鋼
		ステンレス 鋼
アダプタ	ステンレス 鋳鋼	

### 3.3.1.3 想定される劣化事象

インレットミキサの 180° エルボ、ノズル、アダプタはすべてのプラントでステンレス鋼を用いている。

スリーブにステンレス鋼を用いているプラントの溶接部 (IM-1) は鋼同士の溶接部になり、想定劣化事象として SCC が発生する可能性はないと考えられる。一方、スリーブにステンレス鋼を用いているプラントの溶接部 (IM-1) では、スリーブ側は想定劣化事象として SCC が発生する可能性がある。

バレルにステンレス鋼を用いているプラントの溶接部 (IM-2)、溶接部 (IM-3) は鋼同士の溶接部になり、想定劣化事象として SCC が発生する可能性はないと考えられる。一方、バレルにステンレス鋼を用いているプラントの溶接部 (IM-2)、溶接部 (IM-3) ではバレル側に SCC が発生する可能性がある。なお、ステンレス鋼の SCC については、SUS304 に比べて、低炭素のステンレス鋼では、発生の可能性は低い。国内プラントでは低炭素のステンレス鋼が多用されている。

### 3.3.1.4 国内外の運転経験

国内では、溶接部 (IM-1)、溶接部 (IM-2)、溶接部 (IM-3) とともに、損傷事例の報告はない。

米国では 2018 年時点において、溶接部 (IM-1) でのべ約 150、溶接部 (IM-2) でのべ約 350、溶接部 (IM-3) でのべ約 200 の点検を行っているが、きずは確認されておらず、その後の点検においても新たな損傷は確認されていない。なお、米国プラントでは比較的 SUS304 が多用されている。

### 3.3.1.5 損傷による安全機能への影響

溶接部 (IM-1) での全周破断を仮定した場合、上流側の 180° エルボはライザ管に固定されており、破断部から下流側が上昇することを妨げることから、ミキサ部がディフューザから分離することはない。また、水平方向については、インレットミキサ部がスリップジョイント部とライザブラケットの高さが異なる 2 か所で拘束されており、インレットミキサが傾いて破断部が大きく横ずれすることはない。また、事故時の炉心冠水と長期冷却の維持機能については、溶接部 (IM-1) が炉心域の 2/3 のレベルより上方にありその破断による冠水レベルへの影響はない。事故時の低圧での注水機能をジェットポンプに持たせているプラントでは溶接部 (IM-1) は注水流路となり低圧での注水機能に影響を及ぼすと考えられるが、横ずれは制限されており、その影響は小さいと考えられる。

溶接部（IM-2）、溶接部（IM-3）での全周破断を仮定した場合、上流側の180°エルボはライザ管に固定されており、破断部から下流側が上昇することを妨げることから、ディフューザから分離することはない。また、水平方向については、インレットミキサ部はスリップジョイント部とレストレントブラケットの高さが異なる二か所で拘束されており、インレットミキサが傾いて破断部が大きく横ずれすることはない。事故時の炉心冠水と長期冷却の維持機能については、溶接部（IM-2、IM-3）が炉心域の2/3のレベルより同等又は下方にありその破断による冠水レベルへの影響を及ぼすと考えられるが、横ずれは制限されており、その影響は小さいと考えられる。

事故後の低圧での注水機能をジェットポンプに持たせているプラントでは溶接部（IM-2、IM-3）は注水流路となり低圧での注水機能に影響を及ぼすと考えられるが、横ずれは制限されており、その影響は小さいと考えられる。

### 3.3.2 インレットミキサの点検方針

インレットミキサの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響に基づき、インレットミキサの点検方針として、点検対象、点検手法、点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.3.2.1 点検対象の選定

インレットミキサの点検対象を図A-3.3.2.1に、点検方針を表A-3.3.2に示す。なお、図A-3.3.2.1は、国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として、インレットミキサの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し、定性的に可視化したものである。

インレット部の周方向溶接（IM-1）は炉心域の2/3のレベルより上方にあり、事故後の炉心冠水機能に影響はないものと考えられる。一方、ミキサ部の周方向溶接（IM-2、IM-3）は炉心域の2/3のレベルより下方にあり事故後の炉心冠水機能に影響する可能性は否定できない。また、事故後の低圧での注水機能をジェットポンプに持たせているプラントの周方向溶接（IM-1～IM-3）は、インレット部／ミキサ部共に長期冷却の維持機能に影響する可能性は否定できない。したがって、インレットミキサが損傷した場合には、安全機能への影響が生じると考えられる。

想定される劣化事象としては、スリーブにステンレス鋼を用いているプラントではインレット部の周方向溶接（IM-1）にSCCが発生する可能性があり、バレルにステンレス鋼を用いているプラントではミキサ部の周方向溶接（IM-2、IM-3）にSCCが発生する可

能性がある。したがって、母材部にステンレス鋼を用いている場合には、溶接部に損傷のポテンシャルがあると考えられる。一方、運転経験からは、低炭素ステンレス鋼を多用している国内で周方向溶接（IM-1～IM-3）に損傷事例の経験はなく、SUS304を多用している米国においても点検できずが確認された事例は報告されていない。これより、ステンレス鋼の母材部及び耐食性にすぐれたステンレス鋳鋼を用いている場合の溶接部は損傷のポテンシャルが小さいと考えられる。

以上より、インレット部の周方向溶接（IM-1）については、事故後の低圧での注水機能をジェットポンプに持たせ、かつ、スリーブにステンレス鋼を用いているプラントで点検が必要と考えられるが、国内プラントでは、この組み合わせのプラントはなく、個別点検としての点検は不要と考えられる。

ミキサ部の周方向溶接（IM-2，IM-3）については、溶接部バレルにステンレス鋼を用いているプラントを個別点検対象にするものとする。

したがって、インレットミキサは溶接部バレルにステンレス鋼を用いているプラントのミキサ部の周方向溶接（IM-2，IM-3）を個別点検対象とする。上記を含めたその他の部位については、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

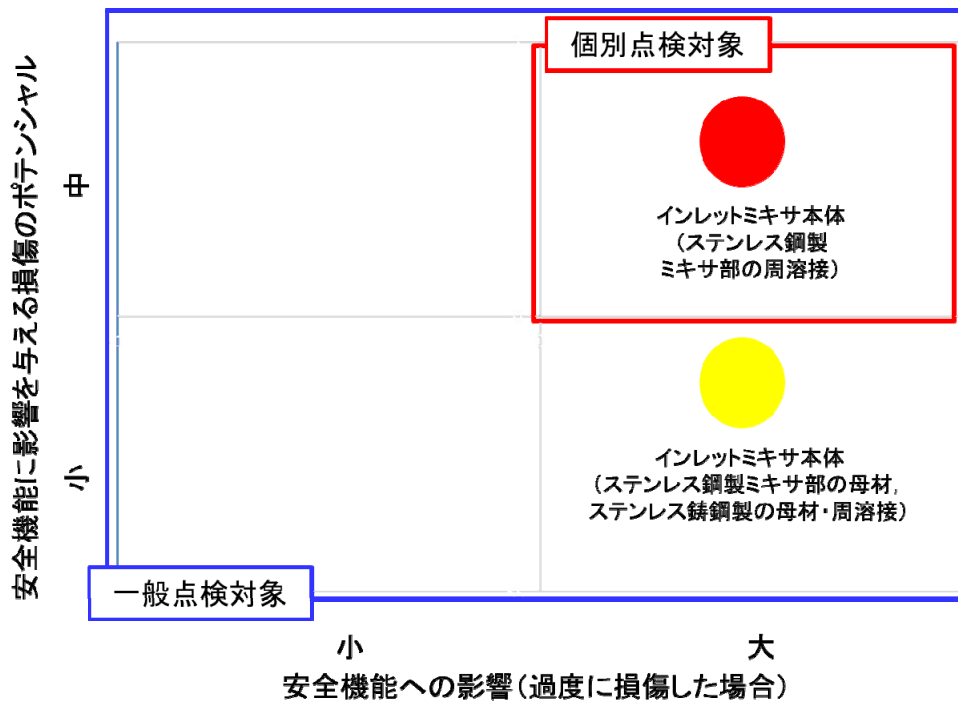


図 A-3.3.2.1 インレットミキサの点検対象<sup>(注)</sup>

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3.3.2 インレットミキサの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
③ インレットミキサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>事故時の炉内水位の確保</li> <li>再循環水の流路形成</li> </ul>	有 (冠/非)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミキサ部の周方向溶接部の破断により、炉心域の 2/3 のレベルの水位が確保できなくなることで、再循環水の流路確保ができなくなることから、安全機能の維持に影響がある。</li> </ul>	点検対象 (IM-2, IM-3)

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 3.3.2.2 点検手法の選定

点検対象であるミキサ部の周方向溶接（IM-2，IM-3）において，想定される経年劣化事象は，ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。SCC により表面のきずの検出を目的とし，炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い，目視試験を実施する。（表 8-1(2)参照）

#### 3.3.2.3 点検範囲の選定

インレットミキサの点検対象はミキサ部の周方向溶接（IM-2，IM-3）である。初回点検，再点検とも，インレットミキサの取外しを行わなくても点検可能な外表面全周を点検範囲とする。（表 8-1(2)参照）

#### 3.3.2.4 点検時期の選定

点検時期は，インレットミキサのミキサ部の周方向溶接の内面に初期亀裂を想定した亀裂進展評価法を用い，地震荷重が加わった際に全周破断に至る前の貫通亀裂長さと，漏えい量の計算において急激に漏えい量が増える貫通亀裂長さを比較し，厳しい方を基準として選定する。（表 8-1(2)参照）

### 3.4 ディフューザカラー

#### 3.4.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、ディフューザカラーの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.4.1.1 安全機能

ディフューザカラーは、ディフューザの上部に位置し、インレットミキサとのスリップジョイントを構成する部品であり、再循環系の配管破断時にも炉内の水位を確保することにより、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。

また、原子炉再循環系の流路を構成していることから、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

##### 3.4.1.2 形状及び材料

###### 3.4.1.2.1 形状 (図 A-3.4.1.2.1)

ディフューザカラーは、ディフューザの上端に溶接により取り付けられている円筒構造物である。

ディフューザカラーには、インレットミキサをスリップジョイント部に差し込むためのガイドが溶接されている。また、ディフューザカラー外周には、圧力検出用の溝が全周に設けられており、溝の底に圧力検出用の貫通穴が複数個開いている。溝にはバンドを被せて覆うように溶接されており、内部の空間が各穴からの圧力の均一化を図り、このバンドに接続されたジェットポンプ計測用配管を通して原子炉圧力容器外に取り出し、圧力を計測する。

###### 3.4.1.2.2 材料

ディフューザカラーのガイドとディフューザカラーはステンレス鋳鋼であり、ディフューザカラーの圧力検出用の貫通穴を封止するバンドはステンレス鋼製である。

ディフューザカラーの材料を表 A-3.4.1.2.2 に示す。

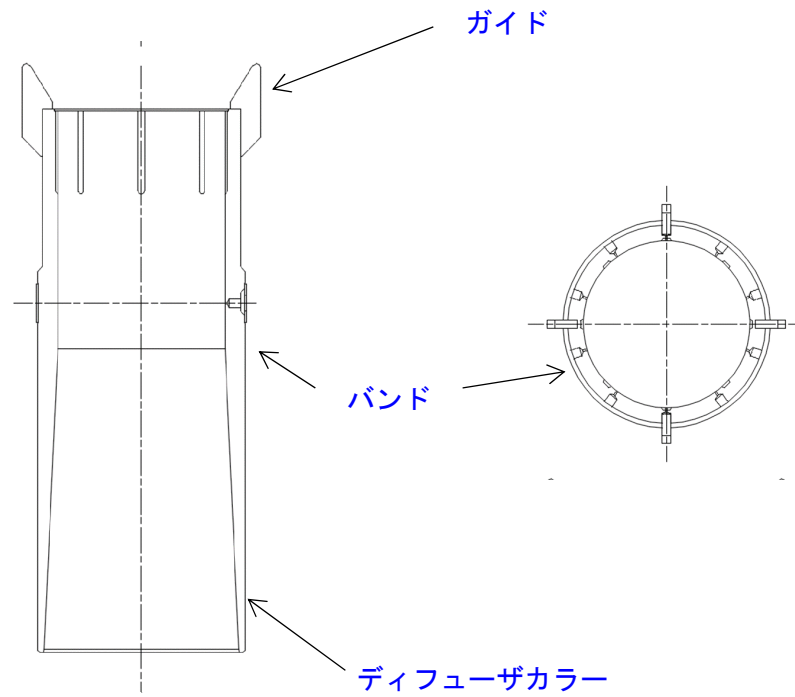


図 A-3. 4. 1. 2. 1 ディフューザカラーの形状

表 A-3. 4. 1. 2. 2 ディフューザカラーの材料

形状	部品	材料
図 A-3. 4. 1. 2. 1	ディフューザカラー	ステンレス 鋳鋼
	ガイド	ステンレス 鋳鋼
	バンド	ステンレス 鋼

#### 3.4.1.3 想定される劣化事象

ディフューザカラーはステンレス鋳鋼である。それに溶接されるガイドもステンレス鋳鋼であり、溶接部の SCC 発生の可能性はないと考えられる。一方、バンドの材料はステンレス鋼であり、取付け溶接部のバンド側に SCC 発生可能性がある。

#### 3.4.1.4 国内外の運転経験

ディフューザカラーとディフューザの溶接部 (DF-1) については 3.5.1.4 項に示す。バンドの取付け溶接部については、国内、米国共に点検対象部位ではない。

#### 3.4.1.5 損傷による安全機能への影響

バンドの取付け溶接部に亀裂があっても、ディフューザカラー自身は鋳鋼であって、ディフューザカラーの破断には至らず、ジェットポンプの安全機能である事故後の「炉心冠水と長期冷却の維持」機能及び低圧での「非常用炉心冷却の確保」機能には影響を及ぼさない。

バンドは、ジェットポンプの流量を計測する計測配管の取付け部でもあり、3.9.1.5 項に記載の計測用配管と同じで、安全機能への影響はない。

### 3.4.2 ディフューザカラーの点検方針

ディフューザカラーの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響に基づき、ディフューザカラーの点検方針として、点検対象、点検手法、点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.4.2.1 点検対象の選定

ディフューザカラーの点検対象を図 A-3.4.2.1 に、点検方針を表 A-3.4.2 に示す。なお、図 A-3.4.2.1 は、国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として、ディフューザカラーの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し、定性的に可視化したものである。

ディフューザカラーはステンレス鋳鋼であり、SCC 発生の可能性はないことから損傷のポテンシャルは小さいが、ディフューザカラー本体が損傷した場合には、安全機能への影響が生じると考えられる。

一方、ディフューザカラーのバンドの取付け溶接部は、SCC 発生可能性があることから、溶接部には損傷のポテンシャルがあると考えられる。しかしながら損傷があった

場合には、検出差圧に変動が生じるため、運転中の検知が可能であり、安全な停止は十分にできることから、安全機能への影響は小さいと考えられる。

したがって、ディフューザカラーは個別点検の対象とはせず、一般点検により健全性の確認を行うものとする。

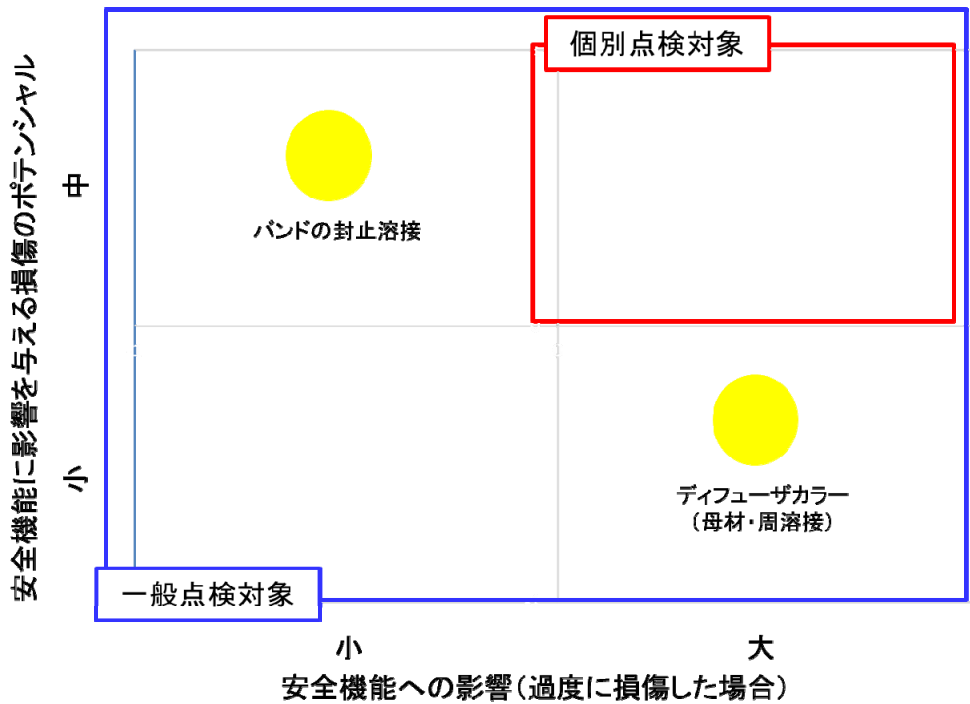


図 A-3. 4. 2. 1 ディフューザカラーの点検対象 (注)

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3. 4. 2 ディフューザカラーの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
④ ディフューザカラー	<ul style="list-style-type: none"> <li>事故時の炉内水位の確保</li> <li>再循環水の流路形成</li> </ul>	有 (冠/非)	SCC	ディフューザカラーは鋳鋼であり、バンドの取付け溶接部に亀裂があっても、ジェットポンプの破断には至らず、安全機能に影響しない。	不要

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

### 3.5 ディフューザ

#### 3.5.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、ディフューザの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.5.1.1 安全機能

ディフューザは再循環系の流路を形成しており、冷却材を下部プレナムに導くことにより、「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有し、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、これに加えて「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

##### 3.5.1.2 形状及び材料

###### 3.5.1.2.1 形状 (図 A-3.5.1.2.1)

ディフューザはテーバ管、テールパイプ、ローアリングから成る管状構造物である。

ディフューザテーバ管は、上部でディフューザカラーと溶接部 (DF-1) で接合されており、テールパイプと溶接部 (DF-2) で接合されている。テールパイプの下端は、ローアリングに溶接部 (DF-3) で接合され、ローアリング下端は、シュラウドサポートプレートに溶接部 (AD-2) で接合されている。

###### 3.5.1.2.2 材料

ディフューザテーバ管及びテールパイプの材料はステンレス鋼であり、ローアリングの材料はシュラウドサポートプレートと同材のニッケル合金である。

ジェットポンプ計測用配管の材料は、ステンレス鋼である。

ディフューザの材料を表 A-3.5.1.2.2 に示す。

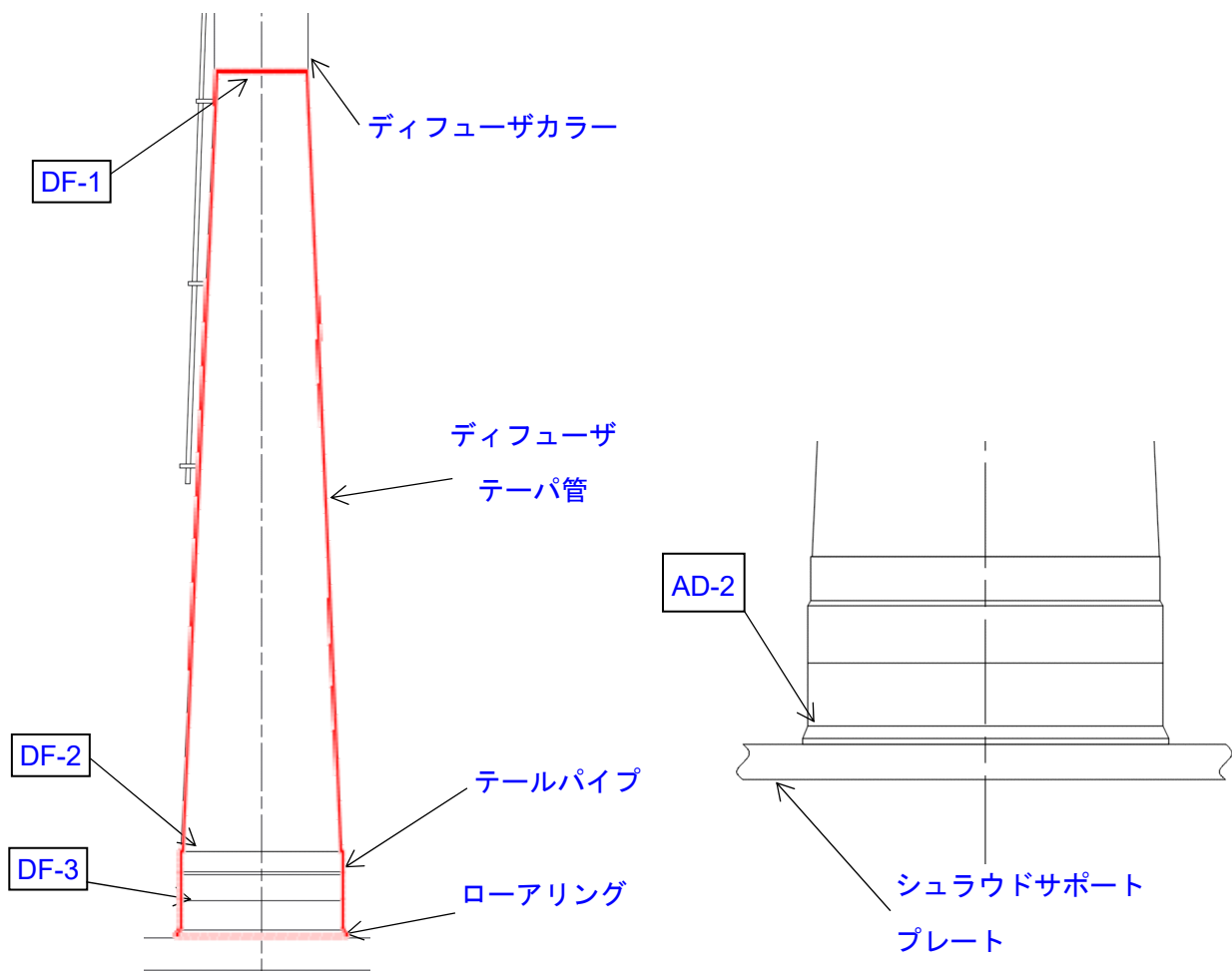


図 A-3. 5. 1. 2. 1 ディフューザの形状

表 A-3. 5. 1. 2. 2 ディフューザの材料

形状	部品	材料
図 A-3. 5. 1. 2. 1	ディフューザテーパ管	ステンレス鋼
	テールパイプ	ステンレス鋼
	ローアリング	ニッケル合金

### 3.5.1.3 想定される劣化事象

ディフューザカラーとディフューザテーパ管の溶接部 (DF-1)、ディフューザテーパ管とテールパイプの溶接部 (DF-2)、テールパイプとローアリングの溶接部 (DF-3) は、いずれも、ステンレス鋼とステンレス鋼あるいは、ステンレス鋼とニッケル合金の溶接部であり、SCC 発生の可能性がある。

ローアリング及びシュラウドサポートプレートは共にニッケル合金鋼であり、溶着金属も含めた溶接部 (AD-2) に SCC 発生の可能性がある。

なお、ステンレス鋼の SCC については、SUS304 に比べて、低炭素ステンレス鋼では、発生の可能性は低い。国内プラントでは低炭素のステンレス鋼が多用されている。

### 3.5.1.4 国内外の運転経験

国内では、ディフューザカラーとディフューザテーパ管の溶接部 (DF-1)、ディフューザテーパ管とテールパイプの溶接部 (DF-2)、テールパイプとローアリングの溶接部 (DF-3) に損傷事例の報告はない。ローアリングとシュラウドサポートプレート溶接部 (AD-2) については、2004 年に比較的初期のプラントにおいて、1 件 (2 カ所/10 本) の損傷事例がある。

米国では 2018 年時点において、溶接部 (DF-1) でのべ約 600 の点検で 0.15% の割合できずが確認されており、溶接部 (DF-2) でのべ 600 の点検で 0.6%、溶接部 (DF-3) でのべ約 300 の点検で 0.9% の割合できずが確認されている。なお、その後の点検においても、溶接部 (DF-3) で新たな損傷が確認されているが、プラント停止に至る事象は発生していない。溶接部 (AD-2) についてはのべ約 600 の点検できずは確認されておらず、その後の点検においても新たな損傷は確認されていない。なお、米国プラントでは、比較的 SUS304 が多用されている。

### 3.5.1.5 損傷による安全機能への影響

ディフューザの溶接部 (DF-1~DF-3, AD-2) での全周破断を仮定した場合、破断部から上方のスリップジョイント間は上下方向にフリーの状態になり、下部プレナムとアニユラスの差圧により上昇する可能性は否定できない。水平方向についても、上方のスリップジョイント部で拘束されているが、破断部の上下でずれる可能性は否定できない。

全周破断部の上下で大きくずれが生じる場合は破断部からの漏えいは大きくなる。これら溶接部の位置が、炉心域の 2/3 までの再冠水レベルより下方であることから、事故後の炉心冠水と長期冷却の維持機能に影響すると考えられる。また事故後の低圧での注水機能を持たせているプラントでは注水経路からの漏えいで低圧での注水機能に影響す

ることが考えられる。また、これらの溶接部が万が一全周破断した場合には、ジェットポンプの振動に影響を与え、他の部位の疲労破壊のポテンシャルに影響を与えると考えられる。しかしながら、全周破断が起こった場合、ディフューザカラーから接続されているジェットポンプ計測用配管も同時に損傷することが考えられ、この場合、検知が可能であり、安全な停止は十分にできるものとする。

### 3.5.2 ディフューザの点検方針

ディフューザの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響に基づき、ディフューザの点検方針として、点検対象、点検手法、点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.5.2.1 点検対象の選定

ディフューザの点検対象を図 A-3.5.2.1 に、点検方針を表 A-3.5.2 に示す。なお、図 A-3.5.2.1 は、国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として、ディフューザの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し、定性的に可視化したものである。

ジェットポンプが事故後の炉心冠水と長期冷却の維持機能及び事故時の低圧での注水機能を持つプラントにおいては、ディフューザの溶接部（DF-1～DF-3、AD-2）の全周破断は低圧での注水機能に影響がある。したがって、ディフューザが損傷した場合には、安全機能への影響が生じると考えられる。

想定される劣化事象としては、ディフューザの溶接部（DF-1～DF-3、AD-2）はステンレス鋼又はニッケル合金の溶接部であるため、SCC の可能性はある。SUS304 が比較的多い米国の運転経験で、溶接線（DF-1～DF-3）に極低い割合で確認されているが、溶接線（AD-2）にはきずが確認された報告はない。低炭素ステンレス鋼が多い国内プラントでは溶接線（DF-1～DF-3）に損傷事例はなく、溶接部（AD-2）に損傷事例 1 件の報告がある。国内プラントで低炭素ステンレス鋼の溶接部の発生事例はなく、発生頻度はさらに低いと見られる。米国の SUS304 に比べて低炭素ステンレス鋼の運転年数が少ないことも含め、低炭素ステンレス鋼が多い国内プラントでの SCC の発生頻度は高くないと考えられる。以上のようにディフューザの溶接部については、国内外のプラントでの運転経験において損傷事例が確認されていること、国内プラントにおいては低炭素ステンレス鋼が多く発生頻度は低いと考えられるものの、SCC の発生を否定できないことから、溶接部には損傷のポテンシャルがあると考えられる。

これより、溶接部（DF-1～DF-3、AD-2）については個別点検の対象とする。

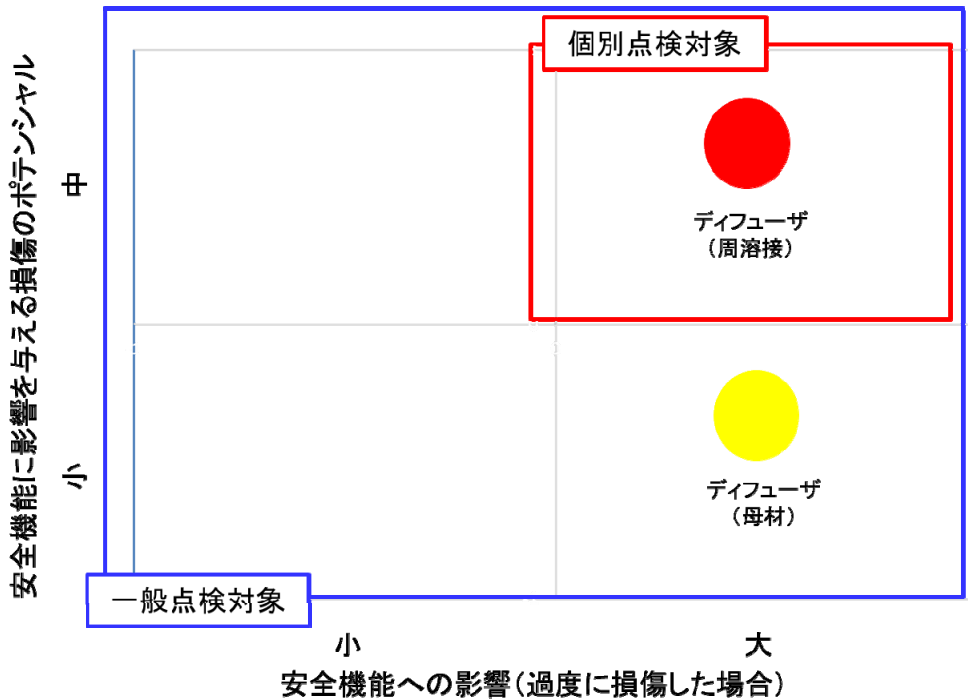


図 A-3. 5. 2. 1 ディフューザの点検対象 (注)

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3. 5. 2 ディフューザの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑤ ディフューザ	<ul style="list-style-type: none"> <li>事故時の炉内水位の確保</li> <li>再循環水の流路形成</li> </ul>	有 (冠/非)	SCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>ディフューザの周方向溶接部の破断により、炉心域の 2/3 のレベルの水位が確保できなくなることから、安全機能の維持に影響がある。</li> <li>ディフューザの周方向溶接部の破断により、再循環水の流路確保ができなくなることから、低圧での注水機能をジェットポンプに持たせているプラントに対しては、安全機能の維持に影響がある。</li> </ul>	点検対象 (DF-1～DF-3, AD-2)

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 3.5.2.2 点検手法の選定

ディフューザの点検対象である周方向溶接（DF-1～DF-3，AD-2）において，想定される経年劣化事象は，ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。SCC により表面のきずの検出を目的とし，炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い，目視試験を実施する。（表 8-1(3)参照）

#### 3.5.2.3 点検範囲の選定

ディフューザの点検対象は周方向溶接（DF-1～DF-3，AD-2）である。初回点検，再点検とも，点検可能な外表面全周を点検範囲とする。（表 8-1(3)参照）

#### 3.5.2.4 点検時期の選定

ディフューザの周方向溶接の点検時期は，周方向溶接の内面に初期亀裂を想定した亀裂進展評価法を用い，地震荷重が加わった際に全周破断に至る前の貫通亀裂長さと，漏れい量の計算において急激に漏れい量が増える貫通亀裂長さを比較し，厳しい方を基準として選定する。（表 8-1(3)参照）

### 3.6 ジェットポンプビーム

#### 3.6.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、ジェットポンプビームの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.6.1.1 安全機能

ジェットポンプビームはインレットミキサを固定し、ディフューザとインレットミキサの接続することで、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。

また、インレットミキサを固定し、原子炉再循環系の流路を確保していることから、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、間接的に「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

##### 3.6.1.2 形状及び材料

###### 3.6.1.2.1 形状 (図 A-3.6.1.2.1)

ジェットポンプビームは、中央にボルトアセンブリが貫通する穴をもつブロック状の構造物であり、インレットミキサの上端に配置されている。ジェットポンプビームその先端がトランジションピースの支柱の溝に挿入されており、ボルトアセンブリを定められたトルクで締め付けることで、インレットミキサをトランジションピースに密着させている。

