

新型転換炉ふげん発電所  
第16回定期検査における  
原子炉冷却系Aループの系統化学除染

2001年3月

核燃料サイクル開発機構

敦賀本部 新型転換炉ふげん発電所

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。

〒914-8510 福井県敦賀市明神町3番地  
核燃料サイクル開発機構 敦賀本部  
新型転換炉ふげん 発電所 技術課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Section

Fugen Nuclear Power Station

Tsuruga Head Office

Japan Nuclear Cycle Development Institute

3 Myojin-cho, Tsuruga-shi, Fukui 914-8510

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

## 新型転換炉ふげん発電所 第16回定期検査における 原子炉冷却系Aループの系統化学除染

新型転換炉ふげん発電所 除染 WG

技術課 塚本裕一、片野好章

安全管理課 森田 聡、青井正勝

北村高一

発電課 小堀勝、前田康一

保 修 課 尾崎信治、奥沢良和

花房航介

### 要 旨

新型転換炉ふげん発電所(以下「ふげん」という)の第16回定期検査において、原子炉冷却系 A ループの再循環ポンプ及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検作業にともなう被ばく低減のため、昨年原子炉冷却系 B ループで実施した酸化還元除染法(HOP法)の経験を踏まえ、Aループの系統化学除染を平成12年8月に実施した。

前回の除染は B ループの再循環ポンプ等の分解点検作業にともなう被ばく低減と、第15回定期検査以後に実施する亜鉛注入による放射能蓄積抑制技術の効果評価を補完するため、更に、長期間水素注入継続プラントに適用できる除染法の実証を目的に、新規開発の HOP 法により実施し、良好な除染効果を得ると共に、除染法の有効性を実証した。

今回Aループの除染計画検討にあつたては、Bループでの除染経験を踏まえた検討を行い、除染方法、設備及び運転操作等の改善を行った。その結果、除染作業は計画工程通り順調に進めることができ、原子炉冷却系 A ループの機器・配管表面線量当量率を全て0.4mSv/h以下と大幅に低減することができ、再循環ポンプ等の分解点検作業に直接影響する部位についての総括除染係数として約33を得、良好な除染結果を得た。この結果、再循環ポンプ等の分解点検作業時の総線量当量を、除染しない場合の予測値の1/10(3.3人・Sv⇒0.33人・Sv)へと大幅に低減し、前回を凌ぐ顕著な被ばく低減効果を得、所期の目的を達成することができた。

以上2回に亘る除染により、定期検査時の被ばく低減を達成すると共に、長期間水素注入継続プラントに対するHOP法による除染方法を確立することができた。

— 目 次 —

1. 概要	1-1
2. 経緯及び必要性	2-1
3. 系統化学除染方法	3-1
3.1 除染方法の改善	3-1
3.2 除染範囲	3-1
3.3 除染条件	3-2
3.4 除染設備と系統構成	3-2
3.4.1 本設設備	3-3
3.4.2 仮設設備	3-3
3.5 除染工程	3-4
3.6 除染時モニタリング	3-6
3.6.1 水質モニタリング	3-6
3.6.2 線量当量率モニタリング	3-7
3.7 廃棄物管理	3-7
4. 除染実施準備	4-1
4.1 除染体制と分担	4-1
4.2 運転操作及び分析作業	4-1
5. 除染実施状況	5-1
5.1 概況	5-1
5.2 除染工程	5-1
5.3 除染中のプラント状態変化	5-7
5.3.1 本設設備の運転状態	5-7
5.3.2 仮設設備の運転状態	5-9
5.4 除染中の除染プロセス状態変化	5-12
5.4.1 除染剤濃度、導電率及びpH変化	5-12
5.4.2 放射能及び金属濃度変化	5-12
5.4.3 線量当量率変化	5-14
6. 除染結果	6-1
6.1 除染効果	6-1
6.1.1 除染係数	6-1
6.1.2 被ばく低減効果	6-3

6.2 放射能及び金属除去量 .....	6-4
6.2.1 放射能除去量 .....	6-4
6.2.2 金属除去量 .....	6-5
6.3 廃棄物発生量 .....	6-6
7. Aループ除染における改善及び次回への提案 .....	7-1
7.1 Aループ除染における改善 .....	7-1
7.2 今後の課題及び提案 .....	7-7
8. 除染結果纏め .....	8-1
9. 終りに .....	9-1

— 表 リ ス ト —

表3-1	A系除染における改善	3-8
表3-2	系統化学除染範囲の接液面積及び保有水量	3-9
表3-3	系統化学除染の作業時間、判定条件及び確認方法	3-10
表3-4	除染時の水質モニタリング計画	3-12
表5-1	薬品使用量実績	5-16
表6-1	原子炉冷却系Aループの系統化学除染における総括除染係数	6-7
表6-2	原子炉冷却系の系統化学除染における除染係数の比較	6-8
表6-3	Aループ主要機器・配管の除染係数	6-9
表6-4	A系除染における主要エリアの除染係数	6-10
表6-5	A系除染におけるRCP等分解点検に係わる被ばく低減効果	6-11
表6-6	A系除染時の放射能及び金属除去量	6-12
表6-7	各サイクル毎の放射能及び金属除去量	6-12
表6-8	酸化除染時のCr溶解量	6-13
表6-9	二次廃棄物発生量	6-14
表7-1	A系除染における改善とその結果	7-8
表7-2	次回除染時反映事項	7-10

— 図 リ ス ト —

図2-1 「ふげん」における線量当量の推移及び第16回定検時の予測	2-3
図2-2 Aループ再循環ポンプ(A-RCP)吐出管の表面線量当量率変化	2-4
図2-3 Bループ再循環ポンプ(D-RCP)吐出管の表面線量当量率変化	2-5
図3-1 系統化学除染範囲	3-13
図3-2 酸化還元除染法による付着酸化物の溶解プロセス	3-14
図3-3 系統化学除染の系統構成	3-15
図3-4(1/4) 除染設備配置 A/B 1F	3-16
図3-4(2/4) 除染設備配置 A/B 2F	3-17
図3-4(3/4) 除染設備配置 R/B 1F	3-18
図3-4(4/4) 除染設備配置 R/B 6F	3-19
図3-5 系統化学除染作業フロー	3-20
図3-6 Aループ系統化学除染工程計画	3-21
図3-7(1/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (1)昇温	3-22
図3-7(2/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (2)酸化除染モード	3-23
図3-7(3/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (3)酸化剤分解STEP1	3-24
図3-7(4/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (4)酸化剤分解STEP2	3-25
図3-7(5/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (5)酸化剤分解STEP3	3-26
図3-7(6/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (6)酸化剤分解STEP4	3-27
図3-7(7/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (7)酸化剤分解STEP5	3-28
図3-7(8/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (8)還元除染モード	3-29
図3-7(9/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (9)還元剤分解モード	3-30
図3-7(10/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (10)中間・最終浄化モード	3-31
図3-7(11/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (11)フラッシング時 浄化モード	3-32
図3-8 無線式モニタ設置状況	3-33
写真3-1 R/B 1F 除染設備設置状況	3-34
写真3-2 A/B 2F 除染設備設置状況	3-35
図4-1 系統化学除染時の体制及び分担	4-2
図5-1 Aループ系統化学除染実績工程	5-17
図5-2 Aループ化学除染運転履歴(蒸気ドラム水位)	5-18
図5-3 Aループ化学除染運転履歴(蒸気ドラム温度)	5-18

図5-4	Aループ化学除染運転履歴(再循環ポンプ流量)	5-19
図5-5	Aループ化学除染運転履歴(CUW戻り流量)	5-19
図5-6	Aループ化学除染運転履歴(非再生熱交換器流量、温度)	5-20
図5-7	Aループ化学除染運転履歴(非再生熱交換器冷却熱量)	5-20
図5-8	Aループ化学除染運転履歴(RHR熱交換器流量と温度)	5-21
図5-9	Aループ化学除染運転履歴(RHR熱交換器加熱量)	5-21
図5-10	Aループ化学除染運転履歴(再循環仮設設備流量)	5-22
図5-11	Aループ化学除染運転履歴(再循環仮設設備水温)	5-22
図5-12	Aループ化学除染運転履歴(CUW仮設設備流量)	5-23
図5-13	Aループ化学除染運転履歴(CUW仮設設備水温)	5-23
図5-14	Aループ化学除染運転履歴(触媒塔通水流量)	5-24
図5-15	Aループ化学除染運転履歴(触媒塔通水温度)	5-24
図5-16	Aループ化学除染運転履歴(フィルタ通水状態)	5-25
図5-17	Aループ化学除染運転履歴(フィルタ圧力状態)	5-25
図5-18	Aループ化学除染運転履歴(再循環系仮設加熱器流量、温度)	5-26
図5-19	Aループ化学除染運転履歴(再循環系仮設加熱器加熱量)	5-26
図5-20	Aループ化学除染運転履歴(CUW仮設加熱器流量、温度)	5-27
図5-21	Aループ化学除染運転履歴(CUW仮設加熱器加熱量)	5-27
図5-22	A系系統化学除染時の再循環系除染液濃度変化	5-28
図5-23	A系系統化学除染時のCUW脱塩器入口・出口除染液濃度変化	5-29
図5-24	A系系統化学除染時の導電率及びpH変化	5-30
図5-25	A系系統化学除染時の再循環系放射能濃度変化	5-31
図5-26	A系系統化学除染時のCo-60濃度変化	5-32
図5-27	A系系統化学除染時のCo-58濃度変化	5-33
図5-28	A系系統化学除染時のCr-51濃度変化	5-34
図5-29	A系系統化学除染時のMn-54濃度変化	5-35
図5-30	A系系統化学除染時のFe-59濃度変化	5-36
図5-31	A系系統化学除染時のZn-65濃度変化	5-37
図5-32	A系系統化学除染時のFe濃度変化	5-38
図5-33	A系系統化学除染時のCr濃度変化	5-39
図5-34	A系系統化学除染時のNi濃度変化	5-40
図5-35	A系系統化学除染時のZn濃度変化	5-41
図5-36	A系系統化学除染時のMn濃度変化	5-42
図5-37	A系系統化学除染時のK濃度変化	5-43



図5-38 Fe濃度とFe-59,Mn-54濃度変化	5-44
図5-39 Cr濃度とCr-51濃度変化	5-45
図5-40 Ni濃度とCo-60,Co-58濃度変化	5-46
図5-41 無線式エリアモニタによるA系機器配管代表点の表面線量当量率推移	5-47
図5-42 無線式エリアモニタによるA系機器配管19点の表面線量当量率推移	5-48
図6-1 A系除染前後の各部の線量当量率変化	6-15
図6-2 RCP等分解点検における系統化学除染の効果	6-16
図6-3 「ふげん」定期検査における線量当量の実績推移	6-17
図6-4 A系系統化学除染時の放射能除去量経時変化	6-18
図6-5 除染サイクル毎の放射能及び金属除去量	6-19
図6-6 放射能及び金属除去量の前回との比較	6-20
図6-7 A系系統化学除染時の金属除去量の経時変化	6-21
図6-8 A系化学除染時のCr濃度変化	6-22
図6-9 B系化学除染時のCr濃度変化	6-22
図6-10 A系及びB系化学除染時のCr濃度比較	6-23
図6-11 樹脂塔及び触媒塔出入り口Cr濃度変化とCr除去量計算見直し結果	6-24
写真6-1 第16回定検 A蒸気ドラム内部点検	6-25
図7-1 B系除染時の触媒塔におけるシュウ酸の分解率	7-12
図7-2 A系除染時の触媒塔におけるシュウ酸の分解率	7-12
図7-3 A系除染時フラッシング(I)期間中の水質変化	7-13

— 添付資料 リスト —

- 5-1 : A系系統化学除染水質分析データ
- 5-2 : A系系統化学除染線量当量率測定データ
- 6-1 : 機器・配管の除染係数計算データ
- 6-2 : 作業雰囲気の除染係数計算データ
- 6-3 : CUW非再生熱交換器の線量当量率上昇について(参考資料5-1の添付資料-2)

— 参考資料 リスト —

- 3-1 : JSE-91-0017 訂3 系統化学除染実施計画書、H12.8.2、日立
- 3-2 : ATR-16-A122 A原子炉冷却系系統化学除染工事作業実施要領書、H12.7.28、三菱
- 3-3 : 特殊操作手順書 一原子炉冷却系系統化学除染一、発電課
- 5-1 : JSE-91-0034 訂1 系統化学除染工事報告書、H12.11.14、日立
- 5-2 : ATR-16-D122 A原子炉冷却系系統化学除染工事作業実施報告書、H12.10.17、三菱

## 1. 概 要

新型転換炉ふげん発電所(以下「ふげん」という)の第 16 回定期検査において、原子炉冷却系 A ループの再循環ポンプ及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検作業にともなう被ばく線量当量低減のため、昨年原子炉冷却系 B ループで実施した酸化還元除染法(HOP 法)の経験を踏まえ、A ループの系統化学除染を 8 月 24 日から 9 月 2 日にかけて実施した。

前回の第 15 回定期検査においては、原子炉冷却系 B ループの再循環ポンプ及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検作業にともなう被ばく線量当量低減のため、更には第 15 回定期検査以後に実施する亜鉛注入による放射能蓄積抑制技術の効果評価を補完するために、平成 11 年 2 月、新たに開発された酸化還元除染法(HOP 法)による原子炉冷却系 B ループの系統化学除染を実施した。その結果、除染効果を示す除染係数について良好な結果を得ると共に、被ばく線量当量の大幅な低減を達成し、良好な除染結果を得ることができた。

これにより長期間水素注入継続プラントに対する HOP 法による除染の有効性が実証され、酸化還元法による系統化学除染技術をほぼ確立することができた。

しかしながらこの時点においては、本法の実機適用は「ふげん」が最初であったため、除染計画時には想定できなかった課題も明らかになった。このため、A ループの除染計画検討にあつたては、B ループでの除染経験を踏まえた検討を行い、除染方法、設備及び運転操作等の改善を行った。また、第 15 回定検以前の凡そ4ヶ月に亘る亜鉛注入試験及び定検後連続実施されている亜鉛注入による除染への影響の有無を明らかにするため、遮蔽プラグラッチ部連結ボルトを用いた実験室での除染試験も行い、除染実施に備えた。

その結果、除染作業は計画工程通り順調に進めることができ、原子炉冷却系 A ループの機器・配管表面線量当量率を全て 0.4mSv/h 以下と大幅に低減することができ、再循環ポンプ等の分解点検作業に直接影響する部位についての総括除染係数として約 33 を得、良好な除染結果を得た。これにより、再循環ポンプ等の分解点検作業時の総線量当量を、除染しない場合の予測値の 1/10(3.3 人・Sv⇒0.33 人・Sv)へと大幅に低減し、顕著な被ばく低減効果を得、所期の目的を達成することができた。これらのことから、長期間水素注入継続プラントに対する HOP 法による除染方法を確立することができた。

本報告書は原子炉冷却系 A ループで実施した系統化学除染結果を中心に、HOP 法による「ふげん」原子炉冷却系の系統化学除染結果を取り纏めたものである。

## 2. 経緯及び必要性

「ふげん」の定期検査における線量当量の推移を図 2-1 に示す。定期検査期間中の線量当量のうち、通常の定期検査作業において作業員の受ける線量当量(通常定期検査分)は、機器・配管等の線量当量率が図 2-2 に示すように年々上昇しているにもかかわらず、近年では 2.0～3.0 人・Sv 程度と横ばいで推移している。これは、作業の自動・遠隔化や作業手順の合理化、遮へい設備の設置及び被ばく低減意識の高揚活動等による線量当量低減努力の成果といえる。

しかし、第 15 回定期検査では、通常の定期検査作業に加えて、原子炉冷却系 B ループの線量当量率の高い、再循環ポンプ(RCP)及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検等を実施するため、線量当量は 6.9 人・Sv と大幅に増加することが予想された。このため、定常的な被ばく低減策に加えて効果的な被ばく低減策として、系統化学除染が必要となった。

一方、原子炉冷却系機器・配管の線量当量率上昇原因である Co-60 等の放射性核種の機器・配管への付着・蓄積抑制技術として、亜鉛注入技術の開発、実証が取り組まれ、実用化が進められており、本技術開発の集大成として、第 15 回定期検査後のプラント運転開始より、原子炉冷却系への亜鉛の連続注入が計画されていた。この連続注入実施開始に先立ち、系統化学除染を実施し、予め機器・配管内表面に付着している放射性核種を除去し、表面線量当量率を低減しておくことにより、亜鉛注入による配管表面線量当量率の再上昇が効果的に抑制され、線量当量率を低いレベルに維持できることが期待されていた。

以上の点を踏まえ、前回の第 15 回定期検査において、原子炉冷却系 B ループの再循環ポンプ及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検作業にともなう被ばく線量当量低減を主目的にし、更に第 15 回定期検査以後に実施する亜鉛注入による放射能蓄積抑制技術の効果評価を補完するため、平成 11 年 2 月、新たに開発された酸化還元除染法(HOP 法)により、原子炉冷却系 B ループ側の系統化学除染を実施した。

その結果、除染効果を示す除染係数 DF については、RCP 等の分解点検に直接係わる部位についての総括 DF として 20.3 を得、系統全体では 6.5 となり、第 8 回及び 9 回定検時に実施した還元除染法(クリデコン 203)の結果より良好な結果を得た。これにより、RCP 等の分解点検に係わる線量当量は大幅に低減され、定検における線量当量も 4.0 人・Sv と低減され、除染の効果は顕著であった。

また、第 16 回定検までの凡そ 1 年間の運転による B ループの線量当量率再上昇は、2 割程度と極めて低い上昇率であり、亜鉛注入をしなかった第 9 回定検時除

染後の線量当量率再上昇が凡そ7割であったことと比較して、亜鉛注入による配管表面線量当量率上昇抑制効果は顕著であった(図2-3参照)。尚、除染をしていないAループの線量当量率変化は小さいことが判った。

これにより長期間水素注入継続プラントに対するHOP法による除染の有効性が実証され、酸化還元法による系統化学除染技術をほぼ確立することができた。さらに、亜鉛注入技術は系統化学除染と組み合わせて実施することにより、効果的で恒久的な被ばく低減対策になることが実証された。

以上の経緯を踏まえ、第16回定期検査時に原子炉冷却系Aループの再循環ポンプ及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検作業に伴う被ばく線量当量低減のため、昨年(平成11年2月)原子炉冷却系Bループで実施した酸化還元除染法(HOP法)の経験を踏まえ、8月24日から9月2日にかけて系統化学除染を実施した。

昨年の系統化学除染実施においては、HOP法の実機適用は「ふげん」が最初であったため、除染計画時には想定できなかった事象も生じ、課題も明らかになった。このため、Aループの除染計画検討にあつたては、Bループでの除染経験を踏まえた検討を行い、除染方法、設備及び運転操作等の改善を行った。また、第15回定検以前の凡そ4ヶ月に亘る亜鉛注入試験及び定検後連続実施されている亜鉛注入による除染への影響の有無を明らかにするため、遮蔽プラグラッチ部連結ボルトを用いた実験室での除染試験も行い、除染実施に備えた。

その結果、今回Aループの除染作業は計画工程通り順調に進めることができ、原子炉冷却系Aループの機器・配管表面線量当量率を全て0.4mSv/h以下と大幅に低減することができ、除染効果を示す除染係数DFについては、RCP等の分解点検に直接係わる部位についての総括DFとして32.9を得、系統全体では16.4となり、Bループの除染結果に比較しても良好な除染結果を得た。これにより、再循環ポンプ等の分解点検作業時の総線量当量を、除染しない場合の予測値の1/10(3.3人・Sv⇒0.33人・Sv)へと大幅に低減し、顕著な被ばく低減効果を得、所期の目的を達成することができた。

また定検全体の被ばく線量も実績値は2.5人・Svであり、除染をしない場合の予測値、6.5人・Svの凡そ1/3へと大幅に低減することができた。

以上を纏めると、HOP法による系統化学除染法は顕著な被ばく低減効果をもたらし、亜鉛注入技術と組み合わせて実施することにより、効果的で恒久的な被ばく低減対策になることが実証され、長期間水素注入継続プラントに対する有効な除染方法であることが確立された。

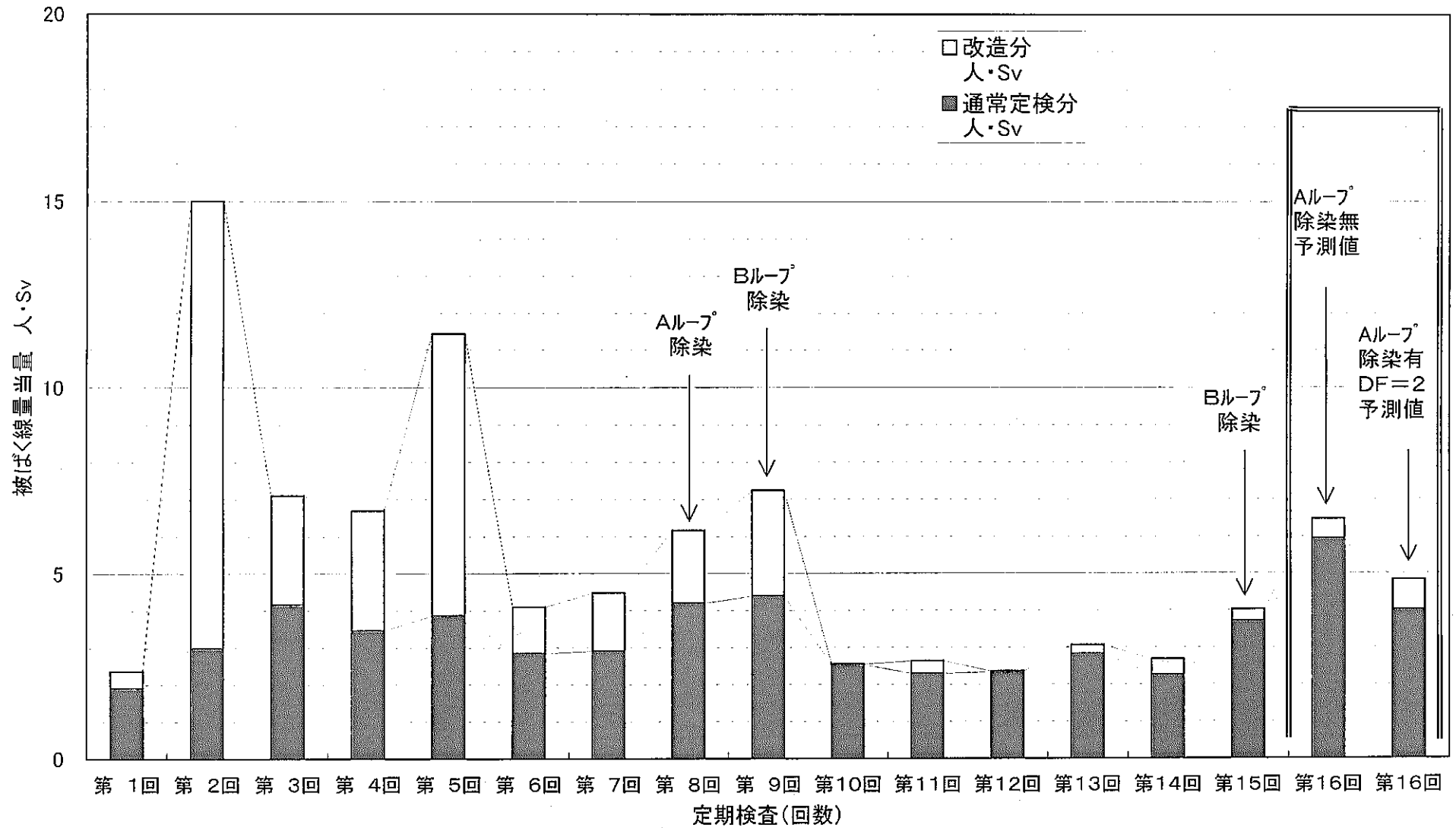


図2-1 「ふげん」における線量当量の推移及び第16回定検時の予測

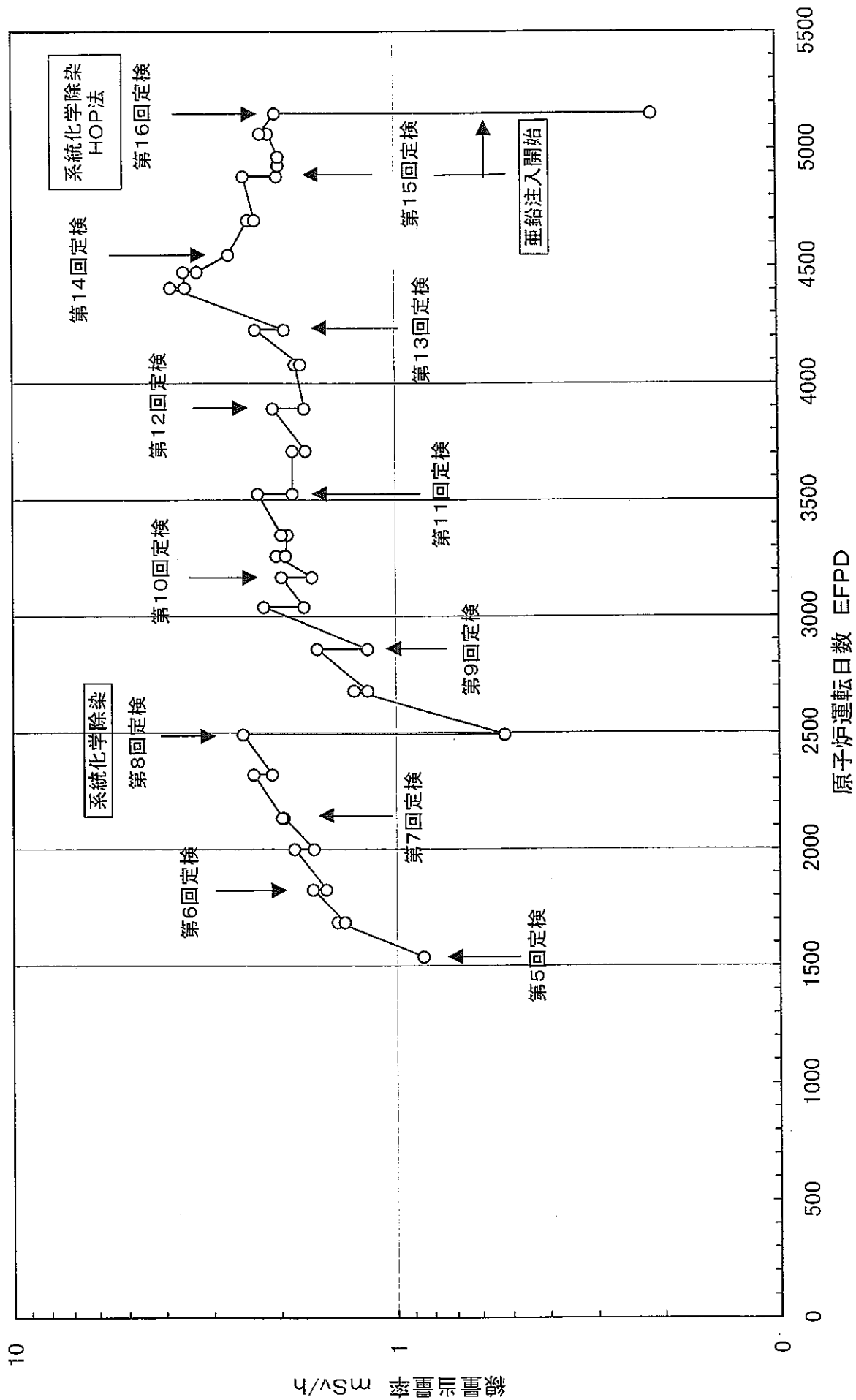


図2-2 Aグループ再循環ポンプ(A-RCP)吐出管の表面線量当量率変化

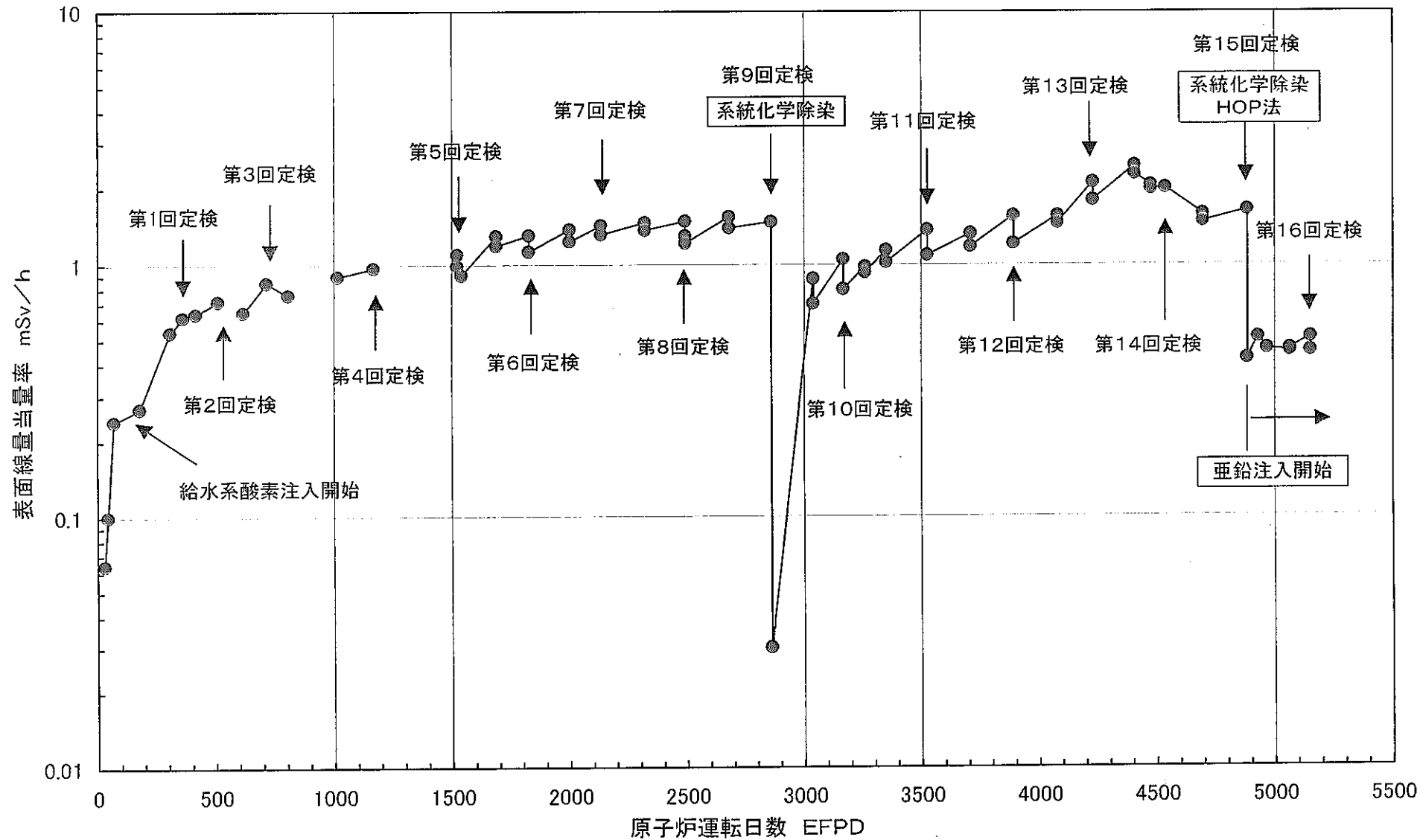


図2-3 Bループ再循環ポンプ(D-RCP)吐出管の表面線量当量率変化



### 3. 系統化学除染方法

今回の除染は前回 B ループで実施した除染方法を踏まえて計画された。ここでは計画の概要を簡単に纏めるが、詳細は参考資料 3-1~3 を参照されたい。

#### 3.1 除染方法の改善

A ループにおいても B ループで採用した HOP 法を適用して系統化学除染を実施することとした。しかしながら、第 15 回定検時に実施した(1999年2月)B ループの系統化学除染は HOP 法の最初の施行であったことから、除染時のプロセス、運転操作等に係わる計画外の事象が生じ、その対処をも含めて除染が実施された。そのため A ループの除染計画検討においては、B ループの除染で明らかとなった課題を念頭に検討し、除染プロセス、設備、運転法等の改善を行った。主要改善項目を表 3-1 に示すとともに、簡単に纏める。

