

PNC SN3410 39--011

配布限定

分置

1989年 7月 9日付けで登録区分、

[技術情報室]

# 新型転換炉ふげん発電所 原子炉冷却系系統除染法の開発

1989年7月

動力炉・核燃料開発事業団  
新型転換炉ふげん発電所


この資料は動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布する  
ものです。したがってその取扱いには充分注意を払って下さい。なお、この資料の  
供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

PNC  N3410 89-011



配布限定

# 新型転換炉ふげん発電所 原子炉冷却系系統除染法の開発

1989年7月

動力炉・核燃料開発事業団  
新型転換炉ふげん発電所

## 新型転換炉ふげん発電所原子炉冷却系系統除染法の開発

新型転換炉ふげん発電所	安全管理課	北端 琢也,	古川 清治
		前川 嘉治	
	保 修 課	中村 孝久,	中井 浩三
		川崎 昇,	藤森 秀一
本社 動力炉建設運転本部	運転計画課	新沢 達也,	山内 辰也
大洗工学センター	機器構造開発部	小池 通崇,	揖場 敏

### 要 旨

新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」と略す）では、運開当時、既に先行軽水炉の状況から、運転経過とともに原子炉冷却系の機器・配管に放射性腐食生成物（以下「クラッド」と略す）が蓄積し、線量当量率の上昇が予測された。

そのため系統の化学除染（以下「系統除染」と略す）がいずれ必要になることも考慮して、情報の収集に当り、昭和55年に国内外の化学除染技術の公開情報をまとめ、「ふげん」に最適な除染剤について選定、評価してきた。

除染剤の選定・評価するための検討項目は、除染性能、構成材健全性への影響、廃液処理性、施工性等種々あるが、できる限りの検討を加え、最終的に国産品の希薄液除染剤であるクリデコン203を選定した。

選定以後、約8年をかけて上記項目に対するクリデコン203の基礎データを確認するとともに、実機熱交換器等の除染実証試験を行い、系統除染への適用の見通しを得た。

一方、平成元年7月中旬より実施する「ふげん」の第8回定期検査では、原子炉再循環ポンプの分解点検、応力腐食割れ（以下「SCC」と略す）予防対策のための原子炉再循環系下部ヘッダ部分取替工事等、原子炉建屋内高線量当量率下での作業を計画している。

これらの作業を含めた定期検査時の総線量当量は、これまで以上に増大することが予測され、効果的な被ばく低減策の実施が必要な状況にあることから、第8回定期検査時には、2系統ある原子炉冷却系統のうち主要な点検・工事の対象となるA側の片ループについて系統除染を行い、作業被ばくの低減化を図る計画を立てた。

この系統除染を実施するに当り、動燃事業団は、科学技術庁に対し系統除染計画の説明を行い、当該計画の妥当性の確認を行った。

これに対し、科学技術庁原子炉安全局原子炉規制課は、化学除染、金属材料、金属腐食、水化学等の専門家からなる「原子炉安全技術顧問ふげん発電所化学除染ワーキンググループ」（以下「顧問会」という）を3回開催し、除染の有効性、材料健全性、除染作業の安全性、材料健全性確認追跡調査の妥当性等について諮問を行った。

その結果、「ふげん」の系統除染計画の妥当性は確認され、当該計画は了承された。

本資料は、動燃事業団がこれまで行ってきた「ふげん」の系統除染に係る研究開発結果及び系統除染計画検討結果を上記顧問会用資料として新たにまとめたものである。また、合わせて上記顧問会における質問事項の回答資料等を添付する。

# 目 次

## I. 新型転換炉ふげん発電所原子炉冷却系系統除染について

- 資料－1 経緯，必要性，国内外の実績
- 資料－2 系統除染範囲
- 資料－3 除染剤の選定理由
- 資料－4 材料健全性試験
- 資料－5 クリデコン203の除染性能と実証試験
- 資料－6 系統除染方法
- 資料－7 健全性確認試験計画

## II. 新型転換炉ふげん発電所

原子炉冷却系系統除染説明用資料（QA集）

## III. 参 考 資 料

科学技術庁原子炉安全技術顧問

ふげん発電所化学除染安全ワーキンググループ資料

- 参考－1 第1回顧問会資料（本文は前項Iを使用）
- 参考－2 第2回顧問会資料
- 参考－3 第3回顧問会資料
- 参考－4 科学技術庁顧問会答申書

# I. 新型転換炉ふげん発電所原子炉冷却系系統除染について

資料一 1 経緯、必要性、国内外の実績

資料一 2 系統除染範囲

資料一 3 除染剤の選定理由

資料一 4 材料健全性試験

資料一 5 クリデコン203の除染性能と実証試験

資料一 6 系統除染方法

資料一 7 健全性確認試験計画





新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料－1 経緯，必要性，国内外の実績

平成元年6月

# 目 次

	頁
1 - 1. 系統除染開発の経緯 .....	2
1 - 2. 系統除染の必要性 .....	3
1 - 3. 化学除染の実績 .....	4

新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」と略す）は、昭和54年3月に本格運転を開始して以来、今日まで順調な運転を継続している。

運転当時、既に先行軽水炉の状況から、運転とともに原子炉冷却系の機器・配管に放射性腐食生成物（以下「クラッド」と略す）が蓄積し、線量当量率の上昇が予測された。

そのため動燃事業団としては、系統の化学除染（以下「系統除染」と略す）がいずれ必要になることも考慮して、情報の収集に当り、昭和55年に国内外の化学除染技術の公開情報をまとめ、「ふげん」に最適な除染剤について選定、評価してきた。

除染剤の選定・評価するための検討項目は、除染性能、構成材健全性への影響、廃液処理性、施工性等種々あるが、できる限りの検討を加え、最終的に国産品の希薄液除染剤であるクリデコン203を選定した。

選定以後、約8年をかけて上記項目に対するクリデコン203の基礎データを確認するとともに、実機熱交換器等の除染実証試験を行い、系統除染への適用の見通しを得た。

一方、平成元年7月中旬より実施する「ふげん」の第8回定期検査では、原子炉再循環ポンプの分解点検、応力腐食割れ（以下「SCC」と略す）予防対策のための原子炉再循環系下部ヘッダ部分取替工事等、原子炉建屋内高線量当量率下での作業を計画している。

これらの作業を含めた定期検査時の総線量当量は、これまで以上に増大することが予測され、効果的な被ばく低減策の実施が必要な状況にある。

このため、第8回定期検査時には、2系統ある原子炉冷却系統のうち主要な点検・工事の対象となるA側の片ループについて系統除染を行い、作業被ばくの低減化を図る計画である。

## 1-1. 系統除染開発の経緯

「ふげん」におけるこれまでの系統除染開発工程を図1-1に示す。

系統除染の開発は、昭和52年から検討を始め、市販の除染剤について調査し、主に材料健全性の観点から国産品であるクリデコン203(KD-203)を系統除染のための除染剤として選択した。昭和55年からこの除染剤を用い、「ふげん」の実サンプル等を使って以下の試験を行い、除染剤の適用性について評価した。

- ① 「ふげん」から取り出した実サンプルを用いたクラッドの性状調査
- ② 除染中及び除染後の材料健全性等を確認するための腐食試験、低歪速度引張試験(SSRT)、単軸定荷重引張試験(ULT)等の実施
- ③ 上記調査・試験の結果を基に除染係数(DF)2以上を目標とした除染条件の選定
- ④ 除染廃液処理方法を評価するための廃液処理試験

これらの結果を基に、実証試験として昭和60年に燃料交換装置、昭和61年に原子炉冷却材浄化系及び余熱除去系の各熱交換器、昭和63年に原子炉冷却材浄化系熱交換器の除染を行い、クリデコン203は十分な除染性能を有し、機器の健全性も損なうことがないことを確認した。

これらの成果を踏まえ、昭和61年より系統除染のシステム設計、実機適用方法等について検討を行い、系統除染の実機適用に際し技術的な見通しが得られている。

## 1-2. 系統除染の必要性

### (1) これまでの状況

「ふげん」における原子炉冷却系機器・配管表面の線量当量率は、クラッドの付着によりプラントの運転経過とともに上昇している。

(図1-2参照)

この線量当量率の上昇を抑えるために、給水系への酸素注入、復水脱塩器の運用改善等のクラッド低減対策を行うとともに、供用期間中検査に使用する検査装置、配管工事に使用する溶接機等の自動・遠隔化や、機器・配管の遮へい等により作業の被ばく低減化を図ってきている。(図1-3参照)

その結果、線量当量率の上昇とともに増加傾向にあった通常定期検査分の線量当量は、ほぼ横這いの状態である。(図1-4参照)しかし、改造工事分については、工事の内容によって線量当量が大きく変動している。昭和56年度と昭和60年度ではSCC対策のための主要系統の改造があったため、この改造工事における線量当量は多くなっている。

### (2) 第8回定期検査の被ばく予測

「ふげん」では平成元年7月中旬より実施する第8回定期検査において、通常の定期検査項目に加え原子炉再循環ポンプの分解点検、SCC予防対策としての原子炉再循環系下部ヘッダ部分取替工事等の原子炉建屋内における高線量当量率下での作業を計画しており、総線量当量は、これまでの定期検査(約4人・シーベルト)と比較して大きく増加(約13人・シーベルト)することが予測され、これまで以上に効果的な被ばく低減策が必要である。

### (3) 系統除染の必要性

上記の作業箇所は、図1-5に示すように原子炉再循環系の中心部であることから、これまで実施してきたクラッドの発生抑制対策

や作業管理手法の改善では被ばく低減に限界がある。

そのため、より効果的な被ばく低減を図るためには、放射線源となる機器・配管に付着したクラッドを除去することが必要であり、その方法として系統除染が最適である。

系統除染を適用することによって、第8回定期検査時の総線量当量は当初予測の13人・シーベルトから8人・シーベルトに低減できると予測される。(図1-6参照)

### 1-3. 化学除染の実績

原子力プラントにおける化学除染は、1960年代中頃より、原子炉一次系のクラッドの蓄積による線量当量率の上昇と、これに伴って増加する保守点検作業時の線量当量を低減するために実施され始めた。

さらに1980年頃より、米国におけるBWR原子炉再循環系の大口径配管のSCC対策及びPWR蒸気発生器の点検・補修時における線量当量の低減化を図るために広く採用されるようになってきている。

近年適用されている除染法は、Can-Decon法、LOMI法等が代表的なものである。

また、「ふげん」と同型の重水減速沸騰軽水冷却圧力管型原子炉である英国WinfrithのSGHWRでは、1969年より系統除染を実施している。

海外における除染実績を表1-1に示す。

一方、国内においては、BWR、PWRとも原子炉再循環ポンプの単体除染を実施している他、「ふげん」における系統除染のための実証試験として熱交換器等の除染が実績として挙げられる。

国内における除染実績を表1-2に示す。

表 1 - 1. 海外における化学除染実績 (1 / 2)  
[BWR]

実施年	プラント名	対象系統	除染法	備考
1979	Vermont Yankee	CUW	CAN-DECON	
1980	Brunswick 2 SGHWR	CUW South Circuit&Fuel	CAN-DECON LOMI	
1981	Brunswick 1 Vermont Yankee SGHWR	CUW CUW Both Circuit&Fuel	CAN-DECON CAN-DECON LOMI	
1982	Peach Bottom 2 Nine Mile Point 1 Edwin I. Hatch 1	CUW PLR CUW	CAN-DECON CAN-DECON CAN-DECON	
1983	Vermont Yankee Peach Bottom 3 Quad Cities 2 Dresden 3 SGHWR	PLR CUW PLR PLR, CUW Both Circuit&Fuel	CAN-DECON CAN-DECON CAN-DECON CAN-DECON LOMI	
1984	Quad Cities 2 Pilgrim 1 Quad Cities 1 Monticello Brunswick 2 Millstone 1 Pilgrim 1 Peach Bottom 2 Dresden 1 Cooper Dresden 2 SGHWR SGHWR	CUW PLR PLR, CUW PLR, CUW CUW PLR, CUW CUW PLR RCS PLR PLR, CUW South Circuit&Fuel North Circuit&Fuel	CAN-DECON NS-1 (dil) CAN-DECON LOMI CITROX CAN-DECON NS-1 (dil) CAN-DECON NS-1 (conc) CITROX NS-1 (dil) LOMI NP/LOMI	NS-1希薄液       NS-1濃厚液  NP: HNO <sub>3</sub> + KMnO <sub>4</sub>
1985	Vermont Yankee Dresden 3 Brunswick 2 SGHWR SGHWR	PLR, CUW PLR, CUW PLR South Circuit&Fuel North Circuit&Fuel	CITROX LOMI CITROX LOMI NP/LOMI	
1986	Brunswick 2 Quad Cities 1 Oyster Creek Dresden 2 Quad Cities 2	CUW PLR, CUW PLR PLR, CUW PLR, CUW	CITROX LOMI LOMI LOMI LOMI	

RCS : 原子炉一次冷却系

PLR : 再循環系

CUW : 炉水浄化系

表 1 - 1 . 海外における化学除染実績 ( 2 / 2 )  
 [ P W R ]

実施年	プラント名	対象系統	除染法	備考
1982	Surry 2 (撤去後、Battle原子力研究所にて)	Channel Head CL HL	CAN-DECON LOMI (POD)	POD:PWR, Oxid. Decon.
1983	Millstone 2 Robert E. Ginna Doglas Point	Channel Heads Channel Heads RCS	OZOX CAN-DECON CAN-DECON	オゾン酸化法
1984	Palisades	Channel Heads	CAN-DECON	
1985	Millstone 2 Indian Point 3	Channel Heads Channel Heads	CITROX LOMI	
1986	Connecticut Yankee Millstone 2	Channel Heads Channel Heads	CAN-DECON OZOX	

Channel Heads : 蒸気発生器水室



表 1 - 2 . 国内における化学除染実績

実施年	プラント名	対象系統	除染法	備考
1984	日本原子力研究所 JRR-3 K電力 T-2 (PWR)	熱交換器 RCPインターナル	希薄液法 濃厚液法	キレート系 AP*/Citrox
1985	T電力 F-1-1 (BWR) K電力 0-1 (PWR) T電力 F-1-1 (BWR) 動燃 ふげん (ATR) K電力 0-2 (PWR) S電力 1-2 (PWR)	PLRポンプ RCPインターナル PLRポンプ 燃料交換装置 RCPインターナル RCPインターナル	濃厚液法 " " 希薄液法 濃厚液法 "	AP*/Citrox " キレート系 KD203 AP*/Citrox "
1986	K電力 T-1 (PWR) K電力 0-1 (PWR) T電力 F-1-4 (BWR)	RCPインターナル RCPインターナル PLRポンプ	濃厚液法 " "	AP*/Citrox " キレート系
1987	動燃 ふげん (ATR) K電力 0-2 (PWR)	CUW/RHR 熱交換器 RCPインターナル	希薄液法 濃厚液法	KD203 AP*/Citrox
1988	K電力 T-1 (PWR) K電力 0-1 (PWR) K電力 M-3 (PWR) K電力 G-2 (PWR) K電力 K-2 (PWR) K電力 G-1 (PWR) 動燃 ふげん (ATR) K電力 0-1 (PWR) K電力 K-1 (PWR) K電力 T-2 (PWR) K電力 M-2 (PWR)	RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル CUW熱交換器 RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル	濃厚液法 " " " " " " 希薄液法 濃厚液法 " " "	AP*/Citrox " " " " " " KD203 AP*/Citrox " " "
1989	K電力 K-2 (PWR)	RCPインターナル	濃厚液法	AP*/Citrox

注) AP: NaOH+KMnO<sub>4</sub>

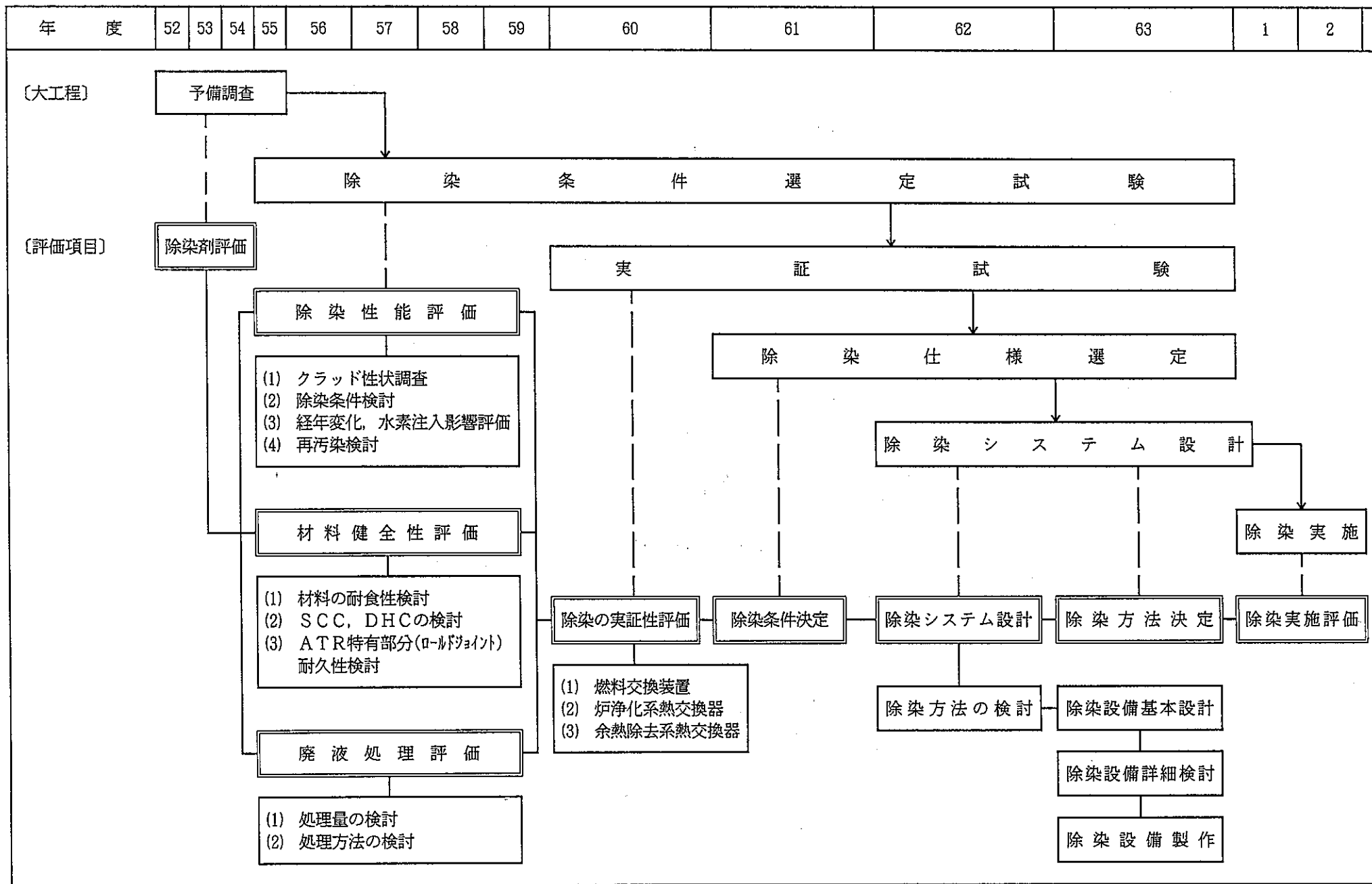


図1-1. 「ふげん」の系統除染法開発工程表

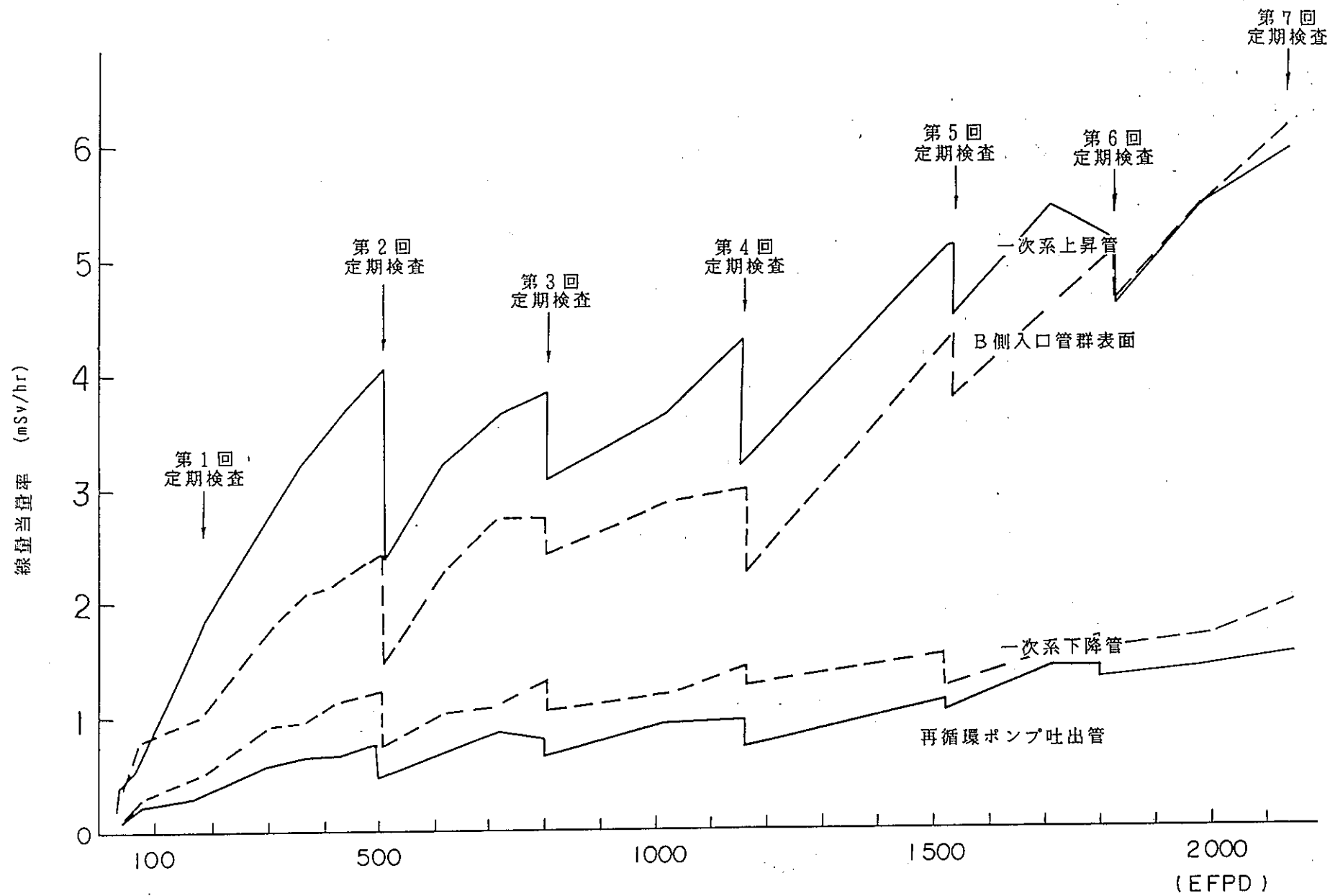


図1-2 原子炉冷却系配管表面の線量当量率の推移

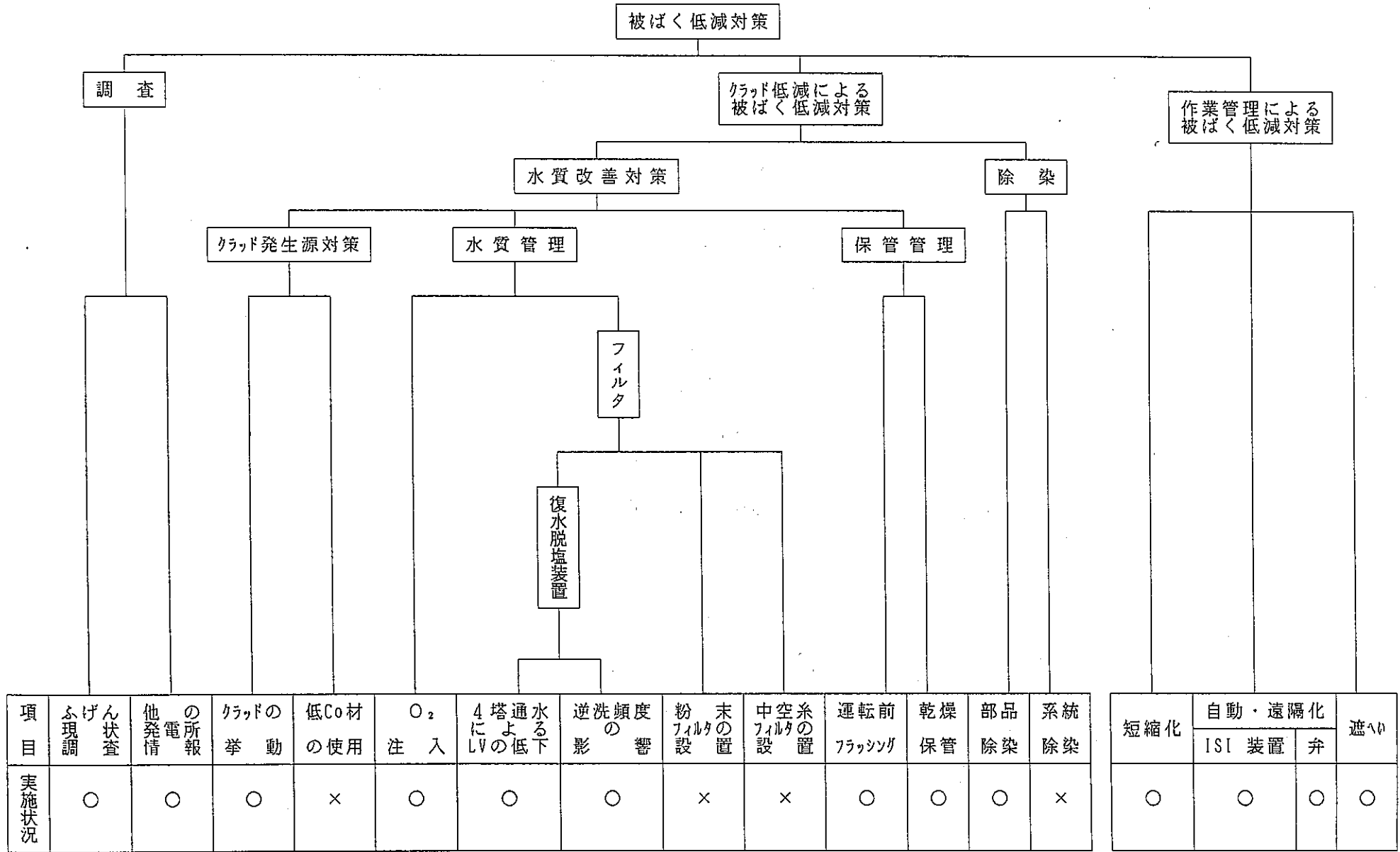


図 1 - 3 . 「ふげん」における被ばく低減対策

○ : 実施中    × : 未実施

線量当量〔人・シーベルト〕

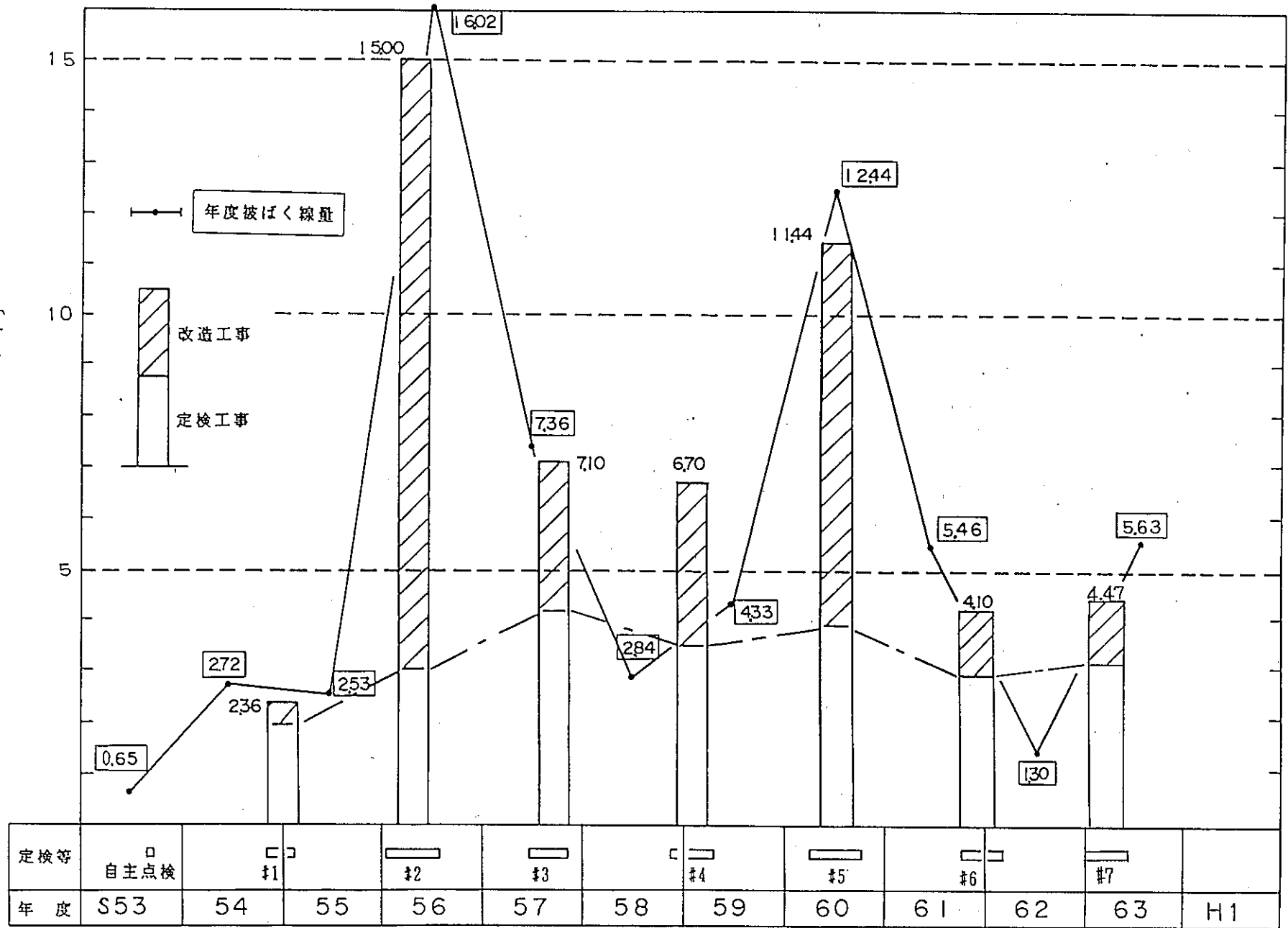


図1-4 線量当量の経年変化

- ①：再循環ポンプ分解点検
- ②：下部ヘッド中央部取替工事
- ③：余熱除去系ノズルセーフエンド  
取替工事

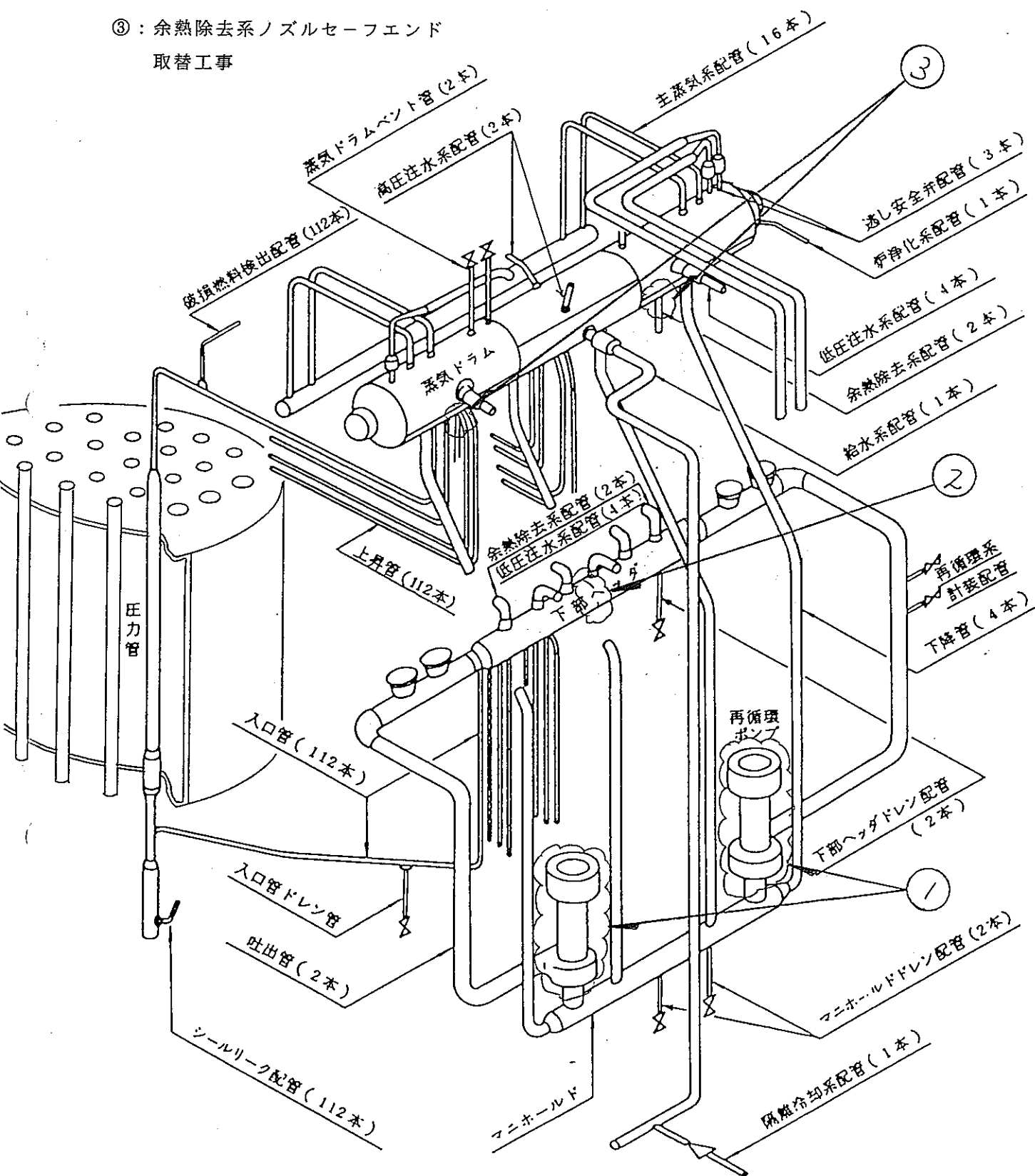
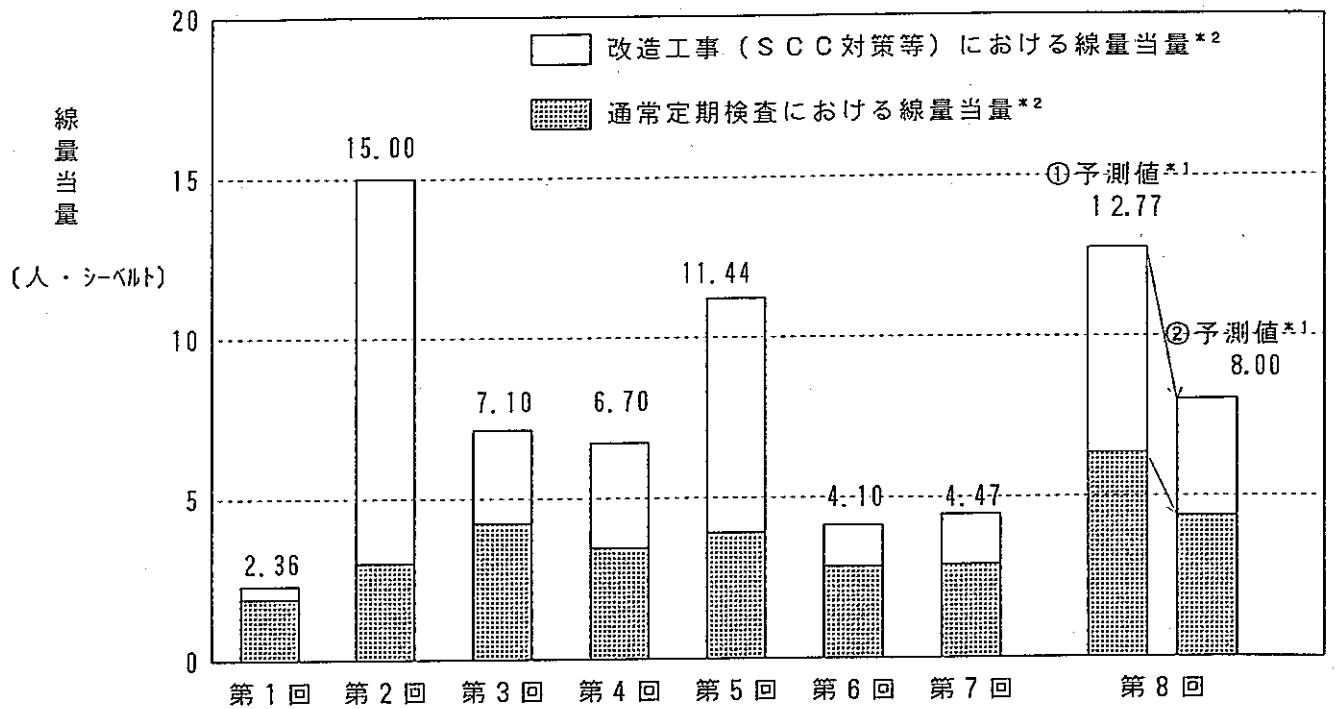


図 1 - 5 格納容器内原子炉冷却系機器・配管鳥瞰図 (片ループ)



注) \*1 : 第8回定期検査の予測値①は、系統除染を実施しない場合の値であり、予測値②は原子炉冷却系（片ループ）の系統除染を実施した場合の値である。

注) \*2 : 第8回定期検査において、定期検査時の総線量当量に大きな影響を与える主な計画作業は次のとおりである。

- ・改造工事
  - ・応力腐食割れ予防対策工事（Aループ）
- ・通常定期検査
  - ・原子炉再循環ポンプ分解点検（A・C号機）

図1-6. 「ふげん」の定期検査における総線量当量の実績と予測





新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料 - 2 系 統 除 染 範 囲

平成元年6月

## 目 次

	頁
2 - 1 . 除染液接液範囲 .....	1
2 - 2 . 除染液接液範囲の系統構成 .....	3
2 - 3 . 除染液接液範囲の構成材料 .....	4

新型転換炉ふげん発電所の原子炉冷却系統施設は、A及びBループの2つに分かれており、今回の系統除染は、この内Aループ側に対して適用するものである。

除染対象範囲としては、原子炉本体及び原子炉再循環系であり、Aループの燃料体は、除染前に全て取り出すこととする。

また、除染時の昇温、循環及び浄化のため、余熱除去系、原子炉冷却材浄化系及び原子炉再循環ポンプシール注排水系にも除染液が循環する。

以下にその範囲、系統構成、構成材料等について記す。

## 2-1. 除染液接液範囲

### (1) 除染対象範囲

除染対象範囲は、図2-1に示すように原子炉本体及び原子炉再循環系のAループで、以下の機器・配管により構成されている。

#### ① 原子炉本体

- イ. 圧力管集合体
- ロ. 上昇管
- ハ. 入口管

#### ② 原子炉再循環系

- イ. 蒸気ドラムA
- ロ. 下部ヘッドA
- ハ. 原子炉再循環ポンプA及びC
- ニ. マニホールド
- ホ. 下降管
- ヘ. 吐出管

(2) その他接液範囲

系統除染時の昇温，循環及び浄化のため、以下の系統（機器・配管）についても図 2 - 1 に示すとおり除染液の接液範囲となる。

① 余熱除去系（A 系統）

- イ． A - 余熱除去ポンプ
- ロ． A - 余熱除去熱交換器
- ハ． 配 管
- ニ． 弁 類

② 原子炉冷却材浄化系

- イ． 再生熱交換器
- ロ． 非再生熱交換器
- ハ． ブースターポンプ
- ニ． 低圧サージタンク
- ホ． 充填ポンプ
- ヘ． 配 管
- ト． 弁 類

③ 原子炉再循環ポンプシール注排水系

- イ． 配 管
- ロ． 弁 類

## 2-2. 除染液接液範囲の系統構成

除染液接液範囲の系統構成及び機能の概要は、以下のとおりである。また、系統図を図2-2～図2-5に、各系統の主要機器の構造を図2-6～図2-13にそれぞれ示す。

### (1) 原子炉本体

原子炉本体は、図2-2に示すように圧力管集合体、入口管、上昇管等から構成される。

圧力管集合体は、224本（片ループ112本）あり、圧力管の下部延長管には原子炉再循環系の下部ヘッドから入口管が絡がり、また、圧力管上部延長管には蒸気ドラムまで上昇管が接続されている。

### (2) 原子炉再循環系

原子炉再循環系は、図2-3に示すように蒸気ドラム、下部ヘッド、再循環ポンプ、配管等から構成され、冷却材を炉心に送り込み炉心で発生する熱を除去するとともに、冷却材が沸騰して生じた蒸気をタービン系へ供給する機能を有している。

蒸気ドラムより再循環ポンプにて下部ヘッドに押し込まれた冷却材は、入口管を通過して圧力管に入り、ここで燃料の発熱を除去した後、上昇管を通過して蒸気ドラムに戻る。

### (3) 原子炉冷却材浄化系

原子炉冷却材浄化系は、図2-4に示すように再生熱交換器、非再生熱交換器、混床式脱塩器、充填ポンプ、配管等から構成され、原子炉冷却材の水質を維持するため、蒸気ドラムより冷却材の一部を抽出し、連続的に冷却材の浄化を行う機能を有している。

浄化すべき冷却材は蒸気ドラムより抽出し、再生熱交換器及び非再生熱交換器で冷却した後、混床式脱塩器により浄化する。その後充填ポンプにより所要の圧力を与え、再生熱交換器で加熱し給水系に戻す。

#### (4) 余熱除去系

余熱除去系は、図 2 - 5 に示すように余熱除去ポンプ、余熱除去熱交換器、配管等から構成され、原子炉停止後の炉心の崩壊熱及び原子炉、配管、冷却材等の保有熱を除去するためのものである。

原子炉停止後、蒸気ドラム圧力が約 10 kg/cm<sup>2</sup>以下に低下した時点で、蒸気ドラムから余熱除去ポンプにより冷却材を取水し、熱交換器で冷却後、下部ヘッドに注水する。

### 2 - 3 . 除染液接液範囲の構成材料

除染液接液部の構成材料、異種金属の接触部及び溶接部並びに薄肉部は、それぞれ以下のとおりである。

また、それぞれの詳細を表 2 - 1 に示す。

#### (1) 材料の種類

除染液接液範囲の構成材料としては、オーステナイト系ステンレス鋼で、SUS304、SUS316等があり、炭素鋼で、STPT38、SB49等がある。また、その他の材料としては、圧力管にZr-2.5%Nb、SUS403Modを使用している。

#### (2) 異種金属の接触部

異種金属の接触部としては、圧力管上部及び下部のロールジョイント部があり、それぞれZr-2.5%Nb（圧力管）とSUS403Mod（圧力管上部及び下部延長管）の圧着による接触である。

#### (3) 異種金属の溶接部

異種金属の溶接部は、圧力管の上部及び下部延長部（SUS304+SUS403Mod）並びに余熱除去系配管（SCS13+STPT38）にある。

(4) 薄肉部

構成材料の中で最も薄い肉厚部は、熱交換器（再生熱交換器，非再生熱交換器及び余熱除去熱交換器）の伝熱管であり、その肉厚は1.2 ～2.8 mmである。

表 2 - 1. 除染液接液部の構成材料

系統名	除染対象機器・配管等	構 成 材 料
配管系	原子炉本体 入 口 管	SUS304, SUS304L
	圧 力 管	Zr-2.5%Nb [本体], SUS304及びSUS403Mod [上下部延長部]
	上 昇 管	SUS304
再循環系	原 子 炉 蒸 気 ド ラ ム	SA516Gr70 [胴板, 鏡板内張りSUS304], SUS304 [内部構造品], SA350GrLF2 [ノズル, 内張りSUS304], SUSF316L及びSA-182F304 [ノズルセーフエンド]
	下 降 管	SUS316L
	マニホールド	SUS316L [本体], SUSF316L [T継手]
	原子炉 再循環ポンプ	SUS304 [熱遮蔽部], SUS347 [主軸] SCS13 [ケーシング, インペラ], SCS14 [ケーシングリング]
	吐 出 管	SUS316L
	下 部 ヘ ッ ダ	SUS304 [胴板], SA-182F304 [ノズル], SUSF316L [レジャーサ], SCS16A [逆止弁]
除熱系	余 熱 除 去 ポ ン プ	SCS1 [ケーシング, インペラ], SUS410 [主軸], SUS420J2 [ケーシングリング, インペラリング]
	余熱除去熱交換器	SUS304 [伝熱管], SB42 [管側胴板]
	弁及び配管類	SUS316, SUS304, STPT38, SCS13, SF45, SCPH2
シール注排水系	原子炉冷却材浄化系及び 再生熱交換器	SUS316 [伝熱管, 胴板, 鏡板], SUS304 [仕切板], SA-182F316 [管板]
	非再生熱交換器	SUS316 [伝熱管, 胴板, 鏡板, 管板], SUS304 [仕切板]
	ブ ー ス タ ー ポ ン プ	SCS13 [ケーシング, ケーシングカバーリング, インペラ], SUS304 [主軸, ケーシングカバー], SCS2 [インペラリング]
	混床式脱塩器	SUS304
	低圧サージタンク	SUS304
	充 填 ポ ン プ	SCS13 [ケーシング, ケーシングリング, インペラ] SUS403B [主軸], SCS2 [インペラリング]
	弁 及 び 配 管 類	SUS304, SUS316, SUS316L, SUSF316, SUSF316L, SCS13, A-182F316, A-351CF8M

\* 異種金属の接触部・・・圧力管の上部及び下部ロールドジョイント部 (Zr-2.5%Nb+SUS403Mod)

\* 異種金属の溶接部・・・圧力管の上部及び下部延長部 (SUS304+SUS403Mod)  
余熱除去系配管 (SCS13+STPT38)

\* 肉厚の薄い箇所・・・熱交換器の伝熱管  
(余熱除去熱交: 2.77mm, 再生熱交: 1.4mm, 非再生熱交1.2mm)



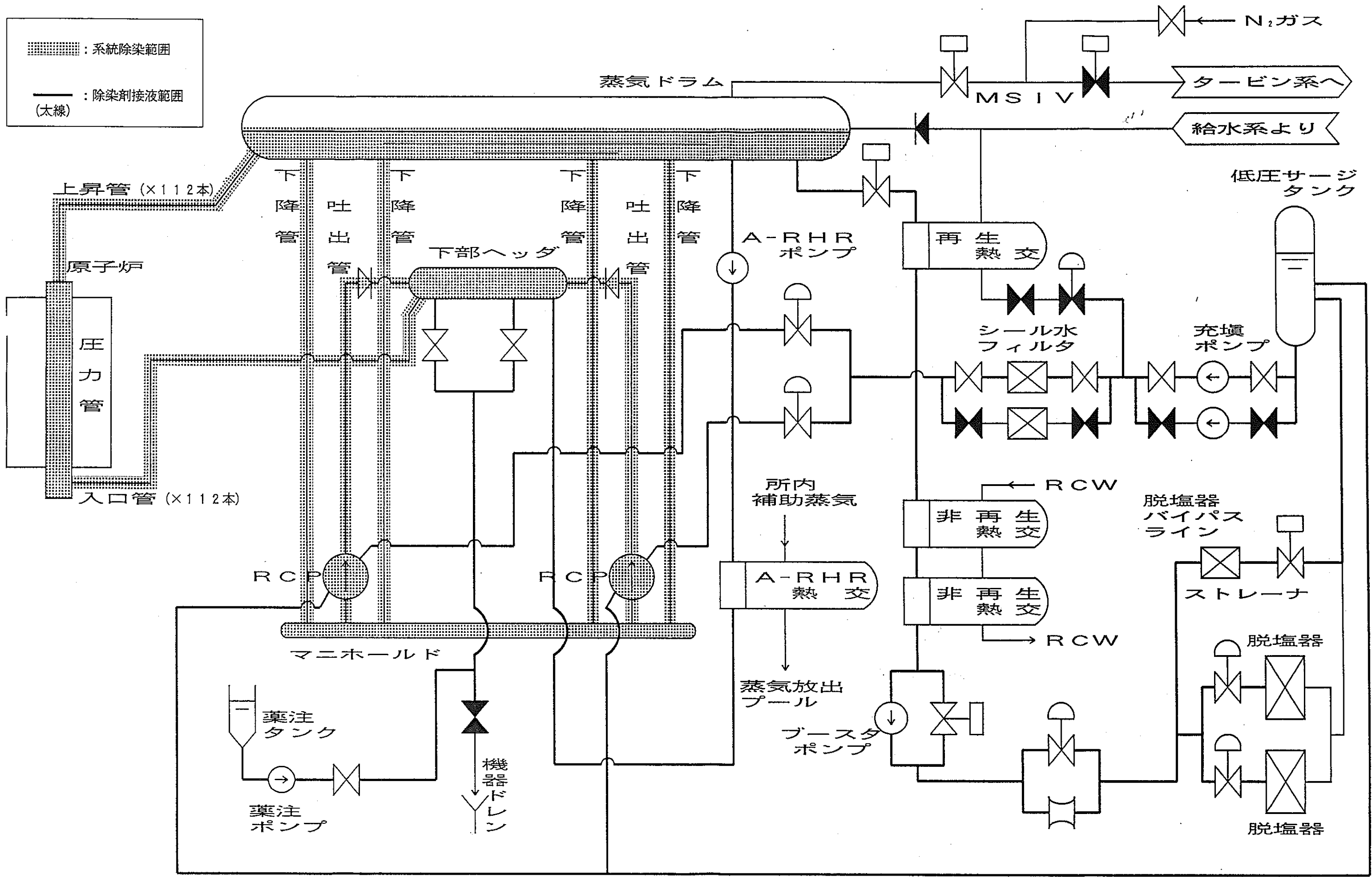


図 2 - 1 . 系 統 除 染 範 囲

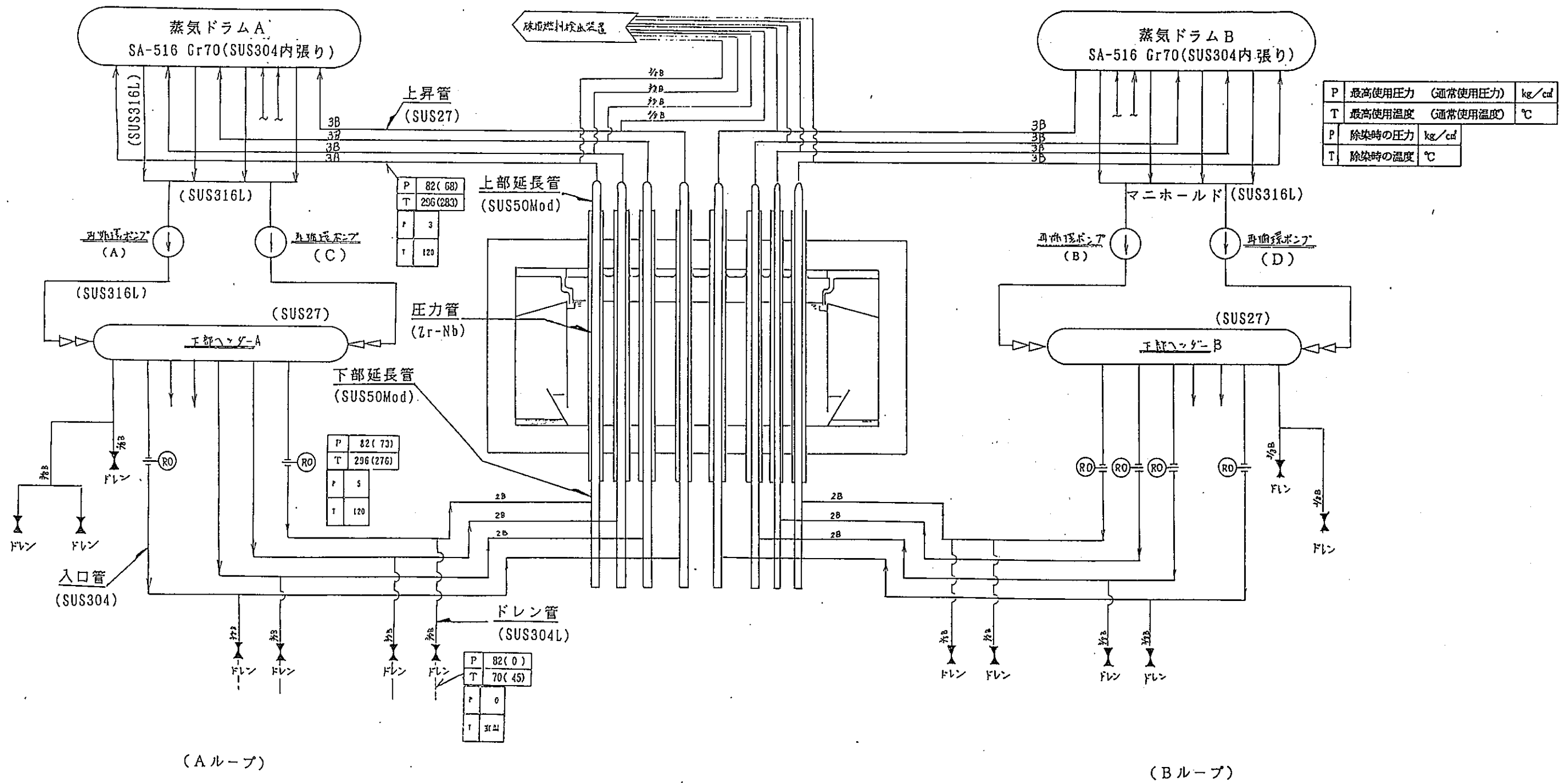
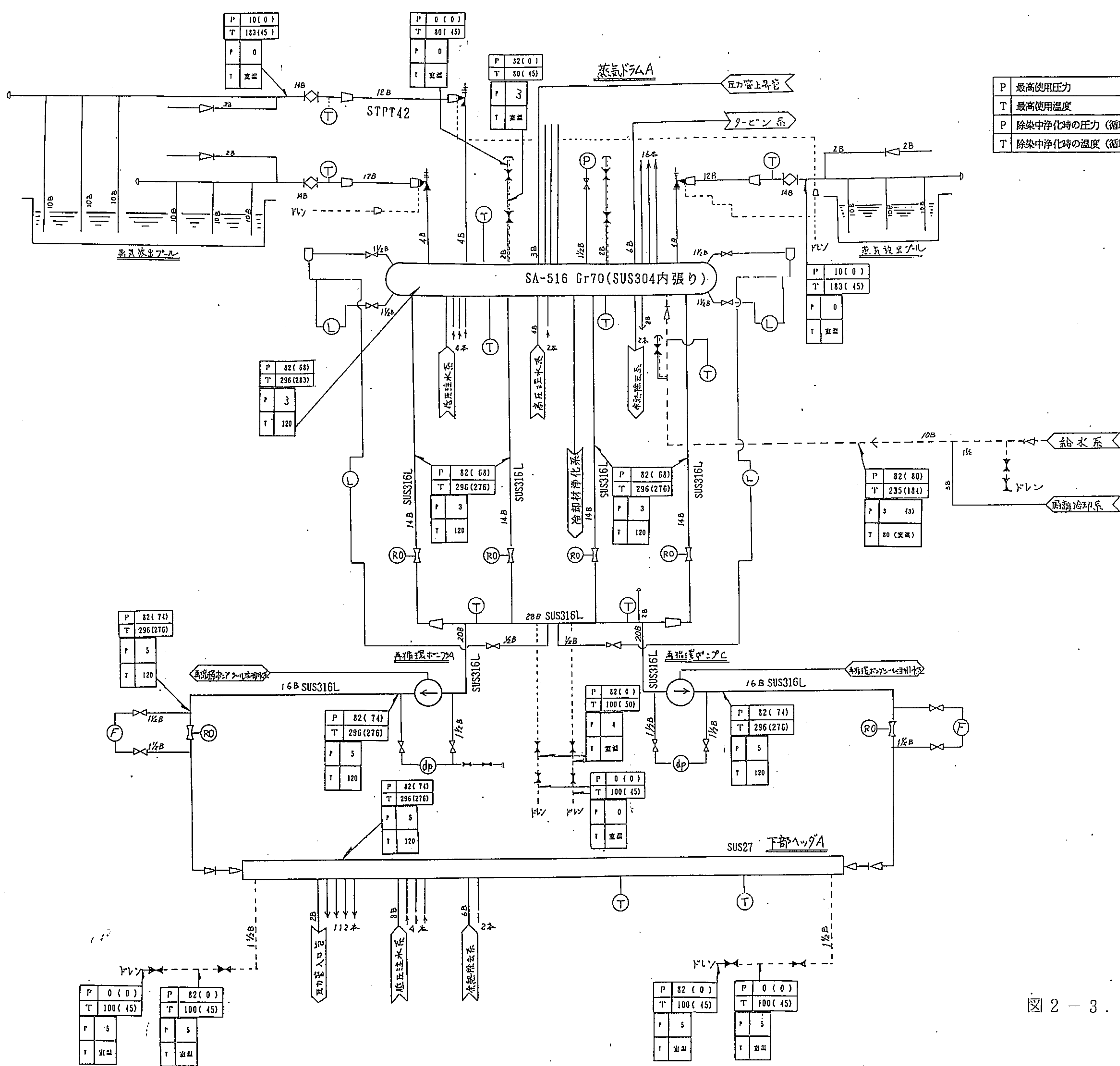
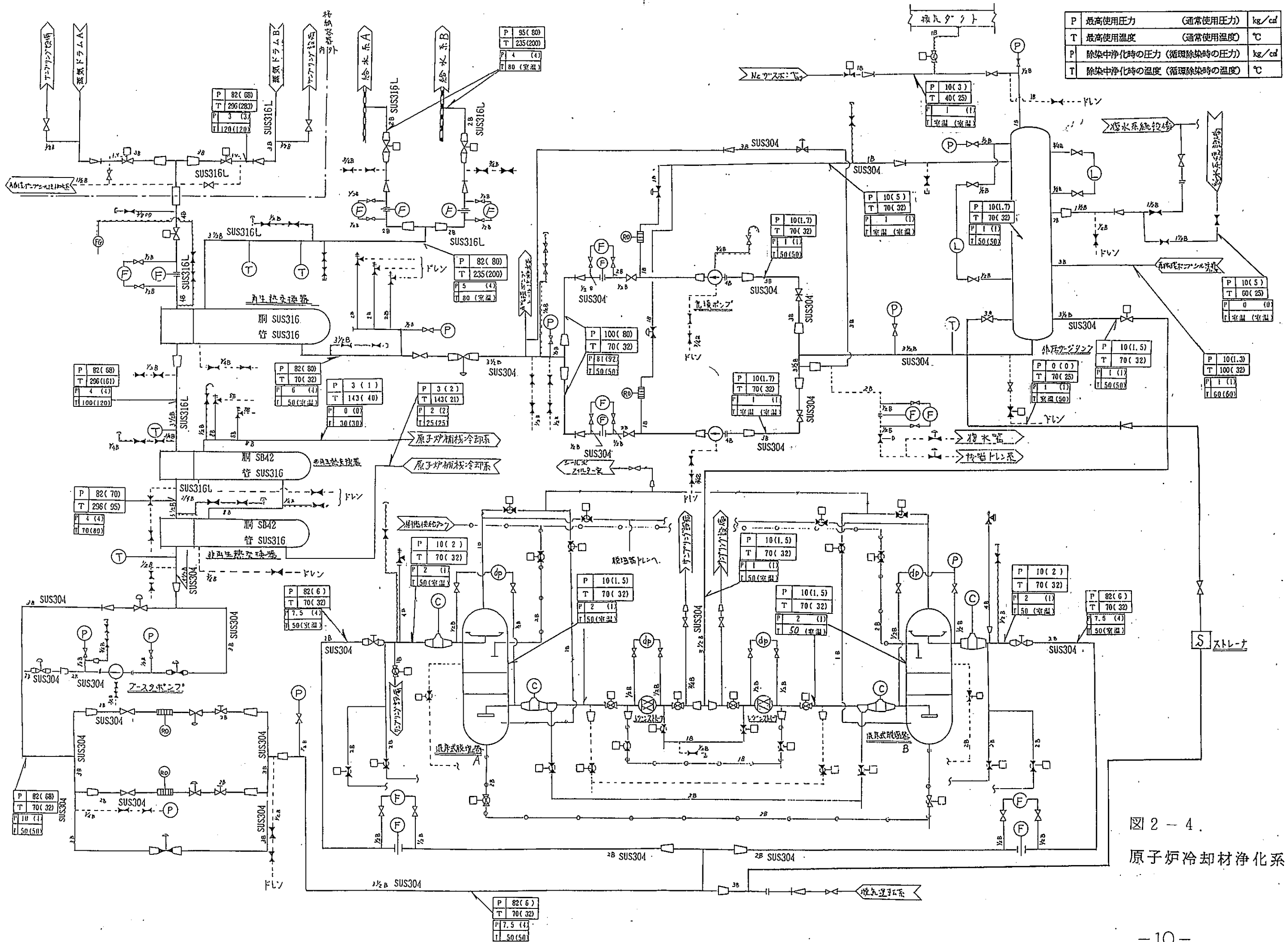


図 2 - 2 . 原子炉本体配管系



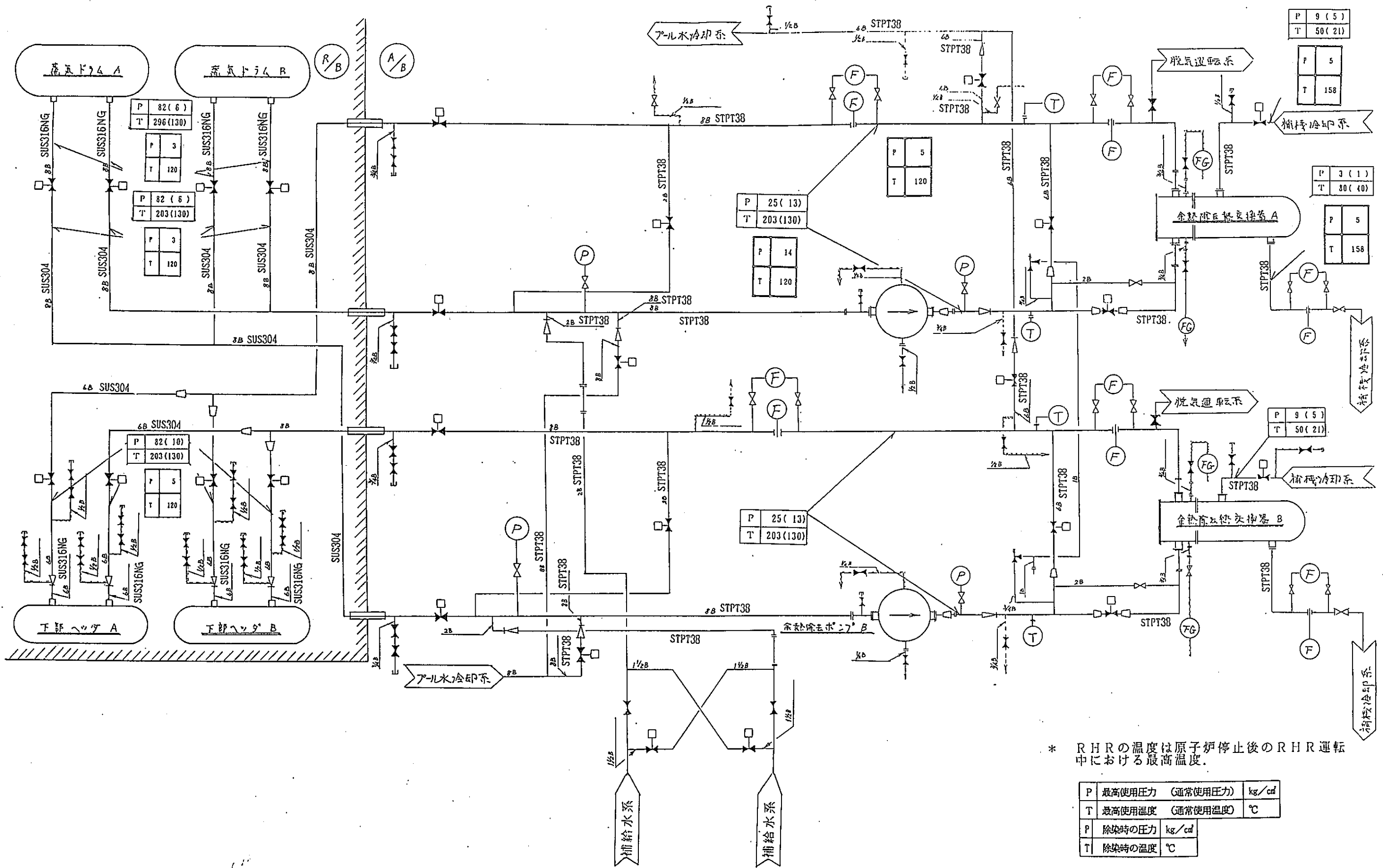
P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図 2 - 3. 原子炉再循環系 (Aループ)



P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図 2-4.  
原子炉冷却材浄化系



\* RHRの温度は原子炉停止後のRHR運転中における最高温度。

P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	℃
P	除染時の圧力	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染時の温度	℃

図 2 - 5. 余熱除去系

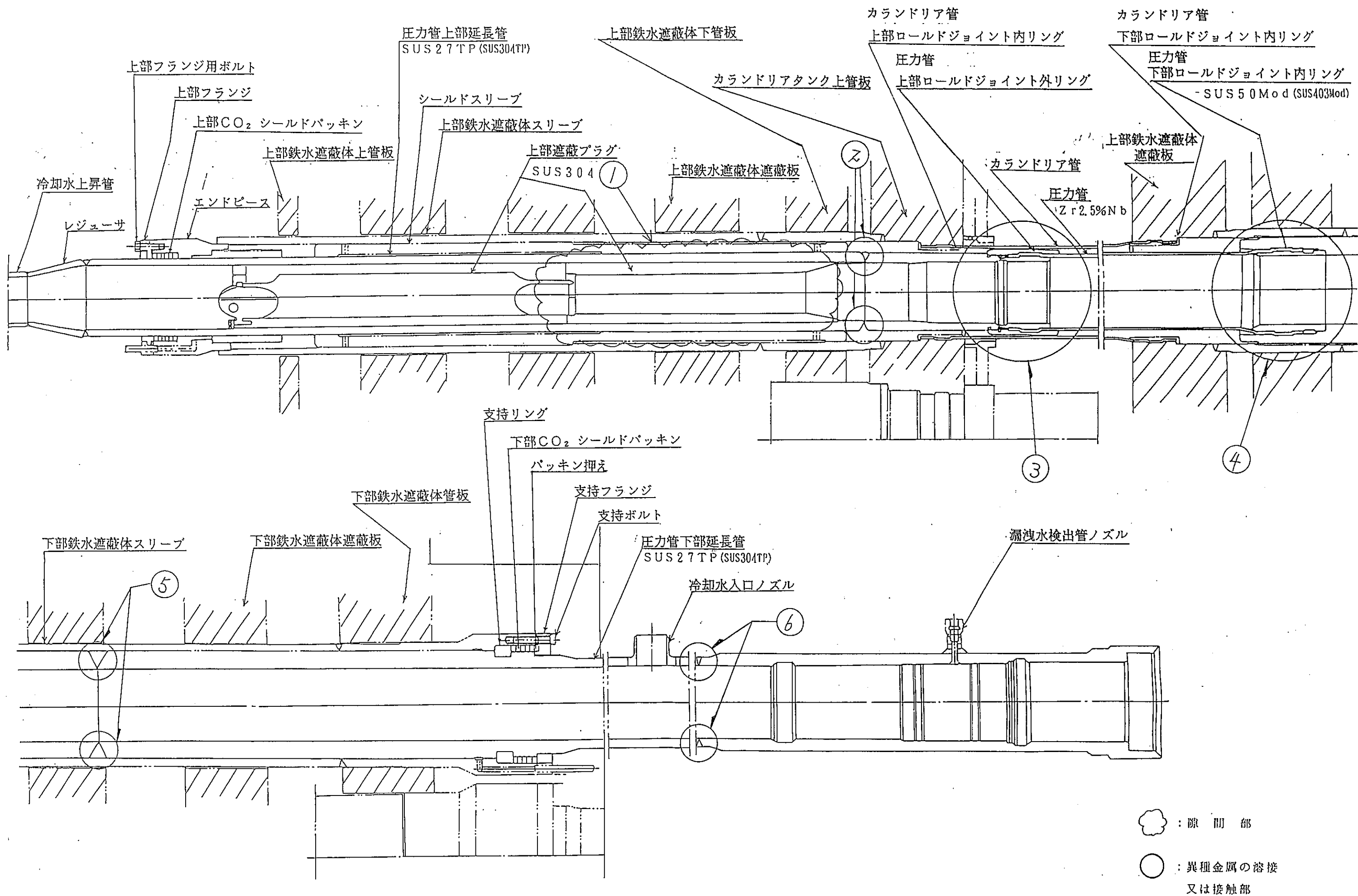
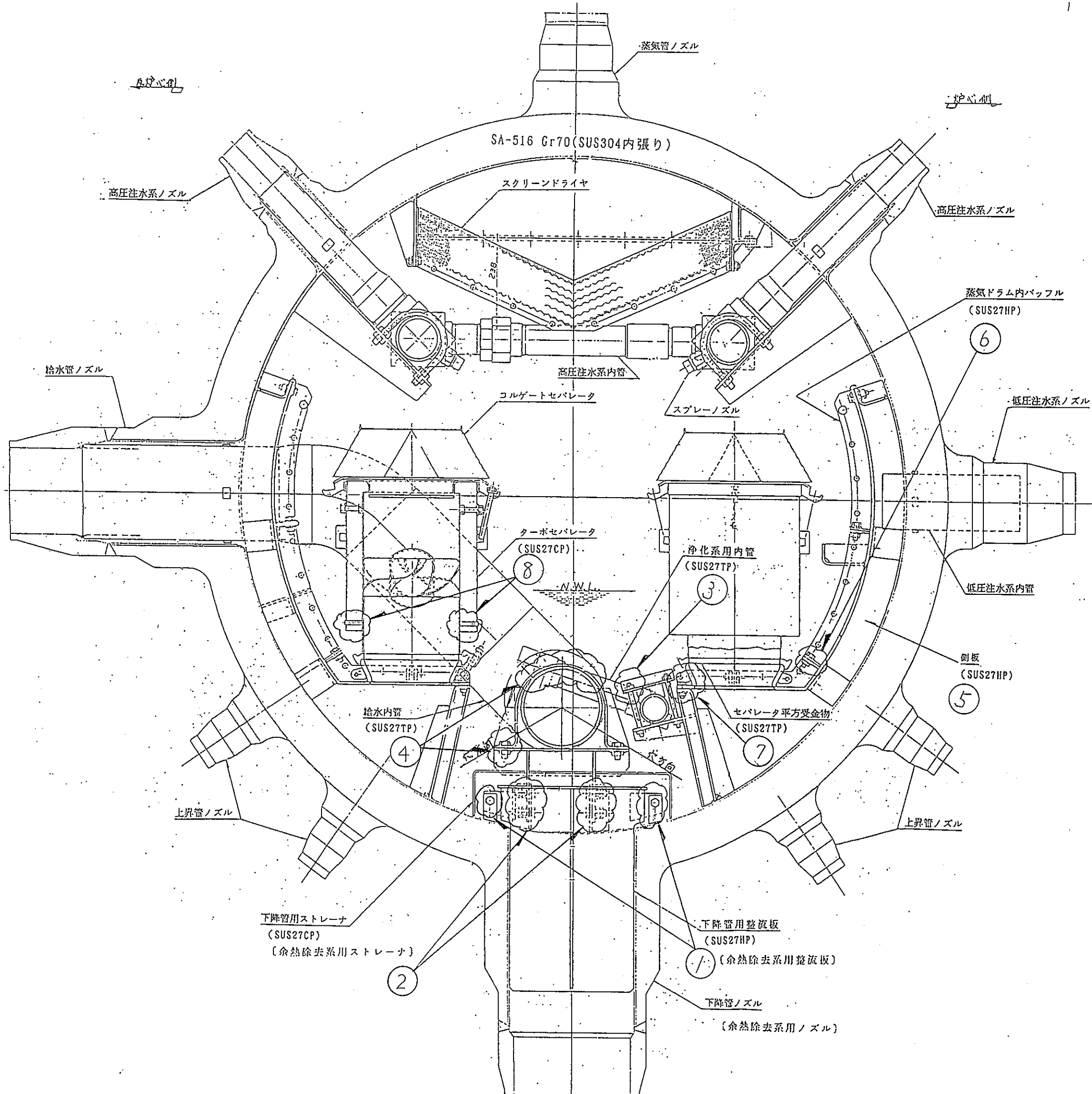
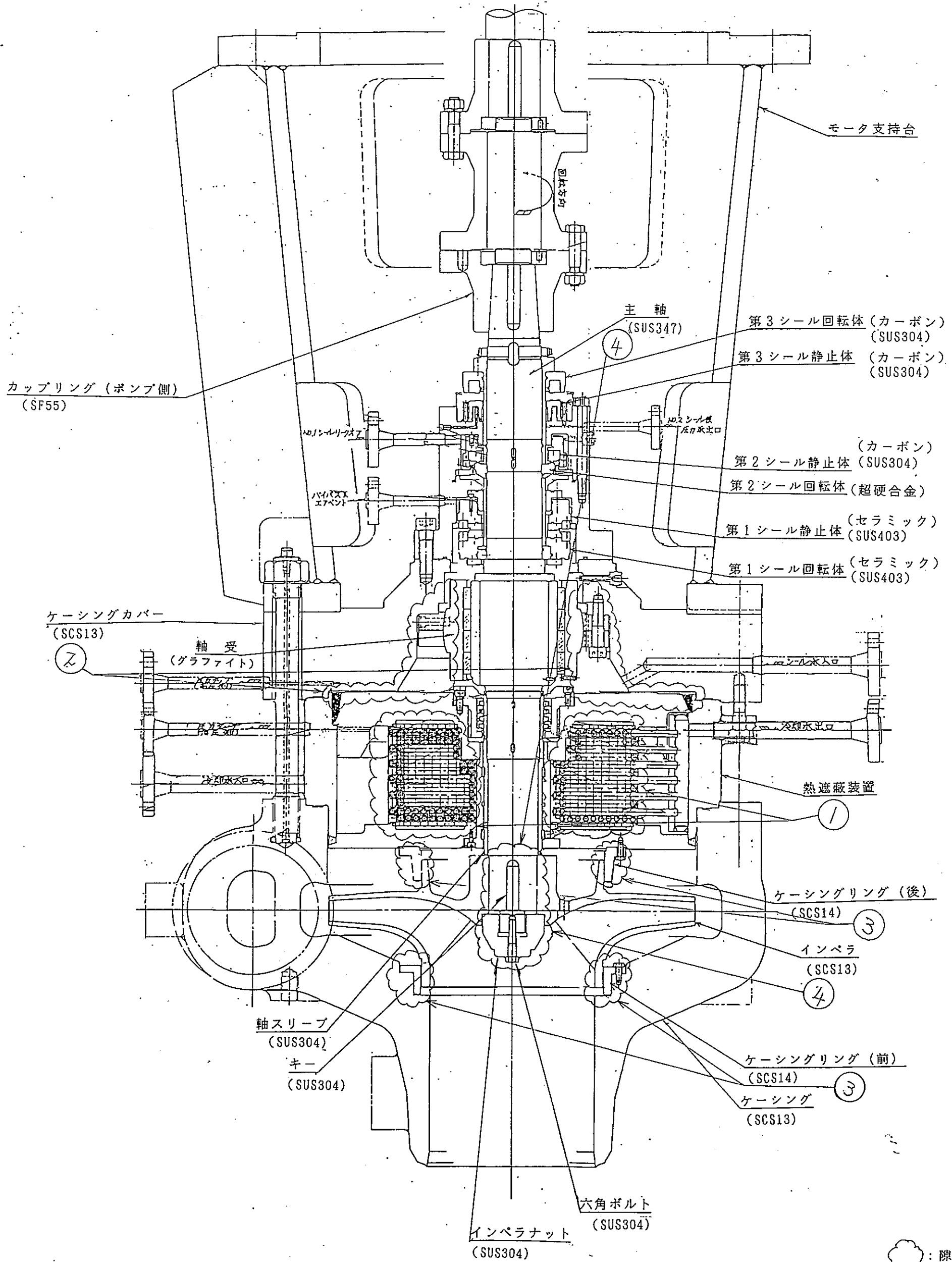


図2-6. 圧力管集合体 -12-



☁ : 隙間部

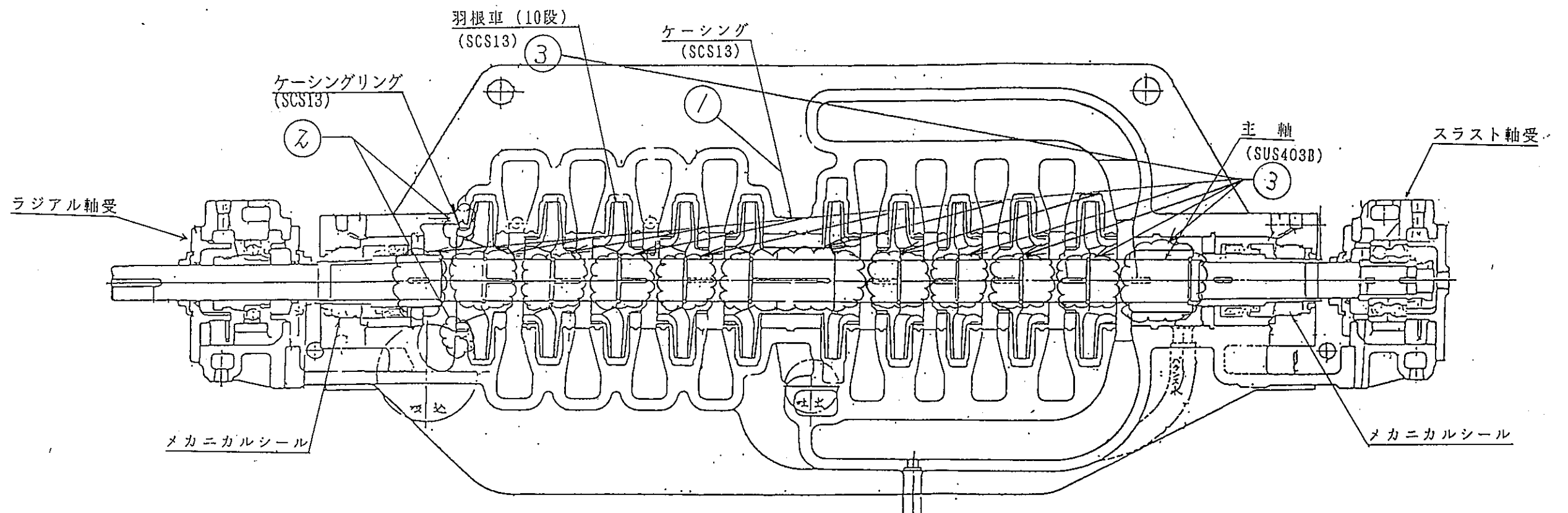
図 2-7. 蒸気ドラム (断面図) -13-



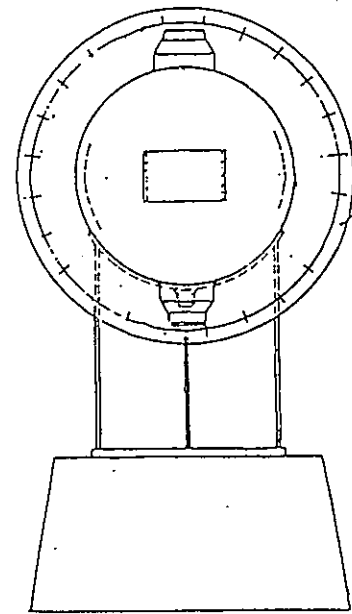
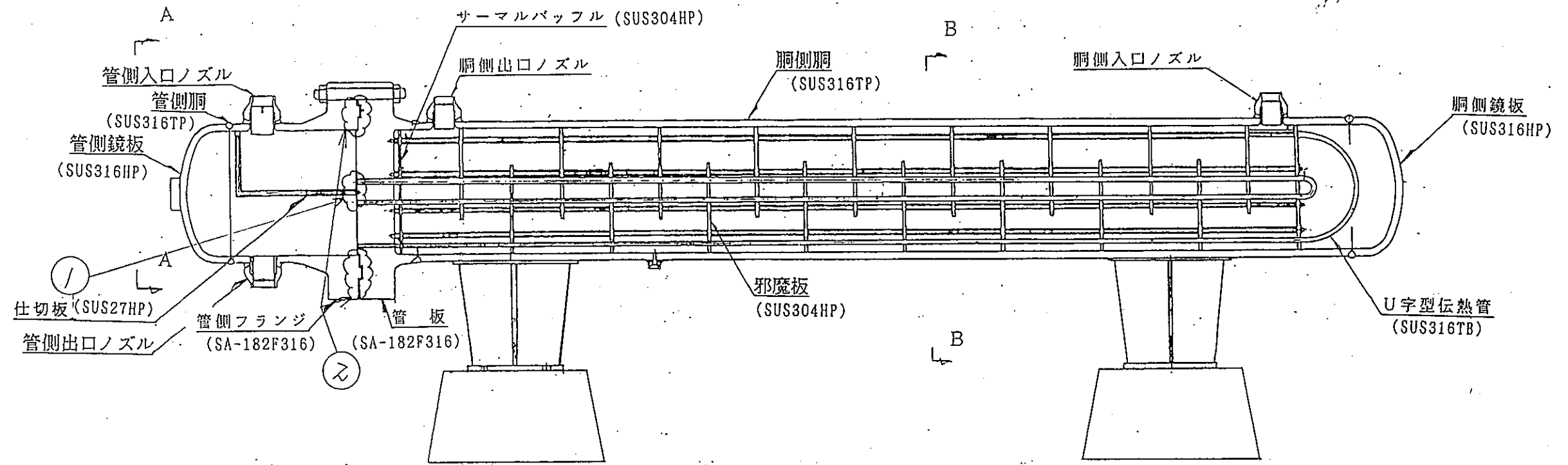
☁ : 隙間部

図 2-8. 原子炉再循環ポンプ-14-

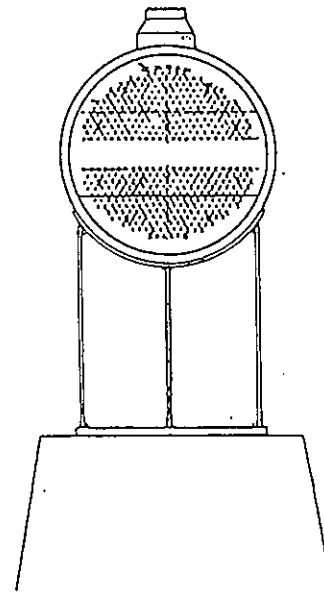




 : 隙 間 部

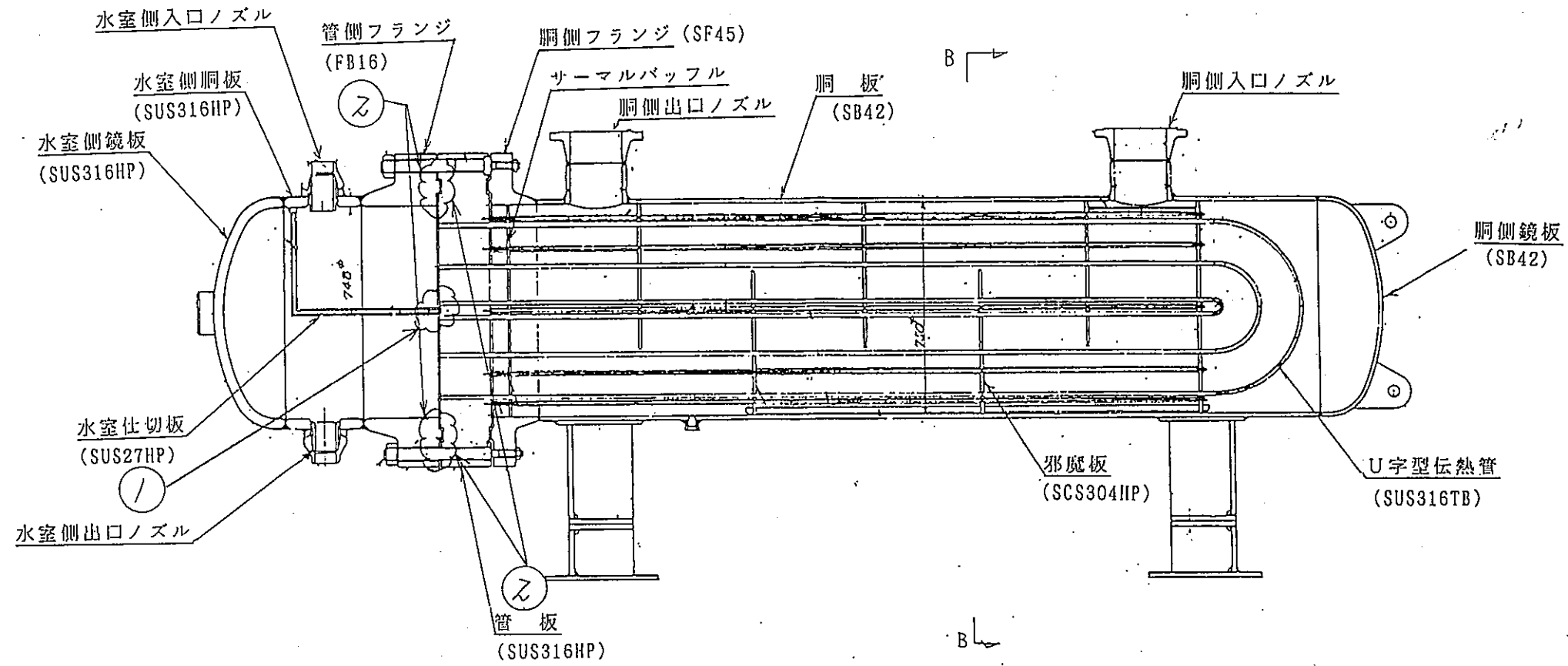


矢視A-A

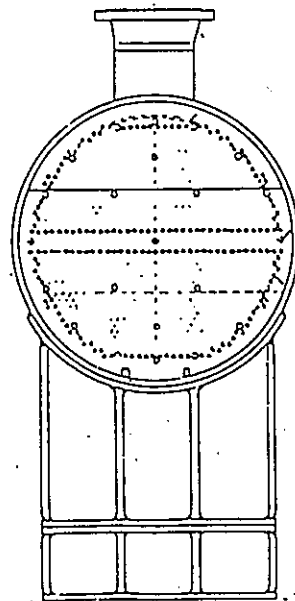


矢視B-B

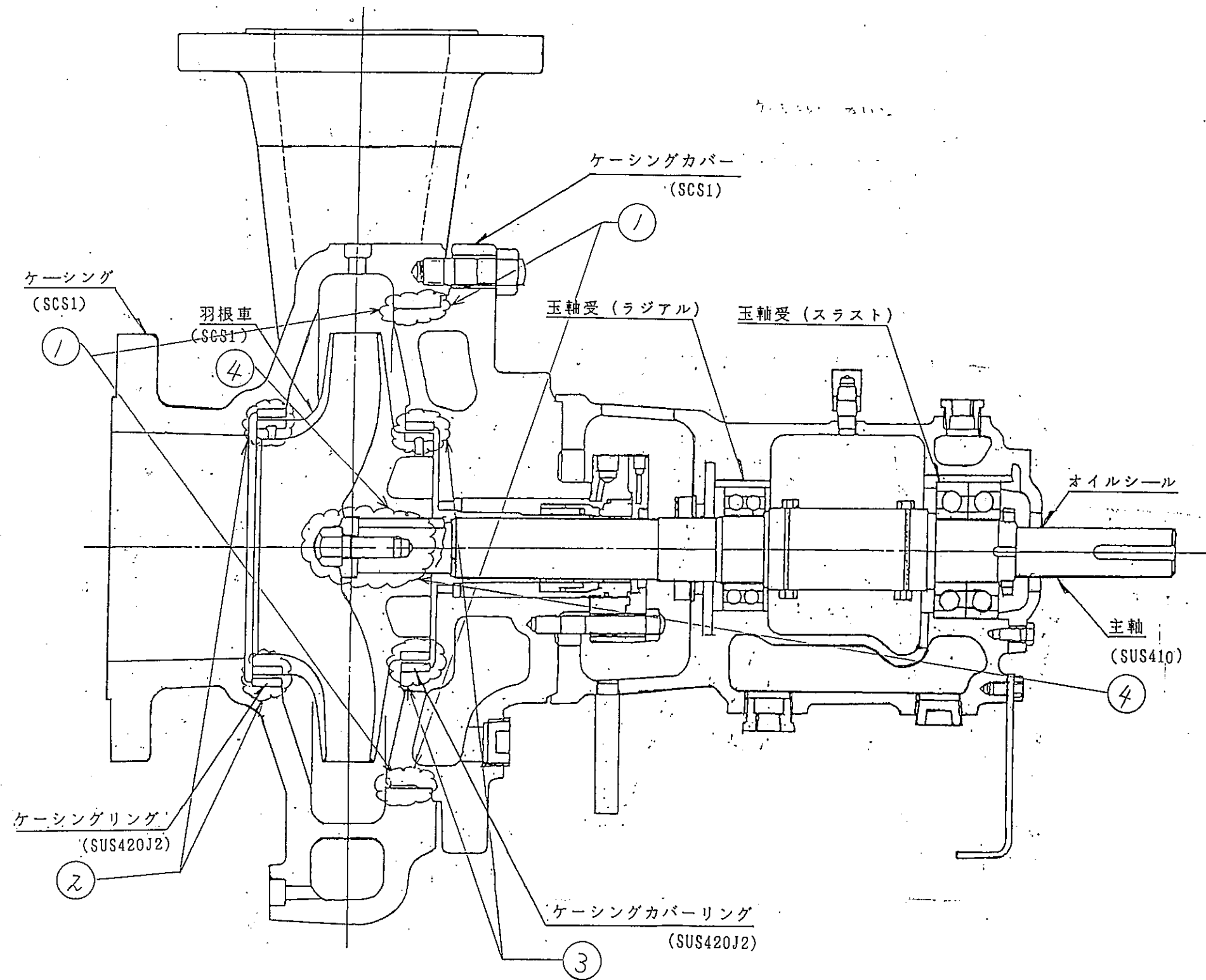
☁ : 隙間部



B-B矢視

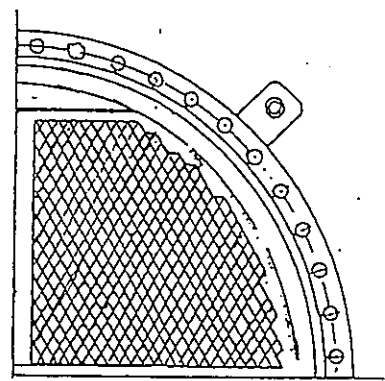
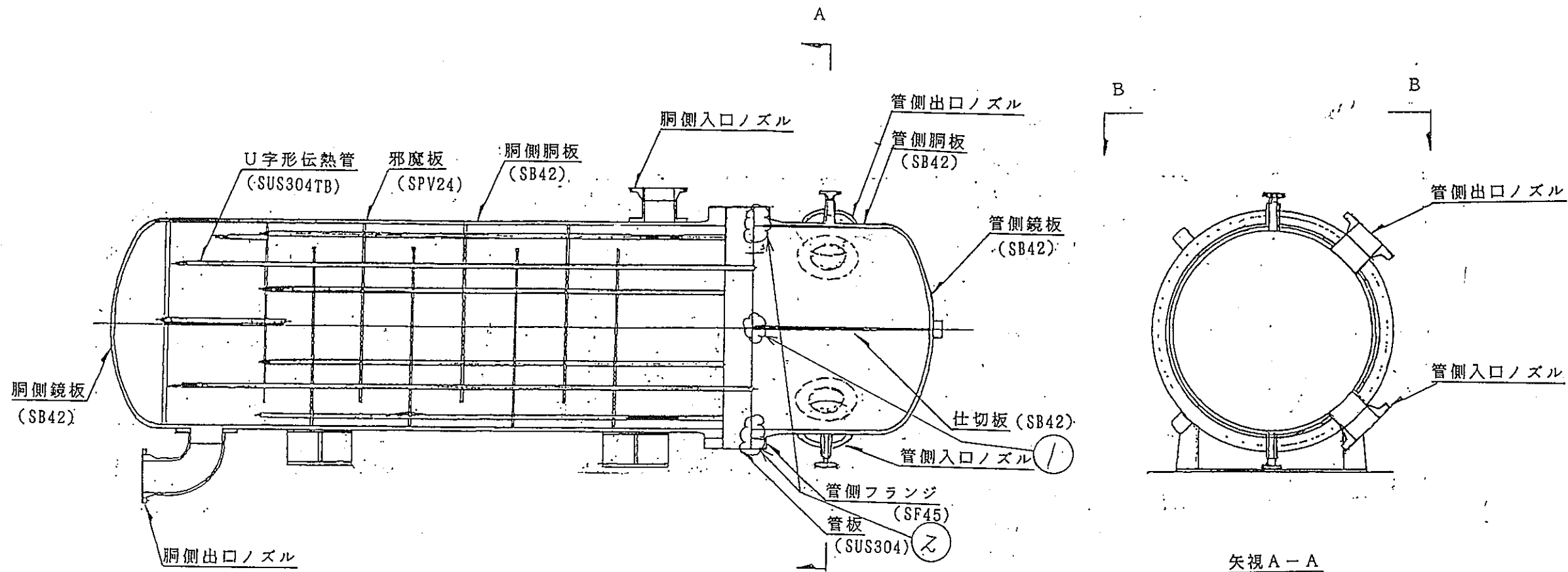


☼ : 隙間部

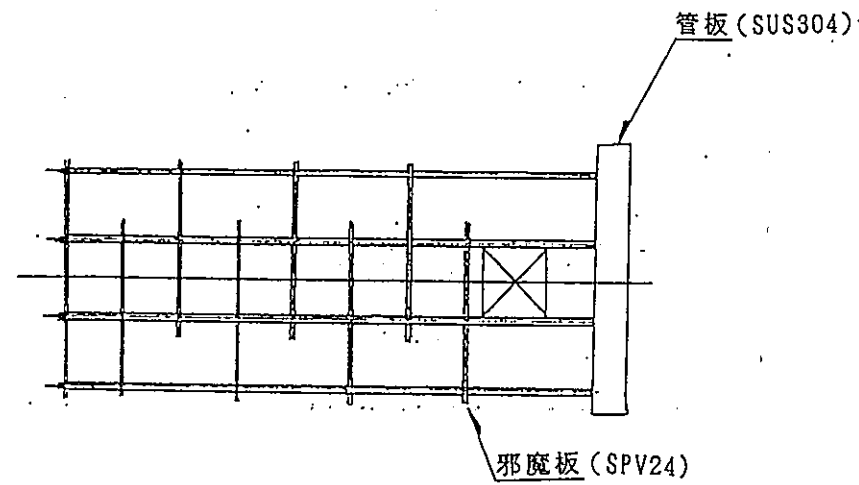


☁ : 隙間部

図 2 - 1 2 . 余熱除去ポンプ -18-



伝熱管配列図



管束組立図  
(矢視 B-B)

: 隙間部



新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料－3 除染剤の選定理由

平成元年6月

## 目 次

	頁
3 - 1 . 検討項目 .....	1
3 - 2 . 検討結果 .....	1
3 - 3 . 総合評価 .....	3



除染剤の選定に当たっては、昭和55年までに公表されていた文献、除染メーカーの技術資料等の情報を基にして検討した。

### 3-1. 検討項目

除染剤を選定するための主な評価項目は、除染性能、材料健全性、施工、廃液処理等である。

評価の対象は、昭和55年現在市販されていた、London Nuclear Technology (以下「LNT」と略す)のLND-101、Dow Chemical Company (以下「Dow Chemical」と略す)のNS-1、栗田工業株式会社 (以下「栗田工業」と略す)のクリデコン203、Turco Products Company (以下「Turco」と略す)のTD-4521の各除染剤とした。

参考までに、近年実績の多い英国中央電力庁 (以下「CEGB」と略す)が開発したLOMI法と、Pacific Nuclear Services社のCitrox法をつけ加えた。

### 3-2. 検討結果

主要項目の結果は、次のとおりである。(表3-1参照)

#### (1) 除染性能

希薄液除染のLND-101、クリデコン203、LOMI、Citroxの除染性能はDF10前後で、濃厚液除染のNS-1やTD-4521に比べるとマイルドな除染剤である。

DFについての優劣は、次のとおりである。

NS-1≒TD-4521>LND-101≒LOMI≒Citrox≒クリデコン203

「ふげん」の系統除染の目標値であるDF2以上を考慮した場合、いずれの除染剤でも達成できると考えられる。

## (2) 構造材の保護

除染による構造材の腐食損傷はできる限り低いことが望ましい。

一般に除染性能と構造材の腐食損傷とは相反する関係にあり、除染性能が高い薬剤を使用すれば腐食損傷は高まる傾向にあると思われる。これは除染剤のpHからもうかがえ、これらのデータからみると、材料健全性確保の立場から優劣は次のとおりである。

クリデコン203>LND-101≒LOMI≒Citrox≒TD-4521>NS-1

## (3) 施工及び廃液処理性

クリデコン203やLND-101, LOMI, Citroxのような希薄液除染では、一回の除染に使用する薬剤量が少ないため薬注及び廃液受入の諸設備が少ないか若しくは小規模で済む。また、発生する廃棄物量も少ない。

一方、NS-1のような濃厚液除染では、使用する薬剤量が多いため廃液発生量（廃液原液＋水洗廃液）が希薄液より多くなり大規模な廃液処理設備が必要で、廃棄物発生量も多い。

これらのことから、除染及び廃液処理に係わる作業量は、濃厚液除染より希薄液除染の方が少なく、施工についても後者の方が簡易である。以上より各除染剤の優劣は次のようになる。

LND-101≒クリデコン203≒Citrox>LOMI>NS-1≒TD-4521

## (4) 除染剤の実機適用実績

6社の中で系統除染の実績を有するのは、LND-101, LOMI, Citrox, TD-4521である。NS-1は単体機器の除染実績に限られ、クリデコン203には実績がない。

したがって、除染実績の順序は次のようになる。

LND-101 ≒TD-4521 ≒LOMI≒Citrox>NS-1>クリデコン203

### 3-3. 総合評価

以上の評価項目の中で、最重点項目は構造材の保護にあると考える。

また、施工面から除染に係わる廃棄物発生量はできるだけ少ない方が良く、除染法としては希薄液法が望ましいといえる。これらのことから、検討した除染剤のなかで第一候補の除染剤としてクリデコン203を選定した。

近年実用され、実績の多いLOMI法やCitrox法は、これら評価対象にした除染剤と比べたが、表3-1及び表3-2に示すように構造材の保護の観点からはクリデコン203の優位性は変わらないものと考ええる。

表 3 - 1 除染剤の性能比較

メーカー		LNT	Dow Chemical 社	栗田工業	Turco 社	CEGB	PNS 社
除染剤 (形態)		LND-101 (粉体)	NS-1 (液体)	KD203 (液体)	TD4521 (粉体)	LOMI (液体+粉体)	Citrox (粉体)
成分		EDTA, しゅう酸 クエン酸	キレート剤, 金属塩	キレート剤, 還元剤	しゅう酸, クエン酸	V <sup>2+</sup> , ギ酸, ピコリン酸	しゅう酸, クエン酸
除染条件	濃度	0.1% (希薄)	7% (濃厚)	0.1% (希薄)	6% (濃厚)	5×10 <sup>-3</sup> M (希薄)	0.25% (希薄)
	温度 時間 pH	70~135℃ 24 Hr 2.5	120~130℃ 100 Hr 3.6	90~120℃ 24 Hr 5	85℃ 2 Hr 4	80~90℃ 4~5 Hr 4.5	90~95℃ 24 Hr ——
除染性能 (DF)		2~40	50~1000	2~10	10~1000	2~35	2~20
除染用設備 の構成要素		薬注装置, 加熱部, 循環系, フィルター, イオン交換樹脂	薬注装置, 加熱部, 循環装置, 逆浸透装置, フィルター イオン交換樹脂	薬注装置, 加熱部, 循環系, フィルター, イオン交換樹脂	——	薬注装置, 加熱部, 循環系, イオン交換樹脂	薬注装置, 加熱部, 循環系, イオン交換樹脂
腐食量	SUS304	0.7	< 3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	SUS440 炭素鋼 (μm)	0.2 (SUS 410) 2.5	< 3 < 30	0.1 1.1	2.0 0.2	1.0 8.2	2.0 2.5
廃液処理		除染廃液はイオン交換樹脂により行うので, 廃棄物は固体が主体。	除染廃液は逆浸透法と蒸発濃縮法により濃縮し, プラスチック固化。水洗廃液はイオン交換樹脂で処理。	LND-101の場合に類似。	NS-1の場合に類似。	LND-101の場合に類似。廃樹脂量はLND-101, KD203より多い。	LND-101の場合に類似。
その他		インヒビタなし 熱分解 ~150℃	インヒビタあり 熱分解 ~150℃	インヒビタあり 熱分解 ~150℃	インヒビタあり 熱分解 ~150℃	インヒビタなし 熱分解 ~150℃	インヒビタなし 熱分解 ~150℃

表 3 - 2 除染剤比較の総合評価

	KD203	LND-101	NS-1	LOMI (参考)	Citrox (参考)
除染性能 (DF値)	○	○	◎	○	○
材料健全性 (腐食量)	◎	○	△	○	○
廃液処理	○	○	△	○	○
施工面	◎	◎	△	○	◎
総合評価	◎	○	△	○	○
備 考	長 所	①薬品濃度が低く防食剤を含んでいるため、構成材の腐食が少ない。 ②廃液量が少ない ③一液法であるため操作が簡単である。	①構造材の腐食が少ない。 ②廃液量が少ない ③除染剤が再生して使える。 ④一液法であるため操作が簡単である。	①高い除染係数が得られる。 ②クラッドは金属イオンとして溶解するため、フィルターの廃棄物量が少ない。	①除染温度が低く反応時間が短い ② クラッドは金属イオンとして溶解するため、フィルターの廃棄物量が少ない
	短 所	①クロムが含まれるクラッドは除染しにくい。	①クロムが含まれるクラッドは除染しにくい。	①除染時間が比較的長い。 ②廃液処理を別途行う必要がある ③廃液量が多く、貯蔵タンクなどにコストがかかる。	①薬剤は酸化され易いため、施工が複雑。 ②除染剤のコストが高い。

◎：良      ○：ふつう      △：やや不良

## 先行炉の実績例

## 参-1 CAN-DECON 法

## 1. 開発

1970年代初期にCANDU 炉の系統除染用として開発された。希薄液除染法のルーツで、除染中、除染液を陽イオン交換樹脂に通液して、常時除染液を再生しながら除染することを特徴とする方法である。

## 2. 実績

CANDU 炉は勿論、米国BWR においても実績は多い。SCC 問題により1985年以降の適用例は少ない。

## 3. 適用例

- ① 対象炉 : バーモント ヤンキー炉
- ② 実施時期 : 1983年10月
- ③ 除染範囲 : 原子炉再循環系 (再循環ポンプと前後の配管)
- ④ 対象水量 : 40m<sup>3</sup>
- ⑤ 除染条件 : LND-101 0.1% 120 °C ~24時間
- ⑥ 除染結果 : 放射能除去量 108 Ci (94.5 Ci as Co-60)  
クラッド除去量 15 kg asクラッド  
DF 平均7.6 (マンレムセービング 2000 ~ 2500 人・レム)
- ⑦ 廃棄物発生量 : 1.2 m<sup>3</sup> as イオン交換樹脂
- ⑧ 再汚染 : 1979年に初めてCAN-DECON を適用 (DF 15~20) したが、以降の再汚染速度は小さい。(図-1 参照)

## 参-2 NS-1法

## 1. 開発

ドレスデン1号炉(BWR) の一次系全体を除染するために開発された

インヒビタを含む7%濃度の除染剤。

## 2. 実績

ドレスデン1号炉を除染した後は、10倍希釈液のNS-1(dilute)の実績が多い。

## 3. 適用例

- ① 対象炉 : ドレスデン1号炉(BWR全体除染の最初の例)
- ② 実施時期 : 1984年 9月
- ③ 除染範囲 : 余熱除去系を除く一次系全体
- ④ 対象水量 : 312m<sup>3</sup>
- ⑤ 除染条件 : NS-1 7%(PH 3.8) 平均125 °C 100時間
- ⑥ 除染結果 : 放射能除去量 779 Ci as Co-60  
クラッド除去量 295 kg a  
DF 46~175
- ⑦ 廃液処理 : 原液 蒸発濃縮→プラスチック固化  
水洗水 イオン交換樹脂で処理

## 参-3 LOMI法

### 1. 開発

Winfrith SGHWR(沸騰軽水冷却重水減速圧力管型原子炉 100MW。)は1968年から運転され、1971年から1980年までは毎年片ループづつターコデコン4521(CITROX系)で除染されてきた。しかし、SUS 410の腐食が大きく、1979年に許容値の50%にまで達した。そのため低腐食で溶解力の強いLOMI法(V<sup>2+</sup>による強力還元性の除染剤)が開発された。

### 2. 実績

SGHWRでは1980年以降、毎年のシャットダウンの際にLOMI法で系統除染が実施されている。また、BWRの除染では主流の一つになってきている。

### 3. 適用例

- ① 対象炉 : SGHWR

- ② 実施時期 : 1980年 5月
- ③ 除染範囲 : 原子炉冷却系 2 系統のうち片ループ全体 (燃料込み)
- ④ 除染条件 : LOMI  $12 \times 10^{-3} \text{mol}$
- ⑤ 除染結果 : 放射能除去量 126 Ci as Co-60  
DF 1.5  
除染中の腐食量は、耐食合金で  $<1 \mu\text{m}$  (参考として炭素鋼では、 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ ) であった。  
(表 - 1 参照)
- ⑥ マンレムセービング : 1980年以降、平均 150~200 人・レム/年、ターコデコン4521による除染の頃に比べ約40%の低減化
- ⑦ 再汚染 : 除染による再汚染速度の増加は現れていない。  
(図 - 2 参照)

#### 参 - 4 PNS CITROX法

##### 1. 開発

本方法は希薄液法であるが、従来法以上に高いDFを得るために酸化処理との組合せによる多段階処理を原則としており、1980年代前半に開発されている。

##### 2. 実績

1984年以降、米国BWRで実績が多く、1984~1985年で米国で行われた一次系除染の40%が本方法で実施されている。

##### 3. 適用例

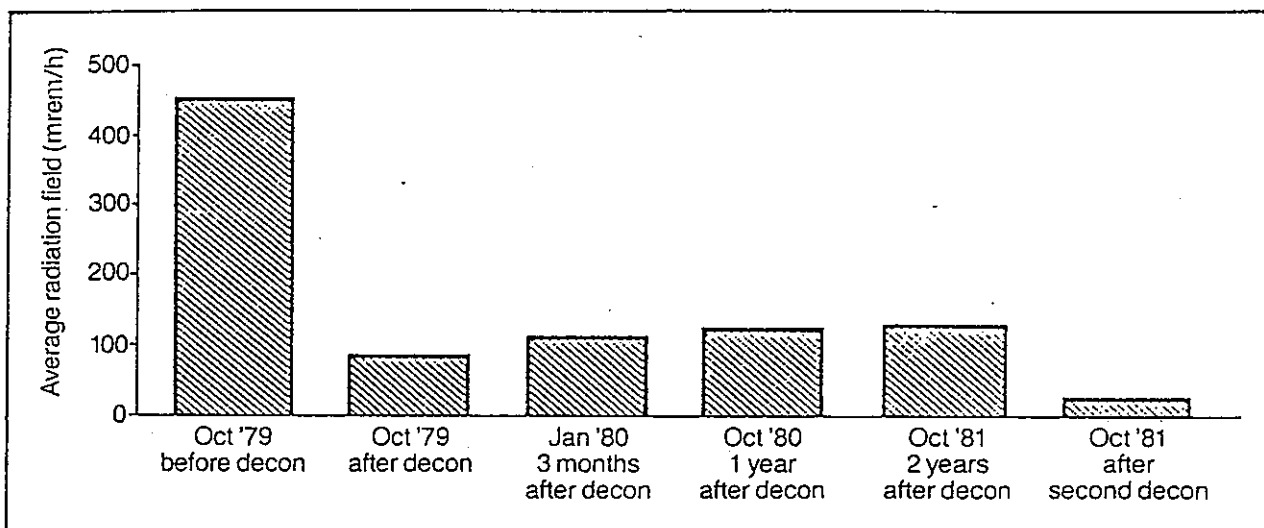
- ① 対象炉 : バーモントヤンキー (BWR)
- ② 実施時期 : 1985年
- ③ 除染範囲 : 原子炉再循環系
- ④ 除染条件 : シトロックス 0.25% 90~95°C 8~12時間  
AP 0.1% / Remcon 0.1% 95°C 10時間



- ⑤ 除染結果 : DF 1.2~20 平均 5~6  
除染中の腐食は小さく問題ない。
- ⑥ 廃棄物発生量 : 1.8 m<sup>3</sup> as イオン交換樹脂  
400 ℓ as フィルター
- ⑦ フォロー : 鋭敏化SUS 304 の曲げ試験片を除染後BWR 条件下に浸し、観察した結果、IGA, SCC 等有害な影響は認められなかった。

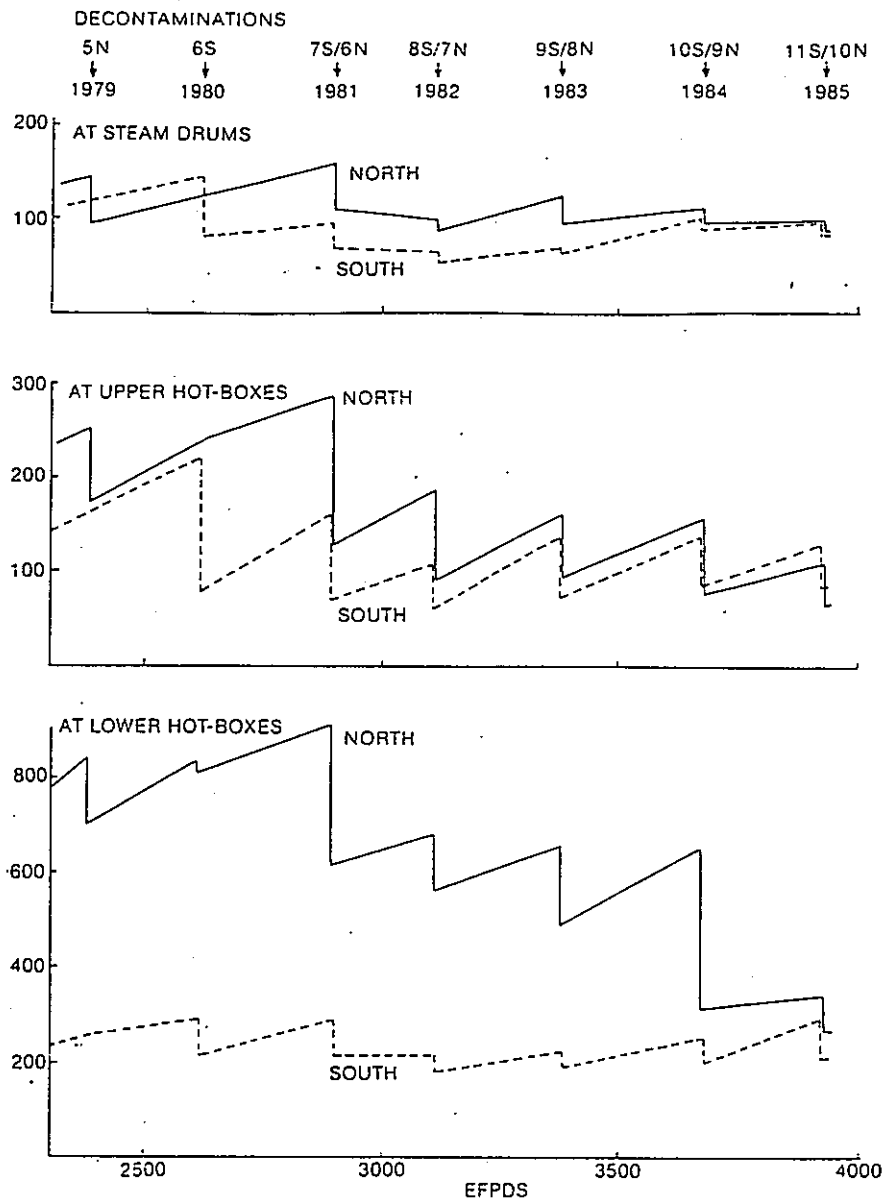
表-1 LOMI法による除染中の腐食調査結果 (SGHWR)

	AVERAGE THINNING FROM WEIGHT LOSS μm	
	10S-LOMI	9N-NP/LOMI
Plain stainless iron (410)	< 1	< 1
410 welded to 321 st. steel	< 1	< 1
410 explosively welded to Zr 2	< 1	< 1
Plain carbon steel	25	35
Carbon steel welded to carbon steel	25	34
Carbon steel welded to st. steel	22	28
Stainless steel welded to st. steel	< 1	< 1
Inconel 600 (PWR material)	< 1	1
Incoloy 800 (PWR material)	< 1	< 1



- 注) ① Oct '79 の除染後、再汚染の進行は低く、再汚染性に及ぼす除染の悪影響はみられていない。  
 ② Oct '81 に2回目の除染を行っているが、Oct '79 に比べて除染性が悪化している様子はない。

図-1 バーモントヤンキー (BWR) におけるCUW系の再汚染性



注) 除染後、再汚染速度が高まるような傾向はなく、再汚染性に及ぼす除染の悪影響はされていない。

図-2 S G H W R 循環系の線量率の推移



新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料－4 材料健全性確認試験

平成元年6月

## 目 次

	頁
4 - 1 . 試 驗 方 法 .....	2
4 - 2 . 試 驗 結 果 .....	2
4 - 3 . 評 價 .....	6

系統除染をする場合、機器・配管の構成材の健全性に及ぼす除染の影響を調べ、その程度を評価しておく必要がある。

一連の材料健全性試験を行うに当たって、系統を構成する材料の種類や使用状態（資料－２参照）を調べ、その結果を基に、次の各試験を計画した。

- ① 全面腐食試験
- ② 溶接部腐食試験
- ③ 異種材接触腐食試験
- ④ 応力腐食割れ（ＳＣＣ）試験
- ⑤ 水素遅れ割れ（ＤＨＣ）試験
- ⑥ ロールドジョイント部の腐食試験

これらの試験は、材料に及ぼす除染の影響を除染中と除染後に区別して、表４－１（７頁参照）に示すような内容で実施した。

除染中の材料腐食の許容目安を次の通りとした。

腐食量	：ステンレス鋼	≦	1 μm
	：炭素鋼	≦	10 μm

腐食形態：ＳＣＣを発生しないことは勿論、粒界腐食等不均一な腐食をしないこと。

また、除染後の残留除染液による材料腐食については、脱塩水での結果と同等であることとした。



## 4 - 1 . 試験方法

### (1) 試験片

前記の各種試験に用いた試験片の材料と形状・寸法は表 4 - 2 (8 頁参照) に示すとおりである。

### (2) 試験方法

100℃未満の温度ではビーカー試験、また100℃以上の温度ではオートクレーブ試験により行った。試験の概略は図 4 - 1 ~ 図 4 - 7 (26~32頁参照) に示すとおりである。

各種試験の条件は表 4 - 1 (7 頁参照) に示す範囲とした。

### (3) 調査項目とその要領

各試験における試験後の試験片及び試験体について、表 4 - 3 及び表 4 - 4 (9, 10頁参照) に示すとおり調査した。

## 4 - 2 . 試験結果

### (1) 除染中の腐食

#### ① 全面腐食

イ. SUS440Cと炭素鋼の腐食が大きい傾向にある。SUS440Cは130℃を、炭素鋼は120℃を越えると腐食が増加する傾向にある。(表 4 - 5, 図 4 - 8 参照: 11, 12, 33頁参照)

ロ. これら両材の腐食は時間に対して比例関係にある。

(図 4 - 9 : 33頁参照)

ハ. その他の材料では浸漬法は勿論、加流速の条件でも腐食の増加はほとんど認められなかった。(表 4 - 6 : 13頁参照)

## ② 溶接部腐食

イ. SUS304+STPT42の溶接部等いずれの場合でも、全面腐食試験の結果に比べ腐食量にほとんど差異はなかった。

(表-7, 8:14,15頁参照)

ロ. 腐食の形態についても粒界腐食のような異常腐食は認められなかった。

## ③ 異種材接触腐食

イ. SUS403Mod+Zr-2.5%Nbの異種材接触等いずれの場合でも、各材料の全面腐食試験の結果に比べ腐食量に差異はなかった。

(表4-9, 10:16,17頁参照)

ロ. 腐食の形態についても異常は認められなかった。

## ④ SCC

イ. 配管及び圧力管で引張応力がかかっている箇所を模擬して、Uベント法で試験した。その結果、SUS304鋭敏化材、SUS403Mod等いずれの材料にもSCCの発生は見られなかった。

(写真4-1, 2:37,38頁参照)

ロ. 欠陥部を想定して、亀裂入りの試験片を用いSSRT法で試験した。その結果、除染上限温度の130℃でSCCの発生は見られなかった。また、その他の材料の機械的なデータも脱塩水での結果と変わりなかった。(表4-11:18頁参照)

ハ. 健全部、隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験した。その結果、いずれの場合も破断時間が短くなる傾向はなかった。(表4-12:19頁参照)

## (2) 除染後の腐食（残留除染液の影響）

### ① 全面腐食

残留模擬除染液（クリデコン203，10ppm）の炉水温度条件下での腐食性は、脱塩水の場合と同等若しくはそれ以下であった。

（表4-13：20頁参照）

### ② 溶接部腐食

イ．溶接部を有する試験片の腐食性は、全面腐食試験の結果と変わりなかった。（表4-13：20頁参照）

ロ．溶接熱影響部の異常腐食（加速若しくは局部腐食）は認められなかった。

### ③ 異種材接触腐食

イ．異種材をボルト締めによって圧着した状態の試験片を用いて調べたが、この場合も全面腐食試験の結果とほとんど変わりなかった。（表4-13：20頁参照）

ロ．異種材の接触で発生しうるガルバニック腐食はなかった。

### ④ SCC

イ．（除染+運転）のサイクルを15回くり返す方法によりCBB法で調べた。SUS304鋭敏化材とSUS403ModでSCCの発生は勿論、粒界腐食の徴候も認められなかった。この結果は、脱塩水での結果と変わりなかった。

（写真4-3，4：39，40頁参照）

ロ．健全部，隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験した。その結果、いずれの場合も残留除染液の破断時間に及ぼす有意な影響はなかった。（表4-14，15：21，22頁参照）

(3) 除染後の腐食（除染表面の炉水中でのアフターエフェクト）

① 鋭敏化SUS304（SSRT法）

イ. 除染によって露出された構成材の表面が再び炉水に接触した場合、SCC感受性が高まるようなことはないかをSSRT法で調べた。

ロ. SCC破面率は除染条件が80℃と130℃のどちらでも、除染しない場合と変わりなかった。

（表4-16，図4-10：23,34頁参照）

ハ. 金属の強度や延性をみる最大荷重，伸び量及び断面収縮率を合わせて調べたが除染の有無で有意差はなかった。

（表4-16，図4-11～13：23,34,35頁参照）

② ロールドジョイント部の耐久性

イ. 高温高圧運転及び除染中に試験体の破損及び流体の漏えいは一切生じなかった。

ロ. ロールドジョイント部の内視鏡による内面検査を行った結果、何ら異常は認められなかった。

ハ. ヘリウムリーク試験の結果、ロールドジョイント部の、気密性に異常は認められなかった。（表4-17：24頁参照）

ニ. 除染による損傷の有無を超音波探傷試験した結果、ロールドジョイント部の内面に欠陥は検出されなかった。

ホ. ロールドジョイント部の隙間について電気化学的な腐食測定法を行い、その腐食量は十分に小さいことが確かめられた。

（表4-18：25頁参照）

ヘ. 解体検査後の金相試験検査に異常は認められなかった。

また、水素ガス分析結果は、12.5～14.7ppmであり、これは、圧力管の購入時の仕様範囲25ppm以下であり、特に問題はなかった。

③ Zr-2.5%Nb (SSRT法)

水素を吸蔵した圧力管材Zr-2.5%Nbを用いて、除染による影響を調べた。その結果、除染の有無で最大荷重に差異はなかった。(図4-14:36頁参照)

4-3. 評価

除染中の腐食性、残留除染液の影響、除染後の材料表面への影響、ロールジョイント部に対する影響等、除染に係わる種々の想定条件を設定して材料健全性の確認試験を行った。

いずれの場合の試験でも、除染及び除染剤の影響は認められずクリデコン203による除染の悪影響はないと判断する。

表4-1 材料健全性評価試験の概要

区分	目的	試験方法と試験条件
除染中における材料健全性の確認	A	<p>クリデコン203による除染時に発生する腐食に及ぼす温度、時間、除染剤濃度、除染液流速等の影響を調査する。</p> <p>(1) 試験方法 全面腐食量, 異種材接触腐食量, 溶接部腐食量の測定</p> <p>(2) 試験片 接液部構成材料13種類(SUS304, SUS316, STPT42等)</p> <p>(3) 試験条件            温度 : 50~180℃            試験時間 : 24~100時間            除染剤濃度 : 0.025~10%            除染液流速 : 0~4 m/s</p>
	B	<p>SCCおよびDMC感受性に及ぼす除染剤の影響を調査する。</p> <p>(1) 試験方法 Uベンド法, 低歪速度引張試験(SSRT)法, 単軸定荷重引張試験(UCLT)法</p> <p>(2) 試験片 Uベンド法: 鋭敏化SUS304, SUS403Mod等6種類 UCLT法, SSRT法: 鋭敏化SUS304(すき間付試験片, 人工欠陥付試験片を含む), 水素富化Zr-2.5%Nb</p> <p>(3) 試験条件            温度 : 90~130℃            除染剤濃度 : 0~0.1%            溶存酸素濃度: 20 ppb ~ 8 ppm            歪速度 : <math>4.2 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}</math>, <math>8.3 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}</math></p>
除染後における材料健全性の確認	C	<p>除染対象系統内に除染剤が残留したことを想定し、残留除染液による材料腐食(SCC, DMCを含む)への影響を調査する。</p> <p>(1) 試験方法 全面腐食量, 異種材接触腐食量, 溶接部腐食量の測定, 低歪速度引張試験(SSRT)法, 単軸定荷重引張試験(UCLT)法, すき間付与試験(CBB)</p> <p>(2) 試験片 全面腐食量, 異種材接触腐食量, 溶接部腐食量の測定: 接液部構成材料13種類(SUS304, SUS316, STPT42等) UCLT法: 鋭敏化SUS304(すき間付試験片, 人工欠陥付試験片を含む), SSRT法: 水素富化Zr-2.5%Nb CBB法: 鋭敏化SUS304, SUS403Mod</p> <p>(3) 試験条件            温度 : 150~285℃            除染剤濃度 : 0.1~10 ppm            試験時間 : 最大600時間            歪速度 : <math>4.2 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}</math></p>
	D	<p>除染による溶接熱影響部のSCC感受性の変化の有無を確認する。</p> <p>(1) 試験方法 低歪速度引張試験(SSRT)法</p> <p>(2) 試験片 SSRT法: 鋭敏化SUS304 水素富化Zr-2.5%Nb</p> <p>(3) 試験条件            温度 : 280℃            除染剤濃度 : 0%            溶存酸素濃度: 20 ppb ~ 1 ppm            歪速度 : <math>4.2 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}</math>, <math>8.3 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}</math></p>
	<p>ロールジョイント部の健全性に及ぼす除染の影響の有無を確認する。</p> <p>(1) 試験方法 実機を模擬した短尺試験体を用いたモックアップ試験</p> <p>(2) 試験体 実機ロールジョイント部と同様の条件で制作された短尺試験体</p> <p>(3) 試験条件 除染(90~120℃)2時間+原子炉運転状態模擬環境(285℃)1か月のサイクルを10回繰り返した。</p>	

表 4 - 2 試験片 (試験体) の概要

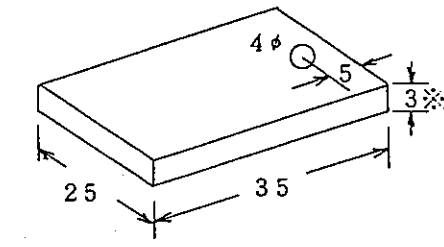
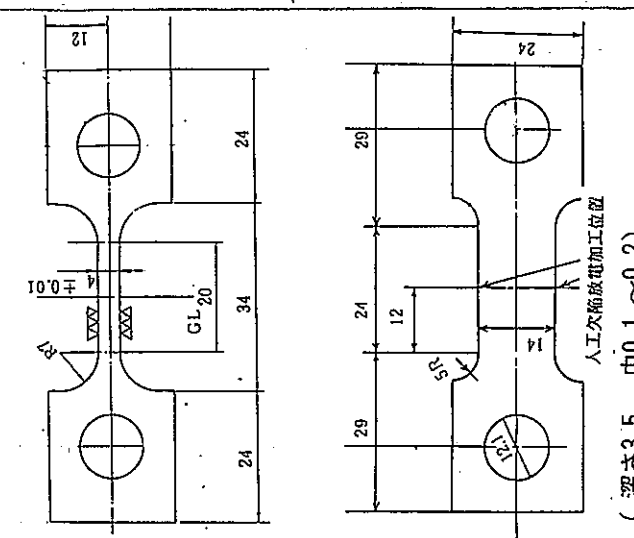
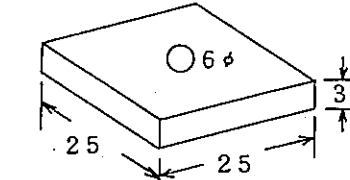
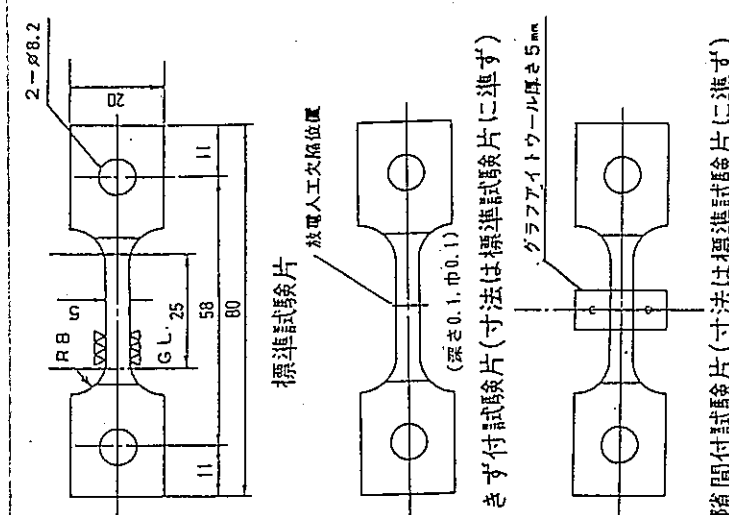
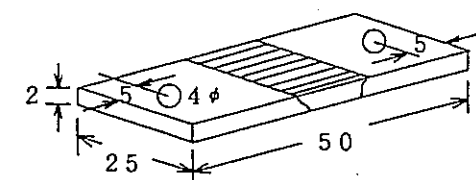
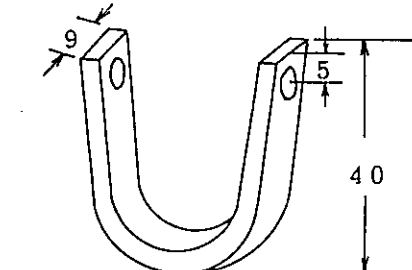
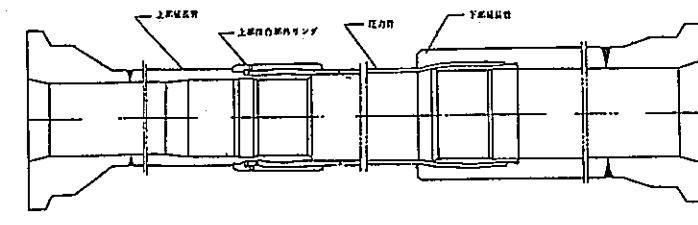
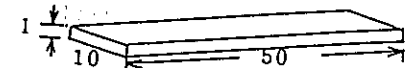
分類	材 質	試験片の形状・大きさ (mm)	分類	材 質	試験片 (試験体) の形状・大きさ (mm)
全面腐食試験	SUS304	 <p>※ Zircaloy-2 : 2 mm</p>	応力腐食割れ試験 (SSRT試験) 水素遅れ割れ 試験 (SSRT試験)	鋭敏化SUS304 (650°C, 2hr)  水素富化Zr-2.5Nb (450°C, 約6hr)	 <p>(深さ3.5, 巾0.1~0.2)</p>
	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr)				
	SCS13				
	SUS403Mod				
	SUS440C				
	SUS630				
	Zr-2.5Nb				
	Zircaloy-2				
	Ti-6Al-4V				
	INCONEL 718				
STPT42					
異種材質 接触腐食試験	SUS403Mod + Zr-2.5Nb		応力腐食割れ試験 (UCLT法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr)	 <p>標準試験片 (寸法は標準試験片に準ず)                      (深さ0.1, 巾0.1)                      グラスファイバー厚さ5mm                      隙間付試験片 (寸法は標準試験片に準ず)</p>
	SUS403Mod + Ti-6Al-4V				
	SUS403Mod + SUS440C				
	Zr-2.5Nb + SUS630				
	SUS630 + Ti-6Al-4V				
溶接部腐食試験	SUS304 - SUS304				
	STPT42 - SUS304				
	STPT38 - STPT38				
応力腐食割れ試験 (Uバンド法)	SUS304/ 鋭敏化SUS304		ロールドジョイント部 の耐久試験	Zr-2.5Nb + SUS403Mod	 <p>上部                      ロールドジョイント                      下部                      ロールドジョイント                      グレイロック                      クランプ部</p>
	SUS403Mod				
	SUS630				
	Zr-2.5Nb				
	Zircaloy-2				
Ti-6Al-4V					
応力腐食割れ試験 (CBB法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr)				グレイロック クランプ部  全長:1500 外径: ロールドジョイント部で142
	SUS403Mod				

表 4 - 3 各種腐食試験での調査項目とその要領

腐食量		試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。 なお、腐食量の表示(mg)は天秤精度を考慮し、1mgを下限值とし、単位面積あたりの表示(mg/cm <sup>2</sup> )も1mg/試験片表面積cm <sup>2</sup> (およそ0.05mg/cm <sup>2</sup> )下限とした。
検鏡	Uバンド法 CBB法	金属顕微鏡により、試験片の断面を観察し、試験前後の表面部の組織粒界の状態を比較した。 代表的な箇所を400倍で写真撮影した。
	SSRT法	試験片の破断面を走査電子顕微鏡で観察し、SCC破面率とSCC破面率と断面収縮率を求めた。
その他	SSRT法	SSRT試験の記録から試験片が破断するまでの荷重データと試験片の伸び量などから最大応力値、破断歪量を求めた。
	UCLT法	UCL試験の記録紙から、試験片が破断するまでの時間を求めた。

注)

SSRT試験で調べたデータは各々下記のようにして求めた。

破断歪量	$\frac{\epsilon - \epsilon^{SCC}}{\epsilon} \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 (\%)$
最大応力値	$\frac{\sigma_{MAX} - \sigma_{MAX}^{SCC}}{\sigma_{MAX}}, \sigma_{MAX}^{SCC}$
断面収縮率	$\frac{A_0 - A^{SCC}}{A_0} \times 100 (\%)$
SCC破面率	$\frac{A_{SCC}}{A^{SCC}} \times 100 (\%)$

- $\epsilon$  : 腐食が作用しない場合の破断歪量
- $\epsilon^{SCC}$  : 試験時の破断歪量
- $l_0$  : 最初の試験片の長さ
- $\Delta l$  : 試験による試験片の伸び量
- $\sigma_{MAX}$  : 腐食が作用しない場合の最大応力値
- $\sigma_{MAX}^{SCC}$  : 試験時の最大応力値
- $A_0$  : 最初の試験片の断面積
- $A^{SCC}$  : 試験後の試験片の断面積
- $A_{SCC}$  : 試験後試験片のSCC破面面積
- $K_1$  : 応力拡大係数を示す



表 4 - 4 ロードジョイント部耐久試験の調査項目

内 面 検 査	内視鏡による内部観察
ヘリウムリーク試験	5 kg/cm <sup>2</sup> で 1 hr加圧, 放置してリークの調査
超音波探傷試験	除染による損傷有無の調査
腐食率測定	電気化学的測定による腐食量の測定
水素ガス分析	試験後, サンプルを切り出し, 水素ガス分析装置で分析
金属組織調査	試験後, サンプルを切り出し, 断面を光学顕微鏡で観察

表 4 - 5 全面腐食試験の結果 (浸漬 その1)

試 験 条 件		試 験 片 1 枚 あ た り の 平 均 腐 食 量	
試験片の材質	温度 (℃)	(mg)	(mg / cm <sup>2</sup> )
SUS304	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
	150	<1.0	<0.05
鋭敏化 SUS304	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
SUS316L	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	90	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
SUS403Mod	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	120	1.0	0.05
SUS440C	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	110	2.5	0.12
	120	5.4	0.26
	130	7.0	0.33
	140	31.1	1.48
	150	41.3	1.97
	160	40.4	1.92
	180	34.8	1.66
SUS630	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
SCS13	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
Zr-2.5Nb	70	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
Zircaloy 2	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
Ti-6Al-4V	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
INCONEL718	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05

クリデコン203 0.1% (pH≒5)

試験片 : 2枚 / 500 ml

時間 : 24 hrs

スターラ攪拌, N<sub>2</sub>シール環境

表 4 - 5 全面腐食試験の結果（浸漬用）その 2

試 験 条 件		試 験 片 1 枚 あ た り の 平 均 腐 食 量	
試験片の材質	温度 (°C)	(mg)	(mg / cm <sup>2</sup> )
S T P T 4 2	3 0	1 0. 6	0. 5 0
	5 0	8. 1	0. 3 9
	7 0	7. 9	0. 7 3
	9 0	3. 1	0. 1 5
	1 0 5	1 0. 9	0. 5 2
	1 2 0	1 8. 6	0. 8 8
	1 3 0	4 6. 3	2. 2 0
	1 5 0	6 5. 9	3. 1 4

クリデコン 2 0 3 0. 1 % (p H ≒ 5)  
 試験片 : 2 枚 / 5 0 0 ml  
 時 間 : 2 4 h r s  
 スターラ攪拌, N<sub>2</sub>シール環境

表 4 - 6 全面腐食試験の結果 (流速の影響)

試験片の材質		流速 (m/Sec.)	腐食	
			量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	肉厚さ ( $\mu\text{m}$ )
ステン レ ス 類	SUS 304*	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06
	炭素化 SUS 304	0	< 0.05	< 0.06
		2	0.08	0.10
		4	0.10	0.12
	SUS 403 Mod	0	0.15	0.18
		2	0.12	0.14
		4	0.12	0.14
	SCS 13	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06
その 他 の 合 金	ジルカロイ 2	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06
	ステライト No 6	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06

試験条件：クリデコン 203 0.1%

試験片 1 枚 (57cm) / 500ml

130°C, 48 hr, 加流送法

N<sub>2</sub> シール環境

表 4 - 7 溶接部腐食試験の結果 ( 9 0 ° C )

材 質	試験片 1 枚当り平均腐食量	
	mg	mg / cm <sup>2</sup>
SUS304~SUS304	1.0 >	0.05 >
SUS304	15.3	—
STPT42		1.2 ※
STPT38~STPT38	18.3	0.65

クリデコン203 : 0.2%

試験片 : 2枚 / 1000 ml

温 度 : 90℃

時 間 : 100 hrs

スターラ 攪拌 , N<sub>2</sub>シール環境

※ STPT42のみの表面積 ( 12.3 cm<sup>2</sup> ) を用いて計算

表 4 - 8 溶接部腐食試験の結果 (100℃以上)

試験片の材質		温度 (°C)	試験片	
			腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )	減肉厚さ (μm)
異 種 材 溶 接	SUS304	110	—	—
	STPT42		4.24 *1	5.43
	SUS304	130	—	—
	STPT42		5.78 *1 (4.13) *2	7.41 *2 (5.16) *2
同 一 材 溶 接	SUS304~SUS304	130	<0.05	<0.06
	STPT42~STPT42	130	2.69	3.45

試験条件：クリデコン203 0.1%

試験片2枚(56cm<sup>2</sup>)/500ml

110℃または130℃, 48hr, 浸漬法。

N<sub>2</sub> シール環境

\*1 STPT42のみの表面積(12.3cm<sup>2</sup>)  
を用いて計算。

\*2 130℃, 24hr

表 4 - 9 異種材の接触腐食試験の結果 ( 9 0 ° C )

材 質	試験片 1 枚当り平均腐食量	
	mg	mg / cm <sup>2</sup> *1
SUS403Mod	1.7	0.22
Zr-2.5Nb	1.0>	0.15>
SUS403Mod	1.5	0.19
Ti-6Al-4V	1.0>	-
SUS403Mod	1.0>	0.15>
SUS440C	9.1	1.17
Zr-2.5Nb	1.0>	0.15>
SUS630	1.0>	0.15>
SUS630	1.0	0.15>
Ti-6Al-4V	1.0>	0.15>

クリデコン203、0.2% (pH≒5)

試験片：2組 / 1000ml

温 度：90℃

時 間：100hr

スターラ攪拌、N<sub>2</sub>シール環境

表 4 - 1 0 異種材の接触腐食試験の結果 (100℃以上)

試験片の材質	温度(℃)			比較データ 単一材の腐食量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
		腐食量* ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	浸肉厚さ ( $\mu\text{m}$ )	
SUS403Mod	110	0.11	0.14	—
Zr-2.5Nb		<0.05	<0.06	—
SUS403Mod	130	0.22	0.28	0.15
Zr-2.5Nb		<0.05	<0.06	<0.05
SUS403Mod	110	0.16	0.21	—
SUS440C		0.38	0.49	—
SUS403Mod	130	0.26	0.33	0.15
SUS440C		1.18	1.51	1.18
SUS403Mod	130	0.22	0.28	0.15
Ti-6Al-4V		<0.05	<0.06	<0.05
SUS630	130	0.05	0.06	<0.05
Ti-6Al-4V		<0.05	<0.06	<0.05
SUS630	130	0.05	0.06	<0.05
Zr-2.5Nb		<0.05	<0.06	<0.05

試験条件：クリデコン203 0.1%

試験片2組(各16 $\text{cm}^2$ )/500 $\text{ml}$

110~130℃, 48hr, 浸漬法。

$\text{N}_2$  シール環境



表 4 - 1 1 低歪速度引張試験の結果

試験片 No.	試験片材質	試験水質		試験温度 (℃)	S C C 破 面 率			破断時間 (Hr)	破 断 伸び量(%)	最大荷重・応力		断面収縮率 (%)
		DO (ppb)	KD203 濃度(%)		IGSCC (%)	TGSCC (%)	SCC (%)			(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
1	SUS304 鋭敏化材	29	-	130	0	0	0	150.0	45.00	1070	51.0	67.9
2	"	封じ込み	0.01	132	0	0	0	147.9	44.36	1114	53.0	66.8
3	"	"	0.1	130	0	0	0	131.7	39.51	1100	52.3	69.4
4	"	7950	-	131	0.39	0	0.39	143.1	42.92	1136	54.1	64.4

注) 封じ込み：試験水の初期DO濃度 約8000ppb，鋭敏化後人工欠陥を付加した。

表 4 - 1 2 鋭敏化 SUS 3 0 4 の U C L 試験結果 (除染中)

試験温度 (℃)	溶存酸素濃度 (ppb)	除染剤濃度	負荷応力 kg/mm <sup>2</sup>	試験片 形状	試 験 時 間 (Hr)						
					100	200	300	400	500	600	700
130	7850~ 8160	除染剤なし	35	隙間 ● (6.7)							
			35	隙間 ● (10.7)							
			35	標準 ● (89.8)							
			35	傷 ● (126.5)							
			35	傷 ● (97.1)							
131	5000~ 9000	KD203 0.1%	35	隙間						○ (512.0)	
			35	隙間						○ (512.0)	
			35	標準						○ (512.0)	
			35	傷						○ (512.0)	
			35	傷						○ (512.0)	
132	2~5	除染剤なし	35	隙間						○ (549.9)	
			35	隙間						○ (549.9)	
			35	標準						○ (549.9)	
			35	傷						○ (549.9)	
			35	傷						○ (549.9)	
130	2~5	KD203 0.1%	35	隙間						○ (524.9)	
			35	隙間						○ (524.9)	
			35	標準						○ (524.9)	
			35	傷						○ (524.9)	
			35	傷						○ (524.9)	

注) ● 破断、○未破断 を示す。

表4-13 残留除染液による腐食試験結果

	材 質	腐 食 量 ( $\mu\text{m}$ )		材 質	腐 食 量 ( $\mu\text{m}$ )	
全 面 腐 食	SUS304	0.31 (0.35)	溶 接 部 腐 食	SUS304/SUS304	0.13	
	SUS403Mod	0.90 (0.80)		SUS304/STPT42	0.13/0.69	
	SUS440C	0.84 (1.31)	異 種 材 接 触 腐 食	SUS403Mod	1.20	
	SUS630	0.58 (0.72)		SUS440C	1.08	
	SCS13	0.49 (0.77)		SUS403Mod	1.29	
	Zr-2.5Nb	0.18 (0.13)		Zr-2.5Nb	0.27	
	ジルカロイ2	0.10 (0.04)		SUS630	0.43	
	STPT42	0.56 (1.08)		Zr-2.5Nb	0.27	
				試験条件		
				クリデコン203 10ppm		
			285℃, 600hr			

( ) 内は脱塩水での腐食値

表 4-14 残留除染液による鋭敏化SUS304のUCL試験結果 (150℃)

試験温度 (℃)	溶存酸素濃度 (ppb)	除染剤濃度	負荷応力 kg/mm <sup>2</sup>	試験片 形状	試 験 時 間 (Hr)							
					100	200	300	400	500	600	700	
150	2830~ 3940	除染剤なし	35	隙間	● (6.9)							
			35	隙間	● (6.7)							
			35	標準	—● (22.3)							
			35	傷	—● (23.0)							
			35	傷	—● (51.7)							
150	2850~ 4800	KD203 0.1ppm	35	隙間	● (4.0)							
			35	隙間	● (3.9)							
			35	標準	—● (82.9)							
			35	傷	—● (173.7)							
			35	傷	—● (408.5)							
150	2000~ 2900	KD203 10ppm	35	隙間	—● (22.6)							
			35	隙間	—● (22.8)							
			35	標準	—○ (504.7)							
			35	傷	—○ (504.7)							
			35	傷	—○ (504.7)							
150	200~ 300	除染剤なし	35	隙間	—● (34.2)							
			35	隙間	—● (25.6)							
			35	標準	—● (93.8)							
			35	傷	—● (29.1)							
			35	傷	—● (65.0)							
150	100~ 600	KD203 0.1ppm	35	隙間	—● (24.6)							
			35	隙間	—● (74.5)							
			35	標準	—● (141.8)							
			35	傷	—● (190.1)							
			35	傷	—● (256.2)							
150	100~ 240	KD203 10ppm	35	隙間	—● (137.8)							
			35	隙間	—● (200.0)							
			35	標準	—○ (501.2)							
			35	傷	—○ (501.2)							
			35	傷	—○ (501.2)							

注) —● 破断、—○未破断 を示す。

表 4 - 1 5 残留除染液による鋭敏化 SUS 3 0 4 の UCL 試験結果 ( 2 8 0 ℃ )

試験温度 (℃)	溶存酸濃度 (ppb)	除染剤濃度	負荷応力 kg/mm <sup>2</sup>	試験片 形状	試 験 時 間 (Hr)							
					100	200	300	400	500	600	700	
280	2780~ 3440	除染剤なし	30	隙間					(671.7)	○		
			30	隙間					(671.7)	○		
			30	標準					● (356.1)			
			30	傷					(671.7)	○		
			30	傷					(671.7)	○		
280	2070~ 3520	KD203 0.1ppm	30	隙間						○ (500.6)		
			30	隙間						○ (500.6)		
			30	標準							○ (500.6)	
			30	傷							○ (500.6)	
			30	傷							○ (500.6)	
280	2600~ 3750	KD203 10ppm	30	隙間						○ (501.3)		
			30	隙間						○ (501.3)		
			30	標準							○ (501.3)	
			30	傷							○ (501.3)	
			30	傷							○ (501.3)	
280	210~ 260	除染剤なし	30	隙間						○ (500.8)		
			30	隙間						○ (500.8)		
			30	標準							○ (500.8)	
			30	傷							○ (500.8)	
			30	傷							○ (500.8)	
280	61~ 500	KD203 0.1ppm	30	隙間						○ (520.8)		
			30	隙間						○ (520.8)		
			30	標準							○ (520.8)	
			30	傷							○ (520.8)	
			30	傷							○ (520.8)	
280	100~ 400	KD203 10ppm	30	隙間						○ (503.5)		
			30	隙間						○ (503.5)		
			30	標準							○ (503.5)	
			30	傷							○ (503.5)	
			30	傷							○ (503.5)	

注) ● 破断、○未破断 を示す。

表4-16 低歪速度引張試験の結果 (材料:SUS304鋭敏化材)

歪速度:  $\epsilon = 8.3 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1}$

試験体 No.	DO [ppb]	IGSCC [%]	TGSCC [%]	SCC [%]	破断時間 [Hr]	破断伸び量 [%]	最大荷重		断面収縮率 [%]	備考 除染条件
							[kg]	[kg/mm <sup>2</sup> ]		
ST-1	980	80.1	0	80.1	88.0	26.4	300	25.0	25.2	除染なし
ST-2	300	52.3	0.72	53.0	109.1	32.7	405	33.8	28.5	
ST-3	320	47.4	0.45	47.9	119.1	35.7	455	37.9	24.3	
ST-4	100	21.7	6.1	27.8	141.1	42.3	559	46.6	52.4	
ST-5	51	7.0	1.6	8.6	195.7	58.7	645	53.8	65.0	
KD203-I-5	1000	65.6	0	65.6	76.2	22.8	363	30.3	21.6	除染あり KD203 0.1% 80℃, 24hr インヒビター 0.1%
KD203-I-6	310	47.6	2.1	49.7	105.3	31.4	465	38.8	35.0	
KD203-I-7	105	28.0	1.6	29.6	159.5	47.8	551	45.9	35.8	
KD203-I-8	50	0	0	0	255.8	76.8	652	54.3	66.2	
KD203-II-1	208	20.5	2.5	23.0	213.5	64.0	547	45.6	35.0	除染あり KD203 0.1% 130℃, 96hr インヒビター 0.1%
KD203-II-2	194	27.1	0.2	27.3	140.1	42.0	495	41.3	27.6	
KD203-II-3	1075	50.5	0	50.5	104.3	29.6	415	34.6	39.1	
KD203-II-4	1030	49.3	0	49.3	83.4	25.0	389	32.4	17.3	
KD203-III-1	200	17.4	0.6	18.0	147.8	44.3	527	43.9	56.1	除染あり KD203 0.1% 130℃, 96hr インヒビター なし
KD203-III-2	210	30.8	0.5	31.3	136.1	40.8	475	39.6	40.6	
KD203-III-3	1090	43.9	0	43.9	108.2	32.5	420	35.0	30.0	
KD203-III-4	940	44.5	0	44.5	99.3	29.8	409	34.1	34.9	

-23-

表4-17 ヘリウムリーク試験の結果

試験位置	試験時期	試験圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	He ガス濃度 (%)	放置時間 (min)	最高検出感度 (Acc/sec)	漏洩量 (Acc/sec)
①	第7回運転値	—	—	—	—	—
	第8回運転値	5	約17	180	$1.33 \times 10^{-6}$	$< 1.33 \times 10^{-6}$
	第9回運転値	5	約17	120	$8.38 \times 10^{-7}$	$< 8.38 \times 10^{-7}$
	第10回運転値	5	約17	180	$4.19 \times 10^{-7}$	$< 4.19 \times 10^{-7}$
②	第7回運転値	5	約17	120	$2.99 \times 10^{-7}$	$< 2.99 \times 10^{-7}$
	第8回運転値	5	約17	180	$6.67 \times 10^{-7}$	$< 6.67 \times 10^{-7}$
	第9回運転値	5	約17	120	$4.19 \times 10^{-7}$	$< 4.19 \times 10^{-7}$
	第10回運転値	5	約17	180	$2.10 \times 10^{-7}$	$< 2.10 \times 10^{-7}$
規定値	規定値	5	10以上	60以上	—	$< 1 \times 10^{-4}$

ヘリウムリーク試験位置

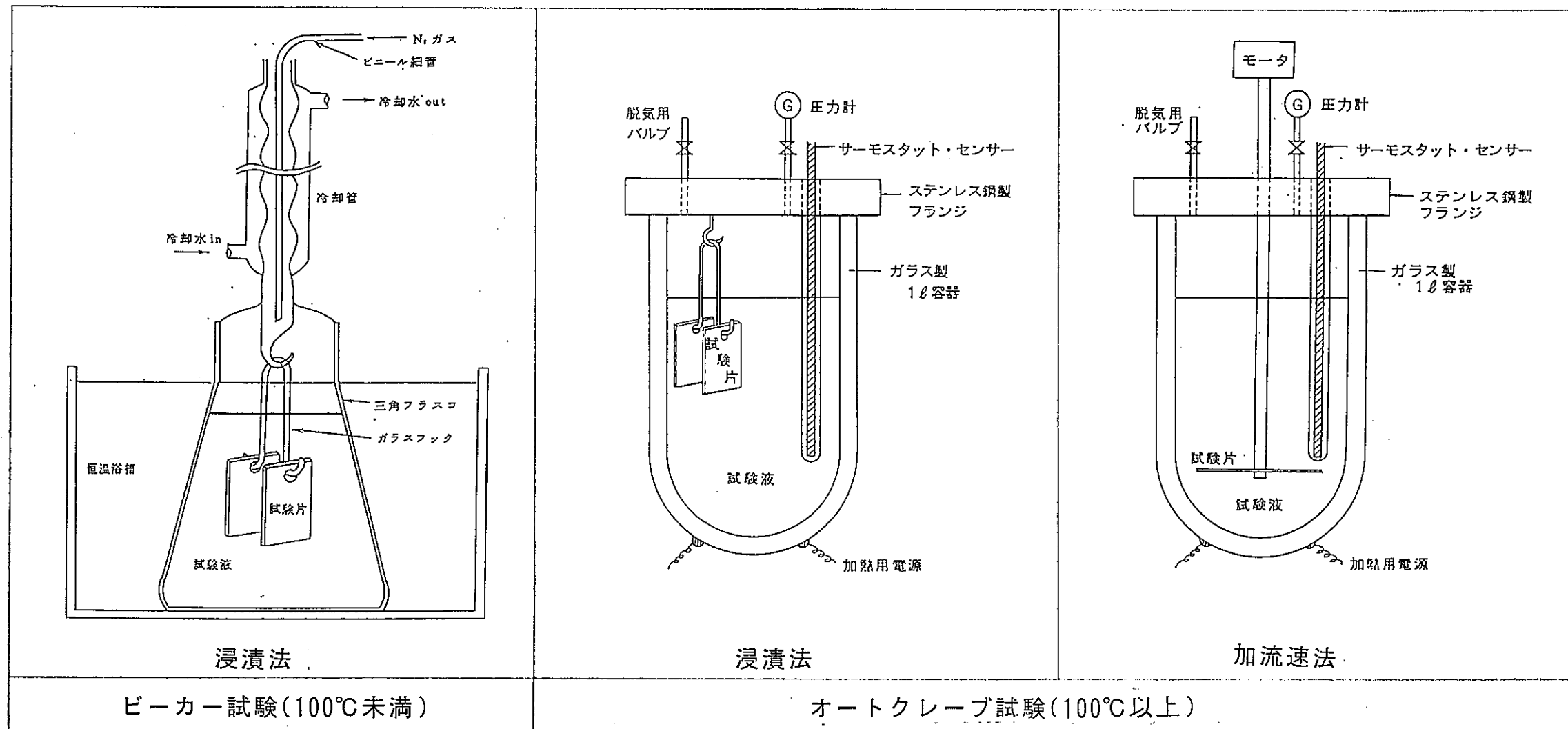
注)

表 4 - 1 8 腐食試験の結果

作業項目	腐 食 速 度			腐 食 量
	腐食電流 $i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	腐食率 $\Delta W$ ( $mg/d$ )	減 肉 量 ( $\mu m/y$ )	
圧 力 管 Zr-2.5%Nb				最小使用肉厚 : 3.98mm 30年間 (設計腐食代) : 310 $\mu m$
接液部 (内表面)	0.040	0.082	0.45	} 30年間 (算出腐食量) 0.75 $\times$ 30 = 22.5 $\mu m$
接触部	0.065	0.133	0.75	
延長部及び 内リング SUS403Mod				最小使用肉厚 : 12.1mm
接液部 (内表面)	0.241	0.536	2.5	} 30年間 (算出腐食量) 2.5 $\times$ 30 = 75 $\mu m$
接触部	0.133	0.333	1.9	

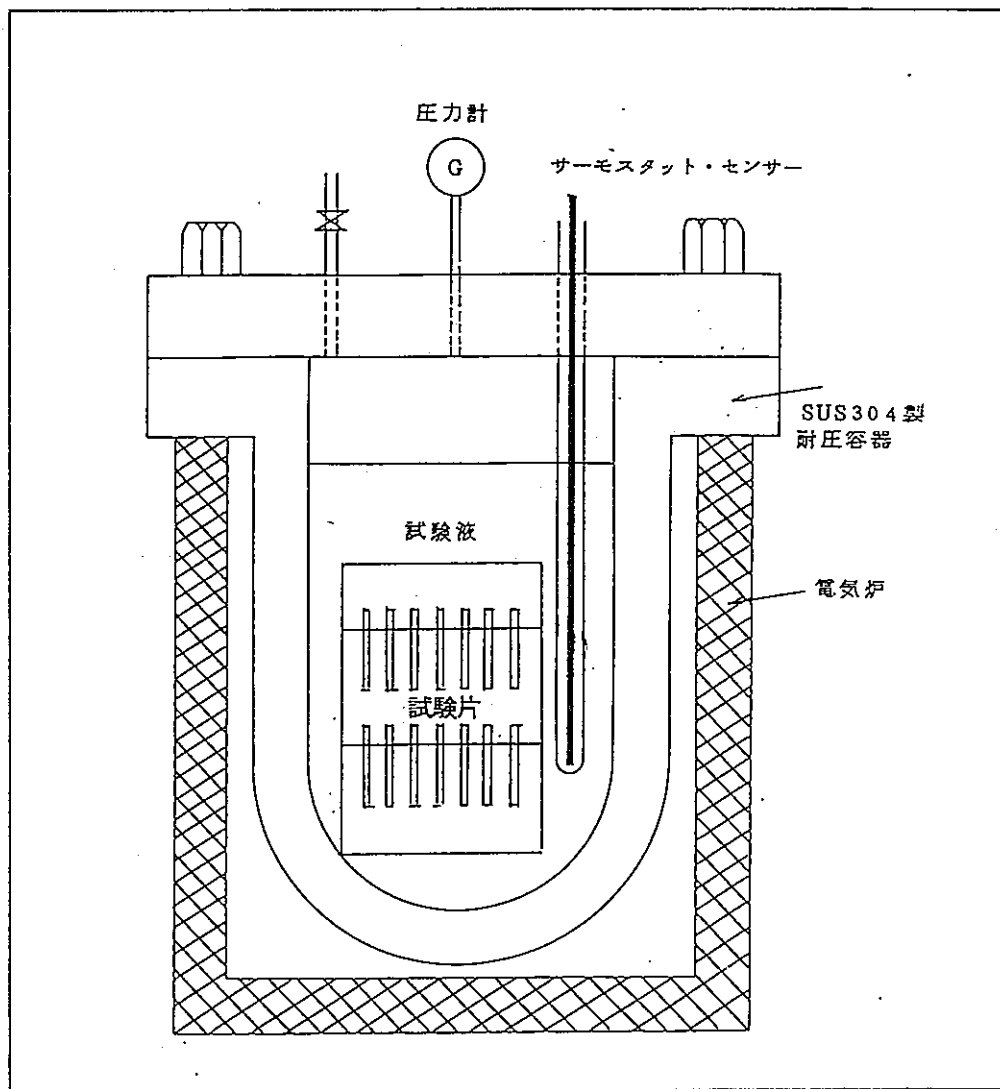
注) 電気化学的測定による





注) 除染中の腐食調査の内, S S R T法及び  
U C L T法以外はすべて上記の方法で行った。

図 4 - 1 腐食試験のセット状態 (除染中)