###### 3.6.1.2.2 材料

ジェットポンプビームの材料はニッケル合金 (X750) であり、ボルトアセンブリの材料はステンレス鋼である。ジェットポンプビームは、過去に折損事例があったことから、国内のプラントに使用されるジェットポンプビームの材料は全て、熱処理改善を行って耐 SCC 性を向上したニッケル合金 (改良型 X750) に交換されている。

ジェットポンプビームの材料を表 A-3.6.1.2.2 に示す。

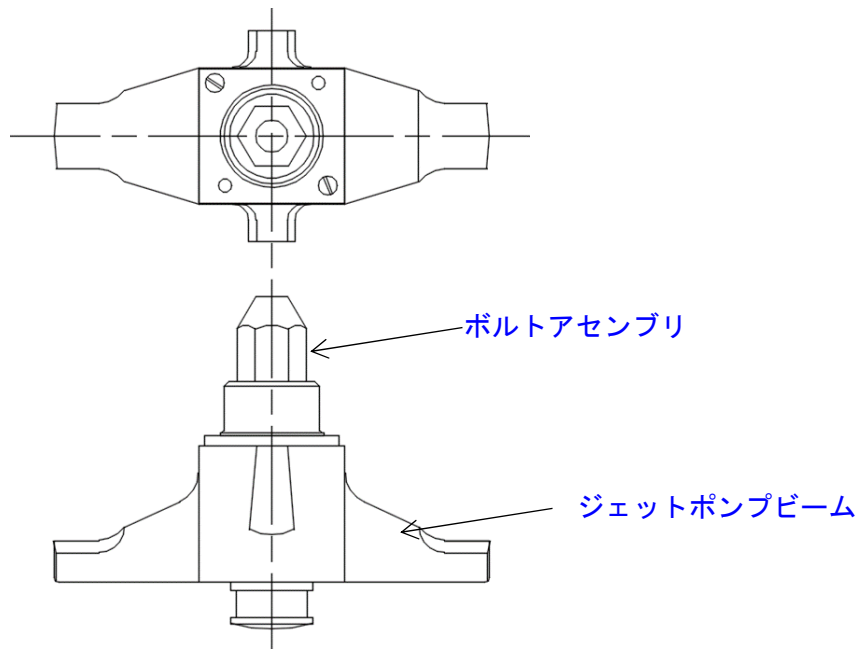


図 A-3. 6. 1. 2. 1 ジェットポンプビームの形状

表 A-3. 6. 1. 2. 2 ジェットポンプビームの材料

形状	部品	材料
図 A-3. 6. 1. 2. 1	ジェットポンプビーム	ニッケル合金鋼 (改良型 X750)
	ボルトアセンブリ	ステンレス鋼

### 3.6.1.3 想定される劣化事象

ジェットポンプビームに使用されるニッケル合金は、ステンレス鋼の HAZ 部と異なり、母材に関して SCC を経験している。国内では全て耐 SCC 性に優れた対策材に交換しているが、想定される劣化事象として母材に対する SCC を考慮する必要がある。

### 3.6.1.4 国内外の運転経験

ジェットポンプビームに関しては、米国プラントで 1979 年に折損事例があり、調査の結果、ニッケル合金 (X750) 母材部の SCC と特定された。その後、材料製作時の熱処理仕様を変更し、耐 SCC 性を向上させたものに交換されており、交換後のジェットポンプビームは SCC に関して良好な成績を収めている。更なる改善として、ビーム形状の最適化を行い、初期締め付けによる応力集中の低減を図ったビームへ順次交換が進められている。国内においては、上記海外事例の水平展開として点検を実施し、2 例の損傷事例が報告されているが、上記の損傷事例から、現行プラントでは熱処理改善を行った改良型 X750 にすべて交換されており、その後の 10 年を超える運転で不具合は報告されていない。なお、交換後の点検で、ビームの据付不良（ビームボルトの過大な締め付け）に起因した SCC の損傷事例が一件報告されているものの、その知見反映として初期締め付け力の低減が図られ、その後の不具合事例は報告されていない。

### 3.6.1.5 損傷による安全機能への影響

ジェットポンプビームの全断面折損を仮定した場合には、インレットミキサは上昇し、ディフューザ及びトランジションピースから分離する。インレットミキサとディフューザのスリップジョイント部は炉心域の 2/3 の再冠水レベルより下方にあるため、インレットミキサがディフューザから分離すると、事故時の炉心水位が炉心域の 2/3 未満になることから、「炉心冠水と長期冷却の維持」機能に影響する。また、低圧での注水機能をジェットポンプに持たせているプラントでは、インレットミキサのディフューザからの分離により注水流路が失われるため、低圧での注水機能に影響を及ぼす。

通常運転中にジェットポンプビームの全断面折損が生じた場合、インレットミキサがディフューザ及びトランジションピースから分離し、注水流路が失われるが、ジェットポンプ流量の変化として検知することができるため、安全に炉を停止することができる。

### 3.6.2 ジェットポンプビームの点検方針

ジェットポンプビームの①安全機能，②形状及び材料，③想定される経年劣化事象，④国内外の運転経験，⑤損傷による安全機能への影響に基づき，ジェットポンプビームの点検方針として，点検対象，点検手法，点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.6.2.1 点検対象の選定

ジェットポンプビームの点検対象を図 A-3.6.2.1 に，点検方針を表 A-3.6.2 に示す。なお，図 A-3.6.2.1 は，国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として，ジェットポンプビームの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し，定性的に可視化したものである。

事故時においてジェットポンプビーム本体が破損した状態の場合，インレットミキサとディフューザが分離する可能性があり，炉心冠水と長期冷却の維持機能及び低圧での注水機能に影響があり，安全機能への影響が生じる。一方，付属部品については，直接インレットミキサを押さえていないことから，損傷による安全機能への影響は小さいと考えられる。

想定される劣化事象及び運転経験からは，ジェットポンプビーム母材については，過去の不具合事例を反映し熱処理改善を行った改良型 X750 にすでに交換済みであり，その後の 10 年を超える運転で不具合は報告されていない。また，ジェットポンプビームの SCC に関しては，不具合事例の経験からジェットポンプビームの取付けボルトに付加される初期締め付け力が，運転中も常時維持されている影響が大きく，初期締め付け力を適正に管理することが SCC の発生を抑制する上で重要であることが分かっている。したがって，対策材を用いたジェットポンプビーム母材については損傷のポテンシャルは小さいと考えられる。一方，付属部品については回り止め溶接部などの溶接部に SCC の損傷のポテンシャルがあると考えられる。

以上より，ジェットポンプビームについては，改良型 X750 での SCC 発生事例はなく，SCC が発生する可能性は低いと考えられるが，点検実績データの蓄積と，対策効果の検証の観点から，個別点検対象とする。

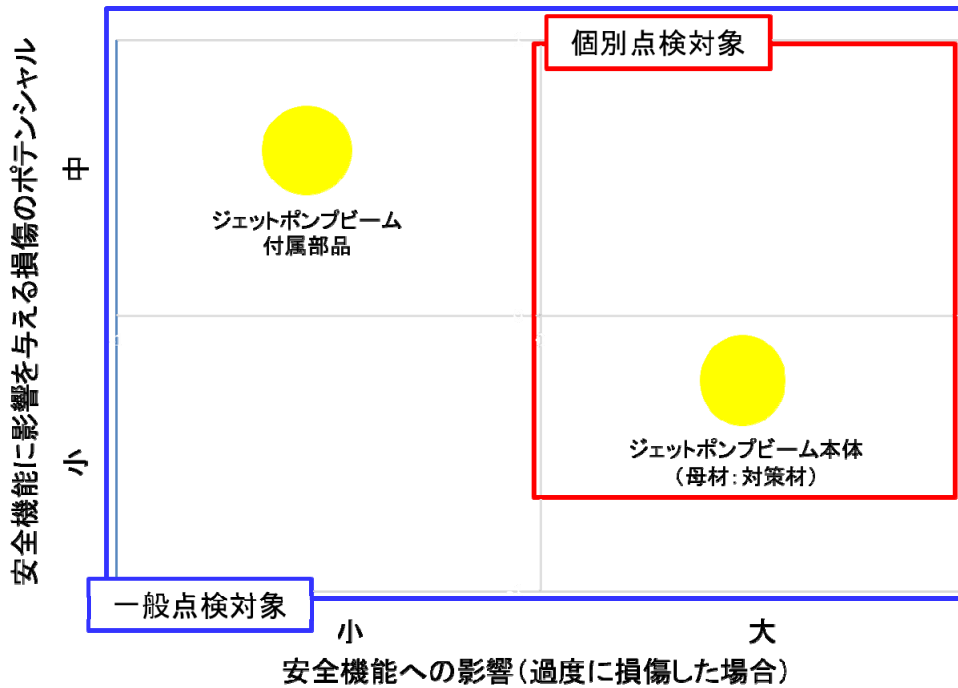


図 A-3.6.2.1 ジェットポンプビームの点検対象<sup>(注)</sup>

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3.6.2 ジェットポンプビームの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑥ ジェットポンプビーム	・インレットミキサの支持	有 (冠/非)	SCC	・ビームが破損した状態の場合、インレットミキサとディフューザが分離するため、安全機能の維持に影響がある。	点検対象 (母材)

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 3.6.2.2 点検手法の選定

ジェットポンプビームについて、想定される経年劣化事象は、母材部に対する SCC である。SCC により表面のきずの検出を目的とし、炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い、目視試験を実施する。(表 8-1(4)参照)

#### 3.6.2.3 点検範囲の選定

ジェットポンプビームについては、母材部の SCC に着目し、ジェットポンプビームの取外しを行わなくても点検可能な範囲の全箇所を点検対象とする。(表 8-1(4)参照)

#### 3.6.2.4 点検時期の選定

ジェットポンプビームの点検間隔は、改良型 X750 の運転経験から、初回 10 年、点検間隔は 10 年間隔で点検を継続することとし、取得した点検実績データの蓄積を継続し、対策効果の検証も含めて点検の最適化に資するものとする。

(表 8-1(4)参照)

### 3.7 ライザブレース

#### 3.7.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、ライザブレースの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.7.1.1 安全機能

ライザブレースは、再循環系の配管破断時にも炉内の水位を確保するインレットミキサを支持することにより、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。

また、原子炉再循環系の流路を構成しているライザを支持することから、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、間接的に「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

##### 3.7.1.2 形状及び材料

###### 3.7.1.2.1 形状 (図 A-3.7.1.2.1)

ライザブレースはライザ管の上部を原子炉圧力容器に溶接で連結する構造物であり、ライザ管に溶接されているヨークと原子炉圧力容器の壁面を連結させる水平のリーフで構成されている。

ヨークはライザ管に溶接部 (RB-3) で接合されている。RB-3 は、ヨークが取りつくライザ管の外面のシュラウド側の位置に、周方向に約 60° の範囲で上下 2 か所を接合されている。

リーフの端部は原子炉圧力容器の壁面と溶接部 (RB-1) で接合され、もう一方の端部はヨークと溶接部 (RB-2) で接合されている。リーフは柔軟性を持たせるために上下 2 枚のダブルリーフで構成されており、RB-1、RB-2 はそれぞれジェットポンプ 1 台あたり 4 箇所の溶接部がある。

###### 3.7.1.2.2 材料

溶接により構成される構造物であるライザブレースの主な材料は、ステンレス鋼であり、国内プラントでは炭素含有量が 0.030%以下のステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L 等、以下「低炭素ステンレス鋼」) が多用されている。

ライザブレースの材料を表 A-3.7.1.2.2 に示す。

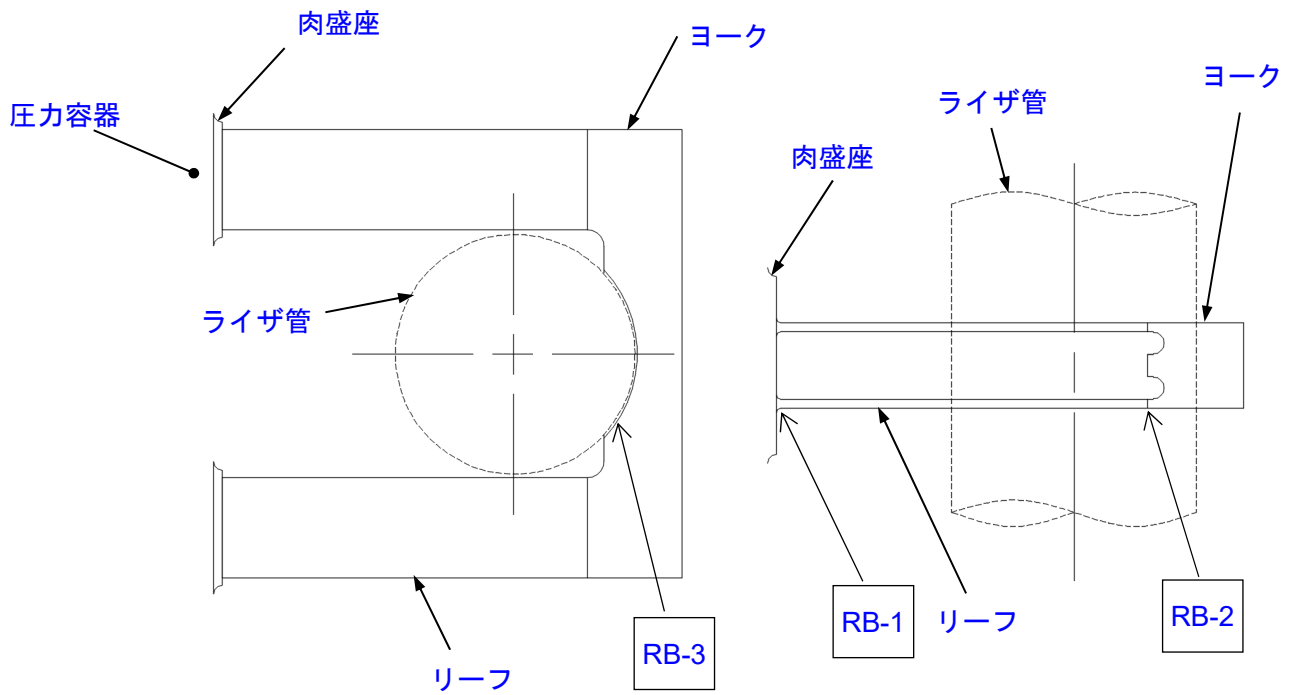


図 A-3.7.1.2.1 ライザブレースの形状

表 A-3.7.1.2.2 ライザブレースの材料

形状	部品		材料
図 A-3.7.1.2.1	ライザブレース	ヨーク	ステンレス鋼
		リーフ	ステンレス鋼

### 3.7.1.3 想定される劣化事象

ライザブレースについては、材料がステンレス鋼であり溶接部（RB-1～RB-3）に SCC 発生の可能性がある。また、ライザブレースは、ジェットポンプの振動を拘束する機能を持つことから、疲労損傷が劣化事象として考えられる。疲労損傷の振動源としては、流動振動荷重（Flow Induced Vibration）や再循環ポンプの圧力脈動が考えられ、これらとの共振により引き起こされる高サイクル疲労は、劣化の原因の一つとなる可能性があると考えられる。その劣化の程度は、ジェットポンプの固有振動数、再循環ポンプの羽切り周波数（VPF）、ハードウェアの形状や剛性に依存するが、これらの損傷は、いずれもリーフの両端である溶接部近傍で発生すると考えられる。

### 3.7.1.4 国内外の運転経験

国内では、溶接部（RB-1～RB-3）についての損傷事例の報告はない。

米国ではライザブレースに比較的 SUS304 が多用されており、2018 年時点において、リーフの溶接部（RB-1, RB-2）で、それぞれのべ約 1000 の点検を行っているが、きずは確認されておらず、ヨークとライザ管の溶接部（RB-3）は、のべ約 600 の点検を行っており、2%の割合できずが確認されている。なお、その後の点検において、新たな損傷は確認されていない。

### 3.7.1.5 損傷による安全機能への影響

ライザブレースについては、溶接部（RB-1～RB-3）が完全に破断したと仮定しても、破断によって即座にジェットポンプ全体の崩壊に至ることはなく、事故時の炉心冠水と長期冷却の維持機能及び低圧での注水機能をジェットポンプに持たせているプラントでの低圧での注水機能の安全機能への影響はない。

ただし、破断によって振動を拘束する機能が失われるとジェットポンプ全体の流動振動等に対する応答に変化をもたらすと考えられる。この振動応答の変化は、ジェットポンプ全体の振動を増大させ、ライザ管、インレットミキサ、ディフューザの経路を支持するブラケット等の部品の疲労損傷へ波及する可能性は否定できない。

### 3.7.2 ライザブレースの点検方針

ライザブレースの①安全機能，②形状及び材料，③想定される経年劣化事象，④国内外の運転経験，⑤損傷による安全機能への影響に基づき，ライザブレースの点検方針として，点検対象，点検手法，点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.7.2.1 点検対象の選定

ライザブレースの点検対象を図 A-3.7.2.1 に，点検方針を表 A-3.7.2 に示す。なお，図 A-3.6.2.1 は，国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として，ライザブレースの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し，定性的に可視化したものである。

ライザブレースについては，リーフ，ヨーク及びヨークが取り付くライザ管の溶接部（RB-1～RB-3）には SCC の可能性があり，疲労損傷の可能性も否定できない。運転経験からは，SUS304 製が多い米国で溶接部（RB-3）にわずかにきずが確認されている。したがって，溶接部には損傷のポテンシャルがあると考えられる。

また，損傷による安全機能に対する影響を考えると，ライザブレース溶接部及び母材部の破断により即座に安全機能への影響はないものの，振動増加で他の部位での疲労損傷へと波及する可能性は否定できないことから，ライザブレース溶接部及び母材部の損傷による安全機能への影響はあると考えられる。

さらに，取得した点検実績データの蓄積を継続し，SCC 及び疲労に対する知見の拡充を図ることを考慮し，溶接部（RB-1～RB-3）を個別点検の対象とする。

なお，上記を含めたその他の部位については，一般点検により健全性の確認を行うものとする。

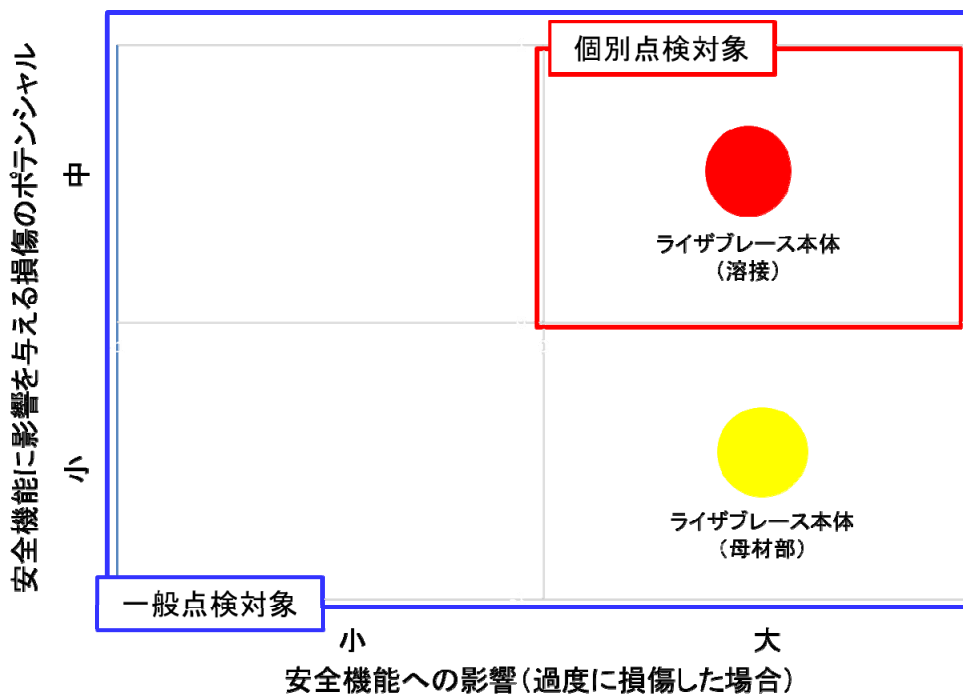


図 A-3. 7. 2. 1 ライザブレースの点検対象<sup>(注)</sup>

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3. 7. 2 ライザブレースの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑦ ライザブレース	・ライザ管の支持	有 (冠/非)	SCC	・溶接部の破断により、ライザ管の拘束が失われると、振動が大きくなり、最終的にはジェットポンプビームが外れる等の安全機能に影響を与える可能性は否定できない。	点検対象 (RB-1～RB-3)

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 3.7.2.2 点検手法の選定

ライザブレースの点検対象である溶接部（RB-1～RB-3）において，想定される経年劣化事象は，ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。SCC により表面のきずの検出を目的とし，炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い，目視試験を実施する。（表 8-1(4)参照）

#### 3.7.2.3 点検範囲の選定

ライザブレースの点検対象は溶接部（RB-1～RB-3）であり，初回点検，再点検とも，これらの全箇所を点検範囲とする。（表 8-1(4)参照）

なお，溶接部（RB-1，RB-2）は，それぞれ 4 か所あることから，破断のような顕著な損傷の仮定としてライザブレースの支持機能が完全に喪失するような 4 か所同時破断は非常に考えにくい。

#### 3.7.2.4 点検時期の選定

ライザブレースの点検時期については，ジェットポンプビームの点検に合わせて，初回 10 年，点検間隔は 10 年間隔で点検するものとし，取得した点検実績データの蓄積を継続し，SCC 及び疲労に対する知見の拡充を図るものとする。（表 8-1(4)参照）

## 3.8 ブラケット

### 3.8.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、ブラケットの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

#### 3.8.1.1 安全機能

ブラケットは、ライザ管とインレットミキサを連結し、水平方向の相対変位を拘束することで、ジェットポンプ全体の振動を抑制する機能がある。

ジェットポンプ全体の振動を抑制し、構造健全性を確保することで、間接的に「炉心冠水と長期冷却の維持」の機能を有する。同時に、低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに関しては、「非常用炉心冷却の確保」の機能を有する。

#### 3.8.1.2 形状及び材質

##### 3.8.1.2.1 形状（図 A-3.8.1.2.1）

ブラケットは、ブラケット、位置決めボルト、ウエッジの大きく 3 つの部品で構成されている構造物であり、ライザ管とインレットミキサの水平方向の相対変位を拘束し、ジェットポンプ全体の振動を抑制している。

ブラケットは円管状の構造物であり、溶接部（BR-1）でライザ管に取り付けられている。ライザ管とブラケットの溶接部（BR-1）は、ライザ管の外面周方向に約 120° の範囲でライザ管の左右に 2 か所溶接されており、全周 360° の範囲に対し部分的である。

ウエッジはブラケットとインレットミキサ（アダプタ部）との間に挟み込まれる楔であり、他の周方向 2 か所の位置決めボルトと合わせインレットミキサの外周 3 点で水平方向変位を拘束している。ウエッジはブラケットとアダプタに接触部（BR-5）を介して挟み込まれている。ウエッジは、ウエッジを上下に貫通したウエッジボルト（BR-4）に沿って上下に移動することができ、インレットミキサの取付け・取り外しの際にウエッジを上引き抜くことにより、インレットミキサの水平方向拘束を解除することができる。

位置決めボルト（BR-3）は、ブラケットに取り付けられた棒状の構造物であり、インレットミキサ据付時に調整した位置に廻り止め溶接されている。

ウエッジボルトはウエッジブラケットに取り付けられており、廻り止め溶接されている。

ウエッジブラケットは箱状の構造物であり、インレットミキサのアダプタに溶接部

(BR-2) により取り付けられている。ウエッジブラケットはウエッジがある方位に、ブラケットを挟んで上下2カ所に取り付けられている。ウエッジブラケットの溶接部 (BR-2) 範囲は、全周  $360^{\circ}$  に対し約  $90^{\circ}$  と部分的である。

ブラケットに取り付くガイドは、インレットミキサ据付時、ブラケット部を通過させるために設けられており、ブラケットに溶接により取り付けられている。

#### 3.8.1.2.2 材料

ブラケットのブラケット、ウエッジブラケットの材料はステンレス鋳鋼であり、位置決めボルト、ウエッジボルトの材質はステンレス鋼である。ウエッジの材料はステンレス鋳鋼又はニッケル合金 (X750) である。

ブラケットの材料を表 A-3.8.1.2.2 に示す。

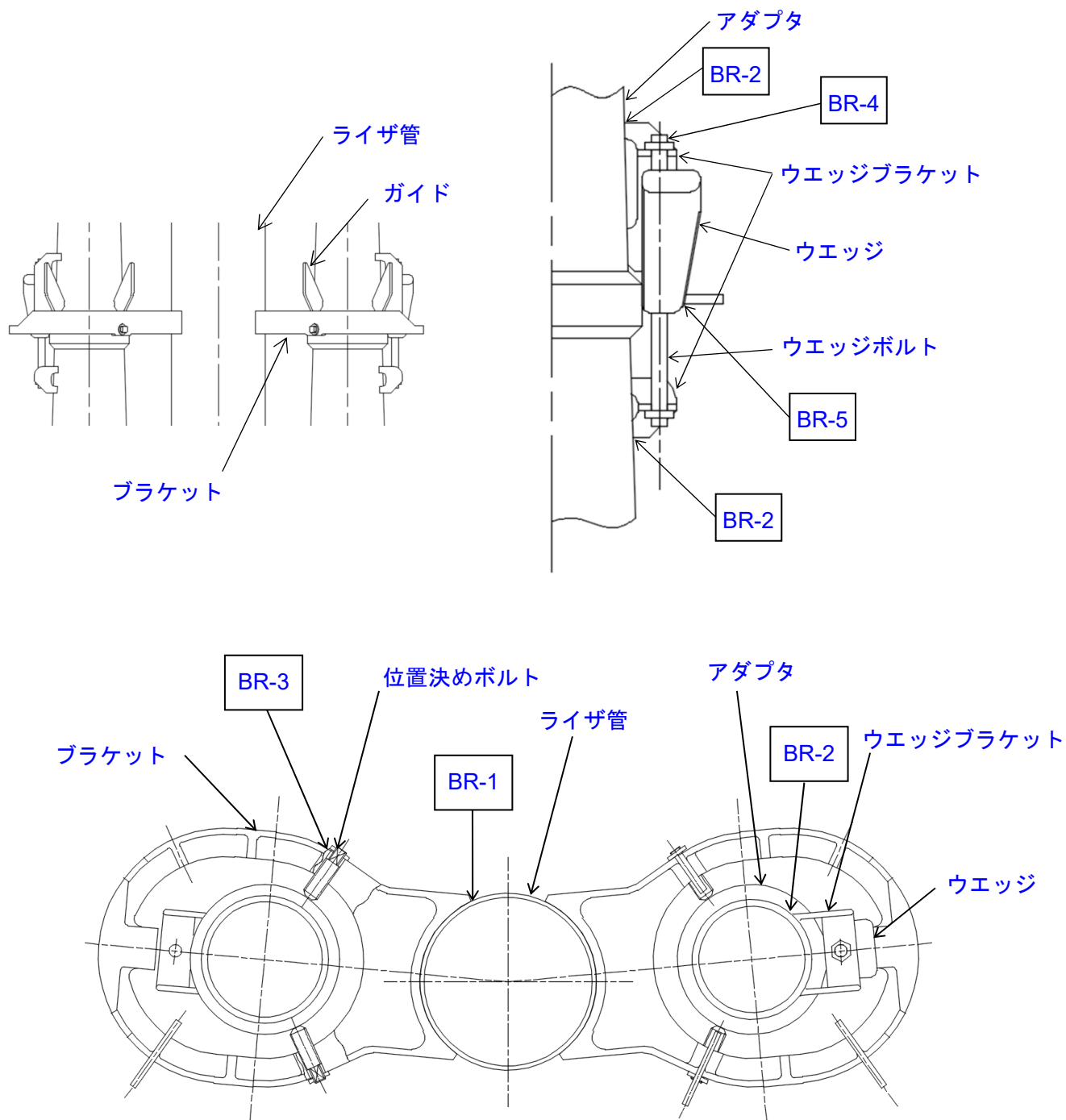


図 A-3. 8. 1. 2. 1 ブラケットの形状

表 A-3. 8. 1. 2. 2 ブラケットの材料

形状	部品	材料
図 A-3. 8. 1. 2. 1	ブラケット	ステンレス 鋳鋼
	位置決めボルト	ステンレス 鋼
	ウエッジブラケット	ステンレス 鋳鋼
	ウエッジボルト	ステンレス 鋼
	ウエッジ	ステンレス 鋳鋼 ニッケル合金 (X750)

### 3.8.1.3 想定される劣化事象

ブラケットの材料はステンレス鋳鋼であり、ライザ管との溶接部（BR-1）ではステンレス鋼のライザ管側に、SCC が発生する可能性がある。

ウエッジブラケットの材料はステンレス鋳鋼であり、インレットミキサ（アダプタ）との溶接部（BR-2）ではアダプタ側もステンレス鋳鋼であり、SCC 発生可能性はないと考えられる。

ブラケットの溶接部（BR-1, BR-2）はジェットポンプ振動を抑える水平方向拘束の荷重伝達経路であり、その経路を構成する以下の点検箇所（BR-3～BR-5）では振動に伴う摩耗が生じる可能性がある。

位置決めボルト及びウエッジボルト（BR-3, BR-4）は、位置決めボルト及びウエッジボルトで振動荷重を受けるパスであり疲労による廻り止め溶接部のきず、ボルトの摩耗の可能性はある。

ウエッジの接触部（BR-5）は、ウエッジの接触面での摩耗の可能性はある。

### 3.8.1.4 国内外の運転経験

ブラケットについて、国内ではライザ管とブラケット溶接部（BR-1）及びウエッジブラケットとアダプタ溶接部（BR-2）についての損傷事例の報告はない。

米国では、ほとんどのプラントがライザ管に SUS304 を用いており、2018 年時点において、その溶接部（BR-1）でのべ約 500 の点検を行っているが、きずは確認されておらず、その後の点検においても新たな損傷は確認されていない。BR-2 については、米国でも点検不要とされており、損傷事例もない。

位置決めボルト、ウエッジボルト、ウエッジの点検部位（BR-3～BR-5）については、米国での点検結果を踏まえた国内での点検で、ジェットポンプの健全性には影響しない程度の位置決めボルト及びウエッジとミキサ（アダプタ）の間に摩耗によるごくわずかな隙間が 9 プラントで報告されており、継続して点検監視することとしている。

上記とは別に国内で 1984 年に位置決めボルトの廻り止め溶接の施工不良による振動に伴いボルトが緩んだ不具合が報告されている。

### 3.8.1.5 損傷による安全機能への影響

ブラケットのライザ管への溶接部（BR-1）の破断を仮定すると、ライザ管とアダプタ間の水平方向支持の機能に剛性低下の影響が現れ、ジェットポンプ全体の振動を増大させ、ライザブレース等の他のジェットポンプ部品の振動に伴う損傷をもたらす可能性は否定できない。しかしながら、溶接部（BR-1）はライザ管の全周にわたる溶接ではなく、

SCC がライザ管の全周破断に結びつくことはないため、後流のライザ管～インレットミキサが上昇しディフューザから分離することはなく、安全機能への影響は少ないと考えられる。

同様にウエッジブラケットのアダプタとの溶接部（BR-2）の破断を仮定するとウエッジの据付位置が不安定になりウエッジが外れるとライザ管とアダプタ間の水平方向支持の機能が阻害され、ジェットポンプ全体の振動を増大させ、ライザブレース等のほかのジェットポンプ部品の振動による損傷をもたらす可能性は否定できない。しかしながら、溶接部（BR-2）についても、アダプタの全周に亘る溶接ではなく SCC がアダプタの全周破断に結びつくことはないため、安全機能への影響は少ないと考えられる。