主要改善点の第 1 は、上昇管部を始めとする除染効果の向上であり、このため第 1 サイクルの還元除染時間を 6 時間から 12 時間に延長し、第 2 サイクルのそれを 6 時間とした。

第 2 は、還元除染剤の分解効率向上であり、触媒塔通水液温度を凡そ 65℃ から 85℃ に増加させた。

第 3 は、充填ポンプの吐出圧低下対策であり、還元除染時の充填ポンプ通水液温度を 65℃ から 40℃ に低下させた。

第 4 は、仮設フィルターの目詰まり及び線量当量率の増加対策であり、フィルタ基数を 2 基から 6 基に増加した。併せて、遮へい厚みも 30mm から 80mm に増加した。

第 5 は、陰イオン交換容量の増加であり、混床樹脂比率(カチオン/アニオン)を 2/1 から 1/2 へと変更した。

この結果、おのこの課題は改善され、除染作業及び除染結果とも良好な結果を得ることが出来た。詳細は後述の 7 章を参照されたい。

#### 3.2 除染範囲

除染範囲は図 3-1 に示すように原子炉冷却系 A ループの原子炉本体及び蒸気ドラム、下降管、マニホールド、原子炉冷却材再循環ポンプ、吐出管、下部ヘッダ、入口管、圧力管、上昇管等の原子炉再循環系を対象としているが、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、及び再循環ポンプシール水注排水系も除染剤に接液する。

なお、除染対象ループの燃料集合体(112本)は全て取り出した後に除染を行った。表 3-2 に除染対象部の表面積、容量を示す。

### 3.3 除染条件

今回の系統化学除染条件は、前回実施したBループの除染条件とほぼ同じであるが、表3-1にも示したように第一サイクルの還元除染時間を12時間に変更した点が異なっているのみである。

除染条件を下記に示す。

- ・除染剤 : シュウ酸 (ヒドラジンで pH 2.5 調整) 約 2000ppm (還元溶解)  
過マンガン酸カリウム 約 500ppm (酸化溶解)
- ・温度 : 90±5℃
- ・除染法 : 酸化還元法 (HOP法、2サイクル)  
第1サイクル: 酸化(3h)⇒分解⇒還元(12h)⇒分解⇒中間浄化⇒  
第2サイクル: 酸化(3h)⇒分解⇒還元(6h)⇒分解⇒最終浄化
- ・除染液分解 : 酸化剤分解 シュウ酸により分解し、樹脂に吸着処理  
: 還元剤分解 過酸化水素注入、触媒塔により分解処理
- ・除染効果 : 除染係数 DF2以上 (目標DF10)

除染時の溶解プロセスを図3-2に示すが、第1ステップで過マンガン酸カリウムの注入による酸化処理を行い、酸化皮膜中のクロム酸化物を溶解して、還元溶解時に放射性コバルト等の溶解が起こりやすいように前処理を行い、酸化除染後には、シュウ酸除染剤の注入により過マンガン酸カリウムを分解する。

第2ステップにおいては、鉄酸化物と溶解しやすくなったコバルト等をシュウ酸系除染剤の注入により還元溶解させ除去する。還元溶解時においては、カチオン樹脂に通水し、溶解した金属イオンおよび放射性金属イオンを連続的に除去する。次に、除染後のシュウ酸除染液およびpH調整剤のヒドラジンは、過酸化水素を注入しつつ触媒塔への通水により分解する。その後、混床樹脂塔通水による系統水浄化を行う。ここまでの操作を第1サイクルとして、この操作を2サイクル繰り返して除染を行う。

### 3.4 除染設備と系統構成

原子炉冷却系の系統化学除染には原子炉冷却系の昇温、除染剤注入、除染剤分解等のための仮設設備が必要となるが、本系統と仮設設備はフランジ取り合いとした。除染設備を含めた系統化学除染全体の系統構成を図3-3に示す。また、仮設各設備の設置場所を図3-4(1/4～4/4)に示すと共に、設置状況を写真3-1,2に示す。

系統化学除染のための除染設備は以下のように構成する。

### 3.4.1 本設設備

#### (1) 原子炉浄化系脱塩塔

下記の様に区分して使用する。

- ・ A脱塩塔: 溶出した放射性金属イオンを除去するカチオン樹脂単床塔用
- ・ B脱塩塔: 中間浄化、最終浄化を行う混床樹脂塔用

#### (2) 余熱除去系

- ・ 昇温用として、蒸気ドラムから余熱除去ポンプ(A)、余熱除去系熱交換器(A)を経由し、下部ヘッダに戻るラインを使用する。

### 3.4.2 仮設設備

#### (1) 余熱除去系による加熱ライン

- ・ 余熱除去系熱交換器(A)には所内補助蒸気を導き、蒸気の凝縮水は、所内補助蒸気系の給水タンクに戻すラインを構成する。

#### (2) 再循環系仮設加熱器

- ・ 補助ポンプ、再循環系蒸気加熱器ユニット等から構成する。
- ・ マニホールドから除染液を取水して再循環系蒸気加熱器ユニットに通水し、下部ヘッダに戻る。
- ・ 再循環系蒸気加熱器ユニットには、所内補助蒸気を導き、蒸気の凝縮水は、所内補助蒸気系の給水タンクに戻る。

#### (3) 除染剤注入装置及びヒドラジン注入装置

- ・ 除染液注入ポンプユニット、除染剤溶解槽ユニット、ヒドラジン注入装置ユニットI、ヒドラジン注入装置ユニットII等から構成する。
- ・ ヒドラジン注入装置Iは原子炉浄化系バイパスラインに、ヒドラジン注入装置IIは再循環系仮設加熱器の出口ラインに接続した。除染剤注入ポンプユニットは再循環系仮設加熱器の出口ライン及び回収装置ユニットに接続する。

#### (4) 原子炉浄化系仮設加熱器

- ・ 原子炉浄化系蒸気加熱器ユニット等から構成する。
- ・ 脱塩器出口又は炉浄化系バイパスラインから取水して、炉浄化系蒸気加熱器ユニットに通水し、触媒塔に通水するラインとバイパスするラインを設け、炉浄化系バイパスラインに戻る。
- ・ 炉浄化系蒸気加熱器ユニットには所内補助蒸気を導き、蒸気の凝縮水は、所内補助蒸気系の給水タンクに戻る。

#### (5) 除染剤分解装置

- ・ 触媒塔、過酸化水素注入装置ユニット、回収装置ユニット等から構成する。

- ・ 炉浄化系蒸気加熱器ユニット出口部から取水して、炉浄化系バイパスラインに戻す。
- (6) 分解ガス処理装置
- ・ エアーフィンクーラー、デミスタ、HEPAフィルタから構成する。
  - ・ 蒸気ドラムBベントから分解ガス処理装置を通して換気系排気ダクトに接続する。
  - ・ 回収装置ユニットから分解ガス処理装置を通して換気系排気ダクトに接続する。

### 3.5 除染工程

系統化学除染の作業フロー及び作業工程を図 3-5,6 に示すが、昇温、酸化除染、酸化除染剤分解、還元除染、還元除染剤分解、中間浄化を 1 サイクルとし、これをもう 1 回繰返し、最終浄化の 2 サイクル工程で実施した。各工程における系統構成を図 3-7(1/11～11/11) に示す。

#### (1) 昇温モード(図 3-7(1/11)参照)

- ・ 蒸気ドラムA水位はNWL程度とし、再循環ポンプA, Cを低速運転するとともに、仮設補助ポンプも運転し炉水を循環させる。原子炉冷却材浄化系は、ブースタポンプ及び充填ポンプを運転し、減圧オリフィスのバイパスラインを介して循環運転を行うが、流量は  $11\text{m}^3/\text{h}$  とし、給水系には通水しない。
- ・ 昇温は、余熱除去系の熱交換器、再循環系蒸気加熱器ユニット及び原子炉浄化系蒸気加熱器ユニットに所内補助蒸気を通気して、原子炉冷却材温度を目標の  $90\pm 5^\circ\text{C}$  まで上昇させる。
- ・ 冷却材温度が  $60^\circ\text{C}$  以下の段階では、冷却材浄化系の非再生熱交換器への補機冷却水の通水は行わないで、 $60^\circ\text{C}$  以上になった時点で補機冷却水の通水を行い、脱塩器入口温度を  $60^\circ\text{C}$  以下にする。
- ・ 酸化除染工程で使用する過マンガン酸カリウムの溶解作業を行う。

#### (2) 酸化除染モード(図 3-7(2/11)参照)

- ・ 本モードでは、余熱除去系及び給水系には除染液を通水しない。また、冷却材浄化系の脱塩器はバイパス運転とする。
- ・ 除染剤注入ポンプにより、系統内の目標濃度が  $500\text{ppm}$  になるよう過マンガン酸カリウムを下部ヘッダAに注入し、系統内を循環させる。
- ・ 除染液は再循環系蒸気加熱器ユニット及び炉浄化系蒸気加熱器ユニットにより温度保持を行う。
- ・ フィルタへの通水は、6 塔全塔通水とする。

(3) 酸化剤分解モード(図 3-7(3/11~7/11)参照)

除染剤注入ユニットより、シュウ酸を 7 当量(酸化剤分解反応必要量の 7 倍)注入し、過マンガン酸カリウムを分解し、その後シュウ酸を追加注入し、還元除染に移行する。酸化剤分解過程で生成する $MnO_2$ により、再循環シール注排水系のフィルタの閉塞を防止するため、下記のステップに分割して行う。

・ ステップ 1:再循環系内の酸化剤分解

除染剤溶解ユニット薬品溶解タンク内に所定濃度、所定量のシュウ酸溶液を準備し、再循環ポンプ、冷却材浄化系とCUW仮設加熱器及び再循環ポンプシール注排水系を停止する。マニホールドから取水して、下部ヘッダに戻しているラインより、所定量のシュウ酸を除染剤注入ポンプで再循環系内に注入し、補助ポンプにより再循環系内(マニホールドから下部ヘッダ部は除く)の系統水の循環を行い、再循環系内の酸化剤を分解する。

・ ステップ 2:低圧サージタンク内の酸化剤分解

除染剤注入装置より低圧サージタンク内に所定量のシュウ酸を注入し、低圧サージタンク内の水を仮設循環ポンプで循環し、低圧サージタンク内の酸化剤を分解する。

・ ステップ 3:炉浄化系の酸化剤分解

再循環系及び低圧サージタンク内の分解終了後、冷却材浄化系及び再循環ポンプシール注排水系の運転を開始し、所定流量のシュウ酸を回収装置ユニットに注入して、冷却材浄化系及び再循環ポンプシール注排水系内の酸化剤を分解する。

・ ステップ 4:脱塩塔の酸化剤分解

炉浄化系脱塩塔(A脱塩器、カチオン樹脂)への通水を開始し酸化剤を分解すると共に、RCP起動に備える。

・ ステップ 5:再循環ポンプ内の酸化剤分解

脱塩器通水完了後、再循環ポンプA, Cの運転を行い、RCP廻りの酸化剤分解を行い、全系統の酸化剤分解を完了する。

(4) 還元除染モード(図 3-7(8/11)参照)

・ 余熱除去系の熱交換器、再循環系蒸気加熱器ユニットに所内補助蒸気を通気して、除染液温度を目標の  $90 \pm 5^\circ C$  まで昇温する。CUW 仮設加熱器への補助蒸気通気は停止する。

・ 除染剤注入ポンプユニットから下部ヘッダにシュウ酸を注入し、系統内のシュウ酸濃度を約 2000ppm にする。また、ヒドラジン注入装置からヒドラジンを下部ヘッダに注入し、pHが 2.5 程度なるように調整する。

- ・ 炉浄化系脱塩器Aには、カチオン樹脂を入れ、本脱塩器に通水し、溶解した鉄イオン等のカチオン成分を除去する。なお、除染液中のヒドラジンがカチオン樹脂に捕捉され、pHが低下するため、ヒドラジン注入装置から脱塩器下流にヒドラジンを注入し、pHを2.5に調整する。
- (5) 還元剤分解モード(図3-7(9/11)参照)
- ・ RHR及び再循環系仮設加熱器への補助蒸気通気を停止する。
  - ・ 炉浄化系蒸気加熱器ユニットに所内補助蒸気を通気し、触媒塔通水除染液温度を概略 $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ まで昇温し、触媒塔に通水する。この時、過酸化水素注入装置で触媒塔入口に過酸化水素を注入、シュウ酸及びヒドラジンを分解する。
  - ・ 一方、除染液の一部は加熱器をバイパスさせ、触媒塔出口側で触媒塔通水液と合流させ、除染液温度を $60^{\circ}\text{C}$ 程度に低下させる。
  - ・ 本モードでも、カチオン樹脂塔に通水し、鉄イオン等を除去するが、再循環系内シュウ酸濃度が100ppm以下ではB脱塩器(混床樹脂)に切替えて、シュウ酸を除去すると共に浄化工程に移行する。
  - ・ 除染液の分解によって発生したガスは、気水分離槽、回収装置ユニットを經由し、廃棄ガス処理装置より分解ガス放出ラインを介して、換気系排気ダクトに放出する。
- (6) 中間浄化及び最終浄化(図3-7(10/11))
- ・ 系統水を混床樹脂塔に通水し、系統水の導電率が、 $10\mu\text{S/cm}$ 以下(炭酸の寄与分除く)になるまで浄化を行う。
  - ・ 蒸気ドラム水位調整のため、低圧サージタンクより系統水の一部をブローする。
- (7) フラッシング・浄化(図3-7(11/11))
- ・ 除染剤の残存する可能性のあるドレンライン、ベントライン等のフラッシング及び浄化を行い、導電率を $1\mu\text{S/cm}$ 以下(炭酸の寄与分除く)にした後、系統内の水抜きを行い、系統化学除染作業を終了する。

なお、系統化学除染の各工程の終了判定基準と確認方法を表3-3に示すが、これらは基本的にはBループのそれと同じである。

### 3.6 除染時モニタリング

#### 3.6.1 水質モニタリング

除染工程の状態把握および終了判断を行うため、各工程毎に水質モニタリン

グの目的、サンプリング場所、頻度、分析測定項目を定めて水質測定を行う。

除染時の水質モニタリング計画およびサンプリング頻度、測定項目を表 3-4 に示す。

なお、測定項目は分析管理項目と参考分析項目に分け、分析管理項目については各除染工程を管理する重要な項目であり、タイムリー分析を行う。参考分析項目は各データ解析上必要な項目である。

### 3.6.2 線量当量率モニタリング

除染時における除染進捗状況をリアルタイムに把握するため、原子炉冷却系Aループの線量当量率(19箇所)を、図 3-8 に示す無線式シリコン半導体検出器システムにより連続測定した。これにより、除染進捗状況をリアルタイムに把握すると共に、局所的な線量当量率の上昇のないことを確認しつつ除染作業を実施する。

また、除染効果の評価に必要な線量当量率データは、機器・配管表面の除染前及び最終浄化終了時に、電離箱式サーベイメータによる約200点に及ぶ測定により取得する。

更に作業雰囲気線量当量率についても、作業員の立入る場所にはエリアモニタ表示器を設置し、作業時の被ばく管理に反映すると共に、除染前後において約100点の計測を行い、評価に反映する。

### 3.7 廃棄物管理

系統化学除染に伴って発生した二次廃棄物は通常の廃棄物処理方法に従い、廃棄物処理系で処理する。

- (1) 気体廃棄物:還元除染剤の分解に伴って発生した気体(CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)は仮設除染設備の気体廃棄物処理装置を通したのち、建屋換気系の排気ダクトに排出する。
- (2) 液体廃棄物:フラッシング及び系統水ブローで発生した廃液は、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及び蒸気放出プールに排出して、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する。
- (3) 固体廃棄物: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。除染剤分解触媒、フィルタは遮へい付き 200ℓ (1/2)ドラム缶に入れて、固体廃棄物保管庫に保管する。

表 3-1 A 系除染における改善

B 系除染時の課題	A 系除染時の改善点
<p>上昇管の除染効果が小さく、他の部位に比べて線量当量率の低下が小さい。</p>	<p>第 I 還元除染を 6 時間から 12 時間に変更し、合計還元除染時間を 18 時間とした。</p>
<p>CUW の最高使用温度 70°C の制限から触媒塔への通水液温度が 65°C であった。還元剤分解効率が低く、分解時間が長かった。また、注入した過酸化水素が分解されず流出し、樹脂の損傷原因となった。</p>	<p>バイパスラインを設置し、触媒塔通水温度を仮設過熱器により 80°C とし、出口側でバイパスさせた低温の液と混合し、約 65°C に低温化させた。</p>
<p>還元除染時に使用していた CUW 充填ポンプの吐出圧が低下。A ポンプに切替えて化学除染を終了した。</p>	<p>還元除染時、CUW の仮設加熱器の昇温をやめ、充填ポンプ通水の除染液温度を 65°C から 40°C に低温化した。</p>
<p>2 基の仮設フィルタが目詰まりし、遮蔽なしフィルタ 4 基を追設した。このフィルタに捕捉された放射性核種により線量が Max70~80mSv/h に上昇。除染後の後片付け作業時の被ばく線量を増加させた。</p>	<p>仮設フィルタ基数を 2 基から 6 基に増強し、ろ過面積の増加と 1 基あたりの負荷放射エネルギーを低減した。また、鉛遮蔽厚さを 30mm から 80mm に増強し、遮蔽効果を高めた。</p>
<p>シュウ酸濃度 100ppm で浄化工程に移行したため、陰イオン交換容量が不足し、フラッシング時の浄化に支障をきたした。</p>	<p>混床塔の樹脂比率カチオン/アニオンを、2/1 から 1/2 に変更した。</p>



表3-2 系統化学除染範囲の接液面積及び保有水量

系統	内訳	構成材料	表面積 m <sup>2</sup>	保有水量 m <sup>3</sup>
原子炉本体	全体	Zr-2.5Nb SUS304 SUS304Mod	1176.3	21.8
原子炉再循環系	全体	SUS304 SCS13	376.4	28.1
原子炉冷却材浄化系	全体	SUS304 SUS316 SCS13	327.1	10.6
再循環ポンプ注排水系	全体	SUS304	63.0	1.1
余熱除去系	配管	SUS304 炭素鋼	228.0 18.0	7.0 0.5
	熱交換器	SUS304	300.0	1.3
給水系	配管	炭素鋼	10.0	0.6
合計			2498.8	71.0

表 3-3 系統化学除染の作業時間、判定条件及び確認方法(1/2)

ステップ	内容	作業時間	各ステップ終了の判断基準	確認方法と管理基準値	基準を逸脱した場合の処置対応	
第1サイクル	昇温	加熱	約 6.5 時間	・昇温終了は系統水温度が $90 \pm 5^\circ\text{C}$ (目標=蒸気ドラム A 液相温度 TR21-3 で $95^\circ\text{C}$ )	・蒸気ドラム A 液相温度(TR21-3) ・下部ヘッダ A 内面温度(TR21-6) ・再循環ポンプ A,C 入口温度(TR21-3)の除染対象部の温度。	・余熱除去系熱交換器および仮設加熱器への補助蒸気通気量の調整
	酸化除染	除染剤注入	約 0.5 時間	・酸化除染剤注入が終了した時点から 3 時間	・電導度, $\text{KMnO}_4$ 濃度(550ppm 以下) ・計画時間(3 時間)	
		酸化除染	3 時間			
	酸化剤分解	[ステップ 1] 再循環系	約 2.5 時間	・シュウ酸の注入完了 ・除染液が無色透明となった時点から酸化剤分解終了とする。	・再循環系の仮設加熱器入口水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 2] 低圧サジタンク	約 0.5 時間		・低圧サジタンク水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 3] 炉浄化系	約 3.0 時間		・炉浄化系の仮設加熱器入口水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 4] A 脱塩器通水	約 0.5 時間		・再循環系の仮設加熱器入口水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 5] RCP 起動(全域)	約 1.0 時間			
	還元除染	RHR,給水系接続 昇温(約 $65^\circ\text{C} \rightarrow 90^\circ\text{C}$ ) シュウ酸,ヒド ラジンの注入	約 3 時間	・シュウ酸注入が終了し、系統温度が $90 \pm 5^\circ\text{C}$ に達した時点から 12 時間	・再循環系仮設加熱器入口水のサンプ リング 分析 (シュウ酸濃度 $2000\text{ppm} \pm 200\text{ppm}$ ) (pH $2.5 \pm 0.3$ ) ・計画時間(12 時間)	・濃度上限値を逸脱した場合は触媒塔に通気し分解処理する。 ・濃度下限値を逸脱した場合は棄注する。
		還元除染	12 時間			
還元剤分解	加熱停止( $90^\circ\text{C} \rightarrow$ ) 還元剤分解	約 27 時間	・シュウ酸濃度及びヒド ラジン濃度が各々 100ppm 及び 50ppm 以下になったことが確認された時点で終了。	・再循環系仮設加熱器入口水のサンプ リング 分析 (シュウ酸濃度, ヒド ラジン濃度)		
中間浄化	浄化 昇温( $\rightarrow 90 \pm 5^\circ\text{C}$ )	約 10 時間	・浄化時間 10 時間又は電導度 $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下どちらか早い方。	・計画時間 (10 時間) ・再循環系仮設加熱器入口水のサンプ リング 分析 電導度( $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下)		
第2サイクル	酸化除染	除染剤注入	約 0.5 時間	・酸化除染剤注入が終了した時点から 3 時間	・電導度, $\text{KMnO}_4$ 濃度(550ppm 以下) ・計画時間 (3 時間)	
		酸化除染	3 時間			
	酸化剤分解	[ステップ 1] 再循環系	約 2.5 時間	・シュウ酸の注入完了 ・除染液が無色透明となった時点から酸化剤分解終了とする	・再循環系の仮設加熱器入口水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 2] 低圧サジタンク	約 0.5 時間		・低圧サジタンク水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 3] 炉浄化系系	約 3.0 時間		・炉浄化系の仮設加熱器入口水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 4] A 脱塩器通水	約 0.5 時間		・再循環系の仮設加熱器入口水の色で確認(赤紫色から無色透明となった時点)	
		[ステップ 5] RCP 起動	約 1.0 時間			
	還元除染	RHR,給水系接続 昇温(約 $65^\circ\text{C} \rightarrow 90^\circ\text{C}$ ) シュウ酸,ヒド ラジンの注入	約 3 時間	・シュウ酸注入が終了し、系統温度が $90 \pm 5^\circ\text{C}$ に達した時点から 6 時間	・再循環系仮設加熱器入口水のサンプ リング 分析 (シュウ酸濃度 $2000\text{ppm} \pm 200\text{ppm}$ ) (pH $2.5 \pm 0.3$ ) ・計画時間(6 時間)	・濃度上限値を逸脱した場合は触媒塔に通気し分解処理する。 ・濃度下限値を逸脱した場合は棄注する。
還元除染		6 時間				

表 3-3 系統化学除染の作業時間、判定条件及び確認方法(2/2)

ステップ		作業時間		判断基準	確認方法	基準を逸脱した場合の処置対応
第2サイクル	還元剤分解	加熱停止(90℃→) 還元剤分解	約 27 時間	・シュウ酸濃度及びヒドラン濃度が各々100ppm および 50ppm 以下になったことが確認された時点で終了。	再循環系仮設加熱器入口水のサンプリング分析 (シュウ酸濃度, ヒドラン濃度)	
	最終浄化	浄化	約 10 時間	・再循環系の電導度が 10 μS/cm 以下(炭酸除く)になった時点。	・再循環系仮設加熱器入口水のサンプリング分析 電導度 10 μS/cm 以下(炭酸除く)	
浄化フラッシング(1)	第1フラッシング		約 20 時間	・第1フラッシング個所のフラッシング終了		
	浄化		約 24 時間	・再循環系の電導度が 1 μS/cm 以下(炭酸除く)になった時点。	・再循環系仮設加熱器入口水のサンプリング分析 電導度 = 1 μS/cm 以下(炭酸除く)	
浄化フラッシング(2)	第2フラッシング		約 12 時間	・第2フラッシング個所のフラッシング終了		
	浄化		約 4 時間	・電導度 1 μS/cm 以下(炭酸除く) ・放射能濃度 185 Bq/cm³ 以下 が確認できたら浄化工程を終了し、系統ブロー工程に移行する。	・再循環系仮設加熱器入口水のサンプリング分析 電導度 : 1 μS/cm 以下(炭酸除く) 放射能濃度 : 185 Bq/cm³ 以下 シュウ酸濃度(参考値) : 0.1 ppm 以下 TOC(参考値) : 0.3 ppm 以下 塩素イオン(参考値) : 0.01 ppm 以下	
全ブロー	系統ブロー		約 12 時間			