残留除染液の腐食調査の内 S C C 以外の試験片はこの方法で行った。

図 4 - 2 残留除染液による腐食試験の概略

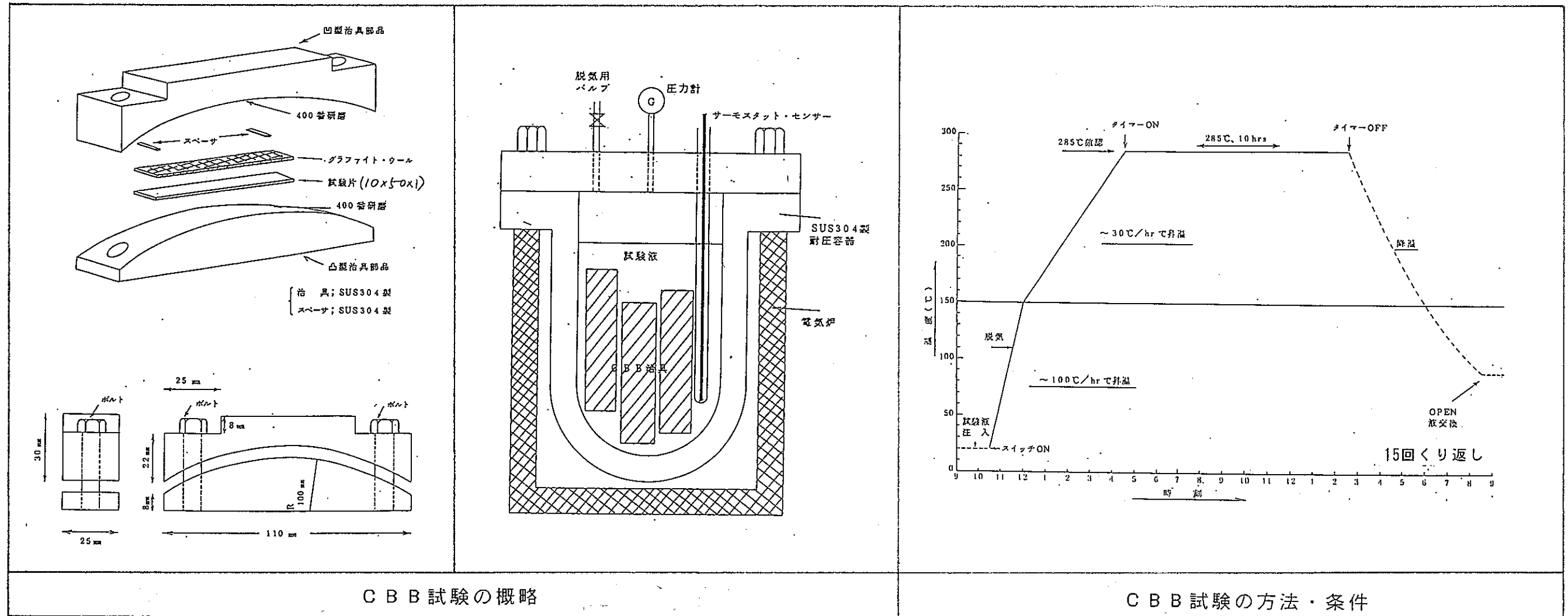
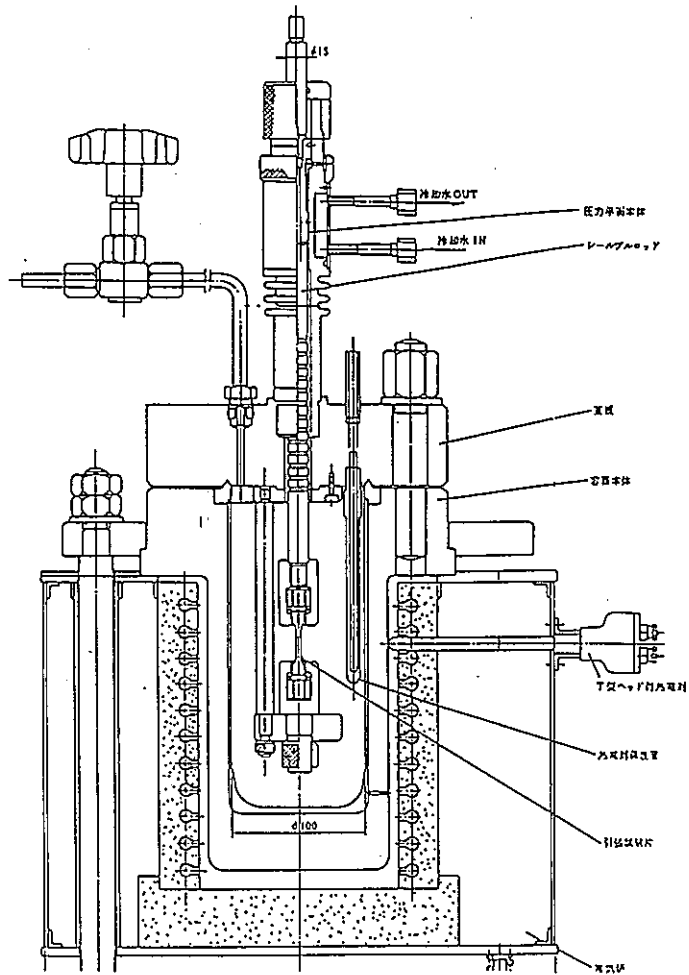
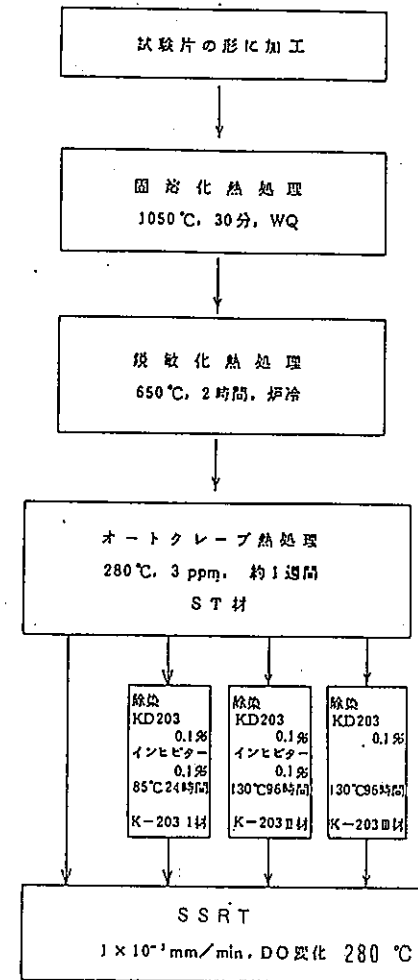


図 4-3 C B B 試験の概要 (応力腐食割れ)

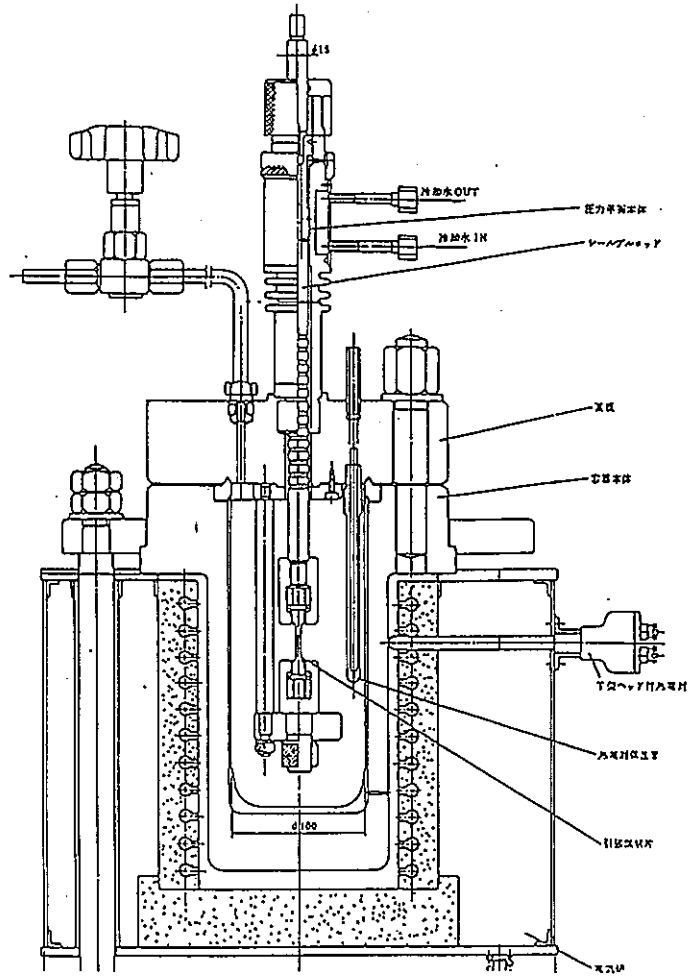


SSRT試験の概略

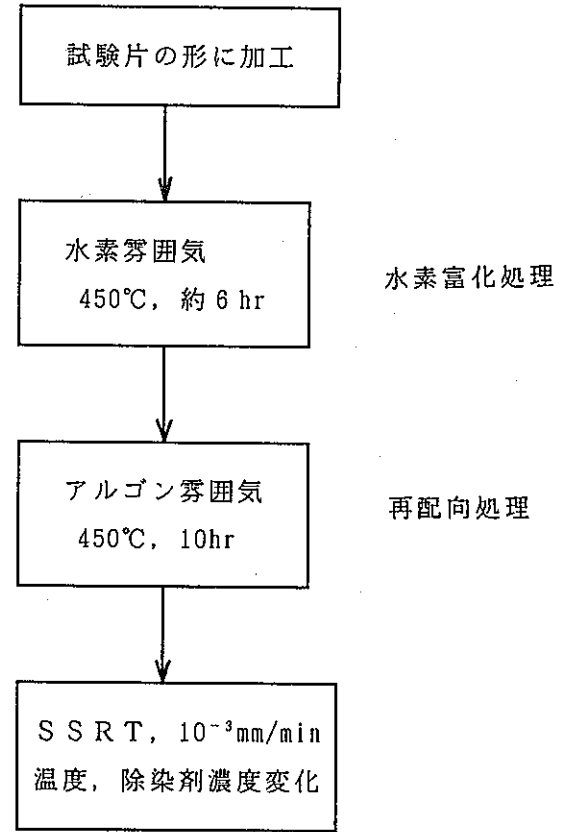


SSRT試験の方法・条件

図4-4 - SSRT試験法の概要 (応力腐食割れ)



SSRT試験の概略



SSRT試験の方法・条件

図4-5 SSRT試験法の概要 (水素遅れ割れ)

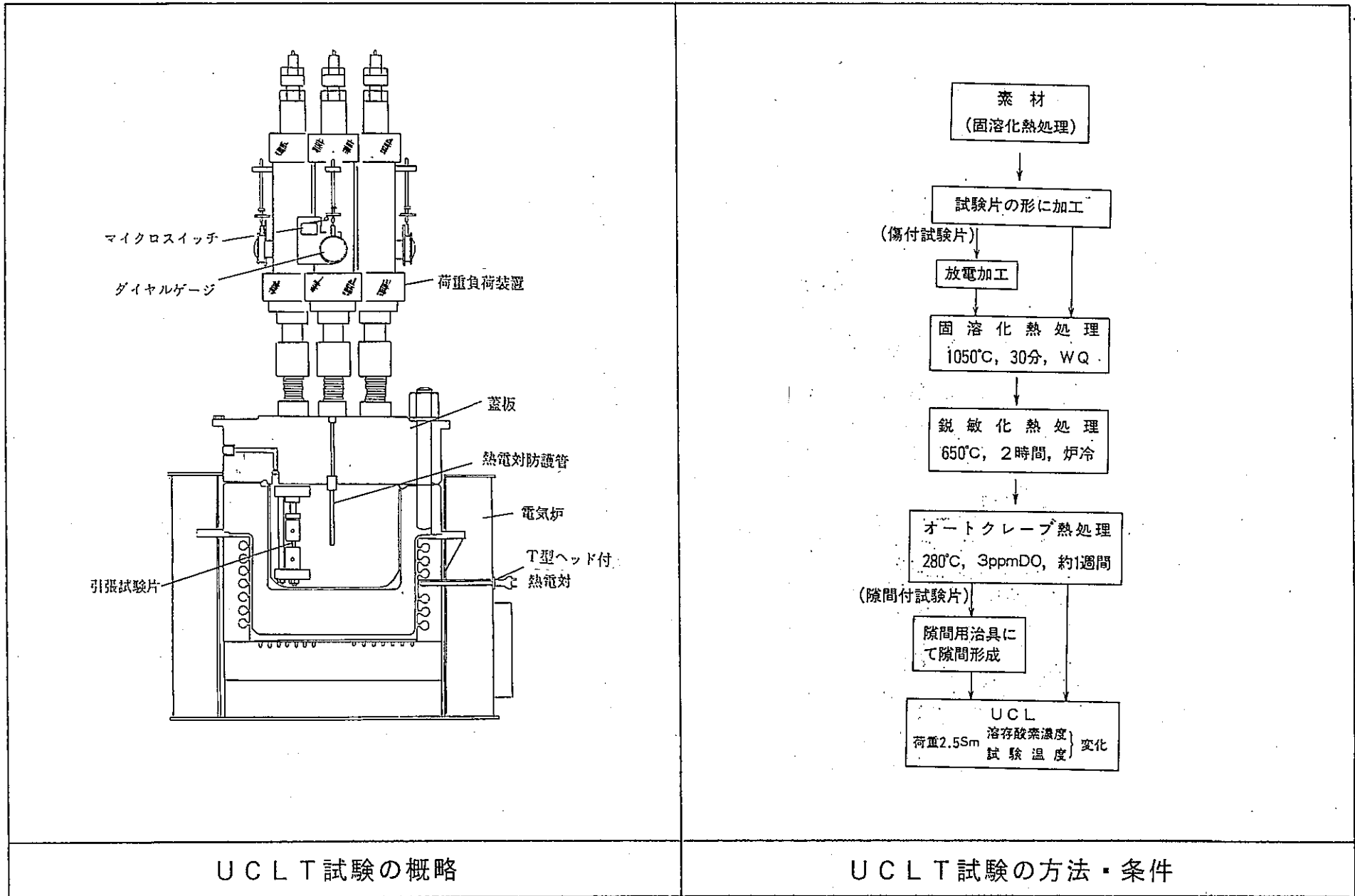
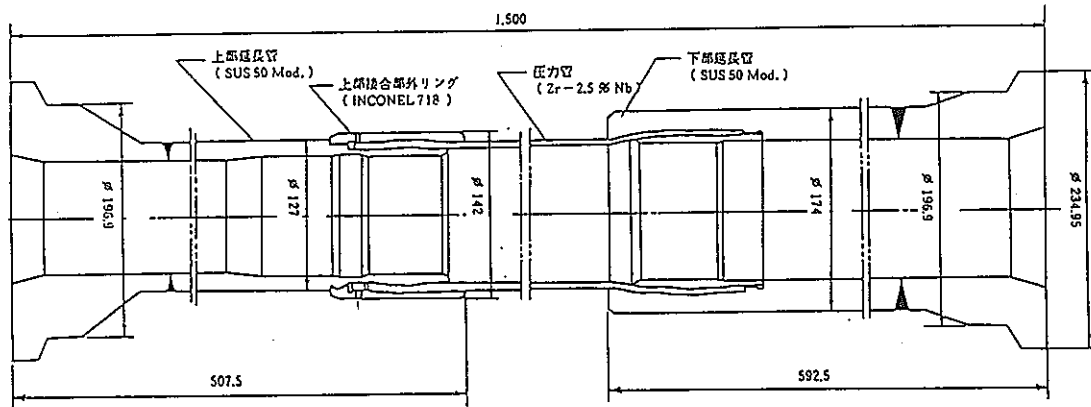
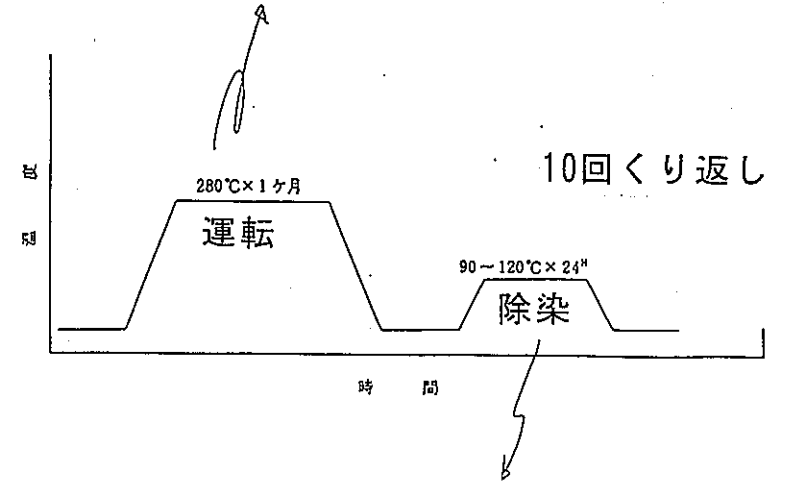


図4-6 UCLT試験法の概要（応力腐食割れ）



圧力管試験体の概略

試験温度	280℃
試験圧力	7.2~7.5 kg/cm <sup>2</sup> G
溶存酸素量	200~300 ppb
電導度	0.3~0.4 $\mu$ S/cm
試験時間	10サイクル(1ヶ月/サイクル)



除染剤	K203 (キレート剤)
濃度	0.1%
除染温度	(90℃~120℃)
除染時間	24時間
pH	5
除染時期	1サイクル試験毎
昇・降温速度	5.0℃/hr 以下

耐久試験の方法・条件

図4-7 ロールドジョイント部の耐久試験の概要

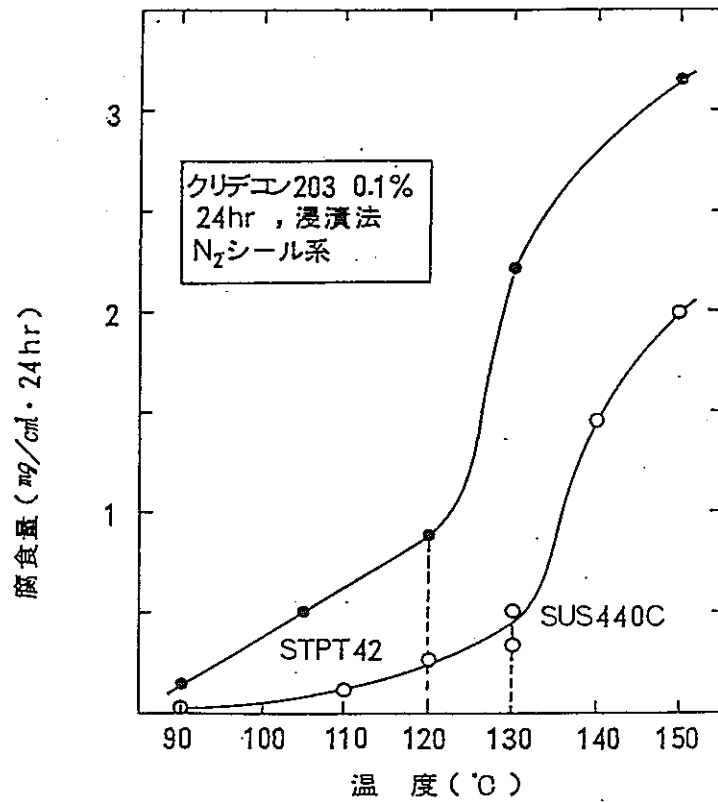


図 4 - 8 SUS 440C および STPT 42 の腐食量と温度の関係

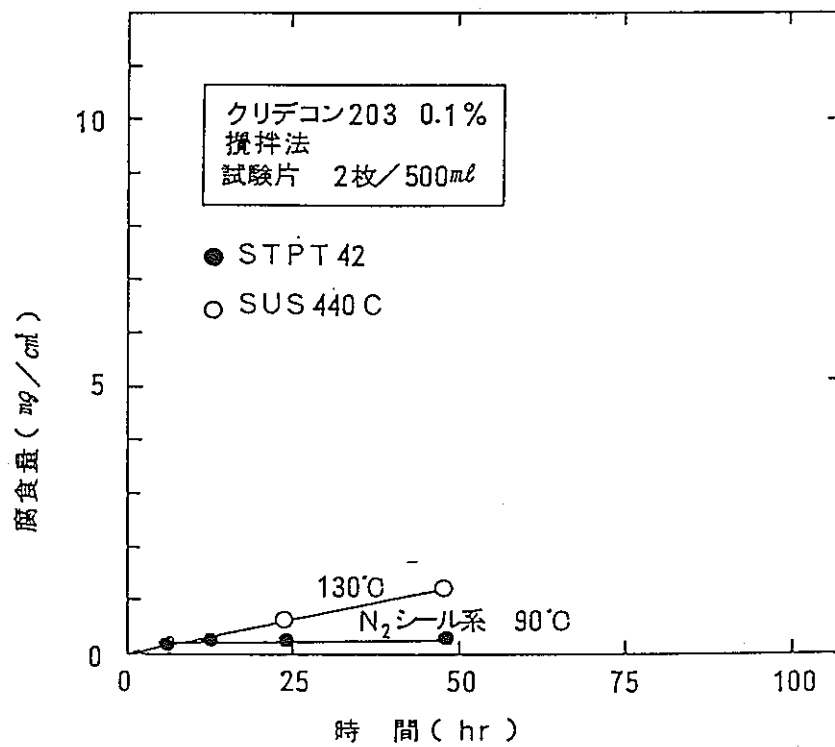


図 4 - 9 クリデコン 203 溶液中での時間と腐食の関係



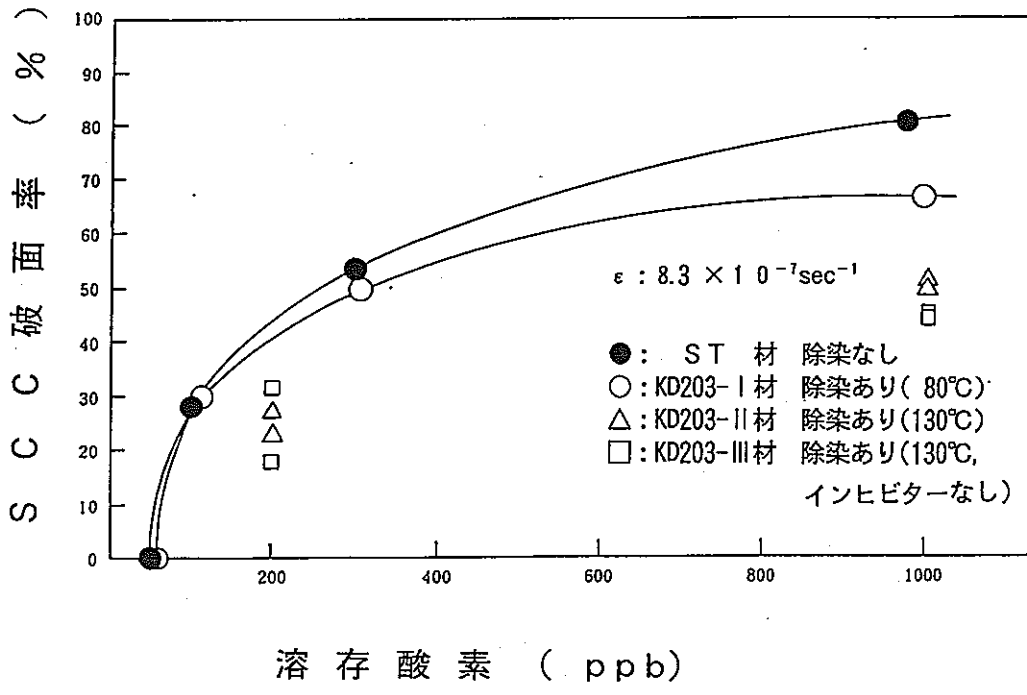


図4-10 SCC破面率と溶存酸素の関係

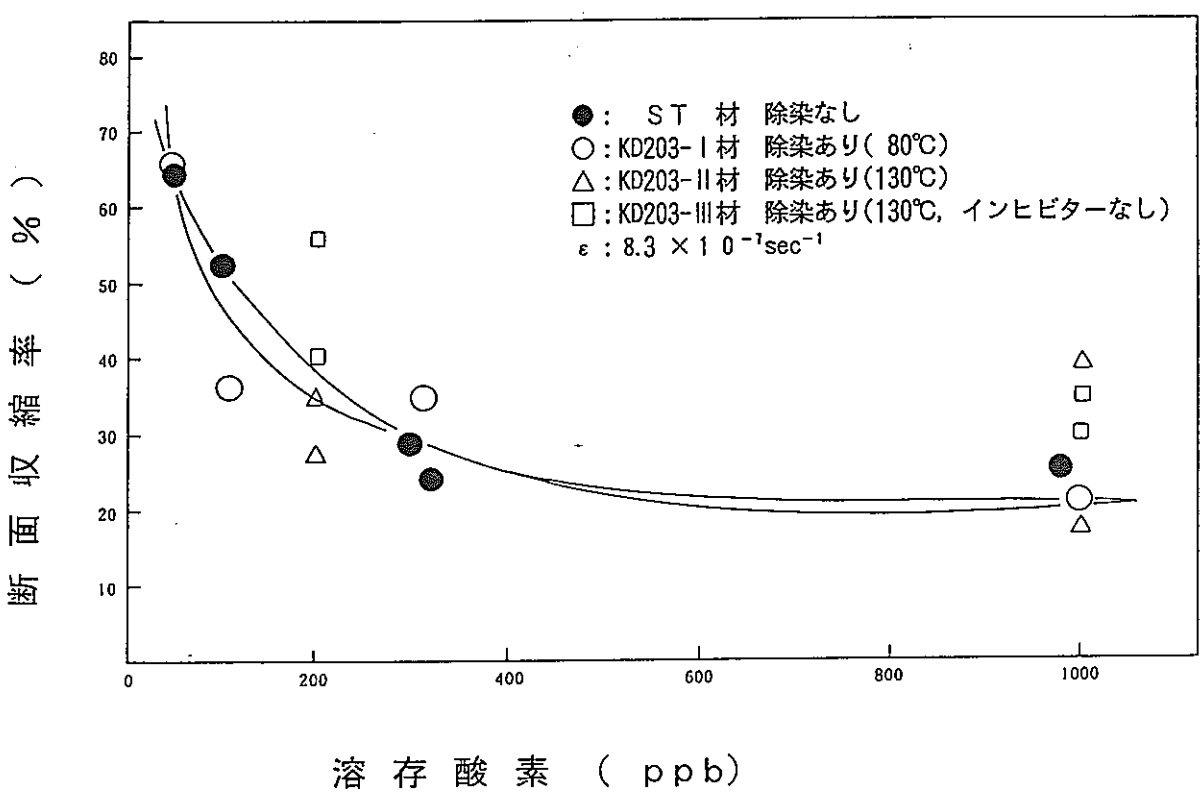


図4-11 断面収縮率と溶存酸素の関係

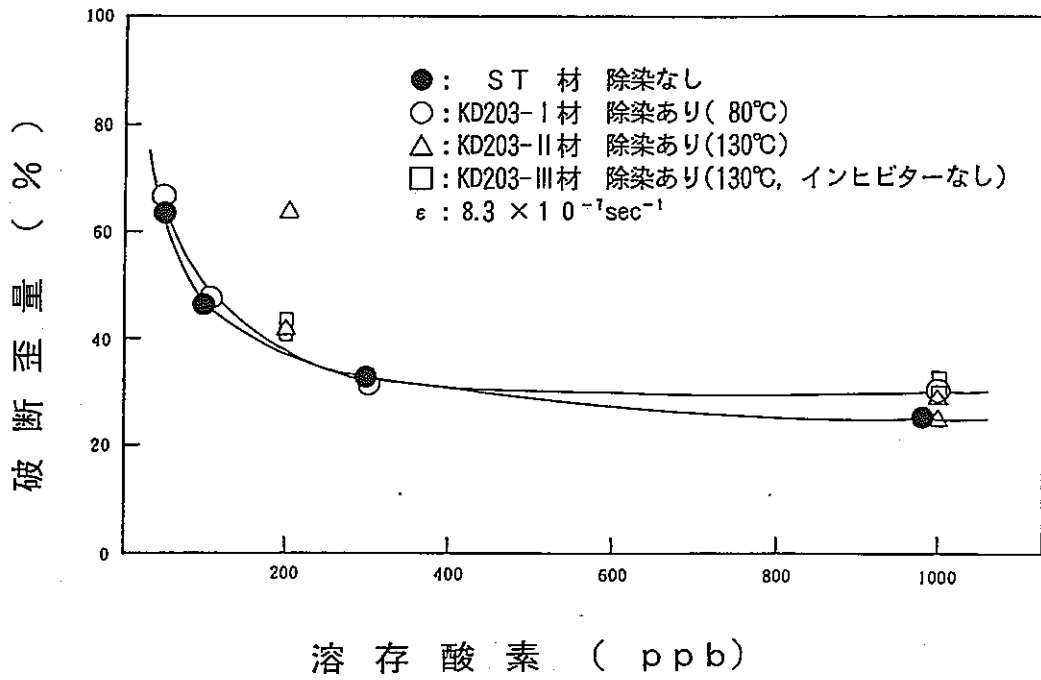


図 4-12 破断歪量と溶存酸素の関係

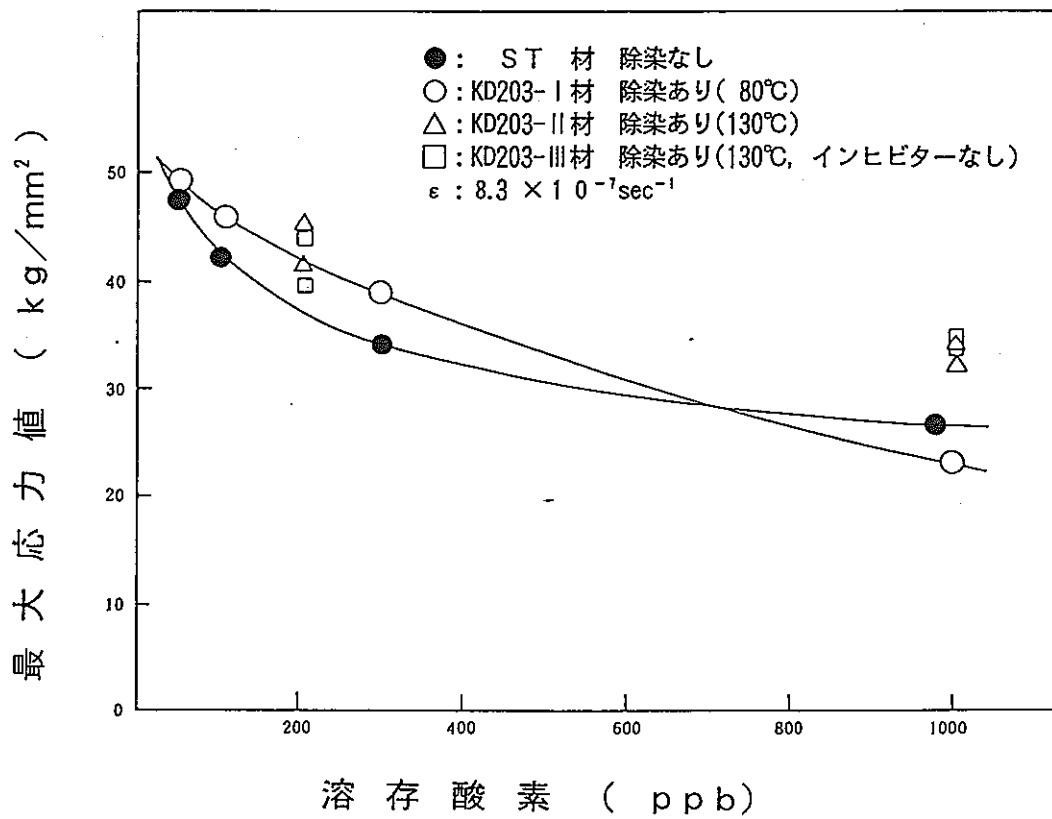


図 4-13 最大応力値と溶存酸素の関係

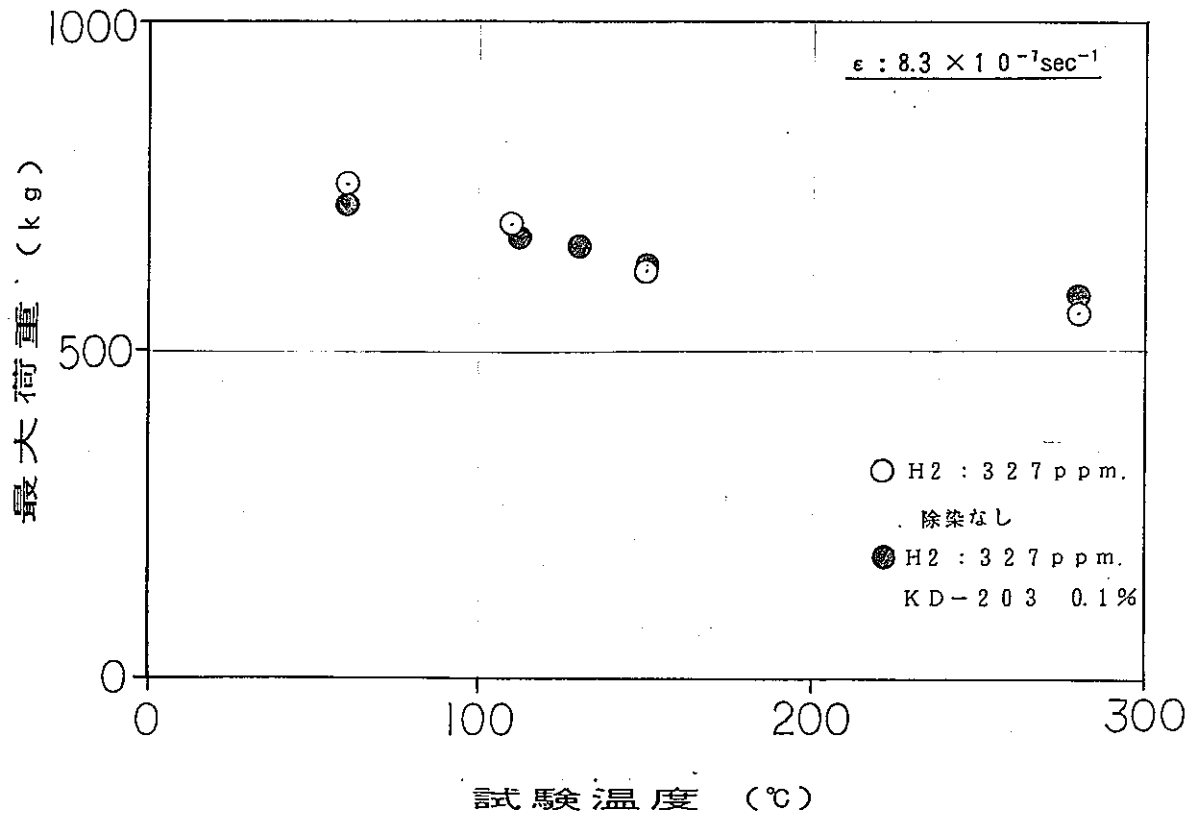
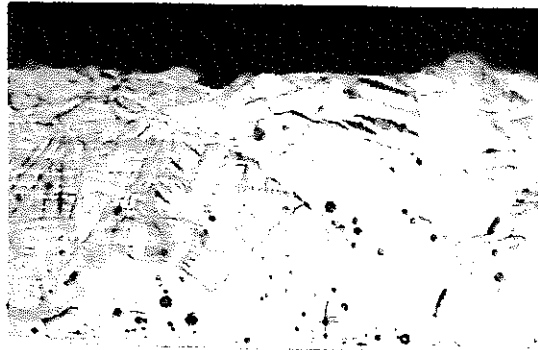


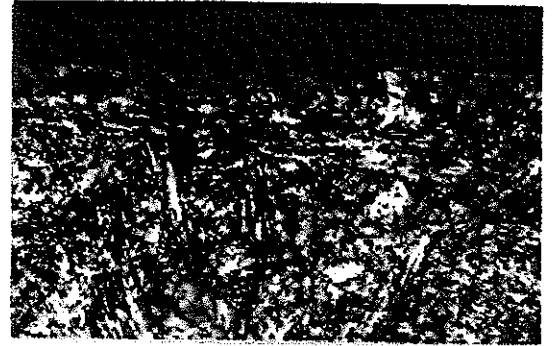
図 4 - 14 水素富化Zr-2.5%Nb に及ぼす除染剤の影響

応力腐食割れ試験片

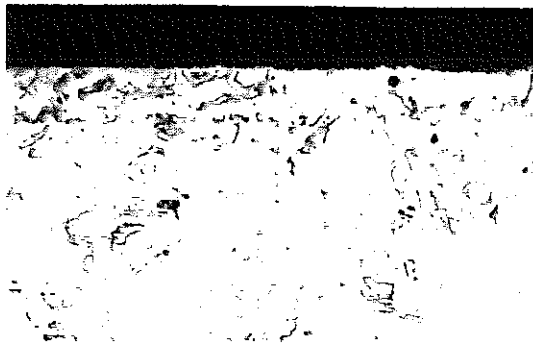
(ピーカ試験) (90°C, 100hr)



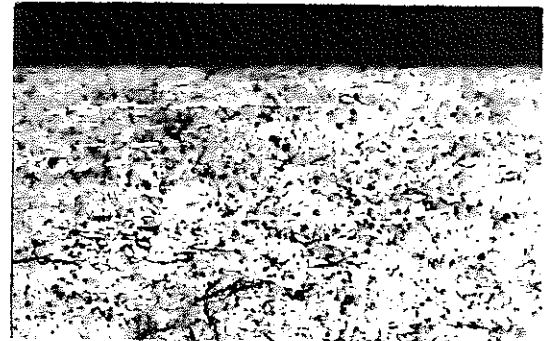
SUS304



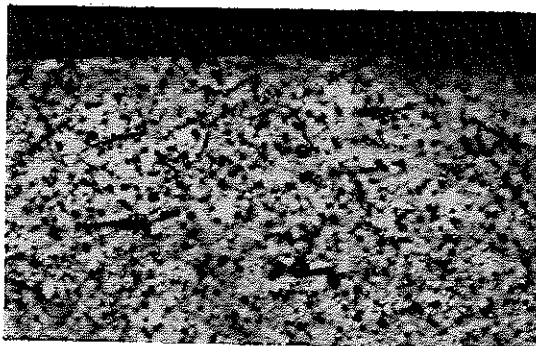
SUS403Mod



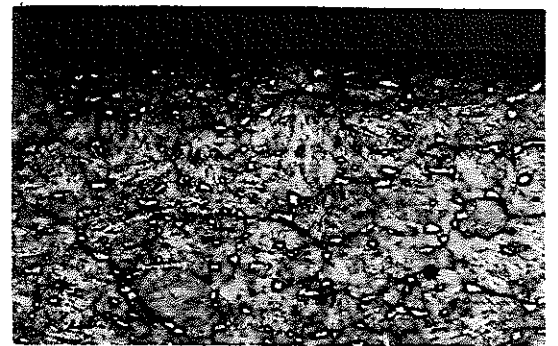
SUS630



ZR-2.5Nb



Zircaloy-2



Ti-6Al-4V

写真倍率：400倍

写真4-1 試験片断面の組織(Uバンド法)

応力腐食割れ試験（浸漬法）

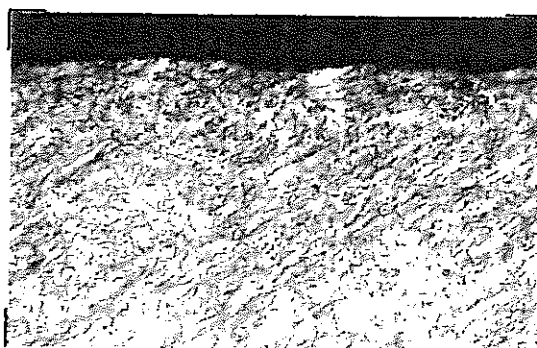
130℃、50hr 試験後



鋭敏化SUS 304(110℃)



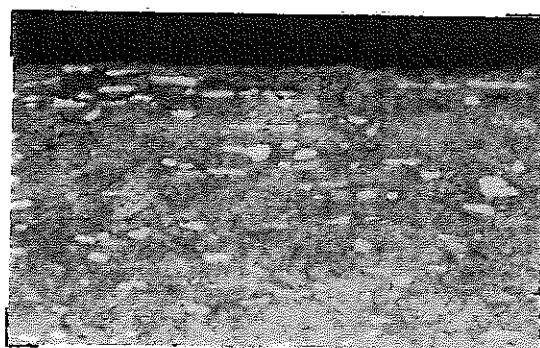
鋭敏化SUS 304



SUS403Mod



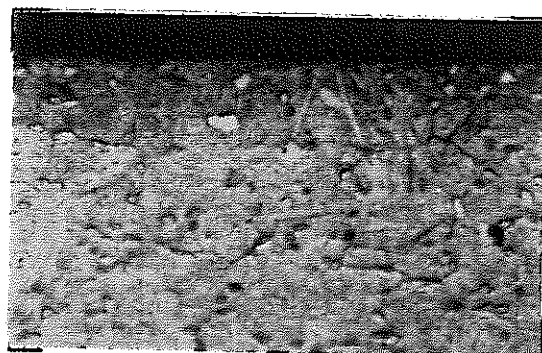
SUS 630



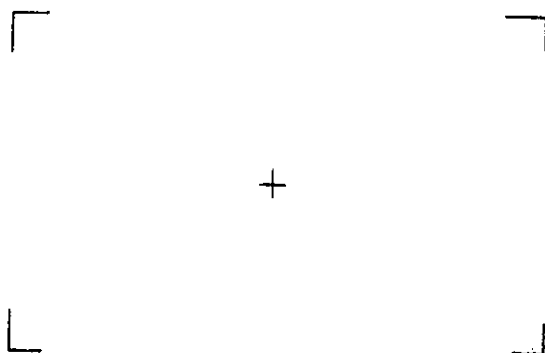
Zr-2.5Nb



ジルカロイ 2



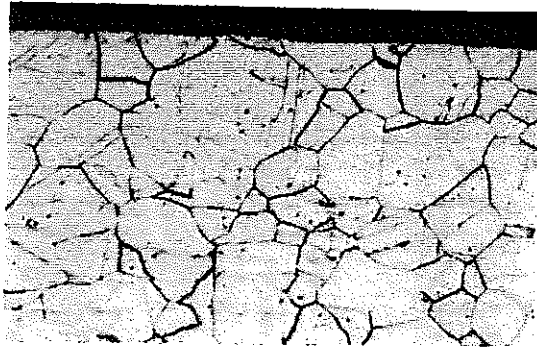
Ti-6Al-4V



写真倍率：400倍

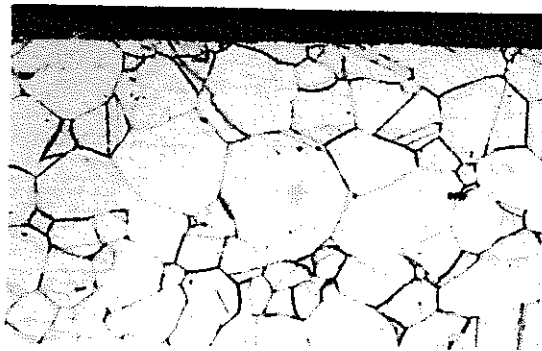
写真4-2 試験片断面の組織(Uバンド法)

応力腐食割れ試験：鋭敏化SUS304



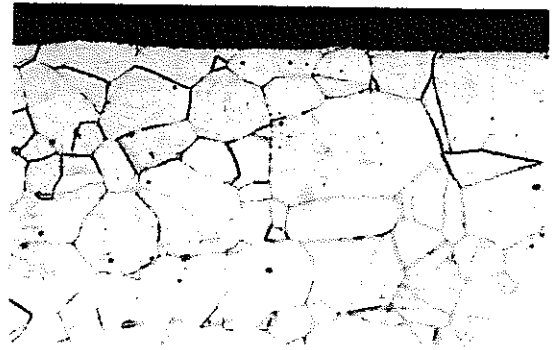
試験前

クリデコン 203 20 ppm 試験後

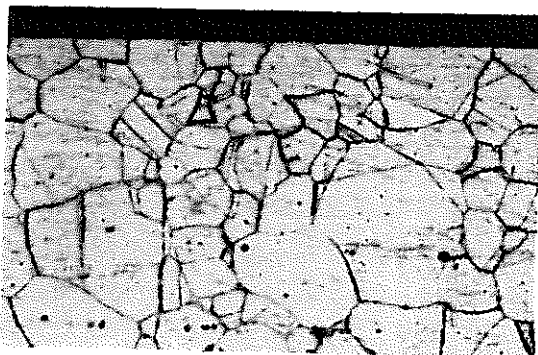


試験片 1

脱塩水試験後



試験片 4



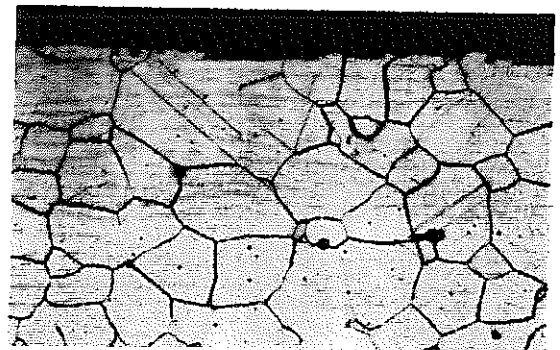
試験片 2



試験片 5

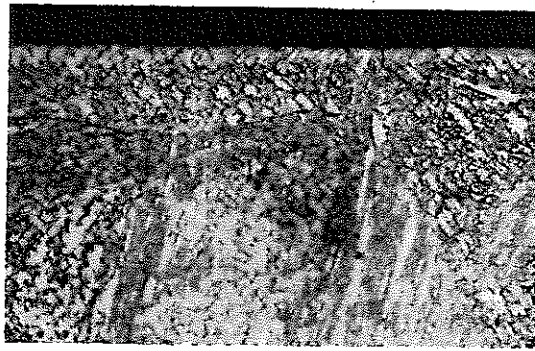


試験片 3



試験片 6

応力腐食割れ試験：SUS403Mod



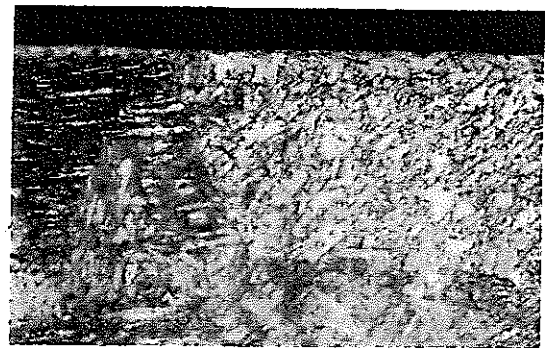
試験前

クリデコン203 20ppm 試験後

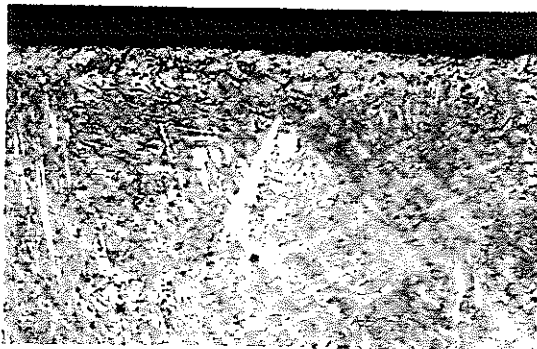


試験片1

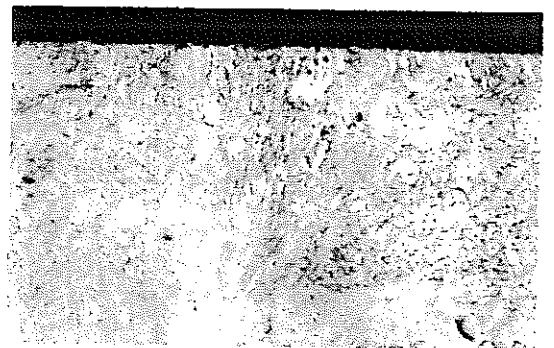
脱塩水試験後



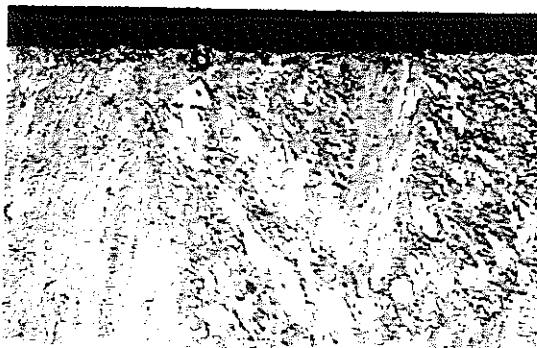
試験片4



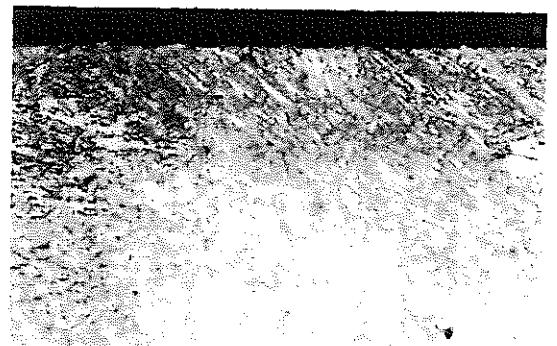
試験片2



試験片5



試験片3



試験片6





新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料-5

クリデコン203の除染性能と実証試験

平成元年6月

## 目 次

	頁
5-1. クリデコン203の除染性能 .....	1
5-2. 実機による実証試験 .....	4

「ふげん」の系統除染剤として材料健全性の観点から選定したクリデコン203について、除染性能及び廃液処理性を調べるとともに、その実証試験として実機の機器単体除染を行った。

以下にそれらの内容を記す。

## 5-1. クリデコン203の除染性能

### (1) 除染性能

「ふげん」の原子炉冷却系統から採取した種々の実サンプルを用いて試験を行った。

#### ① 試験方法

図5-1に示す方法により、除染性能試験を行った。除染性能試験では、温度、時間、除染剤濃度及び除染液の流速をパラメータとした。

#### ② 試験結果

##### イ. 温度 (図5-2 参照)

除染性能は90℃から認められ始め、100℃で急激に高まる。DF2以上の安定した性能を得るためには、120℃が望ましい。

##### ロ. 時間 (図5-3 参照)

除染効果は、90～120℃のどの条件下でも24時間まで時間とともに増大している。しかし、24時間以降時間を延長してもその効果は小さく、除染時間は24時間が妥当と思われる。

##### ハ. 除染剤濃度 (図5-4 参照)

除染効果に及ぼす除染剤濃度の影響は小さいと思われる。特に、0.05～0.1%ならば、ほとんど除染剤濃度の影響はない。

## 二．除染液の流速（図 5 - 5 参照）

90℃以下の温度条件では、流速の影響はほとんど見られない。90℃以上の温度に達すると、除染反応が高まり流速の影響が認められる。従って、除染中は除染液を循環することにより除染性能を向上させる。

以上の結果より除染条件と効果の関係をマップにすると、図 5 - 6 のとおりである。図 5 - 6 は、炉水流動部から採取したサンプルを基にして得られたマップである。炉水停滞部のサンプルを基にした関係マップは、図 5 - 7 のとおりである。後者のサンプルに対するクリデコン 203 の除染性能は、前者に比べ悪いが、120℃の温度を確保すれば、目標の DF 2 以上は確保できることがわかった。

## (2) 廃液処理性

除染廃液はイオン交換樹脂による吸着除去法により行う計画である。

そこで、試験により廃液処理性を確認した。

### ① 試験方法

図 5 - 8 に示すような小型ループ試験装置を用いて試験を行った。

### ② 試験結果

クリデコン 203 除染廃液中の電導度、金属イオン及び放射能濃度と浄化時間の関係を図 5 - 9 に示す。

除染廃液は、イオン交換樹脂に吸着され、良好に浄化できることが確認された。



この結果を、表 5 - 1 及び図 5 - 11 に示す。

除染中浄化を行うことによって、除染液中の放射能濃度は常に低く（除染中浄化を行わなかった場合の約 1 / 3）維持され、本方法の有効性が確認できた。

(3) 被ばく低減効果

以上 2 回の C U W 熱交換器除染とも、定期検査時の熱交換器点検における被ばく線量当量は、除染を行わなかった場合の約 5 0 % に低減でき、被ばく低減効果に対する除染の有効性が確認できた。

表 5-1 CUW熱交除染の除染係数 (DF)

		第 6 回 定 期 検 査			第 7 回 定 期 検 査		
		除 染 前	除 染 後	D F	除 染 前	除 染 後	D F
表 面 線 量 率 (mR/h)	再生熱交換器 (22-1)	44~126	3~17	5.0	40~162	20~50	2.8
	非再生熱交換器 (22-2)	32~93	5~19	6.4	24~400	8~30	8.9
	非再生熱交換器 (22-2)	19~499	3~17	24.0	7~400	3~30	8.6
ホットサンプルの表面線量率 (mR/h)		11.0	0.6	18.3	20.0	0.65	30.8

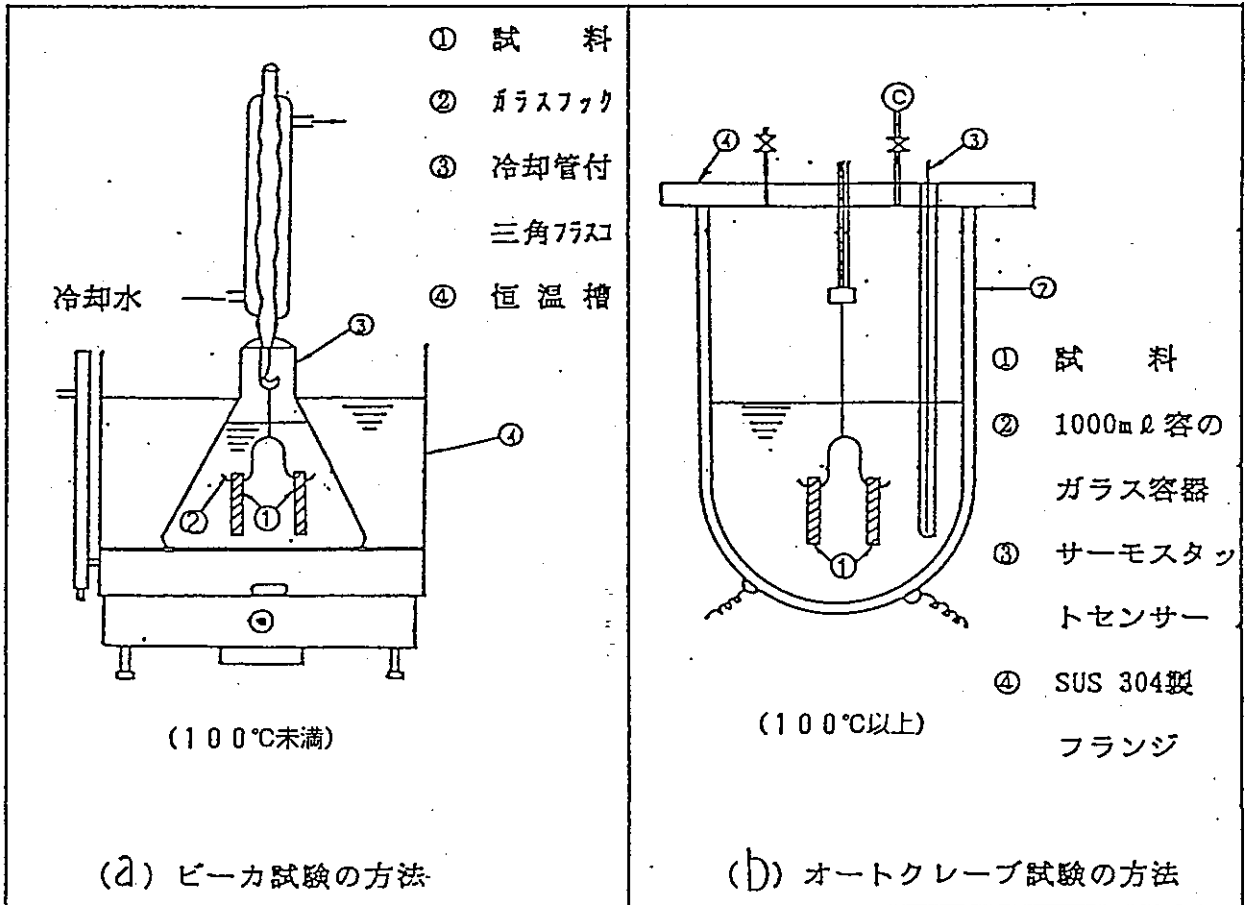


図 5 - 1 除染試験の方法



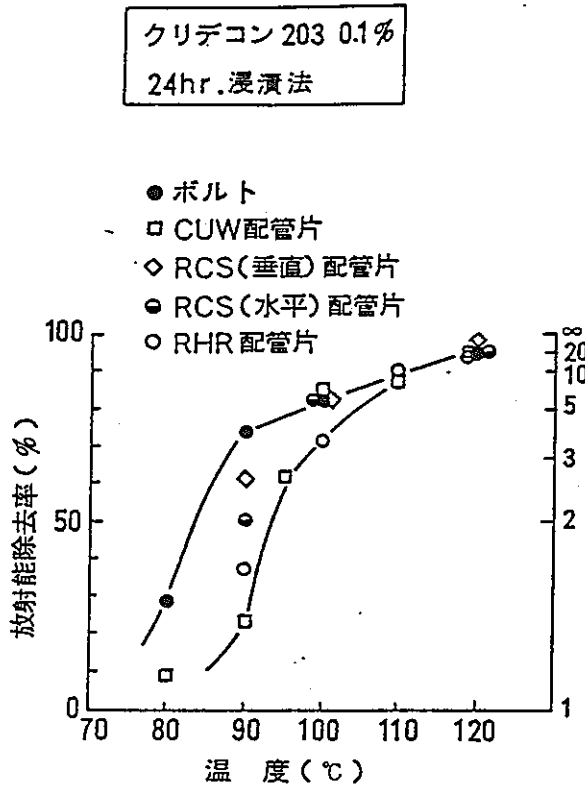


図5-2 除染効果に及ぼす温度の影響

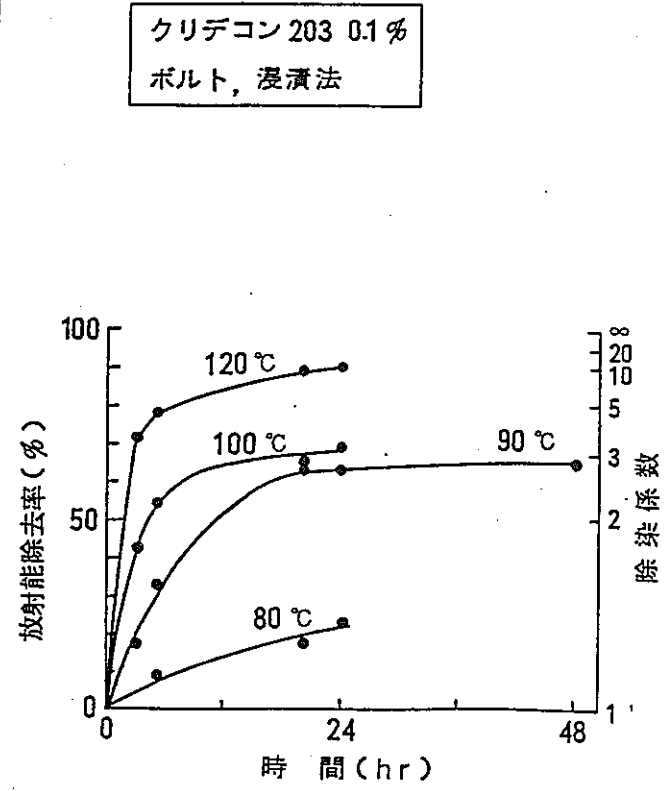


図5-3 温度別にみた除染効果の経時変化

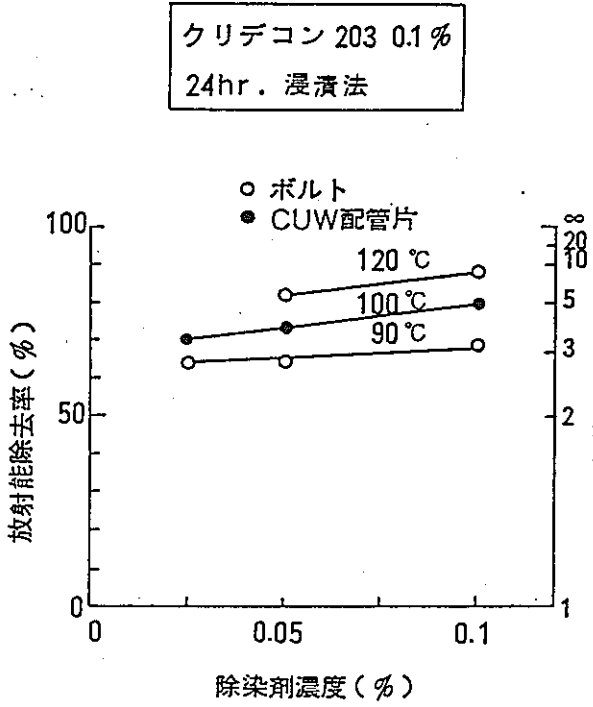


図5-4 除染効果に及ぼす除染剤濃度の影響

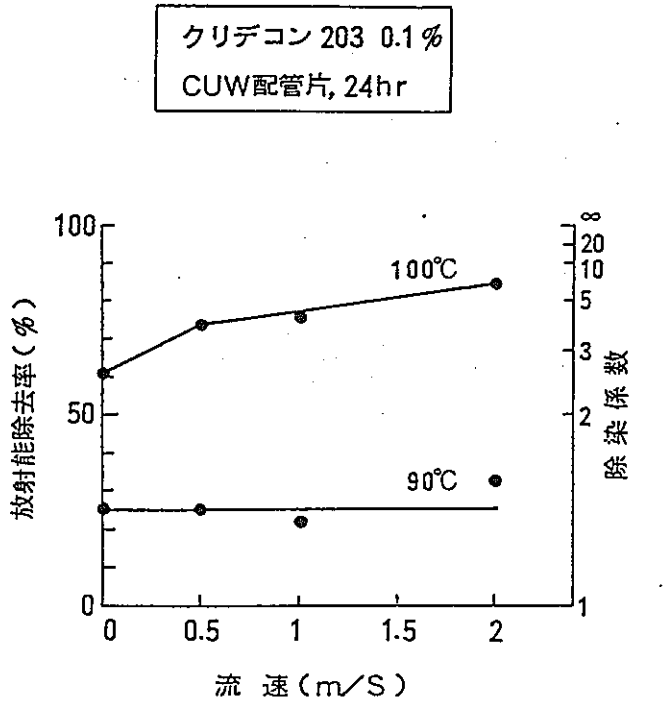


図5-5 除染効果に及ぼす流速の影響

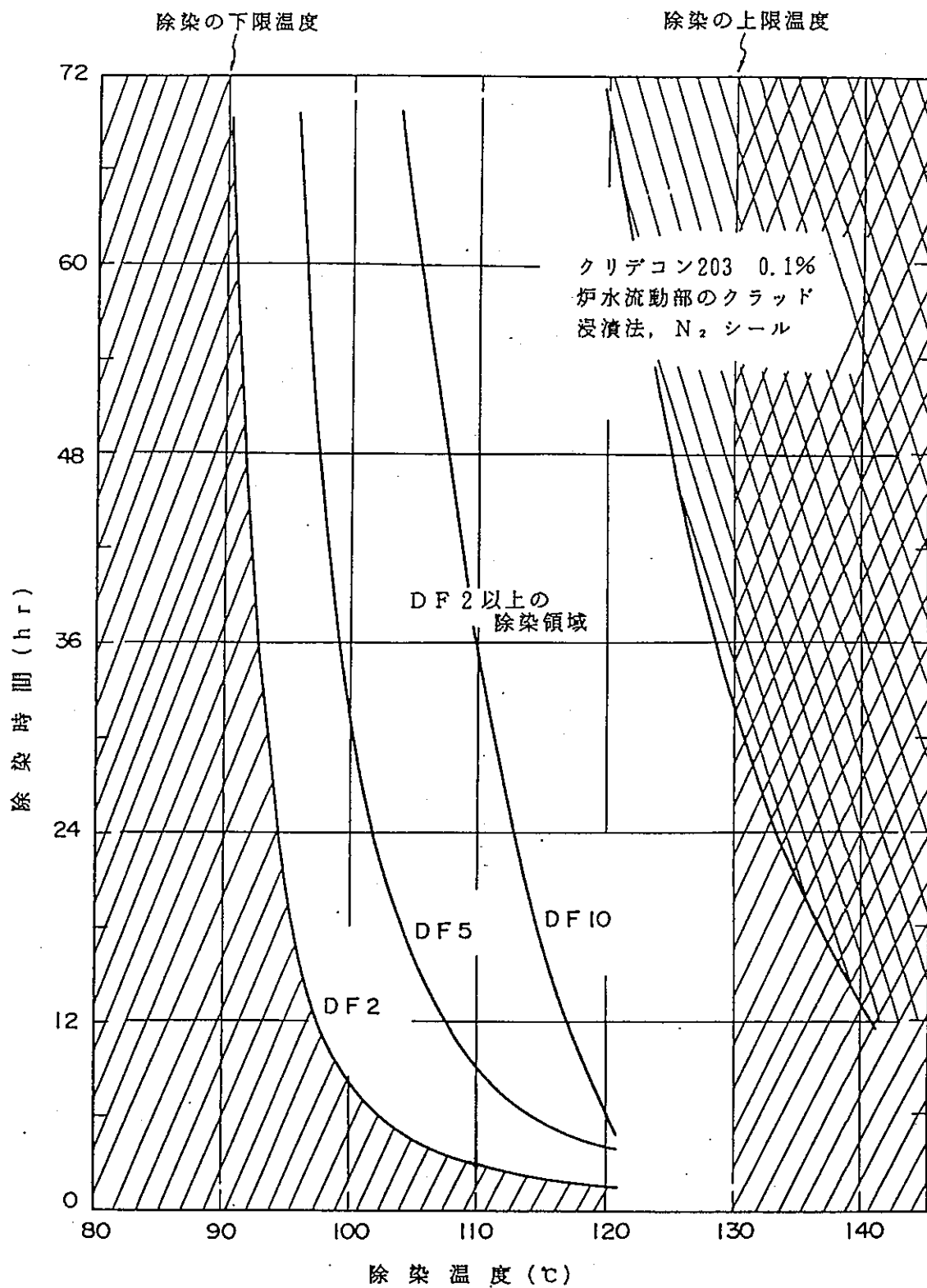


図 5-6 DF 2, 5, 10を得るための温度と時間の関係  
(流動部のクラッド)

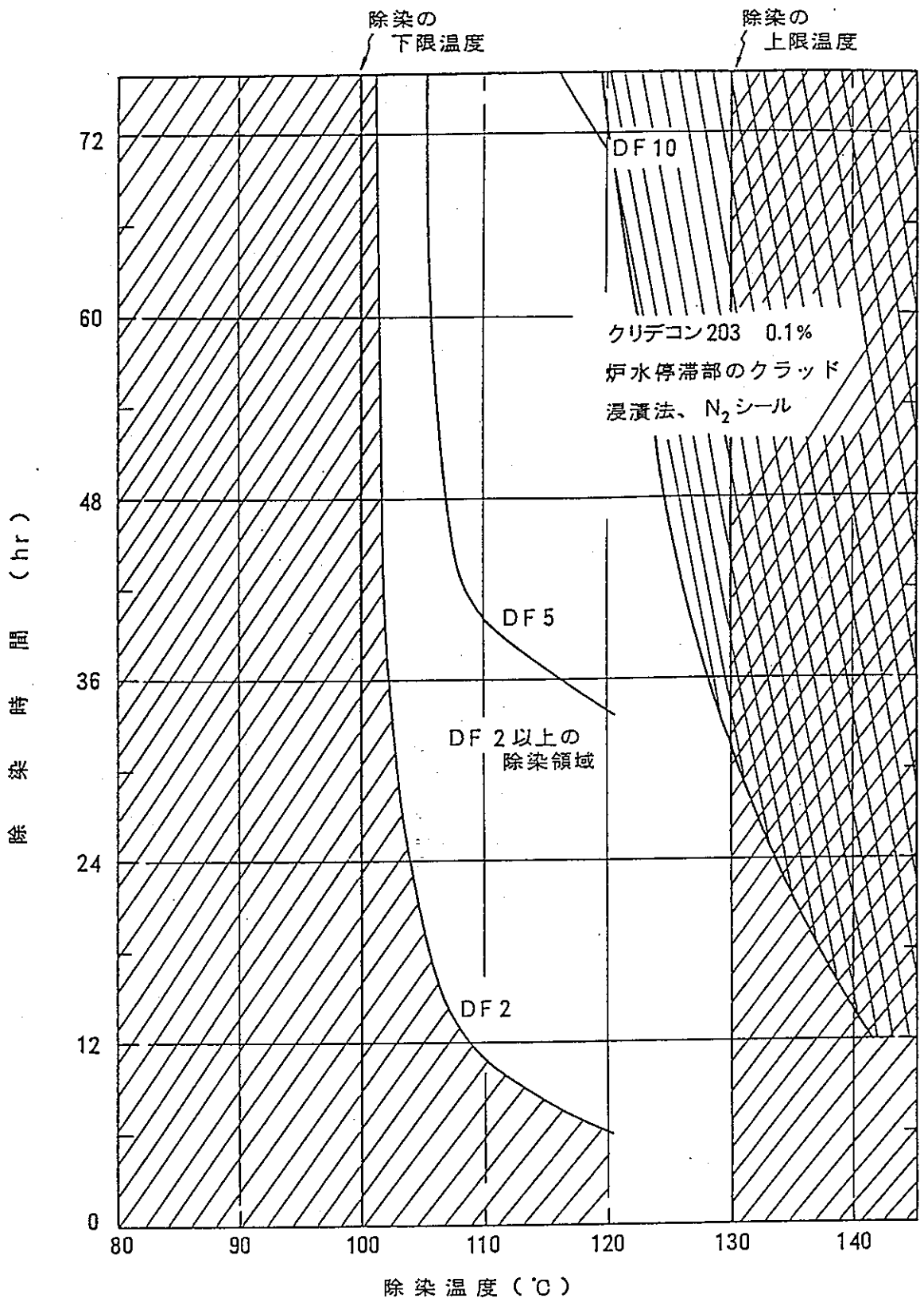
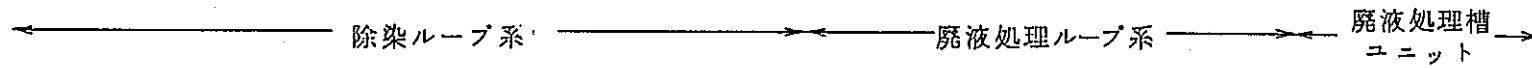


図 5-7 DF 2, 5, 10 を得るための温度と時間の関係

(停滞部のクラッド)



試験槽      加熱器      熱交換器      循環タンク      フィルター      イオン交換樹脂塔      廃液処理槽  
腐食モニター      除染ループ系循環ポンプ      廃液処理ループ系循環ポンプ      第1塔      第2塔

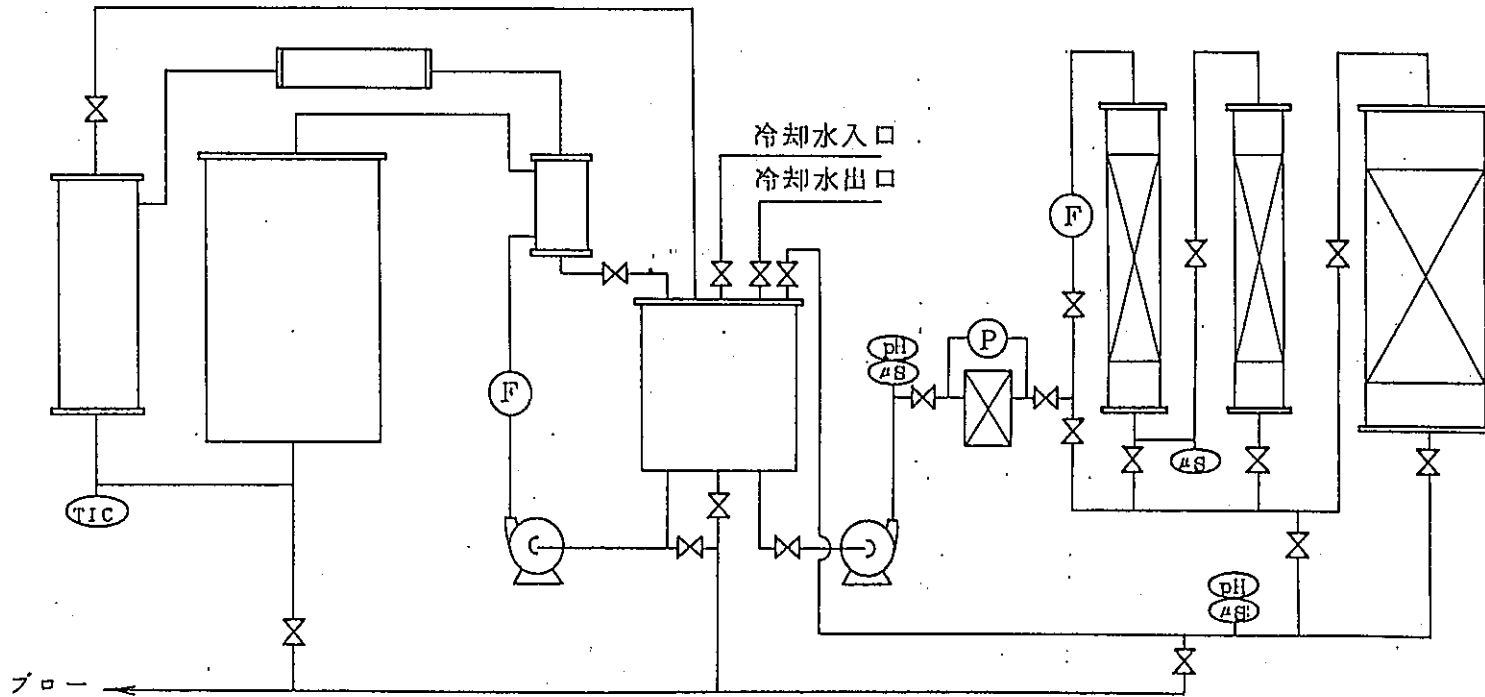


図 5 - 8 小型除染ループ試験装置

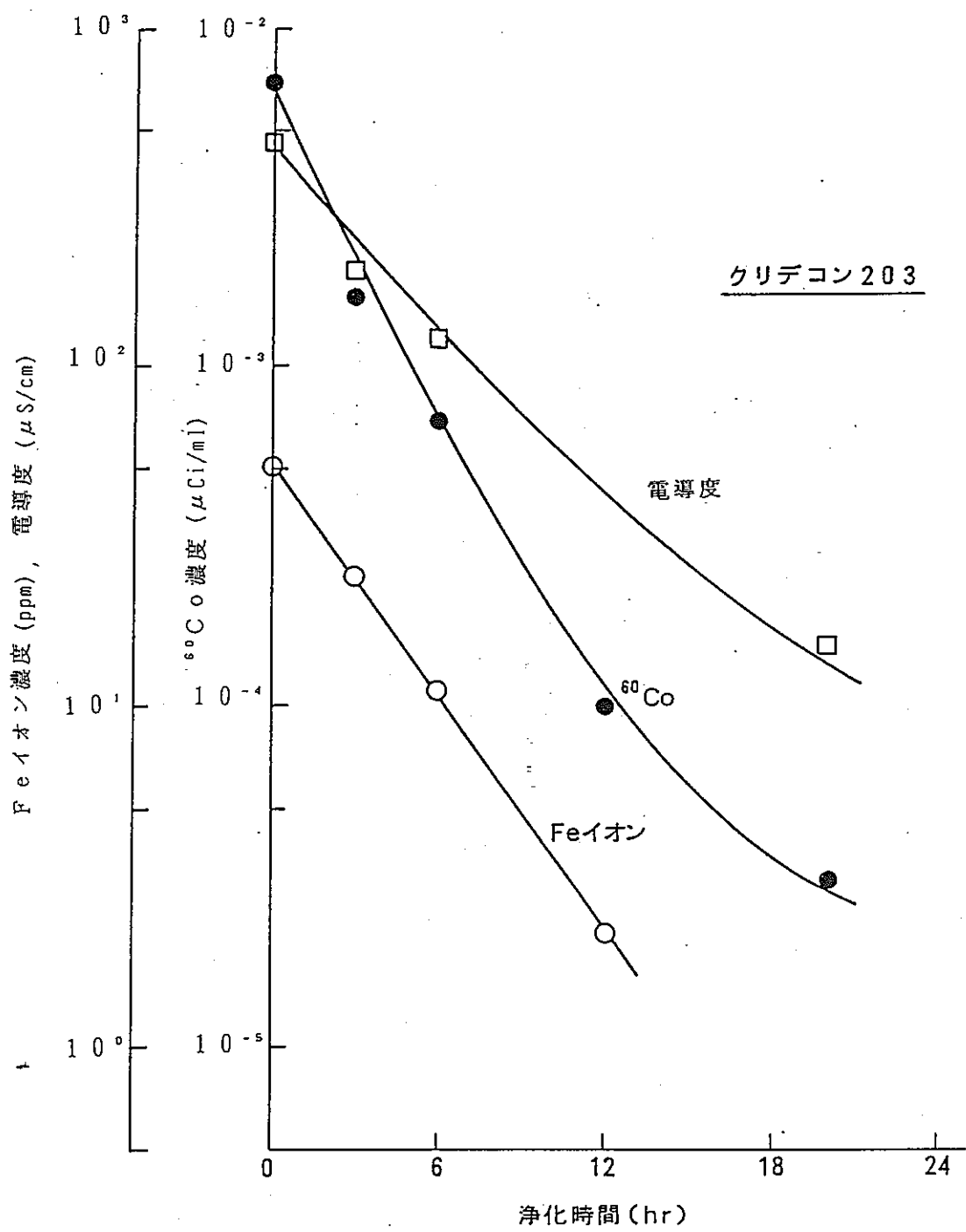


図 5-9 除染液の浄化試験結果

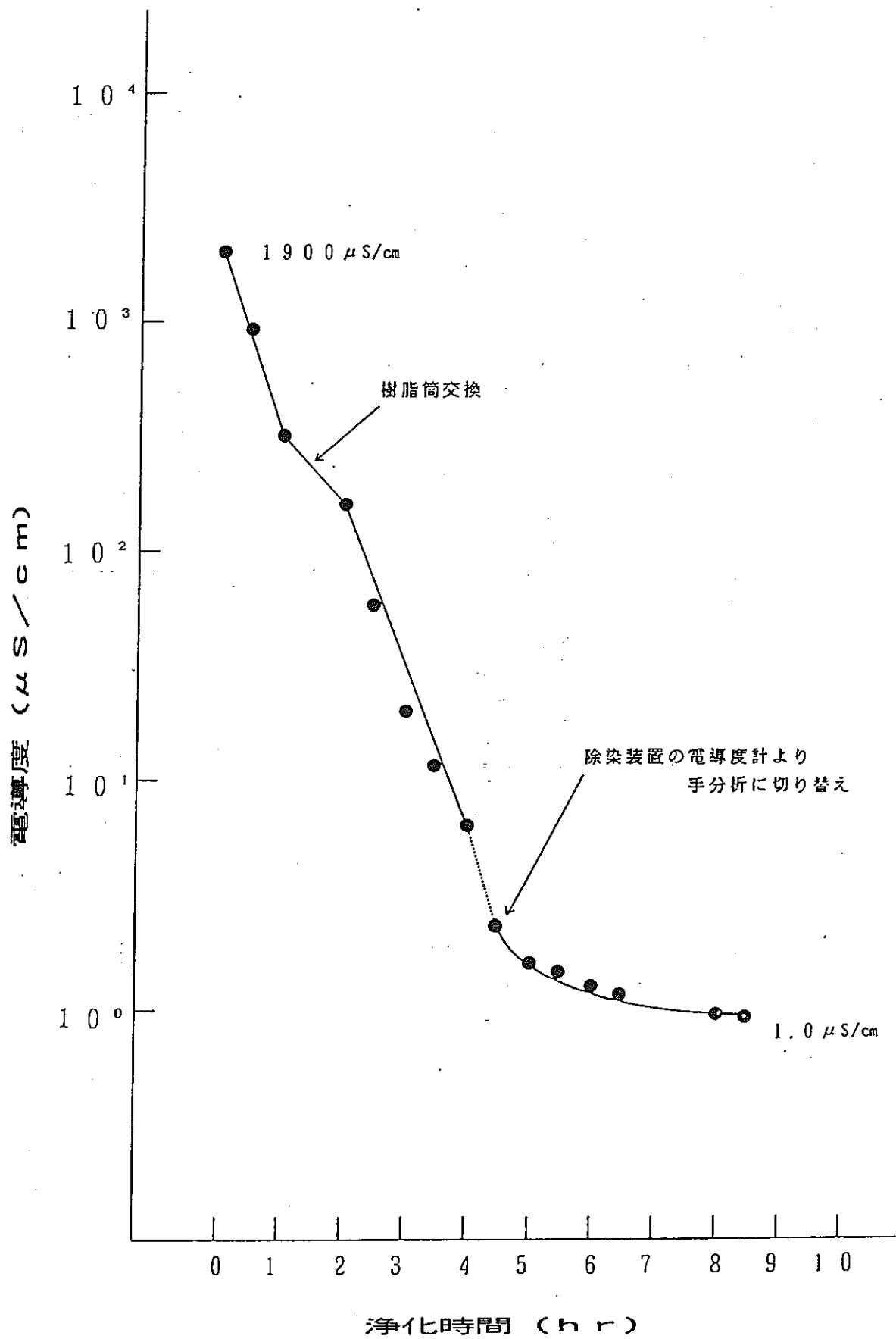


図5-10 浄化時の除染液電導度推移 (C U W 熱交除染)

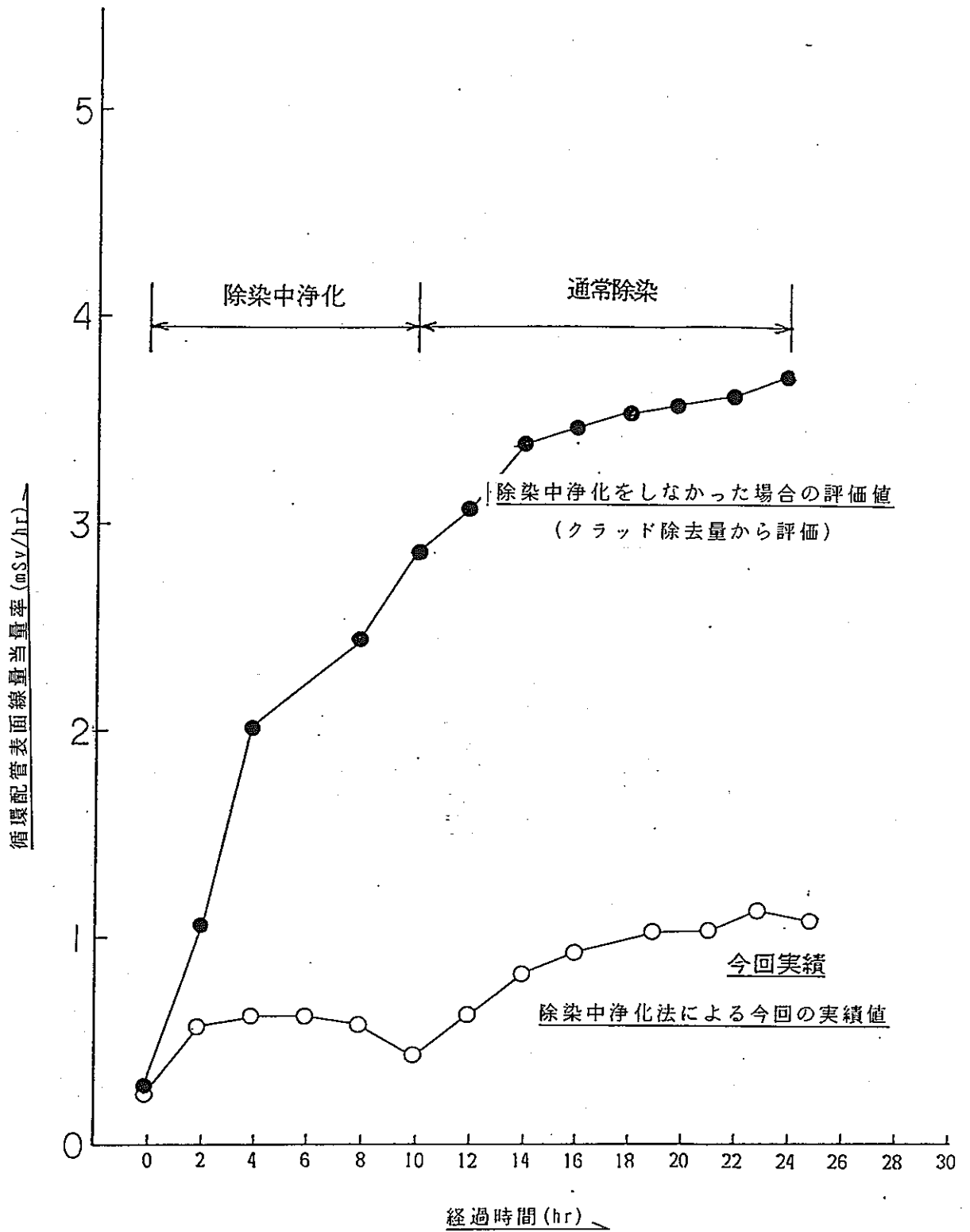


図5-1-1 第7回定期検査時のC U W熱交換器除染  
(除染中浄化の効果):





新型轉換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料-6 系 統 除 染 方 法

平成元年6月

## 目 次

	頁
6-1. 系統除染計画 .....	1
6-2. 系統除染方法 .....	2
6-3. 廃液処理方法 .....	4
6-4. モニタリング方法 .....	5
6-5. 除染時の作業管理 .....	5
6-6. 再汚染軽減対策 .....	6

系統除染方法は、これまでの研究開発の成果を踏まえ、除染中における線量当量率をプラントの通常停止状態と同等することを目的として、除染液の一部を浄化しながら除染する「除染中浄化法」を適用して行う計画である。

以下にその内容を記す。

## 6-1. 系統除染計画

### (1) 除染範囲

対象除染範囲は、原子炉冷却系のAループで図6-1に示すとおり、原子炉再循環系の機器・配管，入口管，圧力管，上昇管であるが、系統除染時の系統運用から、原子炉冷却材浄化系（以下「CUW」と略す）の一部及び、余熱除去系（以下「RHR」と略す）の一部も除染液の接液範囲となる。

なお、除染対象ループの燃料は、除染前に全て取り出すこととする。

### (2) 除染目標

系統除染の除染係数（DF）は、2以上を目標とする。

### (3) 除染条件

除染条件は、以下のとおり計画している。

- ① 除染剤濃度：0.05 ～ 0.1%
- ② 除染温度：120℃
- ③ 除染時間：24時間

(4) クラッド量及び放射エネルギーの見積り

系統除染を実施するに当たり、除染対象系統のクラッド量及び放射エネルギーを、以下のとおり見積っている。

- ① クラッド量：約 40 kg
- ② 放射エネルギー：約 200 Ci

なお、クラッド量及び放射エネルギーの各系統別の見積り値を表 6-1 に示す。

(5) 除染剤及びイオン交換樹脂の使用量

除染対象系統のクラッドの溶解に使用する除染剤の量及び除染液の浄化に使用するイオン交換樹脂の使用量は、上記クラッド量の見積りから、以下のとおり計画している。

- ① 除染剤の使用量：約 250 kg
- ② イオン交換樹脂の使用量：約 7,000 ℓ (7 m<sup>3</sup>)

## 6-2. 系統除染方法

系統除染の工程には、図 6-2 及び図 6-3 に示すとおり「昇温」⇒「除染中浄化」⇒「循環除染」⇒「浄化」⇒「浄化・フラッシング」があり、それぞれ以下の方法で実施する計画である。

(1) 昇温工程 (図 6-4 参照)

原子炉再循環ポンプ (以下「RCP」と略す) の低速 2 台運転と、RHR 熱交換器胴側への補助蒸気通気により、除染系統水を約 12 時間で 120℃まで昇温する。

昇温完了後、下部ヘッドドレンラインより仮設の薬注設備にて、除染剤を 0.05% 濃度まで注入する。

以後、循環除染工程終了までは、RHR 熱交換器の胴側への補助蒸気流量の調整により、除染液の温度を 120℃に保持する。

また、RCP は基本的に全ての除染工程終了時まで低速 2 台運転とする。

(2) 除染中浄化工程 (図 6 - 5 参照)

循環している除染液の一部を C U W 脱塩器に通水し、除染液を浄化する。

また、C U W 脱塩器通水による除染剤の補償分を連続的に薬注する。

本工程は、C U W 脱塩器の樹脂が 3 塔ブレイクした時点 (約 1 2 時間) で終了とする。

(3) 循環除染工程 (図 6 - 6 参照)

除染中浄化工程終了後、C U W 脱塩器をバイパスさせ、除染剤濃度が 0.1% になるように薬注を行う。

以後、薬注は行わず、本工程においては C U W 脱塩器もバイパス運用する。

本工程は、原則として除染中浄化工程開始から 2 4 時間で終了とする。

(4) 浄化工程 (図 6 - 7 参照)

R H R 熱交換器胴側への補助蒸気通気を停止するとともに、C U W 脱塩器に通水し除染液を浄化する。

本工程は、除染液の電導度が  $10 \mu S / cm$  以下になった時点で引き続き次の「浄化・フラッシング」工程へ移る。

(5) 浄化・フラッシング工程 (図 6 - 7 参照)

滞留部等が考えられる箇所については、系統内の各ドレン、ベントライン等よりドレンフラッシングする。また、この方法が困難な箇所については、逆洗水をドレン、ベントライン等から系統内に注入し C U W 脱塩器により浄化する。

本工程における浄化は、除染液の電導度が  $1 \mu S / cm$  以下になった時点で系統水の全ブローを行う。その後水張りを実施し再度浄化を行い終了とする。

### 6-3. 廃棄物処理方法

系統除染による廃棄物としては、C U W脱塩器の廃樹脂と除染系統のフラッシング水があり、それぞれ以下の方法で処理する計画である。

#### (1) 廃樹脂処理

「除染中浄化」，「浄化」及び「浄化・フラッシング」の工程において発生するC U W脱塩器の廃樹脂は、通常の脱塩器廃樹脂処理と同様、固体廃棄物処理系の粒状廃樹脂貯蔵タンクへ移送し貯蔵する計画である。

粒状廃樹脂の貯蔵能力は、容量207.5 m<sup>3</sup>，放射エネルギー約5万Ciで設計されている。現在までの貯蔵量は、容量42 m<sup>3</sup>で、その放射エネルギーは、高めに評価しても約1万Ciと推定されており、今回の系統除染において新たに容量約7 m<sup>3</sup>，放射エネルギー約200 Ciが発生しても貯蔵能力には十分余裕がある。

#### (2) 廃液処理

「浄化・フラッシング」工程においてドレンする廃液は、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の機器ドレンサンプピットに排水して、通常の機器ドレン廃液と同様に液体廃棄物処理系で処理し、復水貯蔵タンクに回収され再利用される。

#### 6-4. モニタリング方法

系統除染時のモニタリングとしては、放射線関連のモニタリングと水質関連のモニタリングとがあり、それぞれ以下の方法で実施する計画である。

##### (1) 放射線関連のモニタリング

系統除染結果を評価するため、除染前後に除染対象機器、配管等について、電離箱サーベイメータ等により線量当量率の測定を行う。また、除染中においては、除染対象系統の線量当量率の経時変化を確認するとともに、除染作業に係る過剰被ばくを防止するため、遠隔式の線量当量率測定装置により連続監視を行う。

##### (2) 水質関連のモニタリング

除染液に接する構成材料の健全性を確保し除染作業を円滑に進めるとともに、系統除染の評価に資するため、除染液をサンプリングし、除染剤濃度、グロスマ、溶出金属イオン濃度、電導度等の測定分析を行う。

#### 6-5. 除染時の作業管理

系統除染時には、除染対象系統に近接する作業を制限する。

なお、除染対象系統に接近する場合は、前項6-4に記した遠隔式の線量当量率測定装置等により、接近する付近の線量当量率を事前に確認し、系統除染中の過剰被ばくを防止する。

除染作業に係る線量当量は、約0.1人・シーベルトと予測しており、大半がフラッシング作業によるものである。

#### 6-6. 再汚染軽減対策

再汚染軽減対策としては、中空糸膜フィルタの採用等が考えられるが、これらは長期的対策であるため別途検討することとし、当面の対策としては、燃料付着クラッドを超音波洗浄にて除去することにより、再汚染の軽減を図る計画である。

なお、プラント運転中に放射エネルギーの経時変化をモニタリングし、再汚染量の測定を行う計画である。



表 6 - 1 . 各系統のクラッド及び放射能の見積量

名 称 \ 項 目	面 積 (㎡)	保 有 水 量 (㎡)	ク ラ ッ ド 量 (kg)	放 射 能 量 (Ci)
原 子 炉 本 体	1 1 7 6. 3	2 1. 8	2 2. 9	1 8 2. 6
再 循 環 系	3 7 6. 4	2 8. 4	8. 7	1 7. 4
炉 浄 化 系	3 2 7. 1	1 1. 8	3. 3	1 0. 0
余 熱 除 去 系	5 1 8. 0	8. 3	6. 8	1. 6
再 循 環 ポ ン プ シ ー ル 注 排 水 系	6 3. 0	1. 1	0	0
合 計	2 4 6 0. 8	7 1. 4	4 1. 7	2 1 1. 6

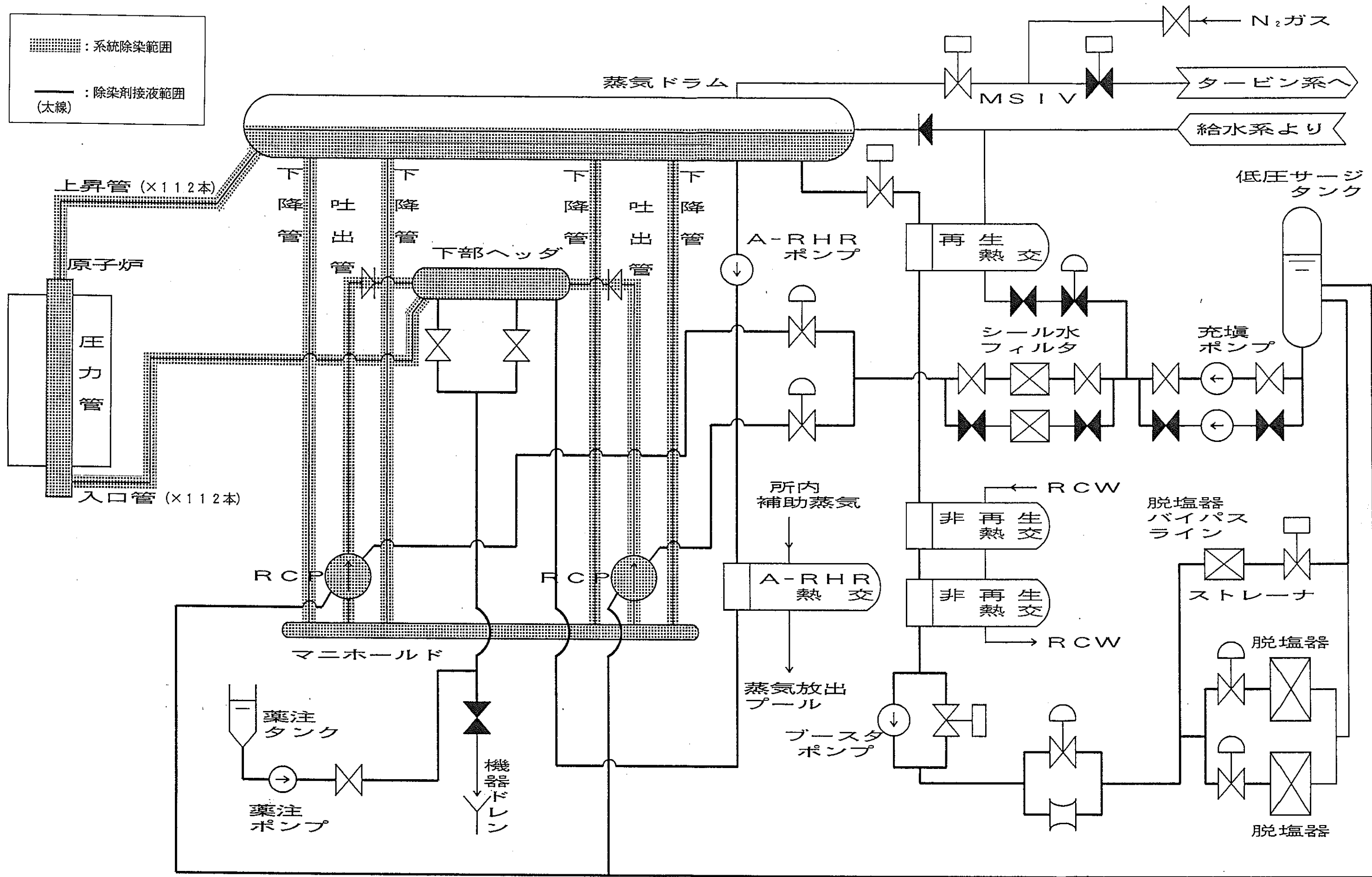


図 6 - 1 . 系 統 除 染 範 囲

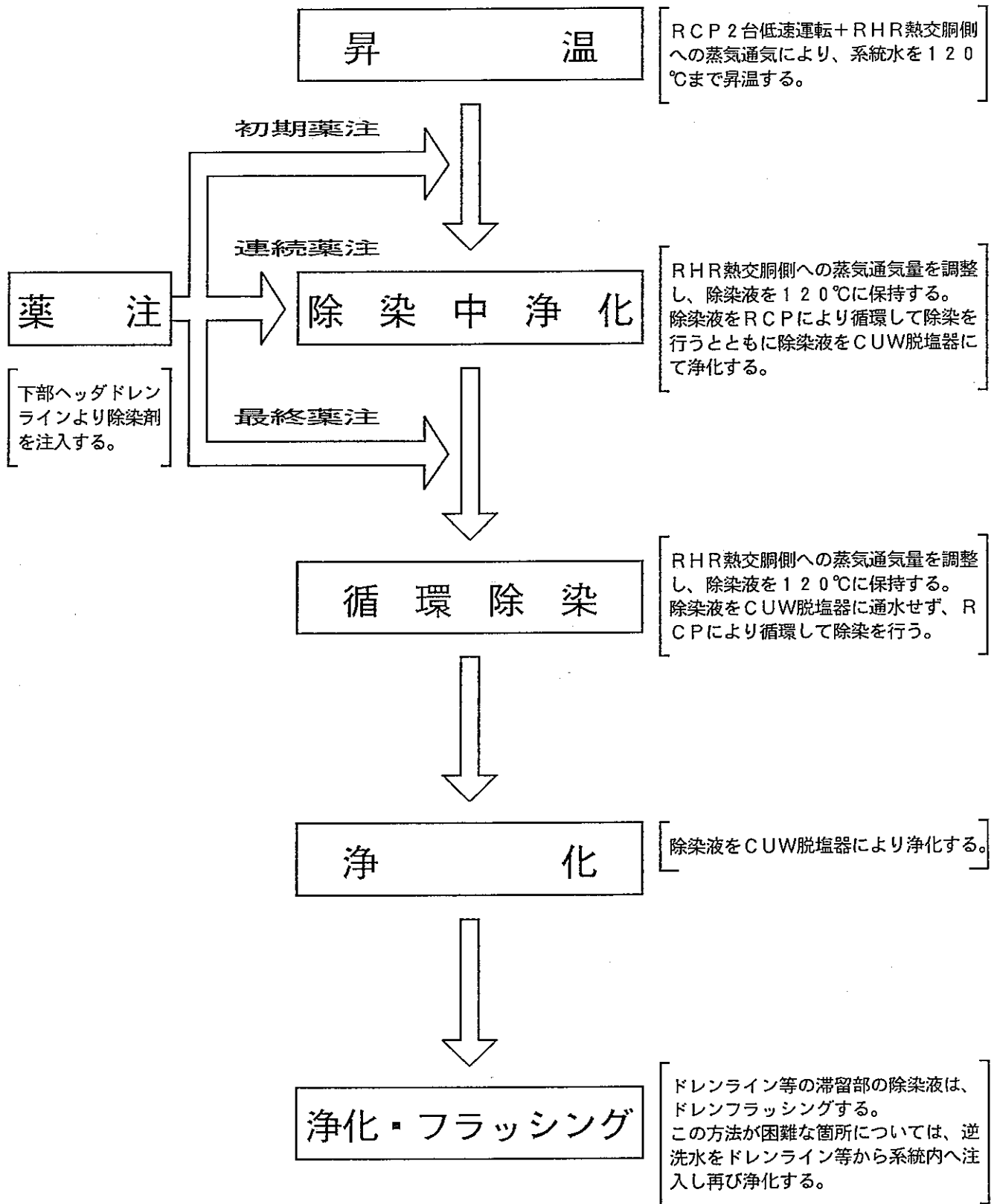
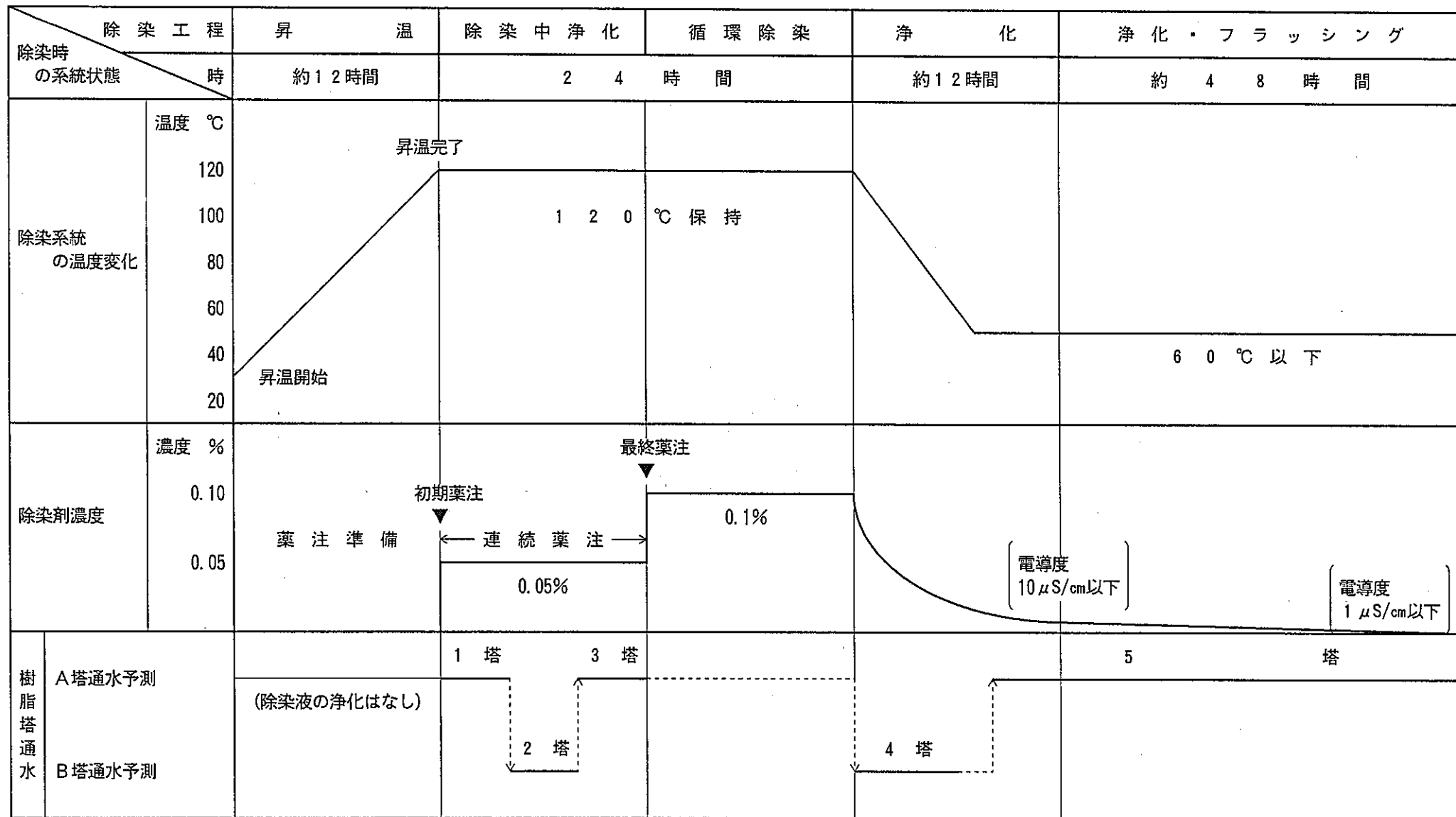


図6-2. 系 統 除 染 概 略 フ ロ ー

図6-3. 系統除染概略工程



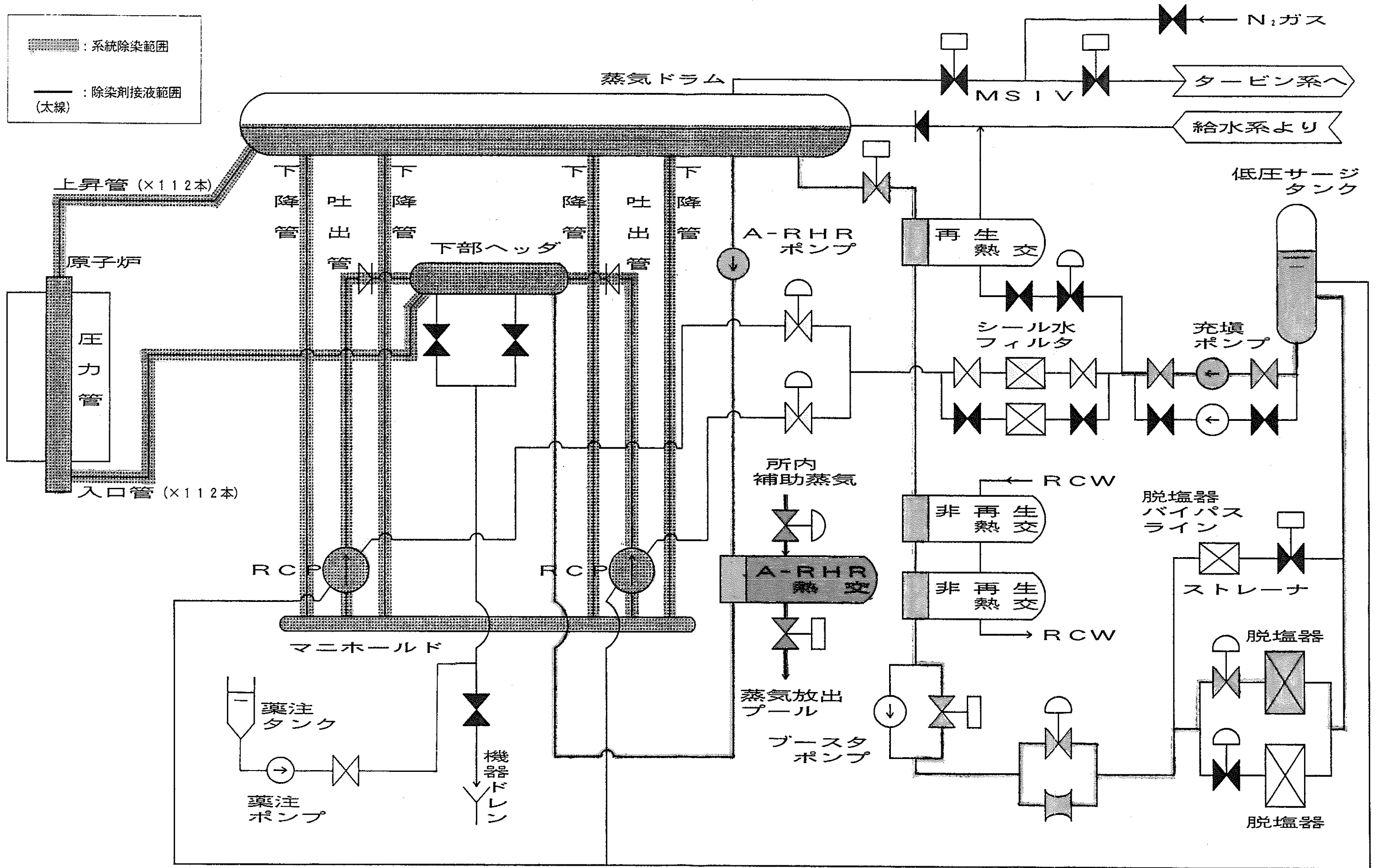


図 6 - 4 . 昇温工程系統状態



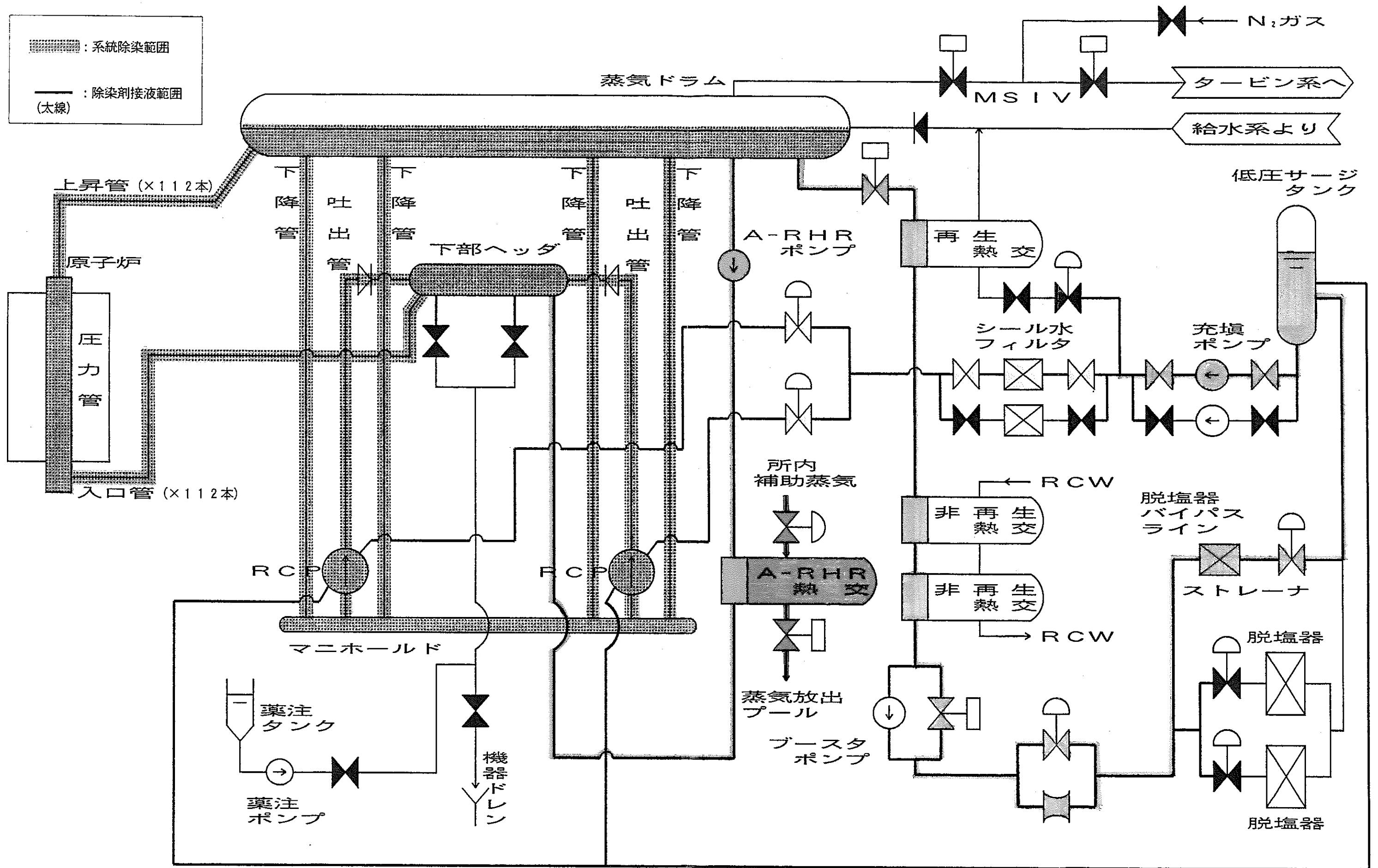


図 6 - 6 . 循環除染工程系統状態







新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料－7 健全性確認試験計画

平成元年6月

## 目 次

	頁
7-1. 材料モニター試験計画 .....	1
7-2. 開放点検による確認 .....	3
7-3. 実証試験時の材料モニターについて .....	5

原子炉冷却系系統除染の適用に当たっては、材料試験結果から構成材料の健全性に影響を及ぼすことはないと考えているが、これを検証することを目的として材料モニター試験により除染中の健全性を把握するとともに、除染後に除染液と接液する機器の一部について開放点検時に健全性に問題のないことを確認する計画である。

以下にその内容を記す。

## 7-1. 材料モニター試験計画

### (1) 試験概要

材料モニター試験は主に系統除染実施中の構成材料の腐食量の評価を目的として、試験片を圧力管集合体内に装荷して実機除染環境で試験・調査する。また、一部の試験片については、除染終了後、既設のインプラント材料試験設備内のオートクレーブ内に装着し、約1年間実炉水環境下に浸漬させた後、評価する計画である。

### (2) 試験項目

#### ① 腐食試験

無負荷の試験片を実機除染環境中に浸漬させ、全面腐食量を評価する。また、接触試験片及び隙間試験片を組み合わせることにより、局部腐食の有無を確認し評価する。

#### ② CT (Compact Tension) 試験 (又は、ボルトWOL「Wedge Opening Loading」試験)

潜在的なSCC等による亀裂が存在する場合を想定し、その亀裂が除染の影響により進展しないことを確認する。

試験方法は、SCCを発生し易くするためにSUS304材に鋭敏化熱処理を施すとともに、予亀裂を入れた試験片に応力を加えた状態で浸漬させ、除染により予亀裂が進展しないことを確認するものである。

### (3) 供試材

材料モニター試験の供試材は、除染液と接液するプラント構成材から、次の材料を対象としている。

なお、各試験片の仕様を表7-1に、また形状を図7-1～図7-3に示す。

① 圧力管材	————	Zr-2.5wt%Nb
② 圧力管上下部延長管材	————	SUS403Mod.
③ 原子炉冷却系構成材	————	SUS316, SUS304
④ 余熱除去系構成材	————	炭素鋼 (STPT38)
⑤ 参考材	————	Zry-2, インコネル718

### (4) 評価方法

図7-4に材料試験片評価フローを示す。

各材料試験片は、図7-5に示す収納容器内に取り付けられ、系統除染対象ループ内の圧力管集合体内に装着される。その後、系統除染の間中浸漬された試験片は、系統除染終了後、圧力管集合体内より取り出される。

取り出された各試験片のうち、表7-1に示す評価用の試験片については、観察され系統除染による影響を評価する。また、追跡用試験片については、発電所内に設けられている既設のインプラント材料試験設備内のオートクレーブ内に再び装荷され、約1年間実炉水環境下に浸漬された後、観察評価される。

既設のインプラント材料試験設備は、「ふげん」で実施している水素注入によるSCC感受性の低減効果を確認するために設置しているものであり、図7-6に示すようにプラント運転中に下部ヘッダBから原子炉冷却水を通水しており、その環境は、実炉水環境と同等である。

## 7-2. 開放点検による確認

発電所の定期検査の一環として、系統除染後にプラント構成機器の大部分が定期検査計画に従って、開放あるいは分解点検される。この点検に際して、機器の構成材に対し除染による影響がなかったことを確認する計画である。具体的な確認方法としては、これまでの点検結果と今回の点検結果とを比較し、部分腐食等が認められた場合には、サンプル材を採取して、分析評価する計画である。

今回の定期検査において、除染液と接液する機器のうち、開放あるいは分解する機器は、下表のとおりであり、その系統内での位置を図7-7～図7-9に示す。

なお、プラントの構成機器は、原則として3～5年サイクルで開放あるいは分解点検する計画であり、除染に伴う機器の健全性は十分把握できると考えている。

No.	機 器 名 称	点 検 内 容
1	蒸気ドラム A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ マンホールパッキン取替</li> <li>・ 可視可能範囲の内部構造物を目視により点検</li> </ul>
2	下部ヘッド A	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 部分取替に際して可視可能範囲について内部点検を行う。</li> </ul>
3	熱交換器 原子炉冷却材浄化系 非再生熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開放点検</li> <li>・ 伝熱管の渦流探傷検査</li> </ul>

No.	機 器 名 称	点 検 内 容
4	ポンプ類 (1) 原子炉再循環系 再循環ポンプ A 再循環ポンプ C  (2) 原子炉冷却材浄化系 充填ポンプ A ブースタポンプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> </ul>
5	弁 類 (1) 原子炉冷却材浄化系 内隔離弁  (2) 余熱除去系 戻り外隔離弁 蒸気ドラム A 取水弁 下部ヘッド A 注水弁  (3) 低圧注水系 下部ヘッド A 注水逆止弁	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> <li>・ 分解点検</li> </ul>

### 7-3. 実証試験時の材料モニターについて（実績）

「ふげん」においては、これまで原子炉冷却系系統除染計画の一環とし、実証試験として熱交換器等の機器単体除染を実施している。この単体除染において除染系内に試験片を浸漬して、腐食量を評価している。その結果は、表7-2に示すとおりであり、局部腐食等は認められていない。また、除染後においては、熱交換器の開放点検を実施するとともに伝熱管に対して渦流探傷検査を行っているが、いずれも異常はなく除染による影響は認められていない。



表 7 - 1 材料試験片の詳細

No.	試験片の種類	材 質	仕 様	員 数		備 考	
				評価用	追跡用		
1	腐食試験片	圧力管材 Zr-2.5wt%Nb	「ふげん」 予備材	5	5	図 - 1	
2		圧力管上・下部 延長管材 SUS403M	加工のまま	3	—		
3		配管材 (1)  SUS304	溶体化処理	3	—		
4			二段時効の鋭敏化熱処理 (750°C × 100m + 500°C × 24hr)	3	—		
5		配管材 (2) SUS316	溶体化処理	3	—		
6		配管材 (3) STPT38 (炭素鋼)	JIS仕様のまま	3	—		
7	腐食試験片	圧力管 ロールドジョイント部	SUS403M + Zr-2.5wt%Nb	3	3	図 - 2	
8	接触試験片	機器構造物 熱交換器等	SUS304 + SUS304	3	3		
9	腐食試験片 隙間試験片	フランジ等	SUS304 + ガasket + SUS304	3	—		
10	CT試験片 (予亀裂入り)	配管材  SUS304	二段時効 の鋭敏化 熱処理 750°C × 100min + 500°C × 24hr	注) $K_{I0} = 50 \text{ kg} / \text{mm}^{3/2}$	1	1	図 - 3
11				$K_{I0} = 70 \text{ kg} / \text{mm}^{3/2}$	1	1	
12				$K_{I0} = 100 \text{ kg} / \text{mm}^{3/2}$	1	1	
13	参考材	燃料被覆管 Zry-2	加工のまま	3	—	図 - 1	
14	腐食試験片	燃料スペーサ材 インコネル718	加工のまま	3	—		

注) 従来知見として得られている  $K_{Isc}$  が  $50 \sim 70 \text{ kg} / \text{mm}^{3/2}$  であることを参考として、初期  $K_{I0}$  値を、これと同等なもの及び安全側評価として高いものとして設定した。

表 7 - 2 実証試験時の材料モニター結果

No.	機器名称	実施時期	除染条件	試験片の分析結果
1	原子炉冷却材 浄化系熱交換器	昭和62年	除染剤：KD203 濃度：0.2 % 温度：120 °C 時間：16 時間	SUS316 — 腐食量：~0 μm
2	原子炉冷却材 浄化系熱交換器	昭和63年	除染剤：KD203 濃度：0.05 ~ 0.1 % 温度：120 °C 時間：24 時間 (除染中浄化適用)	SUS316 — 腐食量：~0 μm
3	余熱除去系 熱交換器	昭和62年	除染剤：KD203 濃度：0.2 % 温度：120 °C 時間：8 時間	SUS316 — 腐食量：~0 μm STPT38 — 腐食量：2.8 μm SB49 — 腐食量：3 μm

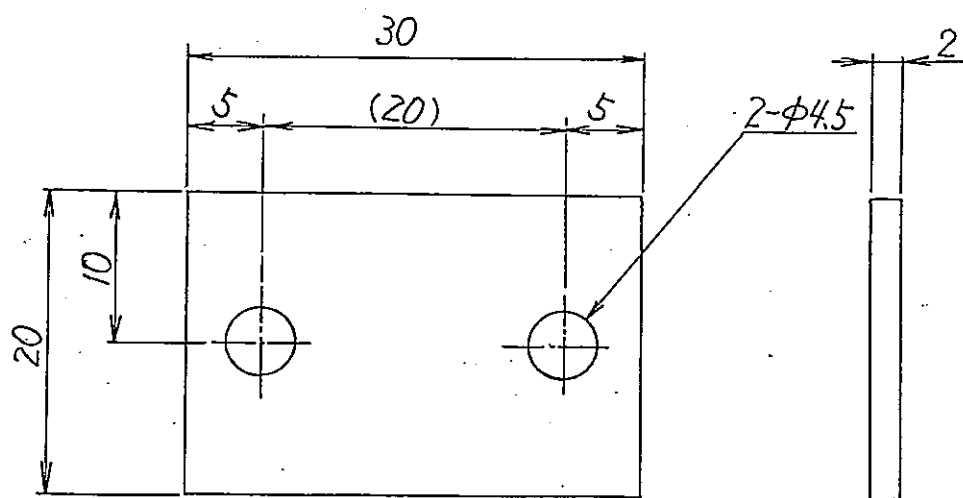


図 7 - 1 腐食試験片

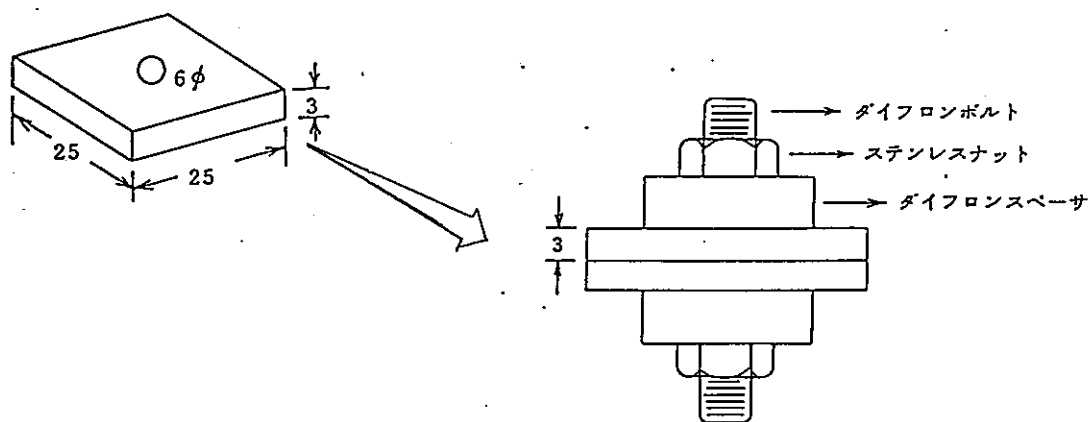


図 7 - 2 腐食試験片 (接触及び隙間用)

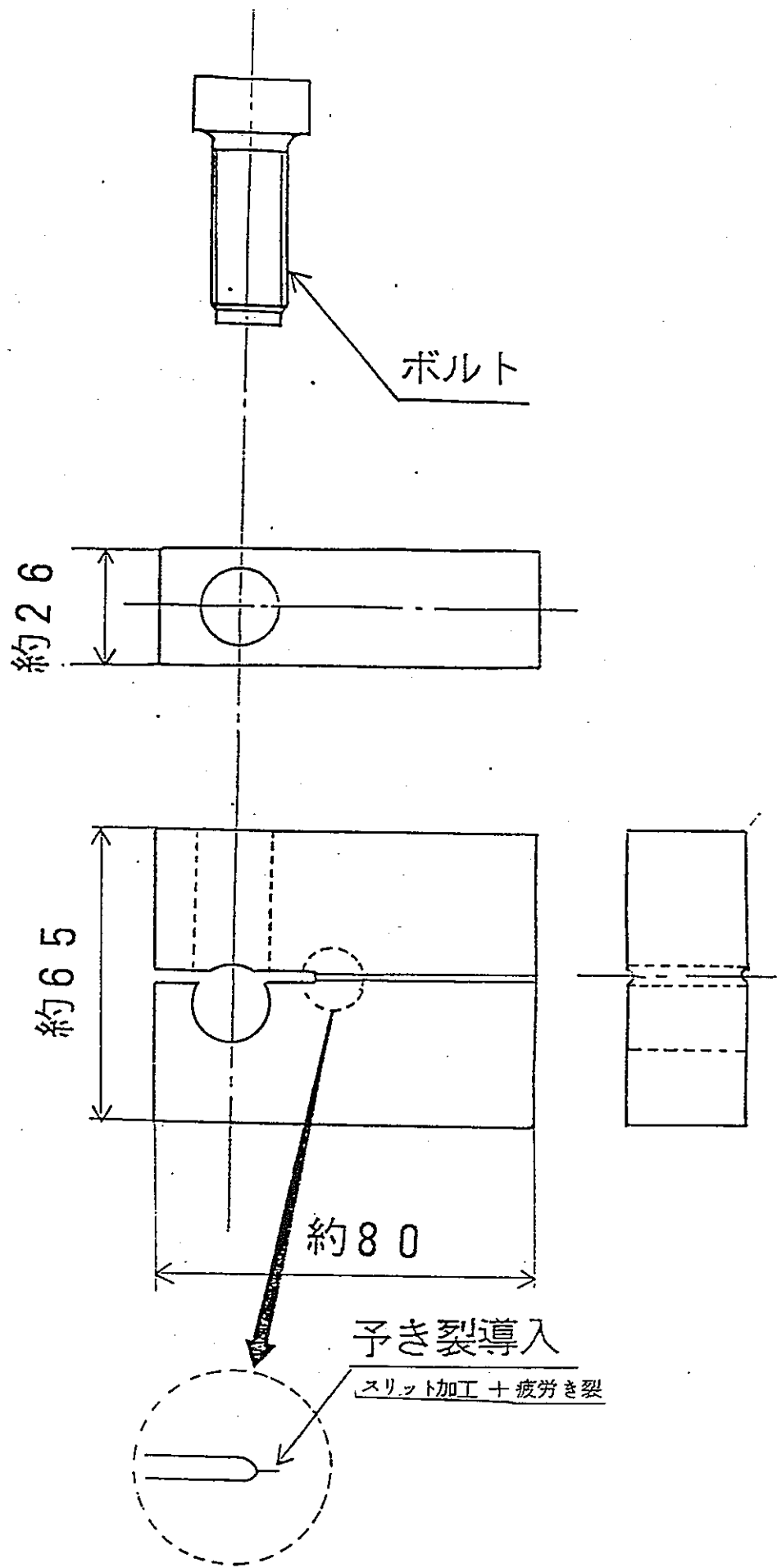


図7-3 CT (ボルトWOL) 試験片

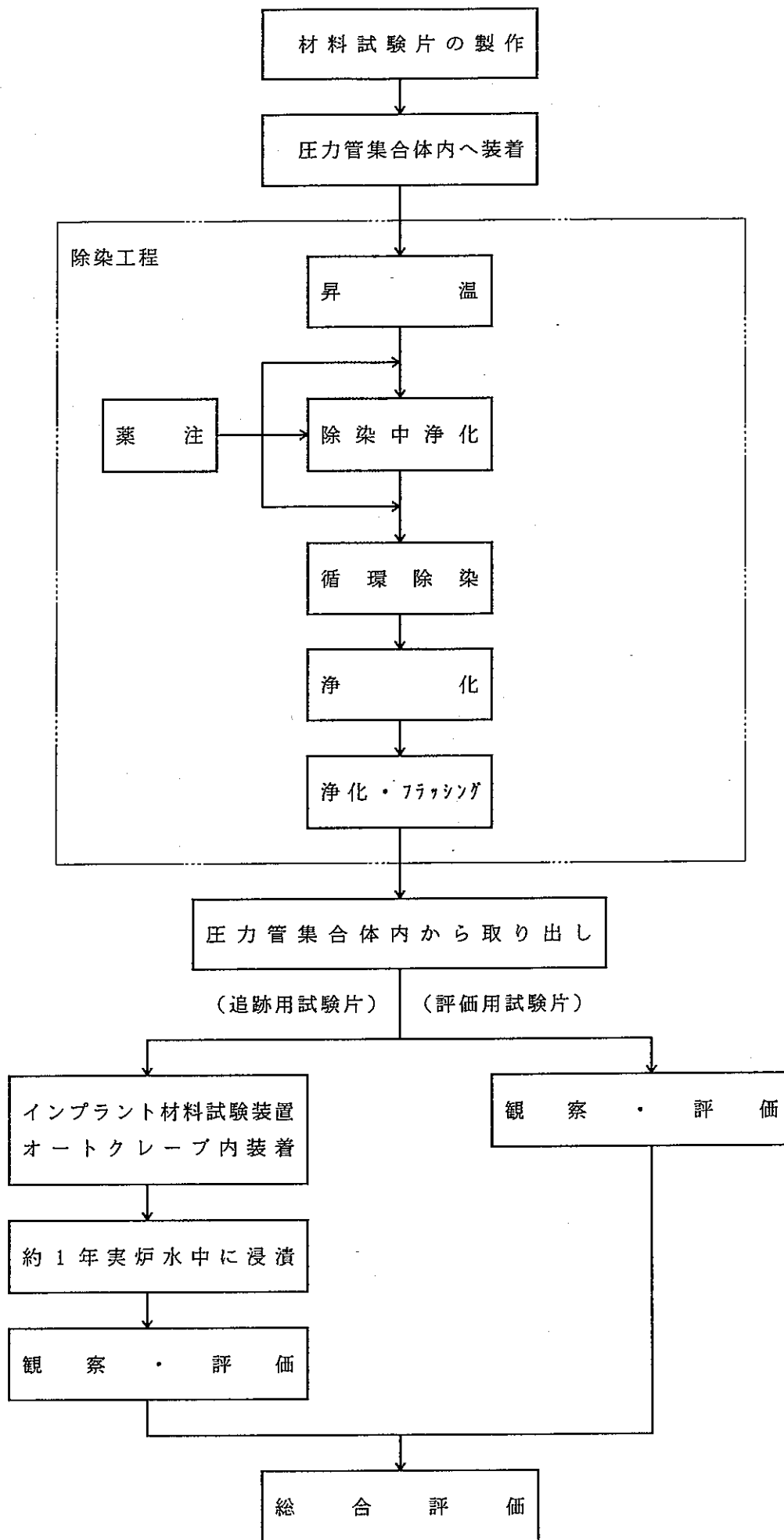
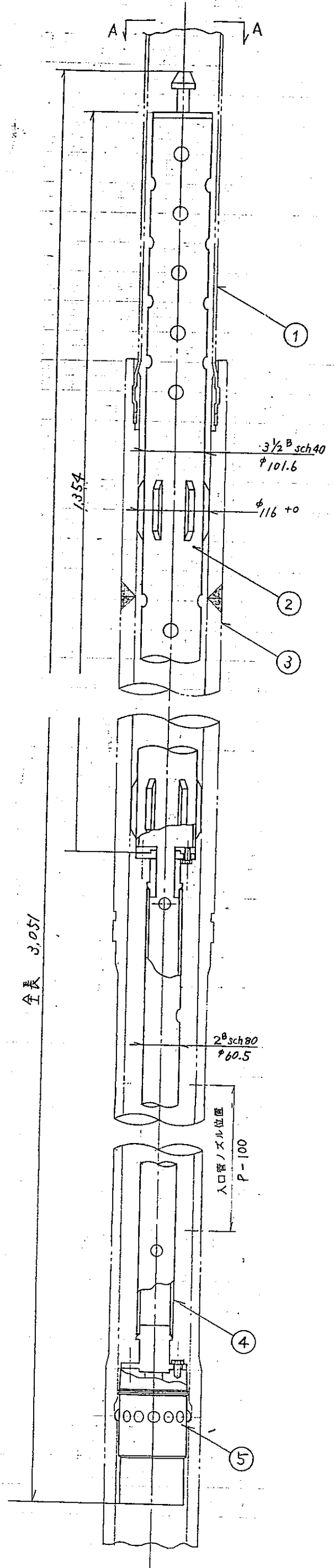
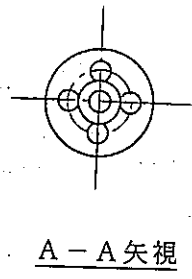
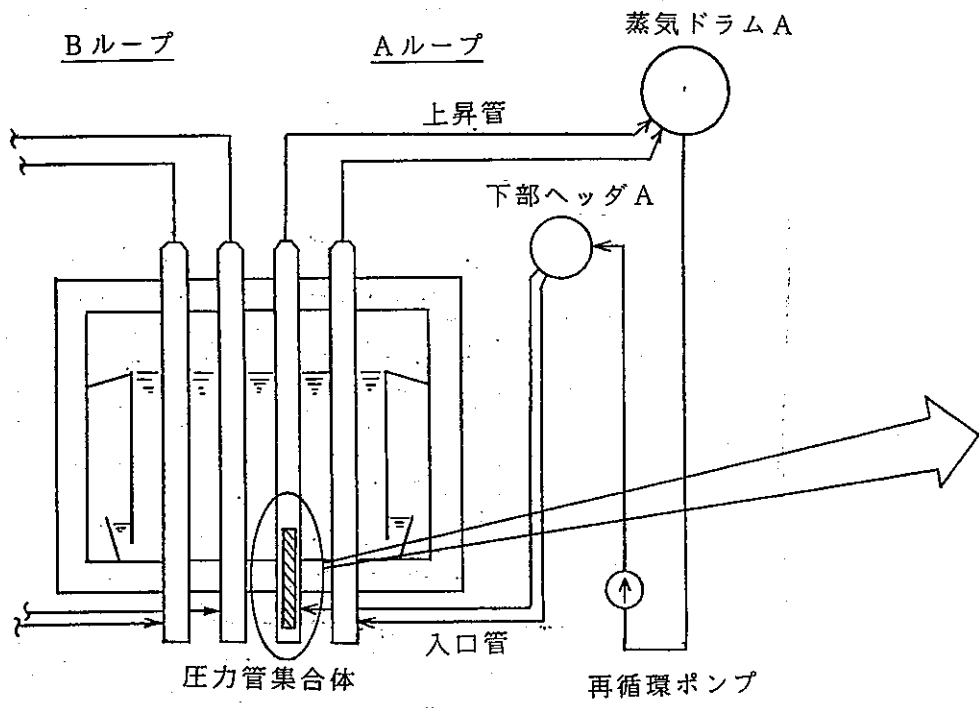
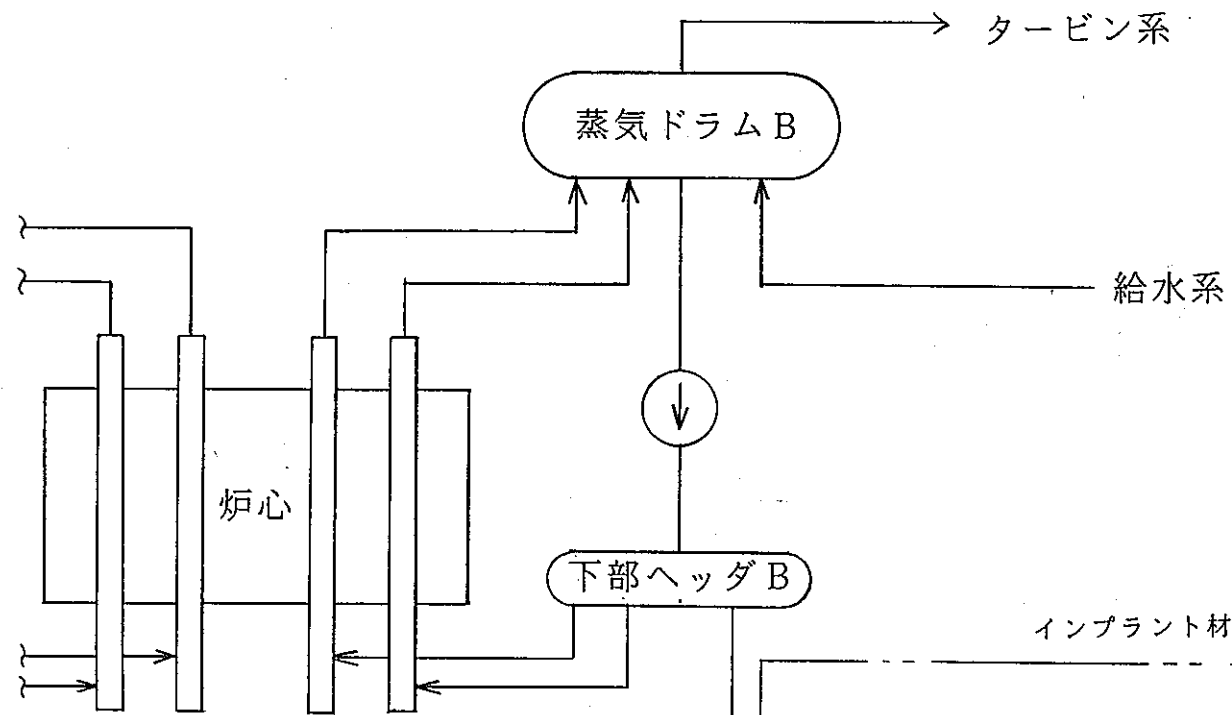


図7-4 材料試験片 評価フロー

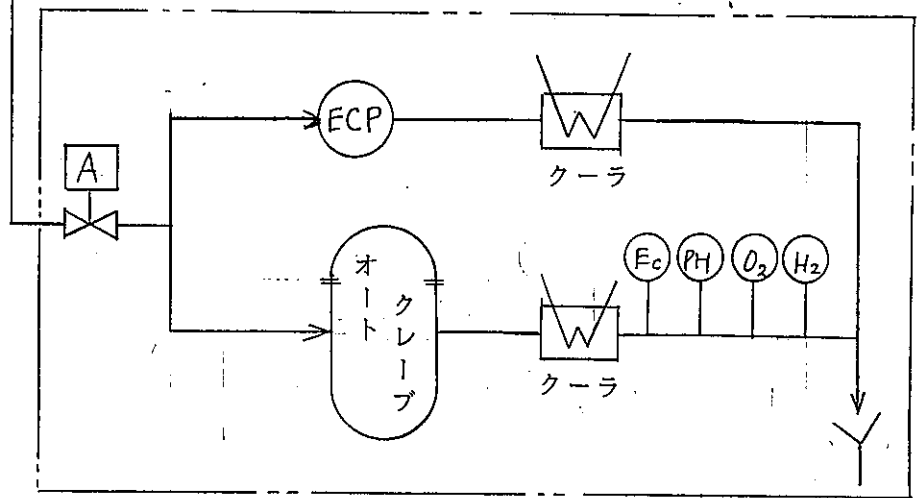


品番	名称	材質	備考
1	圧力管	Zr-2.5W1%Nb	
2	試験片収納容器	SUS304	
3	圧力管下部延長管	SUS403M	
4	支持管	SUS304	
5	プラグ	—	

図 7-5 材料試験片収納容器装着位置図



インプラント材料試験設備



注)

- E C P : 腐食電位計
- E c : 導電率計
- P H : P H計
- O<sub>2</sub> : 溶存酸素計
- H<sub>2</sub> : 溶存水素計

図 7 - 6 インプラント材料試験設備系統図





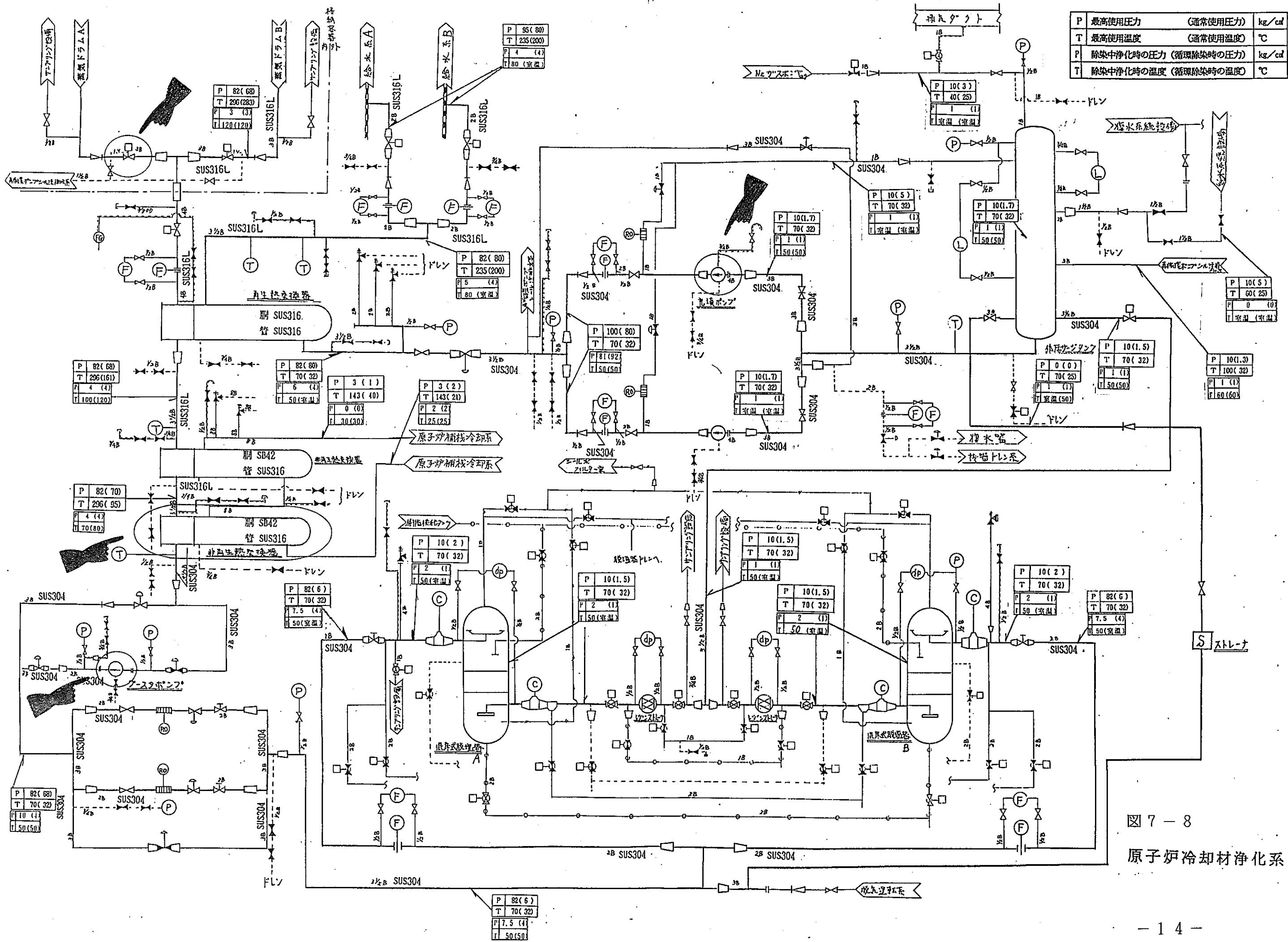
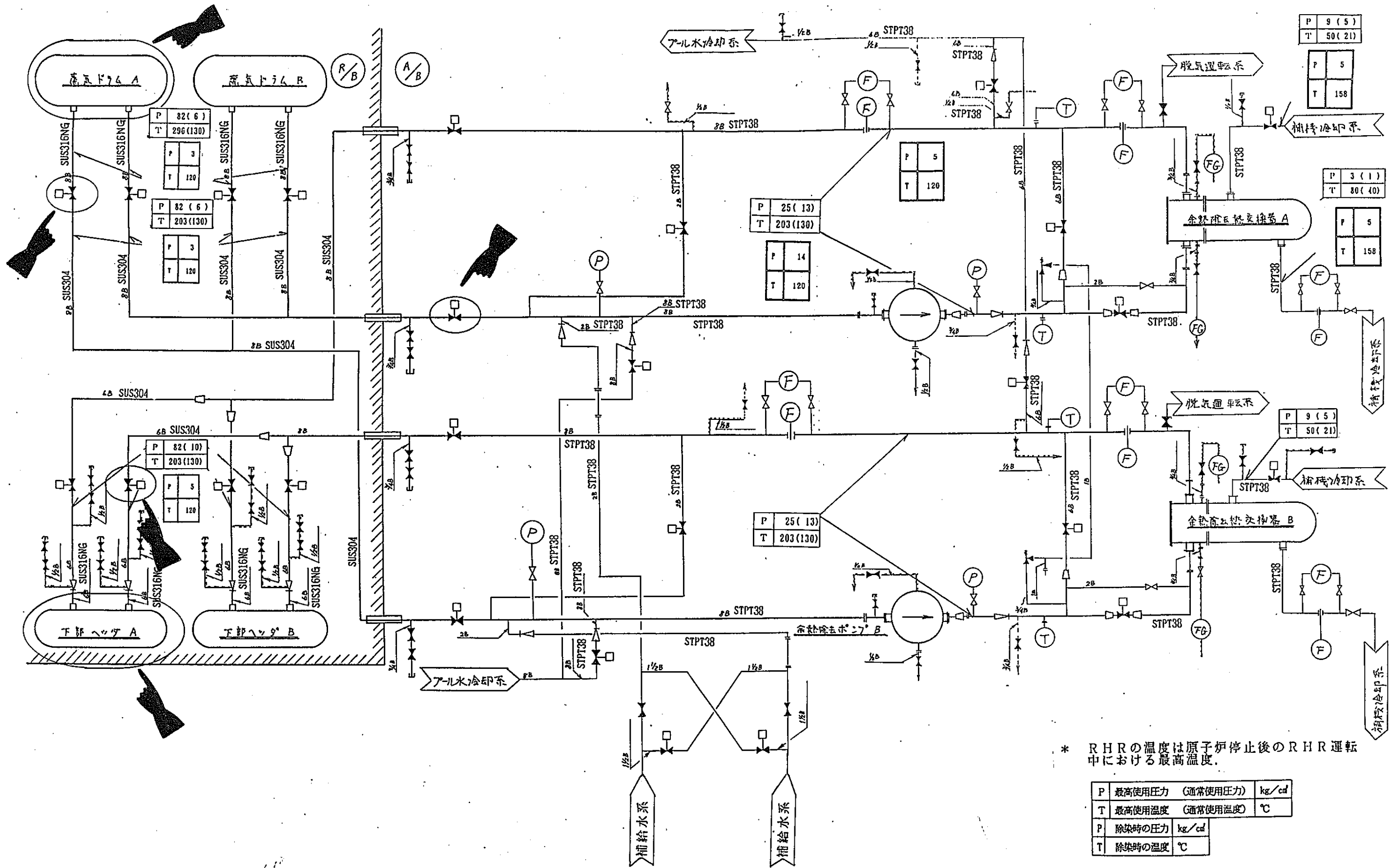


図 7-8  
原子炉冷却材浄化系



\* RHRの温度は原子炉停止後のRHR運転中における最高温度。

P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	℃
P	除染時の圧力	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染時の温度	℃

図7-9 余熱除去系

## Ⅱ. 新型轉換炉ふげん発電所

原子炉冷却系系統除染説明用資料(QA集)

新型轉換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染説明資料

平成元年 6 月

動力炉・核燃料開発事業団

# 目 次

## 1. 系統除染対象部の設備概要

(資料番号)

### 1-1 一次系構成

- (1) ふげん発電所の全体図 ..... 1-1-(1)
- (2) 「ふげん」の各系統図 ..... 1-1-(2)
- (3) 機器・配管材料リストおよび機器単体図 ..... 1-1-(3)

### 1-2 一次系水質の管理値と現状 ..... 1-2

## 2. 作業被ばくと系統除染効果

### 2-1 過去の被ばく状況と被ばく低減策

- (1) 原子炉冷却系機器・配管表面の線量率上昇傾向と作業被ばく実績 ..... 2-1-(1)
- (2) これまでの被ばく低減策とその効果（作業管理面） ..... 2-1-(2)
- (3) これまでの被ばく低減策とその効果（水質管理面） ..... 2-1-(3)
- (4) 「ふげん」の改造工事に係わる被ばく線量の大きな工事 ..... 2-1-(4)
- (5) C U W熱交換器の表面線量率について ..... 2-1-(5)

### 2-2 原子炉冷却系系統除染の必要性と効果 ..... 2-2

## 3. 除染健全性確認

### 3-1 除染剤の選定

- (1) 除染剤の選定根拠 ..... 3-1-(1)
- (2) 国内・外での系統除染実績 ..... 3-1-(2)
- (3) クリデコン203の組成 ..... 3-1-(3)
- (4) 除染中の材料腐食の目安許容値 ..... 3-1-(4)
- (5) クリデコン203の熱分解特性 ..... 3-1-(5)

### 3-2 除染条件の選定

- (1) 「ふげん」クラッドの性状 ..... 3-2-(1)
- (2) 「ふげん」系統除染における除染条件の選定 ..... 3-2-(2)

### 3-3 材料健全性

- (1) 材料健全性評価試験の概要 ..... 3-3-(1)
- (2) 材料腐食試験
  - ① 除染中における材料の健全性の確認（材料腐食） ..... 3-3-(2)-①
  - ② 除染中における材料の健全性の確認（異種金属接触部の腐食） ..... 3-3-(2)-②
  - ③ 残留除染液の腐食影響（全面・溶接部・異種金属接触部） ..... 3-3-(2)-③
  - ④ 腐食抑制剤（インヒビター）の作用挙動 ..... 3-3-(2)-④
  - ⑤ インヒビターに含まれるS分の影響 ..... 3-3-(2)-⑤
- (3) 応力腐食割れ試験
  - ① 除染剤による応力腐食割れ感受性試験  
（除染中の影響、Uベント法） ..... 3-3-(3)-①
  - ② 除染剤による応力腐食割れ感受性試験  
（除染中の影響、低歪速度引張試験法） ..... 3-3-(3)-②

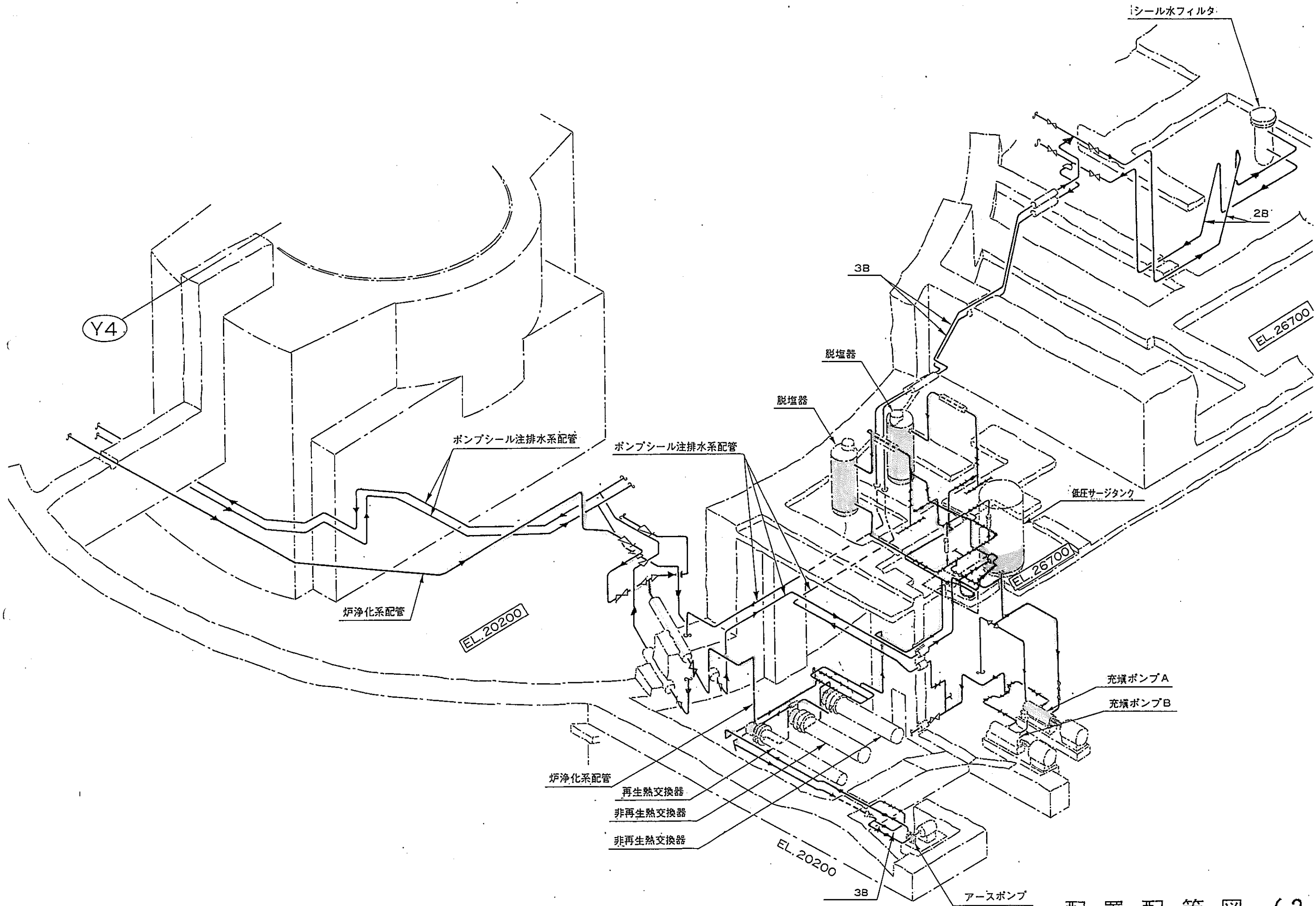
③ 残留除染液の応力腐食割れ感受性評価（C B B法） .....	3 - 3 - (3) - ③
④ 除染剤による応力腐食割れ感受性試験 （除染後の影響、低歪速度引張試験法） .....	3 - 3 - (3) - ④
(4) 圧力管ロールジョイント部の除染影響評価（除染後の影響） .....	3 - 3 - (4)
3 - 4 再汚染性 .....	3 - 4
3 - 5 廃液処理法の確認 .....	3 - 5
3 - 6 「ふげん」における化学除染実証試験 .....	3 - 6
4. 系統除染法	
4 - 1 除染実施範囲 .....	4 - 1
4 - 2 除去クラッド量の見積り .....	4 - 2
4 - 3 除染法	
(1) 系統除染方法 .....	4 - 3 - (1)
(2) 除染中浄化の効果 .....	4 - 3 - (2)
(3) 浄化及びフラッシングの完了基準 .....	4 - 3 - (3)
(4) 除染剤の注入量及びC U W脱塩器の樹脂量 .....	4 - 3 - (4)
(5) 浄化液と廃樹脂の処理 .....	4 - 3 - (5)
(6) 滞留部の残留除染剤処理方法 .....	4 - 3 - (6)
4 - 4 異常時対処法	
(1) 除染方法の安全性（異常時対策） .....	4 - 4 - (1)
(2) 計画外の放射能溶出について .....	4 - 4 - (2)
4 - 5 残留除染剤対処法及びホットスポット対策 .....	4 - 5
4 - 6 除染効果測定方法について .....	4 - 6
4 - 7 材料サーベランス計画 .....	4 - 7
5. 参考試料	
5 - 1 参考試料 .....	5 - 1









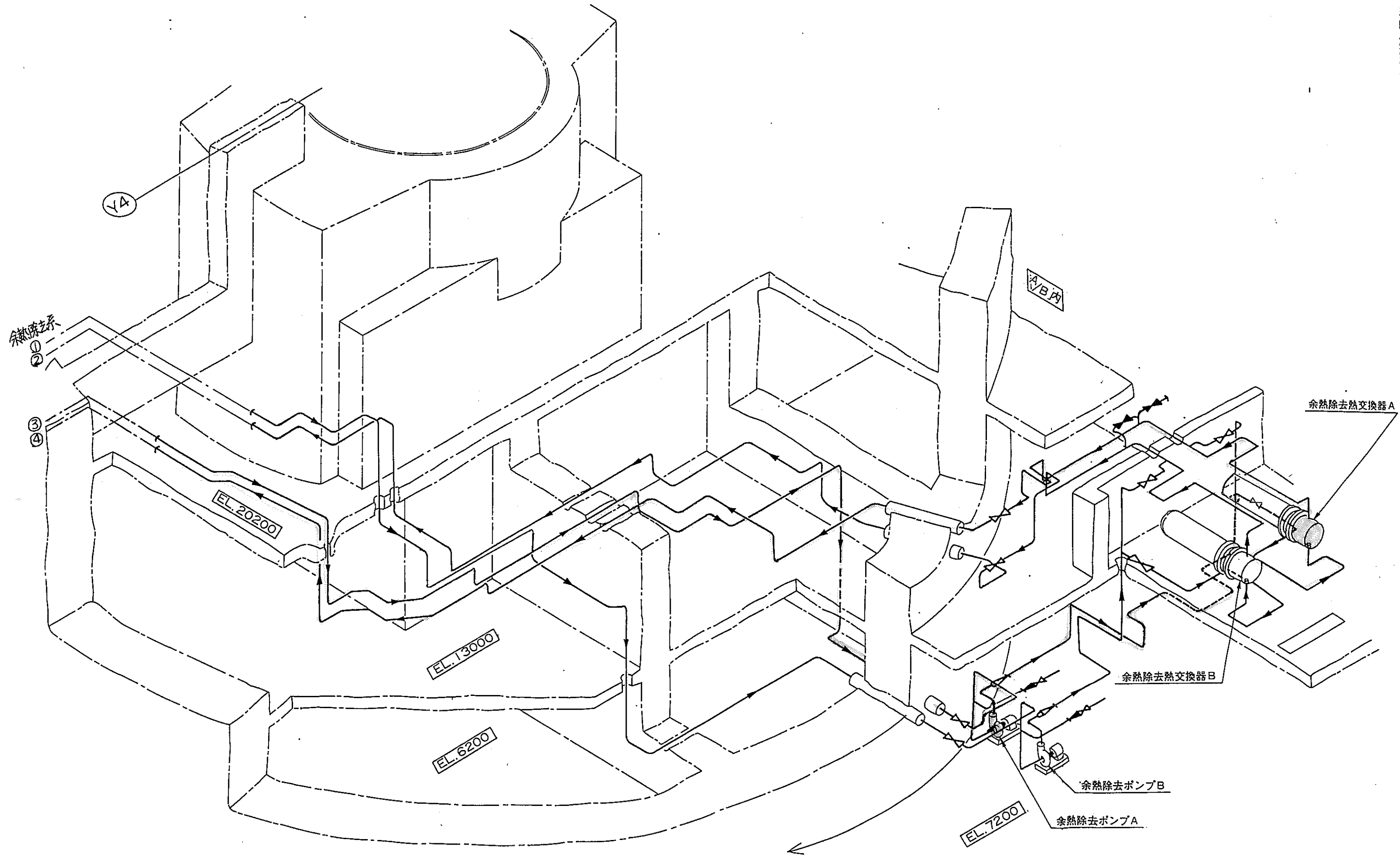


配置配管図 (2 / 3)