また、ジェットポンプの振動に伴い生じる位置決めボルト、ウエッジボルト、ウエッジの点検部位（BR-3～BR-5）の摩耗により、ライザ管とアダプタ間の水平方向支持部に隙間が生じることで振動防止機能が低下し、ジェットポンプ全体の振動が増大して、ライザブレース等のほかのジェットポンプ部品に振動による損傷が発生する可能性は否定できない。

一方、ガイドは、インレットミキサ取付け時にのみブラケットの開口部にアダプタ部を通しやすくするためのガイドであり、通常時において荷重もなく、安全機能にも影響しない。

### 3.8.2 ブラケットの点検方針

ブラケットの①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響に基づき、ブラケットの点検方針として、点検対象、点検手法、点検範囲並びに点検時期を策定する。

#### 3.8.2.1 点検対象の選定

ブラケットの点検対象を図 A-3.8.2.1 に、点検方針を表 A-3.8.2 に示す。なお、図 A-3.8.2.1 は、国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として、ブラケットの各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し、定性的に可視化したものである。

ライザ管とブラケットの溶接部（BR-1）、ウエッジブラケットとアダプタの溶接部（BR-2）について、溶接部の破断はジェットポンプの振動を増大させ、最終的に事故後の炉心冠水と長期冷却の維持機能及び低圧での注水機能に影響を与える部品へ波及する可能性は否定できない。したがって、ライザ管とブラケットの溶接部、ウエッジブラケットとアダプタの溶接部、及びブラケット母材部が損傷した場合に、安全機能への影響

が生じると考えられる。

想定される劣化事象として溶接部（BR-1，BR-2）については，溶接部（BR-1）のライザ管側がステンレス鋼であり SCC 発生の可能性がある。溶接部（BR-2）はステンレス鋳鋼同士であり SCC 発生の可能性はない。また，運転経験からは，溶接部（BR-1，BR-2）共に国内及び米国の損傷事例の報告はなく，損傷の可能性は極めて小さいと考えられる。

以上より，溶接部（BR-1）については，損傷の可能性は極めて小さいと考えられるが SCC による損傷のポテンシャルがあると考え，個別点検対象とする。

一方，ブラケット母材部とアダプタの溶接部（BR-2）については双方の材料がステンレス鋳鋼であり，SCC による損傷のポテンシャルは小さいと考えられることから，個別点検としての点検は不要と考え，一般点検のみとする。

位置決めボルト及びウエッジボルトの BR-3，BR-4 については，廻り止め溶接部のきず及びボルトの緩み，ボルトの摩耗が発生することで，ジェットポンプの振動が増大し，最終的に事故後の炉心冠水と長期冷却の維持機能及び低圧での注水機能に影響を与える部品へ波及する可能性は否定できないため，位置決めボルト及びウエッジボルトの損傷により安全機能への影響が生じると考えられる。また，国内外の損傷事例が確認されており損傷のポテンシャルがあると考えられることから個別点検対象とする。

同様にウエッジの BR-5 についても，楔の接触面が摩耗することで，ジェットポンプの振動が増大し，最終的に事故後の炉心冠水と長期冷却の維持機能及び低圧での注水機能に影響を与える部品へ波及する可能性は否定できないため，安全機能への影響が生じると考えられる。また，ウエッジの損傷事例が確認されており損傷のポテンシャルがあると考えられることから個別点検対象とする。

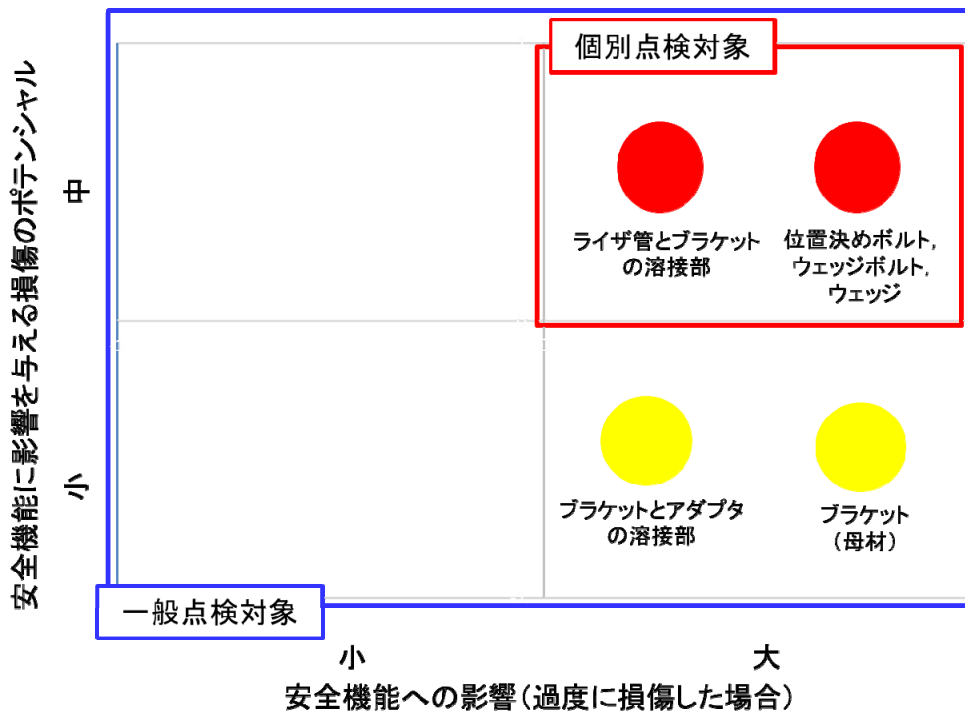


図 A-3.8.2.1 ブラケットの点検対象 (注)

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3.8.2 ブラケットの点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑧ ブラケット	・インレット ミキサの支持	有 (冠/非)	SCC 及び摩耗	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブラケットの溶接が破断することで、ジェットポンプの振動が増大し、最終的に安全機能に影響を及ぼす可能性は否定できない。</li> <li>・位置決めボルト及びウェッジボルトは、廻り止め溶接部のきず及びボルトの緩み、ボルトの摩耗が発生することで、ジェットポンプの振動が増大し、最終的に安全機能に影響を及ぼす可能性は否定できない。</li> <li>・ウェッジは摩耗が発生することで、ジェットポンプの振動が増大し、最終的に安全機能に影響を及ぼす可能性は否定できない。</li> </ul>	点検対象 (BR-1, BR-3 ～BR-5)

冠：炉心冠水と長期冷却の維持  
非：非常用炉心冷却の確保

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 3.8.2.2 点検手法の選定

点検対象であるライザ管とブラケットの溶接部（BR-1）において，想定される経年劣化事象は，ステンレス鋼溶接部に対する SCC である。SCC により表面のきずの検出を目的とし，炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い，目視試験を実施する。

ブラケットの位置決めボルト及びウエッジボルトの BR-3，BR-4 については，ジェットポンプの振動が廻り止め溶接部のきず及びボルトの緩み，ボルトの摩耗として観察されることから，点検手法を VT-3 とする。同様にブラケットのウエッジの BR-5 は楔の接触面の摩耗に着目し，点検手法は VT-3 とする。（表 8-1(5) 参照）

#### 3.8.2.3 点検範囲の選定

ブラケットの点検対象であるライザ管とブラケットの溶接部（BR-1）は，初回点検，再点検とも，点検可能な外表面を点検範囲とする。

ブラケットの位置決めボルト及びウエッジボルトの BR-3，BR-4 については，廻り止め溶接部のきず及びボルトの緩み，ボルトの摩耗に着目し，全箇所を点検範囲とする。ブラケットのウエッジの BR-5 については，楔の接触面の摩耗に着目し，全箇所を点検範囲とする。（表 8-1(5) 参照）

#### 3.8.2.4 点検時期の選定

ブラケット部 BR-1 の点検時期は，損傷の可能性が極めて小さいことから，初回 10 年，点検間隔は 10 年間隔で点検を継続することとし，取得した点検実績データの蓄積を継続し，対策効果の検証も含めて点検の最適化に資するものとする。

ブラケット部 BR-3～BR-5 の点検時期は，過去の点検結果から摩耗の進行は遅く，安全機能に影響する損傷に至るには時間を要すると判断できることから，初回 10 年，点検間隔は 10 年間隔で点検するものとし，摩耗の進行の監視を継続するものとする。（表 8-1(5) 参照）

### 3.9 計測用配管

#### 3.9.1 安全機能などの整理

点検方針を策定するにあたり、計測用配管の①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響を以降に整理する。

##### 3.9.1.1 安全機能

計測用配管は、ジェットポンプのディフューザ内の差圧を測定し、ジェットポンプの流量を計測する機能を持つが、再循環系の流路を形成している構造物ではない。

そのため計測用配管は、ジェットポンプの安全機能である「炉心冠水と長期冷却の維持」と低圧注水系が原子炉再循環系に入るプラントに対する「非常用炉心冷却の確保」の機能を有しない。

##### 3.9.1.2 形状及び材料

###### 3.9.1.2.1 形状（図 A-3.9.1.2.1）

ジェットポンプ計測用配管は小径管で構成されており、ディフューザにサポートにより取り付けられている。

###### 3.9.1.2.2 材料

ジェットポンプの計測用配管の材料は、ステンレス鋼である。

計測用配管の材料を表 A-3.9.1.2.2 に示す。

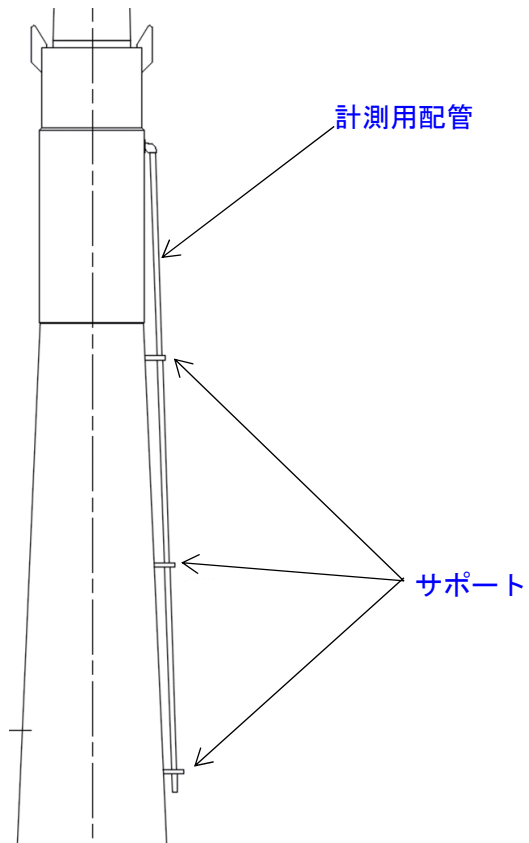


図 A-3.9.1.2.1 計測用配管の形状

表 A-3.9.1.2.2 計測用配管の材料

形状	部品	材料
図 A-3.9.1.2.1	計測用配管	ステンレス鋼
	サポート	ステンレス鋼

### 3.9.1.3 想定される劣化事象

計測用配管の想定される劣化事象としては、振動による疲労破壊が想定される。また、材質がステンレス鋼であることから SCC 発生の可能性がある。

### 3.9.1.4 国内外の運転経験

ジェットポンプ計測用配管の損傷は、国内外で多数経験している。国内では、損傷事例が 6 例報告されている。これらの経験から、計測用配管の固有振動数と、加震源となる特定の周波数成分を持っている再循環ポンプのベーンパッシング周波数の共振が主な原因の一つであると考えられており、追加のクランプを設置し、共振周波数をシフトする等の対策が講じられている。

### 3.9.1.5 損傷による安全機能への影響

計測用配管の故障は、通常運転時のジェットポンプ内の流速の測定に直接影響する。しかしながら、計測用配管の故障は、事故後の水位モニタリングの圧力測定に影響を与えない。通常運転中の故障は、影響を受けたジェットポンプの流量の喪失によって直ちに検出可能であり、安全な停止は十分にできる。以上より、事故時の炉心冠水と長期冷却の維持機能及び低圧での注水機能の安全機能への影響はない。

## 3.9.2 計測用配管の点検方針

計測用配管の①安全機能、②形状及び材料、③想定される経年劣化事象、④国内外の運転経験、⑤損傷による安全機能への影響に基づき、計測用配管の点検方針として、点検対象、点検手法、点検範囲並びに点検時期を策定する。

### 3.9.2.1 点検対象の選定

計測用配管の点検対象を図 A-3.8.2.1 に、点検方針を表 A-3.8.2 に示す。なお、図 A-3.8.2.1 は、国内外の運転実績に関する情報活用とリスク情報を活用した点検評価手法の在り方について検討を行った結果の一例として、計測用配管の各構造体における個別点検と一般点検の整理結果をマトリックス表示し、定性的に可視化したものである。

計測用配管は、国内外の損傷事例が確認されており、SCC 発生及び疲労破壊の損傷ポテンシャルがある。また、損傷があった場合には、検出差圧に変動が生じるため、運転中の検知が可能であり、安全な停止は十分にできることから、安全機能への影響は生じないと考えられる。以上より、個別点検としての点検は不要と考えられ、一般点検のみとする。

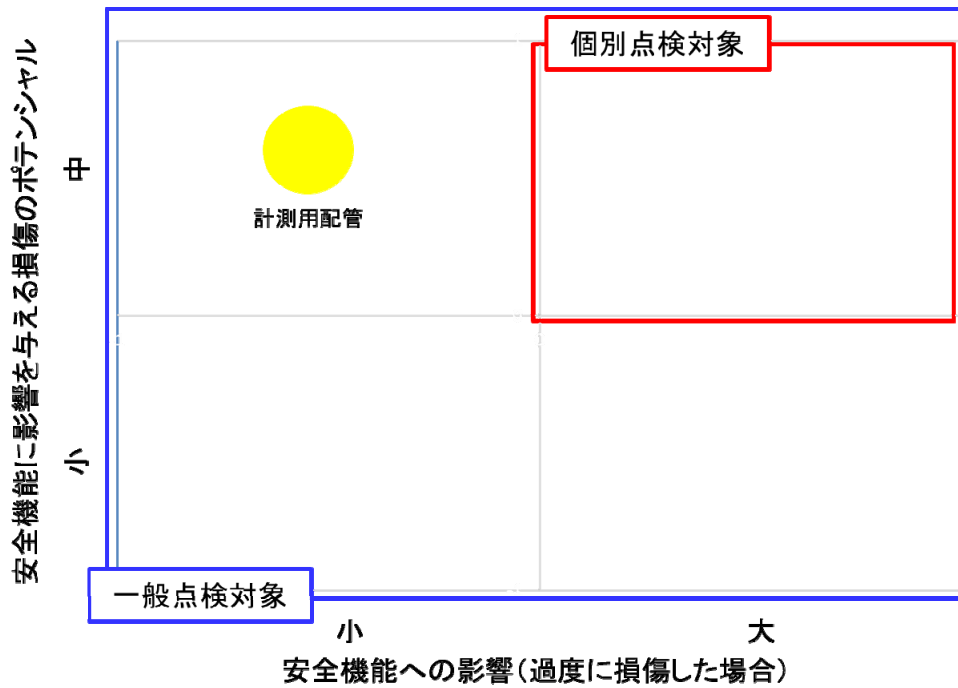


図 A-3.9.2.1 計測用配管の点検対象 (注)

(注)

炉内構造物の多くが構造強度上の大きな裕度を持つように設計されていることから、仮に SCC 等の損傷が発生したとしても、ただちに安全機能に影響を及ぼす可能性は配管他の機器に比べても極めて小さいと考えられる。

そのため、縦軸の表記を「安全機能に影響を与える損傷のポテンシャル」と記載し、その範囲を「小～中」と表記することとした。今後運転経験を蓄積し、将来的には縦軸の表記を「安全機能に影響する損傷の発生頻度」とすることを旨とする。

表 A-3.9.2 計測用配管の点検方針

検討対象	機能	安全機能との関連	想定される劣化モード	損傷による安全機能への影響	個別点検要否*
⑨ ジェットポンプ計測用配管	・流量の計測	無	SCC	・計測用配管の故障は、事故後の水位モニタリングの圧力測定に影響を与えず、影響を受けたジェットポンプの流量の喪失によって直ちに検出可能であるため、安全機能に影響しない。	不要

\*：個別点検の要否にかかわらず、一般点検により健全性の確認を行う。

#### 4. 引用

国内外の運転経験は、以下の情報に基づいた。

- (1) 原子力情報施設公開ライブラリー（ニューシア）：原子力安全推進協会
- (2) BWR Vessel and Internals Inspection Summaries for Fall 2016 Outages, BWR-VIP2017-081, ML17187A190
- (3) BWR Vessel and Internals Inspection Summaries for Spring 2017 Outages, BWRVIP2018-015, ML18040A464
- (4) BWR Vessel and Internals Inspection Summaries for 2018 Outages, BWR-VIP2019-078, ML19232A214
- (5) BWR Vessel and Internals Project Vessel Internals Inspection Summaries for 2019 Outages, BWR-VIP2020-082, ML20283A472
- (6) BWR Vessel and Internals Project Vessel Internals Inspection Summaries for 2020 Outages, BWR-VIP2021-092, ML21336A344
- (7) BWR Vessel and Internals Project Vessel Internals Inspection Summaries for 2021 Outages, BWR-VIP2022-078, ML22321A153
- (8) BWR Vessel and Internals Project Vessel Internals Inspection Summaries for 2022 Outages, BWR-VIP2023-085, ML23335A047

付録B ジェットポンプの点検における接近性

表 B-1 1100MWe プラントのジェットポンプ溶接線 VT (吊下式カメラ) 接近可能範囲

No.	点検対象部位 (箇所数)	外面 (表面)		内面 (裏面)	
		接近可能範囲	理由	接近可能範囲	理由
RB-1	リーフ-RPVハット溶接部 (40 箇所)	100%	—	50%	リーフと吊下式カメラの干渉のため
RB-2	ヨークリーフ溶接部 (40 箇所)	100%	—	25%	リーフと吊下式カメラの干渉のため
RB-3	ヨークライザ管溶接部 (20 箇所)	100%	—	25%	リーフと吊下式カメラの干渉のため
BM-1	ビーム	80%	キーパ及びトランジションピースに覆われているため	50%	ノズルエルボと吊下式カメラの干渉のため
RS-1	サーマルスリーブライザエルボ溶接部 (10 箇所)	100%	—	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
RS-2	ライザ管ライザエルボ溶接部 (10 箇所)	100%	—	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
RS-3	ライザ管トランジションピース溶接部 (10 箇所)	100%	—	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
IM-2	ノズルバルレル溶接部 (20 箇所)	100%	—	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
IM-3	バルルーアダプタ溶接部 (20 箇所)	90%	ライザブレースと吊下式カメラの干渉のため	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
BR-1	ライザ管ブラケット溶接部 (20 箇所)	100%	—	100%	—
BR-3	位置決めボルト廻り止め溶接部 (40 箇所)	100%	—	-	-
BR-4	ウエッジボルト廻り止め溶接部 (40 箇所)	100%	—	-	-
BR-5	ウエッジ	100%	—	0%	トランジションピース側はアクセス不可
DF-1	ディフューザカラーディフューザテー管溶接部 (20 箇所)	90%	ライザ管と吊下式カメラの干渉のため	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
DF-2	ディフューザテー管テールパイプ溶接部 (20 箇所)	90%	ライザ管と吊下式カメラの干渉のため	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
DF-3	テールパイプローアリング又はアダプタ溶接部 (20 箇所)	90%	ライザ管及びシュラウドと吊下式カメラの干渉のため	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可
AD-2	ローアリングシュラウドサポートプレート溶接部 (20 箇所)	90%	ライザ管及びシュラウドと吊下式カメラの干渉のため	0%	インレットミキサを取り外さなければアクセス不可

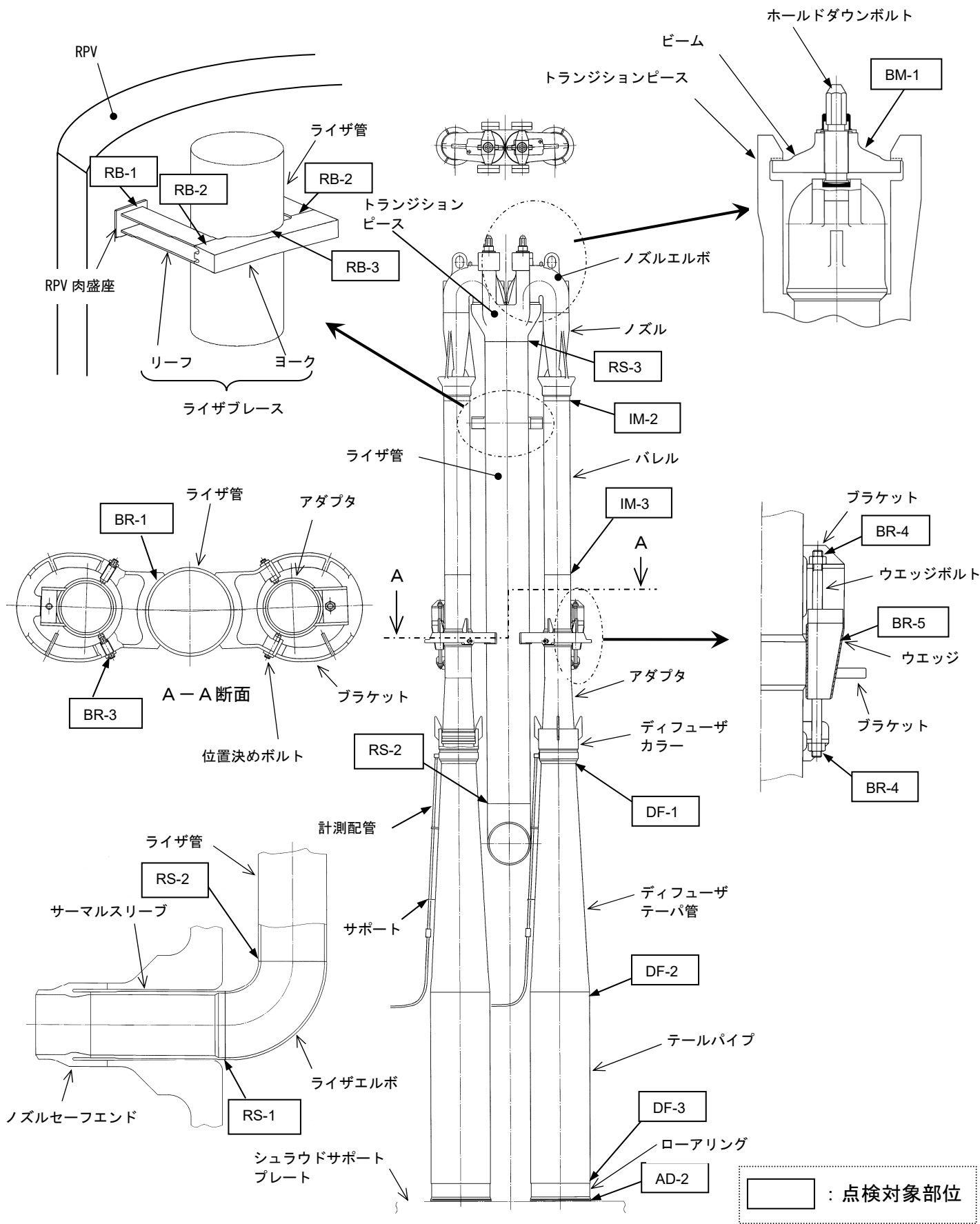


図 B-1 ジェットポンプの点検対象部位

## 付録C SCC 亀裂進展速度式

### 1. はじめに

本付録は、ジェットポンプの周溶接部を対象とした亀裂進展評価に適用する SCC 亀裂進展速度式を示すものである。

### 2. ジェットポンプ周溶接部の使用材料

ジェットポンプの周溶接部に使用されている SUS304, SUS304L, SUS316L 及びニッケル合金の 182 合金, 82 合金を亀裂進展の評価対象とする。

### 3. SCC 亀裂進展速度式

#### 3.1 鋭敏化 SUS304 の SCC 亀裂進展速度式

##### (a) 通常一次水質環境下 (NWC : Normal Water Chemistry)

SCC 亀裂進展試験結果をもとに設定された、NWC における鋭敏化 SUS304 に対する SCC 亀裂進展速度を次式に示す。

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (1)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 3.4) \quad (2)$$

$$da/dt = 1.43 \times 10^{-10} K^{2.161} \quad (3.4 \leq K \leq 57.9) \quad (3)$$

$$da/dt = 9.2 \times 10^{-7} \quad (K > 57.9) \quad (4)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s, 応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される鋭敏化 SUS304 の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-1 に示す。

##### (b) 水素注入環境下 (HWC : Hydrogen Water Chemistry)

SCC 亀裂進展試験結果をもとに設定された、HWC における鋭敏化 SUS304 に対する SCC 亀裂進展速度を次式に示す。

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (5)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 12.9) \quad (6)$$

$$da/dt = 7.94 \times 10^{-12} K^{2.161} \quad (12.9 \leq K \leq 57.9) \quad (7)$$

$$da/dt = 5.1 \times 10^{-8} \quad (K > 57.9) \quad (8)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s, 応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される鋭敏化 SUS304 の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-2 に示す。

### 3.2 低炭素ステンレス鋼の SCC 亀裂進展速度式

#### (a) 通常一次水質環境下 (NWC : Normal Water Chemistry)

SCC 亀裂進展試験結果をもとに設定された、NWC における低炭素ステンレス鋼(SUS304L, SUS316L)の SCC 亀裂進展速度を次式に示す。

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (9)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 6.7) \quad (10)$$

$$da/dt = 3.33 \times 10^{-11} K^{2.161} \quad (6.7 \leq K \leq 57.9) \quad (11)$$

$$da/dt = 2.1 \times 10^{-7} \quad (K > 57.9) \quad (12)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される低炭素量ステンレス鋼の SCC 亀裂進展速度線図を鋭敏化 SUS304 の SCC 亀裂進展速度線図と併せ、図 C-1 に示す。

#### (b) 水素注入環境下 (HWC : Hydrogen Water Chemistry)

SCC 亀裂進展試験結果をもとに設定された、HWC における低炭素ステンレス鋼(SUS304L, SUS316L)の SCC 亀裂進展速度を次式に示す。

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (13)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 19.3) \quad (14)$$

$$da/dt = 3.33 \times 10^{-12} K^{2.161} \quad (19.3 \leq K \leq 57.9) \quad (15)$$

$$da/dt = 2.1 \times 10^{-8} \quad (K > 57.9) \quad (16)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される低炭素量ステンレス鋼 (SUS304L, SUS316L) の SCC 亀裂進展速度線図を鋭敏化 SUS304 の SCC 亀裂進展速度線図と併せ、図 C-2 に示す。

### 3.3 ニッケル合金の 182 合金の SCC 亀裂進展速度式

#### (a) 通常一次水質環境下 (NWC : Normal Water Chemistry)

SCC 亀裂進展速度の試験結果をもとに設定された、NWC における 182 合金の SCC 亀裂進展速度を次式に示す。ただし、点検時期の指標を得ることを目的とすることから、進展速度には保守的に  $2.0 \times 10^{-9}$  [mm/s] の下限値を設けた。

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (17)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 13.3) \quad (18)$$

$$da/dt = 3 \times 10^{-15} K^{5.186} \quad (13.3 \leq K \leq 50.3) \quad (19)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-6} \quad (K > 50.3) \quad (20)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される 182 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-3 に示す。

ここで、日本機械学会 維持規格では、腐食電位 (ECP) の影響を考慮したニッケル合金溶接金属の BWR 環境中の SCC 亀裂進展速度を規定しており、今後の評価に際しては本速度線図を用いてもよい。

### 3.4 ニッケル合金の 82 合金の SCC 亀裂進展速度式

参考文献<sup>[1,2]</sup>より設定した 82 合金の SCC 亀裂進展速度を以下に示す。本亀裂進展速度は、材料の規格内での化学成分変動を含む複数の材料ヒートを使用し、炉内構造物に用いられる溶接方法で国内プラントメーカーが溶接施工した試験体の SCC 亀裂進展速度データベースより策定され、溶接ままと溶接後熱処理及び通常一次水質環境下と水素注入環境下で異なる線図を定義している。

なお、本付録では、選定されたデータ群の平均線による速度式について、点検時期を評価するにあたり、亀裂進展速度に  $2.0 \times 10^{-9}$  [mm/s] の下限値を設けた。

#### (a) 通常一次水質環境下 (NWC : Normal Water Chemistry)

##### ・溶接ままと (As-Welded)

$$da/dt=0 \quad (K \leq 0) \quad (21)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 13.7) \quad (22)$$

$$da/dt=1.1 \times 10^{-15} K^{5.5} \quad (13.7 \leq K \leq 22.5) \quad (23)$$

$$da/dt=6.0 \times 10^{-11} K^{2.0} \quad (K > 22.5) \quad (24)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-4 に示す。

##### ・溶接後熱処理 (PWHT)

$$da/dt=0 \quad (K \leq 0) \quad (25)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 16.7) \quad (26)$$

$$da/dt=3.7 \times 10^{-16} K^{5.5} \quad (16.7 \leq K \leq 22.5) \quad (27)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-11} K^{2.0} \quad (K > 22.5) \quad (28)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-4 に示す。

(b) 水素注入環境下 (HWC : Hydrogen Water Chemistry)

・溶接まま (As-Welded)

$$da/dt=0 \quad (K \leq 0) \quad (29)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 16.7) \quad (30)$$

$$da/dt=1.1 \times 10^{-15} K^{5.5} \quad (16.7 \leq K \leq 22.5) \quad (31)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-11} K^{2.0} \quad (K > 22.5) \quad (32)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。  
また、上式で表される 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-5 に示す。

・溶接後熱処理 (PWHT)

$$da/dt=0 \quad (K \leq 0) \quad (33)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 16.7) \quad (34)$$

$$da/dt=1.2 \times 10^{-16} K^{5.5} \quad (16.7 \leq K \leq 22.5) \quad (35)$$

$$da/dt=6.7 \times 10^{-12} K^{2.0} \quad (K > 22.5) \quad (36)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。  
また、上式で表される 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 C-5 に示す。

参考文献

- 1) BWRVIP-358: BWR Vessel and Internals Project, “Stress Corrosion Crack Growth Rate Behavior of Alloy 82 Weld Metal in Boiling Water Reactor Environments”, 2023.
- 2) P.L.Andresen et al., “Proposed Crack Growth Rate Disposition Curves For Stress Corrosion Cracking of ALLOY 82 in BWR Environments”, 20th Int. Symp. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water Reactors, 2022.