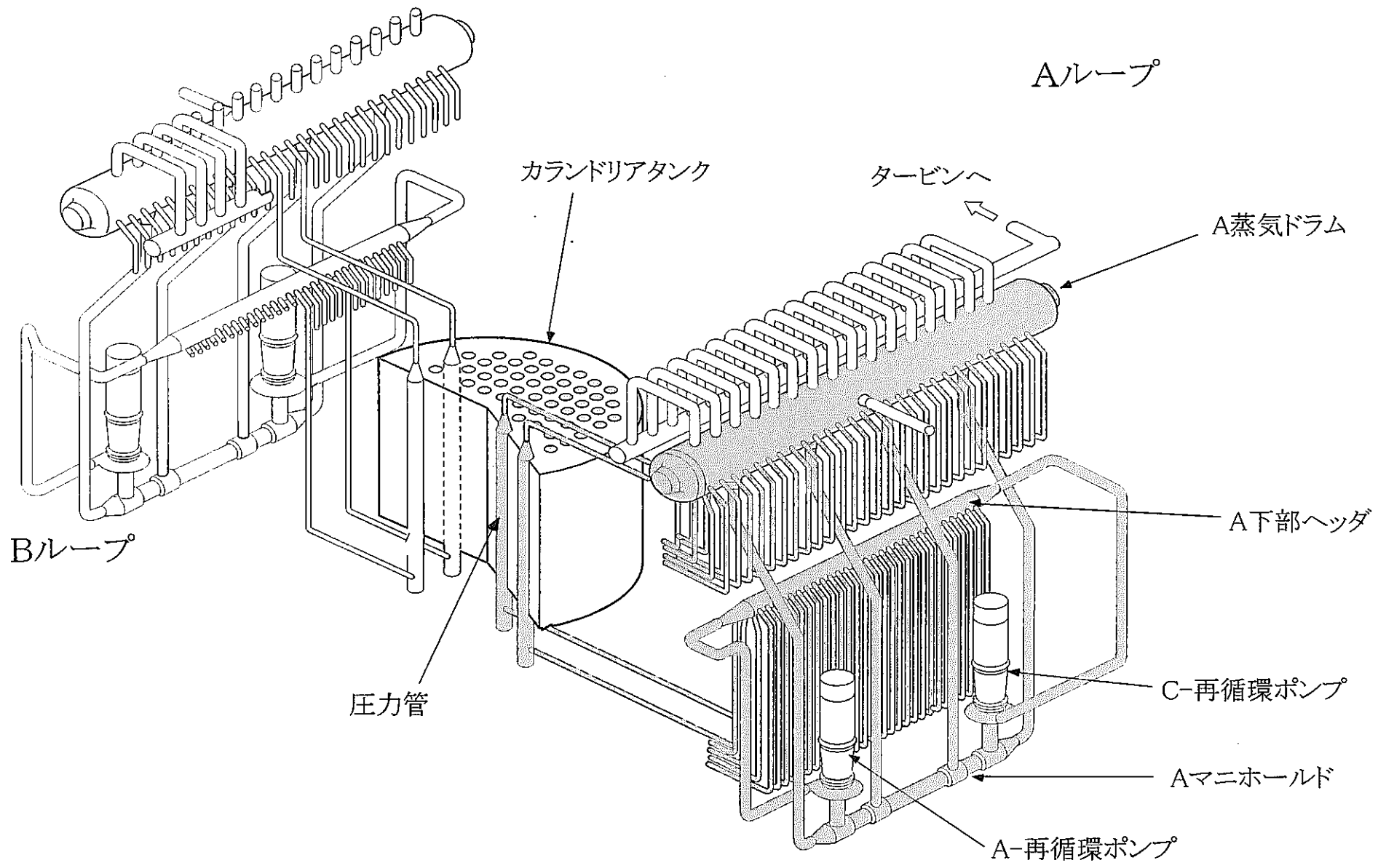


図3-1 系統化学除染範囲

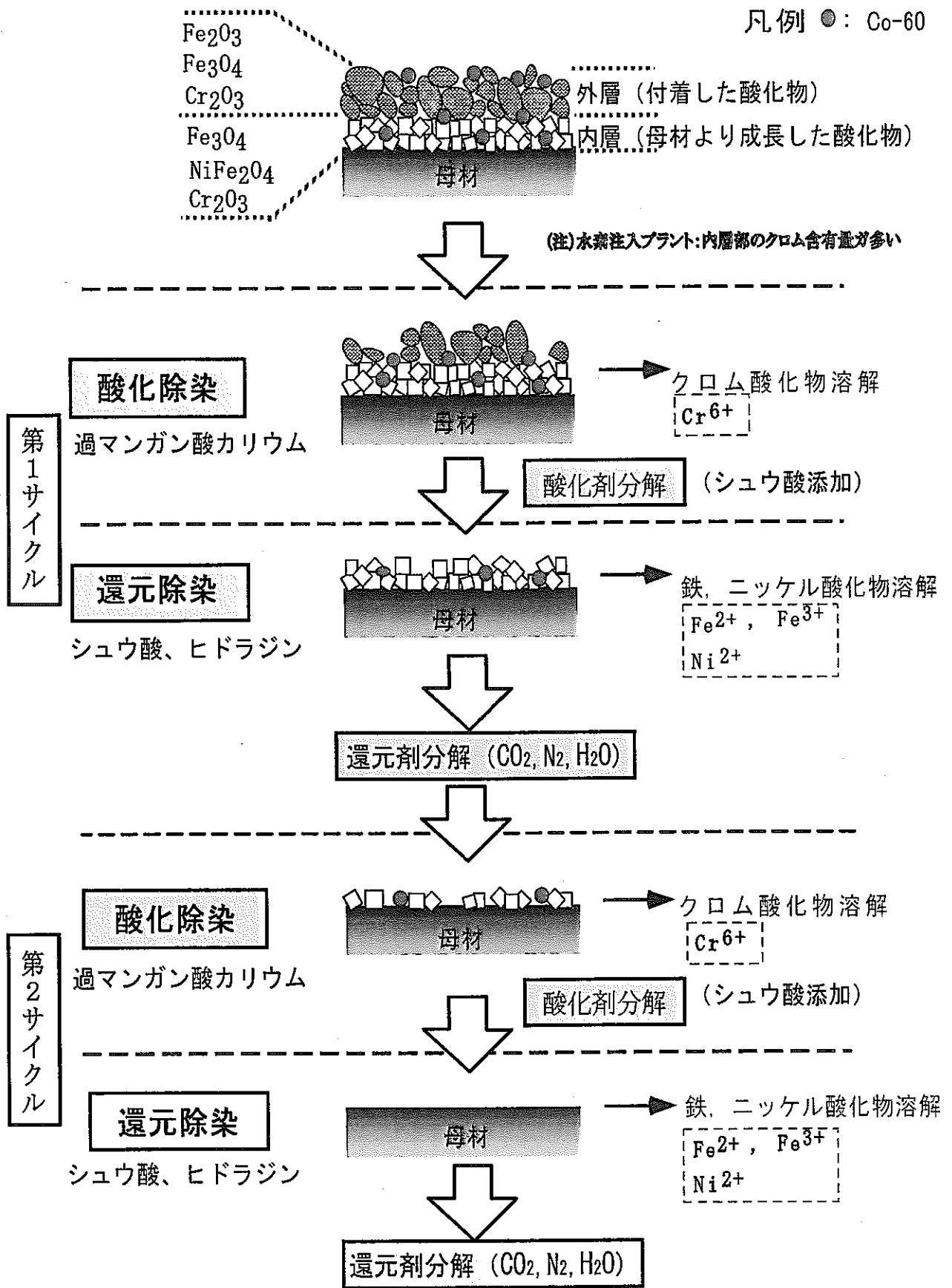


図3-2 酸化還元除染による付着酸化物の溶解プロセス

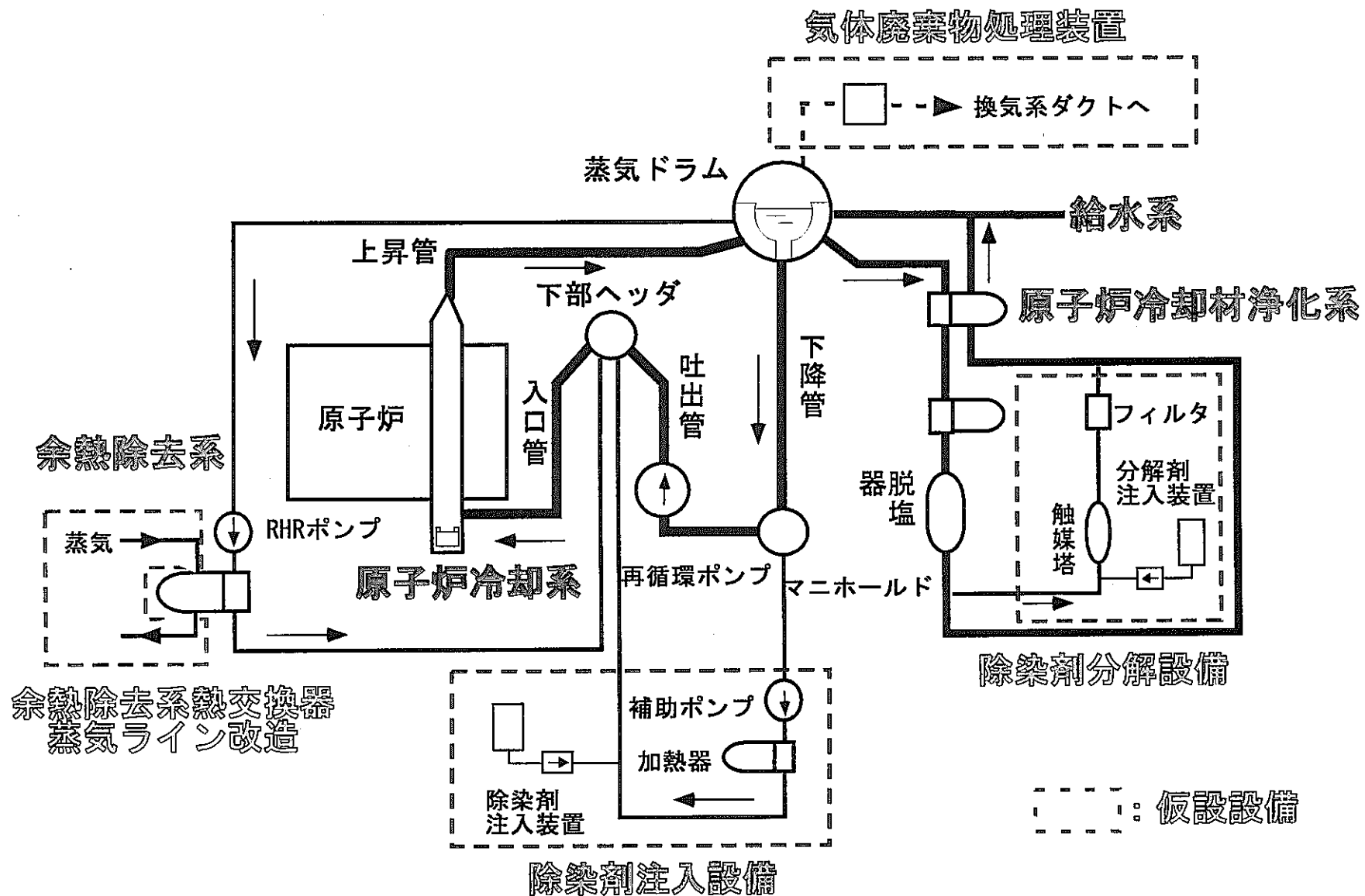
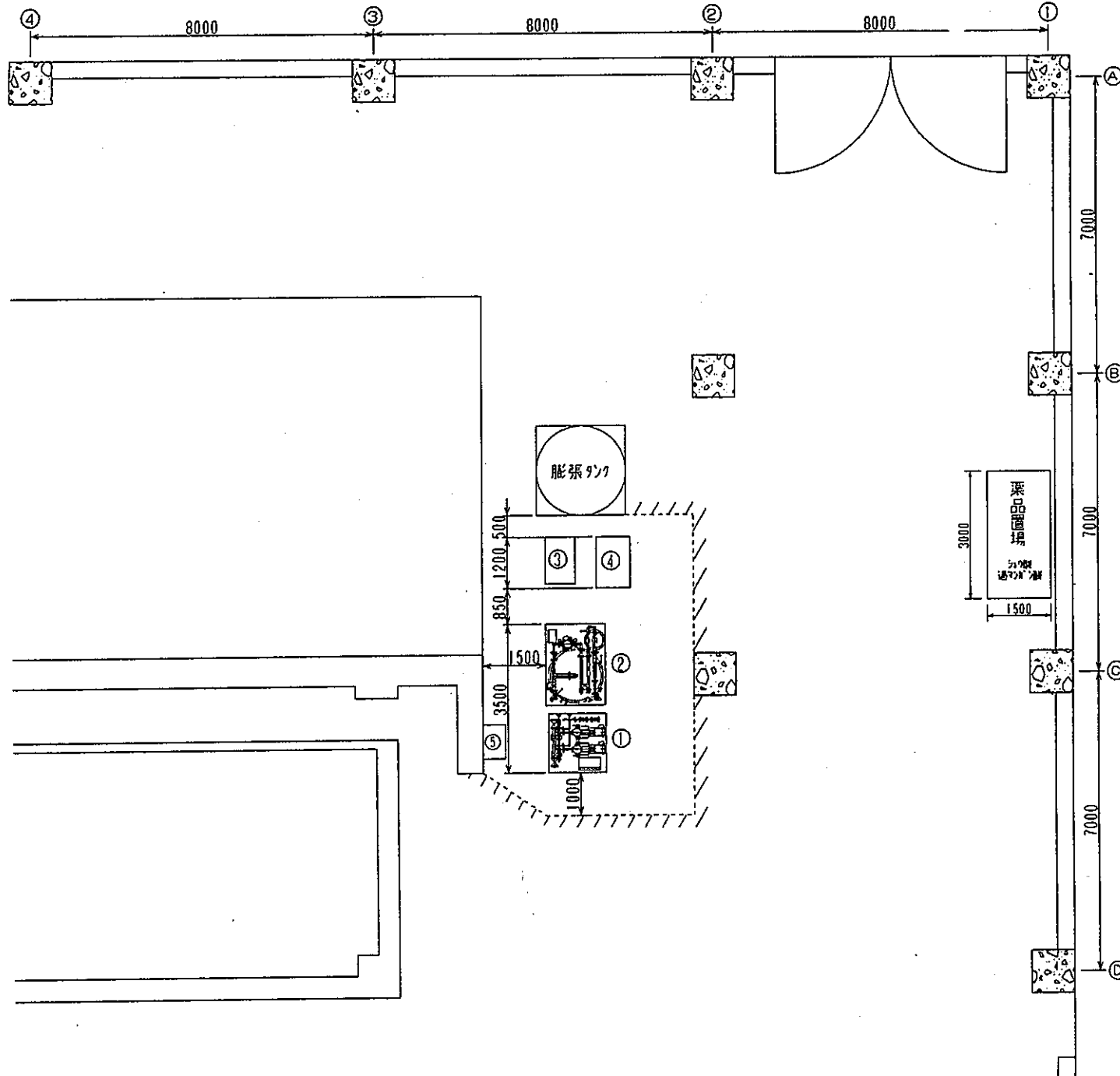


図3-3 系統化学除染の系統構成



-凡例-

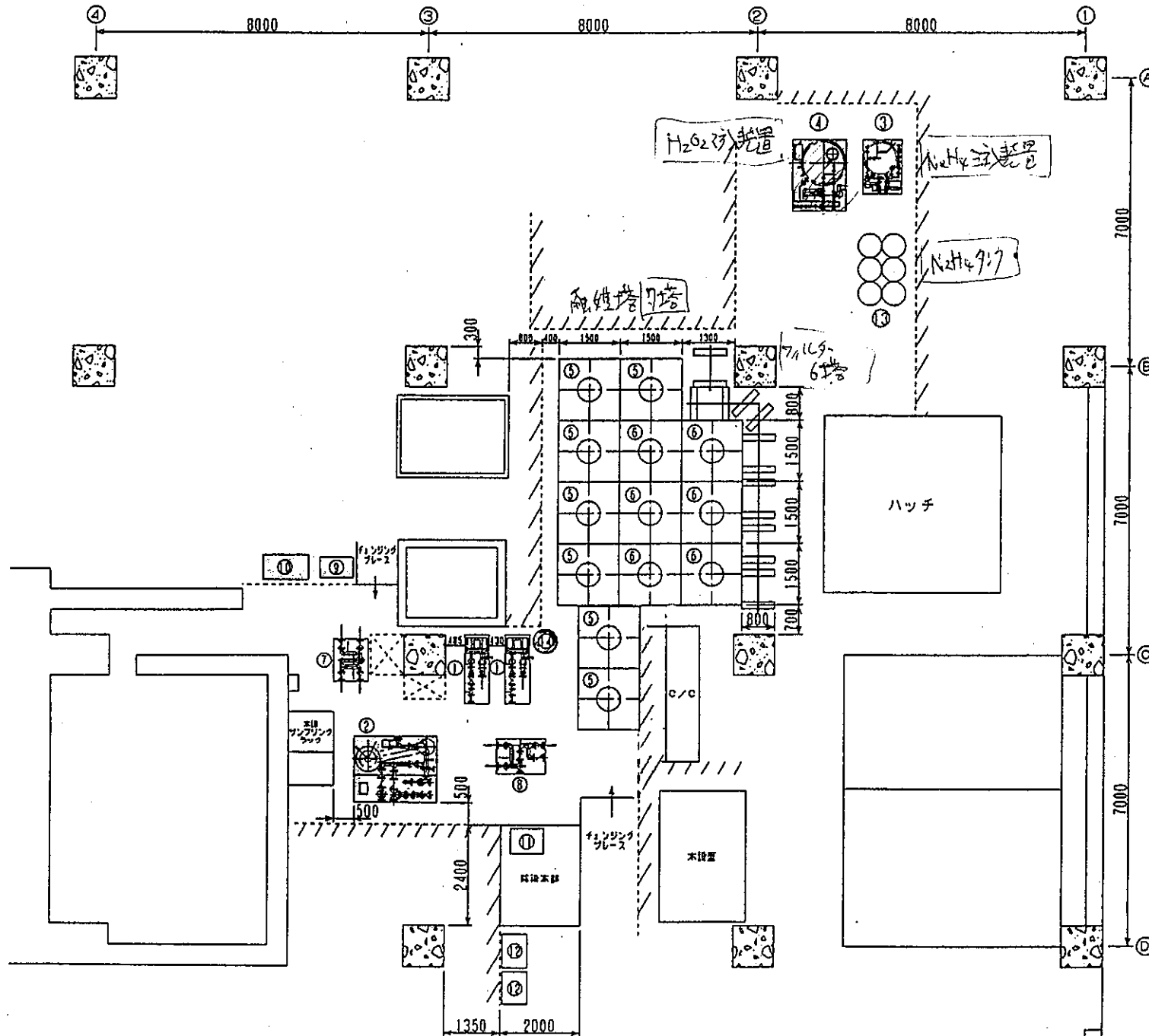
- ① 除染剤注入ポンプユニット
- ② 除染剤溶解槽ユニット
- ③ ヒドラジン注入装置ユニット D
- ④ 兼注 (ヒドラジン) タンク
- ⑤ 仮設電源盤

3-16

図 3-4(1/4) 除染設備配置 A/B 1F

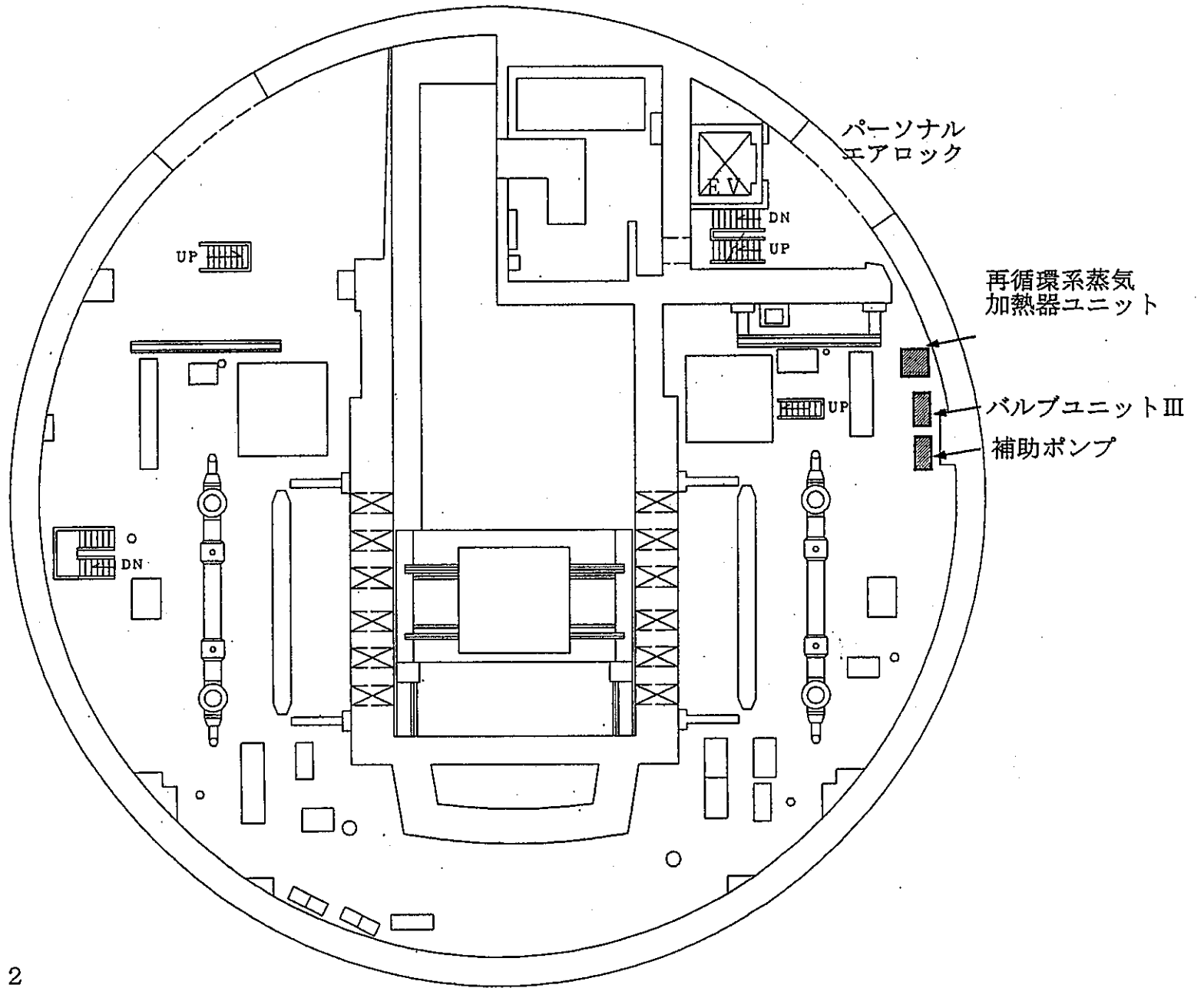


A系統除染 A/B 2F配置(案)



- 凡例 -
- ① CUW蒸気加熱器ユニット
  - ② 回収装置ユニット
  - ③ ヒドラジン注入装置ユニット
  - ④ 過酸化水素注入装置ユニット
  - ⑤ 触媒塔
  - ⑥ フィルタ
  - ⑦ バルブユニット I
  - ⑧ バルブユニット II
  - ⑨ エアフィンフィルタ
  - ⑩ タンクベントユニット
  - ⑪ 計測器盤
  - ⑫ 仮設電源盤
  - ⑬ ヒドラジンドラム缶
  - ⑭ 安全弁放出先ドラム缶

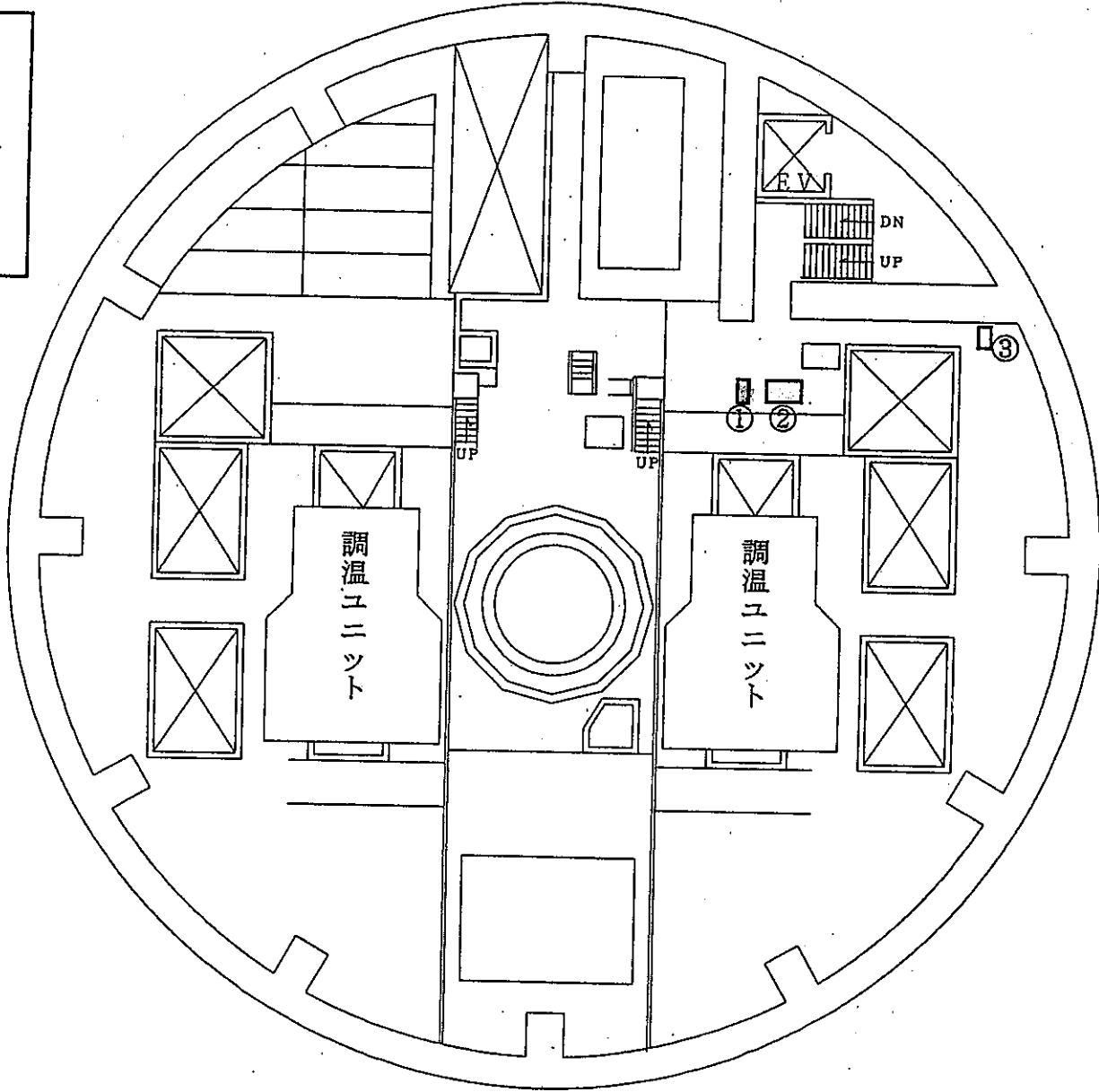
図 3-4(2/4) 除染設備配置 A/B 2F



R/B 1F  
EL. 20.2

図 3-4(3/4) 除染設備配置 R/B 1F

- 凡例-
- ① エアフィニッシャー
  - ② タンクベントユニット
  - ③ 仮設電源盤



3-19

R/B 6F

EL 45.0

図 3-4(4/4) 除染設備配置 R/B 6F

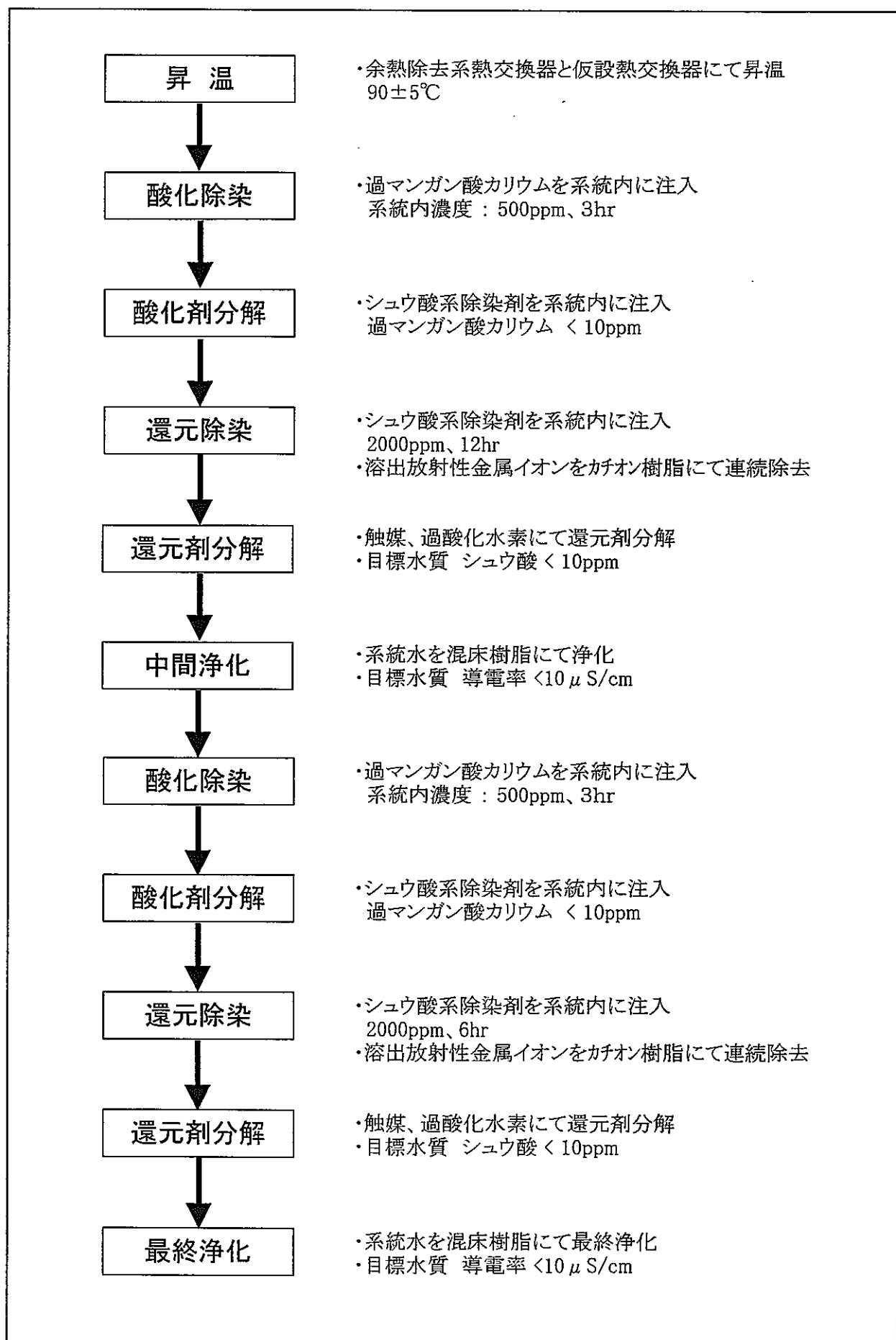
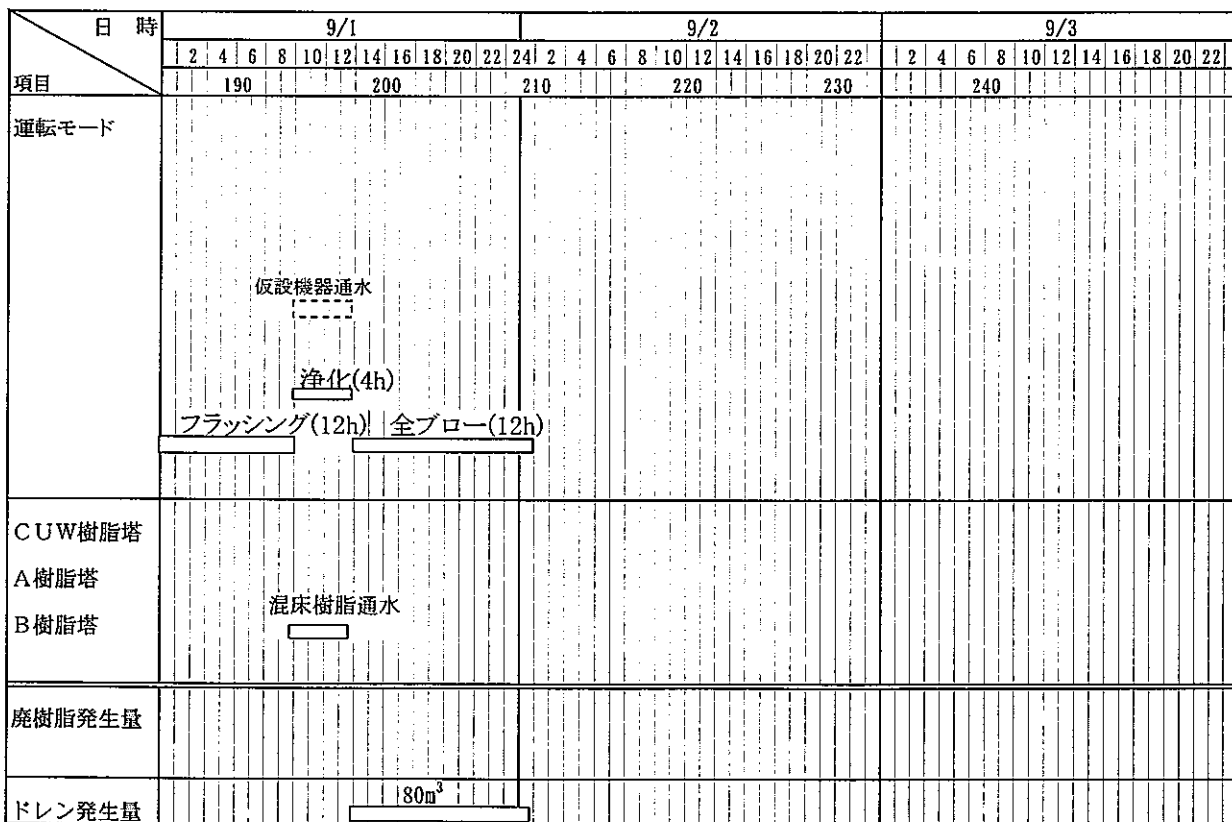
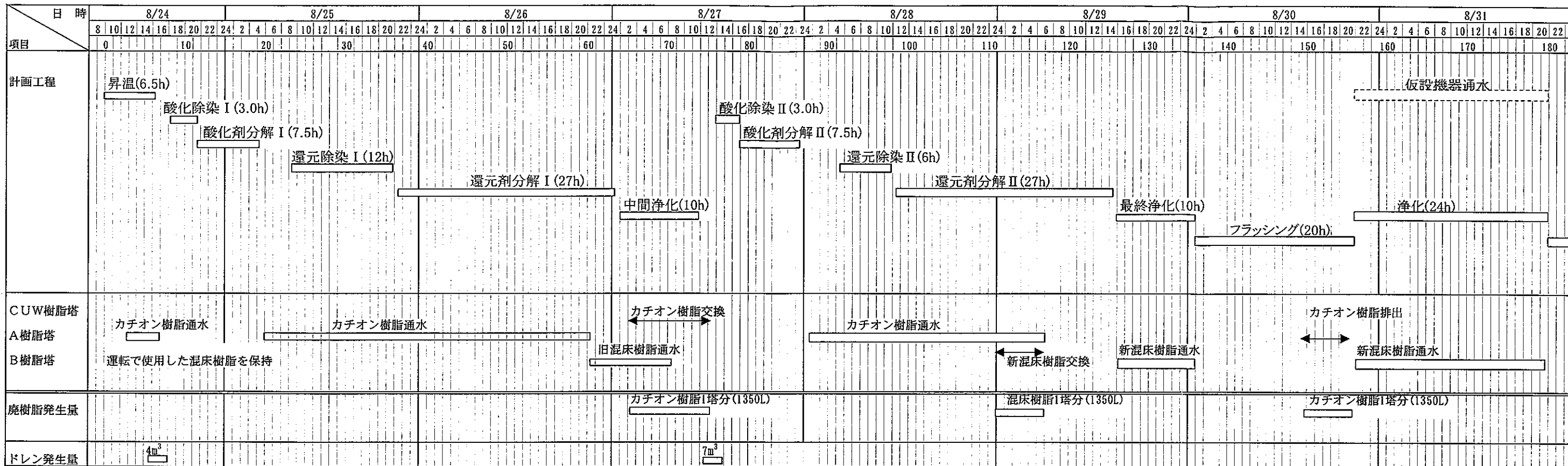