(原子炉冷却材浄化系統)

# 配置配管図 (3 / 3)

(余熱除去系統)





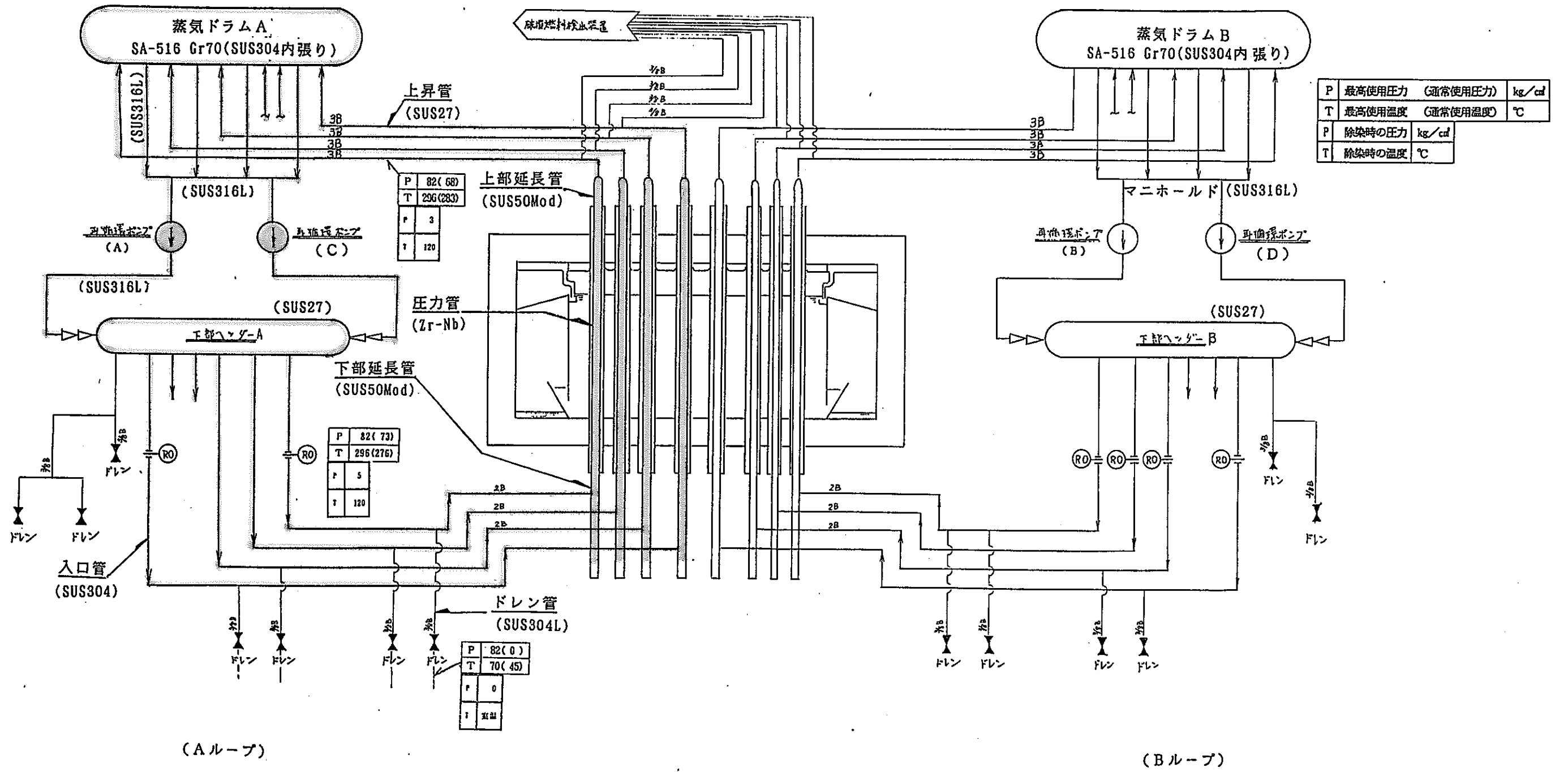
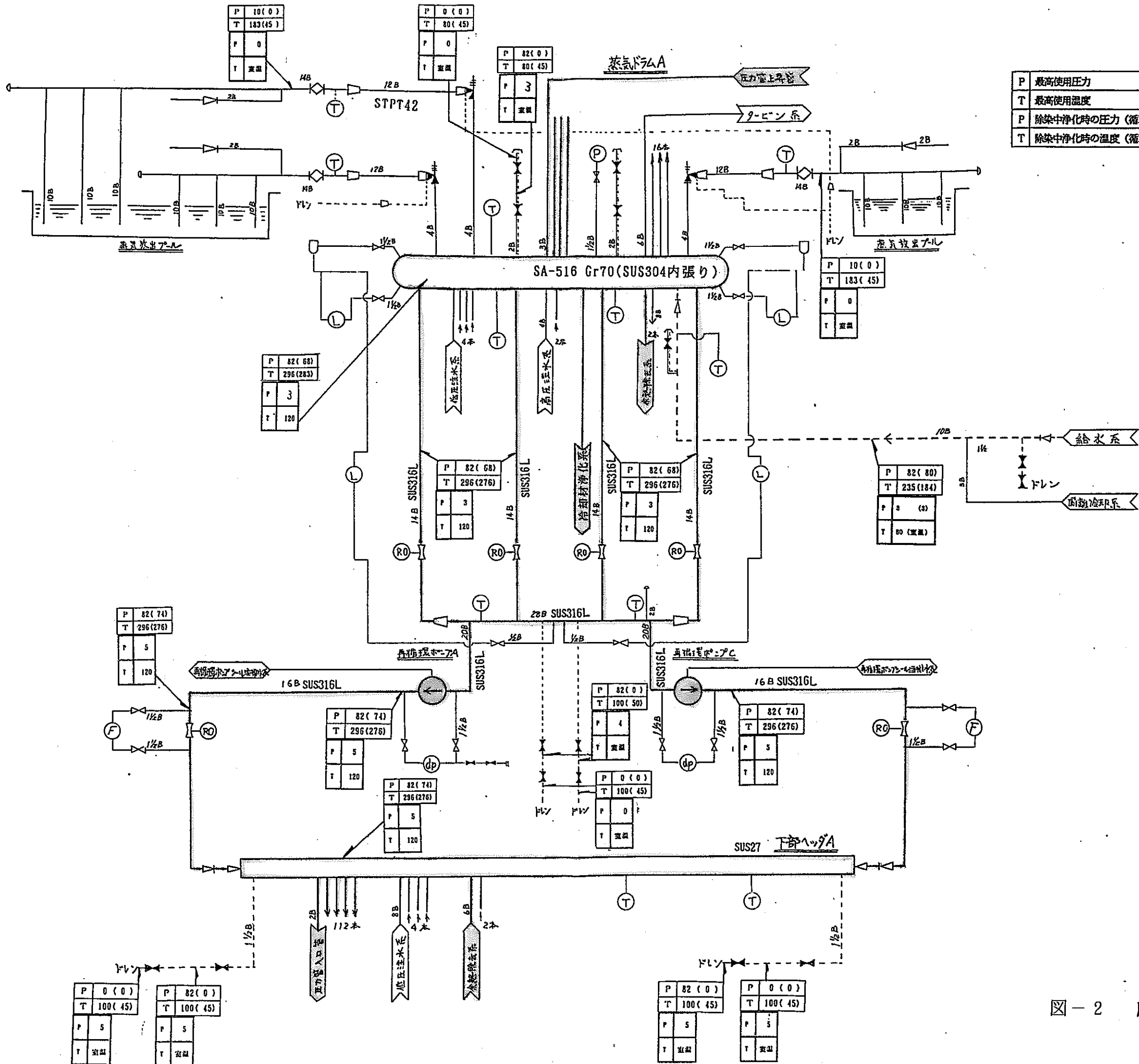
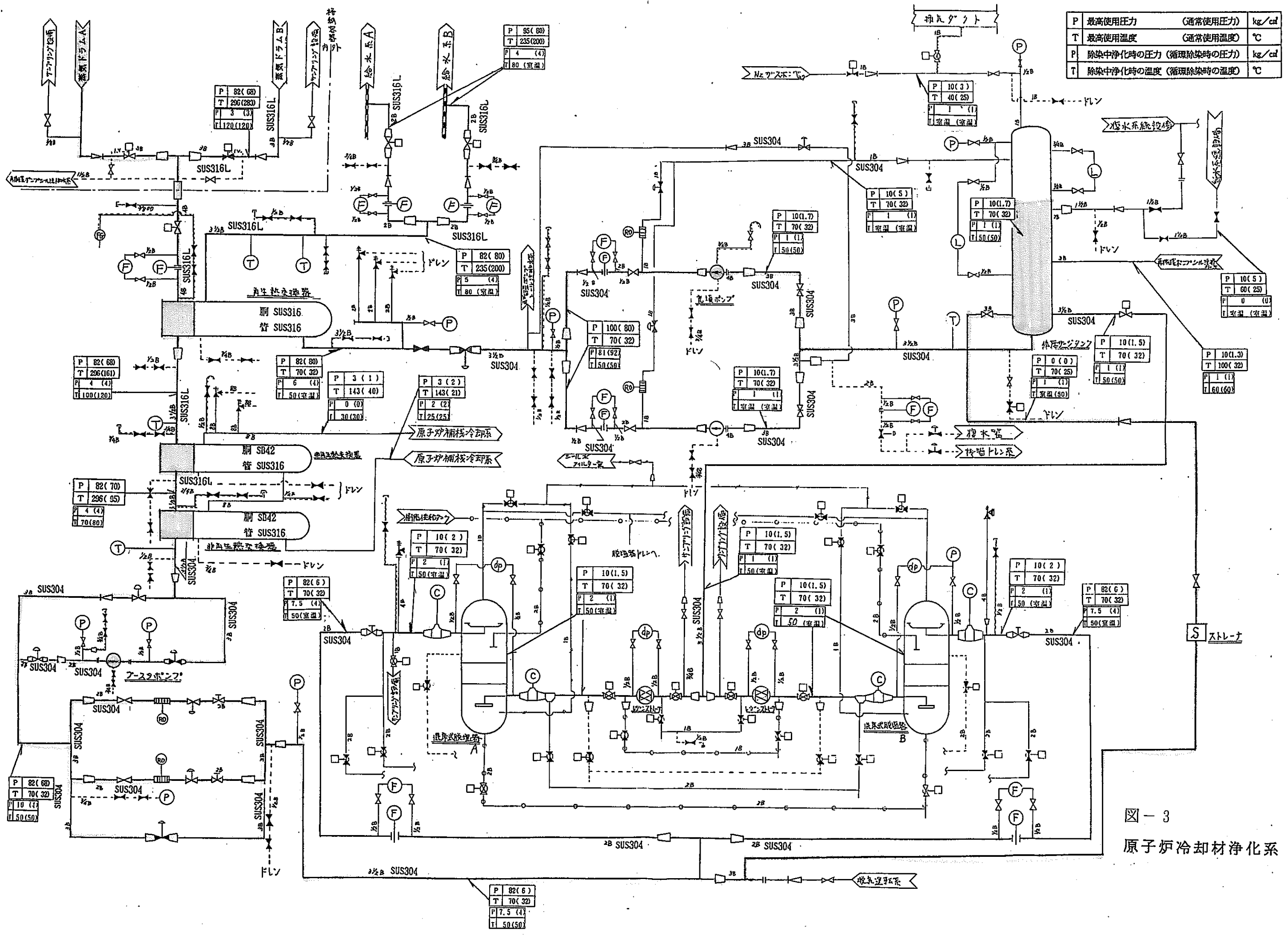


図-1 原子炉本体配管系



P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図-2 原子炉再循環系 (Aループ)



P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図-3  
原子炉冷却材浄化系

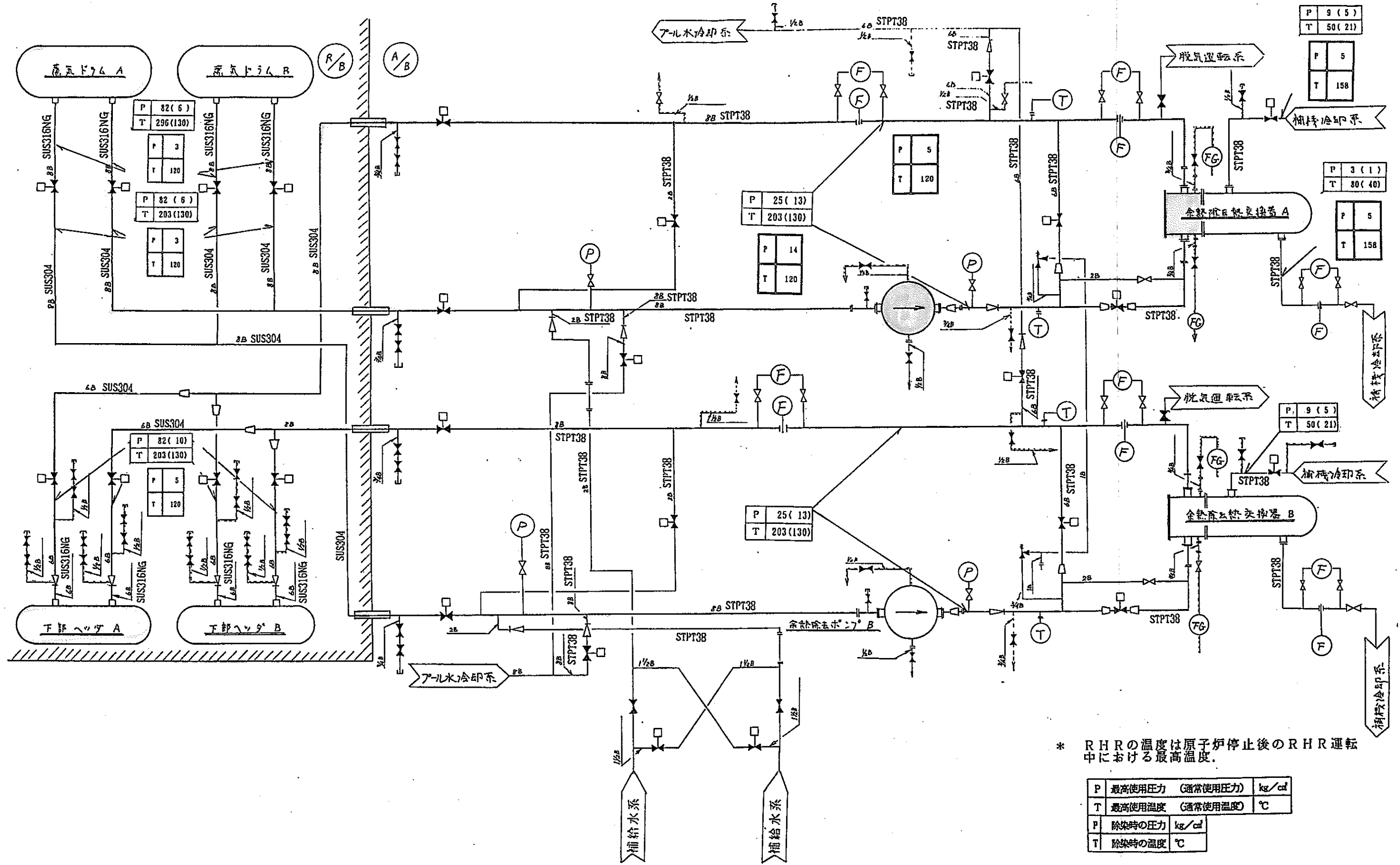


図-4 余熱除去系



新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整理番号
	1-1-(3)

件名	機器・配管材料リストおよび機器単体図
----	--------------------

回答		添付書類の有無（有，無）
----	--	--------------

系統除染に係わる各系統の構成機器は、以下のとおりである。

(1) 原子炉本体

- ・ 圧力管集合体
- ・ 入口管
- ・ 上昇管

(2) 原子炉再循環系

- ・ 蒸気ドラム、
- ・ 下降管
- ・ マニホールド
- ・ 原子炉再循環ポンプ
- ・ 吐出管
- ・ 下部ヘッダ

(3) 余熱除去系（A ループ）

- ・ A-余熱除去熱交換器
- ・ A-余熱除去ポンプ
- ・ 弁，配管類

(4) 原子炉冷却材浄化系

- ・再生熱交換器
- ・非再生熱交換器
- ・充填ポンプ及びブースタポンプ
- ・弁，配管類

(5) 再循環ポンプシール注排水系

- ・弁，配管類

これらの各機器，配管について、構成材料，隙間部，異種金属接触部，異種金属溶接部及び薄肉部を表-1に総括としてまとめ、その詳細を表-2に示す。

また、構成材料の化学成分を表-3に、各機器単体の詳細図を図-1～図17に示す。

表-1 除染液接液部の構成材料

系統名	除染対象機器・配管等	構成材料	
配管系	原子炉本体 入口管	SUS304, SUS304L	
	圧力管	Zr-2.5%Nb〔本体〕, SUS304及びSUS403Mod〔上下部延長部〕	
	上昇管	SUS304	
再循環系	原子炉 蒸気ドラム	SA516Gr70〔胴板, 鏡板内張りSUS304〕, SUS304〔内部構造品〕, SA350GrLF2〔ノズル, 内張りSUS304〕, SUSF316L及びSA-182F304〔ノズルセーフエンド〕	
	下降管	SUS316L	
	マニホールド	SUS316L〔本体〕, SUSF316L〔T継手〕	
	原子炉 再循環ポンプ	SUS304〔熱遮蔽部〕, SUS347〔主軸〕 SCS13〔ケーシング, インペラ〕, SCS14〔ケーシングリング〕	
	吐出管	SUS316L	
	下部 ヘッド	SUS304〔胴板〕, SA-182F304〔ノズル〕, SUSF316L〔レジャーサ〕, SCS16A〔逆止弁〕	
除熱系	余熱除去 ポンプ	SCS1〔ケーシング, インペラ〕, SUS410〔主軸〕, SUS420J2〔ケーシングリング, インペラリング〕	
	余熱除去熱交換器	SUS304〔伝熱管〕, SB42〔管側胴板〕	
	弁及び配管類	SUS316, SUS304, STPT38, SCS13, SF45, SCPH2	
シール注排水系	原子炉 冷却材 浄化系 及び 排水系	再生熱交換器	SUS316〔伝熱管, 胴板, 鏡板〕, SUS304〔仕切板〕, SA-182F316〔管板〕
	非再生熱交換器	SUS316〔伝熱管, 胴板, 鏡板, 管板〕, SUS304〔仕切板〕	
	プー スター ポンプ	SCS13〔ケーシング, ケーシングカバーリング, インペラ〕, SUS304〔主軸, ケーシングカバー〕, SCS2〔インペラリング〕	
	混床式脱塩器	SUS304	
	低圧サージタンク	SUS304	
	充 填 ポ ン プ	SCS13〔ケーシング, ケーシングリング, インペラ〕 SUS403B〔主軸〕, SCS2〔インペラリング〕	
	弁 及 び 配 管 類	SUS304, SUS316, SUS316L, SUSF316, SUSF316L, SCS13, A-182F316, A-351CF8M	

\* 異種金属の接触部・・・圧力管の上部及び下部ロールジョイント部 (Zr-2.5%Nb+SUS403Mod)

\* 異種金属の溶接部・・・圧力管の上部及び下部延長部 (SUS304+SUS403Mod)  
余熱除去系配管 (SCS13+STPT38)

\* 肉厚の薄い箇所・・・熱交換器の伝熱管  
(余熱除去熱交: 2.77mm, 再生熱交: 1.4mm, 非再生熱交1.2mm)

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (1/24)

(11系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の溶接又は接触の有無	添付図	備考	
11	圧力管集合体	圧力管集合体	冷却水上昇管	SUS27TP (SUS304TP)	無	無		} 隙間：0～0.5 mm  } 隙間：圧着  } 隙間：圧着  ・隙間：0～0.5 mm (*1 仮シールプラグ部)	
			レジュサー	SUS27TP (SUS304TP)	無	無			
			上部遮蔽プラグ	SUS304	} 有	無	} 有 (溶接)		・図1①参照 ・図1②参照
			圧力管上部延長管	SUS27TP (SUS304TP)					
			圧力管上部延長管 (上部ロールドジョイント部)	SUS50Mod (SUS403Mod)	} 有	有 (接触)	} 有 (接触)		・図1③参照 (図1-1参照)
			圧力管	Zr-2.5Nb					
			下部ロールドジョイント内リング	SUS50Mod (SUS403Mod)	} 有	有 (接触)	} 有 (接触)		・図1④参照 (図1-2参照)
			圧力管下部延長管 (下部ロールドジョイント部)	SUS50Mod (SUS403Mod)					
			圧力管下部延長管	SUS27TP (SUS304TP)	無	有 (溶接)	} 有 (溶接)		・図1⑤参照  ・図1⑥参照
			圧力管下部延長管 (シールプラグ部)	SUS50Mod (SUS403Mod)	有*1				
冷却水入口ノズル	SUS304	無	無						



表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (3/24)

(21系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の溶接又は接触の有無	添付図	備考
21	原子炉再循環系	蒸気ドラム	下降管用整流板	SUS27HP (SUS304HP)	有	無	図2①参照	(図2-1①参照)  (図2-1②参照)  隙間: 0~0.5mm  (図2-1③参照)
			下降管用ストレーナ	SUS27CP (SUS304CP)	有	無	図2②参照	
			余熱除去系用整流板	SUS27HP (SUS304HP)	有	無	図2①と同様	
			余熱除去系用ストレーナ	SUS27CP (SUS304CP)	有	無	図2②と同様	
			浄化系用内管	SUS27TP (SUS304TP)	有	無	図2③参照	
			給水内管	SUS27TP (SUS304TP)	有	無	図2④参照	
			側板	SUS27HP (SUS304HP)	有	無	図2⑤参照	
			バフフル板	SUS27HP (SUS304HP)	有	無	図2⑥参照	
			セパレータ平型受金物	SUS27TP (SUS304TP)	有	無	図2⑦参照	
			ターボセパレータ	SUS27CP (SUS304CP)	有	無	図2⑧参照	
			本体胴板及び鏡板	SA516Gr70 (SUS304内張り)	無	無		
			上昇管, 下降管, 余熱除去系 各ノズル	SA350GrLF2 (SUS304内張り)	無	無		
上昇管, 下降管, 余熱除去系 各ノズルセーフエンド	SUSF316L SA182F304	無	無					

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (4/24)

(21系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の溶接又は接触の有無	添付図	備考
21	原子炉再循環系	下降管		SUS316LTP	無	無		
		マニホールド	管 T (28 <sup>φ</sup> ×20 <sup>φ</sup> ) T (28 <sup>φ</sup> ×14 <sup>φ</sup> ) エルボ レジューサ	SUS316LTP SUS F316L " " "	無 無 無 無 無	無 無 無 無 無		
		再循環ポンプ	熟しゃへい部 ケーシング ケーシングカバー ケーシングリング インペラ 軸	SUS304 SUS304TB SCS13 " SCS14 SCS13 SUS347B	有 有 有 有 有 有	無 無 無 無 無 無	図3①参照 図3②参照 " 図3③参照 図3④参照 "	} 隙間: 0~1mm





表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (6/24)

(22系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
22	炉浄化系	配管, 弁 (蒸気ドラム ~MV22-1A)	パイプ	SUS316LTP	無	無	図12参照 図14参照	} 隙間: 0~1 mm
			逆止弁	SUS304	有	無		
			電動弁 (MV22-1A)	SCS13	有	無		
		配管, 弁 (MV22-1A ~MV22-2)	パイプ	SUS316LTP	無	無	図14参照	・隙間: 0~1 mm
配管, 弁 (MV22-2 ~再生熱交)	パイプ	SUS316LTP	無	無				
再生熱交換器	管側胴板	SUS316TP	無	無	図7①参照 図7②参照	} 隙間: 0~0.5 mm		
	管側鏡板	SUS316HP	無	無				
	仕切板	SUS27HP (SUS304HP)	有	無				
	管板	SA182F316	有	無				
	伝熱管	SUS316TB	無	無			・肉厚: 1.4 mm	

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (7/24)

(22系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
22	炉浄化系	配管, 弁 (再生熱交~ 非再生熱交22-2)	パイプ	SUS304TP	無	無		
		非再生熱交換器 (22-2)	管側胴板	SUS316HP	無	無	図8①参照 図8②参照	} 隙間: 0~0.5 mm  ・肉厚: 1.2 mm
			管側鏡板	"	無	無		
			仕切板	SUS27HP (SUS304HP)	有	無		
管板	SUS316HP		有	無				
伝熱管	SUS316TB	無	無					
配管, 弁 (非再生熱交~ 非再生熱交22-3)	パイプ	SUS304TP	無	無				
非再生熱交換器 (22-3)	非再生熱交換器(22-2) と同様。	非再生熱交換器(22-2) と同様。	有	無	図8参照	非再生熱交換器(22-2) と同様。		

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (8/24)

(22系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
22	炉浄化系	配管, 弁 (非再生熱交 ~AV22-6, 7)	パイプ	SUS304TP	無	無		} 隙間: 0~1 mm
			空気作動弁 (AV22-6)	A351CF8M	有	無	図15参照	
			空気作動弁 (AV22-7)	"	有	無	"	
		配管, 弁 (AV22-6~ 減圧ユニット入口)	パイプ	SUS304TP	無	無		} 隙間: 0~1 mm
逆止弁 (V22-8)	SCS13	有	無	図12参照				
配管, 弁 (AV22-7~ フラスク入口)	パイプ	SUS304TP	無	無				
ブースタポンプ	ケーシング	SCS13	有	無	図4①, ②参照	} 隙間: 0~1 mm		
	ケーシングカバー	SUS304	有	無	図4①, ③参照			
	ケーシングリング	SCS13	有	無	図4②参照			
	ケーシングカバーリング	"	有	無	図4③参照			
	インペラ	"	有	無	図4④, ⑤参照			
	インペラリング	"	有	無	図4⑤参照			
	軸	SUS304B	有	無	図4④参照			

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (9/24)

(22系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
22	炉浄化系	配管, 弁 (アスポン出口~ 減圧エント入口)	パイプ 空気作動弁 (AV22-8)	SUS304TP A351CF8M	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (減圧エント入口 ~出口)	パイプ 空気作動弁 (AV22-1A) (AV22-1B)  制御弁 (CV22-1)  手動弁 (V22-2A, 2B) (V22-4A 4A)	SUS304TP A182F316 "  SUSF316  SUS316 "	無 有 有 有 有	無 無 無 無 無	図15参照 " " 図13参照 "	} 隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (減圧エント出口 ~脱塩器)	パイプ 制御弁 (CV22-2A, 2B)  混床式脱塩器	SUS304TP A182F316  SUS304HP	無 有 有	無 無 無	図15参照 図10参照	
		配管, 弁 (減圧エント出口 ~脱塩器のバイパス 入口)	パイプ 手動弁 (V22-150)	SUS304TP SCS13	無 有	無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm



表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (11/24)

(22系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
22	炉浄化系	配管, 弁 (充填ポンプ出口 ~CV22-3)	パイプ	SUS304TP	無	無	図13参照 図12参照 図15参照	} 隙間: 0~1mm
			手動弁 (V22-9A)	SUS316	有	無		
			逆止弁 (V22-6A, 6B)	"	有	無		
			制御弁 (CV22-3)	A351CF8M	有	無		
		配管, 弁 (脱塩器のバイパス 入口~V25-5)	パイプ 逆止弁 (V25-5)	SUS304TP SCS13	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm
配管, 弁 (AV25-11 ~ 低圧サータンク入口)	パイプ 空気作動弁 (AV25-11)	SUS304TP A351CF8M	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm		
配管, 弁 (低圧サータンク フローライン)	パイプ 手動弁 (V22-106) 電動弁 (MV22-101)	SUS304TP SCS13 SCS13	無 有 有	無 無 無	図13参照 図13参照	} 隙間: 0~1mm		
							配管, 弁 (低圧サータンク フローライン)	パイプ 制御弁 (CV22-102)

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (12/24)

(22系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
22	炉浄化系	配管, 弁 (充填ポンプバイパスライン)	パイプ	SUS304TP	無	無	図15参照 図12参照	} 隙間: 0~1mm
			空気作動弁 (AV22-9)	A351CF8M	有	無		
			逆止弁 (V22-11)	SCS13	有	無		
		配管, 弁 (充填ニームローリン)	パイプ	SUS304TP	無	無	図15参照	・隙間: 0~1mm
その他 (ドレン, ベント管)	パイプ	ドレン, ベント弁	SUS316TP	有	無	図17参照	} 隙間: 1mm (ソケット溶接部)	
			SUS304TP	有	無	"		
			SUSF316L	有	無	図16参照		
			SUSF316L	有	無	"		

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (13/24)

(23系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
23	再循環ポンプ シール注排水系	配管, 弁 (炉浄化系分岐 ~AV23-1)	パイプ 空気作動弁 (AV23-1)	SUS304TP A351CF8M	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (AV23-1 ~V23-3A)	パイプ " 手動弁 (V23-3A)	SUS304TP SUS304TP SUS316	無 無 有	無 無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (V23-3A ~V23-4A)	パイプ シール水フィルタ パイプ 手動弁 (V23-4A)	SUS304TP SUS304 SUS304TP SUS316	無 無 無 有	無 無 無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (V23-4A ~V23-5)	パイプ " 逆止弁 (V23-5)	SUS304TP " SCS13	無 無 有	無 無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm



表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (14/24)

(23系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
23	再循環ポンプ シール注排水系	配管, 弁 (V23-5~ シール注水分岐)	パイプ	SUS304TP	無	無	図12参照	・隙間: 0~1mm
			逆止弁 (V23-6)	SCS13	有	無		
		配管, 弁 (CV23-1A ~ A-RCP)	パイプ	SUS304TP	無	無	図12参照	・隙間: 0~1mm
			調整弁 (CV23-1A)	A351CF8M	有	無		
配管, 弁 (シール注水分岐 ~ CV23-1C)	パイプ	SUS304TP	無	無	図15参照	・隙間: 0~1mm		
	調整弁 (CV23-1C)	A351CF8M	有	無				

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (15/24)

(23系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
23	再循環ポンプ シール注排水系	注水配管, 弁 (CV23-1C ~ C-RCP)	パイプ	SUS304TP	無	無	図13参照 図12参照	} 隙間: 0~1mm
			"	"	無	無		
			手動弁 (V23-8C)	SUS316	有	無		
			逆止弁 (V23-20C)	SUS316	有	無		
		排水配管, 弁 (A-RCP ~AV23-2A)	パイプ 空気作動弁 (AV23-2A)	SUS304TP A182F316	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm
排水配管, 弁 (AV23-2A~ シール排水合流)	パイプ 逆止弁 (V23-11A)	SUS304TP SUS316	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm		
排水配管, 弁 (C-RCP ~AV23-2C)	パイプ 空気作動弁 (AV23-2C)	SUS304TP A182F316	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm		
排水配管, 弁 (AV23-2C~ シール排水合流)	パイプ 逆止弁 (V23-11C)	SUS304TP SUS316	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm		

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (16/24)

(23系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
23	再循環ポンプ シール注排水系	排水配管, 弁 (A-RCP ~AV23-3A)	パイプ 空気作動弁 (AV23-3A)	SUS304TP A182F316	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm
		排水配管, 弁 (AV23-3A~ シール排水合流)	パイプ 逆止弁 (V23-13A)	SUS304TP SUS316	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm
		排水配管, 弁 (C-RCP ~AV23-3C)	パイプ 空気作動弁 (AV23-3C)	SUS304TP A182F316	無 有	無 無	図15参照	・隙間: 0~1mm
		排水配管, 弁 (AV23-3C~ シール排水合流)	パイプ 逆止弁 (V23-13C)	SUS304TP SUS316	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm
		排水配管, 弁 (シール排水合流 ~MV23-2)	パイプ 電動弁 (MV23-1) 電動弁 (MV23-2)	SUS304TP SCS13 SCS13	無 有 有	無 無 無	図14参照 "	} 隙間: 0~1mm



表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (18/24)

(72系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
72	低圧注水系	配管, 弁 (蒸気ドラム廻り)	パイプ	SUS316TP	無	無	図12参照	・隙間: 0~1mm
			逆止弁 (V72-16A)	SCS13	有	無		
			パイプ	SUS316TP	無	無		
			逆止弁 (V72-16B)	SCS13	有	無		
		パイプ	SUS316TP	無	無	図12参照	・隙間: 0~1mm	
		逆止弁 (V72-17A)	SCS13	有	無			
		パイプ	SUS316TP	無	無			
		逆止弁 (V72-17B)	SCS13	有	無			
配管, 弁 (下部ヘッダ廻り)	パイプ	SUS316TP	無	無	図12参照	・隙間: 0~1mm		
	逆止弁 (V72-10A)	SCS13	有	無				
			パイプ	SUS316TP	無	無	図12参照	・隙間: 0~1mm
			逆止弁 (V72-10B)	SCS13	有	無		



表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (20/24)

(75系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
75	余熱除去系	配管, 弁 (蒸発ドラム ~MV75-1A)	パイプ 電動弁 (MV75-1A)	SUS316TP SCS13	無 有	無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (MV75-1A ~ポンプ入口)	パイプ " 電動弁 (MV75-3A) パイプ	SUS316TP SUS304TP SCS13 STPT38	無 無 有 無	無 無 有 (溶接)	図13参照	・隙間: 0~1mm
		余熱除去ポンプ	ケーシング ケーシングカバー ケーシングリング ケーシングカバーリング インペラ インペラリング 軸	SCS1 " SUS420J2 " SCS1 SUS420J2 SUS410	有 有 有 有 有 有 有	無 無 無 無 無 無 無	図6①, ②参照 図6①, ③参照 図6②参照 図6③参照 図6④, ⑤参照 図6⑤参照 図6④参照	隙間: 0~1mm





表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (22/24)

(75系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
75	余熱除去系	配管, 弁 (熱交換器出口 ~MV75-9A)	パイプ 電動弁 (MV75-9A)	STPT38 SCS13	無 有	} 有 (溶接)	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (MV75-9A ~MV75-10A)	パイプ 電動調節弁 (MV75-10A)	SUS304TP SCS13	無 有			
		配管, 弁 (MV75-10A ~下部ヘッド)	パイプ 逆止弁 (V75-11A)	SUS316TP SCS13	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (蒸気ドラムA ~MV75-1B)	パイプ 電動止弁 (MV75-1B)	SUS304TP SCS13	無 有	無 無		
		配管, 弁 (Aループ ~蒸気ドラムB)	パイプ 電動止弁 (MV75-2A)	SUS304TP SCS13	無 有	無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (A/B2B バイパス管)	パイプ 電動止弁 (MV75-8A)	STPT38 SCPH2	無 有	無 無		

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (23/24)

(75系)

系統 No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
75	余熱除去系	配管, 弁 (熱交付近6B バイパス管)	パイプ 電動止弁 (MV75-5A)	STPT38 SCPH2	無 有	無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (熱交付近2B バイパス管)	パイプ 玉形弁 (V75-7A)	STPT38 SF45	無 有	無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (Aループ ~下部ハッダ)	パイプ 電動調整弁 (MV75-12A)	SUS304TP SCS13	無 有	無 無	図13参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (下部ハッダ ~Bループ)	パイプ 逆止弁 (V75-11)	SUS304TP SCS13	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (Aループ補給 水ライン)	パイプ 逆止弁 (V75-24A)	STPT38 SF45	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm
		配管, 弁 (プール水冷却 系入口ライン)	パイプ 逆止弁 (V75-18A)	STPT38 SCPH2	無 有	無 無	図12参照	・隙間: 0~1mm

表-2 除染剤接液部構成材料一覧 (24/24)

(75系)

系統No.	系統名称	機器名称	部位	構成材料	隙間部の有無	異種金属の接触又は溶接の有無	添付図	備考
75	余熱除去系	配管, 弁 (プール水冷却系出口ライン)	パイプ	STPT38	無	無	図13参照	・隙間: 0~1mm
			電動止弁 (MV75-16A)	SCPH2	有	無		
		その他配管, 弁 (ドレ, ベト管)	パイプ	SUS304TP	無	無	図17参照	} 隙間: 1mm (ソケット溶接部)
			"	STPT38	無	無	"	
			ドレン弁	SUS304	有	無	図16参照	} 隙間: 0~1mm
"	SF45	有	無	"				
"	SCPH2	有	無	"				

表 - 3 金 属 成 分 表 (1/6)

種 別	金 属 材 料	化 学 成 分 ( % )										備 考
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	B	
オ ー ス テ ナ イ ト 系 ス テ ン レ ス 鋼	SUS304 (SUS27)	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00~ 11.00	18.00~ 20.00				SUS304TP, SUS304HP, SUS304CP SUS304B, SUS304TBも同成分
	SUS304L (SUS28)	0.030 以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	9.00~ 13.00	18.00~ 20.00				
	A182-F304 (ASTM) SA182-F304 (ASME)	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00~ 11.00	18.00~ 20.00				SUSF304 相当
	SUS316 (SUS32)	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00~ 11.00 (10.00~ 14.00)	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00			SUS316TP, SUS316HP も同成分 ( )内はSUS316TB
	SUS316L (SUS33)	0.030 以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	12.00~ 16.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00			SUS316LTP も同成分
	SUSF316	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.045 以下	0.030 以下	10.00~ 14.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00			
	A182-F316 (ASTM) SA182-F316 (ASME)	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	10.00~ 14.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00			SUSF316 相当



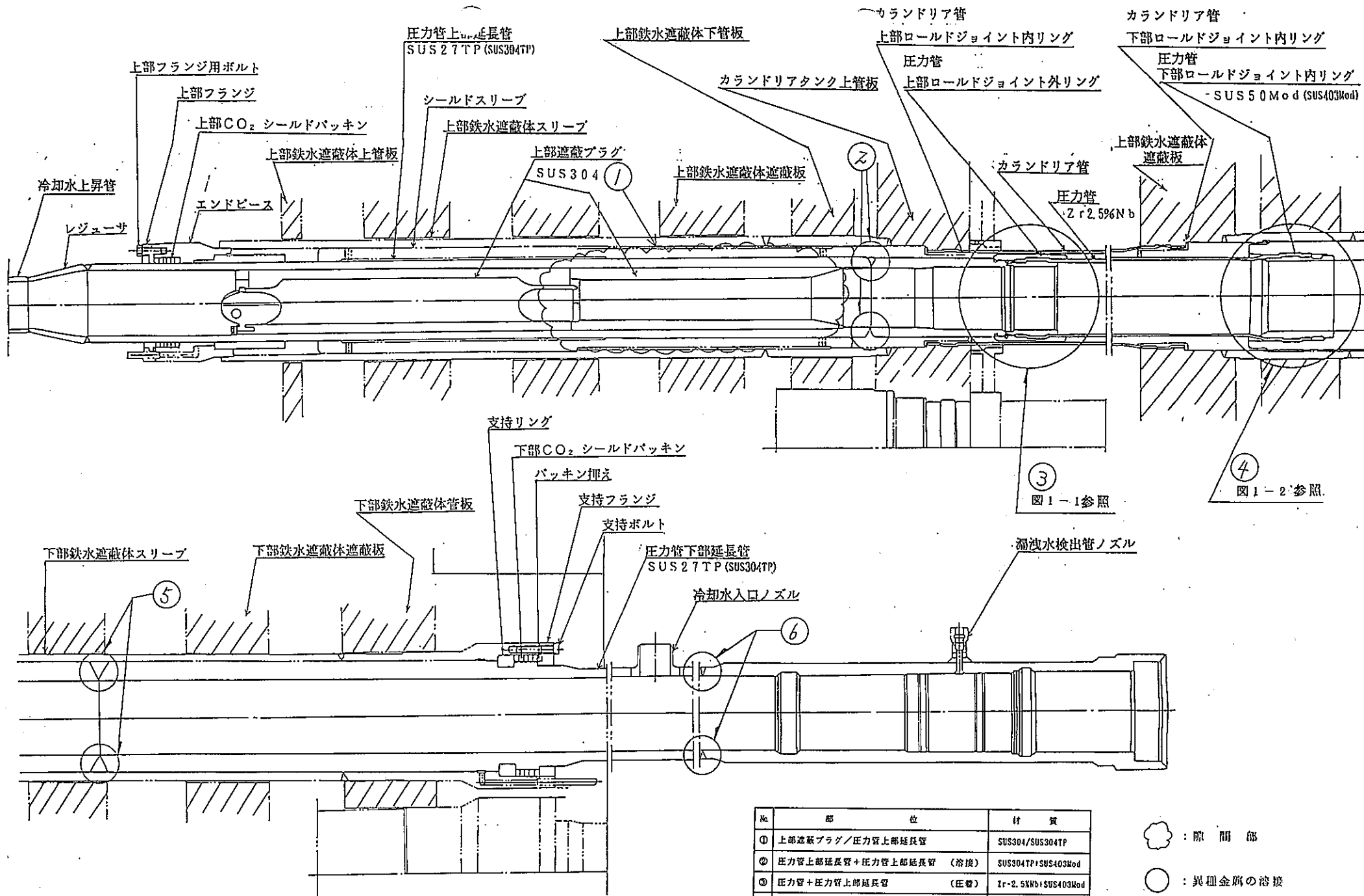












No.	部 位	材 質
①	上部遮蔽プラグ/圧力管上部延長管	SUS304/SUS304TP
②	圧力管上部延長管+圧力管上部延長管 (溶接)	SUS304TP+SUS403Mod
③	圧力管+圧力管上部延長管 (圧着)	Zr-2.5Nb+SUS403Mod
④	圧力管+圧力管下部延長管 (圧着)	Zr-2.5Nb+SUS403Mod
⑤	圧力管下部延長管+圧力管下部延長管 (溶接)	SUS403Mod+SUS304TP
⑥	圧力管下部延長管+圧力管下部延長管 (溶接)	SUS304TP+SUS403Mod

- ☁ : 隙 間 部
- : 異種金属の溶接  
又は接触部

図1 圧力管集合体

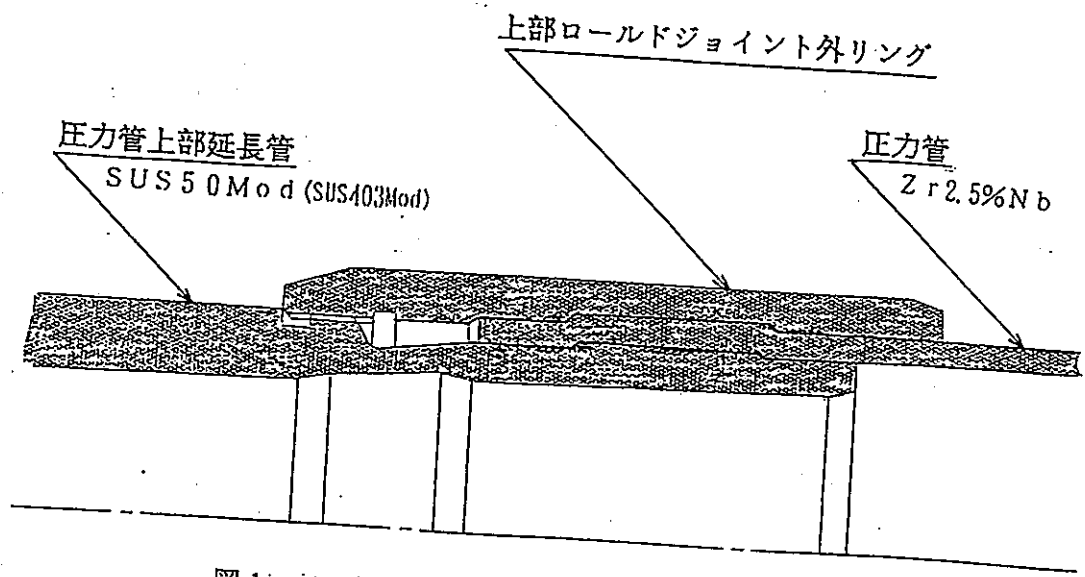


図1-1 圧力管上部ロールジョイント部

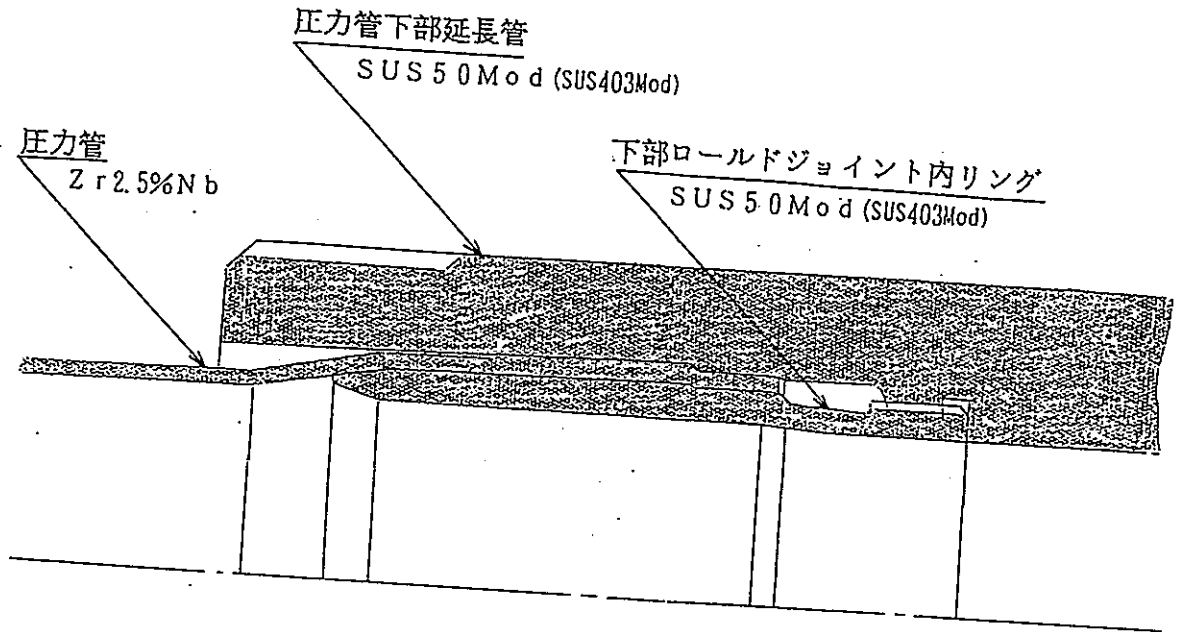
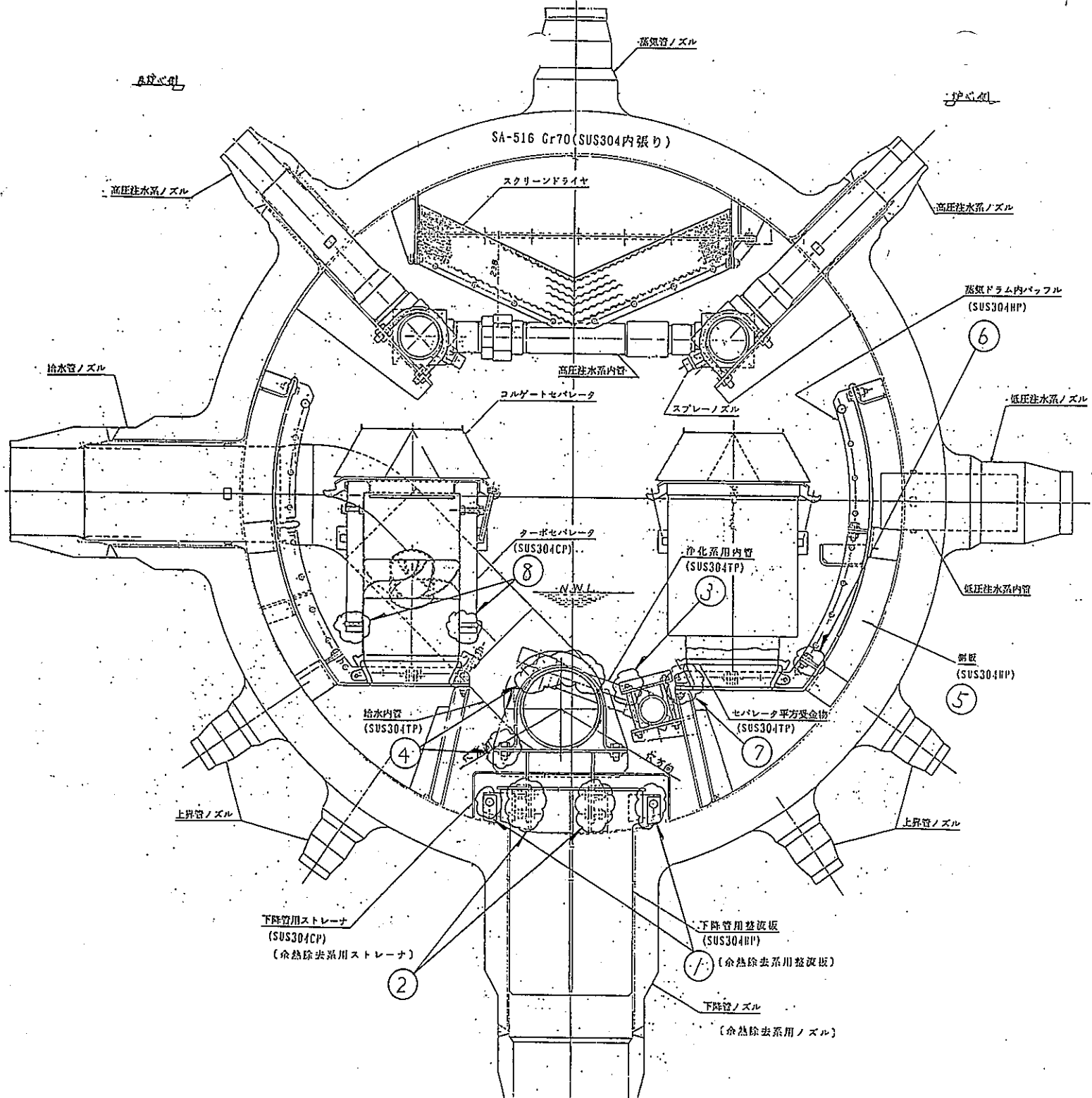


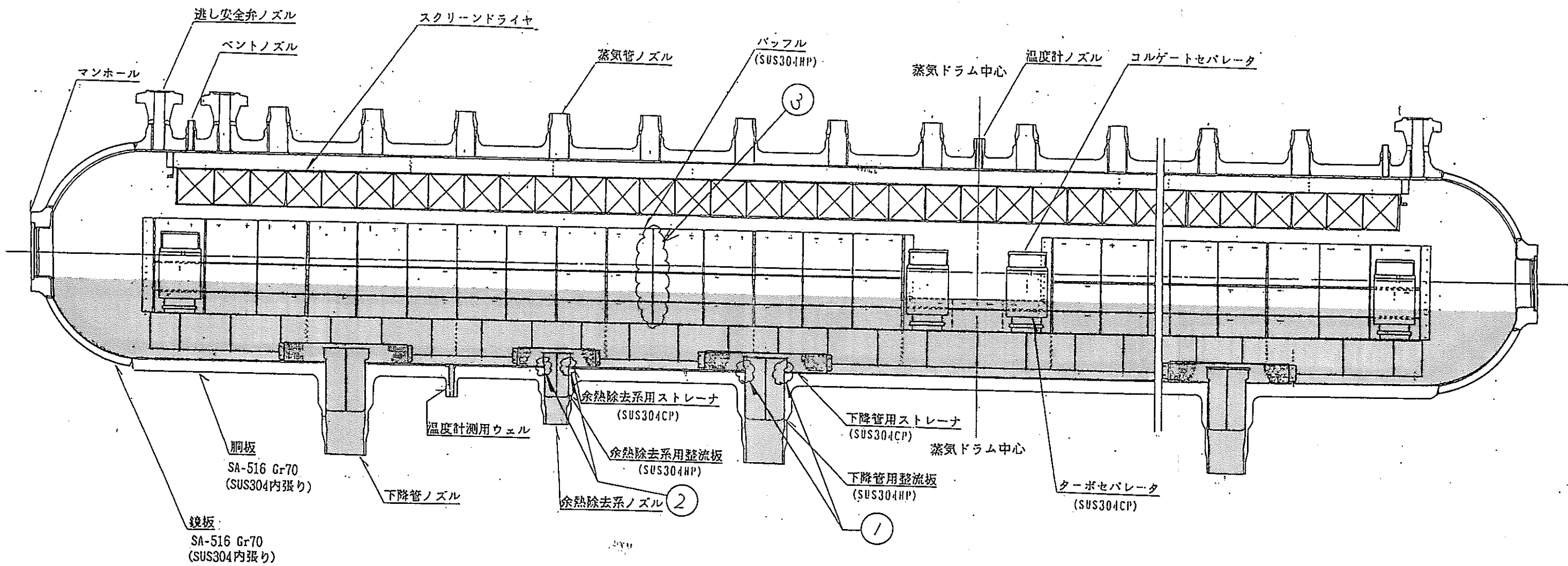
図1-2 圧力管下部ロールジョイント部



No.	部 位	材 質
①	下降管用整液板取付金物	SUS304HP/SUS304HP
②	給水内管取付金物	SUS304HP/SUS304HP
③	浄化系用内管取付金物	SUS304HP/SUS304HP
④	給水内管取付金物	SUS304HP/SUS304HP
⑤	側板	SUS304HP/SUS304HP
⑥	バフフル取付金物	SUS304HP/SUS304HP
⑦	セパレータ平型受金物	SUS304TP/SUS304TP
⑧	セパレータ	SUS304CP/SUS304CP

☉ : 隙 間 部

図 2 蒸気ドラム (断面図)



左右対称

No	部 位	材 質
①	下降管用整流板取付金物	SUS304HP/SUS304HP
②	余熱除去系用整流板取付金物	SUS304HP/SUS304HP
③	バッフル	SUS304HP


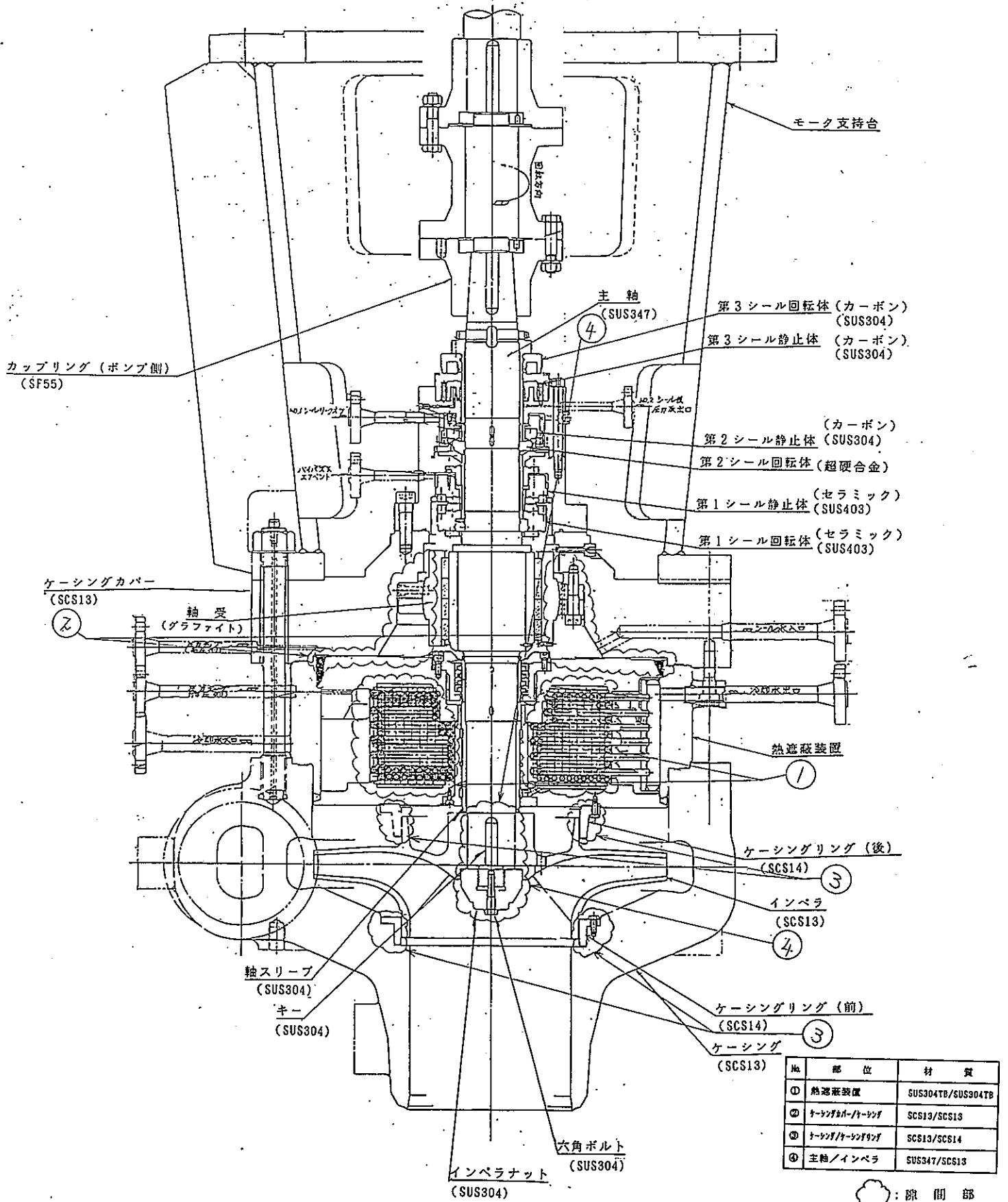
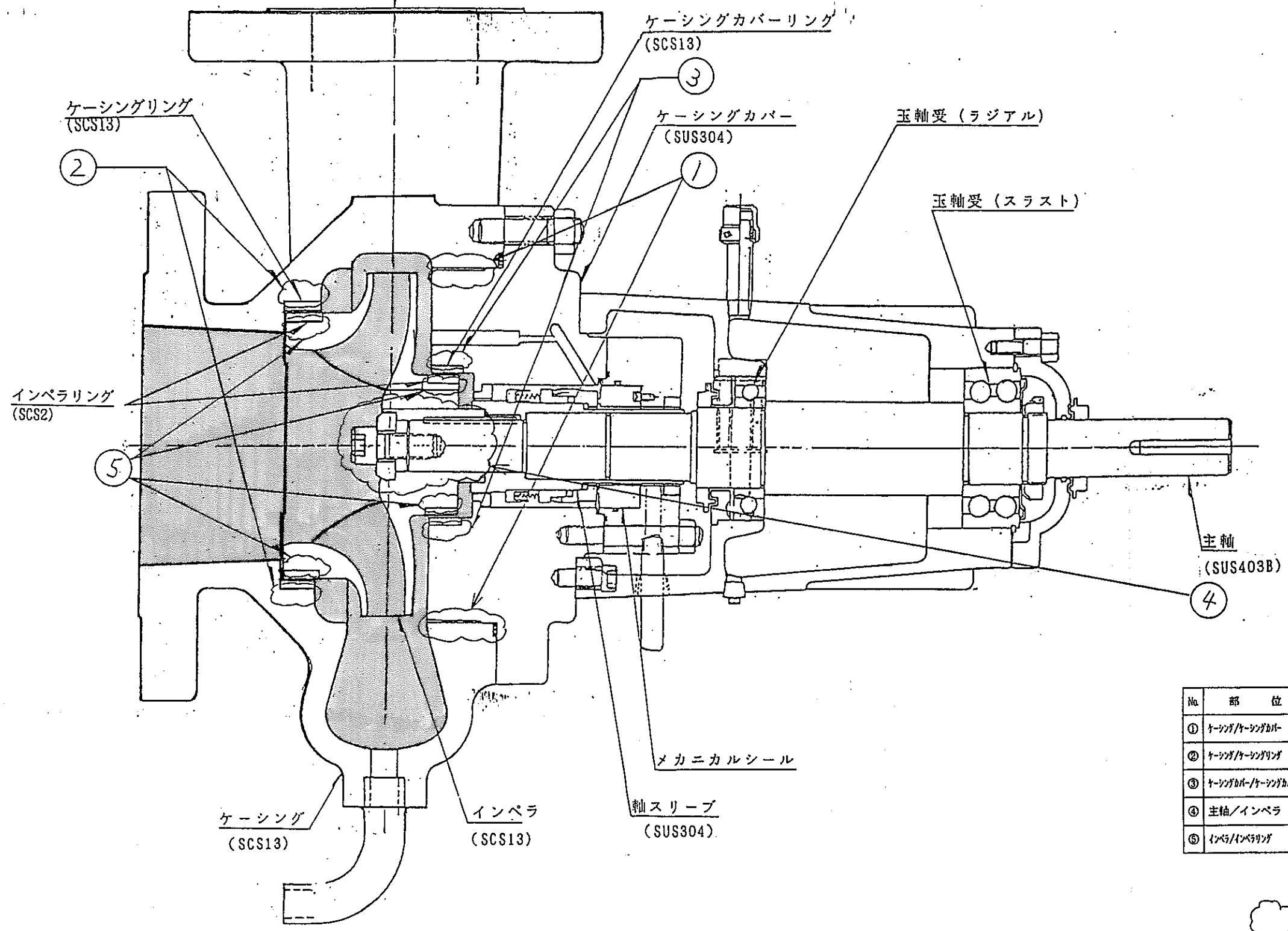
 : 隙 間 部

図 2 - 1 蒸気ドラム (側面図)



No.	部 位	材 質
①	熱遮蔽装置	SUS304TB/SUS304TB
②	ケーシングカバー/ケーシング	SCS13/SCS13
③	ケーシングリング	SCS13/SCS14
④	主軸/インペラ	SUS347/SCS13

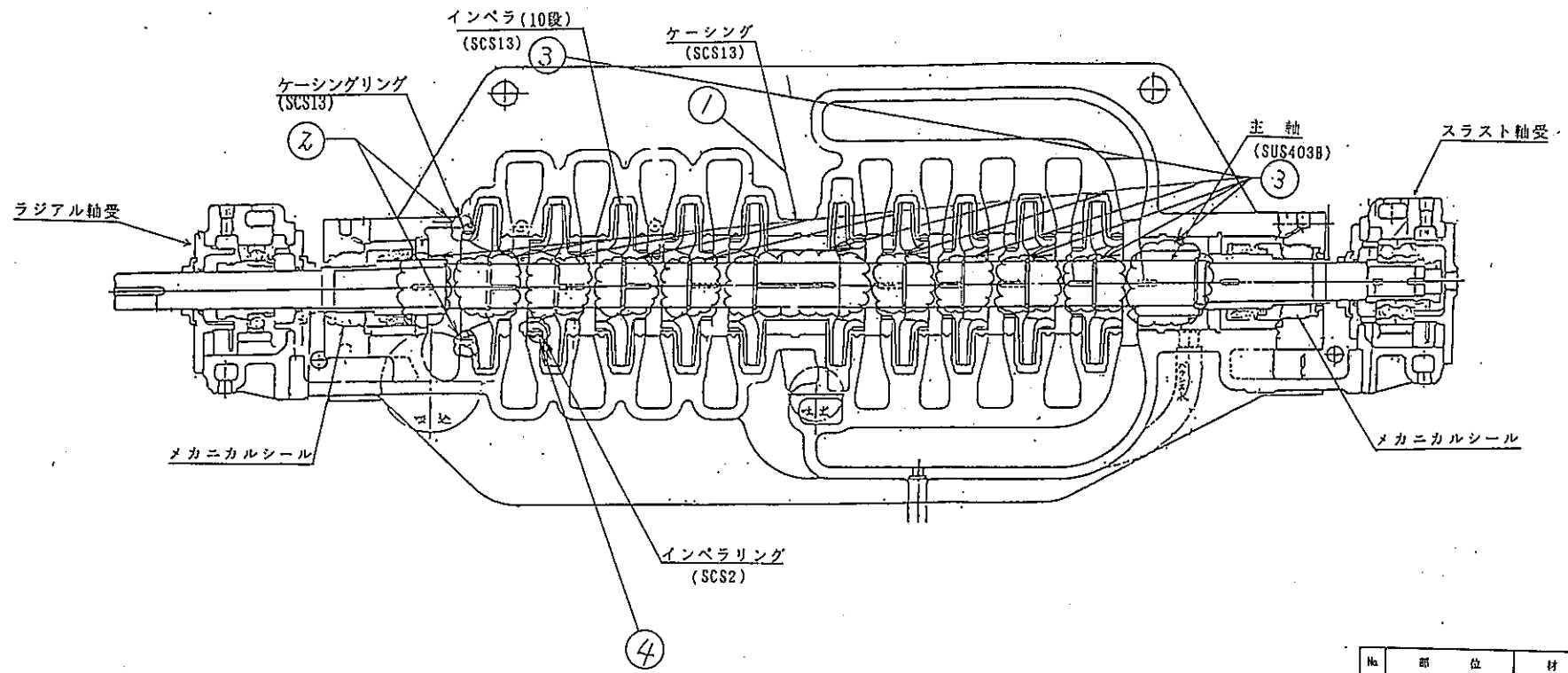
☁ : 隙 間 部



No.	部 位	材 質
①	ケーシング/ケーシングカバー	SCS13/SUS304
②	ケーシング/ケーシングリング	SCS13/SCS13
③	ケーシングカバー/ケーシングカバーリング	SUS304/SCS13
④	主軸/インペラ	SUS403B/SCS13
⑤	インペラ/インペラリング	SCS13/SCS2

☁ : 隙 間 部

図 4 ブースタポンプ

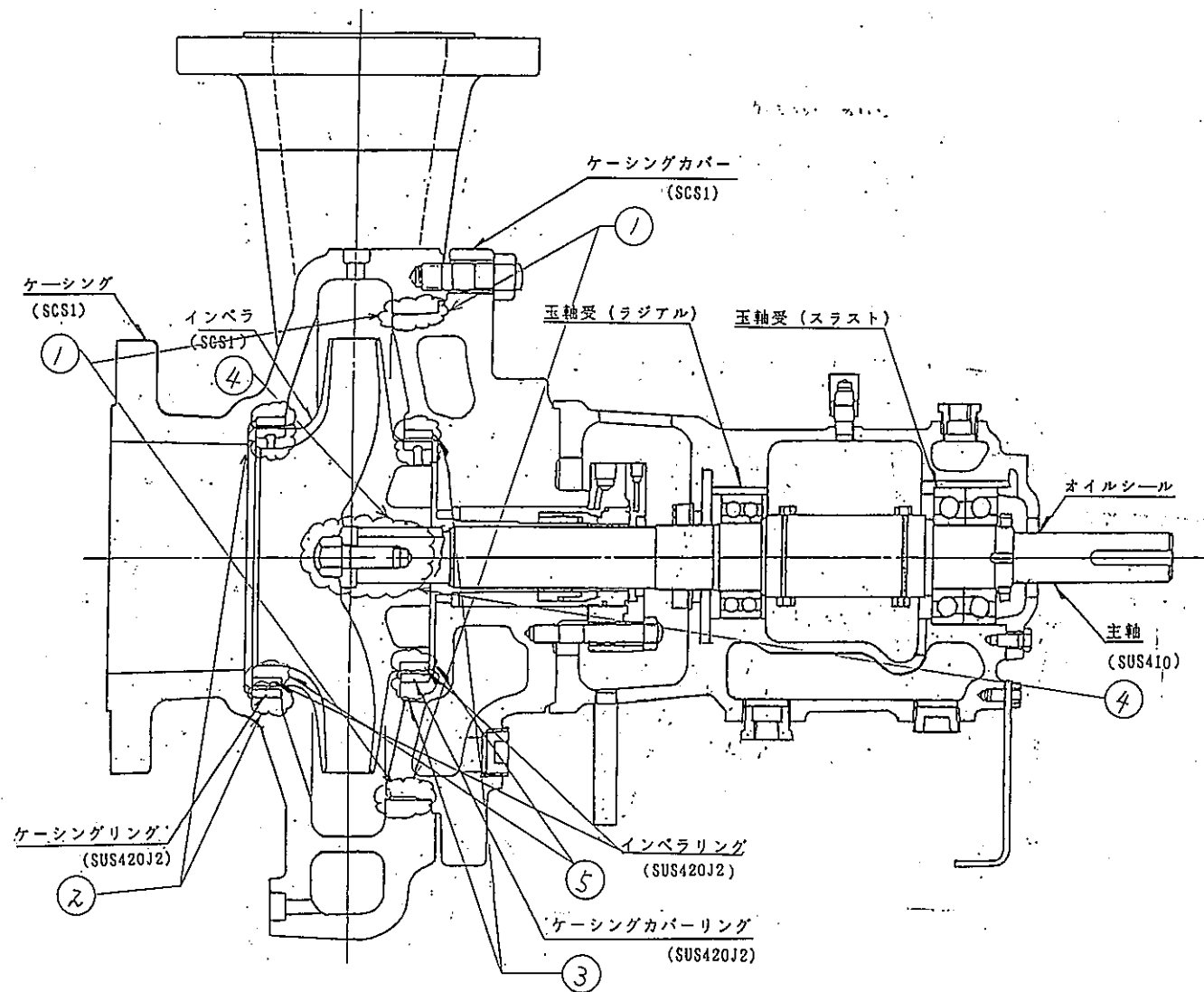


No	部 位	材 質
①	ケーシング/ケーシング	SCS13/SCS13
②	ケーシング/ケーシングリング	SCS13/SCS13
③	主軸/インペラ	SUS403B/SCS13
④	インペラ/インペラリング	SCS13/SCS2

☼ : 隙 間 部

図 5 充填ポンプ

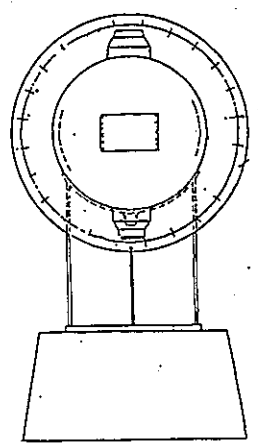
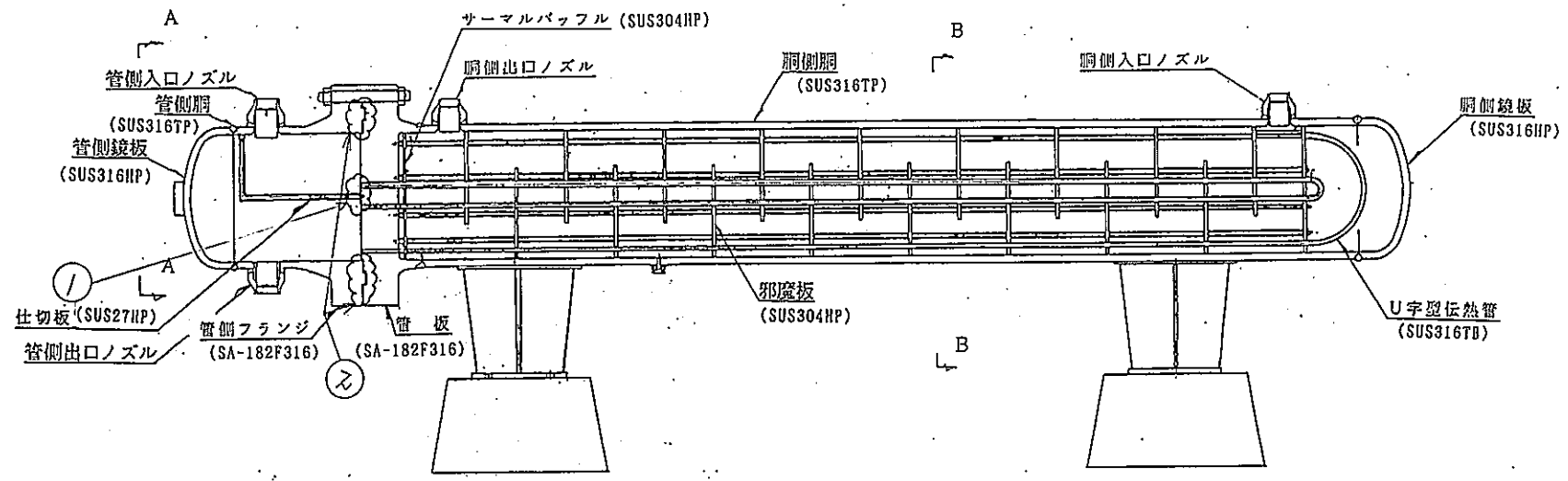




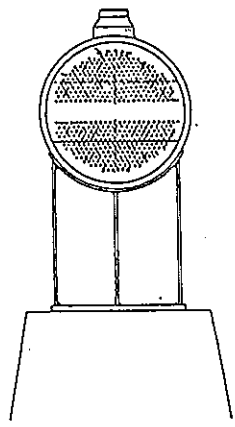
記号	部位	材質
①	ケーシング/ケーシングカバー	SCS1/SCS1
②	ケーシング/ケーシングリング	SCS1/SUS420J2
③	ケーシング/ケーシングカバー/ケーシングリング	SCS1/SUS420J2
④	主軸/インペラ	SUS410/SCS1
⑤	インペラ/インペラリング	SCS1/SUS420J2

☁ : 隙間部

図6 余熱除去ポンプ



矢視A-A

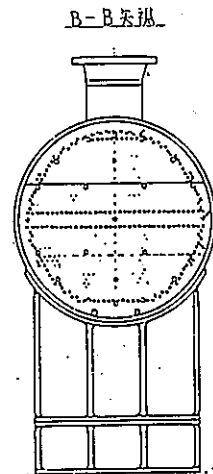
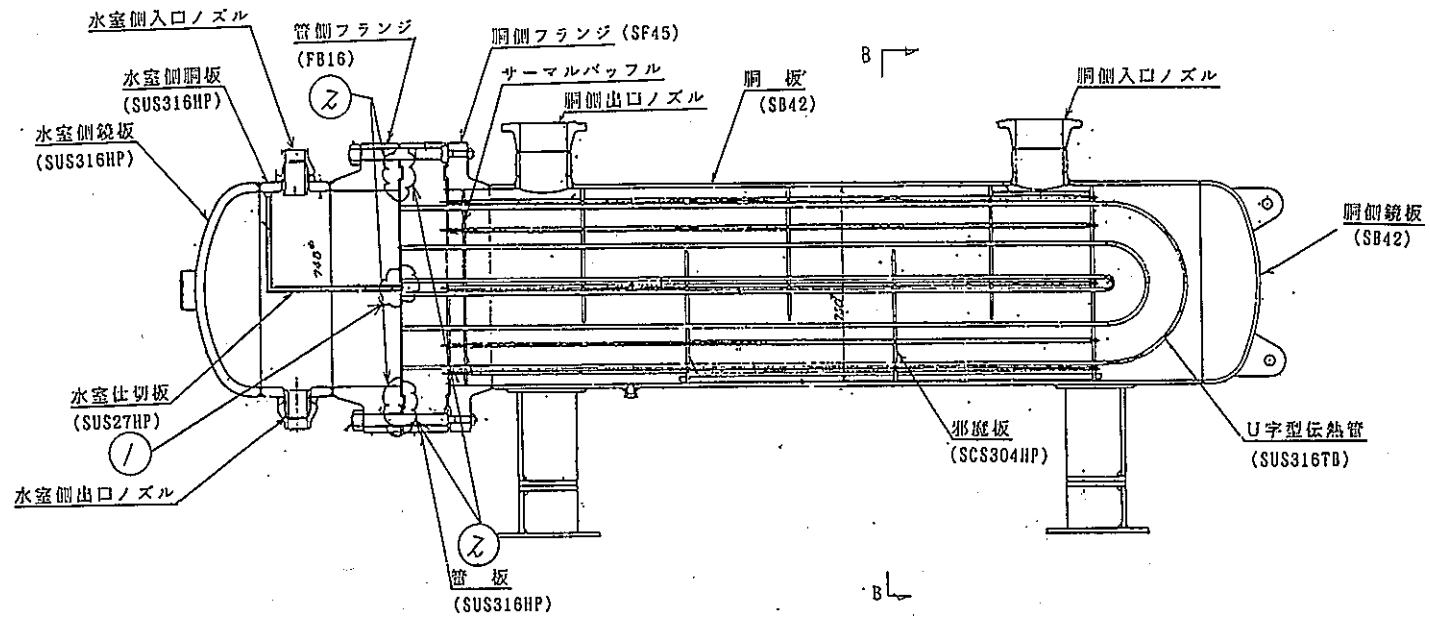


矢視B-B

記号	部位	材質
①	仕切板/管板	SUS304HP/SA-182F316
②	管側フランジ/管板	SA-182F316/SA-182F316

☁ : 隙間部

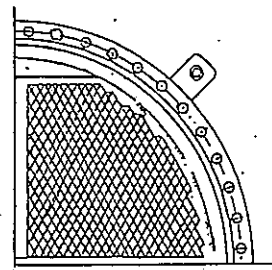
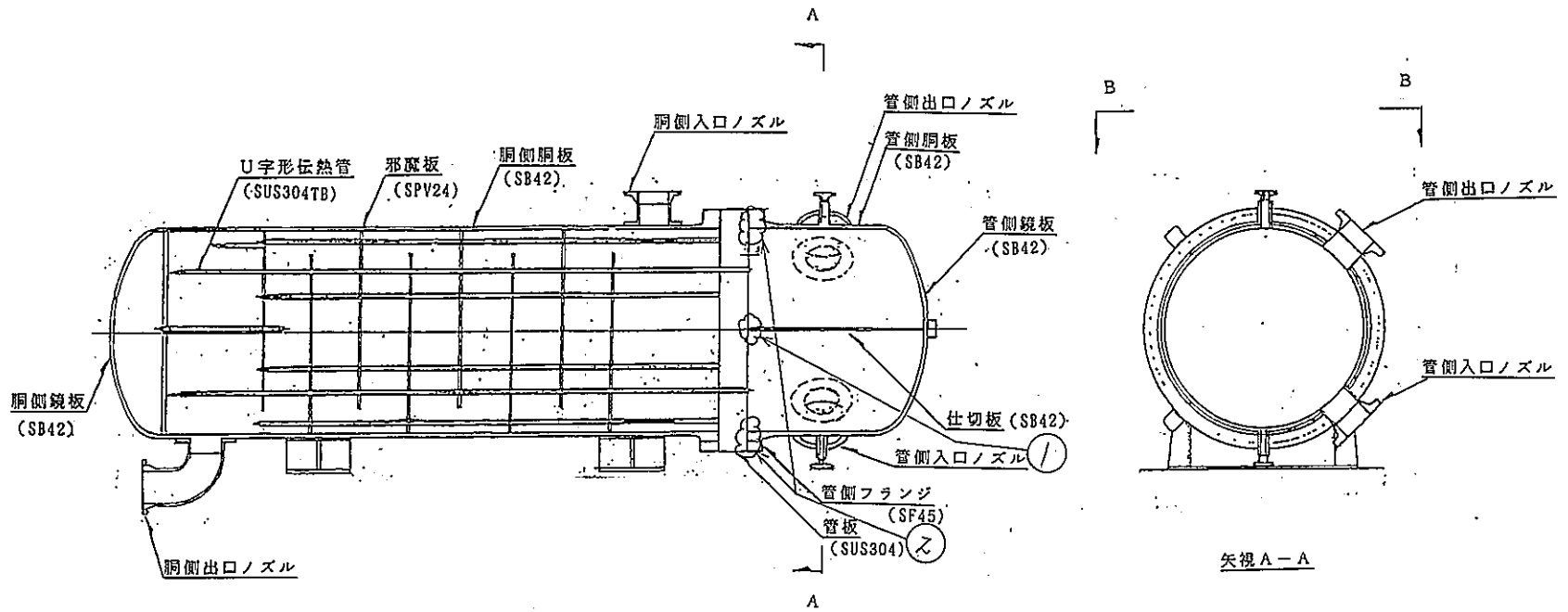
図7 再生熱交換器



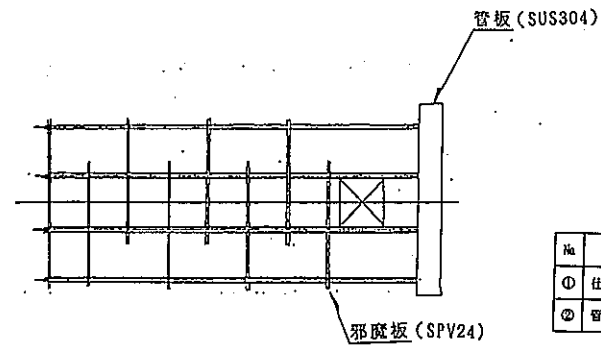
No.	部 位	材 質
①	水室仕切板/管板	SUS304HP/SUS316HP
②	管側フランジ/管板	FB16/SUS316HP

☁ : 隙 間 部

図 8 非再生熱交換器



伝熱管配列図

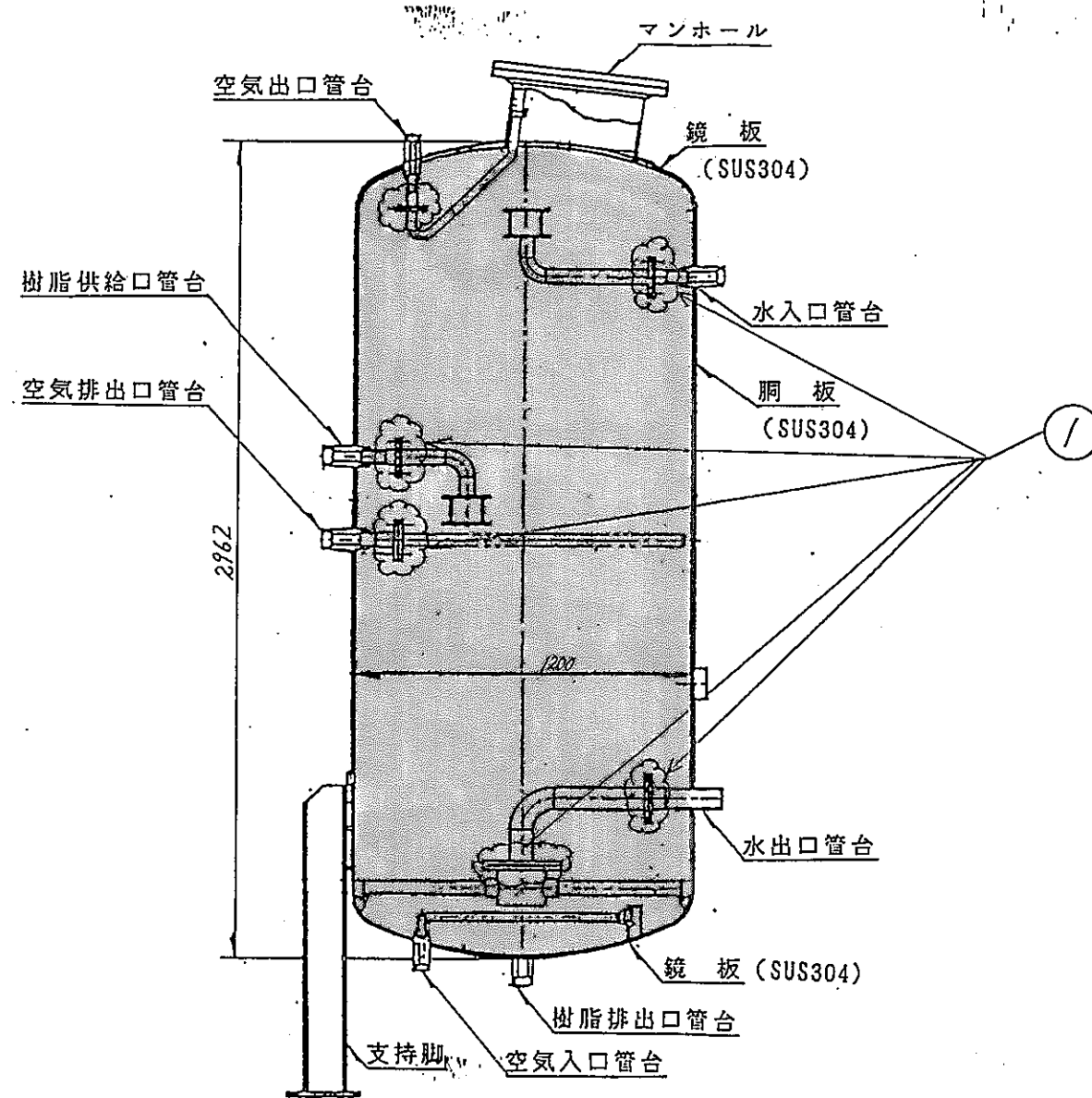


管束組立図  
(矢視 B-B)

No.	部位	材質
①	仕切板/管板	SUS304/SAB42
②	管側フランジ/管板	SF45/SUS304

☁ : 隙間部

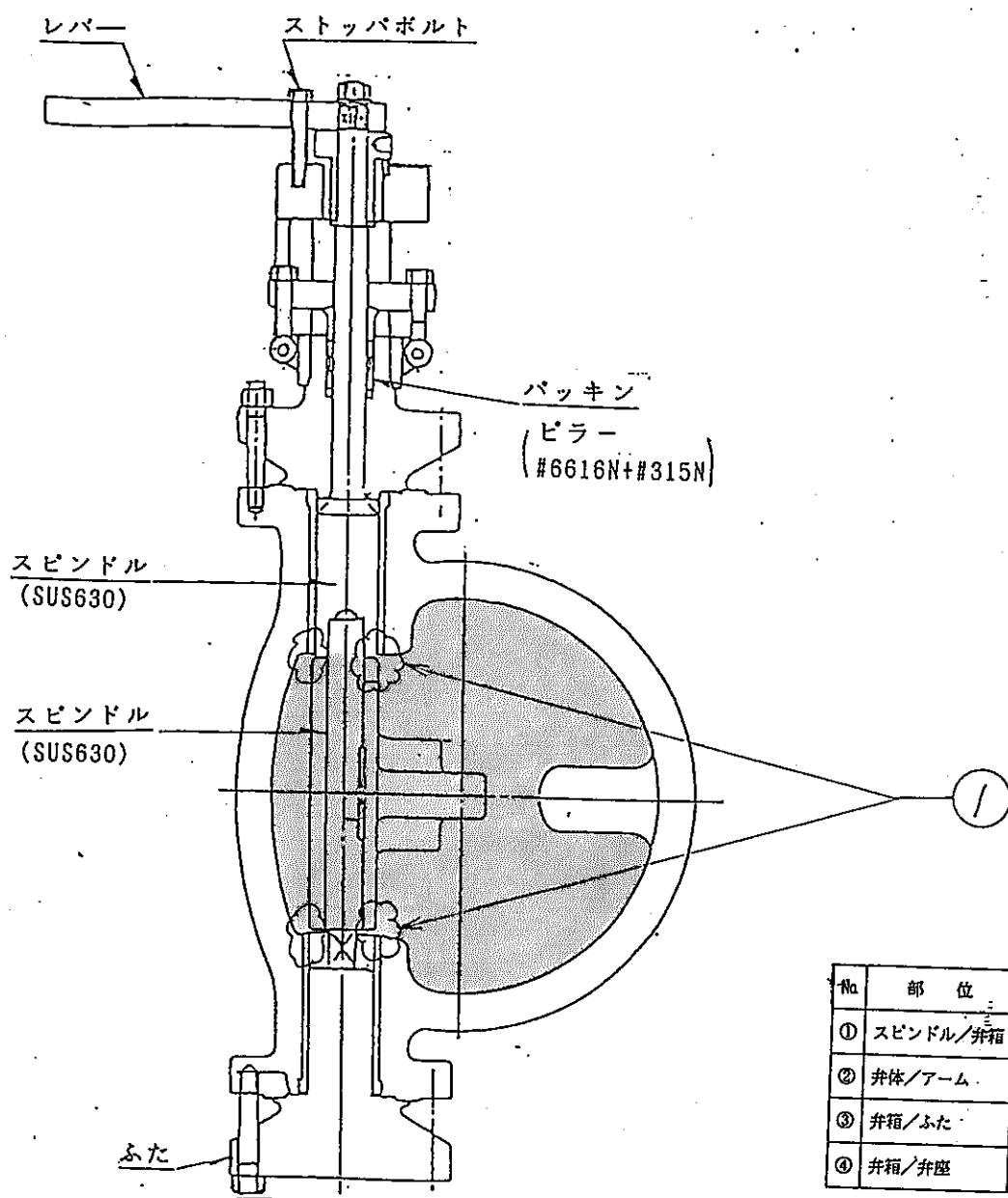
図9 余熱除去熱交換器



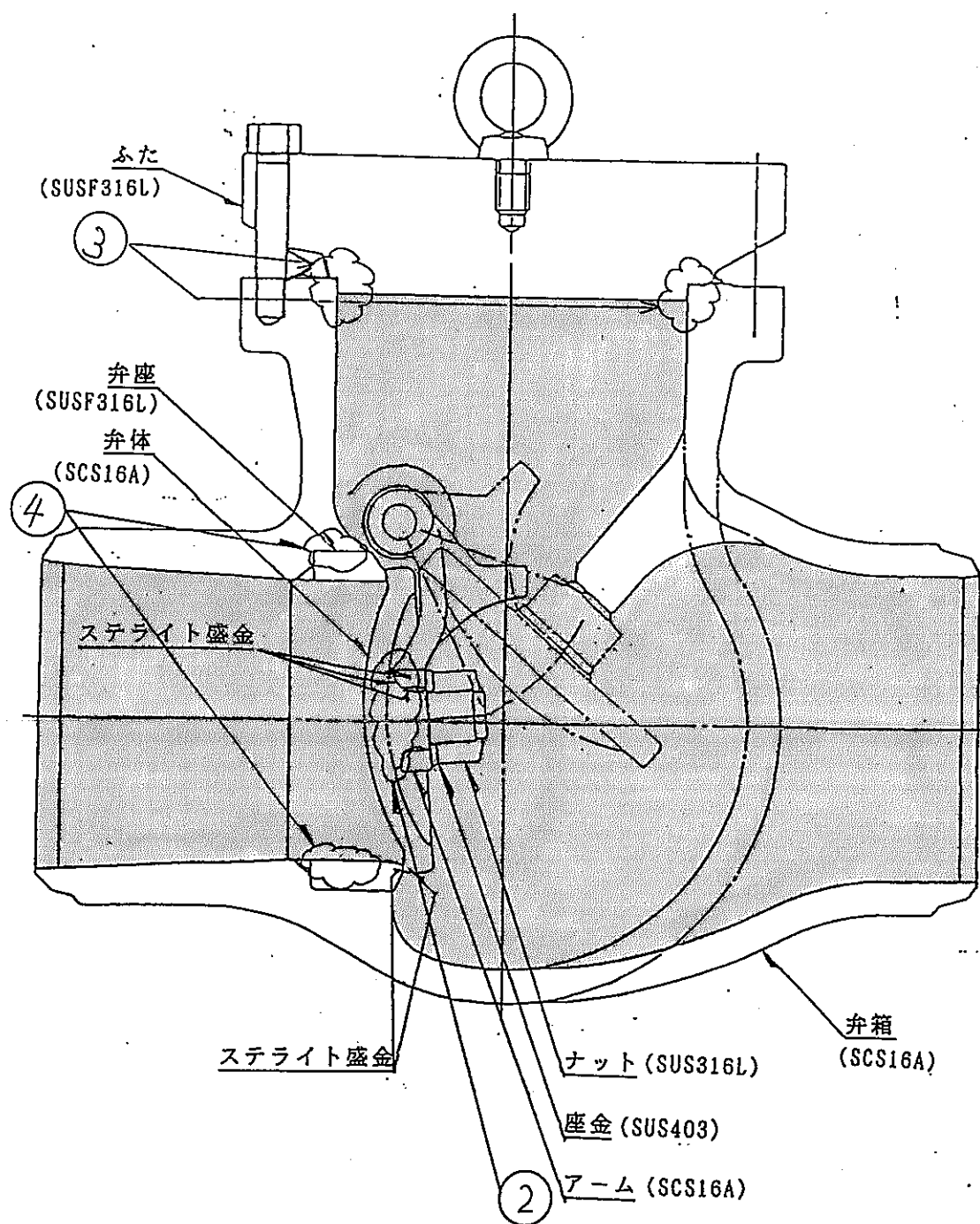
No.	部位	材質
①	フランジ部	SUS304/SUS304

☁ : 隙間部

図 10 混床式脱塩器

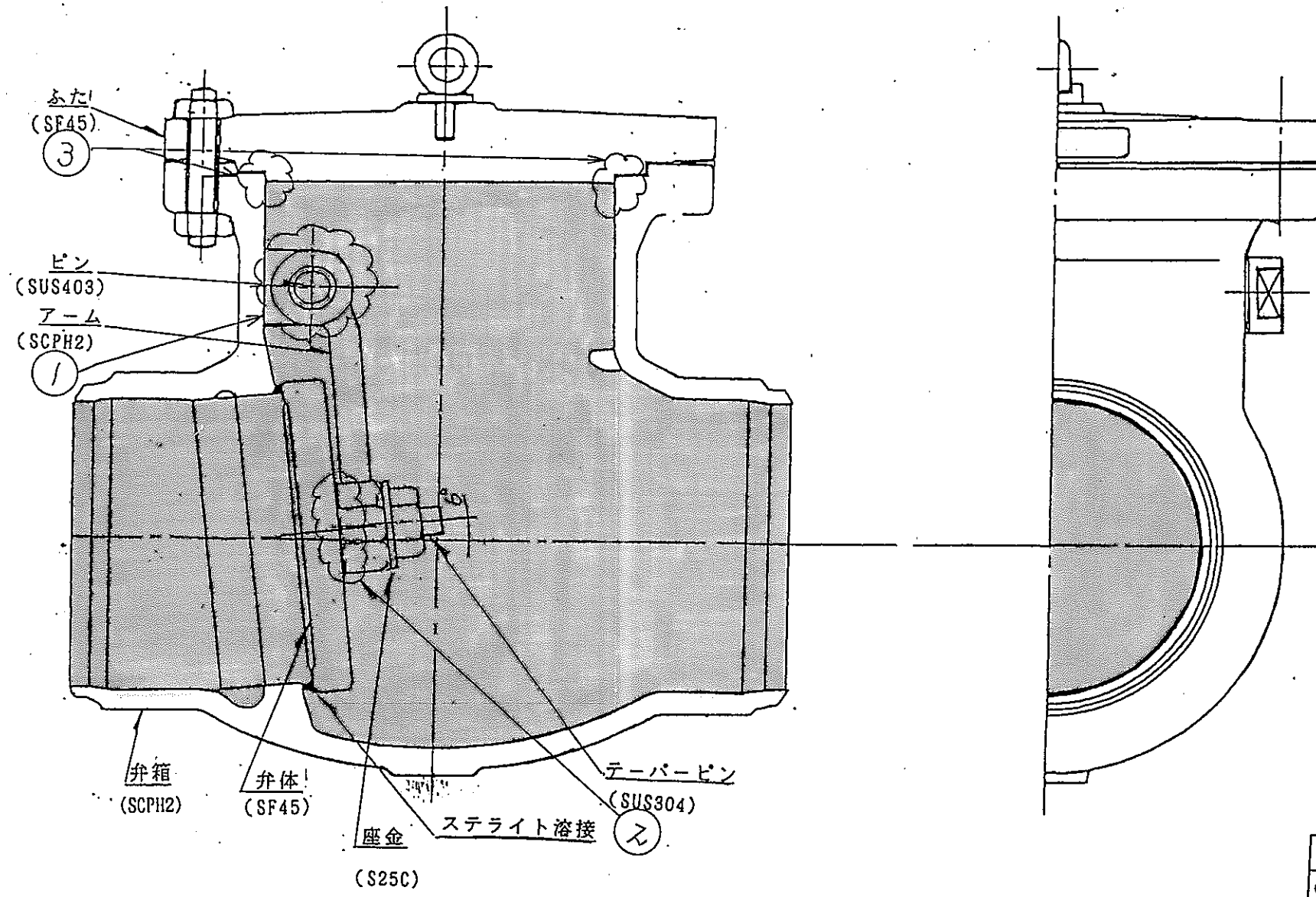


№	部位	材質
①	スピンドル/弁箱	SUS630/SCS16A
②	弁体/アーム	SCS16A/SCS16A
③	弁箱/ふた	SCS16A/SUSF316L
④	弁箱/弁座	SCS16A/SUSF316L



☁ : 隙間部

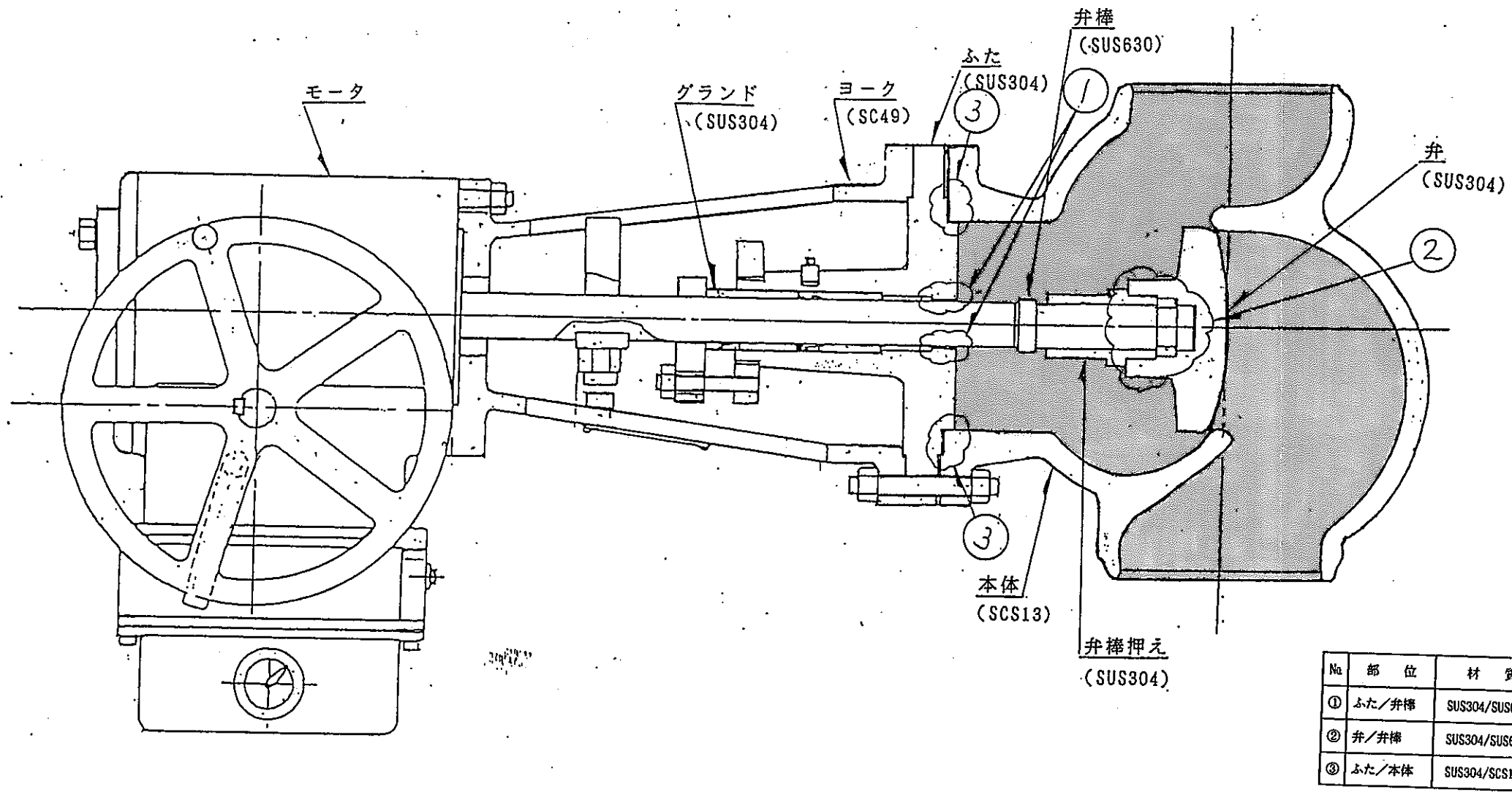
図 11 下部ヘッド逆止弁



No.	部位	材質
①	ピン/アーム	SUS403/SCPH2
②	弁体/アーム	SF45/SCPH2
③	弁箱/ふた	SCPH2/SF45

☁ : 隙間部

図 1 2 逆止弁 (代表例)

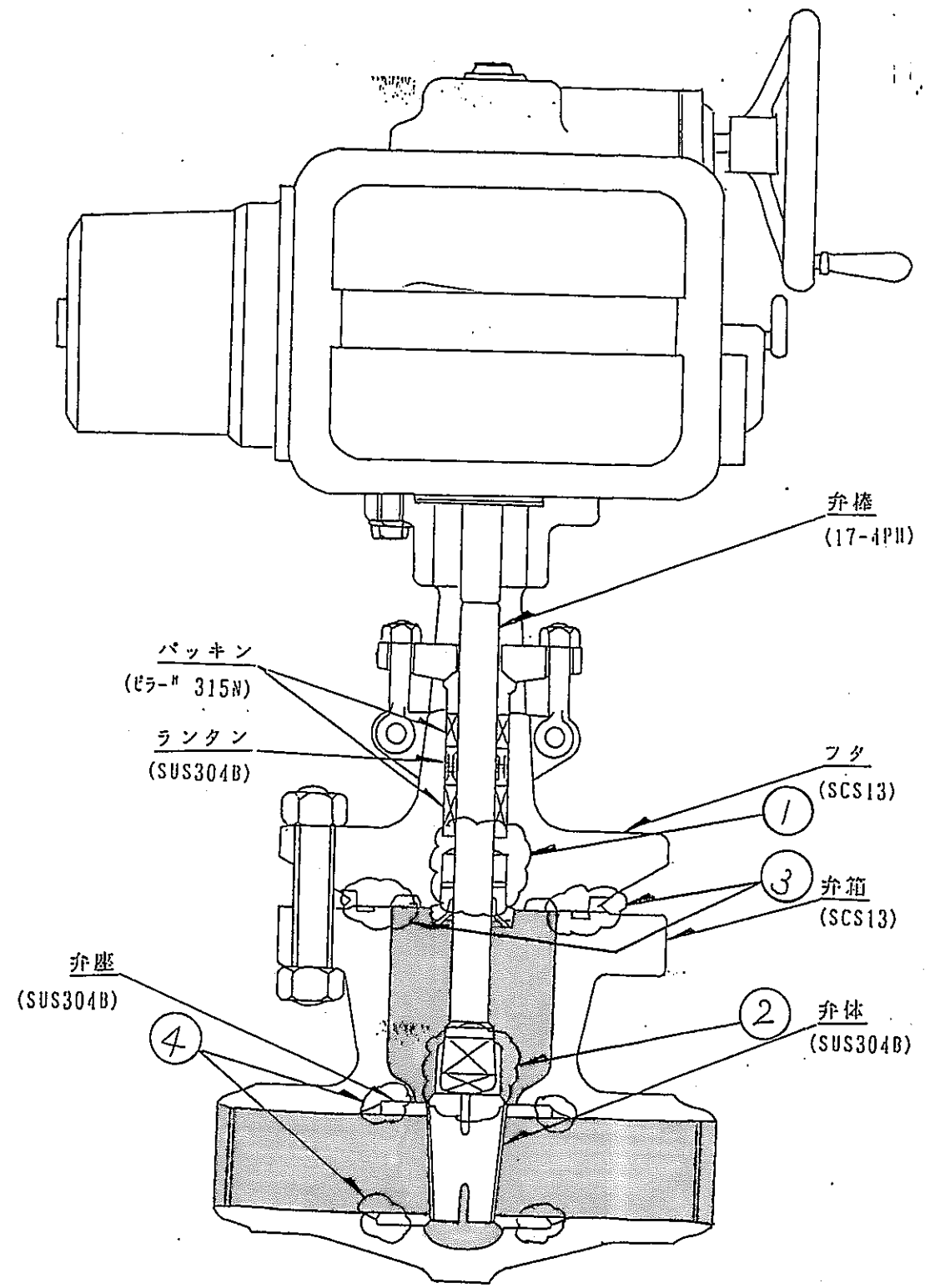


No	部位	材質
①	ふた/弁棒	SUS304/SUS630
②	弁/弁棒	SUS304/SUS630
③	ふた/本体	SUS304/SCS13

☁ : 隙間部

図 1 3 玉型弁 (代表例)

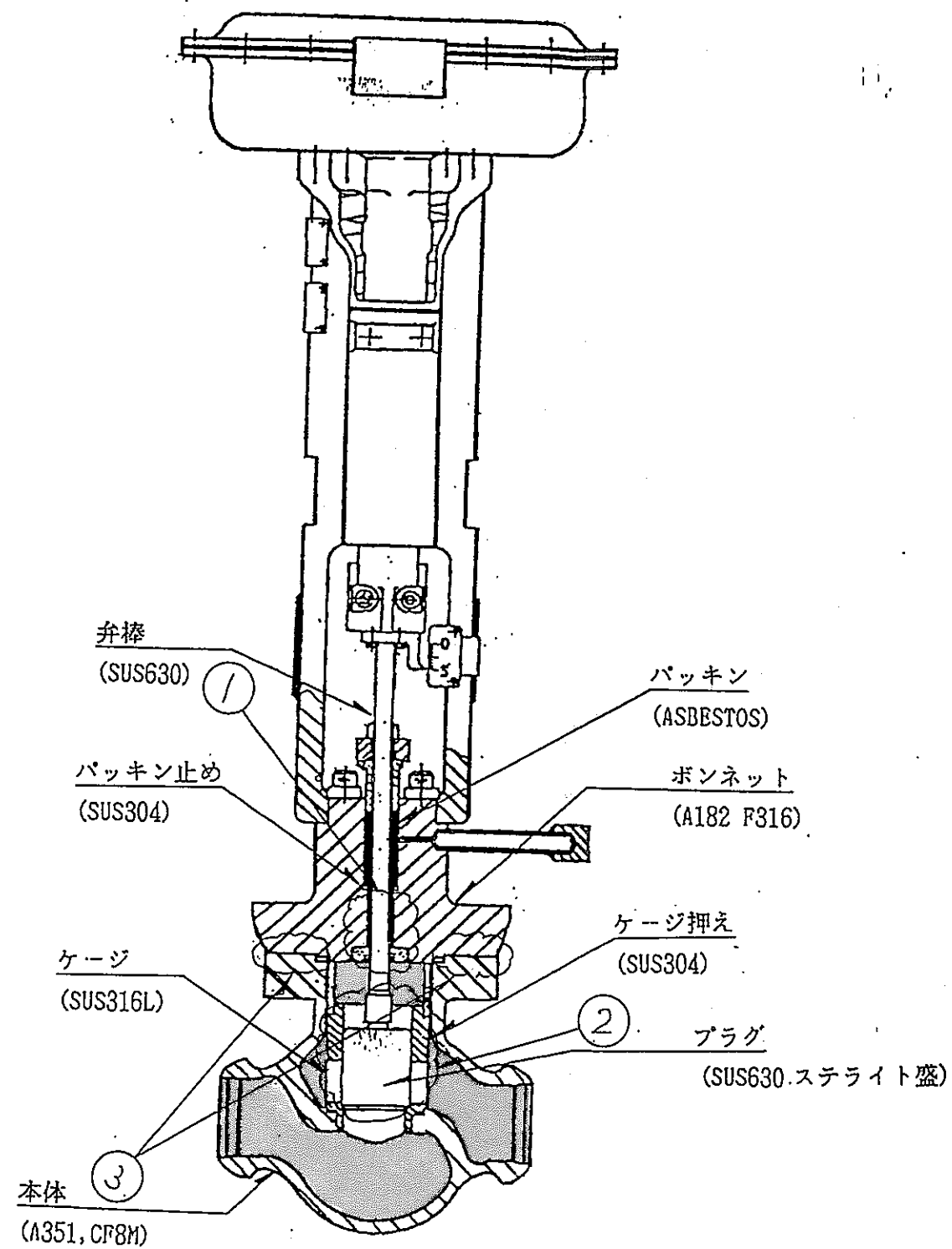




No	部 位	材 質
①	ふた/弁棒	SCS13/17-4PH
②	弁体/弁棒	SUS304B/17-4PH
③	フタ/弁箱	SCS13/SCS13
④	弁座/弁箱	SUS304B/SCS13

☁ : 隙 間 部

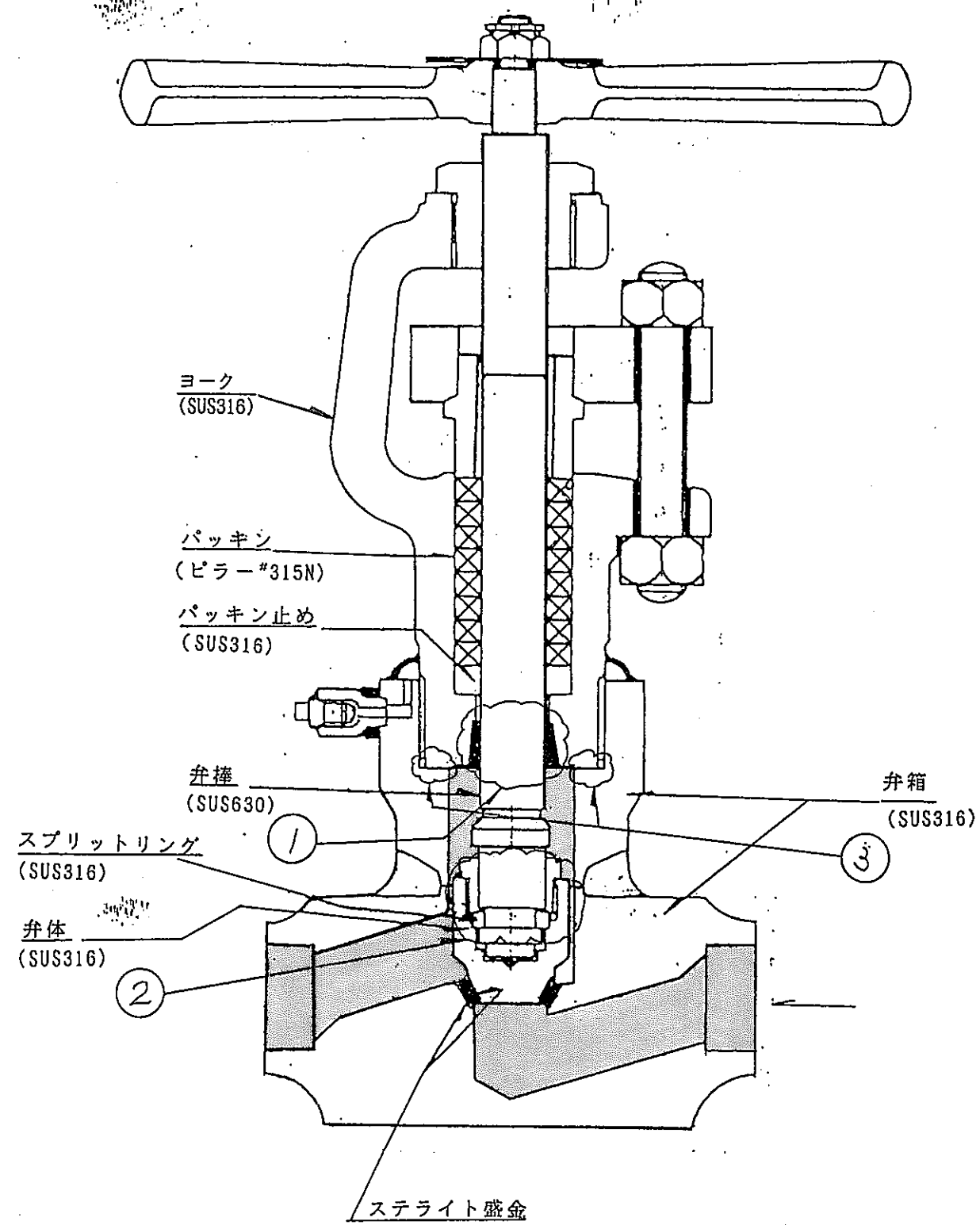
図 1 4 仕切弁 (代表例)



No.	部 位	材 質
①	ボンネット/弁棒	A182 F316/SUS630
②	プラグ/弁棒	SUS630/SUS630
③	ボンネット/本体	A182 F316/A351 CF8M

☁ : 隙 間 部

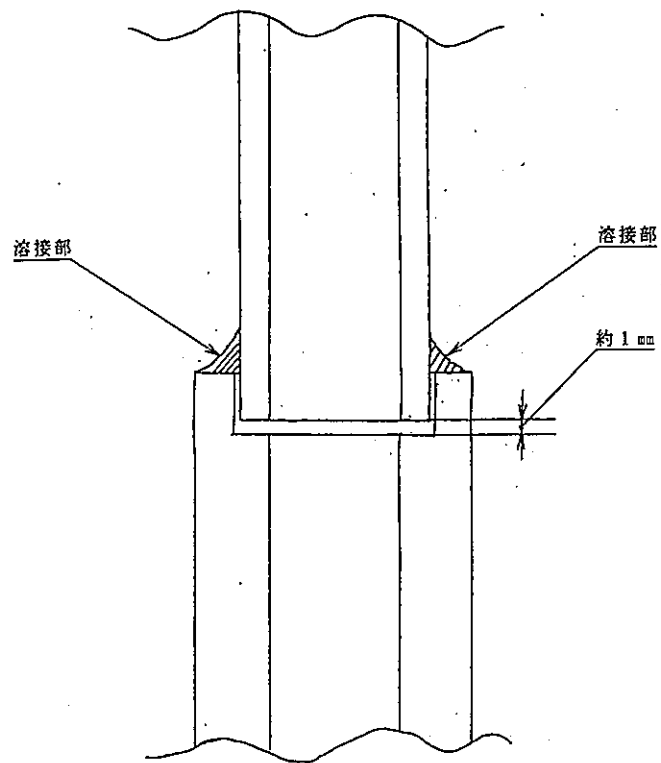
図 1 5 調節弁 (代表例)



No.	部 位	材 質
①	弁箱/弁棒	SUS316/SUS630
②	ヨーク/弁棒	SUS316/SUS630
③	ヨーク/弁箱	SUS316/SUS316

☁ : 隙 間 部

図 1 6 ドレン弁 (代表例)



☁ : 隙間部

図 17 ソケット溶接部概念図



表-1 化学管理項目の制限値及び管理目標値

系統名・採取点	項目	制限値	管理目標値	備考	出典
原子炉浄化系 脱塩器入口	pH	4 ~ 10	5.5 ~ 8.5	5.5~8.5の範囲を連続して超える時間は24時間以内であること	運転管理要領39条
	電導度	10 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下	任意の12月で2週間以上1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を超えないこと	〃
	塩素イオン	1 ppm	200 ppb以下	〃 〃 200ppbを超えないこと	〃
	シリカ	-	2 ppm 以下		〃
	不溶性不純物	-	1 ppm 以下		-
	溶存酸素濃度	-	0.4 ppm 以下		運転管理要領39条
	ホウ素	-	2 ppm 以下	( $\text{a s B O}_3$ )	〃
	r 核種	I-131:08 $\mu\text{Ci}/\text{g}$			

表-2 昭和63年度原子炉原子炉冷却材水質(100%出力運転時)

	電導度 $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	塩素 ppb	シリカ ppb	溶存酸素濃度 ppb	鉄 (クラッド/イオン) ppb	コバルト (クラッド/イオン) ppb	Mn-54 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )		Co-58 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )		Co-60 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )		I-131 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )
								クラッド	イオン	クラッド	イオン	クラッド	イオン	
原子炉 浄化系入口														
最大値	0.20	7.45	<1	13	29	26/0.057	0.032/0.062	$2.5 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$	$9.4 \times 10^{-5}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$9.6 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-6}$
最小値	0.14	6.62	<1	6	19	0.49/0.012	<0.03/<0.03	$5.9 \times 10^{-6}$	$3.1 \times 10^{-6}$	$2.4 \times 10^{-6}$	$9.0 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$9.6 \times 10^{-6}$	$7.7 \times 10^{-7}$
平均値	0.18	7.21	<1	9	25	6.3/0.026	<0.03/<0.03	$6.2 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$	$6.4 \times 10^{-5}$	$6.6 \times 10^{-5}$	$6.6 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-6}$

表-3 プラント停止時の水質（実績）

	電導度 μS/cm	pH	塩素 ppb	シリ カ ppb	溶存酸 素濃度 ppb	鉄 (クラッド/付) ppb	コバルト (クラッド/付) ppb	Mn-54 (μCi/ml)		Co-58 (μCi/ml)		Co-60 (μCi/ml)		I-131 (μCi/ml)
								クラッド	イオン	クラッド	イオン	クラッド	イオン	
原子炉 浄化系入口														
最大値	2.6	7.45	2.2	3.1	—	380/13	<0.03/11	$7.4 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$< 5.0 \times 10^{-7}$
最小値	0.19	5.29	2	9	—	17/0.045	<0.03/<0.04	$2.0 \times 10^{-5}$	$2.4 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-5}$	$5.1 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$< 5.0 \times 10^{-7}$
平均値	1.0	6.19	1.0	2.1	—	190/5.4	<0.03/<4.3	$1.5 \times 10^{-3}$	$7.2 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-3}$	$9.7 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-3}$	$< 5.0 \times 10^{-7}$

表-4 除染時の水質予測値

	単位	除染時の値	
pH	—	4.5~5.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・KD203 0.1%溶液のpHより算定</li> <li>・R&amp;D試験により材料健全性確認済</li> </ul>
電 導 度	μS/cm	300~600	<ul style="list-style-type: none"> <li>・KD203 0.05~0.1%溶液の電導度より算定</li> <li>・R&amp;D試験により材料健全性確認済</li> </ul>
塩 素 イ オン	ppm	0.01以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・KD203原液中C濃度 1ppm以下</li> <li>・フラッシング終了基準 0.01ppm以下より算出</li> </ul>
シリカ (SiO <sub>2</sub> )	ppm	0.1 以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炉浄化系新樹脂による浄化実績 (&lt;0.005) より算出</li> <li>・この基準はタービン側の材料健全性より定まったもので炉側とは無関係</li> </ul>
ホウ素 (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ppm	0.03以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ふげん運開以来の実績 (&lt;0.03) より算出</li> <li>・Bの混入経路はない</li> </ul>
溶 存 酸 素	ppm	0.2 以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・除染前脱気操作実施により管理する</li> </ul>





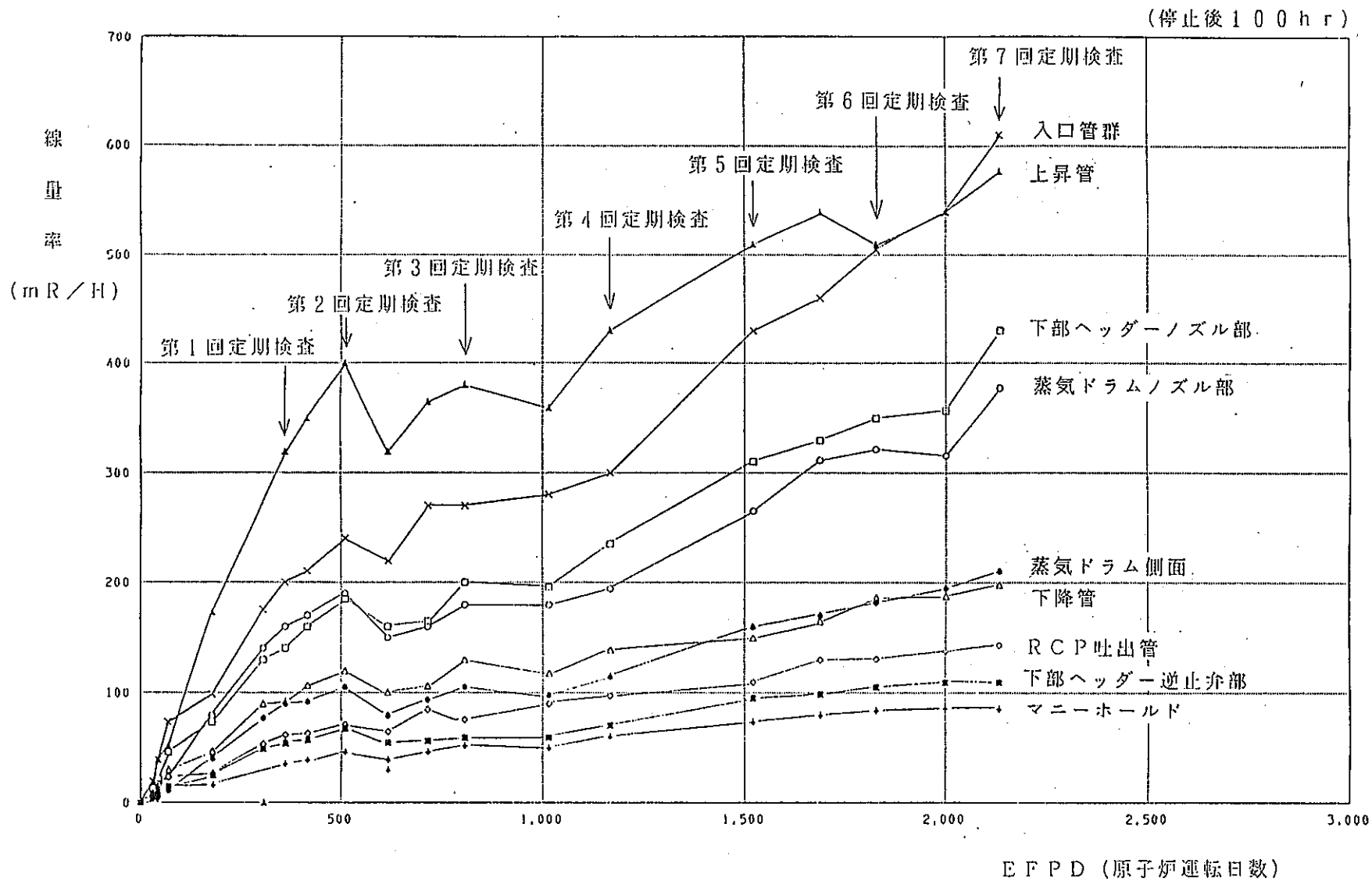


図-1 「ふげん」における原子炉冷却系機器・配管表面線量率の変化

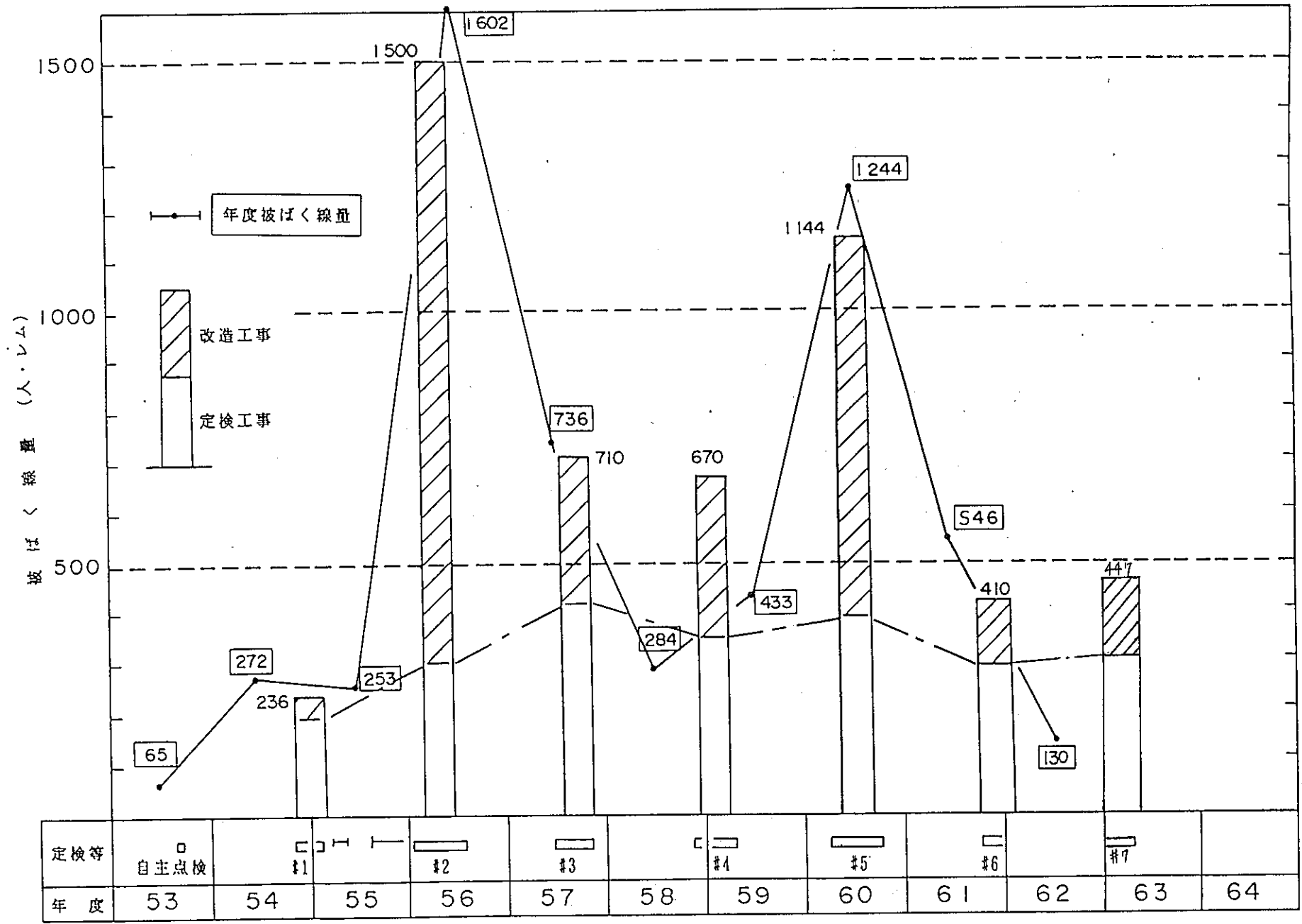


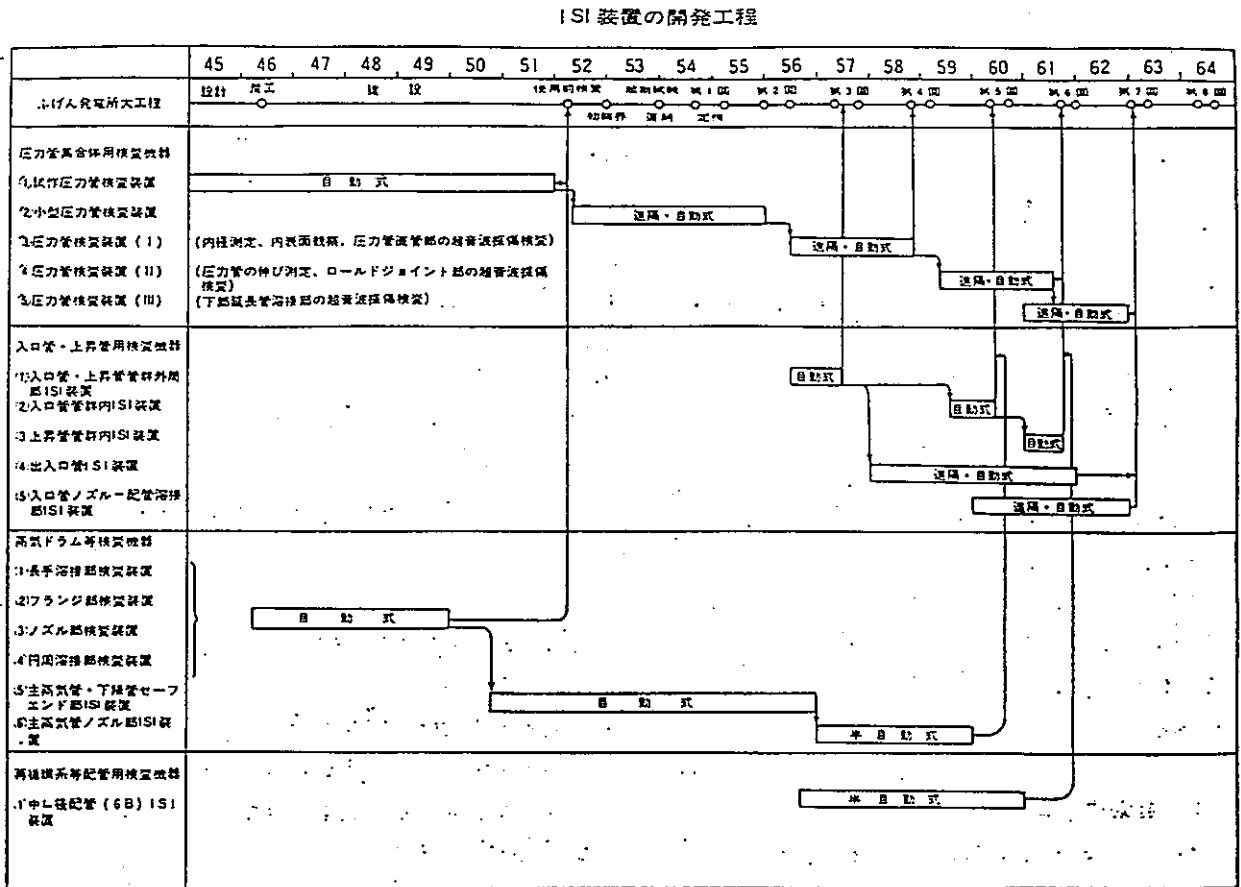
図-2 被ばく量の経年変化



表-1 「ふげん」における被ばく低減策の実績

低減対策項目	対象作業	対象内容	線量率の低減効果	対策をしない場合の被ばく状況(予想)	対策後の被ばく(実績)	効果
高線量率機器の遮へい	RCP電動機分解点検	入口管郡廻りに鉛板を仮設置	作業雰囲気線量が1/2～1/3に低減 (～200 mR/h→～100 mR/h)	30人・レム	24人・レム	20% (6人・レム)
	He連通弁点検	入口管からの影響を防止(鉛マッスを仮設置)	作業被ばく雰囲気線量が30%程度に低減 (～100 mR/h→～70 mR/h)	3人・レム	2人・レム	30% (1人・レム)
機器除染	燃料交換機点検	化学除染及び高圧ジェット除染を実施	内部構造物の線量率が1/2～1/3に低減 (数R/h→1R/h)	35人・レム	26人・レム	35% (15人・レム)
	C UW熱交換器開放点検	熱交換器の化学除染を実施	作業雰囲気線量率が2/1に低減 (20 mR/h→10 mR/h)	15.5人・レム	7.5人・レム	55% (8人・レム)
	RHR熱交換器開放点検	同上	開放作業時の線量率が除染なしの予想値と比較し1/28に低減 (280 mR/h→10 mR/h)	13人・レム	6.4人・レム	35% (6.6人・レム)
保温のワンタッチ化	ISIに伴う保温工事	保温をワンタッチに着脱可能にした	作業時間が従来の1/6～1/10に短縮	—	—	従来方法の1/6～1/10に低減
自動化	ISI作業	自動UT装置の開発	取付のみの作業となり検査作業の被ばくが無くなる (50%～60%低減)	40人・レム	20人・レム	50% (20人・レム)
防護具の開発	防護具を着用する作業	○全面マスクの開発 ○フータイプ防護服の開発 ○トリチウム防護服の開発	装備の軽量化, 適性化により作業効率が向上	—	—	—

図-1 「ふげん」におけるISI装置の開発



ISI(UT)作業内容

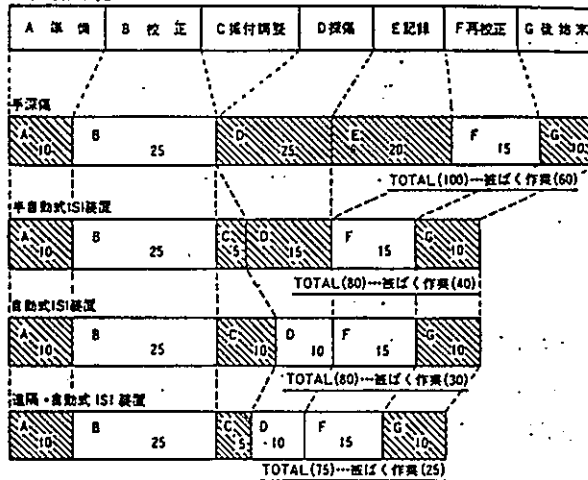


図-2 装置開発による作業時間の短縮と被ばく低減効果

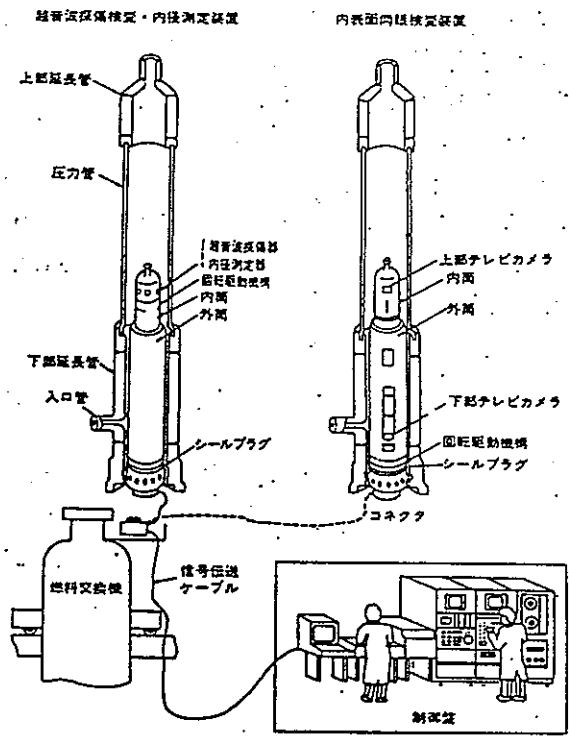


図-3 圧力管検査装置

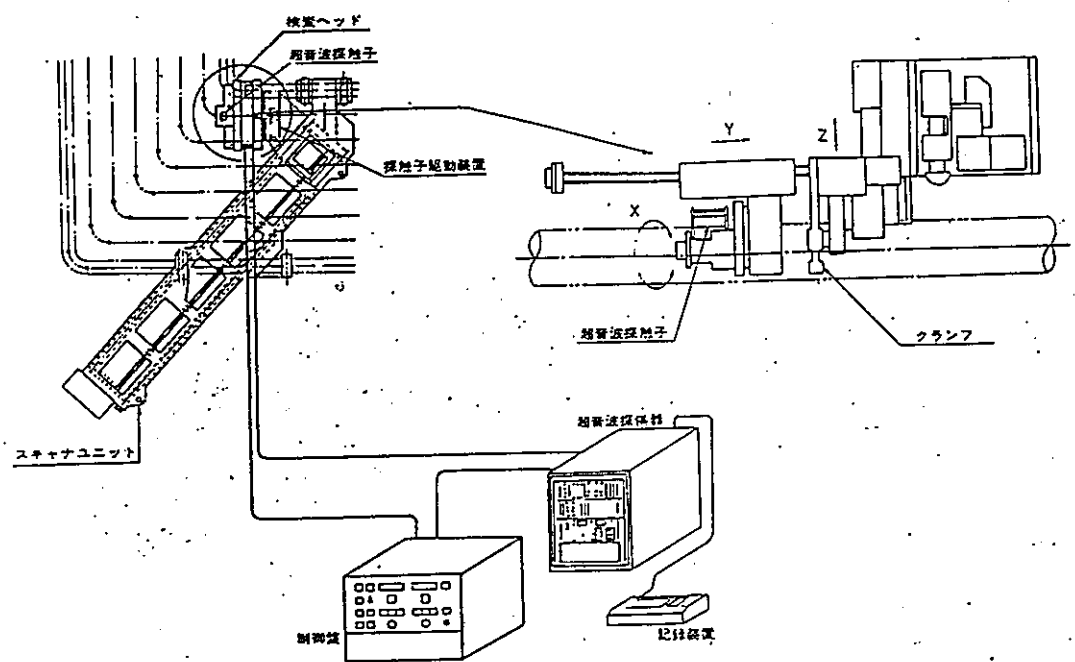


図-4 入口管管群内ISI装置



## 給水系酸素注入

給水中に酸素ガスを注入すると、炭素鋼の給水系配管内面に酸化保護被膜が形成され、鉄の溶出防止に有効であることは、先行BWRで経験されていることである。「ふげん」においてもこの効果を確認すべく、起動試験中に給水系の酸素ガス注入試験を実施した。その結果は、図-1に示すように、復水脱塩器出口に50ppb相当の酸素ガスを注入すると、原子炉再循環系入口にあたる第5給水加熱器出口の鉄イオン濃度は、10ppbから1ppbへ急減し、全鉄濃度でも3分の1以下となった。この成果を基に、第5給水加熱器出口の溶存酸素濃度が20~60ppbとなるように給水系酸素注入を実施してきた。

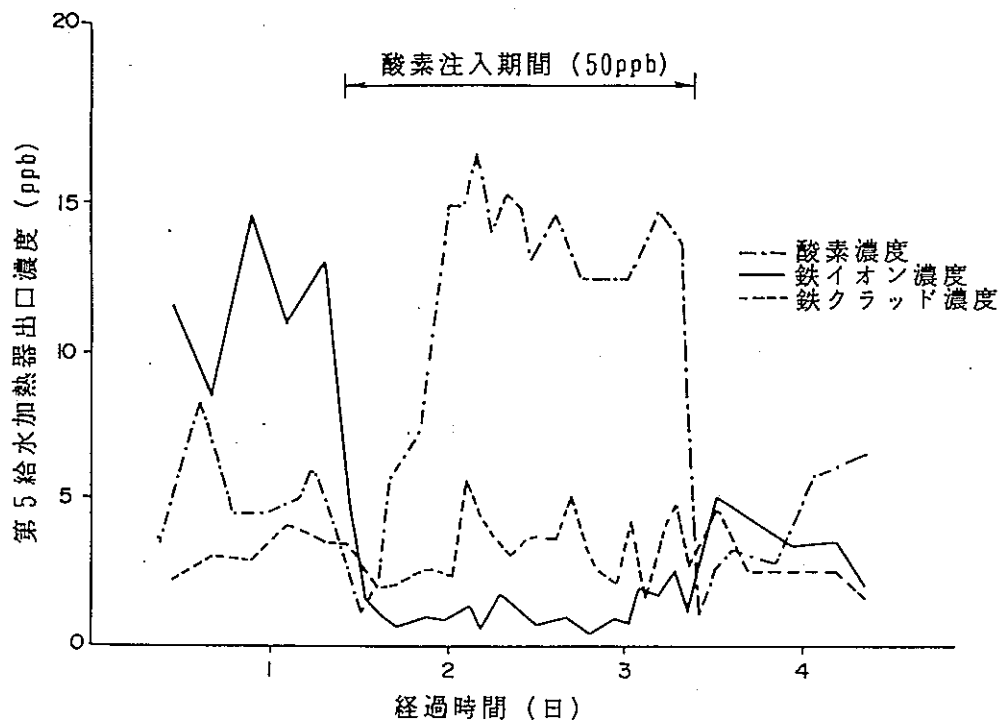


図-1 酸素注入によるクラッド低減効果



## 復水脱塩器の運用改善

炉心への鉄持ちこみ主要素であるイオン鉄は、給水系への酸素注入により抑制することができた。一方クラッド鉄については、粉末樹脂フィルターを復水脱塩器前に設置すれば効果的に低減できることがBWRの経験でわかっている。しかし、新たにそれを設置するには設置場所等の制約が多いので「ふげん」では、復水脱塩器の運用改善によりさらにクラッド除去を図るため、その除去特性を調査した。

その結果、復水脱塩器のクラッド除去効率は、図-1に示すように逆洗後数日間で約80%まで急減し、その後徐々に回復してティースプーンカーブを描きながら、4週間後には95%まで上昇することが判明した。また樹脂層の捕捉のクラッドの分布状態を走査型電子顕微鏡で観察した結果、直径 $1\mu\text{m}$ 以上の大きなクラッドは樹脂層表面より30cmまでで捕捉されており、それ以下の細かなクラッドはカラム全体に分布していた。これらの調査結果に基づき、昭和56年以降、復水脱塩器の逆洗間隔を従来の2週間より4週間に伸ばすとともに、逆洗時のエアバブリング洗浄回数も2倍に増やし、クラッド除去率を高めることができた。また、圧力損失の増加を抑制し、流速を低下させてクラッド捕捉効果を増すため、予備の復水脱塩器1塔を加え、4塔すべてを通水するようにした。

これらの復水脱塩器の運転法改善により、復水脱塩器出口でのクラッド鉄濃度を5~10ppbから3ppb程度にまで低減させることができた。

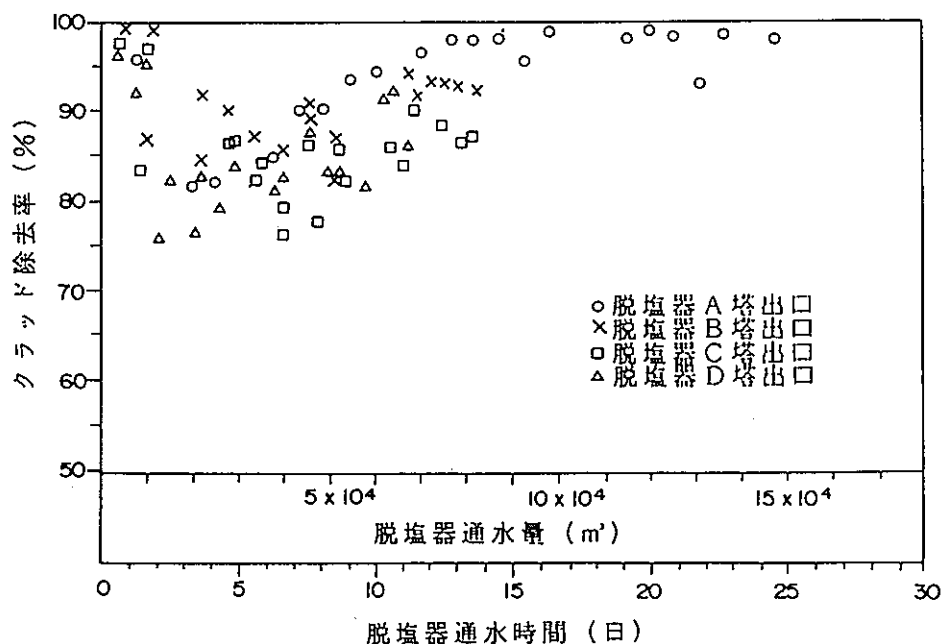


図-1 復水脱塩器通水量とクラッド除去率の関係

### 給復水系のホットドレンオフ

定期検査等の長期停止時に鉄錆として発生する金属不純物は、起動に伴い大量に炉心に持ちこまれる。これを抑制するために原子炉停止期間中、給復水系を乾燥して保管するホットドレンオフを行い、炭素鋼表面の発錆を防止した。ホットドレンオフは、配管の残留熱を利用し復水器や配管の内表面を乾燥させる方法であるが、これにより起動前の洗浄時間を以前の約半分の10日に低減することができた。

表-1に各定検時における原子炉起動時の鉄持込量を示す。

表-1 原子炉起動時の鉄持込量

	炉心への鉄持込量	ホットドレンオフ実施
第1回定検時	2.6 kg	無
第2回定検時	2.65 kg	有
第3回定検時	1.45 kg	有
第4回定検時	0.171 kg	有
第5回定検時	0.570 kg	有
第6回定検時	0.170 kg	有



定期検査期間中の被ばく状況 (新型炉交換炉ふげん発電所)

No. 1

定期検査回数 (第 回)		第 1 回			第 2 回			第 3 回					
定期検査 期間	解列～並列 解列～定検終了	55年 2月 1日～ 55年 4月24日 ( 84日) 55年 2月 1日～ 55年 5月15日 (105日)			56年 4月20日～ 56年10月10日 (174日) 注1) 56年 4月20日～ 56年11月 5日 ( 200日)			57年 9月24日～ 58年 1月24日 (123日) 57年 9月24日～ 58年 2月17日 (147日)					
		社 員	請 負	合 計	社 員	請 負	合 計	社 員	請 負	合 計			
被ばく 線量	従事者数 (人)	222	1260	1482	231	2236	2467	217	1854	2071			
	総被ばく線量 (人・レム)	13	214	227	26	1349	1375	23	634	657			
	平均被ばく線量 (レム)	0.06	0.17	0.15	0.11	0.60	0.56	0.10	0.34	0.32			
	最大被ばく線量 (レム)	1.08	1.86	1.86	1.62	3.73	3.73	1.43	2.64	2.64			
分被ばく (人線量)	0.13 以上 0.13 未満	198	864	1062	186	947	1133	177	952	1129			
	0.4 以上 1.3 未満	17	202	219	26	319	345	22	369	391			
	1.3 以上 3.0 未満	7	183	190	17	519	536	17	405	422			
	3.0 以上 (レム)	0	11	11	2	436	438	1	128	129			
		0	0	0	0	15	15	0	0	0			
		作 業 名		計画	実績最大	作 業 名		計画	実績最大	作 業 名		計画	実績最大
計画線量 100 ミリレム/日を 超える作業 (ミリレム/日) (計画線量上位5作業)		I S I 原子炉冷却材浄化系非再生熱 交換器開放点検		200	200	原子炉冷却系配管取替工事 原子炉再循環ポンプ分解点検設備 設置工事		300	280	原子炉冷却材浄化系配管取替工事 原子炉再循環ポンプ分解点検設備 設置工事		200	190
		原子炉再循環ポンプ分解点検		150	115	燃料交換装置分解点検 原子炉再循環ポンプ分解点検		200	200	原子炉再循環ポンプ分解点検 燃料交換装置分解点検 高圧注水系配管補修 その他 11件		200	160
				130	90			200	90			200	147
												200	182
												200	155
												200	165
		作 業 名		被ばく 線量	作 業 名		被ばく 線量	作 業 名		被ばく 線量			
総被ばく 大きい 作業	一般定期検査作業 (上位4作業) (レム)	原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業 原子炉再循環ポンプ分解点検作業 原子炉供用期間中検査関連作業 一次系機器配管点検関連作業		30 26 21 19	燃料交換装置分解点検関連作業 原子炉供用期間中検査関連作業 原子炉再循環ポンプ分解点検作業 原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業		61 32 23 22	原子炉再循環ポンプ分解点検作業 燃料交換装置分解点検関連作業 原子炉供用期間中検査関連作業 原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業		77 45 36 25			
	改良・改造作業 (上位4作業) (レム)	メカニカル防振器取替関連工事 原子炉冷却材浄化系配管改造関連工事 再循環ポンプ分解時炉心冷却設備工事 圧力管本体遮蔽冷却対策工事		24 21 18 11	原子炉冷却系配管取替関連工事 余熱除去系配管改造関連工事 原子炉再循環ポンプ分解点検設備設置工事 (電気計装) 配管保温補修工事		1000 160 30 2	原子炉再循環ポンプ分解点検設備設置 関連工事 原子炉冷却系配管取替関連工事 原子炉再循環系 I H S I 関連工事 高圧注水系配管補修工事		94 90 65 17			
主な被ばく低減作業		一次系配管遮蔽			一次系配管遮蔽			一次系配管遮蔽 RCPインターナル化学除染					

注1) 解列は55年11月17日 (計画停止より引続き第2回定検へ)

定期検査期間中の被ばく状況 (新型炉交換炉ふげん発電所)

No. 2

定期検査回数 (第 回)		第 4 回			第 5 回			第 6 回					
定期検査 期間	解列～並列 解列～定検終了	59年 2月15日～ 59年 6月28日 (135日) 59年 2月15日～ 59年 7月19日 (156日)			60年 7月 3日～ 60年12月21日 (172日) 60年 7月 3日～ 61年 1月10日 (192日)			62年 1月 7日～ 62年 3月31日 (84日) 62年 1月 7日～ 62年 4月17日 (101日)					
		社 員	請 負	合 計	社 員	請 負	合 計	社 員	請 負	合 計			
被ばく 線量	従事者数 (人)	212	1809	2021	208	2264	2472	182	1560	1742			
	総被ばく線量 (人・レム)	25	601	626	29	1170	1199	22	388	410			
	平均被ばく線量 (レム)	0.12	0.33	0.31	0.14	0.52	0.49	0.12	0.25	0.24			
	最大被ばく線量 (レム)	0.95	2.63	2.63	1.00	3.45	3.45	1.12	2.28	2.28			
分被ばく (人線量)	0.13 以上 0.13 未満	155	920	1075	139	981	1120	137	901	1038			
	0.4 以上 1.3 未満	41	352	393	47	359	406	32	292	324			
	1.3 以上 3.0 未満	16	442	458	22	581	603	13	334	347			
	3.0 以上 (レム)	0	95	95	0	341	341	0	33	33			
			0	0	0	2	2	0	0	0			
		作 業 名		計画	実績最大	作 業 名		計画	実績最大	作 業 名		計画	実績最大
計画線量 100 ミリレム/日を超える作業 (ミリレム/日) (計画線量上位 5 作業)		原子炉冷却系給水管取替工事 原子炉再循環系BループIHSI工事 燃料交換装置分解点検 IHSI付帯工事 プール水浄化系透過脱塩器開放点検 その他 2件		200 200 200 200 200 200	176 70 184 155 116 97	原子炉再循環系Aループ配管取替工事 IHSI付帯工事 燃料交換装置分解点検 原子炉再循環系IHSI工事 可聴域漏洩検出装置設置工事 その他 6件		300 200 200 200 200 200	266 177 193 184 77 200	主蒸気系配管取替工事 炉浄化系再生・非再生熱交換器開放点検 工安系点検 (RHR弁点検) 主蒸気系セーフエンド取替工事 原子炉再循環系IHSI工事 CUW弁点検		200 200 160 200 200 200	142 96 168 110 152 80
		作 業 名		被ばく線量	作 業 名		被ばく線量	作 業 名		被ばく線量			
総被ばく 大きく線 い量 作業	一般定期検査作業 (上位 4 作業) (レム)		原子炉供用期間中検査関連作業 燃料交換装置分解点検関連作業 原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業 一次系機器配管点検関連作業		60 58 21 15	燃料交換装置分解点検関連作業 原子炉供用期間中検査関連作業 一次系機器配管点検関連作業 原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業		56 54 28 22	原子炉供用期間中検査関連作業 燃料交換装置分解点検関連作業 工安設備点検関連作業 原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業		43 35 28 24		
	改良・改修作業 (上位 4 作業) (レム)		原子炉再循環系IHSI関連工事 原子炉給水系配管取替関連工事 原子炉再循環系保温改造工事 水素注入用配管装置設置工事		121 98 45 12	原子炉再循環系Aループ配管取替関連工事 原子炉再循環系IHSI関連工事 原子炉再循環系保温改造工事 可聴域漏洩検出装置設置工事		514 121 54 21	主蒸気系配管取替関連作業 その他 全て		92 <10		
主な被ばく低減作業		一次系配管遮蔽 ISI (UT) 一部自動化			一次系配管遮蔽 燃料交換装置化学除染 ISI (UT) 一部自動化			一次系配管遮蔽 炉浄化系再生・非再生熱交換器 化学除染 余熱除去系熱交換器 化学除染					

定期検査期間中の被ばく状況 (新型車交換炉ふげん発電所)

No. 3

定期検査回数 (第 回)		第 7 回			第 8 回			第 9 回					
定期検査 期間	解列～並列 解列～定検終了	63年 4月16日～ 63年 6月27日 ( 73日) 63年 4月16日～ 63年 7月20日 ( 96日)			年 月 日～ 年 月 日 ( 日) 年 月 日～ 年 月 日 ( 日)			年 月 日～ 年 月 日 ( 日) 年 月 日～ 年 月 日 ( 日)					
		社 員	請 負	合 計	社 員	請 負	合 計	社 員	請 負	合 計			
被ばく 線量	従事者数 (人)	185	1578	1763									
	総被ばく線量 (人・レム)	22	425	447									
	平均被ばく線量 (レム)	0.12	0.27	0.25									
	最大被ばく線量 (レム)	0.99	1.73	1.73									
分被ばく (人線量)	0.13 未満	136	887	1023									
	0.13 以上 0.4 未満	38	280	318									
	0.4 以上 1.3 未満	11	382	393									
	1.3 以上 3.0 未満	0	29	29									
	3.0 以上 (レム)	0	0	0									
		作 業 名		計画	実績最大	作 業 名		計画	実績最大	作 業 名		計画	実績最大
計画線量 100 ミリレム/日を 超える作業 (ミリレム/日) (計画線量上位 5 作業)		蒸気ドラム ノズルセーフエンド取替工事		200	186								
		原子炉供用期間中検査		200	166								
		原子炉再循環ポンプ シール注排水系制御弁点検		200	141								
		作 業 名		被ばく 線量	作 業 名		被ばく 線量	作 業 名		被ばく 線量			
総被ばく 大きい 作業	一般定期検査作業 (上位 4 作業) (レム)		原子炉供用期間中検査関連作業 原子炉再循環ポンプ電動機分解点検作業 燃料交換機分解点検関連作業 一次系機器配管点検関連作業		52 24 22 13								
	改良・改造作業 (上位 4 作業) (レム)		蒸気ドラム ノズルセーフエンド取替工事 炉下部入口管対流防止板撤去工事		126 13								
			その他全て		<10								
主な被ばく低減作業		一次系配管遮蔽											



表 - 1 プラント停止直後の線量率の推移

定期検査 熱交換器	第 3 回 (S57.9.24)	第 4 回 (S59.2.15)	第 5 回 (S60.7.3)	第 6 回 (S62.1.7)	第 7 回 (S63.4.16)
再生熱交換器	60 mR/hr	50 mR/hr	1200 mR/hr	130 mR/hr	250 mR/hr
非再生熱交換器 A	200 mR/hr	115 mR/hr	300 mR/hr	210 mR/hr	250 mR/hr
非再生熱交換器 B	250 mR/hr	200 mR/hr	400 mR/hr	250 mR/hr	300 mR/hr

注) 測定点: 熱交換器胴固定点

表 - 2 C U W系運転有無による線量率の変化

定期検査 熱交換器	第 6 回定期検査時		第 7 回定期検査時	
	S 62. 1. 7	S 62. 1. 19	S 63. 4. 16	S 63. 4. 25
再生熱交換器	130 mR/hr	→ 72 mR/hr	250 mR/hr	→ 129 mR/hr
非再生熱交換器 A	210 mR/hr	→ 69 mR/hr	250 mR/hr	→ 300 mR/hr
非再生熱交換器 B	250 mR/hr	→ 384 mR/hr	300 mR/hr	→ 300 mR/hr
C U W系運転状況	C U W系連続運転		C U W系停止	

注) 測定点: 熱交換器胴固定点



新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整 理 番 号
	2 - 2

件 名	原子炉冷却系系統除染の必要性と効果
-----	-------------------

.....

.....

.....