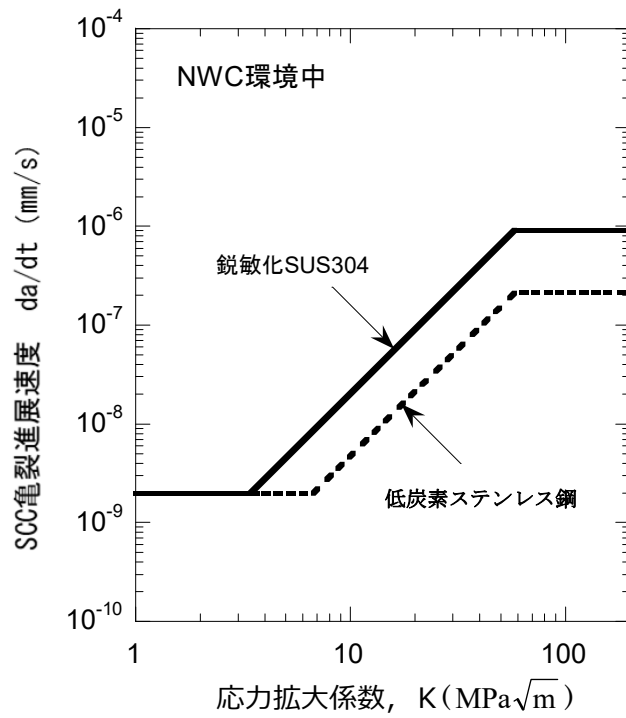


図 C-1 NWC 環境中におけるステンレス鋼の SCC 亀裂進展速度線図

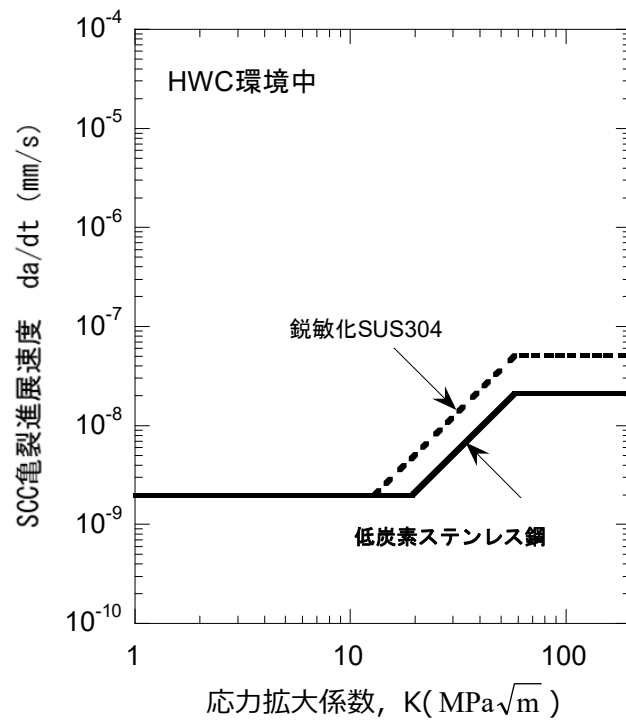


図 C-2 HWC 環境中におけるステンレス鋼の SCC 亀裂進展速度線図

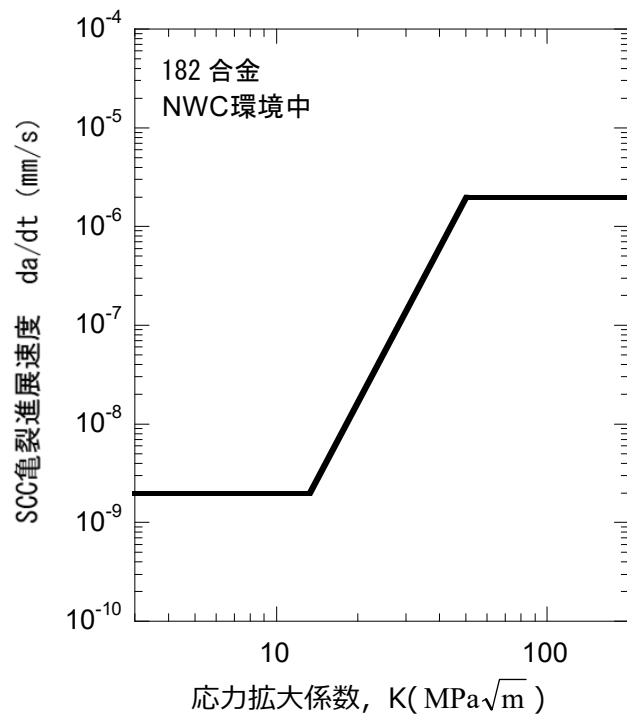


図 C-3 NWC 環境中における 182 合金の SCC 亀裂進展速度線図

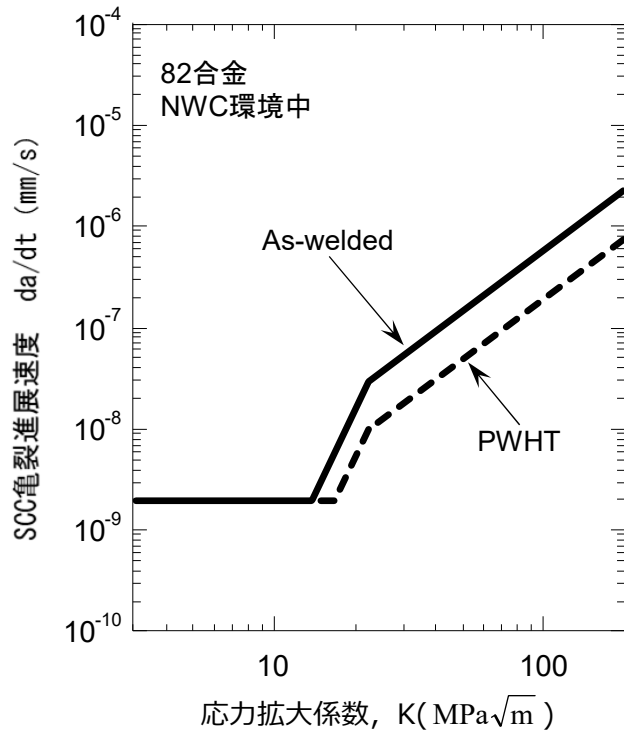


図 C-4 NWC 環境中における 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図

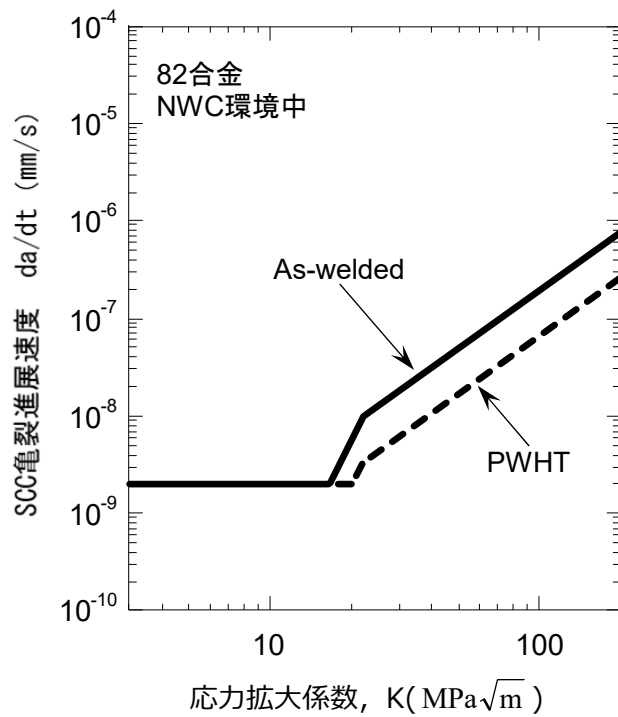


図 C-5 HWC 環境中における 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図

## 付録D 溶接部の残留応力

### 1. はじめに

本付録は、ジェットポンプ周溶接部の亀裂進展評価に必要な溶接残留応力分布の評価結果をまとめたものである。

ジェットポンプの管と管の周溶接部は、ディフューザのローアリングとシュラウドサポートの溶接部を除き、ステンレス薄肉管の外側開先周溶接となっており、同等な材料、構造の管の周溶接部の溶接残留応力測定結果から残留応力分布を評価した。

ディフューザのローアリングとシュラウドサポートの溶接部の溶接残留応力は、2次元弾塑性解析結果を用いた。

### 2. 外側開先周溶接部の軸方向溶接残留応力の設定方法

SUS304製の外径275mm、板厚8.5mmの配管の溶接残留応力測定結果（図D-1参照）から、内表面 $216\text{N/mm}^2$ の引張応力、外表面 $167\text{N/mm}^2$ の圧縮応力とし、板厚内の分布を直線分布として設定した。

なお、軸方向亀裂は管の強度に及ぼす影響が小さいことから軸方亀裂の進展評価は対象外とし、周方向応力については設定していない。

### 3. ローアリングとシュラウドサポートの溶接残留応力解析

#### (1) 解析モデル

テールパイプ、ローアリング、シュラウドサポートプレート及びローアリングとシュラウドサポートの溶接部を、軸対称モデル化した。

#### (2) 解析手順

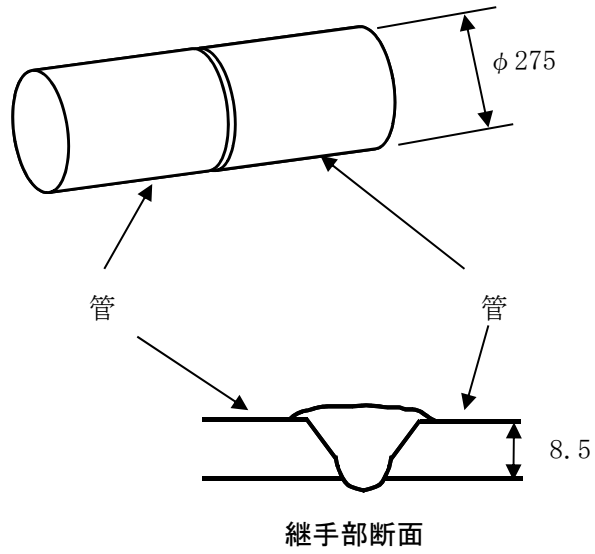
当該溶接部の溶接施工条件から、溶接パス毎に溶接入熱条件を設定して伝熱解析を実施し、得られた非定常温度分布に基づいて、大変形弾塑性応力解析を実施した。

#### (3) 物性値

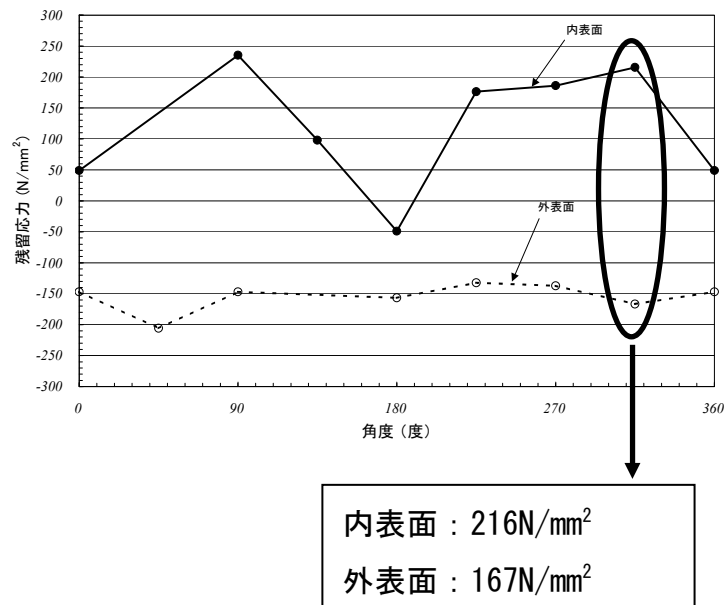
伝熱解析には、表D-1に示す物性値を用いた。また、熱応力解析には、図D-2に示す物性値を用いた。

#### (4) 解析結果

図D-3に軸方向及び周方向の残留応力分布の解析結果を示す。



(a) 残留応力分布を調査した管-管継手突合わせ継手形状



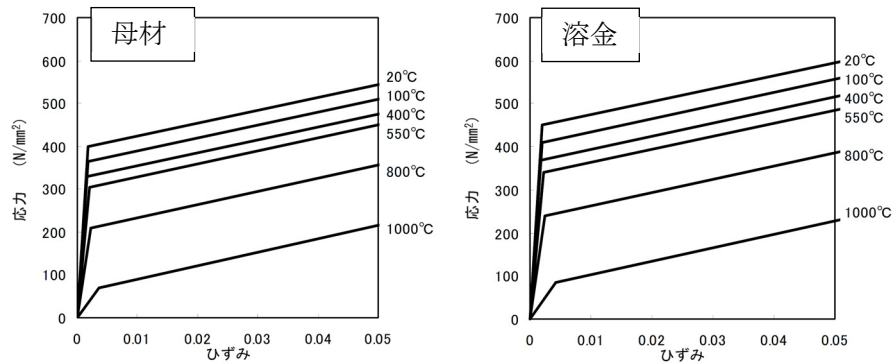
(b) 軸方向溶接残留応力分布

図 D-1 管と管との溶接残留応力分布

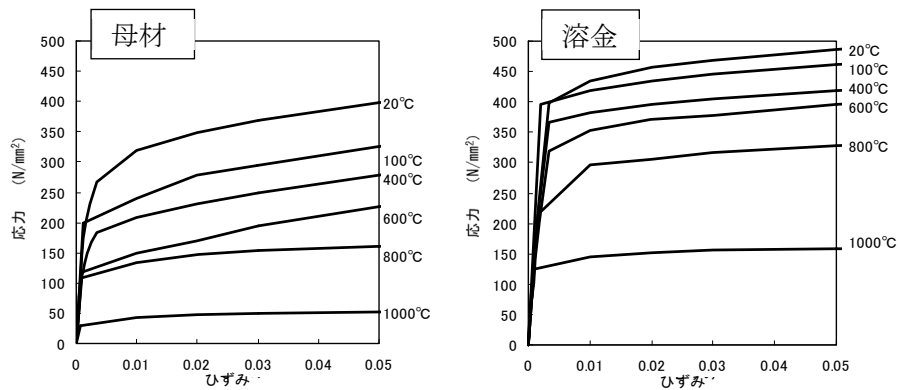
表 D-1 伝熱解析に用いた物性値

SUS304及びSUS316L									
温度	°C	20	100	200	400	600	1000	1500	2000
熱伝導率	$\text{kJ}/\text{mm}\cdot\text{s}\cdot\text{°C}$	$1.46\times 10^{-5}$	$1.56\times 10^{-5}$	$1.70\times 10^{-5}$	$1.97\times 10^{-5}$	$2.24\times 10^{-5}$	$2.76\times 10^{-5}$	$3.43\times 10^{-5}$	$4.12\times 10^{-5}$
密度	$\text{Kg}/\text{mm}^3$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$	$7.86\times 10^{-6}$
比熱	$\text{KJ}/\text{kg}\cdot\text{°C}$	0.452	0.493	0.523	0.553	0.578	0.620	0.678	0.737
ニッケル合金									
温度	°C	20	149	288	566	815	1000	1500	2000
熱伝導率	$\text{kJ}/\text{mm}\cdot\text{s}\cdot\text{°C}$	$1.49\times 10^{-5}$	$1.66\times 10^{-5}$	$1.87\times 10^{-5}$	$2.34\times 10^{-5}$	$2.77\times 10^{-5}$	$3.10\times 10^{-5}$	$3.98\times 10^{-5}$	$4.89\times 10^{-5}$
密度	$\text{Kg}/\text{mm}^3$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$	$8.50\times 10^{-6}$
比熱	$\text{KJ}/\text{kg}\cdot\text{°C}$	0.645	0.670	0.720	0.800	0.871	0.913	1.05	1.17

出典：溶接学会論文集第12巻（1994） 第4号 563



(a) ニッケル合金



(b) ステンレス鋼

図 D-2 熱応力解析に用いた物性値

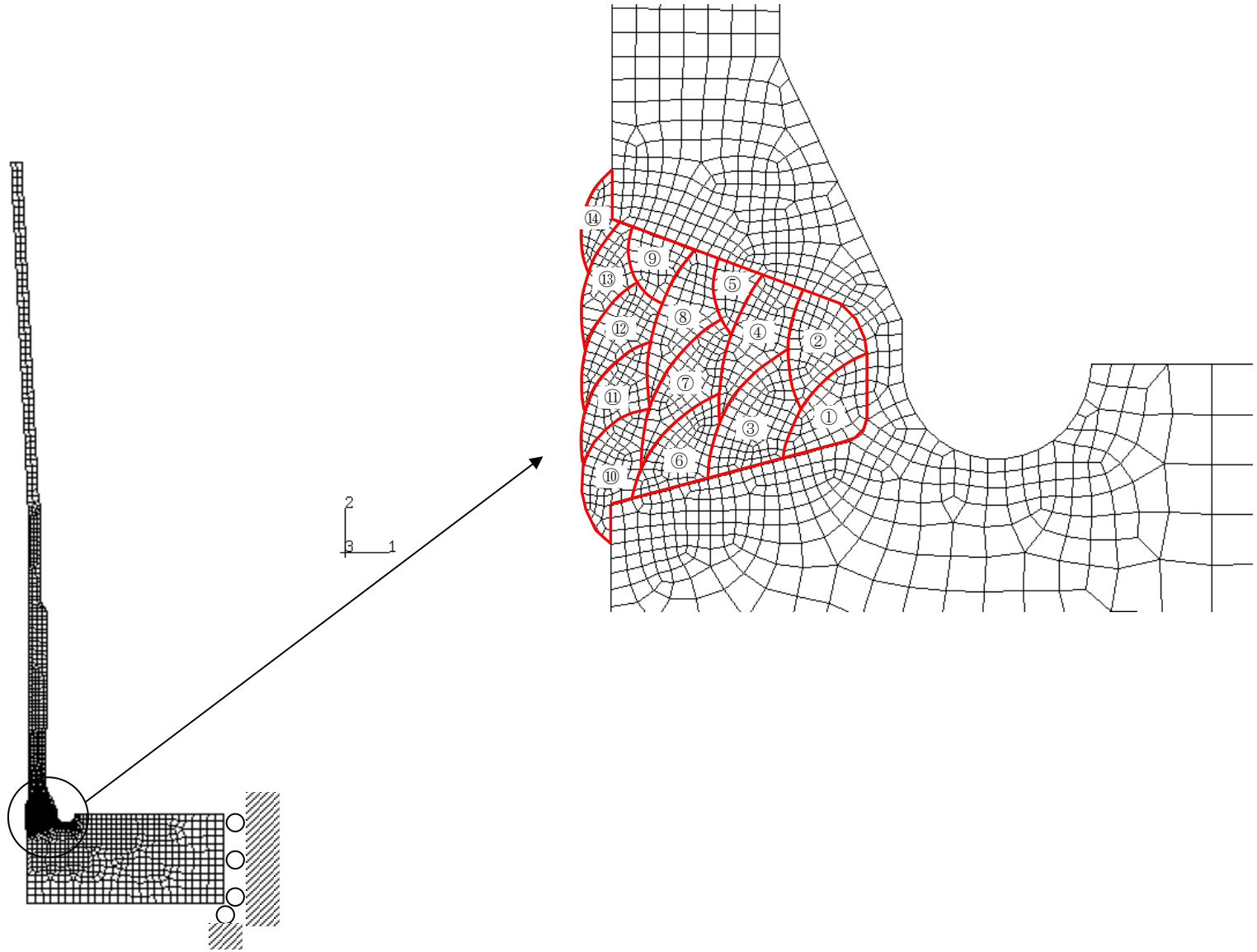
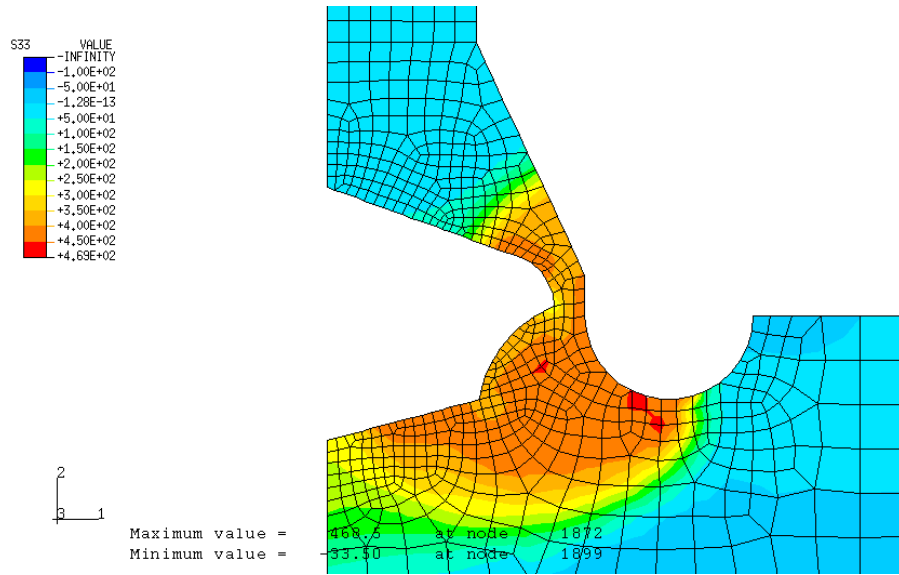
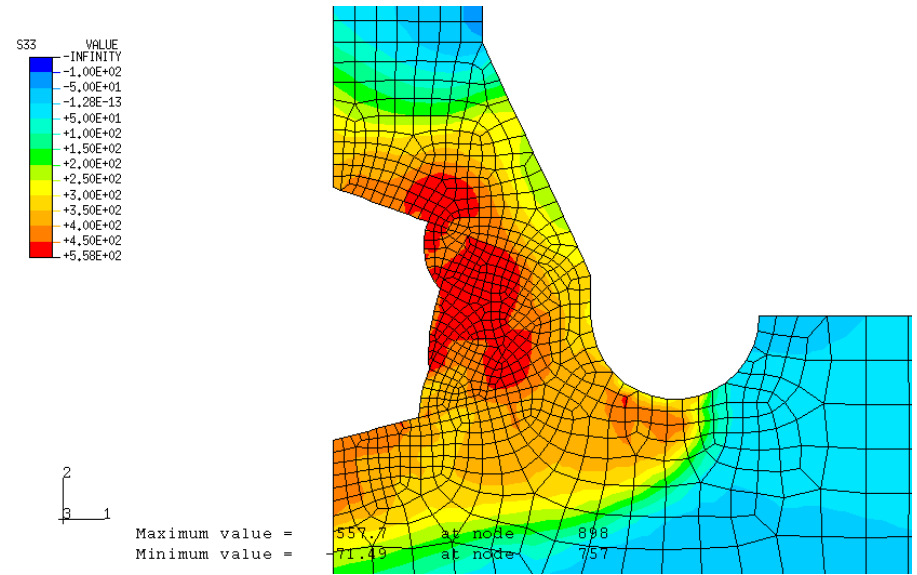


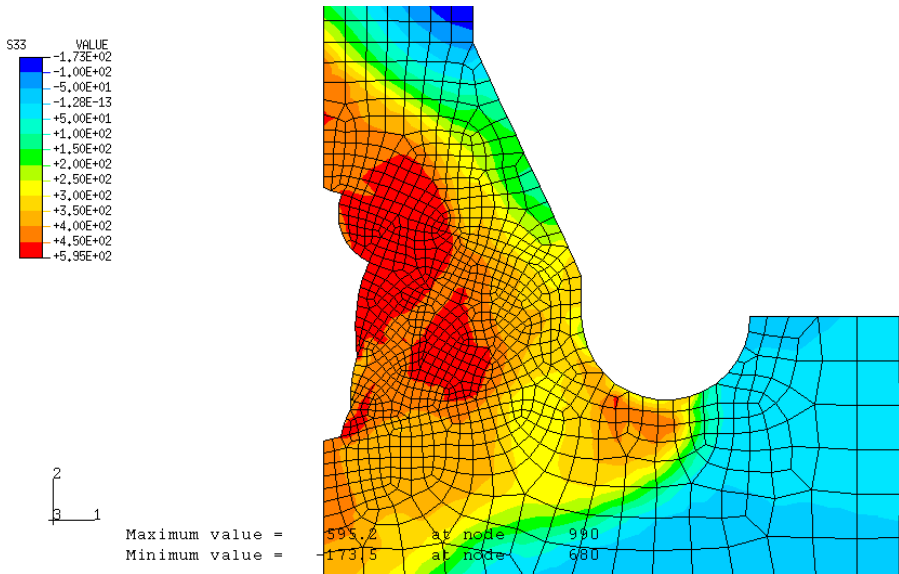
図 D-3(1) 解析モデル及び拘束条件 (2次元軸対称要素)



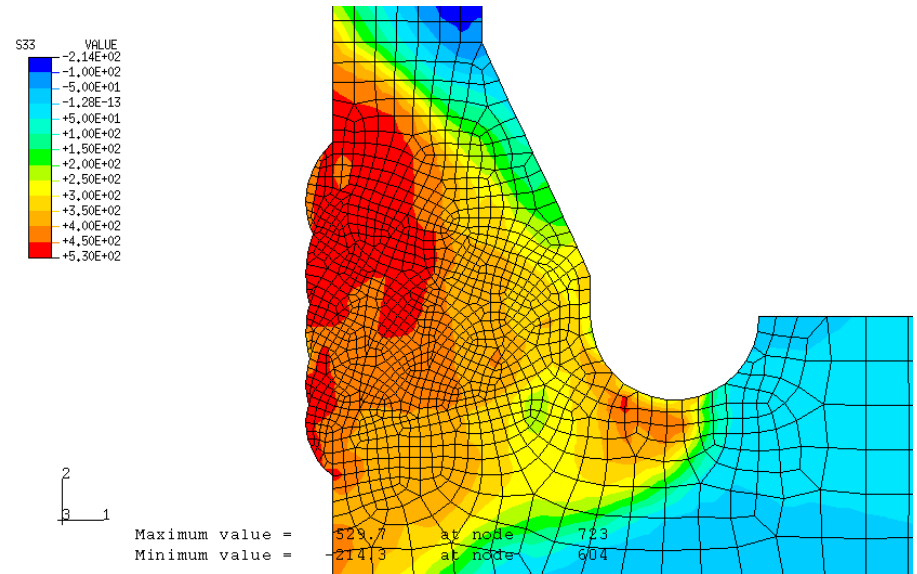
< 1 パス終了時 >



< 5 パス終了時 >

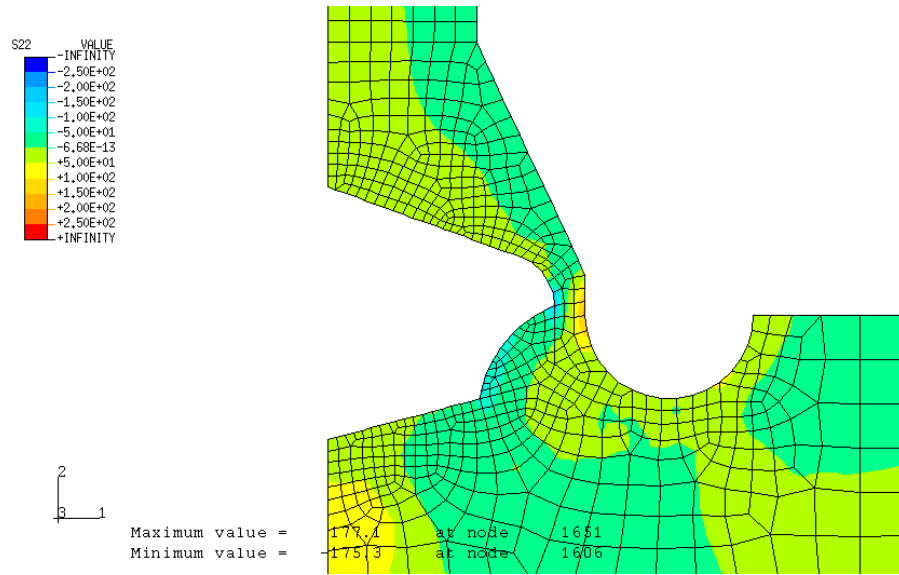


< 9 パス終了時 >

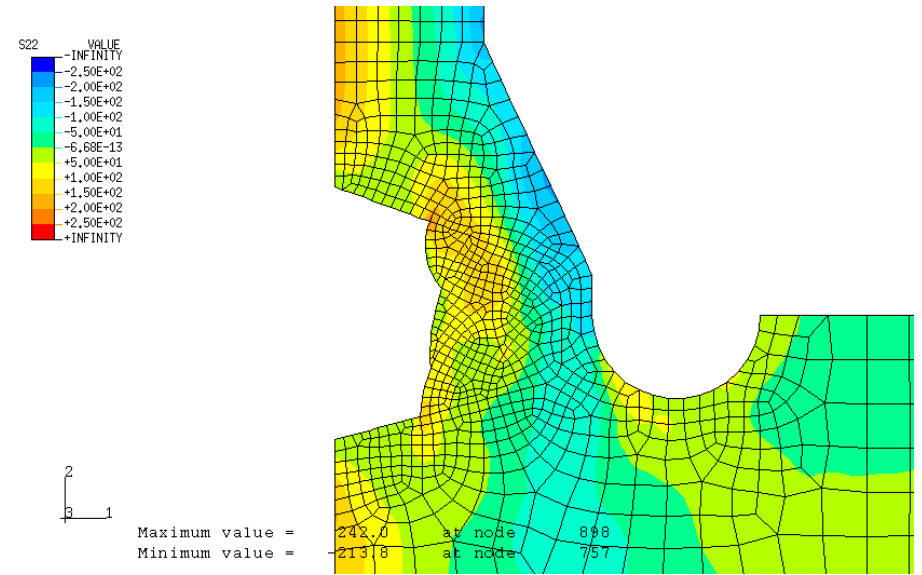


< 14 パス終了時 : 最終パス >

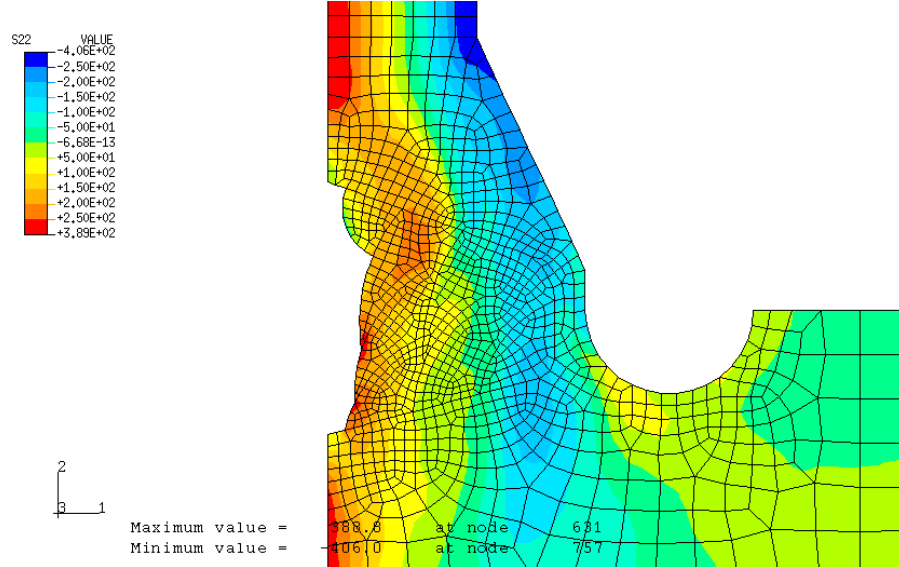
図 D-3(2) 代表パスにおける周方向応力分布 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )



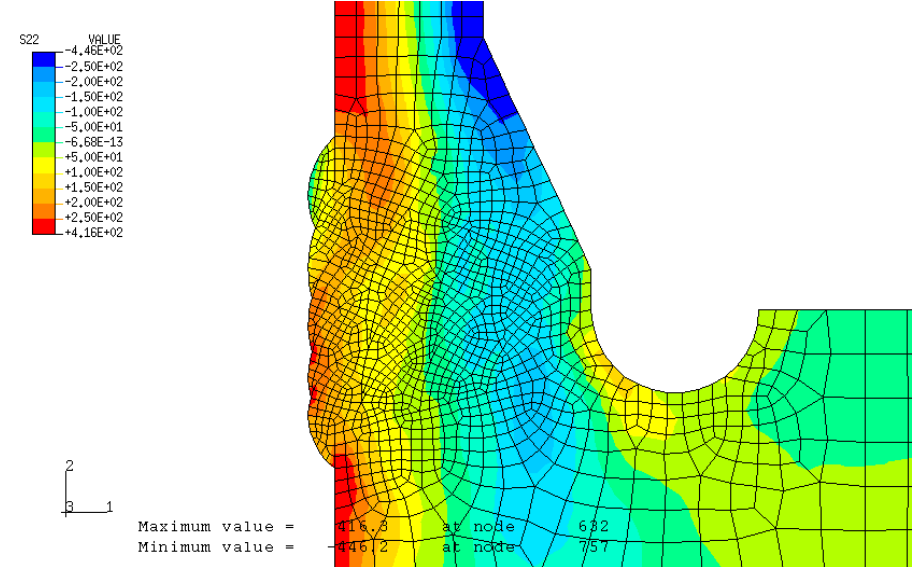
&lt; 1パス終了時 &gt;



&lt; 5パス終了時 &gt;



&lt; 9パス終了時 &gt;



&lt; 14パス終了時：最終パス &gt;

図D-3(3) 代表パスにおける軸方向応力分布 (単位  $\text{N}/\text{mm}^2$ )