図3-5 系統化学除染作業フロー

図3-6 Aループ系統化学除染工程計画



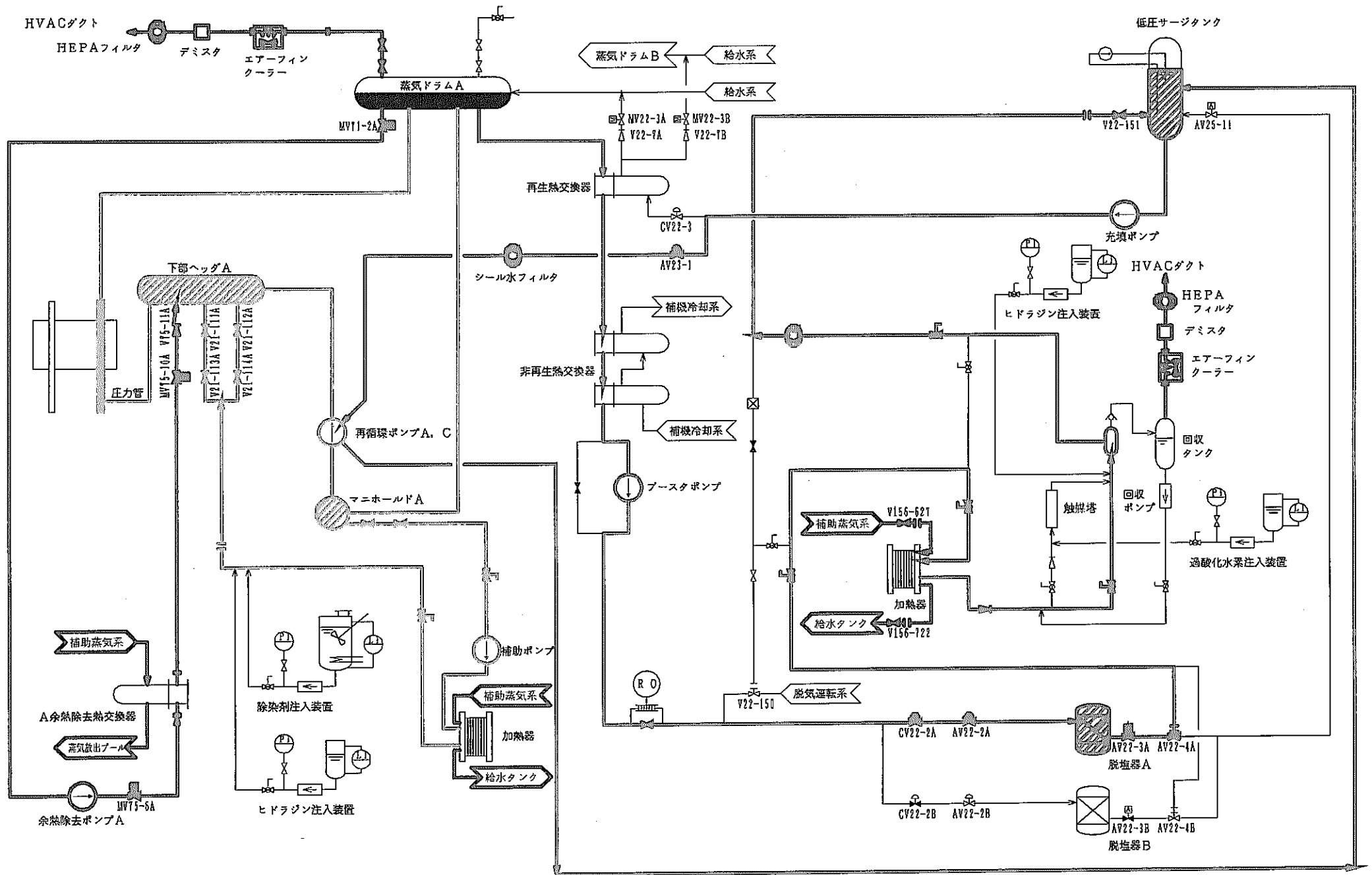


図3-7(1/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (1) 昇温

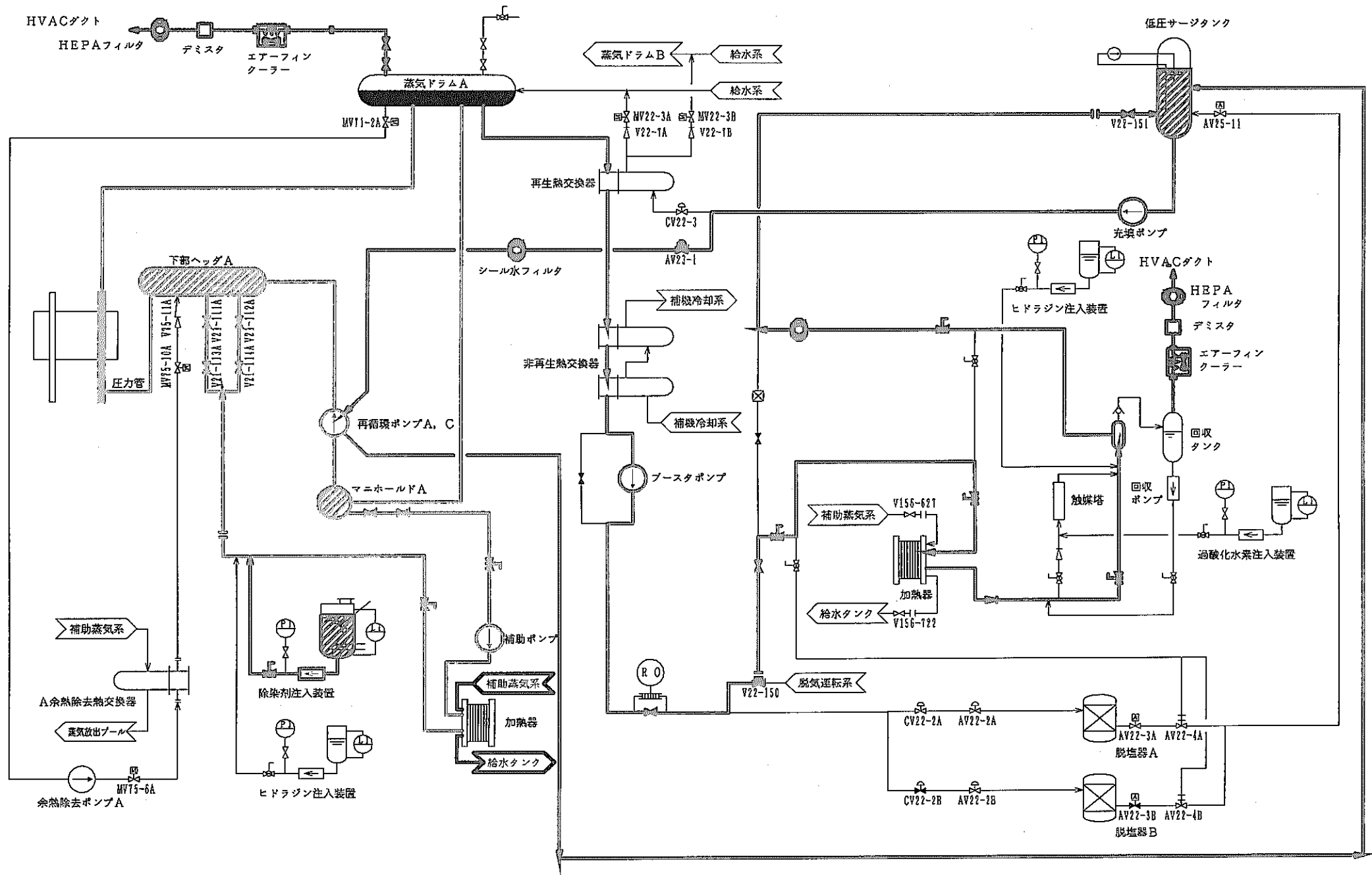


図3-7(2/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (2)酸化除染モード

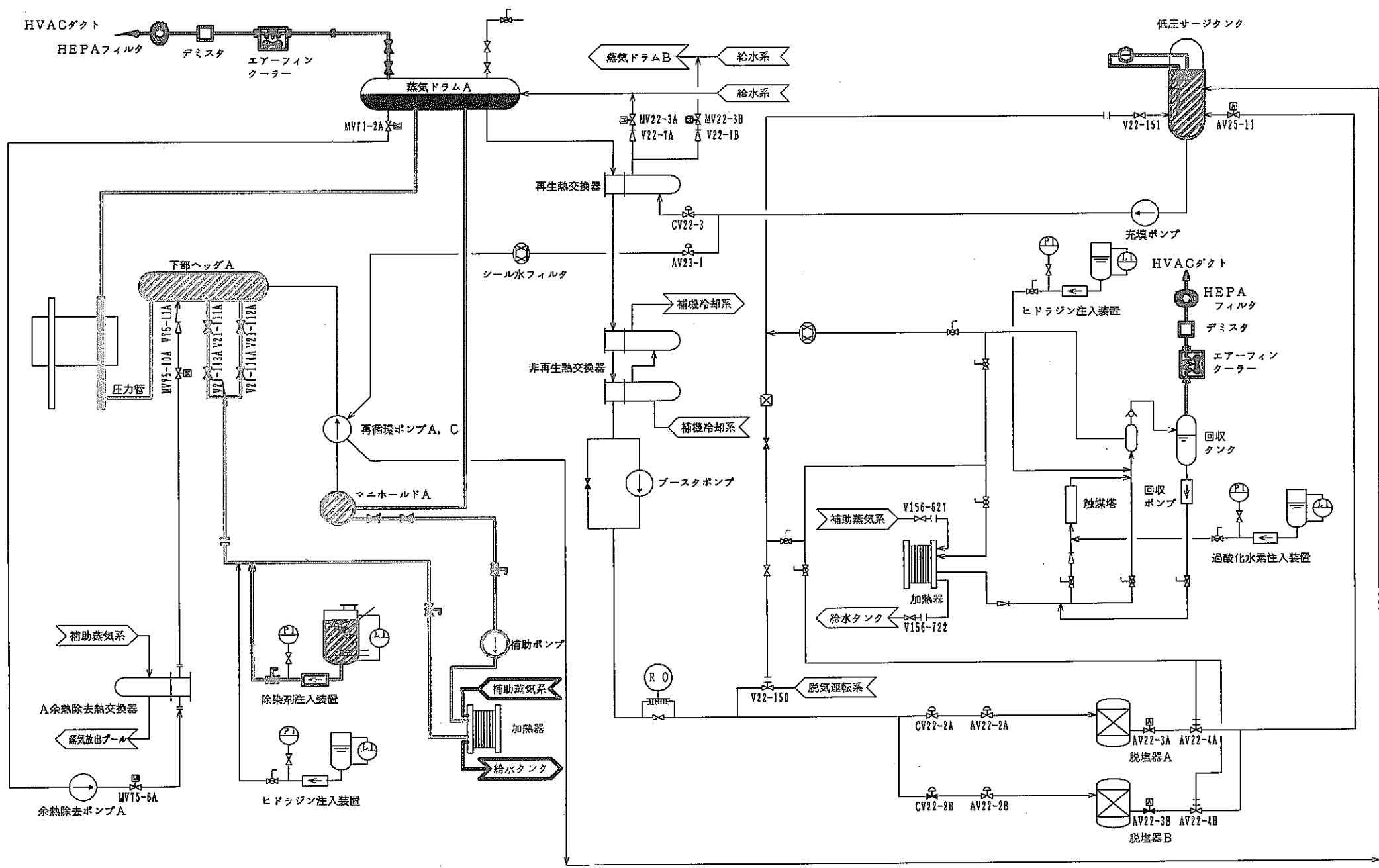


図3-7(3/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (3)酸化剤分解STEP1



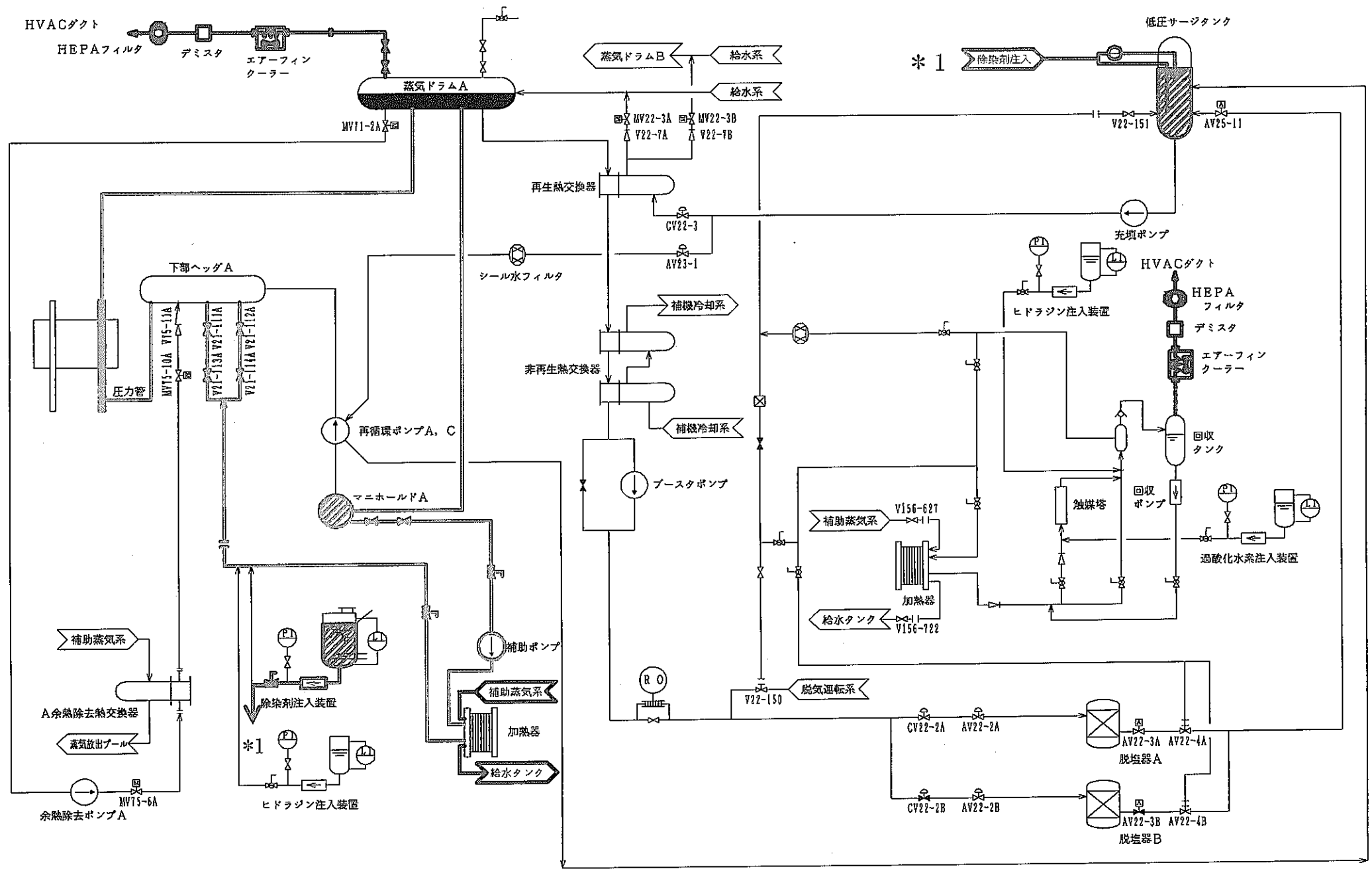


図3-7(4/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (4)酸化剤分解STEP2

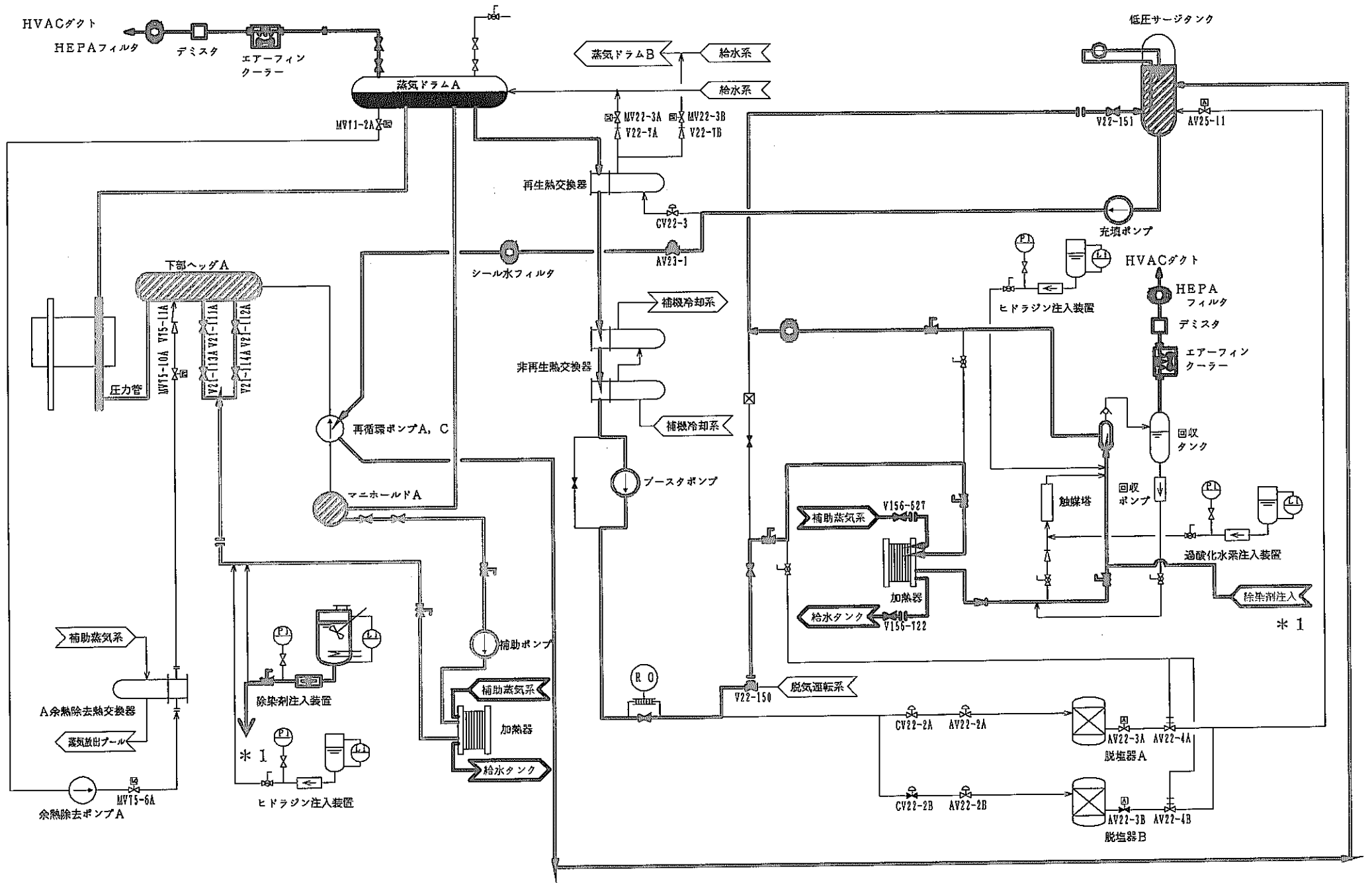
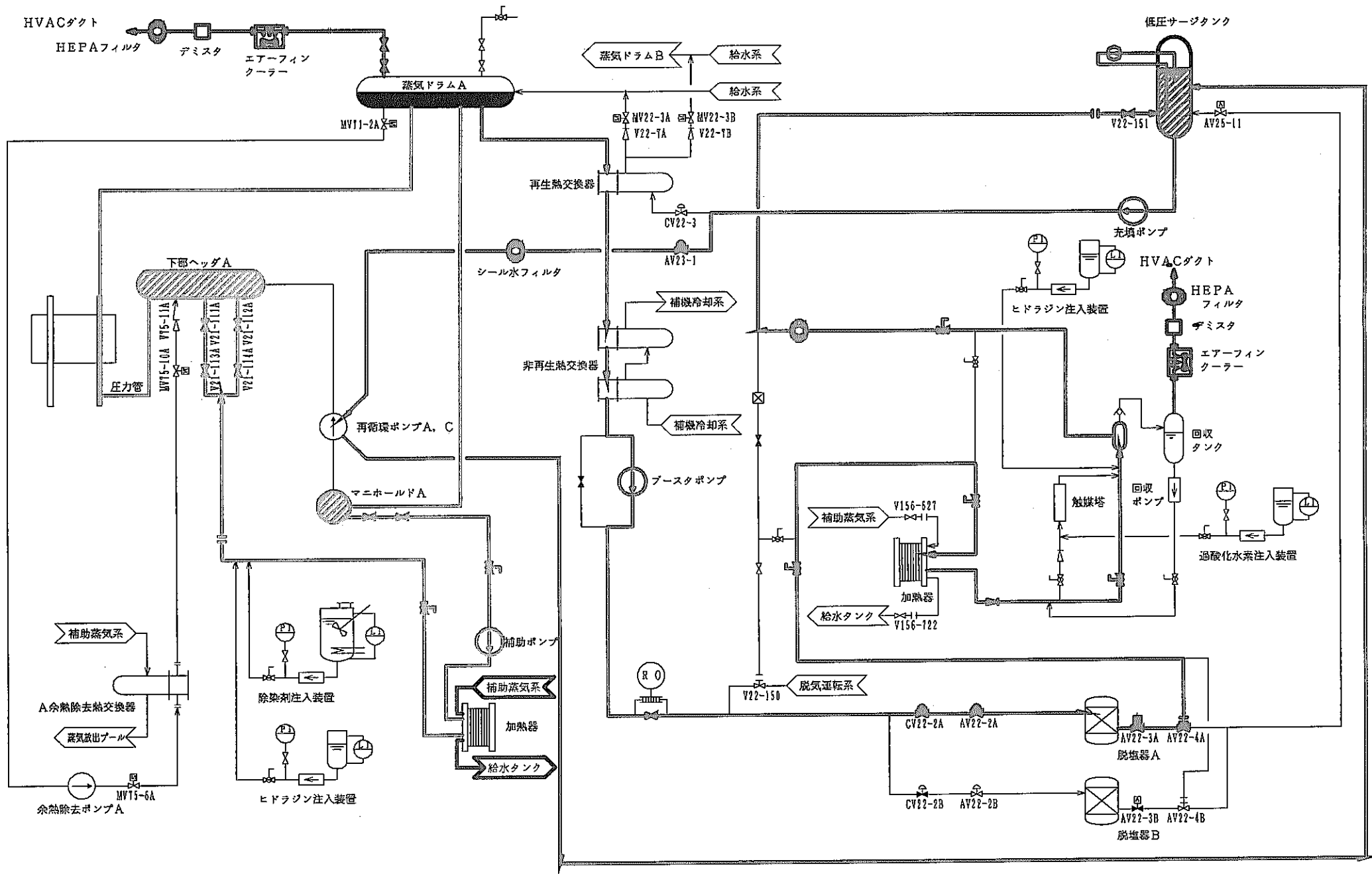