回 答		添付書類の有無（ 有， 無 ）
-----	--	-----------------

1. 第8回定期検査時の被ばく予測量

「ふげん」では、第8回定期検査時において原子炉再循環系Aループ側の再循環ポンプ内部点検及び下部ヘッダの応力腐食割れ予防対策のための部分取替工事を予定している。

これらの工事により、第8回定期検査時における総被ばく線量は1200～1300人・レム程度となることが予測される。これは従来の「ふげん」における定期検査時の被ばく線量及び最近の軽水炉における定期検査時の被ばく線量を大幅に上回った値である。

2. 系統除染の必要性

このような状況から第8回定期検査時においては、従来より実施している仮設遮へい体の設置等による被ばく低減化策に加え、抜本的な被ばく低減策を実施する必要がある。

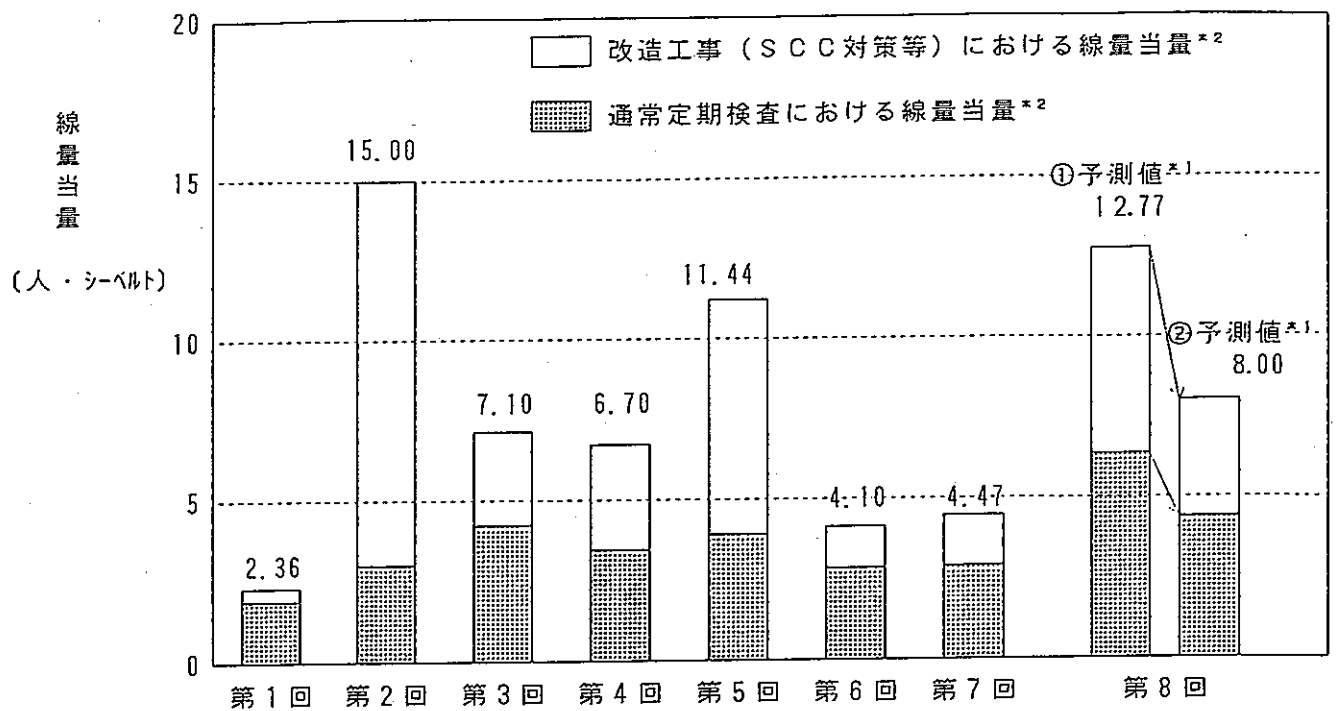
この抜本的被ばく低減策としては、放射線の発生原因である機器・配管内表面に付着・蓄積している放射性クラッドの除去（除染）を行うことが最も有効である。

しかしながら、第8回定期検査時における工事の除染対象が広範囲、かつ複雑形状であるため、部分的な除染方法である機械的な又は電気的な除染方法は適用困難である。

このため、系統全体の化学除染方法を適用する。

3. 系統除染の効果予測

これらを考慮して原子炉冷却系の系統除染を行った場合に得られる被ばく線量の低減効果は図-1に示すように、約500マンレム（約40%）と予測している。



注) \* 1 : 第8回定期検査の予測値①は、系統除染を実施しない場合の値であり、予測値②は原子炉冷却系（片ループ）の系統除染を実施した場合の値である。

注) \* 2 : 第8回定期検査において、定期検査時の総線量当量に大きな影響を与える主な計画作業は次のとおりである。

- ・ 改造工事
  - ・ 応力腐食割れ予防対策工事（Aループ）
- ・ 通常定期検査
  - ・ 原子炉再循環ポンプ分解点検（A・C号機）

図-1. 「ふげん」の定期検査における総線量当量の実績と予測

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整理番号									
		3-1-1									
件名	除染剤の選定根拠										
..... ..... .....											
回答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無 )										
<p>国内・外に既存している除染剤の中から、系統構成材料へ与える腐食性が最も小さく、</p> <p>廃液処理が容易であり、かつ国産品であるため施工やコスト面で他の除染剤より優れていると考えられるクリデコン203(KD-203)を選定した。</p> <p>除染剤の性能等に関する評価検討は、</p> <table border="0"> <tr> <td>① KD-203</td> <td>—————</td> <td>栗田工業の希薄液除染剤</td> </tr> <tr> <td>② LND101</td> <td>—————</td> <td>Can Decon 法の希薄液除染剤</td> </tr> <tr> <td>③ NS-1</td> <td>—————</td> <td>Dow Chemical 社濃厚液除染剤</td> </tr> </table> <p>であり、評価結果は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>除染性能 : NS-1 &gt; LND101 ~ KD-203 の順に良い。</li> <li>材料健全性 : KD-203 ~ LND101 &gt; NS-1 の順に良い。</li> <li>廃液処理性 : KD-203 ~ LND101 &gt; NS-1 の順に良い。</li> <li>施工、コスト : KD-203 ~ LND101 &gt; NS-1 の順に良い。</li> </ol> <p>これらの比較内容を表-1 ~ 表-4 に、また各除染法の概要を表-5 ~ 表-8 に示す。</p> <p>なお、最近開発されて公表されている LOMI 法 (英国 C E G B) と G E dilute 法 (米国 G E 社) について参考データを別添した。</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>			① KD-203	—————	栗田工業の希薄液除染剤	② LND101	—————	Can Decon 法の希薄液除染剤	③ NS-1	—————	Dow Chemical 社濃厚液除染剤
① KD-203	—————	栗田工業の希薄液除染剤									
② LND101	—————	Can Decon 法の希薄液除染剤									
③ NS-1	—————	Dow Chemical 社濃厚液除染剤									

表-1 除染剤比較結果

		KD203	LND101	NS-1	LOMI (参考)
除染性能 (DF値)		○	○	◎	◎
材料健全性 (腐食量)		◎	○	×	○
廃液処理		○	○	×	○
施工面		◎	◎	△	△
コスト		○	○	△	○
総合評価		◎	○	×	○
備    考	除染方法	希薄液法	希薄液法	濃厚液法	希薄液法
	組成	キレート化合物 還元剤	キレート化合物 還元剤	キレート剤 金属塩	蟻酸バナジウム ピコリン酸
	長所	① 薬品濃度が低く、防食剤を含んでいるため、構成材の腐食が少ない。 ② 廃液量が少ない。 ③ 一液法であり、操作が簡単	① 構造材の腐食が少ない。 ② 廃液量が少ない。 ③ 除染剤が再生して使える ④ 一液法であり、操作が簡単	① 高い除染係数が得られる ② クラッドは金属イオンとして溶解するため、廃棄物量が少ない。 ③ 除染液は逆浸透により回収できる。	① 除染温度が低く、反応時間が短い。 ② クラッドは金属イオンとして溶解するため、廃棄物量が少ない。
	短所	① クロムが含まれるクラッドは除染しにくい。	① クロムが含まれるクラッドは除染しにくい。	① 除染時間が比較的長い。 ② 廃液量が多く貯蔵タンクなどにコストがかかる。	① 試薬は容易に酸化されるため、保存が困難 ② 除染剤のコストが高い。

◎：良 ○：ふつう △：やや不良 ×：不良

表-2 除染剤の比較

除 染 剤 名		NS-1	LND-101	クリデコン203	LOMI	Citrox
メ ー カ		Dow Chemical	LNDL	栗田エンジニアリング	CEGB	GE
一 般 特 性	濃 度	10%	0.1%	0.1%	$5 \times 10^{-3}M$	0.2%
	pH	3.6	2.5	5	4.4	3.0
除 染 係 数		50~100	2~10	2~10	>2	2~5
除染による腐食量	SUS304	0.18 mg/cm <sup>2</sup>	< 0.05 mg/cm <sup>2</sup>	< 0.05 mg/cm <sup>2</sup>	< 0.05 mg/cm <sup>2</sup>	< 0.05 mg/cm <sup>2</sup>
	SUS440C	————	4.0 mg/cm <sup>2</sup>	0.4 mg/cm <sup>2</sup>	4.3 mg/cm <sup>2</sup>	2.0 mg/cm <sup>2</sup> (SUS403)
	炭 素 鋼	2.8 mg/cm <sup>2</sup>	5.2 mg/cm <sup>2</sup>	< 0.05 mg/cm <sup>2</sup>	1.6 mg/cm <sup>2</sup>	3.0 mg/cm <sup>2</sup>
廃液処理面からの評価		濃厚液であるため、発生廃棄物が多い。	希薄液であるため、発生廃棄物は少ない。	同 左	同 左	同 左
施工及びコスト面からの評価		外国品	外国品	国産品	外国品	外国品
実機適用実績（系統除染として）		有	有	無	有	有

表-3 浸漬法による全面腐食試験の結果

試験片の材質		除染剤	試験片の腐食量	
			腐食量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	減肉厚さ ( $\mu\text{m}$ )
ステン レ ス 鋼	SUS 304	クリデコン203	<0.05	<0.06
		LND101A	<0.05	<0.06
	酸化 SUS 304	クリデコン203	<0.05	<0.06
		LND101A	3.55	4.26
	SUS 50Mod	クリデコン203	0.15	0.18
	SUS 440C	クリデコン203	1.18	1.41
	SUS 630	クリデコン203	<0.05	<0.06
	SUS 13	クリデコン203	<0.05	<0.06
		LND101A	1.41	1.69
	そ の 他 の 合 金	インコネル718	クリデコン203	<0.05
Zr-2.5Nb		クリデコン203	<0.05	<0.06
ジルカロイ2		クリデコン203	<0.05	<0.06
		LND101A	<0.05	<0.06
Ti-6Al-4V		クリデコン203	<0.05	<0.06
ステライト№6		クリデコン203	<0.05	<0.06
	LND101A	<0.05	<0.06	
炭素鋼	STPT 42	クリデコン203	3.42	4.10

試験条件：除染剤 0.1%

試験片2枚(42cm<sup>2</sup>)/500ml

130℃, 48hr, 浸漬法

N<sub>2</sub> シール環境

表-4 腐食試験結果

除染法		L O M I 法			クリデコン203法
Run No.		1	2	3	—
主剤濃度		{ ピコリン酸 : 0.49% V <sup>2+</sup> : 230 ppm (PH4.5)			0.1% (PH5)
温度		90℃			120℃
時間		5h			24h
インヒビタ添加有無		無	有	有	有
αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 添加有無		無	無	有*	無
腐食減量 ( mg/cm <sup>2</sup> )	SUS304	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	SUS440C	4.3	0.31	0.51	0.26
	SUS403	3.7	0.29	0.41	0.28
	SUS410	7.0	0.43	0.50	—
	SUS630	0.11	<0.05	<0.05	<0.05
	インコネルX	—	—	<0.05	<0.05 (90℃/24h)

表中の腐食減量は、21cm<sup>2</sup>テストピース2枚の平均値を示す。

\*Fe イオンとして200ppm相当量。

表-5 Can Decon法の概要

	項 目	内 容										
1.	除染名／開発機関	Can. Decon法／カナダ原子力公社 (A E C L)										
2.	除染剤 種 類 組 成	1. 除染剤組成 EDTA しゅう酸 クエン酸 還元剤 (ex ヒドラジン)										
3.	除染方法	1. 除染剤濃度 0.1 % 2. 温 度 70~135 ℃ 3. pH 2.5 4. DO ~100ppb以下 (ヒドラジンによる脱気)										
4.	除染設備	構成要素 1. 除染液注入装置 2. 加熱部 3. 循環系 4. フィルター 5. イオン交換樹脂										
5.	除染剤による腐食	<table border="1"> <thead> <tr> <th>全面腐食 (<math>\mu\text{m}/\text{h}</math>)</th> <th>1回の除染 (<math>\mu\text{m}</math>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SUS410 0.08</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>SUS316 0.02</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>ニッケル 0.02</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>炭素鋼 0.28</td> <td>2.5</td> </tr> </tbody> </table>	全面腐食 ( $\mu\text{m}/\text{h}$ )	1回の除染 ( $\mu\text{m}$ )	SUS410 0.08	0.7	SUS316 0.02	0.2	ニッケル 0.02	0.2	炭素鋼 0.28	2.5
全面腐食 ( $\mu\text{m}/\text{h}$ )	1回の除染 ( $\mu\text{m}$ )											
SUS410 0.08	0.7											
SUS316 0.02	0.2											
ニッケル 0.02	0.2											
炭素鋼 0.28	2.5											
6.	除染における 廃液処理 廃棄物処理	除染廃液は、イオン交換樹脂により処理を行なう。従って廃棄物は固体となり特別な処理は不必要。										
7.	再汚染	再汚染速度は小さい。										
8.	除染実績	1. 一次系全体 NPD, Dougous Point, Gently 2. 炉浄化系 Vermont Yan Kee, Brunswick II Peach Bottom III, Edwin Hatch I 3. 再循環系 Nine Mile Point										
9.	その他											



表-6 KURIDECON203法の概要

	項 目	内 容
1.	除染名／開発機関	KURIDECON 203 法／栗田エンジニアリング
2.	除染剤 種 類 組 成	1. 除染剤組成 キレート剤 (EDTA 有機酸) 還元剤
3.	除染方法	1. 除染剤濃度 0.1 % 2. 温 度 90~120 ℃ 3. pH 5
4.	除染設備	構成要素 1. 除染液注入装置 2. 加熱部 3. 循環系 4. フィルタ 5. イオン交換樹脂
5.	除染剤による腐食	1回の除染の腐食 (μm) SUS304 ≥0.1 SUS316 ≥0.1 SS41 0.3 STPT42 1.1
6.	除染における 廃液処理 廃棄物処理	除染廃液は、イオン交換樹脂により処理をおこなう。従って廃棄物は固体となり、特別な処理は必要ない。
7.	再汚染	再汚染速度は小さい。
8.	実 績	系統除染はない。 「ふげん」では炉浄化系等の熱交換器の実績あり
9.	その他	1. 防食のため、インヒビタを含んでいる。 2. 除染剤は、120 ℃位から熱分解する。

表-7 NS-1法の概要

	項 目	内 容												
1.	除染名／開発機関	NS-1／ダウケミカル社												
2.	除染剤 種 類 組 成	キレート剤＋金属塩 詳細は不明												
3.	除染方法	<table border="0"> <tr> <td>1. 除染剤濃度</td> <td>7%</td> <td>5. 時 間</td> </tr> <tr> <td>2. 温 度</td> <td>120℃</td> <td>除染サイクル24hr</td> </tr> <tr> <td>3. pH</td> <td>3.3～4.0</td> <td>再生サイクル34hr</td> </tr> <tr> <td>4. DO</td> <td>N<sub>2</sub> ガスカバー</td> <td>最終再生</td> </tr> </table>	1. 除染剤濃度	7%	5. 時 間	2. 温 度	120℃	除染サイクル24hr	3. pH	3.3～4.0	再生サイクル34hr	4. DO	N <sub>2</sub> ガスカバー	最終再生
1. 除染剤濃度	7%	5. 時 間												
2. 温 度	120℃	除染サイクル24hr												
3. pH	3.3～4.0	再生サイクル34hr												
4. DO	N <sub>2</sub> ガスカバー	最終再生												
4.	除染設備	<p>構成要素</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 除染液注入装置</li> <li>2. 浄化装置 { 逆浸透膜装置                   フィルタ</li> <li>3. 循環装置</li> <li>4. イオン交換装置</li> </ol>												
5.	除染剤による腐食	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>全面腐食</td> </tr> <tr> <td>1. オーステナイト系ステンレス鋼</td> <td>&lt; 3 μm</td> </tr> <tr> <td>2. マルテンサイト系ステンレス鋼</td> <td>&lt; 3 μm</td> </tr> <tr> <td>3. ニッケル基合金</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. 炭素鋼</td> <td>&lt; 30 μm</td> </tr> </table>		全面腐食	1. オーステナイト系ステンレス鋼	< 3 μm	2. マルテンサイト系ステンレス鋼	< 3 μm	3. ニッケル基合金		4. 炭素鋼	< 30 μm		
	全面腐食													
1. オーステナイト系ステンレス鋼	< 3 μm													
2. マルテンサイト系ステンレス鋼	< 3 μm													
3. ニッケル基合金														
4. 炭素鋼	< 30 μm													
6.	除染における 廃液処理 廃棄物処理	<p>濃縮プロセス { 逆浸透膜装置                   蒸発濃縮装置</p> <p>固化プロセス プラスチック固化</p>												
7.	再汚染	再汚染速度は大きいと予想されるが、詳細は不明。												
8.	除染実績	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 実験データ Dresden-1 廃材 DF = 100～1000 (超音波洗浄)</li> <li>2. Peach Bottom II, III CUW 熱交 DF = 25～200</li> </ol>												
9.	その他													

表-8 LOMI法の概要

	項 目	内 容																		
1.	除染名/開発機関	LOMI法/CEGBバークレイ原子力研究所																		
2.	除染剤  種 類  組 成	V <sub>2</sub> (バナジウム)  蟻 酸  ピコリン酸  水酸化ナトリウム NaOH																		
3.	除染方法	1. 除染剤濃度 0.1 ~ 1.0 % 2. 温 度 90℃ 3. pH 4.5 4. DO N <sub>2</sub> 脱気+ヒドラジン脱気 10ppb以下																		
4.	除染設備	構成要素 1. 除染液注入装置 5. モニタ (腐食, ガンマ線) 2. 浄化装置 イオン交換装置 3. 除染タンク 4. 冷却装置																		
5.	除染剤による腐食	<table border="1" data-bbox="697 1238 1279 1529"> <tbody> <tr> <td>炭素鋼</td> <td>8.2 μm</td> </tr> <tr> <td>炭素鋼 + 321溶接部</td> <td>15.2</td> </tr> <tr> <td>410 ステンレス鋼</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>410 + 321溶接部</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td>Zr接合部</td> <td>0.76</td> </tr> <tr> <td>Zr-2</td> <td>&lt; 0.1</td> </tr> <tr> <td>Oxide Fuel</td> <td>&lt; 0.1</td> </tr> <tr> <td>Unoxide Fuel</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) LOMI法により4時間の腐食試験結果</p>	炭素鋼	8.2 μm	炭素鋼 + 321溶接部	15.2	410 ステンレス鋼	0.95	410 + 321溶接部	1.66	Zr接合部	0.76	Zr-2	< 0.1	Oxide Fuel	< 0.1	Unoxide Fuel	0.2	Al	0.2
炭素鋼	8.2 μm																			
炭素鋼 + 321溶接部	15.2																			
410 ステンレス鋼	0.95																			
410 + 321溶接部	1.66																			
Zr接合部	0.76																			
Zr-2	< 0.1																			
Oxide Fuel	< 0.1																			
Unoxide Fuel	0.2																			
Al	0.2																			
6.	除染における 廃液処理  廃棄物処理	除染廃液はイオン交換樹脂で処理。  リンスは, 脱気水 (ヒドラジン10ppm)で行なう。  23 μm腐食率																		
7.	再汚染	詳細は不明である。																		
8.	除染実績	1. 実験室データ ステンレス鋼配管 DF = 5~35 2. 実プラントデータ SGHWR (Winfrith) 一次系 DF = 1.3~2.3																		
8.	その他																			



表-1 国内における過去5年間の化学除染実績

実施年	プラント名	対象系統	除染法	備考
1984	日本原子力研究所 JRR-3 K電力 T-2 (PWR)	熱交換器 RCPインターナル	化学除染 化学除染(濃厚)	
1985	T電力 F-1-1(BWR) K電力 0-1 (PWR) T電力 F-1-1(BWR) 動燃 ふげん (ATR) K電力 0-2 (PWR) S電力 1-2 (PWR)	PLRポンプ RCPインターナル PLRポンプ 燃料交換装置 RCPインターナル RCPインターナル	化学除染(濃厚) " (濃厚) " (濃厚) " (希薄) " (濃厚) " (濃厚)	
1986	K電力 T-1 (PWR) K電力 0-1 (PWR) T電力 F-1-4(BWR)	RCPインターナル RCPインターナル PLRポンプ	化学除染(濃厚) " (濃厚) " (濃厚)	
1987	動燃 ふげん (ATR) K電力 0-2 (PWR)	CUW/RHR 熱交換器 RCPインターナル	化学除染(希薄) " (濃厚)	
1988	K電力 T-1 (PWR) K電力 0-1 (PWR) K電力 M-3 (PWR) K電力 G-2 (PWR) K電力 K-2 (PWR) K電力 G-1 (PWR) 動燃 ふげん (ATR) K電力 0-1 (PWR) K電力 K-1 (PWR) K電力 T-2 (PWR) K電力 M-2 (PWR)	RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル CUW熱交換器 RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル RCPインターナル	化学除染(濃厚) " (濃厚) " (濃厚) " (濃厚) " (濃厚) " (濃厚) " (希薄) " (濃厚) " (濃厚) " (濃厚) " (濃厚)	
1989	K電力 K-2 (PWR)	RCPインターナル	化学除染(濃厚)	



表-3 海外におけるPWRプラントの系統除染実績

実施年	プラント名	対象系統	除染法	備考
1982	Surry 2 (撤去後、Battle原子力研究所にて)	Channel Head CL HL	CAN-DECON LOMI (POD)	LN Q
1983	Millstone 2 Robert E. Ginna	Channel Heads Channel Heads	OZOX CAN-DECON	CE LN
1984	Palisades	Channel Heads	CAN-DECON	LN
1985	Millstone 2 Indian Point 3	Channel Heads Channel Heads	CITROX LOMI	PN BN
1986	Connecticut Yankee Millstone 2	Channel Heads Channel Heads	CAN-DECON OZOX	LN CE

Channel Heads : 蒸気発生器 (PWR)  
チャンネルヘッド

LN : London Nuclear Services

Q : Quadrex Corporation

PN : Pacific Nuclear Services

CE : Combustion Engineering

BN : Bechtel National

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整理番号
	3-1-(3)

件名	クリデコン203の組成
----	-------------

回答		添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有, 無 )
----	--	---

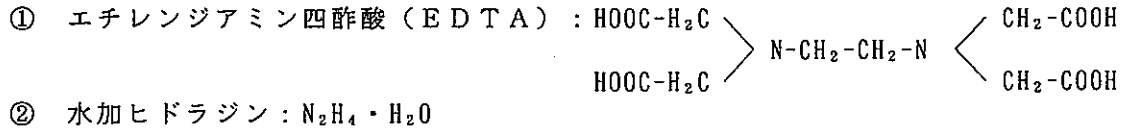
系統除染に使用するクリデコン203は、キレート剤、還元剤、腐食抑制剤より構成される弱酸性の除染剤である。その組成、物性は資料-1に示すとおりである。



## 除染剤クリデコン 203 (KD-203) の 成分と物性について

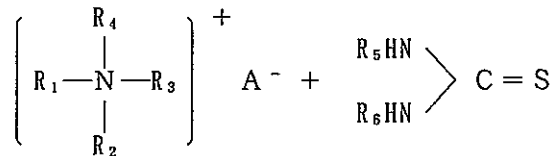
### 1. 成 分

#### (1) 除染剤 (クリデコン 203)



#### (2) 腐食抑制剤 (イビット S-10)

カチオン性アミン誘導体 :



R : アルキル基 (C, H, O)  
A : 低級脂肪酸 (C, H, O)

構成元素 : C, H, N, O, S

### 2. 配 合 比

#### (1) クリデコン 203

##### ① 配合比

EDTA : 水加ヒドラジン = 5 : 1

##### ② 使用濃度

クリデコン 203 = 0.1%

#### (2) イビット S-10

##### ① 元素比率

C : H : N : O : S = 4 : 11 : 2 : 81 : 2

##### ② 使用濃度

イビット S-10 溶液 = 500 ppm

### 3. 物 性

- (1) 性 状 : 液 体  
(2) 色 調 : 無色透明  
(3) pH : 5

### 4. 不 純 物

- (1) フッ素イオン : 1.0 ppm 以下  
(2) 塩素イオン : 1.0 ppm 以下  
(3) 硫酸イオン : 5.0 ppm 以下  
(4) リン酸イオン : 1.0 ppm 以下  
(5) 鉛 : 1.0 ppm 以下  
(6) 鉄 : 7 ppm

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整理番号
	3 - 1 - (4)

件名	除染中の材料腐食の目安許容値
----	----------------

.....

.....

.....

回答		添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無 )
----	--	--

クリデコン203による構成材料の腐食性を評価するための試験を行うに当って、腐食量の目安許容値を以下のように定めた。

1. 系統の構成材料

除染範囲の構成材料は、表-1に示すように大別すると、SUS304等の耐食合金と炭素鋼である。

2. 腐食の目安許容値

2-1 腐食余裕代

原子炉冷却系の代表的な箇所について、配管設計上の肉厚と実際に使用されている肉厚最小値及び余裕代を表-2に示す。ここで、三者の関係は次のとおり。

(余裕代) = (実際に使用されている肉厚最小値) - (配管の設計上の肉厚)

2-2 目安許容値

① 耐食合金

耐食合金の腐食許容値として、1回の除染あたり1μm以下の情報をオーガスタ・プロジェクトから得た。

そこで、1μmが腐食余裕代に対してどの程度の値であるかを調べた。

耐食合金に対して1μmという値は、表-2の耐食合金の中で腐食余裕代が最

も小さい再生熱交換器伝熱管の0.2 mm (200 μm) の場合でも1/200である。

仮に、プラント寿命の30年間で除染を10回行ったとしても、1 μmの腐食量ならば腐食余裕代の1/20であり、1 μmの腐食量は十分に小さい値であると判断できる。

## ② 炭素鋼

次に炭素鋼の腐食許容値については、耐食合金と炭素鋼の水中での腐食量に最低1桁の違いがあるという知見を基にして、耐食合金の許容値の10倍で10 μmを考えた。

炭素鋼の場合、10 μmという値が腐食余裕代に対してどの程度の値であるかを検討した。

表-2に示した余熱除去系の炭素鋼配管の中で、腐食余裕代の最小値は4.0 mm (4000 μm)であり、10 μmは、1/400に相当している。上記同様、仮に10回の除染を行ってもその全腐食量は1/40であり、10 μmは十分に小さい値であると判断できる。

以上のことから、局部腐食の発生がなければ(=全面腐食であるならば)耐食合金で1 μm以下、炭素鋼で10 μm以下の値は、プラント健全性に悪影響を及ぼす値ではなく、腐食の目安許容値と設定できる値であると判断した。

表 - 1. 除染液接液部の構成材料

系統名	除染対象機器・配管等	主 要 構 成 材 料
原子炉 配管系	入 口 管	SUS304, SUS304L
	圧 力 管	Zr-2.5%Nb [本体], SUS304及びSUS403Mod [上下部延長部]
	上 昇 管	SUS304
原 子 炉 再 循 環 系	蒸 気 ド ラ ム	SA516Gr70 [胴板, 鏡板内張りSUS304], SUS304 [内部構造品], SA350GrLF2 [ノズル, 内張りSUS304], SUSF316L及びSA-182F304 [ノズルセーフエンド]
	下 降 管	SUS316L
	マニホールド	SUS316L [本体], SUSF316L [T継手]
	原子炉 再循環ポンプ	SUS304 [熱遮蔽部], SUS347 [主軸] SCS13 [ケーシング, インペラ], SCS14 [ケーシングリング]
	吐 出 管	SUS316L
	下 部 へ ッ ダ	SUS304 [胴板], SA-182F304 [ノズル], SUSF316L [レジュース], SCS16A [逆止弁]
余 熱 去 系	余 熱 除 去 ポ ン プ	SCS1 [ケーシング, インペラ], SUS410 [主軸], SUS420J2 [ケーシングリング]
	余熱除去熱交換器	SUS304 [伝熱管], SB42 [管側胴板]
	弁及び配管類	SUS316, SUS304, STPT38, SCS13, SF45, SCPH2
原 子 炉 冷 却 材 浄 化 系 及 び シ ール 注 排 水 系	再生熱交換器	SUS316 [伝熱管, 胴板, 鏡板], SUS304 [仕切板], SA-182F316 [管板]
	非再生熱交換器	SUS316 [伝熱管, 胴板, 鏡板, 管板], SUS304 [仕切板]
	プースタポンプ	SCS13 [ケーシング, インペラ], SUS304 [主軸, ケーシングカバー]
	混床式脱塩器	SUS304
	低圧サージタンク	SUS304
	充 填 ポ ン プ	SCS13 [ケーシング, インペラ], SUS403B [主軸]
	弁 及 び 配 管 類	SUS304, SUS316, SUS316L, SUSF316, SUSF316L, SCS13, A-182F316, A-351CF8M

\* 異種金属の接触部・・・圧力管の上部及び下部ロールドジョイント部 (Zr-2.5%Nb+SUS403Mod)

\* 異種金属の溶接部・・・圧力管の上部及び下部延長部 (SUS304+SUS403Mod)  
余熱除去系配管 (SCS13+STPT38)

\* 肉厚の薄い箇所・・・熱交換器の伝熱管  
(余熱除去熱交: 2.77mm, 再生熱交: 1.4mm, 非再生熱交1.2mm)

表 - 2 . 主配管の設計肉厚と使用肉厚 (1/2)

箇所	材 料	設計肉厚 (mm)	実際使用最小肉厚 (mm)	余裕肉厚 (mm)
再生熱交換管	SUS	0.5	1.4	0.2
		1.2	"	
非再生熱交換管	SUS	0.5	1.2	0.7
		0.3	"	
RHR熱交換管	SUS	0.42	1.42	1.0
吐出管	SUS	15.96	19.3	3.34
下降管	SUS	13.97	17.1	3.13
			21.4	
圧力管出入口管	SUS	3.5	6.2	2.7
		2.4	4.495	2.095
		2.4	7.195	4.795
		1.1	4.85	3.75
		0.7	1.8	1.1
		0.6	1.8	1.2
		1.1	4.75	3.65
圧力管	Zr-2.5Nb	-	-	0.31/30年 (設計腐食代)
RHR配管	SUS	8.6	11.1	2.5
		8.3	11.1	2.8
		2.9	11.1	8.2
		2.2	8.4	6.2
		8.3	11.1	2.8
		6.4	8.4	2.0
		6.4	8.4	2.0
		6.5	8.4	1.9

表 - 2 . 主配管の設計肉厚と使用肉厚 (2/2)

箇 所	材 料	設計肉厚 (mm)	実際使用最小 肉厚 (mm)	余裕肉厚 (mm)
RHR配管	S T P T	1.1	6.0	5.1
		1.1	6.0	5.1
		0.4	6.0	5.6
		2.9	11.1	8.2
		2.2	8.4	6.2
		0.2	4.8	4.6
		0.7	4.8	4.1
		0.8	4.8	4.0
		0.8	4.8	4.0
		0.57	7.17	6.6
		0.44	6.21	5.77

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整 理 番 号
	3 - 1 - (5)

件 名	クリデコン203の熱分解特性
-----	----------------

---

---

---

---

---

---

---

---

回 答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有, <input type="radio"/> 無 )
-----	---

1. 目的

除染後、クリデコン203除染液が一次冷却系に一部残留した場合を想定し、クリデコン203の熱分解性を調べた。クリデコン203溶液を用いて試験した。熱分解性を検討するための指標として次の項目について調べた。

- \* キレート能の変化 (クリデコン203の残留濃度の変化)
- \* pHの挙動
- \* 電気伝導度の挙動

2. 試験方法

試験は図-1に示すようにサンプリング管付1ℓ容SUS304製耐圧容器にクリデコン203 0.1%を含む試験液800mlを入れ、所定温度(150℃, 200℃及び250℃)で24時間加熱する方法で行った。

なお、いずれの場合も110℃近辺で脱気操作を行った。

加熱処理中、所定の時間毎に試験液のキレート容量、pH及び電気伝導度を測定し、経時変化を調べた。

3. 試験結果

(1) 温度と分解及び液性変化の関係

クリデコン203溶液のキレート能の熱分解速度は150℃の場合、時間あたり

数%程度と小さいが、200℃になると1時間ではほぼ完全に分解するほど大きい。

(図-2、3参照)

熱分解によって、どの温度の場合でも除染液のpHは高くなり、アルカリ性となった。このアルカリ成分はネスラー試薬に反応する成分であるため、クリデコン203構成成分中の窒素成分の一部はアンモニアもしくはアミン類に変成したと考えられる。(図-4参照)

また、電気伝導度については、三者三様で、150℃では徐々に上昇しているが、200℃になると急増後、さらに徐々に低下している。

しかし、250℃では急激に低下した後、徐々に低下している。(図-5参照)

これらの挙動の違いは温度によってクリデコン203構成成分の分解速度や分解生成物が異なっているためと思われる。

例えば、250℃の場合、電気伝導度は急激に低下するが、pHは逆に急上昇している。おそらく、クリデコン203の一部成分が炭酸ガスにまで分解したためと推定される。

## (2) 熱分解生成物

クリデコン203の主剤であるEDTA(エチレンジアミン四酢酸)の250℃での熱分解生成物の内、カルボン酸(R-COOH)を分析した。

その結果、図-6に示すようにイミノジ酢酸、グリコール酸、酢酸及びギ酸の低級カルボン酸が検出された。試験後の液pH(図-4)からみると、これらの低級カルボン酸はアミン塩もしくは金属塩を形成していると推定される。



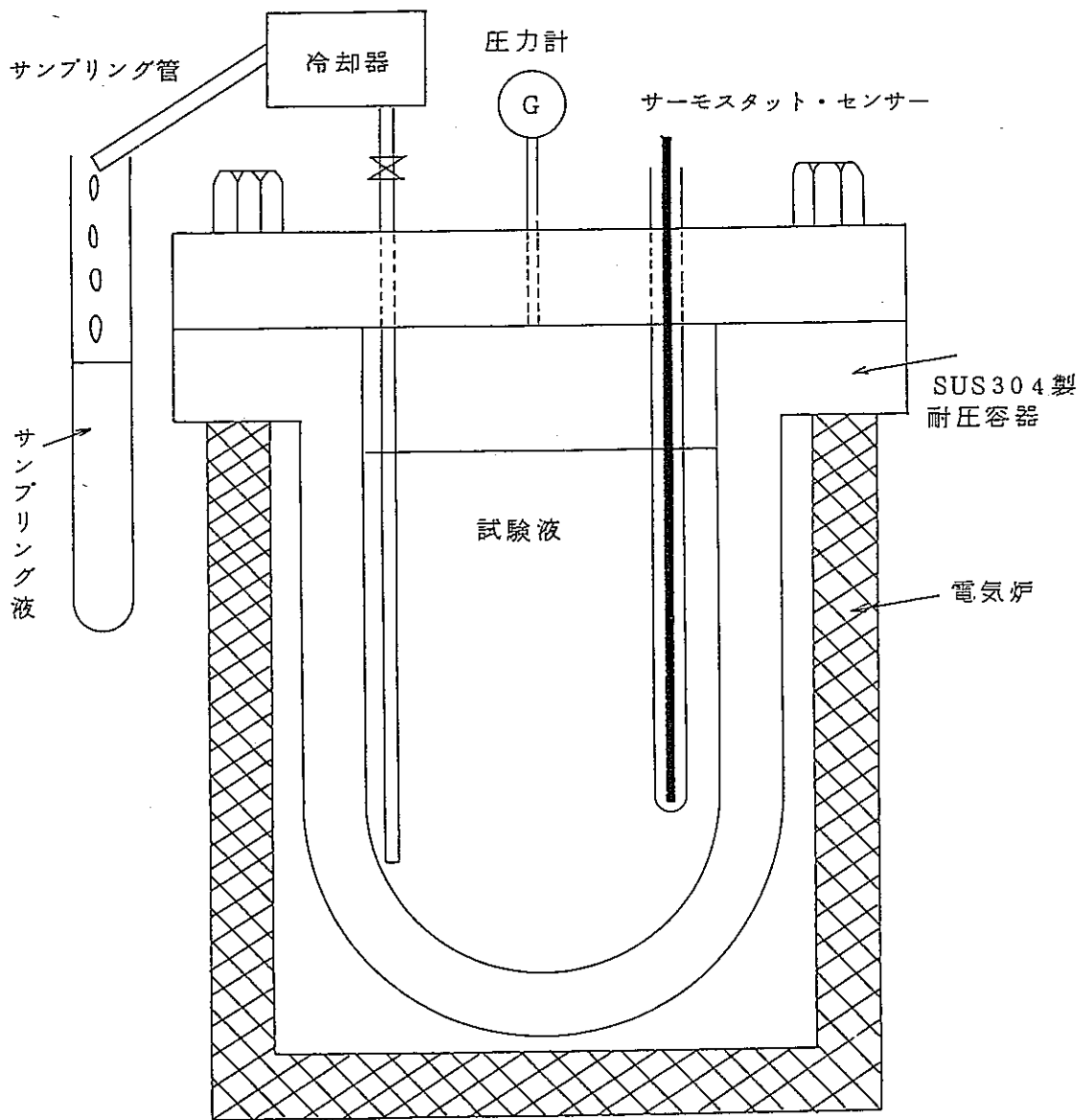


図-1 熱分解試験のセット状態

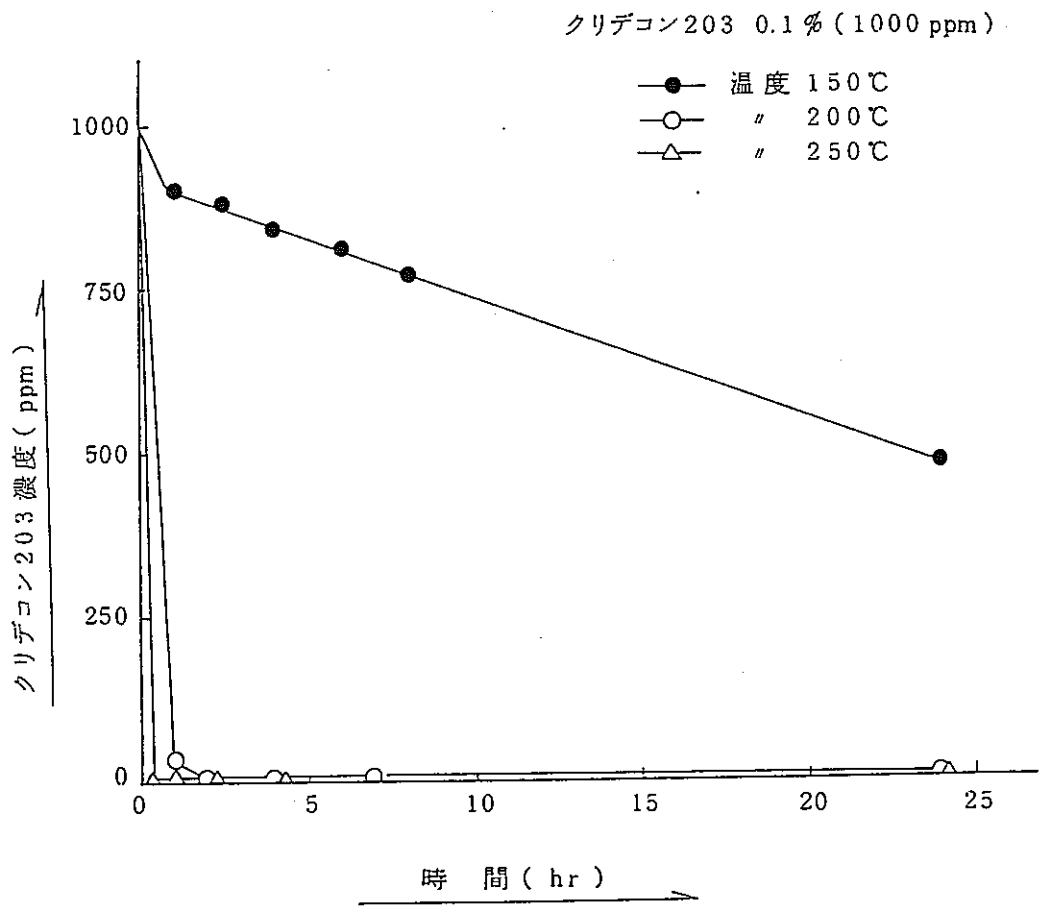


図-2 クリデコン203熱分解試験時の濃度の経時変化

クリデコン203 0.1%

● 温度 150℃  
○ " 200℃  
△ " 250℃

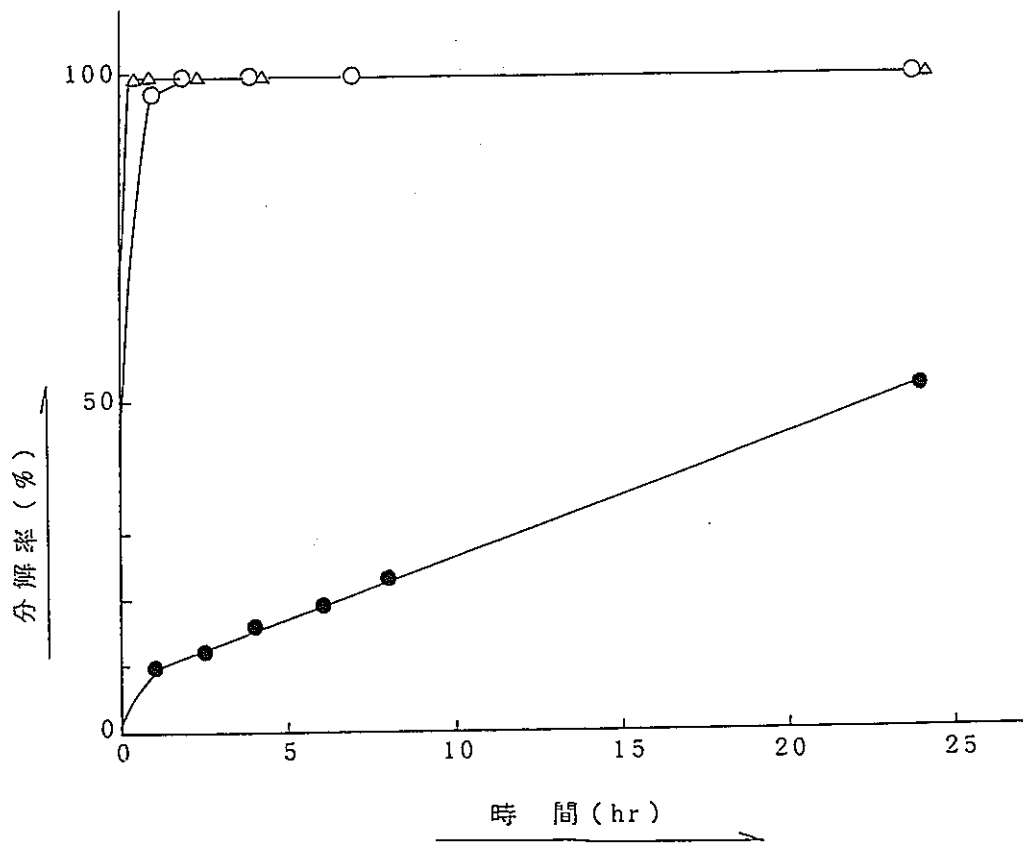


図-3 クリデコン203熱分解試験時の分解率の経時変化

クリデコン 203 0.1%  
試験前 pH 5.1

● 温度 150℃  
○ " 200℃  
△ " 250℃

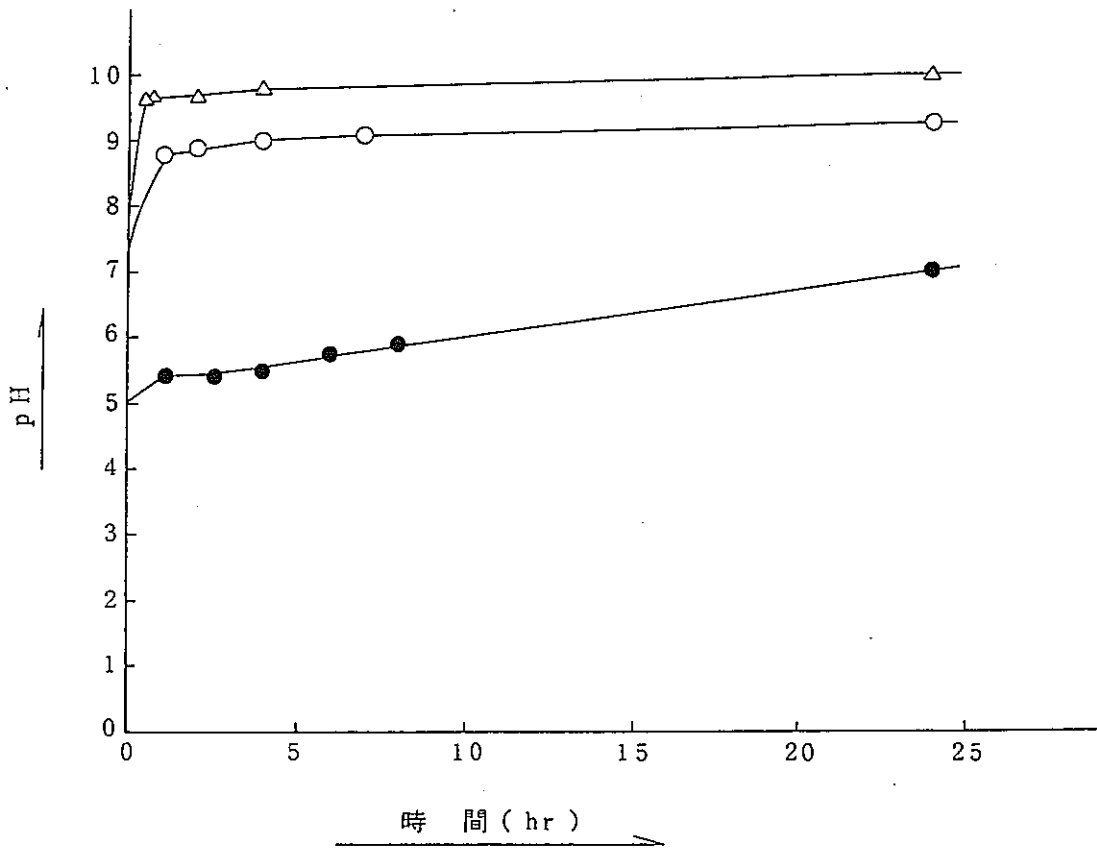


図-4 クリデコン 203 熱分解試験時の pH の経時変化

クリデコン203 0.1%  
試験前電気伝導度  $653 \mu s/cm$

● 温度 150℃  
○ " 200℃  
△ " 250℃

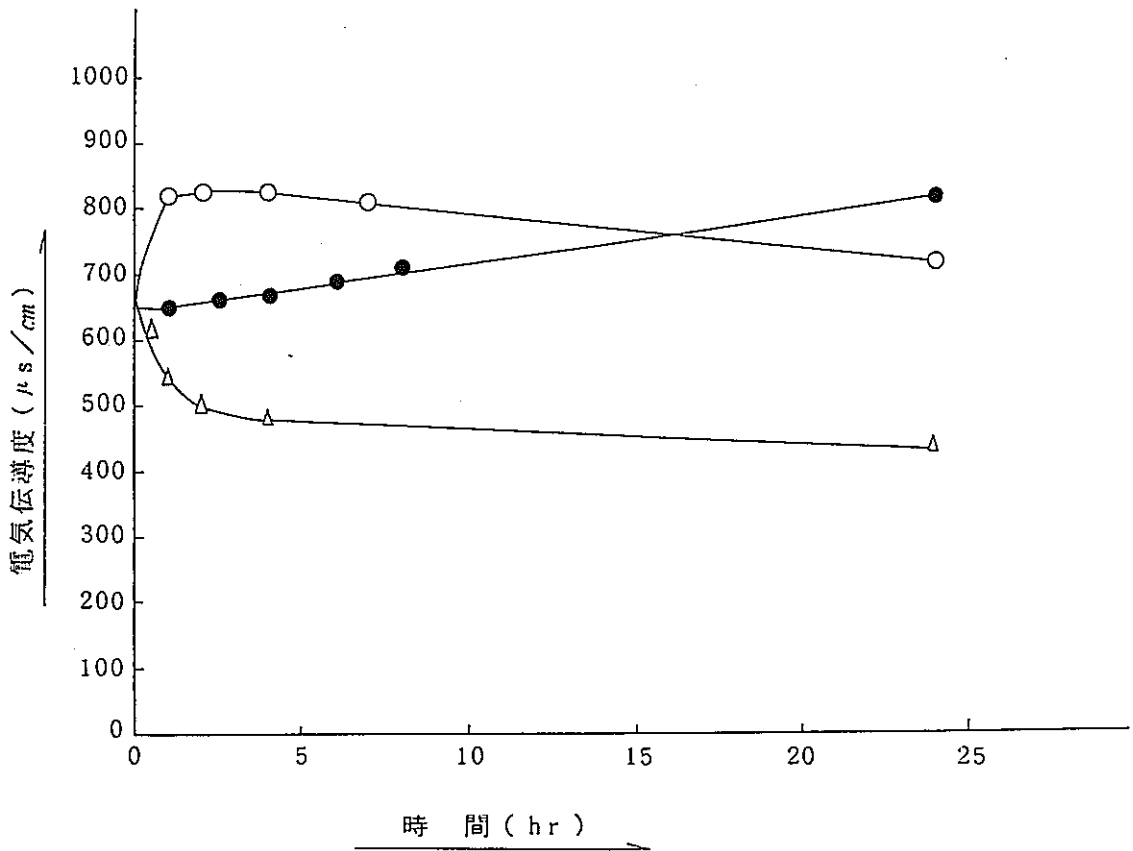


図-5 クリデコン203熱分解試験時の電気伝導度の経時変化

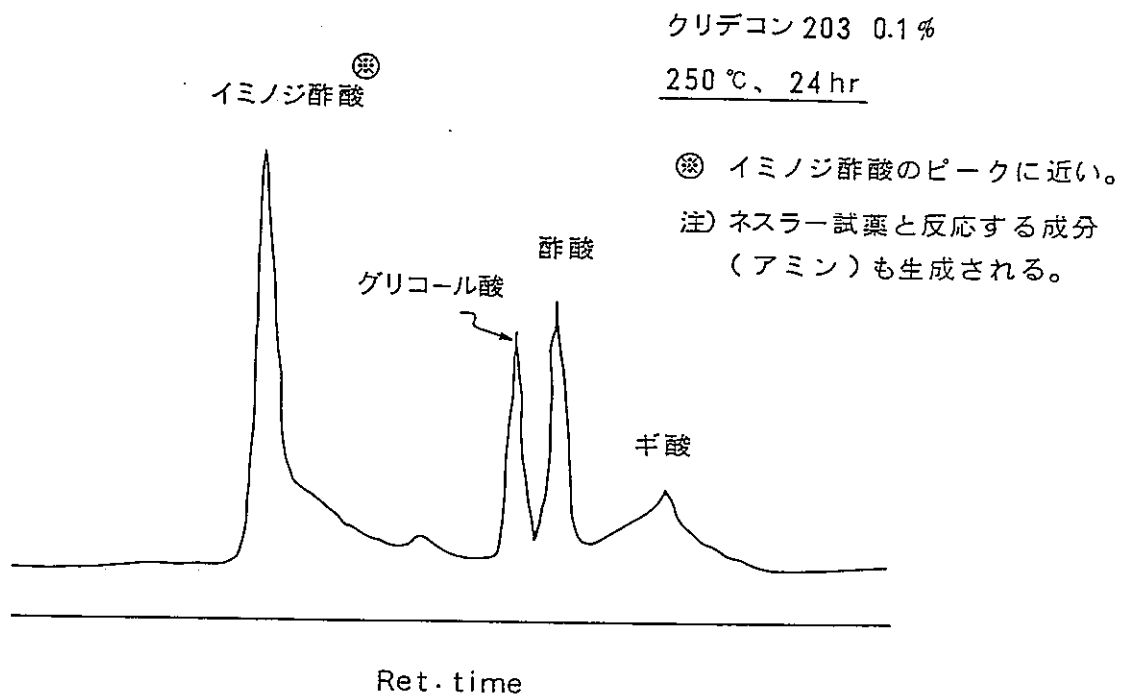


図-6 クリデコン203の熱分解生成物

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整 理 番 号
	3 - 2 - (1)

件 名	「ふげん」クラッドの性状
-----	--------------

回 答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有, 無 )
-----	---

「ふげん」の原子炉冷却系の炉水環境や構造材料は、沸騰水型軽水炉（BWR）とほぼ同等であることから、クラッドの性状や主要核種はBWRとほぼ同じである。

従って、クラッドはヘマタイト（ $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）が多く、Fe主体でNi、Crの含有量は少ない。

BWR、PWR及び「ふげん」のクラッドの生成と性状について資料-1に示す。

## クラッドの生成と性状

### 1. 放射能の蓄積作用

原子力発電所の機器・配管は、冷却水との接触により腐食生成物が生成される。この腐食生成物が放射化され、機器・配管表面に付着する機構は図1-1のように考えられている。

すなわち構造材より放出される微量の腐食生成物は、冷却水によって炉心に持ち込まれ、中性子照射を受けて放射化される。放射化された腐食生成物（クラッド）の一部は炉心外に運ばれて機器・配管の表面に蓄積する。この蓄積クラッドの放射能により機器・配管の表面線量率が上昇し、保守・点検時における作業員の被ばくの原因となっている。

### 2. BWRとPWRのクラッド性状

上に記した放射能蓄積機構の基本は、炉型により変わることはないが、BWRとPWRでは炉水水質及びシステム構成材に違いがあるため、クラッドの性状に違いがある。BWRとPWRの一次冷却系の特徴とクラッドの性状を表1-1に示す。

#### 1) 構造

クラッドの構造はBWR、PWRとも、図1-2に示すように緻密な内層（ハードクラッド）と粗な外層（ソフトクラッド）の2層を形成している。内層は、母材金属の腐食生成物が主体であり、外層は主に、炉水中の浮遊クラッドが沈積したものである。なお、外層のクラッドは、超音波等により比較的剝離しやすい状態にある。

#### 2) 化学成分

BWRでは、炉水中の溶存酸素が200ppb程度と比較的高く、かつ構造材料としてステンレス鋼の他に炭素鋼が使用されているため、クラッドの化学組成比では、Feが主体で80～90%を占め、Niは7～10%、Crは1～10%である。

これに対してPWRでは、炉水中の溶存酸素が数ppbと低く、かつ構成材料に炭素鋼が使用されていないため、BWRのクラッドに比べるとNiとCrの比率が非常に高い。

#### 3) 形態

BWRの場合、内層にはマグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) が多く、外層にはヘマタイト ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) が多い。

PWRの場合、内層にはCr含有の $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ や $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ が多く、外層にはマグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) が多い。



#### 4) 放射性核種

BWRの場合、放射性核種の主体は、図1-3に示すように $^{60}\text{Co}$ で含有率約80%であり、その他に $^{54}\text{Mn}$ や $^{58}\text{Co}$ などを少量含んでいる。

PWRのクラッドでは、 $^{58}\text{Co}$ が約60%、 $^{60}\text{Co}$ が約20%であり、その他に $^{54}\text{Mn}$ を少量含んでいる。

### 3. 「ふげん」のクラッド性状

ATRの原子炉冷却系の炉水環境や構造材料は、BWRとほぼ同等である。従って、表1-1と1-2に示すようにクラッドの性状や主要核種もBWRとほぼ同じであり、クラッドはヘマタイト( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ )が多くFe主体で、Ni, Crの含有量は少ない。

ただし「ふげん」では、昭和59年7月からSCC対策として給水中への水素注入を開始し、炉水中の溶存酸素を以前の約1/10の15~20ppbに抑制している。一般には溶存酸素の少ない還元雰囲気では、クラッド中のCr含有量が多くなると考えられる。ことから、クラッド性状の継続的調査を実施してきたが、現状においてこの水素注入の影響は明確に出ていない。本件については、今後も継続調査して行く方針である。

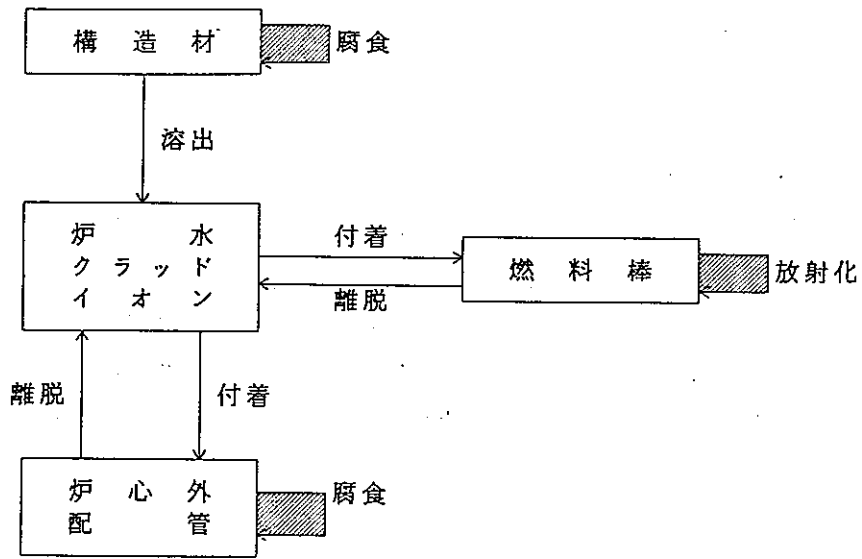


図-1 一次系における放射能蓄積機構の概要

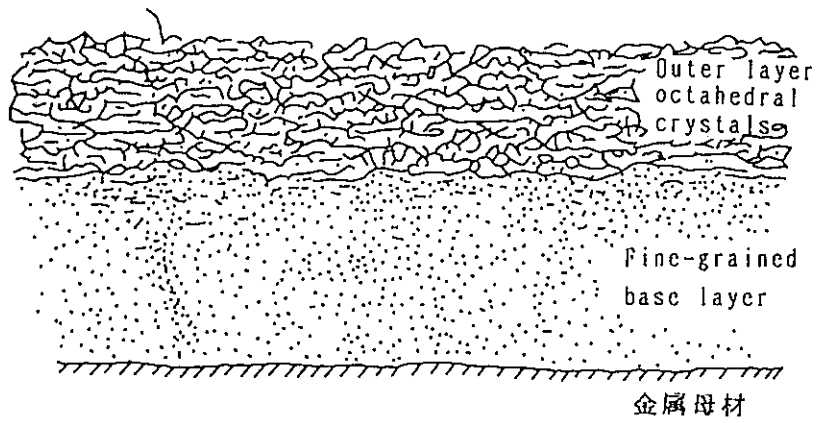


図-2 クラッドの構造

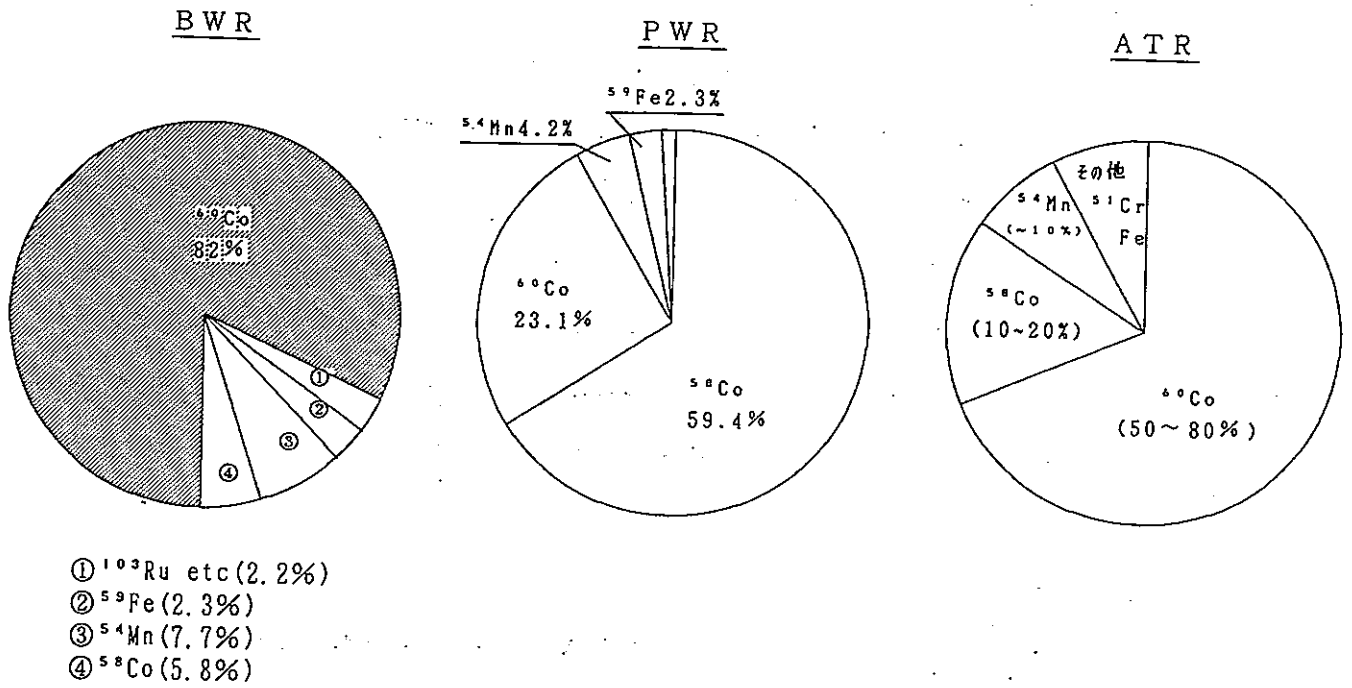


図-3 軽水炉の配管表面線量率に寄与する核種構成

表-1 BWR, PWR及び「ふげん」の  
一次冷却系ならびにクラッドの特徴

炉 型		B W R	P W R	A T R (ふげん)
一 次 冷 却 系 の 特 徴	構成材料と接液面積比率 (%) (燃料棒を含む) ジルカロイ ステンレス鋼 インコネル 炭 素 鋼 その他の合金	40~44% 33~42% 1%以下 16~20% —	25~29% 4~6% 65~70% — 1%以下	{ 圧力管, 燃料棒 } 含む除染部分 約40% 約50% 約4% 約2% 約4%
	冷却材性状 添 加 物 pH 液 性	純 水 酸素添加する場合あり 5.6~8.6 酸化性	棚酸添加 水酸化リチウム添加 水素添加 4.5~10.2 還元性	純 水 酸素添加 6.2~7.6 酸化性
	冷却材容量 (1000MWeの場合) 一次冷却材 炉 心 流 量 給 水 量 浄化系流量	400m <sup>3</sup> 800m <sup>3</sup> /min 100m <sup>3</sup> /min 1m <sup>3</sup> /min	350m <sup>3</sup> 1,000m <sup>3</sup> /min — 0.3m <sup>3</sup> /min	約 60m <sup>3</sup> 127m <sup>3</sup> /min 15.2m <sup>3</sup> /min 1m <sup>3</sup> /min
	炉水温度 (炉心出口)	287℃	325℃	285℃
ク ラ ッド (腐 食 生 成 物)	化学組成比 Fe Ni Cr	80~90% 7~10% 1~10%	20~40% 25~60% 15~45%	80~90% 5~10% 1~5%
	形 態	外 層 $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (主成分) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	内 層 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (主成分) $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	外 層 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (主成分) NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

表-2 「ふげん」の一次系クラッド調査結果のまとめ

試料採取箇所	RHR配管付着クラッド (2回定検時取替)		CUW配管 付着クラッド (3回定検時取替)	下部逃へいプラグ～ ラッチ部付着クラッド (5回定検時)	再循環系配管 付着クラッド (5回定検時取替)	燃料体付着クラッド (初装荷～第11サイクル)	圧力管付着クラッド (7回定検時)	備 考
試料採取日	昭和56年		昭和57年	昭和60年10月	昭和60年10月	昭和60年12月～ 昭和63年2月	昭和63年5月	
試料採取点	① 配管3点	②* 配管1点		連結ボルト頭頂部	下降管(垂直部) 2点 吐出管(水平部) 2点	ブラシによるかき取り 7 体	ゴムによるかき取り 上、中、下部の3点	
色 調	赤褐色		赤褐色	赤褐色+灰黒色	赤褐色+灰黒色	赤褐色	赤褐色	灰黒色はハードの色調
付 着 量 (mg/cm <sup>2</sup> )	0.001~0.049 0.08~0.24	0.7	0.6	ソフト 0.3 ハード 0.3	(ソフト+ハード) 1.3 ~ 2.2	1.0	(0.001~0.002)	
金 属 組 成	Fe 77~96 Ni 1~11 Cr 1~14 その他	Fe 80 Ni } 20 Cr }	Fe 85~90 Ni } 10~15 Cr }	Fe 88~92 Ni 4~8 Cr 4	Fe 90~97 Ni 1~4 Cr 1~6 Zn 1~2	Fe 93~98 Ni 1~3 Cr ~1 Zn ~1	Fe 72~94 Ni 2~4 Cr 2~8 Zn 2~15	
結 晶 形 態	—————		$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> は ハードクラッド部
放 射 性 核 種	<sup>54</sup> Mn, <sup>60</sup> Co		<sup>54</sup> Mn, <sup>58</sup> Co, <sup>60</sup> Co	<sup>54</sup> Mn, <sup>60</sup> Co	<sup>54</sup> Mn, <sup>60</sup> Co	<sup>54</sup> Mn, <sup>60</sup> Co	<sup>54</sup> Mn, <sup>59</sup> Fe, <sup>60</sup> Co	
<sup>60</sup> Co放能濃度 ( $\mu$ Ci/cm <sup>2</sup> )	3 $\times$ 10 <sup>-2</sup> ~ 4 $\times$ 10 <sup>-1</sup>	~ 5 $\times$ 10 <sup>-2</sup>	1~2	1.4	1~3	100 ~ 900 (200 ~ 1000)	—————	( ) は減衰修正値
比放射能 <sub>crud</sub> ( $\mu$ Ci/ $\mu$ B)	<sup>60</sup> Co 1~7 $\times$ 10 <sup>-4</sup> (3 $\times$ 10 <sup>-4</sup> )	<sup>60</sup> Co ~ 7 $\times$ 10 <sup>-5</sup>	<sup>60</sup> Co ~ 3 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	<sup>60</sup> Co 平均 (2 $\times$ 10 <sup>-3</sup> )	<sup>60</sup> Co 1~3 $\times$ 10 <sup>-3</sup> 平均 (2 $\times$ 10 <sup>-3</sup> )	<sup>60</sup> Co 2~9 $\times$ 10 <sup>-2</sup> 平均 (6 $\times$ 10 <sup>-2</sup> )	<sup>60</sup> Co 5~9 $\times$ 10 <sup>-3</sup> 平均 (6 $\times$ 10 <sup>-3</sup> )	( ) は平均値

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整理番号
	3-2-(2)

件名	「ふげん」系統除染における除染条件の選定
----	----------------------

.....

.....

.....

回答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無 )
----	--

「ふげん」の原子炉冷却系系統除染によって得られる除染係数 (DF) の目標を2以上とした場合における除染剤濃度、除染温度等の除染条件を検討した。その結果、以下の条件で目標DF2以上を確保できる見通しが得られた。

1. 除染剤濃度 : クリデコン203 0.05~0.1%

2. 除染温度 : 120℃

3. 除染時間 : 24時間

上記除染条件のうち

① 除染剤濃度については、0.05%~0.1%の範囲では除染性能にあまり差異がないことから0.05%~0.1%とした。

② 除染温度については、滞留部におけるDF2の確保を行うために105℃以上の温度が必要である。しかし、材料腐食性の観点からは、炭素鋼の腐食性が130℃付近以上から腐食性が若干増大傾向にある。このために安全性の観点から120℃と設定した。

③ 除染時間については、上記濃度及び温度の条件下においては、24時間以上に延長しても除染性能に余り大きな効果がないので、24時間と設定した。

なお、除染条件の選定試験結果を図-1~図-7に示す。

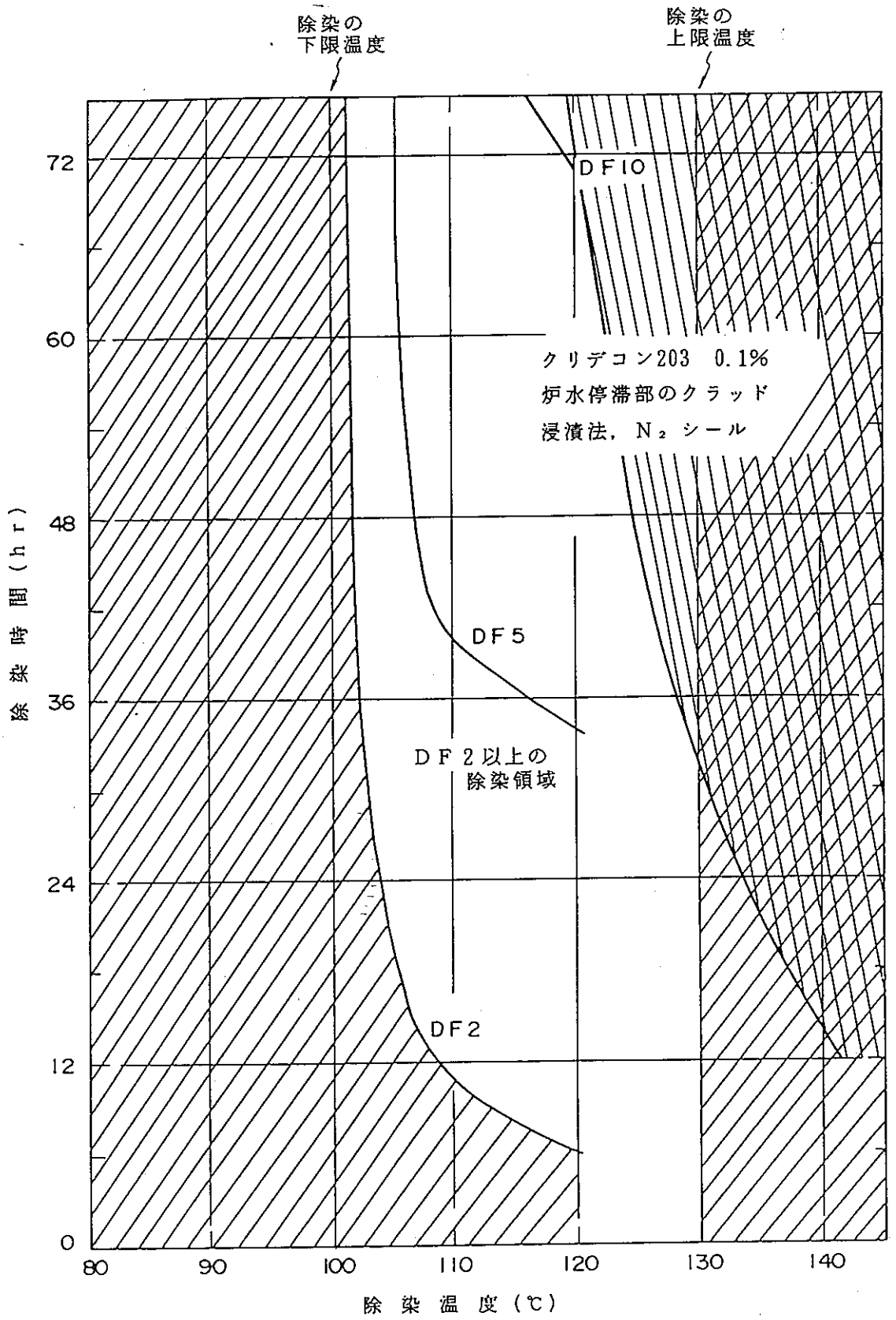


図-1 DF2, 5, 10を得るための温度と時間の関係  
(停滞部のクラッド)

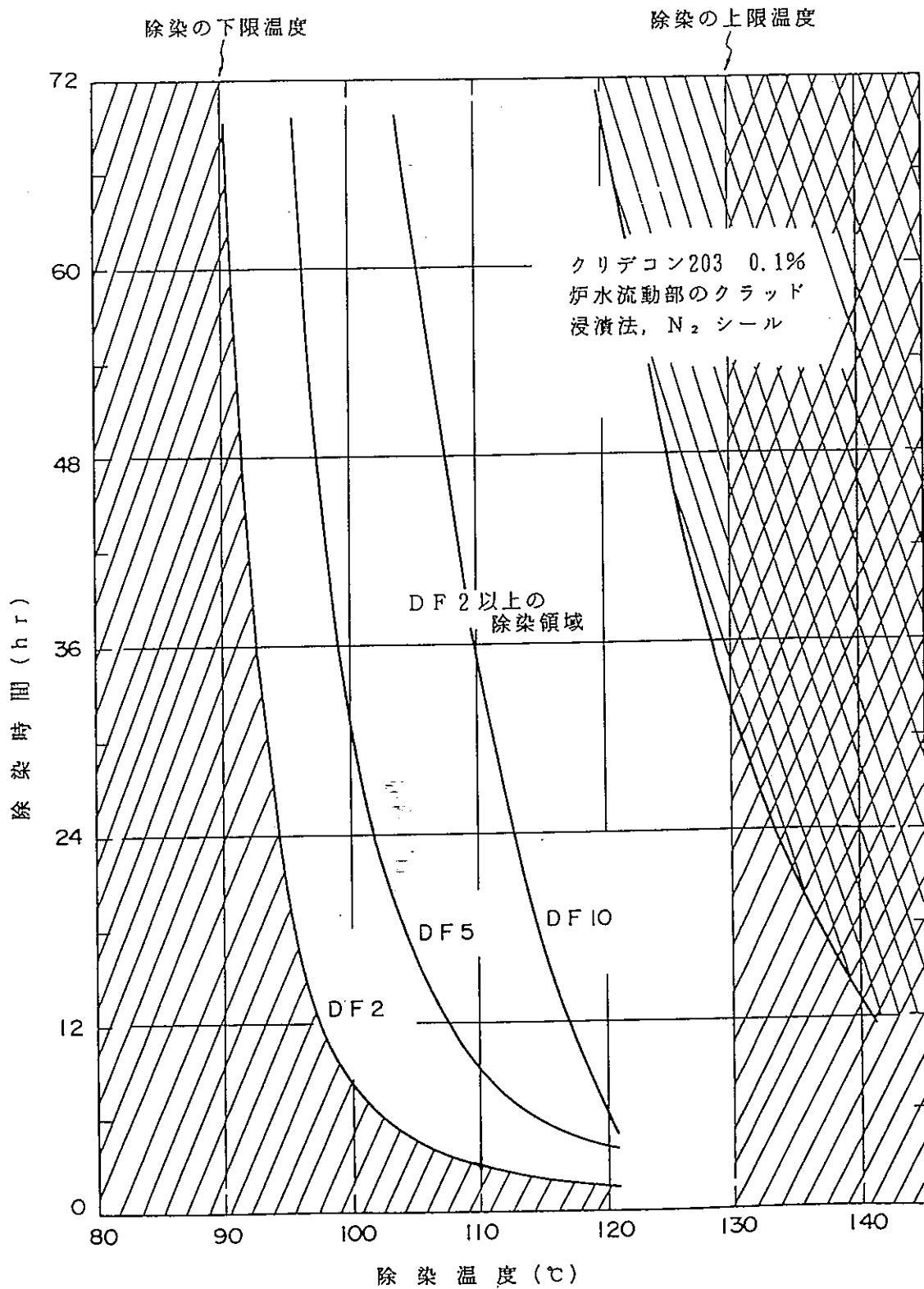


図-2 DF 2, 5, 10を得るための温度と時間の関係  
(流動部のクラッド)



クリデコン 203 0.1%  
24hr. 浸漬法

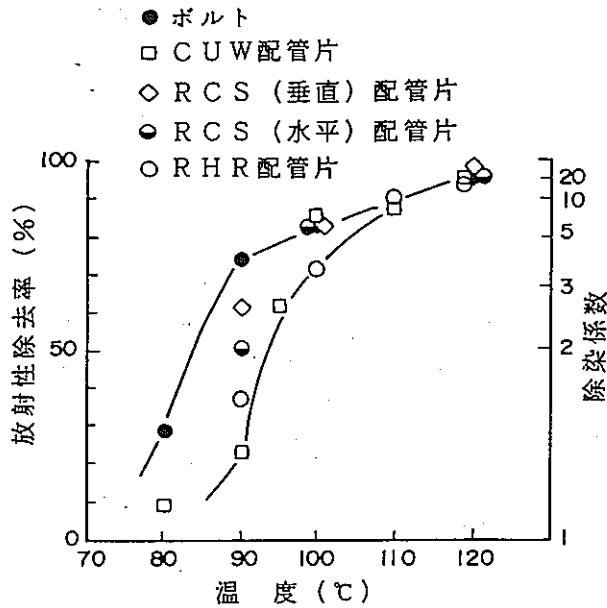


図-3 除染効果に及ぼす温度の影響

クリデコン 203 0.1%  
ボルト, 浸漬法

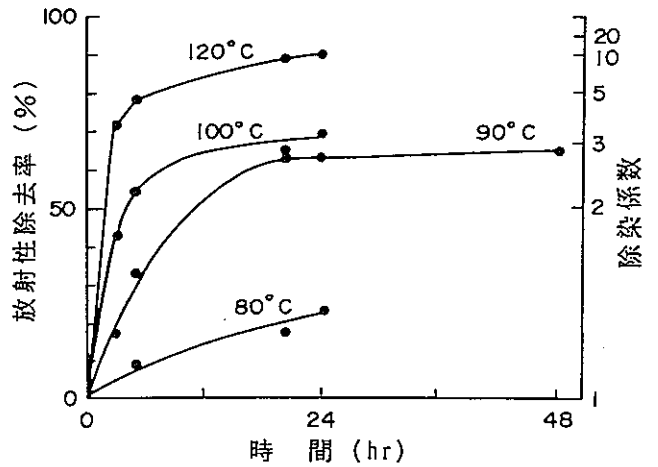


図-4 温度別にみた除染効果の経時変化

クリデコン 203 0.1%  
24hr. 浸漬法

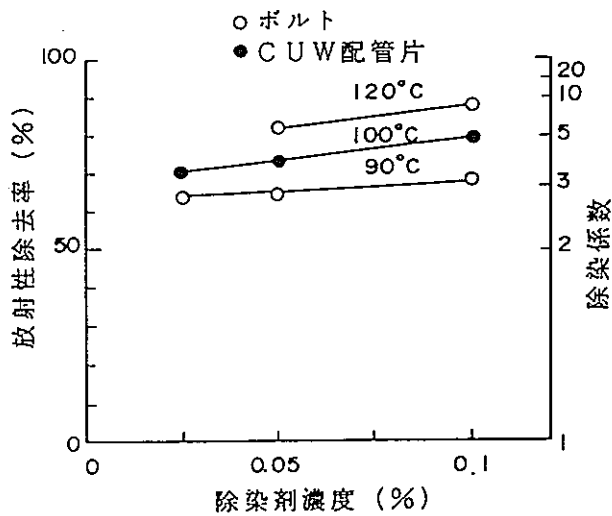


図-5 除染効果に及ぼす除染剤濃度の影響

クリデコン 203 0.1%  
CUW配管片, 24hr

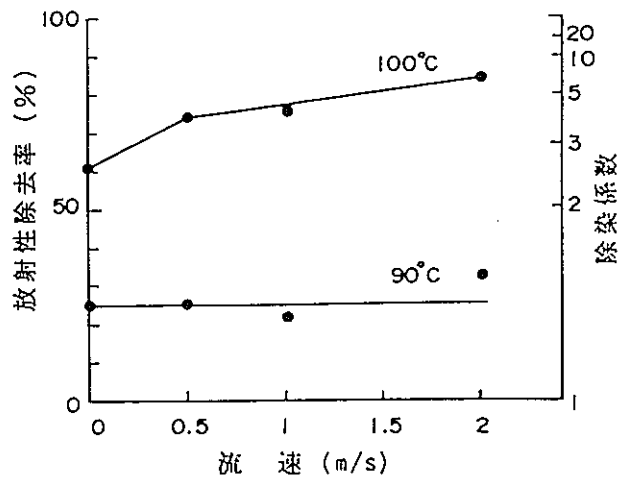


図-6 除染効果に及ぼす流速の影響

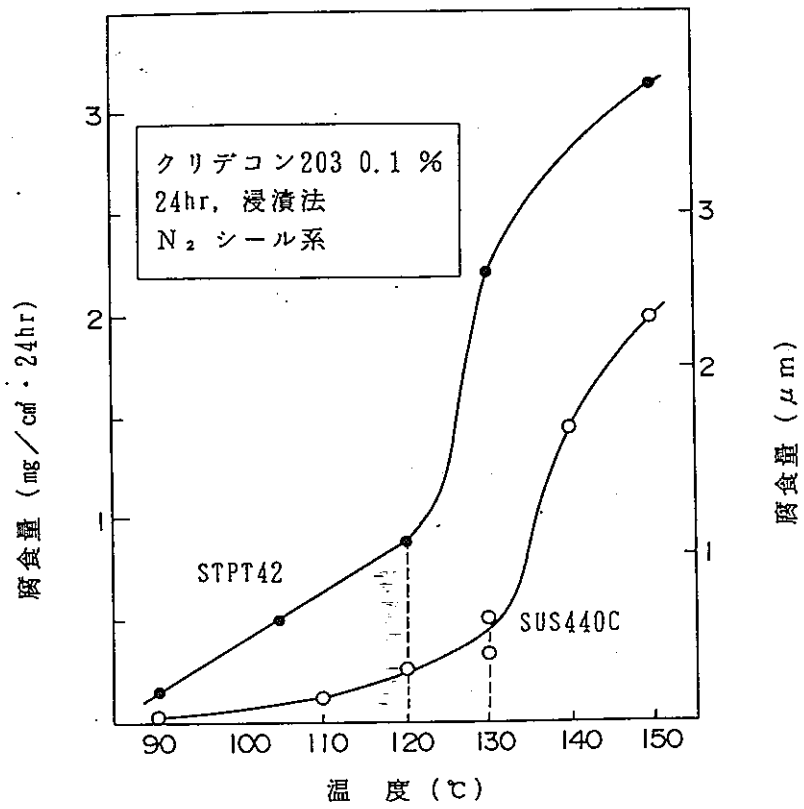


図-7 SUS440C及びSTPT42の腐食量と温度の関係

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整理番号
	3-3-(1)

件名	材料健全性評価試験の概要
----	--------------

回答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有, <input type="radio"/> 無 )
----	---

原子炉冷却系構成材料に対する除染剤の影響を評価する除染の目的で除染剤濃度、除染温度等を変化させて、

① 全面腐食等の評価のための試験

② 溶接熱影響部のSCC性、圧力管材の水素遅れ割れ(DHC)及び亀裂腐食を評価するため、加速引張試験として、低歪速度引張試験(SSRT: Slow Stain Rate Test)及び単軸定荷重引張試験(UCLT: Uniaxial Constant Load Test)を実施している。

③ ATR特有の圧力管ロールジョイントの試験体を用いて除染と高温運転を繰り返す耐久試験などを実施している。

これらの詳細については、各項目でその内容を述べる。

表-1 材料健全性評価試験の目的と方法

	目 的	方 法
材 料 健 全 性	<p>クリデコン203 による除染を通して起こる腐食に及ぼす温度、時間、除染剤濃度、流速、溶存酸素などの影響を明らかにする。またアノード分極曲線からも腐食性を調べる。</p>	<p>(1) 試験片 ・よげん主要構成材13種類 (SUS304, SUS316, STPT42等)</p> <p>(2) 試験の種類 ・全面腐食、異種材質接触腐食、溶接部腐食、SCC性、分極</p> <p>(3) 試験条件 ・温 度 50~130℃ ・時 間 24~100hr ・濃 度 0.025~10% ・流 速 0~4 m/sec ・溶存酸素 大気開放、大気しゅ断</p>
評 価	<p>除染系内にクリデコン203 が残留したことを想定し、残留除染剤の腐食影響を明確にする。</p>	<p>(1) 試験片及び試験の種類は上記と同じ。</p> <p>(2) 試験条件 ・温 度 150℃、285℃ ・時 間 40日、25日 ・濃 度 10ppm, 50ppm, 0.1% ・溶存酸素 大気しゅ断</p>
評 価	<p>除染された溶接熱影響部のSCC性、水素遅れ割れ(DHC)性及びき裂腐食を明確にする。</p>	<p>(1) SCC試験 ・鋭敏化304; SSRT法、UCL法 ・285℃ 溶存酸素50~100ppb ・歪速度 <math>10^{-6}</math>~<math>10^{-8}</math>sec<sup>-1</sup> 荷重2.5Sm</p> <p>(2) DHC ・水素富化Zr-Nb; SSRT法、UCL法 ・温 度 60℃~280℃ 溶存酸素 20ppb~8ppm ・歪速度 <math>10^{-6}</math>~<math>10^{-8}</math>sec<sup>-1</sup> 荷重2.5Sm</p> <p>(3) き裂腐食 ・き裂入鋭敏化SUS304; SSRT法 ・温 度 130℃ ・歪速度 <math>10^{-6}</math>~<math>10^{-8}</math>sec<sup>-1</sup></p>
	<p>除染によるロールドジョイント部の耐久性を明確にする。</p>	<p>(1) 除染(90℃~120℃, 24時間)と炉水運転(285℃, 1ヶ月)のサイクルを10回行い、表面状態、リーク量より耐久性を評価する。</p>

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整理番号
		3-3-(2)-①
件名	除染中における材料の健全性の確認（材料腐食）	
..... ..... .....		
回答	添付書類の有無（ <input checked="" type="checkbox"/> 有, 無）	
<p>原子炉冷却系の主要構成材料について、クリデコン203による全面腐食性（各種材料の単独状態及び溶接部材の腐食性）を明らかにするため、全面腐食試験を行った。</p> <p>1. 試験方法</p> <p>試験はクリゴテン203 0.1%の溶液を用い、90℃～130℃を中心に浸漬法で行った。130℃では加流速法でも試験を行った。試験片の種類・形状・寸法を表-1に、試験方法を図-2に、調査要領を表-2に示す。</p> <p>なお、材料腐食に対する指標は、以下のとおりとした。</p> <p>(1) 腐食量の許容目標値</p> <p>ステンレス鋼：<math>\leq 1\mu\text{m}</math>、炭素鋼<math>\leq 10\mu\text{m}</math></p> <p>(2) 腐食の形態</p> <p>不均一な腐食が生じないこと。</p> <p>2. 試験結果</p> <p>試験の結果を表-3～表-6、図-3～図-5に示す。なお、試験の主な結果は以下のとおりである。</p> <p>(1) 各種材料の単独状態の試験</p> <p>イ. SUS440Cと炭素鋼の腐食が大きい傾向にあり、両材料とも120～150℃を越えると腐食量が急増した。</p>		

ロ. 腐食量は時間に対して比例関係であった。

ハ. 各種耐食合金で、流速の影響は見られなかった。

(2) 溶接された状態の試験

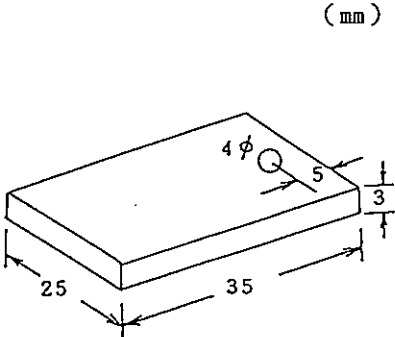
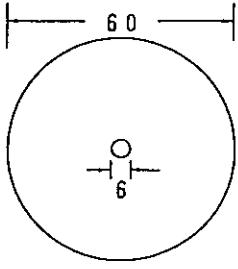
イ. いずれのものも、前面腐食試験に比べ、腐食量に差はなかった。

ロ. 腐食の形態についても、前面腐食試験の結果と変わりなかった。

3. 評 価

計画している除染条件（120℃，24hr）であれば、材料の腐食に及ぼす除染の悪影響はないと考える。

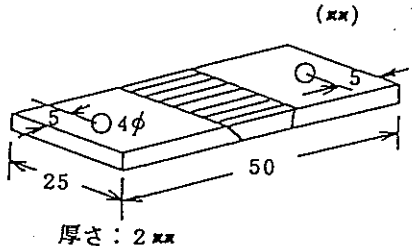
表-1 試験片の概要 (1/2)

分類	系統	材質	試験片の形状・寸法	
全面腐食試験	オーステナイト系	SUS304 *	 <p>(mm)</p> <p>(浸漬用)</p>	
		鋭敏化SUS304 *		
		SUS316L		
	マルテンサイト系	SUS50MOD		
		SUS440C		
	析出硬化系	SUS630		
	鑄造	SCS13 *		
	Zr合金	Zr-2.5Nb		 <p>(mm)</p> <p>(加流速用)</p>
		Zircaloy 2 *		
	Ti合金	Ti-6Al-4V		
	Ni合金	INCONEL718		
	Co合金	ステライトNo.6 *		
炭素鋼	STPT 42			

備考

\*印の材料：加流速法でも実施

表-1 試験片の概要 (2/2)

分 類	材 質	試験片の形状・寸法
溶 接 部 腐 食 試 験	SUS304 + SUS304	 <p>(mm)</p> <p>厚さ: 2mm</p>
	SUS304 + STPT42	
	STPT38 + STPT38	



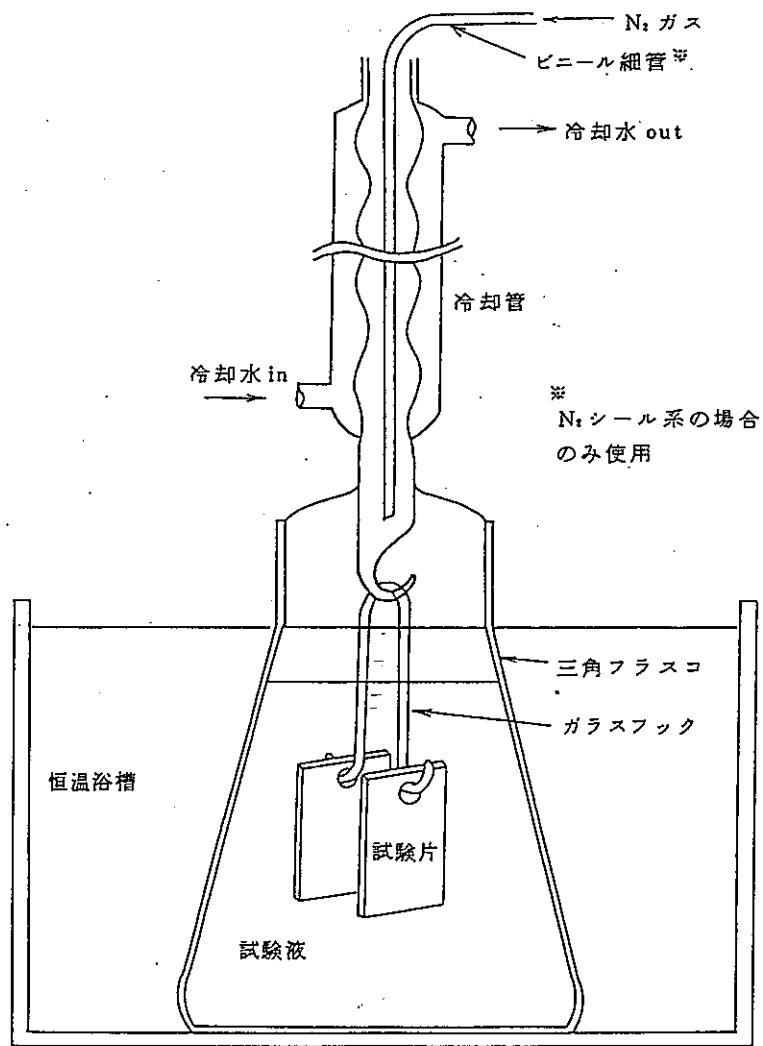


図-1 ビーカ試験の概略 (100°C未満)

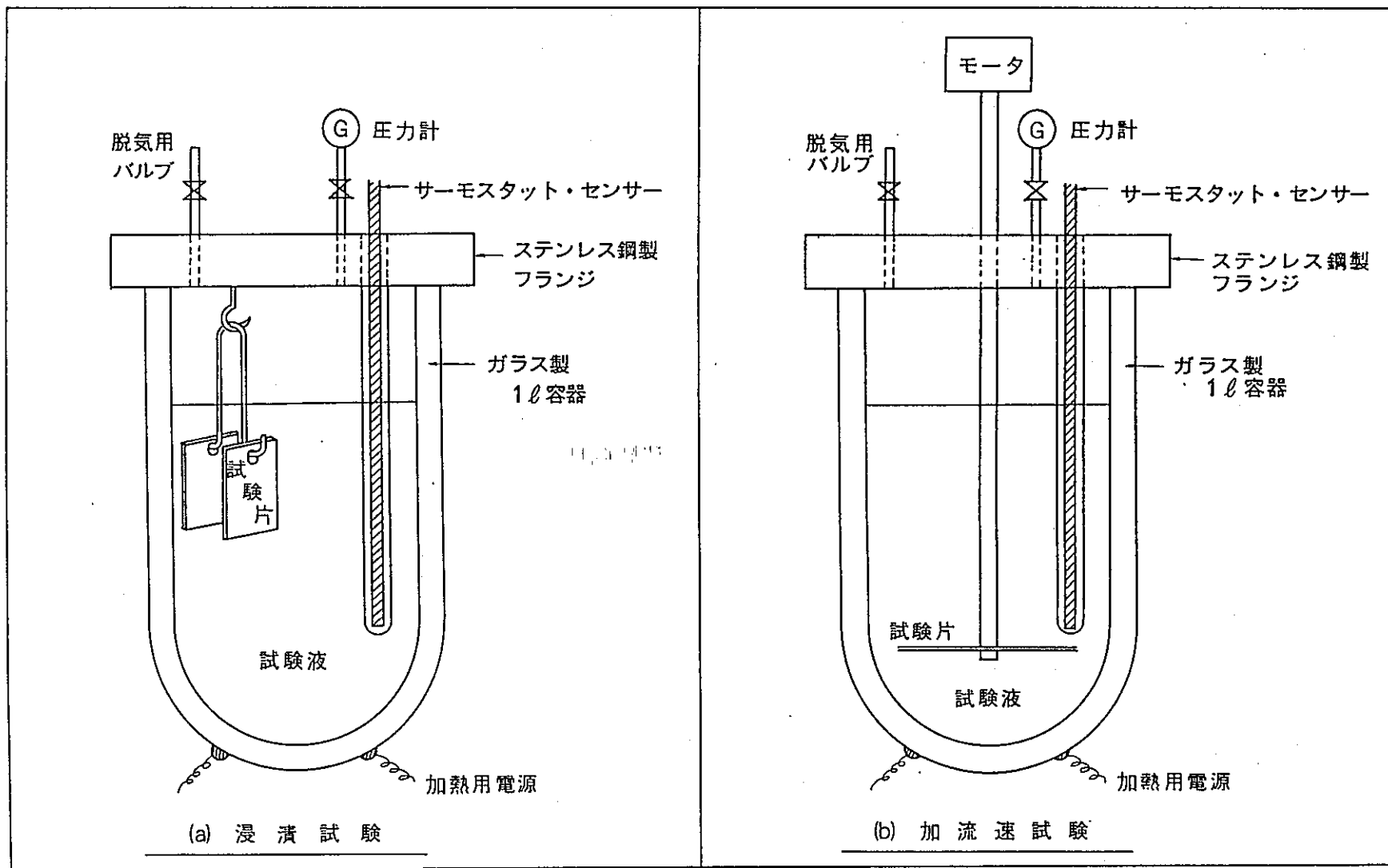


図-2 オートクレーブによる腐食試験の概略 (100℃以上)

表－2 調査項目と調査要領

<p>腐 食 量</p>	<p>試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。 また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。 なお、腐食量の表示 (mg) は天秤精度を考慮し、1 mgを下限値とし、単位面積あたりの表示 (mg / cm<sup>2</sup>) も 1 mg / 試験片表面積 cm<sup>2</sup> (およそ 0.05 mg / cm<sup>2</sup>) を下限とした。</p>
<p>試験片の検鏡</p>	<p>金属顕微鏡により、試験片表面を観察し、試験前後の表面状態を比較した。 観察は表面全体について行った。</p>

表-3 全面腐食試験の結果 (浸漬用) (1/2)

試験条件		試験片1枚あたりの平均腐食量	
試験片の材質	温度(°C)	(mg)	(mg/cm <sup>2</sup> )
SUS304	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
	150	<1.0	<0.05
鋭敏化 SUS304	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
SUS316L	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	90	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
SUS50MOD	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	120	1.0	0.05
SUS440C	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	110	2.5	0.12
	120	5.4	0.26
SUS440C	130	7.0	0.33
	140	31.1	1.48
	150	41.3	1.97
	160	40.4	1.92
	180	34.8	1.66
SUS630	50	<1.0	<0.05
	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
SCS13	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
Zr-2.5Nb	70	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
Zircaloy 2	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
Ti-6Al-4V	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05
INCONEL718	70	<1.0	<0.05
	80	<1.0	<0.05
	120	<1.0	<0.05

クリデコン203 0.1% (pH≒5)

試験片 : 2枚/500ml

時間 : 24hrs

スターラ攪拌

表-3 全面腐食試験の結果（浸漬用）（2 / 2）

試験条件		試験片1枚あたりの平均腐食量	
試験片の材質	温度(°C)	(mg)	(mg/cm <sup>2</sup> )
STPT42	30	10.6	0.50
	50	8.1	0.39
	70	7.9	0.73
	90	3.1	0.15
	105	10.9	0.52
	120	18.6	0.88
	130	46.3	2.20
	150	65.9	3.14

クリデコン203 0.1% (pH=5)

試験片 : 2枚/500ml

時間 : 24hrs

スターラ攪拌, N<sub>2</sub>シール環境

表-4 全面腐食試験の結果 (流速の影響)

試験片の材質		流速 (m/Sec.)	腐食結果	
			腐食量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	減肉厚さ ( $\mu\text{m}$ )
ステンレス鋼	SUS 304*	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06
	脱酸化 SUS 304	0	< 0.05	< 0.06
		2	0.08	0.10
		4	1.10	0.12
	SUS 50Mod	0	0.15	0.18
		2	0.12	0.14
		4	0.12	0.14
	SCS 13	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06
その他の合金	ジルカロイ2	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06
	ステライトNo.6	0	< 0.05	< 0.06
		2	< 0.05	< 0.06
		4	< 0.05	< 0.06

試験条件：クリデコン203 0.1%

試験片1枚(57cm) / 500ml

130℃, 48hr, 加流速法

N<sub>2</sub> シール環境

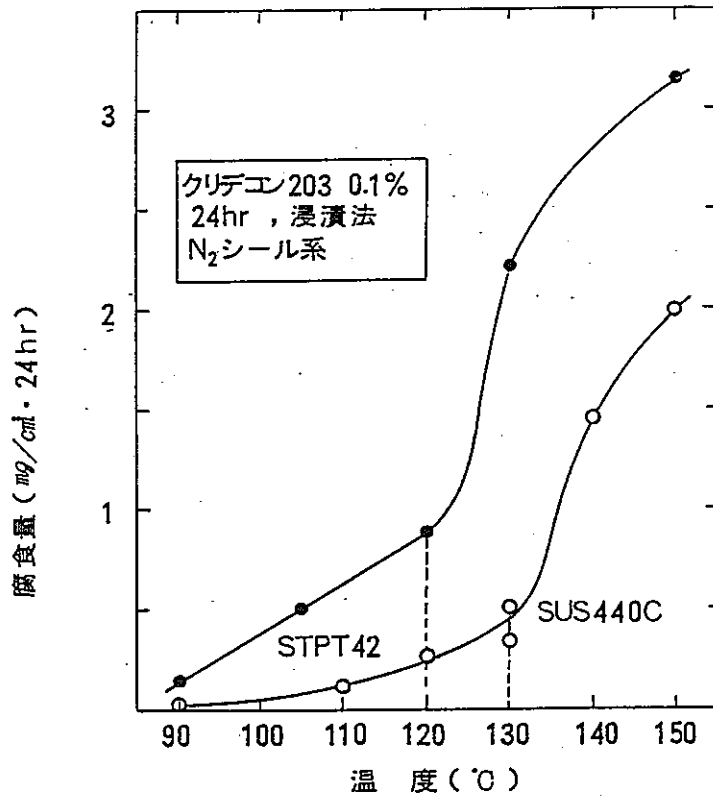


図-3 SUS 440CおよびSTPT 42の腐食量と温度の関係

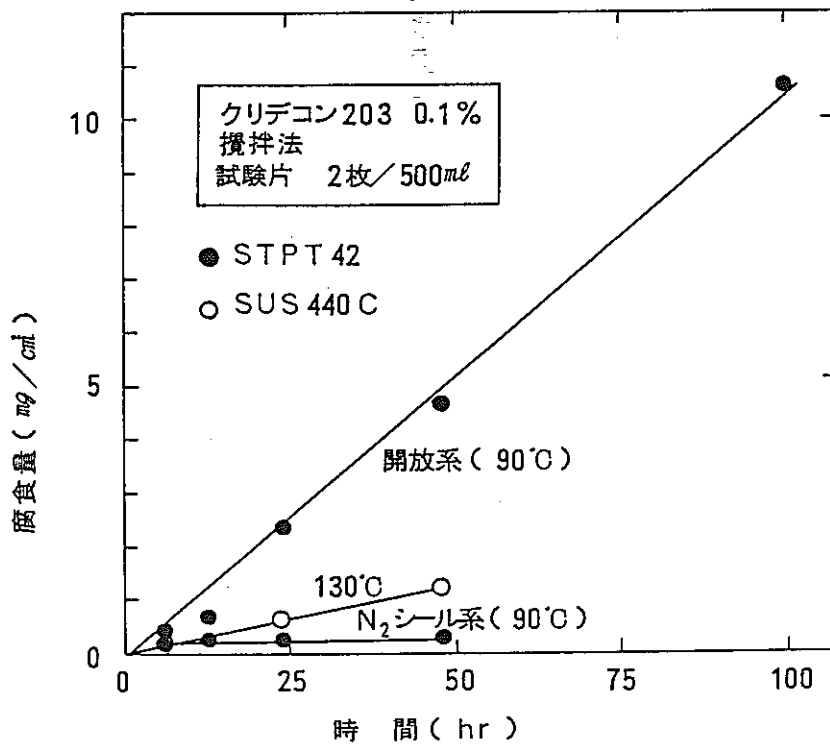


図-4 クリデコン203溶液での時間と腐食の関係

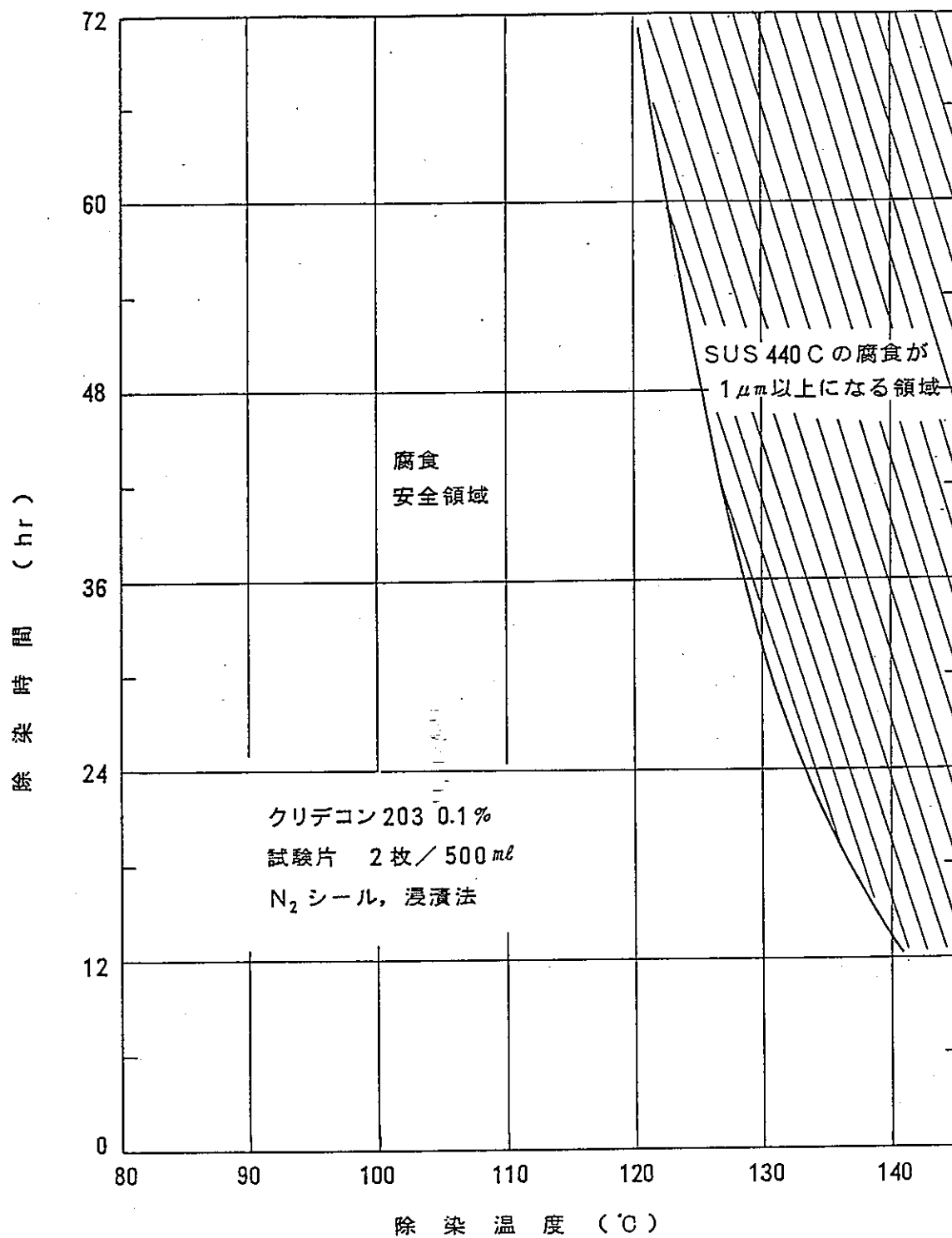


図-5 1  $\mu$ mの腐食に達するまでの温度と時間の関係



表-5 溶接部腐食試験の結果 (90℃)

材 質	試験片1枚当り平均腐食量	
	mg	mg / cm <sup>2</sup>
SUS304~SUS304	1.0>	0.05>
SUS304	468	—
STPT42		38.0 ※
STPT38~STPT38	538	19.2
SUS304	15.3	—
STPT42		1.2 ※
STPT38~STPT38	18.3	0.65

クリデコン203 : 0.2%  
 試験片 : 2枚 / 1000 ml  
 温 度 : 90℃  
 時 間 : 100 hrs  
 スターラ 攪拌

※ STPT42のみの表面積(12.3 cm<sup>2</sup>)を用いて計算

表-6 溶接部腐食試験の結果 (100°C以上)

試験片の材質		温度(°C)	試験片	
			腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )	被肉厚さ (μm)
異 種 材 溶 接	SUS304	110	—	—
	STPT42		4.24 *1	5.43
	SUS304	130	—	—
	STPT42		5.78 *1 (4.13) *2	7.41 (5.16) *2
同 一 材 溶 接	SUS304~SUS304	130	<0.05	<0.06
	STPT42~STPT42	130	2.69	3.45

試験条件：クリデコン203 0.1%

試験片2枚(56cm<sup>2</sup>)/500ml

110°Cまたは130°C, 48hr, 浸漬法。

N<sub>2</sub> シール環境

\*1 STPT42のみの表面積(12.3cm<sup>2</sup>)  
を用いて計算。

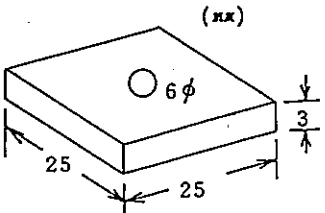
\*2 130°C, 24hr: 弊社提供資料

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整理番号
		3-3-(2)-②
件名	除染中における材料の健全性の確認（異種金属接触部の腐食）	
..... ..... .....		
回答	添付書類の有無（ <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無）	
<p>原子炉冷却系内に存在する異種金属接触部に対するクリデコン203の腐食性を明らかにするため腐食試験を行い、異種金属接触部の腐食が全面腐食試験の結果に比べて、腐食量や腐食形態にどの程度の差違があるかを調べた。</p> <p>1. 試験方法</p> <p>異種材の試験片をボルト締めにより接触させ、クリデコン203 0.1%の溶液で試験した。試験片の種類・形状・寸法を表-1に、試験方法を図-1に、調査要領を表-2に示す。</p> <p>なお、材料腐食に対する指標は、以下のとおりとした。</p> <p>(1) 腐食量の許容目標値</p> <p>ステンレス鋼：<math>\leq 1\mu\text{m}</math>、炭素鋼<math>\leq 10\mu\text{m}</math></p> <p>(2) 腐食の形態</p> <p>不均一な腐食を生じないこと。</p> <p>2. 試験結果</p> <p>試験の結果を表-3、4及び図-2～4に示す。なお、試験の主な結果は以下のとおりである。</p> <p>(1) いずれの接触の場合も、各材料の全面腐食の結果に比べ腐食量に差違はなかった。</p> <p>(2) 腐食の形態についても、全面腐食試験の結果と変わりなかった。</p>		

### 3. 評 価

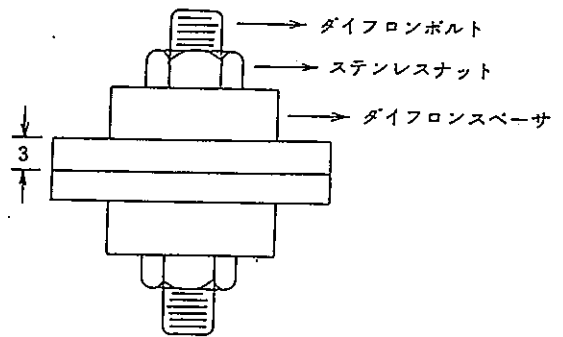
計画している除染条件（120℃，24hr）であれば、材料の腐食に及ぼす除染の悪影響はないと考える。

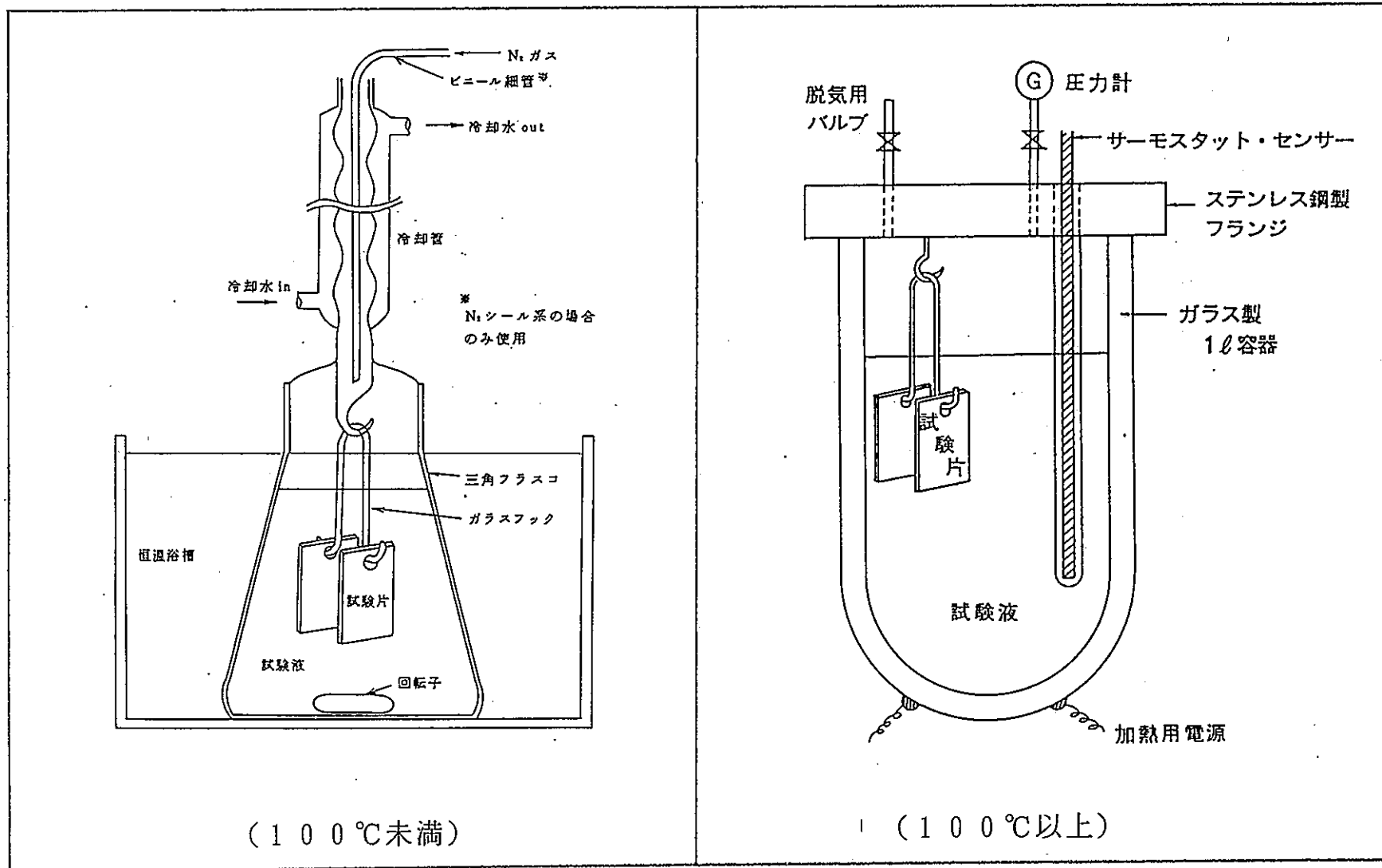
表-1 試験片の概要

分類	材質	試験片の形状・寸法
異種材質 接触腐食試験	SUS50Mod + Zr-2.5Nb	
	SUS50Mod + Ti-6Al-4V	
	SUS50Mod + SUS440C	
	SUS630 + Ti-6Al-4V	

備考)

接触試験片の供試状態





注) 試験片は異種材接触用使用

図-1 腐食試験セットの概略

表-2 調査項目と調査要領

<p>腐 食 量</p>	<p>試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。 また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。 なお、腐食量の表示 (mg) は天秤精度を考慮し、1 mg を下限値とし、単位面積あたりの表示 (mg/cm<sup>2</sup>) も 1 mg/試験片表面積 cm<sup>2</sup> (およそ 0.05 mg/cm<sup>2</sup>) を下限とした。</p>
<p>試験片の検鏡</p>	<p>金属顕微鏡により、試験片表面を観察し、試験前後の表面状態を比較した。 観察は表面全体について行った。</p>

表-3 異種材接触腐食試験の結果 (90°C)

材 質	試験片1枚当り平均腐食量	
	mg	mg / cm <sup>2</sup> *1
SUS50Mod	1.7	0.22
Zr-2.5Nb	△1.0>	△0.15>
SUS50Mod	1.5	0.19
Ti-6Al-4V	△1.0>	-
SUS50Mod	1.0>	0.15>
SUS440C	9.1	1.17
Zr-2.5Nb	△1.0>	△0.15>
SUS630	1.0>	0.15>
SUS630	△1.0	△0.15>
Ti-6Al-4V	△1.0>	△0.15>

クリデコン603、0.2% (pH≒5)

試験片：2組 / 1000ml

温 度：90°C

時 間：100 hrs

スターラ攪拌



表-4 異種材接触腐食試験の結果 (100℃以上)

試験片の材質	温度(℃)			比較データ 単一材の腐食量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
		腐食量* ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	減肉厚さ ( $\mu\text{m}$ )	
SUS50Mod	110	0.11	0.14	—
Zr-2.5Nb		<0.05	<0.06	—
SUS50Mod	130	0.22	0.28	0.15
Zr-2.5Nb		<0.05	<0.06	<0.05
SUS50Mod	110	0.16	0.21	—
SUS440C		0.38	0.49	—
SUS50Mod	130	0.26	0.33	0.15
SUS440C		1.18	1.51	1.18
SUS50Mod	130	0.22	0.28	0.15
Ti-6Al-4V		<0.05	<0.06	<0.05
SUS630	130	0.05	0.06	<0.05
Ti-6Al-4V		<0.05	<0.06	<0.05
SUS630	130	0.05	0.06	<0.05
Zr-2.5Nb		<0.05	<0.06	<0.05

試験条件：クリデコン203 0.1%  
 試験片2組(各16 $\text{cm}^2$ )/500 $\text{mL}$   
 110~130℃, 48hr, 浸漬法。  
 $\text{N}_2$  シール環境

除染剤 および濃度	SUS 304				STPT 38				表面状態	
	表面状態	腐食減量 (mg/cm <sup>2</sup> )				腐食減量 (mg/cm <sup>2</sup> )				
		6	4	2	0	2	4	6		
LND 101 A 0.1%	金属光沢なし やはだ荒れ									黄白色付着物有り やはだ荒れ
KD 203 0.1%	表面がやくすんで いるが清浄									金属光沢なし やはだ荒れ
G.E. d-sol 0.2%	金属光沢なし やはだ荒れ									黄白色付着物有り やはだ荒れ

図-2 各種除染剤の異種金属接触部における腐食 (SUS304/STPT38)

試験片: SUS304/STPT38 温度: 120 °C 時間: 24Hr

除染剤および濃 度と試験温度	内側 U ベンド			外側 U ベンド			ベンド部の 表面状態	
	ベンド部の 表面状態	腐食減量 (mg)			腐食減量 (mg)			
		10	5	0	5	10		
LND 101 A 0.1%, 120 °C	表面がやくすんで いるが異常なし							表面がやくすんで いるが異常なし
KD 203 0.1%, 120 °C	清浄であり 異常なし							清浄であり 異常なし
G.E. d-sol 0.2%, 90 °C	表面がやくすんで いるが異常なし							表面がやくすんで いるが異常なし

図-3 各種除染剤の隙間部における腐食  
(鋭敏化SUS304材)

試験片材質: 鋭敏化SUS304  
試験時間: 24 Hr

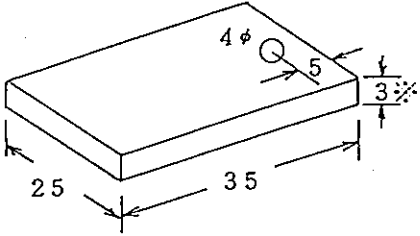
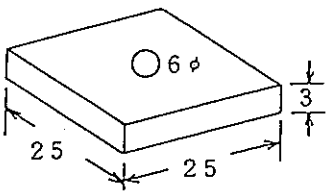
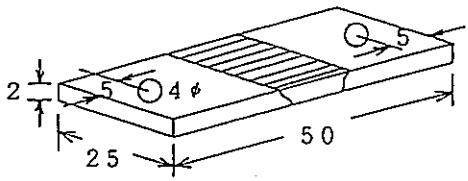
除染剤および濃 度と試験温度	内側 U ベンド				外側 U ベンド				ベンド部の 表面状態	
	ベンド部の 表面状態	腐食減量 (mg)				腐食減量 (mg)				
		60	40	20	0	20	40	60		
LND 101 A 0.1%, 120 °C	黄白色付着物有り 表面異常なし									黄白色付着物有り 表面異常なし
KD 203 0.1%, 120 °C	金属光沢なし 表面異常なし									金属光沢なし 表面異常なし
G.E. d-sol 0.2%, 90 °C	黄白色付着物有り 表面異常なし									黄白色付着物有り 表面異常なし

図-4 各種除染剤の隙間部における腐食 (STPT材)

試験片材質: STPT42  
試験時間: 24 Hr

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整理番号
		3 - 3 - (2) - ③
件名	残留除染液の腐食影響（全面、溶接部、異種金属接触部）	
..... ..... .....		
回答	添付書類の有無（ <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無）	
1. 目的		
..... 除染後の除染液の残留を想定して、残留除染剤の腐食性を明らかにする。		
2. 試験の視点		
..... 残留除染液の腐食性が脱塩水に比べて、どの程度かを調べる。		
3. 試験方法		
..... 残留模擬除染液（クリデコン203 10ppm）を用い、炉水温度条件で試験した。		
..... 試験体の形状寸法を表-1に、試験方法を図-1に、調査要領を表-2に示す。		
4. 試験結果		
..... 試験結果を表-3に示す。		
..... (1) 全面腐食の結果から、残留模擬除染液（クリデコン203, 10ppm）の腐食性は、脱塩水と同等もしくはそれ以下であった。		
..... (2) 溶接部及び異種金属接触部での腐食は、全面腐食での結果と変わりなく、材質の状態の違いによる差違（加速、局部腐食）は見られなかった。		
5. 評価		
..... 残留除染液による腐食性は、脱塩水と変わらないと考える。		
.....		

表-1 試験片の概要

分 類	材 質	試験片の形状・大きさ (mm)
全面腐食試験	SUS304	 <p>※ Zircaloy-2 : 2 mm</p>
	鋭敏化SUS304	
	SCS13	
	SUS50Mod	
	SUS440C	
	SUS630	
	Zr-2.5Nb	
	Zircaloy-2	
	Ti-6AL-4V	
	INCONEL 718	
	STPT42	
異種材質 接触腐食試験	SUS50Mod + Zr-2.5Nb	
	SUS50Mod + Ti-6AL-4V	
	SUS50Mod + SUS440C	
	Zr-2.5Nb + SUS630	
	SUS630 + Ti-6AL-4V	
溶接部腐食試験	SUS304 - SUS304	
	STPT42 - SUS304	
	STPT38 - STPT38	

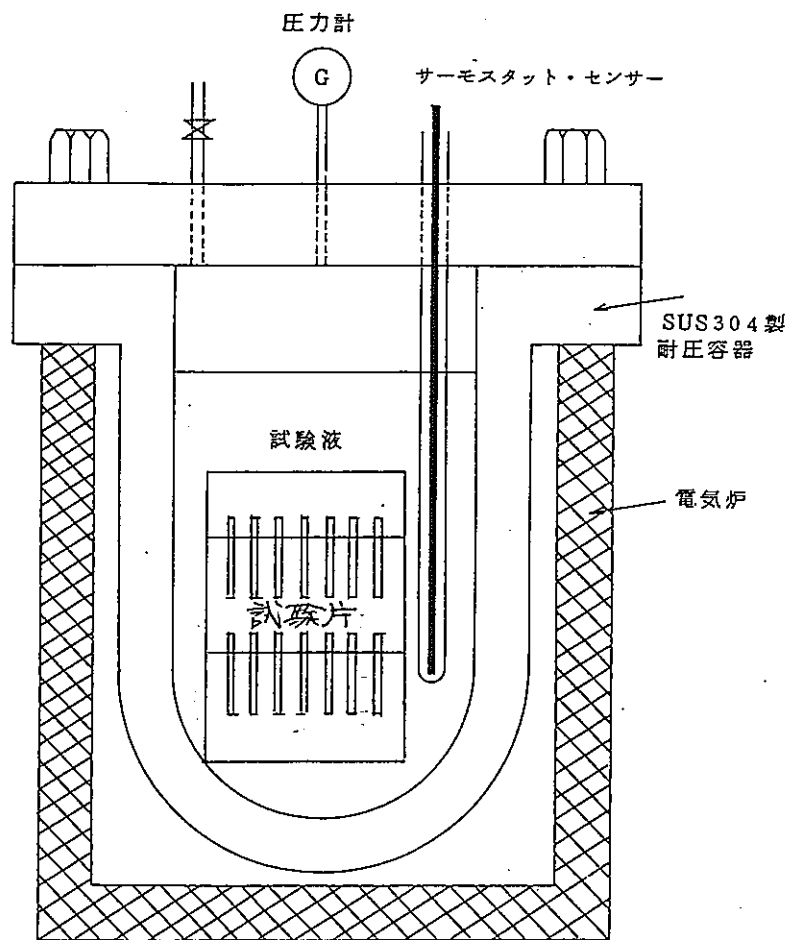


図-1 残留除染液による腐食試験の概略

表-2 調査項目と調査要領

<p>腐 食 量</p>	<p>試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。          また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。          なお、腐食量の表示 (mg) は天秤精度を考慮し、1 mgを下限値とし、単位面積あたりの表示 (mg/cm<sup>2</sup>) も 1 mg/試験片表面積cm<sup>2</sup> (およそ0.05 mg/cm<sup>2</sup>) を下限とした。</p>
<p>試験片の外観</p>	<p>肉眼により試験片表面を観察し、試験前後の表面状態を比較した。</p>

表-3 残留除染液による腐食試験結果

	材 質	腐 食 量 ( $\mu\text{m}$ )		材 質	腐 食 量 ( $\mu\text{m}$ )	
全 面 腐 食	SUS304	0.31 (0.35)	溶 接 部 腐 食	SUS304/SUS304	0.13	
	SUS50Mod	0.90 (0.80)		SUS304/STPT42	0.13/0.69	
	SUS440C	0.84 (1.31)	異 種 材 接 触 腐 食	SUS50Mod	1.20	
	SUS630	0.58 (0.72)		SUS440C	1.08	
	SCS13	0.49 (0.77)		SUS50Mod	1.29	
	Zr-2.5Nb	0.18 (0.13)		Zr-2.5Nb	0.27	
	ジルカロイ2	0.10 (0.04)		SUS630	0.43	
	STPT42	0.56 (1.08)		Zr-2.5Nb	0.27	
				試験条件		
				クリデコン203 10ppm		
			285℃, 600hr			

( ) 内は脱塩水での腐食値





新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整理番号
	3-3-(2)-⑤

件名	インヒビターに含まれるS分の影響
----	------------------

.....

.....

.....

回答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無 )
----	--

系統除染後冷却水中に残留するS分濃度は、0.14 ppb<sup>(\*)</sup>と極めて低濃度である。

また、同様なインヒビターは資料-1に示したWinfrith炉の系統除染でも使用されており、現在まで悪影響が生じている報告はない。

(\*)

$$500 \text{ ppm}^{(1)} \times 1/500^{(2)} \times 2\%^{(3)} \times 1/3^{(4)} \times 1/50^{(5)} = 0.14 \text{ ppb}$$

(1) 除染液中のインヒビター濃度  
 (2) 除染後の除染液浄化運転による浄化係数  
 (3) インヒビター中のS分含有物質濃度  
 (4) S分含有物質中のS分の割合  
 (5) 除染液浄化後のフラッシング操作による浄化係数

以上のことから、インヒビター中に含まれるS分が除染後材料等に与える影響は無視出来ると考える。

インヒビターの熱分解試験結果を資料-2に示す。

.....

.....

.....

表-1 Winfrith炉冷却ループ除染の経緯(1969年~1985年)

Date	Circuit Decontaminated	EFPDs Since Previous Decon Reactor Commissioned	Process
Dec. 1967			
Aug. 1969	South (1S)		
Apr. 1971	North (1N)	275	Citrox*
Apr. 1972	South (2S)	552	Citrox*
May 1973	North (2N)	526	Citrox*
Oct. 1974	South (3S)	376	Citrox*
June 1975	North (3N)	469	Citrox*
May 1976	South (4S)	469	Citrox*
May 1977	North (4N)	369	Citrox*
May 1978	South (5S)	437	Citrox*
May 1979	North (5N)	469	Citrox*
May 1980	South (6S)	530	Citrox*
May 1981	North (6N)	532	LOMI
May 1981	South (7S)	265	LOMI
May 1982	North (7N)	265	LOMI
May 1982	South (8S)	214	LOMI
May 1983	North (8N)	214	LOMI
May 1983	South (9S)	269	LOMI
May 1984	North (9N)	269	LOMI
May 1984	South (10S)	296	NP/LOMI, NP/LOMI
May 1985	North (10N)	296	LOMI
May 1985	South (11S)	253	LOMI/NP/LOMI
		253	LOMI

\*TURCO 4521

7111E-203 0.1%

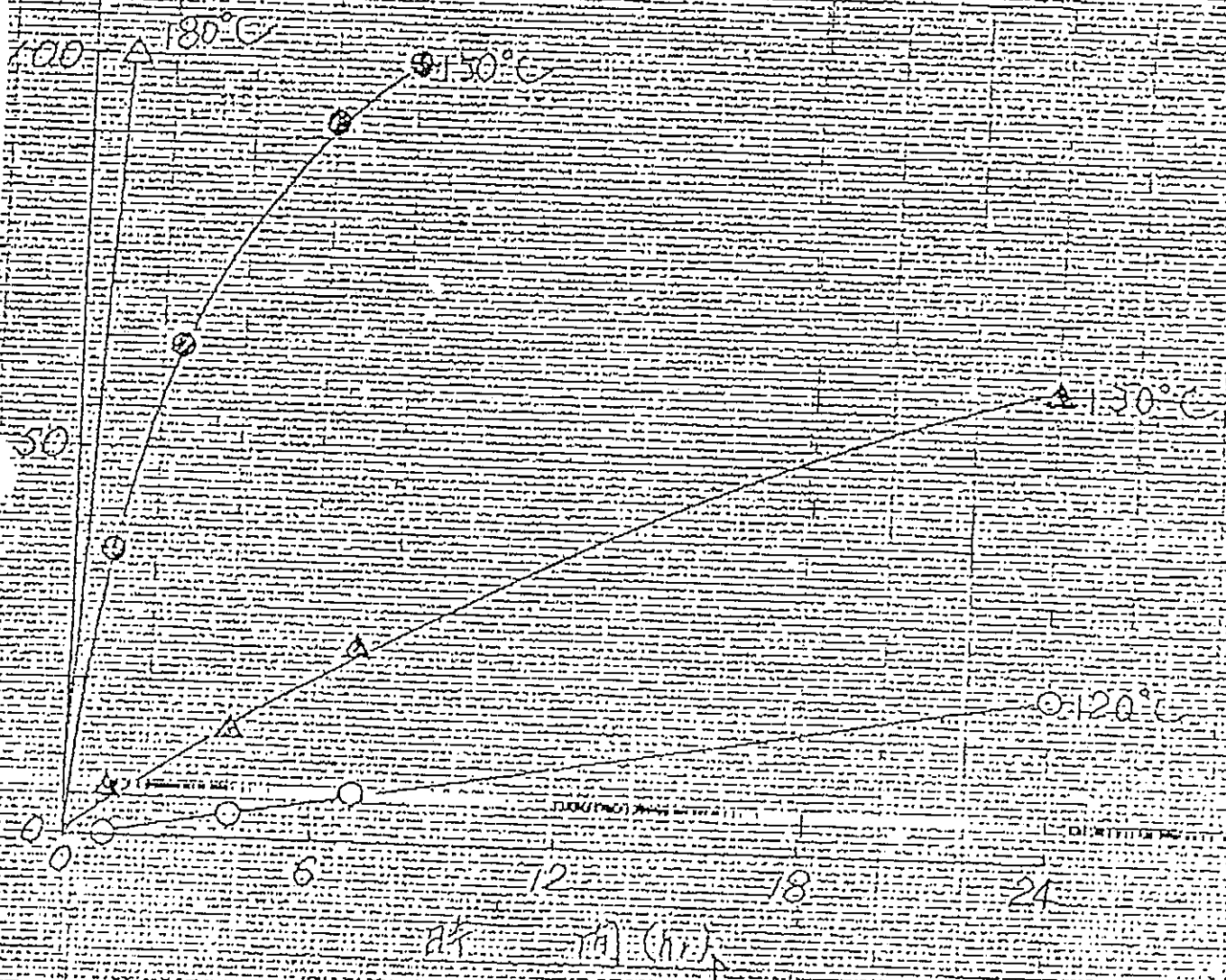


図-1 インヒビターの分解挙動

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整 理 番 号
	3 - 3 - (3) - ①

件 名	除染剤による応力腐食割れ感受性試験（除染中の影響、Uベント法）
-----	---------------------------------

---

---

---

---

---

---

---

---

回 答		添付書類の有無（ <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無 ）
-----	--	---

原子炉冷却系の主要構成材料の応力腐食割れ（SCC）に対する除染剤の影響を明らかにするため、除染剤のSCC感受性に及ぼす影響を確認する試験を行った。

**1. 試験方法**

試験は、引張応力を付与したUベント試験片をクリデコン203 0.1%の溶液に浸漬して構成材料のSCC感受性の有無及び程度を調べた。

試験片の種類・形状・寸法を表-1に、試験方法を図-1に、調査要領を表-2及び図-2に示す。

**2. 試験結果**

試験の結果を写真-I, IIに示す。なお、試験の主な結果は以下のとおりである。

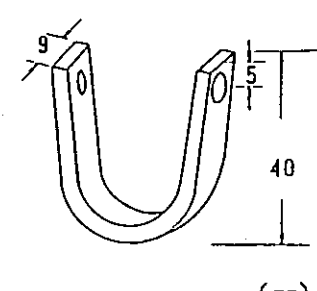
配管及び圧力管に存在する引張応力がかかっている個所を模擬して、Uベント法で試験した。その結果、写真-I, IIに示すように、どの材料についても、SCCの発生は観察されなかった。

**3. 評 価**

計画している除染条件（120℃、24hr）であれば、材料の耐SCC性に及ぼす除染の悪影響はないと考える。

表-1 試験片の概要

分類	系統	材質	試験片の形状・寸法
SCC試験 (シングルUベント法)	Fe基合金	オーステナイト系	鏡面化SUS304
		マルテンサイト系	SUS50Mod
		析出硬化系	SUS630
	Zr基合金	Zr-2.5Nb	
		ジルカロイ2	
	Ti基合金	Ti-6Al-4V	



備考) 試験片の供試状態

試験条件

写真I クリデコン203 0.1%

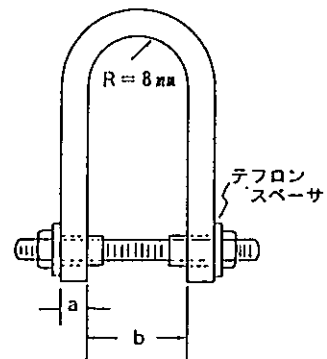
90°C, 100Hr

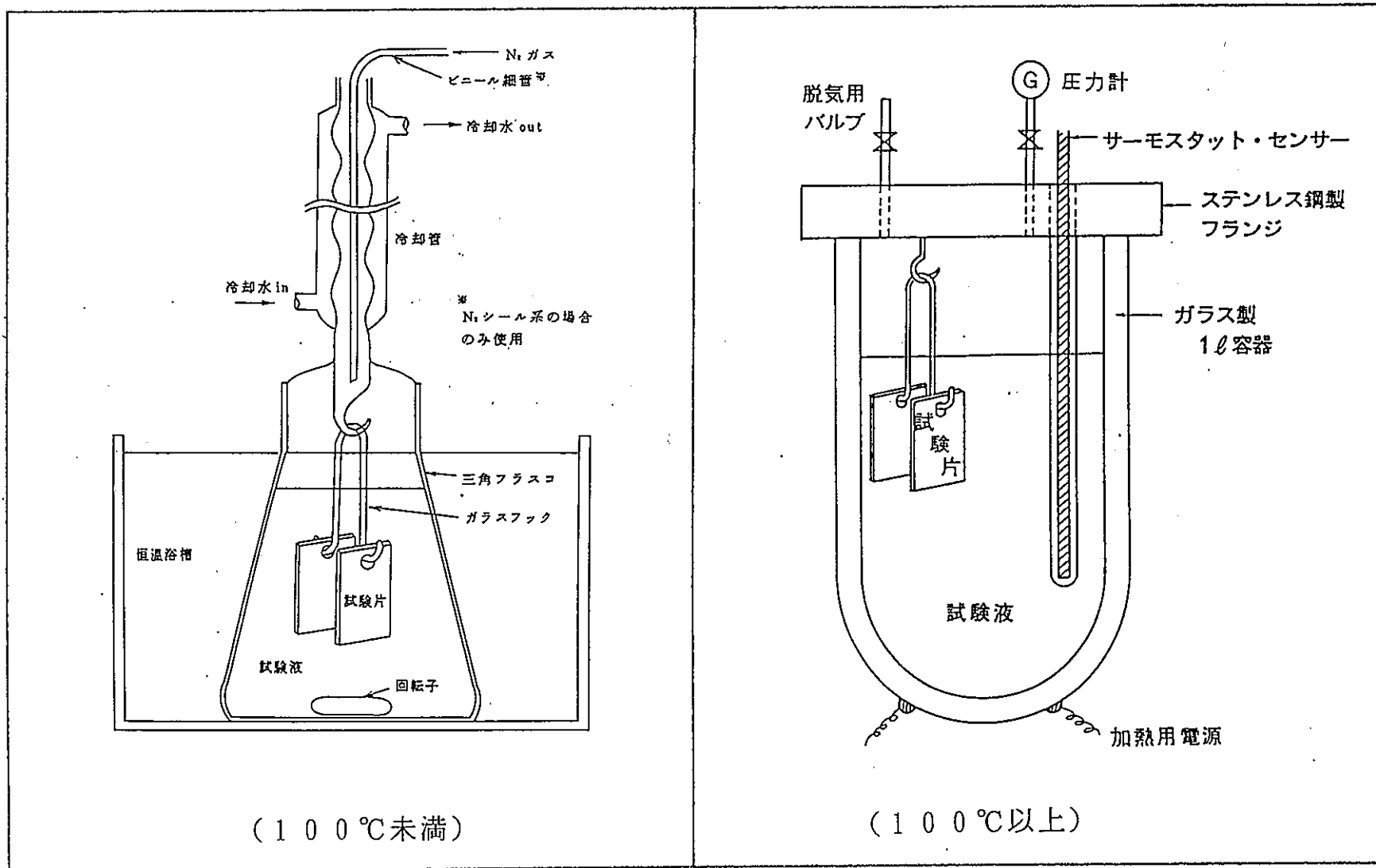
写真II クリデコン203 0.1%

130°C, 50Hr

材質	部位 a (mm)	b (mm)	
		応力印加前	応力印加後
SUS304	3	22	19
SUS50Mod	2	24	17
SUS630	2	27	18
Zr-2.5Nb	2	34	17
ジルカロイ2	2	21	13
Ti-6Al-4V	4	33	30

曲げ加工前長さ 90mm

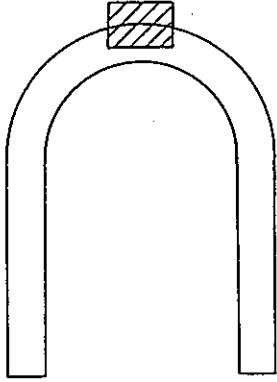


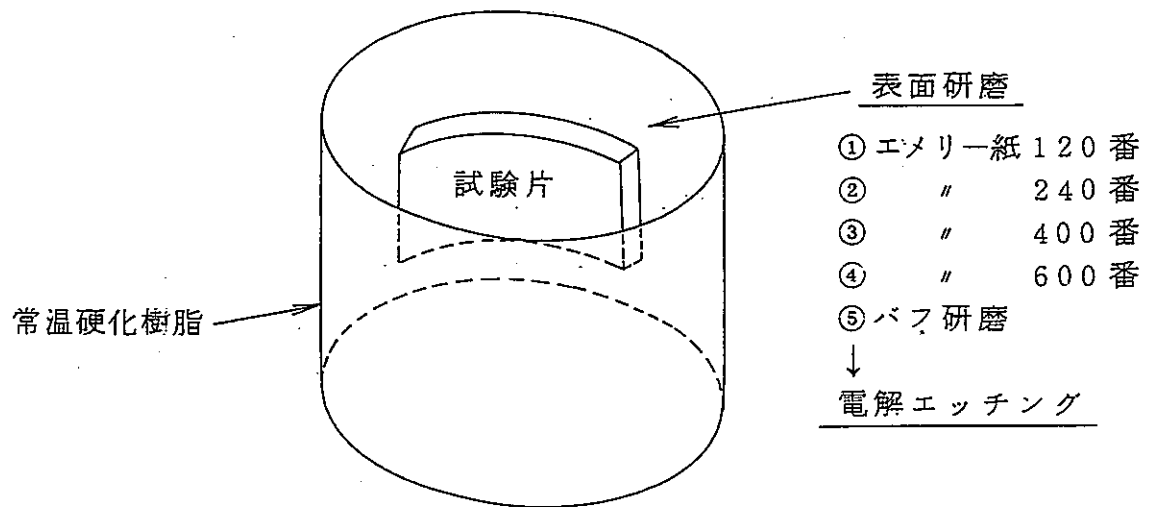


注) 試験片はUバンドを使用

図-1 応力腐食割れ試験のセット状態

表 - 2 調査項目と調査要領

<p>腐 食 量</p>	<p>試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。 また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。 なお、腐食量の表示 (mg) は天秤精度を考慮し、1 mg を下限値とし、単位面積あたりの表示 (mg / cm<sup>2</sup>) も 1 mg / 試験片表面積 cm<sup>2</sup> (およそ 0.05 mg / cm<sup>2</sup>) を下限とした。</p>
<p>試験片の検鏡</p>	<p>金属顕微鏡により、試験片表面を観察し、試験前後の表面状態を比較した。 観察は表面全体について行い、代表的な箇所を倍率 100 倍で写真撮影した。 各試験片の写真撮影箇所を下図に示す。</p>
<div style="text-align: center;">  <p>(断面)</p> </div>	



電解エッチング条件

試験片	エッチング条件
鋭敏化 SUS 304	(1+1)硝酸、0.15A、60 sec
SUS 50Mod	(1+1)硝酸、0.15A、180 sec

図-2 応力腐食割れ調査用試料



応力腐食割れ試験片

(ビーカ試験)(90℃, 100hr)



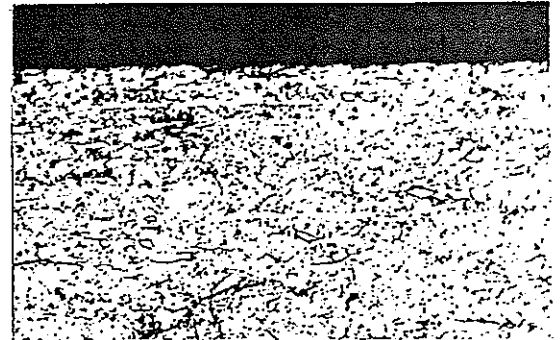
SUS304



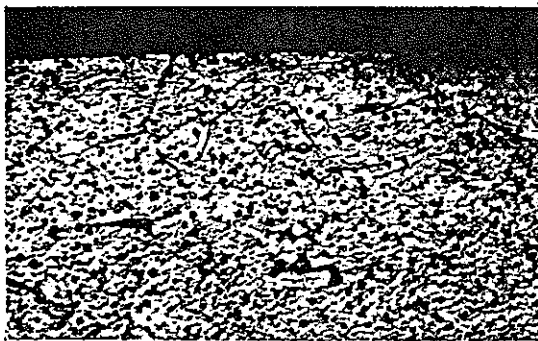
SUS50 Mod



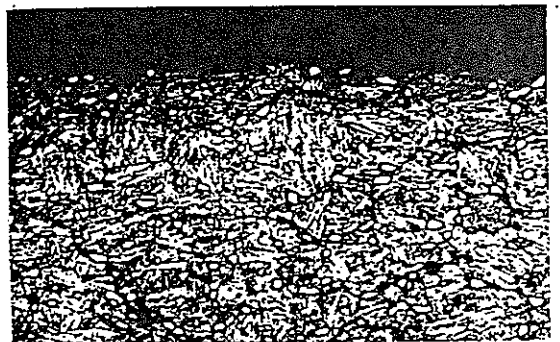
SUS630



ZR-2.5Nb



Zircaloy-2



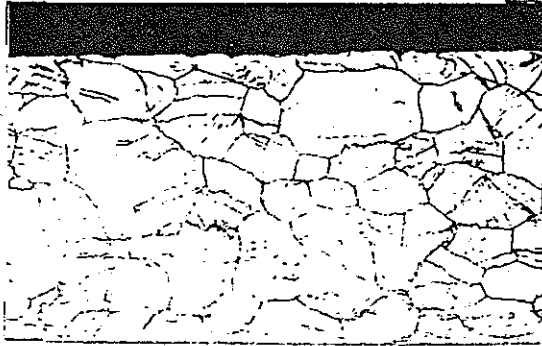
Ti-6Al-4V

写真倍率：400倍

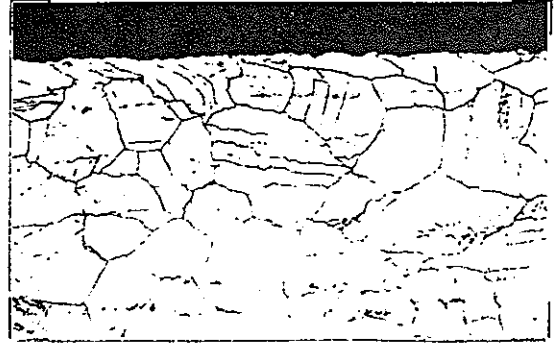
写真-I 試験片断面の金属組織

応力腐食割れ試験（浸漬法）

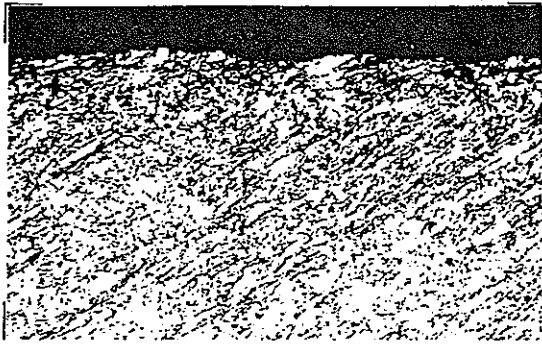
130°C、50hr 試験後



鋭敏化SUS 304(110°C)



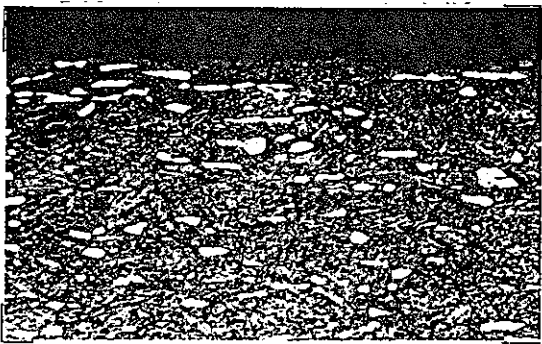
鋭敏化SUS 304



SUS 50 Mod



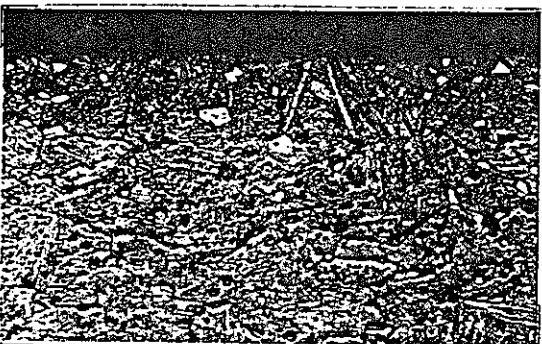
SUS 630



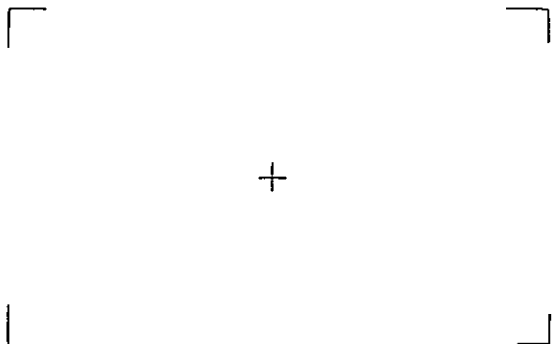
Zr-2.5 Nb



ジルカロイ 2



Ti-6Al-4V



写真倍率：400倍

新型転換炉ふげん発電所における  
原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料

整理番号

3-3-(3)-②

件名

除染剤による応力腐食割れ感受性試験（除染中の影響、低歪速度引張試験法）

回答

添付書類の有無（ 有  無）

「ふげん」の原子炉冷却系の主要構成材料の応力腐食割れ（SCC）に対する除染剤の影響を明らかにするため、除染剤のSCC感受性に及ぼす影響を確認する試験を行った。

### 1. 試験方法

試験は、亀裂付きの試験片に引張応力を付与しながら行い、構成材料の除染液中におけるSCC感受性を、脱塩水中におけるものと比べてどの程度かを調べた。

試験片の種類・形状・寸法を図-1に、試験方法を図-2に示す。

### 2. 試験結果

試験の結果を表-1に示す。なお、試験の主な結果は以下のとおりである。

(1) クリデコン203を0.1%と0.01%を含む除染液用い、除染上限の130℃で

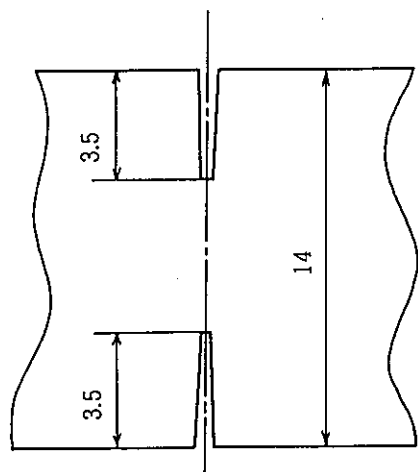
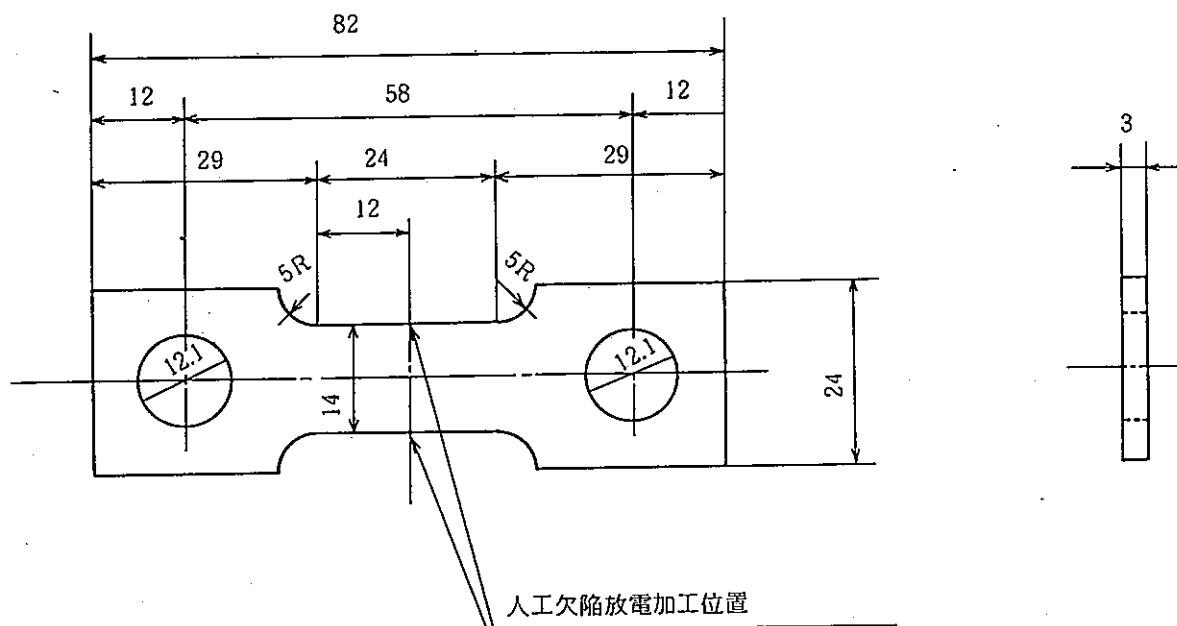
試験した結果、SCCの発生は見られなかった。

(2) 試験片の破断伸量、断面収縮率（共に金属の延性データ）及び最大荷重（金属の

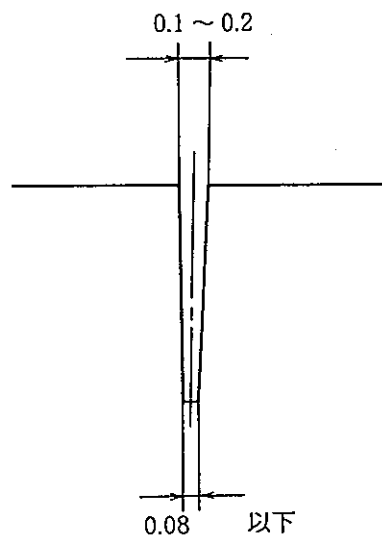
強度データ）に及ぼす除染剤の影響はなかった。

### 3. 評価

130℃（除染の上限温度）の条件下で、SCC感受性に及ぼす除染剤の悪影響はないと考える。



人工欠陥加工部詳細



(数値の単位：mm)

図-1 亀裂付き試験片

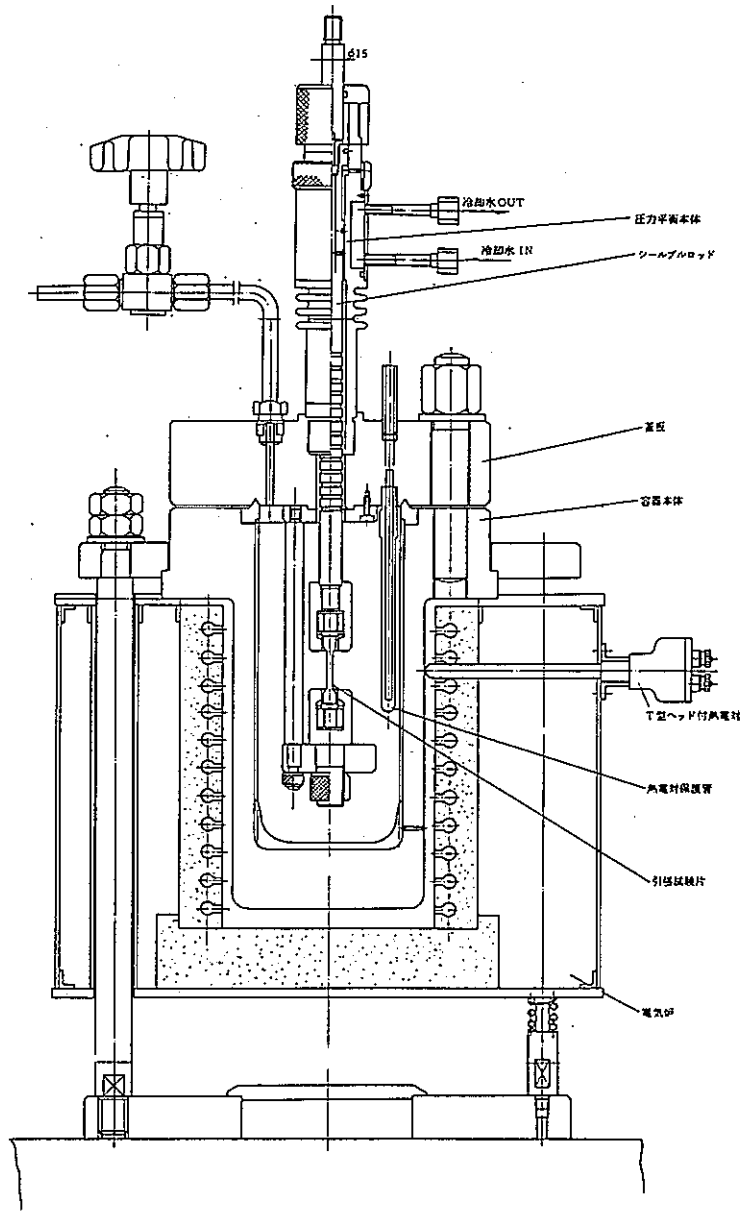


図-2 低歪速度引張試験の概略

表-1 低歪速度引張試験の結果

試験片 No	試験片材質	試験水質		試験温度 (°C)	SCC 破面率			破断時間 (Hr)	破断 伸び量(%)	最大荷重・応力		断面収縮率 (%)
		DO (ppb)	KD 203 濃度(%)		IGSCC (%)	TGSCC (%)	SCC (%)			(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
④7	SUS 304 鋭敏化材	29	—	130	0	0	0	150.0	45.00	1070	51.0	67.9
50	"	8100	—	278	94.10	0.48	94.58	62.9	18.86	570	27.1	12.3
④8	"	封じ込み	0.01	132	0	0	0	147.9	44.36	1114	53.0	66.8
④9	"	"	0.1	130	0	0	0	131.7	39.51	1100	52.3	69.4
36*	"	8070	—	148	1.34	0	1.34	148.3	44.47	1102	52.5	66.8
34*	"	7950	—	198	90.07	0	90.07	64.4	19.31	624	29.71	16.0
④5	"	7950	—	131	0.39	0	0.39	143.1	42.92	1136	54.1	64.4

\* 人工欠陥加工後鋭敏化熱処理を行った。他は鋭敏化後人工欠陥を付加した。

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整理番号
	3-3-(3)-③

件名	残留除染液の応力腐食割れ感受性評価（CBB法）
----	-------------------------

.....

.....

.....

回答	添付書類の有無（ <input checked="" type="radio"/> 有）無）
----	--

1. 目的

.....

除染後の除染液の残留を想定して、残留除染液の応力腐食割れ（SCC）感受性を明らかにする。

.....

2. 試験の視点

.....

残留除染液のSCC感受性が、脱塩水に比べてどの程度かを調べる。

.....

3. 試験方法

.....

残留除染液（クリデコン203，20ppm）によるSCC感受性を炉水温度条件でCBB法により調べた。試験片と試験治具・寸法を図-1に、試験方法を図-2及び図-3に、調査要領を表-1に示す。

.....

4. 試験結果

.....

試験結果を写真I，IIに示す。

.....

鋭敏化SUS304とSUS403Mod（SUS50Mod）について、残留除染液の影響を、除染+運転を15回繰り返して行って調べた。

.....

その結果、いずれも脱塩水の場合と同様、SCCは認められなかった。

.....

5. 評価

.....

SCC感受性に及ぼす残留除染液の影響はないと考えられる。

.....