## 付録E ジェットポンプの管／管溶接部の SCC 亀裂進展評価

### 1. はじめに

ジェットポンプの管／管溶接部における周方向亀裂の亀裂進展評価を実施して、想定した亀裂の管の板厚貫通時期を評価した。

### 2. 評価条件

#### 2.1 評価対象溶接継手

ジェットポンプの管／管溶接部はいずれも薄肉管の溶接であり溶接残留応力は同等と考えられることから、本ガイドラインでは、付録Dに示すとおり、薄肉配管の周溶接継手の溶接残留応力実測データをもとに外表面及び内表面の溶接残留応力を設定し板厚内の分布は直線分布に設定した。このことから、ライザ部、ミキサー部及びディフューザ部のそれぞれの部位の中から、板厚貫通までの期間が短い、即ち板厚の薄い以下の溶接継手を選定して亀裂進展評価対象とした。

- ・サーマルスリーブとエルボの溶接部
- ・インレットミキサとアダプタの溶接部
- ・テーパ管とテールパイプの溶接部

なお、評価対象とする亀裂は周方向亀裂とする。

#### 2.2 亀裂進展評価に用いる応力

溶接残留応力と運転応力の和を、亀裂進展評価に用いる応力とした。溶接残留応力は、前項に示すとおり薄肉配管の周溶接継手の溶接残留応力実測データをもとに設定した。また、運転応力は差圧を考慮して決定した。

#### 2.3 応力拡大係数解

応力拡大係数解には、任意応力場における表面亀裂の表面点及び最深点の応力拡大係数を評価することが可能な影響関数法を用いた。

#### 2.4 SCC 亀裂進展速度式

当該溶接部はステンレス鋼であることから、SCC 亀裂進展試験結果をもとに設定された次式で表される通常水質環境中（NWC 環境中）における鋭敏化 SUS304 に対する SCC 亀裂進展速度及び低炭素ステンレス鋼（SUS304L, SUS316L, SUS316(炭素量 $\leq 0.030\%$ )）の SCC 亀裂進展速度を用いた。

NWC 環境中 鋭敏化 SUS304

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (1)$$

$$da/dt = 2 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 3.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) \quad (1)$$

$$da/dt = 1.43 \times 10^{-10} K^{2.161} \quad (3.4 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \leq K \leq 57.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) \quad (2)$$

$$da/dt = 9.2 \times 10^{-7} \quad (K > 57.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) \quad (3)$$

NWC 環境中 低炭素ステンレス鋼

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (4)$$

$$da/dt = 2 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 6.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) \quad (4)$$

$$da/dt = 3.33 \times 10^{-11} K^{2.161} \quad (6.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \leq K \leq 57.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) \quad (5)$$

$$da/dt = 2.1 \times 10^{-7} \quad (K > 57.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) \quad (6)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。

また、上式で表される通常水質環境中 (NWC 環境中) における鋭敏化 SUS304 に対する SCC 亀裂進展速度線図及び低炭素ステンレス鋼の SCC 亀裂進展速度線図を図 E-1 に示す。

## 2.5 初期亀裂形状

初期亀裂形状として、初期亀裂深さ  $a_0$  が 0.05 mm、初期亀裂長さ  $l_0$  が 0.5 mm の半楕円形状の表面亀裂を想定した。

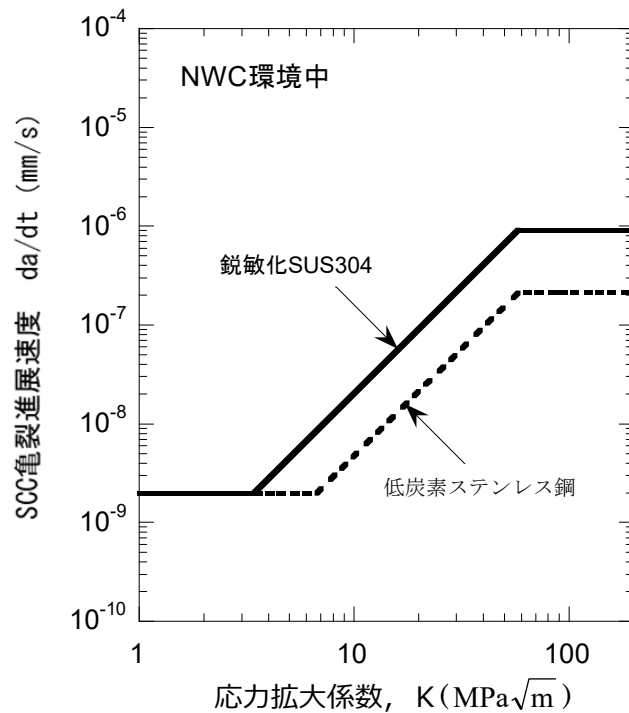


図 E-1 NWC 環境中における鋭敏化 SUS304 及び低炭素ステンレス鋼の SCC 亀裂進展速度線図

### 3. 評価結果

#### 3.1 サーマルスリーブとエルボ溶接部

サーマルスリーブとエルボ溶接部の周方向亀裂進展評価に用いた当該部の軸方向残留応力分布を図 E-2 に示す。また、サーマルスリーブとエルボ溶接部の周方向亀裂進展評価結果を図 E-3 に示す。図 E-3(a) では、亀裂の進展に伴う最深点の応力拡大係数の変化を示した。図 E-3(b) では、亀裂深さと時間の関係を示した。経路全長は 7.8 mm であるが、SCC 亀裂進展速度として NWC 環境中における鋭敏化 SUS304 の SCC 進展速度を用いた場合、亀裂が経路全長に達する年数は 13.9 年、SCC 亀裂進展速度として NWC 環境中における低炭素ステンレス鋼の SCC 進展速度を用いた場合、亀裂が経路全長に達する年数は 51.4 年である。

#### 3.2 インレットミキサとアダプタ溶接部

インレットミキサとアダプタ溶接部の周方向亀裂進展評価に用いた当該部の軸方向残留応力分布を図 E-4 に示す。また、インレットミキサとアダプタ溶接部の周方向亀裂進展評価結果を図 E-5 に示す。図 E-5(a) では、亀裂の進展に伴う最深点の応力拡大係数の変化を示した。図 E-5(b) では、亀裂深さと時間の関係を示した。経路全長は 9.25 mm であるが、SCC 亀裂進展速度として NWC 環境中における鋭敏化 SUS304 の SCC 進展速度を用いた場合、亀裂が経路全長に達する年数は 18.3 年、SCC 亀裂進展速度として NWC 環境中における低炭素ステンレス鋼の SCC 進展速度を用いた場合、亀裂が経路全長に達する年数は 68.0 年である。

#### 3.3 テーパ管とテールパイプ溶接部

テーパ管とテールパイプ溶接部の周方向亀裂進展評価に用いた当該部の軸方向残留応力分布を図 E-6 に示す。また、テーパ管とテールパイプ溶接部の周方向亀裂進展評価結果を図 E-7 に示す。図 E-7(a) では、亀裂の進展に伴う最深点の応力拡大係数の変化を示した。図 E-7(b) では、亀裂深さと時間の関係を示した。経路全長は 6.3 mm であるが、SCC 亀裂進展速度として NWC 環境中における鋭敏化 SUS304 の SCC 進展速度を用いた場合、亀裂が経路全長に達する年数は 17.1 年、SCC 亀裂進展速度として NWC 環境中における低炭素ステンレス鋼の SCC 進展速度を用いた場合、亀裂が経路全長に達する年数は 62.6 年である。

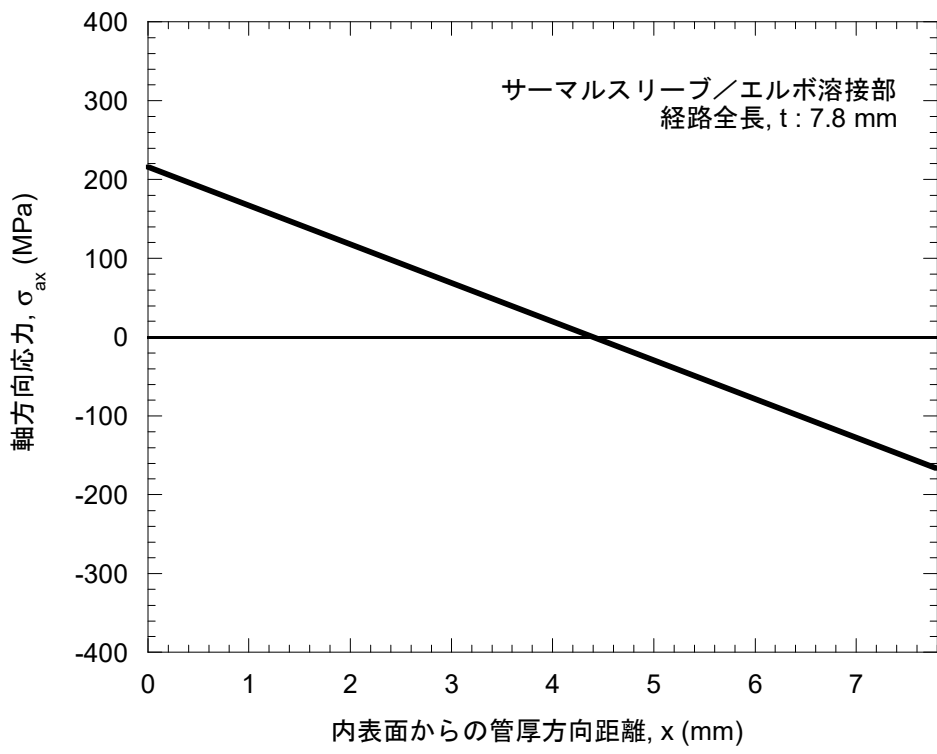
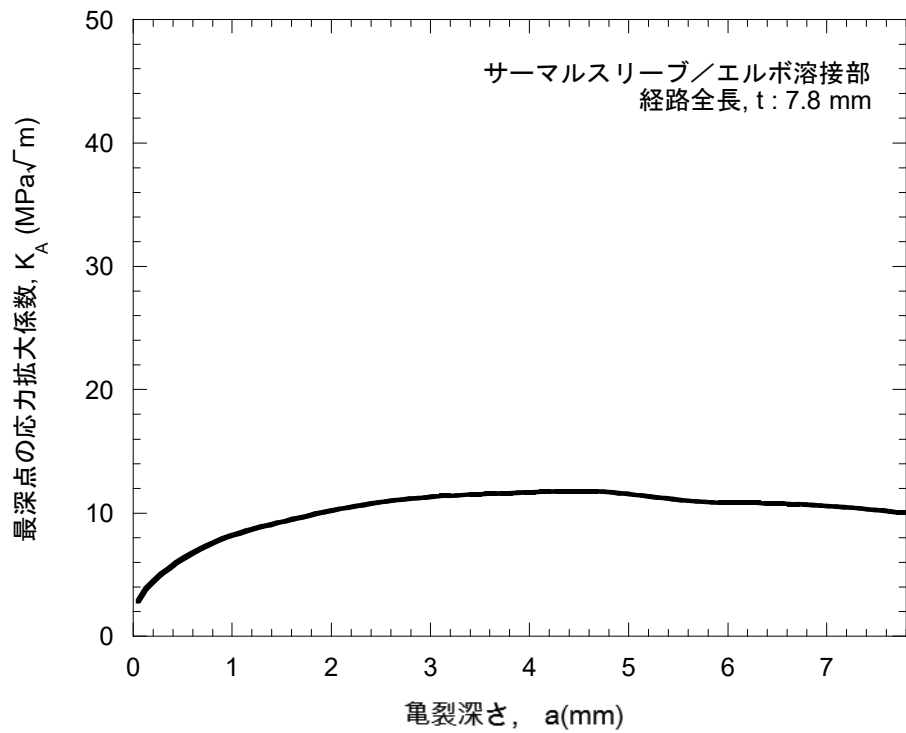
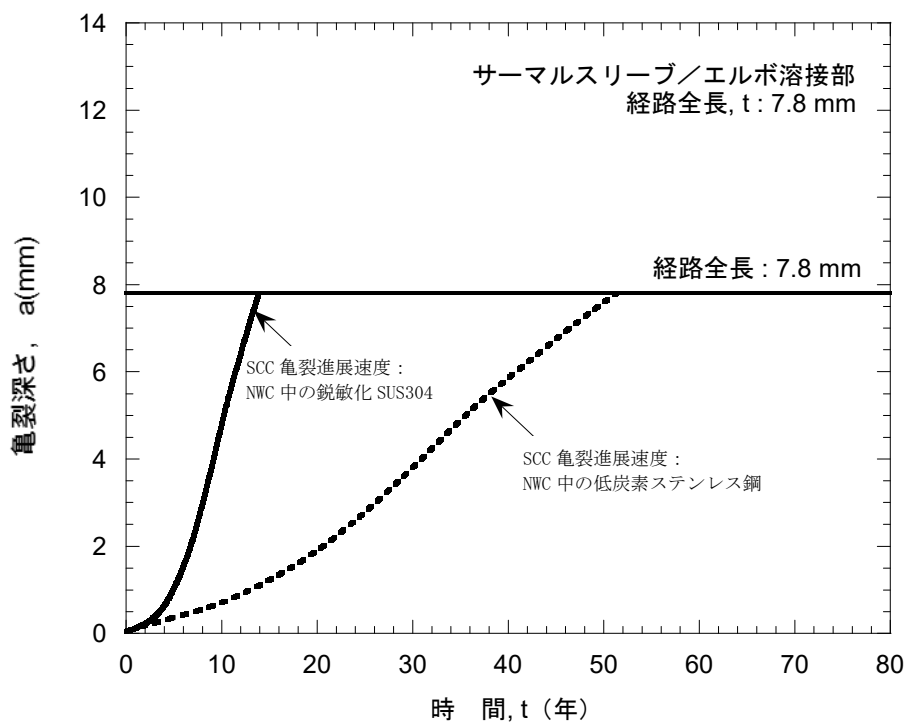


図 E-2 サーマルスリーブとエルボ溶接部の周方向亀裂進展評価に用いた軸方向残留応力分布



(a) 最深点の応力拡大係数と亀裂深さの関係



(b) 亀裂深さと時間の関係

図 E-3 サーマルスリーブとエルボ溶接部の周方向亀裂進展評価結果

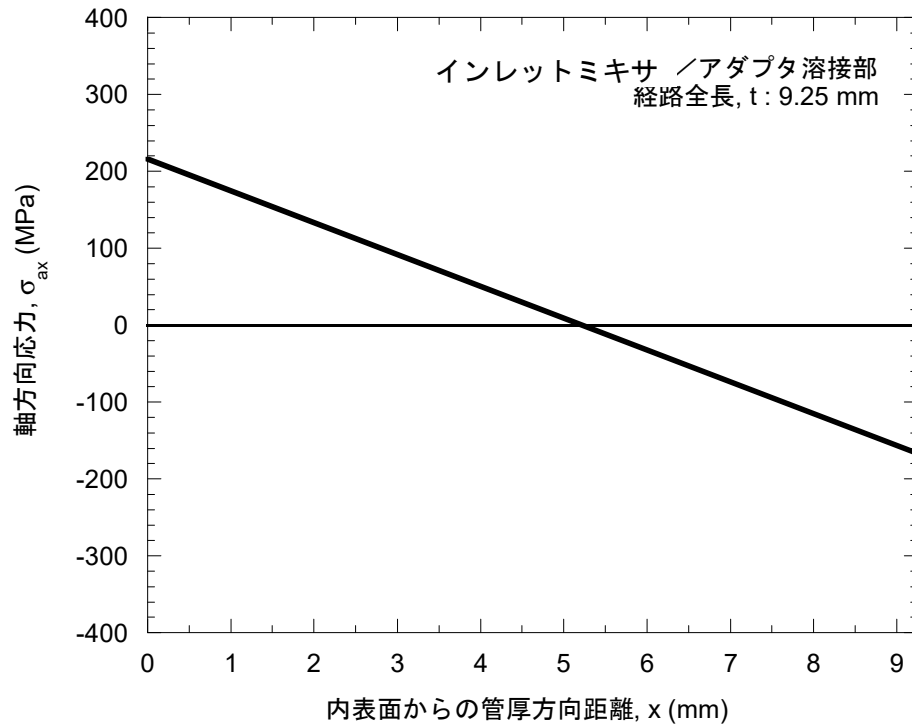
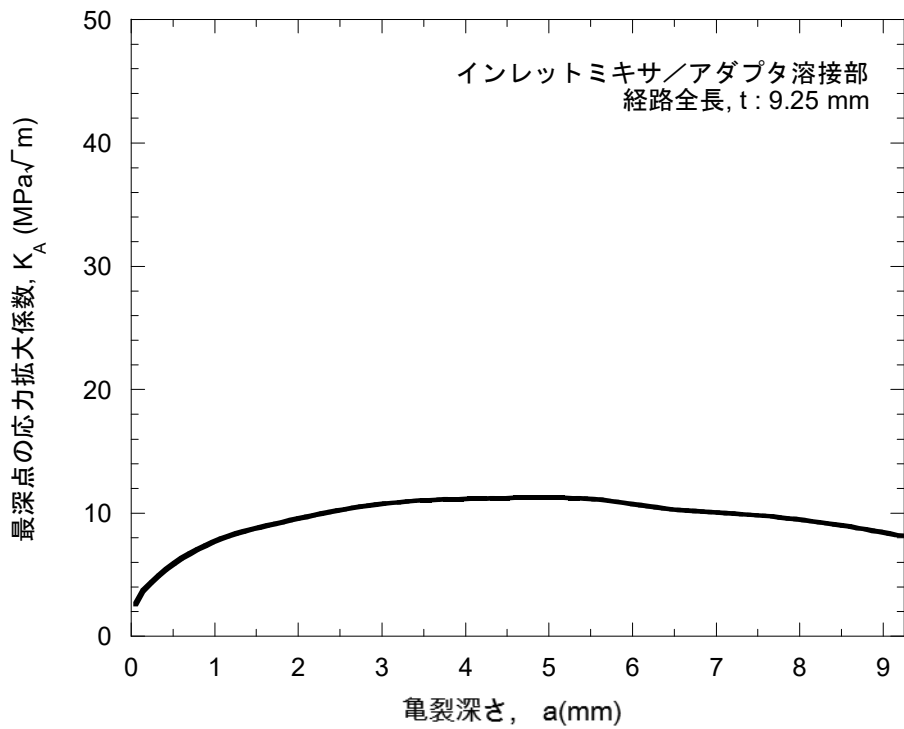
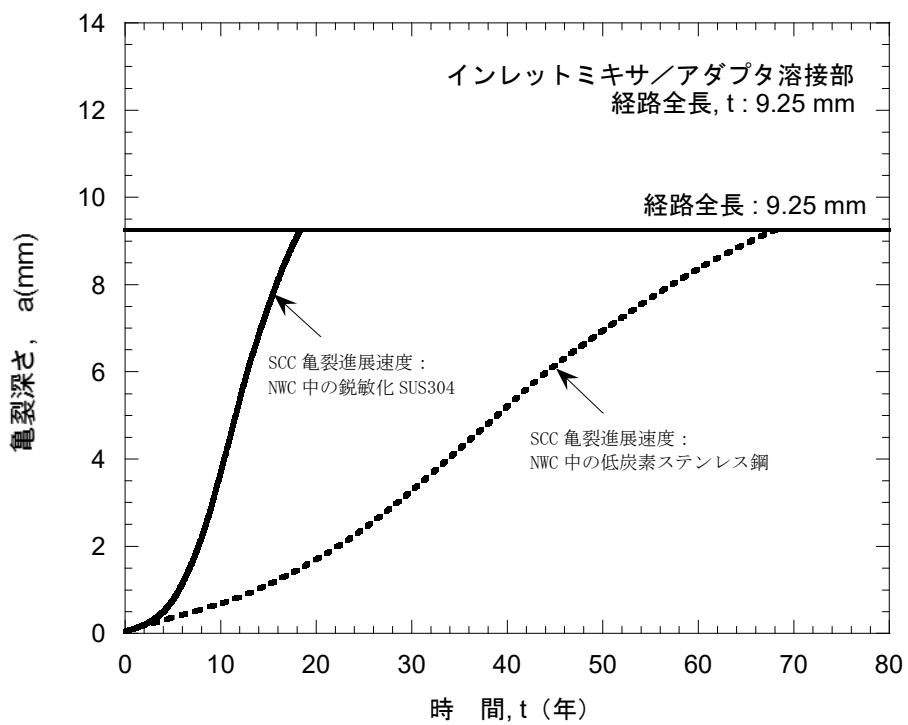


図 E-4 インレットミキサとアダプタ溶接部の周方向亀裂進展評価に用いた軸方向残留応力分布



(a) 最深点の応力拡大係数と亀裂深さの関係



(b) 亀裂深さと時間の関係

図 E-5 インレットミキサとアダプタ溶接部の周方向亀裂進展評価結果

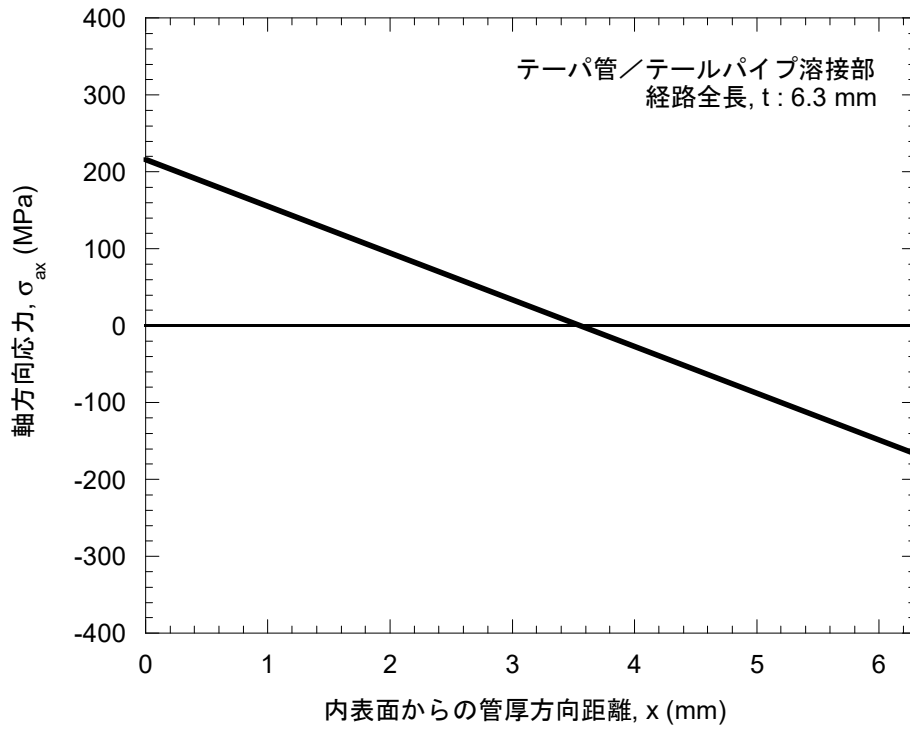
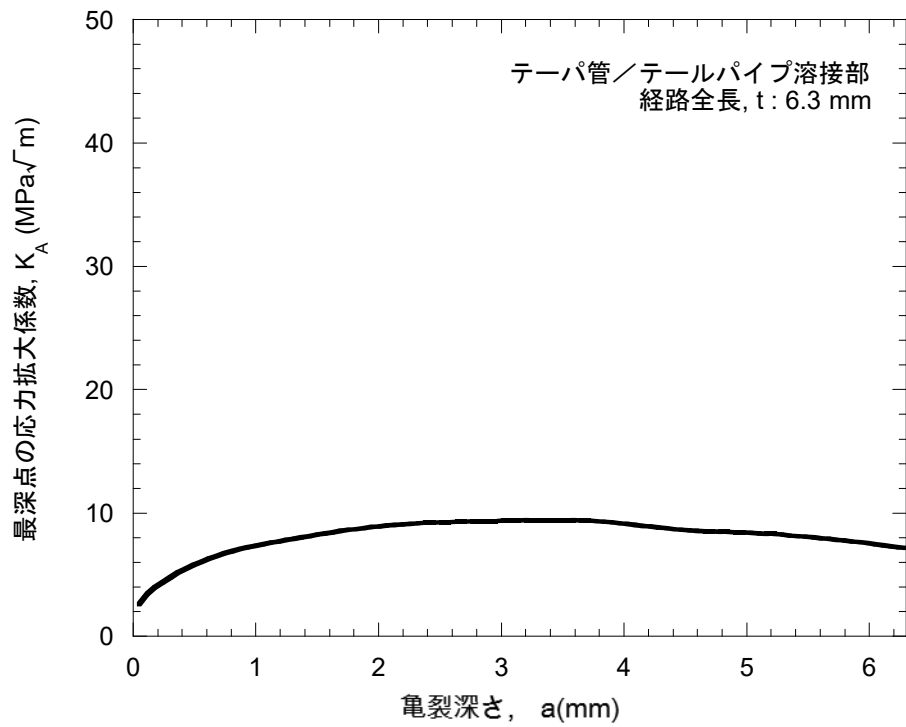
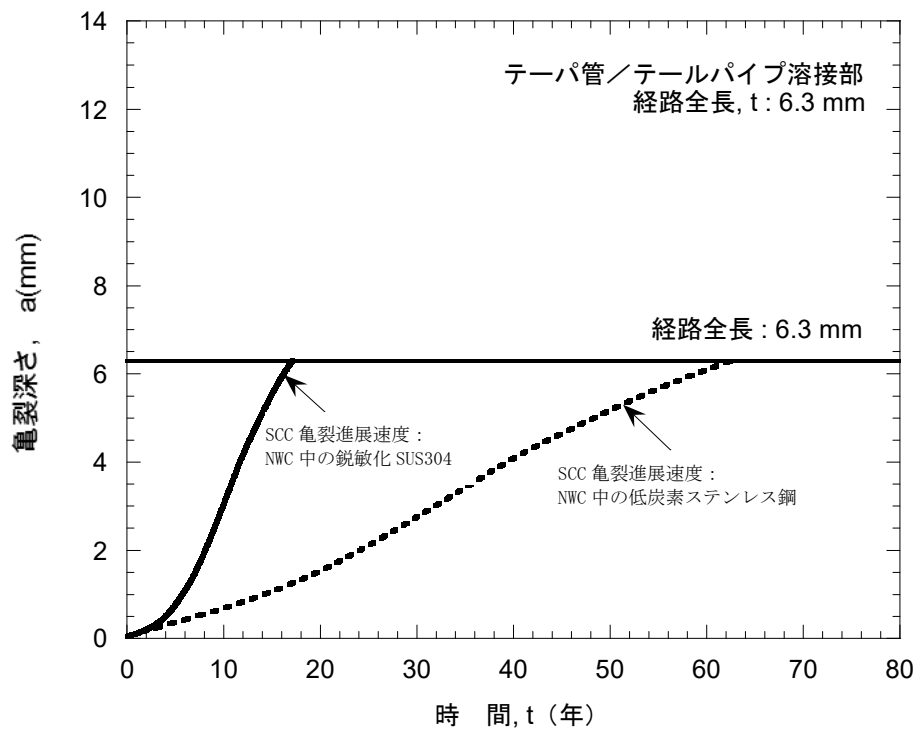


図 E-6 テーパー管とテールパイプ溶接部の周方向亀裂進展評価に用いた軸方向残留応力分布



(a) 最深点の応力拡大係数と亀裂深さの関係



(b) 亀裂深さと時間の関係

図 E-7 テーパ管とテールパイプ溶接部の周方向亀裂進展評価結果

#### 4. まとめ

ジェットポンプにおける管／管溶接部における亀裂進展評価を実施して、亀裂の板厚貫通時期の検討を行った。亀裂の発生起点は内面であるとして、評価対象となる溶接継手として、サーマルスリーブとエルボの溶接部、インレットミキサとアダプタの溶接部及びテーパ管とテールパイプの溶接部を選定した。なお、評価対象とする亀裂は周方向亀裂を想定して、亀裂進展評価を実施した。

SCC 亀裂進展速度として通常水質環境中の鋭敏化 SUS304 を用いた場合、亀裂が板厚を貫通するまでの期間は、サーマルスリーブとエルボの溶接部で 13.9 年、インレットミキサとアダプタの溶接部で 18.3 年、テーパ管とテールパイプの溶接部では 17.1 年となった。また、SCC 亀裂進展速度として通常水質環境中の低炭素ステンレス鋼を用いた場合、亀裂が板厚を貫通するまでの期間は、サーマルスリーブとエルボの溶接部で 51.4 年、インレットミキサとアダプタの溶接部で 68.0 年、テーパ管とテールパイプの溶接部では 62.6 年となった。

## 付録F ローアリング/シュラウドサポートプレート溶接部の SCC 亀裂進展評価

### 1. はじめに

ローアリング/シュラウドサポートプレート溶接部における周方向亀裂進展評価を実施して、板厚貫通時期を評価した。

### 2. 評価条件

#### 2.1 想定する亀裂進展経路

亀裂進展評価において、想定する亀裂進展経路を図 F-1 に示す。

内面から外面へ向かう亀裂進展経路のうち、残留応力が高い値を示す開先中央及び開先面を通る経路を、それぞれ経路①及び経路②として亀裂進展経路を設定した。

#### 2.2 亀裂進展評価に用いる応力

溶接残留応力と運転応力の和を亀裂進展評価に用いる応力とした。溶接残留応力は、当該溶接部形状を考慮した熱弾塑性解析により評価した。(付録D参照) また、運転応力は差圧を考慮して決定した。

#### 2.3 応力拡大係数解

応力拡大係数解には、任意応力場における表面亀裂の表面点及び最深点の応力拡大係数を評価することが可能な影響関数法を用いた。

#### 2.4 SCC 亀裂進展速度式

当該溶接部はニッケル合金であることから、代表として SCC 亀裂進展試験結果をもとに設定された次式で表される通常水質環境中 (NWC 環境中) における 182 合金及び 82 合金の SCC 亀裂進展速度を用いて、評価を行った。

##### (a) 182 合金の亀裂進展評価式 (NWC 環境中)

$$da/dt = 0 \quad (K \leq 0) \quad (1)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 13.3) \quad (2)$$

$$da/dt = 3 \times 10^{-15} K^{5.186} \quad (13.3 \leq K \leq 50.3) \quad (3)$$

$$da/dt = 2.0 \times 10^{-6} \quad (K > 50.3) \quad (4)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される 182 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 F-2 (a) に示す。

(b) 82 合金の亀裂進展評価式 (NWC 環境中)

通常一次水質環境下 (NWC : Normal Water Chemistry)

・ 溶接まま (As-Welded)

$$da/dt=0 \quad (K \leq 0) \quad (5)$$

$$da/dt=2.0 \times 10^{-9} \quad (0 < K < 13.7) \quad (6)$$

$$da/dt=1.1 \times 10^{-15} K^{5.5} \quad (13.7 \leq K \leq 22.5) \quad (7)$$

$$da/dt=6.0 \times 10^{-11} K^{2.0} \quad (K > 22.5) \quad (8)$$

上式において、亀裂進展速度  $da/dt$  の単位は mm/s、応力拡大係数  $K$  の単位は  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  である。また、上式で表される 82 合金の SCC 亀裂進展速度線図を図 F-2 (b) に示す。