図3-7(5/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (5)酸化剤分解STEP3



3-27

図3-7(6/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (6)酸化剤分解STEP4

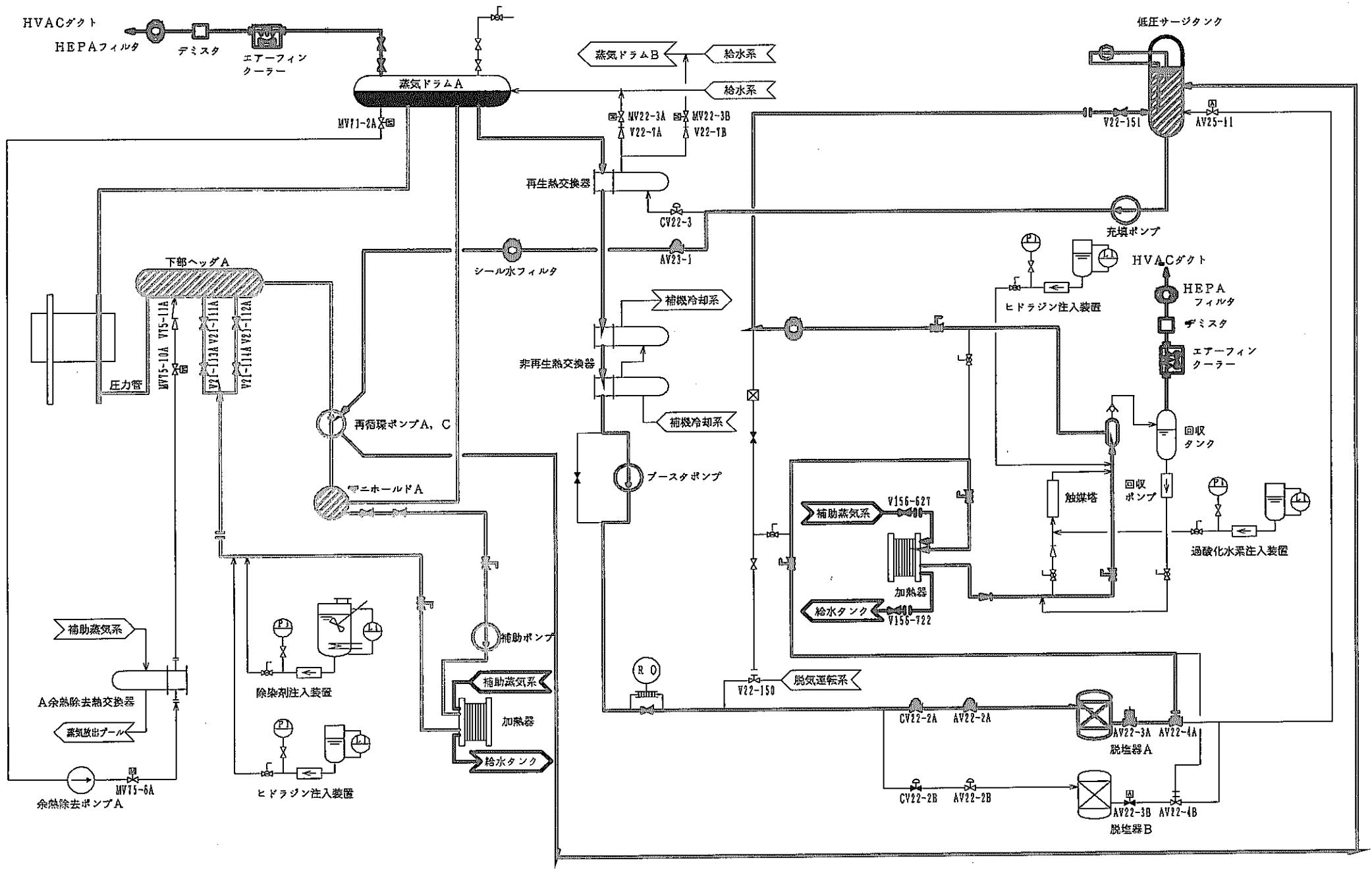


図3-7(7/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (7)酸化剤分解STEP5

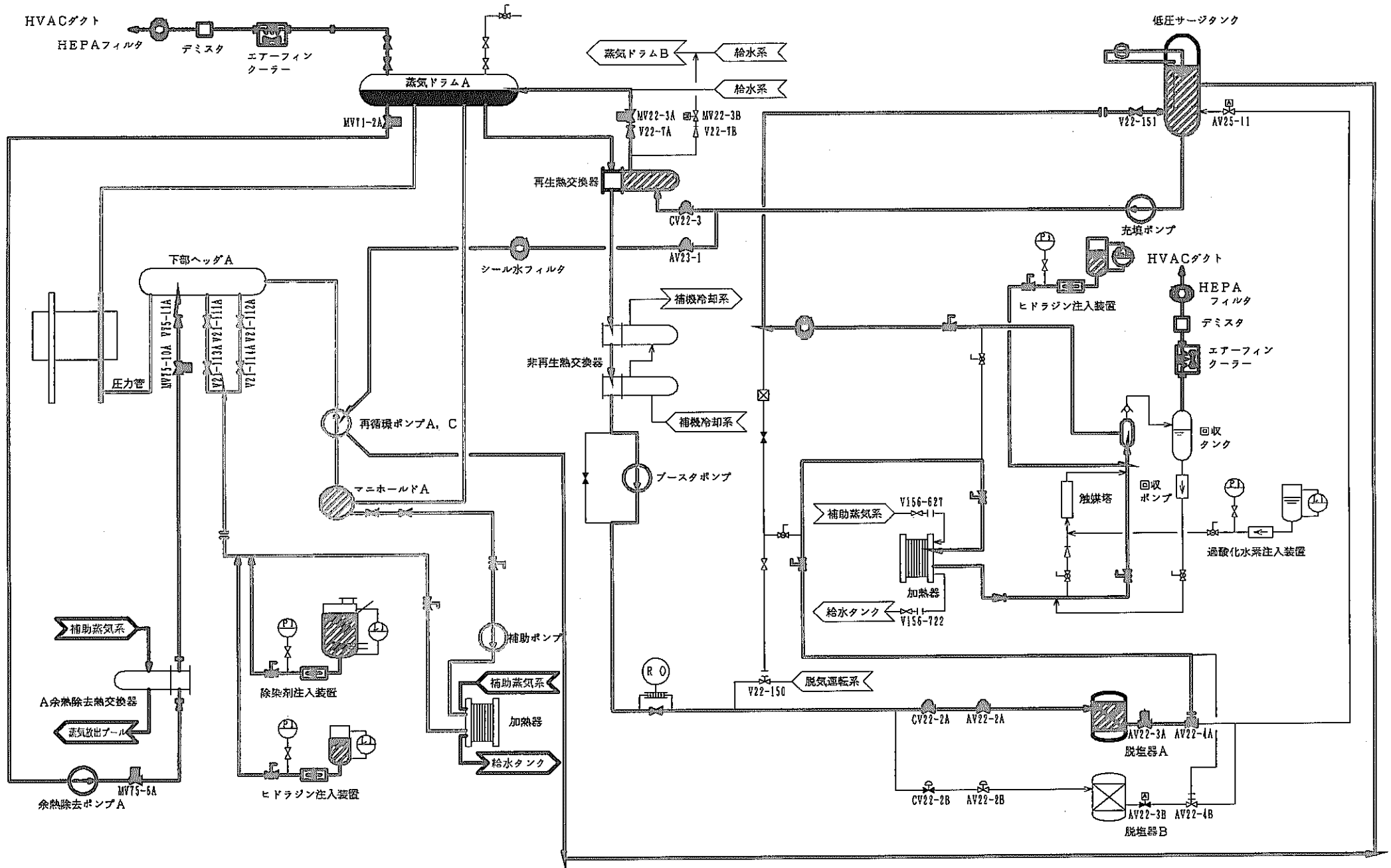


図3-7(8/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (8)還元除染モード

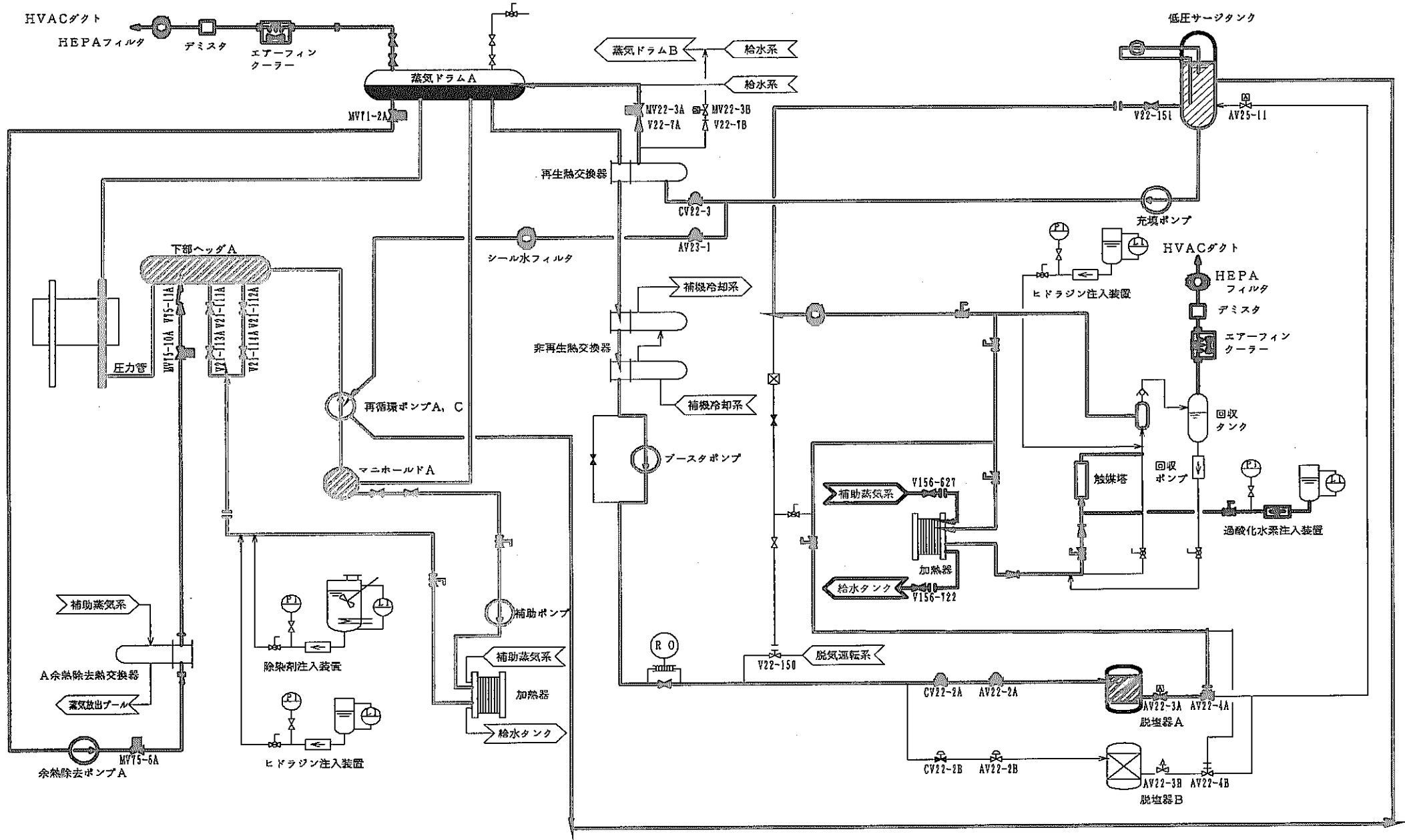


図3-7(9/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (9)還元剤分解モード

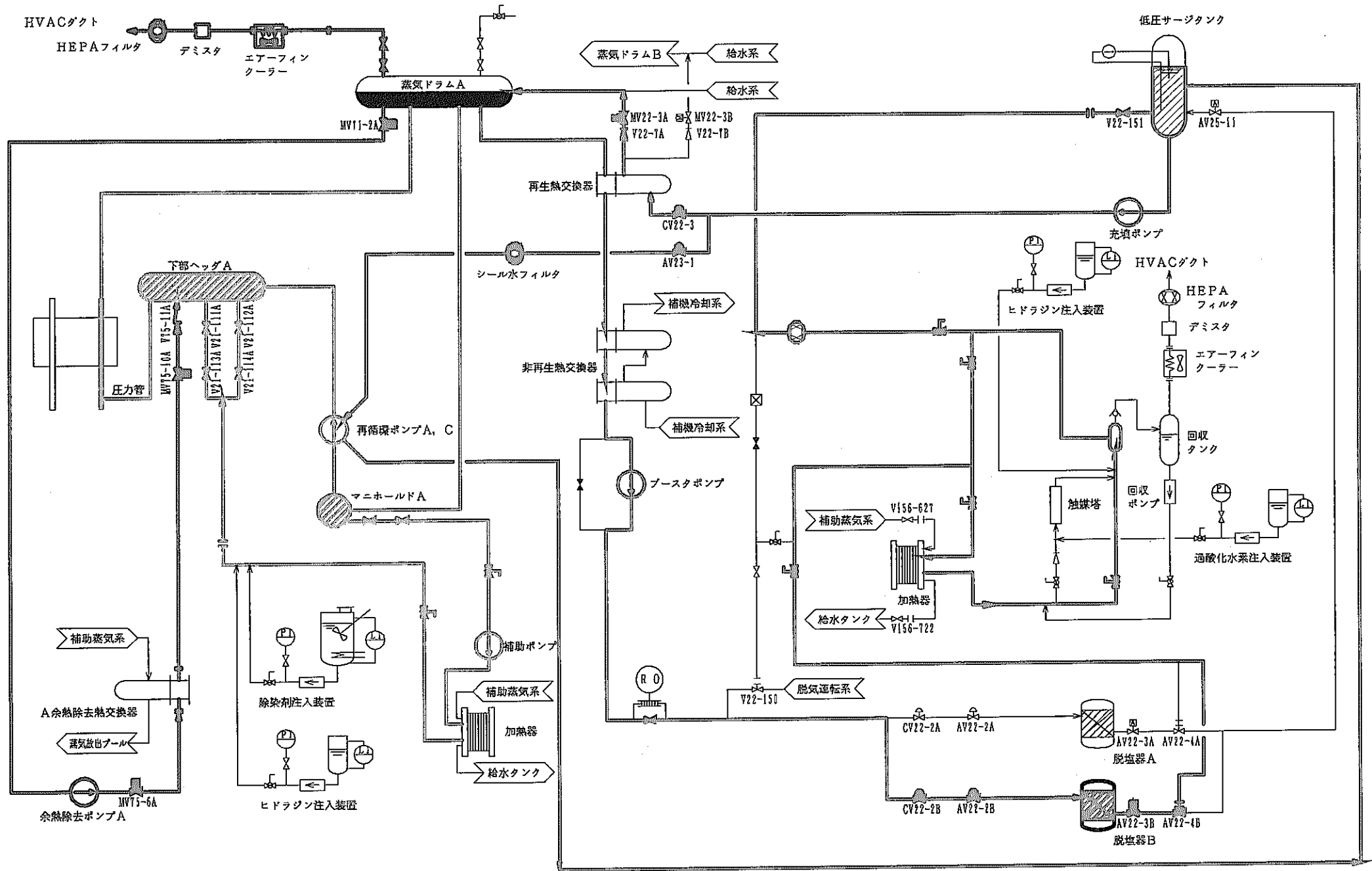


図3-7(10/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (10) 中間・最終浄化モード

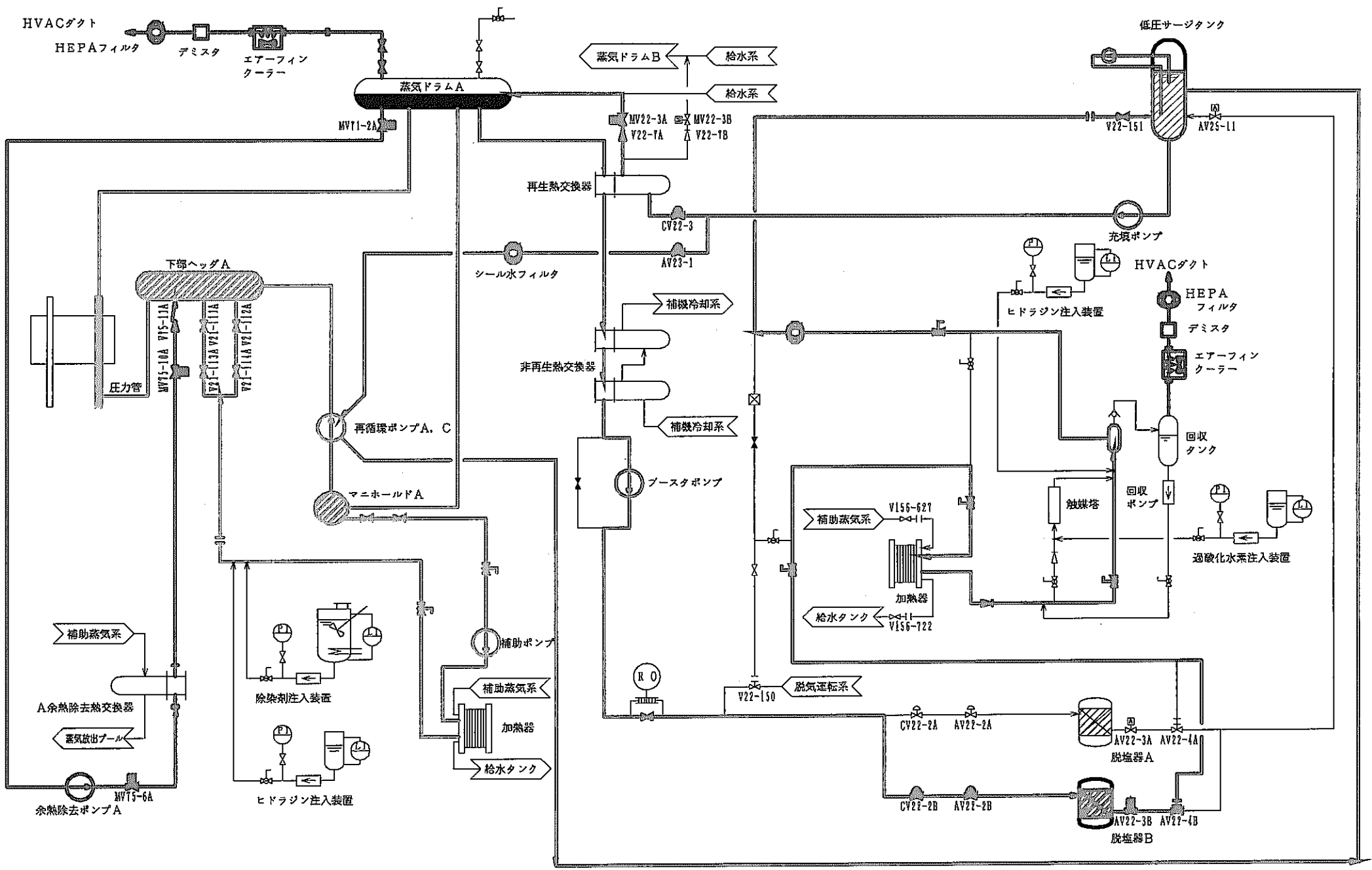


図3-7(11/11) Aループ系統化学除染時の系統構成 (11)フラッシング時浄化モード



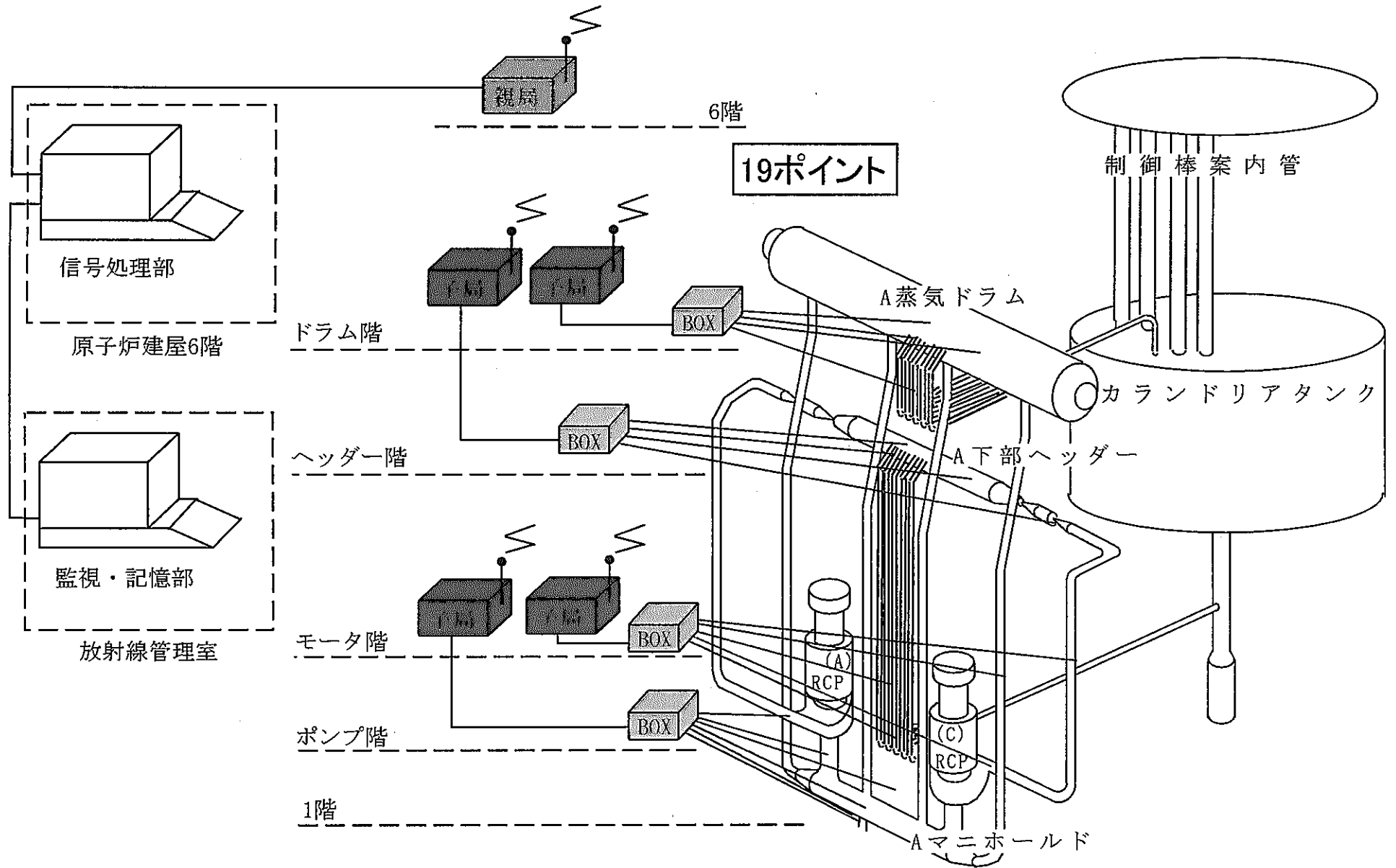
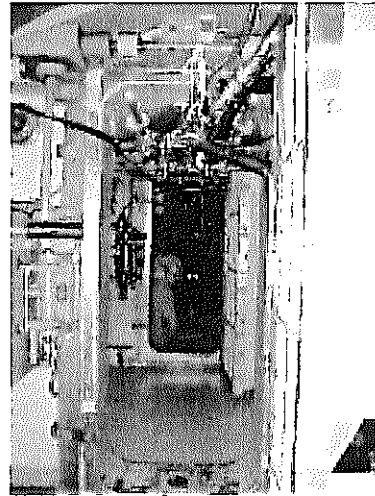


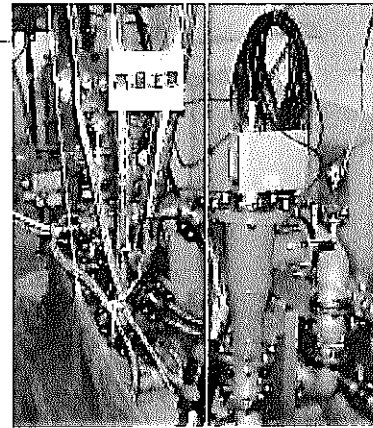
図3-8 無線式モニタ設置状況



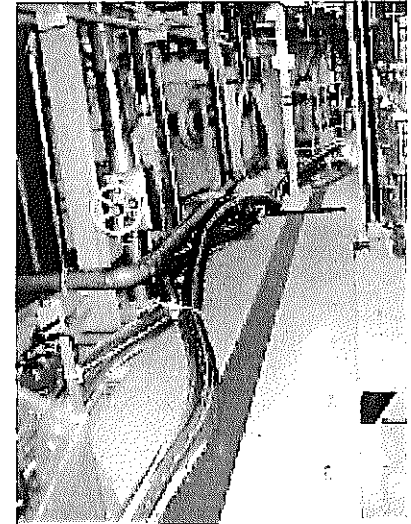
Aマニホール前状況



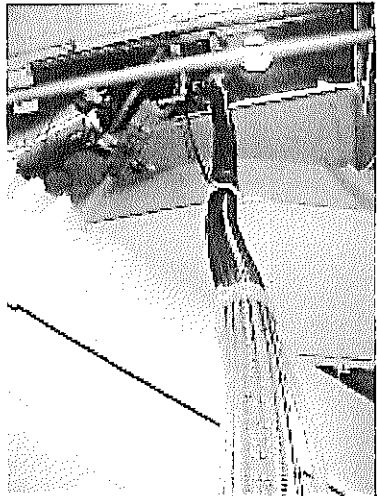
エアロック内状況



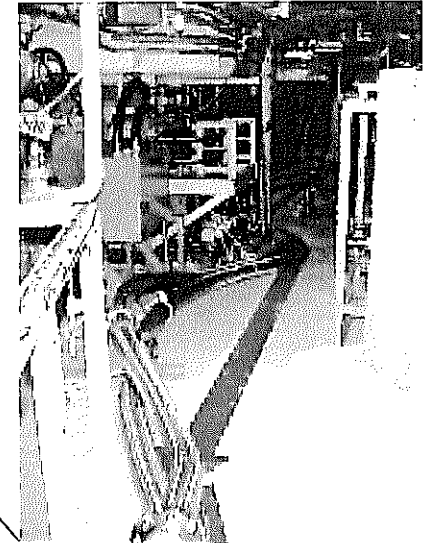
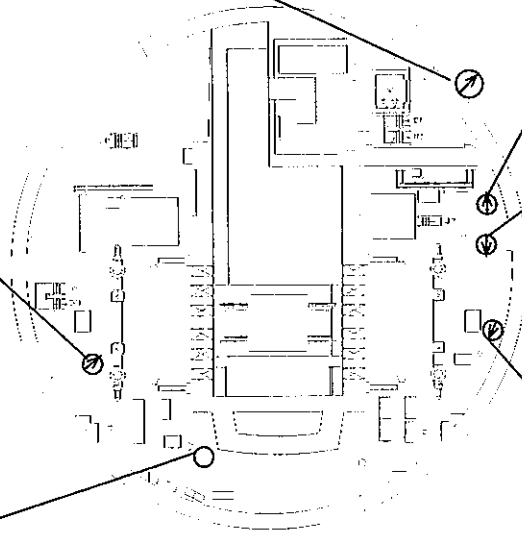
補助ポンプ



ホース布設状況



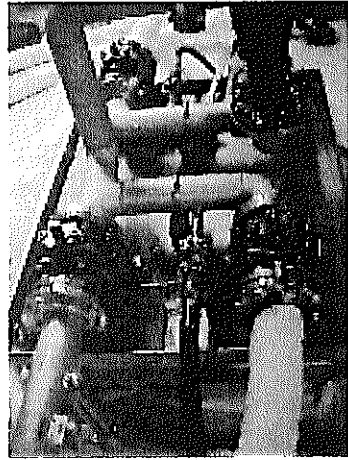
ホース布設状況 (下部ヘッドへ)



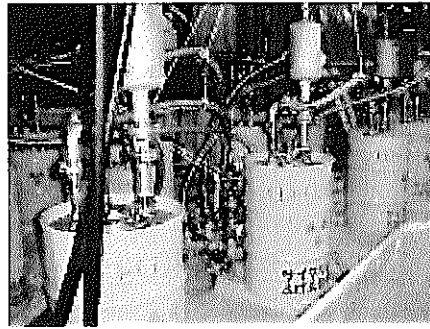
ホース布設状況

写真 3-1 R/B 1F 除染設備設置状況

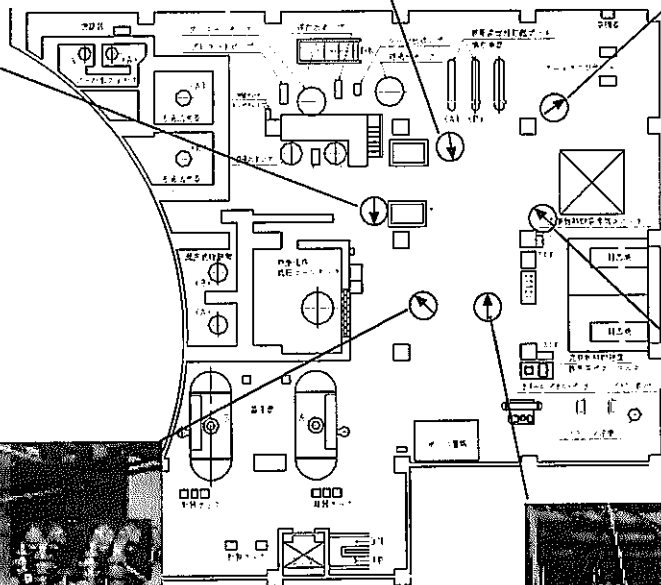
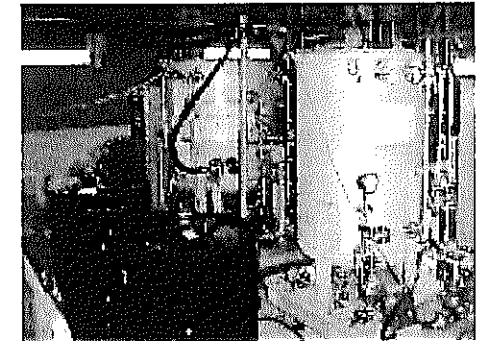
バルブユニット I



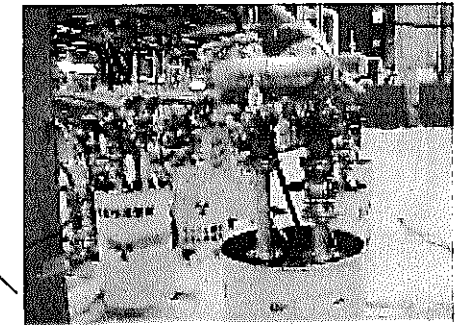
触媒塔



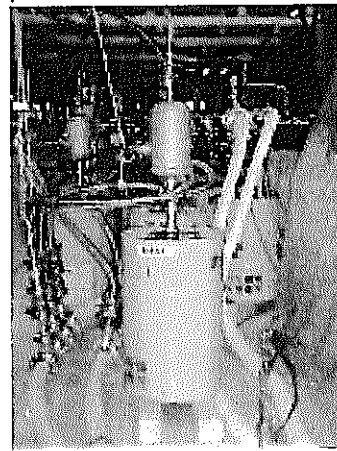
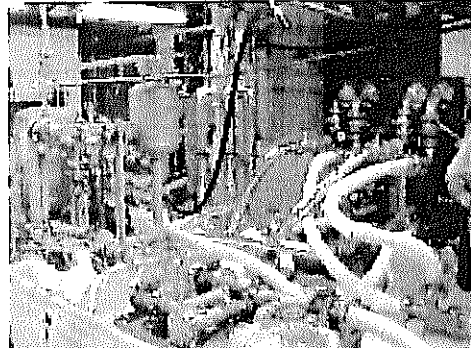
ヒドラジン・過酸化水素注入装置



仮設フィルタ



回収装置  
仮設蒸気加熱器  
バルブユニット II



触媒塔

写真 3-2 A/B 2F 除染設備設置状況

#### 4. 除染実施準備

前章までで系統化学除染の除染方法、設備、計測及び工程等の内容を纏めた。ここでは除染実施準備についての体制や運転操作等について簡単に纏める。

##### 4.1 除染体制と分担

今回の除染でも前回B系の除染実施と同様、サイクル機構と除染担当メーカ及び対除染象設備担当メーカを含めた系統化学除染本部を設置し、作業指揮体制を明確にし、作業を円滑に遂行すると共に、作業の安全を図った(図 4-1)。

系統化学除染本部を中央制御室に設置し、発電課当直との連携を密接に行うと共に、作業員は2直体制で臨み、連続作業に対応した。

プラント運転操作、除染設備操作、放射線管理及び水質管理等は図に示すように発電課員及び各メーカの分担にて行った。これらの作業及び進捗状況を本部が把握し、工程管理を行った。特に除染工程については担当メーカが検討し、本部にて確認したうえで進めた。

また、除染設備の設置、機能確認及び撤去等については、保修課及びメーカにより進められた。詳細は参考資料 5-1,2 を参照されたい。

##### 4.2 運転操作及び分析作業

系統化学除染時の運転操作手順に関しては、プラント設備に関しては発電課が、除染設備に関しては担当メーカが担当して手順書を作成し、除染実施に備えた。詳細は参考資料 3-1~3 を参照されたい。この中で特に留意した点は、プラント側と除染設備側の協調であり、事前の擦り合せにより整合を図った。

除染時の水質分析及び放射線計測作業に係わる作業要領書は、担当メーカとの事前調整を行い内容確認の上、担当メーカにて準備した。詳細は参考資料 3-1,2 を参照されたい。分析の内、放射能測定をJNCが担当し、その他はメーカが担当した。

工程確認に必要な分析結果は担当メーカが取り纏め、除染本部に報告した。除染担当の日立はこれらのデータを確認の上、除染工程終了判断に際して本部への助言を行い、本部での工程管理に反映した。

また、除染時における機器配管表面線量当量率の連続モニタリングはJNCが担当し、5分毎のデータを収集した。除染本部では1時間毎のデータを逐次表示することにより、除染進行状況を把握した。