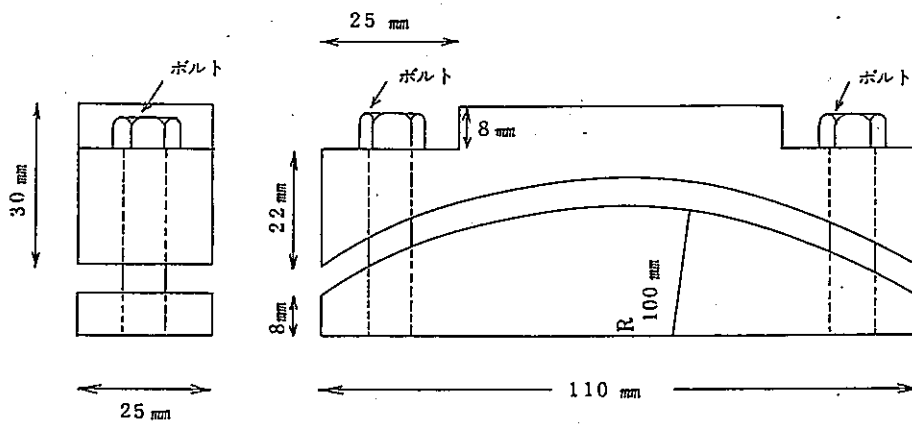
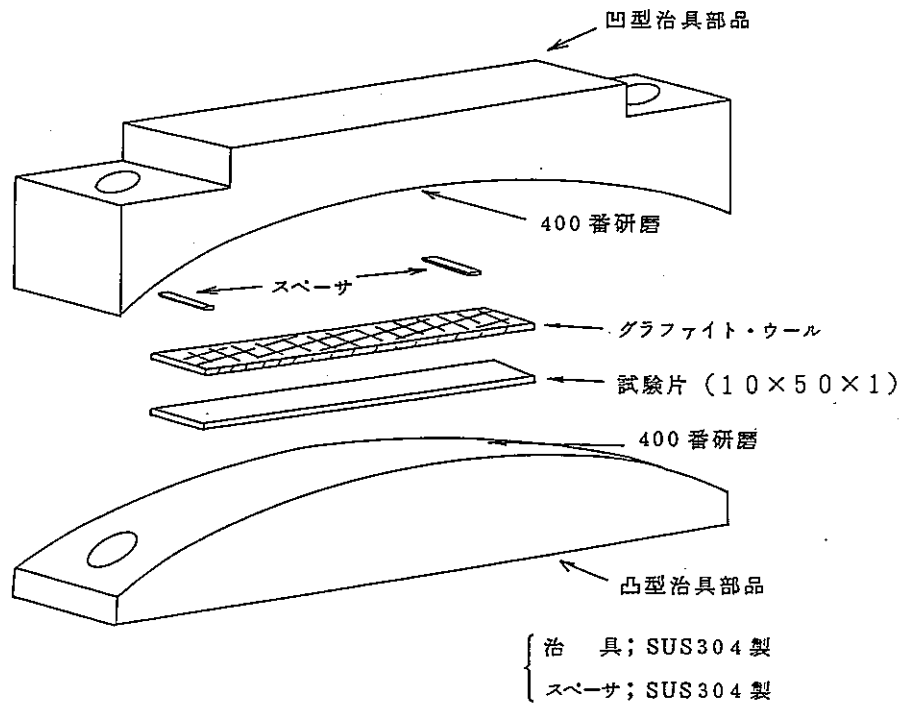


図-1 試験片とCBB試験治具の概要



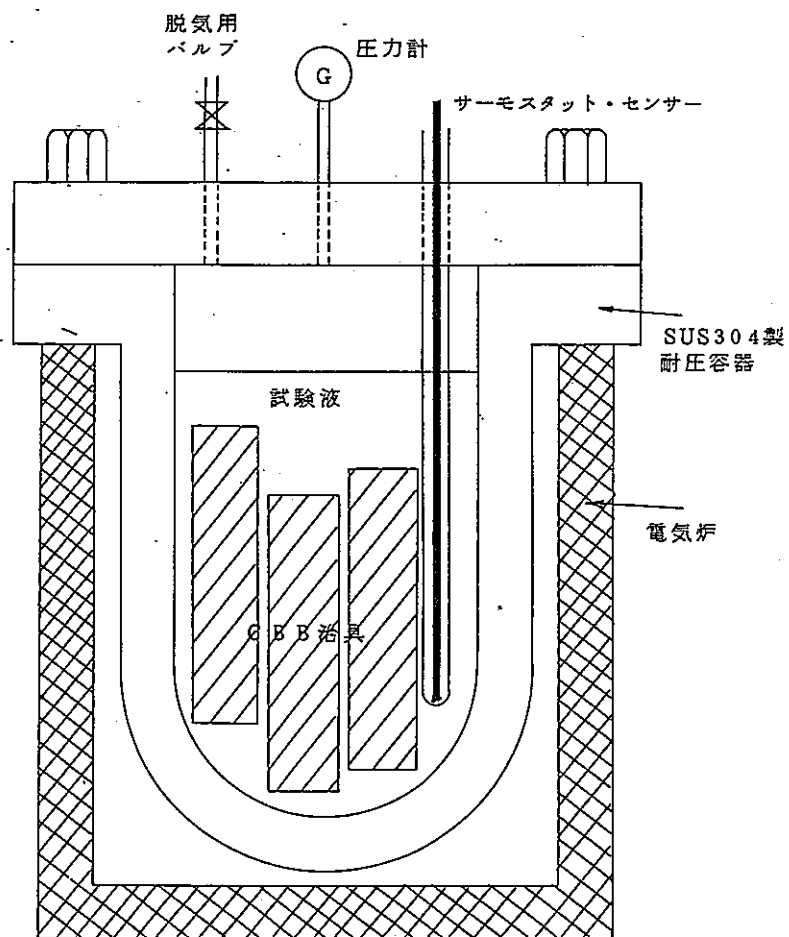


図-2 応力腐食割れ試験の概略

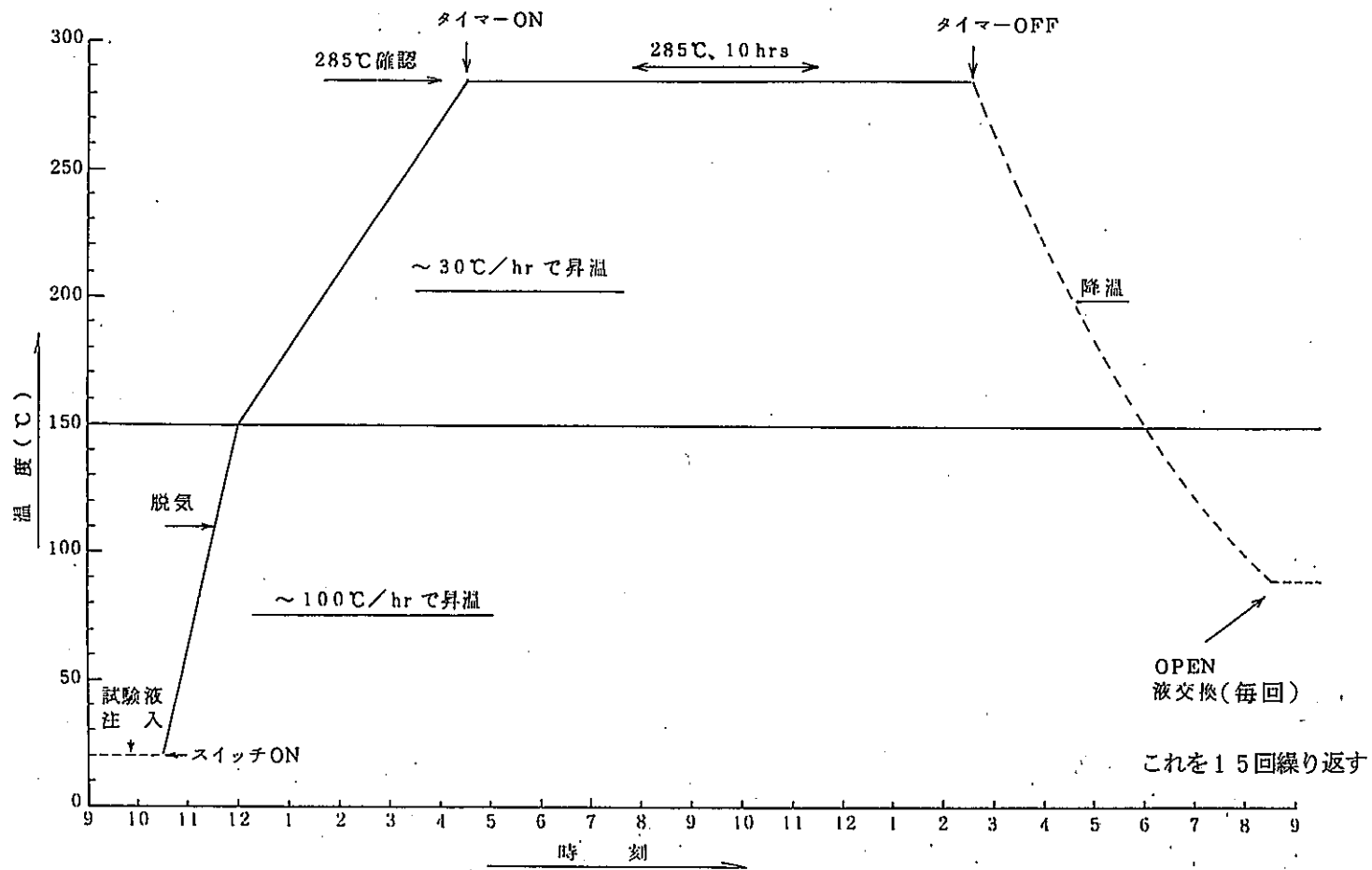
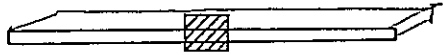
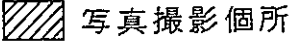
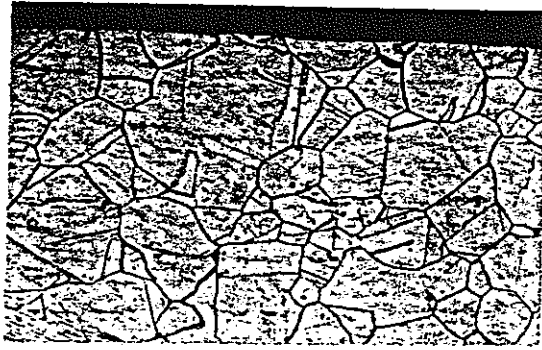


図-3 応力腐食割れ試験の温度曲線

表 - 1 調査項目と調査要領

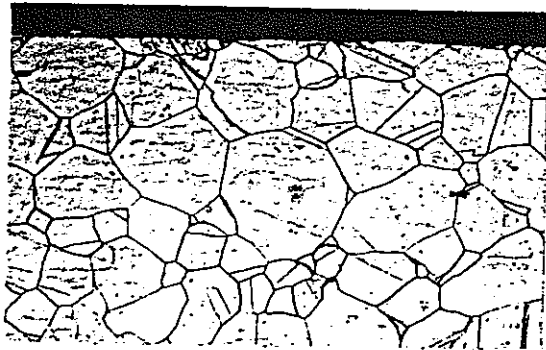
<p>腐 食 量</p>	<p>試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。 また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。 なお、腐食量の表示 (mg) は天秤精度を考慮し、1 mg を下限値とし、単位面積あたりの表示 (mg/cm<sup>2</sup>) も 1 mg/試験片表面積 cm<sup>2</sup> (およそ 0.05 mg/cm<sup>2</sup>) を下限とした。</p>
<p>試験片の検鏡</p>	<p>金属顕微鏡により、試験片断面を観察し、試験前後の表面状態を比較した。 観察は、代表的な箇所を倍率 100 倍で写真撮影した。 各試験片の写真撮影箇所を下図に示す。</p>
<div style="text-align: center;">  <p>(断面)</p> <p style="text-align: right;">  </p> </div>	

応力腐食割れ試験：鋭敏化SUS304



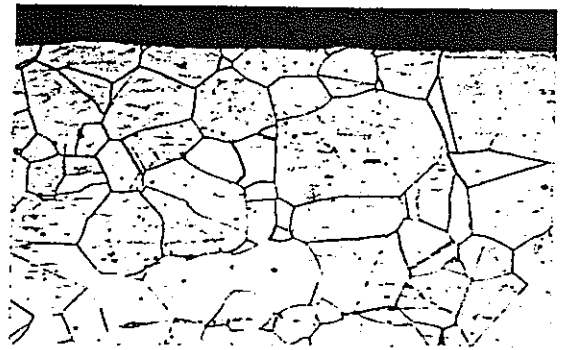
試験前

クリデコン203 20ppm 試験後

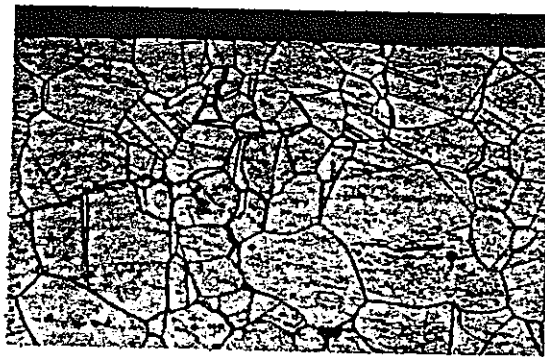


試験片 1

脱塩水試験後



試験片 4



試験片 2



試験片 5

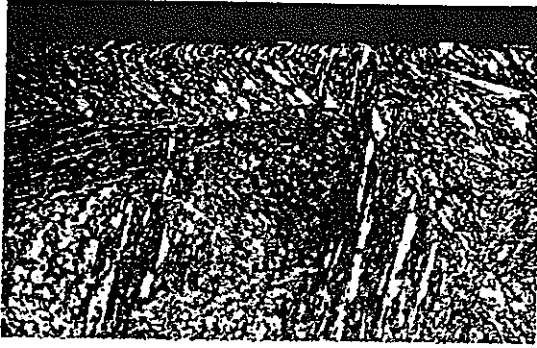


試験片 3



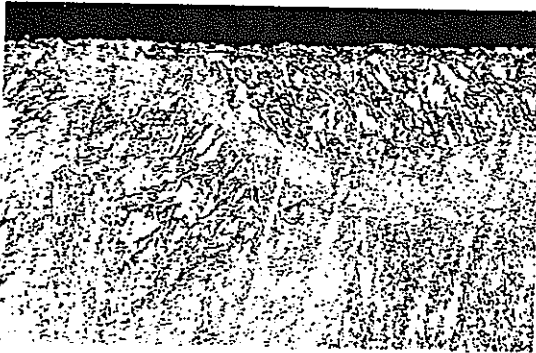
試験片 6

応力腐食割れ試験：SUS50Mod



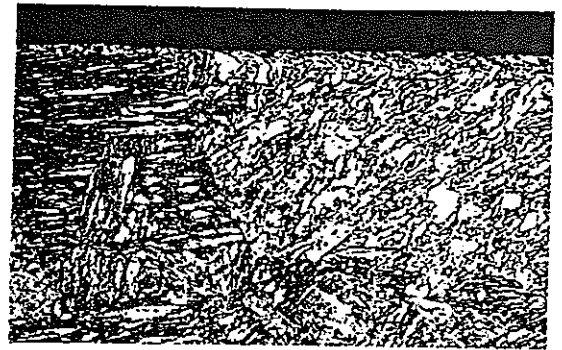
試験前

クリデコン 203 20ppm 試験後

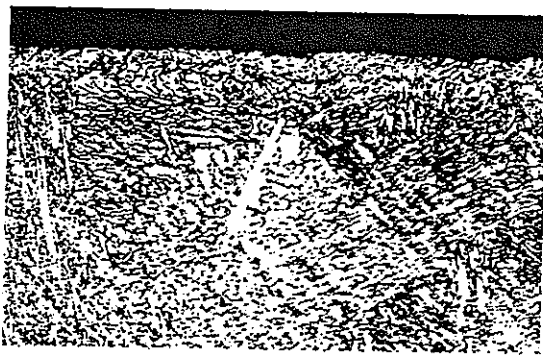


試験片 1

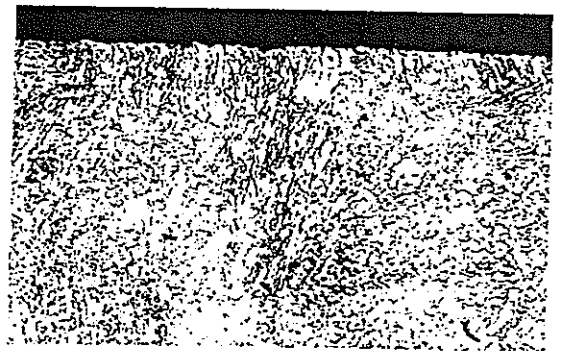
脱塩水試験後



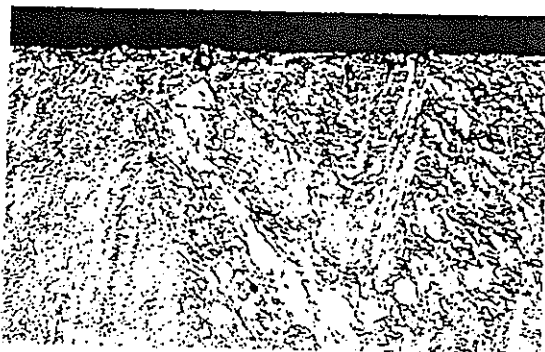
試験片 4



試験片 2



試験片 5

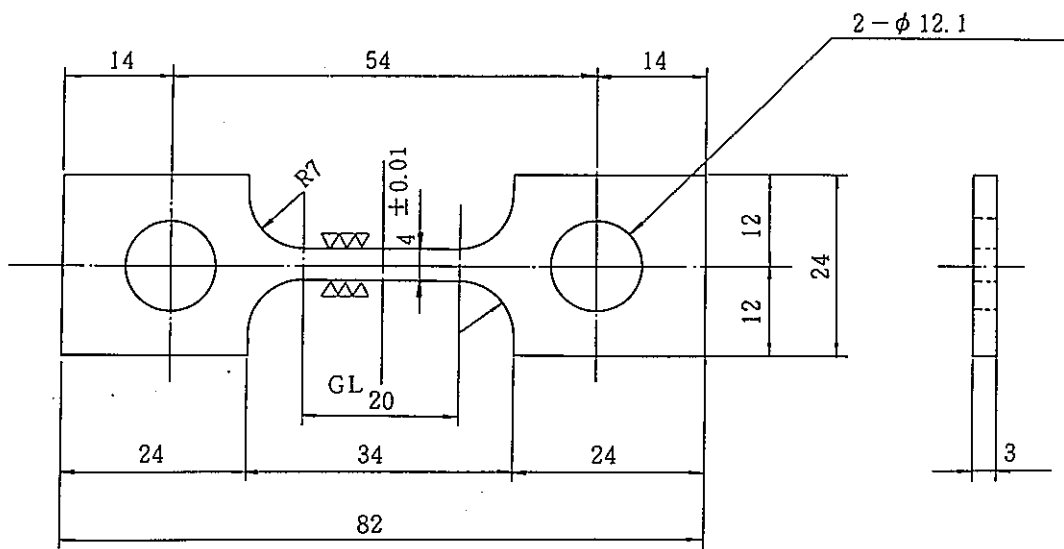


試験片 3



試験片 6

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整理番号
		3-3-(3)-④
件名	除染剤による応力腐食割れ感受性試験（除染後の影響、低歪速度引張試験法）	
回答	添付書類の有無（ <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無）	
<p>           原子炉冷却系の主要構成材料の応力腐食割れ（SCC）に対する除染剤の影響を明らかにするため、除染液によって放射性腐食生成物（クラッド）が溶解されることにより露出した金属表面が、再び炉水に接した場合のSCC感受性を確認するための試験を実施した。         </p> <p>           1. 試験方法         </p> <p>           試験は、炉水条件のもとで、低歪速度引張法で行った。         </p> <p>           試験片の種類・形状・寸法を図-1に、試験方法を図-2、3に、調査要領を表-1に示す。         </p> <p>           2. 試験結果         </p> <p>           試験の結果を表-2 (1/2, 2/2)及び図-4～7に示す。なお、試験の主な結果は以下のとおりである。         </p> <p>           (1) SCC破面率（発生のし易さ）は、除染の有無で有為な差は見られなかった。         </p> <p>           (2) 断面収縮率、破断歪率（共に金属の延性データ）及び最大応力値（金属の強度データ）は、いずれも除染の有無で有為な差はなかった。         </p> <p>           3. 評価         </p> <p>           SCC感受性に及ぼす除染の影響はないと考える。         </p>		



材質：SUS 304鋭敏化材  
 鋭敏化処理：650 °C, 2Hr, 炉冷

図-1 引張試験片の概要

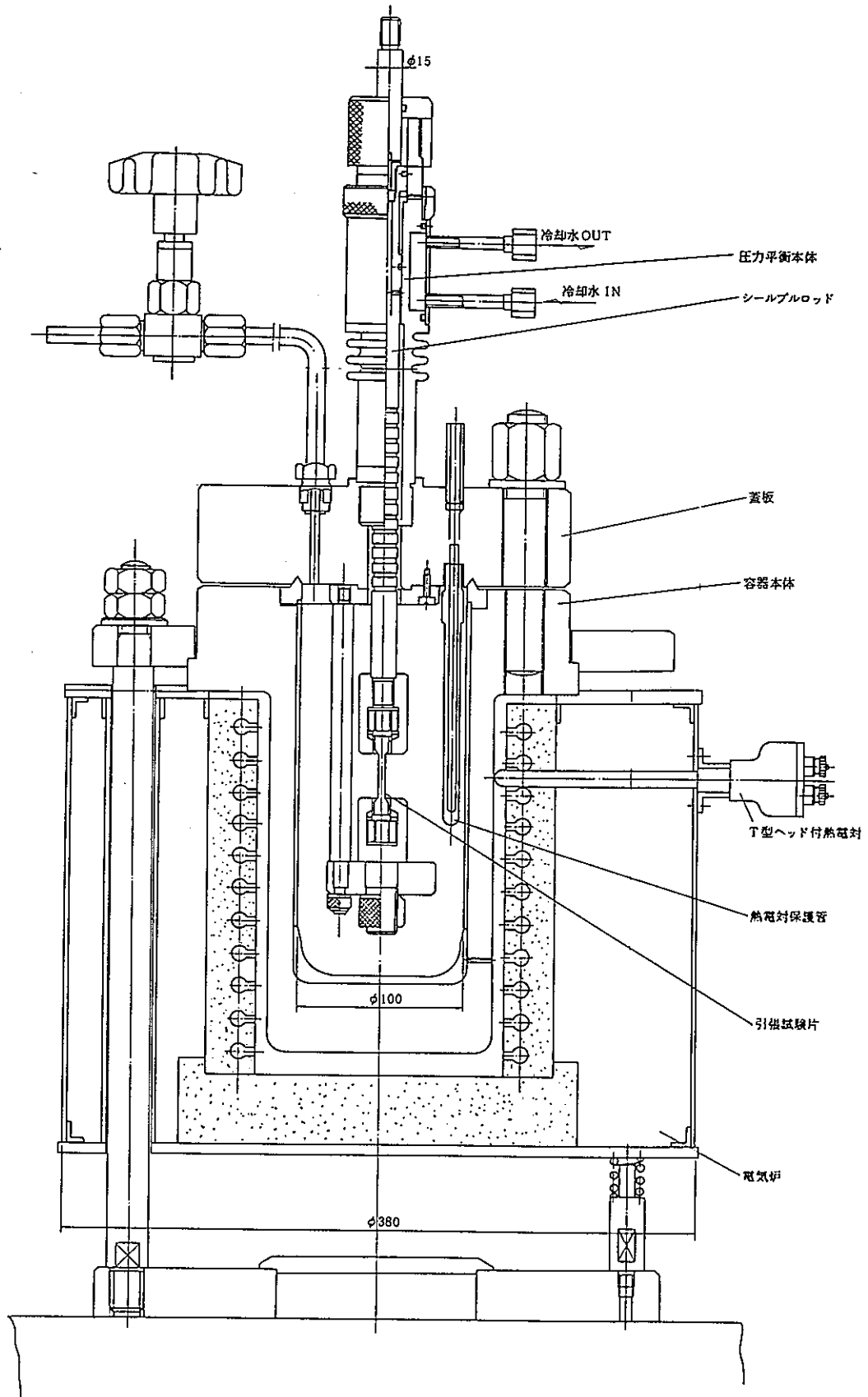


図-2 低歪速度引張試験の概略



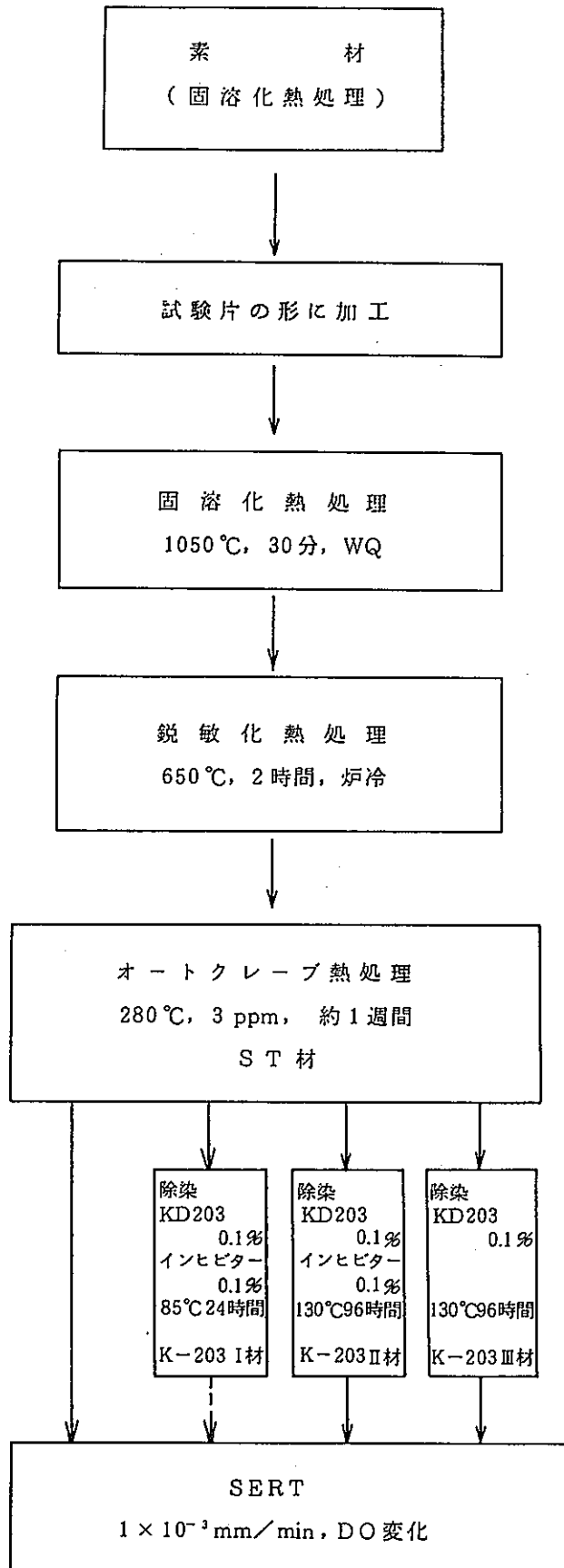


図-3 試験の手順フロー

表-1 調査項目と調査要領

破断歪量	$\frac{\epsilon - \epsilon^{SCC}}{\epsilon}$ , $\frac{\Delta \ell}{\ell_0} \times 100 (\%)$
最大応力値	$\frac{\sigma_{MAX} - \sigma_{MAX}^{SCC}}{\sigma_{MAX}}$ , $\sigma_{MAX}^{SCC}$
断面収縮率	$\frac{A_0 - A^{SCC}}{A_0} \times 100 (\%)$
SCC 破面率	$\frac{A_{SCC}}{A^{SCC}} \times 100 (\%)$
割れ伝播速度	$K_I$

注)

- $\epsilon$  : 腐食が作用しない場合の破断歪量
- $\epsilon^{SCC}$  : 試験時の破断歪量
- $\ell_0$  : 最初の試験片の長さ
- $\Delta \ell$  : 試験による試験片の伸び量
- $\sigma_{MAX}$  : 腐食が作用しない場合の最大応力値
- $\sigma_{MAX}^{SCC}$  : 試験時の最大応力値
- $A_0$  : 最初の試験片の断面積
- $A^{SCC}$  : 試験後の試験片の断面積
- $A_{SCC}$  : 試験後試験片の SCC 破面面積
- $K_I$  : 応力拡大係数を示す

備考) 引張試験片の破断面を走査型電子顕微鏡で観察して、 $A_0$ 、 $A^{SCC}$ 、 $A_{SCC}$  を求める。  
 また、引張試験中の記録紙から、 $\epsilon^{SCC}$ 、 $\sigma_{MAX}$ 、 $\sigma_{MAX}^{SCC}$  を求める。  
 以上から、上記調査項目を算出する。

表-2 低歪引張試験の結果(その1)

歪速度  $\epsilon = 8.3 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1}$

材 料	DO [ppb]	IGSCC [%]	TGSCC [%]	SCC [%]	破断時間 [hr]	破断伸量 [%]	最 大 荷 重		断面収縮率 [%]
							[kg]	[kg/mm <sup>2</sup> ]	
ST - 5	980	80.1	0	80.1	88.0	26.4	300	25	25.2
ST - 6	300	52.3	0.72	53	109.1	32.7	405	33.8	28.5
ST - 7	320	47.4	0.45	47.9	119.1	35.7	455	37.9	24.3
ST - 8	100	21.7	6.1	27.8	141.1	42.3	559	46.6	52.4
ST - 9	51	7.0	1.6	8.6	195.7	58.7	645	53.8	65.0
K203 5	1,000	65.6	0	65.6	76.2	22.8	363	30.3	21.6
K203 6	310	47.6	2.1	49.7	105.3	31.4	465	38.8	35.0
K203 7	105	28.0	1.6	29.6	159.5	47.8	551	45.9	35.8
K203 8	50	0	0	0	255.8	76.8	652	54.3	66.2

備考) ST材: 除染なし

K203材: 除染あり

表-2 低歪引張試験の結果(その2)

材 料	DO [ppb]	IGSCC [%]	TGSCC [%]	SCC [%]	破断時間 [Hr]	破断伸量 [%]	最大荷重		断面収縮率 [%]
							[kg]	[kg/mm <sup>2</sup> ]	
ST-5	980	80.1	0	80.1	88.0	26.4	300	25	25.2
ST-6	300	52.3	0.72	53.0	109.1	32.7	405	33.8	28.5
KD203-I-5	1000	65.6	0	65.6	76.2	22.8	363	30.3	21.6
KD203-I-6	310	47.6	2.1	49.7	105.3	31.4	465	38.8	35.0
KD203-II-1	208	20.5	2.5	23.0	213.5	64.0	547	45.6	35.0
KD203-II-2	194	27.1	0.2	27.3	140.1	42.0	495	41.3	27.6
KD203-II-3	1075	50.5	0	50.5	104.3	29.6	415	34.6	39.1
KD203-II-4	1030	49.3	0	49.3	83.4	25.0	389	32.4	17.3
KD203-III-1	200	17.4	0.6	18.0	147.8	44.3	527	43.9	56.1
KD203-III-2	210	30.8	0.5	31.3	136.1	40.8	475	39.6	40.6
KD203-III-3	1090	43.9	0	43.9	108.2	32.5	420	35.0	30.0
KD203-III-4	940	44.5	0	44.5	99.3	29.8	409	34.1	34.9

備考) ST材: 除染なし

K203・I: 除染あり  
(80℃)

K203・II: 除染あり  
(130℃)

K203・III: 除染あり  
(130℃)  
(インヒビターなし)

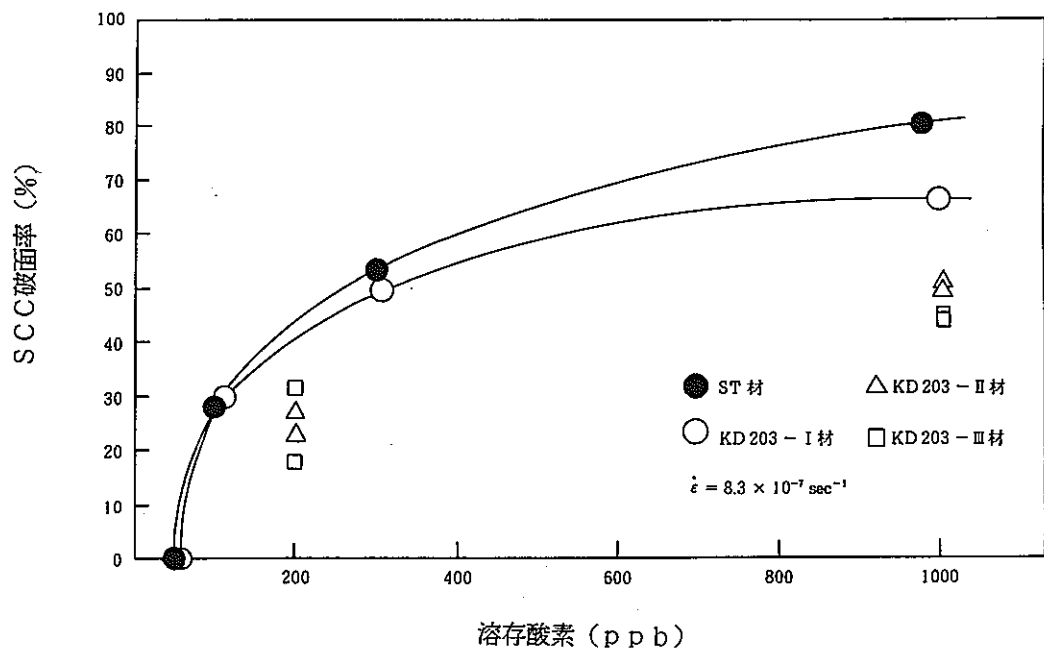


図-4 SCC破面率と溶存酸素の関係

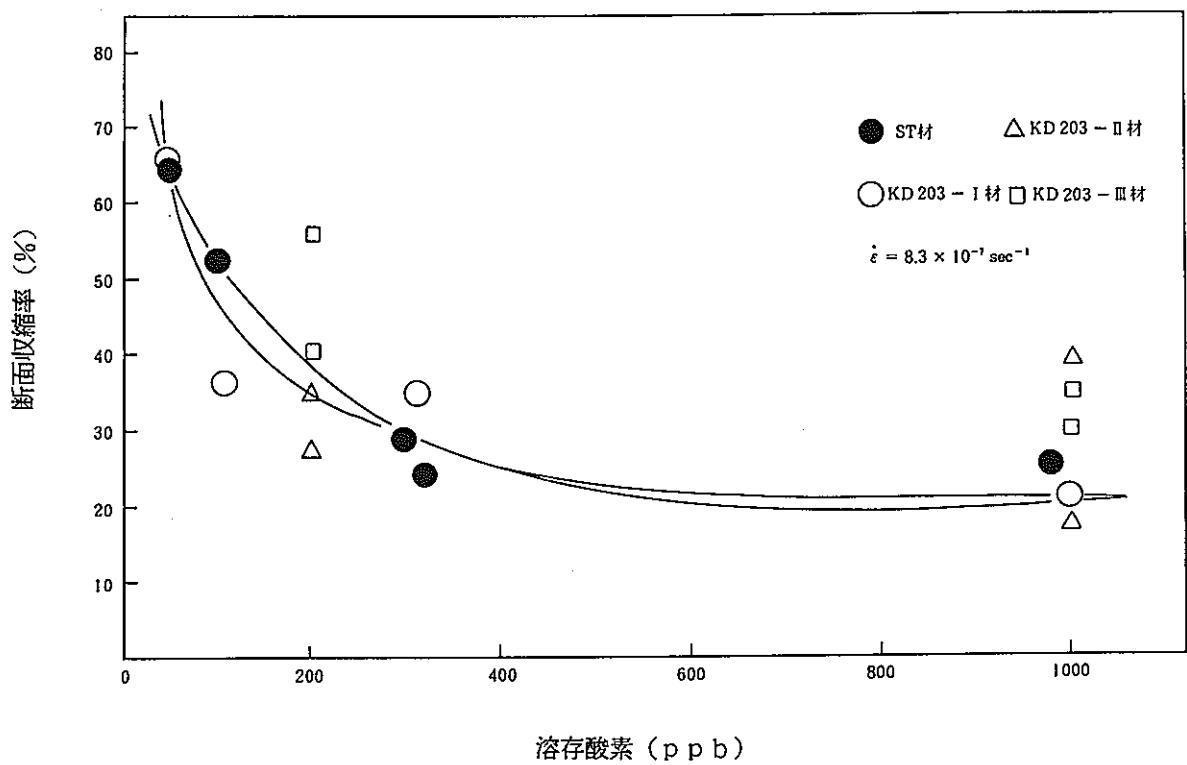


図-5 断面収縮率と溶存酸素の関係

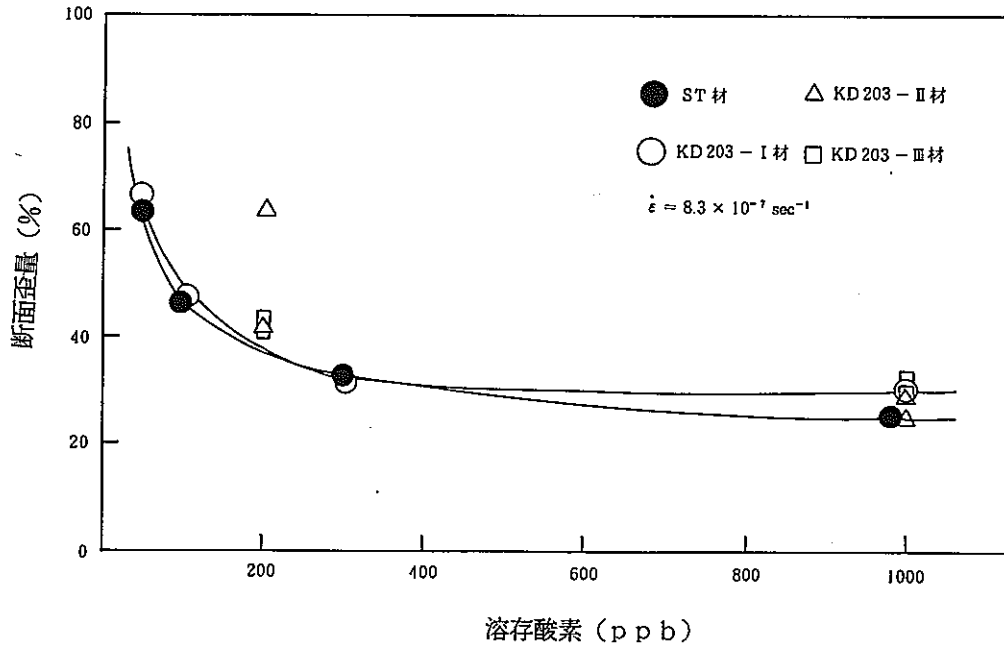


図-6 破断歪量と溶存酸素の関係

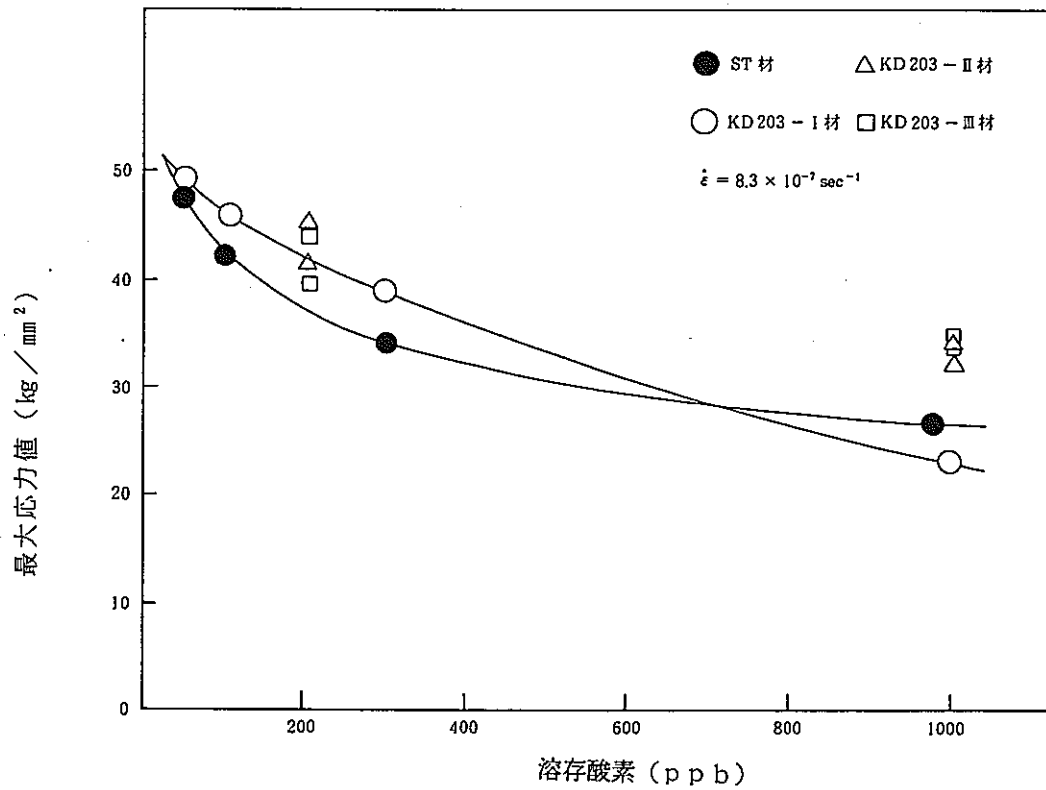


図-7 最大応力値と溶存酸素の関係

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料	整理番号
	3-3-(4)

件名	圧力管ロールジョイント部の除染影響評価（除染後の影響）
..... ..... .....	

回答	添付書類の有無（有，無）
----	--------------

1. 目的

.....

圧力管ロールジョイント部は、Zr-2.5%NbとSUS403Modとが冷間圧着されている。この個所は、炉心部ということでもあり、除染の影響を明確にする必要がある。

.....

2. 試験の視点

.....

〔運転+除染〕の10回の繰り返しによって、ロールジョイント部（圧着隙間部）がどの程度の腐食を受けるか、また、その耐久性に影響がないのかを調べる。

.....

3. 試験方法

.....

ロールジョイント部模擬圧力管を用い、〔運転+除染〕を10回繰り返す方法で試験した。

.....

試験体の形状寸法を図-1に、試験方法を図-2に、調査要領を表-1に示す。

.....

4. 試験結果

.....

試験結果の一部を表-2, 3に示す。

.....

(1) 運転+除染サイクルの7回以降、ロールジョイント部のヘリウムリーク試験を毎回実施したが、いずれも検出感度以下であり、許容漏洩量を十分に満足していた。

.....

(2) 電気化学的測定法により求めた減肉量は、設計基準値を十分満足した。

.....

5. 評 価

設計基準を十分に満足しており、除染による影響はないものと思われる。



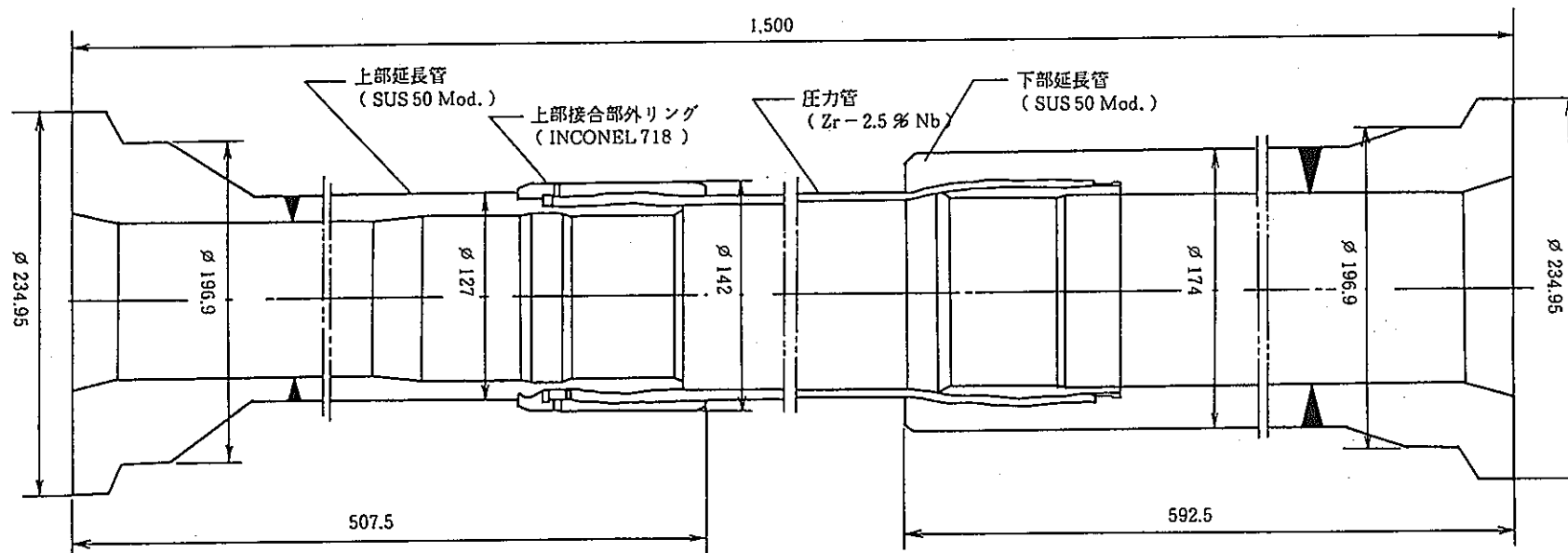
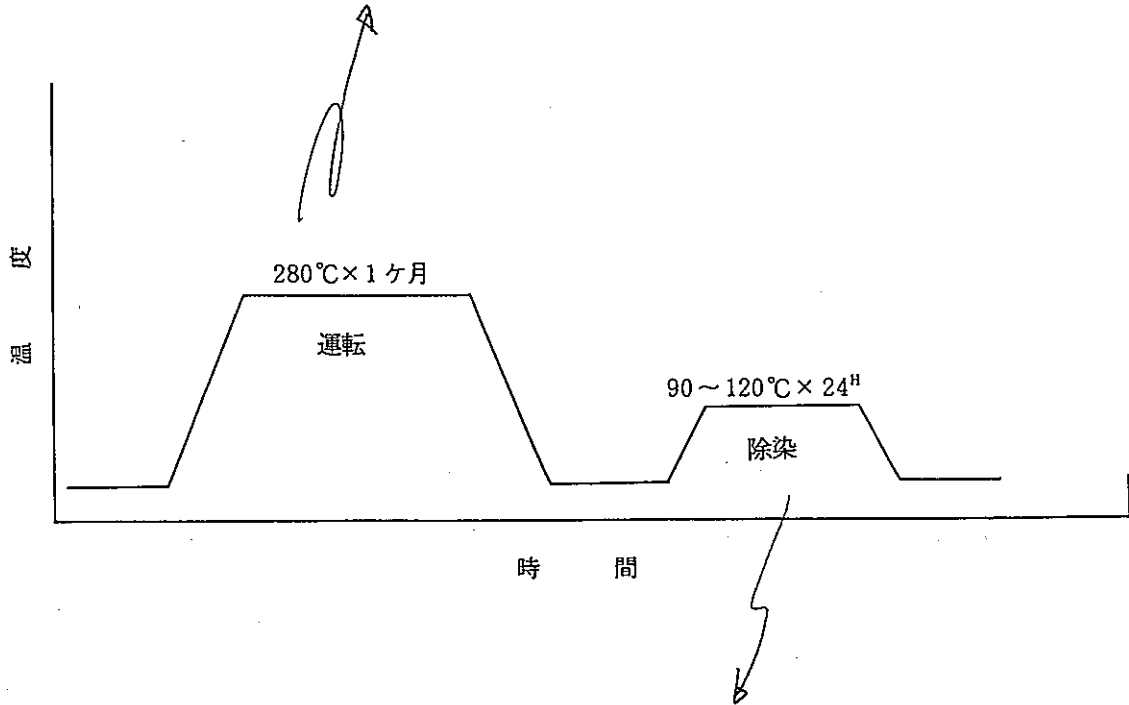


図-1 ロールジョイント試験体の概要

試験温度	280℃
試験圧力	72~75 kg/cm <sup>2</sup> G
溶存酸素量	200~300 ppb
電導度	0.3~0.4 μS/cm
試験時間	10サイクル(1ヶ月/サイクル)



除染剤	K203 (キレート剤)
濃度	0.1%
除染温度	(90℃~120℃)
除染時間	24時間
pH	5
除染時期	1サイクル試験毎
昇・降温速度	50℃/hr 以下

図-2 運転・除染の繰り返し試験の概略

表-1 調査項目と調査要領

内 面 検 査	内視鏡による内部観察
ヘリウムリーク試験	5 kg/cm <sup>2</sup> で1 h r 加圧放量してリークの調査
超音波探傷試験	除染による損傷有無の調査
腐食率測定	電気化学的測定による腐食量の測定
残留応力測定	歪ゲージ法により圧着部の残留応力測定

表-2 ヘリウムリーク試験の結果

試験位置	試験時期	試験圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Heガス濃度 (%)	放置時間 (min)	最高検出感度 (Acc/sec)	漏洩量 (Acc/sec)
① ・ ④	第7回運転値	-	-	-	-	-
	第8回運転値	5	約17	180	$1.33 \times 10^{-6}$	$< 1.33 \times 10^{-6}$
	第9回運転値	5	約17	120	$8.38 \times 10^{-7}$	$< 8.38 \times 10^{-7}$
	第10回運転値	5	約17	180	$4.19 \times 10^{-7}$	$< 4.19 \times 10^{-7}$
② ・ ③	第7回運転値	5	約17	120	$2.99 \times 10^{-7}$	$< 2.99 \times 10^{-7}$
	第8回運転値	5	約17	180	$6.67 \times 10^{-7}$	$< 6.67 \times 10^{-7}$
	第9回運転値	5	約17	120	$4.19 \times 10^{-7}$	$< 4.19 \times 10^{-7}$
	第10回運転値	5	約17	180	$2.10 \times 10^{-7}$	$< 2.10 \times 10^{-7}$
	規定値	5	10以上	60以上	-	$< 1 \times 10^{-4}$

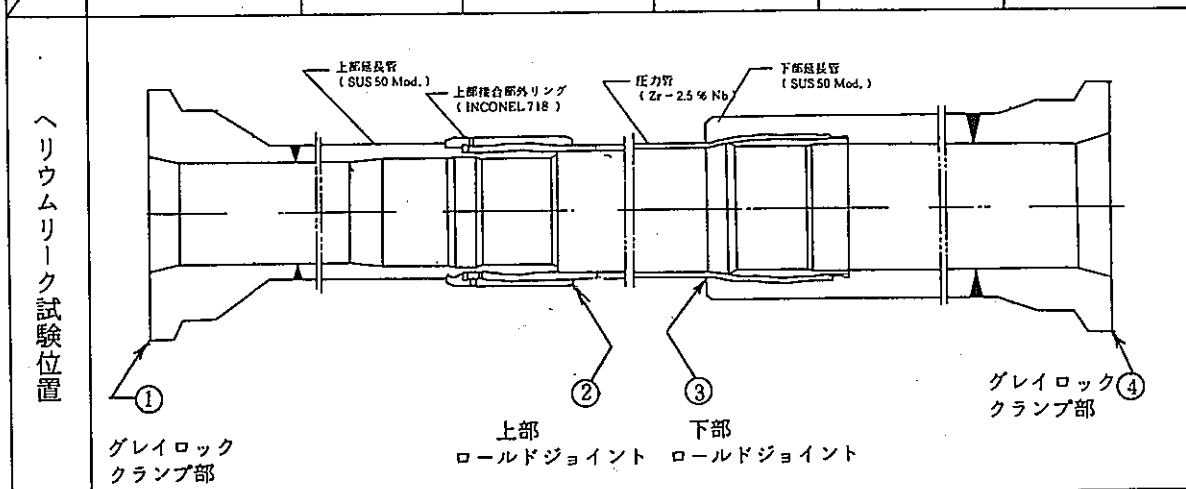


表-3 腐食試験\* の結果

測定所	腐食速度			設計許容値
	腐食電流 I corr ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	腐食量 $\Delta W$ (mdd)	減肉量 ( $\mu\text{m}$ )	
圧力管 HTZr-2.5%Nb				30年間 310 $\mu\text{m}$
接液部 (内面側)	0.040	0.082	0.45	
接触部	0.065	0.133	0.75	$\times 30 = 22.5 \mu\text{m}$
延長管および 内リング SUS403 Mod.				除染1回当りの 許容値 1 $\mu\text{m}$ (ステンレス鋼)
接液部 (内面側)	0.214	0.536	2.5	$\div 10 = 0.25 \mu\text{m}$
接液部	0.133	0.333	1.9	

\* : 電気化学的測定による。



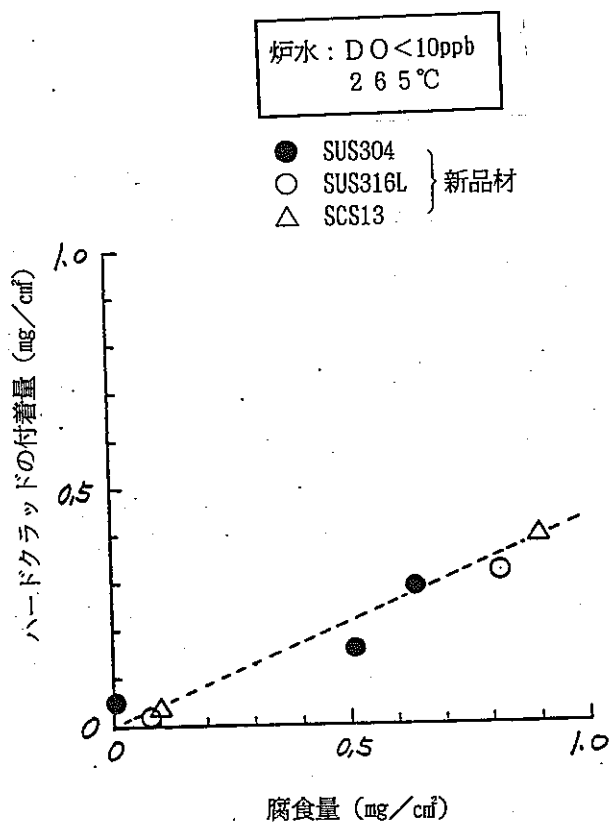


図-1 母材の腐食量とクラッド付着量の関係

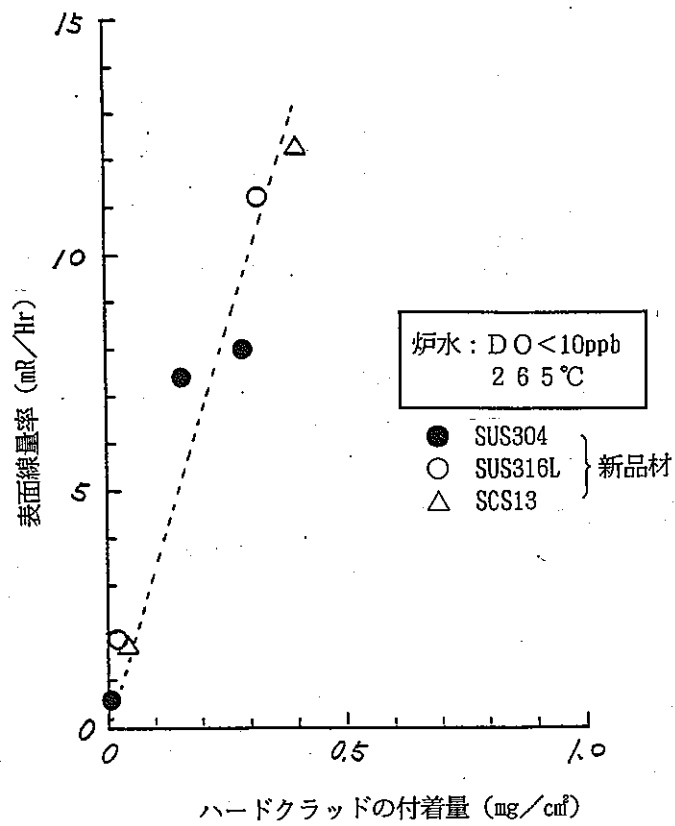


図-2 クラッド付着量と表面線量率の関係

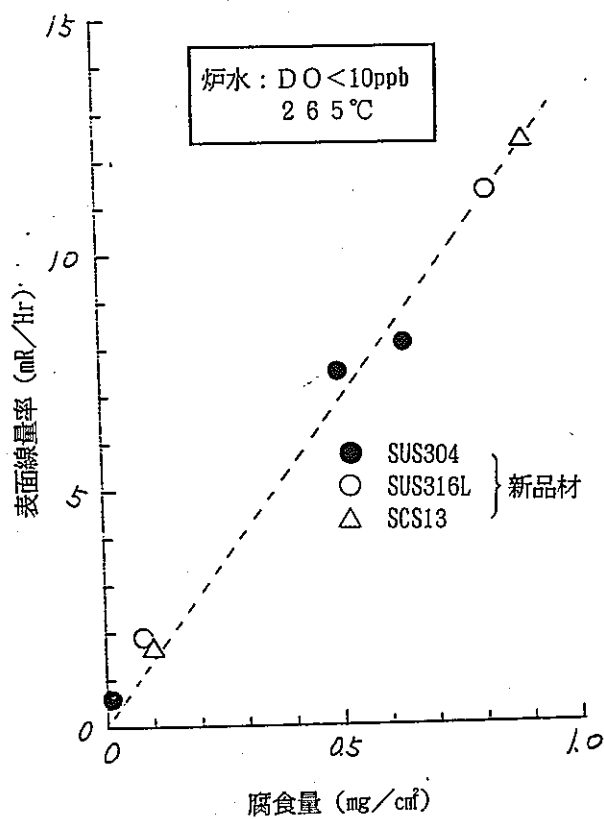


図-3 母材の腐食量と表面線量率の関係

UCLT

通水流量 : 150~234ℓ/ℓr

360~398ℓ/ℓr

出口DO : 0.6~3.0ppb

6.3~12.6ppb

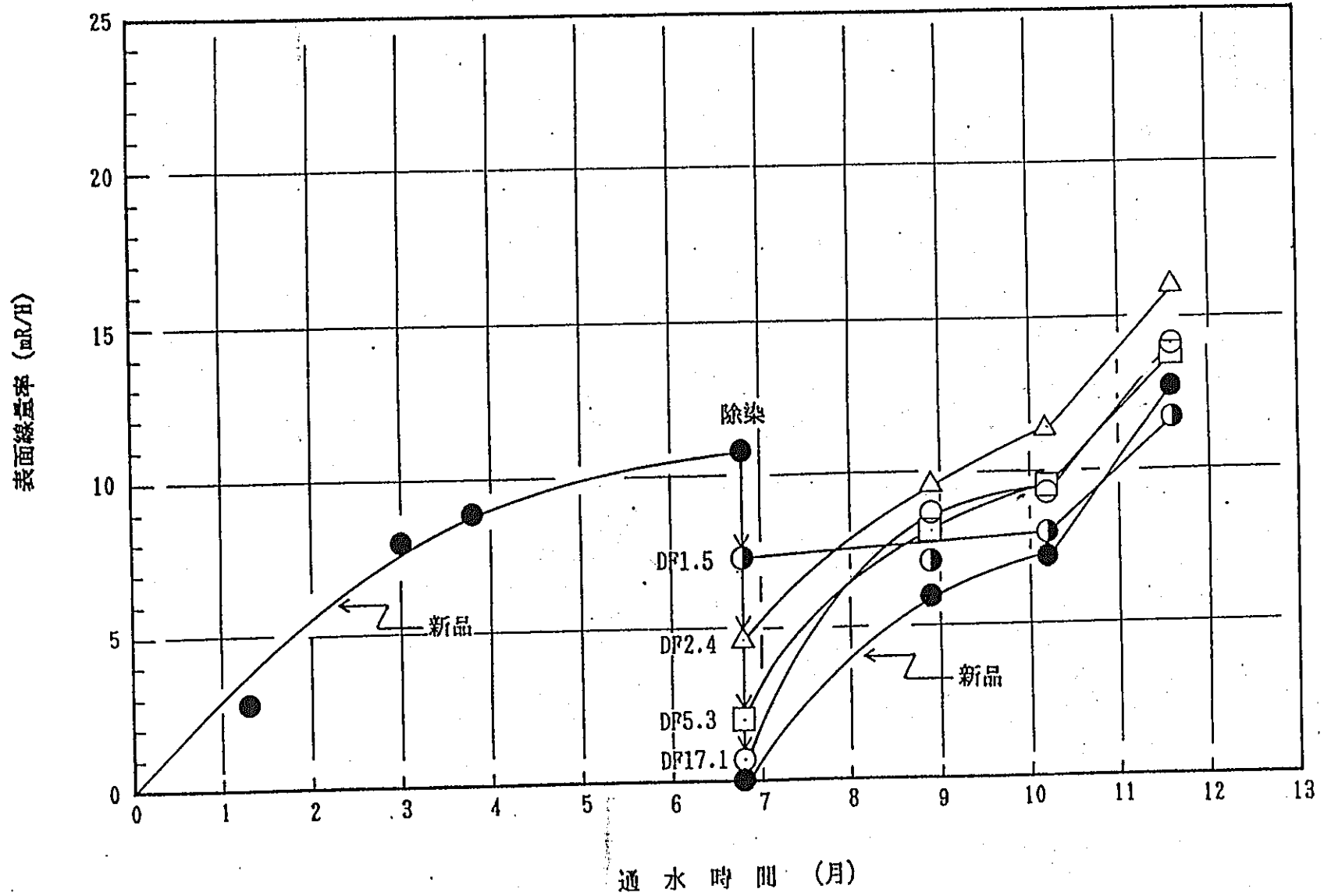


図-4 SUS304材の再汚染状況



UCLT

通水流量 : 150~234ℓ/Hr

360~396ℓ/Hr

出口DO : 0.6~3.0ppb

6.3~12.6ppb

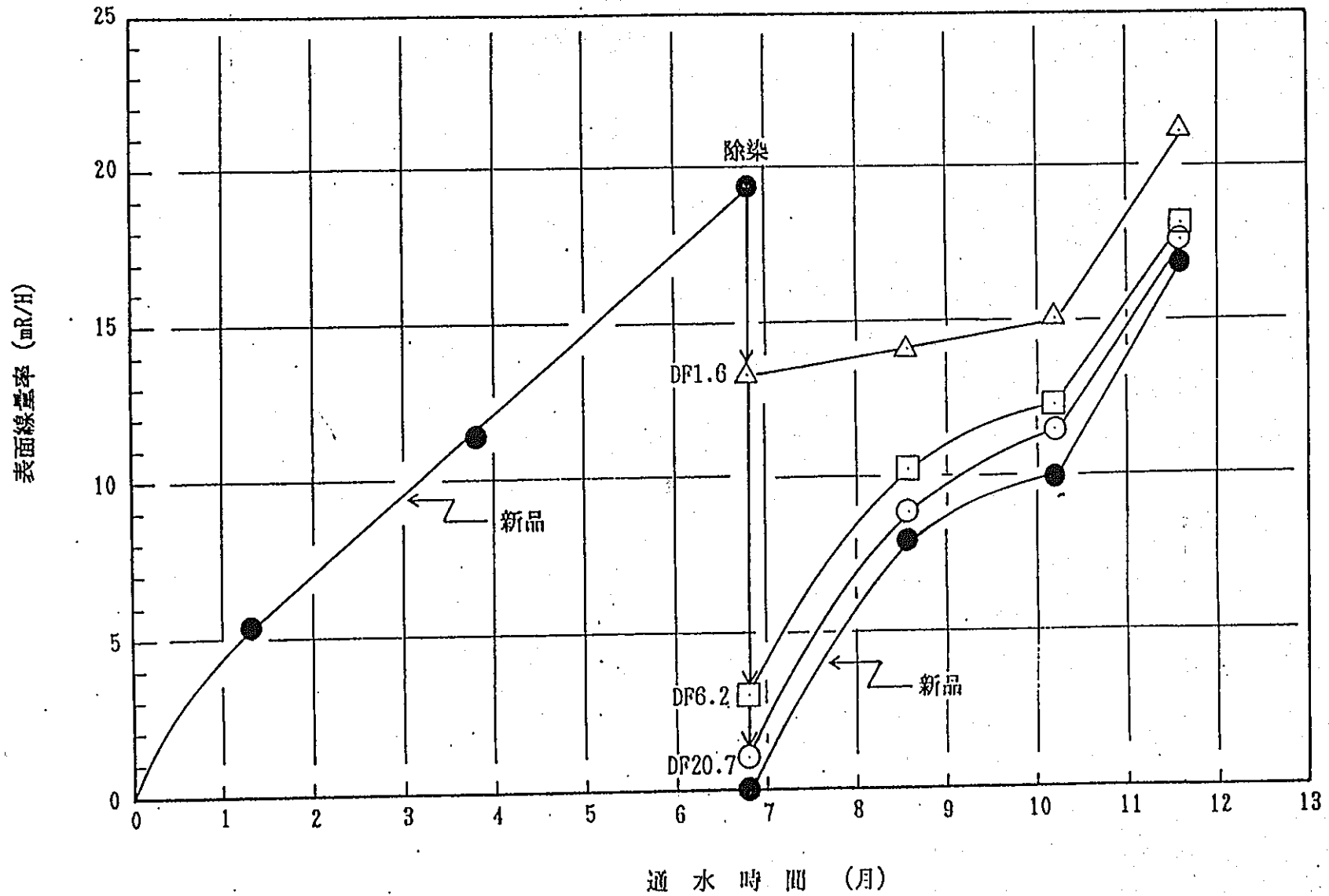


図-5 SUS316L材の再汚染状況

UCLT

← 通水流量 : 150~234ℓ/Hr

380~396ℓ/Hr →

出口DO : 0.6~3.0ppb

6.3~12.6ppb

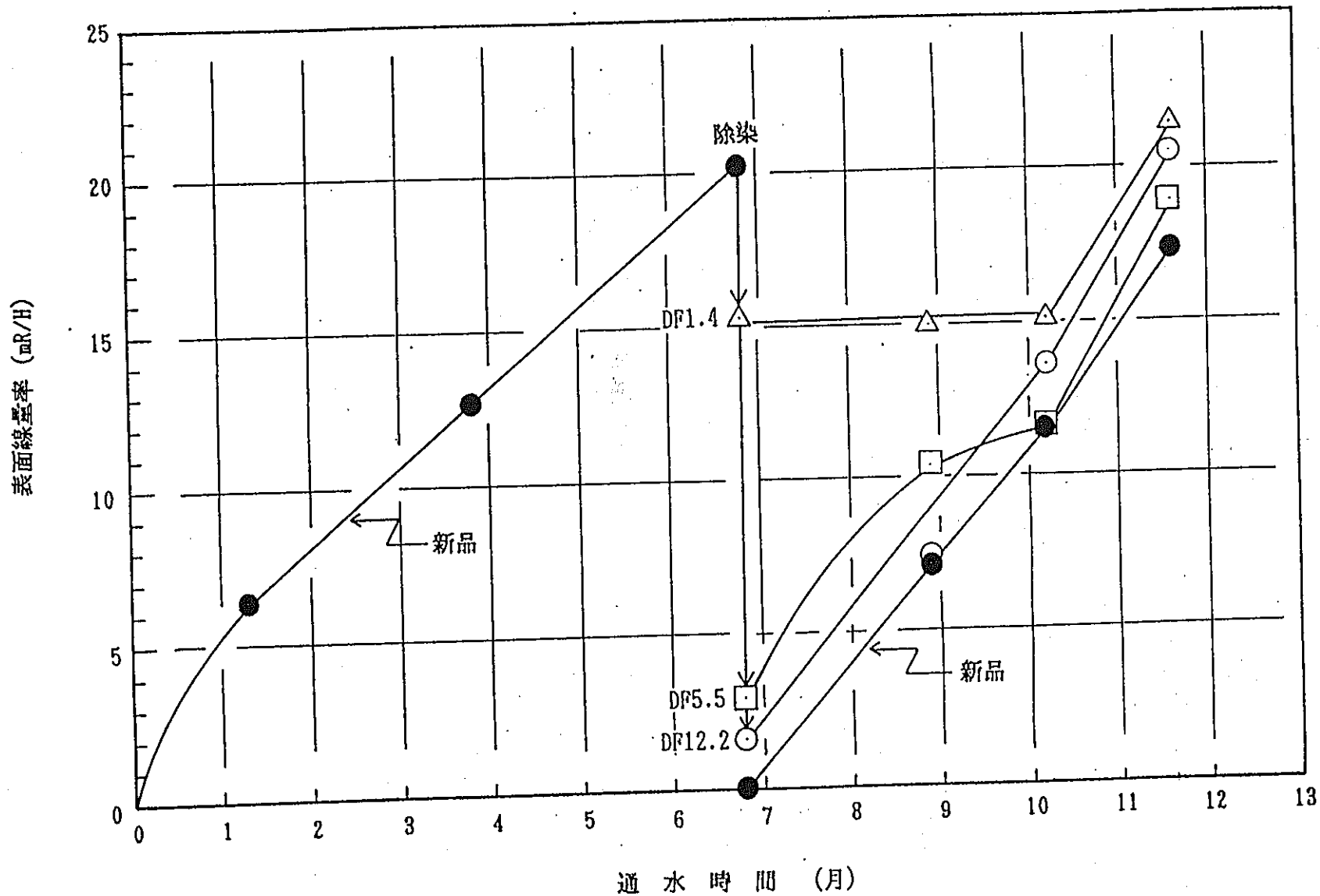


図-6 SCS13材の再汚染状況



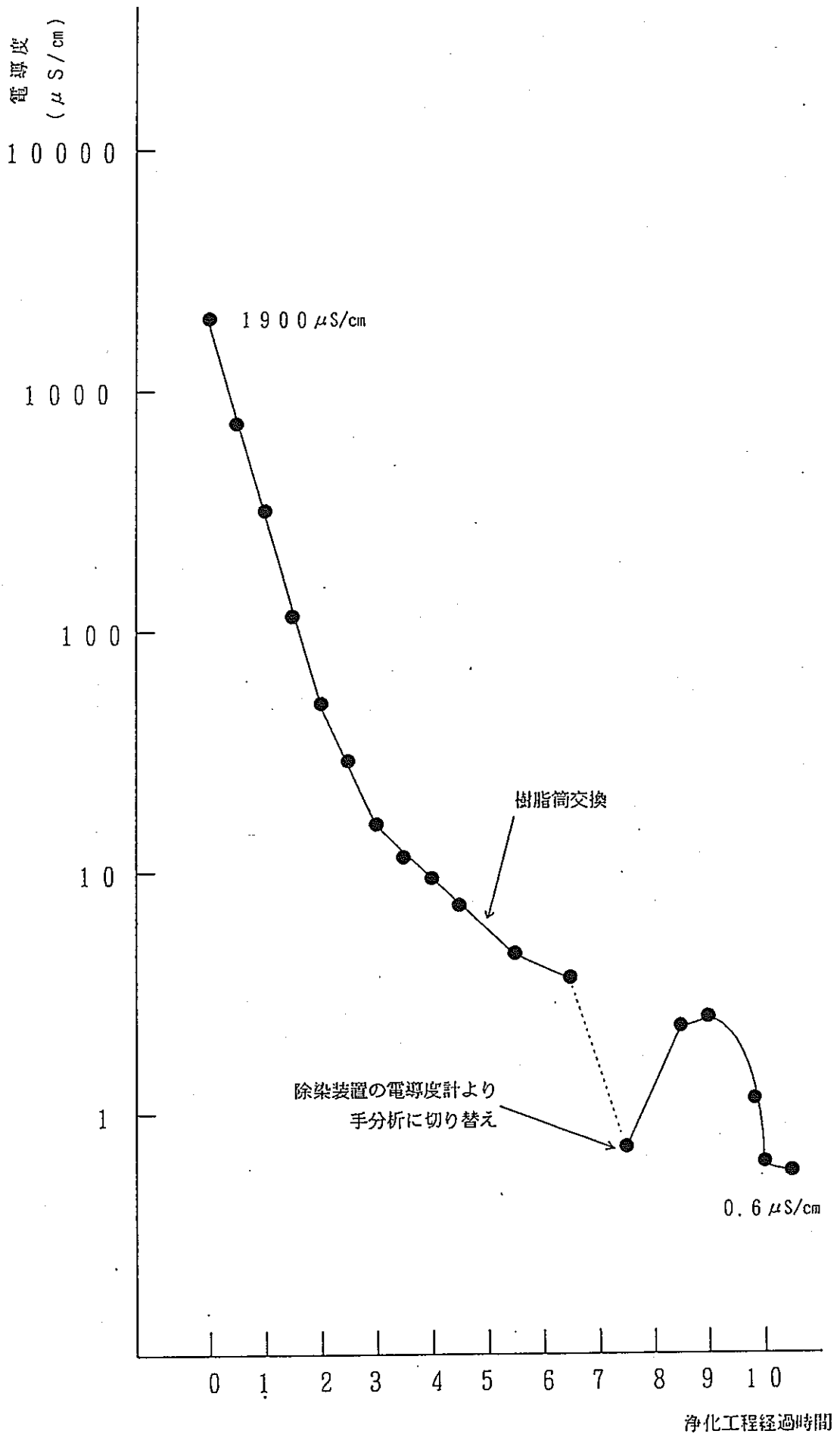


図-1 浄化時の除染液電導度推移 (RHR熱交除染)

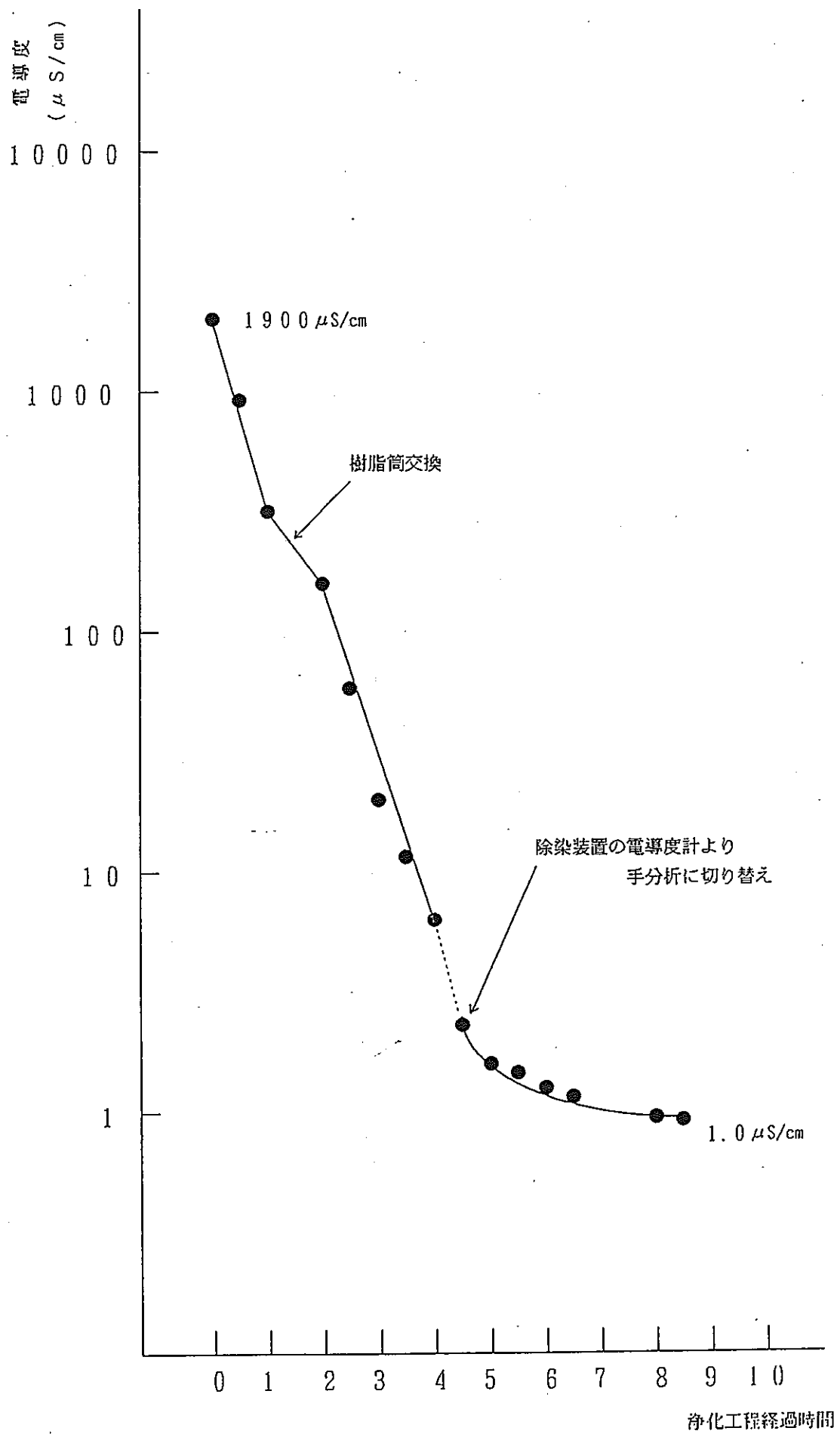


図-2 浄化時の除染液電導度推移 (CUW熱交除染)

表-1 熱交換器化学除染による廃棄物

	RHR熱交除染	CUW熱交除染	表面線量率 (mR/h)
樹脂筒 (鉛遮蔽ドラム缶)	3 本 (4 本)	4 本	RHR-120 (MAX)
	注) RHRで使用した樹脂筒を1基CUWに使用		CUW-160 (MAX)
フィルター (鉛遮蔽ドラム缶)	1 本	1 本	RHR-20 (MAX) CUW-130 (MAX)
合計	4 本	5 本	総合計 9本



表-1 「ふげん」における機器除染の実績

除 染 対 象	実 施 時 期	除 染 法	除 染 温 度	結 論
遮へいプラグラッチ部	昭和56年5月 ～	クリデコン101 10% 2時間 + クリデコン201 5% 6時間	80℃	DF 2～5  (例 300mR/h→140mR/h)
原子炉再循環ポンプインペラー インターナル	昭和57年11月  (第3回定期検査時)	{ クリデコン101+クリデコン202 (10%, 2h) (5%, 1h) } × 2サイクル + 超音波加振 + フラッシング	クリデコン101 (80±5℃) +s クリデコン202 60-℃	DF 3～5  (例2500mR/h→700mR/h)
* 燃 料 交 換 機	昭和60年8月26日～ 9月12日 (第5回定期検査)	クリデコン203 0.1% 24時間	110℃	平均DF 4.7  (例 200mR/h→50mR/h)
* 原 子 炉 浄 化 系 熱 交 換 器	昭和62年1月  (第6回定期検査時)	クリデコン203 0.2% 22時間	120℃	再生熱交 平均 DF 2~5 目標 DF 5 非再生熱交 平均 DF 5~10
* 余 熱 除 去 系 熱 交 換 器	昭和62年1月  (第6回定期検査時)	クリデコン203 0.2% 18時間	120℃	平均DF 7
シ ー ル リ ー ク 検 出 系	昭和62年1月  (第6回定期検査時)	クリフレッシュA301 3~6%(H <sub>2</sub> O) クリデコン101 0.1% 1時間 クリデコン205 5% 24時間	A301: 常温 101: 80℃ 205: 80℃	(例 300mR/h→140mR/h)

\*: 実証試験



表-2. 実証試験概要

機器名称	除染条件	除染結果
燃料交換機	除染剤：KD203 濃度：0.1% 温度：110℃ 時間：24時間	① 圧力容器底部にクラッドが堆積したが、その他の部分の表面線量率によるDFはほぼ目標の4.7であった。 ② 圧力容器底部に堆積したクラッドは、高圧ジェット水によるフラッシングで除去した。
RHR熱交換器 (管側)	除染剤：KD203 濃度：0.2% <sup>*1</sup> 温度：120℃ 時間：8 <sup>*2</sup> 時間	① 開放前の表面線量率については、DFは約3であった。これは、除染対象外であるもう1基のRHR熱交換器が同室にあることから、この線量率の影響を受けたためと考えられる。 ② 除染後の開放時の線量率は10mR/h程度であり予測値(280mR/h)に対しDFは約28であった。 ③ ハンディゲルマによる測定でDFは約18であった。 ④ 除染廃液処理では約10時間で1,900μS/cmから1μS/cm以下となった。廃棄物は鉛遮へい付ドラム缶5本、表面線量率は200mR/h以下であった。 ⑤ 除去放射エネルギーは0.5Ci、除去クラッド量は約1.7kgであった。 ⑥ 被曝低減量は6.6人・レム(除染をしないと仮定した予測線量値は13.0人・レム)であった。 ⑦ テストピースの腐食量は、炭素鋼(STPT38, SB42)で約3μm、ステンレス鋼(SUS304)で~0μmであった。
CUW熱交換器 (管側)	除染剤：KD203 濃度：0.2% <sup>*1</sup> 温度：120℃ 時間：16 <sup>*2</sup> 時間	① 表面線量率に基づくDFは、再生熱交換器で約4、非再生熱交換器で約8~45と良好な性能を示した。再生熱交換器のDFが低いのは、除染対象外の胴側(再生熱交換器の場合胴側にも通常運転中、原子炉冷却水が流れる)の線量率の影響があるためである。 ② ハンディゲルマによる測定でDFは約20であった。 ③ 除染廃液処理では約8時間で1,900μS/cmから1μS/cm以下となった。廃棄物は鉛遮へい付ドラム缶5本、表面線量率は200mR/h以下であった。 ④ 除染により雰囲気線量が90mR/hから10mR/hに低下した。 ⑤ 除去放射エネルギーは3.7Ci、除去クラッド量は約1.0kgであった。 ⑥ 被曝低減量は8.0人・レム(除染をしないと仮定した予測線量値は15.5人・レム)であった。 ⑦ テストピースの腐食量は、ステンレス鋼(SUS316)で~0μmであった。

注) \*1 : 熱交換器の場合、除染対象表面積が大きいため除染剤の消費を見込んで0.2%とした。

\*2 : 除染時間については、除染液中のグロスγが安定するまでの時間である。



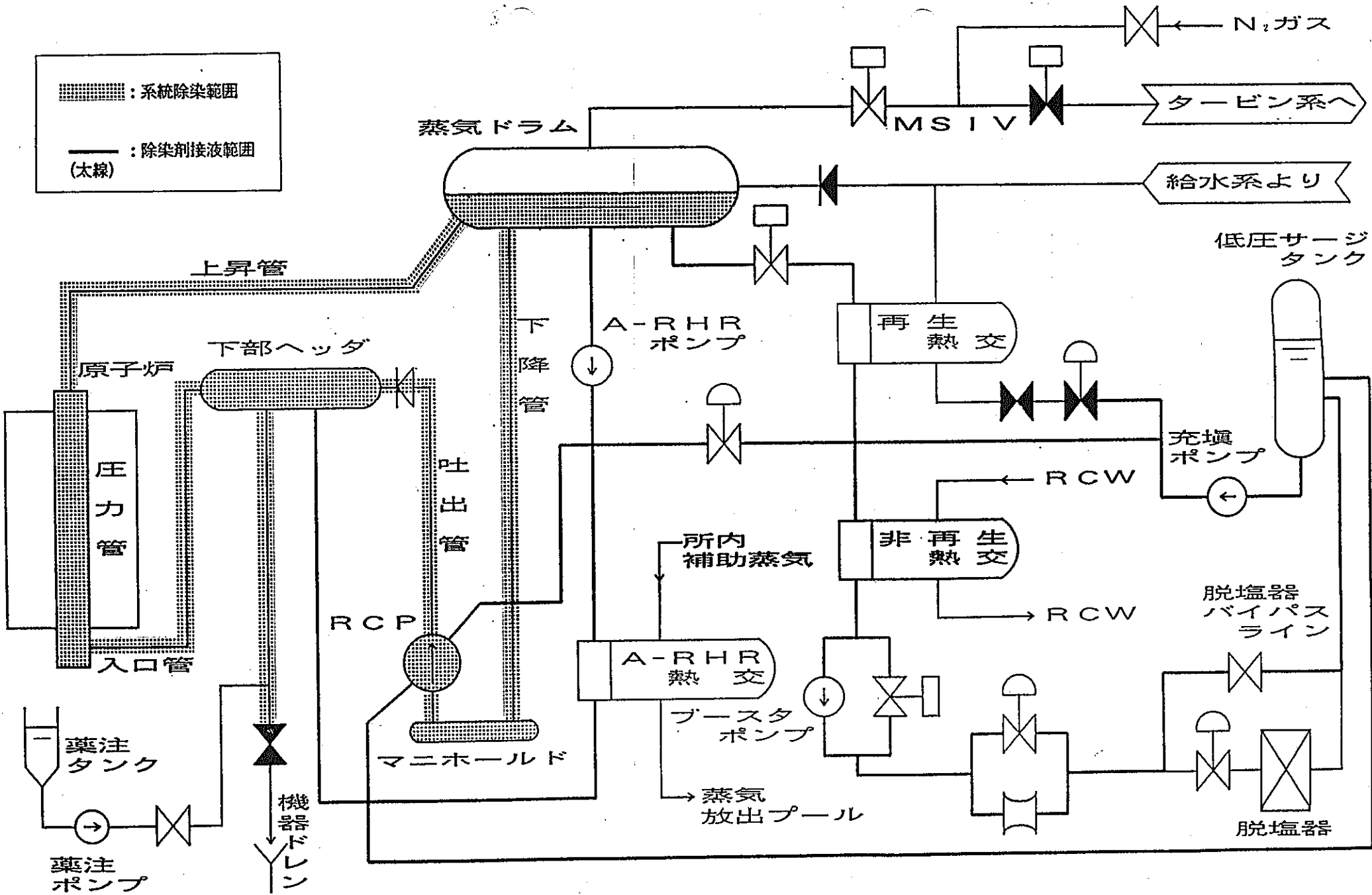


図 - 1 . 系 統 除 染 範 圍

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整 理 番 号
	4 - 2

件 名	除去クラッド量の見積り
-----	-------------

.....

.....

.....

回 答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有, 無 )
-----	---

系統除染において、除染剤が接液する範囲のクラッド量と放射エネルギーの見積りは、以下のとおりである。なお、詳細は添付資料参照。

- 1. クラッド量 ..... 約 4 0 kg
- 2. 放射エネルギー ..... 約 2 0 0 C i

見積りの根拠は次の通りである。

- 1. 各部のクラッド及び放射能の付着量は原則として実測値の平均値を採用した。
- 2. 各部構成材料の表面積及び保有水量は、設計図面を基に計算により求めた。
- 3. クラッド付着量等の実測データがない部位については、以下の扱いにより値を決定した。
  - ① SUS 3 0 4 のクラッド付着量は、実測値より  $2 \text{ mg/cm}^2$  とし、この内訳はソフト層（推積物）が  $1 \text{ mg/cm}^2$ 、ハード層（酸化皮膜）が  $1 \text{ mg/cm}^2$  とした。
  - ② 炭素鋼のクラッド付着量は、炭素鋼と SUS 3 0 4 の炉水による腐食データより SUS 3 0 4 の 1 0 倍 ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 1 0 = 1 0 \text{ mg/cm}^2$ ) とした。
  - ③ 圧力管は、材料を Z r - 2.5 % N b、SUS 3 0 4 及び SUS 4 0 3 Mod の 3 種に分け、Z r - 2.5 % N b は SUS 3 0 4 のソフト層と同等、SUS 4 0 3 Mod は炉水による腐食データより SUS 3 0 4 の 2.5 倍とした。
  - ④ その他、SCS 1 3 は、炉水による腐食データより SUS 4 0 3 Mod と同等とした。
  - ⑤ SUS 3 0 4 であっても炉水低温部（RHR 系統）はソフト層のみ ( $1 \text{ mg/cm}^2$ ) とした。

表-1. 各系統のクラッドと放射能の見積量

名称 \ 項目	面積 (m <sup>2</sup> )	保有水量 (m <sup>3</sup> )	クラッド量 (kg)	放射能 (Ci)
原子炉本体	1176.3	21.8	22.9	182.6
再循環系	376.4	28.4	8.7	17.4
炉浄化系	327.1	11.8	3.3	10.0
余熱除去系	518.0	8.3	6.8	1.6
再循環ポンプ シール注排水系	63.0	1.1	0	0
合計	2460.8	71.4	41.7	211.6

表-2 各部のクラッド, 放射能及び保有水算定量

系 統		構成材料	表面積 (m <sup>2</sup> )	ク ラ ッ ド		放 射 能		保有水量 (m <sup>3</sup> )
区分	内 訳			付着密度 (mg/cm <sup>2</sup> )	付着量 (kg)	比放射能 ( $\mu\text{Ci}/\mu\text{g}$ )	放射能量 (Ci)	
原子炉本体	(1)圧力管	Zr-2.5Nb	205	1	2.1	$6.7 \times 10^{-2}$	141	} 10.2
	(2)圧力管延長部 (一部)	SUS304	125	2	2.5	} $2 \times 10^{-3}$	5	
	(3)圧力管延長部 (一部)	SUS403Mod	45	5	2.2		4.4	
	(4)上部遮へいプラグ	SUS304	45	} 2	0.9	} $2 \times 10^{-3}$	1.8	}
	(5)入口管	SUS304	388.4		7.8		15.6	
	(6)上昇管	SUS304	367.9	7.4	14.8	6.8		
	(小 計)		1176.3		22.9		182.6	21.8
原子炉再循環系統	(1)下降管	SUS304 (SUS316L)	70.4	} 2	} 1.9	} $2 \times 10^{-3}$	} 3.8	5.6
	(2)マニホールド	SUS304 (SUS316L)	23					3.3
	(3)吸い込み管	SUS304 (SUS316L)	2					0.2
	(4)再循環ポンプ	SCS13	41	5	2.1	$2 \times 10^{-3}$	4.2	0.9
	(5)吐出管	SUS304 (SUS316L)	36.1	} 2	} 4.7	} $2 \times 10^{-3}$	} 9.4	3.3
	(6)下部ヘッダ	SUS304	26.5					2.9
	(7)蒸気ドラム	SUS304	173					12
	(8)下部ヘッダ低圧注水配管	SUS304	4.4					0.2
(小 計)		376.4		8.7		17.4	28.4	
原子炉冷却材浄化系統	(1)配 管	SUS304 SUS316L	51.1	} 1	} 3.3	} $3 \times 10^{-3}$	} 10	1
	(2)再生熱交換器	SUS316	54.2					0.3
	(3)非再生熱交換器	SUS316	181.4					1.1
	(4)低圧サージタンク	SUS304	20.4					9
	(5)充填ポンプ	SCS13	20					0.4
	(小 計)		327.1		3.3		10	11.8
再循環ポンプ注排水系統		SUS304	63	0	0	0	0	1.1
余熱除去系統	(1)配 管	SUS304	200	1	2.0	$3 \times 10^{-4}$	0.6	} 4.0
		炭素鋼	18	10	1.8	$3 \times 10^{-5}$	0.1	
	(2)熱交換器	SUS304	300	1	3.0	$3 \times 10^{-4}$	0.9	4.3
	(小 計)		518		6.8		1.6	8.3
合 計			2460.8		41.7		211.6	71.4



## 系統除染方法

系統除染の工程は、図-1及び図-2に示すとおり昇温、除染中浄化、循環除染、浄化、浄化・フラッシング等があり、それぞれ以下の方法で実施する計画である。

### (i) 除染方法

#### ① 昇温工程

原子炉再循環ポンプ（以下「RCP」と略す）低速2台運転と、RHR熱交換器胴側への補助蒸気通気により、除染系統水を約12時間で120℃まで昇温する。

昇温完了後、薬注として下部ヘッドレンラインより仮設の薬注設備にて、除染剤を（除染対象系統の保有水量に対し）0.05%濃度まで注入する。

なお、昇温完了後から循環工程完了までは、RHR熱交換器の胴側への補助蒸気流量の調整により、系統水（除染液）の温度を120℃±5℃に保持する。

また、RCPは基本的に全ての除染工程終了時まで低速2台運転とする。

#### ② 除染中浄化工程

CUW脱塩器（1塔）により、除染液を浄化する。

また、薬注としてCUW脱塩器通水による除染剤の補償分を連続的に注入する。

本工程は、CUW脱塩器の樹脂が3塔ブレイクしたら終了（約12時間）とする。

#### ③ 循環除染工程

除染中浄化工程終了後、CUW脱塩器をバイパスさせ、除染剤濃度が0.1%になるように薬注を行う。

以後、薬注は行わず、本工程においてはCUW脱塩器もバイパス運用とする。

この工程は、原則として除染中浄化工程開始から24時間で終了とする。

#### ④ 浄化工程

RHR熱交換器胴側への補助蒸気通気を停止するとともにCUW脱塩器（1塔）に通水し、除染液を浄化する。



## ⑤ 浄化・フラッシング工程

浄化工程後の系統水を除染系統の各ドレン、ベントライン等よりドレンフラッシングする。  
また、滞留部等でこの方法が困難な箇所については、逆洗水をドレン、ベントライン等から系統内に注入し再び浄化する。

## (2) 廃棄物処理方法

系統除染による廃棄物としては、CUW脱塩器の廃樹脂と除染系統のフラッシング水であり、それぞれ以下の方法で処理する計画である。

### ① 廃樹脂処理

除染中浄化、浄化及び浄化・フラッシング工程において発生するCUW脱塩器の廃樹脂は、粒状廃樹脂貯蔵タンクへ移送し貯蔵する。

粒状廃樹脂貯蔵タンクの貯蔵能力は、容量207.5 m<sup>3</sup>、放射エネルギー約5万Ciで設計されている。現在までの貯蔵量は、容量42 m<sup>3</sup>で、放射エネルギーは高めに評価しても約1万Ciと推定されており、今回の系統除染において新たに容量約7 m<sup>3</sup>、放射エネルギー約200 Ciが発生しても貯蔵能力には十分余裕がある。

### ② 廃液処理

浄化・フラッシング工程においてドレンする廃液は、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の機器ドレンサンプピットに排水する。

————— 以 上 —————

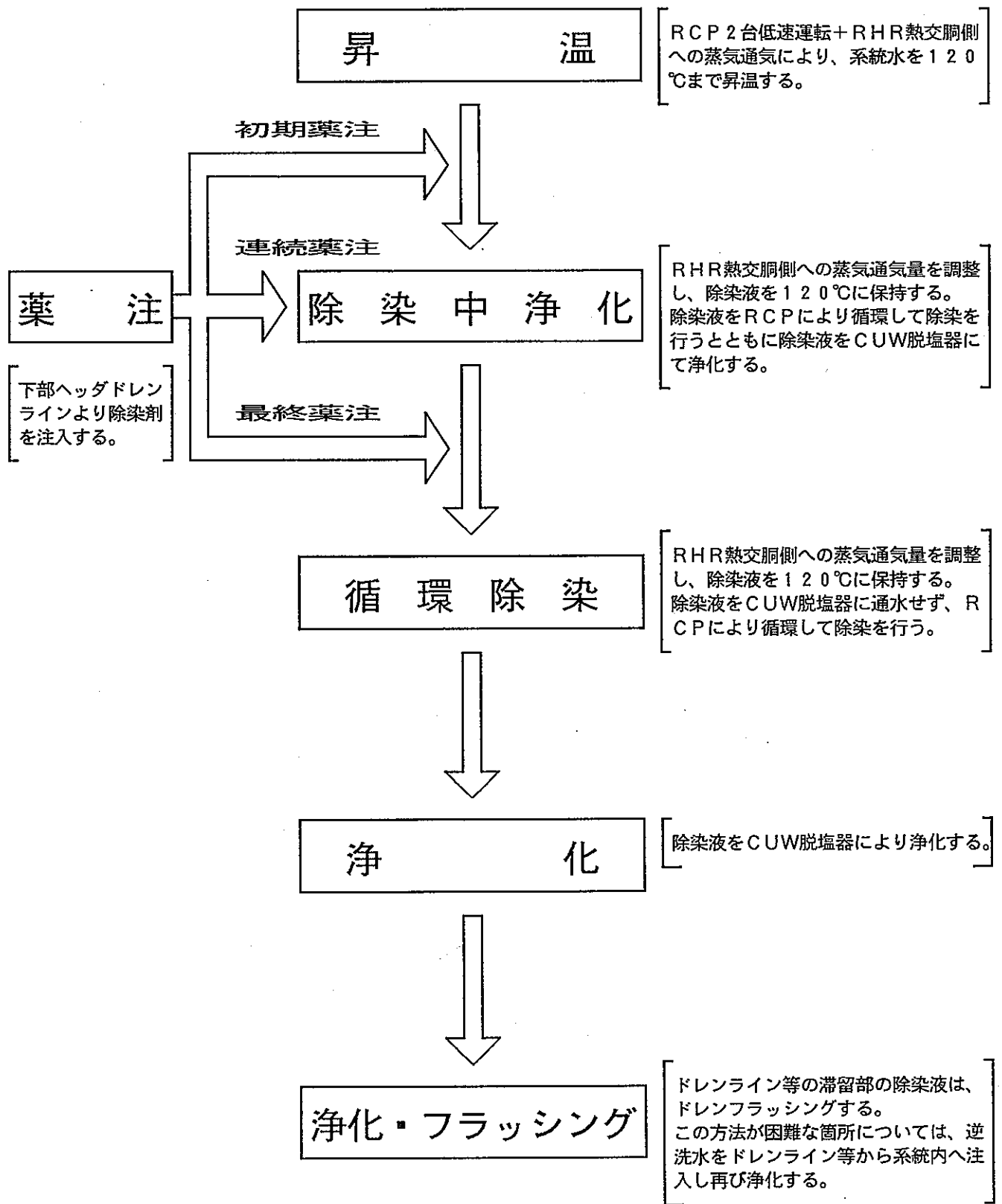
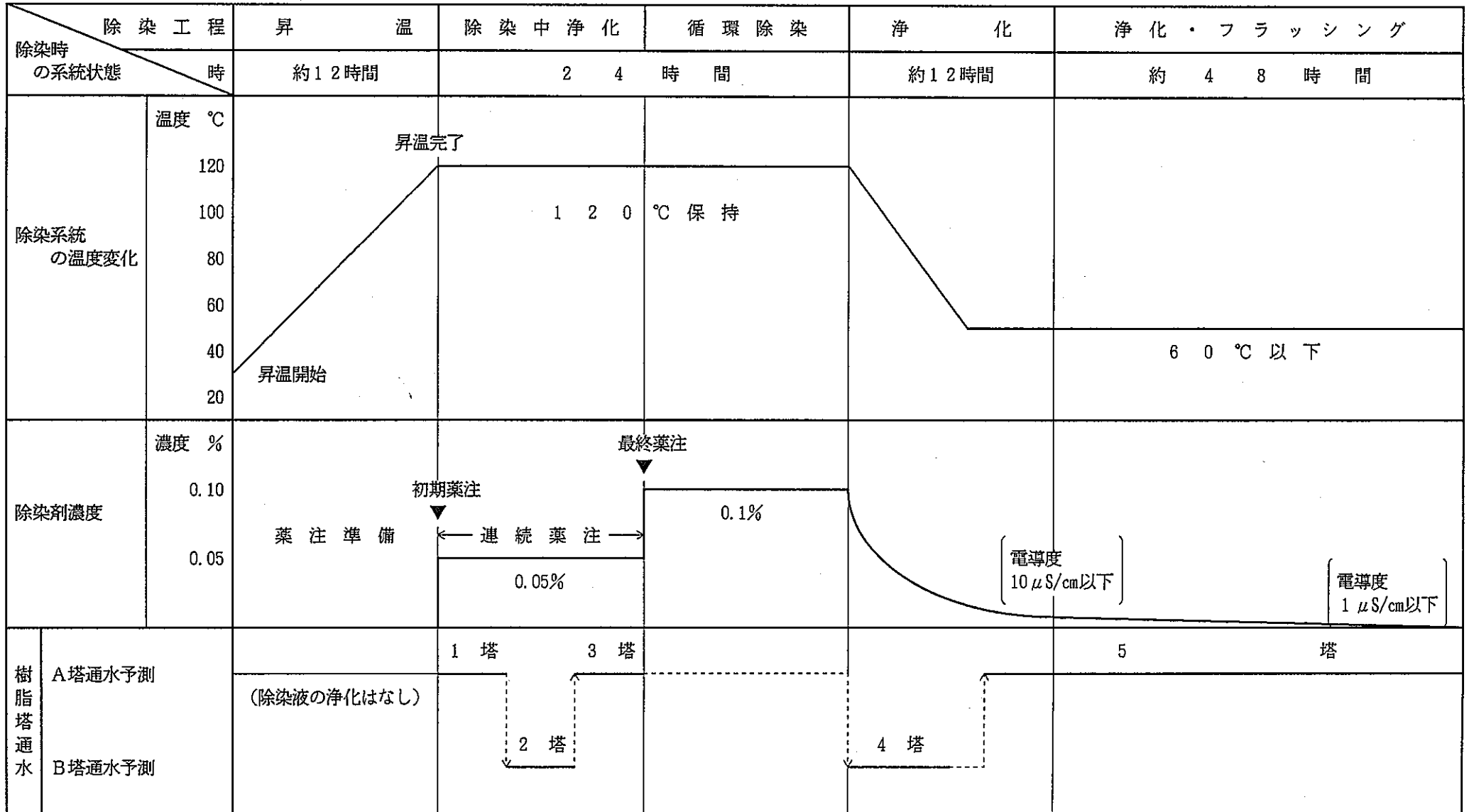
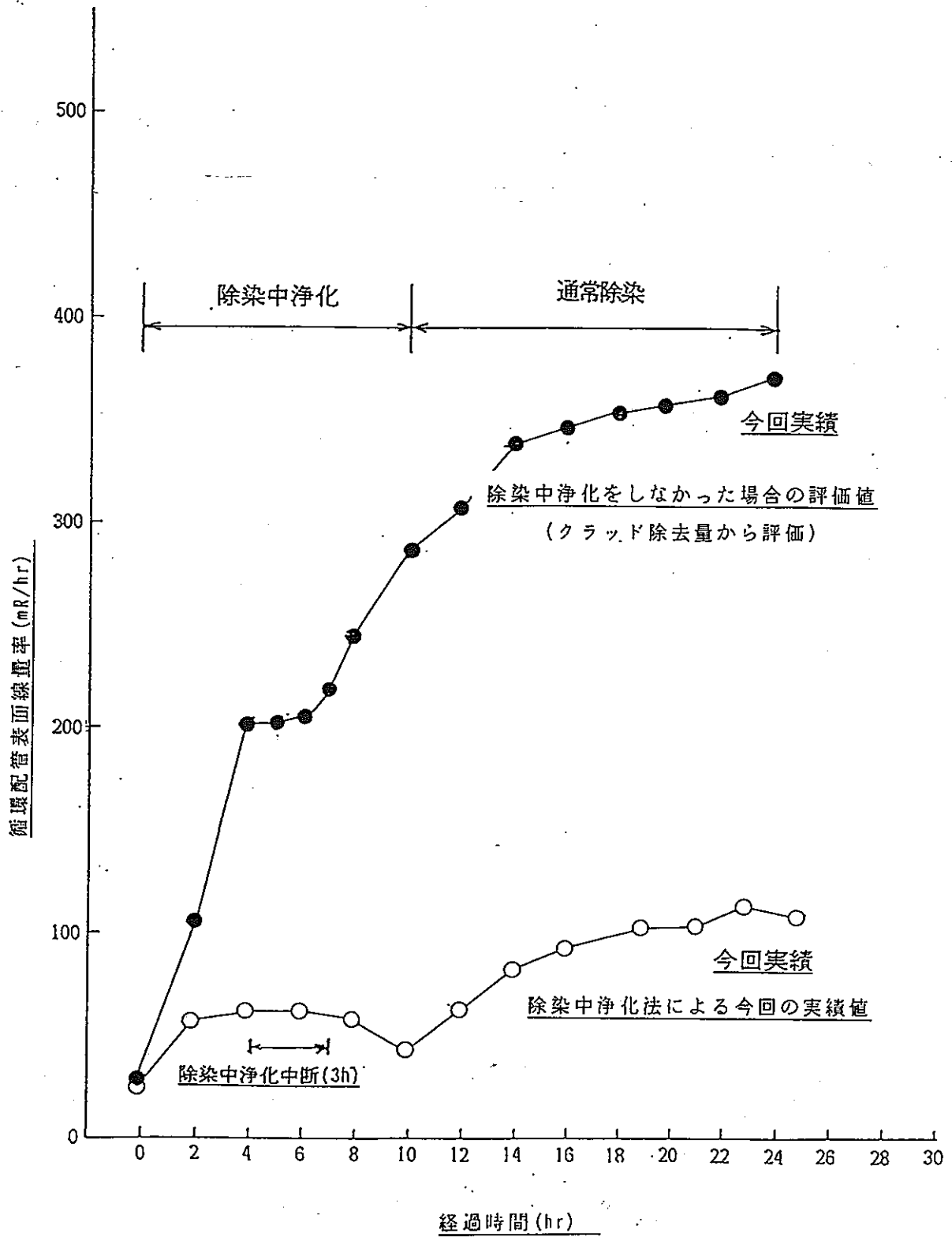


図-1 系統除染概略フロー

図-2. 系 統 除 染 概 略 工 程



新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料		整理番号
		4-3-(2)
件名	除染中浄化の効果	
..... ..... .....		
回答	添付書類の有無 ( 有, <input checked="" type="radio"/> )	
1. 目的		
..... 系統除染では、比放射能の高いクラッドが溶出し循環するため機器や配管の表面線量 ..... 率が通常停止時より高くなる箇所が発生することが予想される。そこで、系統除染中も ..... 通常停止時と同程度の線量率が維持できるように、溶出した放射能を既設の炉浄化系の ..... イオン交換樹脂により連続的に除去（浄化）する方法を用いる。		
2. 除染中浄化法の効果確認		
..... この除染中浄化方法の有効性を確認するため、前回の第7回定検時における炉浄化系 ..... 熱交換器の除染時に系統除染を想定し、除染中浄化方法を実施した。この結果、図-1 ..... に示すように除染中の配管表面線量率は、除染中浄化をしない場合の約1/3に低減で ..... き、この方法の有効性が確かめられた。		
3. 除染中浄化法の効果予測		
..... 系統除染時の配管線量率変化を炉浄化系脱塩器への通水流量をパラメータとして予測 ..... 計算した結果を図-2に示す。本図から分かるように、除染中浄化方法は配管の表面線 ..... 量率を上昇させることなく除染が行なえるものである。		
..... .....		



図一 1 第7回定期検査時のCUW熱交換器除染  
(除染中浄化の効果)

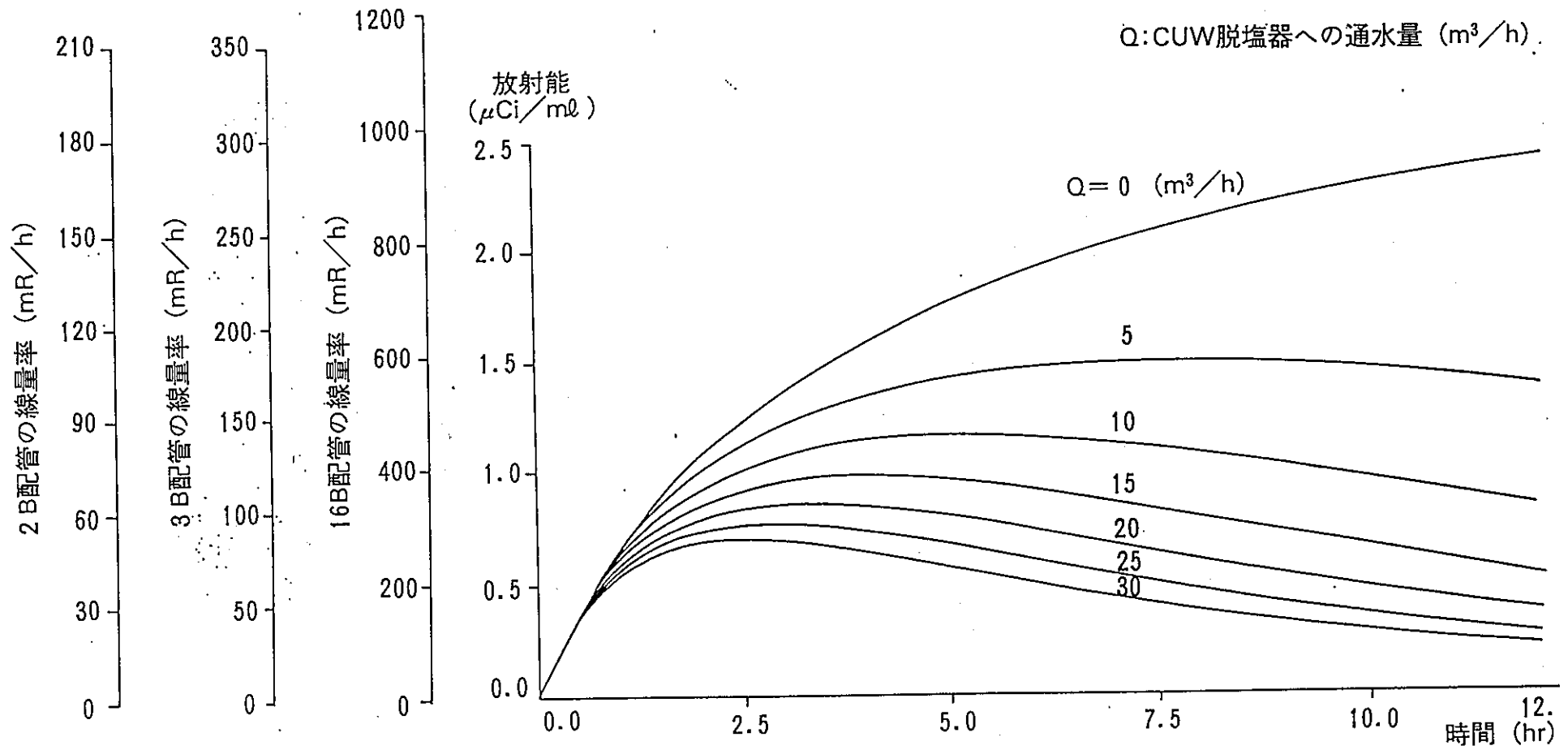


図 - 2. ATRふげん除染中浄化の放射能変化 (配管表面より 5 cmでの評価)

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整 理 番 号
	4 - 3 - (3)

件 名	浄化及びフラッシングの完了基準
-----	-----------------

.....

.....

.....

回 答	添付書類の有無 ( 有, <input checked="" type="radio"/> (無) )
-----	---

除染終了後、除染液の浄化は、「浄化工程」及び「浄化・フラッシング工程」時にCUW脱塩器に通水して行う。

CUW脱塩器は、1塔に定格流量の30 m<sup>3</sup>/hで通水し、脱塩器の出入口の電導度を監視して、除染液の浄化状態（入口電導度の監視）及び脱塩器のブレード（出口電導度による）を確認する。

「浄化工程」では、除染液のCUW脱塩器の通水のみにて行う。また、「浄化・フラッシング工程」では、「浄化工程」において浄化できなかったドレン、ベント部等の溜り部に、ドレンフラッシングまたは逆洗水によるフラッシングを行うとともに、CUW脱塩器に通水して浄化を行う。

「浄化工程」から「浄化・フラッシング工程」への移行は、除染液（CUW脱塩器の入口）電導度が10 μS/cm以下になった時点とする。「浄化・フラッシング工程」の終了は、除染液の電導度が1 μS/cm以下になった時点で一旦、除染系統水の全ブローを行い、その後水張りを行って再び浄化を行い、電導度が1 μS/cm以下になったら本工程を完了とする。

.....

.....

.....

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整理番号
	4-3-(4)

件名	除染剤の注入量及びCUW脱塩器の樹脂量
----	---------------------

.....

.....

.....

回答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有 <input type="radio"/> 無 )
----	--

1. 除染剤の注入量

.....

系統除染において除染剤（クリデコン203）は、初期薬注、連続薬注及び最終薬注の  
 3回に分けて下部ヘッダーのドレンラインより、仮設ポンプで注入する。

系統除染時の除染剤注入量は、3回の薬注の合計で約 251kg (1,012kg as 25%Sol) で  
 ある。それぞれの薬注時における除染剤注入量の内訳は、添付資料参照。

2. CUW脱塩器の樹脂使用量

.....

系統除染時において除染液の浄化は、除染中浄化、浄化、浄化フラッシングの3つの工  
 程時にそれぞれCUW脱塩器に通水して行う。

樹脂の実質使用量としては、上記3工程の合計で合計約6300ℓ（アニオン：3500ℓ、カ  
 チオン2800ℓ）であるが、CUW脱塩器の1塔あたりの樹脂充填量が1400ℓであるため、  
 実際の使用量は、7000ℓ（5塔分、6300ℓ場合は4.5塔となるため）となる。

それぞれの工程時における樹脂の実質使用量の内訳は、添付資料参照。

.....

.....

.....

.....



## 1. 除染剤注入量

- (i) 初期薬注 : 系内液温が120℃に常温した時点で除染剤KD203をトータル濃度0.05Wt%相当分注入する。

$$\text{初期薬注量} = 71 \text{ m}^3 \times 10^3 \times 0.05\% = 35.5 \text{ kg}$$

- (ii) 連続薬注 : 除染中配管表面の線量当量率を500mR/h以下に保つため、除染開始時よりCUW脱塩器3塔分がブレイクするまで(約12時間)30m<sup>3</sup>/hで通水する。その間KD203は、トータル濃度として0.05%を保持する連続注入する。

$$\text{連続薬注量} = 30 \text{ m}^3 \times 12 \text{ h} \times 0.05\% = 180 \text{ kg}$$

- (iii) 最終薬注量 : 0.05%の除染液をトータル濃度として0.1%に引上げる。

$$\text{薬注量} = 71 \text{ m}^3 \times 10^3 \times (0.1 - 0.05)\% = 35.5 \text{ kg}$$

$$\cdot \text{保有水量 (除染液量)} \quad 71 \text{ m}^3$$

従って、除染剤KD203の必要量は次のとおりである。

初期薬注量 35.5 kg (142 kg as 25% Sol.)

連続薬注量 180 kg (720 kg as 25% Sol.)

最終薬注量 35.5 kg (142 kg as 25% Sol.)

合計 251 kg (1,004 kg as 25% Sol.)

なお、対象クラッド量42kgの溶解に必要な除染剤の量は154kg(616kg as 25% Sol.)であり、上記注入量は除染中浄化を考慮して、全量溶解に必要な量を満足した値である。

## 2. CUW脱塩器

### ① イオン交換樹脂の必要量

除染液浄化をするためにCUW脱塩器に充填するイオン交換樹脂の量は次のとおりである。

#### (i) 陰イオン交換樹脂量

今回の除染ではKD203を251kg(純分)使用する。陰イオン交換樹脂1ℓでKD203を80g吸着する。

$$\text{必要樹脂量} : 251 \text{ kg} \times 10^3 \times \frac{1}{80 \text{ g} / \ell} = 3,140 \ell$$

安全率10%として

$$3,140 \ell \times 1.1 = 3,454 \ell \approx 3,500 \ell$$

#### (ii) 陽イオン交換樹脂量

陽イオン交換樹脂量は陰イオン交換樹脂量との比較(陰イオン:陽イオン=5:4)で求める。

$$\text{必要樹脂量} : 3,500 \ell \times \frac{4}{5} = 2,800 \ell$$

#### (iii) 全使用イオン交換樹脂は合計とする。

$$3,500 \ell + 2,800 \ell = 6,300 \ell$$

ただし、充填量は③項より7,000ℓとする。

なお、除染液量の増減及び除染中浄化時の通液量・時間により、イオン交換樹脂量も増減する。

### ② イオン交換樹脂交換頻度

KD203の浄化用の樹脂比率(陰イオン陽イオン)は「ふげん」の発電運転時とは異なるので除染開始までに全量新しい除染液浄化用樹脂に入れ換えておく。

$$\text{必要イオン交換樹脂量} : 6,300 \ell$$

$$\text{1塔当たりの充填量} : 1,400 \ell \text{ とする。}$$

$$\text{交換回数} : 6,300 \ell \times \frac{1}{1,400 \ell} = 4.5 \approx 5.0$$

$$\text{実充填量} : 1,400 \ell \times 5 = 7,000 \ell$$

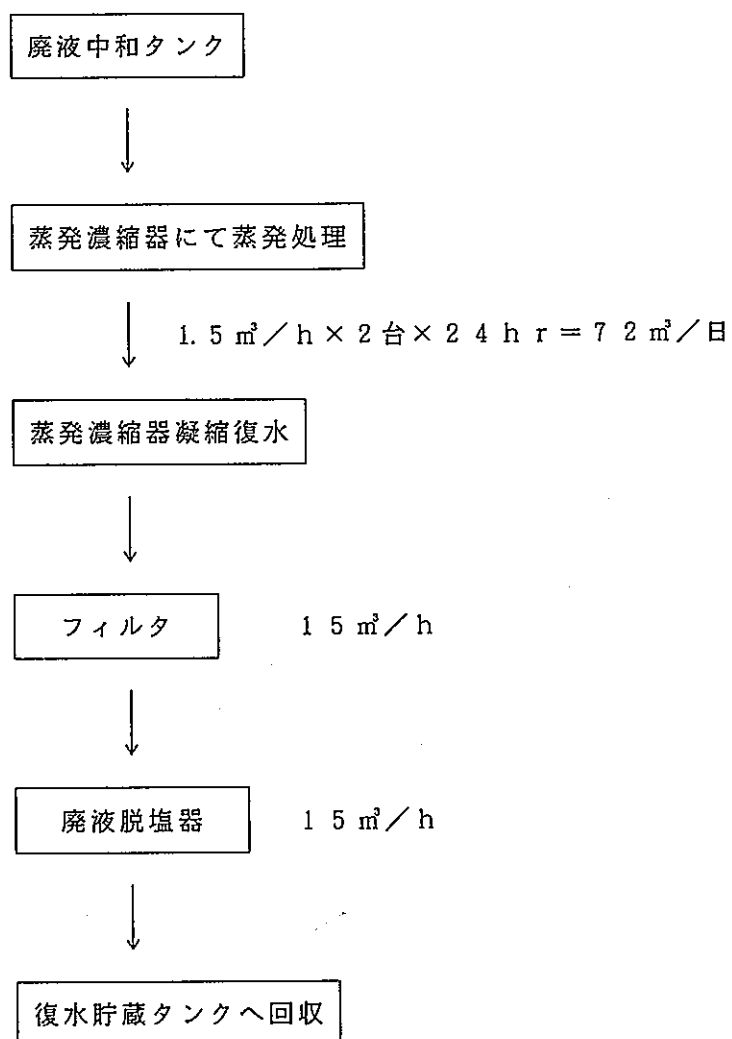


## 液体廃棄物処理系の受入れ容量

除染液（浄化水）全缶ブローの排出先は、廃液中和タンクとする。廃液中和タンク容量は 90 m<sup>3</sup>（45 m<sup>3</sup> × 2 基）であり、除染液容量である 71.4 m<sup>3</sup> を満足する。

また、この処理に要する時間は、約 1 日\* である。

（注：\*）廃液中和タンクに受入れる廃液は、次のように処理される。



## 粒状廃樹脂貯蔵タンクの受け入れ容量

系統除染により発生するCUW脱塩器の廃樹脂量は約7 m<sup>3</sup>で、その放射エネルギーは約200 Ciである。

この廃樹脂の処理方法は、図-1に示すとおり通常定期検査時のCUW脱塩器樹脂交換において発生する廃樹脂と同様、粒状廃樹脂貯蔵タンクに貯蔵する計画である。

既設の粒状廃樹脂貯蔵タンクは、A及びBの2基ありその貯蔵能力は、容量及び放射エネルギー的にも十分余裕がある。また、系統除染による廃樹脂を受入れた後の貯蔵能力も、新廃棄物処理設備の運用（平成元年9月運用予定）により、今後の廃樹脂貯蔵に与える影響は、容量及び放射エネルギー的にも少ない。

## (1) 容 量

- ・設計容量 ..... 82.5 m<sup>3</sup> (2基当たり)
- ・現在までの貯蔵容量 ..... 42 m<sup>3</sup> (平成元年6月現在)

従って、現在の貯蔵能力としては40.5 m<sup>3</sup>であり、系統除染による廃樹脂が受入れられても十分容量的に余裕がある。

また、今後の貯蔵能力を考慮した場合、新廃棄物処理設備（平成元年9月運用予定）の粒状廃樹脂貯蔵タンクの運用により、容量的な貯蔵能力は更に125 m<sup>3</sup>増え、今後の廃樹脂貯蔵に与える影響は少ない。

## (2) 放射エネルギー

- ・設計放射エネルギー ..... 約 20,000 Ci
- ・現在までの貯蔵放射エネルギー ..... 約 10,000 Ci

従って、現在の放射エネルギーの貯蔵能力としては約10,000 Ciであり、系統除染による廃樹脂が受入れられても十分放射エネルギー的にも余裕がある。

また、今後の貯蔵能力を考慮した場合、新廃棄物処理設備（平成元年9月運用予定）の粒状廃樹脂貯蔵タンクの運用により、放射エネルギー的な貯蔵能力は更に約30,000 Ci増え、今後の廃樹脂貯蔵に与える影響は少ない。

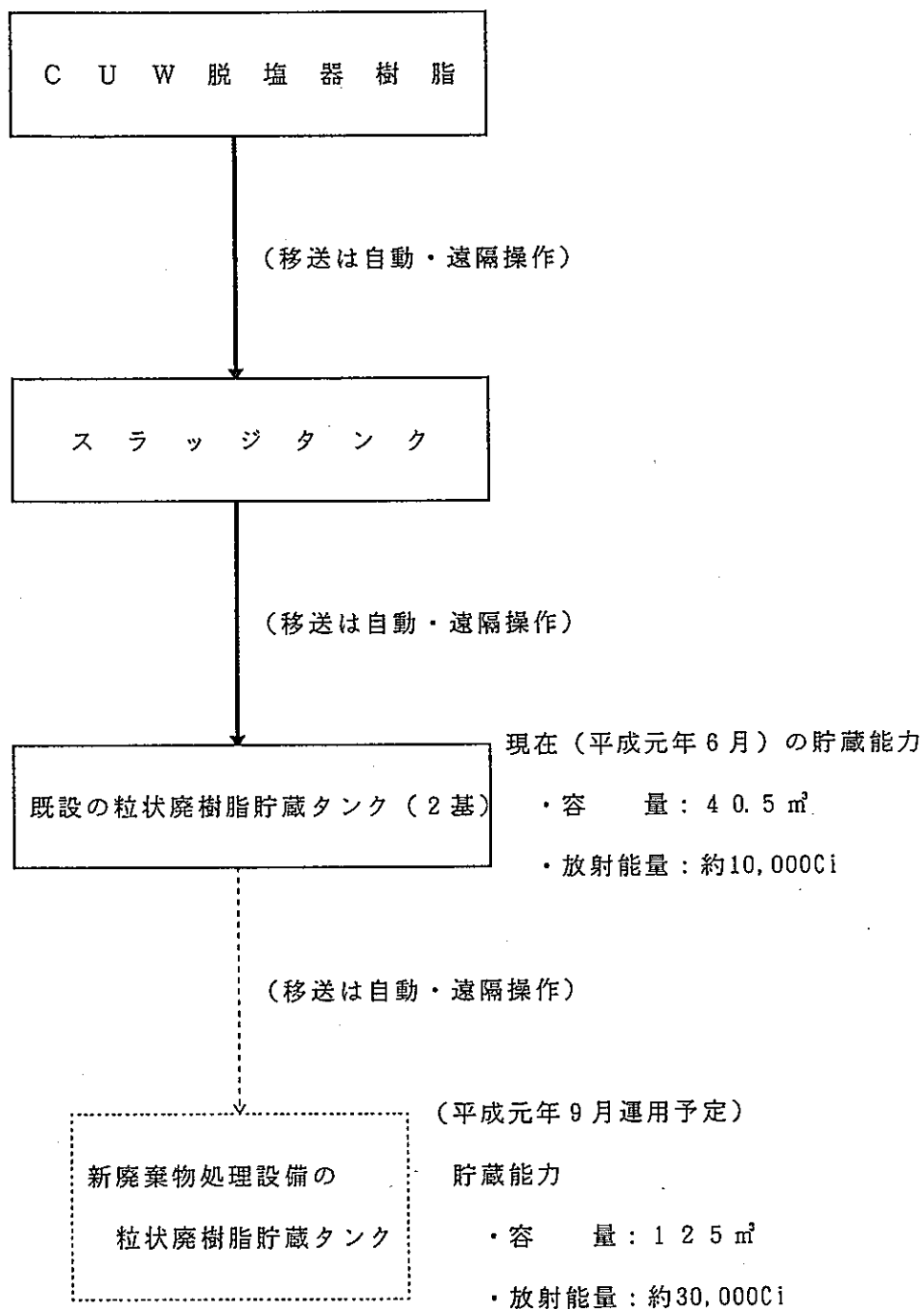


図-1. C U W脱塩器の廃樹脂処理

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整理番号
	4 - 3 - (6)

件名	滞留部の残留除染剤処理方法
----	---------------

.....

.....

.....

回答		添付書類の有無（有, <input checked="" type="radio"/> 無）
----	--	--

系統除染時、滞留部となる部位は、ドレン・ベントライン及び下部ヘッダへの低圧注水ラインの一部である。また、その滞留部の隙間は、ドレン・ベントラインのソケット溶接部である。

滞留部の除染液の浄化は、「浄化工程」において浄化が不十分となる可能性があることから、「浄化工程」から引き続き行う「浄化・フラッシング工程」において、以下のとおりフラッシングを行うとともにC U W脱塩器による浄化を行い、最終的に除染系統水の電導度を1  $\mu$  S / cm以下にする計画である。

(1) ドレン・ベントラインのフラッシング

大半のドレンラインは、ドレンブローを行うことにより、フラッシングする。

また、ドレンブローが不可能なドレン・ベントラインは、逆洗水を系内に注入し、フラッシングを行うとともに、系内に注入された逆洗水をC U W脱塩器により浄化する。

(2) 低圧注水ラインのフラッシング

低圧注水ラインより逆洗水を下部ヘッダへ注入しフラッシングを行うとともに、系内に注入された逆洗水をC U W脱塩器により浄化する。

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整 理 番 号
		4 - 4 - (1)
件 名	系統除染時の安全性（異常時対策）	
..... ..... .....		
回 答	添付書類の有無（有，無）	
<p>           系統除染時において異常事態が発生した場合、基本的にはRHR熱交への補助蒸気通気を停止するとともにCUW非再生熱交への冷却水（RCW）流量を増加させ、除染対象系統を冷却すれば、除染剤によるクラッド溶解反応を停止できる。</p> <p>           また、この場合CUW脱塩器により浄化を行えば、除染液中に溶解したクラッドとともに除染剤も吸着される。</p> <p>           系統除染時において想定される以下の異常事態について、その事象、波及及び対策・処置を表-1に示す。また、除染液の漏洩については、資料-1に示す。</p> <p>           (1) 停 電</p> <p>           (2) 構成材料の母材腐食</p> <p>           (3) 廃樹脂処理系容量不足</p> <p>           (4) 計画クラッド量及び放射能量の予測外の挙動</p> <p>           (5) 除染温度の制御範囲離脱</p> <p>           (6) シール水フィルタの目詰り又は放射能高</p> <p>           (7) 脱塩器バイパスストレーナの目詰り</p>		
..... ..... .....		



表-1. 異常時対策

異常想定項目	状 況	事 象	対 策 処 置
停 電	<p>(1) 停電により以下の機器が停止する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉再循環ポンプ</li> <li>・余熱除去ポンプ</li> <li>・充填ポンプ</li> <li>・ブースタポンプ</li> <li>・補助ボイラー</li> <li>・非再生再生熱交の冷却水</li> <li>・薬注ポンプ</li> </ul> <p>(2) 非常用ディーゼル発電機の起動により以下の機器が再起動又は復帰する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・余熱除去ポンプ</li> <li>・非再生再生熱交の冷却水復帰</li> </ul>	<p>(1) 非再生熱交への冷却水が停止するため、CUW脱塩器入口温度が上昇し70℃で炉浄化系隔離弁が自動閉となる。 また、除染対象系統の温度は、入熱及び除熱が停止するため、自然放熱により徐々に低下する。</p> <p>(2) 非再生熱交への冷却水が復帰するため、CUW脱塩器入口温度が下降し炉浄化系隔離弁を開できる状態となる。</p>	<p>(1) RHR熱交の補助蒸気元弁を「閉」とし、除染対象系統の温度降下を確認して各部に異常がないことを確認する。 また、炉浄化系隔離弁が自動「閉」前であれば、手動にて「閉」とする。</p> <p>(2) RHRポンプを起動し、除染対象系統の循環のみを行い、除染対象系統温度の均一化を図る。</p>
構成材料の母材腐食	<p>除染液のグロス<math>\gamma</math>の上昇勾配が異常に小さくかつ、除染剤の有効濃度が低い。 また、除染液中の鉄イオン濃度が直線的に上昇している。</p>	<p>構成材料の母材の異常腐食が起こる。</p>	<p>RHR熱交への蒸気通気を停止し、CUW非再生熱交の冷却水流量を増加させ除染対象系統の冷却運転を行い、除染液のクラッド溶解反応を停止させる。</p>
廃樹脂処理系容量不足	<p>廃樹脂は、通常「脱塩器」⇒「スラッジタンク」⇒「B-粒状廃樹脂貯蔵タンク」に移送されるが、処理工程の関係から一時的にB-粒状廃樹脂貯蔵タンクの受入れが不可能となる。</p>	<p>B-粒状廃樹脂貯蔵タンクの受入れが不可能なため、スラッジタンクから廃樹脂を移送できなくなり、その後の脱塩器樹脂交換ができなくなる。</p>	<p>B-粒状廃樹脂貯蔵タンクの受入れが不可能となった時点で、A-粒状廃樹脂貯蔵タンクに受入れ先を変更し、スラッジタンクからの廃樹脂移送を行い、その後の脱塩器樹脂交換に影響が及ばないようにする。</p>

表-1. 異常時対策

異常想定項目	状 況	事 象	対 策 ・ 処 置	
計画クラッド量及び放射能量の予測外挙動	クラッドの放射能量が計画（予測）値以上	予測を大きく上回る比放射能の大きいクラッドが、除染液中に溶出する。	(1) 除染中浄化工程時においては、除染剤の連続注入を停止する。 (2) 循環除染工程時においては、除染液の一部をCUW脱塩器にて浄化（除染中浄化）する。 (3) 必要に応じ、RHR熱交への蒸気通気を停止し、CUW非再生熱交の冷却水流量を増加させ除染対象系統の冷却運転を行い、除染液のクラッド溶解反応を停止させる。	
	クラッドの量が計画（予測）値以上	除染液のグロス $\gamma$ の上昇勾配が異常に大きくかつ、除染剤の有効濃度が低い。	同 上	
	クラッドの放射能量が計画（予測）値以下	除染液のグロス $\gamma$ の上昇勾配が異常に小さくかつ、除染剤の有効濃度が低い。	予測を大きく下回る比放射能の小さいクラッドが、除染液中に溶出する。	(1) 除染中浄化工程時においては、CUW脱塩器への通水量を減少させる。 (2) 比放射能が $2.7 \times 10^{-4} \text{Ci/g}$ 以下である場合は、RHR熱交への蒸気通気を停止し、CUW非再生熱交の冷却水流量を増加させ除染対象系統の冷却運転を行い、除染液のクラッド溶解反応を停止させる。
	クラッドの量が計画値（予測）値以下	除染液のグロス $\gamma$ の上昇勾配が異常に小さくかつ、除染剤の有効濃度が高い。	予測量を大きく下回るクラッド（イオン）が、除染液中に溶出する。	除染中浄化工程時においては、CUW脱塩器への通水量を減少させる。

表-1. 異常時対策

異常想定項目	状 況	事 象	対 策 処 置
除染温度の制御範囲 (120℃±5℃) 離脱	除染対象システムの温度が制御範囲の125℃より上昇する。	RHR熱交への蒸気通気量の増加, CUW熱交の冷却水流量の減少等に加え、除染対象システムの自動温度制御系が故障し、RHR熱交の蒸気流量調節が不可能となる。	(1) RHR熱交への蒸気通気量を手動にて調節し、CUW非再生熱交の冷却水流量を増加させて除染対象システムの冷却運転を行い、除染温度を120℃に安定させる。  (2) RHR熱交の蒸気流量調節弁の点検を行い、異常がなければ、再び自動による除染温度制御を行うが、異常があれば以後、手動にて除染温度制御(120℃±5℃)を行う。
	除染対象システムの温度が制御範囲の115℃より低下する。	RHR熱交への蒸気通気量の減少, CUW熱交の冷却水流量の増加等に加え、除染対象システムの自動温度制御系が故障し、RHR熱交の蒸気流量調節が不可能となる。	(1) RHR熱交への蒸気通気量を手動にて調節し、CUW非再生熱交の冷却水流量を低下させて除染対象システムの昇温運転を行い、除染温度を120℃に安定させる。  (2) RHR熱交の蒸気流量調節弁の点検を行い、異常がなければ、再び自動による除染温度制御を行うが、異常があれば以後、手動にて除染温度制御(120℃±5℃)を行う。
シール水フィルタの 目詰り	シール水フィルタの差圧が上昇する。	シール水フィルタの差圧が上昇し、制限値1.4 kg/cm <sup>2</sup> を超える。	待機状態にあるシール水フィルタ(A, B2系統のうち1系統)へラインを切り替え、目詰まりをおこしたシール水フィルタを通常交換手順で交換する。
脱塩器バイパス ストレーナの目詰まり	脱塩器バイパスストレーナの目詰りにより、CUW取水量が10m <sup>3</sup> /h以下となる。	低圧サージタンクの水位が徐々に低下する。(水位NWL-400 mmで充填ポンプが自動停止する。)	(1) CUW脱塩器が待機状態である場合、CUW脱塩器をバイパス運転から通水運転に切り替え、脱塩器バイパスストレーナの逆洗を行う。 (2) CUW脱塩器が待機状態でない場合、RCPを一時停止してCUWの取水を中断し、脱塩器バイパスストレーナの逆洗を行う。

## 除染液の漏えいについて

## 1. 漏えい発生の可能性

系統除染の実施にあたっては、除染系統を構成した後に系外への漏えいがないことを蒸気ドラムの水位監視により確認するとともに、昇温過程に各部からの漏えいのないことを目視で確認する。また、系統除染に伴って新たに設けられる薬注ライン等については、事前に漏えい試験により漏えいのないことを確認する。

系統除染は定期点検の開始早々に行われることから、大部分の設備はプラント運転状態の系統構成を維持しており、かつ系統除染は通常運転時に比べ温度、圧力が低い状態（蒸気ドラムの温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C}\rightarrow 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、圧力 $68\text{ kg/cm}^2\rightarrow 3\text{ kg/cm}^2$ ）で実施する。

したがって、系統除染中に除染液の漏えいは、極めて発生しにくいと考えられる。

## 2. 漏えい量の評価

上記 1.項で述べたとおり、除染液の漏えいは極めて発生しにくいと思われるが、以下に示す漏えいの発生を想定した。

- ① 発生箇所は、除染液が接液する系統のドレン配管等の枝管部を仮定し、圧力、配管口径を代表させた。
- ② 漏えい量の算出にあたっては、低温、低圧であることから U. S. NRC の指針を参考に漏えい口の面積を  $1/4 * D * t$  ( $D$  管外径,  $t$  管肉厚) とした。
- ③ 漏えいの発生は蒸気ドラムの水位低下で発見でき、漏えい箇所の特定は現場に配置している系統除染作業に係わる作業者が迅速におこなえる。具体的には、蒸気ドラムの水位は、通常  $\text{NWL} \pm 2\text{ mm}$  以内で変動しており  $\text{NWL} - 3\text{ mm}$  は十分認識可能であるが、さらに  $-1\text{ mm}$  水位が低下した時点で異常と判断し（図 - 1 参照）、漏えい箇所の特定を行い、10分後に系統隔離操作を行うこととする。この結果、漏えい量は蒸気ドラムの水位低下  $-2\text{ mm}$  分（通常制御範囲からの低下分）

が0.25m<sup>3</sup>となり、その後10分間漏えいが続く（ただし、R/B 内は除く）ものとする。

以上の条件で算出した各部の漏えい量を表-1に示す。

### 3. 漏えい放射エネルギーの評価

放射エネルギーの漏えい量の算出にあたっては、除染中に除染液の濃度が最も高くなる循環除染工程時の漏えい発生を仮定し、KD-203 0.1%に溶解し得るクラッド量の値（1.4 μCi/cm<sup>3</sup>）とする。具体的には、表-1に示すように、高温部（～120℃）の最大漏えい量は余熱除去系ドレン管（ポンプ下流）で1.1m<sup>3</sup>、低温部（～50℃）の最大漏えい量は炉浄化系ドレン管（充填ポンプ下流）で1.9 m<sup>3</sup>となり、放射エネルギーとしては、それぞれ約2.7 Ci、1.6 Ciと見積もられる。

### 4. 漏えい発生後の処置

漏えい発生10分後には、運転員の判断によりR/B換気系の停止、R/B外の系統隔離、除染の停止等の漏えい拡大防止等のための適切な操作が期待できる。これにより、周辺環境への放出放射エネルギーを制限できる。

### 5. 放出放射エネルギーの評価

#### (1) 放出放射エネルギー

放出放射エネルギーの算出にあたっては、以下の条件とした。

- ① 漏えい液は、一部蒸気として漏えいし、その大半は液体となって室内の床に溜まると考えられる。ここでは、漏えい液が室温（25℃）まで降温する時の放出熱量に相当する分の漏えい液が放射エネルギーとともに気化するものとする。高温部（～120℃）と低温部（～50℃）とで漏えい液の気化量を計算するとそれぞれ次のとおりである。

#### a. 高温部

除染液の比熱容量、気化熱、密度は水と同等とすると、120℃の漏えい液1.1m<sup>3</sup>の内、気化する液量は

$$1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (120-25)^\circ\text{C} \times 1.1 \times 10^3 \text{ kg} / 539 \text{ kcal/kg} \\ = 200 \text{ kg}$$

b. 低温部

同様にして、50°Cの低温部の漏えい液1.9m<sup>3</sup>では、88Kgになる。

以上のように、表-1に示す漏えい想定箇所の中で最大気化量になるのは、余熱除去系ドレン管（ポンプ下流）で、約200ℓと計算される。（R/B内で漏えいが発生した場合、漏えいは継続するが、換気系の隔離により環境に放出される放射エネルギーを制限できるため、漏えい発生から10分間の最大漏えい量で評価する。）

② 換気系に移行した放射能は、高性能フィルタにより除去され主排気筒から環境に放出される。高性能フィルタの除去効率は、粒子状物質について99.97%が期待できるが、評価上は97%を使用する。また、気化した漏えい液のミストからの放射能の大気中への移行は1/100（フィルタへのミスト形態での付着、蒸発濃縮の設計移行係数1/1000を参考にした）とする。

以上から、放出放射エネルギーは、

$$1.4 \mu\text{Ci/cm}^3 \times 200 \text{ ℓ} \times (100-97)\% \times 1/100 = 0.084\text{mCi}$$

と計算され、環境評価上は十分小さく無視できると考えられる。

5. 漏えい室内の雰囲気線量率

R/B 外で最大漏えい量となる原子炉浄化系熱交換器室について、代表して雰囲気線量を算出した結果を次に示す。

熱交換器室内に漏えい除染液1.9m<sup>3</sup>の大半は凝縮して傾斜した床面に設置された床ドレンファンネルにより液体廃棄物処理系に導かれるが、10ℓ程度は残留するものとし、その中に含まれる放射能が室内に一様に分散するものとする。室内の容積は、控え目に見積もって

$$10\text{m} \times 7\text{m} \times 6\text{m} = 420\text{m}^3 \text{ である。}$$

室内に残留した除染液中の放射エネルギーは、

$$10 \text{ ℓ} \times 1.4 \mu\text{Ci/cm}^3 = 0.014\text{Ci} \text{ と見積もられる。}$$

0.014Ciの全量がCo-60とすると、Co-60の空气中濃度から次の換算

係数(D. C. Kocher : Dose-Rate Conversion Factors for External exposure to Photons and Electrons , Health Physics, 45, 665-686, 1983. を用いて雰囲気の線量率を求める。

$$\begin{aligned} \text{雰囲気の線量率} &= 3.55\text{Sv/y/Bq/cm}^3 \times 0.014\text{Ci} \times 3.7 \times 10^{10}/8760/420 \\ &= 0.50\text{mSv/h} \quad \text{と算出される。} \end{aligned}$$

本室内のしゃへい区分は、E 区分0.12mSv/h 以上で設計されており、特に問題とならない。

## 6. 漏えい液の処理

漏えい液は、施設内の各所に設置されている床 dren ファンネルにより液体廃棄物処理系に導かれ、床 dren 廃液としてろ過処理、蒸発濃縮処理、脱塩処理が適切に行われ、復水として回収し、再利用される。

なお、漏えい液が、床 dren ラインを移送して行く際のライン周辺の線量当量率を見積もった結果、配管より1m離れたところで2B配管で5.2 mR/h、3B配管で6.9mR/h と算出された。

配管は床コンクリート内に埋設されており、被ばくに及ぼす漏えい液移送時の寄与は小さいと考える。

また、漏えい液の受入貯蔵タンクは、建屋の地下階に設置され、かつ十分なしゃへいが施されているため、被ばくへの寄与は小さいと考える。

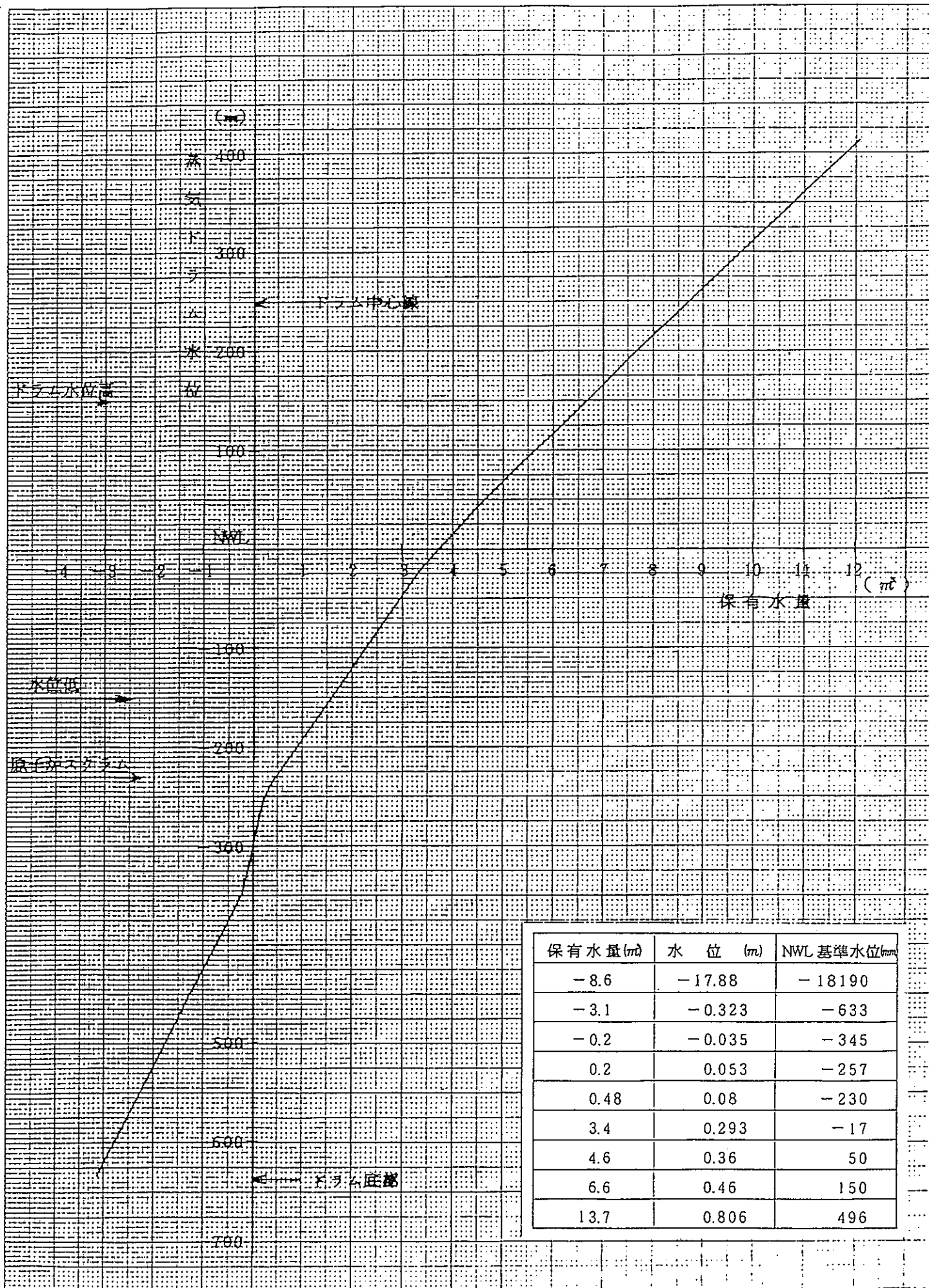


図-1 蒸気ドラム水位-保有水量の相関 (-300 mmを基準とした場合)



表-1 除染液の漏えい想定箇所

ケース	漏えい想定箇所	配管	外径 (D)	肉厚 (t)	開口面積	圧力	流出流量	漏えい量	備考	
			mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>		
R / B 内	①	入口管ドレン管	3/88sch80	17.3	3.2	13.84	5	1.6	(0.51)	( )内は、 R/B 内の漏 えい量で10 分後の値
	②	マニホールドドレン管	1/2Bsch80	21.7	3.7	20.07	4	2.1	(0.6)	
R / B 外	③	炉浄化系ドレン管 (充填ポンプ上流)	3/4Bsch80	27.2	3.9	26.52	4	2.7	0.7	
	④	炉浄化系ドレン管 (充填ポンプ下流)	1/2Bsch80	21.7	3.7	20.07	92	9.7	1.9	
	⑤	余熱除去系ドレン管 (ポンプ上流)	3/4Bsch80	27.2	3.9	26.52	5	3.0	0.75	
	⑥	余熱除去系ドレン管 (ポンプ下流)	3/4Bsch80	27.2	3.9	26.52	14	5.0	1.1	

(流出流量の算出式)

$$Q=C*A*(2g\gamma P)^{1/2}*3600*1/\gamma$$

Q : 流出流量 (m<sup>3</sup>/h)

c : 流量係数 (1 とする)

A : 破損面積 (m<sup>2</sup>, 1/4Dt とする)

g : 9.8m/sec<sup>2</sup>

γ : 比重量 (m<sup>3</sup>/kg, 1000 とする)

P : 圧力 (kg/m<sup>2</sup>g)

## [参考資料]

「ふげん」のスタック希釈風量は、 $502,100\text{m}^3/\text{h}$ 〔原子炉建屋換気系（ $60,000\text{m}^3/\text{h}$ ）は除く〕である。

系統除染において、除染液の漏えいが発生し、放射エネルギー  $0.084\text{mCi}$  がスタックから放出された場合、スタック出口における10分間平均の放射能濃度は、 $1.0 \times 10^{-9}\mu\text{Ci}/\text{cc}$ （警報  $1.1 \times 10^{-8}\mu\text{Ci}/\text{cc}$ ）であり、この値は、法令で定められている3カ月平均のスタック出口濃度  $8.1 \times 10^{-11}\mu\text{Ci}/\text{cc}$  に対し、通常時におけるスタック出口の平均放射能濃度〔 $8.1 \times 10^{-14}\mu\text{Ci}/\text{cc}$ 以下（検出限界値以下）〕を考慮すると十分余裕のある値であると考えられる。

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る説明資料		整理番号
		4 - 4 - (2)
件名	計画外の放射能溶出について	
..... ..... .....		
回答	添付書類の有無 ( 有, <input checked="" type="radio"/> 無 )	
1. 想定趣旨		
..... 系統除染の際、仮に一時に放射能が溶出したとした場合、系統の線量率はどのようなものかを、今回の除染法で予測する。		
2. 検討条件		
..... (1) 系内のクラッドの溶解性は、部位に関係なくほぼ同等である。すなわち、特別な部位のクラッドが選択的に溶解することはない。		
..... (2) クラッドの溶解率と放射能の溶解率との間は、1 : 1の関係がある。したがって、一方だけが選択溶解することはない。		
..... (3) 圧力管付着クラッドの比放射能は高目に見積って燃料体付着クラッドと同等とする。		
3. 異常溶出による状況推定		
..... (1) 系統除染では、初期注入 ( 0.05% ) した後、12hr後までは除染中浄化 ( 浄化補償分を追加注入して0.05%を保持 ) を採用し、以後浄化を止めて0.1%で行う。		
..... (2) 仮に、放射能の異常溶出が発生するとすれば、除染初期であると考え。		
..... (3) そこで、除染剤0.05%の条件で到達する状況はどのようなものであるかを以下に推定する。		
..... ① 除染範囲の全クラッド量は41.7kgである。これをFeに換算すると、 $41.7 \text{ kg} \times \frac{2 \text{ Fe}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} (\text{クラッド}) = 41.7 \text{ kg} \times \frac{112}{160} = 29.2 \text{ kg}$ 。		

② 29.2 kgのFeが除染液（保有推量72.5 m<sup>3</sup>）にすべて溶解したとすると、Fe濃度は29.2 kg / 71.4 m<sup>3</sup> = 0.409 m<sup>3</sup> = 409 ppm。

③ クリデコン203 0.05%のFe溶解容量は、95 ppmである。したがって、0.05%のクリデコン203で溶解できるクラッド量は全量の95 ppm / 409 ppm × 100 = 23.2%である。

④ 放射能の溶解率は、クラッドの溶解率と同等なので、23.2%であり、その量は、212 Ci × 0.236 = 49.2 Ciである。

⑤ これを濃度に換算すると、49.2 Ci / 71.4 m<sup>3</sup> = 0.69 Ci / m<sup>3</sup> = 0.69 μCi / cm<sup>3</sup>。

⑥ この放射能濃度の影響を16Bの吐出管を例に推定すると、概略次のとおりである。

$$1 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \rightarrow 387 \text{mR} / \text{hr}$$

$$0.69 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \rightarrow 387 \text{mR} / \text{hr} \div 1 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \times 0.69 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \\ = 267 \text{mR} / \text{hr}$$

⑦ 16B吐出管の線量率は、約150 mR / hr（炉停止中）である。除染によってその23.2%が溶解しているとする、残留分は150 mR / hr × (1 - 0.232) = 115 mR / hrとなり、溶解分との和で、267 mR / hr + 115 mR / hr = 380 mR / hr

⑧ もう一つの代表例として、2Bの入口管群について推定する。

$$1 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \rightarrow 112 \text{mR} / \text{hr}$$

$$0.69 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \rightarrow 112 \text{mR} / \text{hr} \div 1 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \times 0.69 \mu\text{Ci} / \text{cm}^3 \\ = 77 \text{mR} / \text{hr}$$

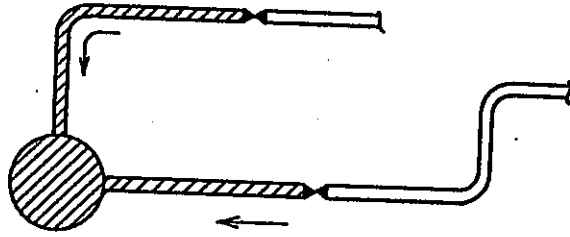
⑨ 2Bの入口管群の線量率は約600 mR / hr（炉停止中）である。除染によってその23.2%が溶解しているとする、残留分は600 mR / hr × (1 - 0.232) = 461 mR / hrとなり、溶解分との和で77 mR / hr + 461 mR / hr = 530 mR / hr

4. 以上のように、仮に一時に放射能が溶出するようなことが発生したとしても、吐出管で

通常の炉停止中の線量率の約2.5倍、入口管は10%ほど低下すると推定できる。

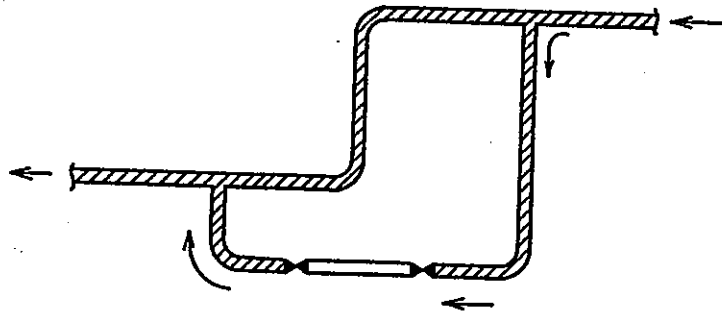
Blank lined area for notes or calculations.





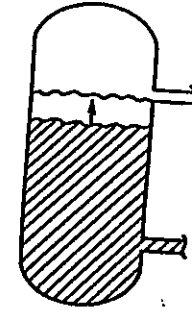
注水ライン

[循環ライン中へ外から注水]



循環ライン

[循環ラインからのバイパス止弁を開とし、循環ライン内の浄化水を通水する。]



機器内液面近傍部

[浄化運転時の循環ライン内が充分浄化された後、機器内液位を少し上昇させた状態で浄化フラッシング運転を継続する。]

図-1 各滞留部のフラッシング方法

新型転換炉ふげん発電所における  
原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料

整 理 番 号

4 - 6

件 名 除染効果測定方法について

回 答

添付書類の有無 (  有  無 )

除染効果の測定方法（除染前後）は、以下に示す除染対象機器・配管の表面線量当量率の測定及び核種分析による配管内面の付着放射性物質量の測定により行う。また、除染対象機器・配管の線量当量率を遠隔監視モニタにより常時監視する。

1. 除染対象機器、配管の表面線量当量率測定

(1) 測定器 : 電離箱式サーベイメータ。

(2) 方法 : 測定点をマーキングし、除染前後に測定する。

(3) 測定箇所 : 除染対象機器・配管全体を均一に測定する。

2. 核種分析による配管内面付着放射性物質測定

(1) 測定器 : Ge - (Li) 検出器 (コリメータ付遮へい体を設けたもの)

(2) 方法 : 配管表面に固定し、連続的に測定する。

(3) 測定箇所 : 原子炉冷却系再循環ポンプ (A) 吐出管を代表点として測定する。

3. 遠隔監視モニタによる監視

(1) 測定器 : シリコン半導体検出器 (遠隔監視装置付)

(2) 方法 : 機器・配管表面に検出器を固定し、その信号を低線量エリアで監視する。

(3) 測定箇所 : 原子炉冷却系の主要機器、配管を測定する。



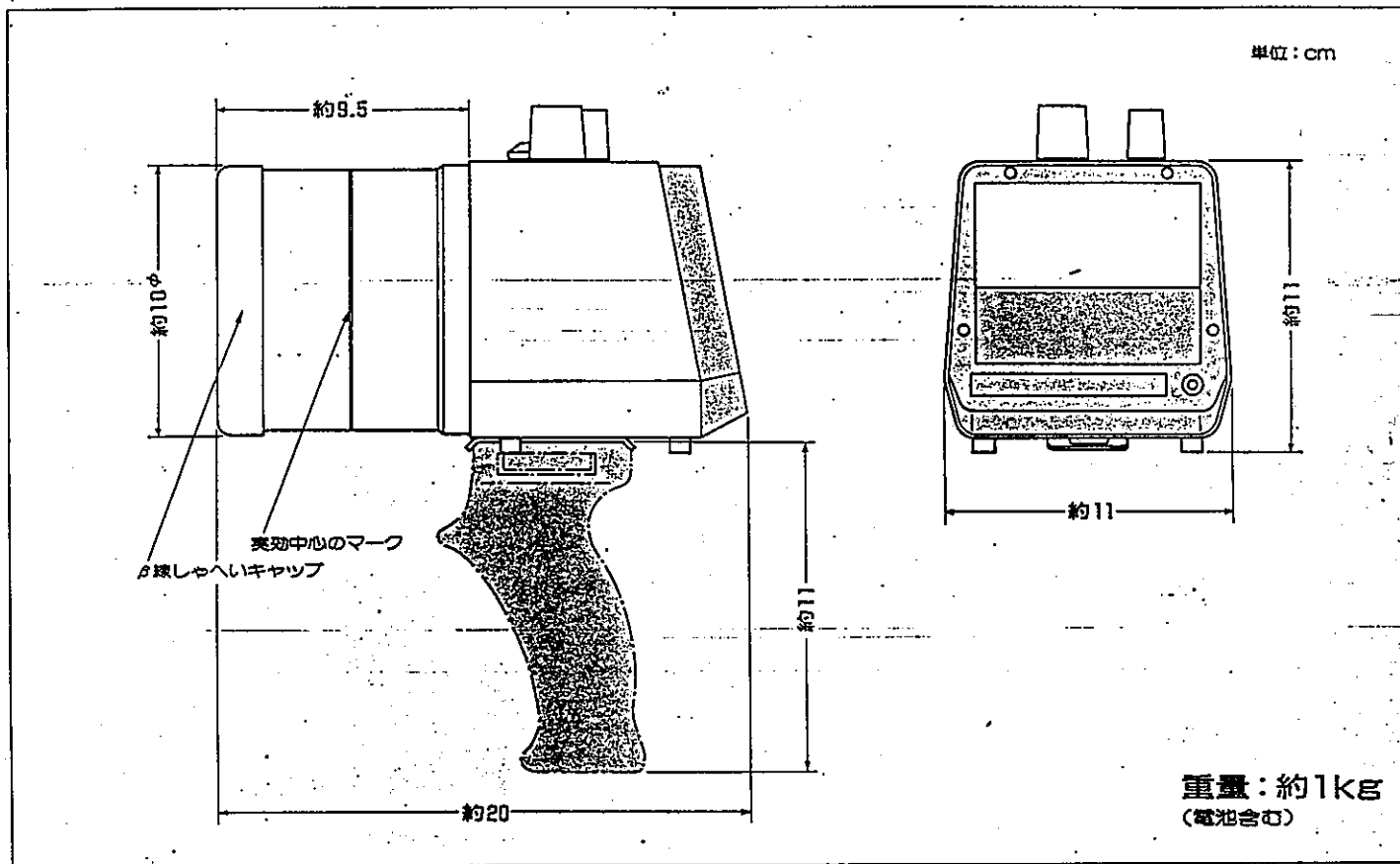


図 - 1 電離箱式サーベイメータの外形寸法図

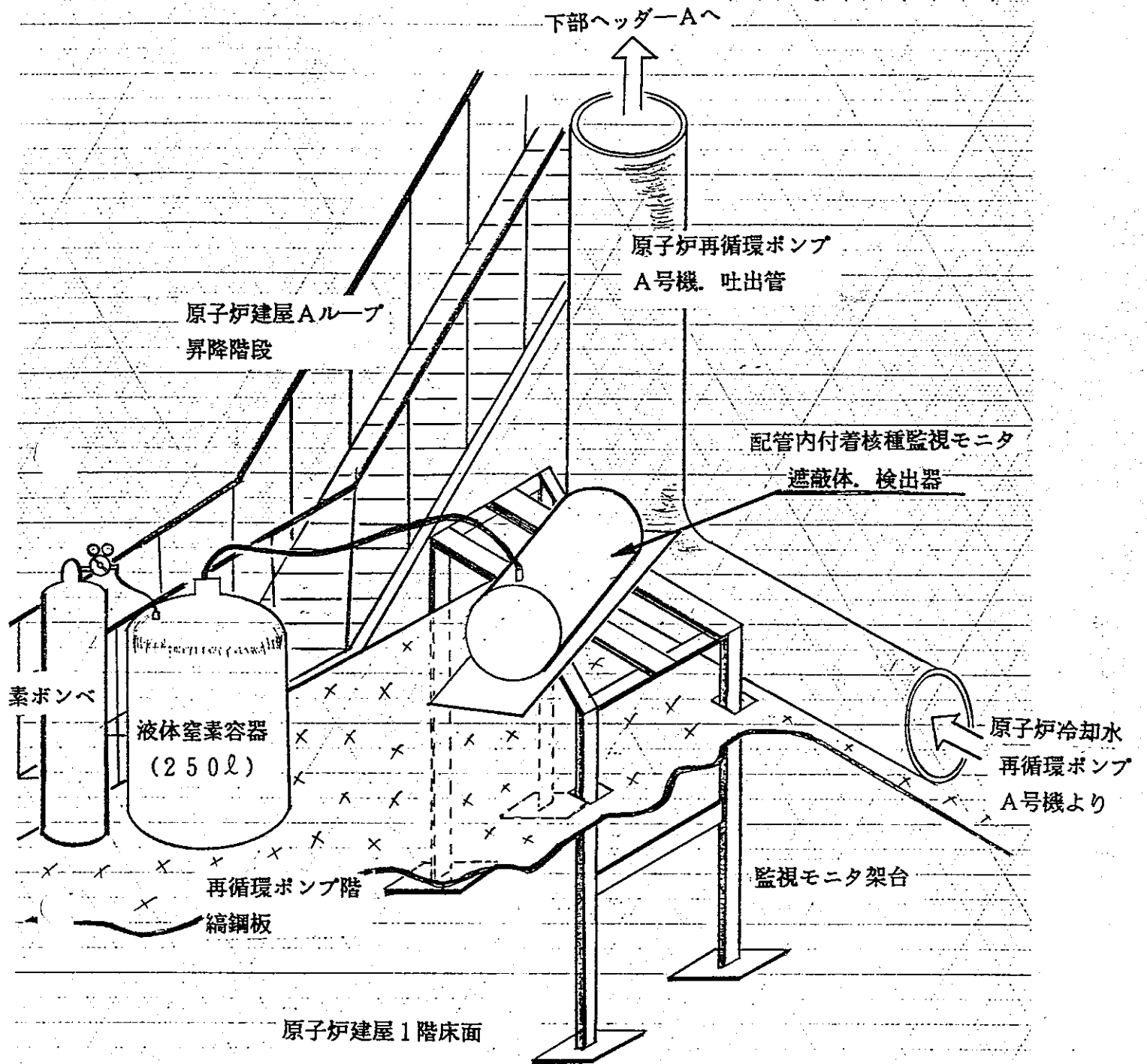


図 - 2 配管内付着核種監視モニタ設置概要図

# システム概要

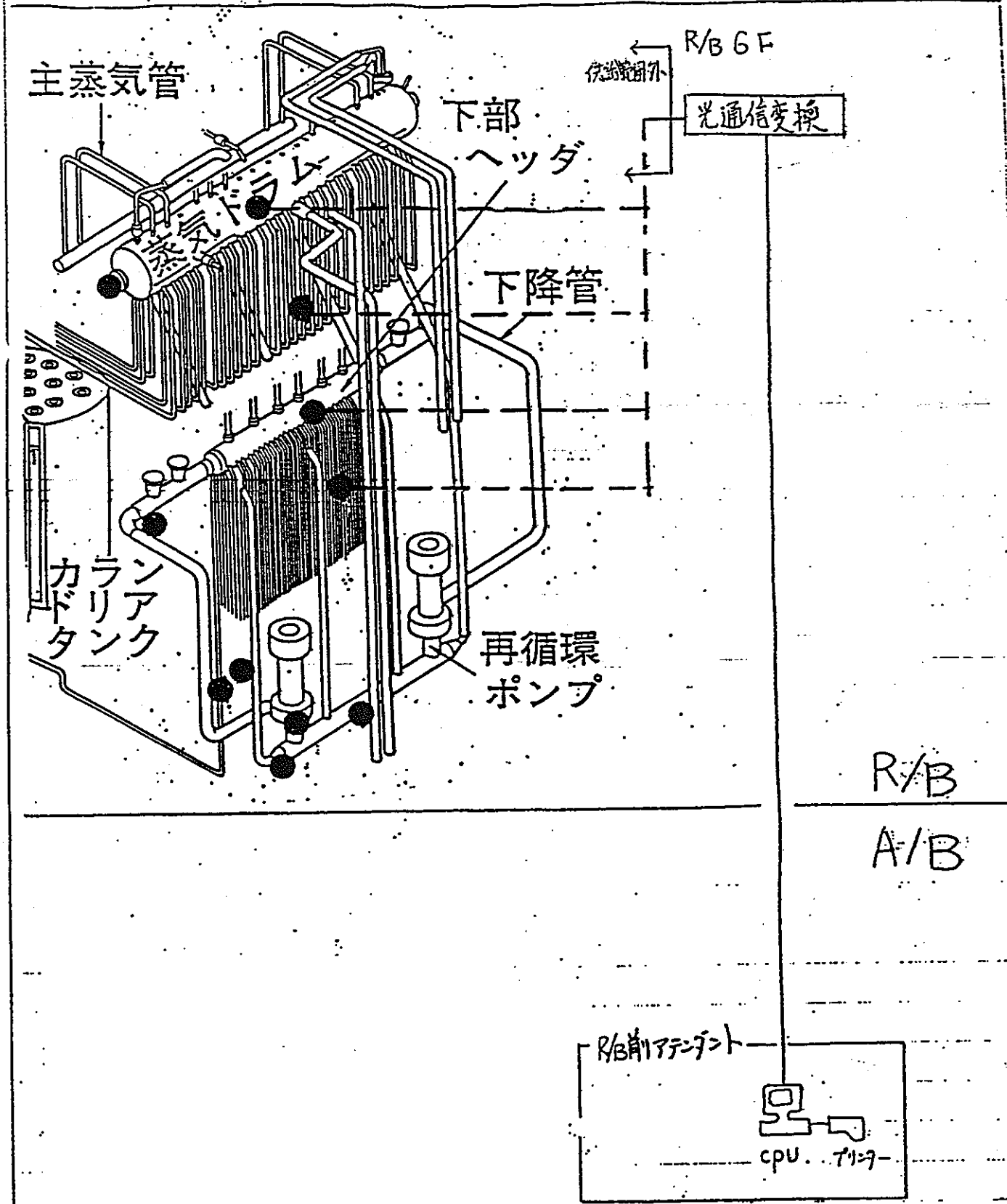


図 - 3 遠隔監視モニタ

新型転換炉ふげん発電所における 原子炉冷却系系統除染計画に係る参考資料	整 理 番 号
	4 - 7

件 名	材料サーベランス計画
-----	------------

.....