## 2.5 初期亀裂形状

初期亀裂形状として、初期亀裂深さ  $a_0$  が 0.05 mm、初期亀裂長さ  $l_0$  が 0.5 mm の半楕円形状の表面亀裂を想定した。

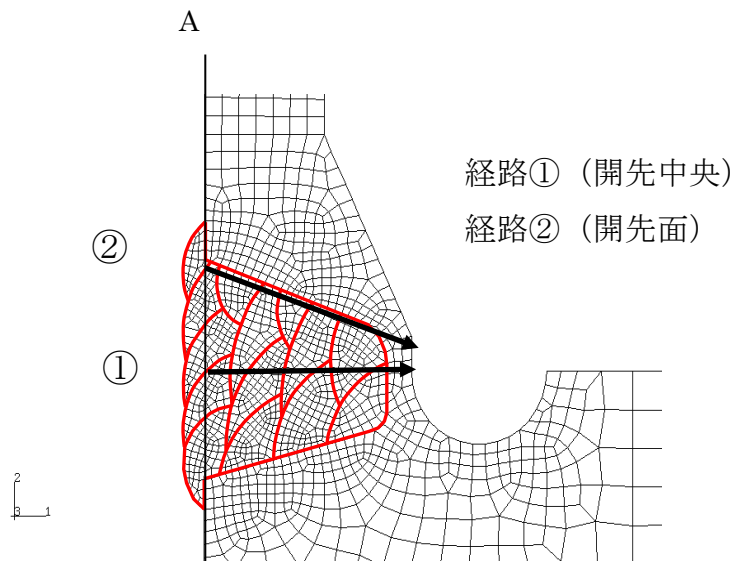
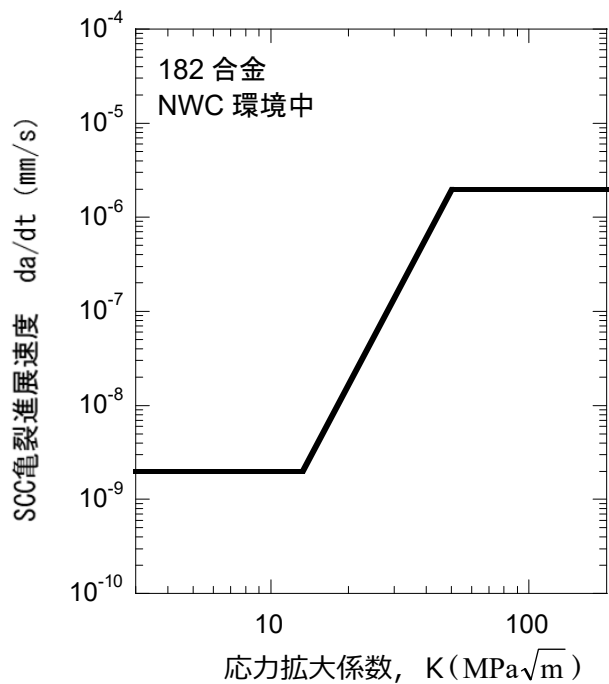
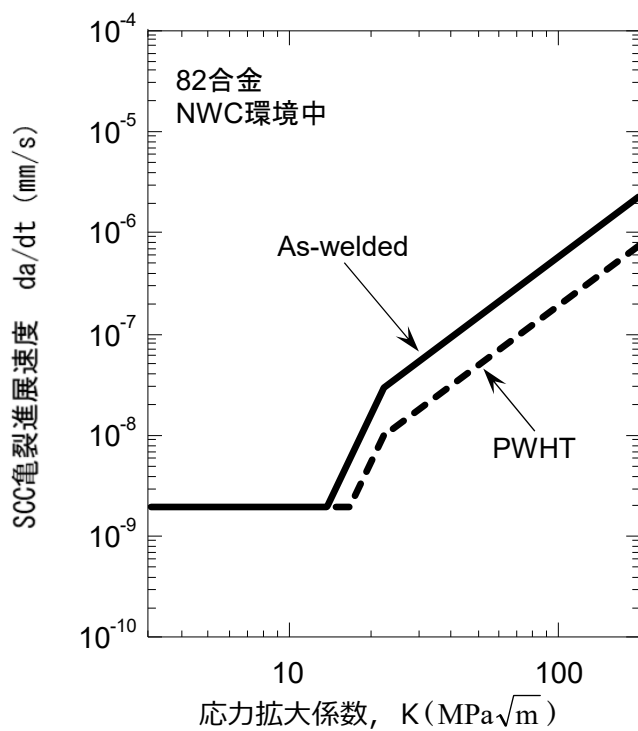


図 F-1 ローリング/シュラウドサポートプレート溶接部に想定した亀裂進展経路



(a) 182 合金の亀裂進展速度線図



(b) 82 合金の亀裂進展速度線図

図 F-2 NWC 環境中におけるニッケル合金の SCC 亀裂進展速度線図

### 3. 評価結果

経路①の周方向亀裂進展評価に用いた当該部の亀裂進展方向に対する鉛直方向応力分布を図 F-3 に示す。また、経路①の周方向亀裂進展評価結果を図 F-4 に示す。図 F-4 (a) では、亀裂の進展に伴う最深点の応力拡大係数の変化を示した。図 F-4 (b) では、亀裂深さと時間の関係を示した。経路①の周方向亀裂の場合、経路全長は 19.5 mm であるが、80 年経過しても、亀裂は経路全長に達しない。

経路②の周方向亀裂進展評価に用いた当該部の亀裂進展方向に対する鉛直方向応力分布を図 F-5 に示す。また、経路②の周方向亀裂進展評価結果を図 F-6 に示す。図 F-6 (a) では、亀裂の進展に伴う最深点の応力拡大係数の変化を示した。図 F-6 (b) では、亀裂深さと時間の関係を示した。経路②の周方向亀裂の場合、経路全長は 20.5 mm であるが、80 年経過しても、亀裂は経路全長に達しない。

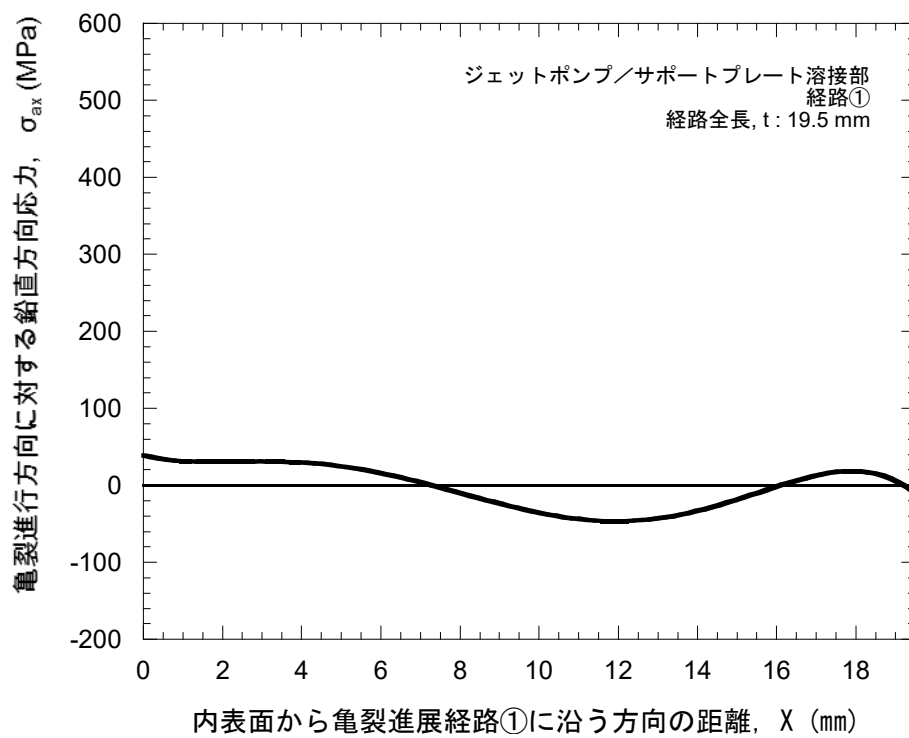
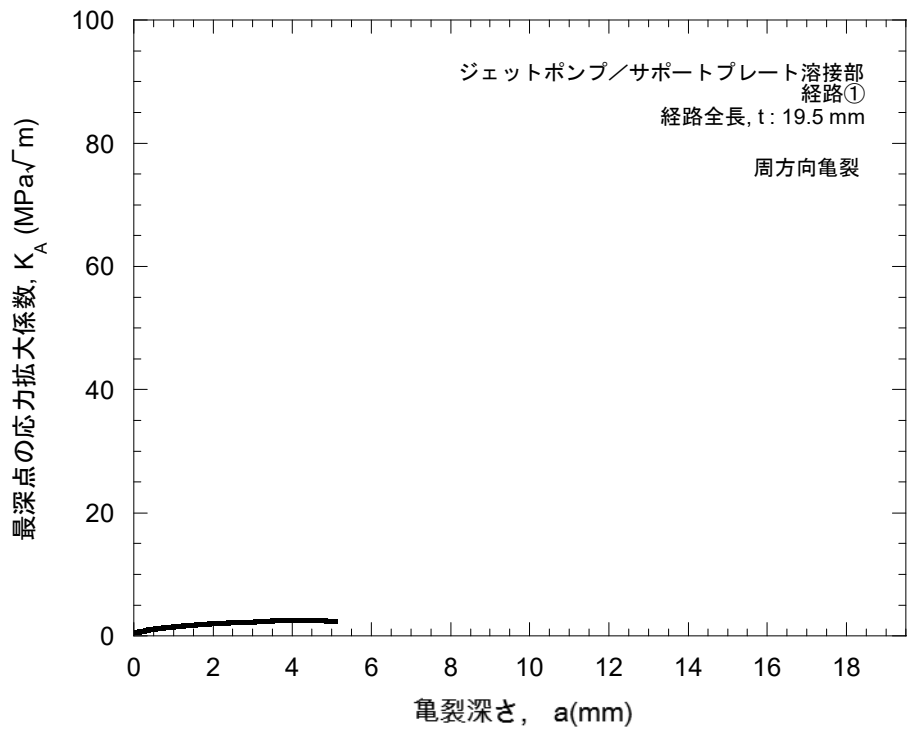
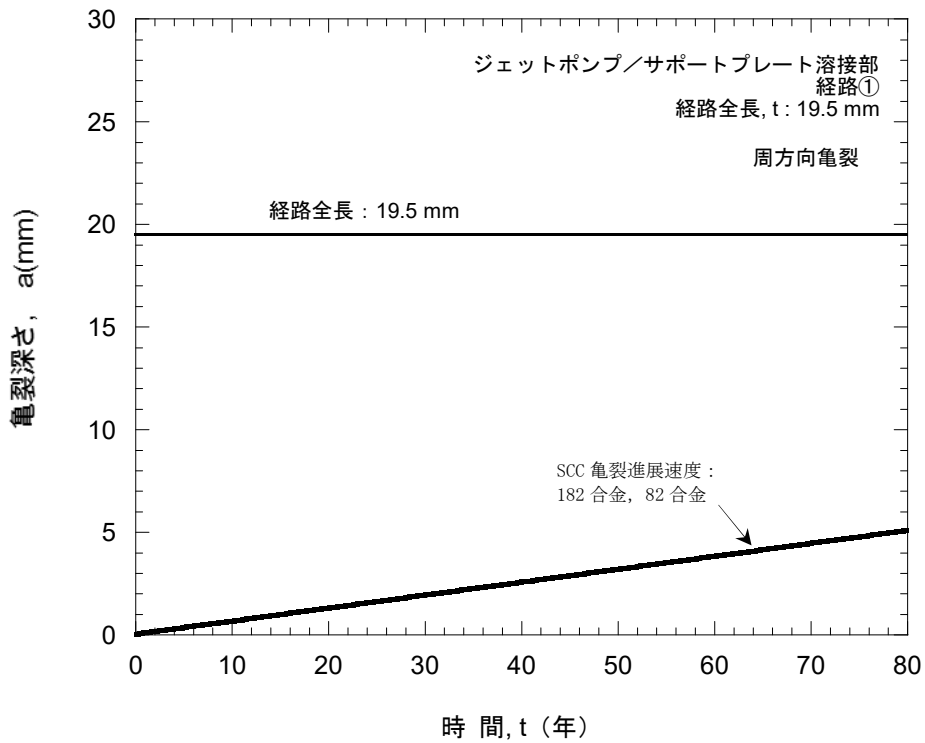


図 F-3 経路①の周方向亀裂進展評価に用いた亀裂に対する鉛直方向残留応力分布



(a) 最深点の応力拡大係数と亀裂深さの関係



(b) 亀裂深さと時間の関係

図 F-4 経路①の周方向亀裂進展評価結果

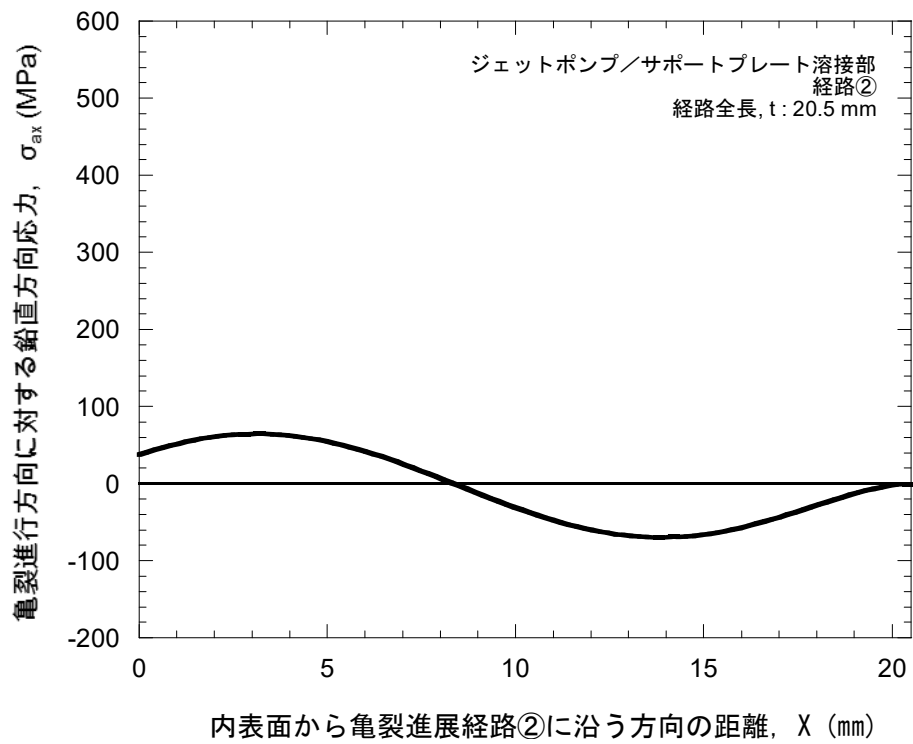
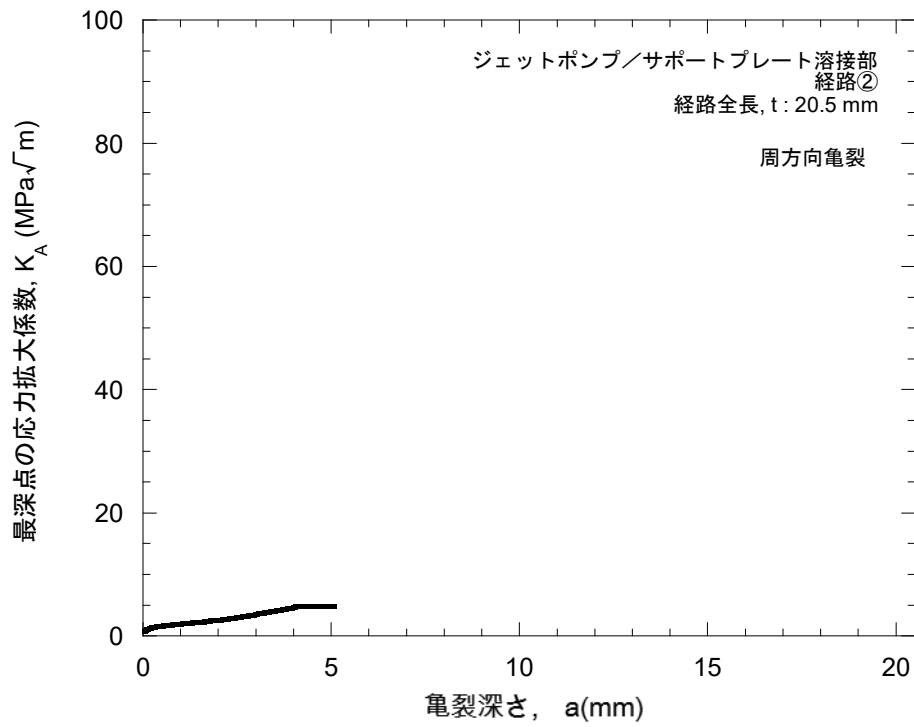
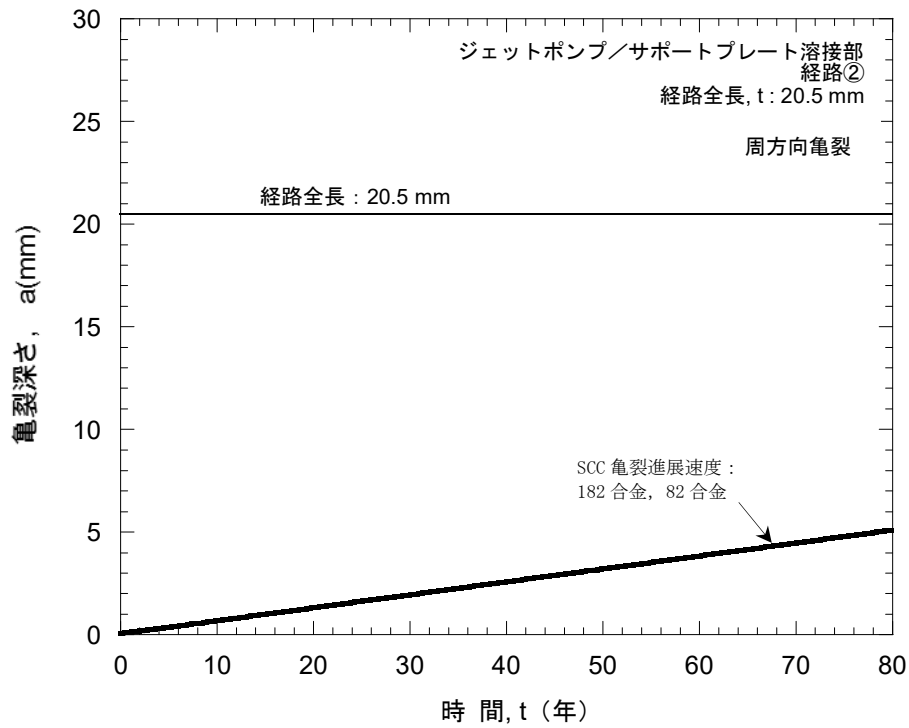


図 F-5 経路②の周方向亀裂進展評価に用いた亀裂に対する鉛直方向残留応力分布



(a) 最深点の応力拡大係数と亀裂深さの関係



(b) 亀裂深さと時間の関係

図 F-6 経路②の周方向亀裂進展評価結果

付録G ジェットポンプ溶接部の許容亀裂評価

1. はじめに

ジェットポンプのサーマルスリーブ/エルボ溶接部等の許容亀裂の大きさを、SCC により貫通亀裂が生じたときの溶接部の限界荷重と発生荷重の比較から求めた。

2. 限界荷重の評価方法

ローアリング/シュラウドサポートプレート溶接部はニッケル合金，サーマルスリーブ/エルボ溶接部他はステンレス鋼であることから，破壊荷重は，亀裂を有する管の正味断面に作用する応力が流動応力に達したときに破壊するとした考え方の極限荷重評価法によるものとした。

評価部位は，地震のモーメントによる応力が支配的であるため，破壊モーメントにより評価した。部分貫通亀裂に対する管の破壊モーメント  $M_c$  は，次式により与えられる。

$$M_c = 2 \sigma_f R^2 t \{ 2 \sin \beta_L - x \sin \theta \} \quad (1)$$

$$\beta_L = \frac{\pi - x \theta}{2} - \frac{\pi}{4} \frac{RP}{t \sigma_f}, \quad x = a/t = 1 \quad (2)$$

ここで， $\sigma_f$ ：流動応力 = 2.7Sm (JSME 維持規格)

Sm：設計応力強さ (JSME 設計・建設規格)

NCF600 : 164 MPa (@276°C)

SUS304 : 117.8 MPa (@276°C)

SUS316L : 97.8 MPa (@276°C)

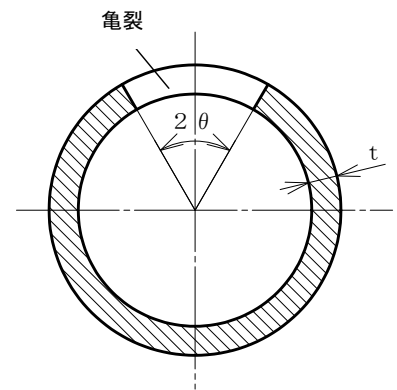
R：管の平均半径

t：管の板厚

P：内圧 (差圧)

a：亀裂の深さ

$\theta$ ：亀裂の半角 (rad)



限界モーメント  $M_c(SF)$  は，(1)式で与えられる破壊モーメント  $M_c$  に，地震時の安全率を考慮して次式で与えられる。

$$M_c(SF) = M_c / SF \quad (3)$$

ここで，SF：安全率 = 1.39 (JSME 維持規格)

### 3. 発生モーメント

発生モーメントは、Ss 地震荷重により各溶接部に発生するモーメントとした。

### 4. 許容貫通亀裂の評価結果

式(1)、(2)及び(3)から求めた限界モーメント  $M_c(SF)$  と発生モーメントを、各溶接部について図 G-1～4 にそれぞれ示す。

各図において、限界モーメント  $M_c(SF)$  の曲線が、発生モーメントと等しくなる亀裂半角  $\theta$  を求めた。各溶接部の許容貫通亀裂（中心角  $2\theta$ ）の評価結果を表 G-1 にまとめて示す。

表 G-1 許容貫通亀裂の評価結果

溶接部	発生モーメント	材料の種類	許容貫通亀裂の中心角
サーマルスリーブ/エルボ 溶接部 (図 G-1)	17.8 kN・m	SUS304	90°
		SUS316L	84°
ミキサー/アダプタ溶接部 (図 G-2)	4.77 kN・m	SUS304	115°
		SUS316L	111°
テーパ管/テールパイプ 溶接部 (図 G-3)	47.7 kN・m	SUS304	99°
		SUS316L	93°
ローアリング/シュラウドサポ ートプレート溶接部 (図 G-4)	47.7 kN・m	NCF600	123°

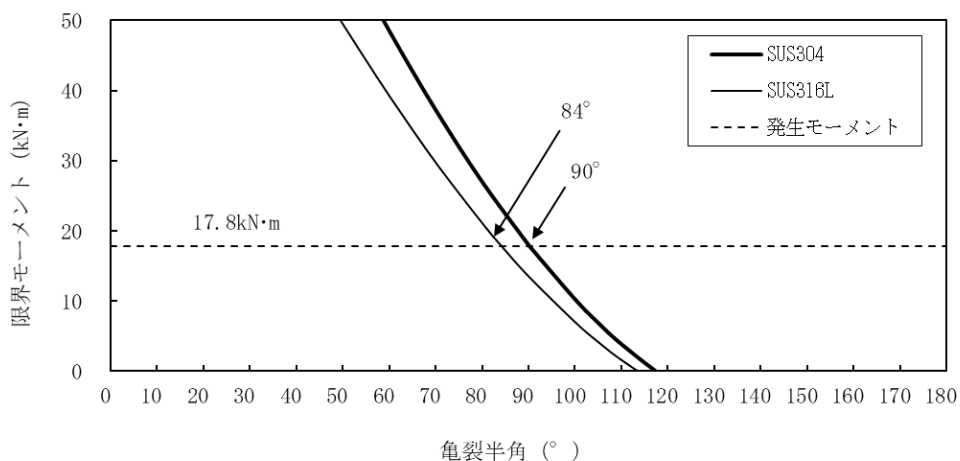


図 G-1 サーマルスリーブ/エルボ溶接部の許容貫通亀裂

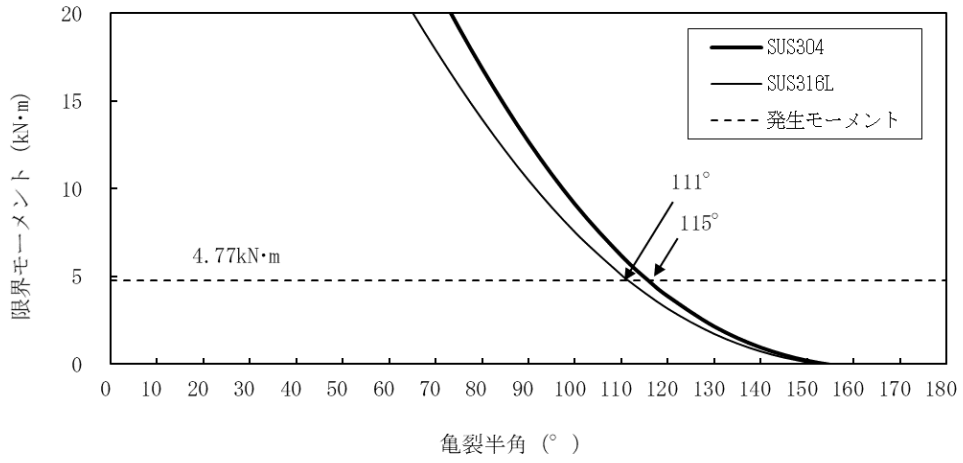


図 G-2 ミキサー／アダプタ溶接部の許容貫通亀裂

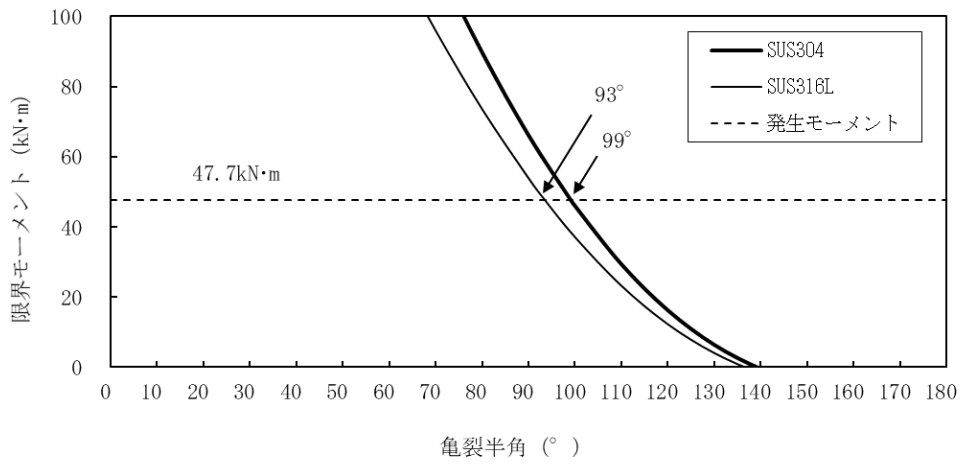


図 G-3 テーバ管／テールパイプ溶接部の許容貫通亀裂

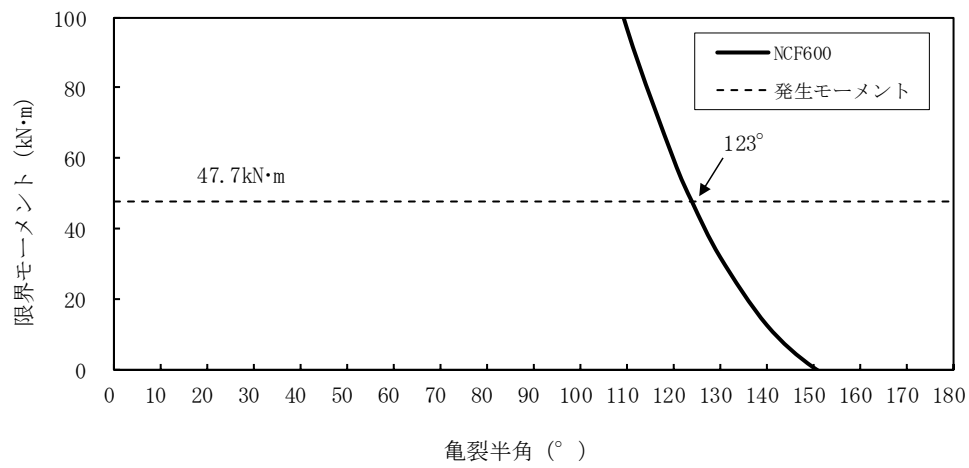


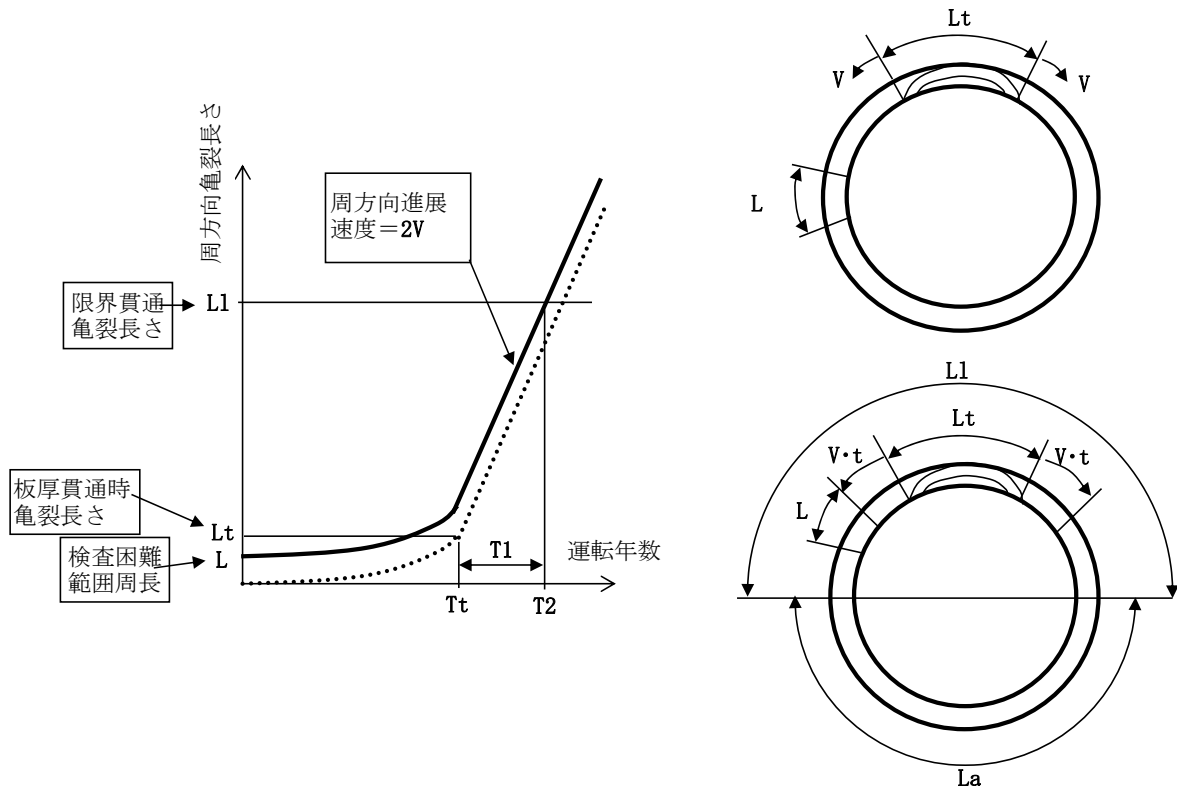
図 G-4 ローアリング／シュラウドサポートプレート溶接部の許容貫通亀裂

付録H 管の溶接部の初回点検時期

表H-1 管の限界亀裂長さに達するまでの期間の評価結果

部位		サーマルスリーブ /エルボ		ミキサ/アダプタ		テーパ管 /テールパイプ		備考
材質		SUS304	SUS304L SUS316L	SUS304	SUS304L SUS316L	SUS304	SUS304L SUS316L	
外径(mm)		271	271	181.1	181.1	497.2	497.2	
板厚(mm)		7.8	7.8	9.25	9.25	6.3	6.3	
板厚貫通までの期間	Tt (年)	13.9	51.4	18.3	68	17.1	62.6	付録E
板厚貫通時の周方向亀裂長さ	Lt (mm)	67	67	96	96	62	62	
検査困難範囲周方向長さ	L (mm)	0	0	51	51	153	153	付録B
周方向進展速度 (両側)	2V (mm/年)	58	13	58	13	58	13	Vは付録C の上限速度
許容残存長さ	La (mm)	401	428	255	255	761	761	注1
板厚貫通から限界亀裂長さに 達するまでの期間	T1 (年)	5.8	23.2	1.9	8.2	9.4	41.2	
供用開始から限界亀裂長さに 達するまでの期間	T2 (年)	19.7	74.6	20.2	76.2	26.5	103.8	