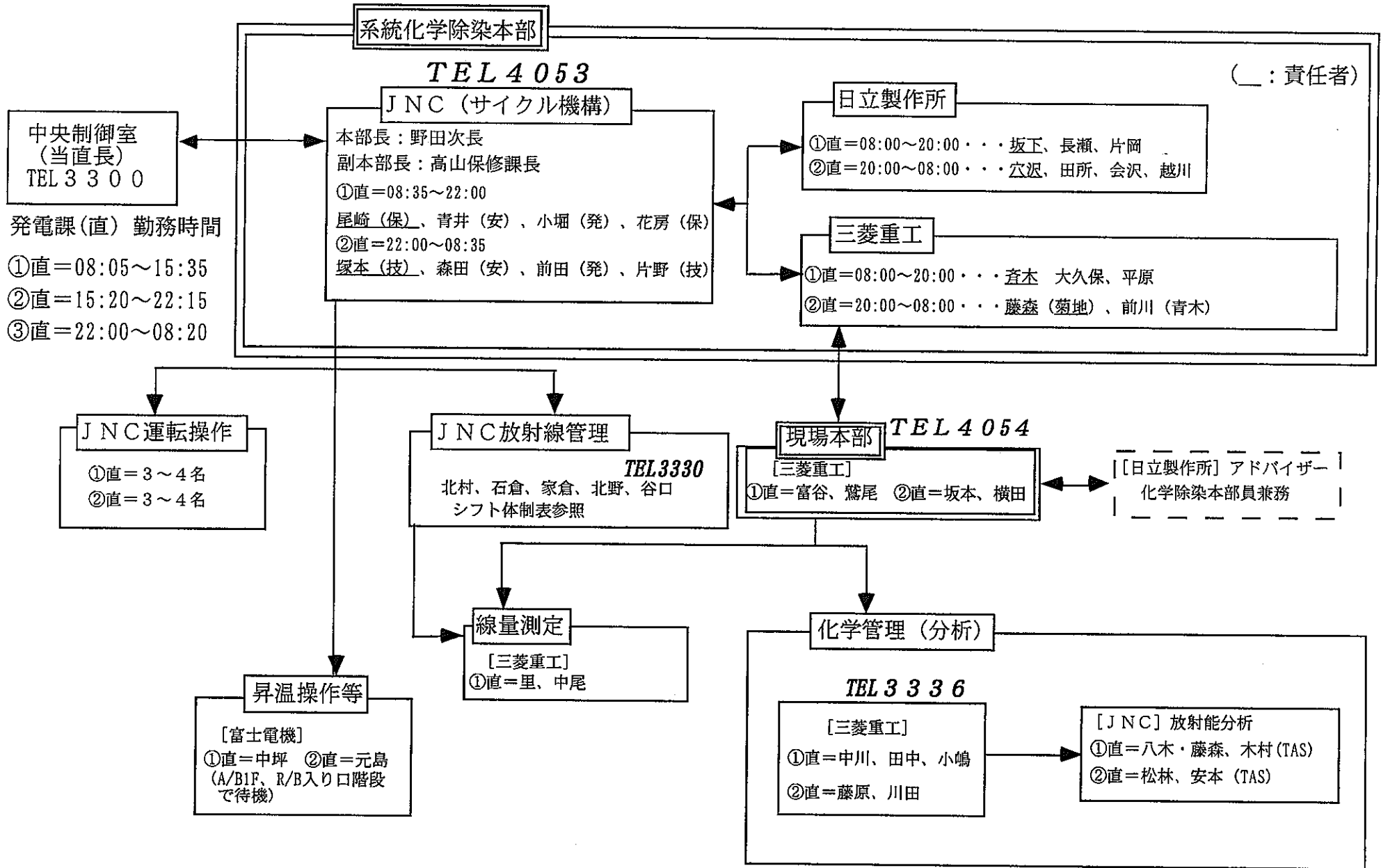


図4-1 系統化学除染時の体制及び分担

## 5. 除染実施状況

### 5.1 概況

平成12年7月26日より始まった第16回定期検査において、原子炉冷却系Aループの燃料を抜き出した後、8月24日より酸化・還元除染法(HOP法)を用いた系統化学除染を実施した。HOP法の適用は下記の条件で実施した。

- ・除染対象 : 原子炉冷却系Aループ
- ・除染法 : HOP法(2サイクル)  
第1サイクル;酸化→分解→還元→分解→中間浄化→  
第2サイクル;酸化→分解→還元→分解→最終浄化
- ・除染剤 : 過マンガン酸カリウム 約 500ppm (酸化溶解)  
シュウ酸 約2000ppm (還元溶解)
- ・温度 : 90±5℃
- ・除染剤分解 : (酸化剤分解) シュウ酸により分解  
(還元剤分解) 過酸化水素注入、触媒塔により分解
- ・除染目標 : DF 2以上 (目標DF 10)  
 $DF = (\text{除染前線量当量率}) / (\text{除染後線量当量率})$

上記のような条件の基で、原子炉冷却系Aループの化学除染を平成12年8月24日～9月2日の間に実施した。その結果、再循環ポンプ及び逆止弁の分解点検に直接影響する部位に係わる総括除染係数DFとして32.9を得、また、作業雰囲気線量当量率も凡そ1/21に低減でき、目標値を大きく上回る成果を得ることができた。

以下においてこれらの内容を報告するが、プラント運転データ、水質分析データ及び線量当量率データ等の詳細は添付及び参考資料5-1、2を参照されたい。

### 5.2 除染工程

図5-1に化学除染の計画と実績工程を示す。化学除染の実績時間(昇温～最終浄化)は134時間で、ほぼ予定通りの工程で系統化学除染を終了し、引続きフラッシング及び系統水抜き作業に進んだ。各運転モードでの主要な除染作業及びその時刻は下記のとおりである。

#### (1) 昇温モード

- 8/24 11:00 中央制御室に関係者集合。その後系統構成確認作業を開始。
- 11:43 A-RHRポンプ起動
- 12:03 CUW充填ポンプ起動
- 12:27 CUWブースタポンプ起動

- 12:32 CUW流量調整完了
- 12:41 A, C-再循環ポンプ起動
- 13:00 A-RHRによる昇温開始(昇温モード開始)
- 13:45 再循環系仮設加熱器による昇温開始
- 14:15 CUW仮設加熱器による昇温開始
- 15:40 下部ヘッダ温度90.4℃達成
- 16:06 過マンガン酸カリウム溶解完了
- 16:10 A-蒸気ドラム液相温度94.1℃(昇温モード終了)

昇温開始から約2.5hで目標水温の90℃まで昇温することができたが、次工程の準備(過マンガン酸カリウムの溶解)完了を待って昇温工程を終了した。昇温速度は約19℃/hで、RHR熱交換器、再循環系仮設加熱器及びCUW仮設加熱器によって、平均して約1,550kWで加熱したことに相当する。実際には、CUW非再生熱交換器による冷却及び配管等からの放熱があるため、更に大きい加熱能力があったと判断され、昇温時間短縮の観点から十分な加熱能力を有していたと判断する。

## (2) 酸化除染 I モード

- 8/24 16:39 脱塩器バイパス操作終了
- 16:59 A-RHRによる昇温停止
- 17:07 A-RHR隔離
- 17:16 過マンガン酸カリウム注入開始
- 17:55 過マンガン酸カリウム注入終了(酸化除染 I 開始)
- 20:55 酸化除染 I 開始から3h経過(酸化除染 I 終了)
- 21:03 酸化除染 I 最終サンプリング終了

計画時間通りに酸化除染 I への移行、酸化除染 I を行うことができ、特に問題はなかった。

## (3) 酸化剤分解 I モード

- 8/24 21:06 CUW仮設加熱器昇温停止
- 21:12 A, C-再循環ポンプ停止
- 21:23 CUWブースタポンプ停止
- 21:25 CUW充填ポンプ停止
- 21:45 再循環系内にシュウ酸注入開始(STEP1開始、酸化剤分解 I 開始)

- 8/25 0:06 低圧サージタンクにシュウ酸注入開始 (STEP2開始)  
 0:38 低圧サージタンク内の酸化剤分解確認 (STEP2終了)  
 0:43 再循環系内の酸化剤分解確認 (STEP1終了)  
 0:57 CUW充填ポンプ起動  
 1:03 CUWブースタポンプ起動 (入口圧力不安定)  
 1:04 CUW内にシュウ酸注入開始 (STEP3開始)  
 1:59 CUW内の酸化剤分解確認 (STEP3終了)  
 4:59 CUWブースタポンプ入口圧力の安定の兆候  
 5:11 脱塩器通水開始 (STEP4開始)  
 5:29 シール注排水系フィルタ差圧上昇せず (STEP4終了)  
 5:39 A, C-再循環ポンプ起動 (STEP5開始)  
 6:02 再循環系、CUW内の酸化剤分解確認 (STEP5終了、酸化剤分解 I 終了)

酸化剤分解STEP3 (CUWの起動) 開始と共にブースタポンプ入口圧力が不安定になる事象が発生した。この原因は、過マンガン酸カリウムの分解に伴って発生したガスがCUW内 (特に再生熱交換器、非再生熱交換器と予想) で滞留移動を繰り返したためと推測される。

そのため、入口圧力が安定になるのを待ってSTEP4に移行したため、計画時間よりも若干時間を要した。

#### (4) 還元除染 I モード

- 8/25 6:30 A-RHR起動  
 6:35 A-RHRによる昇温開始  
 8:13 A-蒸気ドラム液相温度93℃  
 8:37 シュウ酸注入開始  
 8:37 pH調整開始 (ヒドラジン注入開始)  
 9:34 シュウ酸注入終了 (還元除染 I 開始)  
 21:34 還元除染 I 開始から12h経過、還元除染 I 最終サンプリング (還元除染 I 終了)

計画時間通りに還元除染 I への移行、還元除染 I を行うことができ、特に問題はなかった。

#### (5) 還元剤分解 I モード

- 8/25 21:45 再循環系仮設加熱器昇温停止



- 21:47 A-RHRによる昇温停止
- 22:12 CUW仮設加熱器昇温開始
- 22:34 過酸化水素注入開始
- 22:37 触媒塔通水開始(還元剤分解 I 開始)
- 8/26 20:30 シュウ酸濃度62ppm確認(19:32のサンプリング結果)
- 20:50 還元剤分解 I 最終サンプリング
- 21:00 触媒塔通水停止(還元剤分解 I 終了)

触媒塔通水温度を80℃程度まで上昇させたこと(Bループ化学除染時は最高65℃)及び小粒径触媒を採用し、そのための触媒塔の改良をしたことによって、高い分解効率を維持することができたため、シュウ酸濃度は約21h(計画工程では27h)で目標の100ppm以下まで分解することができた。そのため、還元剤分解 I 終了時点で約6.5hの工程短縮することができた。

#### (6) 中間浄化モード

- 8/26 21:01 中間浄化モードへの切替え操作開始
- 21:30 中間浄化モードへの切替え終了(中間浄化開始)
- 8/27 2:10 A-RHRによる昇温開始
- 3:17 A-脱塩器樹脂交換開始
- 6:50 A-蒸気ドラム液相温度93℃
- 7:30 中間浄化開始から10h経過
- 8:55 A-蒸気ドラム水位調整開始
- 9:04 再循環系仮設加熱器昇温開始
- 10:02 A-蒸気ドラム水位調整終了
- 12:10 A-脱塩器通水試験開始(中間浄化終了)

中間浄化開始時点で約6.5hの前倒しで除染作業が行われていた。A-脱塩器の樹脂交換作業が終了するまで中間浄化を継続した。

#### (7) 酸化除染 II モード

- 8/27 13:01 CUW仮設加熱器昇温開始
- 13:14 A-脱塩器バイパス終了
- 13:23 A-RHRによる昇温停止
- 13:33 A-RHR隔離
- 13:38 酸化剤注入開始
- 8/27 14:23 酸化剤注入終了(酸化除染 II 開始)

17:23 酸化除染Ⅱ開始から3h経過(酸化除染Ⅱ終了)

計画時間通りに酸化除染Ⅱへの移行、酸化除染Ⅱを行うことができ、特に問題はなかった。

(8) 酸化剤分解Ⅱモード

- 8/27 17:24 CUW仮設加熱器昇温停止  
17:29 A, C-再循環ポンプ停止  
17:32 CUWブースタポンプ停止  
17:38 CUW充填ポンプ停止  
17:48 再循環系内にシュウ酸注入開始(STEP1開始、酸化剤分解Ⅱ開始)  
19:48 再循環系内にシュウ酸注入終了  
20:22 低圧サージタンクにシュウ酸注入開始(STEP2開始)  
20:52 再循環系内の酸化剤分解確認(STEP1終了)  
20:52 低圧サージタンク内の酸化剤分解確認(STEP2終了)  
21:39 CUW充填ポンプ起動  
21:45 CUWブースタポンプ起動  
21:45 CUW内にシュウ酸注入開始(STEP3開始)  
22:40 CUW内の酸化剤分解確認(STEP3終了)
- 8/28 0:41 CUWブースタポンプ入口圧力安定  
0:47 脱塩器通水操作開始(STEP4開始)  
0:57 A, C-再循環ポンプ起動(STEP4終了、STEP5開始)  
1:11 再循環系、CUW内の酸化剤分解確認(STEP5終了、酸化除染Ⅱ終了)

酸化剤分解Ⅰと同様にSTEP3(CUWの起動)開始と共にブースタポンプ入口圧力が不安定になる事象が発生した。そのため、入口圧力が安定になるのを待ってSTEP4に移行したが、計画工程通りに酸化剤分解Ⅱ工程を終了することができた。

(9) 還元除染Ⅱモード

- 8/28 1:41 A-RHR起動  
1:50 A-RHRによる昇温開始  
2:01 CUW仮設加熱器昇温停止  
2:28 シュウ酸注入開始、pH調整開始(ヒドラジン注入開始)

- 3:42 シュウ酸注入終了(還元除染Ⅱ開始)
- 9:40 還元除染Ⅱ最終サンプリング
- 9:42 還元除染Ⅱ開始から6h経過(還元除染Ⅱ終了)

還元除染Ⅱへのモード切替がスムーズに行われたため、計画工程よりも約1.5h早く還元除染Ⅱを開始することができた。本モードでは特に問題はなかった。

#### (10) 還元剤分解Ⅱモード

- 8/28 9:51 A-RHRによる昇温停止
- 9:55 触媒塔通水、過酸化水素注入開始(還元剤分解Ⅱ開始)
- 10:05 再循環系仮設加熱器昇温停止
- 8/29 0:30 B-触媒塔線量上昇のため隔離
- 3:04 B-触媒塔通水再開
- 6:55 触媒塔出口サンプリング水に黒色化の兆候を確認
- 8:55 触媒微粉末の流出を確認
- 9:45 触媒微粉末の流出防止のため触媒塔通水停止(還元剤分解Ⅱ終了)

B-触媒塔の表面線量率が上昇したために一時的に隔離を行ったが、周辺に設置しているホースからの影響と判明したためB-触媒塔にも再通水した。還元剤分解Ⅱ工程の終盤で触媒の微粉末が系統内に流出するのを確認した。還元剤分解Ⅱ(触媒通水)を継続すると、触媒微粉末の流出が継続し、次工程以降への悪影響が懸念されたため、目標のシュウ酸濃度(100ppm以下)に達していなかったが還元剤分解Ⅱを終了することにした。その結果、還元剤分解Ⅱは約24hで、計画工程よりも3h短縮となった。なお、還元剤分解Ⅱ終了時のシュウ酸濃度は153ppmであった。

#### (11) 最終浄化モード

- 8/29 10:26 CUW仮設加熱器昇温停止
- 11:31 B-脱塩器への通水開始(最終浄化開始)
- 22:25 脱塩器バイパスライン水洗
- 23:00 脱塩器出口本設ライン水洗
- 23:38 A-脱塩器水洗
- 8/30 0:25 A-蒸気ドラム水洗
- 3:00 最終浄化最終サンプリング(最終浄化終了)
- 3:07 A, C-再循環ポンプ停止

最終浄化終盤で、脱塩器バイパスライン、脱塩器出口本設ライン、A-脱塩器及びA-蒸気ドラムの水洗を実施した結果、水質が悪化した。そのため、目標の導電率(10  $\mu$  S/cm)に達するのに計画工程10hに対し15.5h要した。

### 5.3 除染中のプラント状態変化

除染期間中のプラント及び仮設設備のプロセス量変化について、以下に簡単に纏める。尚、これら設備の除染前試験運転状態及びデータの詳細は参考資料5-1、2に示す。

#### 5.3.1 本設設備の運転状態

図5-2～図5-9にAループ化学除染期間中の本設設備の運転履歴を示す。

##### (1) 蒸気ドラム水位(図5-2)

蒸気ドラムの水位は酸化剤分解時において最も高く、最高約NWL+230mmまで上昇した。この時期に最も水位が高く計測されたのは下記の理由と考えられる。

- ・ 再循環ポンプが運転されておらず、水位が高く計測された。(Bループ化学除染時においても再循環ポンプが運転されていないときには50～100mm水位が高く計測された。)
- ・ 酸化剤分解時には、系統内に分解ガスが残存している可能性が高く、残存ガスによって水位が高くなった。

還元除染～還元剤分解の間は薬品注入に伴い徐々に水位が上昇し、還元剤分解Ⅰにおいては最高約NWL+88mm、還元剤分解Ⅱにおいては最高NWL+132mmまで上昇した。中間浄化の初期においては温度低下と共に水位は約15mm低下したが、昇温とともに水位は約50mm上昇し、その後水位調整のために水抜きを実施し約NWL-130mmまで水位を低下させた。最終浄化の終了時においては、蒸気ドラムの内壁水洗のため約NWL+240mmまで水位を上昇させた。

以上のような水位挙動はほぼ計画通りであったと考える。

##### (2) 蒸気ドラム温度(図5-3参照)

蒸気ドラム温度は、後述の5.3.2(2)記載の再循環系仮設設備水温とほぼ同じ挙動であった。

##### (3) 再循環ポンプ流量(図5-4参照)

再循環ポンプ2台運転時の流量は1台当たり1750～1900m<sup>3</sup>/hで、通常の低速運転時の定格流量約1600～1700m<sup>3</sup>/hより多く流れたが、再循環ポンプには異常な振動、異音の発生はなく良好に運転できた。再循環ポンプ流量が多いのは、A

ループの燃料集合体が全数抜き取られた状態であったため、炉心部での圧力損失が小さかったためである。

#### (4) CUW戻り流量(図5-5参照)

シール注水流量は昇温～酸化剤分解Ⅱの間は安定して約10.5m<sup>3</sup>/hで運転できた。還元除染Ⅱ以降は、No1シール差圧及び熱遮へい差圧の低下がみられたため、約12m<sup>3</sup>/hに増加させ、No1シール差圧確保を行った。

充填ポンプ流量は、化学除染運転状態で異なるが、昇温～酸化剤分解Ⅰでは約10.5m<sup>3</sup>/h、還元除染、還元剤分解で約27m<sup>3</sup>/h、中間浄化で約30m<sup>3</sup>/hと計画通りの運転を行うことができた。

最終浄化開始直後において水酸化鉄が脱塩器内で析出したことが原因でB-脱塩器の差圧上昇が発生したため、CUW流量を約24m<sup>3</sup>/hに減少させて運転した。なお、最終浄化後半において、脱塩器の差圧が回復したため、計画通りにCUW流量を30m<sup>3</sup>/hに戻した。

#### (5) 非再生熱交換器(図5-6、7参照)

非再生熱交換器の通水流量、出入口温度の計測結果を図5-6に示す。その結果を基に、冷却熱量を算出した結果を図5-7に示す。

図5-6に示すように、非再生熱交換器出口温度は30℃～40℃に安定した運転ができた。冷却熱量は化学除染運転状態によって若干異なるが、およそ1000kW～1200kWであった。

なお、除染終了後の線量モニタリング時に、CUW非再生熱交換器の一部で、シュウ酸鉄の付着によると思われる大幅な線量上昇が観測されている(参考資料5-4参照)。しかし、約2ヶ月(72日)後のCUW系運転再開後に実施した線量測定では、当該部の線量が除染前のレベル程度まで低下しているのが確認された。

この線量低下の原因として下記の点が考えられる。

- ・ ホットスポットの線量は、40mSv/hから3.2mSv/hまで低下しており(約1/12.5)、他の部分においても1/6～1/5の低下である。
- ・ 支配的な核種として想定されるFe59の半減期(約45.1日)から推測した場合、減衰のみの線量低下であれば、そのレベルは1/3程度である。
- ・ 仮にCo60が支配的な核種であれば、線源の除去以外このような短期間での線量低下は考えられない。

これより線量低下は減衰によるものではなく、配管等に付着した放射性物質が、流れにより剥離又は溶解除去され、本設脱塩器で捕捉されたものと推測される。

#### (6) RHR熱交換器(図5-8、9参照)

RHR熱交換器の通水流量、出入口温度の計測結果を図5-8に示す。その結果を基に、加熱量を算出した結果を図5-9に示す。

RHR熱交換器による加熱量は、昇温の時が最大で約2460kWであった。このように、RHR熱交換器による加熱量が大きかったことが昇温時間を短くできた最大の要因と考える。

### 5.3.2 仮設設備の運転状態

図5-10～図5-21にAループ化学除染期間中の仮設設備の運転履歴を示す。

#### (1) 再循環系仮設設備流量(図5-10参照)

化学除染開始から終了までの間、補助ポンプを運転した。その間、再循環系仮設設備の流量は安定して30m<sup>3</sup>/hであり、計画通りの運転を実施することができた。

#### (2) 再循環系仮設設備水温(図5-11参照)

再循環系仮設設備の水温は、除染対象設備の再循環系Aループの除染温度(蒸気ドラムにて監視)に相当する。

昇温開始の8/24 13:00から除染液温度は上昇し、15:30には化学除染目標温度の90±5℃に達成した。このように、昇温時間が早かったのは、RHR熱交換器による加熱量が最大約2460kWと大きかったことが主要因と考えられる。

酸化除染Ⅰ、Ⅱにおいては、RHR熱交換器による加熱を停止した。その間での温度低下を考慮して、酸化除染開始に当たっては、除染液温度をできるだけ高温に保持したため、酸化除染期間中での温度低下は約5℃(除染液最低温度は約88℃)で、計画通りに温度保持をすることができ、良好な状態で酸化除染を行うことができた。

酸化剤分解Ⅰ、ⅡにおいてもRHR熱交換器による加熱を行わなかったため、更に除染液温度は低下したが、還元除染Ⅰ、Ⅱの開始に当たってRHR熱交換器による加熱を再開し、除染液温度を約92℃に昇温した。還元除染Ⅰ、Ⅱ期間中は計画通りに除染液温度を約92℃に保持でき、良好な状態で還元除染を行うことができた。

還元剤分解Ⅰ、Ⅱにおいては、RHR熱交換器及び再循環系仮設加熱器による加熱を行わなかったため除染液温度は約70℃まで漸次低下した。

中間浄化では、CUW仮設加熱器による加熱も停止したため、更に除染液温度は低下した。中間浄化の後半において、次工程の酸化除染ⅡのためにRHR

熱交換器等による加熱を再開し、約92℃まで昇温した。

最終浄化においては、全ての加熱器での加熱を停止したため除染液温度は低下し、最終浄化終了時には約53℃まで低下した。

### (3) CUW仮設設備流量(図5-12参照)

CUW仮設設備の流量は、昇温～酸化剤分解Ⅰ及び酸化除染Ⅱ～酸化剤分解Ⅱの間は約9m<sup>3</sup>/h、還元除染～還元剤分解の間は約24m<sup>3</sup>/h、中間浄化の間は約27m<sup>3</sup>/hと計画通りの流量で運転を行うことができた。

### (4) CUW仮設設備水温(図5-13参照)

CUWの戻り水温は、化学除染の運転状態によって異なるが、最も高いのは還元剤分解時で約63℃であった。還元剤分解時には、還元剤の分解効率を高く保持するために、CUW仮設加熱器で触媒塔通水温度を高くしたために、CUW戻り温度も高くなったが、この期間においてもCUWの最高使用温度である70℃を超えることなく、計画通りの運転を行うことができた。

### (5) 触媒塔通水流量(図5-14参照)

還元剤分解時の初期においては触媒塔通水流量は約9m<sup>3</sup>/hで、シュウ酸濃度の低下とともに順次通水流量を増加させ、計画通りの運転を行うことができた。

なお、還元剤分解Ⅱの終盤においては分解効率が低下したため、触媒塔通水流量を若干減少させた。

### (6) 触媒塔通水温度(図5-15参照)

還元剤分解の初期の触媒塔通水流量が少ない時期においては、CUW仮設加熱器で85℃程度まで昇温して触媒塔に通水し、還元剤分解効率を高めた運転を行うことができた。CUW仮設加熱器出口温度を85℃のまま触媒塔通水流量を増加させると、CUW戻り温度が高くなり、CUW最高使用温度を超える恐れがある。そのため、触媒塔通水温度を約80℃に調整し、還元剤の分解効率を高く保持するとともに、CUW最高使用温度を超えないように運転を行った。

なお、還元剤分解Ⅱの終盤においては分解効率が低下したため、触媒塔通水流量を若干減少させ、触媒塔通水温度を上昇させて、分解効率の改善を図った。

(7) フィルタ通水状態(図5-16、17参照)

図5-16に示すように、フィルタの差圧は通水流量に依存するため、化学除染の運転状態によって大きく変化している。流量依存性を排除するために、流量補正を行い、フィルタの圧力損失係数として図示したものを図5-17に示す。

図5-17に示すように、酸化除染Ⅱ及び最終浄化の間を除いて圧力損失係数は一定であり、これらの期間には特にフィルタの目詰まりは生じなかったと判断できる。

酸化除染Ⅱにおいては、圧力損失係数が急激に増加している。この原因は、二酸化マンガンのフィルタに目詰まりしたためと考えられ、本事象はBループ化学除染時に生じた事象と同じと考えられる。なお、本図では示されていないが、運転操作記録と対比すると、酸化除染Ⅱを終了し、CUW仮設加熱器による昇温を停止した後の差圧上昇が特に顕著であった。これは、温度低下により二酸化マンガンの粘性係数が上昇し、摩擦抵抗が増大してフィルタ部での二酸化マンガンの捕集が進んだか、二酸化マンガンの拡散が進まずにフィルタで捕集され易くなり、差圧が上昇したものと推測される。酸化剤分解Ⅱに移行すると、目詰まりした二酸化マンガンは、シュウ酸によって溶解され、その後の圧力損失係数はもとの値に回復した。

最終浄化においては、徐々に圧力損失係数が増加している。この原因は、B-脱塩器内でアニオン樹脂によってシュウ酸が吸着され、シュウ酸鉄が水酸化鉄として析出し、その一部がフィルタに目詰まりしたためと考えられる。そのため、この時期においてはB-脱塩器の差圧も同様に上昇する事象が発生している。

(8) 再循環系仮設加熱器(図5-18、19参照)

図5-18に再循環系仮設加熱器の通水流量、出入口温度を示す。本測定結果を基に、再循環系仮設加熱器の加熱量を図5-19に示す。

図示のように、酸化剤分解の後半が本加熱器による加熱量が最も大きく、約300kWであったことがわかる。

(9) CUW仮設加熱器(図5-20、21参照)

図5-20にCUW仮設加熱器の通水流量、出入口温度を示す。本測定結果を基に、CUW仮設加熱器の加熱量を図5-21に示す。

図示のように、還元剤分解時が本加熱器による加熱量が最も大きく、約650kWであったことが判る。



## 5.4 除染中の除染プロセス状態変化

### 5.4.1 除染剤濃度、導電率及びpH変化

除染時の再循環系及び脱塩器樹脂塔出入口での除染液濃度変化を図5-22、23に示す。また、除染時の導電率、pHの変化を図5-24に示す。また除染時の各工程に用いた薬品使用量実績を表5-1に示す。

酸化剤(KMnO<sub>4</sub>)濃度は、酸化除染(I)で545ppmとなり、目標の500ppmの10%以内に調整することができた。一方、酸化除染(II)では、酸化除染(I)において545ppmと若干高い濃度(KMnO<sub>4</sub>溶解量:30Kg)であったことを考慮し、KMnO<sub>4</sub>溶解量を減らして(27.5Kg)注入した。その結果、滴定分析によるKMnO<sub>4</sub>濃度は415ppmであったが、カリウム濃度分析値からKMnO<sub>4</sub>濃度を換算すると473ppmとなり、ほぼ目標値に近い値であったと判断した。

還元剤(シュウ酸)濃度は、還元除染(I)では2010ppm、還元除染(II)では2150ppmであり、目標の2000ppmの10%以内に調整することができた。シュウ酸濃度は初期濃度に対して末期には7%程度低下しており、シュウ酸鉄生成による消費が観察された。また、ヒドラジンは初期に樹脂に吸着されるが、注入から約4時間でヒドラジンプレークが認められた。シュウ酸は、初めに200Kgを溶解し酸化剤分解に使用した。還元除染用として残量の75Kgを追加溶解し注入した。

還元除染中のpHは図5-24に示すように2.2~2.7の範囲となり、目標としていたpH2.5±0.3に調整することができた。

なお、還元剤分解(II)における分解効率が低下したため、還元剤分解(II)における過酸化水素使用量は同(I)より多くなった。

### 5.4.2 放射能及び金属濃度変化

#### (1) 放射能濃度

図5-25に除染期間中の再循環系での放射能濃度変化を示す。また、各核種毎の濃度変化を図5-26~31に示す。

酸化除染時には、B系除染時と同様にCr酸化物溶解に伴うCr-51濃度の上昇が見られた。一方、Co-60、Co-58およびMn-54は酸化剤分解時のシュウ酸注入による鉄酸化物の溶解に伴い上昇した。これら核種はカチオン樹脂の通水に伴い浄化され液中濃度が低下し、還元剤分解工程終了時点では数十Bq/cm<sup>3</sup>まで低下した。これら核種の性状は、還元除染初期段階でクラッド成分が20~30%を占めたが、除染の進行に伴いクラッド成分の比率は低下する傾向を示した。

Cr-51濃度はアニオンとして存在するため、還元除染時には浄化されず還元除染(I)の末期で7E+4Bq/cm<sup>3</sup>に達し(図5-28)、除染液中に最も多く存在する核

種となった。その後、還元剤分解に伴い系統内のCr-51は低下傾向を示し、触媒塔への付着が進んでいることが認められた。また、この挙動は、Fe-59濃度変化(図5-30)にも見られ、還元除染時の樹脂による除去量は少なく、還元除染剤分解に伴い触媒への付着の進行が認められた。これは、B系除染結果報告時に考察したように、三価のイオンとして存在するため、シュウ酸錯体を形成しカチオン樹脂で除去できなかった結果と考えられる。

Zn-65濃度変化(図5-31)は、Co-60、Mn-54等の挙動と同様にシュウ酸注入に伴い上昇傾向を示し、カチオン樹脂により良好に除去されており、分解時および浄化時には検出限界以下となった。

## (2) 金属濃度

除染時の系統水中のFe、Cr、Ni、Zn、Mn およびK等の金属濃度変化を図 5-32～37に示す。

Fe濃度(図5-32)は還元除染(I)時において約220ppmとなり、これに対して、還元除染(II)では還元除染(I)の約1/2の約120ppmであった。還元除染時におけるCUW樹脂塔でのFe除去率は約20%で推移した。また、図5-38に示すようにFeはFe-59と類似の変化を示しており、鉄酸化物の溶解に追従してこれら核種が溶出していることが示唆される。

Cr濃度(図5-33)は酸化工程中に増加しており、還元除染中においてはアニオンとして存在しているためほとんど変化は見られない。また、Cr濃度変化は図5-39に示すようにCr-51濃度と対応して変化している。還元分解中のCr濃度低下は、Cr-51の挙動に見られるように分解に伴う触媒への付着によるものであった。

Ni(図5-34)は、シュウ酸の注入に伴いFeと同様に溶出が始まり、還元除染時のカチオン樹脂浄化により、低下傾向を示した。分解工程末期においては、検出限界以下まで除去された。また、図5-40のNiとCo-60およびCo-58濃度変化に示すように、Ni、Feの溶出に伴い両核種とも変化した。