.....

.....

回 答	添付書類の有無 ( <input checked="" type="radio"/> 有, <input type="radio"/> 無 )
-----	---

除染時に除染液と接液するプラント構成材の健全性を検証するため、材料サーベランス試験を実施する計画である。

試験は、主に全面腐食の評価を目的としており、除染実施期間中に試験片を圧力管集合体内に装荷して評価する。また、一部の試験片については、除染終了後、既設のインプラント材料試験装置のオートクレーブに装置し、約1年間実炉水環境下で浸漬させた後、評価する計画である。

評価対象材は次のとおりである。

- (1) Zr-2.5wt%Nb                      ——— 圧力管材
- (2) SUS403Mod                        ——— 圧力管延長管
- (3) SUS304
- (4) SUS316
- } 原子炉冷却系構成材
- (5) 炭素鋼                              ——— RHR構成材
- (6) 参考材
- Zry-2、インコネル718      ——— 燃料被覆管材

なお、本計画の詳細については、添付資料参照。

.....

.....

.....

原子炉冷却系系統除染の適用にあたっては、材料試験結果から構成材料の健全性に影響を及ぼすことはないと考えているが、これを検証することを目的として材料モニタ試験片により除染中の健全性を把握するとともに、除染後に除染液と接液する機器の一部について開放点検時に健全性に問題のないことを確認する計画である。

以下にその内容を記す。

## 1. 材料モニター試験計画

### (1) 試験概要

材料モニター試験は主に系統除染実施中の構成材料の腐食量の評価を目的として、試験片を圧力管集合体内に装荷して実機除染環境で試験・調査する。また、一部の試験片については、除染終了後、既設のインプラント材料試験設備内のオートクレーブ内に装着し、約1年間実炉水環境下に浸漬させた後、評価する計画である。

### (2) 試験項目

#### ① 腐食試験

無負荷の試験片を実機除染環境中に浸漬させ、全面腐食量を評価する。また、接触試験片及び隙間試験片を組み合わせることにより局部腐食の有無を確認、評価する。

#### ② C T (Compact Tension) 試験 (又は、ボルトW O L (Wedge Opening Loading)試験)

潜在的なS C C等による亀裂が存在する場合を想定し、その亀裂が除染の影響により進展しないことを確認する。

試験方法は、S C Cを発生し易くするためにS U S 3 0 4材に強鋭敏化熱処理を施すとともに、予亀裂を入れた試験片に応力を加えた状態で浸漬させ、除染により予亀裂が進展しないことを確認するものである。

### (3) 供試材

材料モニター試験の供試材は、除染液と接液するプラント構成材から、次の材料を対象としている。

なお、各試験片の仕様を、表-1に、また形状を、図-1～図-3に示す。

① 圧力管材	————	Zr-2.5wt%Nb
② 圧力管上下部延長管材	————	SUS403Mod.
③ 原子炉冷却系構成材	————	SUS316, SUS304
④ 余熱除去系構成材	————	炭素鋼 (STPT38)
⑤ 参考材	————	Zry-2, インコネル718

### (4) 評価方法

図-4に材料試験片評価フローを示す。

各材料試験片は、図-5に示す収納容器内に取り付けられ、系統除染対象ループ内の圧力管集合体内に装着される。その後、系統除染の間中浸漬された試験片は、系統除染終了後、圧力管集合体内より取り出される。

取り出された各試験片のうち、表-1に示す評価用の試験片については、観察され系統除染による影響を評価する。また、追跡用試験片については、発電所内に設けられている既設のインプラント材料試験設備内のオートクレーブ内に再び装荷され、約1年間実炉水環境下に浸漬された後、観察評価される。

既設のインプラント材料試験設備は、「ふげん」で実施している水素注入によるSCC感受性の低減効果を確認するために設置しているものであり、図-6に示すようにプラント運転中に下部ヘッドBから原子炉冷却水を通水しており、その環境は、実炉水環境と同等である。

## 2. 開放点検による確認

発電所の定期検査の一環として、系統除染後にプラント構成機器の大部分が定期検査計画に従って、開放あるいは分解点検される。この点検に際して、機器の構成材に対し除染による影響がなかったことを確認する計画である。具体的な確認方法としては、これまでの点検結果と今回の点検結果とを比較し、部分腐食等が認められた場合には、サンプル材を採取し、分析評価する計画である。

今回の定期検査において、除染液と接液する機器のうち、開放あるいは分解する機器は、下表のとおりであり、その系統内での位置を図-7～図-9に示す。

なお、プラントの構成機器は、原則として3～5年サイクルで開放あるいは分解点検する計画であり、除染に伴う機器の健全性は十分把握できると考えている。

No.	機 器 名 称	点 検 内 容
1	蒸気ドラムA	<ul style="list-style-type: none"><li>・マンホールパッキン取替</li><li>・可視可能範囲の内部構造物を目視により点検</li></ul>
2	下部ヘッドA	<ul style="list-style-type: none"><li>・部分取り替えに際して可視可能範囲について内部点検を行う。</li></ul>
3	熱交換器 原子炉冷却材浄化系 非再生熱交換器	<ul style="list-style-type: none"><li>・開放点検</li><li>・伝熱管の渦流探傷検査</li></ul>

No.	機 器 名 称	点 検 内 容
4	<p>ポンプ類</p> <p>(1) 原子炉再循環系 再循環ポンプA 再循環ポンプC</p> <p>(2) 原子炉冷却材浄化系 充填ポンプA ブースタポンプ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> </ul>
5	<p>弁 類</p> <p>(1) 原子炉冷却材浄化系 内隔離弁</p> <p>(2) 余熱除去系 戻り外隔離弁 蒸気ドラムA取水弁 下部ヘッドA注水弁</p> <p>(3) 低圧注水系 下部ヘッドA注水逆止弁</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> <li>▪ 分解点検</li> </ul>



### 3. 実証試験時の材料モニターについて（実績）

「ふげん」においては、これまで原子炉冷却系系統除染計画の一環とし、実証試験として熱交換器等の機器単体除染を実施している。この単体除染において除染系内に試験片を浸漬して、腐食量を評価している。その結果は、表-2に示すとおりであり、局部腐食等は認められていない。また、除染後においては、熱交換器の開放点検を実施するとともに、伝熱管に対して渦流探傷検査を行っているが、いずれも異常はなく除染による影響は認められていない。

表 - 1 材料試験片の詳細

No.	試験片の種類	材 質	仕 様	員 数		備 考	
				評価用	追跡用		
1	腐食試験片	圧力管材 Zr-2.5wt%Nb	「ふげん」 予備材	5	5	図-1	
2		圧力管上・下部 延長管材 SUS403M	加工のまま	3	—		
3		配管材 (1) SUS304	溶体化処理	3	—		
4			二段時効の鋭敏化熱処理 (750°C×100min+500°C×24hr)	3	—		
5		配管材 (2) SUS316	溶体化処理	3	—		
6		配管材 (3) STPT38 (炭素鋼)	JIS仕様のまま	3	—		
7	腐食試験片	圧力管	SUS403M + Zr-2.5wt%Nb	3	3	図-2	
8	接触試験片	機器構造物 熱交換器等	SUS304 + SUS304	3	3		
9	腐食試験片 隙間試験片	フランジ等	SUS304+ガasket+SUS304	3	—	図-3	
10	CT試験片 (予亀裂入り)	配管材 SUS304	二段時効 の鋭敏化 熱処理 750°C ×100min + 500°C ×24hr	注) $K_{I0}=50\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$	1		1
11				$K_{I0}=70\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$	1		1
12				$K_{I0}=100\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$	1	1	
13	参考材	燃料被覆管 Zry-2	加工のまま	3	—	図-1	
14	腐食試験片	燃料スペーサ材 インコネル718	加工のまま	3	—		

注) 従来知見として得られている $K_{Isc}$ が50~70 $\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$ であることを参考として、初期 $K_{I0}$ 値を、これと同等なもの及び安全側評価として高いものとして設定した。

表 - 2 実証試験時の材料モニター結果

No.	機器名称	実施時期	除染条件	試験片の分析結果
1	原子炉冷却材 浄化系熱交換器	昭和62年	除染剤：KD203 濃度：0.2 % 温度：120 °C 時間：16 時間	SUS316 — 腐食量：~0 μm
2	原子炉冷却材 浄化系熱交換器	昭和63年	除染剤：KD203 濃度：0.05 ~ 0.1 % 温度：120 °C 時間：24 時間 (除染中浄化適用)	SUS316 — 腐食量：~0 μm
3	余熱除去系 熱交換器	昭和62年	除染剤：KD203 濃度：0.2 % 温度：120 °C 時間：8 時間	SUS316 — 腐食量：~0 μm STPT38 — 腐食量：2.8 μm SB49 — 腐食量：3 μm

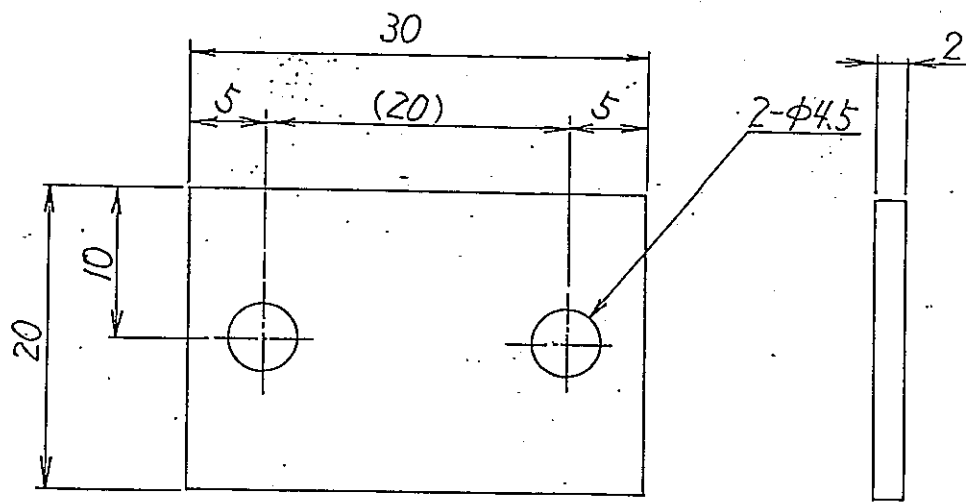


図 - 1 腐食試験片

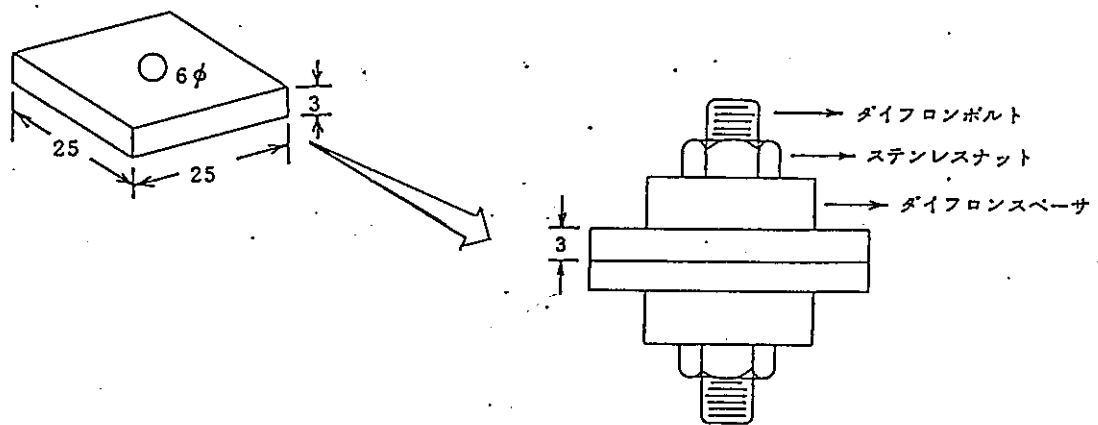


図 - 2 腐食試験片 (接触及び隙間用)

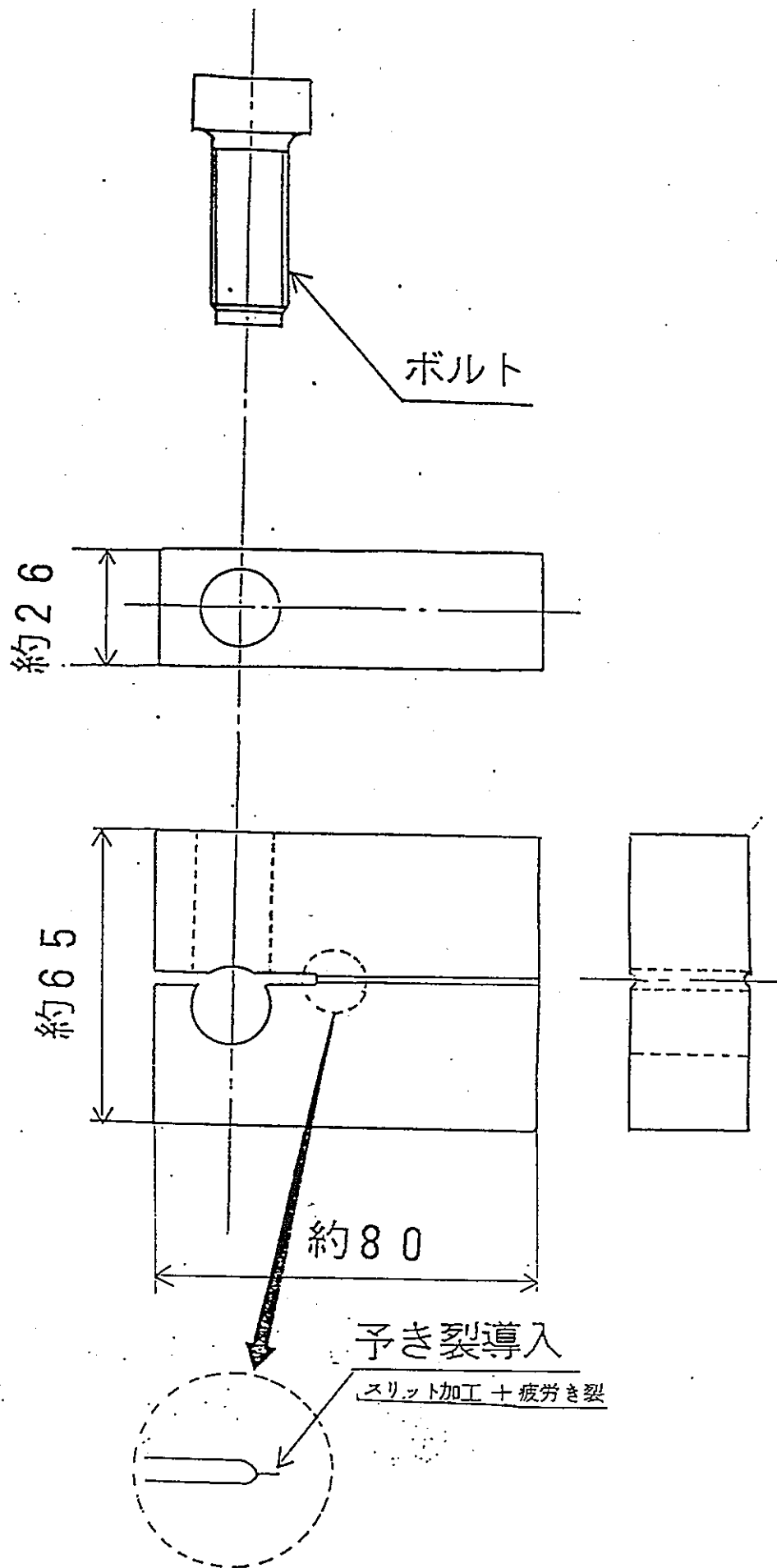


図 - 3 CT (ボルトWOL) 試験片

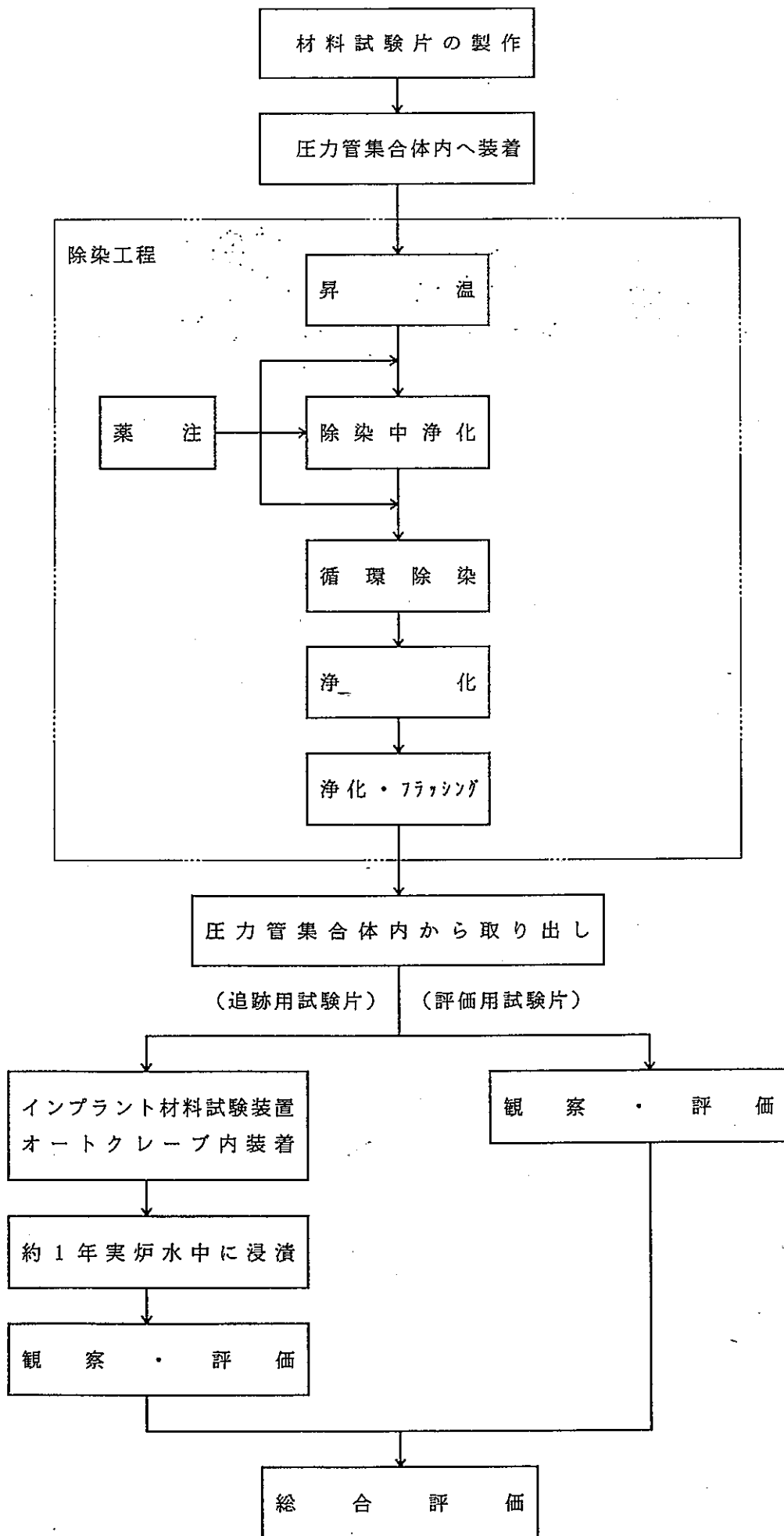
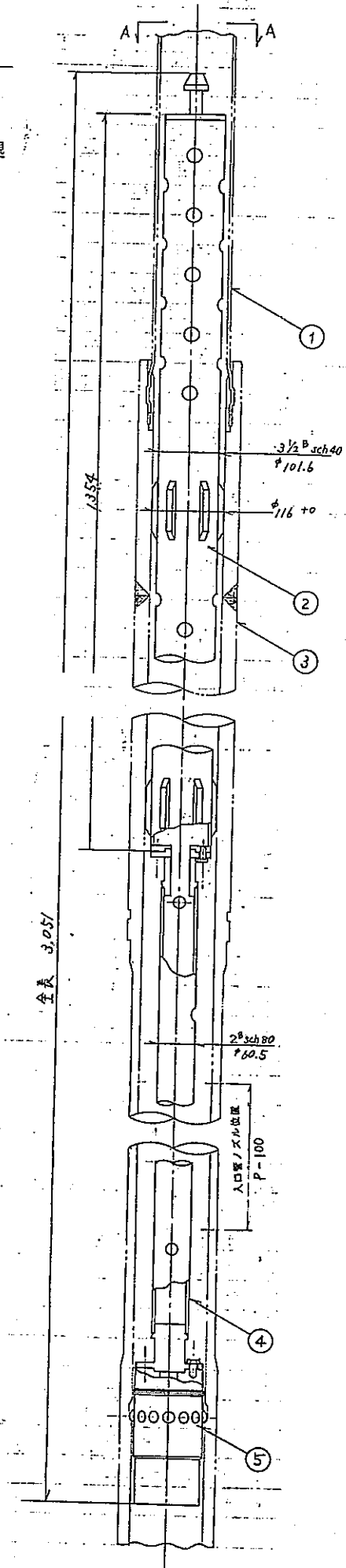
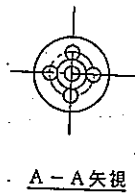
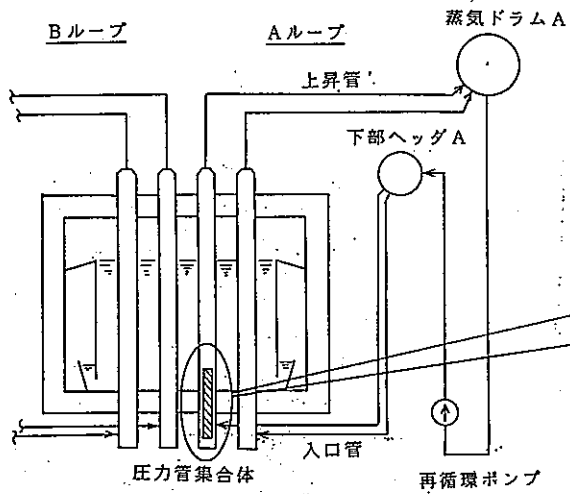
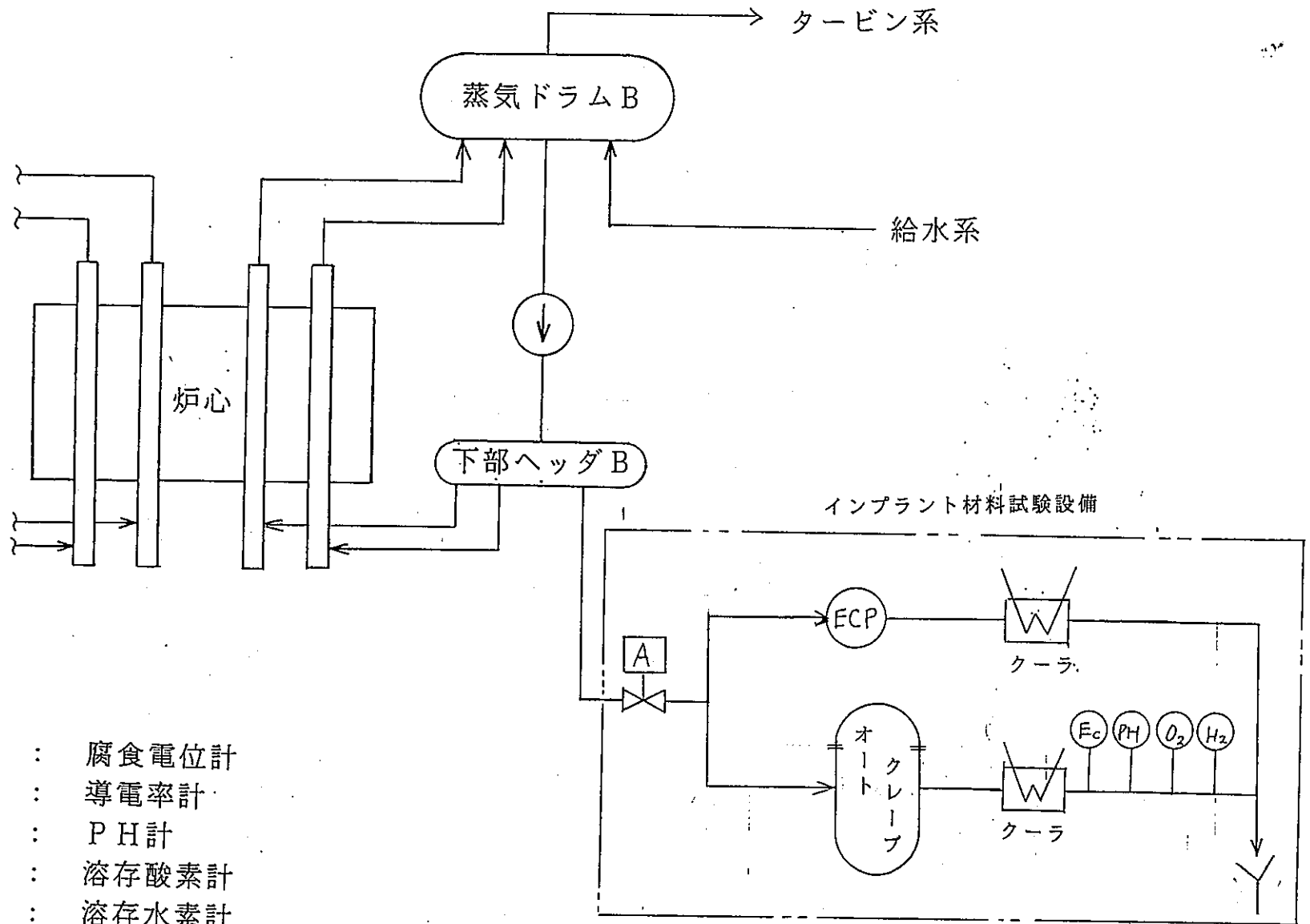


図-4 材料試験片 評価フロー



品番	名称	材質	備考
1	圧力管	Zr-2.5W1%Nb	
2	試験片収納容器	SUS304	
3	圧力管下部延長管	SUS403M	
4	支持管	SUS304	
5	プラグ	—	

図-5 材料試験片収納容器装着位置図



注)

- ECP : 腐食電位計
- Ec : 導電率計
- PH : PH計
- O<sub>2</sub> : 溶存酸素計
- H<sub>2</sub> : 溶存水素計

図 - 6 インプラント材料試験設備系統図



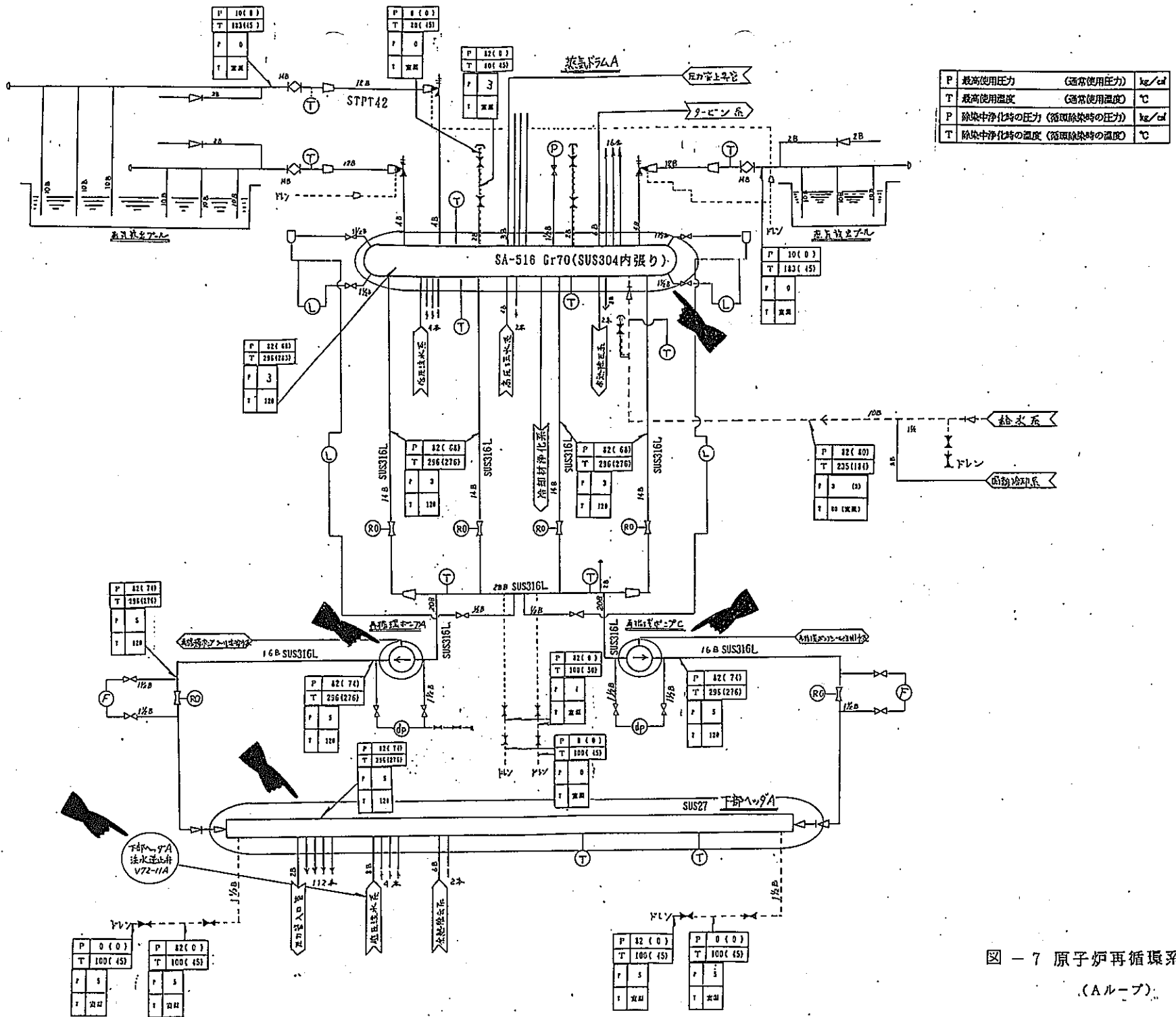
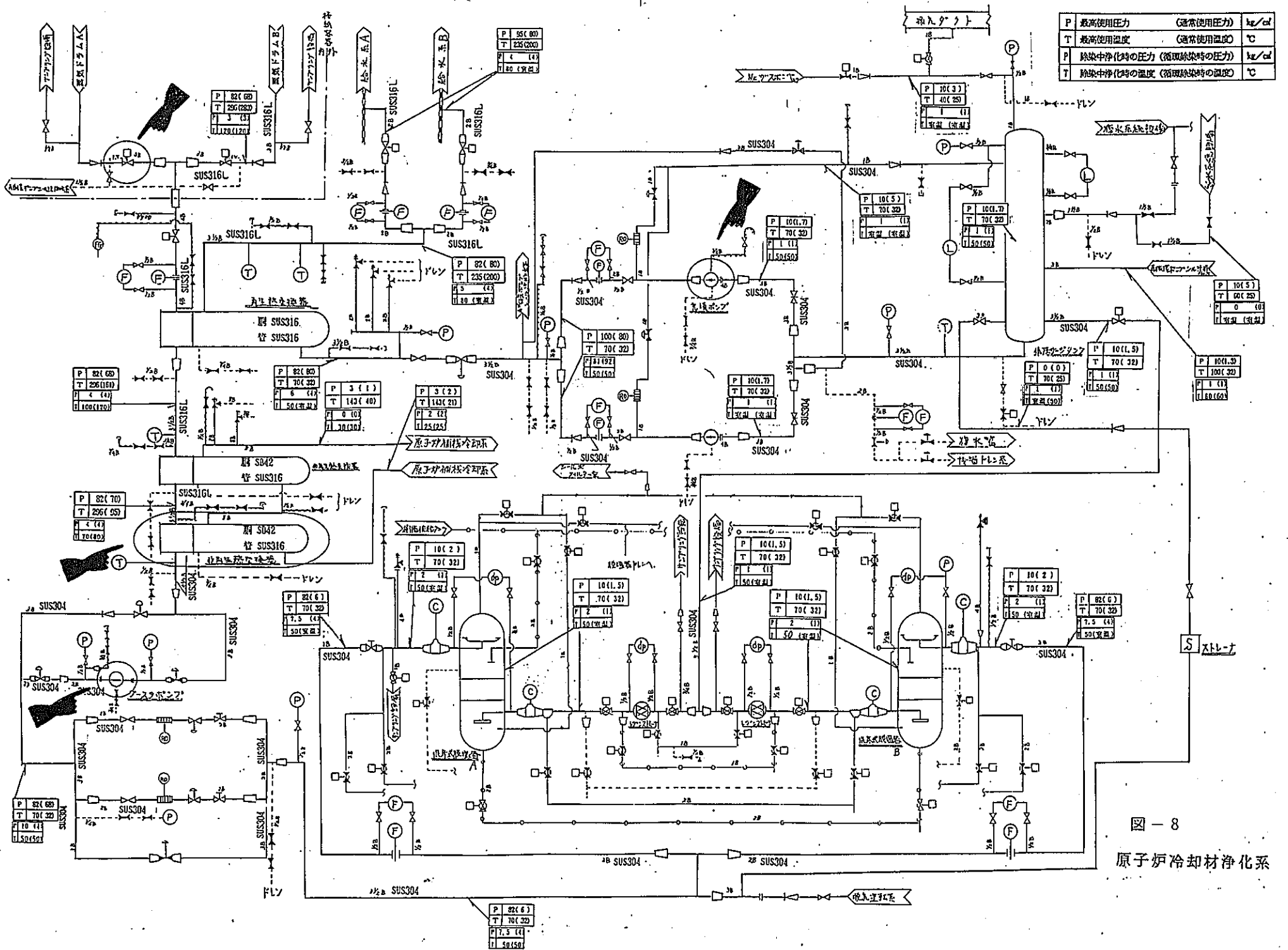


図 - 7 原子炉再循環系 (A-loop)



P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図 - 8

原子炉冷却材浄化系

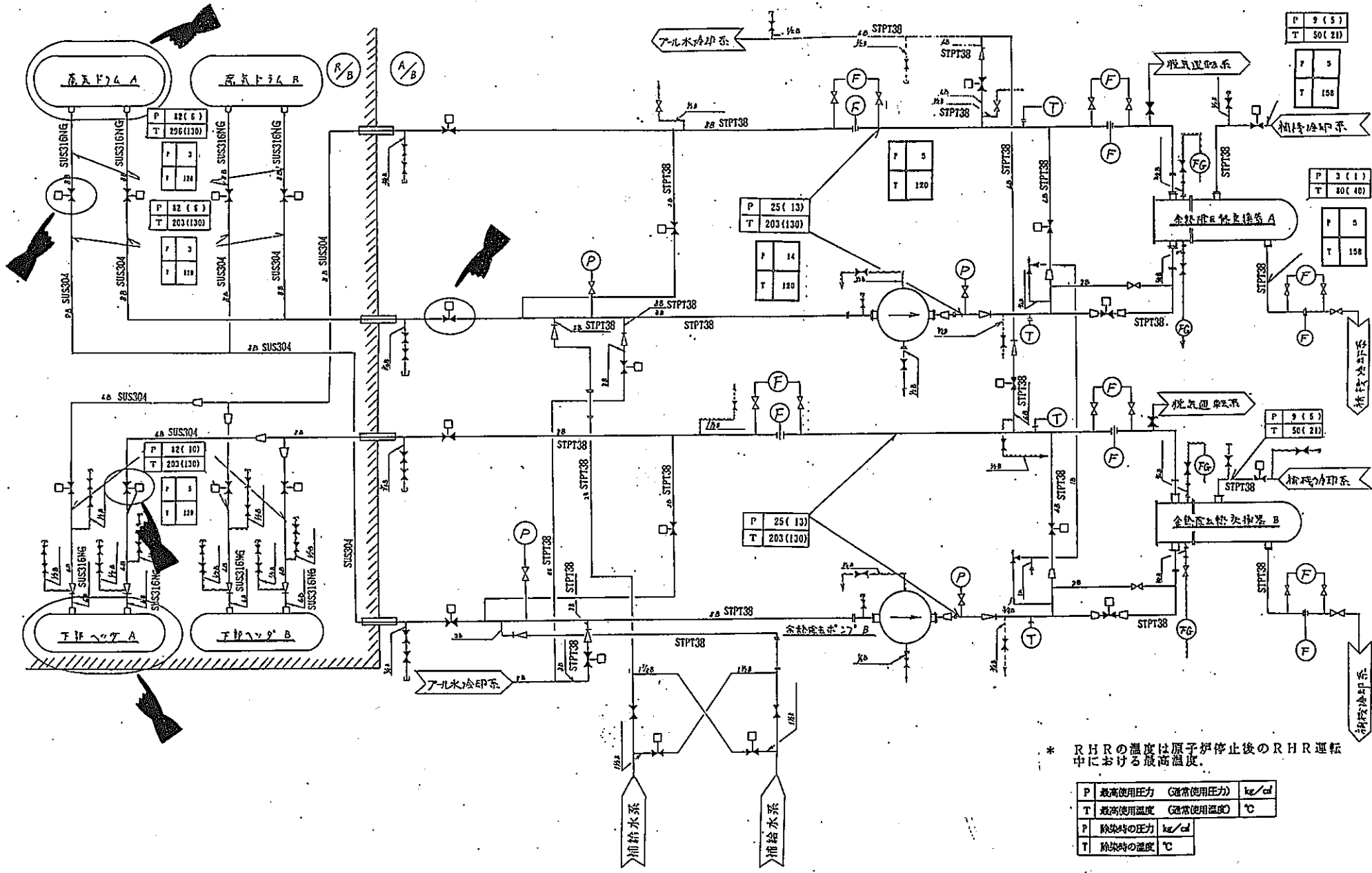


図 - 9 余熱除去系



表-1 BWR用化学除染法

国 研究機関	除染法名称	液・希別	除染剤配合組成		除染条件			D F	特 徴	原子炉への 適用経路
			組 成	濃 度	温 度	時 間	pH			
アメリカ Dow chemical (DOE)	NS-1	液	キレート化剤 有機酸 インヒビター 界面活性剤	7wt %	℃ 120	h 100~200		50~100	大きなDFが得られる 低腐食性 除染廃液量が多い	有 Peach Bottom 2, & 3 Dresden-1
アメリカ Dow chemical IT	dilute-NS-1	希	キレート化剤 有機酸 インヒビター 界面活性剤	0.7wt %	℃ 120	h 24		20~50	逆浸透膜処理で除染液を浄化する	有 (Pilgrim) 再循環系
カナダ AECL, CRNL, LNL	CAN-DECON LND-101	希	キレート化剤 有機酸	0.1wt %	℃ 80~130	h 20~30		3~10	イオン交換樹脂を用いて除染剤の 再生、浄化を行う。 廃液発生量少ない。	有 (CANDU BWR)
アメリカ GE, VNC (DOE)	GE-dilute	希	シュウ酸 クエン酸 溶存酸素	12mM 5mM 0.75ppm	℃ 90	h 12	3	2~5	同上 (Fuelを含めた全系統除染を) 目指している。	無
英 CEGB, BNL (EPR1)	LOMI	希	バナジウム(II価) ピコリン酸 ギ酸 Na (pH調整用)	12mM 70mM 80mM 70mM	℃ 80	h 2~6	4.8	1.1~5	同上 (還元性金属イオンとキレート) (配位子を除染剤として使用)	有 (WSG BWR)
スイス SFIRR	ギ酸-ホルムアル デヒド法	液	ギ酸 ホルムアルデヒド インヒビター	2 M 0.1 M 0.01 M	℃ 40~100	h > 100		~1000	BWR, PWR用 放射性物質の大部分は電解捕集し 除染剤はCO <sub>2</sub> と水に分解する。	無
日 本 日立製作所	電解還元法	希	EDTA クエン酸 シュウ酸 (アンモニアでpH調整)	2mM 100mM 100mM	℃ 85		6.5		中性溶液中での除染を目標として いる。還元剤は電解で生成する。	無

5.62.12.23 講習会資料  
「化学除染技術の現状と開発動向」  
原研、動力炉試験炉部 安中秀雄氏

表-2 PWR用化学除染法

(その1)

国 研究機関	除染法名称	液・希別	除染剤配合組成			除染条件			D F	特 徴	原子炉 への適用
			ステップ	組 成	濃 度	温度(°C)	時間(h)	pH			
英 CEGB, BNFL	POD	希	phase I (NP)	過マンガン酸カリウム 硝 酸	1 g/l 0.25 g/l	90	24	2.5	20 (ステンレス鋼) 50 (Ågesta) SG管	酸化処理を酸性で行うので AP法のようなすすぎ洗浄 不用。実質的に1段階法で ある。 phase II, ではイオン交換 樹脂による浄化のみ。 phase III, では除染剤の再 生, 浄化をイオン交換樹脂 で行う。	無
			phase II	シュウ酸 硝 酸	1.4 g/l 1.5 g/l						
			phase III <sub>a</sub>	シュウ酸 クエン酸 水酸化ナトリウム	0.45 g/l 0.96 g/l 0.42 g/l	80	5 ~ 7	-2.5			
			phase III <sub>b</sub>	シュウ酸 クエン酸	0.225 g/l 0.48 g/l	80	5 ~ 7	2.5			
英 CEGB, BNFL	NP-LOMI	希	step 1 (NP)	過マンガン酸カリウム 硝 酸	1 g/l 0.25 g/l	90	24	2.5	4.3 ~ 12 (SGHWR) 25 ~ 29 (Ågesta)	従来のLOMI法ではクラ ッド中のCrが20%以下 の場合しか溶解しないが, 本法は20%以上でも溶解 可能。すすぎ不用で実質上 1段階法, 硝酸濃度が高い 場合に有利。	有 (Winfrith) (SGHWR) 部分適用 (Monticello, BWR)
			step 2 (LOMI)	LOMI	0.1 0.3 wt%	80	2 ~ 6	4.8			
カナダ AECL, CRNL	オゾン CAN-DECON	希	step 1	オゾン クロム酸(Crとして)	~250 μM/l 0.1 g/l	<40 (25)	5	2.7 2.8	>100 (SUS 304)	step 2は CAN-DECON 法, 全体の効果は AP- Citrox と似ているが, 腐食 量少なく腐食速度も小さい。	無
			step 2	LND-101	0.1 wt%	85					
スウェーデン STUDSVIK	AP-ACE (改良)	希	step 1 (AP)	過マンガン酸カリウム 水酸化ナトリウム	1 g/l 1 g/l	90 ~ 95	10 ~ 20		10 ~ 25 SG管 (AISI 304) 3 ~ 5 (インコネル600)	step 1は AP法であるが希 薄溶液である。 イオン交換樹脂による再生, 浄化を行う。	無
			step 2	EDTA (DTPA) シュウ酸 クエン酸 アスコルビン酸	0.5 g/l 0.2 g/l 0.4 g/l 0.4 g/l	90	10 ~ 20	3.2			

表-3 PWR 化学除染法

(その2)

国 研究機関	除染法名称	国・希別	除染剤配合組成			除染条件			D F	特 徴	原子炉 への適用
			ステップ	組 成	濃 度	温度(°C)	時間(h)	pH			
アメリカ Battelle, PNL (EPRI)		希	Single	過酸化水素 クエン酸 ホウ酸 水酸化リチウム 水酸化アンモニウム (pH調整用)	100 mM 50 mM 185 mM 0.3 mM	150 ~ 180		3.5	除染速度 ~ 0.1 %/min	比較的高温条件。 酸化剤や還元剤による 希薄溶液1段階法でイオン 交換樹脂の使用を検討。 除染速度大きい。	無
西 独 KWU		希	Single	錯化性有機酸	250 ~ 500 ppm	90 ~ 100	80 ~ 100	2.5   3.5	2 ~ 5 (期待値)	特殊なイオン交換樹脂を用 いて除染剤の再生、浄化を 行う。	無
スイス SFIRR	AP-AC (改良)	希	step 1 (AP)	過マンガン酸カリウム 水酸化ナトリウム	4 g/l	60	10 ~ 100		5 ~ 15 (Agesta) (SG管)	step 1は電解プロセスによ りレドックス電位を一定に 保つ。 step 1→step 2 連続 再生浄化いずれもイオン交 換樹脂による。低腐食性	無
			step 2 (AC)	還元剤 錯化剤	5 ~ 40 g/l	80 ~ 95		~ 4			
西 独 KWU	AP-AC (改良)	濃 (ハード)	step 1 (AP)	過マンガン酸カリウム 水酸化ナトリウム	~ 50 g/l	90 ~ 100	2 ~ 4		> 10 (期待値)	step 1から step 2へ移行 するとき脱塩水で洗浄する。 廃り除染用	無
			step 2 (ACE)	還元性有機酸 キレート化剤 インヒビター (pHは アンモニアで調整)	40 ~ 60 g/l	90 ~ 100	6 ~ 8	3.5			
スイス SFIRR	AP-F	希 (ハード)	step 1 (AP)	過マンガン酸カリウム 水酸化ナトリウム	4 g/l	60	10 ~ 100		> 100 (Agesta) (SG管)	step 1は AP-AC (改良) と同じ操作条件。 step 2の再生、浄化もイオ ン交換樹脂を使用。 材料に対する腐食性大	無
			step 2	フッ化物を含む 強 酸	3 ~ 10 g/l	80 ~ 95	10 ~ 100				

表-4 P W R 用 化学除染法

(その3)

国 研究機関	除染法名称	濃・希別	除染剤配合組成			除染条件			D F	特 徴	原子が への適用
			ステップ	組 成	濃 度	温度(°C)	時間(h)	pH			
	AP-AC	濃	step 1 (AP)	過マンガン酸カリウム 水酸化ナトリウム	32 g/l 105 g/l	105	1~2		3~50	ステンレス鋼表面に生成するクロム酸化物の溶解除去の前処理剤。 腐食抑制がされていない場合は炭素鋼には腐食性である。	有 Shippingport Heinsberg Gundremingen
			step 2 (AC)	クエン酸二アンモニウム	100 g/l	85~95	1~4	3.5			
	AP-Citrox	濃	step 1 (AP)	過マンガン酸カリウム 水酸化ナトリウム	32 g/l 105 g/l	105	1~2		3~200	炭素鋼の腐食は少い。炭素鋼存在下でも比較的安定で長時間も炭素鋼に85°Cで接触した後も沈でんを形成しない鉄酸化物の溶解除去剤。	有 (SINA) (PRTR)
			step 2 (Citrox)	シュウ酸 クエン酸二アンモニウム 硫酸第二鉄 ジエチルエタノール	25 g/l 50 g/l 2 g/l 1 g/l	85	1~4				
アメリカ Dow Chemical IT	dilute-NS-1 modify	希	step 1	Dow 酸化前処理剤 (アルカリ性酸化剤)		120	6		(JPDR 浄化) 系配管		無
			step 2	dilute NS-1	0.7 wt%	120	24				



表-5 主な原子炉化学除染実施一覧

(その1)

炉型式	原子炉名	国名	炉の定格出力	実施時期	除染対象範囲	除染方法	除染係数	備 考
加圧管型重水炉	PRTR (プルトニウム 再生炉)	米	70 MW	1962	燃料破損に伴なう1次系 汚染の除染	1. APを105℃で1時間 2. OXを85℃で2時間 3. APで105℃で1時間 4. ACB (Ammonium Citrate + EDTA) を85℃で2時間	DF = 3 ~ 16	1. ガスの発生 2. 懸濁物の発生 3. 大量のフラッシング
PWR	Shippingport	米	90 MWe	1964	炉の改造のため1次系全 体の除染	2液法 1. APを121℃で24時間 ACを121℃で26時間	DF = 配管 49 SG 49 金体 4	1. APでのガスの発生 2. ACでの懸濁物の発生 2. 大量のフラッシング
加圧管型重水炉	PRTR (プルトニウム 再生炉)	米	70 MW	1965	放射性廃食生成物 (crud) の蓄積による 放射線量のビルドアップ のため1次系の除染	1. APを105℃で2時間 2. Citroxを81℃で2時間	DF = 3 ~ 200	1. ガスの発生 2. 懸濁物の発生 3. 大量のフラッシング
加圧管型軽水炉	N炉 (プルトニウム 生産炉)	米	860 MWe	1967	Crudによるビルドアップ のため1次系の除染	インヒビター入り番釈りん酸 (10.5wt%)を78~82℃ で16分間	DF = 3 ~ 50	1. 発生した懸濁物の再付着 2. 炭素鋼の孔食腐食
研究炉	Rosendorf	独		1967	1次系の除染	1.5%OX + 0.01%E30 (乳化 剤) の混合液を46℃で1時間	除去率~ 94%	系統中のアルミニウムに有効
加圧管型軽水炉	N炉 (プルトニウム 生産炉)	米	860 MWe	1968	保守点検のための1次系 の除染	インヒビター入り番釈りん酸 (8wt%)を85℃で22分間	DF = 2 ~ 12	1. 発生した懸濁物の再付着 2. 炭素鋼の孔食腐食
PWR	Choozu SIENA	仏	250 MWe	1968	保守点検のためにSGの 除染	1. AP (Turco 4502) を4.5 時間 2. Citrox (Turco 4521) を3.5時間	DF = 40 ~ 200	1. 大量の廃棄物の発生 2. 前処理上に問題あり

5.62.12.23 講習会資料「化学除染技術の現状と開発動向」  
原研 動力炉試験炉部 安中秀雄氏

表-6 主な原子炉化学除染実施一覧

(その2)

炉型式	原子炉名	国名	炉の定格出力	実施時期	除染対象範囲	除染方法	除染係数	備 考
PWR	Reinsberg	独	70 MWe	1968	1次系の除染	1. APを100℃で4～6時間 ACを100℃で3～4時間	DF = 3～27	鉄の過飽和を抑制できずに鉄の再堆積を生じた
SGHWR	Winfrith	英	100 MWe	1969	保守点検のため南系統の除染	1. Turco 4521 (citrox系)を75～85℃で4時間	DF = 1.3～39	1. 薬剤の温度制御を±2℃以下 2. 多量のフラッシング必要 3. SUS, 鉄鋼の腐食は予想以上に認める。
BWR	Lingen	独	250 MWe	1970	再循環ポンプ, 浄化系ポンプ, 主蒸気バルブを系統より取りはずして除染	1. 0.25% OX + 0.25% クエン酸を95℃で3～9時間 2. APを95℃で2時間 3. 0.25% OX + 0.25% クエン酸を95℃で3～9時間	DF = 3～120	系統除染ではない
Candu-PIWR	Douglas Point	加	200 MWe	1971	浄化系の改造のため全系統のスケール除去	1. 水素の注入除去 2. 加の停止と浄化系のフル運転 3. 1次系の温度を260℃ → 50℃ → 150℃とサイクルする	1次冷却系のクラッドレベルが10～20倍に増加	1. スケールの除去のみ 2. モニタリングの炭素鋼の除染のみ
SGHWR	Winfrith	英	100 MWe	1971	保守点検のため北系統の除染	Turco 4521を75～85℃で2時間循環	DF = 2～21	1. 薬剤の温度を±2℃以内にしなければならぬ 2. 多量のフラッシング必要
Candu-BLW	Gentilly	加	600 MWe	1973	使用済イオン交換樹脂	1. Nutek L-106を冷却中に500ppm添加 2. 放射能が低下するまで冷却目をサイクルする 3. 薬剤をイオン交換樹脂で浄化	DF = 2～4	1. 使用済イオン交換樹脂が大量に発生 2. 炭素鋼の除染のみ

表-7 主な原子炉化学除染実施一覧

(その3)

炉型式	原子炉名	国名	炉の定格出力	実施時期	除染対象範囲	除染方法	除染係数	備 考
BWR	Gundremmingen	独	250 MWe	1977	蒸気発生器と1次ループの目貫試験に伴う配管切断溶接のための除染 (除染容量 2 m <sup>3</sup> )	1. APを100℃で2時間 2. AC+シュウ酸+EDTAを90℃で6時間 3. 1, 2をくり返す pH 3.5	DF = 10 ~ 10	配管に仕切板を取りつけて部分除染を行った 除去放射能値 2.8 Ci
BWR	Peach Bottom - 2 - 3	米	1,100 MWe 1,100 MWe	1977	再生熱交換器の修理に伴う除染 〔除去容量-2; 2.3 m <sup>3</sup> -3; 2.4 m <sup>3</sup> 〕	NS-1を250° ~ 260° F (125℃) pH 3.3 ~ 4.0	DF = 2.3 ~ 200 av. - 2; 7.6 - 3; 5.9	2号 3号 除去金属量 2.1 kg 1.5 kg 除去放射能値 6.3 Ci 10.6 Ci
BWR	Vermont Yankee	米	540 MWe	1979	原子炉冷却材浄化系(RWCS)の再生熱交換器の除染 (除染容量 3.8 m <sup>3</sup> )	改良 CAN-DECON 法 LND-101 A で90 ~ 125℃ 24時間 (120℃) pH 3.0	DF = 熱交; 15 ~ 20 固体; 55 ~ 7	仮設除染装置を用いて行った 腐蝕貯 1 m <sup>3</sup> 除去金属量 3.5 kg 腐 液 3 m <sup>3</sup> 除去放射能値 2.4 Ci
Candu	Bruce	加	740 MWe	1979	ブリードコンデンサを除染	1. CAN-DECON 法 LND-101を85℃, 4時間 2. APを85℃で3時間 3. Turco Decon 4521 A (5%)を85℃で3時間	DF = チューブバンドル 8 ~ 12 チューブシート 10 ~ 50	CAN-DECON 法は仮設除染装置を使用
BWR	Brunswick - 2	米	847 MWe	1980	RWCSと再生熱交換器の除染 (除染容量 4.9 m <sup>3</sup> )	CAN-DECON 法 LND-101 A で90 ~ 125℃ 24時間 (110℃) pH 2.6	DF = 熱交; 30 平均; 5.9	Vermont Yankeeで用いた仮設除染装置を用いて行った 除去金属量 6.3 kg 除去放射能値 17.0 Ci
SGHWR	Winfrith	英	100 MWe	1980	1次冷却系(6S・1)	LOMI 法 0.1% 90℃ 2時間 pH 4.5 ~ 5.5	DF = 2.3	除去金属量 22.2 kg 除去放射能値 628 Ci
BWR	Nine Mile Point - 1	米	640 MWe	1981	1次系循環ポンプ5基	CAN-DECON 法 LND-101 A で135℃ 24時間 pH 2.7	DF = 11 ~ 41	除去金属量 9.15 kg 除去放射能値 38.7 Ci

表-8 主な原子炉化学除染実施一覧

(その4)

炉型式	原子炉名	国名	炉の定格出力	実施時期	除染対象範囲	除染方法	除染係数	備 考
BWR	Brunswick 1	米	847 MWe	1981	原子炉冷却剂浄化系 (RWCS)の再生熱交換器の除染	CAN-DECON 法 LND-101 Aで120℃24時間 pH 3.0	DF = 12	除去金属量 25.4 kg 除去放射能量 9.06 Ci
BWR	Vermont Yankee	米	540 MWe	1981	原子炉冷却剂浄化系 (RWCS)と再生熱交換器の除染 (除染容量 3.8 m <sup>3</sup> )	CAN-DECON 法 LND-101 Aで120℃24時間 pH 3.0	DF = 4.4	除去金属量 7.0 kg 除去放射能量 5.0 Ci
BWR	Peach Bottom-2	米	1,100 MWe	1982	原子炉冷却剂浄化系	CAN-DECON 法	DF = 4.9	
BWR	Nine Mile Point-1	米	640 MWe	1982	1次再循環系	CAN-DECON 法	DF = 13	
PWR	Surry-2	米	824 MWe	1982	蒸気発生器 (SG)	CAN-DECON 法	DF = 水本室 6.3 伝熱管 80	
BWR	Edwin I. Hatch-1	米	813 MWe	1982	原子炉冷却剂浄化系	CAN-DECON 法	DF = 6.1	
BWR	Vermont Yankee	米	540 MWe	1983	1次再循環系	CAN-DECON 法 LND-101 95~120℃ 18時間	DF = 33	除去金属量 29.3 kg 除去放射能量 336.6 Ci 同量 190.0 B <sup>2</sup>
PWR	Robert E. Ginna-1	米	490 MWe	1983	蒸気発生器 (SG)  SG-A SG-B	dilute 酸化前処理剤とLND-101を用いたCAN-DECON 法 還元2工程、酸化1工程交互 還元3工程、酸化2工程交互	DF =  A: 1.7~3.0 B: 3.2~10.0	除去金属量 24.5 kg 除去放射能量 71.0 Ci 同量 75 B <sup>2</sup>
BWR	Peach Bottom-3	米	1,100 MWe	1983	原子炉冷却剂浄化系	CAN-DECON 法	DF = 9.9	

表-9 主な原子炉化学除染実施一覧

(その5)

炉型式	原子炉名	国名	炉の定格出力	実施時期	除染対象範囲	除染方法	除染係数	備 考
BWR	Quad Cities-2	米	850 MWe	1983	1次再循環系	CAN-DECON 法	DF = 5.8 ~ 14.2	除去金属量 11.7 kg 除去放射能量 153.8 Ci
BWR	Dresden-3	米	850 MWe	1983	1次再循環系	CAN-DECON 法	DF = 4.8 ~ 10.3	除去金属量 10.6 kg 除去放射能 108.3 Ci 固着量 45 g <sup>2</sup>
Candu PHWR	Douglas Point	加	200 MWe	1983	1次冷却材系(全系)	CAN-DECON 法 LND-101 82~88℃ 20時間	DF = 1.8 ~ 25	除去金属量 163. kg 〔イオン交換樹脂の吸着量 132 kg〕 〔フィルターの捕集量 31 kg〕 除去放射能量 474. Ci 〔イオン交換樹脂の吸着量 90 Ci〕 〔フィルターの捕集量 384 Ci〕
BWR	JPDR	日本	90 MWe	1983	原子炉冷却材浄化系と再生熱交換器の除染 (除染容量 0.76 m <sup>3</sup> )	CAN-DECON 法 LND-101 A 0.1 wt % 120℃ 26時間	DF = 再生熱交換器 14~89 非再生熱交換器 9.0~24 配管系 3.3~11	除去金属量 1.17 kg 〔Fe 0.67 kg〕 〔Ni 0.09 kg〕 〔Cr 0.09 kg〕 〔Cu 0.32 kg〕 除去放射能量 1.6 mCi
BWR	Monticello	米	568 MWe	1984	1次再循環系と浄化系熱交換器 (除染面積 550 m <sup>2</sup> )	NP-LOMI 法	DF = av. 23 max. 60	クロムリッチのクラッド 除去放射能量 54 Ci
BWR	Pilgrim-1	米	691 MWe	1984	1次再循環系 A ループ (除染容量 51 m <sup>3</sup> ) B ループ (除染容量 1.9 m <sup>3</sup> )	dilute NS-1 法 NS-1 0.7 wt % 120 ~ 125℃	A ループ DF = ライザー管上部 8~100 リングヘッド... 21~31 ライザー管下部 11~100 B ループ DF = 2 ~ 20	除去放射能量 A ループ <sup>60</sup> Co 39.3 Ci <sup>55</sup> Fe 31.2 Ci その他 9.2 Ci Total 79.7 Ci B ループ Total 4 Ci

表-10 主な原子炉化学除染実施一覧

(その6)

炉型式	原子炉名	国名	炉の定格出力	実施時期	除染対象範囲	除染方法	除染係数	備 考
BWR	Dresden-1	米	210 MWe	1984	原子炉1次系(全系) (除染容積 340 m <sup>3</sup> )	NS-1 7 wt % 120 °C 100時間, その後射リンス	D/F =	除去金属量 (Fe 約 295 Kg) (Ni 約 136 Kg) (Cu 約 136 Kg) 除去放射能量 726 Ci
BWR	JPDR	日本	90 MWe	1984	1次再循環系 Bループ	dilute NS-1 modify 改良型 phase 1 酸化プロセス phase 2 還元・中和 浄化プロセス phase 3 還元除染プロセス 浄化プロセス	D/F = 91~731	クロムリッチのクラッド 酸化プロセス 硝酸 5 g/l + 過マンガン酸カリ 1 g/l 溶液 90~120°C, 100時間 還元除染プロセス NS-1 0.7 wt %, 120 °C, 24時間 浄化は逆浸透処理

表-11 米国の軽水炉における最近の一次系化学除染実施例（1982年以降）

年	プラント名	炉型	除染対象場所	除染実施会社/除染法	平均空間線量 (R/hr)		平均DF	
					除染前	除染後		
1982	Nine Mile Point Hatch	BWR	再循環系	LN/Can-Decon	0.13-0.29	0.01-0.015	13	
	Peach Bottom 2	"	原子炉浄化系	"	0.13-0.62	0.03-0.07	3.8-8.9	
	Surry SG	PWR	原子炉浄化系	"	0.05-4.5	0.015-0.6	4.9	
	"	"	チャンネルヘッド	{ コールドレグ ホットレグ	"	2.8-5.8	0.04-1.3	5-9
1983	Vermont Yankee	BWR	再循環系	Q/NP-LOMI	2.7-4.9	0.05-0.9	4-8	
	Peach Bottom 3	"	原子炉浄化系	LN/Can-Decon	0.5-2.6	0.005-0.12	14.5	
	Quad Cities 2	"	再循環系	"	1.85	0.19	9.9	
	Dresden 3	"	再循環系	"	-	-	10	
	Millstone 2	PWR	チャンネルヘッド	{ コールドレグ ホットレグ	CE/OZOX-A	20-23	3	7.2
	"	"	"	"	"	15-20	10	1.5-2
	Ginna	"	チャンネルヘッド	"	LN/Can-Decon	5.8-11.9	1.8-6.9	3-8
1984	Pilgrim	BWR	再循環系	IT/Dilute NS-1	0.27-1	0.035-0.32	3-17	
	"	"	原子炉浄化系	IT,PN/Dilute NS-1	0.2	0.053	3.8	
	Monticello	"	再循環系	Q/LOMI,NP-LOMI	0.4-0.6	0.01-0.06	23	
	"	"	原子炉浄化系	Q/NP-LOMI(2回)	0.45	0.12	4	
	Dresden 1	BWR	原子炉冷却系	IT/NS-1	-	-	-	
	Quad Cities 1	"	再循環系	LN/Can-Decon	-	-	-	
	Millstone 1	"	再循環系	"	-	-	-	
	Peach Bottom 2	"	再循環系	"	-	-	-	
	Brunswick 2	"	原子炉浄化系	PN/AP-Citrox	0.2	0.02-0.03	7.5-10	
	Palisades	PWR	チャンネルヘッド	LN/Can-Decon	-	-	-	

記号名 LN=London Nuclear, IT=IT Nuclear Services, Q=Quadrex IIPs, PN=Pacific Nuclear System & Services, CE=Combustion Engineering

表-12 軽水炉一次系化学除染実施例（1984年以降）

年	プラント名	炉型	除染対象	実施会社/除染法	平均DF
1984	Dresden 2	BWR	再循環系	IT,PN/Dilute NS-1	8
	Cooper	"	"	PN/AP-Citrox	
	( Kori 1	PWR	チャンネルヘッド(A)	PN,KASCO/Kemcon A.K.OX 7 )	
1985	Vermont Yankee	BWR	再循環系	PN/Citrox	5.8(8.6)
	"	"	浄化系	"	7.4
	Dresden 3	"	再循環系	LN/LOMI(2回)	13.2
	"	"	浄化系	LN/LOMI	8.2
	Indian Point 3	PWR	チャンネルヘッド(c-1)	BN/AP-NP-LOMI	4-7.2
	"	"	" (h-1)	"	2.6-3.2
	Millstone 2	"	"	PN/PNS Citrox A	6-7
1986	Quad Cities	BWR		LN/LOMI	

KASCO: Korea Atomic Services Co., BN: Bechtel National.

表-13 系統除染業績 (英國 SGHWR)

SUMMARY OF COOLANT CIRCUIT DECONTAMINATIONS IN WSGHWR: 1969-85

DATE	CIRCUIT DECONTAMINATED	PERIOD SINCE CLEAN OR PREVIOUSLY DECONTAMINATED, EFPDs	PROCESS USED
DEC 1967		Reactor Commissioned	
AUG 1969	South (1S)	275	TURCO 4521
APR 1971	North (1N)	552	TURCO 4521
APR 1972	South (2S)	526	TURCO 4521
MAY 1973	North (2N)	376	TURCO 4521
OCT 1974	South (3S)	469	TURCO 4521
JUNE 1975	North (3N)	469	TURCO 4521
MAY 1976	South (4S)	369	TURCO 4521
MAY 1977	North (4N)	437	TURCO 4521
MAY 1978	South (5S)	469	TURCO 4521
MAY 1979	North (5N)	530	TURCO 4521
MAY 1980	South (6S)	532	LOMI/TURCO 4521
MAY 1981	North (6N)	265	LOMI
MAY 1981	South (7S)	265	LOMI
MAY 1982	North (7N)	214	LOMI
MAY 1982	South (8S)	214	LOMI
MAY 1983	North (8N)	269	LOMI
MAY 1983	South (9S)	269	LOMI
MAY 1984	North (9N)	296	NP/LOMI, NP/LOMI
MAY 1984	South (10S)	296	LOMI
MAY 1985	North (10N)	253	LOMI/NP/LOMI
MAY 1985	South (11S)	253	LOMI

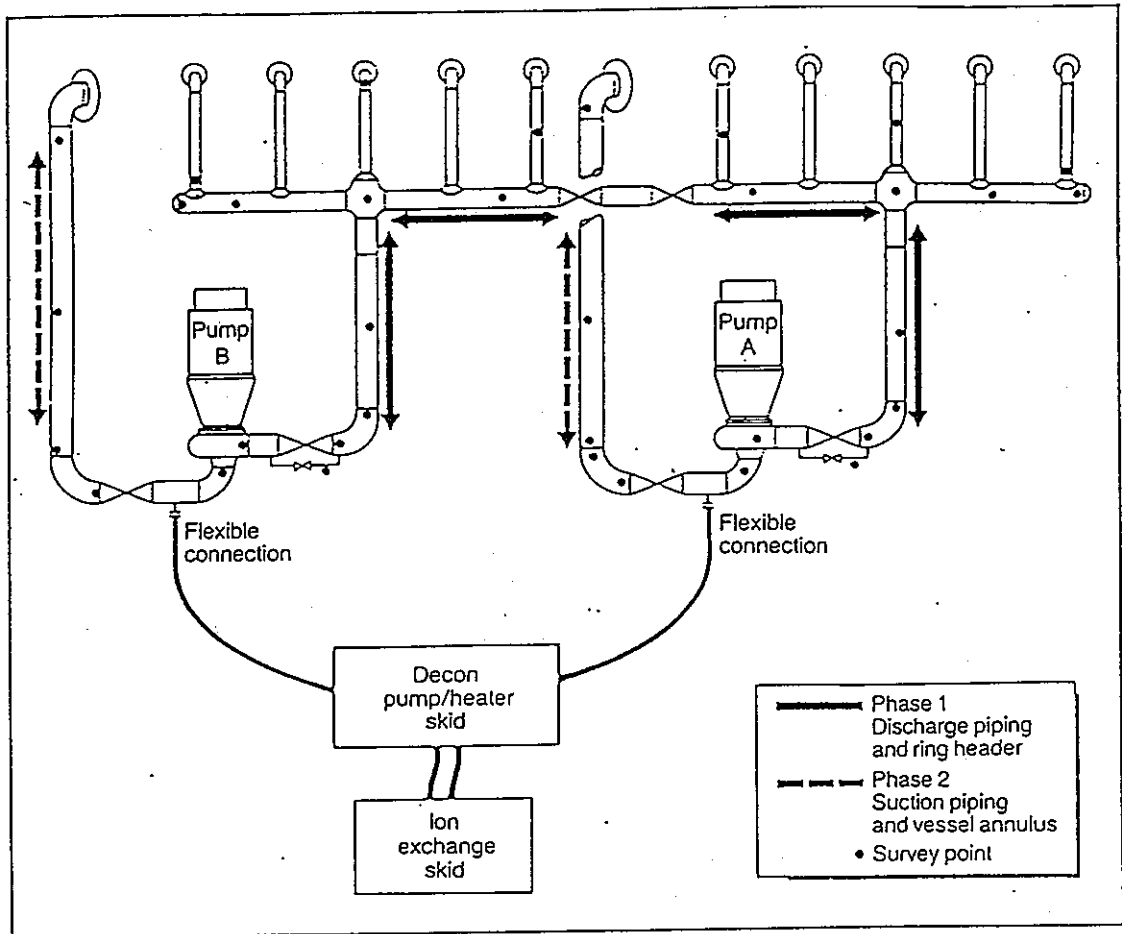
TOTAL OPERATIONAL TIME TO MAY 1985 17½ YRS; 3927 EFPDs

表-14 SURFACE WASTAGE OF CORROSION COUPONS DURING 1984 DECONTAMINATIONS

	AVERAGE THINNING FROM WEIGHT LOSS µm	
	10S-LOMI	9N-NP/LOMI
Plain stainless iron (410)	< 1	< 1
410 welded to 321 st. steel	< 1	< 1
410 explosively welded to Zr 2	< 1	< 1
Plain carbon steel	25	35
Carbon steel welded to carbon steel	25	34
Carbon steel welded to st. steel	22	28
Stainless steel welded to st. steel	< 1	< 1
Inconel 600 (PWR material)	< 1	1
Incoloy 800 (PWR material)	< 1	< 1



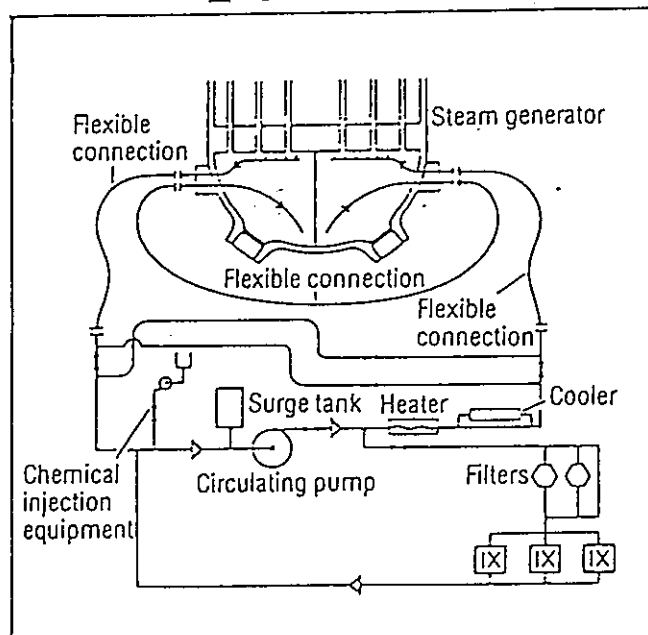
圖-1 實機 機器 除染實施例 (輕水爐)



Recirculation system flow-paths for the decontamination work at Vermont Yankee, showing the survey points.

BWR再循環系(PLR)

圖-2



PWR蒸汽發生器水室

Decontamination flow-path for the steam generator channel heads in a PWR. The process equipment can be located remotely, using flexible connections to the steam generator manways.

# 腐食抑制剤(インヒビター)

(金属防蝕技術便覧-新版, 腐食防食協会編から抜粋)

## (1) 腐食抑制剤

防食法でまず考えられるのは、腐食液に適当な物質を少量添加して金属表面のアノード、カソードに吸着させて腐食を抑制する方法である。この物質を腐食抑制剤(インヒビター)とい

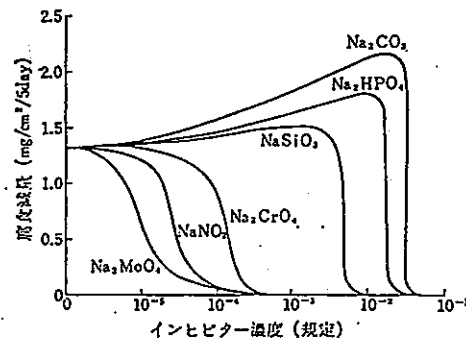


図 4.15 鉄の腐食に対する無機インヒビター濃度の影響

い、無機質と有機質とがある。無機インヒビターではアノードに吸着して分極を増大させるものをアノードインヒビターという。XO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 形の酸化剤——たとえばクロム酸塩、モリブデン酸塩、りん酸塩などに多い(図 4.15)。またカソードに吸着するものをカソードインヒビターという。[例] 酸性水溶液中に添加した As, Sb, Hg (4.2 (1) 参照)。

有機インヒビターでは疎水基は炭化水素基で、水、酸素が金属表面へ接触することを妨害する。親水基が極性をもち、物理吸着、化学吸着によって金属表面のアノードやカソードへ吸着して分極や極間抵抗を増大する。極性基は N (アミン類), S (チオ尿素) P, O を中心とする原子団であるが、吸着機構に関しては異論が多い。物理吸着説ではアミン類が  $R_3N: + H^+ \rightarrow R_3NH^+$  によって H<sup>+</sup> と配位して正電荷をもつので、カソードへ吸着するものとされる。化学吸着説では N が電子供与体になって、金属と配位結合して強固な化学吸着を生ずるものとされる。

気化性防錆剤(VPI)も気化して金属表面に薄い防食皮膜を生ずるもので、作用は上述のインヒビターと同じである。一時的な防食に用いられるさび止め油の防食機構もほぼ同じである。疎水性の石油系炭化水素を基油として、これに極性基をもつ有機添加剤を配合して金属表面に吸着させて累積膜を作って防食する。極性基は有機インヒビターの項で述べたと同じく N, S, P, O を中心とする原子団であって、吸着場所もアノード、カソードあるいは全面吸着といわれる。

## 6.2.2 有機インヒビター

### (1) インヒビターの使用

新しい考え方ではインヒビターとは気相もしくは液相に少量添加されて、その環境におかれた金属の腐食を抑制する有機系の物質をいう。ただし有機系物質といっても、アミンの無機酸との塩や、有機系の酸の無機塩なども含まれる。また使用される環境も、先にも述べたように、非水や水を主体としない液相中でもしばしば使用されるのが現状である。古くは有機系インヒビターは酸液中の金属の防食に限られていたが、酸化性、還元性の環境をはじめ、微生物による腐食環境、比較的高い温度環境、濃食を作り腐食環境<sup>33)</sup>、などにも有効に作用することが知られた。また従来、インヒビターの対象にした金属は鉄のみとも思われたが、最近では非鉄金属への適用も多く、マグネシウム、アルミニウム、亜鉛、すず、銅、それら金属の合金にも応用される。

工業の発展は、水を含まないか、水が存在しても主体ではない液体の使用を必要とする。ときには、水よりもいちじろしい腐食を金属に与える。インヒビターは、これらの液体中にも添加される。Putilova らの著書によると、次のような液体には有効に使用されている<sup>34)</sup>。

- i) アルコールおよびアルコール-水混合物、たとえば不凍液に使用するエチレングリコール溶液
- ii) 石油、パラフィンなどの燃料
- iii) 内燃器用燃料
- iv) 貯蔵中の腐食から金属を保護するために使用する潤滑剤
- v) ペイント塗装
- vi) 有機系塩素化溶媒——ジクロロエタン、クロロホルムなど
- vii) 有機合成に用いるベンゼン溶液で塩化アルミニウムを含むとき

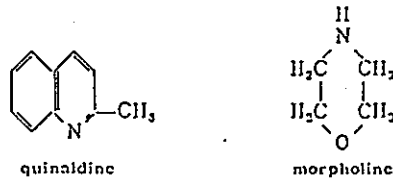
### (2) インヒビターの防食機構

金属の腐食抑制に用いることのできる有機物質は古くから知られる。たとえばボイラ中に馬鈴薯、馬鈴薯皮、砂糖、糖蜜、デキストリン、甜菜糖、ゼラチンなどを加えてボイラ内面の無

機物堆積防止に、さらにバルブ廃液、タンニン酸ソーダなどの石油鉱漿における掘削泥水に添加した広義の界面活性の物質が、他の添加剤よりも鉄に対して防食的であり、泥壁となる無機物質の金属面での堆積を防止した。これらの物質は、金属表面に吸着し皮膜状となり、金属と腐食性物質を含む無機系物質との直接の接触を妨げると考えられる。これらは中性の水溶液中で使用されており、金属の防食防止が目的ではなかった。当時は中性液中の金属の防食は無機

物質を用いて、金属表面をいわば不動態化して腐食の抑制をはかるべきと考えていた。むしろ有機系の腐食抑制剤は酸性の環境のみに使用できるものとして、上記天然物の中性の液中における金属に対する防食効果は高く評価されていない。しかし、工業用水には有機物を含む水のほうが防食的だといわれ、粗ビート糖が精製糖にまさる防食効果があるといわれ、リゲニンスルホン酸塩や、クロムグルコセート (chrome-glucosate) が中性の工業用水に使用されて防食が主目的に使用されている。

1935 年以後には天然物以外の組成の知られた有機化合物が、既に酸性の腐食環境で使用され、中性液中では無機系のパッシベータが主として使用されている。低級の脂肪族のアミンが酸液中の金属の防食に、コールタール中のキナルジンが金属の防食の有効成分であることが知られ、ニチレンジアミン、モルホリンなどが蒸留器中の酸性腐食性物質の中和を兼ねてアンモニアと同時に使用されたのも、このころである。1950 年ごろに高分子量の  $C_{16}H_{33}NH_2$  や  $C_{18}H_{37}NH_2$  がボイラ中に使用されて、造膜剤 (film-forming agent) といわれた。既にアミン類は、後に説明するように、比較的低い温度では分子会合をおこして金属に皮膜をつくりにくい傾向もあり、また水中に溶解もしくは分散を困難とする。たまたまボイラ中のような熱環境におかれて、会合をとかれて単分子状になるから、よく金属に被膜できたのである。したがって、蒸気中のように簡単に解会合をうけるような条件下では、単分子状のアミンになって金属に被膜する。アミン類を腐食抑制剤として用いるときに、いかにしてその環境で、解会合の状態におくかが重要な問題なのである。



アミン類を解会合の状態にするためには、溶媒による希釈や加熱など後に述べるようないくつかの方法がとられる。アミン類が腐食液中に添加され、その液中に溶解もしくは分散できたとすると、腐食液中の金属に対して図 6.10 に示すような配位をとる。すなわち、アミンはその極性基で金属に吸着し、その極性基につく炭化水素基は金属面から遠くのように位置する。特に高分子量のアミンで腐食液中に分散が困難を伴うため、溶媒に溶かして液中に分散させるような場合には、溶媒分子はアミンの炭化水素基からむようにさらに金属より遠い位置に存在する。なお吸着できなかったアミン分子は腐食液中に分散して、なんらかの原因で金属から離脱した分子の補修に待機している形となる。

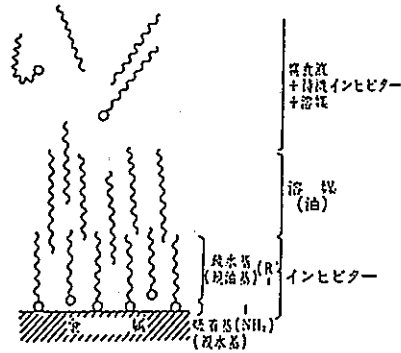


図 6.10 腐食液中に分散したインヒビター

インヒビターの効果は金属面上に生じる炭化水

素基の隣接分子と共同して作る疎水性の網が、腐食性物質の侵入を許さないことでもたらされる。したがって、インヒビターの作用はアミンを例にとると、その極性基のアミノ基 ( $-NH_2$ ) と金属との結びつきが強く容易に離脱しがたいことと、その炭化水素基で作る疎水性の障壁が腐食性物質に対して十分密であることではたされる。

インヒビターは腐食液と金属表面との間で活性を示す物質であり、広義の界面活性剤である。吸着基は親金属性もしくは親無機性であり、炭化水素基は疎金属性である。界面活性剤という親水、親油の性格の変形であるにすぎない。ただ、インヒビターの場合には、金属に吸着する以前の段階では、腐食液中によく分散して吸着が容易であることを必要とするが、いったん金属面に吸着した過程では金属から離れて腐食液中にもどらないことが望まれる。したがって、分散性の点でいわゆる界面活性剤とまったく同様には考えられない。洗浄性 (分散性) のよいインヒビターでは、吸着して金属を保護しようとする分子をも洗い流すことになる。吸着以前に必要な分散性は、これをたとえば機械的に強制することも補えるので、しばしば比較的分散性の弱い物質を、腐食液中に外的に強制的に分散させて使用することが有利である。

次に、インヒビターを吸着基と炭化水素基の二部分に分けて解説することにしよう。

(以下省略)

### Ⅲ. 参 考 資 料

科学技術庁原子炉安全技術顧問

ふげん発電所化学除染安全

ワーキンググループ資料

参考一 1 第 1 回顧問会資料

参考一 2 第 2 回顧問会資料

参考一 3 第 3 回顧問会資料

参考一 4 科学技術庁顧問会答申書



原子炉安全技術顧問  
ふげん発電所化学除染安全検討ワーキング・グループ  
第1回会合  
議事録(案)

1. 日 時 平成元年6月12日(月)13時30分～17時30分

2. 場 所 科学技術庁 祝田橋分室 第5会議室

3. 出席者 (順不同, 敬称略)

委員: 石樽(東大)、柴田(阪大)、藤井(金材技研)、  
中島, 星, 諏訪(以上原研)

科技厅: 中西, 梶田, 新田, 小野(以上原子炉規制課)

ワザール: 橋崎, 新沢, 山内, 小池, 北端, 古川, 中村, 川崎(以上動燃)、  
中山, 玉川(以上栗田)

4. 議 題

(1) 座長選出

(2) 化学除染計画について

- ① 必要性, 実績等
- ② 除染範囲
- ③ 除染剤の選定
- ④ 材料健全性確認試験
- ⑤ 除染性能
- ⑥ 除染方法
- ⑦ 除染後のモニタリング

5. 配布資料

資料-1 経緯、必要性、国内外の実績

資料-2 系統除染範囲

資料-3 除染剤の選定理由

資料-4 材料健全性確認試験

資料－5 クリデコン203の除染性能と実証試験

資料－6 系統除染方法

資料－7 健全性確認試験計画

## 6. 議事内容

### (1) 座長選出

石樽東大教授を本ワーキング・グループの座長とすることが了承された。

### (2) 化学除染計画について

1) ふげん発電所の系統化学除染計画について、その経緯、必要性、国内外での実績、系統除染範囲、除染剤の選定理由、除染性能と実証試験、材料健全性確認、系統除染方法、除染後の健全性確認計画等を説明し、委員より次の意見等があった。

- ① 圧力管、蒸気ドラム等の機器における除染液の接液範囲について
- ② 表3-1の除染剤性能比較表のうち、LND-101とNS-1の腐食量の違いについて
- ③ クリデコン203の熱分解と成分作用（特にS分）について
- ④ クリデコン203の隙間部への残留及び濃縮作用について
- ⑤ 表4-14のSCC感受性に対する除染剤の影響の有無に関し、除染剤有りの方が無し状態より早期に割れが発生していることについて
- ⑥ クリデコン203の動燃以外での試験・使用実績について
- ⑦ 樹脂の取扱性とその作業被ばくの程度について
- ⑧ 除染後の予備酸化処理について
- ⑨ ふげんの水質（特に水素注入前後）管理状況について

2) 第2回会合は6月19日16:00より、また第3回会合については7月4日14:00より行うこととなった。

－以 上－





原子炉安全技術顧問  
ふげん発電所化学除染安全検討ワーキング・グループ  
第2回会合  
議事録(案)

1. 日時 平成元年6月19日(月)16時00分～19時00分

2. 場所 科学技術庁 祝田橋分室 第5会議室

3. 出席者 (順不同, 敬称略)

委員: 石樽(東大)、柴田(阪大)、藤井(金材技研)、  
中島, 星, 諏訪(以上原研)

科技厅: 中西, 梶田, 新田, 小野(以上原子炉規制課)

ワザール: 檜崎, 新沢, 山内, 小池, 揖場, 北端, 古川, 中村, 川崎(以上動燃)、  
中山, 玉川(以上栗田)

4. 議題

- (1) 前回議事録の確認
- (2) ふげん発電所における化学除染について
- (3) その他

5. 配布資料

資料2-1 原子炉安全技術顧問ふげん発電所化学除染安全検討ワーキング  
グループ第1回会合議事録(案)

資料2-2 前回質問事項の回答

資料2-3 クリデコン203の他機関における試験結果

6. 議事内容

(1) 前回議事録の確認

特にコメントなく了承された。

(2) ふげん発電所における化学除染について

第1回会合時の質問事項等に対する回答を行い、委員より次の意見等があった。

- ① 圧力管材料への放射線照射効果について
- ② ソケット溶接部の残留応力に関するデータの調査について
- ③ クリデコン203（インヒビタを含む）の熱分解データについて
- ④ インヒビタの吸着性について
- ⑤ 他の除染剤に使用されるインヒビタ（S系のもの）の使用実績と試験データについて
- ⑥ クラッド形態について
- ⑦ EPR I レポート等の調査について

(3) その他

- ① 今後のまとめ方について、次の項目をまとめることとなった。
  - i. 除染中の安全性（除染方法、被ばく管理等）について
  - ii. 除染後の影響（供用中の問題点等）について
  - iii. 将来のために取得すべきデータについて
- ② 第3回会合は予定どおり7月4日14:00より行うこととなった。

－以 上－

新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料 2 - 2 前回質問事項の回答

平成元年 6 月

## 目 次

1. 単軸定荷重(UCL)試験結果について (資料1-4)
2. 圧力管ロールジョイント部の電気化学的測定について (資料1-4)
3. クラッドの性状 (資料1-4)
4. 系統除染時における滞留部 (資料1-4)
5. 主要機器の構造 (資料1-2)
6. 腐食試験用材料の選定理由 (資料1-4)
7. 系統除染時及び除染後の原子炉冷却材の水質管理 (資料1-4)
8. 除染後の予備酸化法による再汚染抑制対策について (資料1-6)
9. 系統除染に伴う原子炉冷却材浄化系樹脂の  
取扱いについて (資料1-6)
10. 系統除染作業に係る線量当量 (資料1-6)
11. 予測以上のクラッド発生があった場合について (資料1-6)
12. 放射線分解によるガス発生量の予測 (資料1-6)
13. 腐食データの出典 (資料1-3)

## 1. 単軸定荷重（UCL）試験結果について

残留除染液による鋭敏化SUS304のUCL試験結果（資料－4，表4－14参照）に関し、隙間試験データにおいて「KD203，0.1ppm」の試験条件の方が試験片の破断時間が短くなっているが、試験条件、試験片個々の相違等によって破断時間のばらつきが相当あると考えられる。（別紙参照）

このため、資料－4，表4－14の結果に対する記載を次のとおり改める。

変更前

「④ SCC

- . 健全部，隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験した。その結果、いずれの場合も破断時間が短くなる傾向はなかった。（表4－14，15：21,22頁）」

変更後（訂正済）

「④ SCC

- . 健全部，隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験した。その結果、いずれの場合も残留除染液の破断時間に及ぼす有意な影響はなかった。（表4－14，15：21,22頁）」

なお、SCC破面率については、「除染剤なし」と「KD203，0.1ppm」とは下表に示すとおり同等である。

試験温度 (°C)	溶存酸素濃度 (ppb)		除染剤 濃度	負荷応力 応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	試験片 形状	破断 時間 (h)	SCC 破面率 (%)
	入口	出口					
150	2900～ 4000 (3200)	2830～ 3940 (3100)	除染剤	35	隙間	6.9	56.0
			なし	35	隙間	6.7	58.7
150	2960～ 4900 (3620)	2850～ 4800 (3350)	KD203	35	隙間	4.0	57.5
			0.1ppm	35	隙間	3.9	53.4

( ) 内は、平均値である。

## UCL試験の破断時間のばらつきについて

UCL試験の破断時間の誤差範囲として一般的な数値は、試験条件（温度、水質、荷重）、試験機等が異なるため見当たらない。同一試験条件で破断時間のばらつきを調査した一例を以下に示す。

## (1) 250℃, DO 8 ppm の結果

長野, 柘植等、鉄と鋼, Vol. 66, No. 8, P.98, (1980)

「高温高圧水に対するステンレス鋼の耐応力腐食割れ性の評価法」

図-1に示すように短破断時間で約40時間のばらつきがある。

## (2) 288℃, DO 26 ppm の結果

服部, 国谷等、鉄と鋼, Vol. 66, No. 8, P.98, (1980)

「ステンレス鋼の高温水SCC感受性評価法の適用性」

図-2に示すように同一鋭敏化材に対しても500時間程度のばらつきがある。

このように破断時間のばらつきは、試験条件により40~500時間程度存在する。

このためUCL試験の基礎試験として、破断時間のばらつきを本試験と同一の試験機を用いて調査したところ以下の結果を得ている。

(1) 温度 150℃, DO 200 ppb, 荷重 2.5  $S_m$  において

試験片 (SUS304鋭敏化材) は、約22~43時間で全て (5本) 破断し、破断時間のばらつきは約19時間であった。

(2) 温度 150℃, DO 3 ppm, 荷重 2.5  $S_m$  において

試験片 (SUS304鋭敏化材) は、約15~90時間で全て (5本) 破断し、破断時間のばらつきは約75時間であった。

このことから3時間程の破断時間の差は、有意と考えられない。

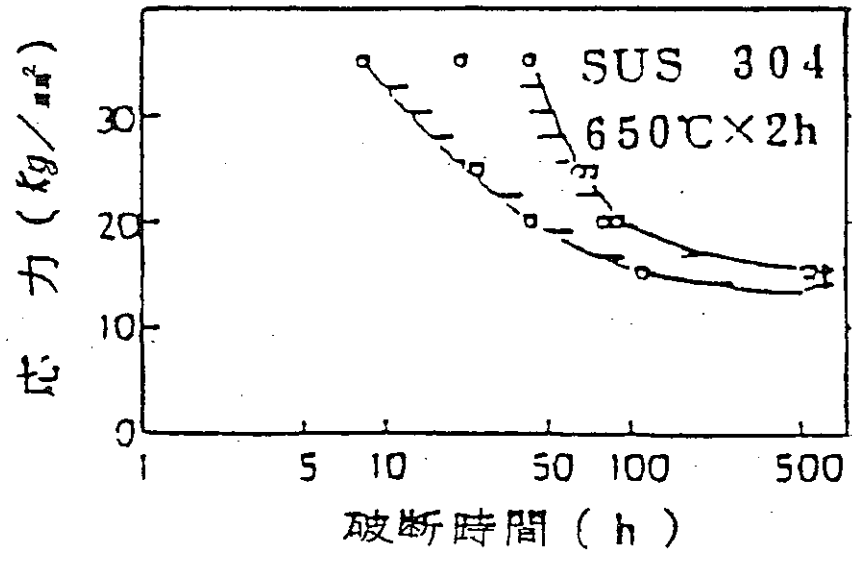


図-1 定負荷試験結果 (250°C, D.O. 8 ppm)

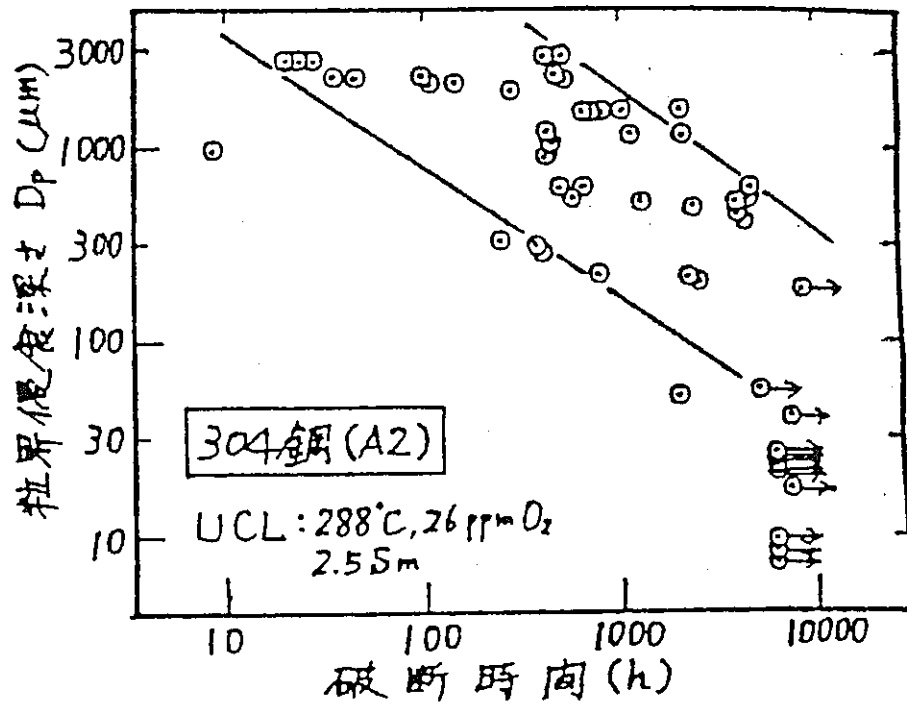


図-2 ストラウス試験結果とUCL試験結果の相関性

## 2. 圧力管ロールジョイント部材の電気化学的測定について

### 1. 試験方法

「ふげん」の圧力管と同仕様で製作した上部及び下部ロールジョイント部を含む短尺圧力管試験体についてクリデコン203での24時間除染と1か月間の高温高圧運転のサイクルを10回繰り返す耐久試験を実施した。その後、試験体を細かく切断し、ロールジョイント部隙間部（接触部）及び接液部から小試験片を採取し、それらの直流分極特性を測定することにより、10回除染を行った後の圧力管隙間部等の腐食特性を評価した。

図2-1、図2-2に上部及び下部ロールジョイント部からの試験片採取位置を示す。図2-3に示す試験用ループ中の腐食試験用オートクレーブBの中に前述の試験片及び図2-4に示す内部照合型銀-塩化銀基準電極を入れ、高温高圧循環水中（溶存酸素濃度400ppb以下、電気電導度 $0.2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下）で直流分極特性を測定した。

試験は、室温、 $100^{\circ}\text{C}$ 、 $150^{\circ}\text{C}$ 、 $200^{\circ}\text{C}$ 、 $250^{\circ}\text{C}$ の各温度条件下で図2-5に示すような直流分極特性曲線を測定して表2-1に示すような腐食電流 $I_{\text{corr}}$ を求めた後、これらの $I_{\text{corr}}$ をArrheniusプロットしたものを外挿して $280^{\circ}\text{C}$ における腐食電流 $I_{\text{corr}}(280^{\circ}\text{C})$  ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )を求める手法をとった。腐食率 $\Delta W$  ( $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ )は、次式を用いて評価した。

$$\Delta W = I_{\text{corr}}(280^{\circ}\text{C}) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-1} \cdot M / (n \cdot F)$$

ここに、 M: 合金の平均原子量

F: ファラデー定数

n: 反応電子価



## 2. 試験結果

試験結果のうち最大の腐食率を示したものを表 2 - 2 に示す。表 2 - 2 より除染と原子炉運転を10回繰り返した後の原子炉運転状態水質環境下における腐食率は、圧力管材で30年間で $22.5\mu\text{m}$ 、圧力管延長部材で同 $75\mu\text{m}$ の腐食減肉を生じる程度の極めて小さいものであることが確認できた。

なお、資料 1 - 4 の表 4 - 1 8 は、本資料の表 2 - 1 に改める。

表 2 - 1 直流分極特性試験による腐食電流 ( $i_{corr}$ ) の測定結果

TPNO.	腐 食 電 流 ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )					備 考
	室 温	100°C	150°C	200°C	250°C	
1	$1.232 \times 10^{-2}$	$3.123 \times 10^{-2}$	$3.581 \times 10^{-2}$	$3.336 \times 10^{-2}$	$3.275 \times 10^{-2}$	圧 力 管 (HTZr - 2.5 Nb)
2	$2.726 \times 10^{-2}$	$3.235 \times 10^{-2}$	$2.784 \times 10^{-2}$	$3.742 \times 10^{-2}$	$4.498 \times 10^{-2}$	
3	$1.432 \times 10^{-2}$	$1.804 \times 10^{-2}$	$1.404 \times 10^{-2}$	$1.366 \times 10^{-2}$	$1.554 \times 10^{-2}$	
4	$2.360 \times 10^{-2}$	$2.912 \times 10^{-2}$	$3.414 \times 10^{-2}$	$3.593 \times 10^{-2}$	$6.328 \times 10^{-2}$	
5	$2.291 \times 10^{-2}$	$3.646 \times 10^{-2}$	$3.132 \times 10^{-2}$	$4.521 \times 10^{-2}$	$9.160 \times 10^{-2}$	
6	$1.842 \times 10^{-2}$	$3.186 \times 10^{-2}$	$3.151 \times 10^{-2}$	$3.773 \times 10^{-2}$	$3.546 \times 10^{-2}$	
7	$2.488 \times 10^{-2}$	$1.923 \times 10^{-2}$	$2.131 \times 10^{-2}$	$4.258 \times 10^{-2}$	$3.776 \times 10^{-2}$	
8	$2.463 \times 10^{-2}$	$1.397 \times 10^{-2}$	$1.258 \times 10^{-2}$	$1.393 \times 10^{-2}$	$1.794 \times 10^{-2}$	
9	$4.376 \times 10^{-2}$	$4.961 \times 10^{-2}$	$8.263 \times 10^{-2}$	$1.154 \times 10^{-1}$	$1.472 \times 10^{-1}$	上 部 延 長 管 (SUS 403 Mod.)
10	$4.679 \times 10^{-2}$	$5.584 \times 10^{-2}$	$1.079 \times 10^{-1}$	$2.149 \times 10^{-1}$	$2.133 \times 10^{-1}$	
11	$5.742 \times 10^{-2}$	$5.847 \times 10^{-2}$	$8.729 \times 10^{-2}$	$7.898 \times 10^{-2}$	$9.425 \times 10^{-2}$	下 部 内 リ ン グ (SUS 403 Mod.)
12	$4.036 \times 10^{-2}$	$6.189 \times 10^{-2}$	$1.016 \times 10^{-1}$	$1.693 \times 10^{-1}$	$1.366 \times 10^{-1}$	

注)

表 2 - 2 . 腐 食 試 験 の 結 果

作業項目	腐 食 速 度			腐 食 量
	腐食電流 $i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	腐食率 $\Delta W$ (m d d)	減 肉 量 ( $\mu m/y$ )	
圧 力 管 Zr-2.5Nb				最小使用肉厚 : 3.98mm 30年間 (設計腐食代) : 310 $\mu m$
接液部 (内表面)	0.040	0.082	0.45	} 30年間 (算出腐食量) 0.75 $\times$ 30 = 22.5 $\mu m$
接触部	0.065	0.133	0.75	
延長部及び 内リング SUS403Mod				最小使用肉厚 : 12.1mm
接液部 (内表面)	0.241	0.536	2.5	} 30年間 (算出腐食量) 2.5 $\times$ 30 = 75 $\mu m$
接触部	0.133	0.333	1.9	

注) 電気化学的測定による

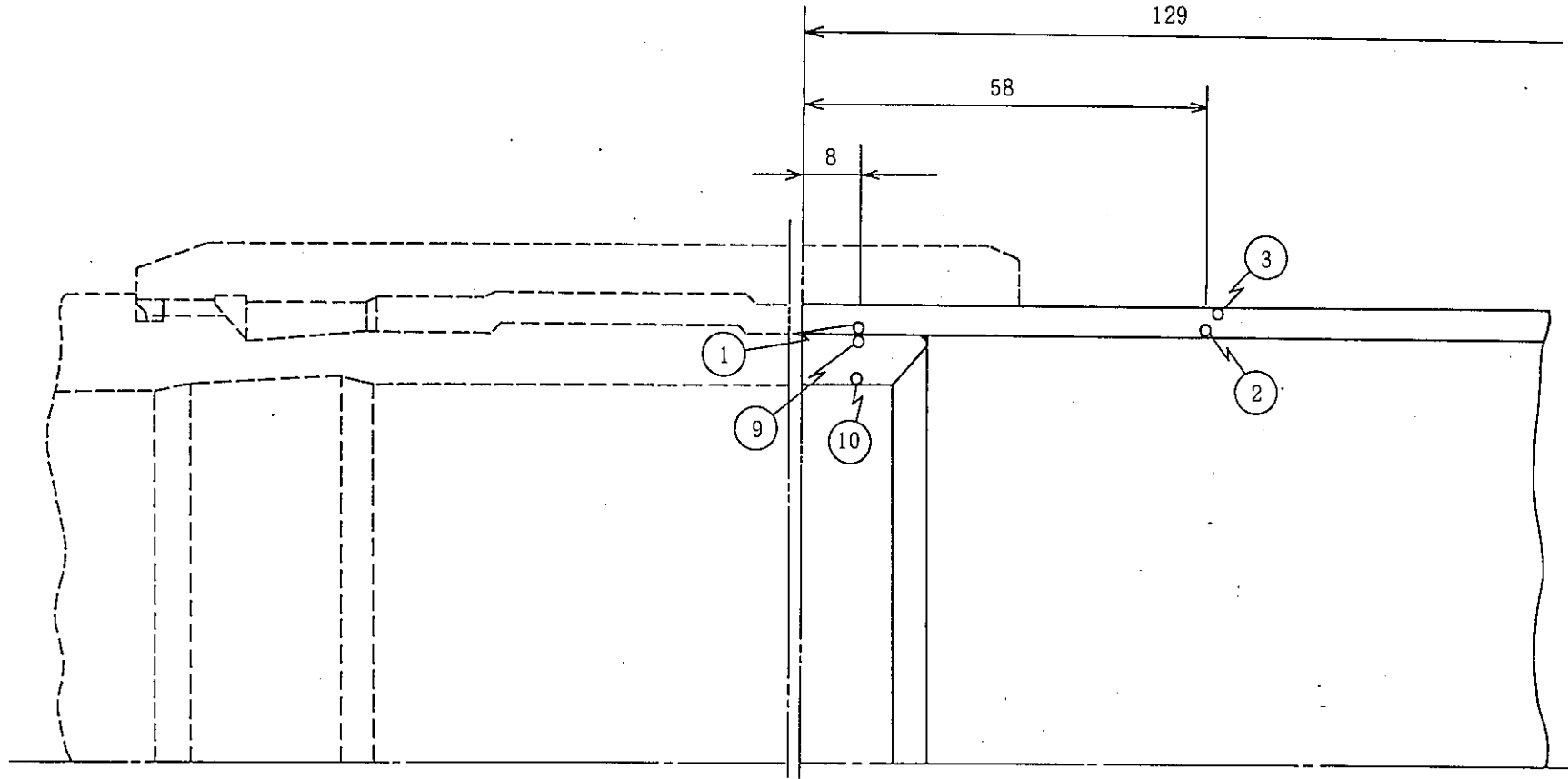


図 2 - 1 短尺圧力管試験体上部ロールドジョイント部の  
電気化学測定用試験片採取箇所

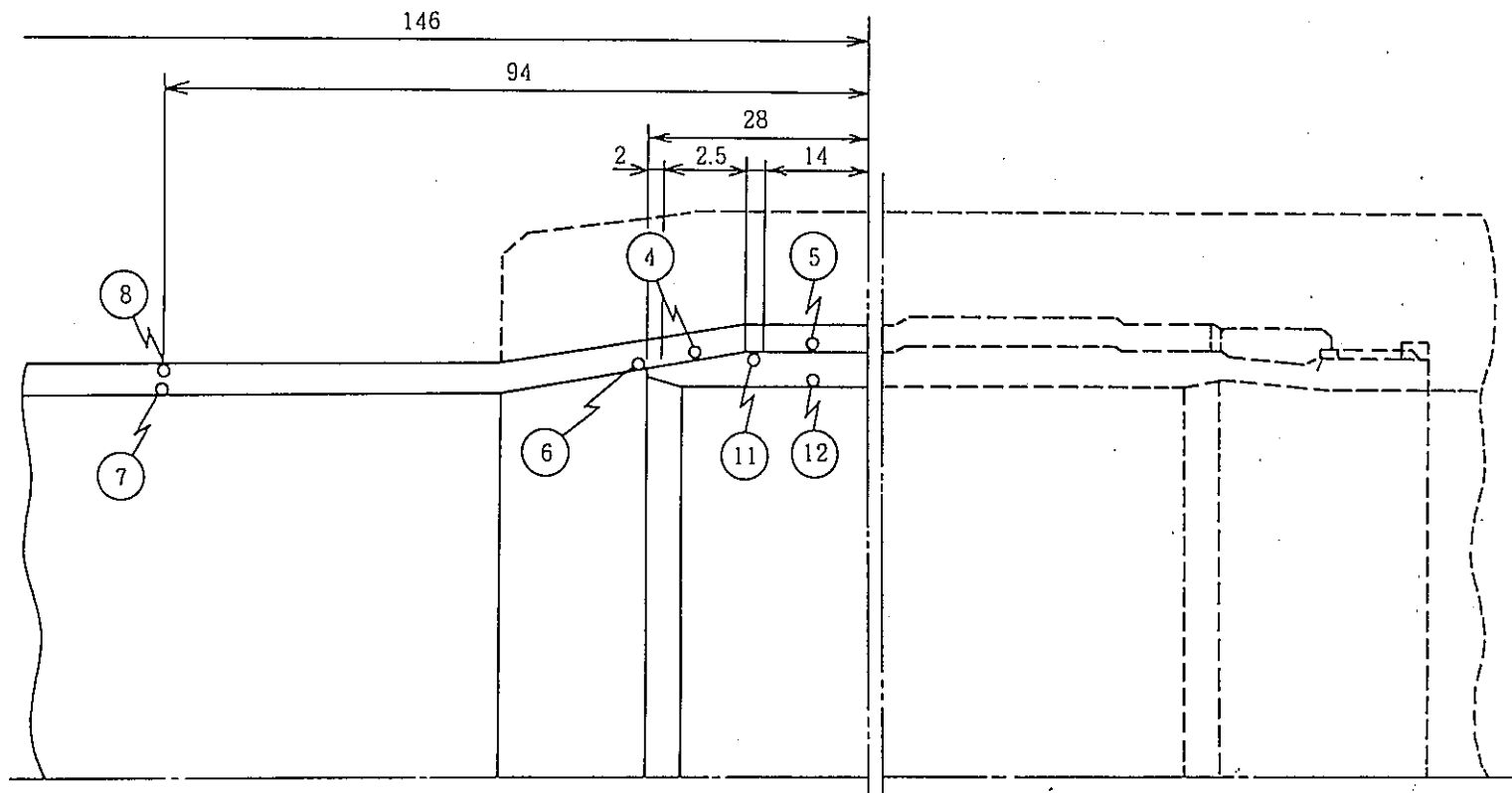


図 2 - 2 短尺圧力管試験体下部ロールジョイント部の  
電気化学測定用試験片採取箇所

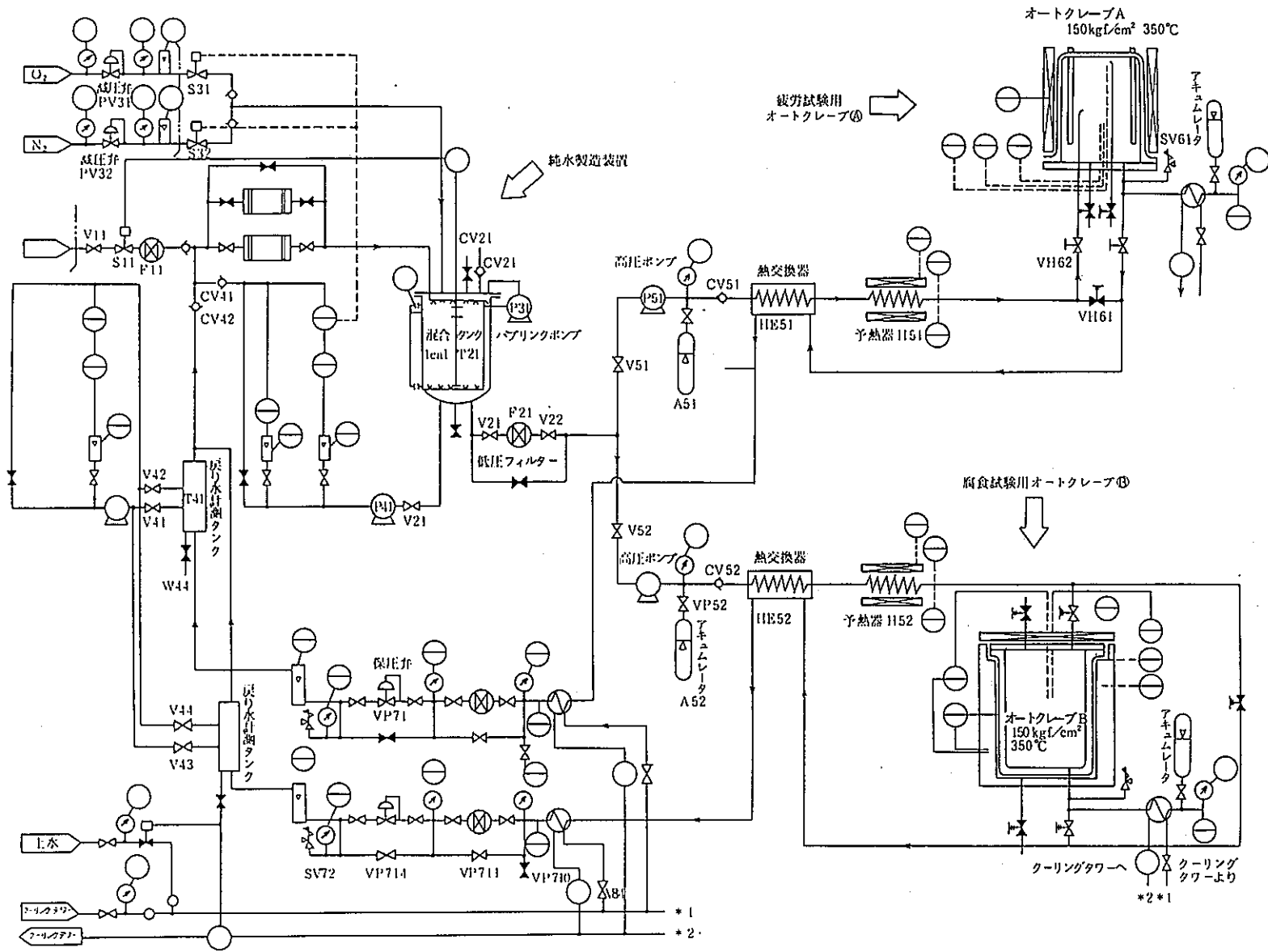


図 2 - 3. 分極特性測定のための腐食試験ループのフローシート

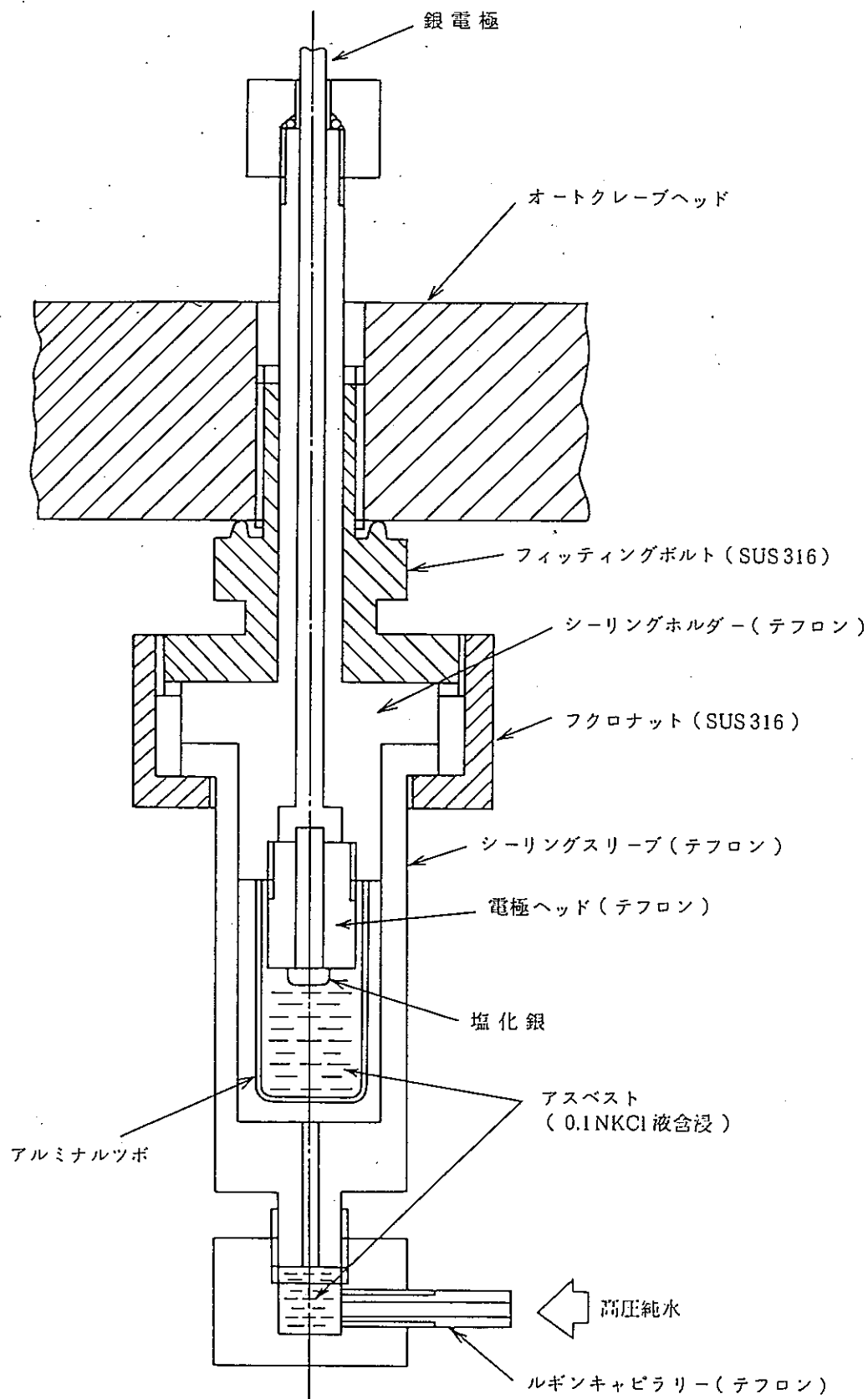
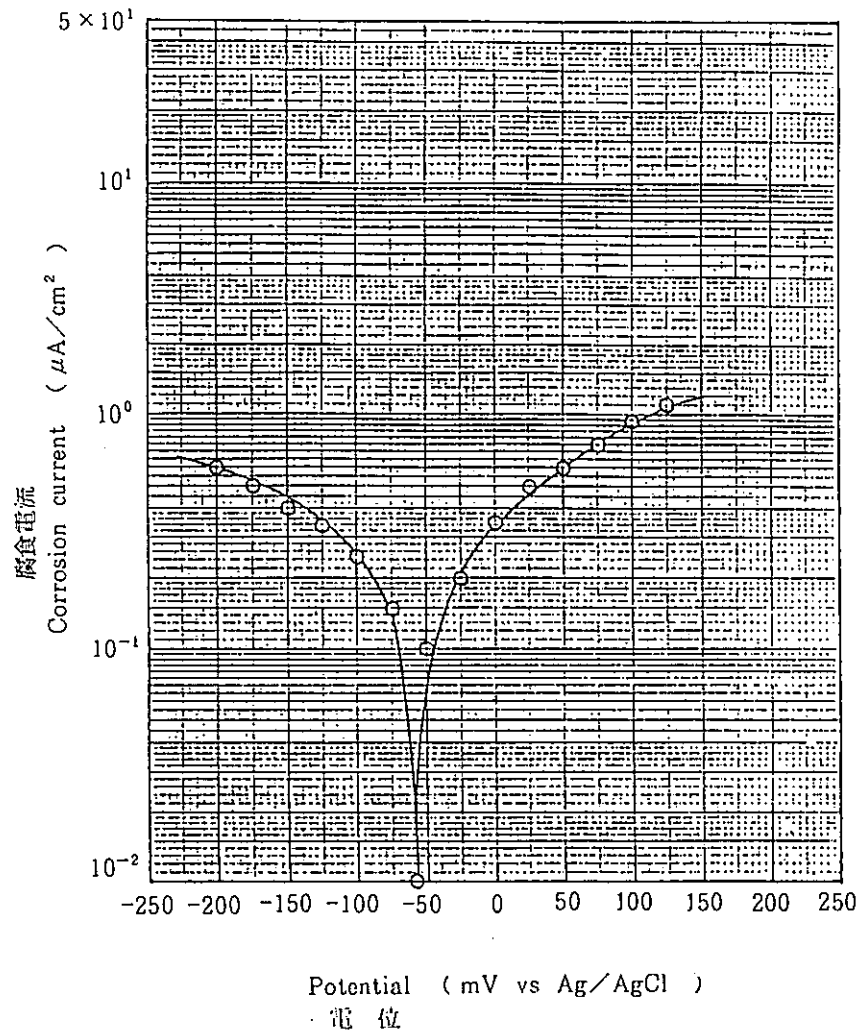
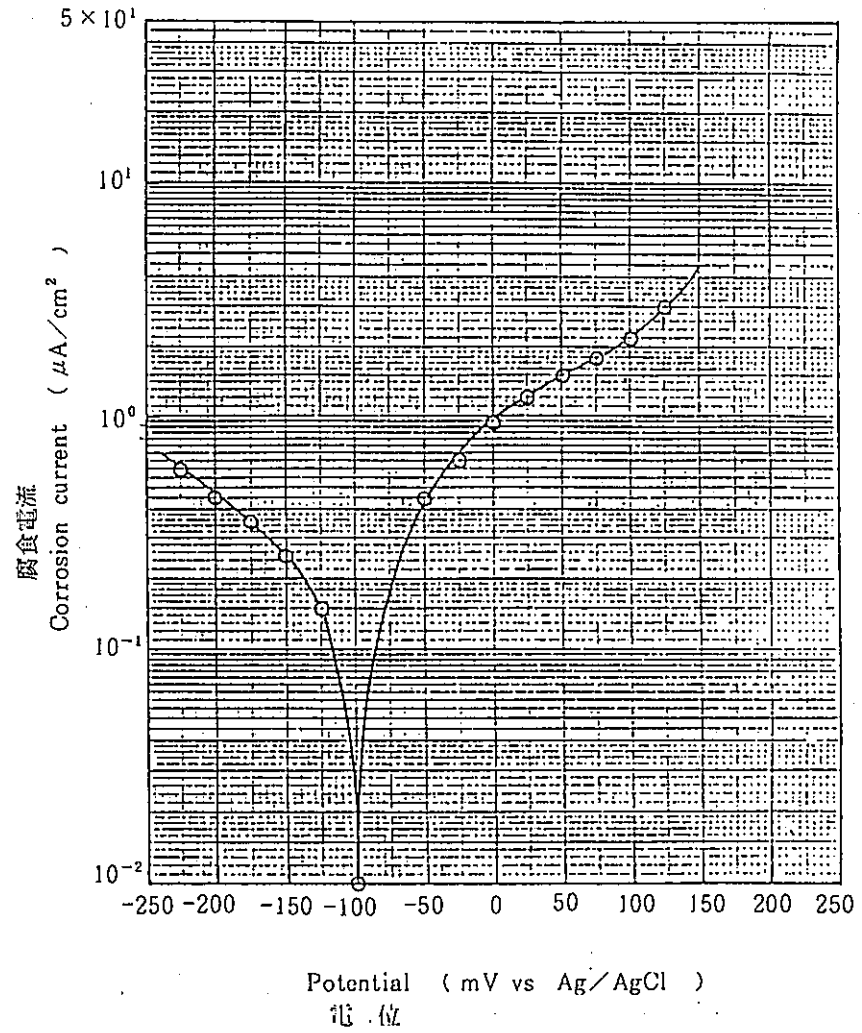


図 2 - 4. 分極特性測定に使用した内部照合型銀 - 塩化銀基準電極



HT Zr-2.5 Nb の分極特性 ( 200 °C, TP No. 4 )  
( 下部ロールジョイント部内リング接触面端部 )

Polarization Curve for HT Zr-2.5% Nb  
( 200 °C, Specimen No. 4 )



HT Zr-2.5 Nb の分極特性 ( 250 °C, TP No. 4 )  
( 下部ロールジョイント部内リング接触面端部 )

Polarization Curve for HT Zr-2.5% Nb  
( 250 °C, Specimen No. 4 )

図 2-5 分極特性測定例 ( 下部ロールジョイント部試料 4 の場合 )



### 3. クラッドの性状

#### 1. クラッド性状調査

除染条件選定試験のために「ふげん」の実試料を採取し、クラッド性状を調査した。

##### (1) クラッドの採取箇所

クラッド性状調査は、通常運転時における炉水の流動部と停滞部から次の試料を採取した。

また、試料の採取箇所を、図3-1に示す。

##### ① 炉水の流動部

イ. 下部遮蔽プラグの連結ボルト (図3-1 ①参照)

ロ. 原子炉冷却材浄化系配管 (図3-1 ②参照)

ハ. 原子炉再循環系配管 (図3-1 ③参照)

##### ② 炉水停滞部

下部遮蔽プラグの閉そく板 (図3-1 ④参照)

##### (2) クラッドの性状

クラッド性状分析結果を表3-1に示す。

この結果からは、炉水の流動部と停滞部のクラッド性状に大きな差異がない。

#### 2. 除染性 (クラッドの溶解性)

炉水の流動部と停滞部のクラッドについて、除染性能の確認試験を実施した。

その結果、図3-2及び図3-3に示すようにクリデコン203によるクラッドの溶解性は、炉水流動部から採取した試料の方が炉水停滞部から採取した試料に比べ良い。この溶解性の差は、両者のクラッド生成

速度の違い（例えば、炉水停滞部では溶存酸素の供給が少ないことからクラッド生成が遅く、流動部よりも緻密なクラッドが生成する。）によるものと考えられる。

なお、今回の除染対象範囲の中で通常運転時炉水が停滞している箇所のクラッドは、圧力管下部（入口管接合部～下部遮へいプラグラッチ部付近）のみである。

表 3-1. 「ふげん」の一次系クラッドの性状調査結果

調査項目		区分	炉水流動部				炉水停滞部
			連結ボルト <sup>前</sup>	連結ボルト <sup>後</sup>	CUW配管片 <sup>前</sup>	RCS配管片 <sup>後</sup>	閉そく板 <sup>前</sup>
観察結果	色調	ソフト	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色	赤褐色
		ハード	灰黒色	灰黒色	灰黒色	灰黒色	灰黒色
	付着状態	ソフト	0.1 μm 程度の微粒子が分散もしくは堆積				ほとんどない
		ハード	0.5~1 μm の緻密な粒子の上に数 μm の粒子が散在				数 μm のもの主体
計測・分析結果	付着量 (mg/cm <sup>2</sup> )	ソフト	0.19	0.25	0.38	1.24	0.08
		ハード	0.39	0.46	0.31	0.61	0.48
		全体	0.58	0.71	0.69	1.85	0.56
	Fe: Ni: Cr 構成比(%)	ソフト	92.1: 3.3: 4.6	92.3: 3.6: 4.2	96.0: 3.0: 1.0	96.8: 1.4: 1.8	91.2: 5.8: 3.0
		ハード	84.5: 10.4: 5.1	83.5: 12.2: 4.4	80.9: 9.9: 9.2	87.3: 5.8: 6.9	82.7: 11.9: 5.4
	結晶成分	ソフト	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
		ハード	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
	放射能の分布比(%)	ソフト	10.0	10.7	44.0	23.0	1.7
ハード		90.0	89.3	66.0	77.0	98.3	
放射性核種	全体	<sup>54</sup> Mn, <sup>58</sup> Co, <sup>59</sup> Fe, <sup>60</sup> Co	<sup>51</sup> Cr, <sup>54</sup> Mn, <sup>58</sup> Co, <sup>59</sup> Fe, <sup>60</sup> Co	<sup>54</sup> Mn, <sup>58</sup> Co, <sup>60</sup> Co, <sup>65</sup> Zn	<sup>54</sup> Mn, <sup>59</sup> Fe, Co, <sup>60</sup> Co, <sup>65</sup> Zn	<sup>51</sup> Cr, <sup>54</sup> Mn, <sup>58</sup> Co, <sup>60</sup> Co, <sup>65</sup> Zn	
放射能濃度(μCi/cm <sup>2</sup> )	全体	1.7	3.2	1.6	1.8	1.5	
比放射能(μCi/μg)	全体	3.0 × 10 <sup>-3</sup>	2.5 × 10 <sup>-3</sup>	2.3 × 10 <sup>-3</sup>	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	2.7 × 10 <sup>-3</sup>	

注)

前) : 水素注入前のクラッド

後) : 水素注入後のクラッド

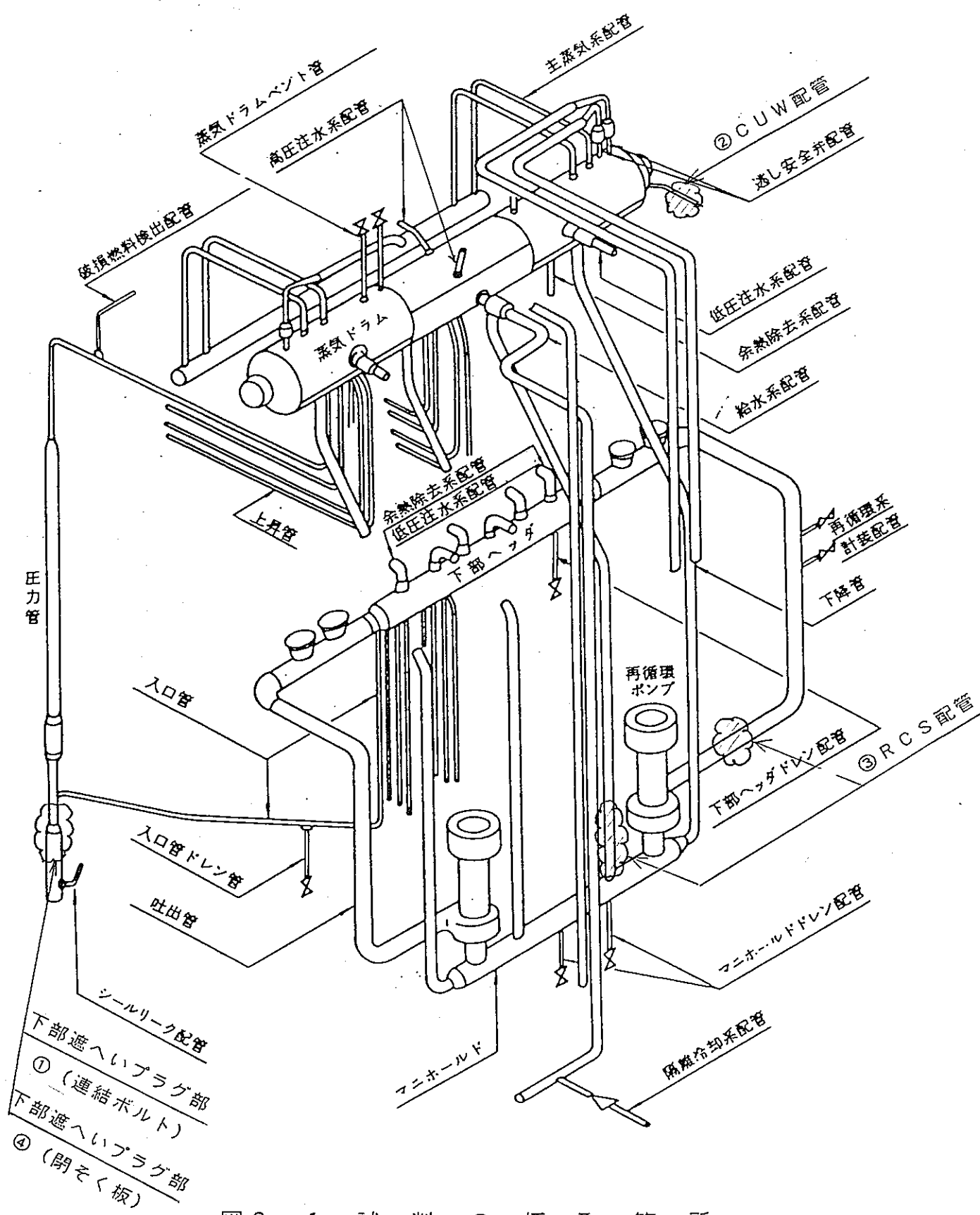


図 3 - 1 . 試 料 の 採 取 箇 所

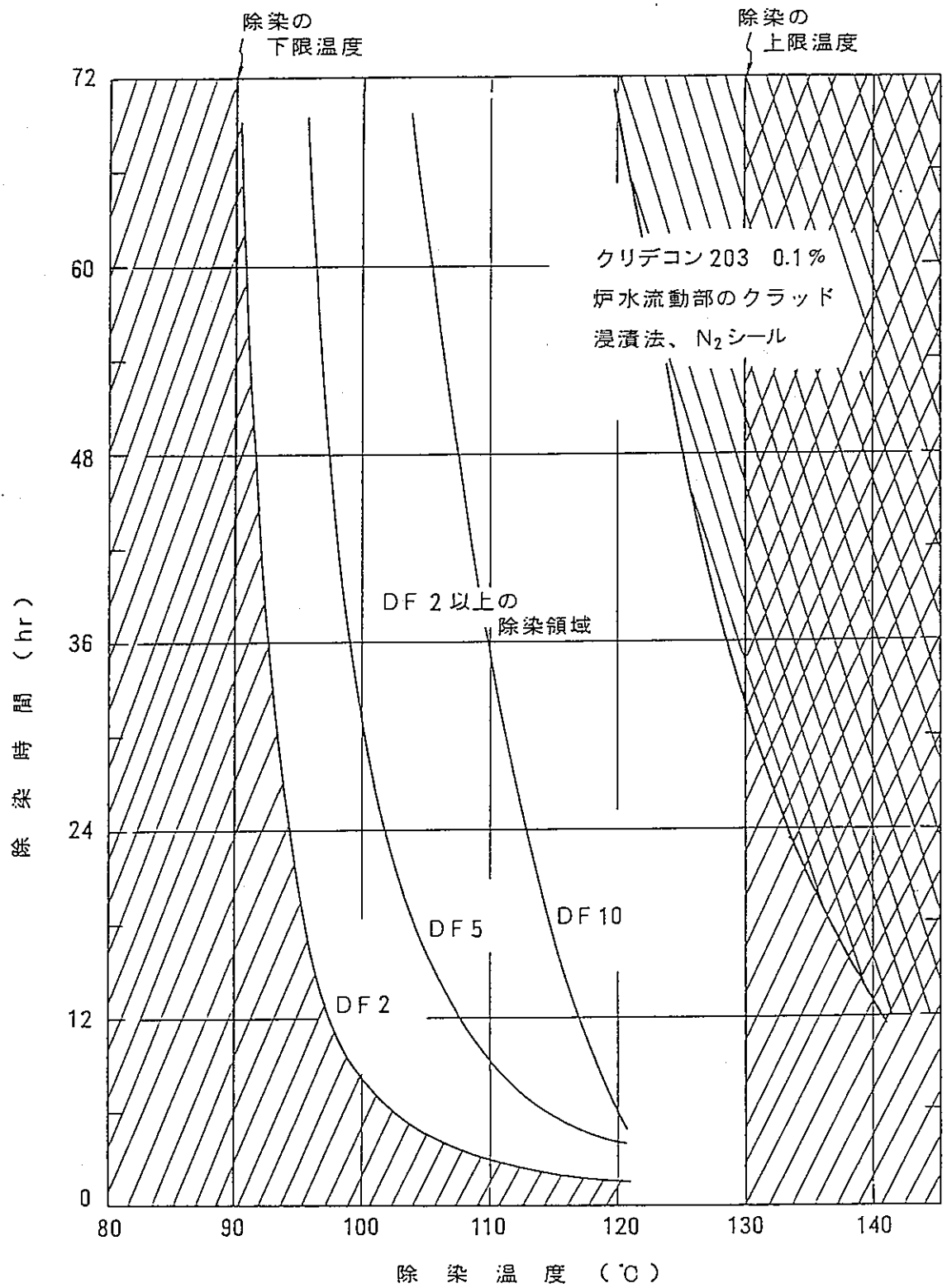


図 3-2. DF 2, 5, 10を得るための温度と時間の関係  
(流動部のクラッド)

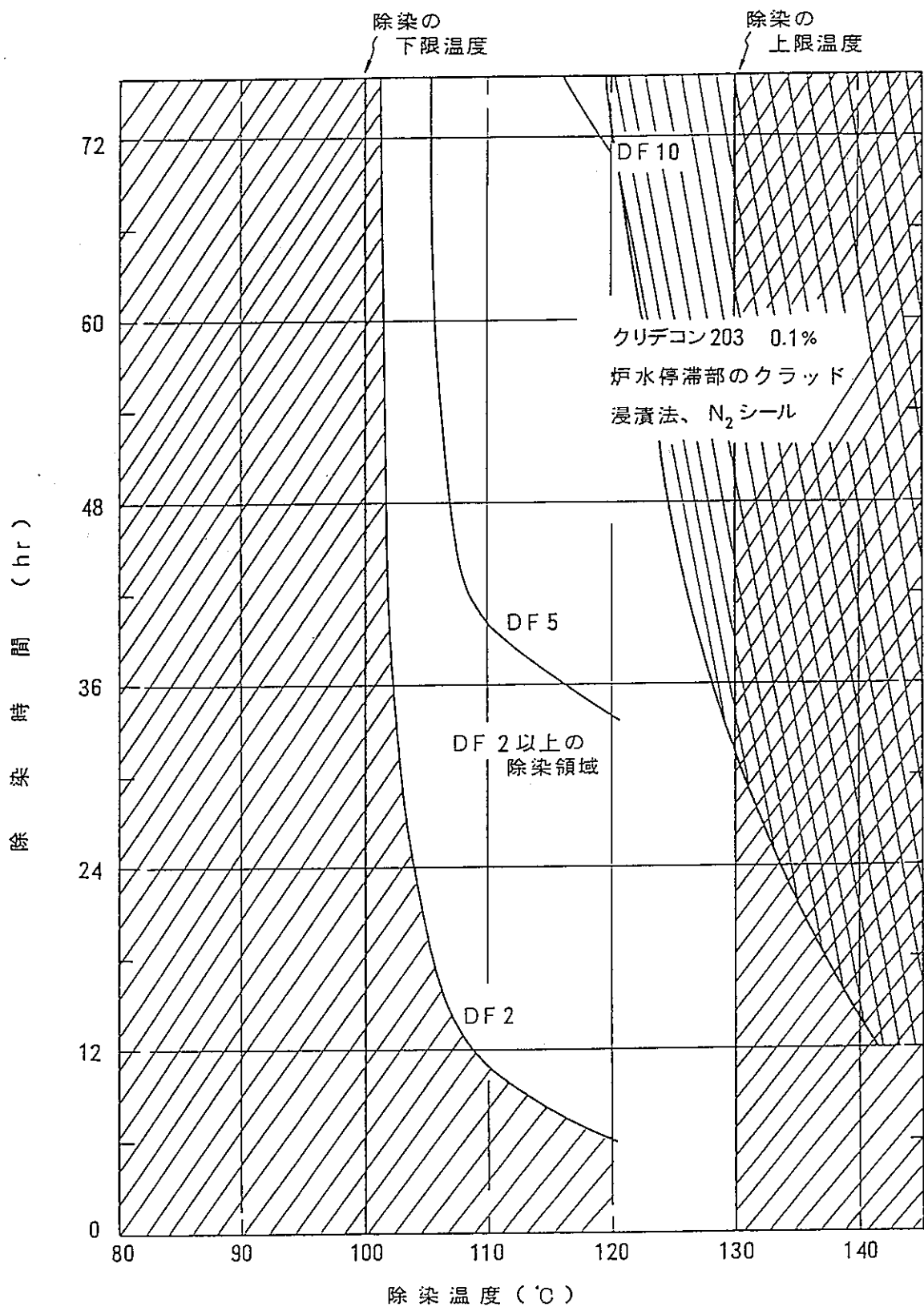


図 3 - 3. DF 2, 5, 10を得るための温度と時間の関係  
(停滞部のクラッド)

## 4. 系統除染時における滞留部

### 1. 滞留箇所

系統除染時、滞留部となる部位は、図4-1～図4-4に示すようにドレン・ベントライン、低圧注水ライン（蒸気ドラム、下部ヘッダ）等の一部である。また、その滞留部の隙間は、ドレン・ベントラインのソケット溶接部であり、その概略図を図4-5に示す。

### 2. 滞留部の浄化方法

滞留部の除染液の浄化は、「浄化工程」において浄化が不十分となる可能性があることから、「浄化工程」から引き続き行う「浄化・フラッシング工程」において、以下のとおりフラッシングを行うとともにC U W脱塩器による浄化を行い、最終的に除染系統水の電導度を $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下にする計画である。

#### (1) ドレン・ベントラインのフラッシング

ドレン・ベントラインのフラッシングは、ドレンブロー及び逆洗水の注入により行うとともに、系内に注入された逆洗水をC U W脱塩器により浄化する。

#### (2) 低圧注水ラインのフラッシング

低圧注水ラインより逆洗水を蒸気ドラム及び下部ヘッダへ注入しフラッシングを行うとともに、系内に注入された逆洗水をC U W脱塩器により浄化する。

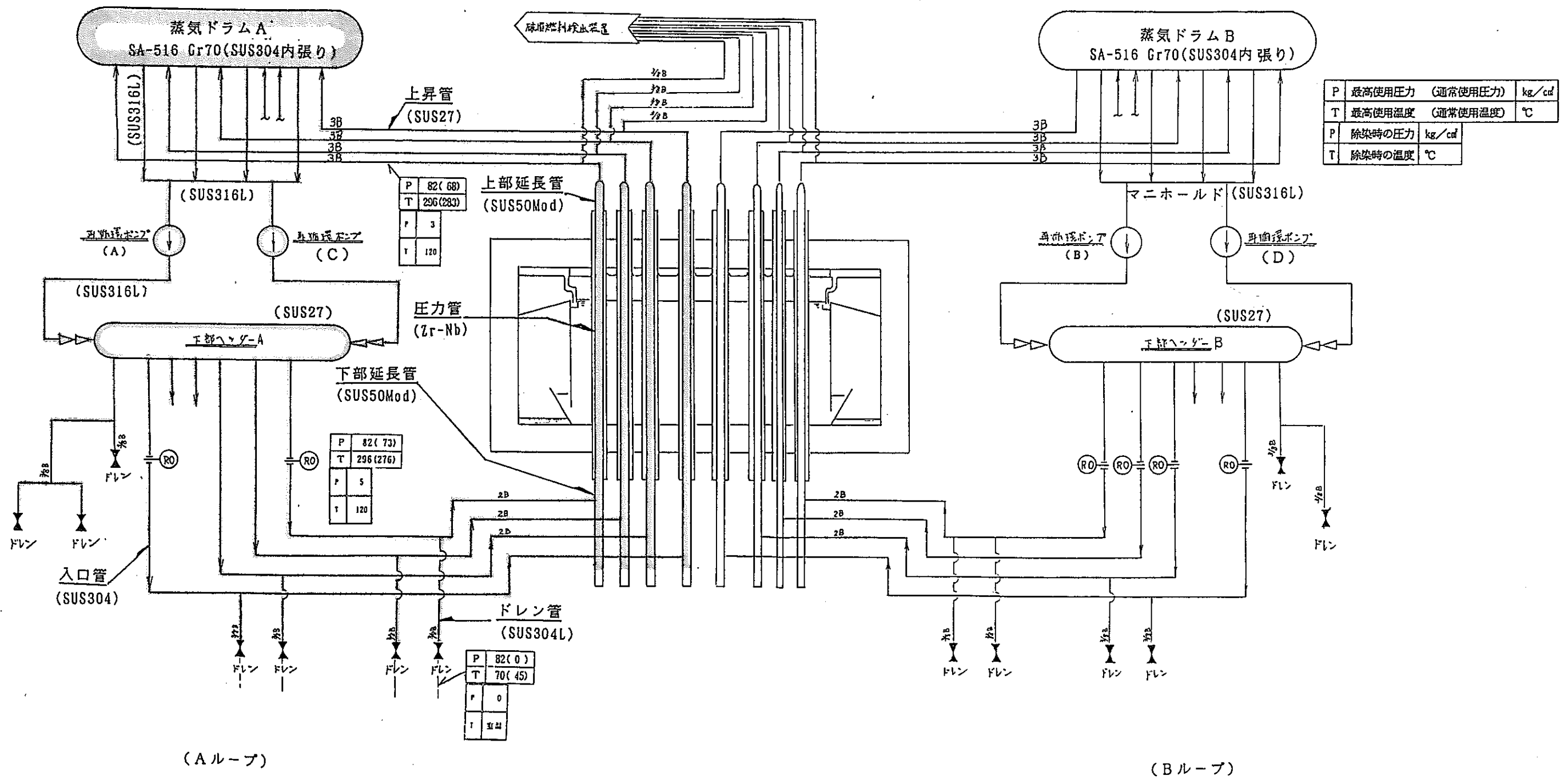
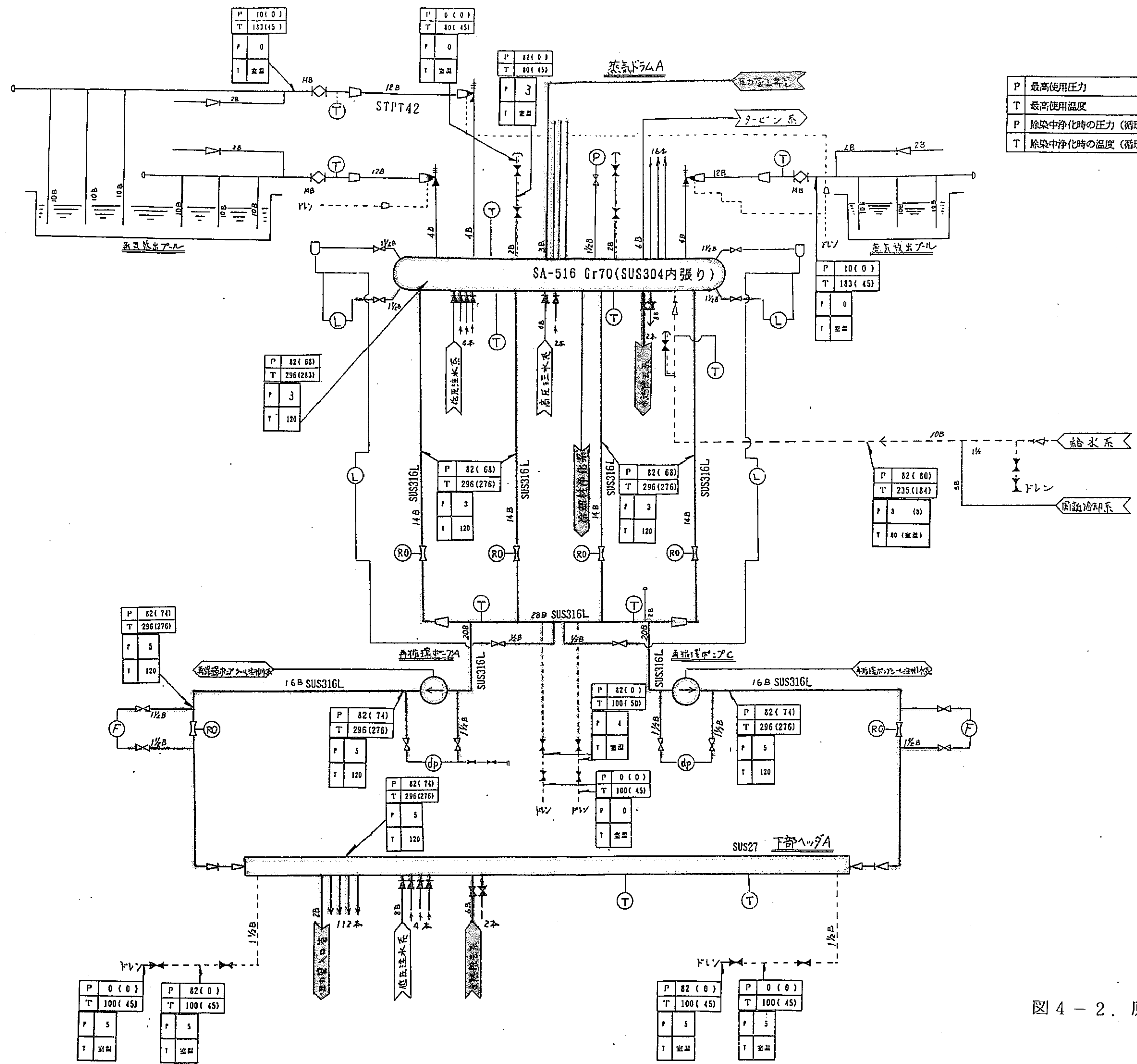


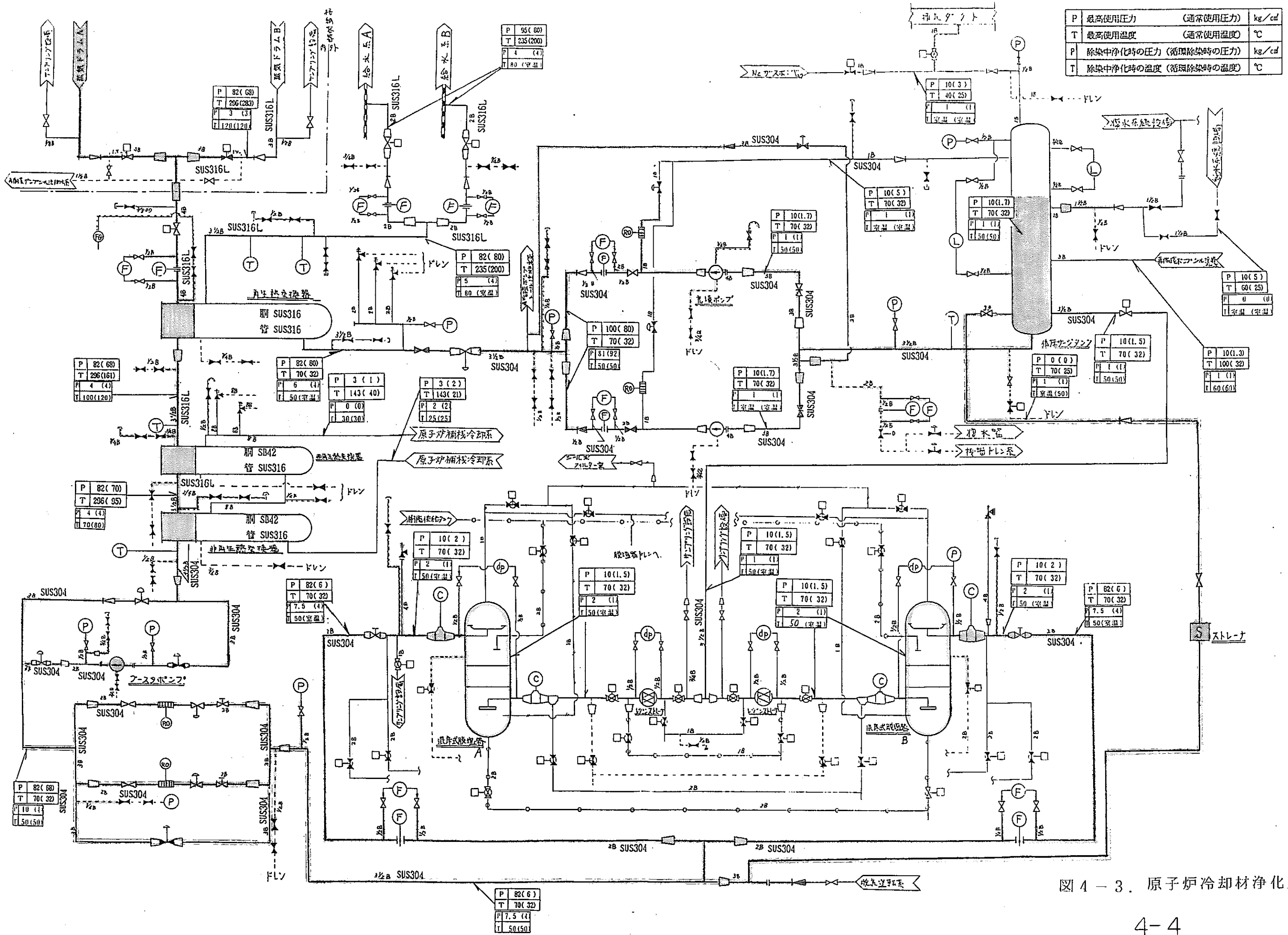
図4-1. 原子炉本体配管系





P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図4-2. 原子炉再循環系 (A-loop)



P	最高使用圧力 (通常使用圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	最高使用温度 (通常使用温度)	°C
P	除染中浄化時の圧力 (循環除染時の圧力)	kg/cm <sup>2</sup>
T	除染中浄化時の温度 (循環除染時の温度)	°C