注1：付録Gの許容亀裂評価結果から許容貫通亀裂が半周を超えるものもあるが、貫通亀裂が半周を超えると、漏えい量の計算において急激に漏えい量が増えることから、限界貫通亀裂長さは応力評価上の限界貫通亀裂長さと半周の小さいほうの値を採用することとした。



付録 I 炉心冷却水の漏えい量評価

表 I-1 炉心再冠水機能評価結果

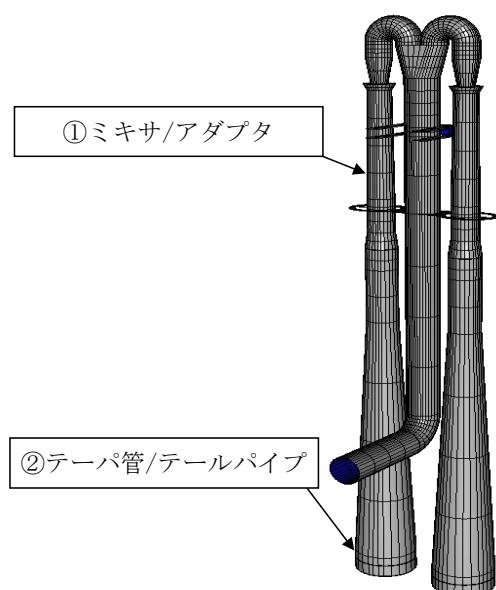
漏えい量評価部位			①ミキサ/ アダプタ 溶接部	②テーパ管/ テールパイ プ 溶接部	ジェットポンプ1組分		ジェットポン プ 全10組分	
					インレットミキサの ノズル下流部	ディフューザ		
形状	外径	m	0.1811	0.4972	4箇所/1組 (溶接線の 両側考慮)	14箇所/1組 (溶接線の 両側考慮)	左記の10組 分の溶接線	
	板厚	m	0.00925	0.0063				
	内半径	m	0.0813	0.2423				
	縦弾性係数 (276℃)	N/m <sup>2</sup>	1.7696E+11	1.7696E+11				
周方向貫通亀裂角度 (注4)		度	180	180				
荷重	S <sub>1</sub> 地震によるモーメント	N・m	2100	12600				
応力	曲げ応力	N/mm <sup>2</sup>	10.9	10.8				
亀裂開口面積 (注1)		mm <sup>2</sup>	67.0	386.0				
漏えい量 (注2)		m <sup>3</sup> /hr	3.3	18.7	13.2	261.8		
漏えい量合計		m <sup>3</sup> /hr			275		2750	
原子炉冷却水流量の 設計裕度 (注3)		m <sup>3</sup> /hr	5103					

注1: Tada-Parisの方法による曲げ開口面積に、亀裂幅0.35mmの楕円開口を考慮して算定した。

注2: インレットミキサ上端までの水頭圧による貫通亀裂開口からの漏えい量。

注3: 炉心再冠水維持は、低圧炉心スプレイ (LPCS) ポンプ1台分の流量で可能であり、これを必要流量とした。

注4: 貫通亀裂が半周を超えると、急激に漏えい量が増えることから、保守的に半周 (180°) を貫通亀裂角度とした。



評価結果

炉心再冠水機能を有するジェットポンプ全10組分のすべての溶接線に半周貫通亀裂を想定しても、亀裂開口からの漏えいによる炉心冷却水的设计裕度の減少量は6割未満であり、炉心再冠水機能は確保される。

表 I-2 LPCI機能評価結果

漏えい量評価部位			ライザ		
			サーマルスリーブ <sup>⑤</sup> /エルボ <sup>⑤</sup>		
形状	外径	m	0.271	5箇所/1組 (溶接線の 両側考慮)	10組の すべての 溶接線
	板厚	m	0.0078		
	縦弾性係数 (276℃)	N/m <sup>2</sup>	1.7696E+11		
周方向貫通亀裂角度 (注4)		度	180		
荷重	S <sub>1</sub> 地震によるモーメント	N・m	3500		
	差圧	kg/cm <sup>2</sup>	1.4		
亀裂開口面積 (注1)		mm <sup>2</sup>	217.0		
漏えい量 (注2)		m <sup>3</sup> /hr	14.9	74.5	372.5
LPCI流量の設計裕度(注3)		m <sup>3</sup> /hr	2556		

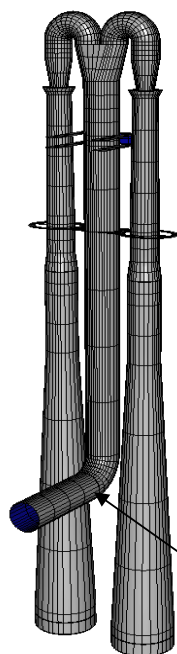
注1：Tada-Parisの方法による曲げ開口面積に、亀裂幅0.35mmの楕円開口を考慮して算定した。

注2：差圧による貫通亀裂開口からの漏えい量。

注3：炉心再冠水維持は、LPCIポンプ4台のうち1台分の流量で可能であり、これを必要流量とした。

注4：貫通亀裂が半周を超えると、急激に漏えい量が増えることから、保守的に半周 (180°) を貫通亀裂角度とした。

注5：外部再循環ループ2系統のうち1系統の破断が想定されており、LPCI機能を持つジェットポンプは、外部再循環ループ1系統分 (ジェットポンプ5組) である。



評価結果

同時にLPCI機能を有するジェットポンプ5組分のライザのすべての溶接線に半周貫通亀裂を想定しても、亀裂開口からの漏えいによるLPCI流量の設計裕度の減少量は2割未満であり、LPCI機能は確保される。

サーマルスリーブ/エルボ

付録 J 国内プラントのジェットポンプビームの使用実績

1.概要

ジェットポンプビームの点検周期を検討するにあたり，国内プラントでの使用実績（実運転期間）を調査した。

2.調査結果

国内プラントのジェットポンプビームの使用実績を図 J-1 に示す。

国内プラントで現在使用されているジェットポンプビームは，すべて耐 SCC 性に優れたインコネル X750 の改良熱処理材（改良型と呼ぶ）製である。図 J-1 には従来型の使用実績も併せて示す。

改良型での損傷事例は，施工不良により締め付け力が過大であったために損傷に至った 1 例のみで，その他のプラントでは実運転期間が 100,000 時間を超えるプラントが増えてきている。

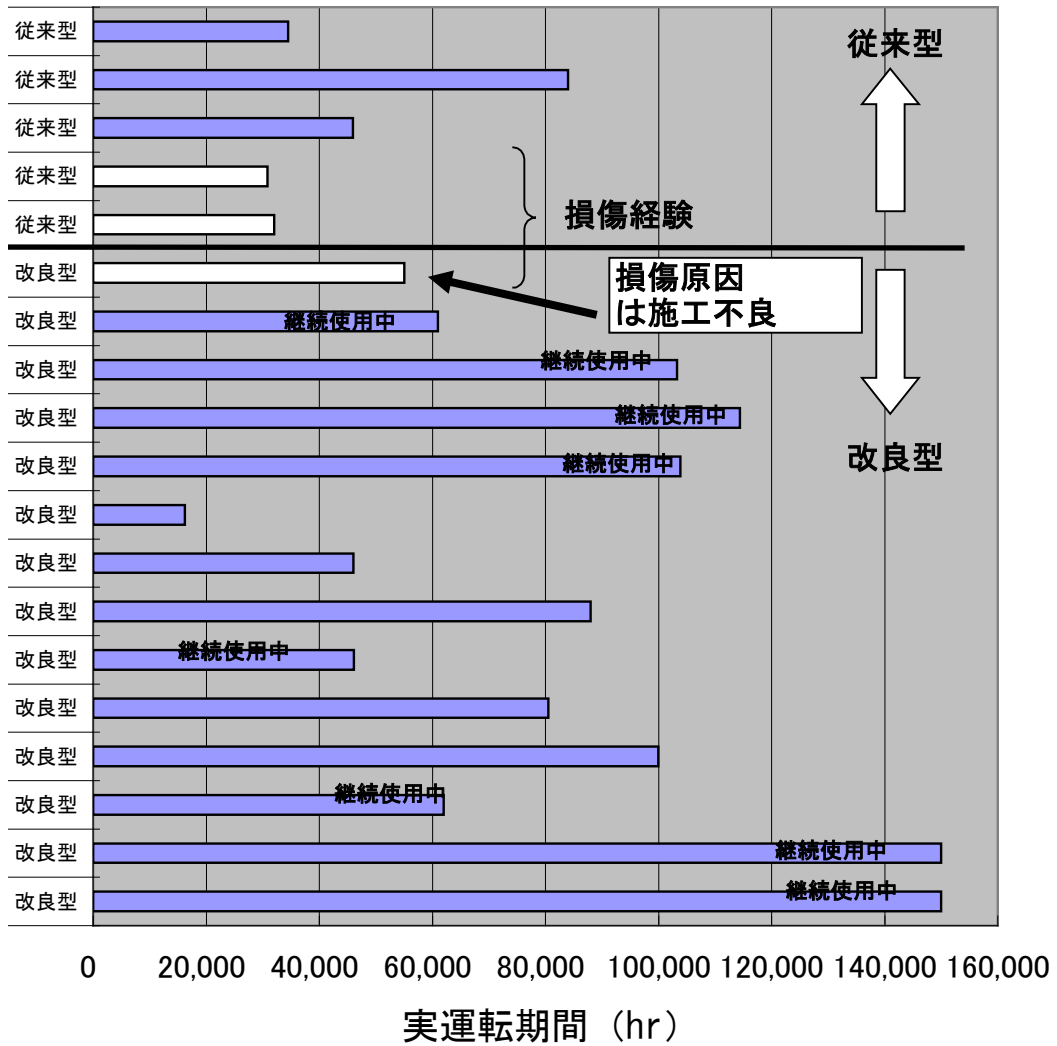


図 J-1 国内プラントのジェットポンプビームの使用実績

## 付録K 想定する周方向初期亀裂の数等の検討

### 1. 実機配管 SCC 事例における周方向亀裂の配置

実機配管 SCC 事例を調査した結果、同一溶接線上に複数の周方向亀裂が確認された例は 5 例あった。これらの事例における複数の周方向亀裂の長さ、配置と、本ガイドラインで想定される板厚貫通時の亀裂長さ（注 1）とを比較して、それぞれ図 K-1～5 に示す。

5 例のうち、実機事例 1～4 については、本ガイドラインでの想定貫通亀裂に包絡されている。実機事例 5 については、想定貫通亀裂に包絡されていないが、想定貫通亀裂を本ガイドラインの亀裂評価手法に基づき、強度上最も厳しくなる位置（引張り応力最大位置）に想定することにより、強度評価上包絡されているものと考えられる。

（注 1）：周方向初期亀裂（深さ  $50 \mu\text{m}$ 、長さ  $500 \mu\text{m}$ ）がアスペクト比を保ったまま板厚貫通した場合の貫通亀裂（亀裂長さが板厚の 10 倍）

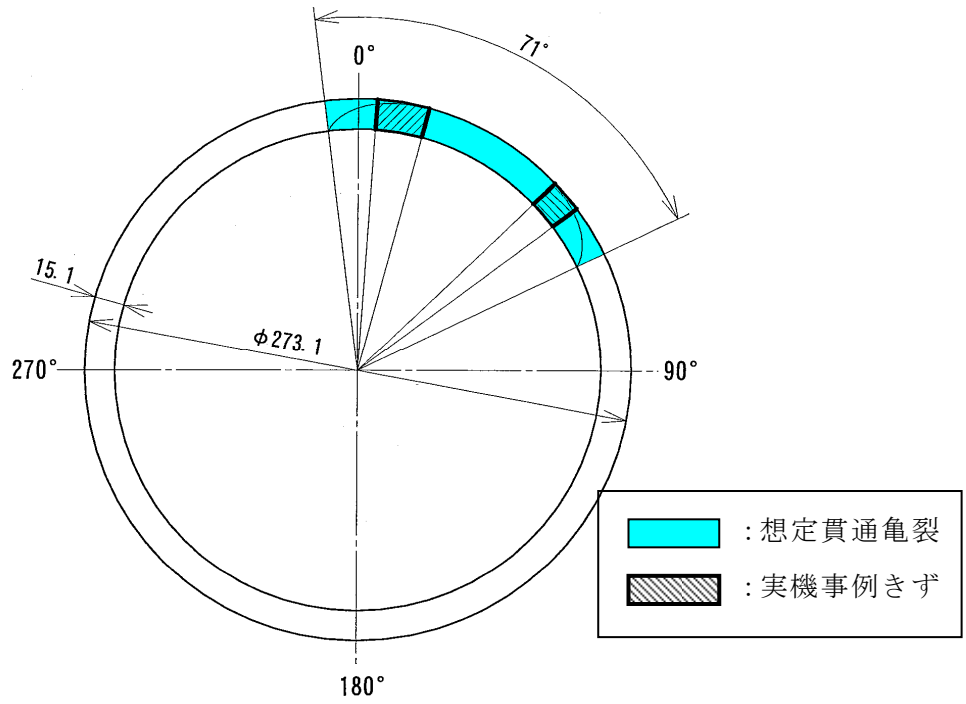


図 K-1 実機事例 1 の亀裂配置

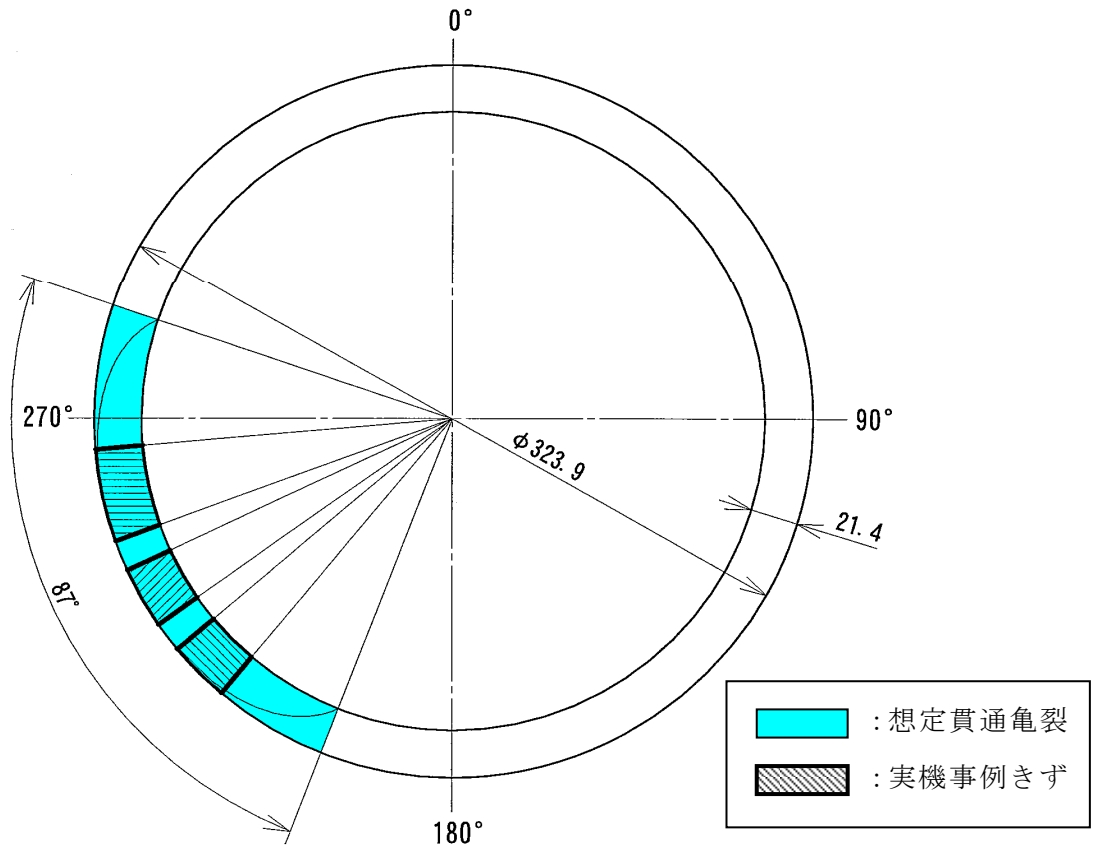


図 K-2 実機事例 2 の亀裂配置

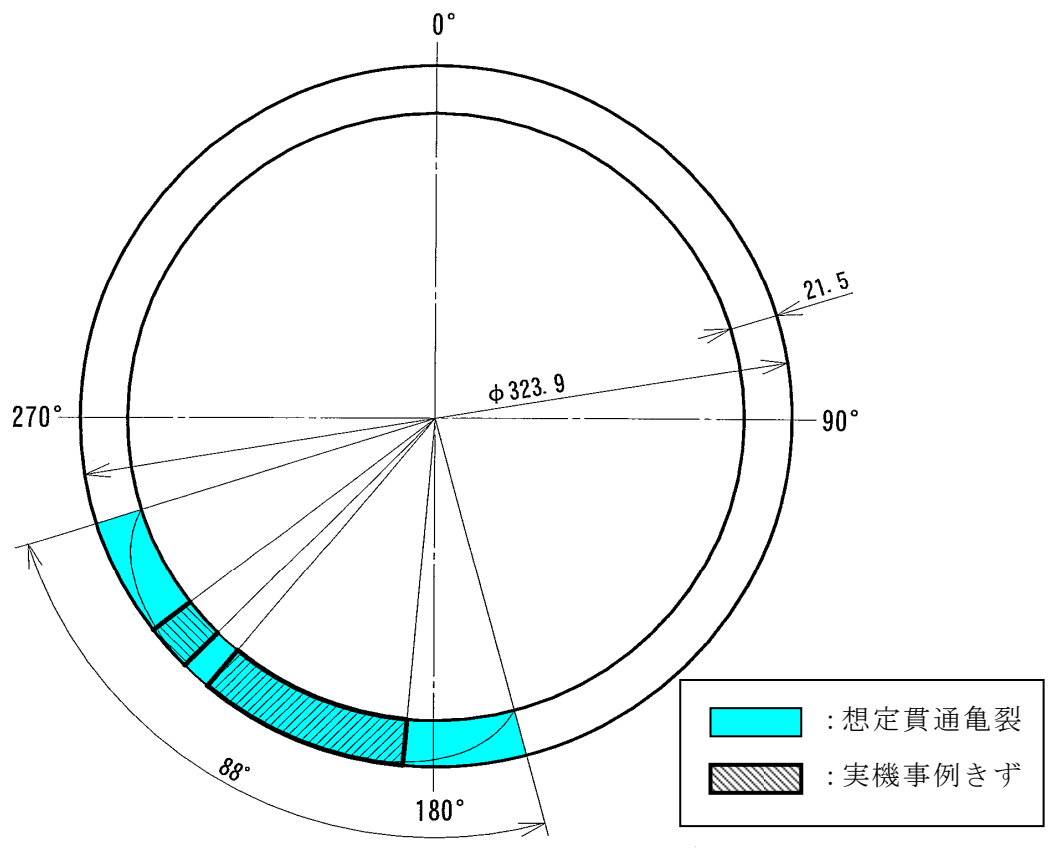


図 K-3 実機事例 3 の亀裂配置

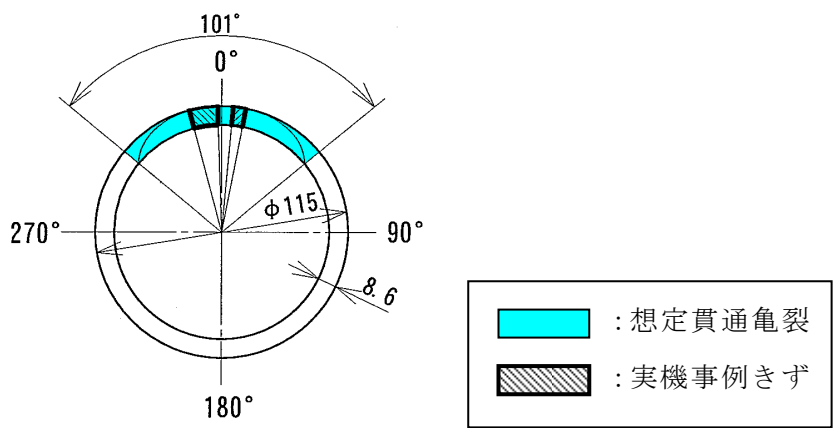


図 K-4 実機事例 4 の亀裂配置

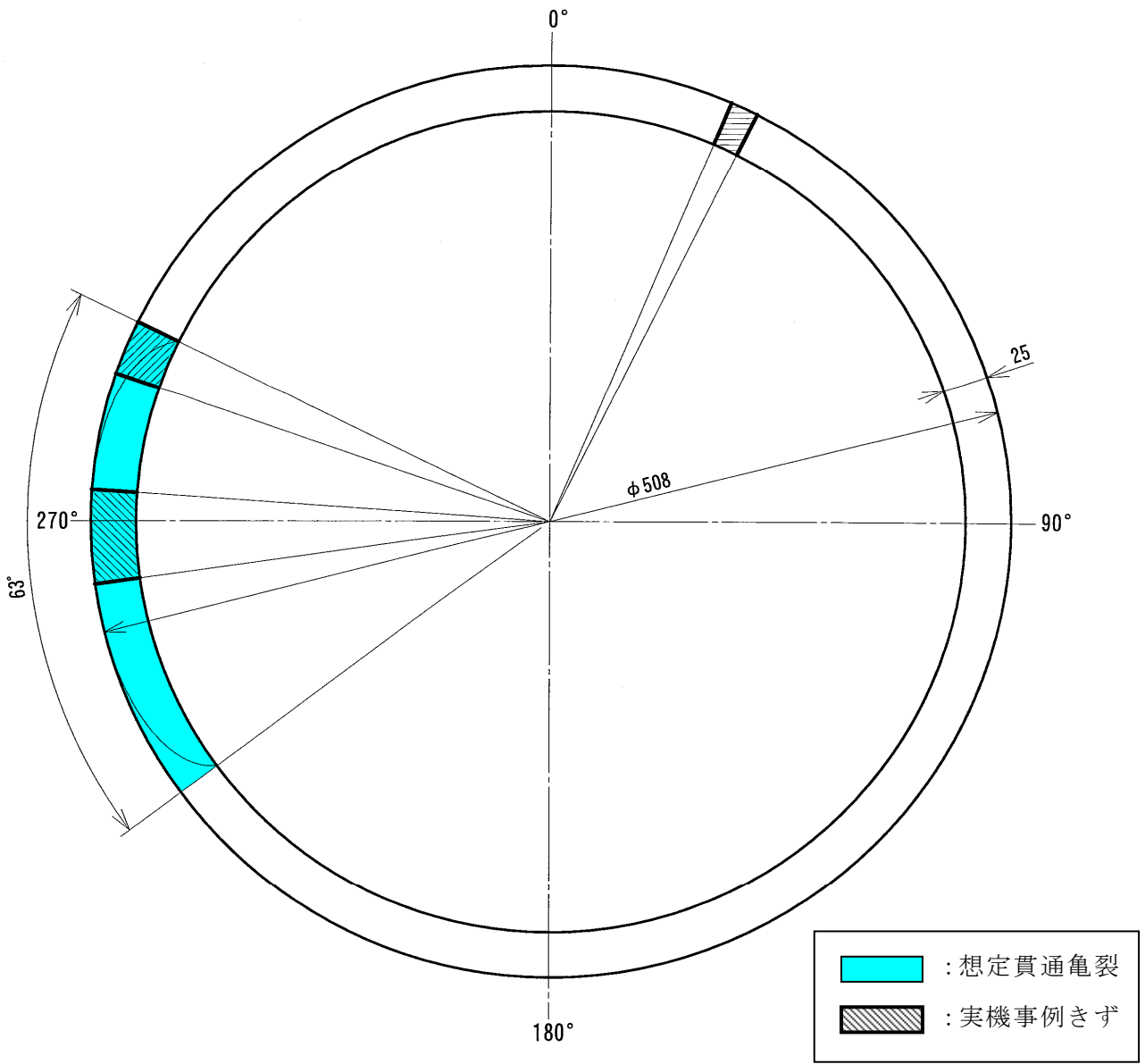


図 K-5 実機事例 5 の亀裂配置

## 2. 複数亀裂がある場合の配管強度の評価例

配管の断面に、比較的大きな貫通亀裂（長さ： $L$ ）が1つある場合と、小さな貫通亀裂（合計長さ： $L$ ）がある場合の強度の比較を行った。

### (1) 軸方向荷重に対する強度

亀裂断面積が同じ、即ち配管の残存断面積が同じであるため、軸方向荷重に対する両者の強度は基本的に等しい。

### (2) モーメント荷重に対する強度

比較的大きな1つの貫通亀裂（長さ： $L$ ）と、長さが $L/3$ の3つの貫通亀裂がある場合を例にとり、モーメント荷重に対する配管の強度として断面2次モーメントの比較を行った。

想定した貫通亀裂の配置と各亀裂配置の断面2次モーメントの比較を表K-1に示す。

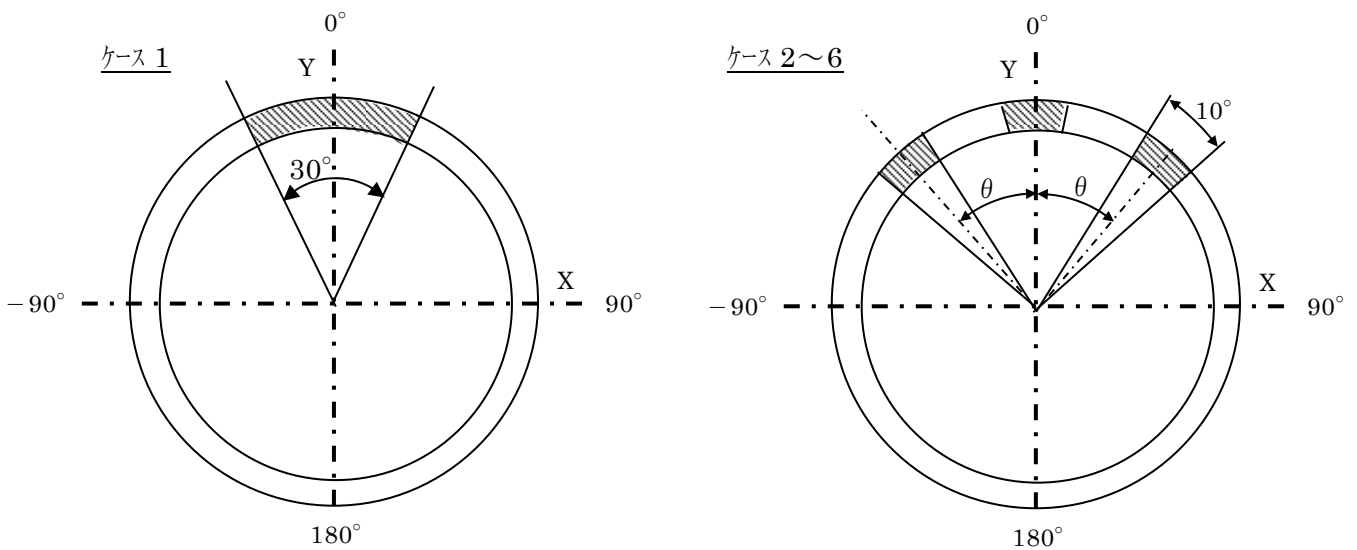
表K-1から、比較的大きな1つの貫通亀裂がある場合の断面2次モーメントの最小値は、3つの小さな亀裂がいずれの配置となった場合の断面2次モーメントよりも小さくなっていることが分かる。

上記(1)、(2)より、配管の同一断面に複数の貫通亀裂がある場合には、これらの亀裂の長さの総和に等しい1つの貫通亀裂を最も厳しくなる方向に想定すれば、保守側の強度評価となる。

表 K-1 貫通亀裂の配置による断面 2 次モーメントの比較

		貫通亀裂配置 [各貫通亀裂(亀裂幅 10°)の中心線の角度方向位置] (下図参照)	X 軸と平行な軸に対する断面 2 次モーメント : $I_x$ (注 1 参照)	Y 軸と平行な軸に対する断面 2 次モーメント : $I_y$ (注 1 参照)	断面 2 次モーメントの最小値 : $\text{Min}(I_x, I_y)$
ケース 0		(亀裂なし)	1	1	1
ケース 1 (1つの貫通亀裂)		-15° ~ 15° (亀裂幅 30°)	0.82	0.99	0.82
3つの貫通亀裂	ケース 2	-30°	0.85	0.97	0.85
		0°			
		30°			
	ケース 3	-60°	0.97	0.92	0.92
		0°			
		60°			
	ケース 4	-90°	0.94	0.89	0.89
		0°			
		90°			
	ケース 5	-120°	0.91	0.92	0.91
		0°			
		120°			
ケース 6	-170°	0.86	0.99	0.86	
	0°				
	170°				

注1. 断面 2 次モーメントは薄肉円筒として計算し、ケース 0 (亀裂なし) の断面 2 次モーメントに対しての比率を示す。



### 3. 亀裂がある場合の固有振動数への影響の検討

#### 3.1 目的

ジェットポンプの周溶接部に貫通亀裂がある場合の固有振動数への影響を検討するために、3次元弾性ソリッドモデルによる配管の固有値解析を実施した。

#### 3.2 解析条件

##### (1) 配管形状及び材料

- ・ 外径：300mm
- ・ 板厚：10mm
- ・ 長さ：5m
- ・ 材料：SUS316L

質量密度： $7.93 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，縦弾性係数： $195000 \text{ N/mm}^2$ （常温）

##### (2) 亀裂の有無

ケース 1：亀裂なし

ケース 2：長さを 4 等分する位置 3 箇所 of 同一方位に 1/4 周貫通亀裂を想定

（図 K-6 参照）

##### (3) 境界条件：両端固定

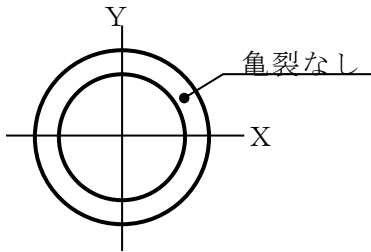
#### 3.3 解析結果

貫通亀裂の影響が大きくなる振動モード（図 K-6 の X 軸面内の振動モード）のケース 1 とケース 2 の固有値の比較を表 K-2 に示す。

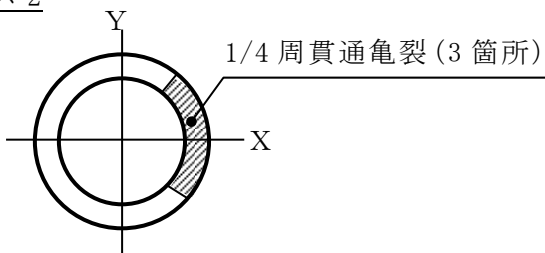
#### 3.4 まとめ

配管の全長を 4 等分する位置に同時に 1/4 周の貫通亀裂を仮定して固有振動解析を実施し、振動モードは健全な配管の場合と同じであり、固有振動数への影響も健全な配管の 10% 未満と小さく有意でないことを確認した。