Zn(図5-35)は、FeおよびNiと同様に還元除染により溶出が見られ、CUW樹脂塔出口においては検出限界以下まで除去された。

MnおよびKは(図5-36、37)、酸化剤である過マンガン酸カリウムの成分であり、添加した薬品濃度に依存した挙動を示した。Mnは薬品添加により上昇し、CUW樹脂塔への通水に伴い急激に低下した。一方、Kは還元除染期間中においてカチオン樹脂へのヒドラジン吸着に伴う樹脂からの再溶出が見られた。また、その後の分解工程時のヒドラジン濃度低下による再吸着が見られた。

### 5.4.3 線量当量率変化

#### (1) 原子炉冷却系機器配管の除染中モニタリング

除染中の除染状態をリアルタイムに把握するために行った機器配管表面線量当量率の測定結果の一例を図5-41、42に示す。計測個所は19点〔図3-8参照〕であり、図5-41は代表的な7点のデータで1時間毎のデータをプロットしたものであり、図5-42は全計測点データであり、5分毎のデータをプロットしたものである。

図から判るように、酸化剤分解過程から還元過程にかけて線量当量率が大きく減少している。特に顕著なのは入口管であり、1サイクルの除染でDFは20程度が得られた。これに対して蒸気ドラムでの減少変化は小さかったが、それでも除染後には全ての部位において線量当量率は0.4mSv/h以下となり、前回Bループの結果を上回る良好な結果となった。これらの挙動変化は、前回Bループの除染での結果とほぼ同様な傾向であるが、上昇管については前回より良好な除染結果であることが見て取れる。これらの結果は別途纏める除染効果の所で定量的に述べる。

1サイクル目の酸化剤分解過程から還元除染過程において、下降管、マニホールド、RCP 吐出管及び下部ヘッダ等の、2サイクル目における同過程においては、これらと入口管の線量当量率が一時上昇するが、除染剤分解から浄化過程で減少して行く。これらは機器配管付着線源が溶解又は剥離により、炉水中線源濃度が上昇することによるものであり、CUW脱塩器通水による線源濃度の減少とともに再度減少したものである。

以上の結果から、除染中に局所的な滞留蓄積による線量当量率の異常上昇等は観測されなかった。尚、図5-42において、マニホールドや下部ヘッダにおいて見られるデータ線上のスパイク変化は系統内を移動している遊離/剥離クラッドによるホットスポットの影響と考えられる。

#### (2) 関連系統及び除染設備の除染中モニタリング

系統除染に係わる関連系統の機器配管表面及び空間線量当量率は除染前後及び中間浄化時に手動計測(配管表面約200点、空間約100点)により線量当量状況を確認し、放射線管理に活用すると共に、このデータは除染効果を評価する基本データとした。これらの測定結果の詳細を添付資料5-2に示す。

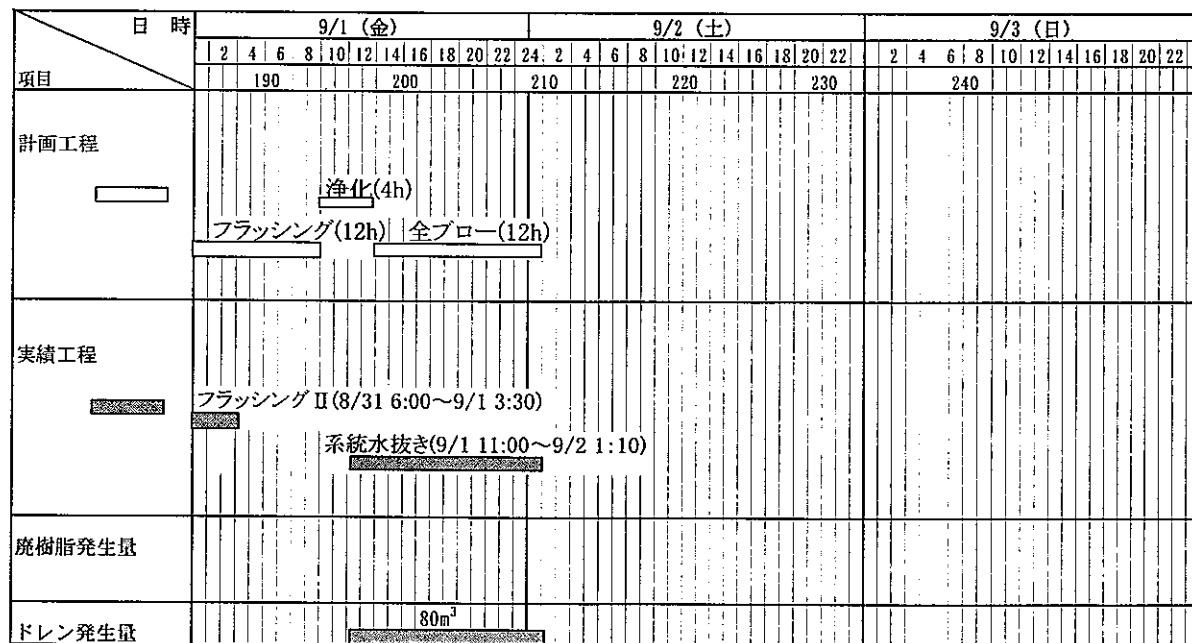
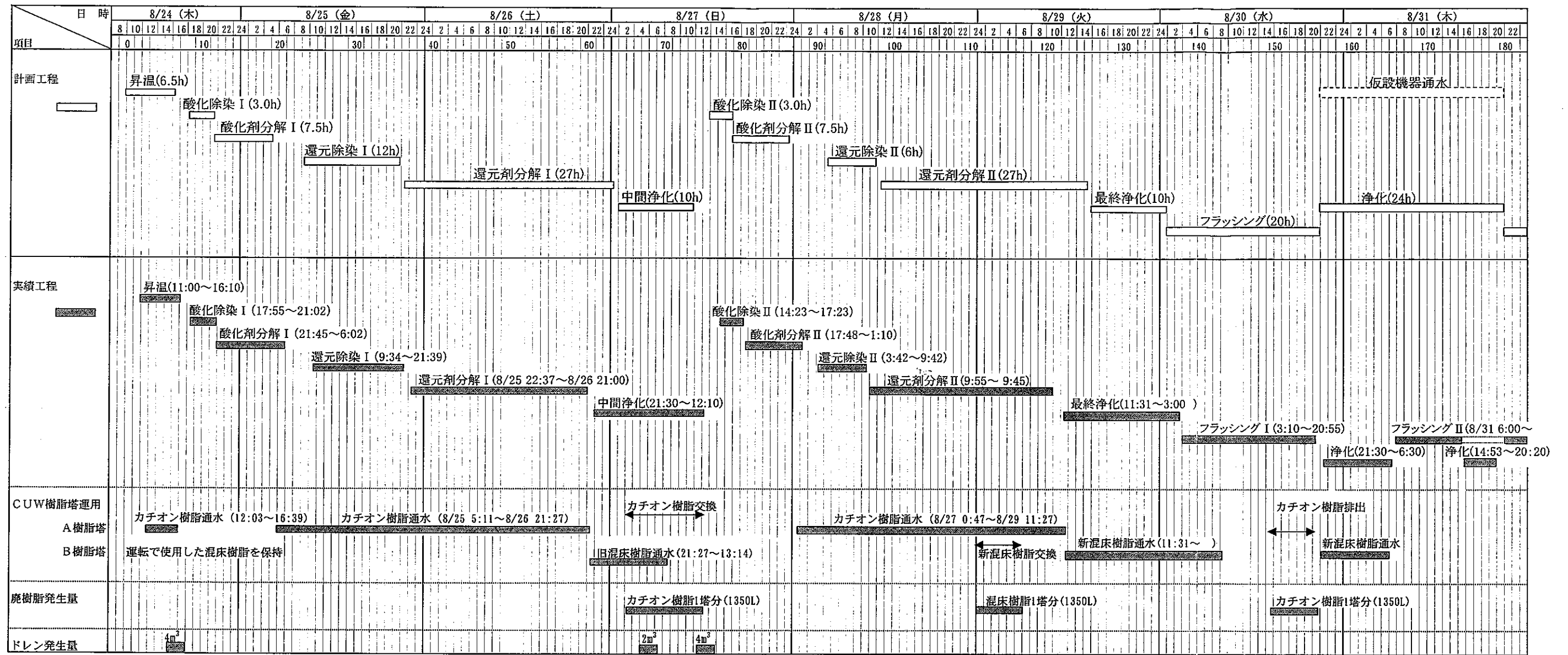
また、除染設備については、作業の安全性を確保するため、A/B 2Fの除染設備設置エリアに空間線量当量率の自動表示器を設置し、作業者に注意を喚起し不要な被ばく防止に努めた。

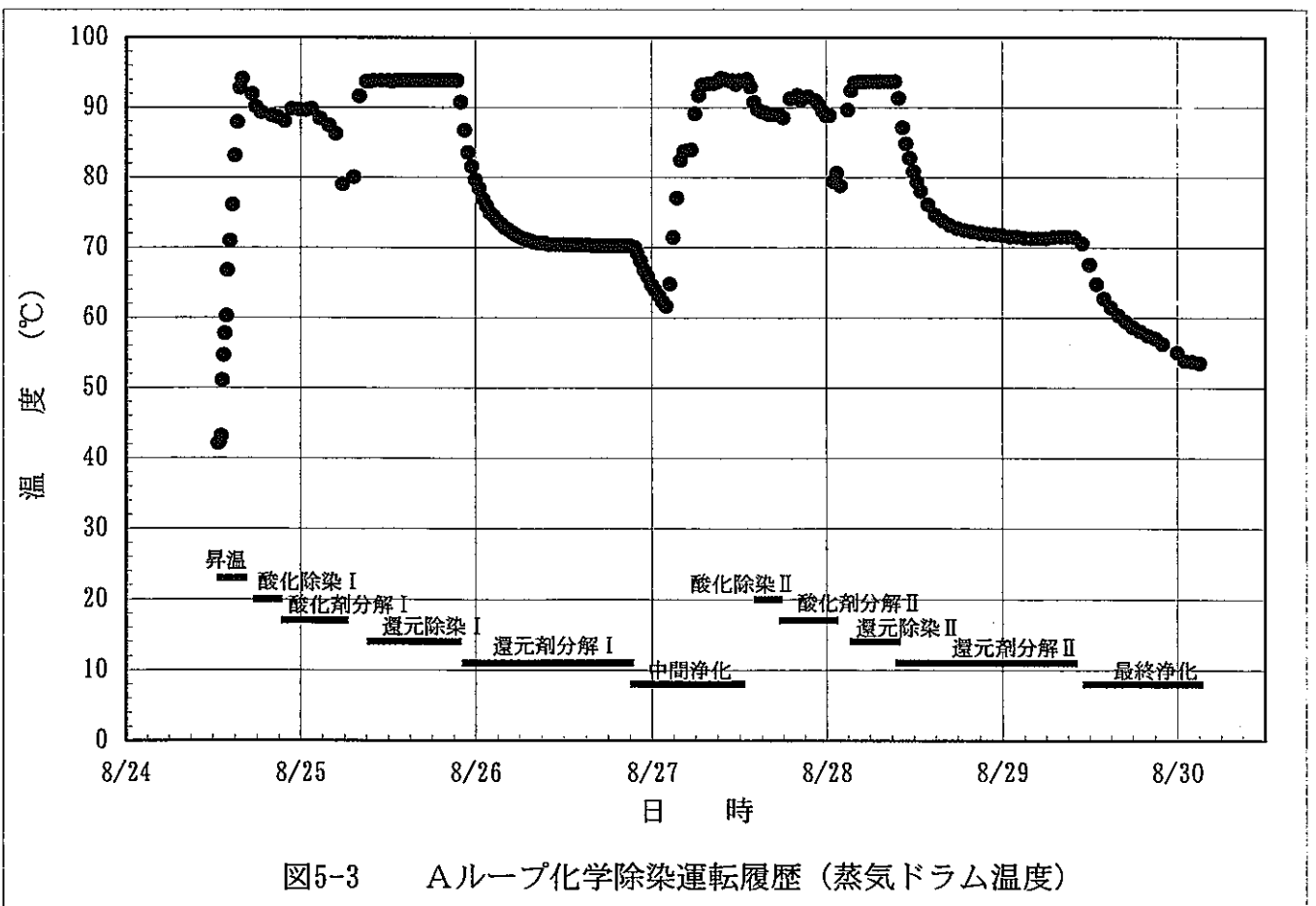
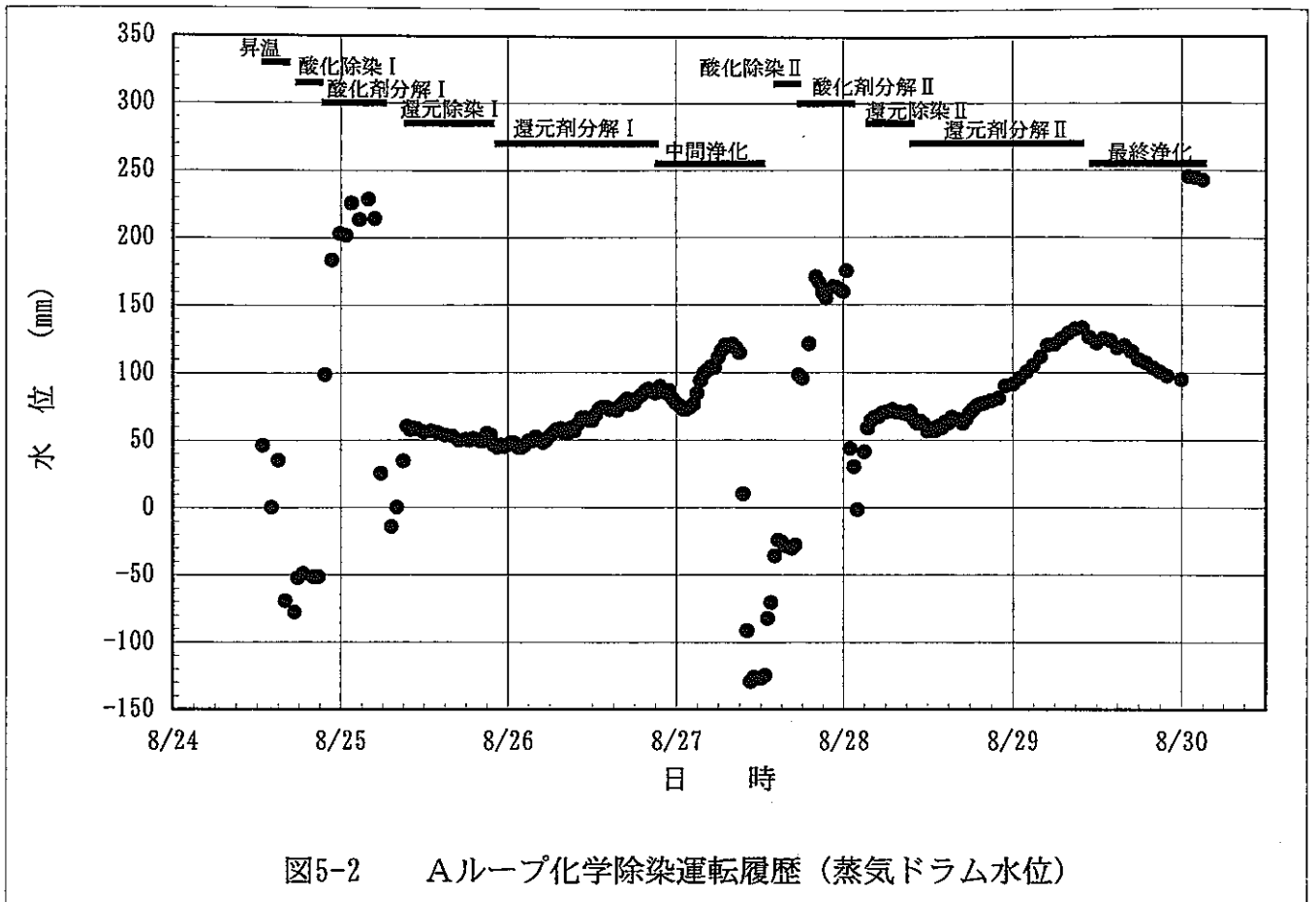
今回の除染では仮設フィルタ及び触媒塔の遮へいを強化したため、除染中の線量当量率の顕著な上昇は認められなかった。但し、A/B 2FのR/W排気ガスモニタは警報発報による排気系停止を回避するため、念のため遮蔽体を追加した。

表5-1 薬品使用量実績

工 程	過マンガン酸 カリウム (Kg)	シュウ酸 (Kg)	ヒドラジン (ℓ)	過酸化水素 (ℓ)
酸化除染(Ⅰ)	30	—	—	—
酸化剤分解(Ⅰ)／還元除染(Ⅰ)	—	275	450	—
還元剤分解(Ⅰ)	—	—	—	1311
酸化除染(Ⅱ)	27.5	—	—	—
酸化剤分解(Ⅱ)／還元除染(Ⅱ)	—	275	410	—
還元剤分解(Ⅱ)	—	—	—	2008
合 計	57.5	550	860	3319

図5-1 Aループ系統化学除染実績工程





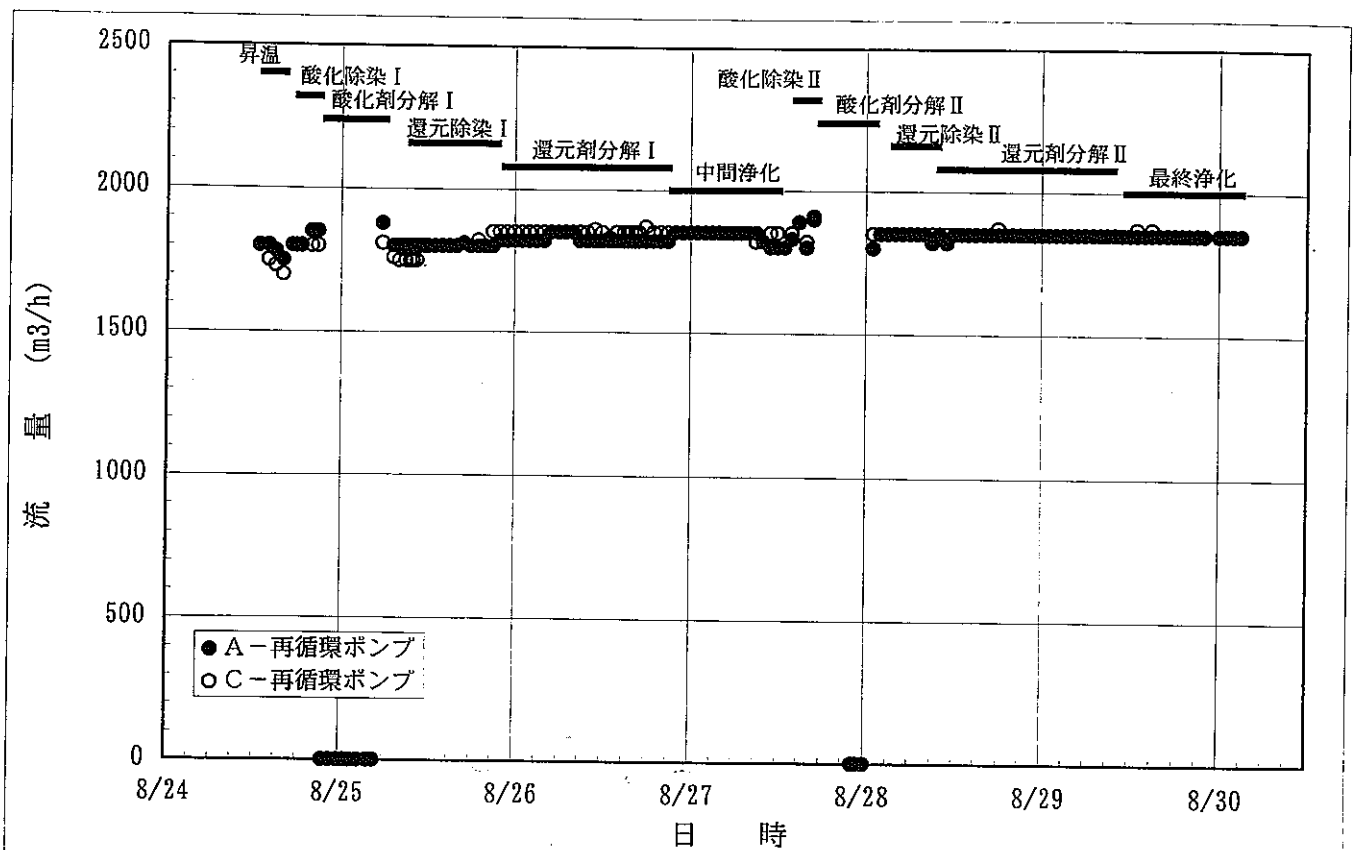


図5-4 Aループ化学除染運転履歴 (再循環ポンプ流量)

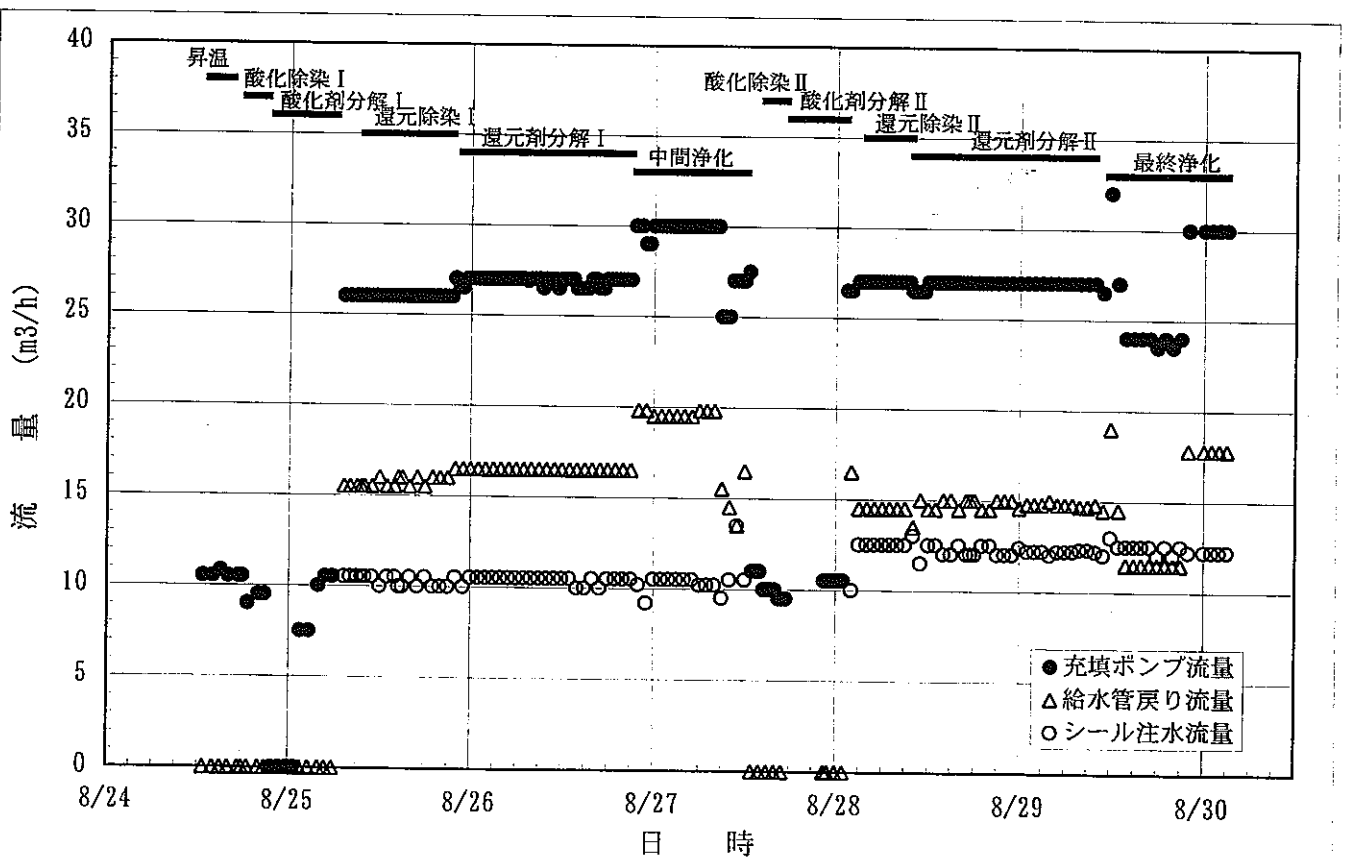
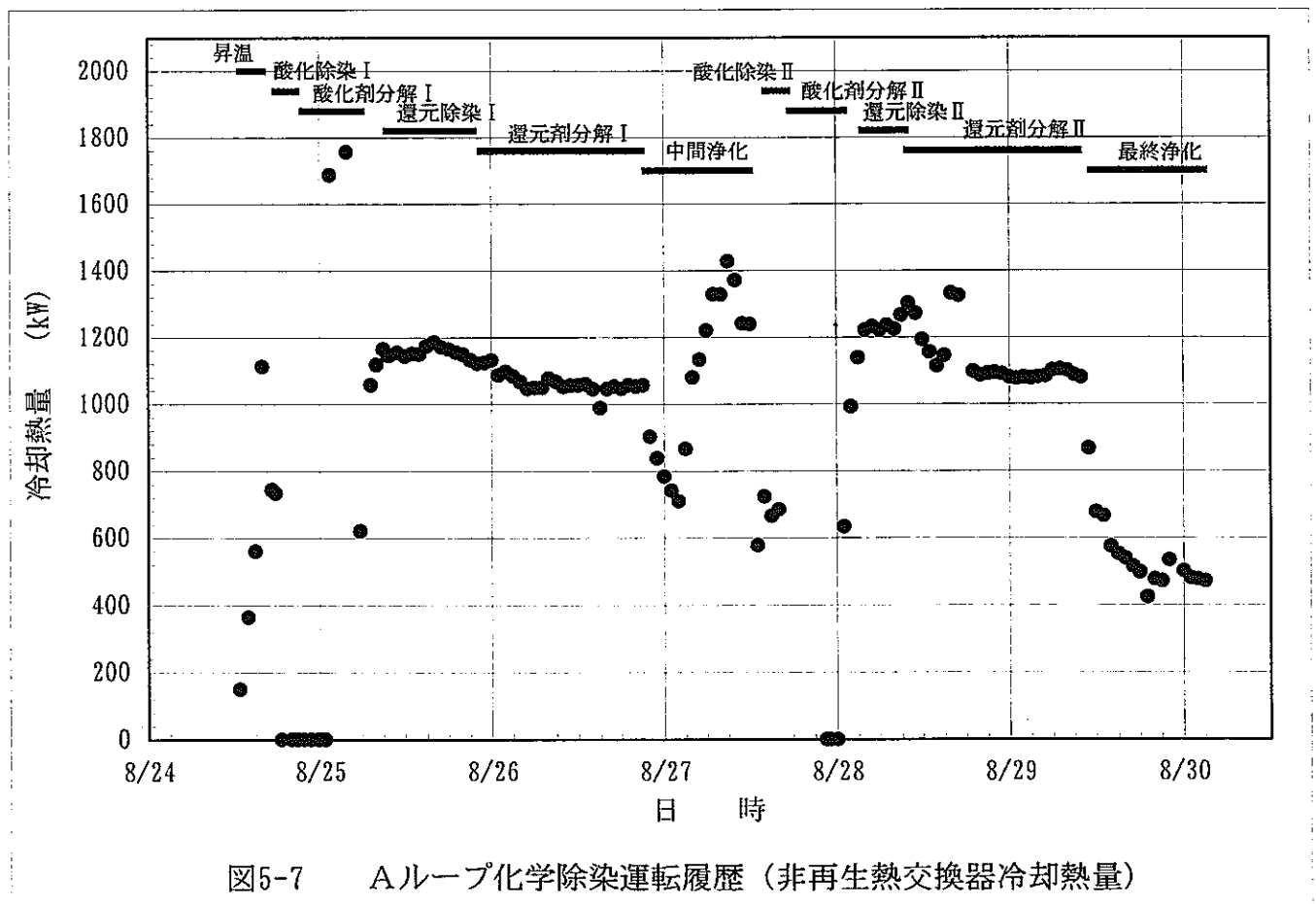
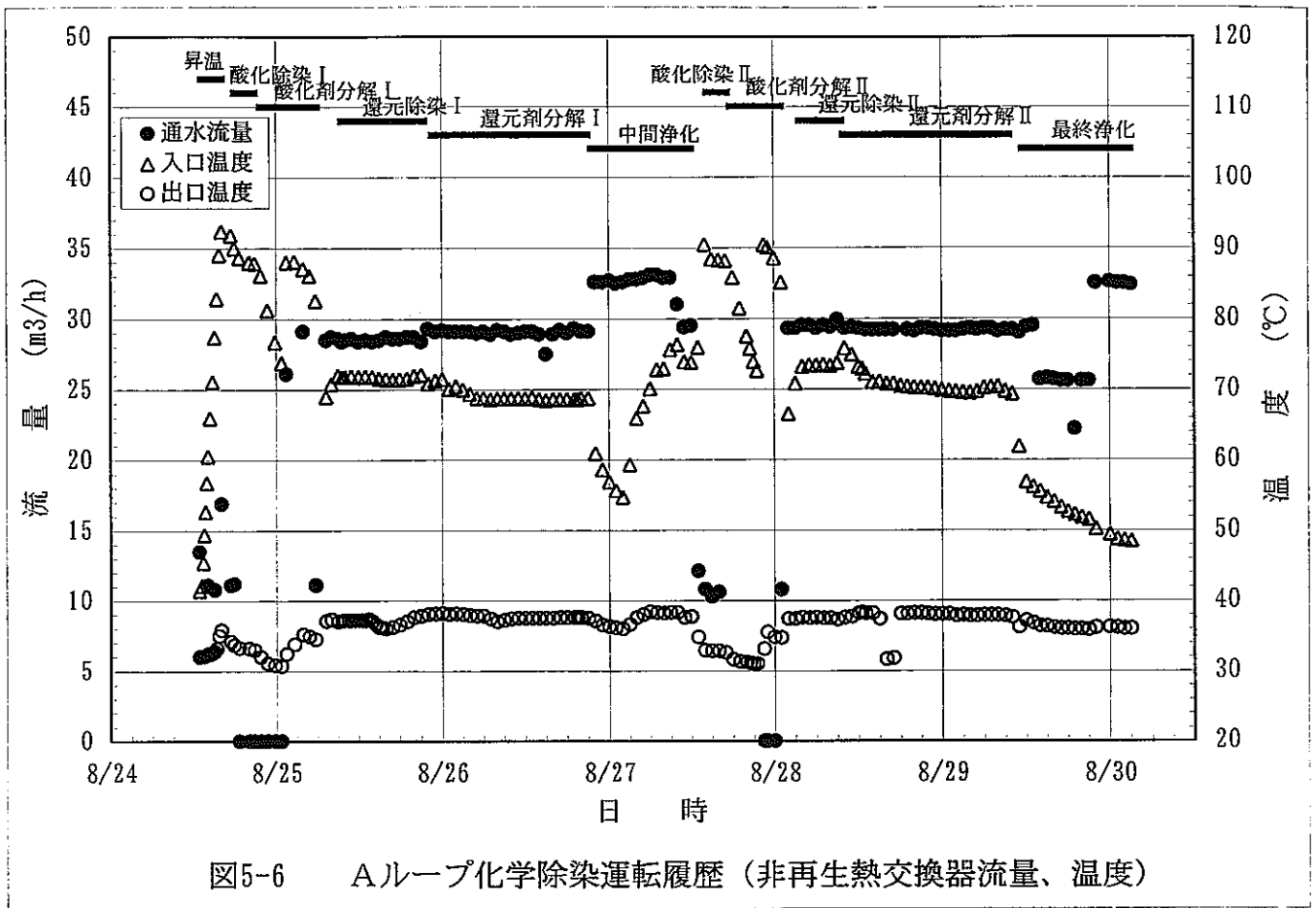
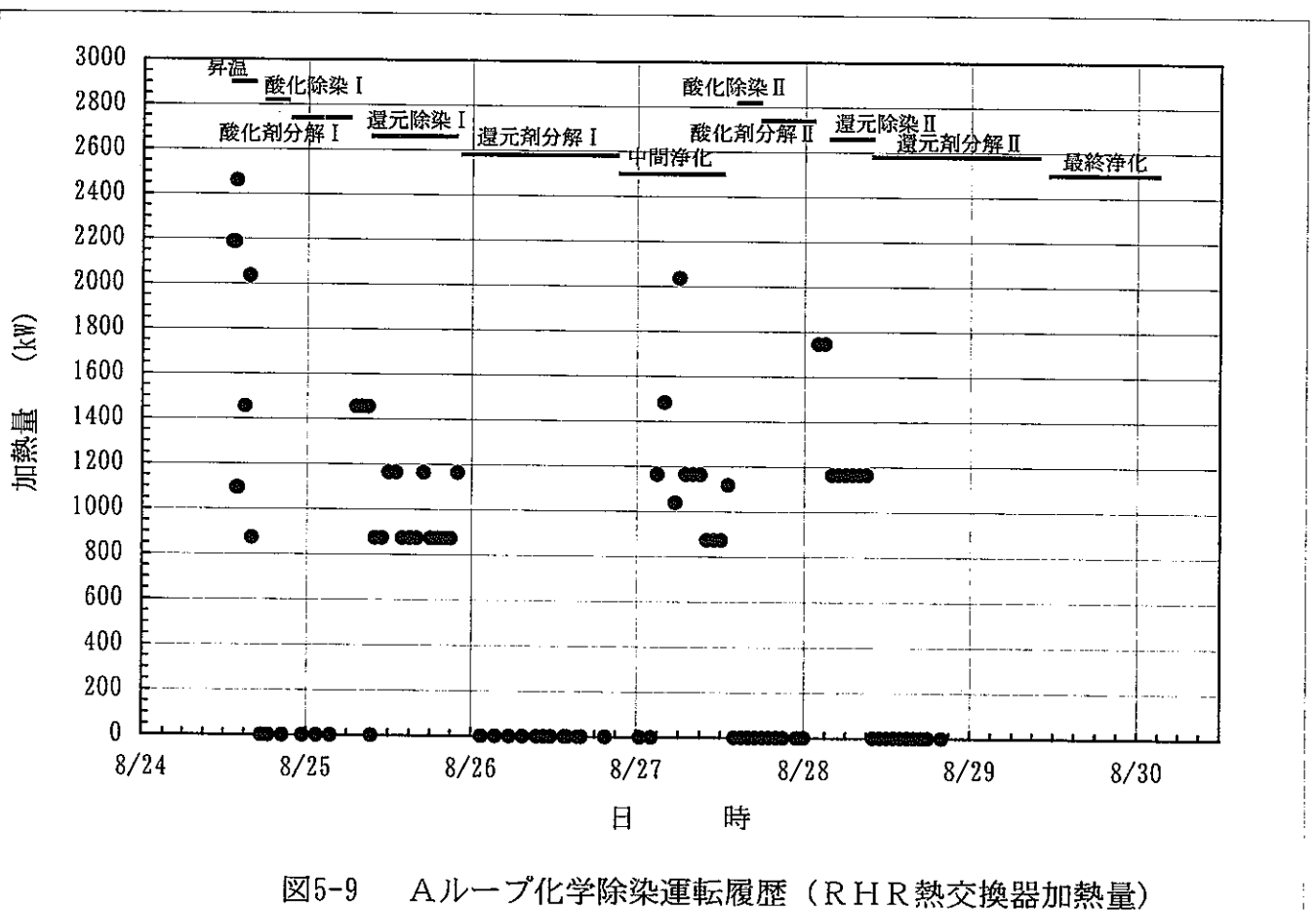
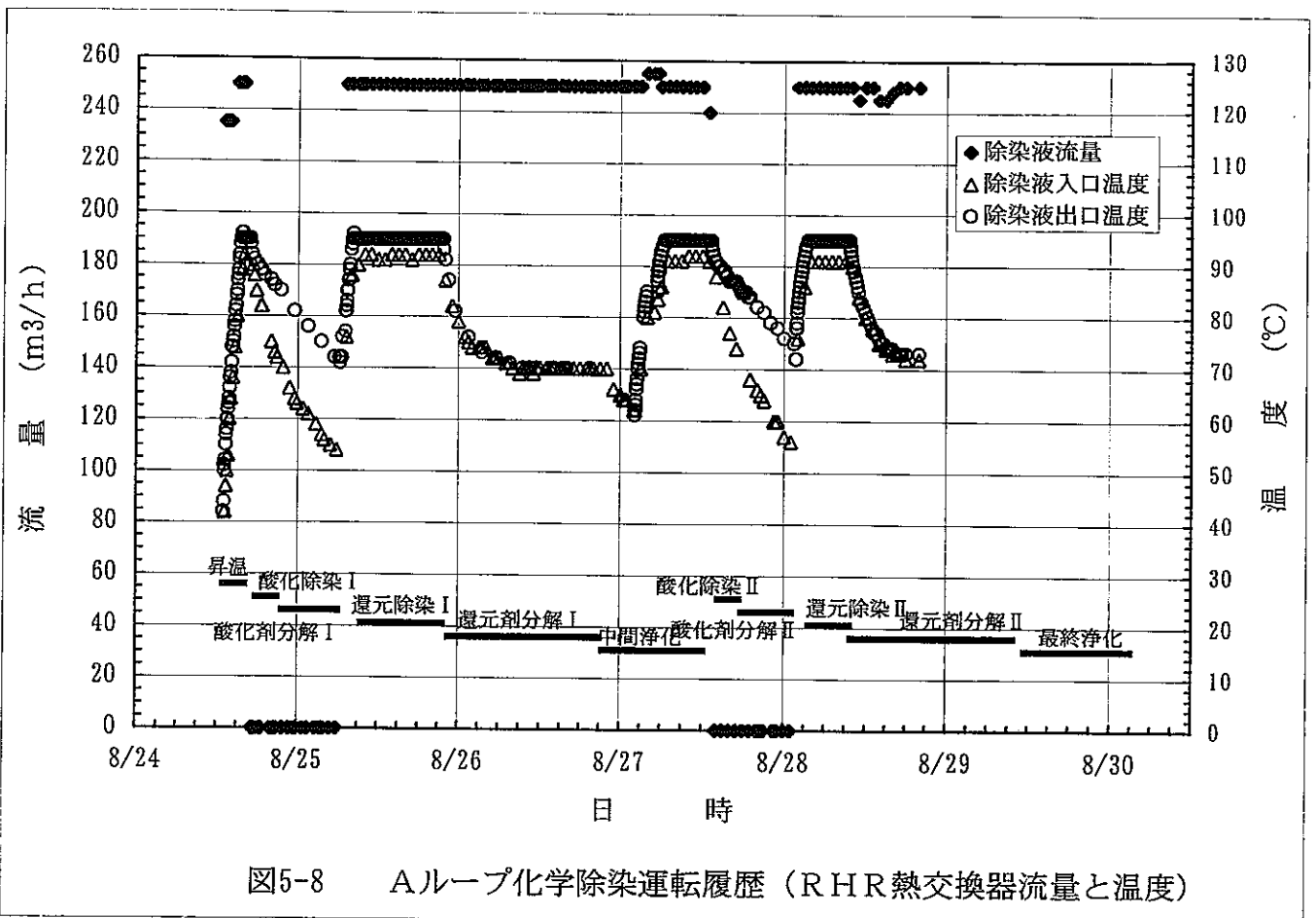