図 4-3. 原子炉冷却材浄化系

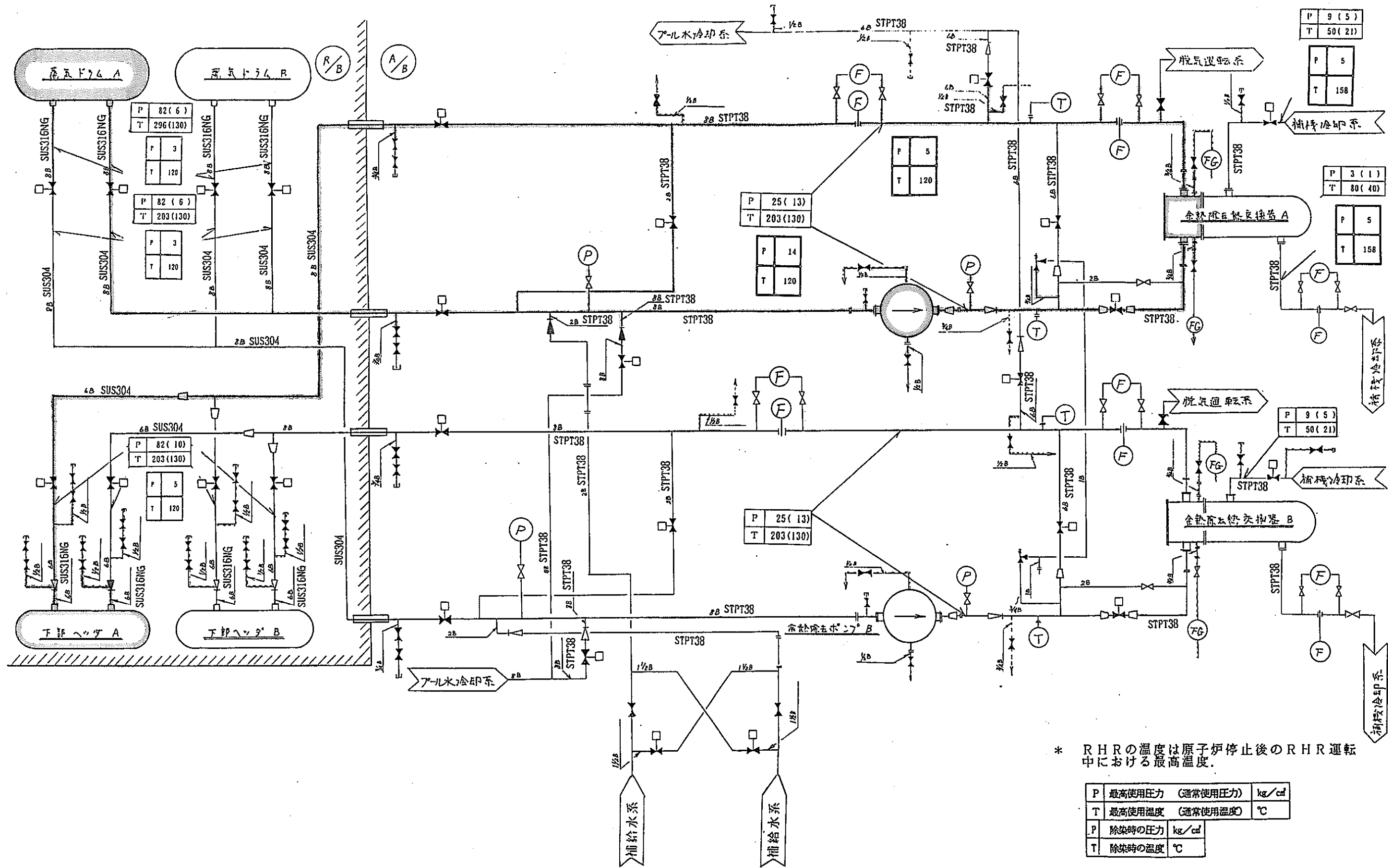


図4-4. 余熱除去系

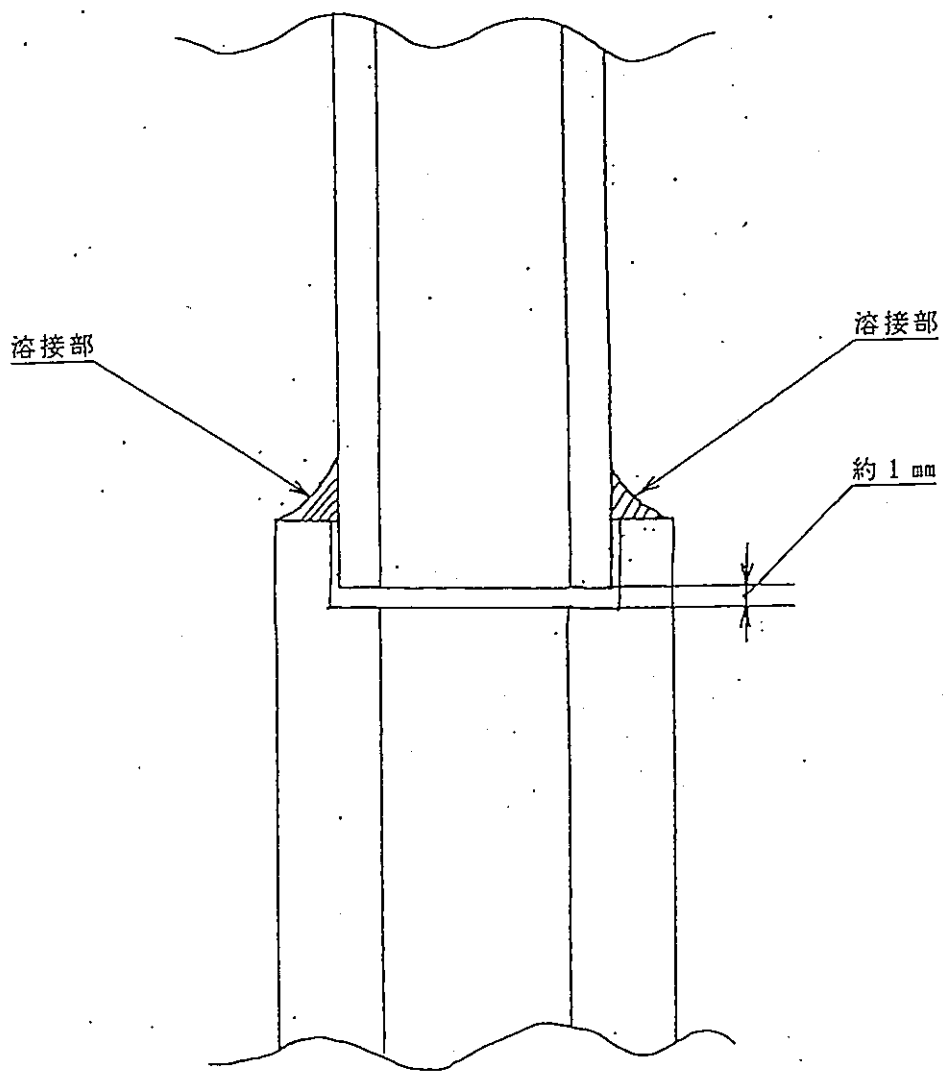


図 4 - 5 . ソケット溶接部概念図

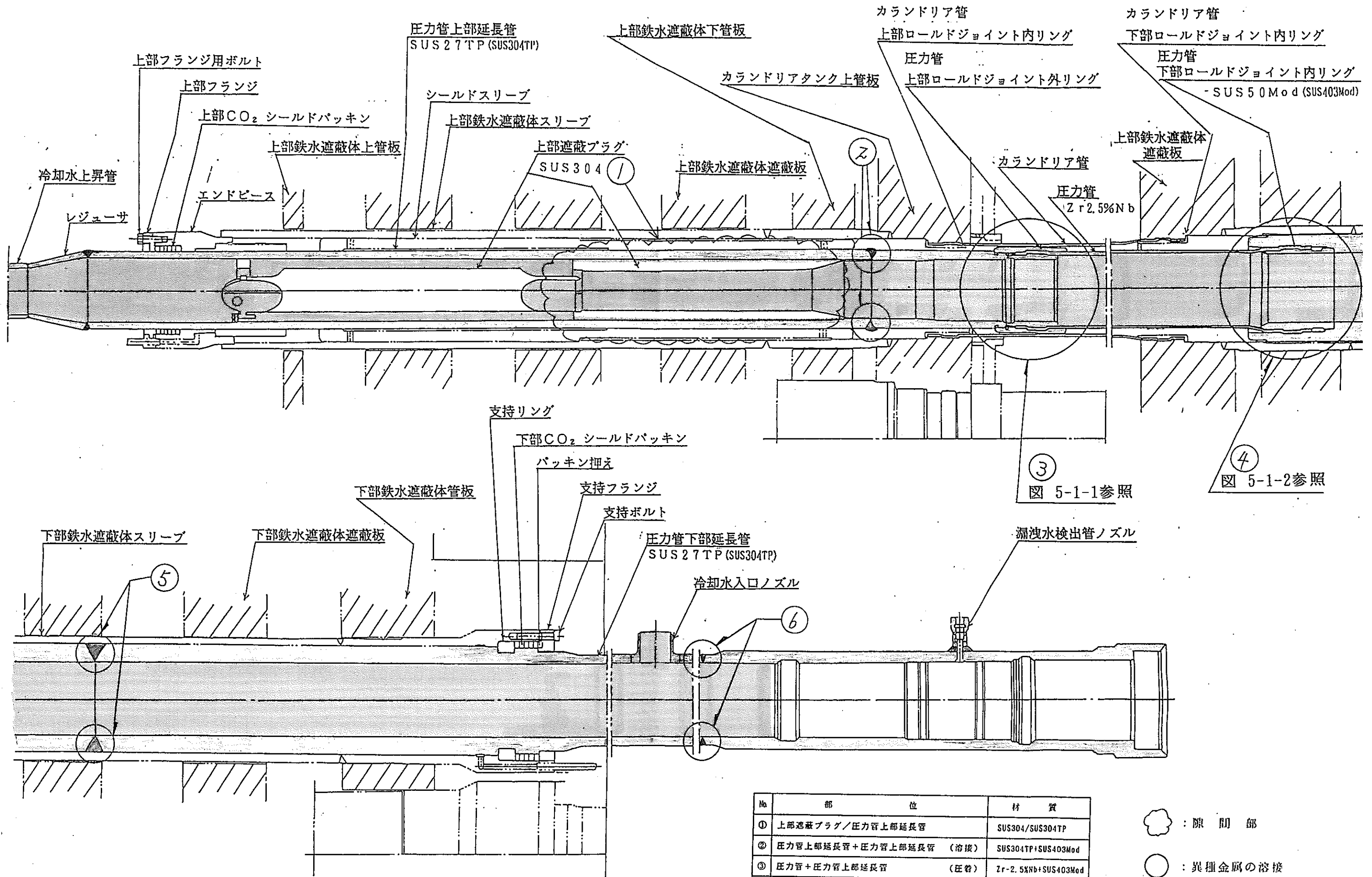
## 5. 主要機器の構造

除染対象システムの主な機器について、除染液接液部、隙間部、異種金属溶接部及び接触部を図5-1～図5-9に示す。

なお、上記図面では、除染液接液部を着色で表示し、隙間部並びに異種金属接触部及び溶接部を図面中に番号で表示するとともに、その部分の構成材料を表で示している。

### \*主要機器の図面リスト

- 図5-1. 圧力管集合体
- 図5-1-1. 圧力管上部ロールジョイント部
- 図5-1-2. 圧力管下部ロールジョイント部
- 図5-2. 蒸気ドラム（断面図）
- 図5-3. 原子炉再循環ポンプ
- 図5-4. 充填ポンプ
- 図5-5. 余熱除去ポンプ
- 図5-6. 再生熱交換器
- 図5-7. 非再生熱交換器
- 図5-8. 余熱除去熱交換器
- 図5-9. 余熱除去系異種金属溶接部



No	部 位	材 質
①	上部遮蔽プラグ/圧力管上部延長管	SUS304/SUS304TP
②	圧力管上部延長管+圧力管上部延長管 (溶接)	SUS304TP+SUS403Mod
③	圧力管+圧力管上部延長管 (圧着)	Zr-2.5%Nb+SUS403Mod
④	圧力管+圧力管下部延長管 (圧着)	Zr-2.5%Nb+SUS403Mod
⑤	圧力管下部延長管+圧力管下部延長管 (溶接)	SUS403Mod+SUS304TP
⑥	圧力管下部延長管+圧力管下部延長管 (溶接)	SUS304TP+SUS403Mod

☁ : 隙 間 部

○ : 異種金属の溶接  
又は接触部

図 5-1. 圧力管集合体 5-2

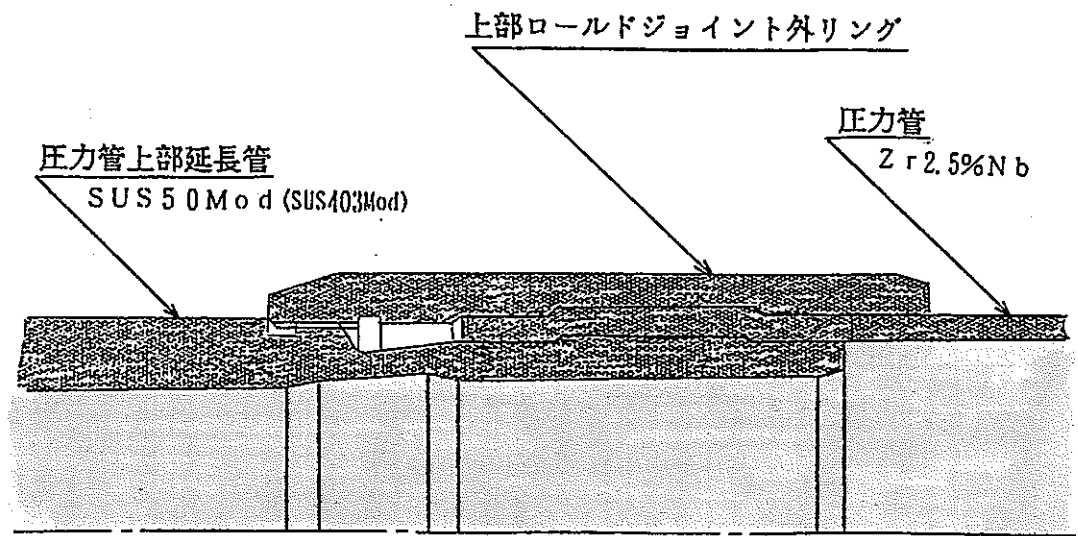


図 5 - 1 - 1 圧力管上部ロールドジョイント部

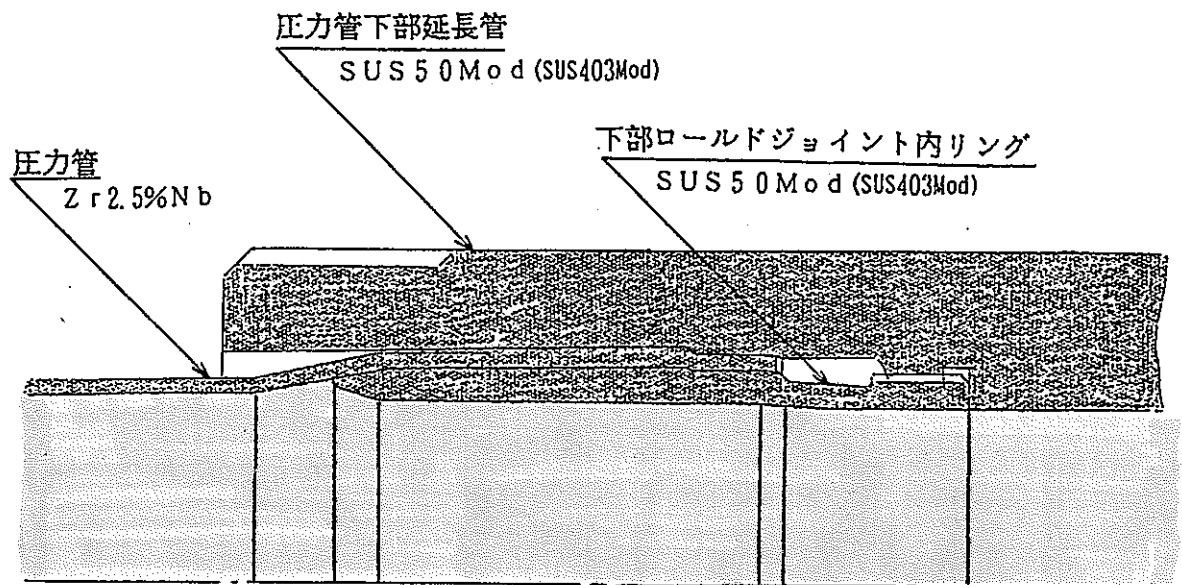
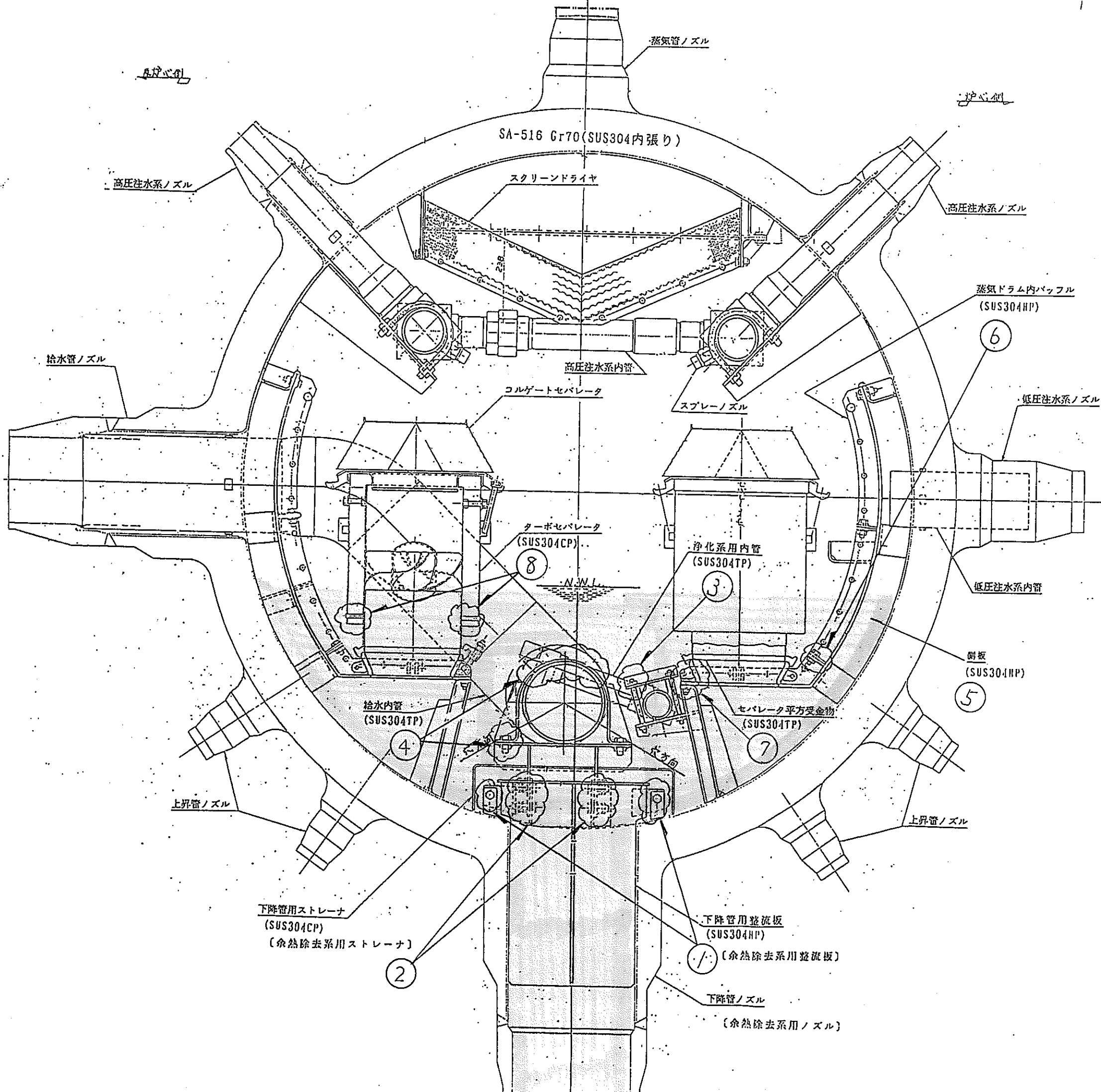


図 5 - 1 - 2 圧力管下部ロールドジョイント部

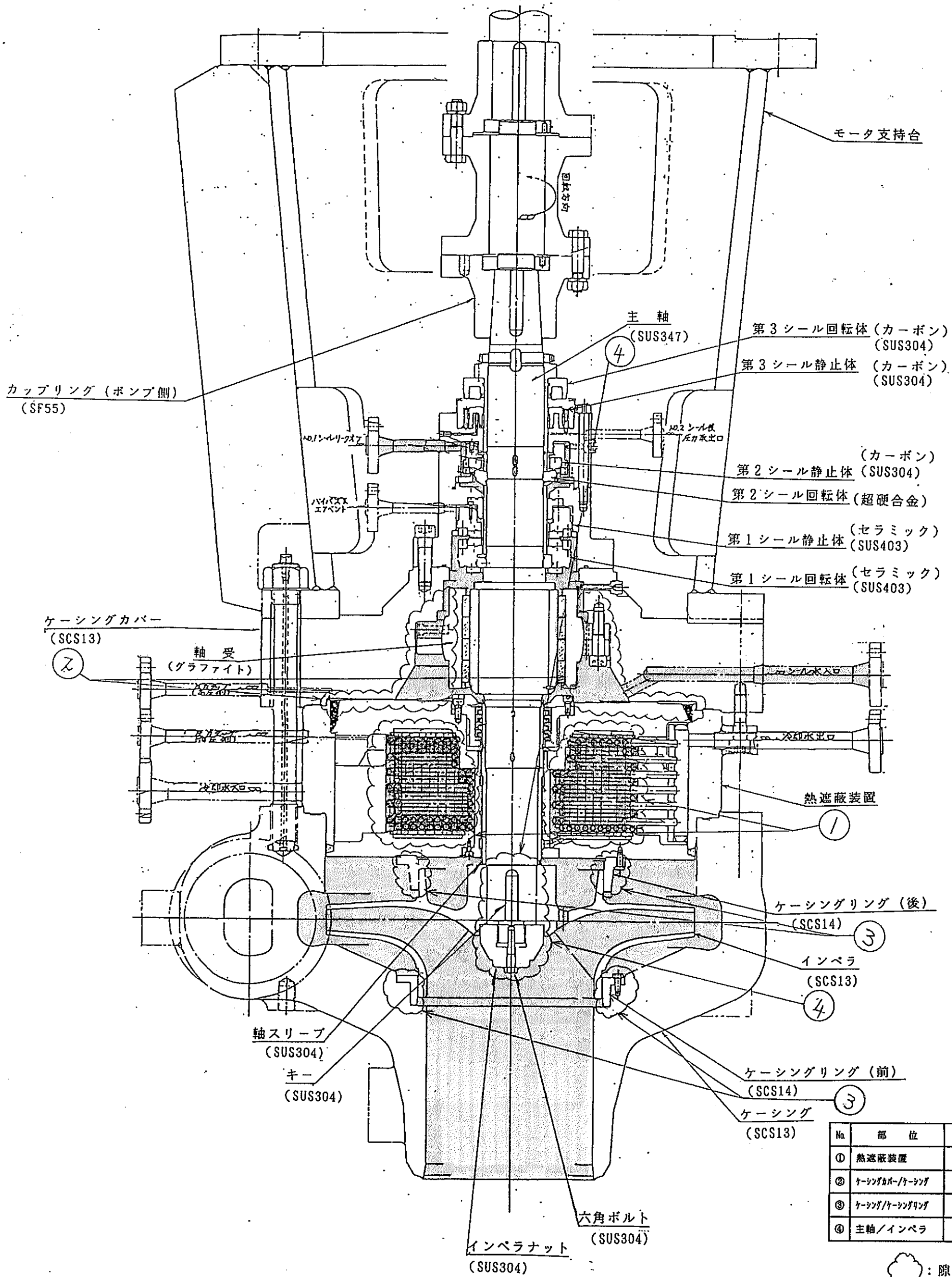


No	部 位	材 質
①	下降管用整流板取付金物	SUS304HP/SUS304HP
②	給水内管取付金物	SUS304HP/SUS304HP
③	浄化系用内管取付金物	SUS304HP/SUS304HP
④	給水内管取付金物	SUS304HP/SUS304HP
⑤	銅板	SUS304HP/SUS304HP
⑥	バッフル取付金物	SUS304HP/SUS304HP
⑦	セパレータ平方受金物	SUS304TP/SUS304TP
⑧	セパレータ	SUS304CP/SUS304CP

☁ : 隙 間 部

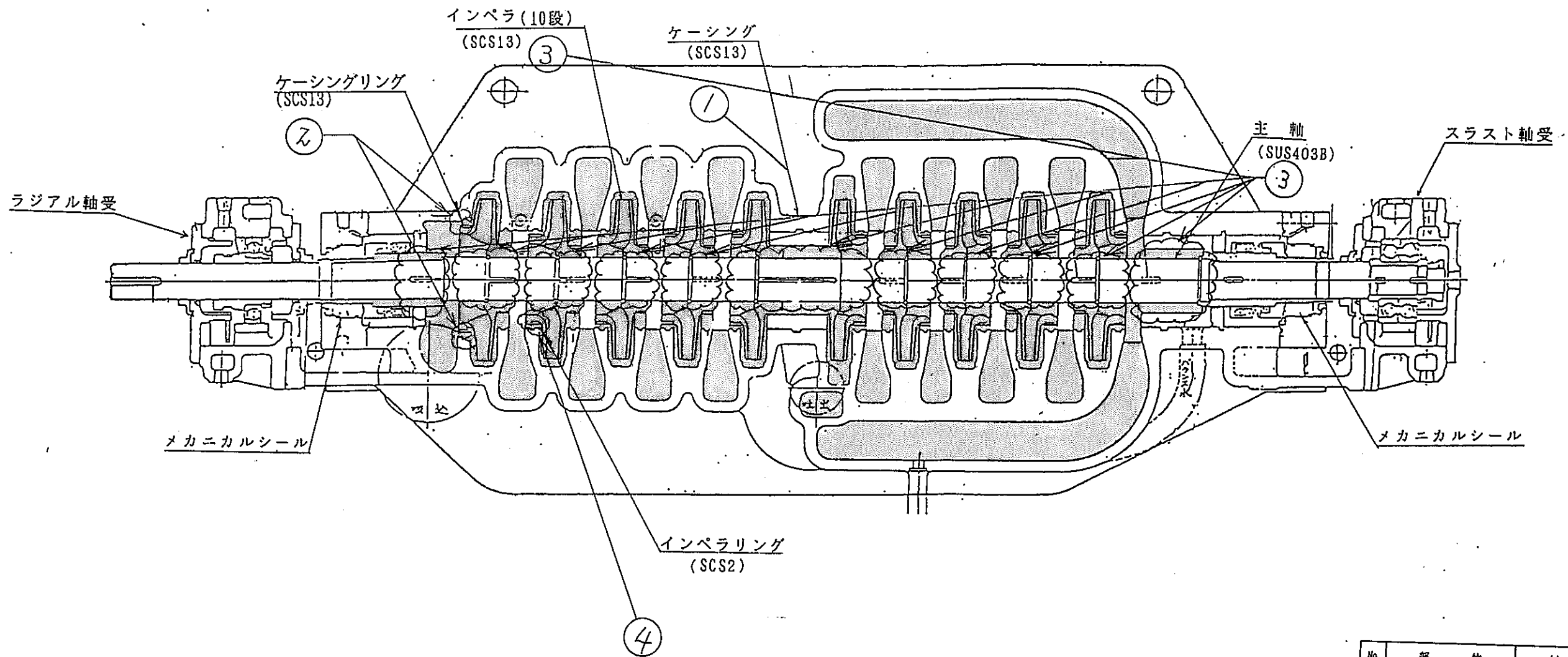
図5-2. 蒸気ドラム (断面図)  
5-4





No.	部位	材質
①	熱遮蔽装置	SUS304TB/SUS304TB
②	ケーシングカバー/ケーシング	SCS13/SCS13
③	ケーシング/ケーシングリング	SCS13/SCS14
④	主軸/インペラ	SUS347/SCS13

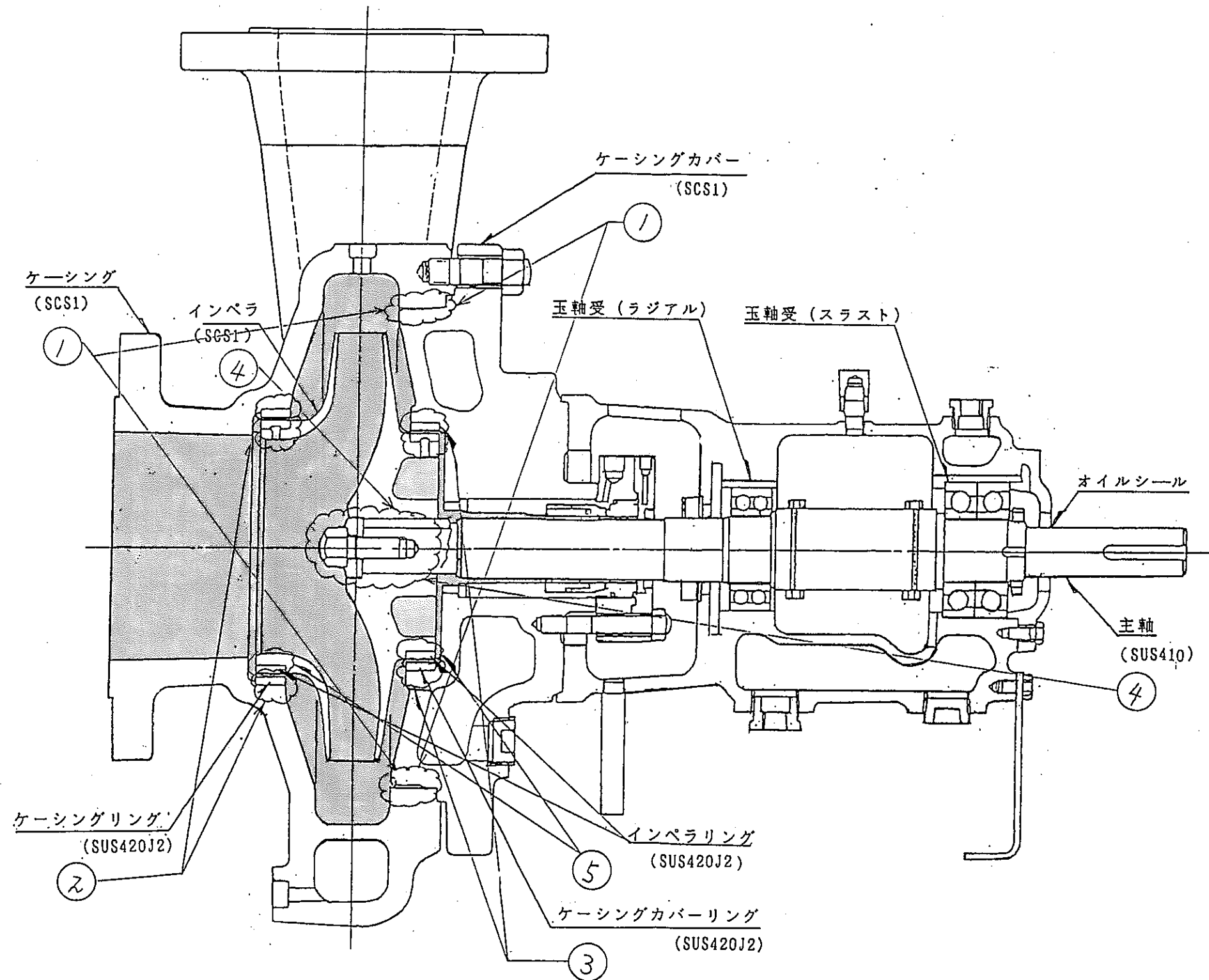
☁ : 隙間部



No.	部 位	材 質
①	ケーシング/ケーシング	SCS13/SCS13
②	ケーシング/ケーシングリング	SCS13/SCS13
③	主軸/インペラ	SUS403B/SCS13
④	インペラ/インペラリング	SCS13/SCS2

☁ : 隙 間 部

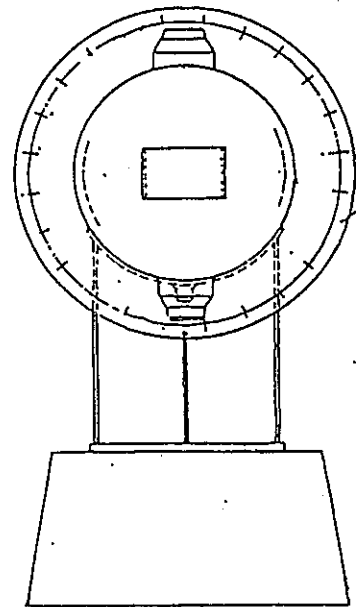
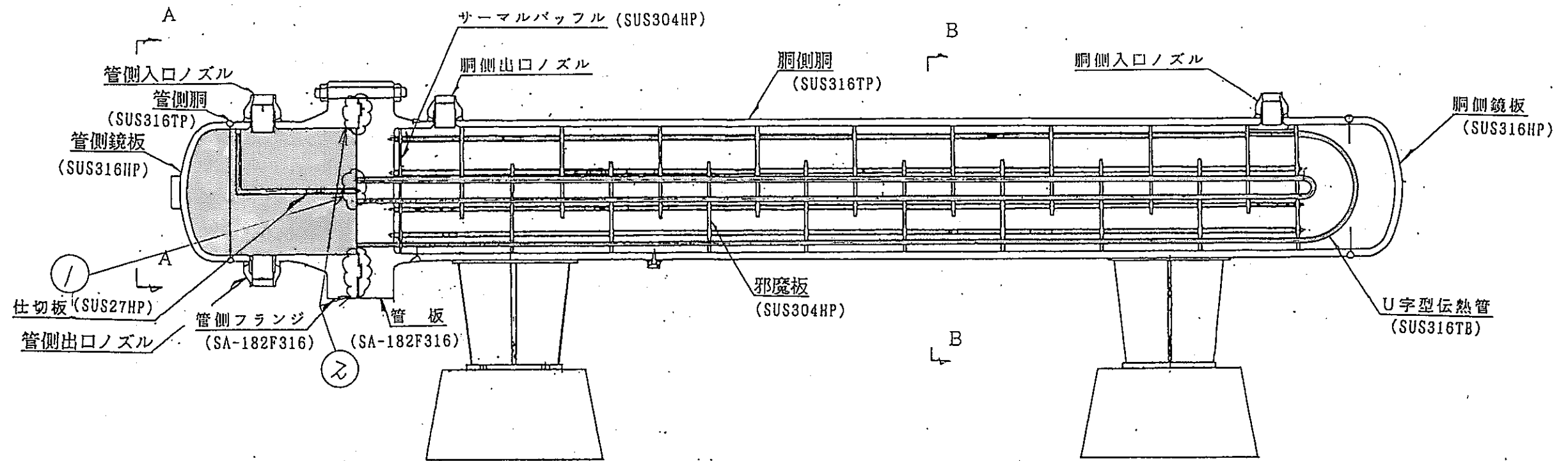
図 5 - 4 . 充 填 ポンプ 5-6



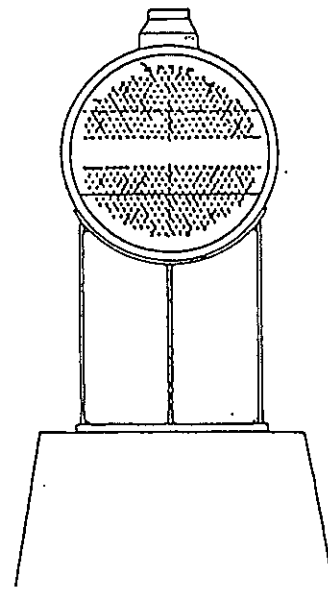
No	部 位	材 質
①	ケーシング/ケーシングカバー	SCS1/SCS1
②	ケーシング/ケーシングリング	SCS1/SUS420J2
③	ケーシング/ケーシングカバーリング	SCS1/SUS420J2
④	主軸/インペラ	SUS410/SCS1
⑤	インペラ/インペラリング	SCS1/SUS420J2

☁ : 隙 間 部

図 5 - 5. 余熱除去ポンプ 5-7



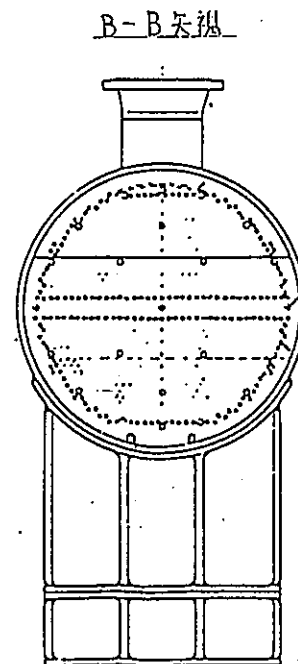
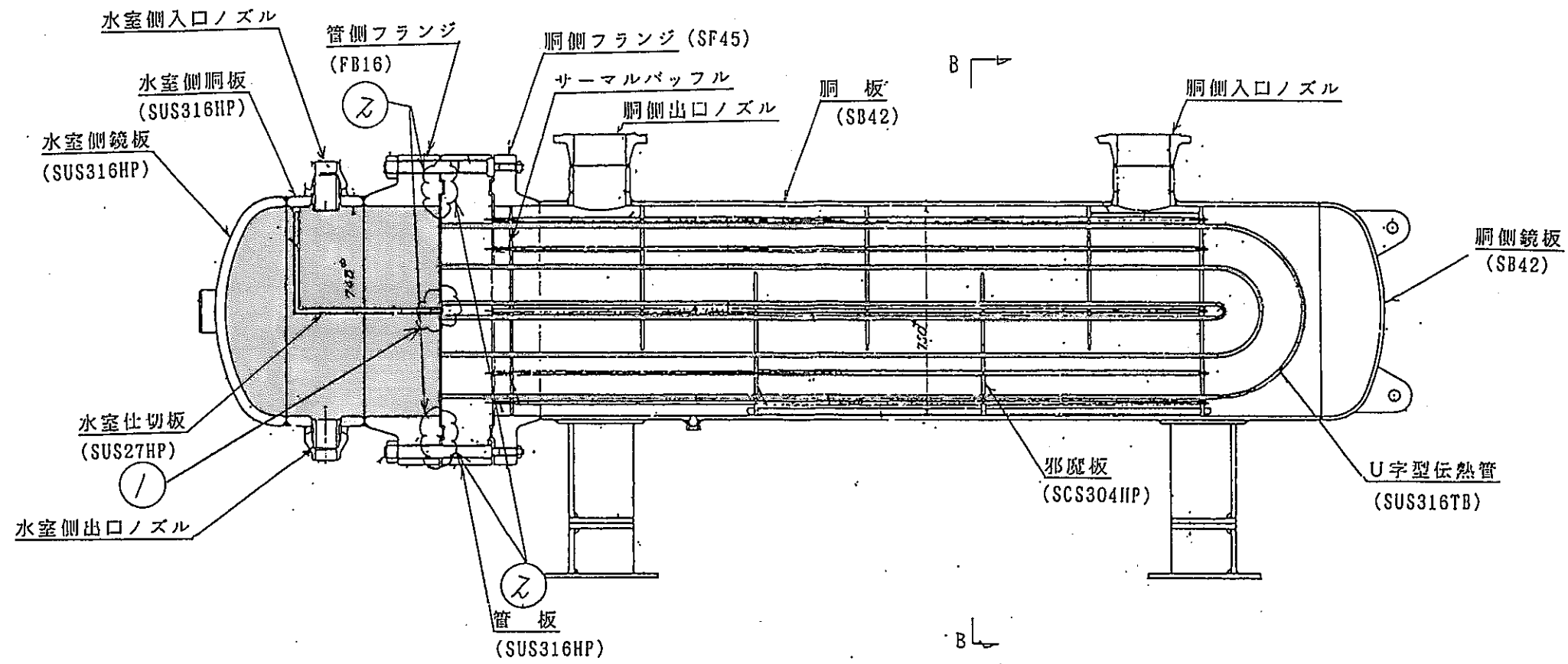
矢視A-A



矢視B-B

No	部 位	材 質
①	仕切板/管板	SUS304HP/SA-182F316
②	管側フランジ/管板	SA-182F316/SA-182F316

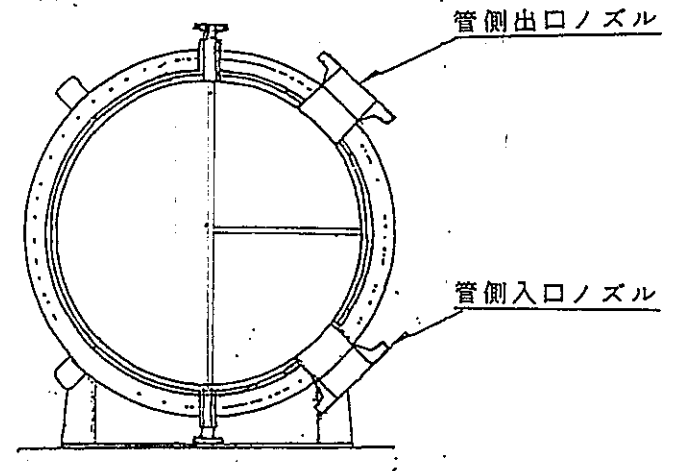
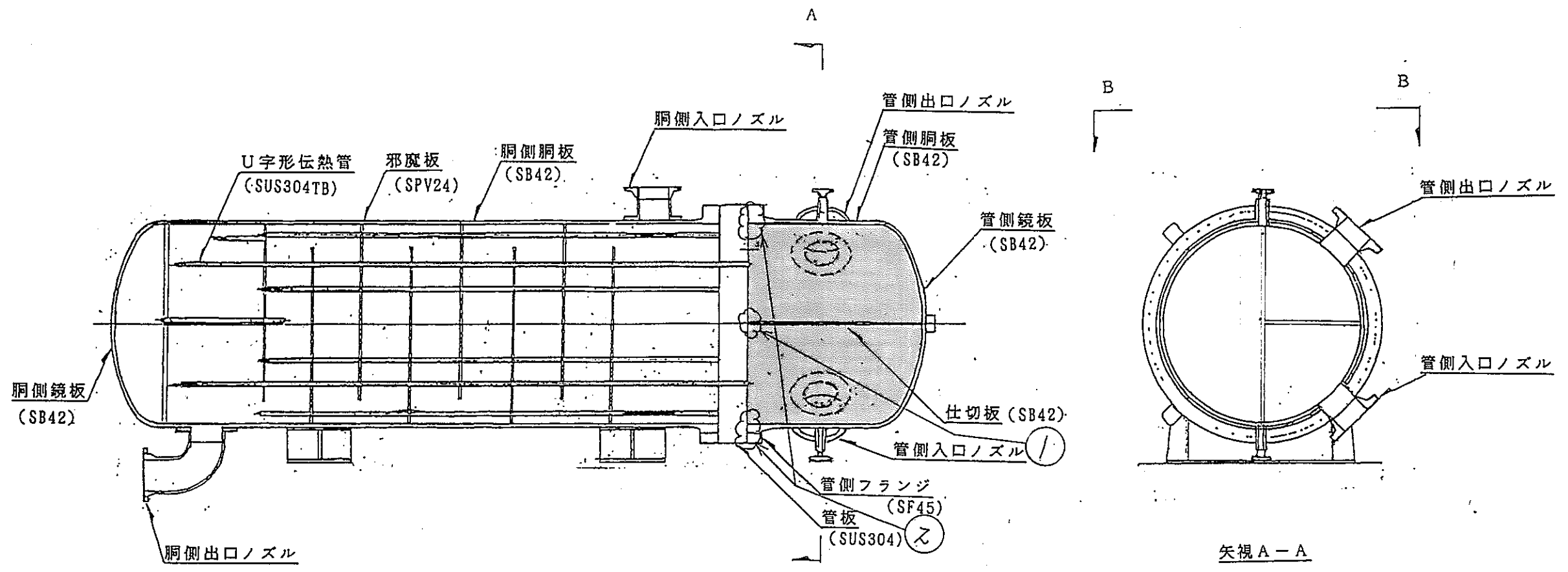
☁ : 隙 間 部



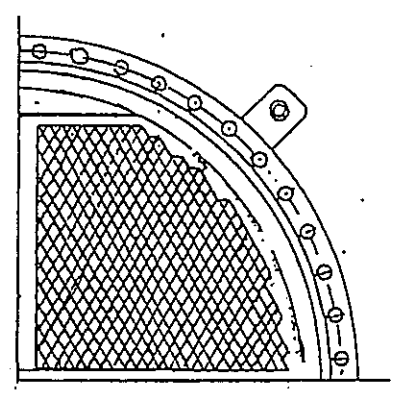
No.	部位	材質
①	水室仕切板/管板	SUS304HP/SUS316HP
②	管側フランジ/管板	FB16/SUS316HP

☁ : 隙間部

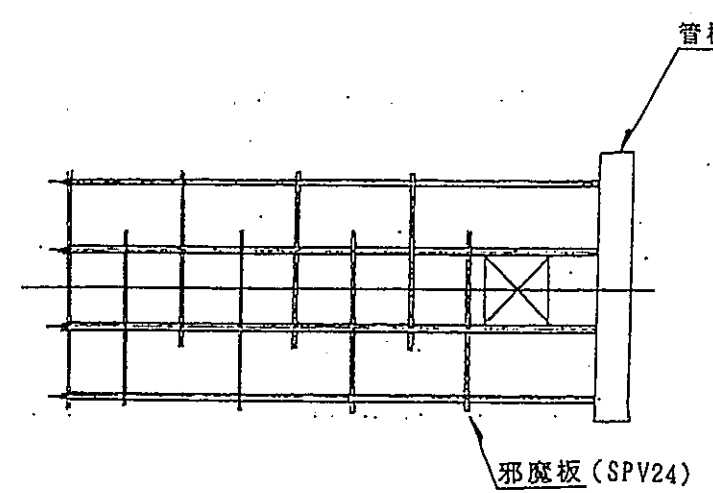
図 5 - 7. 非再生熱交換器 5-9



矢視 A-A



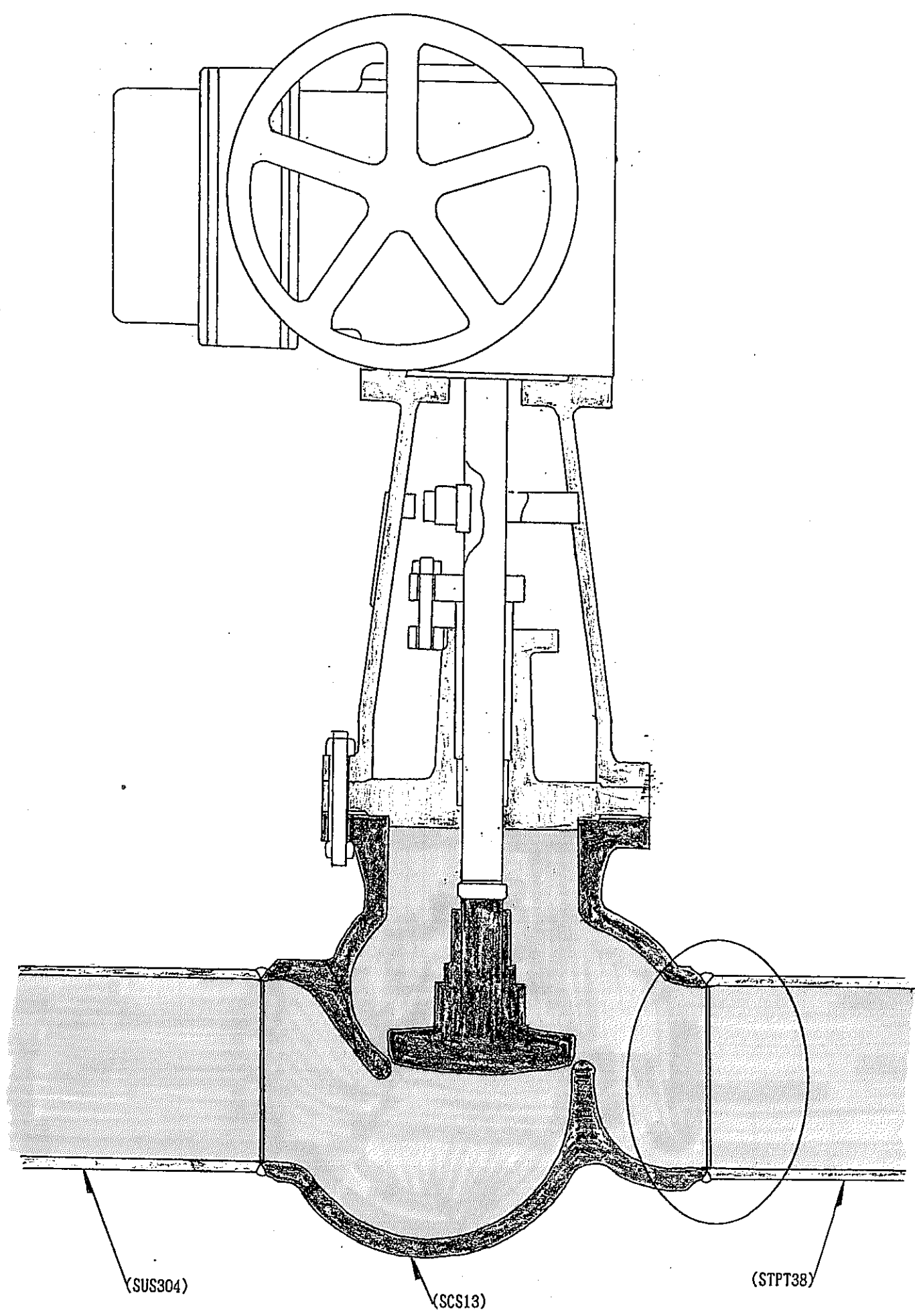
伝熱管配列図



管束組立図  
(矢視 B-B)

No	部 位	材 質
①	仕切板/管板	SUS304/SAB42
②	管側フランジ/管板	SF45/SUS304

☁ : 隙 間 部



○ : 異種金属の溶接部

図 5 - 9 . 余熱除去系異種金属溶接部

## 6. 腐食試験用材料の選定理由

材料健全性の試験を行うにあたって、同系材料については試験材料を一部のもので代表することにした。その選定理由は以下のとおりである。

### 1. 全面腐食

#### (1) オーステナイト系ステンレス鋼

構成材料の中で、オーステナイト系のステンレス鋼には、304, 304L, 316, 316L, 321, 347の6種類がある。

これらの材料はいずれもFe-Ni-Crを主要構成にしているが、Mo含有(2~3%)の有無で304系と316系に大別できる。

321と347には、それぞれTi 0.4%, Nb 0.8%程度が含まれている。Ti, Nbともに炭化クロムの生成、析出を防止するための添加物で、ステンレス鋼を安定化する(鋭敏化しにくくする)ためのものである。従って、両者とも304で代表できる。(表6-1参照)

これより、オーステナイト系ステンレス鋼の試験は、304と316Lで行った。

#### (2) マルテンサイト系ステンレス鋼

この系列のSUS材は、403, 403Mod, 410, 420J2, 440Cの5種類である。

これらの内、440Cを除く他のものは、いずれも13Cr系である。13Cr材の中で403Modは圧力管延長管材で、かつ「ふげん」特有の材料であるために欠かせない。

403Modを除く他のものでは、440Cがシールプラグ部材などに使用されており、やはり「ふげん」特有の材料といえる。また440Cは炭素の含有量が1%前後と高く、耐食性は低い。(表6-1参照)

以上のことから、403Modと440Cをマルテンサイト系ステンレス鋼の代表として選定した。



### (3) ステンレス鋼の鋳物材

ステンレス鋼の鋳物材には、SCS材として1, 2, 13, 14, 16AそれにCF材として8Mの5種類がある。

これらの内、13, 14, 16A及び8Mはいずれも304か316の鋳物材で、耐食性に有意な差はないと考えられた。13は再循環ポンプ部材であり、他はバルブ部材であるため、13を代表に選定した。

SCS 1, 2は13Cr系の鋳物材であるが、耐食性に影響するCrとCの含有量はSUS403と変わらないことから、マルテンサイト系ステンレス鋼の中で耐食性の低いSUS440Cで代表できると考えた。

以上より、ステンレス鋼の鋳物材については、上記5種類の中からSCS13を選定した。

### (4) 炭素鋼

炭素鋼には、STPT材, SB材, SF材, SCPH材の4種類がある。

STPT材は配管材、SB材は熱交換器の胴材、SF材とSCPH材はバルブの部材に使用されている。

炭素鋼の場合、微量成分はほとんど変わりなく、Fe主体の金属である。従って、いずれも耐食性に大きな差はないと考えられる。そこで、この中から配管材のSTPT材を選定した。

## 2. 異種材の接触腐食

異種材の接触の組合せには、次のような種類がある。

- ① SUS403Mod + Zr-2.5Nb (圧力管と延長管のロールジョイント部)
- ② SUS403Mod + Ti-6Al-4V (圧力管延長管とシールプラグ部材)
- ③ SUS403Mod + SUS440C ( " )
- ④ Zr-2.5Nb + SUS630 (圧力管と燃料体部材)
- ⑤ SUS630 + Ti-6Al-4V (シールプラグ部材同士)

これら異種材の接触の内、①以外は燃料体込みの除染の場合に見られる組合せである。従って、今回計画の除染では関係ない組合せである。

しかし、異種材の接触は隙間が形成される箇所でもあり、腐食性はできるだけ詳しく調べる必要（好ましくない組合せがあるのか否か）がある。また、上記の組合せは、いずれも「ふげん」特有であるため選択することはできない。

以上より、異種材の接触については上記の全てについて試験することにした。

### 3. 溶接部腐食

溶接部材には、異種材と同種材に区分できる。「ふげん」における溶接部材は次のとおりである。

#### (1) 異種材溶接

- ① SCS13 + STPT （余熱除去系のバルブと配管）
- ② SUS304 + SUS403Mod（入口管と延長管，上昇管と延長管）

上記の内①では、SCS13とSUS304の耐食性が変わらないこと（表6-1，図6-1参照）から、ここではSUS304のSCC性をみる参考にするためにSUS304+STPTについて調べることにした。

②については、延長管に係る組合せで重要であるが、腐食性はSUS304同士の溶接とSUS304+STPTの溶接との間に位置している。従って、これら両溶接材で異常がみられなければ、②の腐食性は十分類推できると考える。

以上より、異種材溶接についてはSUS304+STPTの組合せだけにした。

なお、SUS304+SUS316L，SUS304+SUS321及びSUS304+SCS13は、共に次項のSUS304同士の溶接と同等として扱えると考えられる。

#### (2) 同種材溶接

同種材の溶接には下記のような組合せがある。

- ① SUS304 + SUS304 （SCC対策による取替を実施していない配管）
- ② SUS316L + SUS316L（SCC対策による取替を実施した配管）
- ③ STPT + STPT （余熱除去系の配管）

これらの中で、①と②では溶接の熱影響による鋭敏化は①の方が起きる。従って①の方を選定した。また、炭素鋼材は腐食の程度が他の材料と比べ顕著であることから③も選定した。

以上より、SUS304+SUS304及びSTPT+STPTを同種材の溶接の代表とした。

表 6 - 1 . 各種ステンレス鋼の腐食性

区 分	試 験 材 料	腐 食 量 (mg / cm <sup>2</sup> )
オ ー ス テ ナ イ ト 系	SUS 3 0 4 SUS 3 0 4 L SUS 3 1 6 SUS 3 1 6 L SUS 3 2 1 SUS 3 4 7 SUS 6 3 0	< 0 . 0 5 " " " " " " " " " " " "
鑄 物 材	S C S 1 3	< 0 . 0 5
マ ル テ ン サ イ ト 系	SUS 4 0 3 M o d SUS 4 1 0 SUS 4 4 0 C	< 0 . 0 5 " " 0 . 0 6

試験条件：クリデコン 2 0 3      0.1 %  
 9 0 ° C , 2 4 h r      浸漬法

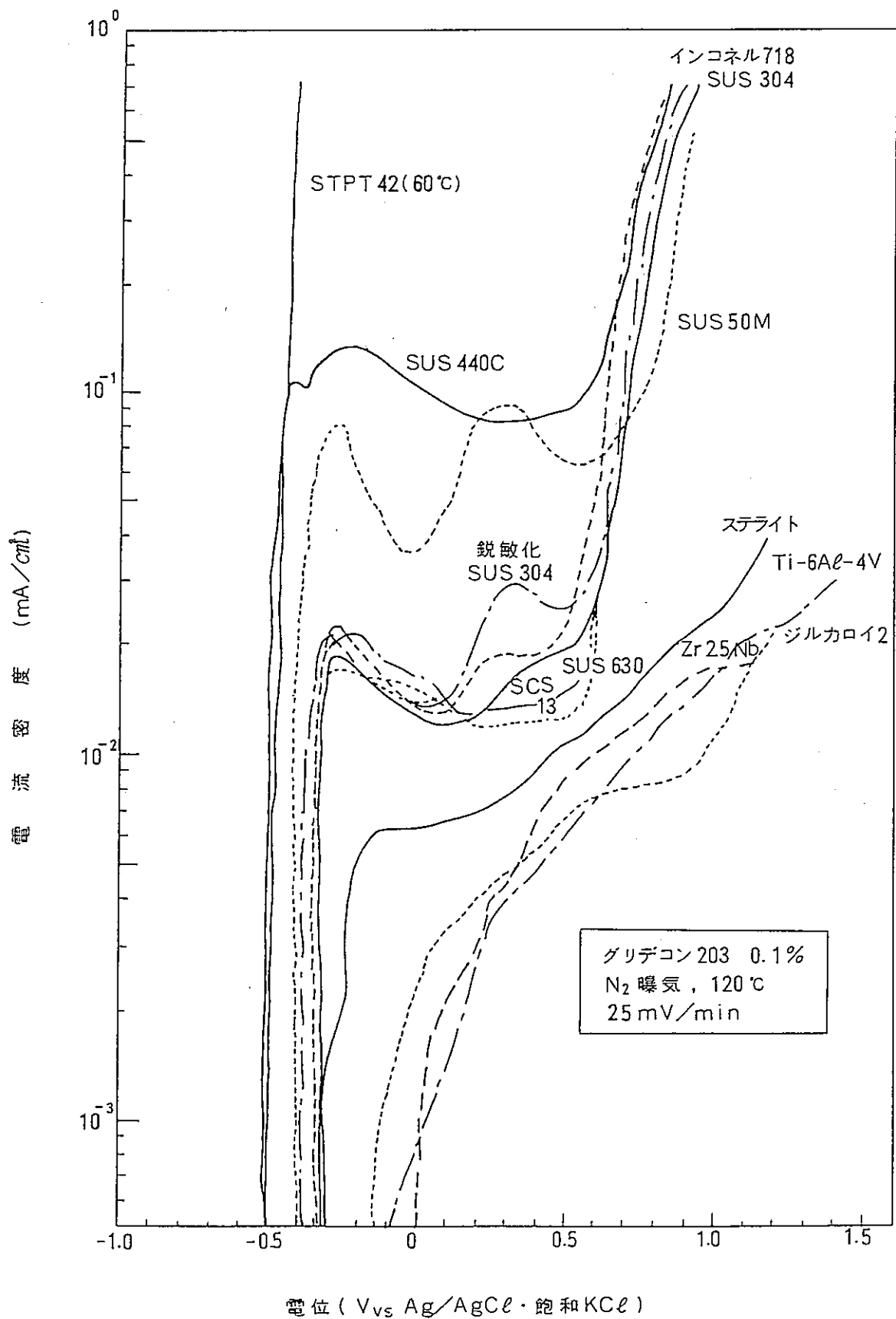


図 6 - 1. 各種材料のアノード分極曲線

## 7. 系統除染時及び除染後の原子炉冷却材の水質管理

### 1. はじめに

系統除染に使用する0.1%濃度のクリデコン203 除染液のなかには、1 ppb以下の塩素イオンと5 ppb以下の硫酸イオンがクリデコン203 及びインヒビタに起因する不純物として含まれている。これらの不純物濃度は、後述する原子炉運転時のものと同じ濃度範囲にあるので、原子炉構成材の健全性確保の観点からは問題にならない。

しかし、その構成原子として除染液全体の10ppm に相当する硫黄原子が含まれているので、インヒビタが原子炉核加熱開始時まで系統内に残留する場合には、核加熱によりこれが熱分解してステンレス鋼材のSCC発生を加速する可能性をもつ硫酸イオンに変化することが考えられる。このため、除染時及び除染後の原子炉冷却水の水質管理については、残留除染液を考慮した水質管理が必要であるので、以下にその方法について記述する。

### 2. インヒビタ残留の可能性

除染操作後には、フラッシング操作を入念に行い、原子炉核加熱開始までに浄化・除去を行うので、原子炉冷却材本流中にインヒビタが残留することはないが、隙間部等にインヒビタが濃縮蓄積すれば、原子炉核加熱後インヒビタ中の硫黄が硫酸イオンに変化してプラントに悪影響をおよぼす可能性がある。

しかし、インヒビタ中の硫黄原子はチオ尿素誘導体の形で存在しているので、除染液中では陽イオンの一部として硫黄原子が存在している。このため、隙間部への隙間濃縮効果により陰イオンが濃縮していくような過程でのインヒビタの隙間内濃縮は、発生しない。また原子炉核加熱開始までのプラント停止期間中には、系統内に加熱面が存在しないのでPWRの蒸気発生器内で生じているような濃縮も発生しない。

したがって、原子炉起動までの期間に原子炉冷却材中のインヒビタ濃度を硫酸イオン濃度相当で5ppb以下に管理するので、原子炉起動後に悪影響が生じることはないと判断できる。

以下に、拡散により隙間内に浸入した除染剤の浄化特性について検討する。

### 3. 流動部の隙間に残留する除染剤の評価

流動部の隙間としては、圧力管内異種金属接触部の他、原子炉冷却系配管等の本体に接合されている図7-1に示すようなソケット溶接部隙間があげられる。これらの隙間は、幅0~1mm、最大深さ20mm程度であり、予め原子炉冷却材が隙間内に満たされているので、除染期間中は系統側から隙間内へ除染剤が拡散して浸入していく。浄化工程に入ってから、原子炉冷却水中の除染剤濃度が低下するので逆に隙間側から冷却材側へ除染剤が拡散流出していく。

拡散方程式を解くことによりこの過程を計算すると、深さ2cmの隙間の場合、隙間内の除染剤最大濃度は図7-2のように変化する。図7-2の計算では、除染工程は、48時間継続し、その後清浄な純水が隙間入口部を流れることを仮定した。拡散係数は、除染工程は、高温条件で行われるので  $2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  を、低温で行われる洗浄工程では、  $7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  を使用した。

図7-2より、浄化開始後700時間後には、隙間内の除染剤最大濃度は、除染操作時の除染剤濃度(0.1%)の1/10000以下の0.1ppm以下になることがわかる。実際、除染操作開始時から原子炉起動までの原子炉冷却材浄化系の運転は、表7-1に示すように約30日(720時間)実施し、さらにこの間に3回の冷却材ブローを行うので、原子炉起動までには隙間内の除染剤濃度は0.1ppm以下になると考えられる。

動燃事業団で実施した10ppmの残留除染剤濃度での腐食試験及びステンレス鋼のSCC感受性確認試験では、除染剤無しの場合と比較しても有意な差の無いことが確認されているので、隙間部に残留する除染剤によ

る材料への悪影響はないと判断できる。

また、除染操作時に500ppmの濃度で使用するインヒビタ（イビットS-10）中には2wt%の硫黄が含まれるが、これについても原子炉起動前までには隙間内で1ppb-S（約3ppb-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>相当）程度になると考えられる。

#### 4. 停滞部の隙間に残留する除染剤の評価

液停滞部の隙間としては、系統本体からの計装配管取り出し口やドレン・ベント管取り出し口にあるソケット溶接部の隙間があげられる。これらのソケット溶接部は、原子炉冷却材流動部から15cm～1m以上離れた部位にあり、幅0～1mm、最大深さ20mm程度の隙間で、隙間入口部は停滞水と接している。

これらの部位については、除染操作開始後48時間以内に外部からの純水圧入操作により、フラッシングすることとしている。

除染操作時には、除染剤は拡散及び対流により隙間部入口に到達し、さらに拡散により隙間内に浸入すると考えられる。安全側に評価するために、除染操作時には隙間部入口の除染剤濃度はただちに系統本流の除染剤濃度に等しくなり、48時間後に外部からの純水圧入操作により隙間入口水が置換されるとすれば、流動部隙間部の場合と同様、図7-1に示すように隙間内最大除染剤濃度が変化することになる。

従って、原子炉起動前までには停滞部の隙間についても除染剤濃度は十分低い濃度に低下するものと考えられる。

#### 5. 除染後の原子炉冷却材の水質管理

除染後にプラントを起動するにあたっては、原子炉冷却材中に熱分解によって有害な不純物を発生する可能性のあるインヒビタ等が残留してしないことを確認するため、採取した原子炉冷却水に過酸化水素水を加えて、インヒビタが残留していれば生成する硫酸イオンを定量し、硫酸イオン濃度が5ppb以下であることを確認する。



したがって、系統除染を実施する予定である第8回定期検査後の原子炉冷却水水質は、昭和59年度より開始された水素注入操作後の水質と同等なものになると考えられる。

表7-2に水素注入前後の「ふげん」の原子炉冷却水の水質を示す。

表7-1 「ふげん」の第8回定期検査時の系統除染対象ループ（Aループ）の水位と原子炉冷却材浄化系運転計画

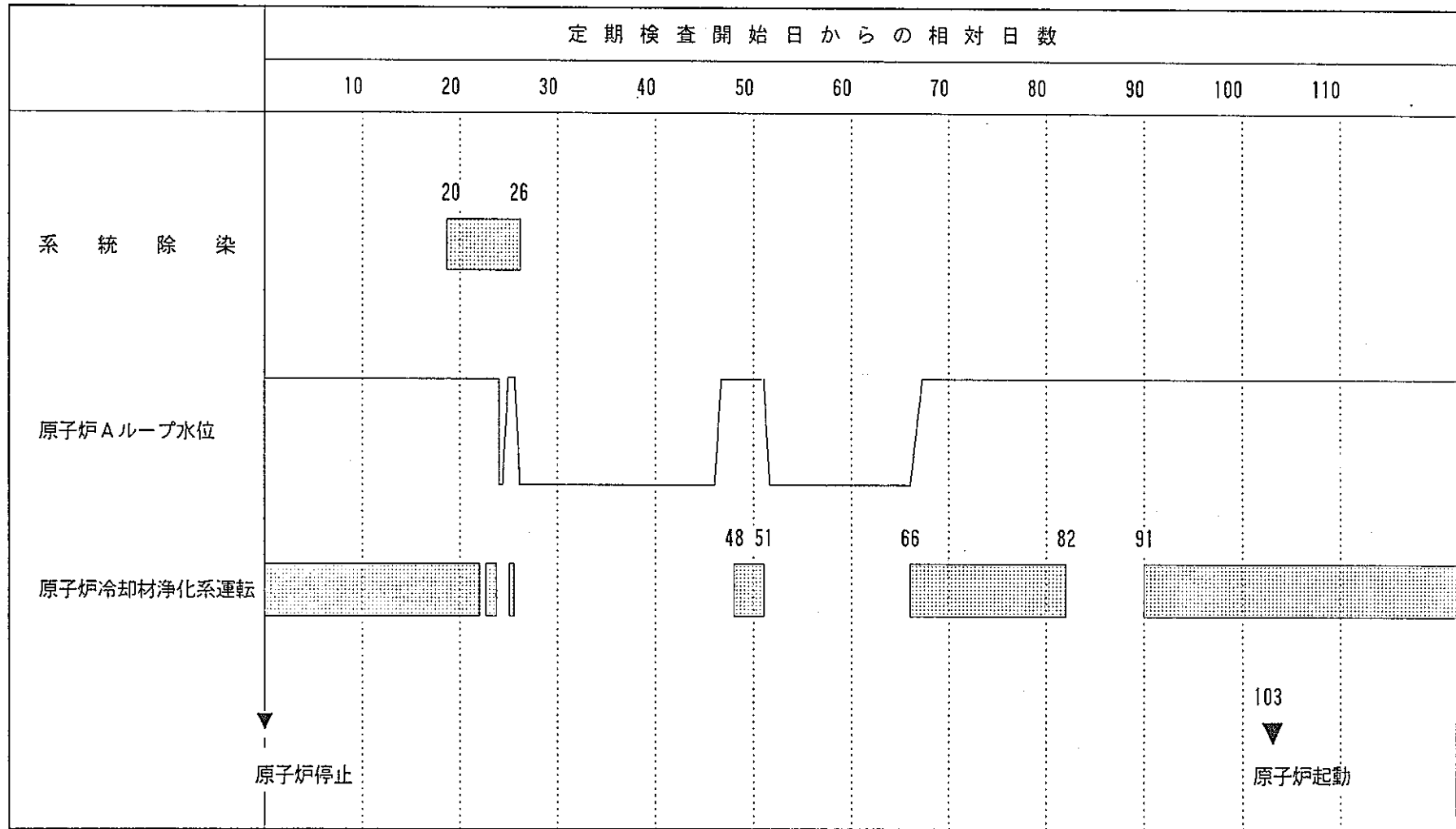


表 7 - 2 . 水素注入前後の原子炉冷却材水質 (100% 出力運転時の実績)

項 目		電導度 ( $\mu$ S/cm)	pH —	塩素 (ppb)	硫酸 (ppb)	シリカ (ppb)	溶存酸素 濃度 (ppb)	備 考
管理目標値 (保安規定下部要領) 記載値		< 1.0	5.5 ~ 8.5	< 200	—	< 2000	< 400	—
水素注入前 の水質実績	最大値	0.30	7.40	2	< 5	83	150	昭和58年度 実績値
	最小値	0.08	6.65	< 1	< 5	18	110	
	平均値	0.16	6.98	< 1	< 5	51	130	
水素注入後 の水質実績	最大値	0.20	7.45	< 1	< 5	13	15	昭和63年度 実績値
	最小値	0.14	6.62	< 1	< 5	6	12	
	平均値	0.18	7.21	< 1	< 5	9	14	

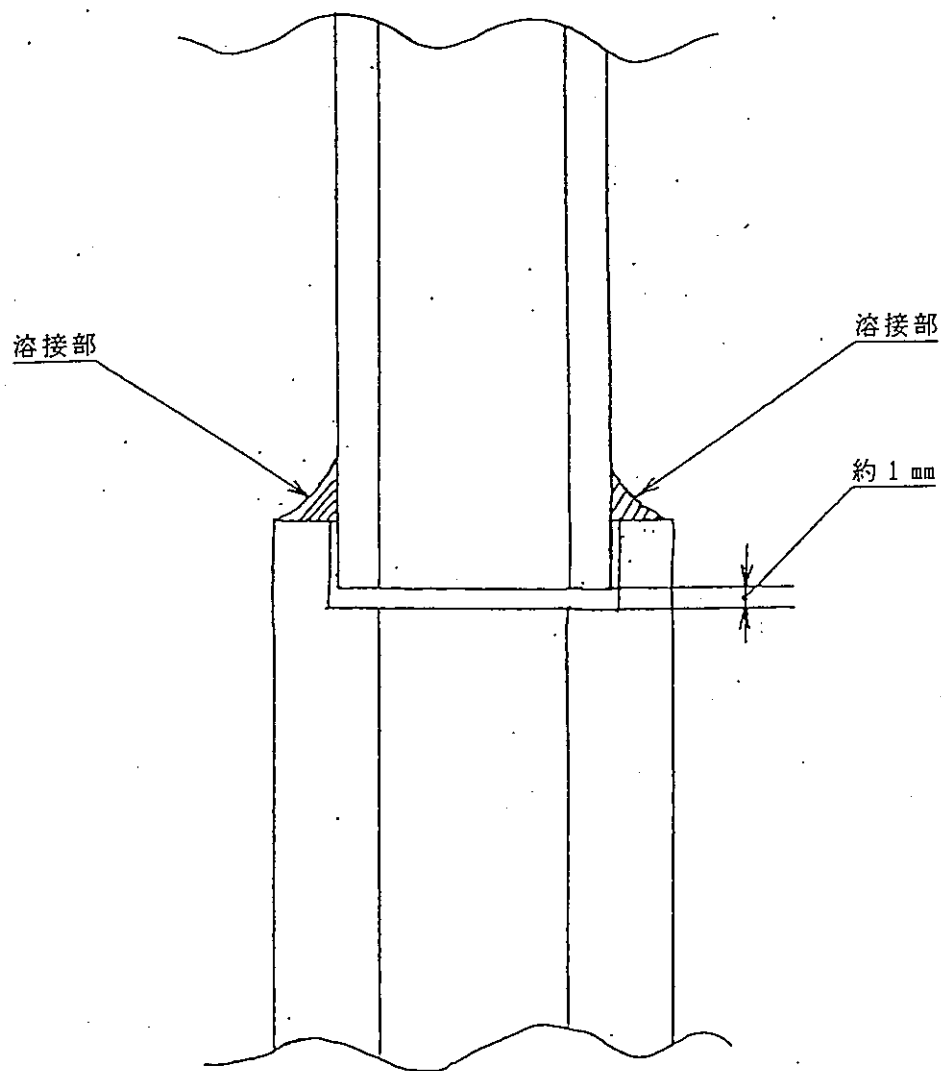


図 7 - 1 . ソケット溶接部概念図

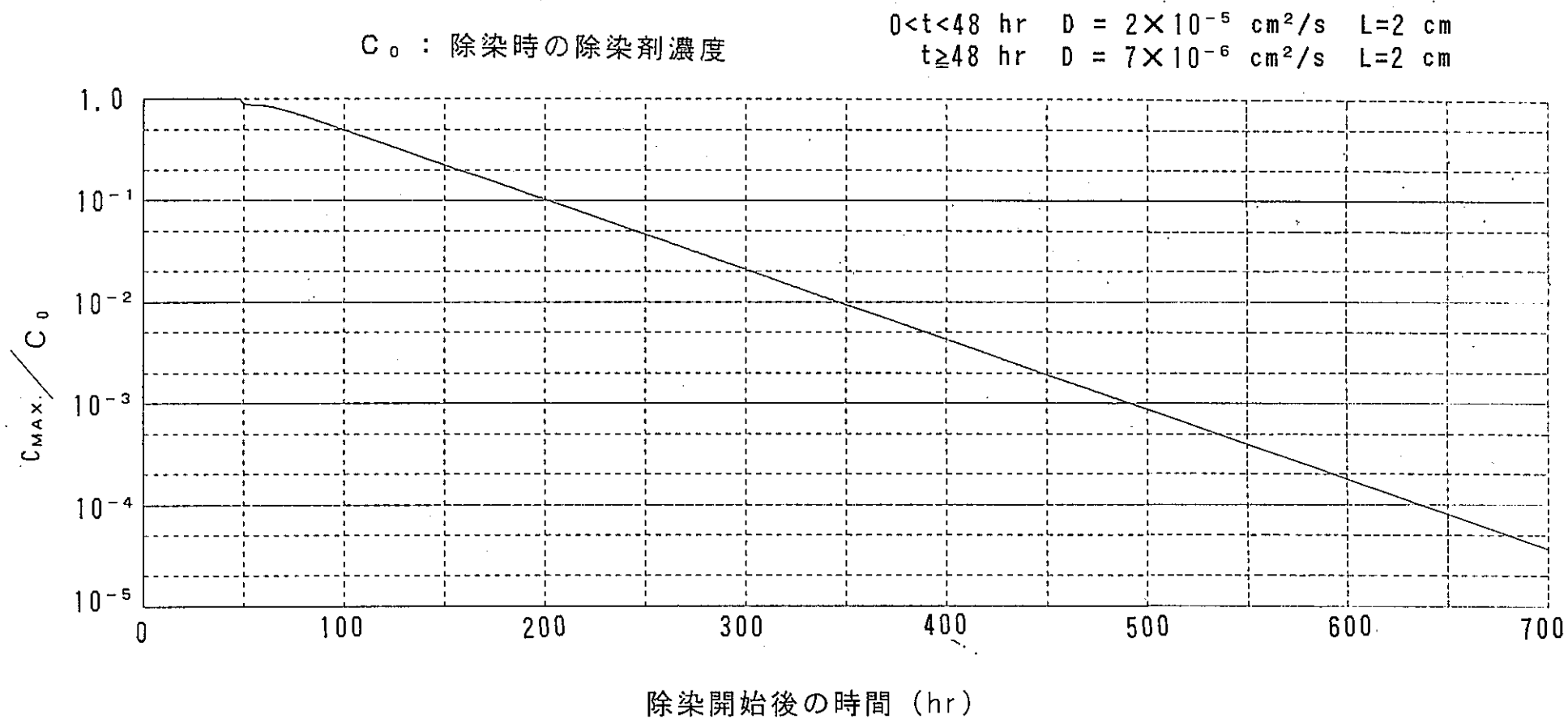


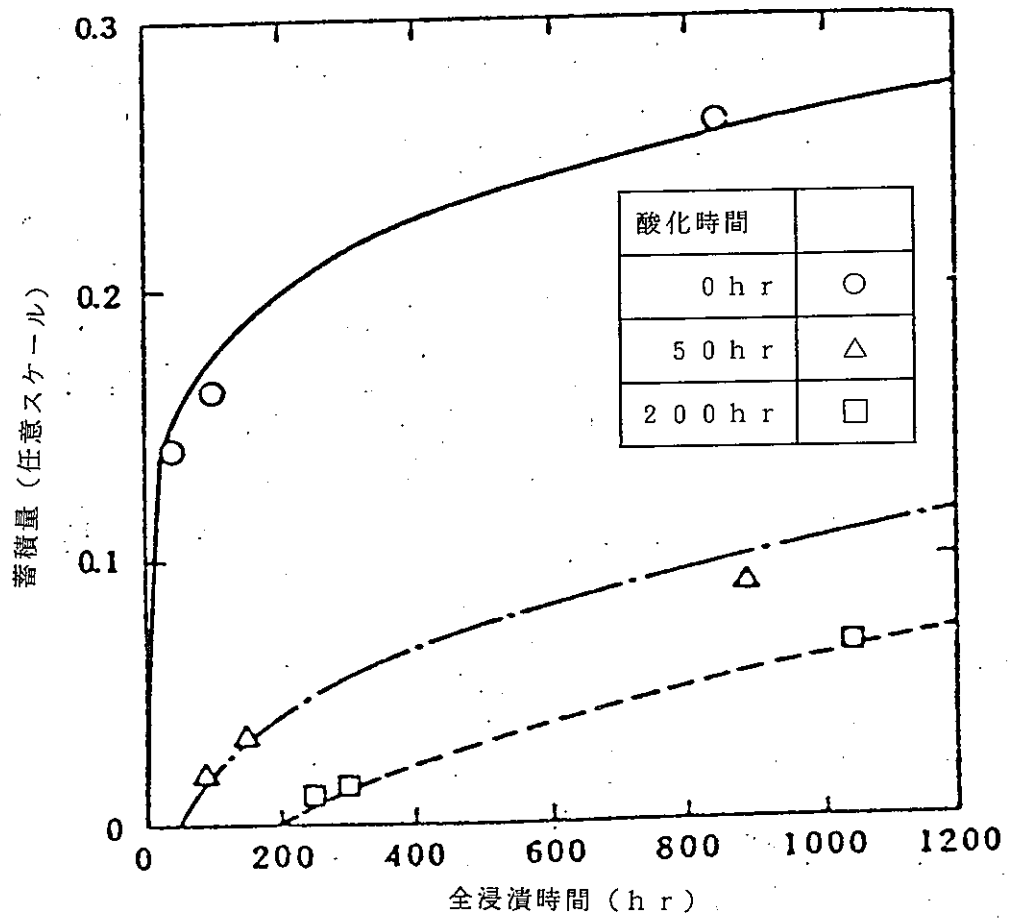
図 7 - 2 . 隙間部に残留する除染剤の最大濃度 ( $C_{MAX}$ ) の変化

## 8. 除染後の予備酸化法による再汚染抑制対策について

「ふげん」の系統除染計画では、除染後の再汚染（原子炉冷却系の機器・配管等への放射性核種の再蓄積）対策として、除染作業前に炉心から燃料集合体を取り出し、燃料集合体に付着しているクラッドを超音波により除去する方法を採用する予定である。

再汚染対策としては、これ以外にも原子炉運転開始前に機器・配管の表面に酸化皮膜を形成して放射性核種の蓄積を抑制する予備酸化法が有力であるが、以下の理由により、除染操作後の再汚染対策としての予備酸化法は採用しない計画である。

- (1) 予備酸化法は、図 8-1 に示すように温度 285℃、溶存酸素濃度 200 ppb で 50～200 時間予備酸化を行った場合には再汚染抑制効果が期待できるが、「ふげん」の現設備では原子炉を起動せずにこの温度まで昇温することができない。
- (2) 「ふげん」では、圧力管の出入口管が SUS304 材で構成されており、この部位に対する SCC 発生防止対策として水素注入法を採用している。高温、高溶存酸素濃度環境下で行う予備酸化法は、SUS304 材の SCC 発生防止の観点からは好ましいものではない。
- (3) これらの条件を考慮して、140℃、過酸化水素濃度 8ppm に保った環境下での予備酸化法による再汚染抑制効果を調査したが、図 8-2 に示すように目立った効果は得られなかった。



| 図 8 - 1 . 予備酸化法による再汚染抑制効果 |  
 酸化温度 : 285°C  
 酸化時の溶存酸素 : 200 ppb

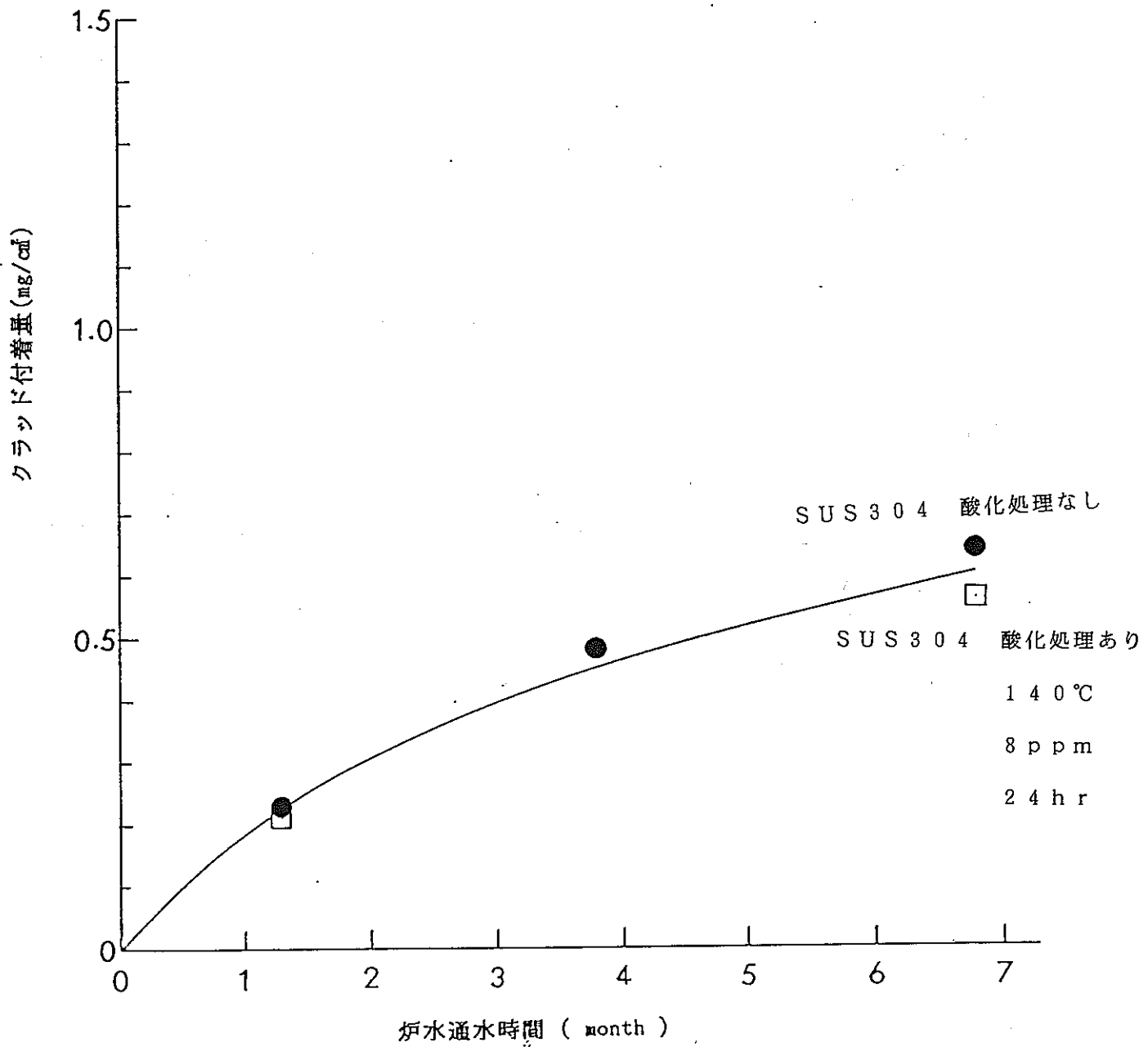


図 8 - 2 . 過酸化水素による予備酸化法による再汚染抑制効果



## 9. 系統除染に伴う原子炉冷却材浄化系樹脂の取扱いについて

### 1. はじめに

系統除染に使用する除染剤及び除染された放射能は、原子炉冷却材浄化系の混床式脱塩器内のイオン交換樹脂に捕捉される。系統除染時に捕捉される放射エネルギーは、 $^{60}\text{Co}$ で約  $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$  (約200Ci)と推定されている。この樹脂を取り扱う際の作業場の線量当量率等について検討する。

### 2. 使用済原子炉冷却材浄化系樹脂の廃棄手順

原子炉冷却材浄化系脱塩器は、図9-1に示すように「ふげん」の原子炉補助建屋2階にある原子炉冷却材浄化系脱塩器室に設置されている。除染剤で飽和してブレイクした樹脂は、原子炉補助建屋1階のスラッジタンクを経て廃棄物処理建屋地下1階の粒状廃樹脂貯蔵タンクに移送水を用いて移送される。これらの移送操作は、遠隔自動操作により行われ、通常の運転に伴って発生する廃樹脂の廃棄操作と同様の手順で実施される。

### 3. 系統除染に使用した樹脂の廃棄に伴う作業場の線量当量率変化

使用済原子炉冷却材浄化系樹脂移送操作を行うための制御盤は原子炉補助建屋2階に設置されているが、原子炉冷却材浄化系脱塩器等とは厚い遮へい壁で隔離されているので、樹脂廃棄作業に伴う作業員の被ばくは、通常0.01mSv以下である。

系統除染時に発生する廃樹脂は、通常運転時に発生する廃樹脂の放射能レベルとほぼ同等であるが、除染期間中に5塔使用する予定である脱塩器のうちの1塔に除染で除去される放射能の全量(200Ci- $^{60}\text{Co}$ )が捕捉されると仮定した場合の作業場の線量当量率を3次元点減衰核拡散計算コードQAD-P5Aで計算した。計算は、原子炉冷却材浄化系脱塩器を隔離

する遮へい壁が1.2mで最も薄い図9-1に示す箇所について行った。

計算の結果、200Ciの $^{60}\text{Co}$ を吸着した原子炉冷却材浄化系脱塩器の表面線量当量率は1.4Sv/hr(140R/hr)であるが、図9-1に示す評価点では0.01mSv/hr(1mR/hr)以下となることが確認できた。また、スラッジタンク、移送配管等は、原子炉冷却材浄化系脱塩器よりさらに厚い遮へい壁により作業場と隔離されているので、系統除染時に発生する廃樹脂の廃棄操作に伴う作業被ばくは、十分低いと考えられる。

#### 4. 系統除染に使用した樹脂の廃棄に伴う廃樹脂タンク廻りの線量当量率変化

系統除染で除去され廃樹脂タンクに移送される放射エネルギーは、すでに廃樹脂タンク内に貯蔵されている放射エネルギーの10%以下であるので、系統除染に使用した樹脂の廃棄に伴う廃樹脂タンク廻りの線量当量率変化は、大きいものではない。

前項と同様の遮へい計算を行った結果を、原子炉冷却材浄化系脱塩器廻りの計算結果とともに表9-1に示す。

#### 5. 結論

系統除染に使用する樹脂の廃棄作業に伴う線量当量は0.01mSvと十分低く、作業場の線量当量率も通常の樹脂廃棄作業時と同程度であることが確認できた。

表9-1. 系統除染に伴う原子炉冷却材浄化系脱塩器及び廃樹脂タンク廻りの線量当量率変化

		原子炉浄化系脱塩器 (1塔あたり)		粒状廃樹脂貯蔵タンク (2塔あたり)		
		設計値	除染操作時の容量等	設計値	平成元年6月現在の 保有量等の評価値	除染終了時の 保有量等の評価値
樹脂量 (m <sup>3</sup> )		1.35	1.4	82.5	42.0	51.7
放射能量 (Bq)	トータル	$2.4 \times 10^{13}$ (660 Ci)	$\sim 7.4 \times 10^{12}$ ( $\sim 200$ Ci)	$7.4 \times 10^{14}$ (20,000 Ci)	$3.7 \times 10^{14}$ (10,000 Ci)	$3.9 \times 10^{14}$ (10,420 Ci)
	Co-60	$8.2 \times 10^{12}$ (220 Ci)	$7.4 \times 10^{12}$ (200 Ci)	$2.3 \times 10^{14}$ (6,200 Ci)	$1.3 \times 10^{14}$ (3,500 Ci)	$1.5 \times 10^{14}$ (3,920 Ci)
タンク及び脱塩器の 表面線量当量率 (Sv/h)		2.5	1.4	1.0	0.7	0.7
最も薄い遮へい壁外面での 表面線量当量率 (Sv/h)		$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$

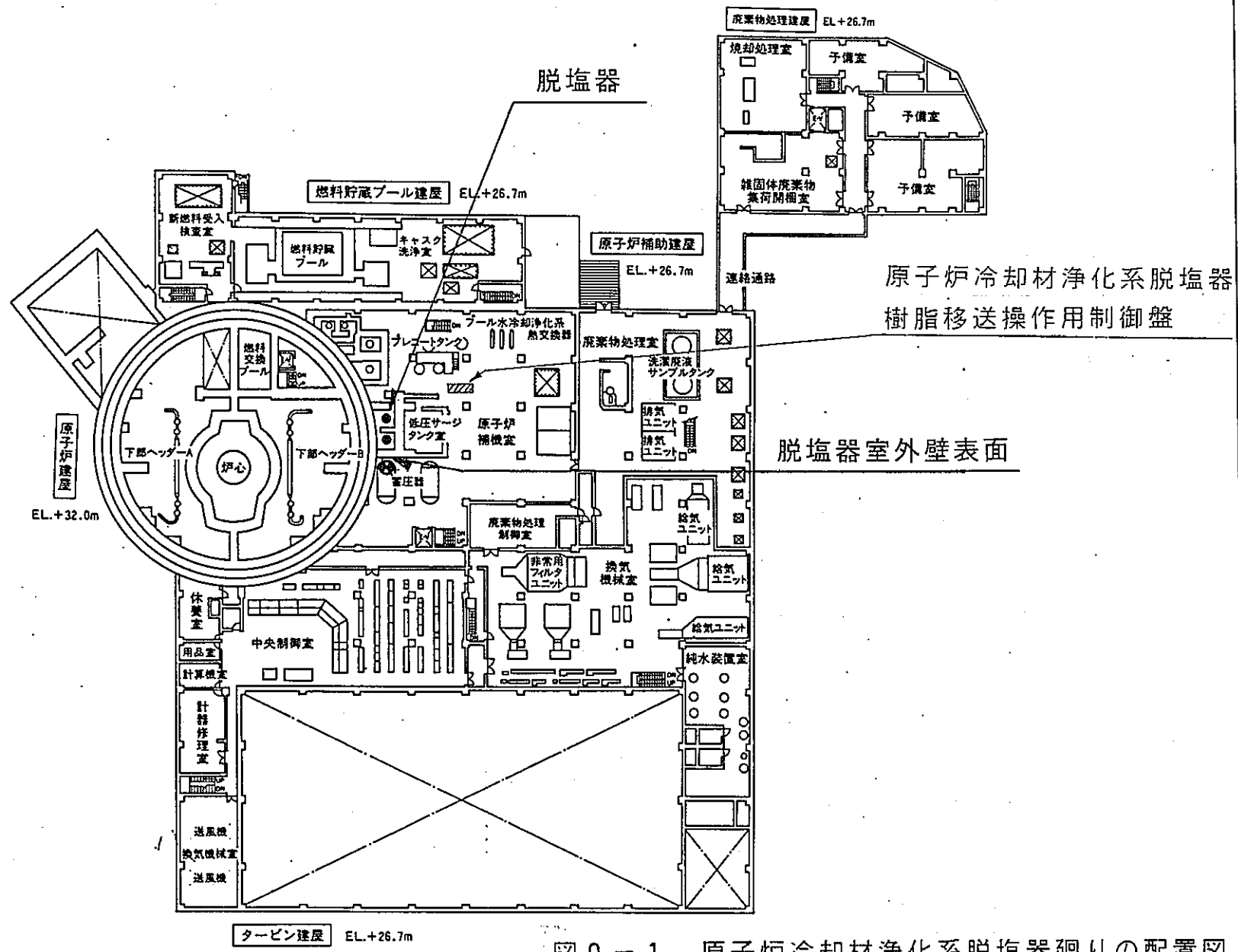


図 9 - 1. 原子炉冷却材浄化系脱塩器廻りの配置図

## 10. 系統除染作業に係る線量当量

### 1. 系統除染時の現場作業

系統除染時の主な現場作業は、以下に示すとおりである。

#### (1) 線量当量率測定

除染結果を評価するため、除染前後において、除染対象系統の線量当量率を測定する。

#### (2) 昇温設備の運転操作

除染温度120℃を満足させるため、「昇温」、「除染中浄化」及び「循環除染」工程において、RHR熱交への補助蒸気量の調整等を原子炉補助建屋の低線量当量率エリアに設置されている現場制御盤にて行う。

#### (3) 除染剤注入作業

除染対象系統へ除染剤を注入するため、原子炉建屋の低線量当量率エリアに設けられた除染剤注入設備（現場制御盤）にて注入操作を行う。

#### (4) 除染液のサンプリング

除染液の分析を行うため、除染の各工程において原子炉補助建屋の低線量当量率エリアに設置されているサンプリング設備より、除染液のサンプリングを行う。

#### (5) CUW脱塩器の樹脂交換作業

除染液の浄化を行うため、「除染中浄化」、「浄化」及び「浄化・フラッシング」のそれぞれの工程においてブレイクした脱塩器の廃樹脂を原子炉補助建屋の低線量当量率エリアに設置されている現

場制御盤にて自動・遠隔操作により新しい樹脂に交換する。

また、廃樹脂を上記制御盤にて自動・遠隔操作により、廃棄物処理系へ移送する。

#### (6) フラッシング作業

滞留部にある除染液の浄化を行うため、「浄化・フラッシング」工程において、ドレンフラッシング及び逆洗水によるフラッシングを原子炉建屋及び原子炉補助建屋の各所で行う。

## 2. 系統除染作業に係る線量当量

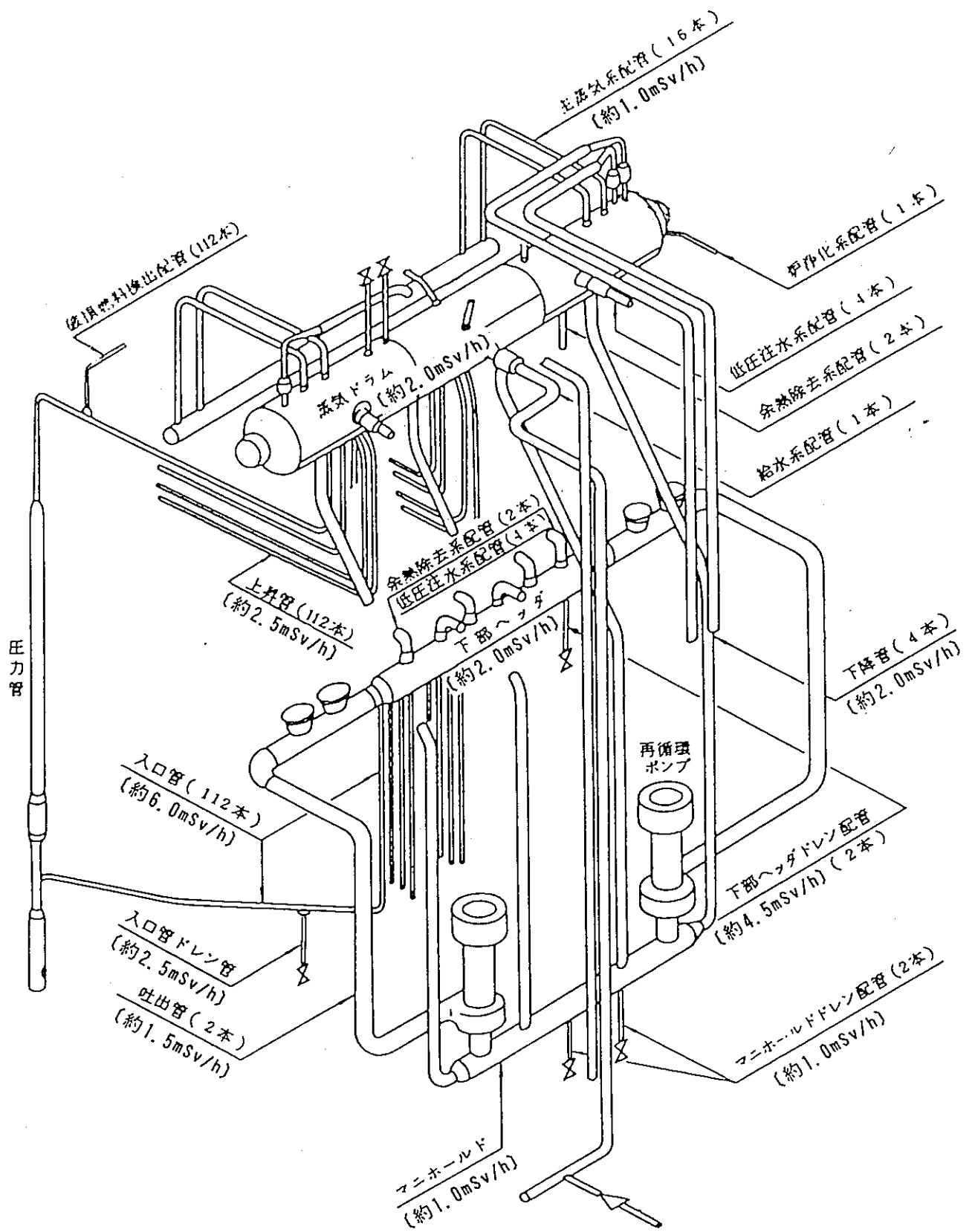
系統除染作業に係る線量当量は、0.1人・Svと予測している。

上記作業の内、高線量当量率エリアでの作業は、線量当量率の測定とフラッシング作業であり、その他の作業は、低線量当量率エリアでの作業である。

このため、系統除染作業に係る線量当量は、表10-1に示すとおり高線量当量率エリアでの作業によるものと予測しており、低線量当量率(0.01mSv/h以下)エリアにおいての線量当量は、ほとんど無視できる値であると考えられる。

表10-1. 系統除染作業に係る線量当量

作業項目	線量当量 (人・Sv)	予 測 根 拠
線量当量率の 測定	0.022	<p>線量当量率の測定に係る線量当量は、20人が除染前後及びフラッシング作業前に計3回行うものとする。</p> <p>また、本作業時の一人当りの線量当量は、除染前については過去の実績から0.5 mSvとし、除染後（フラッシング前も含む）については約0.3 mSvとすると、本作業における線量当量は、0.022人・Svと予測される。</p> $(0.5 \text{ mSv} \times 20 \text{ 人}) + (0.3 \text{ mSv} \times 20 \text{ 人} \times 2)$ $= 0.022 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$
フラッシング 作業	0.075	<p>フラッシングの対象箇所は約300箇所あり、その作業は1箇所について2人が5～10分（平均7.5分）行う。</p> <p>また、フラッシング作業環境の線量当量率は、系統除染により、これまでの値（平均約2 mSv/h：図10-1参照）の約半分になるものとして、平均1 mSv/hとすると、本作業における線量当量は、0.075人・Svと予測される。</p> $1 \text{ mSv/h} \times 1/8 \text{ h/箇所} \times 2 \text{ 人} \times 300 \text{ 箇所}$ $= 0.075 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$
昇温設備運転 除染剤注入 サンプリング 樹脂交換	—————	<p>低線量当量率（&lt;0.01 mSv/h）下での作業であることから、これらの作業を合わせてもほとんど無視できる値である。</p>
合 計	0.097人・Sv	—————→ 約0.10人・Sv



\* ( ) 内は線量当量率

図10-1. プラント停止時の線量当量率 (昭和63年度計画停止時:S63.1.6測定)



## 11. 予測以上のクラッド発生があった場合について

系統除染中は、定期的（15～30分毎）に除染液をサンプリングし、鉄イオン濃度、グロスマイ等の分析を行い、予測以上のクラッド発生等について監視する計画である。

除染によるクラッドの溶解速度は、実証試験等の結果から除染開始から約10時間までが大きく、今回の系統除染においては、除染中浄化工程中である。

### 1. 脱塩器樹脂のブレイク

浄化に使用するCUW脱塩器樹脂のブレイク時間は、除染液の通水量及び除染剤の濃度によって決まる。

除染中浄化時は、除染液の一部をCUW脱塩器1塔に30m<sup>3</sup>/hで通水するとともに、除染剤の補償分を連続注入し除染剤濃度を0.05%に保持することから、脱塩器1塔当りのブレイク時間は3塔とも同等である。

このため、予測を大きく上回るクラッドが発生しても、除染中浄化工程の時間は、脱塩器の樹脂交換に係る設備運用の関係から、連続通水が可能となる脱塩器3塔のブレイク時間であり、約12時間と予測している。

### 2. クラッドの溶解

除染液中のクラッド溶解量は、除染剤の濃度によって制限され、除染剤0.05%でのクラッド溶解量は約10kg、放射エネルギーは約50Ciである。この量が一時に溶解したとしても配管表面の予測最大線量当量率は、約5.3mSv/hであり、除染前の最大線量当量率約6mSv/hと大差ない。

また、除染時間（除染中浄化工程＋循環除染工程）は、材料健全性等を考慮し、原則として24時間以内とする。

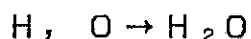
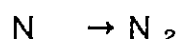
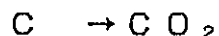
なお、予測を大きく上回る比放射エネルギーの大きいクラッドが大量に発生した場合は、以下の対策を計画している。

- ① 除染対象システムの線量当量率（遠隔式モニター）の監視を強化し、その線量が異常に高い場所への立入りを制限する。
- ② 除染中浄化時においては、除染剤の連続注入を停止する。
- ③ 循環除染工程においては、C U W脱塩器（3塔目以後）が待機状態になった時点で、除染液を脱塩器に通水する。
- ④ 必要に応じ、除染対象システムの温度を低下させ除染剤のクラッド溶解反応を停止させる。

## 12. 放射線分解によるガス発生量の予測

### 1. 検討条件

- (1) 除染剤の構成元素はC, H, N, O, Sであり、各元素の放射線分解生成物は次のものが考えられる。



したがって、除染剤の放射線分解生成物として発生するガスは、 $\text{CO}_2$  及び  $\text{N}_2$  とする。

- (2) 今回使用する除染剤の量は、EDTA約250kg, ヒドラジン約55kg, インヒビタ約36kgである。
- (3) 以下に、廃樹脂が貯蔵タンクに移送され、樹脂に吸着された除染剤成分が貯蔵タンク内の放射能（高めに1000 rad/h）によって分解される場合を想定して計算する。

### 2. 結果

- (1)  $\text{CO}_2$

- ① EDTAは10個のCで構成されるので、EDTAに占めるCの含有率は、 $(12 \times 10 / 292) \times 100 = 41.1\%$  となる。

したがって、250kgのEDTAから生成されるC量は、 $250\text{kg} \times 0.411 = 102.5\text{kg}$  となり、 $\text{CO}_2$  に換算すると  $102.5\text{kg} \times 44 / 12 = 376\text{kg}$ 、これを体積（標準状態）にすると  $376\text{kg} \times 22.4 / 44 = 191\text{m}^3$  と計算される。

② インヒビタには4%のCが含まれる。

したがって、インヒビタに起因するC量は1.44kg、CO<sub>2</sub>換算では5.28kg、体積にすると2.7 m<sup>3</sup>と計算される。

(2) N<sub>2</sub>

① EDTAには2個のNが含まれるため、EDTAに占めるNの含有率は、  
(14×2/292)×100=9.6%となる。

したがって、250kgのEDTAから生成されるN<sub>2</sub>量は、  
250kg×0.096=24 kg となり、これを体積(標準状態)にすると  
24kg×22.4/28 =19m<sup>3</sup>と計算される。

② N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>に含まれるNの含有率は(28/32)×100=87.5%である。

したがって、55kgのN<sub>2</sub>H<sub>4</sub>から生成されるN<sub>2</sub>量は48.1kgで体積に換算すると39m<sup>3</sup>となる。

③ インヒビタに含まれるNの含有率は2%である。

したがって、36kgのインヒビタに含まれるN<sub>2</sub>量は0.72kgで体積に換算すると0.6 m<sup>3</sup>と計算される。

以上、除染剤に起因するガスの発生量は、CO<sub>2</sub>で191 + 2.7 = 194 m<sup>3</sup>、N<sub>2</sub>で19 + 39 + 0.6 = 59m<sup>3</sup>、合計で253m<sup>3</sup>と算出される。

### 3. 一日あたりのガス発生量

(1) クリデコン203, 0.1%溶液の放射線分解試験として、次の結果がある。

クリデコン203, 0.1%, 90°C, N<sub>2</sub>シール

照射条件 0.91Mrad/h (Co-60線源)

3.6時間の照射で、少なくともカルボシル基はほぼ完全に分解された。

- (2) 上記①項の条件で除染剤が完全に分解されると仮定すると、分解に要する照射線量は、 $0.91 \times 10^6 \text{rad/h} \times 3.6 \text{h} = 3.28 \times 10^6 \text{rad}$ となる。
- (3) 貯蔵タンク内の照射線量率は、高めにみても $1000 \text{rad/h}$ であるので、 $3.28 \times 10^6 \text{rad}$ の集積線量に達する必要な時間は、 $3.28 \times 10^6 \text{rad} \div 1000 \text{rad/h} = 3280 \text{h}$ （約136日）となる。
- (4) したがって、一日あたりの平均ガス発生量は、 $253 \text{m}^3 \div 136 \text{日} \approx 2 \text{m}^3/\text{日}$ と算出される。
- (5) 発生したガスは施設内の換気系（排気容量  $60,700 \text{m}^3/\text{h}$ ）で処理され、高性能フィルタを通した後、放出される。

### 13. 腐食データの出典

#### 1. NS-1

資料-3の表3-1中に記載されているNS-1の材料腐食データ(SUS304 < 3 μm, SUS440C < 3 μm, 炭素鋼 < 30 μm)は、下記の文献に基づいている。

R. W. Staehle, "Protecting Dresden/Reactor Coolant Materials From Corrosion During Decontamination and after Return to Service" Proceeding of the American Power Conference 1975 .

参考までに動燃事業団保有のデータを以下に示す。

#### ○ PNC資料 “原型炉の除染方法の検討” (昭和53年5月)

オーステナイト系ステンレス鋼	0.23 ~ 0.68 mg/cm <sup>2</sup> · 120hr	} 130 ~ 135 °C
マルテンサイト系ステンレス鋼	0.23 ~ 1.36 mg/cm <sup>2</sup> · 120hr	
炭素鋼	4.52 ~ 6.79 mg/cm <sup>2</sup> · 120hr	
低合金鋼	2.3 ~ 4.6 mg/cm <sup>2</sup> · 120hr	

#### ○ PNC資料 “原型炉の除染方法の検討” (昭和54年5月)

炭素鋼 (Zr-2.5Nbに接触)	Ave. 12.8 mg/cm <sup>2</sup> · 120hr	} 120 °C
炭素鋼 (SUS50Modに接触)	Ave. 5.0 mg/cm <sup>2</sup> · 120hr	

## 2. LND101

資料-3の表3-1中に記載されているLND101での材料腐食データ(SUS304:  $0.7 \mu\text{m}$ , SUS410:  $0.2 \mu\text{m}$ , 炭素鋼:  $2.5 \mu\text{m}$ )は、下記の文献に基づいている。

G.L.Kalinauskas, "Dilute Chemical Decontamination of Reactor Recirculation Pumps and Piping" Proceeding of ANS Summer Meeting, Detroit, Michigan, June, 1983.

新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料 2 - 3 クリデコン 2 0 3 の他機関における試験結果

平成元年 6 月



本資料は，昭和62年12月23日(株)産業技術出版講習会資料より抜粋した。

# 化学除染技術の現状と開発動向

## I. はじめに

1. 除染技術の推移
2. 除染法の分類

## II. 化学除染法の現状

1. クラッド汚染の特徴
2. 化学除染法～種類と特徴～
3. クラッド溶解・除染機構
4. 化学除染法と除染剤
  - 1) BWR用
  - 2) PWR用

## III. 各国における化学除染技術開発の動向

## IV. 系統化学除染の実際

1. 系統化学除染プロセス計画上の技術要点
  - 1) クラッド調査と汚染量評価
  - 2) 系統の構成材料と除染剤特性
  - 3) 除染後の系統の健全性
  - 4) 再汚染
  - 5) 除染廃液処理
  - 6) その他
2. 系統化学除染の実施例よりみた各除染法の問題点
3. 系統化学除染の経験より得た技術情報

## V. 系統除染に対する最近の話題

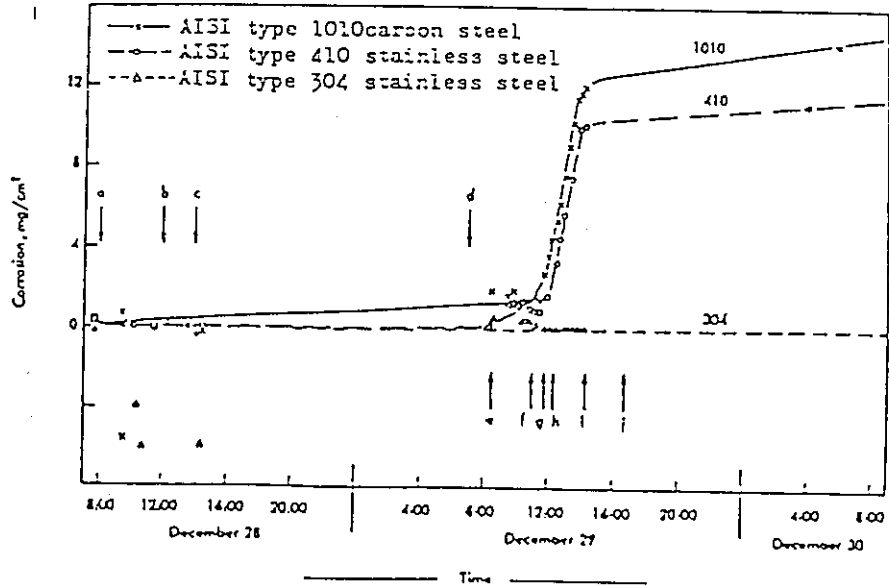
2) 系統の構成材料と除染剤特性

除染剤の材料腐食

表-23-1 PRTR一次除染系(AP-Citrox系)の腐食試験結果(1)

	μ	π	(mg/cm <sup>2</sup> )	Equivalent Penetration (milis)
<b>A. Coupons</b>				
304 SS, sensitized			0.02	0.001
304 SS			0.03	0.0015
316 SS, sensitized			0.10	0.005
316 SS			0.02	0.001
416 SS, heat-treated			1.30	0.065
416 SS			0.52	0.016
440-C SS, heat-treated			8.12	0.406
440-C SS			33.2	1.67
302 SS, sensitized			0.25	0.014
302 SS			0.08	0.004
A-245 CS			30.4	1.52
A-106 Grade B CS			35.0	1.73
Zircaloy-2			*	*
304 SS with Stellite overlay			0.12	0.006
17-4 PH SS			0.4	0.02
Inconel-600			6.2	0.31
Inconel-X			3.2	0.16
<b>B. Probes</b>				
304 SS			*	*
1010 CS			16.0	0.8
410 SS			11.0	0.55

\* Not measurable.



Corrosion probe readings prior to and during PRTR decontamination. (12)

- |   |  |
|---|--|
| a. Begin filling with AP                    | f. Start pumps at high speed                   |
| b. Recirculate AP at 105°C                  | g. Citrox at 65°C                              |
| c. Start draining AP                        | h. Citrox at 80°C                              |
| d. Final rinse after AP drained from system | i. Begin draining Citrox                       |
| e. Begin filling with Citrox                | j. First rinse recirculating throughout system |

Table 5-11

OWL-1一次系主要材質のAP-Citrox 溶液による腐食試験結果

	板	機	A P 溶 液		Citrox 溶 液	
			厚み変化mils	表面観察状態	厚み変化mils	表面観察状態
SUS304	板	動	0.00065	変化なし	0.00011	変化なし
	溶接部	動	—	変化なし	—	きれいになった 溶接部に淡緑色付着物
SUS316	管	動	0.00105	変化なし	0.00028	きれいになった
	溶接部	動	—	変化なし	—	きれいになった 溶接部に淡緑色付着物
ステライト	ホール弁・ 弁	—	—	変化なし	0.00069	変化なし
インコネル X			0.00038	変化なし	0.00049	淡緑色になる
17-4PH			—	黒 変	0.048	黒 変
フェロベスト			—	黒褐色に変色	—	白色に変色

表Ⅲ-7 除染剤NS-1 0.7 wt %液による腐食減量 (mg/cm<sup>2</sup>・24 hr)

試験片	除染液の流速			
	0.1 m/sec	0.17 m/sec	0.3 m/sec	0.6 m/sec
SUS-304	0.052	0.057	< 0.005	< 0.005
	0.057	0.057	< 0.005	0.005
SUS-304 (鏡面処理)	0.071	0.057	< 0.005	0.024
	0.057	0.075	< 0.005	0.014
STPT-38	5.31	3.58	6.21	9.74
	5.13	3.33	5.94	10.0
キューロニッケル	1.95	0.59	-2.38	3.01
	1.79	0.65	2.11	3.02

試験片 材 質	腐食減量 (mg/cm <sup>2</sup> )					表面状 態
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	
SUS 304	☐					清 淨
脱敏化 SUS 304	☐					清 淨
SUS 403		▨				灰褐色に表面変化。 母材はだあれ。
SCS 13		▨				清 淨
STPT 38		▨				黄白色付着物有り。 母材はだあれ。
インコネル 600		▨				清 淨
ステライト Na 6		▨				清 淨
キューロニッケル		▨				表面がくすんでいる。 ややはだあれ。
ジルカロイ 2		▨				清 淨

図Ⅱ-22 全面腐食における G.E.d-sol の各種材質の腐食量

G.E.d-sol 0.2% 温度: 90℃ 時間: 24 Hr

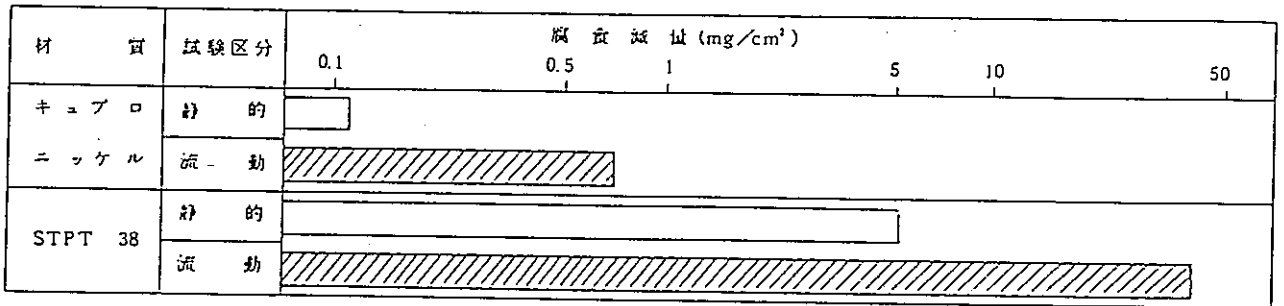
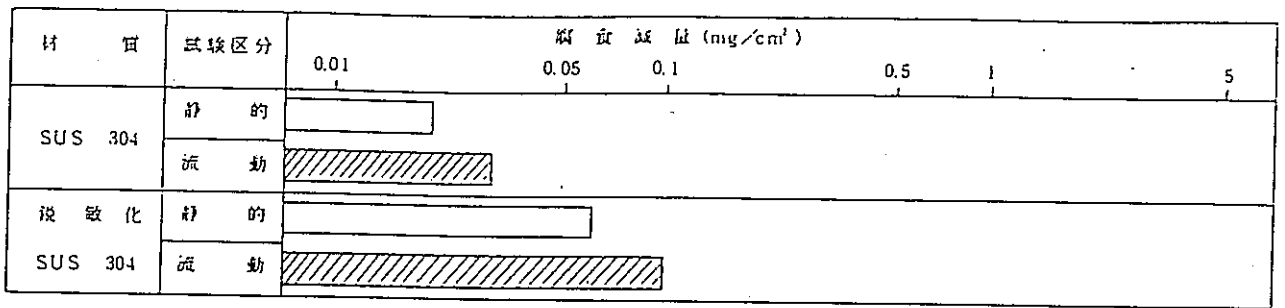


図 5.1-7 各種材質の静的試験と流動試験の腐食減量比較 (LND 101 A)

□ ガラス製オートクレーブによる静的試験  
 ▨ 化学除染試験装置による流動試験 (流速 0.8 m/sec)

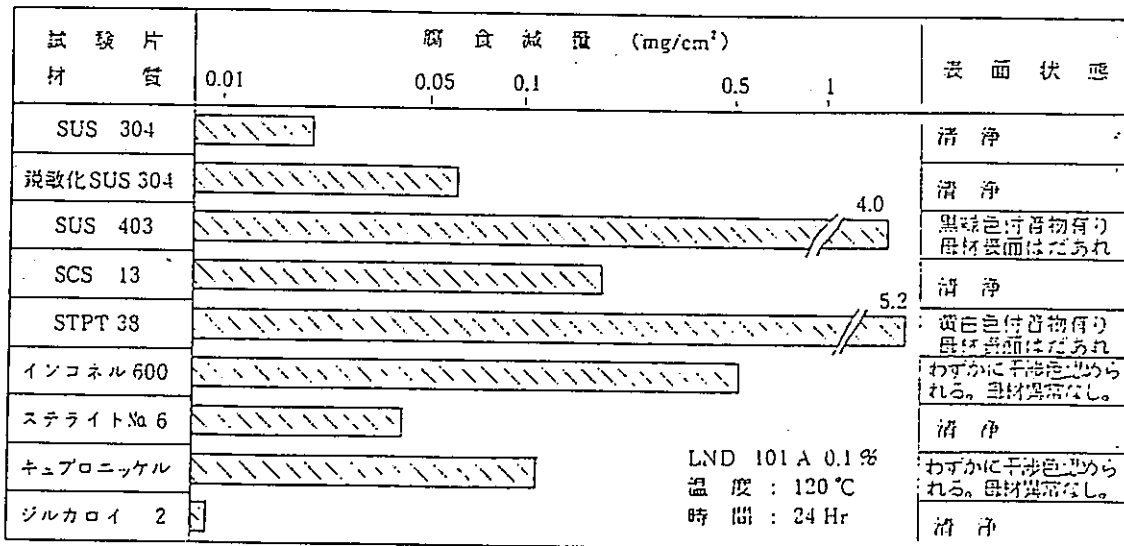


図 II-20 全面腐食における LND 101 A の各種材質の腐食量

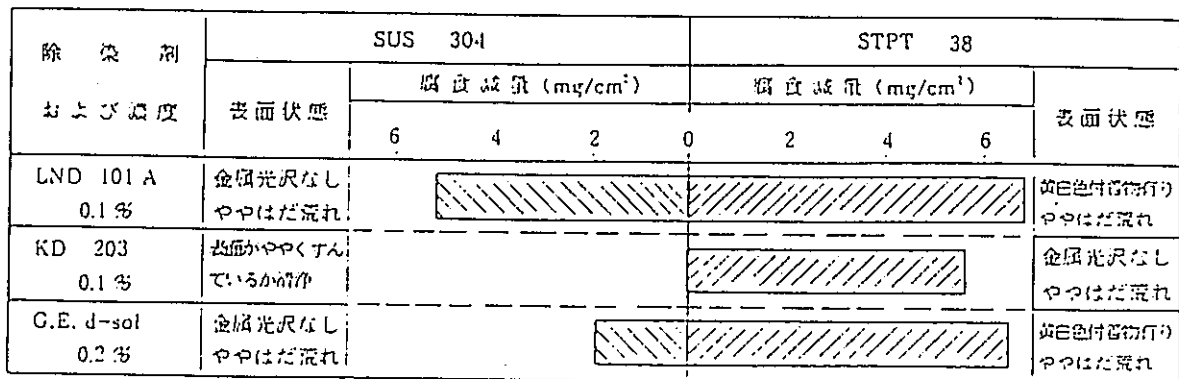


図 II-26 各種除染剤の異種金属接触部における腐食 (SUS 304 / STPT 38)

試験片 : SUS 304 / STPT 38      温 度 : 120 °C      時 間 : 24 Hr

除染剤 および濃度	キュプロニッケル		STPT 38				表面状態
	表面状態	腐食減量 (mg/cm <sup>2</sup> )	腐食減量 (mg/cm <sup>2</sup> )				
		2	0	2	4	6	
LND 101 A 0.1%	変色あり 表面異常なし						黄色付着物有り やはだ荒れ
KD 203 0.1%	青紫色に変化 表面異常なし						金属光沢なし やはだ荒れ
G.E. d-sol 0.2%	黄色付着物有り 表面異常なし					10.2	灰色に変化 はだ荒れ

図 II - 27 各種除染剤の異種金属接触部における腐食  
(キュプロニッケル/STPT 38)

試験片：キュプロニッケル/STPT38  
温度：120℃  
時間：24 Hr

除染剤および濃 度と試験温度	内側 U ベンド			外側 U ベンド				
	ベンド部の 表面状態	腐食減量 (mg)			腐食減量 (mg)			ベンド部の 表面状態
		10	5	0	5	10		
LND 101 A 0.1%, 120℃	表面がくすんで いるが異常なし							表面がくすんで いるが異常なし
KD 203 0.1%, 120℃	清浄であり 異常なし							清浄であり 異常なし
G.E. d-sol 0.2%, 90℃	表面ややくすんで いるが異常なし							表面ややくすんで いるが異常なし

図 II - 28 各種除染剤の隙間部における腐食  
(鋭敏化 SUS 304 材)

試験片材質：鋭敏化 SUS 304  
試験時間：24 Hr

除染剤および濃 度と試験温度	内側 U ベンド				外側 U ベンド					
	ベンド部の 表面状態	腐食減量 (mg)				腐食減量 (mg)				ベンド部の 表面状態
		60	40	20	0	20	40	60		
LND 101 A 0.1%, 120℃	黄色付着物有り 表面異常なし									黄色付着物有り 表面異常なし
KD 203 0.1%, 120℃	金属光沢なし 表面異常なし									金属光沢なし 表面異常なし
G.E. d-sol 0.2%, 90℃	黄色付着物有り 表面異常なし									黄色付着物有り 表面異常なし

図 II - 29 各種除染剤の隙間部における腐食 (STPT 材)

試験片材質：STPT 42  
試験時間：24 Hr

TABLE 2

Materials Corrosion in LOMI Reagents

Metal	Area/cm <sup>2</sup>	wt. loss/mg	Penetration/ $\mu$ m	Rate $\mu$ m/hr
AISI 410	10	13.9	1.5	0.47
	10	13.5	1.5	0.47
	10	19.0	2.1	0.66
EN 2 Carbon S	10	18.3	2.0	0.62*
	10	9.3	1.0	0.31*
	10	20.7	2.7	0.72*
AISI 321	10	0	0	0
	10	0	0	0
	10	0	0	0
AISI 304	10	0	0	0
Inconel 600	8	0	0	0
Incoloy 800	10	0	0	0
Zircaloy-2	11	0	0	0
AISI 321/410	-	0.1	0.01	0.002
AISI 321/EN 2 Weld	-	0.1	0.02	0.004

Conditions :  $[V^{II}] = 2 \times 10^{-3}$  M (initially)

[Pic]  $1.7 \times 10^{-2}$  M

pH 5.0 - 5.3

Temperature 80°C

Run time 3.2 hour

\*Corrosion of EN 2 occurs only when the  $V^{II}$  is exhausted; corrosion rate quoted is the average for the whole experiment.





原子炉安全技術顧問  
ふげん発電所化学除染安全検討ワーキング・グループ  
第3回会合  
議事録(案)

1. 日 時 平成元年7月4日(火)14時00分～16時30分

2. 場 所 科学技術庁 祝田橋分室 第6会議室

3. 出席者 (順不同, 敬称略)

委 員 : 石樽(東大)、柴田(阪大)、藤井(金材技研)、  
中島, 星, 諏訪(以上原研)

科技厅 : 中西, 梶田, 新田(以上原子炉規制課)

ワザバ : 檜崎, 新沢, 山内, 小池, 揖場, 北端, 古川, 中村, 川崎, 藤森

(以上動燃)

中山, 玉川(以上栗田)

4. 議 題

- (1) 前回議事録の確認
- (2) ふげん発電所における化学除染について
- (3) その他

5. 配布資料

資料3-1 原子炉安全技術顧問ふげん発電所化学除染安全検討ワーキング  
グループ第2回会合議事録(案)

資料3-2 第2回質問事項の回答

資料3-3 新型転換炉ふげん発電所第8回定期検査時における原子炉冷却  
系系統除染について

6. 議事内容

- (1) 前回議事録の確認

特にコメントなく了承された。

(2) ふげん発電所における化学除染について

第2回会合時の質問事項等に対する回答を行い、特にコメントなく了承された。

(3) その他

- ① 本ワーキング・グループでの評価を踏まえた資料3-3について説明し、次の意見等があった。これらの意見等の反映を図った上で、各顧問に送付することとなった。
  - i. 除染の有効性を記載した箇所に、被ばく低減の観点から、除染の必要性について記載する。
  - ii. 材料の健全性を記載した箇所に、水素注入により炉水条件がマイルドな状態にある旨を追記する。
- ② 本ワーキング・グループでの審議を踏まえ、ふげん発電所で化学除染を実施するにあたって、次の意見があった。
  - i. 原子力発電所における系統化学除染の実施は国内で、また水素注入プラントでは世界で初めての試みであり、関係者の着目する実例となるため、実施時に十分なデータの取得を考慮しておくこと。
- ③ ふげん発電所における化学除染実施結果について、その内容を本ワーキング・グループに報告することとなった。

- 以 上 -

新型転換炉ふげん発電所  
原子炉冷却系系統除染について

資料 3 - 2 第 2 回質問事項の回答

平成元年 7 月

## 目 次

1. 圧力管材料の腐食に及ぼす中性子照射効果 (資料1-4)
2. ソケット溶接部の残留応力 (資料1-4)
3. 系統除染時におけるインヒビタ熱分解生成物  
による材料健全性への影響評価 (資料1-4)
4. 溶出放射能の形態 (資料1-6)

## 1. 圧力管材料の腐食に及ぼす中性子照射効果

「ふげん」は圧力管型原子炉であり、原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する圧力管は内部に燃料集合体を収納し、高い中性子照射を受ける。そのため、照射による圧力管の材料特性の変化を調べることは、圧力管の健全性を確認する上で重要であり、「試験研究の用に供する原子炉等の設計及び工事の方法の技術基準に関する総理府令」等に基づき監視試験を実施している。

「ふげん」の特殊燃料集合体（図1-1参照）の内部で照射した試験片（引張、曲げ、腐食、バースト）について、大洗工学センター照射材料試験室で照射後試験及び評価を行っている。このうち、腐食試験は重量測定法で行っており、第4回定期検査時に取り出した第1回目の監視試験の結果を図1-2及び図1-3に示す。この結果によると、圧力管材料は高々 $1\mu\text{m}/\text{年}$ の減肉量でしかないことがわかる。

したがって、除染と原子炉運転を10回繰り返した後の原子炉運転状態水質環境下における腐食率は $0.75\mu\text{m}/\text{年}$ で、これに監視試験結果の腐食率 $1\mu\text{m}/\text{年}$ を加えても、30年で $\sim 60\mu\text{m}$ 程度の腐食量であり、設計腐食量 $310\mu\text{m}/30\text{年}$ と比べはるかに低く、問題とならないと考えられる。

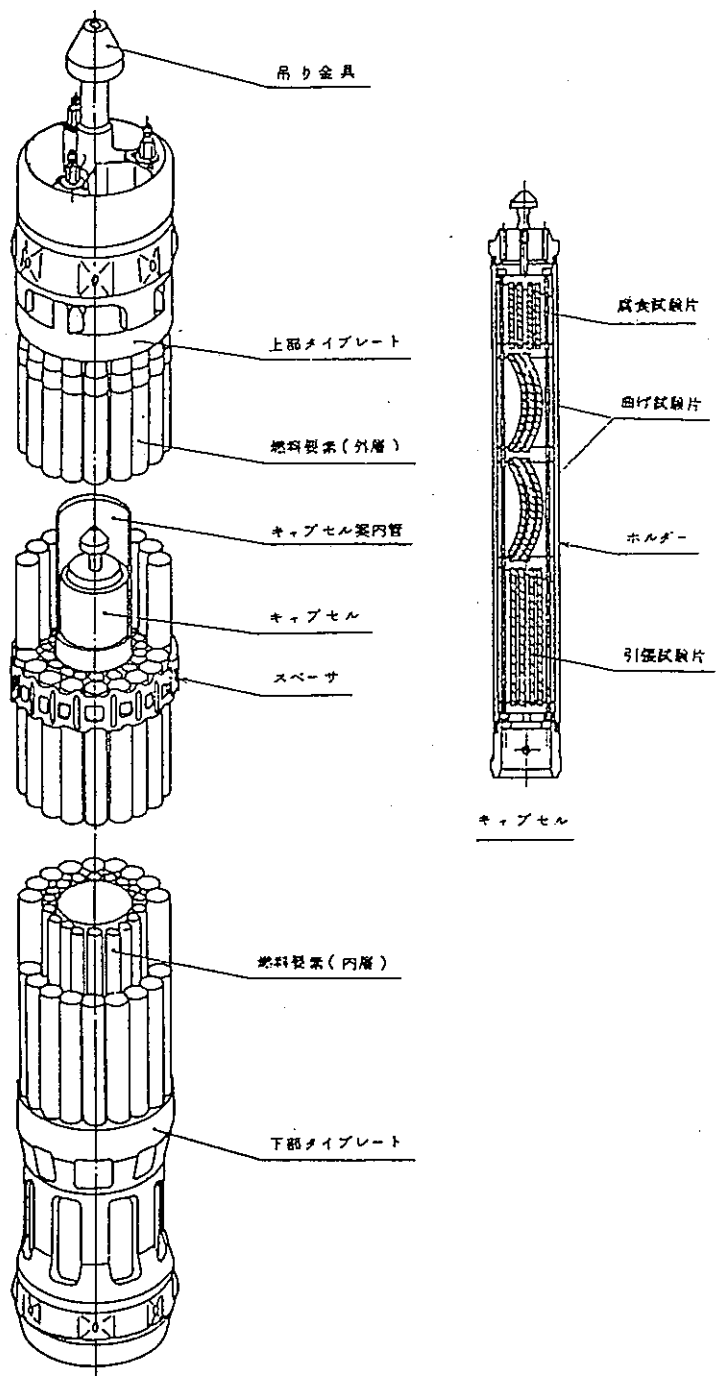


図 1 - 1 特殊燃料集合体構造図

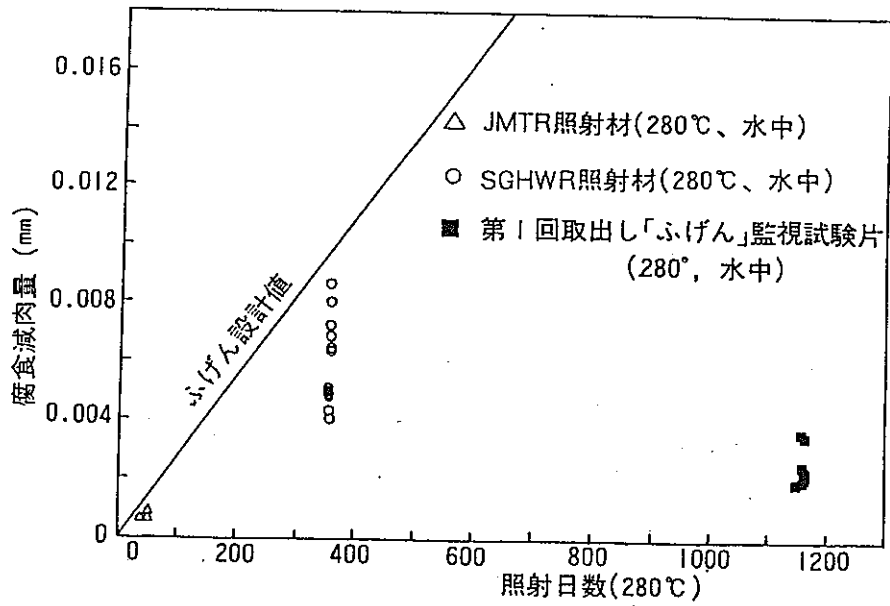


図 1 - 2 照射日数と腐食減肉量の関係

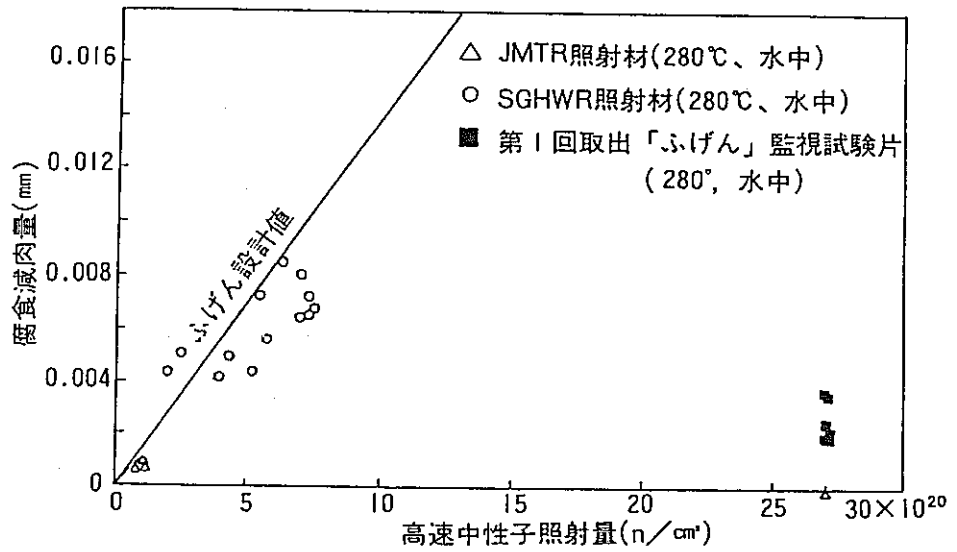


図 1 - 3 高速中性子照射量と腐食減肉量の関係

## 2. ソケット溶接部の残留応力

### 1. 残留応力の推定

溶接部の残留応力は、溶接によって加熱される部分が局部的であり、それを取り囲む拘束部分が多いことから発生することを考えた時、その残留応力は、ソケット溶接であっても基本的には、一般的な突き合わせ溶接と変わらないものと思われる。図2-1及び2に突き合わせ溶接による管径と残留応力分布の関係を示す。

昭和50年に、ふげん発電所のSCC対策を考える上で、参考的に1/4<sup>B</sup>管のソケット溶接部の残留応力を測定したことがある。この時の管内面の残留応力値は、円周方向・軸方向とも0~40kg/mm<sup>2</sup>と報告されている。この値は、突き合わせ溶接に比べて、同等か、あるいは多少高い。

### 2. 耐SCC性

ソケット溶接は、2<sup>B</sup>以下のドレン管、ベント管及び計装管の枝管に採用されている。このうち、原子炉再循環系及びプラント運転中に高温部となる原子炉冷却材浄化系、余熱除去系、高圧・低圧注水系の枝管については、これまでのSCC予防対策による材料取替によって、全て耐SCC性に優れたSUS316L材又はSUS316NG材に取り替えられている。また、入口管ドレン管はSUS304L材を、破損燃料検出装置の配管はSUS321材の耐SCC性に優れた材料を、建設当初から採用している。

これら耐SCC性に優れた材料は、表2-1に示すようにC量を減じるか、あるいは安定炭化物を生成させることにより溶接時の鋭敏化を防止し、耐粒間腐食性を向上するものであり図2-3よりC量を0.03%以下にすればSCCによる破断が起り得なくなっている。

現在、SUS304材で、かつ主配管近傍であることから高温となる枝管のソケット溶接部は、次のとおりである。



- (1) 入口管ドレン管の入口管との取り合部  
(入口管ドレン管については、SUS304L材)
- (2) 破損燃料検出装置の上昇管との取り合部  
(破損燃料検出系配管については、SUS321材)

しかし、これらソケット溶接部は、主配管近傍であることから、ふげん発電所は、SCC予防対策の一環として、水素注入による水質改善を行い、原子炉冷却水中の溶存酸素濃度を15ppb以下で管理しており、この効果が期待できるものと考えられる。(パンフレット参照)

以上より、枝管に採用しているソケット溶接部のSCC予防対策を十分に図っている。

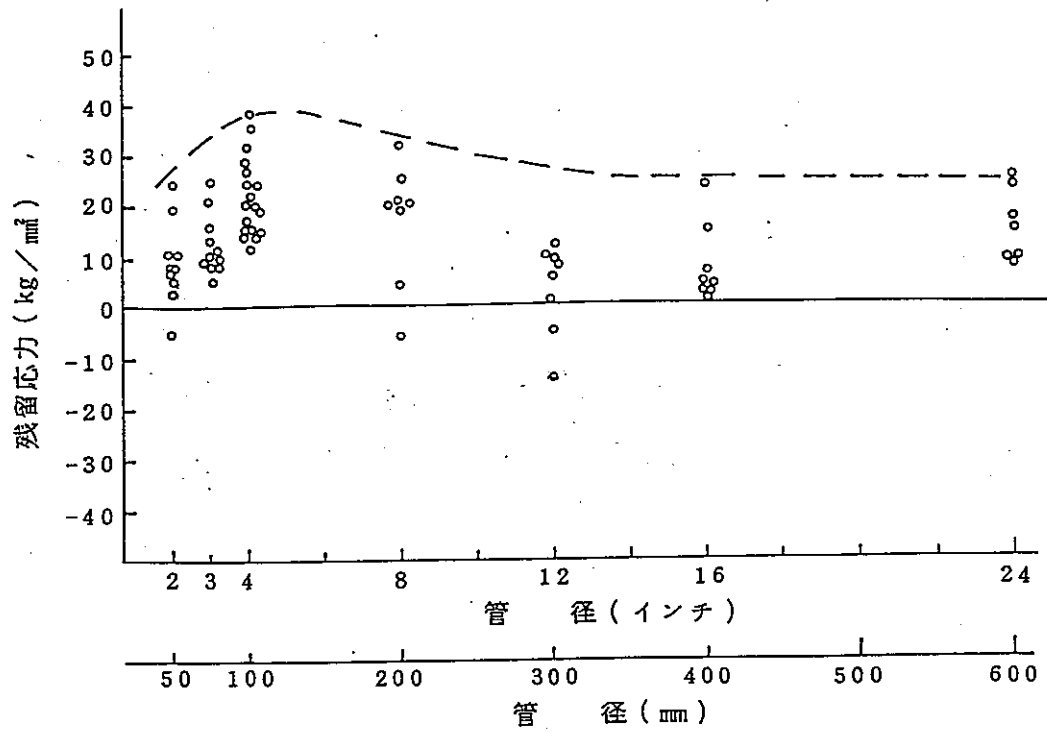


図 2 - 1 管径 ( Sch 80 ) と軸方向管内面残留応力分布の関係  
( 溶接境界から 3 mm の H A Z 部 )

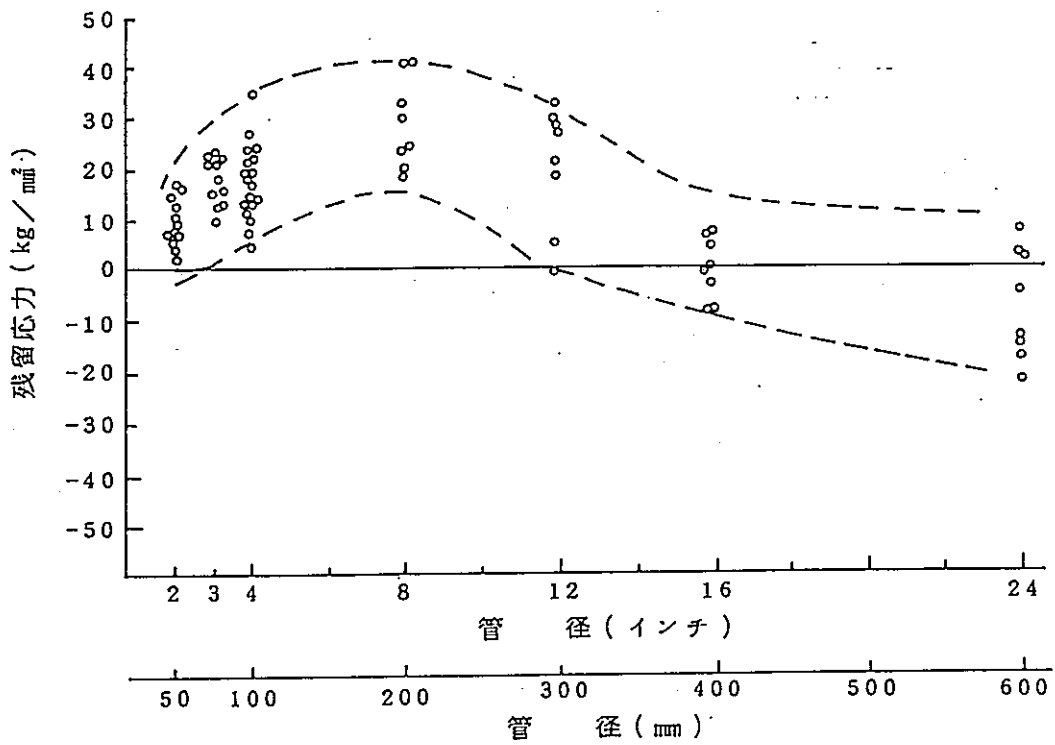


図 2 - 2 管径 ( Sch 80 ) と円周方向管内面残留応力分布の関係  
( 溶接境界から 3 mm の H A Z 部 )

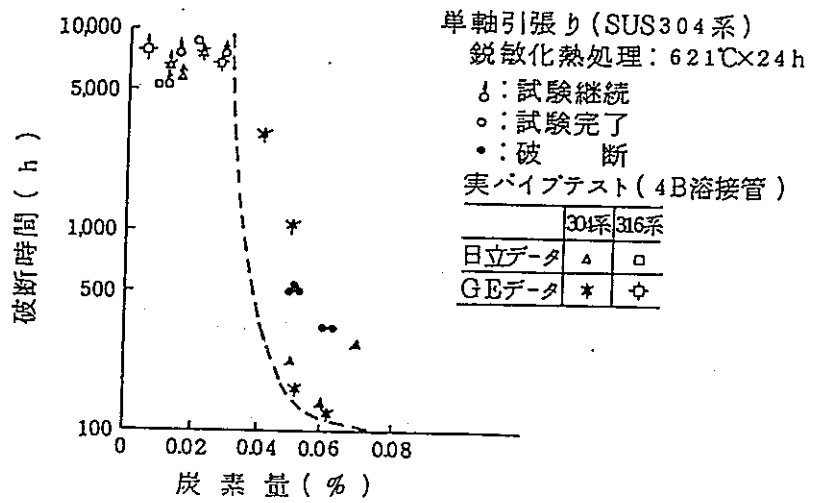


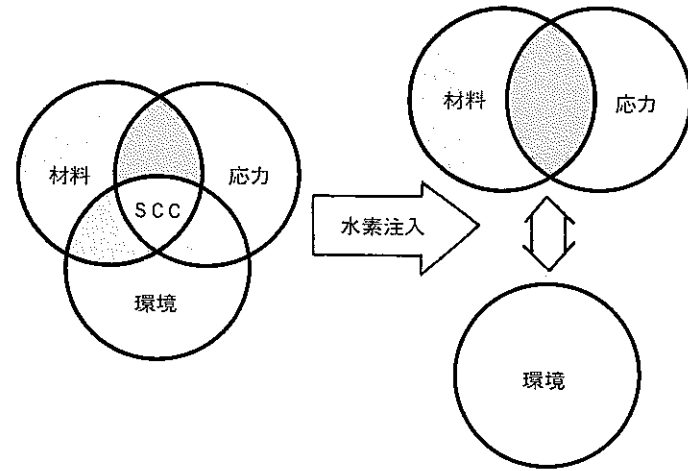
図 2 - 3 単軸引張り及び実パイプ応力腐食割れ試験結果

表 2 - 1 金属成分表

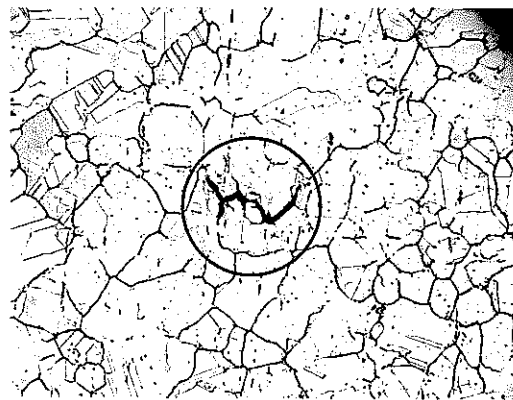
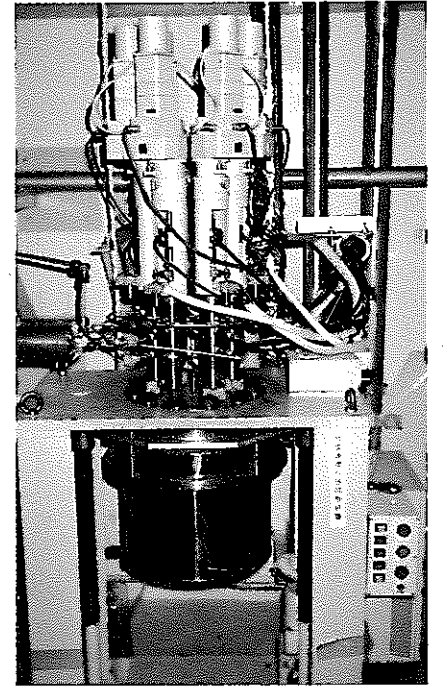
金属材料	化学成分 (%)										備考	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	B		
SUS304	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00~ 11.00	18.00~ 20.00					
SUS304L	0.030 以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	9.00~ 13.00	18.00~ 20.00					C量を減じて耐粒間腐食性を向上
SUS316L	0.030 以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	12.00~ 18.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00				C量を減じて耐粒間腐食性を向上
SUS316NG	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	8.00~ 11.00	16.00~ 18.00	2.00~ 3.00				C+N: 0.13%以下 N: 0.12%以下 C量を減じて耐粒間腐食性を向上
SUS321	0.08以下	1.00以下	2.00以下	0.040 以下	0.030 以下	9.00~ 13.00	17.00~ 19.00					Ti: 5×C%以上 安定炭化物TiCの生成により 耐粒間腐食性を向上

# 水素注入による応力腐食割れ防止

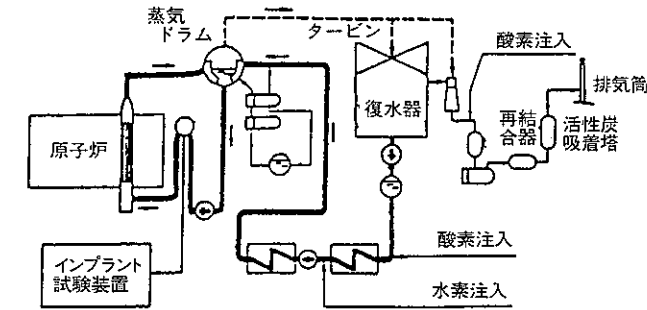
「ふげん」では、原子炉冷却系を構成するSUS 304ステンレス鋼配管の応力腐食割れ発生防止対策の一環として、国内で初めて水素注入法を採用しました。応力腐食割れは、右の図に示すように「材料」・「応力」・「水質環境」の三条件がそろったときに発生します。したがって、応力腐食割れの発生を防止するためには、配管を応力腐食割れに対する感受性の低い材料のものとの交換したり（材料）、配管溶接時に溶接部分に発生する応力を取り除いたり（応力）、配管の接する原子炉冷却水の水質を改善したり（水質環境）して、先の三条件のいずれかを取り除く必要があります。水素注入法は、「水質環境」を改善することによって応力腐食割れの発生を防止するものです。「ふげん」の水素注入法の成果は、世界的にも利用される貴重なデータとなっています。



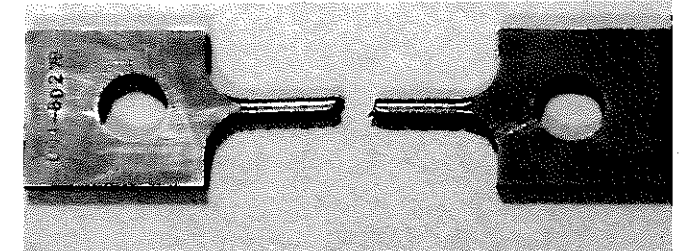
「ふげん」の水素注入は、国内では初めての採用であったため周到な調査や材料試験、短期注入試験のあと1986年12月から連続的な水素注入がされています。水素注入法の効果確認のため種々の材料試験を「ふげん」内に設置されたインプラント試験装置を用いて評価が行われています。これらのデータは国際的にも注目されています。



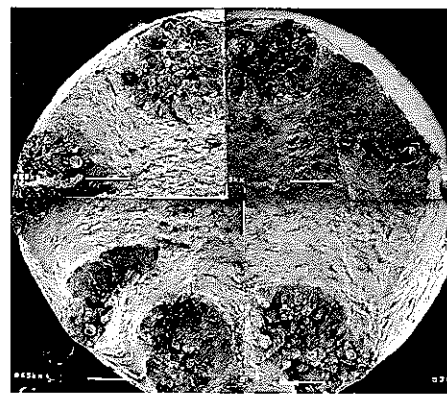
「SUS 304 ステンレス鋼に発生した応力腐食割れ」  
粒界型応力腐食割れは、金属材料の結晶粒界に沿って発生します。この顕微鏡写真は、厳しい試験条件下で強制的に発生させた粒界型応力腐食割れの表面を撮影したものです。



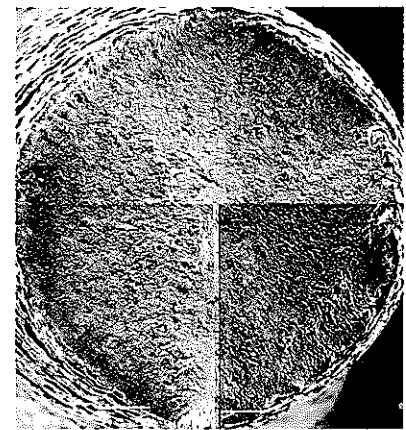
水素は給水ポンプの上流から注入され、炉心の酸素濃度を低減させステンレス鋼の応力腐食割れを防止します。



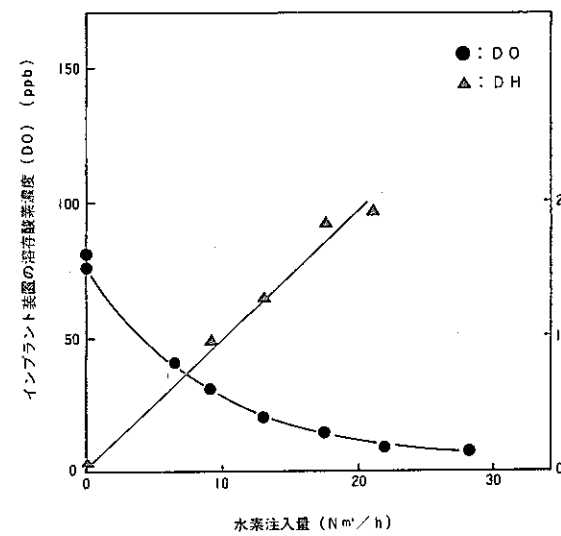
「低歪率引張試験 (SSRT) 装置と試験片」  
低歪率引張試験では原子炉冷却水を満たしたオートクレーブ内で試験片を一定の極めてゆっくりとした速度で引張って強制的に破断させ、試験片の破断面を電子顕微鏡によって観察して応力腐食割れに対する試験片の感受性を評価しました。



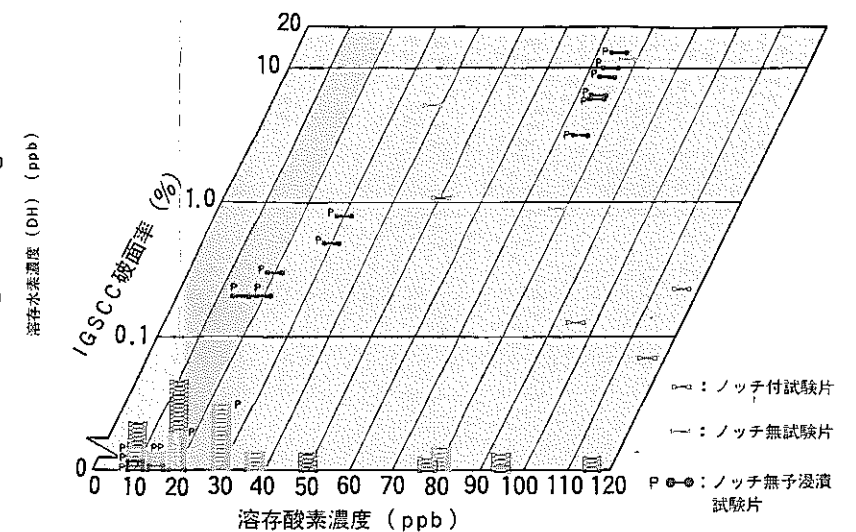
水素注入法



「水素注入による応力腐食割れ発生抑制効果」  
上の電子顕微鏡写真は、鋭敏化（熱処理によって応力腐食割れ感受性を高めることを言います）した試験片を低歪率引張試験により強制的に破断させた時の破断面を撮影したものです。水素を注入しない場合に相当する水質条件下での試験（左側）では凸凹のある粒界型応力腐食割れによる破断面が認められ応力腐食割れ感受性のあることが示されていますが、水素注入して溶存酸素濃度を下げた条件下での試験（右側）では強制破断面のみしかなく、応力腐食割れ感受性が低減されていることがわかります。



「水素注入による原子炉冷却水中溶存酸素濃度低減効果」  
原子炉冷却材中の溶存酸素濃度は水素注入量を上げると低減します。



「水素注入による応力腐食割れ感受性低減効果」  
上の図は、水素注入によって原子炉冷却材中の溶存酸素濃度を变化させた条件下で行われた低歪率引張試験の結果を示したものです。図の縦軸は、試験片破断面に発生した応力腐食割れによる破断面の面積と試験前の試験片断面積との比を示し応力腐食割れに対する感受性を表します。水素注入して原子炉冷却水中の溶存酸素濃度を下げることにより応力腐食割れに対する感受性が低減することがわかります。

### 3. 系統除染時における

#### インヒビタ熱分解生成物による材料健全性への影響評価

##### 1. はじめに

系統除染に用いる除染剤及びインヒビタの熱分解生成物を調査したところ、SUS304材のSCCの発生及び進展を加速する硫酸イオンがインヒビタから生成することが明らかになったので、除染操作が原子炉冷却系構成材料の健全性に及ぼす影響を再評価した。

##### 2. クリデコン203及びインヒビタの熱分解特性

クリデコン203及びインヒビタの熱分解の温度依存性を図3-1に示す。また、クリデコン203を24時間、原子炉運転温度においた場合に生成する不純物濃度を表3-1に、インヒビタ（イビットS-10）を除染条件温度120℃及び285℃で24時間保った場合の熱分解生成物を表3-2に示す。これらの熱分解生成物の中では、硫酸イオンがSUS304材のSCC感受性を増大させるという観点から最も注意を要する不純物であると考えられる。

##### 3. 材料健全性の確認

「ふげん」の系統除染に用いるクリデコン203およびインヒビタが除染時濃度の1/100の濃度で残留した場合を想定して10ppmのクリデコン203および5ppmのインヒビタ含む試験液を用い各回ごとに試験液をとりかえて15回の昇温・降温操作（50℃-280℃-50℃）を行ったCBB試験後のSUS304材試験片表面及び断面組織写真をそれぞれ写真3-1、3-2（写真3-2は、資料1-4の再掲である。）に示す。この試験結果からクリデコン203およびインヒ

ビタが除染時濃度の1/100の濃度で残留した状態で原子炉運転温度条件にした場合においてもSUS304材のSCC感受性を増大させることのないことがわかる。

#### 4. インヒビタの材料への吸着特性

イビットS-10のような吸着型インヒビタは、炭素鋼材表面に物理吸着または化学吸着することにより炭素鋼材を保護する。ステンレス鋼材にも同様に吸着する場合には、隙間部等へ浸入したインヒビタが浄化工程において容易に脱離せずに原子炉起動後まで残留し、これが核加熱時に熱分解して隙間部で高濃度の硫酸イオンを生成するおそれがある。

このような、SUS304材に対するインヒビタの吸着効果がないことを確認するために、図3-2、図3-3に示すような試験装置を用いて、SUS304鋭敏化材および炭素鋼材を室温および80℃で除染液中に浸漬してインヒビタの濃度変化を測定した。その結果、図3-4に示すようにSUS304鋭敏化材を浸漬した場合には、除染液中のインヒビタ濃度の変化は認められず、SUS304材は炭素鋼に比べインヒビタを吸着しにくいことが確認できた。除染温度条件（120℃）では、インヒビタが熱分解するので、このような試験方法は採用できなかったが、120℃で24時間の除染操作を行ったSUS304鋼粉に残留するインヒビタ量を別添資料に示すように質量分析法で測定した結果、SUS304鋼粉に残留するインヒビタ量は、3 ng/cm<sup>2</sup>以下と極めて微量で、SUS304材の隙間部へ浸入したインヒビタは、SUS304材表面に吸着することはなく、浄化操作時に拡散により隙間外へ流出すると考えられる。

また、隙間内内面に吸着現象により残留するインヒビタ量は、ソケット溶接部の場合には、隙間部容積（約0.1～0.5 cm<sup>3</sup>、表面積10～40 cm<sup>2</sup>）内に溶解した後熱分解して、含まれる硫黄分がすべて硫酸イオンに変化したとしても、その濃度は5 ppb以下になる程度の微量なものである。

## 5. 硫酸イオンの浄化特性

除染温度120℃においてインヒビタは一部熱分解して硫酸イオンを生成するので、隙間内で硫酸イオンが濃縮蓄積することなく拡散希釈することを確認するため、図3-5に示すような隙間試験片に1000ppmの硫酸イオンを含む硫酸ナトリウム溶液を充填し、図3-6に示す水洗槽に浸漬して、隙間内の硫酸イオン濃度の時間変化を測定した。その結果、図3-7に示すように拡散係数 $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ の拡散による濃度変化計算値とよく一致し、隙間内に硫酸イオンが取り込まれることが確認できた。この拡散係数は、資料2-2図7-2の計算に用いた浄化工程における拡散係数 $7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ よりも大きく資料2-2図7-2での評価が保守側になっていることを意味する。

なお、隙間内への水酸イオン以外の陰イオンの蓄積は、水溶液環境が腐食性に富む場合に発生するので、腐食性の極めて小さい除染後の浄化工程等の場合には、このような陰イオンの隙間内への濃縮過程は発生しないと考えられる。

## 6. 硫黄を含むインヒビタを用いた除染実績

硫黄を含むインヒビタを用いた海外での除染実績を参考として表3-3に示す。これらのプラントから、インヒビタ中の硫黄分に起因する不具合の発生についての報告は、なされていない。

## 7. 今回の検討のまとめ

今回の検討によりインヒビタの熱分解により硫酸イオン等の発生することが明らかになったが、上述のように、

- (1) 残留除染液中でのCBB試験結果より、残留除染液によるSUS304材のSCC発生を加速することはない。
- (2) インヒビタのステンレス鋼材への吸着量は微量であり、隙間部

等に残留したインヒビタは、浄化工程時に有効に除去できる。

(3) インヒビタの熱分解により生成した硫酸イオンも隙間内から有効に除去できる。

(4) 硫黄を含むインヒビタを用いた海外での除染実績では、インヒビタ中の硫黄に起因する不具合の発生の報告はない。

ことが示されたので、前回の評価は妥当であると考えられる。

ただし、このような検討の検証を行う意味で、次項以降で述べるように隙間部における材料健全性確認試験を行うとともに、原子炉起動後の原子炉冷却材の水質管理を厳密に行うこととする。

## 8. 隙間部の健全性確認

実除染操作時において隙間部材料の健全性が保たれていることを確認するために、ソケット溶接部を模擬した図3-8に示すカップリング溶接試験体を図3-9に示すように材料試験片容器下部に取り付け除染操作時に圧力管内に装着して除染・浄化操作を行った後、材料健全性を除染後に確認するとともに、この試験片を原子炉冷却水を通水できるインプラント試験装置のオートクレーブ内に据え付け、第9回定期検査時まで浸漬し、浸漬後にも材料の健全性が保たれていることを確認する。

また、実除染条件における隙間部の硫酸イオン及びインヒビタの浄化特性を再確認するため、図3-10に示すような隙間部模擬試験体を除染した後、静置純水中及び流水中に700時間以上放置して、浄化状態が妥当であることを評価する。

## 9. 原子炉起動前後における原子炉冷却材の水質管理

除染操作後における原子炉起動前後における原子炉冷却材の水質管理については、週1回以上原子炉冷却材中の硫酸イオン濃度を測定し、原子炉起動前及び原子炉運転中において硫酸イオン濃度が10ppb以



下（ただし、除染後の原子炉起動時においては5 p p b以下）であることを確認する。

表 3 - 1 クリデコン 2 0 3 の熱分解生成物の分析結果

	濃度 (ppm)
イミノジ酢酸	80
グリコール酸	32
酢酸	32
ギ酸	15

クリデコン203 0.1%溶液を250℃で24時間保持したときの生成物

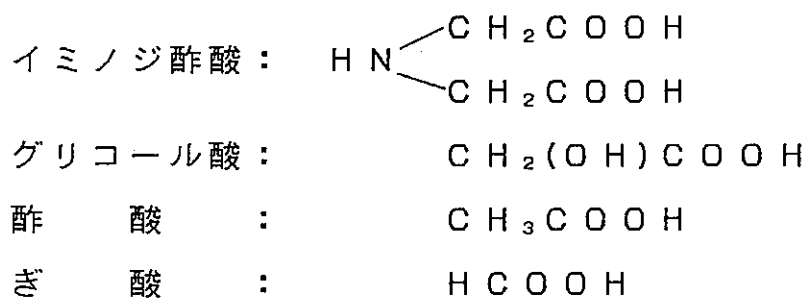


表 3 - 2 インヒビタ (イビット S- 10 : 500ppm) の熱分解生成物の分析結果

Run No.	温度 (°C)	時間	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 添加の有無	残留物成分 (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	S <sub>x</sub> O <sub>y</sub> <sup>n-</sup> (ppm as SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	S (目視定性)	S <sup>2-</sup> (ppm)
1	120	24 hr	無	330	1.5	—	ND	< 0.1
2	120	24 hr	有	320	3.0	—	ND	< 0.1
3	285	昇温直後	無	< 5	5.3	—	ND	< 0.1
		24 hr	無	< 5	7.1	2.0	ND	< 0.1
			気相部 <sup>2)</sup>	—	—	—	—	0.3
4	285	7日	無	< 5	5.1	—	ND	< 0.1

< 備考 >

- 1) 過塩素酸塩で酸化処理後、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> を測定
- 2) オートクレーブを冷却後、気相部をN<sub>2</sub> ガスで押しだし、酢酸亜鉛溶液に吸収させてS<sup>2-</sup>を測定

なお、インヒビタ 500 ppm 中の全 S 成分は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 換算で約 30 ppm である。

表 3-3 硫黄を含むインヒビタを用いた海外での除染実績

No.	プラント名	対象系統	実施年	除染剤	インヒビタ	インヒビタ 中S分	腐食量	記載文献
1	Brunswick	原子炉冷却材浄化系	1981	CAN-DECON	Rodine 31A	4.8 %	SUS304: 0.098 $\mu\text{m}/\text{h}$ 炭素鋼: 2.31 $\mu\text{m}/\text{h}$	EPRI NP-4222 vol.1 EPRI NP-4222 vol.2
2	Brunswick	補助蒸気系	1981	CAN-DECON	Rodine 31A 0.03%	4.8 %	炭素鋼: 1.0 $\mu\text{m}/\text{h}$	EPRI NP-4222 vol.1
3	WSGHWR	South Loop 6回 North Loop 5回	1969~ 1979	Turco 4521	2-メルカプト ベンゾチアゾール 0.04%	38.3 %	SUS410: 327 $\mu\text{m}/6$ 回 270 $\mu\text{m}/5$ 回	Water Chemistry II, BNES(1980)
4	Millstone 2	蒸気発生器	1985~	EDTA-N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Diethylthio- urea	24.2 %		EPRI NP-3008
	Ringhals		1988	EDTA-N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Diethylthio- urea	24.2 %		Nuclear Engineering International JAN 1979
参 考	Dresden-1	全系統 (廃炉のための除染)	1984	NS-1 conc.	インヒビタの種類は不明であるが、腐食量から推定してインヒビタは使用しているものと考えられる。		炭素鋼: 0.14 $\mu\text{m}/\text{h}$	EPRI Semior BWR Corrosion Chemistry and Radiation Control, Palo Alto (1984)
	Dresden-2	原子炉冷却系 原子炉冷却材浄化系	1984	NS-1 dil.				
	Pilgrim	原子炉冷却系	1984	NS-1 dil.				
	Pilgrim	原子炉冷却材浄化系	1984	NS-1 dil.				NIC 原子力施設における除染技術 除染技術の現状と各種除染法
	Peach Bottom-2	原子炉冷却材浄化系	1977	NS-1 conc.				
	Peach Bottom-3		1977	NS-1 conc.				