ケース 1



ケース 2



断面 A, B, C

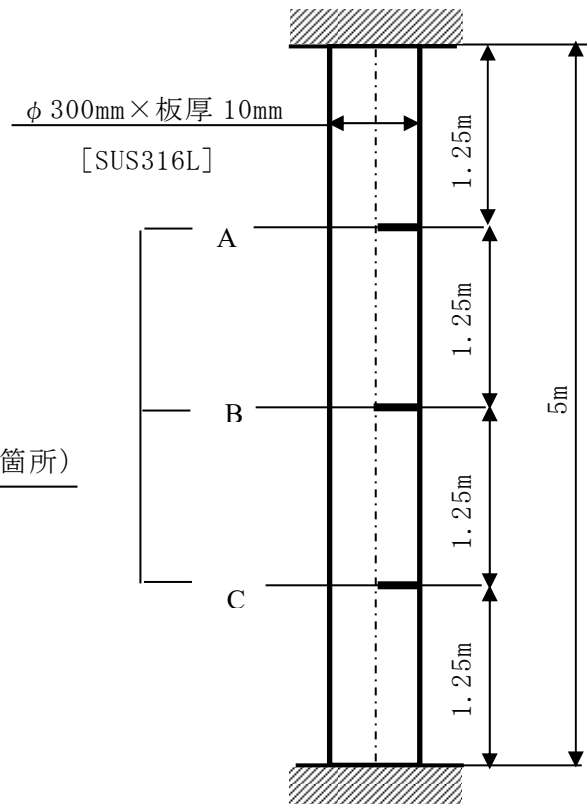


図 K-6 固有値解析モデル

表 K-2 亀裂の有無による固有振動数の比較

	固有振動数 (1 次)	固有振動数 (2 次)
	[Hz]	[Hz]
ケース 1 (亀裂なし)	69.22	180.18
ケース 2 (1/4 周亀裂 : 図 K-6)	66.56	168.25

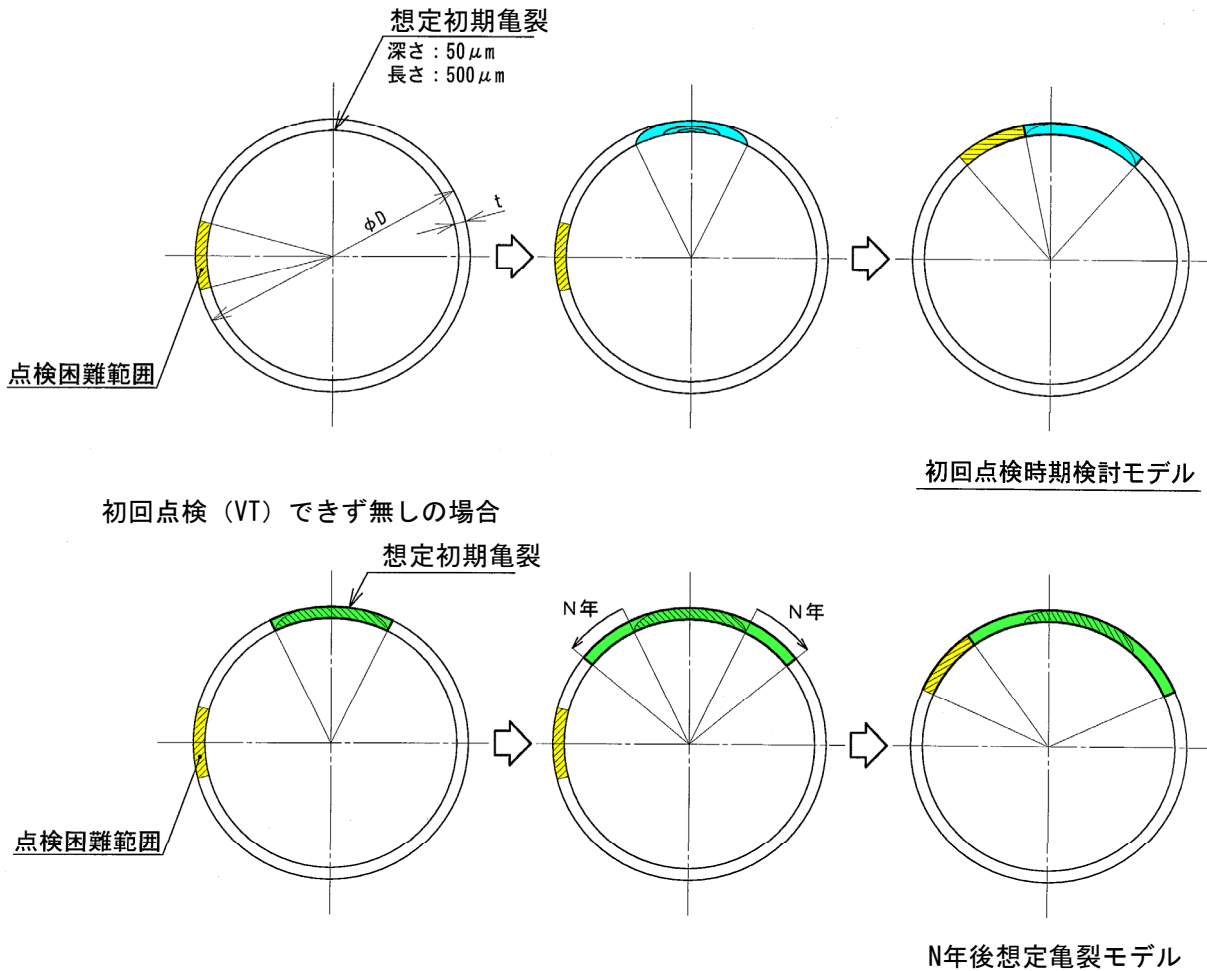
注 : 図 K-6 の X 軸を含む面内の振動モードのうち, 低次のものからそれぞれ 1 次~2 次とした。

付録L 再点検周期の検討例

初回点検において外面からのVTできずが発見されない場合に、再点検周期設定のために想定する亀裂を、初回再点検時期設定のために想定亀裂と併せて図L-1に示す。

また、再点検周期の検討例を表L-1に示す。

なお、初回点検できずが発見された場合には、UTによりきずの深さ、長さを同定して、再点検周期を検討、評価する。

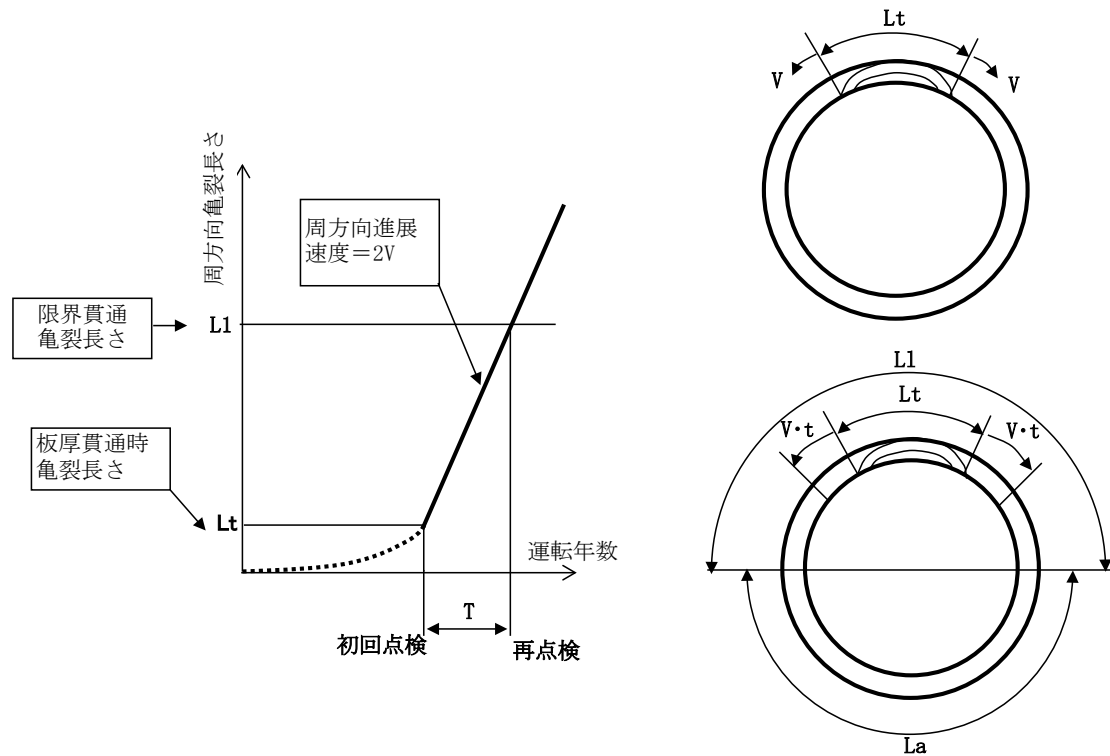


図L-1 点検周期を設定する上での想定亀裂の考え方

表L-1 初回点検において溶接線の全周の外面VTを実施し、きずが確認されなかった場合の再点検周期

部位		サーマルスリーブ /エルボ		ミキサ/アダプタ		テーパ管 /テールパイプ		備考
材質		SUS304	SUS304L SUS316L	SUS304	SUS304L SUS316L	SUS304	SUS304L SUS316L	
外径 (mm)		271	271	181.1	181.1	497.2	497.2	
板厚 (mm)		7.8	7.8	9.25	9.25	6.3	6.3	
板厚貫通までの期間	Tt (年)	13.9	51.4	18.3	68	17.1	62.6	付録E
板厚貫通時の周方向亀裂長さ	Lt (mm)	67	67	96	96	62	62	
周方向進展速度 (両側)	2V (mm/年)	58	13	58	13	58	13	Vは付録C の上限速度
許容残存長さ	La (mm)	401	428	255	255	761	761	注1
板厚貫通から限界亀裂長さに 達するまでの期間	T (年)	5.8	23.2	2.7	12.0	12.1	52.7	再点検は、 左記期間内に 実施

注1：付録Gの許容亀裂評価結果から許容貫通亀裂が半周を超えるものもあるが、貫通亀裂が半周を超えると、漏えい量の計算において急激に漏えい量が増えることから、限界貫通亀裂長さは応力評価上の限界貫通亀裂長さと半周の小さいほうの値を採用することとした。



## 付録M 未点検範囲の亀裂想定法

### 1. 概要

点検を実施しない範囲（未点検範囲）を残存断面積に含めない、すなわち未点検範囲は亀裂と同等に扱って構造健全性評価を行うことは、最も保守的な取り扱いとなるが、工学的には未点検範囲には点検範囲での亀裂比率を想定するのが合理的であることから、適切な保守性を有した未点検範囲の亀裂想定法を検討した。

### 2. 未点検範囲の亀裂想定法の検討

炉内配管（炉心スプレイ配管（以下CS配管）及びジェットポンプ）の周溶接線を対象に、点検実施範囲で確認されたきずの割合から、未点検範囲を含めた全体の亀裂割合を確率計算による95%信頼上限として設定することを検討した。以下に検討内容を示す。

具体的計算方法を図M-1に示す。

図M-1において、

$$\begin{aligned} \text{周溶接線の点検割合} &= [\text{周溶接線の点検長さ}] / [\text{周溶接線全周}] \\ &= N/M \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{点検範囲のきず割合} &= [\text{点検範囲のきず長さの合計}] / [\text{周溶接線の点検長さ}] \\ &= m/N \end{aligned}$$

と表されるが、周溶接線の点検割合（ $N/M$ ）及び点検範囲のきず割合（ $m/N$ ）が同じであっても、 $M$ の値、即ち母数の大きさの取り方によって、周溶接線全周の亀裂割合の信頼上限  $m/N + \Delta p$  の値は異なる。 $M$ の値は、周溶接線の点検最小単位をどのように考えるかによって決められる。炉心シュラウドの目視点検実績で、数mm～十数mmのきずが数多く確認されていることから、炉心シュラウドのガイドラインで、目視点検によって検知可能なSCCによるきずを、長さ10mm（深さ1mm）としていることは保守側の適切な設定と考えられる。このことから、周溶接線の点検最小単位を10mmとし、炉内配管の中で最も直径の小さいCS配管の全周がおよそ500mmであることから、周溶接線全周の母数 $M$ を、 $500\text{mm}/10\text{mm} = 50$ とすることとした。

$M=50$ とし、点検割合（ $X$ ）と全周の想定亀裂割合（ $p$ ）の信頼上限の関係を、点検範囲でのきずの比率をパラメータ（ $=0.01, 0.1, 0.5$ ）にして、図M-2に示す。なお、図M-2には、参考として未点検範囲をすべて亀裂とみなす場合の全周の想定亀裂割合を併せて示す。

図M-2から以下のことが判る。

- ① 点検範囲におけるきずの比率が高い、あるいは点検割合（ $X$ ）が小さい場合には、全周の想定亀裂割合（ $p$ ）の95%信頼上限は点検範囲でのきずの比率に比べ有意に高くなる。
- ② しかし、点検割合（ $X$ ）が0.5に至ると、点検範囲でのきずの比率が0.01程度に小さい場合には、点検範囲でのきずの比率と同等とみなせる。

### 3. 炉内配管の点検可能範囲

ジェットポンプの周溶接線については、吊下式カメラを用いて概ね90%の範囲が点検可能（ジェットポンプガイドライン 付録B）であり、CS配管の周溶接線については吊下式カメラの点検可能範囲が一部50%に留まると推定される部位もある（炉心スプレイ配管／スパージャガイドライン 付録E）が小型 CCD カメラ等の適用により、いずれの溶接線とも75%程度の範囲が点検可能と思われる。

炉内配管（ジェットポンプ及び炉心スプレイ配管）の推定点検範囲（0.75～0.9）を図 M-2 に併せて記す。

### 4. 未点検範囲の亀裂想定方法

2項の②及び3項の検討結果から、炉内配管（ジェットポンプ及び炉心スプレイ配管）の周溶接線の点検で、アクセス可能な全域の点検を実施し、点検実施範囲できずが発見されなかった場合には、未点検範囲には亀裂を想定しないこととする。ただし、点検実施範囲と未点検範囲とを比較して、SCCの発生又は進展に影響する要因について工学的な有意差がある場合は除外する。

- M : 母集団の大きさ
- p : 母集団のうち亀裂のある比率
- 1-p : 母集団のうち健全な比率
- N : 標本の大きさ
- m : 標本 N のうちきずのあるものの個数

母比率 p の 100 (1-α) %信頼区間は、

$$\begin{aligned} \left( \frac{m}{N} \right) - Z \left( \frac{\alpha}{2} \right) \times \text{SQRT} \left( \frac{(M-N)}{(M-1)} \times \left( \frac{m}{N} \right) \times \left( \frac{1-m}{N} \right) / N \right) \\ \leq p \leq \\ \left( \frac{m}{N} \right) + Z \left( \frac{\alpha}{2} \right) \times \text{SQRT} \left( \frac{(M-N)}{(M-1)} \times \left( \frac{m}{N} \right) \times \left( \frac{1-m}{N} \right) / N \right) \end{aligned}$$

95%信頼性区間 : 100 (1-α) = 95    α = 0.05    Z (α/2) = Z(0.025) = 1.96

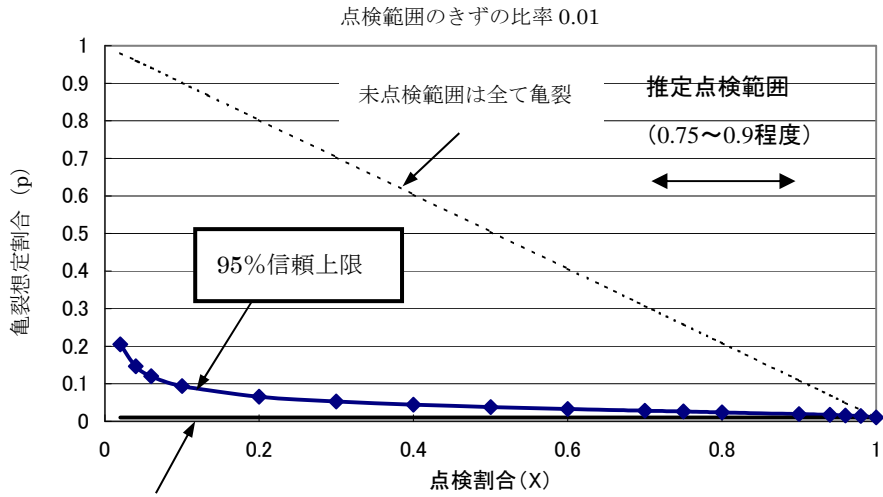


炉内配管全周の亀裂割合の 95%信頼上限推定

N/M	炉内配管の点検割合=X
m/N	点検範囲におけるきずの割合=Y
$\frac{m}{N} + \Delta p$	炉内配管全周のきず割合の上限
$\frac{m}{N} - \Delta p$	炉内配管全周のきず割合の下限
$\Delta p$	$Z \left( \frac{\alpha}{2} \right) \times \text{SQRT} \left( \frac{(M-N)}{(M-1)} \times \left( \frac{m}{N} \right) \times \left( \frac{1-m}{N} \right) / N \right)$

95%信頼性区間 : 100 (1-α) = 95  
 Z (α/2) = Z(0.025) = 1.96

図 M-1 炉内配管の想定亀裂割合の具体的計算方法



点検範囲のきずの比率

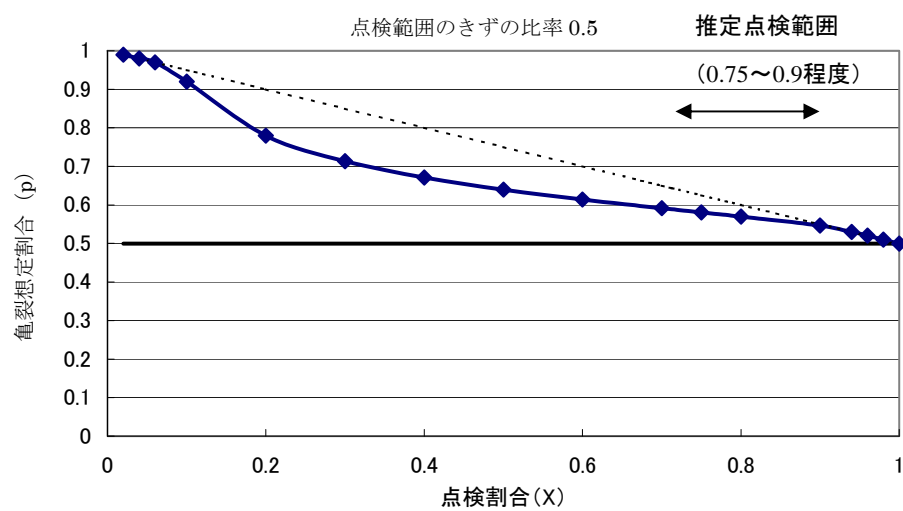
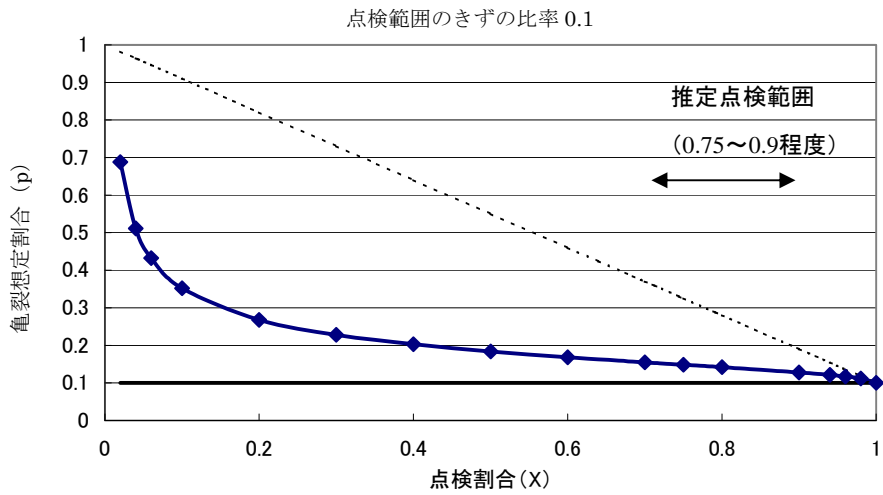


図 M-2 全周の想定亀裂割合 (p) の信頼上限計算結果

# 炉内構造物点検評価ガイドライン [ジェットポンプ] の概要

## 1. 基本的考え方

原子炉に対してジェットポンプが持つ安全機能に着目し、ジェットポンプの経年劣化事象による損傷が、安全機能の維持に影響を与えると考えられる箇所を点検対象とする。

- ① 経年劣化事象：応力腐食割れ及び摩耗
- ② ジェットポンプに要求される安全機能：炉心再冠水機能及び低圧注水機能（一部のプラント）
- ③ 対象材料：  
オーステナイト系ステンレス鋼溶接部、182 合金・82 合金溶接部及びニッケル合金 X750

## 2. 点検対象部位（図 1）

- ・ライザ管・インレットミキサ、ディフューザの溶接部
- ・ジェットポンプビーム①
- ・ライザブレース、ブラケット(②位置決めボルト、③ウエッジ、④ライザブレースのヨークとリーフの溶接部、⑤ヨークとライザ管の溶接部、⑥ライザブレースと RPV パッドの溶接部、⑦ブラケットとライザ管の溶接部)

## 3. 点検方法

- (1) 目視試験を主体として、必要に応じて超音波探傷試験，渦電流探傷試験を実施する。
- (2) 溶接部に対する目視試験は，炉内構造物等点検評価ガイドライン[遠隔目視試験]に従い実施する。ジェットポンプビーム他の機械締結部品に対する目視試験は，VT-3 を実施する。
- (3) 超音波探傷試験は，JEAC4207 に準拠して実施する。
- (4) 渦電流探傷試験は，JEAG4217 に準拠して実施する。

## 4. 点検範囲及び点検周期の考え方

- (1) ライザ管，インレットミキサ，ディフューザの溶接部
  - ・ 許容残存長さ（機能維持のために必要な溶接線の長さ）を評価する。（図 2）
  - ・ きずがある場合にはその亀裂の進展を，きずがない場合には初期亀裂とその進展を仮定し，次回点検時における健全な溶接線の長さを評価する。（図 3）

これが許容残存長さよりも大きくなるように次回点検時期及び点検必要範囲を設定して，点検を実施する。許容残存長さを確保できない場合は，補修等の措置を講じる。（図 4）

### (2) ジェットポンプビーム

点検可能な範囲の目視点検(①:MVT-1)を実施し，異常がない場合には，実運転期間で 10 年までに次回点検を実施する。異常が発見された場合には，技術的根拠のある詳細評価を実施して点検周期を設定するか，補修等の措置を講じる。（図 5）

### (3) ライザブレース，ブラケット

点検可能な範囲の目視点検（②,③:VT-3, ④~⑦:MVT-1,）を実施し，異常がない場合には，実運転期間で 10 年までに次回点検を実施する。異常が発見された場合には，技術的根拠のある詳細評価を実施して点検周期を設定するか，補修等の措置を講じる。（図 5）

## 5. 初回点検時期

- (1) ライザ管，インレットミキサ，ディフューザの溶接部  
SUS304 溶接部は供用開始後実運転期間で 16 年を経過するまでに，SUS316L 溶接部は暦年で 30 年を経過するまでに実施する。
- (2) ジェットポンプビーム，ライザブレース，ブラケット  
供用開始後実運転期間で 10 年を経過するまでに実施する。

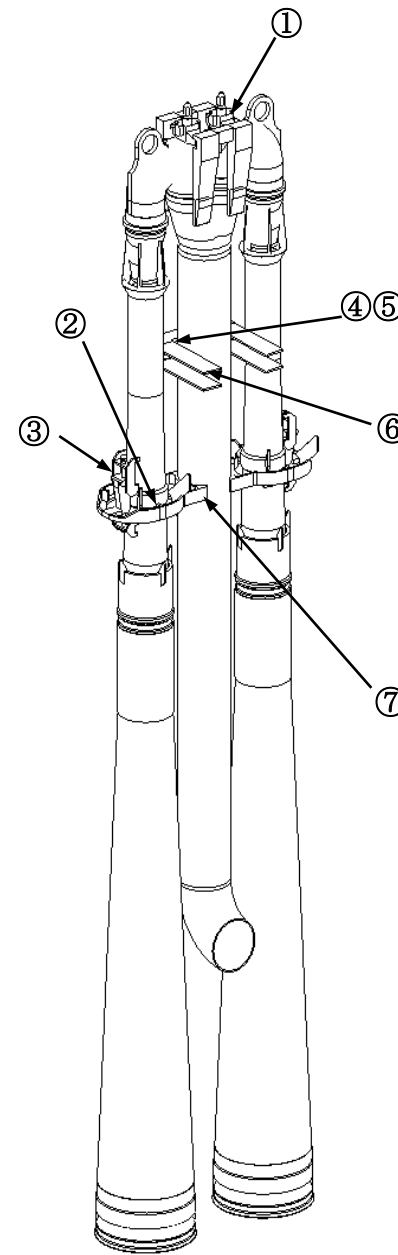


図 1 点検対象部位

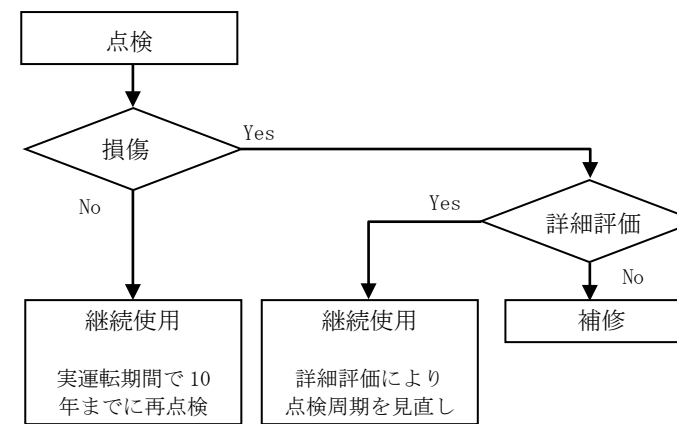


図 5 ジェットポンプビーム、ライザブレース、ブラケットの点検フロー

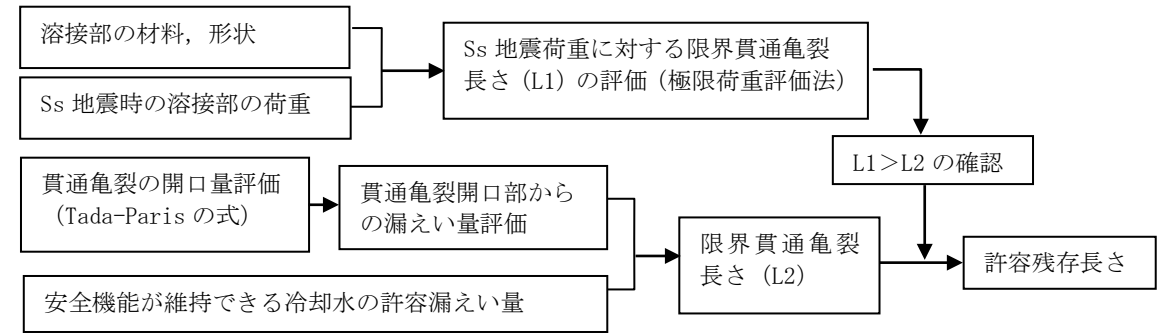


図 2 周方向溶接部の許容残存長さの評価フロー

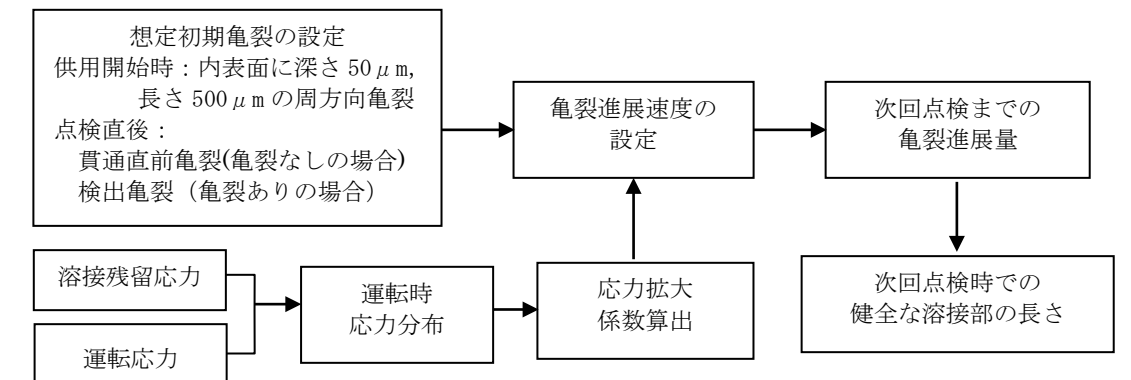


図 3 亀裂進展評価フロー

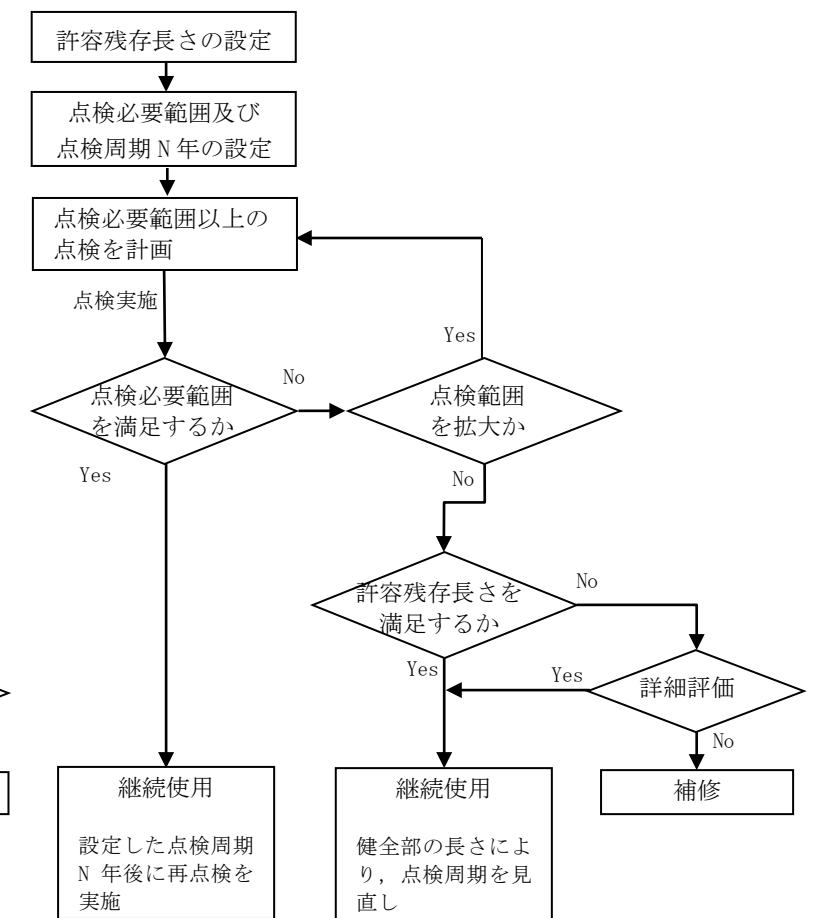


図 4 ライザ管・インレットミキサ、ディフューザ溶接部の点検フロー

## 改訂経緯

2002年3月	初版発行
2012年3月	第2版改訂発行 未点検範囲の欠陥想定法の検討を加えた結果を付録Nとして追加し、解説3-5の未点検範囲の取扱いに関する記述を見直した。
2018年7月	第3版改訂発行 ・ 廃炉となる比較的初期のプラントの情報削除を反映し、全体を見直した。 ・ 解説1-2にガイドライン適用にあたっての留意事項を記載した。 ・ 有意な劣化モード、運転経験、最新知見に基づいた点検方針を示した付録Nを追加した。これに伴い、本文の構成を見直した。
2021年12月	第4版改訂発行 ・ 基準地震動 $S_s$ による欠陥評価に基づく亀裂進展評価を記載した。 ・ 付録Aにジェットポンプを構成する各構造体について、形状・材質、経年劣化事象、運転経験、安全機能への影響に基づいた点検の考え方を記載した。 ・ その他全体を通して文章・図の適正化を図った。
2024年7月	第5版改訂発行 ・ プラント停止期間の点検時期の延期に関する規定を追加した。 ・ 運転経験の更新を実施した。 ・ 用語の統一を実施した。 ・ 82合金の亀裂進展速度式の変更に伴い、記載を追加した。 ・ その他全体を通して文章・図の適正化を図った。

---

BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン  
[ジェットポンプ]  
(第 5 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, 14 階  
TEL 03-5418-9312 FAX 03-5440-3606

---

©原子力安全推進協会, 2024

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