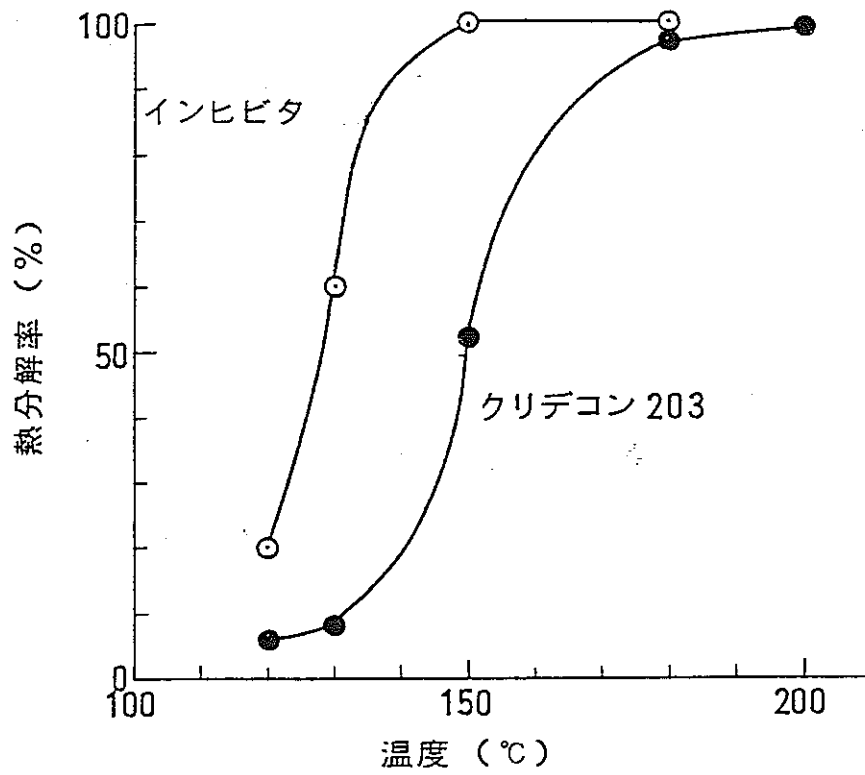


図 3 - 1 クリデコン203及びインヒビタの熱分解特性

		室 温 試 験
試験液の組成		クリデコン203 0.1 % インヒビタ 0.05%
浸漬試験片の種類		鋭敏化SUS304 (650℃/24hr) または、STPT42
試験条件	液量 試験片枚数 環境 攪拌	100ml 9枚 (180cm <sup>2</sup> ) 大気開放 マグネット・スターラ
比液量		100 ml / 180 cm <sup>2</sup> = 0.56 ml/cm <sup>2</sup>

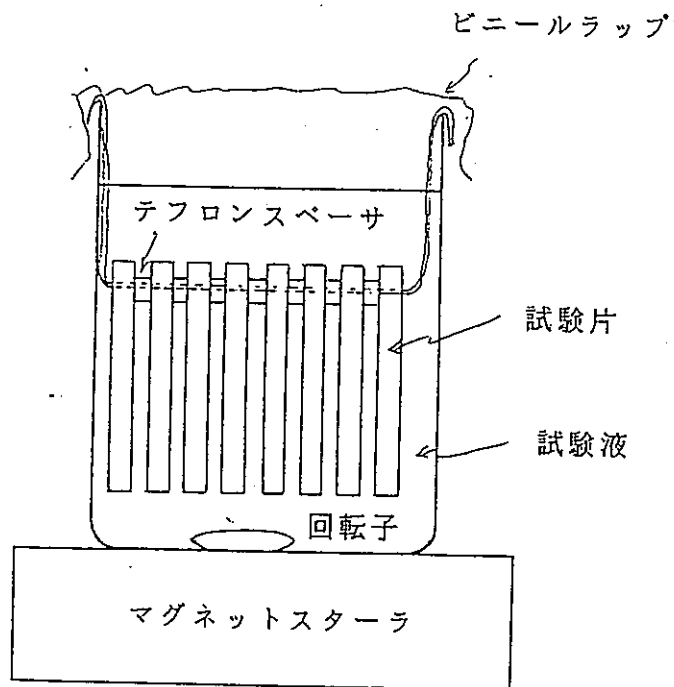


図 3 - 2 室温条件における SUS304 材へのインヒビタの吸着性確認試験装置

		80℃ 試験
試験液の組成		クリデコン203 0.1% インヒビタ 0.05%
浸漬試験片の種類		鋭敏化SUS304 (650℃/24hr) または、STPT42
試験条件	液量 試験片枚数 環境 攪拌	200ml 10枚 (200cm <sup>2</sup> ) N <sub>2</sub> シール N <sub>2</sub> 曝気
比液量		200 ml / 200 cm <sup>2</sup> = 1 ml/cm <sup>2</sup>

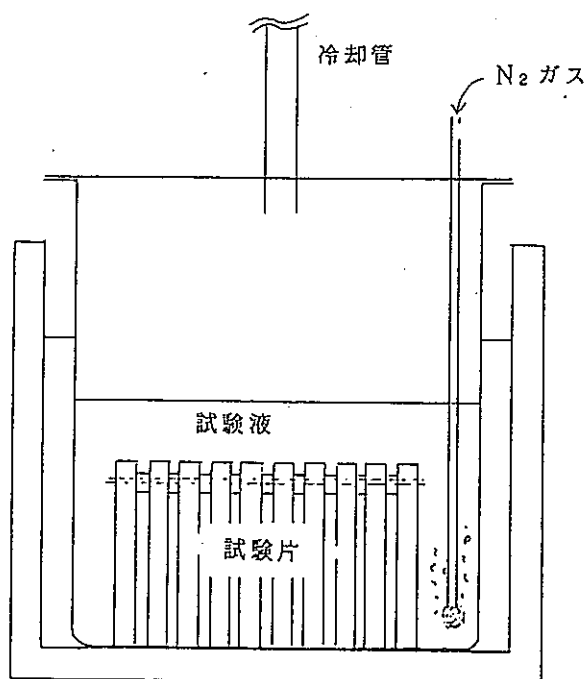


図 3 - 3 80℃におけるSUS304材へのインヒビタの吸着性確認試験装置

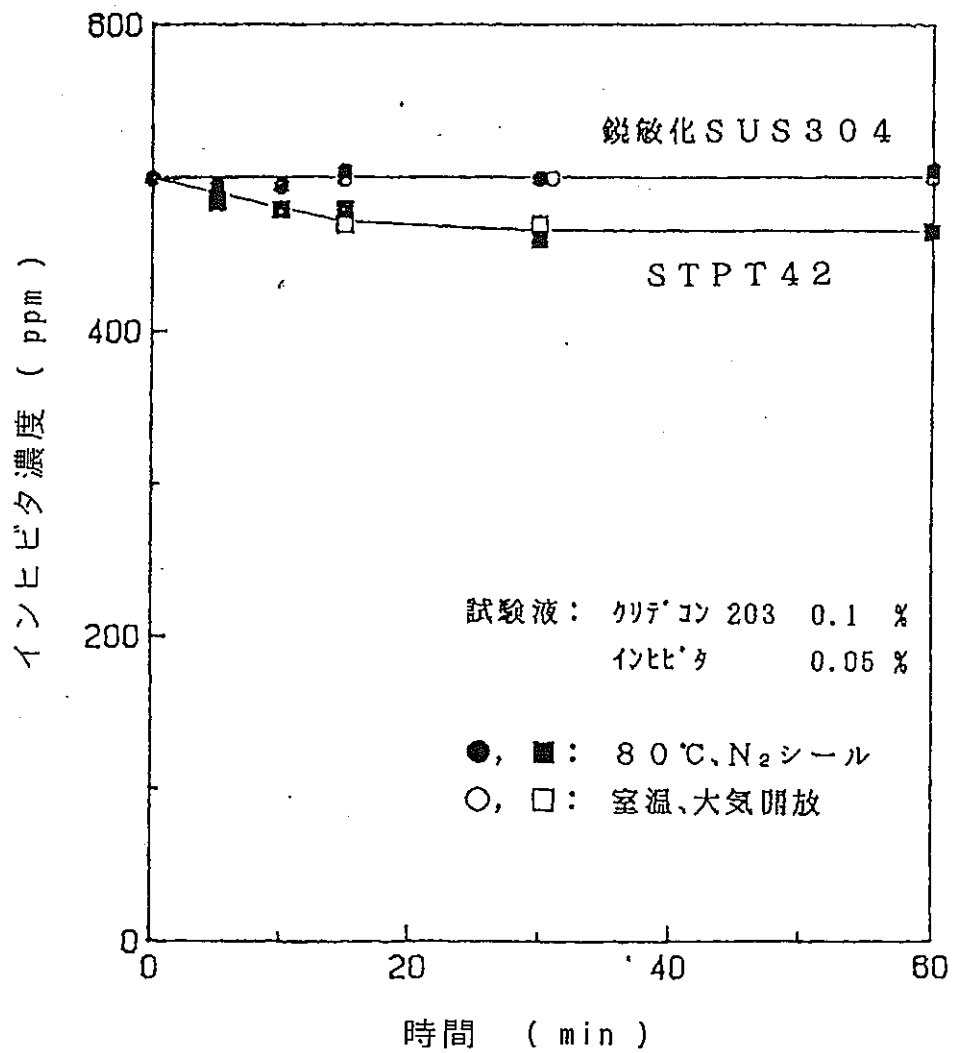


図 3 - 4 鋼材表面へのインヒビタ吸着特性測定結果



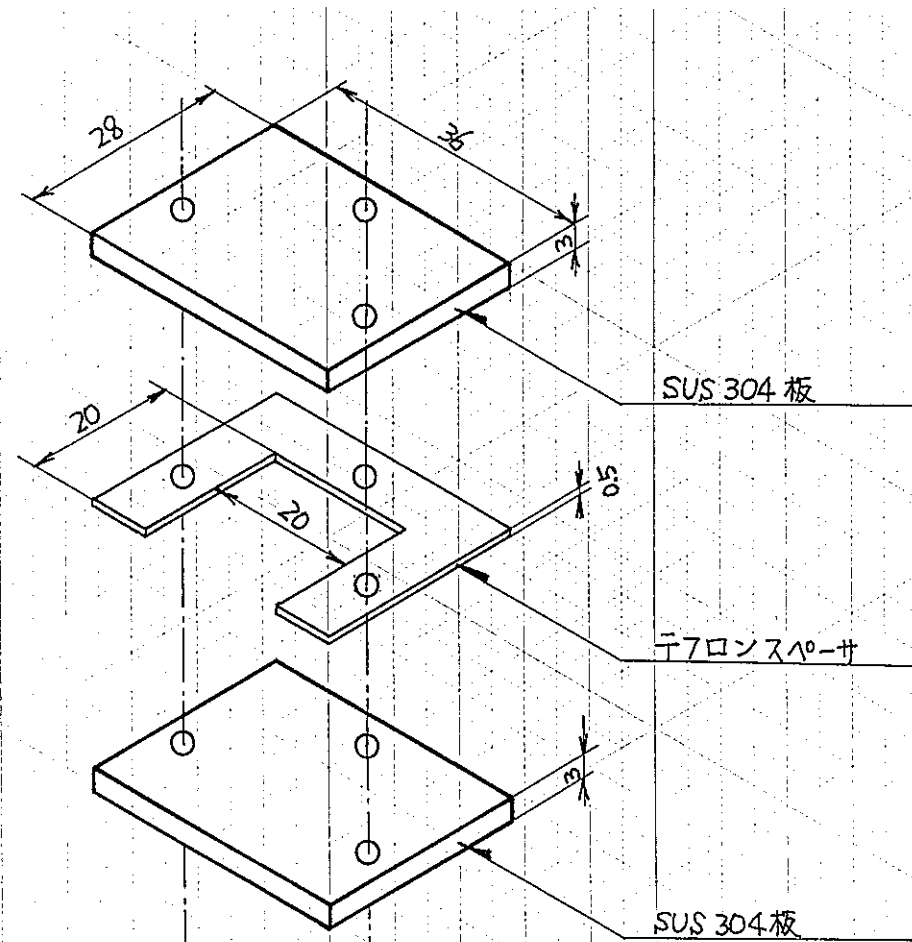


図 3 - 5 隙間試験片組立図

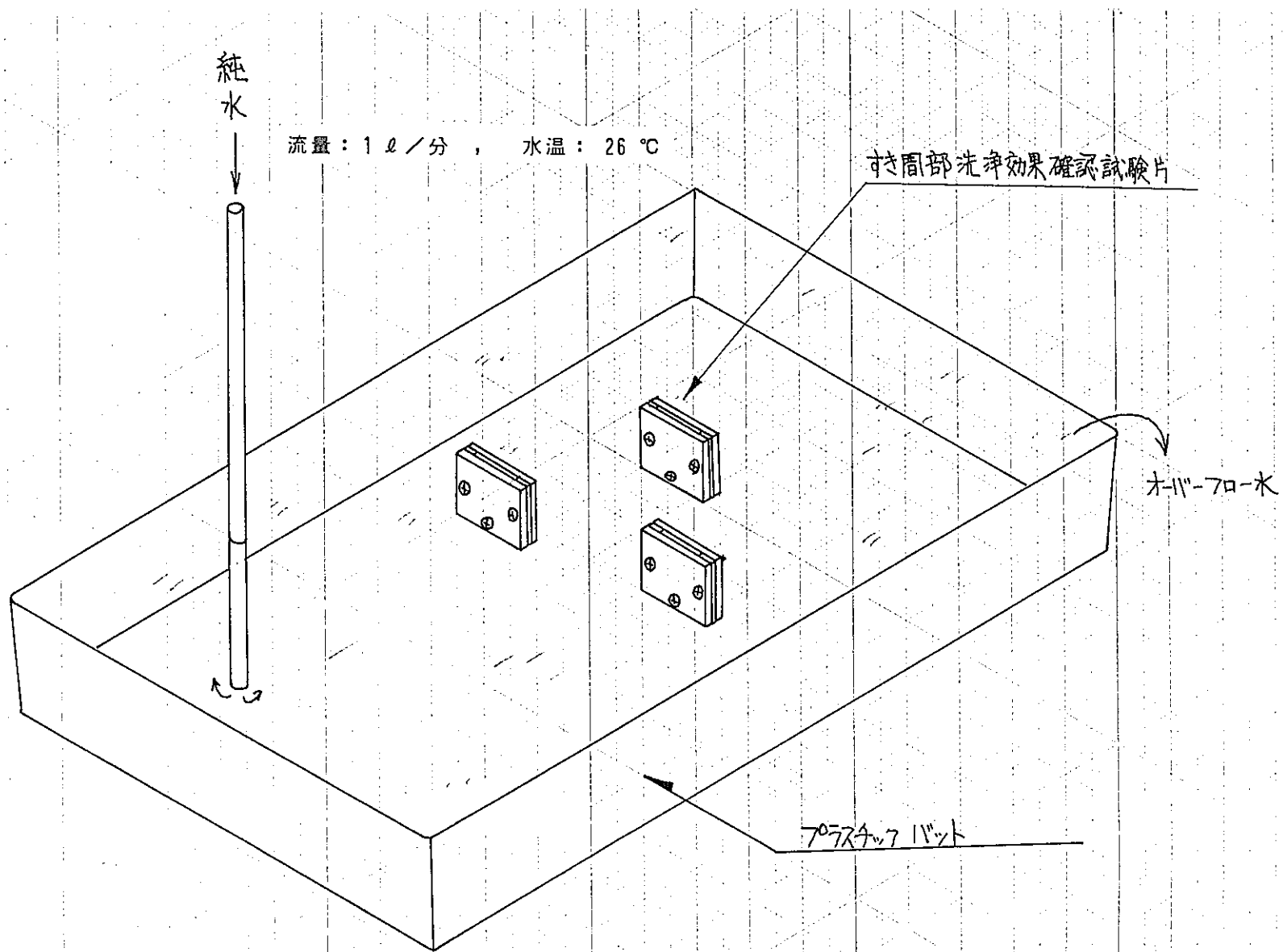


図 3 - 6 浄化効果測定試験槽

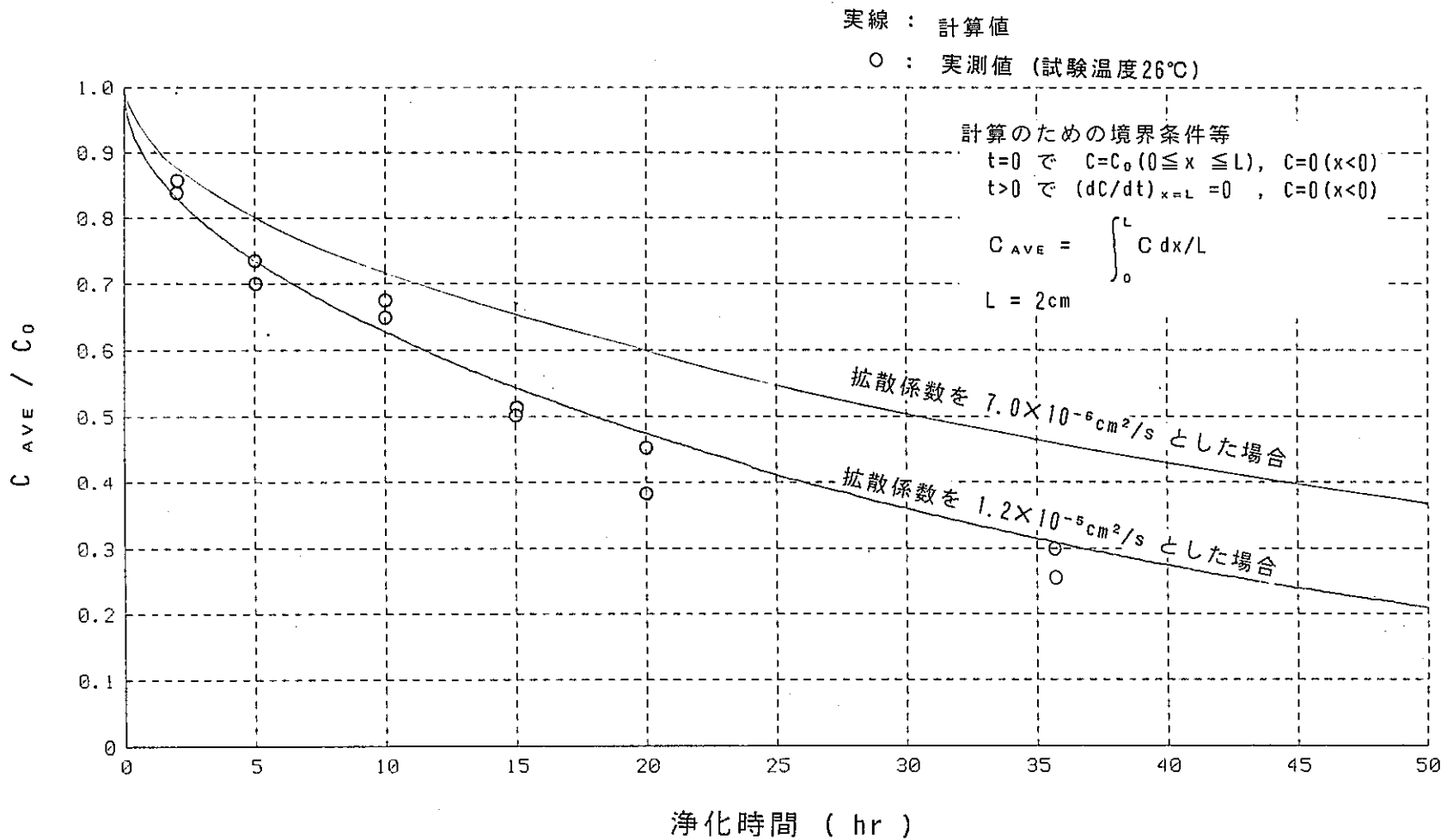


図 3-7 隙間試験片内の平均硫酸イオン濃度変化

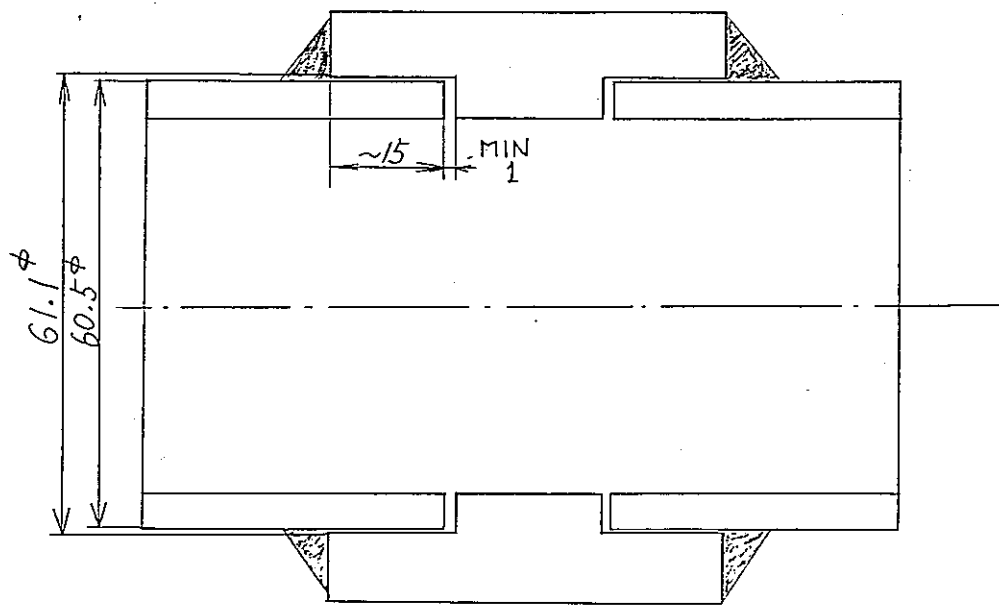
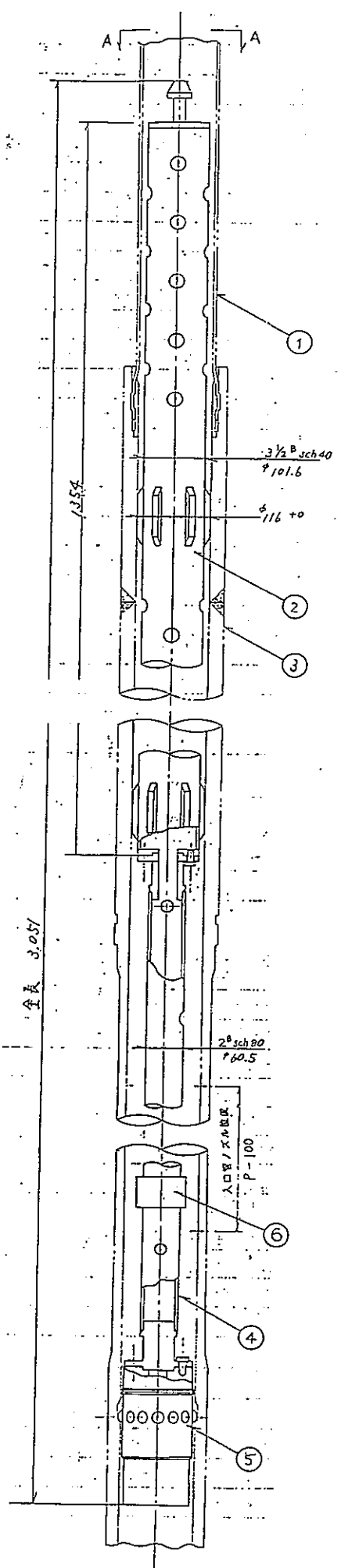
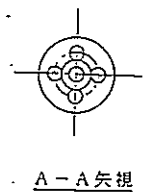
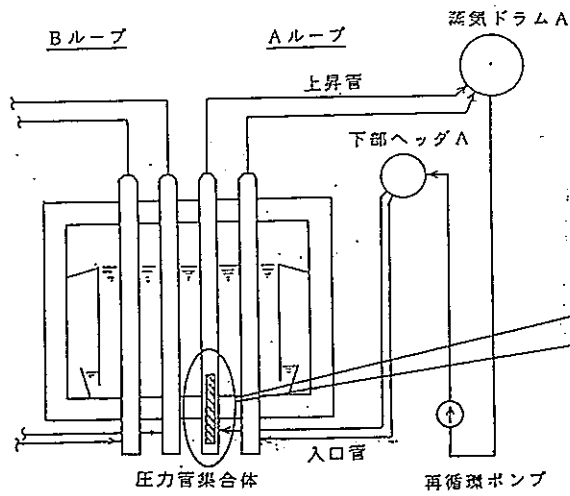


図 3 - 8 ソケット溶接部部材健全性確認のためのカップリング溶接試験体



部品	名称	材質	備考
1	圧力管	Zr-2.5%Nb	
2	試験片収納容器	SUS304	
3	圧力管下部延長管	SUS403M	
4	支持管	SUS304	
5	プラグ	—	
6	カップリング	SUS304	3箇所

図 3-9 カップリング溶接試験体の装着位置

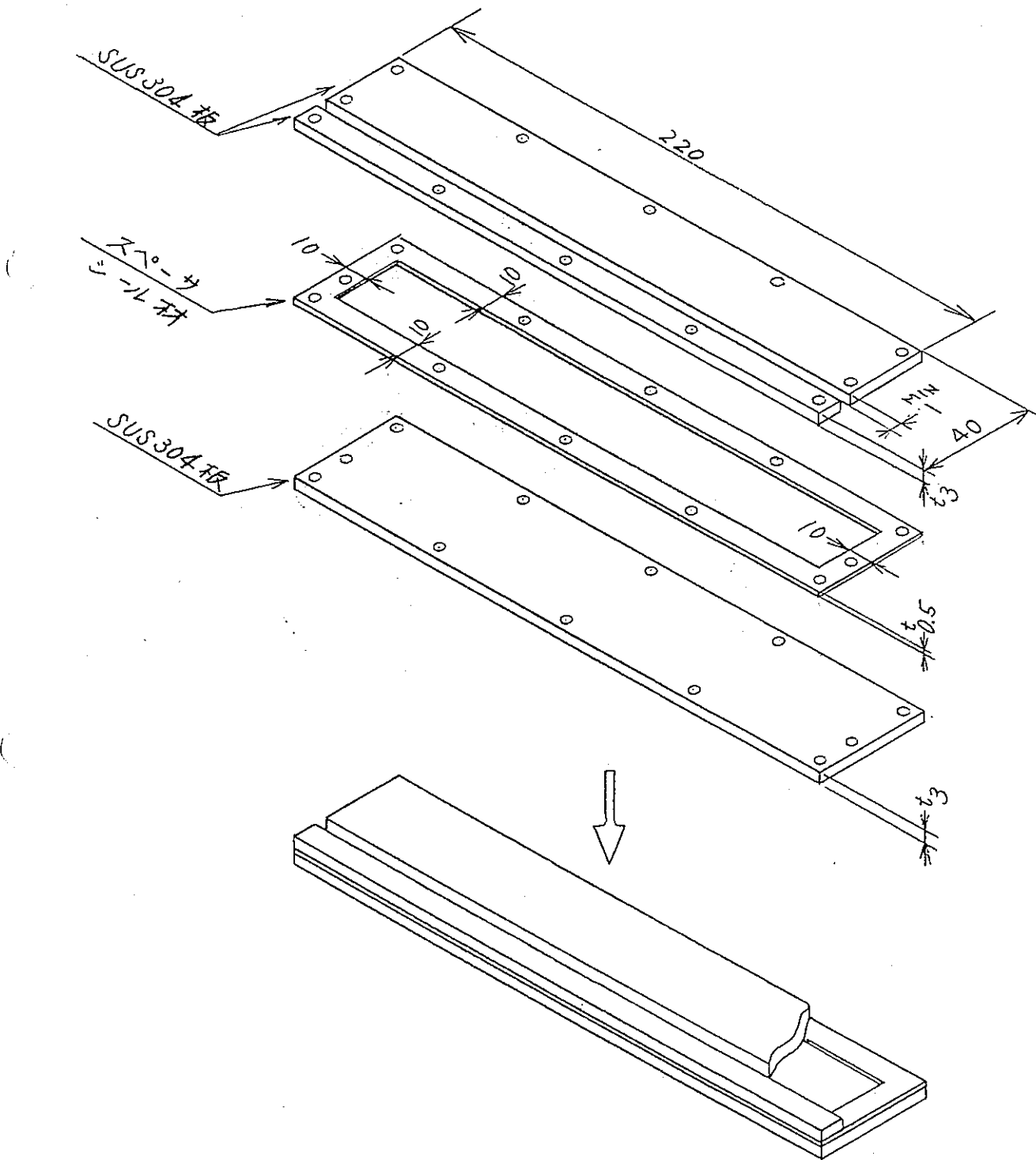
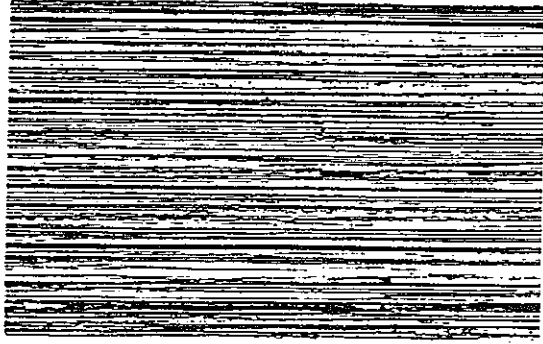


図 3 - 10 浄化特性再確認のための隙間部模擬試験体

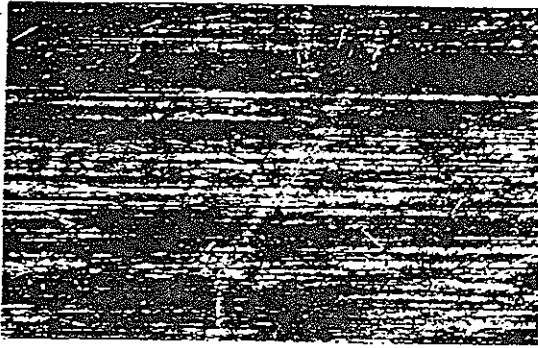
応力腐食割れ試験：鋭敏化SUS304



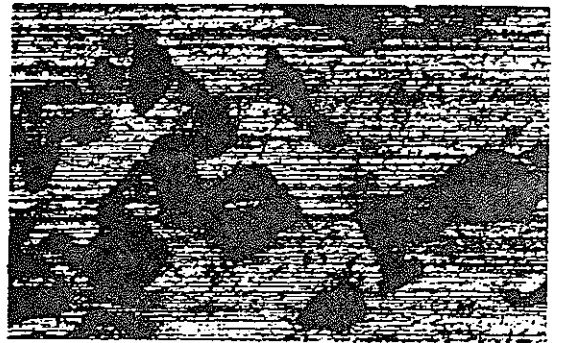
試験前

クリデコン 203 10<sup>1</sup> ppm 試験後

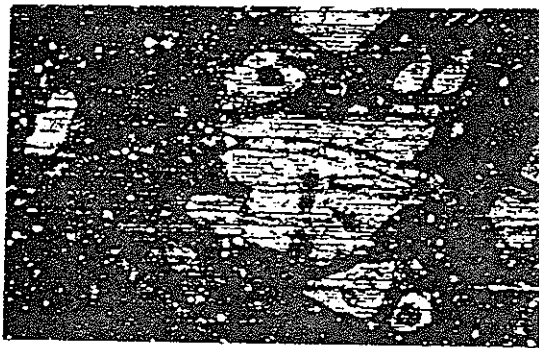
脱塩水試験後



試験片 1



試験片 4



試験片 2



試験片 5



試験片 3



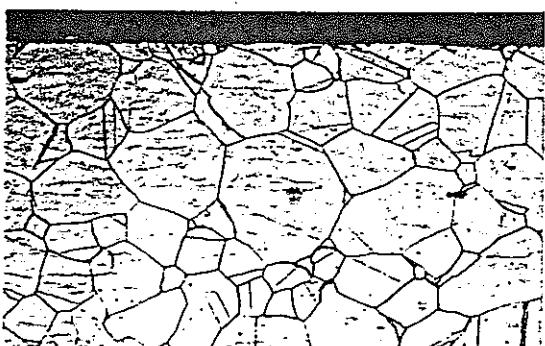
試験片 6

応力腐食割れ試験：鋭敏化SUS304



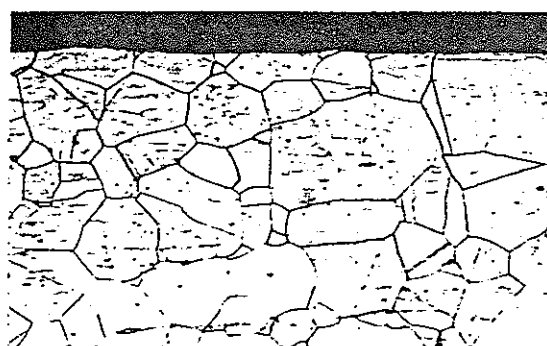
試験前

クリデコン 203 10 ppm 試験後

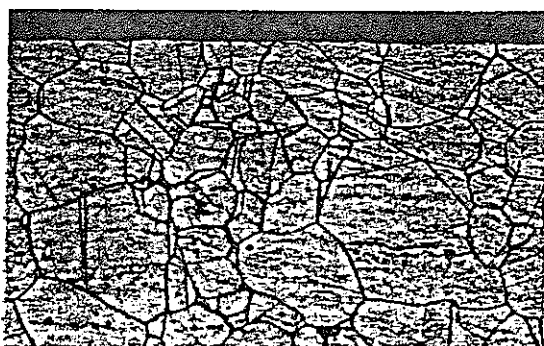


試験片 1

脱塩水試験後



試験片 4



試験片 2



試験片 5



試験片 3



試験片 6



## SUS304材に吸着するインヒビタ量の測定結果

### 1. 概要

系統除染操作時にSUS304材に吸着するインヒビタ量を測定するために、直径100 $\mu\text{m}$ 以下の粉状鋭敏化SUS304材、約10gをインヒビタ500ppmを含むクリデコン203溶液で120 $^{\circ}\text{C}$ 、24時間除染したあと、静置水中で2時間洗浄、冷風中での乾燥操作後にその一部を分取し、質量分析計を用いて、粉状SUS304材に吸着しているインヒビタ量を測定した。

### 2. 分析

前述の分取試料44mgを質量分析計で測定した結果、試料中に吸着されているインヒビタ量は、3ng以下であることがわかった。

### 3. 評価

粉末試料の形状を直径100 $\mu\text{m}$ の球体と安全側に考え、粉末1個あたりの体積 $V_p$ を求めると、

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (5 \times 10^{-3})^3 \\ &= 5.2 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

粉末1個あたりの重量 $W_p$ は、SUS304材の密度7.8g/cm<sup>3</sup>を用いて

$$W_p = V_p \cdot 7.8 = 4.1 \times 10^{-6} \text{ g/個}$$

質量分析に供試した粉末粒子数 $N_p$ は、

$$N_p = 0.044/W_p = 1.1 \times 10^4 \text{ 個}$$

粉末1個あたりの表面積 $S_p$ は、

$$S_p = 4 \cdot \pi \cdot (5 \times 10^{-3})^2 = 3.1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

粉末の全表面積 $S_{\text{tot}}$ は、

$$S_{\text{tot}} = S_p \cdot N_p = (3.1 \times 10^{-4}) \cdot (1.1 \times 10^4)$$

$$= 3.4 \cdot \text{cm}^3$$

検出下限値が 3 ng となる測定条件で定量した結果、検出下限値を下回っていたので、インヒビタの検出量 A を 3 ng とする。

この時のインヒビタの吸着密度 D は、

$$\begin{aligned} D &= A / S_{\text{tot}} = 3 / 3.4 \\ &= 0.88 \text{ ng/cm}^2 \end{aligned}$$

ソケット溶接部の隙間部の比液量 Vc は、配管径により、

$$3/8 B : 0.0123 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$$

$$1/2 B : 0.0124 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$$

$$3/4 B : 0.0124 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$$

$$1\frac{1}{2} B : 0.0124 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$$

と 0.0123 ~ 0.0124 cm<sup>3</sup> / cm<sup>3</sup> であるので Vc = 0.01235 cm<sup>3</sup> / cm<sup>3</sup>。

隙間部で 0.88 ng / cm<sup>3</sup> のインヒビタが全て溶出したとすると、隙間部の濃度 Cc は、

$$\begin{aligned} C_c &= D / V_c = 0.88 / 0.01235 \\ &= 71.5 \quad \text{ng/cm}^3 \\ &= 71.5 \quad \text{ppb} \end{aligned}$$

S 含有量は、インヒビタの 2wt% であるので S 分濃度 Cs は、

$$C_s = 71.5 \frac{2}{100} = 1.4 \text{ ppb}$$

Cs に対応する SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の濃度 C<sub>SA</sub> は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> の分子量 96 および S の原子量 32 を用いて

$$C_{SA} = C_s (96/32) = 4.2 \text{ ppb}$$

以上のように、除染後約 2 時間水洗した鋭敏化 SUS304 表面で検出されたインヒビタ成分は、極く微量であった。

以上

#### 4. 溶出放射能の形態

系統除染により溶出する放射能は、ほとんどがイオンとして溶出する。このことは、昭和58年度に実施した配管除染試験及び昭和63年度第7回定期検査時に実施した原子炉冷却材浄化系熱交換器の除染実証試験等により確認されている。

配管除染試験は、図4-1に示すような除染ループを用いて、長さ約1mの配管材を0.1%濃度のクリデコン203を用い温度120°Cで除染したものである。この除染試験では、除染中浄化操作は行わず、除染操作終了後に除染液の浄化操作を行った。浄化操作を行う前に除染試験ループから採取した除染液の分析結果を表4-1に示す。表4-1より溶解しているクラッド状鉄の濃度は、イオン状鉄濃度の1%以下であることがわかる。

原子炉冷却材浄化系熱交換器の除染実証試験は、図4-2に示す除染ループを構成して熱交換器管側の除染を行った。この除染作業では、除染中浄化法を採用し、第8回定期検査時に実施する計画である原子炉冷却系系統除染と同様の化学除染を行った。

除染工程前の昇温操作時にフィルタへの通水を行ったところ系内に堆積していたクラッドがフィルタに捕捉され、除染作業場付近に仮設されていたフィルタ表面の線量当量率が上昇する現象が見られた。このため、フィルタへの通水を停止してから、クリデコン203を薬注して除染工程に移行し、除染工程終了後に除染液をフィルタに通水してフィルタ自身を除染した。このような操作に伴う除染液中Co-60濃度の変化を図4-3に示す。

樹脂塔及びフィルタに捕捉された鉄量及び放射エネルギーをそれぞれイオン分、クラッド分として表4-2に示した。表4-2から、フィルタに捕捉された鉄量及び放射エネルギーは、それぞれ全体の7%、5%程度で、大部分はイオン状で除染液中に溶解していたことがわかる。

上記の結果より、系統化学除染条件での除染操作中には系統内に付着

している放射能は、大部分イオンの形態で溶出するので、除染剤が溶解しうる鉄酸化物量に相当する放射エネルギーを大きく上回って放射性核種が除染液中に溶出することはないと考えられる。

表 4 - 1 除染工程終了時の除染液中鉄濃度測定結果  
(配管除染試験)

除染対象物	余熱除去系配管	原子炉冷却材浄化系配管
クラッド分	0.12 ppm	0.06 ppm
イオン分	29 ppm	63 ppm
合 計	29.12 ppm	63.06 ppm

表 4 - 2 除染工程終了時の除去鉄量及び放射能量  
(第7回定期検査時原子炉冷却材浄化系熱交換器除染)

	除去鉄量	除去放射能量
クラッド分	55 g	0.07 Ci
イオン分	698 g	1.46 Ci
合 計	753 g	1.53 Ci

← 除染ループ系 → 廃液処理ループ系 → 廃液処理槽 ユニット

試験槽    加熱器    熱交換器    循環タンク    フィルター    イオン交換樹脂塔    廃液処理槽  
腐食モニター    除染ループ系循環ポンプ    廃液処理ループ系循環ポンプ    第1塔    第2塔

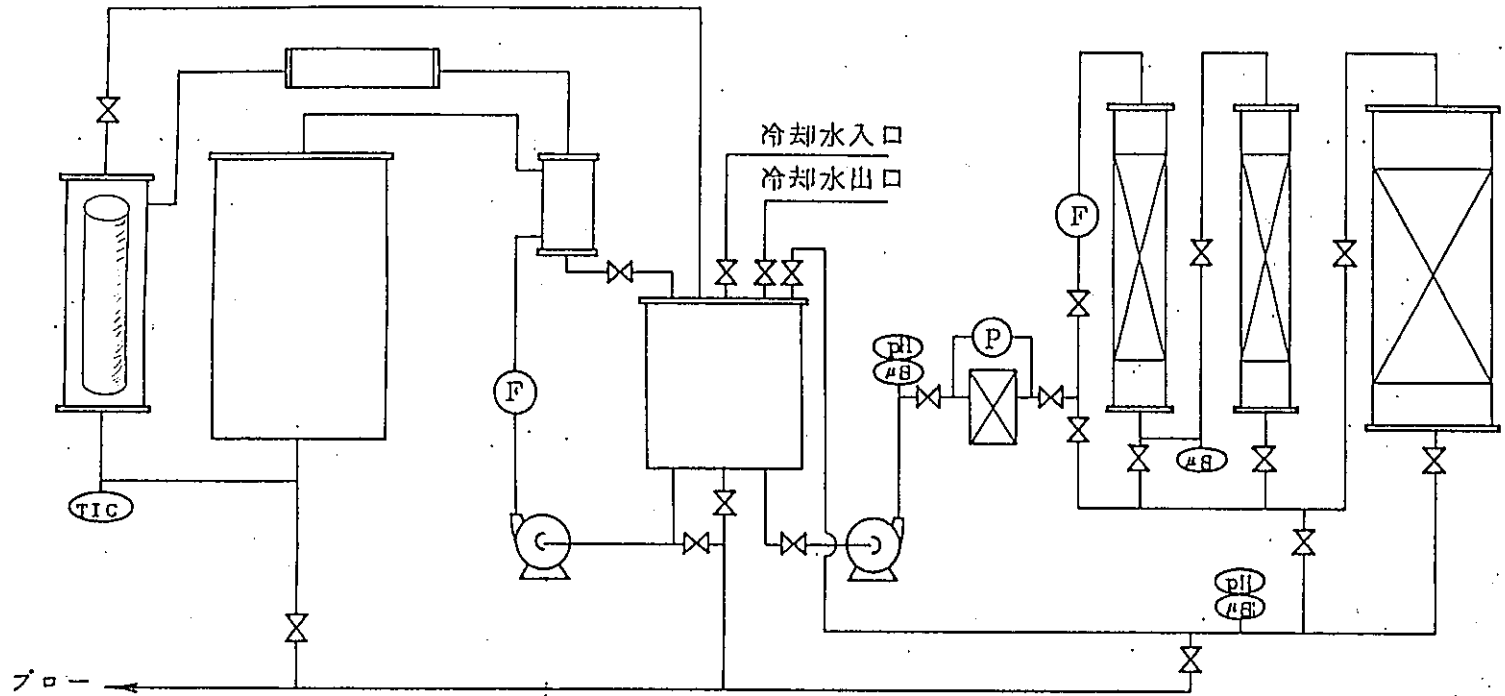


図 4 - 1 配管除染試験ループ概要図

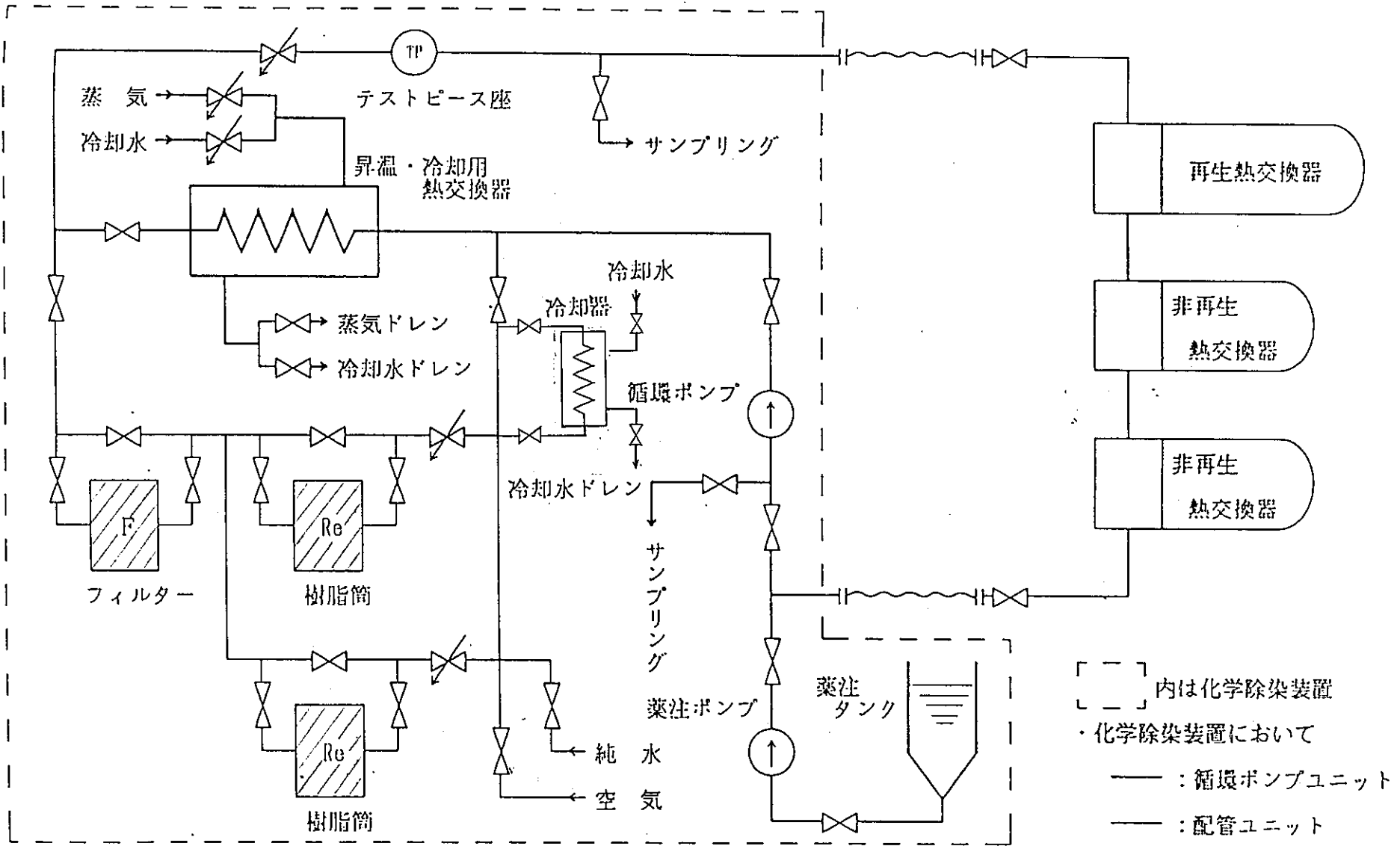


図 4 - 2 除染実証試験ループ構成図  
 (第 7 回定期検査時原子炉冷却材浄化系熱交換器除染)

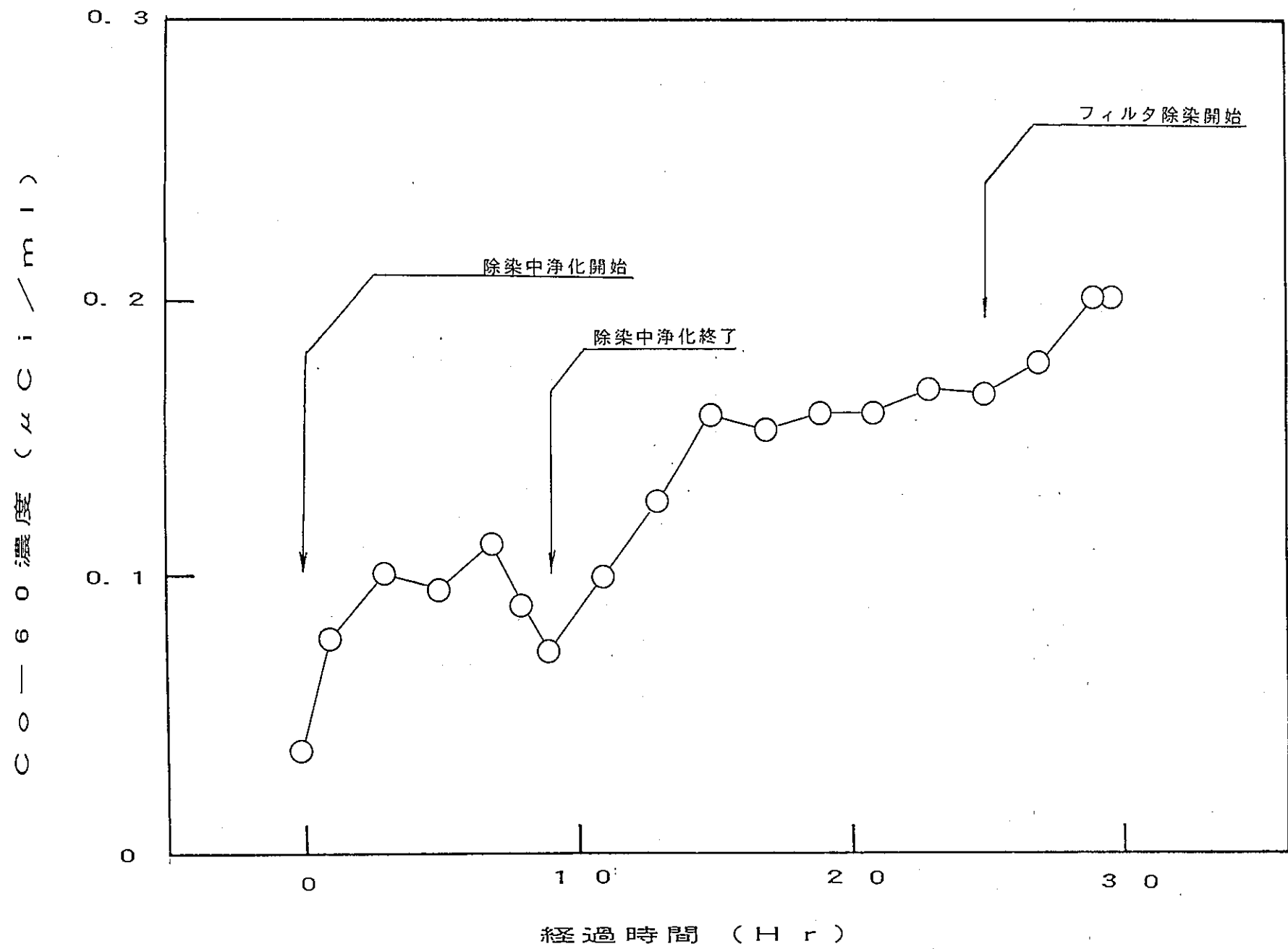


図 4-3 除染工程時のCo-60濃度の推移



## 参 考 文 献

## 参 考 文 献 目 次

文献 - 1	(EPRI NP-4222 Vol. 1) Compilation of Corrosion Data on CAN-DECON™ .....	1
文献 - 2	(EPRI NP-4222 Vol. 2) Compilation of Corrosion Data on CAN-DECON™ .....	3
文献 - 3	(Water Chemistry II, BNES 1980) The radiation chemistry of a corrosion inhibitor (2-mercaptobenzothiazole).....	5
文献 - 4	(EPRI Seminar BWR Corrosion Chemistry and Radiation Control Seminar Proceedings Palo Alto, California October 8-10, 1984) .....	6
文献 - 5	N I C 原子力施設における除染技術 除染技術の現状と各種除染技術 .....	7
文献 - 6	(EPRI NP-3008 Chemical Cleaning Demonstration Test No2 in a Mock-up Steam Generator) .....	8
文献 - 7	(Nuclear Engineering international January 1989) Chemical Cleaning a major tool for plant life extention .....	9
文献 - 8	低合金圧力容器鋼材 - 水系における環境要因に支配される 割れ発生機構に関する共同研究の概要 (要約) .....	10
文献 - 9	Effect of Temperature and Ionic Impurities at Very Low Concentrations on Stress Corrosion Cracking of AISI 304 Stainless Steel .....	16

Compilation of Corrosion Data on CAN-DECON™

Volume 1 : General, Galvanic, Crevice, and Pitting Corrosion Data from CANDU and  
BWR Tests

概 要

本レポートは、原子炉構成材料の健全性に及ぼすCAN-DECON 除染の影響を評価した結果の第一報で、除染中における全面腐食、局部腐食の評価を中心に、室内試験及び米国BWRの実機系統除染時にモニタした試験片による評価結果が述べられている。

結論的には、主要な構成材料はいずれもCAN-DECON 除染によって、健全性が損なわれることはないとしているが、インヒビタに関する情報として次の記載がある。

- (1) 原子炉構成材料の中では、炭素鋼が最も腐食され易いが、インヒビタを添加することにより、許容できる腐食速度まで低減可能である。
- (2) 1981年、米国Brunswick(BWR)の原子炉冷却材浄化系のCAN-DECON 除染にはインヒビタが使用され(表-1)、除染中の腐食速度は、SUS304が0.098  $\mu\text{m}/\text{h}$ 、炭素鋼が2.31  $\mu\text{m}/\text{h}$ であった。
- (3) 同プラントの補助蒸気システムのCAN-DECON 除染において、同システムの主要構成材料が炭素鋼であるためインヒビタ(ロージン31A:0.03%)を添加した(表-2)。除染中の腐食速度は、1.0  $\mu\text{m}/\text{h}$ であった。

表-1 除染条件と結果 (原子炉冷却材浄化系)

パラメータ	除染前	除染中	除染後	不動態化 処理中	不動態化 処理後
温度 (℃)	93	121	77	138	49
時間 (h)	—	22.0	—	24.0	—
pH	8.5	3.0	6.0	90	8.0
導電率 (μS/cm)	150	900	15	100	10
除染剤 (wt%)	0	0.1	<0.005	0	0
DO (ppm)	<50	0	0	0	0
ヒドラジン (ppm)	100	—	—	150	—
インヒビタ (ppm)	0	100	0	0	0
溶出Fe (ppm)	<1	150	<1	15	<1
溶出Co-60 (μCi/ml)	$1 \times 10^{-5}$	0.1	$1 \times 10^{-3}$	—	—

表-2 除染条件と結果 (補助蒸気システム)

パラメータ	除染前	除染中	除染後
温度 (℃)	93	121	77
時間 (h)	—	80.0	—
pH	8.6	2.8 - 3.6	6.5
導電率 (μS/cm)	1100	700 - 1500	15
除染剤 (wt%)	0	0.15	0
ヒドラジン (ppm)	100	—	—
インヒビタ (ppm)	0	300	0
溶出Fe (ppm)	<1	287	<1
溶出Co-60 (μCi/ml)	$1.49 \times 10^{-6}$	$7.45 \times 10^{-4}$	ND

Compilation of Corrosion Data on CAN-DECON™

Volume 2 : Influence of CAN-DECON on Stress Corrosion Cracking-Summary of  
Testing, 1975-1983

概 要

本レポートは、CAN-DECON による材料健全性評価シリーズの第2報で、1975～1983年に  
行われたSCC 関連の試験データが含まれるが、実機における実績データは記載されてい  
ない。

インヒビタに関しては、次の試験結果が述べられている。

- (1) 電気炉で鋭敏化(621℃×24h)したSUS304試験片を用い、ベントビーム法によりCAN-  
DECON プロセスにおける粒界腐食(IGA) 感受性を調べた。
- (2) その結果、インヒビタ無添加では、最大50μm のIGA を生じたが、インヒビタ(  
ロージン31A)0.02% の添加により、IGA が軽減される傾向が認められた。(表-1)
- (3) なお、インヒビタは含まれていないが、除染剤が系統内に残留した場合を想定し、  
使用濃度(0.1%)の1/1000希釈液を用い、CBB 法により288℃、DO:8ppm の条件下で、  
SCC 感受性を調べたところ、純粋に比べむしろ感受性が弱まる結果が示されている。  
(表-2,3) ただし、このとき1/1000濃度の希釈液に設定した根拠については、触れら  
れていない。

表-1 ベントビーム試験片の検鏡結果

表面処理	インヒビタ	結 果
研 磨	無	シャープなIGA (1~2 mils)、粒界に孔食
研 磨	有	全面腐食及び孔食
皮膜付与	無	シャープなIGA、粒界に孔食
皮膜付与	有	浅いIGA及び孔食

表-2 CBB試験片の熱処理条件

材 質	熱 処 理 条 件
SUS304	650℃×3h、空冷 650℃×10h、空冷
インコネル600	650℃×3h、空冷 620℃×24h、空冷
インコネルX-750	985℃×1h、空冷 +705℃×70h、空冷

表-3 残留液によるCBB試験結果 (割れ試験片数/供試試験片)

材 質	純 水	Nutk L-106	LND-101
SUS304	10/10	14/14	6/14
SUS304	10/10	5/7	3/7
インコネル600	10/10	2/7	0/7
インコネル600	8/10	0/7	0/7
インコネル600	5/8	—	—

(DO: 8ppm, 289℃, 500h)

The radiation chemistry of a corrosion inhibitor (2-mercaptobenzothiazole) used in decontaminating solutions of nuclear power reactors

G. G. Jayson, P. McAteer, A. Wood

### 要 旨

WinfrithのSGHWRでは、Turco4521を除染剤として用いてきた。この中には、シュウ酸、クエン酸のアンモニウム塩とcorrosion inhibitor(腐食抑制剤)として2-メルカプトベンゾチアゾールが含まれる。除染の際に用いる2-MBT(例えば濃度は $\sim 2.4 \times 10^{-4} \text{mol/dm}^3$ )は放射線照射により分解される。

酸素が存在するとbenzothiazoleやdisulphide 2, 2' dithiobis(benzothiazole)は主な放射線分解生成物である。水中で生成する主なラジカルはフェントン反応で確認されたthioether 2, 2' thiobis(benzothiazole)のpHも示した。

酸素が存在しない場合、2-MBTの放射線分解は酸中で45%、中性とアルカリ性溶液中では94%下げられる。

benzothiazoleが主な分解生成物であるが、同量のhydrogen sulphideと微量のhydrogen disulphideが検出された。これらの反応メカニズムを実験的に確かめた。さらに、この研究で少量のcysteamineが2-MBTの分解を低減することが判った。

除染液中の2-MBTの放射線分解を減少させるためには、

- ① 酸素濃度を可能な限り下げる。
- ② pHをできるだけ高くすることと放射性腐食生成物を溶かすのにキレート剤を用いる。
- ③ 保護剤としてcysteamineをもちいる。

### 要 旨

Dresden-1発電所は、1973年にDowによる最初の除染計画(プロジェクト)がスタートして11年後の1984年にNS-1を用いて除染を行った。

除染は炉の一次冷却系(原子炉、蒸気発生器の一次側、ダウンカマー、ライザー管、スチームドラム)を対象に行った。

その結果、除染中の放射エネルギーは $2.33 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ であり、アクティビティの99.0%はCo-60であった。除染は約100時間を要し、トータルCi数は726Ciであった。

鉄イオン濃度としては約650ポンド(液量82500ガロン)、ニッケルイオンとしては約300ポンド除去された。

銅イオンは、除染時は約300ポンド除去されたが、ボトムのスラッジの約50%は銅イオンであった。

次に、1984年2月にPilgrim発電所の再循環系の除染をNS-1で行った。除染は54時間行い、除去された放射エネルギーはCo-60 39.3Ci, Fe-59 31.2Ci, Mn-54 3.3Ci, Co-58 2.8Ci, Zn-65 0.8Ciであり、実際の除染係数はライザー管エルボで8~16、ライザー管で47~100、リングヘッダーで21~23、リングヘッダー下部再循環系管で11~100であった。

また、BostonのRCUシステムをNS-1で除染した。除染は常温で14時間行ったが、除去放射エネルギーは2~4Ci、除去係数は2~20であった。



除染技術の現状と各種除染技術

要 旨

各種除染法の概説とBWRとPWR用除染剤を表示しているその中に、アメリカのDOE, Dow Chemical社が開発したNS-1濃厚液の組成、除染条件、適用経験等が示されている。

	NS-1	{	キレート化剤 有機酸 インヒビタ 界面活性剤	7 wt%	120℃	100~200h
[	スイス SFIRR	ギ酸	{	ギ酸 2 M ホルムアルデヒド 0.1 M インヒビタ 0.01 M		40~100℃ >100h
		dilute NS-1	{	キレート化剤 有機酸 インヒビタ 界面活性剤	7 wt%	120℃ 24h
[	西独 KWU	AP-AC (改良)	還元性有機酸 キレート化剤 インヒビタ (pHはアンモニアで調整)	40~60g/ℓ	40~100℃	6~8h
		AP-Citrox (改良)	シュウ酸 クエン酸 2 アンモニウム 硝酸第2鉄 ジエチルチオ尿素	25g/ℓ 50g/ℓ 2g/ℓ 1g/ℓ	85℃	1~4h

濃厚液法の除染剤には、材料腐食抑制のためにインヒビタが必ず含まれている。

要 旨

Steam Generator (SG) の化学洗浄についてのモックアップテストの結果を述べたもので、銅除去のための EDTA / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ベースの中性液と、マグネタイトや隙間部の洗浄剤として EDTA / N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> を用いる。

これらの液中の 3 種類のインヒビタ

OS 1 - 1	(Halliburton)	0.3 %
CCI - 801	(Tretolite)	0.5 %
Tetracmidazoline		0.6 %

について評価した。

インヒビタに関する結論として

- Tetracmidazoline はマグネタイトや隙間部の腐食抑制剤として好ましくない。
- CCI - 801 と新しい Tretolite のインヒビタは、化学洗浄用腐食抑制剤として使える。

これらのテストに、電気化学的測定法は洗浄方法を特定するのに有効な手段であった。

評価条件

EDTA	10 %
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2 %
pH	6 (NH <sub>4</sub> OH で調整)
温度	93 °C (200 °F)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	5 g/l
時間	54 時間

INHIBITR INTERETATION CORROSION RESULTS

Material	Corrosion (mils penetration)					
	Tetracmidazoline μ		OS 1 - 1 μ		CCI - 801 μ	
A-36 Support Plates	1.1	27.9	0.5	12.7	0.5	12.7
515 Ring Specimen	0.7	17.8	0.4	10.2	0.4	10.2
516 Ring Specimen	1.2	30.4	0.3	7.6	0.3	7.6
5158 Ring Specimen	5.8	147	0.8	20.3	0.1	53.3
516/508 Weld Ring	1.4	35.6	0.5	12.7	0.5	12.7
516 Tubesheet	1.3	33.0	0.2	30.5	0.8	30.3

Chemical Cleaning a major tool for plant life extention

要 旨

PWR SG 2系の化学除染は、1978年DOEとConsolidated EdisonによりIndiann Point1で大規模な洗浄をこなった。

1979年には、AEC LとOntario HydroもCANDU PHWRのSGを洗浄した。これらの溶液組織は類似しているが、両方とも銅沈澱物を除去するための還元性酸液である。

1978年にEPRIのSGオーナーズグループ(SGOG)がWH, GEとBW協同でこのプログラムを進め、SGOG法として次のような仕様を確立した。

- (1) 鉄と銅スラッジを除くため、別々の溶剤を用いる。
- (2) 低温 (<100℃) で仕様する。
- (3) 鉄用酸性液に腐食抑制剤(インヒビタ)を添加する。

西独のKWUもこの開発を行っており、銅を除去するのに60℃以下、鉄を除去するのに150~200℃で行った。

KWUとEPRI-SGOGの違いは、EPRIはインヒビタを用いるがKWUはインヒビタを用いない。

実績は以下のとおりである。

Table 1. Recent steam generator cleaning project

Date	Plant	Sludge removed (lb)			Contractor
		SG 1	SG 2	SG 3	
1985	Millstone	688	654		PNS <sup>a</sup>
1986	Neckarwestheim	921			KWU <sup>b</sup>
1986	Almaraz 1	2420	2917	2132	KWU <sup>c</sup>
1987	Stade		1389	2249	KWU <sup>b</sup>
1987	Maine Yankee	2012	1290	2105	PNS <sup>2</sup>
1987	Oconee	3332	3316		Duke/BW <sup>d</sup>
1987	Almaraz 2	2460	2645	2751	KWU <sup>c</sup>
1988	Ringhals 3	744	794	943	KWU <sup>b</sup>
1988	Almaraz 1	1233	1172	1105	KWU <sup>b</sup>
1988	Ringhals 4	Data not available			KWU <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tubesheet region only. Iron plus copper SGOS solvent

<sup>b</sup> Full tube height. Iron only KWU solvent

<sup>c</sup> Full tube height. Iron plus copper KWU solvent

<sup>d</sup> Full tube height. Iron only SGOS solvent

Some totals include sludge removed by immediately before and/or after chemical cleaning

文献 - 8 低合金圧力容器鋼材 - 水系における環境要因に支配される  
割れ発生機構に関する共同研究の概要 (要約)

F. P. Ford,

GE Research and Development Center Schenectady New York  
NUREG/CP-0067 MEA-2090 Vol.2 April 1986.

「このレビューでは、原子炉圧力管容器の繰り返し荷重に対する寿命評価を基本的な課題ととらえ割れの進展の機構として、すべり面溶解(皮膜破壊)モデル、水素脆化モデル及び環境加速型割れモデル等の現状を紹介し、それぞれの妥当性について解説している。低合金鋼の破壊は、金属母材等の中に不純物として存在する硫化マンガン(MnS)が割れ進展に大きくかかわる。また、き裂内に0.5~15ppm存在する硫酸イオン等も割れの進展を加速する因子となっている。これらの項目は、「ふげん」の系統除染を考える上で必ずしも直接的に関連する議論ではないが、き裂先端の環境評価の項は、硫酸イオンの隙間内の挙動と関連が深いので訳文をAbstract及び結論部分とともに付す。」

Abstract.

本報は、国際繰り返しき裂進展速度検討会(Int. Cyclic Crack Growth Rate Group)の機構検討サブ委員会のメンバーによって実施された共同研究のレビューである。この作業の主要な目的は、288℃の低合金鋼/水系において静的あるいは繰り返し応力を負荷することにより発生する環境支配の最大き裂進展速度を基本的な原理に立ち返って求めようとする事である。これらの理論的 maximum 最大き裂進展速度は、現行のASME XIの寿命評価コードの妥当性を評価するのに用いられる。

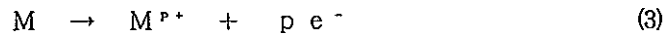
調査は次のような項目を中心に実施された。

- (a) 環境要因支配によるき裂についての理論を構築すること。
- (b) き裂先端部の環境の状態を知り、き裂進展理論と整合性のとれた反応速度を求めること。
- (c) 実測値と理論値を比較することにより理論の妥当性を定量的に評価すること。
- (d) 環境要因支配によるき裂進展速度の理論的 maximum 最大値を求め、これらと現行の寿命評価コードの値と比較すること。

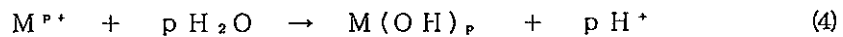
サブ委員会にとられたデータをベースにして、すべり溶解(皮膜破壊)モデルが、き裂進展の機構を説明するものとして最も妥当と思われるとの結論が得られた。しかしながら、高イオン含有鋼のような特殊な条件では、環境要因加速き裂によるその他のき裂進展要因が作用している可能性がある。このような側面があるものの、現行のASME XIコードは極端な繰り返し荷重条件においても妥当な値を与えるものと考えられる。

## き裂先端環境の評価

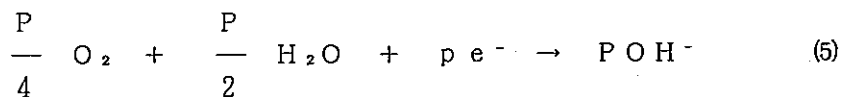
発生期のき裂またはクレビス内の環境は、Fig. 11に示す内部電池 (occluded cell) を形成する条件を満足する。(Ref. 47, 50) 例えば、内部電池内の先端部における電位とpHは、次の反応に支配される。



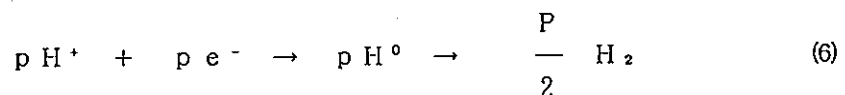
更に、



これらの逐次反応により、内部電池内の先端では、酸性条件が発生し、維持されるので、一定の基準が満足される。まず、(3)式に示される酸化反応をひきおこすためには、還元反応が生じている必要がある。BWR系では、き裂入口部における溶存酸素の還元反応がこれに該当する。



従って酸素濃度の高いBWRの運転条件下では、比較的高抵抗の電解質を含む場合に、き裂の長さ方向に対して電位の低下が生じるであろう。PWRのように溶存酸素濃度が存在しない場合には、(4)式に示される加水分解がき裂先端で生じることにより発生するH<sup>+</sup>イオンは局所的還元反応により消費される。



従ってこのような特殊な条件では、き裂の長さ方向に対する電位の低下はほとんど生じず、き裂先端における酸性化も生じにくいであろう。

さらに酸性化を考える上で追加すべき事項は、内部電池の中の全部分において電気的中性条件が必ず成立することである。従って、き裂先端における酸性発生のためには、(4)式で発生する加水分解によるH<sup>+</sup>とバランスするためにOH<sup>-</sup>以外のアニオンが必要である。

例えば、復水器のリークや樹脂の流入によるCl<sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の流入は、BWR環境下においてOH<sup>-</sup>以外のアニオン供給源となるであろう。MnS含有領域からの溶液への溶解は、硫黄を含むアニオンをき裂先端の環境へ供給する別のルートとなりうる。

Taylorらは酸素含有水中に浸漬されたステンレス鋼の電位とpHを直接測定することによりこれらの理論を実験的に実証した (Ref. 47, 50-52)。Fig. 12において、288℃曝気水中におけるき裂入口及びき裂先端の電位とpHの変化をプルベール線図上で結線することにより示した。この図において、き裂は、最初酸性硫酸ソーダ溶液に浸漬されており、き裂内の電位及びpH値は、Fe/Fe(II, III)酸化状態と対応しており、腐食性のあることを示している。き裂先端における電位とpH値は、浸漬時間とともに変化するが、これは、き裂入口の酸素の多い箇所と、酸素が消費されて低濃度であるき裂先端との電位差により生じる酸化/加水分解反応によるものである。この図で注目すべき点は、き裂先端における酸性条件は理論値として得られる電位/pH値に保持されていることである。一方、初期にすき間内がそれほど腐食性ではない0.01mNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液で満たされている場合には、異なる挙動をすることが確認されている (Fig. 13)。この場合、き裂先端の電位は比較的不活性で、電位とpHの軌跡は、Ni/Ni(II)の平衡状態に対応する。Ni/Ni(II)の平衡電位は与えられたpHに対してFe/Fe(II, III)の値よりも正側にあるので、この場合には、内部の電位がき裂進展に伴う酸性状態に対応する外部電位値に近づくことができる。一旦、このような電位平衡が発生した場合には、さらに金属の加水分解反応によって酸性条件を作り出すための外部マクロセルからの推進力は存在しない。従って、き裂先端における酸性物質は、き裂入口部で発生する溶存水素の酸化反応により生じるH<sup>+</sup>の還元により消費されることが再現性よく確認されている。ニッケル基合金及びインコネル600に対してもFig. 13の電位/pH軌跡と同様な関係が得られている。

これらと同等な圧力容器鋼の曝気水環境下における電位とpHの同時測定はなされていない。しかし、Gobetta (Ref. 49) は、曝気水中でのA533B鋼のき裂方向に対する電位降下の測定を行い、き裂方向に対して実際に電位変化のあることを確認した。酸性条件の発生は、OH<sup>-</sup>以外のアニオン種の存在を想像させるが、この系に対してOH<sup>-</sup>以外のアニオン種は、測定されていない。Fe/Fe(II, III)の酸化・加水分解反応が主要なものと考えられるが、Taylorは (Ref. 50) においてクロム陽イオンの強い加水分解性がFig. 12の結果に影響を与えていると指摘している。これが正しいのであれば、低合金鋼中のき裂内酸性度は、ステンレス鋼のものに対して小さくなると考えられる。

内部電池中の固有の電位及びpH値を求めるためのこの仮説をもとに脱気されたバルク溶液の場合には、き裂内の電位pH値は、き裂入口部の値と同一になると考えられる。この事象については、Combrade(Ref. 53)によってA508鋼の288 °C PWR 水質環境下でのTaylorらのものと類似したチューブ状試験片を用いた試験により確認されている。これらの研究によってき裂先端における電位は、開放金属表面における電位値と等しく、その値は、水素ガスのフガシティとpHで定まる  $H^+ / H_2$  平衡反応による可逆電位に相当する。Gabetta は、また脱気系における腐食疲労の進行時には、き裂入口部とき裂先端の間には、最小電位差のあることを確認した。脱気水中における疲労き裂が進行しているき裂先端の低電位は、Hanninen(Ref. 55)らの破断面へ付着したマグネタイト(ヘマタイトではなく)の観察により示されている。

$OH^-$  以外のアニオン、とくに硫黄をふくむアニオンのき裂内における挙動は、注目されている問題である。これの端的な例としてScott らは、1ppm以下程度の低濃度の硫酸イオンをバルク溶液中に加え疲労き裂進展速度が増加することを示した。さらに、破面観察、熱力学的計算及び溶解過程の観察を通じ、 $MnS$  不純物は、288 °C の高温水中で溶解し、き裂内で硫黄をふくむアニオンを生成することを確認した。後続の室温条件におけるイオンクロマトグラフィーによる実験により、種々の鉄ベース合金のき裂内に純水をみだし288 °C に加温すると $MnS$ 不純物の溶解により、0.5 ~14ppm の硫酸イオンが生成することが示された。(ここで硫酸イオンが検出されたのには、溶液(aliquot) が空気にたいして開放されていたことに注意すべきである) さらにPumphrey等の不純物溶解速度は、pHが低下することにより増加することを示した。装置内のラーマンスペクトルをとることには失敗したが、硫黄含有アニオンが288 °C の高温き裂内でどのような形で存在するかが調査された。このことは、脱気水中におけるき裂先端の電位範囲内では、 $H_2S$  は安定に存在しうるが(Ref. 52) さらに、き裂先端近傍のマグネタイト皮膜を分析することにより硫化鉄(Ref. 55)の存在が認められる。これは、硫黄分が多い条件では、熱力学的に安定な形態である。

要約すると、A533鋼(又はA508)の静止脱気水中(又はPWRの冷却水条件下)では、電位-pH条件は、Fig. 14とFig. 15の斜線部に入ると考えるのが妥当である。硫黄を含むアニオンは、 $MnS$ の溶解により生成する。これらの平均隙間内濃度は、0.5 ~15ppmの範囲内にあり、この量は溶液にさらされる $MnS$ の量に依存する。き裂にそって電位低下が生じる場合には、き裂先端における高濃度が予想される。Fig. 14から見られるように、水が還

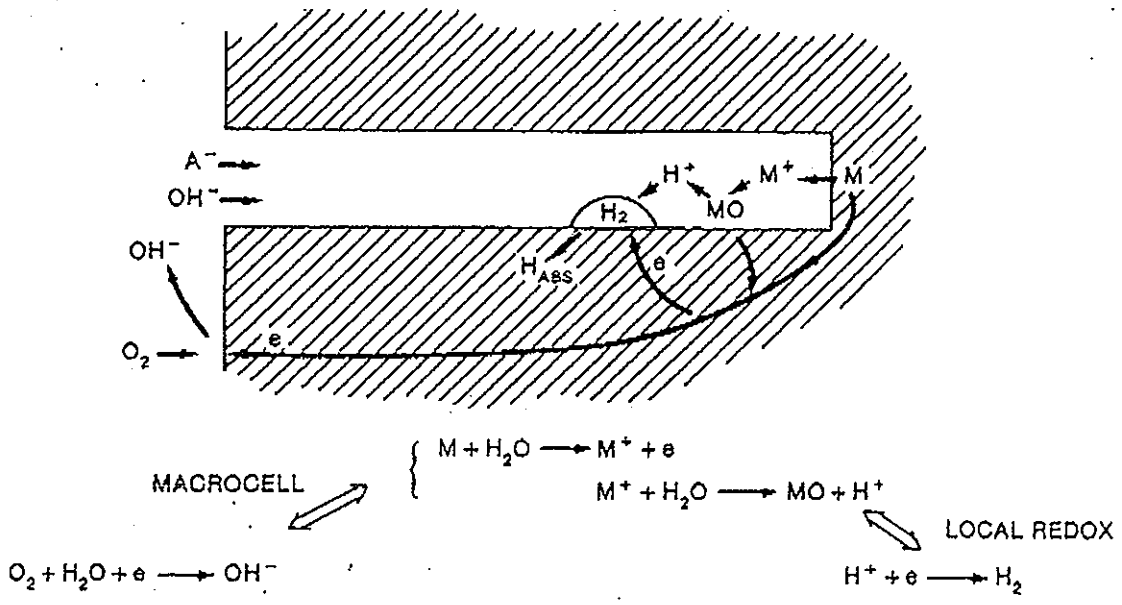
元されて吸収水素となることは熱力学的には可能で、Fig. 15よりマグネタイト/硫化鉄の混成皮膜は熱力学的に安定である。バルク溶液が曝気されている時には、き裂内のpH/電位関係は、酸性側に移行し、pH値は2～3に達する(Fig. 12)。従って、少なくとも静止水中の条件下で熱力学的なき裂内環境の考察を行う限り、いずれの仮説も妥当でないとは断定できない。

### 結論および今後の課題

1. 環境条件によって加速されるき裂に関する皮膜破壊(すべり面溶解)モデルによる腐食疲労によるき裂進展速度予測値は、実測値に対しファクター3の範囲で一致する。この予測は、 $\Delta K$ ,  $R$ , 及び負荷周波数の適当な範囲での288℃でのA533B/脱酸素水系において適用できる。負荷周波数の減少とともに $(da/dN)_K$ 値が増加することを予測できるとともに、このような負荷周波数の変化に伴ってしきい $\Delta K_0$ 値が増加することも予測可能である。ただし、後者については、き裂先端の鈍化を表現するためにしきい $\Delta K_0$ 値の設定に幾分の任意性のあることに注意すべきである。他の限界としては、き裂の進展停止や既存のき裂から派生する統計的な事象等については未だ定式化されていないことがあげられる。
2. ある種の環境加速型き裂の破断形式は、き裂進展過程全体の中でも意味を持っている。皮膜破壊モデルによる高硫黄含有鋼のき裂進展速度の過少評価は、予想外に破断にいたる機器の可能性があるをふくんでいる。また、水素脆化モデルによる動特性記述は、未だ定量化は困難な状況にあるが、静止した脱気系への適用は、熱力学的に可能である。このことは、高硫黄含有鋼の環境加速型き裂発生部の現象解明に極めて有効であると考えられる。
3. 皮膜破壊モデルによるき裂進展速度予測値は、現行のASME XI(1980)コードによる圧力容器及び配管系の腐食疲労の進展速度予測値よりも大きな値を示す。このような過剰な環境条件による加速効果は、高硫黄含有鋼を低い負荷繰返し頻度条件においた場合に発生しうる。しかし、このような過剰進展条件は、浸漬時間が長くなるにつれき裂の鈍化が生じるため、長時間続くものではないこともわかっている。しかし、皮膜破壊モ



デルは、低い負荷繰り返し頻度や静的荷重条件においてき裂進展速度が溶存酸素濃度に著しく依存することを表現するには到っていない。



**CREVICE ACIDIFICATION REQUIRES:**

- MACROCELL REACTION e.g. OXYGENATED EXTERNAL ENVIRONMENT
- METAL CATION HYDROLYSIS
- NON-OH<sup>-</sup> ANION e.g. Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

隙間内の酸性化には以下のことが必要である

- 外部水質環境が酸素含有水であるなど外部電池反応の存在
- 金属陽イオンの加水分解
- 塩素イオンや硫酸イオン等のOH<sup>-</sup> 以外のイオンの浸入

**Figure 11** Illustration of electrode reactions occurring at the mouth and tip of an occluded cell, which can give rise to excess hydrogen ions within the cell. (47)

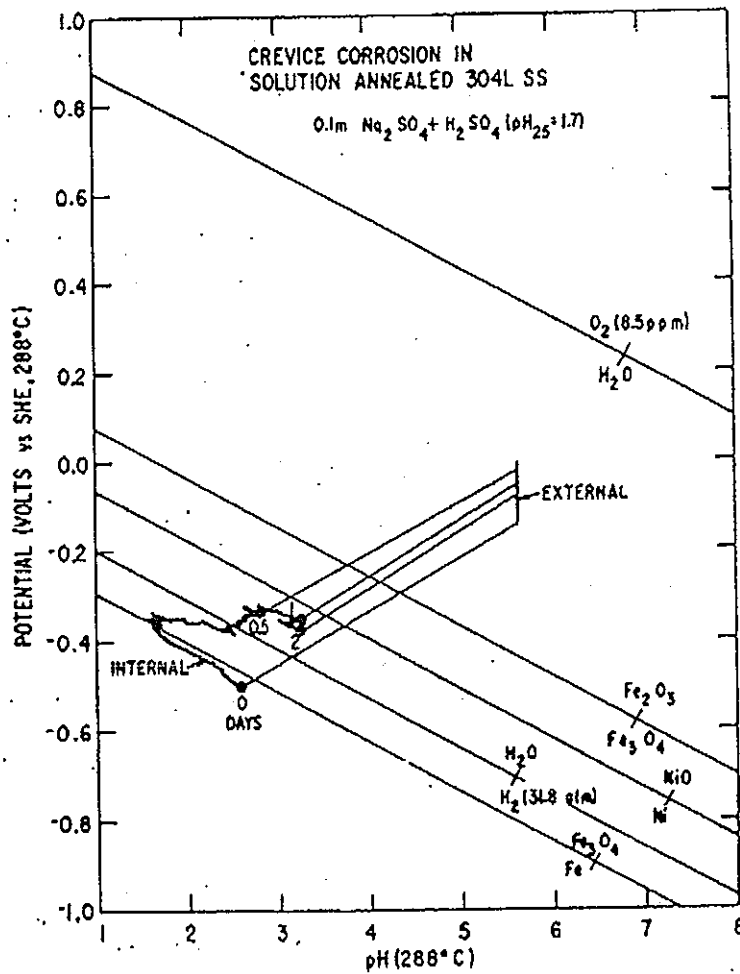


Figure 12 Locus of potential/pH combinations within a stainless steel crevice, initially filled with deaerated, acidified Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, with the external electrolyte being aerated water at 288°C. (50)

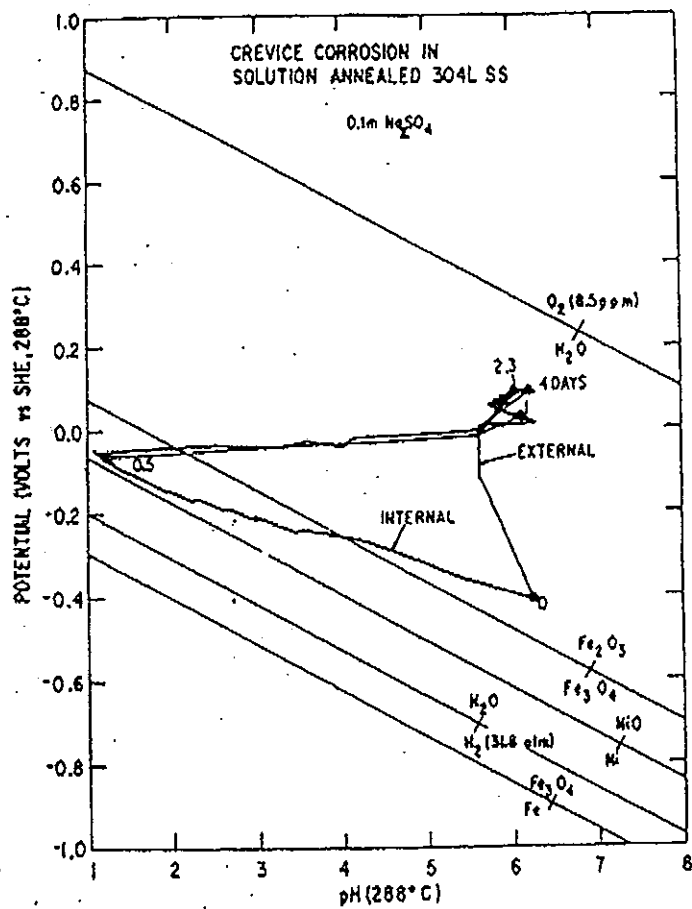


Figure 13 As Figure 12, but with crevice being initially filled with deaerated, neutral  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . (50)

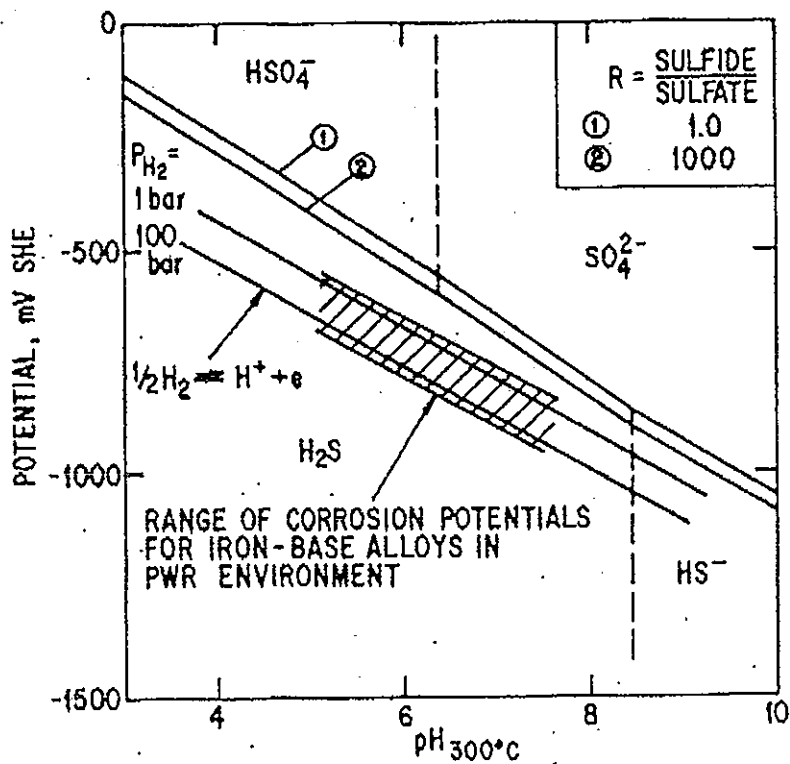


Figure 14

Pourbaix diagram for S/H<sub>2</sub>O system at 300°C, indicating the range of corrosion potentials observed for several iron-base alloys in PWR environments with cover gas of hydrogen or argon. Note the congruency of the corrosion potentials and the reversible potential for the H<sup>+</sup>/H<sub>2</sub> reaction, and the fact that sulphur is thermodynamically stable as H<sub>2</sub>S in this potential/pH range. (52)

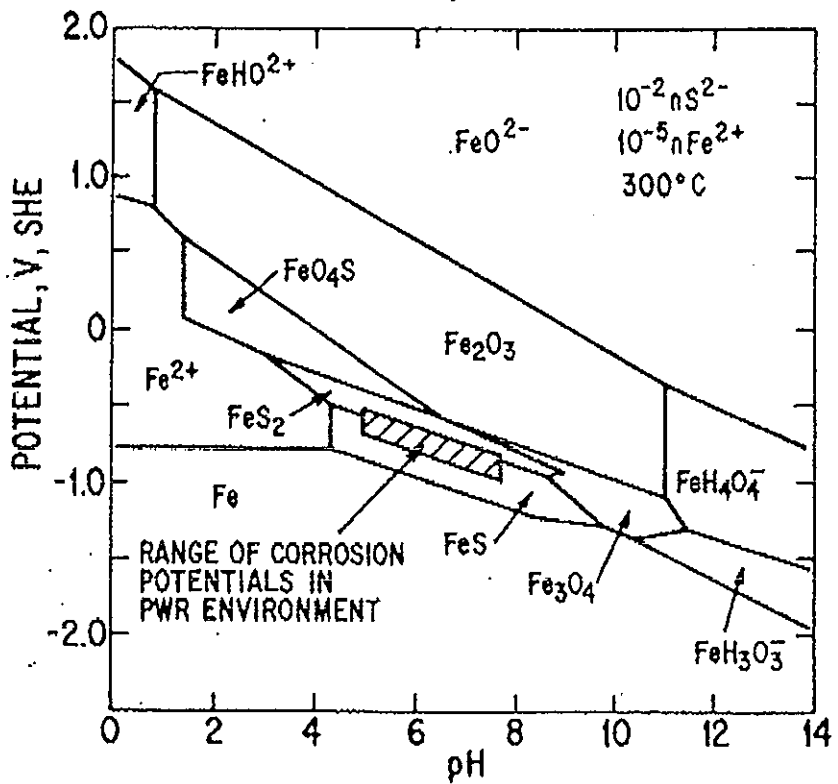
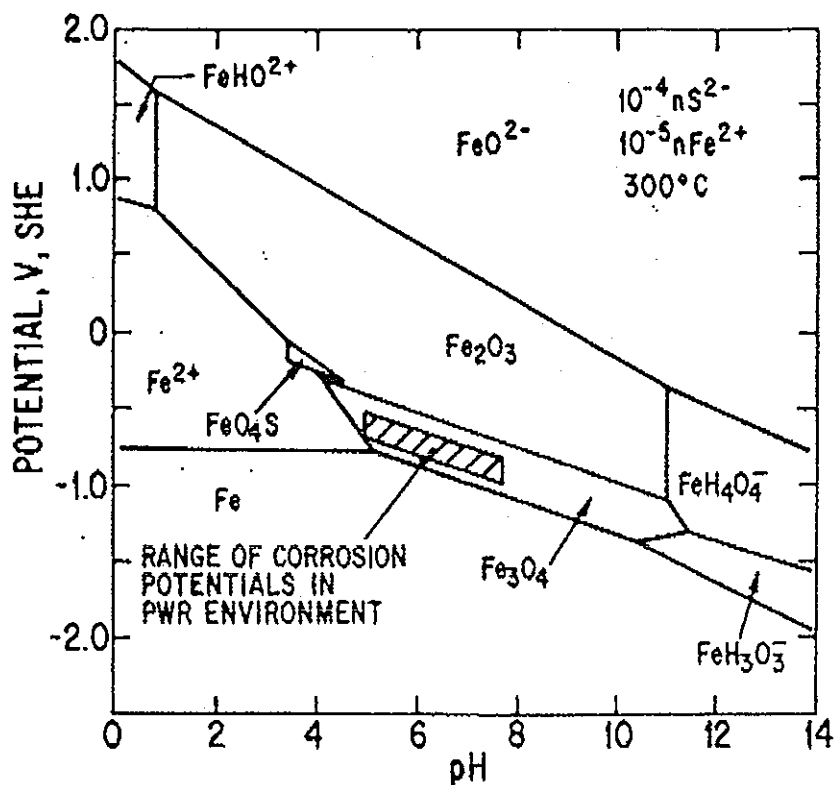


Figure 15 Pourbaix diagrams for Fe/S/H<sub>2</sub>O system at 300°C for 10<sup>-5</sup> nFe<sup>2+</sup> and (a) 10<sup>-4</sup> nS<sup>2-</sup> or (b) 10<sup>-2</sup> nS<sup>2-</sup>. Note that in the range of potentials and pH expected for pressure vessel steels under open-circuit conditions in deaerated PWR coolant, the stable film on the surface is either magnetite or a mixed magnetite/sulphide. (54)

Effect of Temperature and Ionic Impurities at Very Low Concentrations on Stress  
Corrosion Cracking of AISI 304 Stainless Steel

Argonne National Laboratory

W. E. Ruther, W. K. Soppet, and T. F. Kassner

CORROSION Vol. 44 No. 11

— SUS304 材の応力腐食割れに及ぼす温度と微量不純物の影響 (要約) —

Abstract

軽度に鋭敏化されたSUS304材の応力腐食割れ挙動に及ぼす13種類の0.1ppmの陰イオン種の相対的な効果を対イオンを水素イオン又はナトリウムイオンとして、289℃、溶存酸素濃度酸素濃度0.2ppm、電気伝導度 $1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ の水中でのCBRTを行う事により調査した。この結果から硫酸イオン種は他のイオン種に比べて、酸性溶液条件においてもナトリウム塩溶液条件においても、最も粒界型応力腐食割れ(IGSCC)を発生させやすいことがわかった。SCCに対する温度の効果については、温度条件を110℃から320℃に変化させ、純水条件、0.2ppmの溶存酸素濃度で0.1ppm, 1ppmの硫酸イオンが $\text{H}_2\text{SO}_4$ の形で存在する場合について調査した。CBRTの試験条件は、高温条件における白金とSUS304材の電気化学ポテンシャルとの相関をもたせた。高純度水中では、IGSCCは200~250℃で最も発生しやすく、これに硫酸を加えることにより150℃以上の温度範囲では、き裂進展速度は増大した。また、最大SCC感受性を示す温度以上ではき裂進展速度は、飽和傾向を示した。高純度水中で温度約270℃から320℃にあげる過程で破断面は、粒界型から貫粒型に変わりさらに延性破断面へと変化した。このような変化は、高温条件において鋼材の開放腐食電位が標準水素電極電位に対し約0mV以下に低下することによる。0.2ppmの酸素を含む高純度水中で温度を289℃から320℃に上昇させると破断機構型試験片のき裂進展速度を著しく下げうることもわかった。

調査したイオン種

$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,

$\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}^{2-}$





新型転換炉ふげん発電所第8回定期検査時における

原子炉冷却系系統除染について

平成元年7月

科学技術庁

原子力安全局原子炉規制課

序

動力炉・核燃料開発事業団（以下、「動燃事業団」という。）は、平成元年7月から実施する新型転換炉ふげん発電所（以下、「ふげん発電所」という。）の第8回定期検査時において、応力腐食割れ（SCC）予防対策のための下部ヘッダ中央部取替工事等、原子炉建屋内高線量当量率下での作業を計画しており、これらの作業に係る従事者の線量当量の低減を図るため、動燃事業団が昭和52年以降実施してきた調査・試験により選定した国内メーカーのキレート剤を主剤とする除染剤（インヒビタを含む。）を用いて、主要な点検・工事の対象となる原子炉冷却系統Aループの除染を行うことを計画している。

このため、当課は、除染の有効性、材料の健全性、除染作業の安全性、材料健全性確認追跡調査の妥当性等について検討し、除染計画の妥当性を確認するとともに、当該計画において留意すべき事項の整理を行った。

除染計画の妥当性の確認等に当たっては、化学除染、金属材料、金属腐食、水化学等の専門家からなる、別添-1の原子炉安全技術顧問ふげん発電所化学除染安全検討ワーキンググループを開催して、計画全般にわたり専門的見地からの評価を受け、安全性等について確認した。

なお、今回の系統除染対象範囲は、燃料体を除く原子炉本体及び原子炉再循環系のAループであるが、当該系統除染時の昇温、循環及び浄化のため、余熱除去系A系統、原子炉冷却材浄化系及び原子炉再循環ポンプシール注排水系を使用することから、これらの系統の機器・配管も除染剤接液範囲に含まれる。

したがって、材料の健全性等の検討は、これらの系統を含めて行った。

## 1. 除染の有効性

ふげん発電所における原子炉冷却系機器・配管表面の線量当量率は、クラッドの付着・蓄積により、プラントの運転経過とともに上昇傾向にある。このため動燃事業団は、定期検査時等における作業員の線量当量を低減するために、これまで給水系への酸素注入、復水脱塩器の運用改善等のクラッド低減対策を行うとともに、検査機器の遠隔・自動化や点検対象機器・配管の遮へい設置、放射線管理の強化等により、線量当量率の上昇とともに増加傾向にあった線量当量を抑制してきている。

しかしながら、第8回定期検査時においては、SCC予防対策のための原子炉再循環系下部ヘッダの部分取替工事等の高線量当量率下での改造工事が予定されており、これまでのクラッド抑制対策や作業管理手法の改善では被ばくの低減化に限界があることから、工事対象系統の機器・配管に付着・蓄積したクラッドを化学除染剤によって除去する系統除染法を適用することとしている。

動燃事業団は、系統除染の除染係数を2以上見込めるものとし、第8回定期検査における従事者の被ばく線量について、除染係数を2とした場合に、系統除染を実施しない場合の予測値12.77人・シーベルトから8.00人・シーベルト以下に低減できるとしている。

動燃事業団が実施した除染性能試験及び原子炉冷却材浄化系熱交換器を用いた実機実証試験の結果によれば、今回の系統除染の条件下（温度120℃、時間24hr、除染剤濃度0.1%（除染中浄化時は0.05%））において、除染の行いにくい炉水停滞部のクラッドでも、除染係数は2以上を確保できる。

また、今回の系統除染対象範囲のうち、除染の行いにくい炉水停滞部は圧力管下部のみである。

したがって、動燃事業団の評価は控え目なものであると考えられ、今回の系統除染は、第8回定期検査における従事者の被ばく線量の低減対策として十分有効なものであると判断する。

## 2. 材料の健全性

### 2.1 材料健全性確認試験

除染剤接液部に使用されている材料は、SUS304、316等のオーステナイト系ステンレス鋼、SUS403Mod等のマルテンサイト系ステンレス鋼及びこれらの鋳物材、並びにS.T.P.T等の炭素鋼及びZr-2.5%Nb材である。

また、除染剤接液範囲には、材料の健全性を検討する上で留意すべき部位である溶接部、異種材接触部及び隙間部が存在する。

動燃事業団は、これらの材料及び部位の腐食量を評価するため、除染中及び除染後の環境下における全面腐食試験、溶接部腐食試験、異種金属接触部腐食試験、SCC感受性試験、水素遅れ割れ(DHC)試験及びロールジョイント部腐食試験を実施している。これらの試験及びその方法は、除染剤の材料健全性に及ぼす影響を確認する上で十分妥当なものとする。

腐食試験用材料としては、除染剤接液部に使用されている材料又はその組合せのうちから、材料の腐食性、重要度等を考慮して、全体を包絡・代表しうる材料を適切に選定している。

また、動燃事業団は、材料腐食の許容目安として、除染中の腐食量が、耐食性材料にあっては $1\mu\text{m}$ 以下、炭素鋼にあっては $10\mu\text{m}$ 以下であり、不均一な腐食が認められず、除染後の残留除染液による材料腐食については、脱塩水中での腐食と同等であることとしているが、今回の除染剤接液範囲の各部の設計余裕肉厚等からみて、動燃事業団が設定した許容目安値は、十分余裕をみたものとなっている。

腐食試験の結果は以下に示すとおりであり、動燃事業団が選定した除染条件下においては、材料の健全性を損なうような影響は認められない。

#### (1) 除染中の腐食

##### ① 全面腐食

イ. SUS440Cと炭素鋼の腐食が大きい傾向にある。SUS440Cは $130^{\circ}\text{C}$ を、炭素鋼は $120^{\circ}\text{C}$ を超えると腐食が増大する傾向にある。

ロ. これら両材の腐食は、時間に対して比例関係にある。

ハ. その他の材料では浸漬法は勿論、加流速の条件でも腐食の増加はほとんど認め

られていない。

② 溶接部腐食

イ. SUS304+STPTの溶接部等の腐食試験の結果によれば、全面腐食試験の結果に比べ腐食量にほとんど差異は認められていない。

ロ. 不均一な腐食は認められていない。

③ 異種材接触腐食

イ. SUS403Mod+Zr-2.5Nbの異種材接触部の腐食試験の結果によれば、全面腐食試験の結果に比べ腐食量にほとんど差異は認められていない。

ロ. 不均一な腐食は認められていない。

④ SCC

イ. 配管及び圧力管で引張応力がかかっている状態を模擬して、Uベンド法で試験されている。その結果によれば、SUS304鋭敏化材、SUS403Mod等いずれの材料にもSCCの発生は認められていない。

ロ. 欠陥部を想定して、き裂入りの試験片を用いSSRT法で試験されている。その結果によれば、除染上限温度の130℃でSCCの発生は認められていない。

また、その他の材料の機械的なデータも脱塩水での結果との差異は認められていない。

ハ. 健全部、隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験されている。その結果によれば、いずれの場合も破断時間が短くなる傾向は認められていない。

(2) 除染後の腐食 (残留除染液の影響)

① 全面腐食

残留模擬除染液 (除染剤濃度: 10 ppm) の炉水温度条件下での腐食性は、脱塩水の場合と同等若しくはそれ以下である。

② 溶接部腐食

イ. SUS304+STPTの溶接部等の腐食試験の結果によれば、全面腐食試験の結果に比べ腐食量にほとんど差異は認められていない。

ロ. 不均一な腐食は認められていない。

③ 異種材接触腐食

イ. SUS403Mod+Zr-2.5Nbの異種材接触部の腐食試験の結果によれば、全面腐食、

試験の結果に比べ腐食量にほとんど差異は認められていない。

ロ. 不均一な腐食は認められていない。

④ S C C

イ. 除染と運転のサイクルを15回繰り返す方法により、SUS304鋭敏化材とSUS403Mod材について、C B B法で試験されている。その結果によれば、S C Cの発生はなく、粒界腐食の徴候も認められていない。また、脱塩水での試験も同様の結果が得られている。

ロ. 健全部、隙間部及び欠陥部を想定して、U C L T法で試験されている。その結果によれば、いずれの場合も残留除染液の破断時間に及ぼす有意な影響は認められていない。

(3) 除染後の腐食（除染表面の炉水中でのアフターエフェクト）

① 鋭敏化S U S 3 0 4（S S R T法）

除染によって露出された構成材の表面が再び炉水に接触した場合、S C C感受性が高まるようなことはないかについてS S R T法で試験されている。その結果によれば、S C C破面率は除染条件が80℃と130℃のどちらでも、除染しない場合との差異は認められていない。また、金属の強度や延性をみる最大荷重、伸び量及び断面収縮率が合わせて試験されているが、除染の有無で有意差は認められていない。

② ロールドジョイント部の耐久性

イ. 高温高圧運転及び除染中に試験体の破損及び流体の漏えいは認められていない。

ロ. ロールドジョイント部の内視鏡による内面検査が行われているが、その結果によれば、何ら異常は認められていない。

ハ. ヘリウムリーク試験結果によれば、ロールドジョイント部の気密性に異常は認められていない。

ニ. 除染による損傷の有無について超音波探傷試験が行われている。その結果によれば、ロールドジョイント部の内面に欠陥は検出されていない。

ホ. ロールドジョイント部の隙間について電気化学的な腐食測定法が行われている。その結果によれば、腐食量は十分に小さいことが確認されている。

ヘ. 解体検査後の金相試験検査に異常は認められていない。

また、水素ガス分析結果によれば、12.5～14.7ppmで、これは圧力管購入時の仕様範囲25ppm以下であり、特に問題は認められていない。

### ③ Zr-2.5%Nb (SSRT法)

水素を吸蔵した圧力管材Zr-2.5%Nbを用いて、除染による影響を調査している。その結果によれば、除染の有無による最大荷重の差異は認められていない。

## 2.2 除染剤の残留性

動燃事業団は、除染による材料の健全性を検討する上で留意すべき事項として、除染剤の残留性について除染剤の浄化程度及び除染剤の熱分解性を検討している。

除染剤は約130℃より熱分解を開始するが、分解生成物として材料に悪影響を及ぼすものは生成しないことを実験により確認している。インヒビタについては、熱分解により硫酸イオンを生成し、これは、SUS304鋭敏化材のIGSCCを加速する要因になりうる。しかしながら動燃事業団は、除染後における系統内浄化・フラッシング、系統水の全ブロー及びその後のプラント起動までの浄化運転により700時間以上の除染部の浄化を行うこととしており、同事業団が実施した評価によれば、ソケット溶接部等の隙間部でも残留する硫酸イオン濃度は3ppb以下になるとしている。

また、ふげん発電所では、原子炉冷却系機器・配管のSCC感受性を低減する観点から、水素注入により炉水中の溶存酸素濃度を15ppb以下に抑える水質改善法を適用しているため、SCCに対する環境は十分緩和された状態にある。

したがって、動燃事業団が選定している浄化方法は、妥当なものであり核加熱開始後に残留する硫酸イオンは無視し得るものと考えられ、材料の健全性を確保するために十分有効なものであると判断する。

### 3. 除染作業の安全性

動燃事業団は、系統除染を行うに当たり、除染初期において除染剤濃度を規定の半分（0.05%）にすることにより溶出クラッド量を制限するとともに、除染液の一部を浄化し、系統線量当量率の上昇を抑える除染中浄化法を採用することとしている。万一、比放射エネルギーが予測を大きく上回る等、系統線量当量率が異常に上昇した場合は、原子炉冷却材浄化系脱塩器への除染液通水による浄化及び除染温度の降下による除染能力の停止を図ることとしている。

また、除染作業時における無用な被ばくを防止するために、除染中及び浄化時の線量当量率の把握を十分に行い、除染対象系統付近への立ち入り制限を行う等の被ばく低減化対策を行うこととしている。

更に、除染作業は、定期検査の開始早々に行われるため、大部分の設備がプラント運転状態の系統構成を維持したまま続けられることから、系統の密閉性は十分に保持されると考えられるが、除染液が万一にも漏えいすることがないようにするため、動燃事業団は、事前のリハーサルと昇温過程等において、漏えいのないことを十分確認した後に除染を実施することとしている。

除染前後の線量当量率の測定、除染液サンプリング作業、洗浄作業等の除染作業に伴う作業員の線量当量を、これまでの実績等を基に算出した結果によれば、総線量当量は0.1人・シーベルトであり、上記の方法、処置及び対策は妥当なものである。

また、除染作業に伴って発生する廃樹脂の取り扱い性について、処理放射エネルギー、設備能力等から検討した結果によれば、通路並びに作業場の線量当量率を大きく変化させることはなく、通常の樹脂廃棄作業と同程度であり、発電所内の設備は、容量的にも放射能量的にも十分な貯蔵能力を有している。

したがって、除染作業の安全性は十分確保されるものと判断する。



#### 4. 材料健全性確認調査の妥当性

動燃事業団は、除染中及び除染後の材料の健全性を確認するため、腐食量の確認を中心とした材料モニタによる除染中及び除染後の材料健全性確認追跡調査を次のとおり実施することとしている。

##### (1) 除染中における材料健全性の確認

除染中における系統の主要部材の腐食量を評価するために、Zr-2.5%Nb、SUS403Mod、SUS316、SUS304、STPT等の試験片を収納容器に収め、圧力管内に装荷して実機除染環境に浸漬させ、除染終了後において試験片を取り出し、無負荷試験片（ホット・ピースを含む）により全面腐食量を、また、接触試験片及び隙間試験片の組み合わせにより局部腐食を確認評価することとしている。更に、SCC性の評価のため、潜在的なSCC等によりき裂が存在する場合を想定した予き裂入りのSUS304鋭敏化CT試験片も上記収納容器に収め、この試験片を用いて、除染の影響によるき裂の進展性について確認評価することとしている。

##### (2) 除染後における材料健全性の追跡調査

実機除染環境に浸漬させた試験片のうち、圧力管材及び圧力管ロールジョイント部材、予き裂入りのSUS304鋭敏化CT試験片等については、炉心を構成する材料及びSCC性を確認すべき材料であることから長期的な材料健全性を確認するために、除染後に既設のインプラント材料試験設備内のオートクレーブに装荷し、約1年間実炉水環境下に浸漬させた後、観察評価することとしている。更に隙間部材料の健全性が保たれていることを確認するため、ソケット溶接部を模擬した試験片についても同様な追跡調査を計画している。

上記材料健全性確認調査は、今回の系統除染の総合評価を行うために必要となる情報を与えるとともに、今後の系統除染に貴重な知見を与えるものであり、妥当なものであると判断する。

## 5. 系統除染を実施するに当たって特に留意すべき事項

今回の系統除染を実施するに当たって、動燃事業団が特に留意する必要があると考えられる事項は次のとおりである。

### (1) 除染条件

今回の除染剤による除染条件を次の範囲に管理すること。

- ・ 除染温度 :  $120\text{℃} \pm 5\text{℃}$
- ・ 除染時間 :  $\leq 24\text{hr}$
- ・ 除染剤濃度 :  $\leq 0.1\%$
- ・ 溶存酸素濃度 :  $\leq 200\text{ppb}$

### (2) 起動時の原子炉冷却材水質

今回の系統除染後には700時間以上の浄化を行うとともに、原子炉起動時には、通常の原子炉冷却材水質管理目標値を十分に満足し、かつ硫酸イオン濃度は5ppb以下であることを確認すること。

別添 1 原子炉安全技術顧問ふげん発電所化学除染安全検討ワーキンググループ会合

別添 2 除染方法

別添 3 腐食試験方法及び結果

別 添 - 1

原子炉安全技術顧問

ふげん発電所化学除染安全検討ワーキンググループ会合

# 原子炉安全技術顧問ふげん発電所化学除染安全検討ワーキンググループ会合

## 1. 構成メンバー

- |         |                                |
|---------|--------------------------------|
| ◎ 石博 顯吉 | 東京大学工学部教授                      |
| 柴田 俊夫   | 大阪大学工学部教授                      |
| 諏訪 武    | 日本原子力研究所東海研究所化学部放射化学第1研究室主任研究員 |
| 中島 甫    | 日本原子力研究所東海研究所燃料・材料工学部応用工学研究室長  |
| 藤井 哲雄   | 金属材料技術研究所損傷機構研究部第3研究室長         |
| 星 三千男   | 日本原子力研究所東海研究所化学部放射化学第2研究室長     |

注) ◎はワーキンググループ主査

## 2. 開催実績

- |       |              |               |
|-------|--------------|---------------|
| 第1回会合 | 平成元年6月12日(月) | 13:30 ~ 17:30 |
| 第2回会合 | 平成元年6月19日(月) | 16:00 ~ 19:00 |
| 第3回会合 | 平成元年7月4日(火)  | 14:00 ~ 16:30 |

別 添 一 2

除 染 方 法

## 除 染 方 法

系統除染方法は、除染中における線量当量率をプラントの通常停止状態と同等することを目的として、除染液の一部を浄化しながら除染する「除染中浄化法」を適用して以下に示す方法で行う。

### 1. 除染範囲

除染範囲は、原子炉冷却系のAループで図-1に示すとおり、原子炉再循環系の機器・配管、入口管、圧力管、上昇管であるが、除染時の系統運用上から、原子炉冷却材浄化系及び余熱除去系の一部も除染液の接液範囲となる。

なお、除染対象ループの燃料は、除染前に全て取り出すこととする。

### 2. 除染条件

除染にあたっては、除染係数(DF)を2以上として次の条件を定めている。

- ① 除染剤濃度：0.05～0.1%
- ② 除染温度：120℃
- ③ 除染時間：24時間

### 3. 除染仕様

除染にあたり、除染対象系統のクラッド量及び放射エネルギー並びに、それに必要な除染剤の量及びイオン交換樹脂の使用量を次のとおり算定している。

- ① クラッド量：約40kg
- ② 放射エネルギー：約200Ci
- ③ 除染剤の使用量：約250kg
- ④ イオン交換樹脂の使用量：約7,000ℓ

#### 4. 除染工程

除染の工程は、図-2及び図-3に示すとおり「昇温」⇒「除染中浄化」⇒「循環除染」⇒「浄化」⇒「浄化・フラッシング」があり、それぞれ以下の方法で行う。

##### (1) 昇温工程

原子炉再循環ポンプの低速2台運転と、余熱除去熱交換器胴側への補助蒸気通気により、除染系統水を約1.2時間で120℃まで昇温する。

昇温完了後、下部ヘッドドレンラインより仮設の薬注設備にて、除染剤を0.05%濃度まで注入する。

以後、循環除染工程終了までは、除染液の温度を120℃に保持する。また、原子炉再循環ポンプは全ての除染工程終了時まで低速2台運転とする。

##### (2) 除染中浄化工程

循環している除染液の一部を原子炉冷却材浄化系の脱塩器に通水し、除染液を浄化する。また、脱塩器通水による除染剤の補償分を連続的に薬注する。

本工程は、脱塩器の樹脂が3塔ブレイクした時点（約1.2時間）で終了とする。

##### (3) 循環除染工程

除染中浄化工程終了後、脱塩器をバイパスし、除染剤濃度が0.1%になるように薬注を行う。

本工程は、原則として除染中浄化工程開始から2.4時間で終了とする。

##### (4) 浄化工程

余熱除去熱交換器胴側への補助蒸気通気を停止するとともに、原子炉冷却材浄化系脱塩器に通水し除染液を浄化する。

本工程は、除染液の電導度が $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下になった時点で、引続き次の「浄化・フラッシング」工程へ移る。

##### (5) 浄化・フラッシング工程

滞留等が考えられる箇所については、系統内の各ドレン、ベントライン等よりドレンフラッシングする。また、この方法が困難な箇所は、逆洗水をドレン、ベントライン等から系統内に注入し脱塩器により浄化する。

本工程における浄化は、除染液の電導度が $1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下になった時点で系統水の全ブローを行う。その後水張りを実施し再度浄化を行い終了とする。



## 5. 廃棄物処理方法

除染による廃棄物としては、脱塩器の廃樹脂と除染系統のフラッシング水があり、それぞれ以下の方法で処理する。

### (1) 廃樹脂処理

廃樹脂は、通常の脱塩器廃樹脂処理と同様、固体廃棄物処理系の粒状廃樹脂貯蔵タンクへ移送し貯蔵する。

### (2) 廃液処理

廃液は、原子炉建屋及び原子炉補助建屋の機器ドレンサンプピットに排水して、通常の機器ドレン廃液と同様に液体廃棄物処理系で処理し、復水貯蔵タンクに回収され再利用される。

2-4

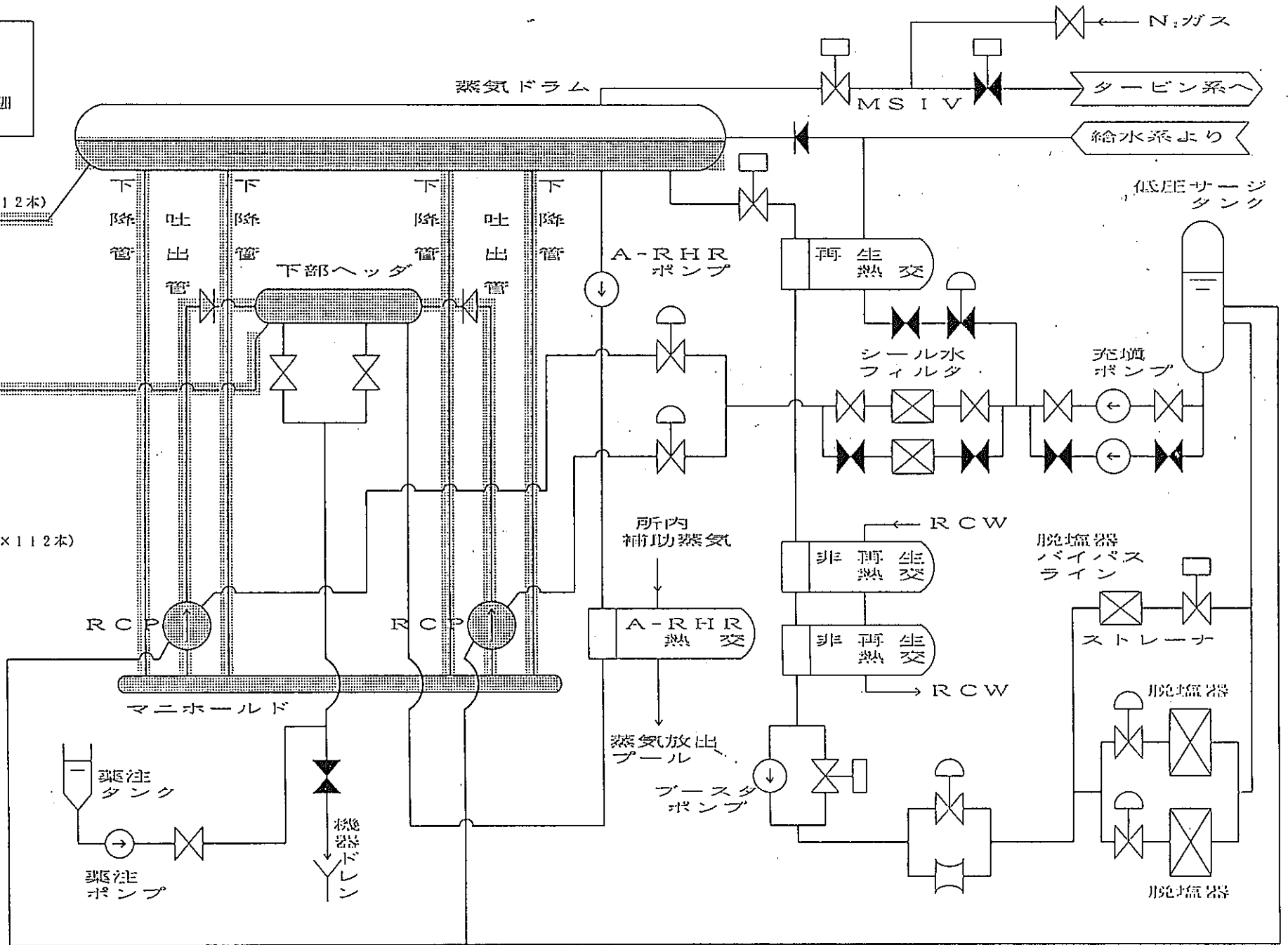
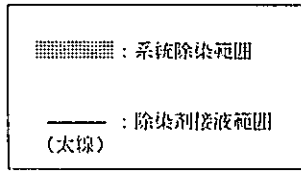


図 - 1 . 系 統 除 染 範 囲

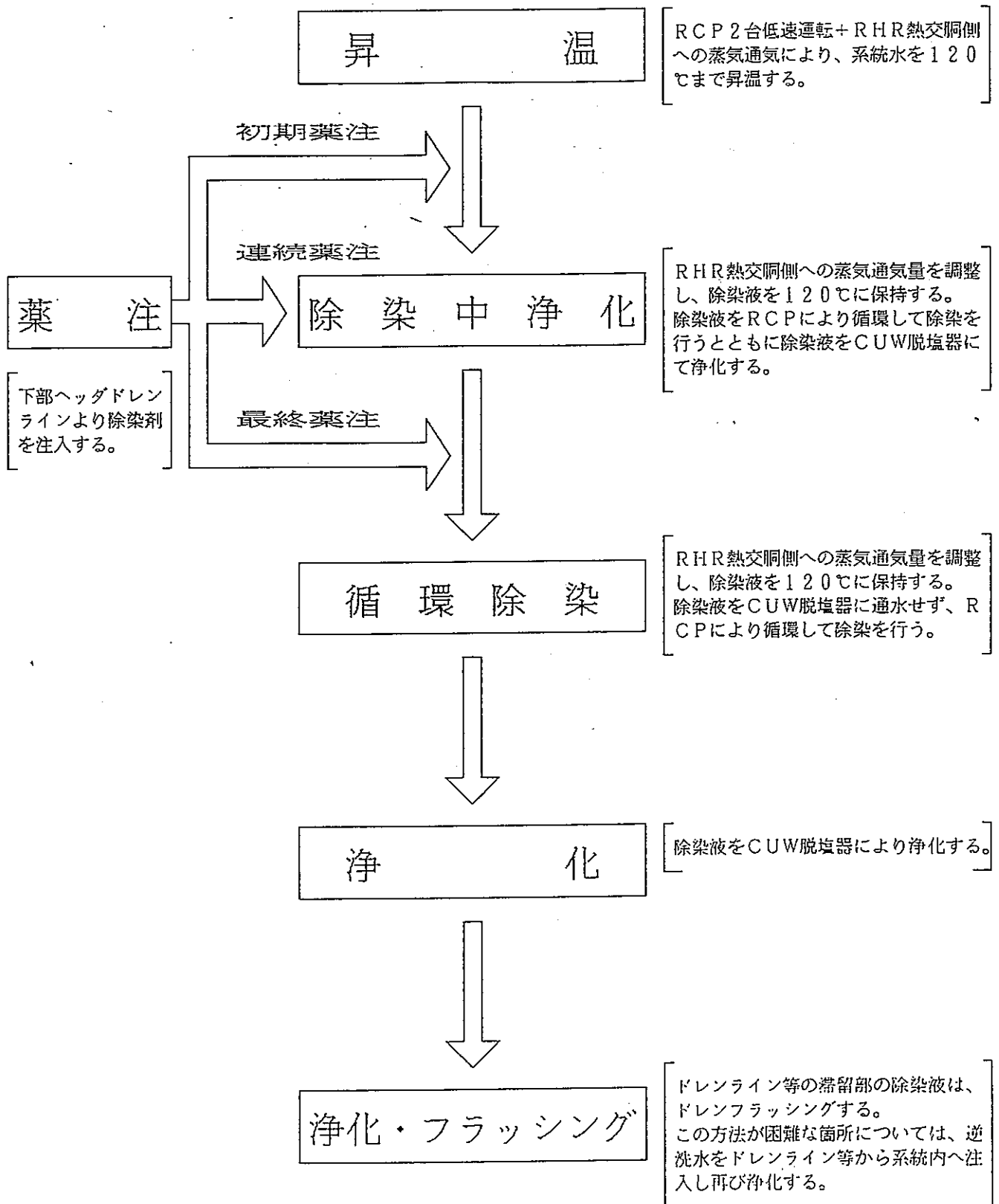
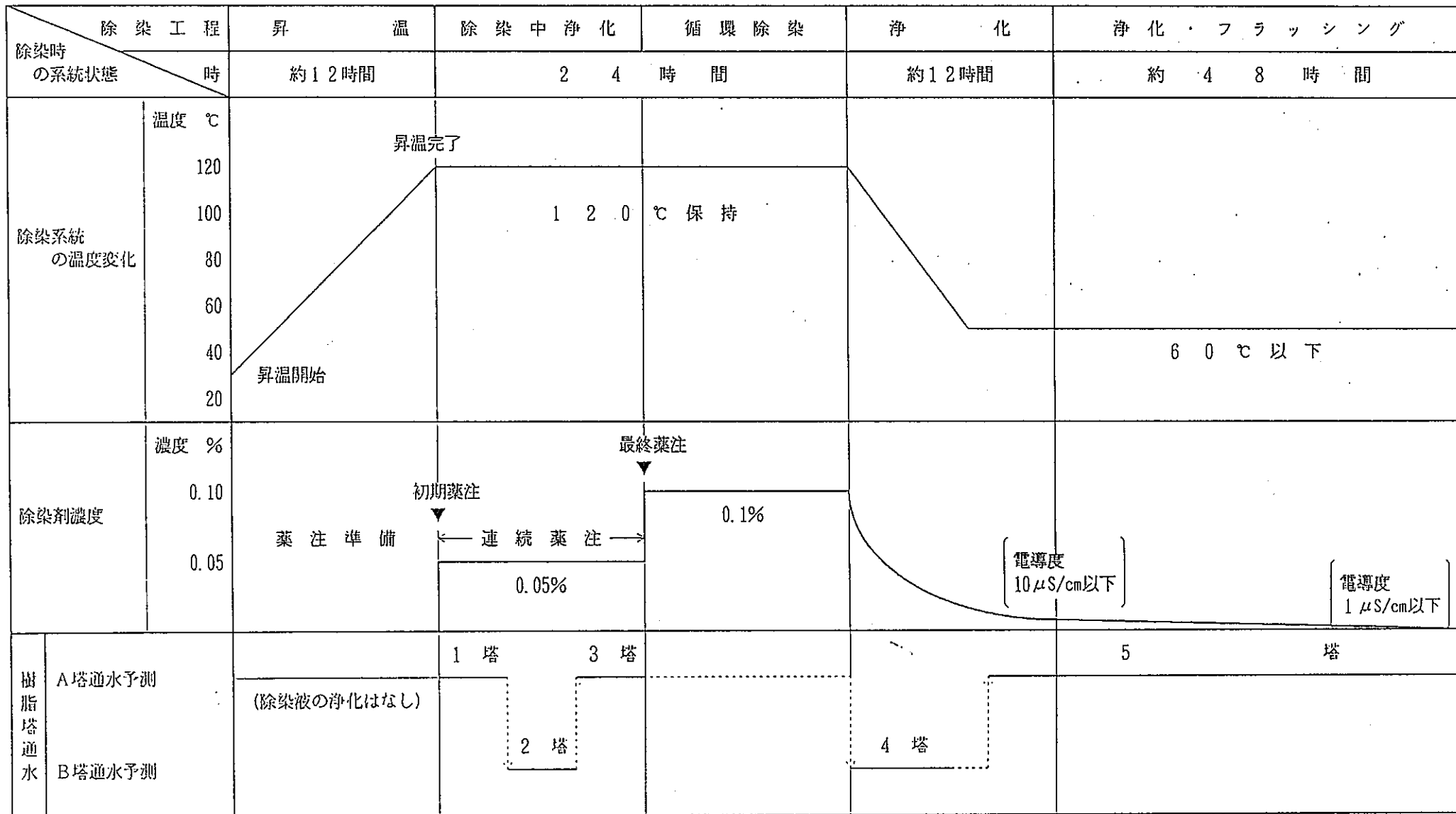


図-2. 系 統 除 染 概 略 フ ロ ー

図-3. 系統除染概略工程



2-6

別 添 一 3

腐食試験方法及び結果

1. 除染中の腐食調査 (SCC以外)

(1) 試験方法

全面腐食量, 異種材接触腐食量, 溶接部腐食量の測定

(2) 試験片

接液部構成材料13種類 (SUS304, SUS316, STPT42等)

(3) 試験条件

温度 : 50~180℃  
 試験時間 : 24~100時間  
 除染剤濃度 : 0.025~10%  
 除染液流速 : 0~4 m/s

(4) 調査要領

試験前後の試験片の重量から腐食量を求めた。また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。

なお、腐食量の表示 (mg) は天秤精度を考慮し、1mgを下  
 限值とし、単位面積あたりの表示 (mg/cm<sup>2</sup>) も1mg/試験片  
 表面積cm<sup>2</sup> (およそ0.05 mg/cm<sup>2</sup>) を下限値とした。

除染中の材料腐食の許容目安を次のとおりとした。

腐食形態 : SCCを発生しないことは勿論、粒界腐食  
 等不均一な腐食をしないこと。

腐食量 : ステンレス鋼 ≤ 1μm  
 : 炭素鋼 ≤ 10μm

(6) 試験結果

全面腐食試験の結果

試験条件	平均腐食量	
	試験片の材質	温度 (℃)
SUS304	70	<0.05
	80	<0.05
	120	<0.05
	150	<0.05
脱酸化 SUS304	50	<0.05
	70	<0.05
	80	<0.05
SUS316L	70	<0.05
	80	<0.05
	90	<0.05
	120	<0.05
SUS403Mod	50	<0.05
	70	<0.05
SUS440C	50	<0.05
	70	<0.05
	110	0.12
	120	0.26
	130	0.33
	140	1.48
	150	1.97
	180	1.92
Zr-2.5%Nb	70	<0.05
	120	<0.05
STPT42	70	0.73
	90	0.15
	105	0.52
	120	0.88
	150	3.14

クリデコン203 0.1% (pH=5)  
 試験片 : 2枚/500ml 時間 : 24hrs

全面腐食試験の結果 (流速の影響)

試験片の材質	流速 (m/Sec.)	腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )	
		温度 (℃)	腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )
SUS304	0	110	<0.05
	2	130	<0.05
	4	130	<0.05
	4	130	<0.05
脱酸化 SUS304	0	110	<0.05
	2	130	0.08
	4	130	1.10
	4	130	1.10
SUS403Mod	0	110	0.15
	2	130	0.12
	4	130	0.12
	4	130	0.12
SCS13	0	110	<0.05
	2	130	<0.05
	4	130	<0.05
	4	130	<0.05
その他の合金	0	110	<0.05
	2	130	<0.05
	4	130	<0.05
	4	130	<0.05

クリデコン203 0.1%  
 試験片1枚 (57cm<sup>2</sup>) / 500ml  
 130℃, 48hr, 加流速法

試験片の材質	温度 (℃)	腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )
SUS304	110	<0.05
STPT42	110	4.74
SUS304	130	<0.05
STPT42	130	5.78
SUS304-SUS304	130	<0.05
STPT42-STPT42	130	2.63

クリデコン203 0.1%  
 試験片2枚 (56cm<sup>2</sup>) / 500ml  
 110℃または130℃, 48hr, 浸漬法

異種材接触腐食試験結果

試験片の材質	温度 (℃)	腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )
SUS403Mod	110	0.11
Zr-2.5%Nb	110	<0.05
SUS403Mod	130	0.77
Zr-2.5%Nb	130	<0.05

クリデコン203 0.1%  
 試験片2組 (各16cm<sup>2</sup>) / 500ml  
 110~130℃, 48hr, 浸漬法

(5) 試験片の概要

分類	材質	試験片の形状・大きさ (mm)
全面腐食試験	SUS304	
	脱酸化SUS304 (650℃, 24hr)	
	SCS13	
	SUS403Mod	
	SUS440C	
	Zr-2.5%Nb	
異種材接触腐食試験	SUS403Mod + Zr-2.5%Nb	
	SUS304 - SUS304	
STPT42 - SUS304		
STPT42 - STPT42		

(7) まとめ

1. 全面腐食

SUS440Cと炭素鋼の腐食が大きい傾向にある。SUS440Cは130℃を、  
 炭素鋼は120℃を越えると腐食が増加する傾向にある。

その他の材料では浸漬法は勿論、加流速の条件でも腐食の増加  
 はほとんど認められなかった。

2. 溶接部腐食

(1) SUS304+STPT42の溶接部等いずれの場合でも、全面腐食試験  
 の結果に比べ腐食量にほとんど差異はなかった。

(2) 腐食の形態についても、粒界腐食のような異常腐食は認めら  
 れなかった。

3. 異種材接触腐食

(1) SUS403Mod+Zr-2.5%Nbの異種材接触腐食は、全面腐食の結  
 果に比べ差異はなかった。

(2) 腐食の形態についても異常は認められなかった。

2. 除染中の腐食調査 (SCC, DHC)

- (1) 試験方法：  
 Uベンド法, 低歪速度引張試験 (SSRT) 法, 単軸定荷重引張試験 (UCLT) 法
- (2) 試験片  
 Uベンド法 : 鋭敏化SUS304, SUS403Mod等6種類  
 UCLT法, SSRT法 : 鋭敏化SUS304 (隙間付試験片, 人工欠陥付試験片を含む)  
 水素富化Zr-2.5%Nb
- (3) 試験条件  
 温度 : 90~130°C  
 除染剤濃度 : 0~0.1%  
 溶存酸素濃度 : 20ppb~0.1%  
 歪速度 :  $4.2 \times 10^{-7} s^{-1}$ ,  $8.3 \times 10^{-7} s^{-1}$
- (4) 調査項目  
 Uベンド法 : 金属顕微鏡により、試験片の断面を観察し、試験前後の表面部の組織粒界の状態を比較した。代表的な箇所を400倍で写真撮影した。  
 SSRT法 : 試験片の破断面を走査電子顕微鏡で観察し、SCC破面率と断面収縮率を求めた。また、SSRTの試験記録から、試験片が破断するまでの荷重データと試験片の伸び量などから最大応力値、破断歪量を求めた。  
 UCLT法 : UCLTの試験記録から、試験片が破断するまでの時間を求めた。

(5) 試験片の概要

分類	材質	試験片(試験体)の形状・大きさ(mm)
応力腐食割れ試験 (Uベンド法)	SUS304/ 鋭敏化SUS304 : SUS403Mod Zr-2.5%Nb	
応力腐食割れ試験 (SSRT法), 水素遅れ割れ試験 (SSRT法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 2hr) 水素富化Zr-2.5%Nb (450°C, 約6hr)	
応力腐食割れ試験 (UCLT法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr)	

(6) 試験結果

低歪速度引張試験の結果

試験片材質	試験水質		試験温度 (°C)	SCC 破面率			破断時間 (hr)	破断 伸び量 (%)	最大荷重・応力		断面収縮率 (%)
	DO (ppb)	KD203 濃度 (%)		IGSCC (%)	TGSCC (%)	SCC (%)			(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
SUS304 鋭敏化材	29	-	130	0	0	0	150.0	45.00	1070	51.0	67.9
"	封じ込み	0.01	132	0	0	0	147.9	44.36	1114	53.0	66.8
"	"	0.1	130	0	0	0	131.7	39.51	1100	52.3	69.4
"	7950	-	131	0.39	0	0.39	143.1	42.92	1136	54.1	64.4

注) 封じ込み : 試験水の初期DO濃度 約8000ppb, 鋭敏化後人工欠陥を付加した。

鋭敏化SUS304のUCL試験結果 (除染中)

試験温度 (°C)	溶存酸素濃度 (ppb)	試験片形状	負荷応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	試験時間 (hr)								
				100	200	300	400	500	600	700		
130	7850~8160	除染ありなし	35	破断	● (6.7)							
			35	破断	● (10.7)							
			35	破断	● (89.8)							
			35	破断	● (126.5)							
			35	破断	● (97.1)							
131	5000~9000	KD203 0.1%	35	破断						○ (512.0)		
			35	破断						○ (512.0)		
			35	破断						○ (512.0)		
			35	破断						○ (512.0)		
			35	破断						○ (512.0)		
132	2~5	除染ありなし	35	破断						○ (549.9)		
			35	破断						○ (549.9)		
			35	破断						○ (549.9)		
			35	破断						○ (549.9)		
			35	破断						○ (549.9)		
130	2~5	KD203 0.1%	35	破断						○ (524.9)		
			35	破断						○ (524.9)		
			35	破断						○ (524.9)		
			35	破断						○ (524.9)		
			35	破断						○ (524.9)		

注) ● 破断, ○未破断を示す。

(7) まとめ

Uベンド法 : 配管及び圧力管で、引張応力がかかっている箇所を模擬して、Uベンド法で試験した。その結果、SUS304鋭敏化材、SUS403Mod及びZr-2.5%Nbのいずれの材料にもSCCの発生は見られなかった。

SSRT法 : 欠陥部を想定して、亀裂入りの試験片を用いSSRT法で試験した。その結果、除染上限温度の130°CでSCCの発生は見られなかった。また、その他の材料の機械的なデータも脱塩水での結果と差異はなかった。

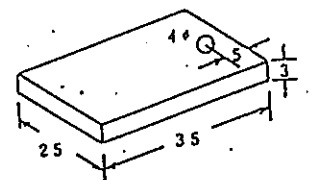
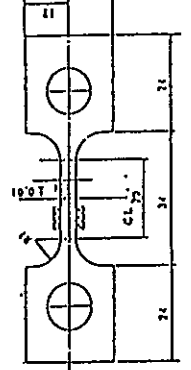
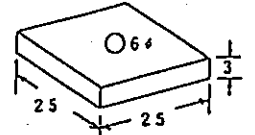
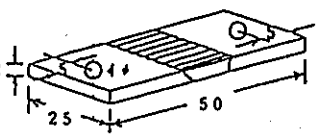
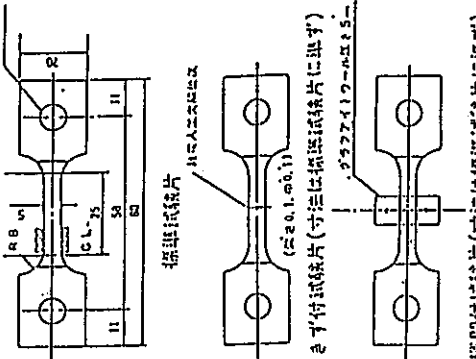
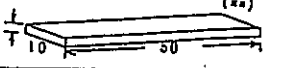
UCLT法 : 健全部、隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験した。その結果、いずれの場合も破断時間が短くなる傾向はなかった。

### 3. 残留除染液の影響

- (1) 試験方法  
 全面腐食量、異種材接触腐食量、溶接部腐食量の測定、低速度引張試験(SSRT)法、  
 単軸定荷重引張試験(UCLT)法、すき間付与試験(CBB)法
- (2) 試験片  
 全面腐食量、異種材接触腐食量、溶接部腐食量の測定：  
 溶接部構成材料13種類(SUS304, SUS316, STPT42等)  
 UCLT法：鋭敏化SUS304(すき間付試験片、人工欠陥付試験片を含む)、  
 SSRT法：水素富化Zr-2.5%Nb  
 CBB法：鋭敏化SUS304, SUS403Mod
- (3) 試験条件  
 温度：150 ~ 285 °C  
 除染剤濃度：0.1 ~ 10 ppm  
 試験時間：最大 600時間  
 歪速度： $4.2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
- (4) 調査項目

腐食量		試験前後の試験片の重量差から腐食量を求めた。また試験片の表面積から、単位面積あたりの腐食量を算出した。 なお、腐食量の表示(mg)は天秤精度を考慮し、1mgを下限值とし、単位面積あたりの表示(mg/cm <sup>2</sup> )も1mg/試験片表面積cm <sup>2</sup> (およそ0.05mg/cm <sup>2</sup> )を下限值とした。
検査	CBB法	金属顕微鏡により、試験片の断面を観察し、試験前後の表面部の組織粒界の状態を比較した。 代表的な箇所を400倍で写真撮影した。
	SSRT法	試験片の破断面を走査電子顕微鏡で観察し、SCC破断面と断面収縮率を求めた。
その他	SSRT法	SSRT試験の記録から試験片が破断するまでの荷重データと、試験片の伸び量などから最大応力値、破断重量を求めた。
	UCLT法	UCL試験の記録紙から、試験片が破断するまでの時間を求めた。

### (5) 試験片の概要

分類	材質	試験片の形状・大きさ(mm)	分類	材質	試験片(試験体)の形状・大きさ(mm)
全面腐食試験	SUS304		水素遅れ割れ試験 (SSRT法)	水素富化Zr-2.5%Nb (450°C, 約6hr)	
	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr)				
	SCS13				
	SUS403Mod				
	SUS440C				
	Zr-2.5%Nb				
STPT42					
異種材接触腐食試験	SUS403Mod + Zr-2.5%Nb				
溶接部腐食試験	SUS304 - SUS304		応力腐食引張試験 (UCLT法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr)	
	STPT42 - SUS304				
	STPT42 - STPT42				
SCC試験 (CBB法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 24hr) SUS403Mod				

### (6) 試験結果

残留除染液による腐食試験結果

	材 質		腐 食 量 ( $\mu\text{m}$ )	材 質		腐 食 量 ( $\mu\text{m}$ )
企	SUS304		0.31 (0.35)	溶接部腐食	SUS304/SUS304	0.13
	SUS403Mod		0.90 (0.80)		SUS304/STPT42	0.13/0.69
面	SUS440C		0.84 (1.31)	異種材接触腐食	SUS403Mod	1.29
	SCS13		0.49 (0.77)			
	Zr-2.5%Nb		0.18 (0.13)			
	STPT42		0.56 (1.08)			
腐					Zr-2.5%Nb	0.27

### 試験条件

( ) 内は脱塩水での腐食値

クリデコン203 10ppm

285°C, 600hr



(6) 試験結果

残留除染液による鋭敏化SUS304のUCL試験結果

試験温度 (℃)	残留除染液濃度 (ppb)	試験時間 (h)	試験片寸法 (mm)	試験片形状	破断強度 (kg/mm <sup>2</sup> )							
					100	200	300	400	500	600	700	
150	2830~3940	120	φ10×100	丸棒	● (6.9)							
					● (6.7)							
					● (22.3)							
					● (21.0)							
					● (51.7)							
150	2830~4800	120	φ10×100	丸棒	● (4.0)							
					● (3.9)							
					● (32.9)							
					● (173.7)							
					● (402.5)							
150	2000~2900	120	φ10×100	丸棒	● (22.6)							
					● (22.8)							
					○ (50.7)							
					○ (50.7)							
					○ (50.7)							
150	200~300	120	φ10×100	丸棒	● (34.2)							
					● (25.6)							
					● (93.8)							
					● (25.1)							
					● (55.0)							
150	100~500	120	φ10×100	丸棒	● (24.6)							
					● (74.5)							
					● (141.8)							
					● (190.1)							
					● (256.2)							
150	100~240	120	φ10×100	丸棒	● (137.8)							
					● (200.0)							
					○ (50.2)							
					○ (50.2)							
					○ (50.2)							

● 破断、○未破断を示す。

試験温度 (℃)	残留除染液濃度 (ppb)	試験時間 (h)	試験片寸法 (mm)	試験片形状	破断強度 (kg/mm <sup>2</sup> )						
					100	200	300	400	500	600	700
280	2750~3440	120	φ10×100	丸棒	○ (671.7)						
					○ (671.7)						
					● (356.1)						
					○ (671.7)						
					○ (671.7)						
280	2070~3520	120	φ10×100	丸棒	○ (500.6)						
					○ (500.6)						
					○ (500.6)						
					○ (500.6)						
					○ (500.6)						
280	2600~3750	120	φ10×100	丸棒	○ (501.3)						
					○ (501.3)						
					○ (501.3)						
					○ (501.3)						
					○ (501.3)						
280	210~260	120	φ10×100	丸棒	○ (500.6)						
					○ (500.6)						
					○ (500.6)						
					○ (500.6)						
					○ (500.6)						
280	61~500	120	φ10×100	丸棒	○ (520.8)						
					○ (520.8)						
					○ (520.8)						
					○ (520.8)						
					○ (520.8)						
280	100~400	120	φ10×100	丸棒	○ (503.5)						
					○ (503.5)						
					○ (503.5)						
					○ (503.5)						
					○ (503.5)						

● 破断、○未破断を示す。

(7) まとめ

① 全面腐食

残留模擬除染液 (クリデコン203, 10ppm) の炉水温度条件下での腐食性は、脱塩水の場合と同等若しくはそれ以下であった。

② 溶接部腐食

イ. 溶接部を有する試験片の腐食性は、全面腐食試験の結果と変わりなかった。

ロ. 溶接熱影響部の異常腐食 (加速若しくは局部腐食) は認められなかった。

③ 異種材接触腐食

イ. 異種材をボルト締めによって圧着した状態の試験片を用いて調べたが、この場合も全面腐食試験の結果とほとんど変わりなかった。

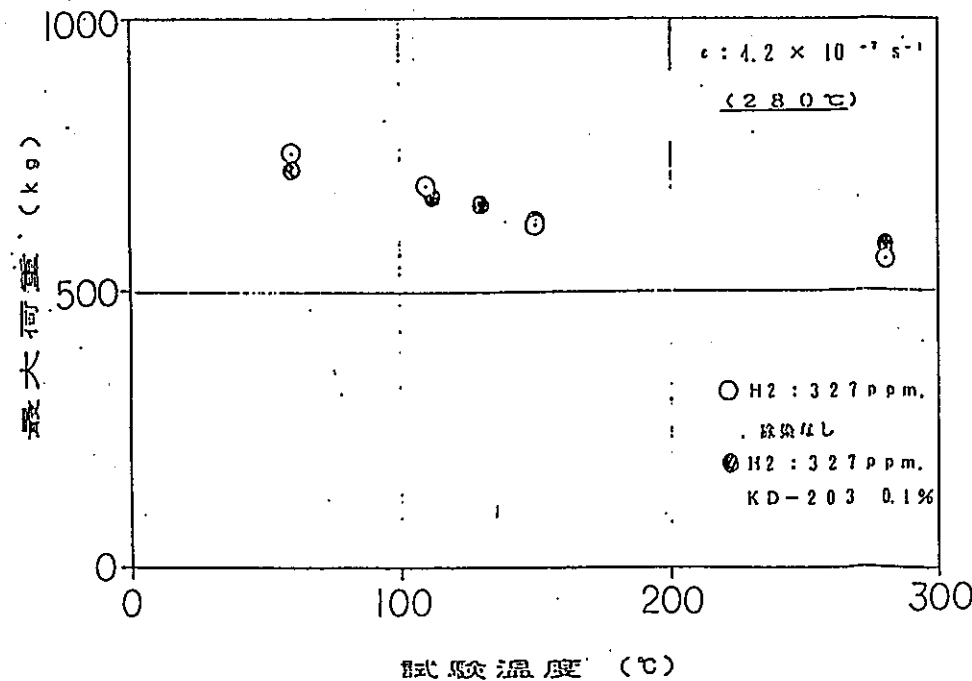
ロ. 異種材の接触で発生しうるガルバニック腐食はなかった。

④ SCC

UCLT法: 健全部、隙間部及び欠陥部を想定して、UCLT法で試験した。その結果、いずれの場合も残留除染液の破断時間に及ぼす有意な影響はなかった。

SSRT法: 水素を吸収した圧力管材 Zr-2.5%Nb を用いて、除染による影響を調べた。その結果、除染の有無で最大荷重に差異はなかった。

CBB法: (除染+運転) のサイクルを15回くり返す方法により残留除染液のSCC感受性を調べた。その結果SUS304鋭敏化材とSUS403ModでSCCの発生は勿論、粒界腐食の微候も認められなかった。又この結果は、脱塩水での結果と差異はなかった。



水素富化Zr-2.5%Nb に及ぼす除染剤の影響

4. 除染後の腐食 (除染表面の炉水中でのアフターエフェクト)

(1) 試験方法

低歪速度引張試験 (SSRT) 法

(2) 試験片

SSRT法: 鋭敏化SUS304 水素富化Zr-2.5%Nb

(3) 試験条件

温度 : 280 °C  
 除染剤濃度 : 0 %  
 溶存酸素濃度 : 20 ppb ~ 1 ppm  
 歪速度 :  $4.2 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ ,  $8.3 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

(4) 調査項目

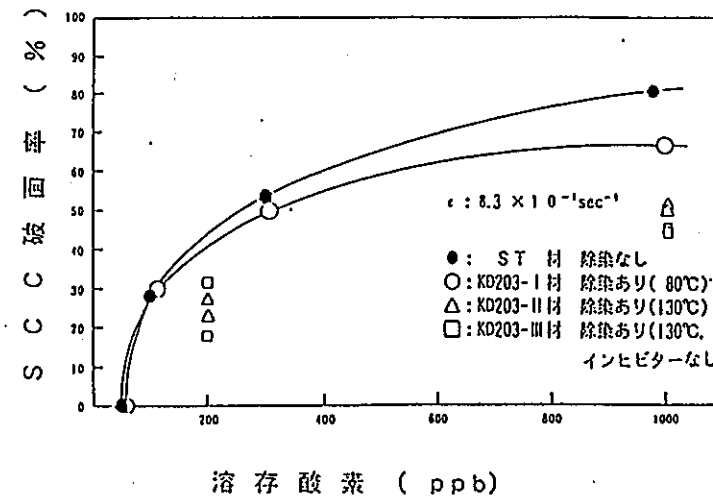
SSRT法: 試験片の破断面を走査電子顕微鏡で観察し、SCC破面率と断面収縮率を求めた。また、SSRT試験の記録から、試験片が破断するまでの荷重データと試験片の伸び量などから最大応力値、破断歪量を求めた。

(5) 試験片の概要

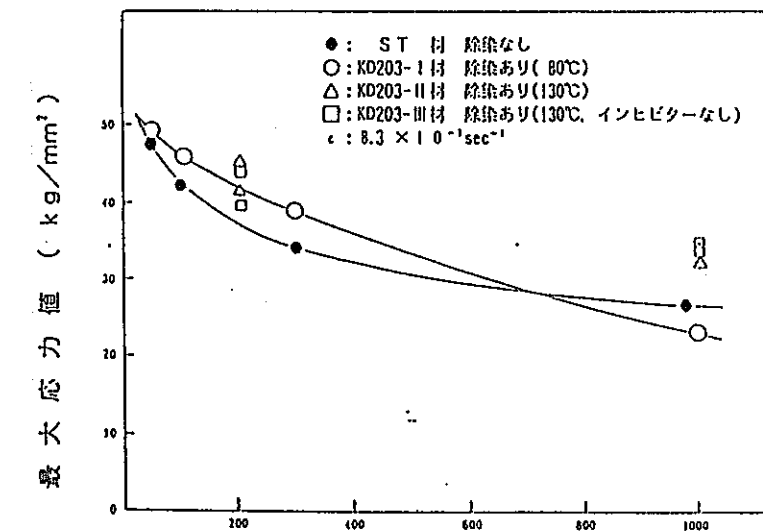
区分	材質	試験片(試験体)の形状・大きさ(mm)
応力腐食割れ試験 (SSRT法)	鋭敏化SUS304 (650°C, 2hr)	
水素遅れ割れ試験 (SSRT法)	水素富化Zr-2.5%Nb (450°C, 約6hr)	

歪速度:  $\dot{\epsilon} = 8.3 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$

試験体No	DO (ppb)	SCC (%)	破断時間 (Hr)	破断伸び量 (%)	最大荷重		断面収縮率 (%)	備考 除染条件
					(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )		
ST-1	980	80.1	83.0	26.4	300	25.0	25.2	除染なし
ST-2	300	53.0	109.1	32.7	405	33.8	28.5	
ST-3	320	47.9	119.1	35.7	455	37.9	24.3	
ST-4	100	27.8	141.1	42.3	559	46.6	52.4	
ST-5	51	8.6	195.7	58.7	645	53.3	65.0	
KD203-I-5	1000	65.6	76.2	22.8	363	30.3	21.6	除染あり KD203 0.1X 80°C, 24hr インヒビター 0.1X
KD203-I-6	310	49.7	105.3	31.4	465	38.8	35.0	
KD203-I-7	105	29.6	159.5	47.8	551	45.9	35.8	
KD203-I-8	50	0	255.8	76.8	652	54.3	66.2	
KD203-II-1	208	23.0	213.5	64.0	547	45.6	35.0	除染あり KD203 0.1X 130°C, 96hr インヒビター 0.1X
KD203-II-2	194	27.3	140.1	42.0	495	41.3	27.6	
KD203-II-3	1075	50.5	104.3	29.6	415	34.6	39.1	
KD203-II-4	1030	49.3	83.4	25.0	389	32.4	17.3	
KD203-III-1	200	18.0	147.8	44.3	527	43.9	56.1	除染あり KD203 0.1X 130°C, 96hr インヒビター なし
KD203-III-2	210	31.3	136.1	40.8	475	39.6	40.6	
KD203-III-3	1090	43.9	108.2	32.5	420	35.0	30.0	
KD203-III-4	940	44.5	99.3	29.8	409	34.1	34.9	



SCC破面率と溶存酸素の関係



最大応力値と溶存酸素の関係

(7) まとめ

除染によって露出された構成材の表面が再び炉水に接触した場合、SCC感受性が高まるようなことはないかをSSRT法で調べた。その結果、

- SCC破面率は除染をした場合としない場合とで差異はなかった。
- 金属の強度や延性をみる最大荷重、伸び量及び断面収縮率を合わせて調べたが、除染の有無で有意差はなかった。
- 水素を吸収した圧力管材Zr-2.5%Nbを用いて、除染による影響を調べた。その結果、除染の有無で最大荷重に差異はなかった。(3-4ページ参照)

## 5. ロールジョイント部の耐久試験

### (1) 試験方法

実機を模擬した短尺試験体を用いたモックアップ試験

### (2) 試験体

実機ロールジョイントと同様の条件で製作された短尺試験体

### (3) 試験条件

除染(90~120℃)24時間+原子炉運転状態模擬環境(285℃)1ヶ月のサイクルを10回繰り返した。

### (4) 調査項目

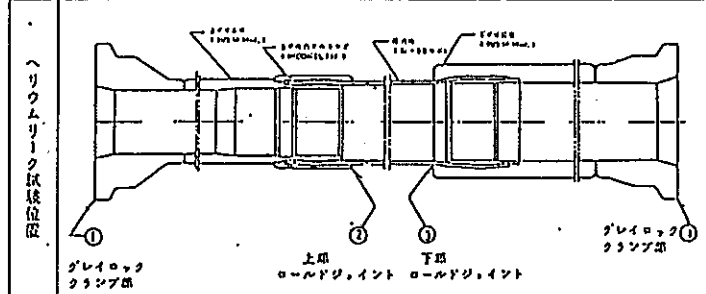
ヘリウムリーク試験: 5 kg/cm<sup>2</sup>で1hr加圧, 放置してリークの調査

腐食率測定: 電気化学的測定による腐食量の測定

## (6) 試験結果

ヘリウムリーク試験の結果

試験位置	試験時期	試験圧力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	Heガス濃度 (%)	放置時間 (min)	最高検出感度 (Acc/sec)	測定値 (Acc/sec)
①	第7回運転後	-	-	-	-	-
	第8回運転後	5	約17	180	1.33 × 10 <sup>-1</sup>	<1.33 × 10 <sup>-1</sup>
	第9回運転後	5	約17	120	8.38 × 10 <sup>-1</sup>	<8.38 × 10 <sup>-1</sup>
	第10回運転後	5	約17	180	4.19 × 10 <sup>-1</sup>	<4.19 × 10 <sup>-1</sup>
②	第7回運転後	5	約17	120	2.99 × 10 <sup>-1</sup>	<2.99 × 10 <sup>-1</sup>
	第8回運転後	5	約17	180	6.67 × 10 <sup>-1</sup>	<6.67 × 10 <sup>-1</sup>
	第9回運転後	5	約17	120	4.19 × 10 <sup>-1</sup>	<4.19 × 10 <sup>-1</sup>
	第10回運転後	5	約17	180	2.10 × 10 <sup>-1</sup>	<2.10 × 10 <sup>-1</sup>
規定値		5	10以上	60以上	-	<1 × 10 <sup>-1</sup>



腐食試験の結果

作業項目	腐食速度			腐食量
	腐食速度 Icorr (μA/cm <sup>2</sup> )	腐食速度 W (mdd)	深さ (μm/y)	
圧力管 1r-2, 3r-2				最小使用内径: 3.98mm 30年間(平均腐食量): 310 μm
圧力管 (内表面)	0.040	0.002	0.45	30年間(平均腐食量): 0.15 × 10 <sup>-2</sup> = 1.5 μm
圧力管	0.065	0.133	0.75	
延長部及び 内リング SUS403Mod				最小使用内径: 12.1mm
延長部 (内表面)	0.241	0.536	2.5	30年間(平均腐食量): 2.5 × 10 <sup>-2</sup> = 25 μm
延長部	0.133	0.333	1.9	

## (5) 試験体の概要

分類	材質	試験片(試験体)の形状・大きさ(mm)
ロールジョイント部の耐久試験	Zr-2.5%Nb + SUS403Mod	<p>全長: 1500 外径: ロールジョイント部で142</p>

## (7) まとめ

- ① ヘリウムリーク試験の結果、ロールジョイント部の気密性に異常は見られなかった。
- ② ロールジョイント部の隙間について電気化学的な腐食測定法を行い、その腐食量は十分に小さいことが確かめられた。