図5-5 Aループ化学除染運転履歴 (CUW戻り流量)







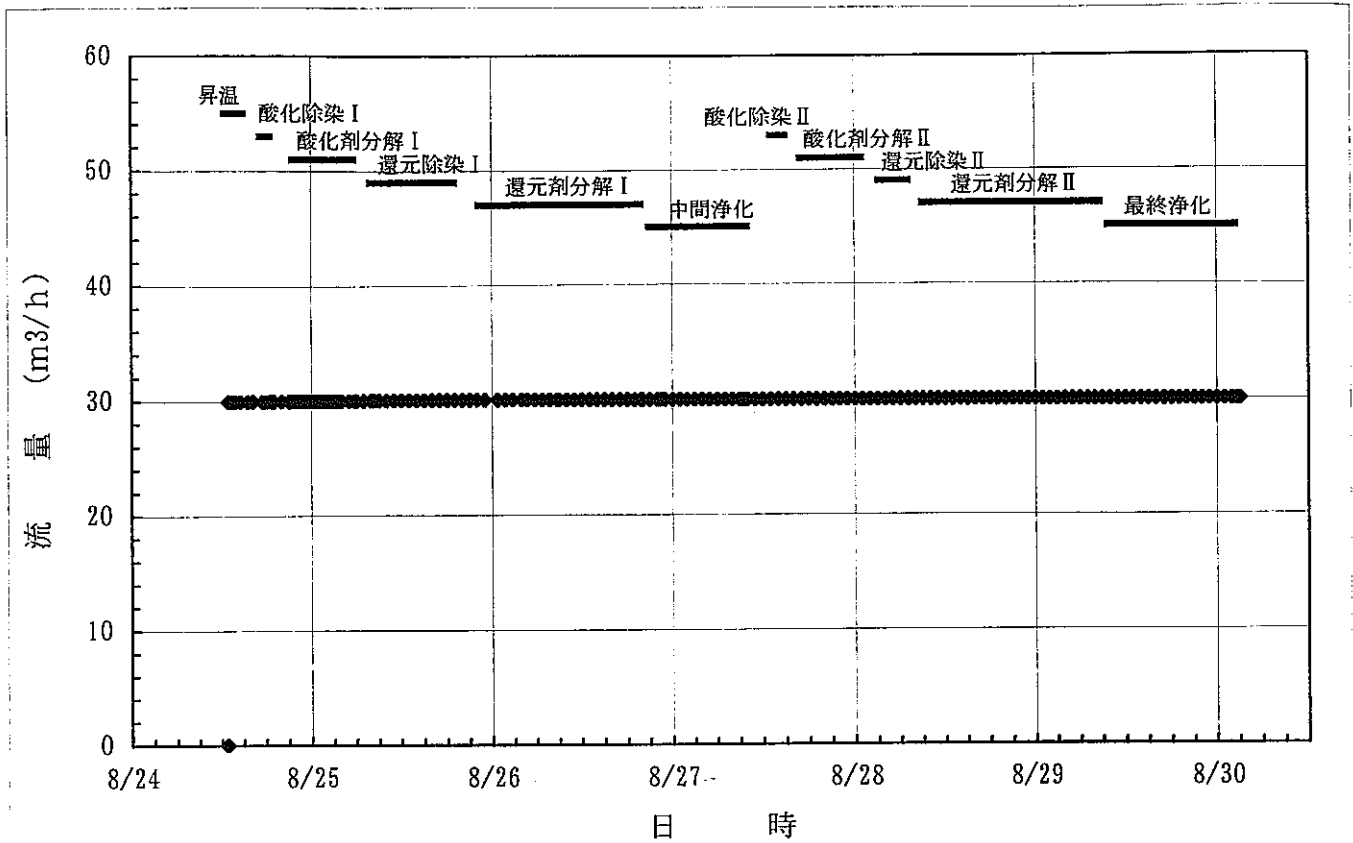


図5-10 Aループ化学除染運転履歴（再循環系仮設設備流量）

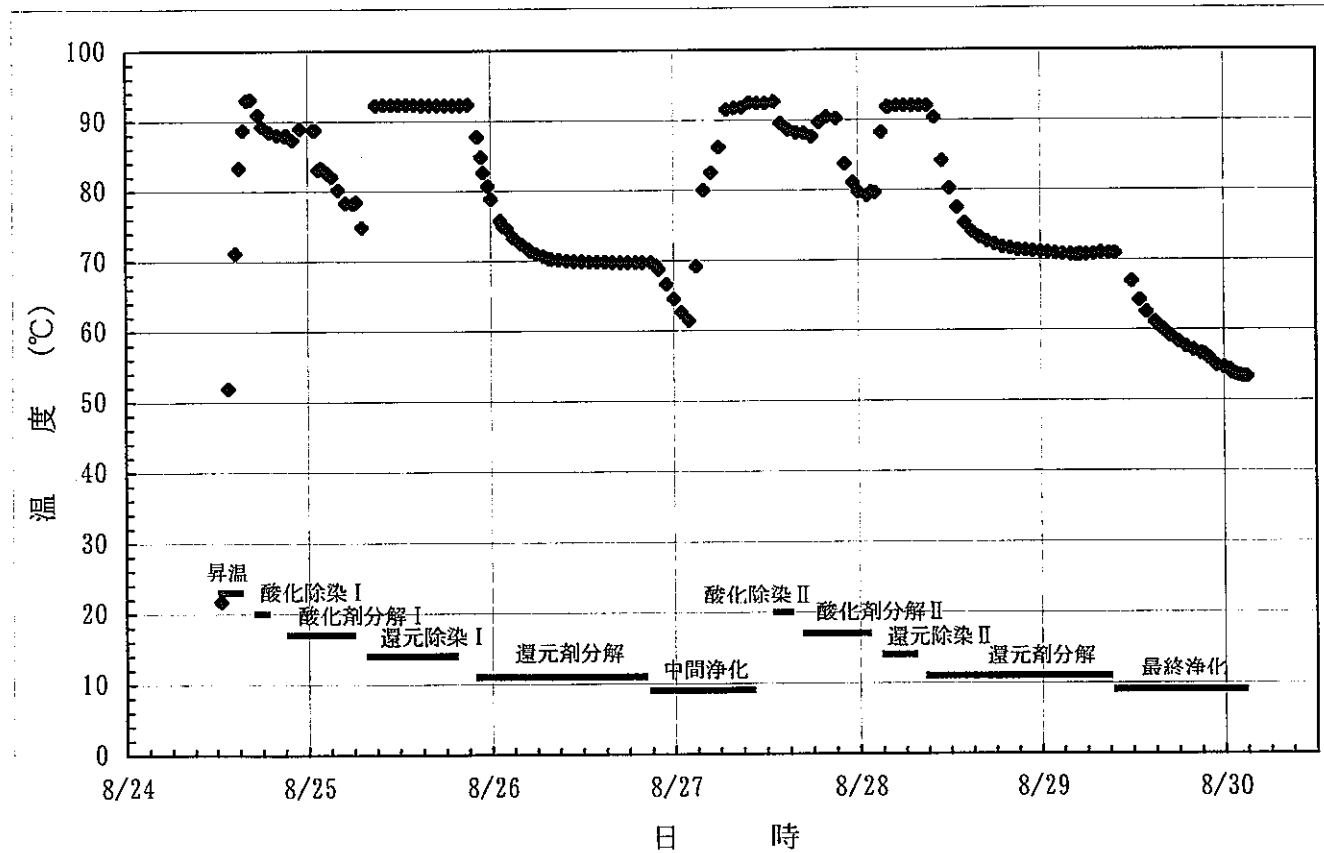


図5-11 Aループ化学除染運転履歴（再循環系仮設設備水温）

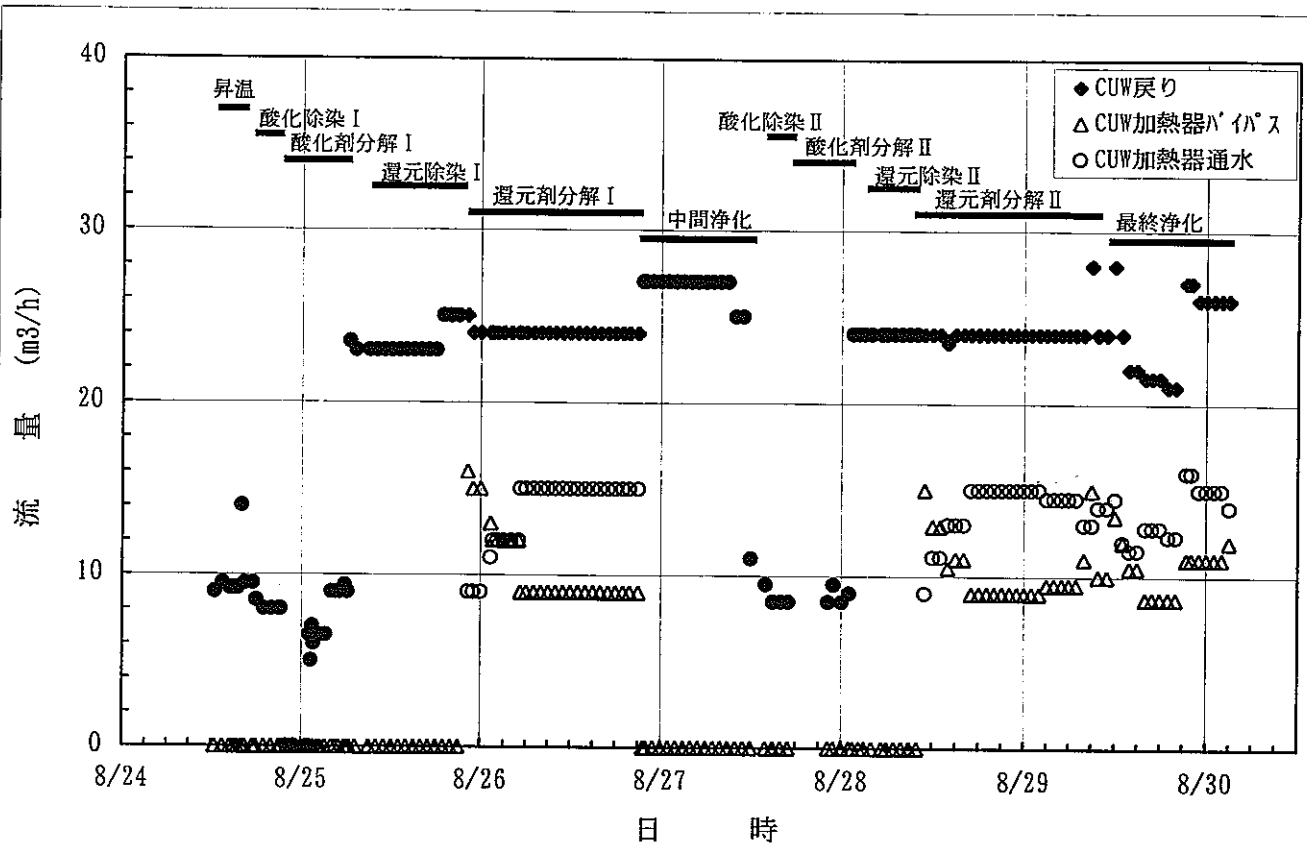


図5-12 Aループ化学除染運転履歴 (CUW仮設設備流量)

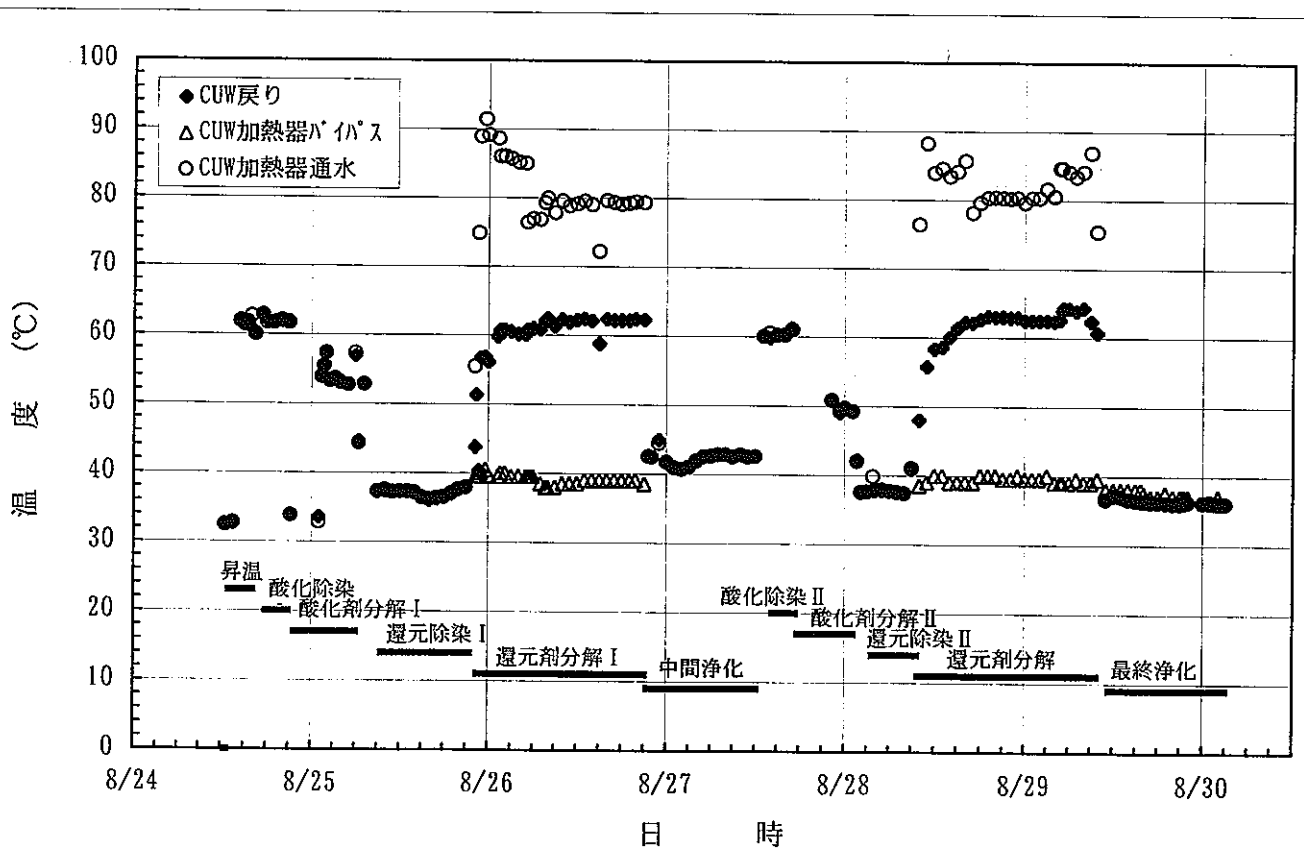


図5-13 Aループ化学除染運転履歴 (CUW仮設設備水温)

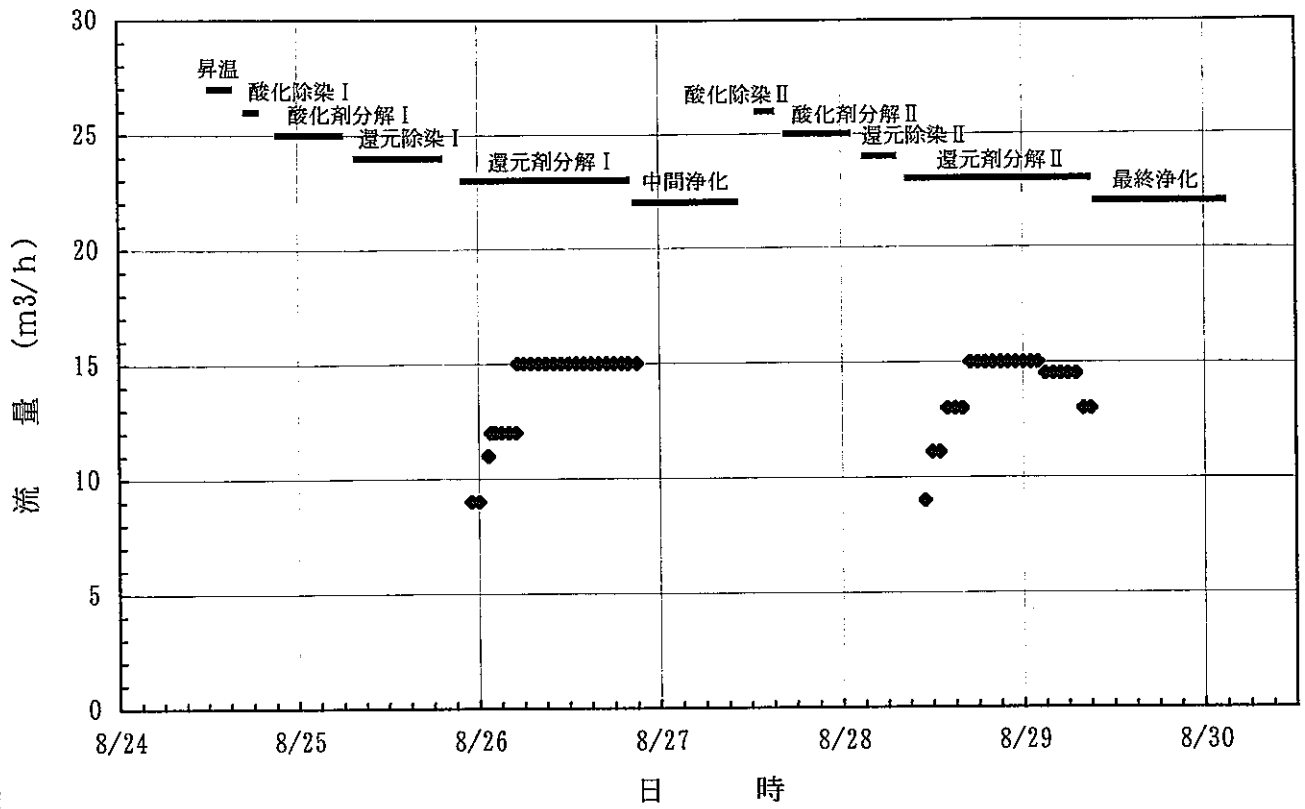


図5-14 Aループ化学除染運転履歴（触媒塔通水流量）

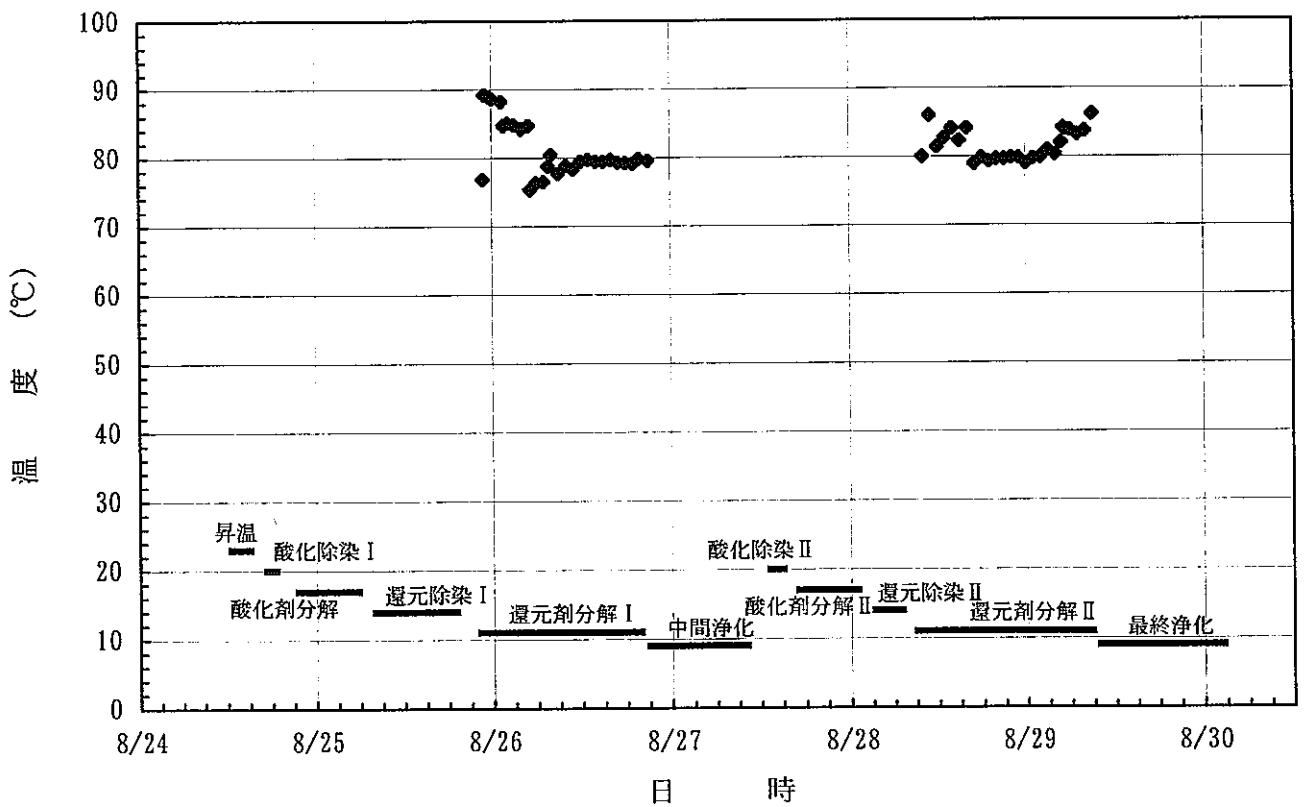


図5-15 Aループ化学除染運転履歴（触媒塔通水温度）

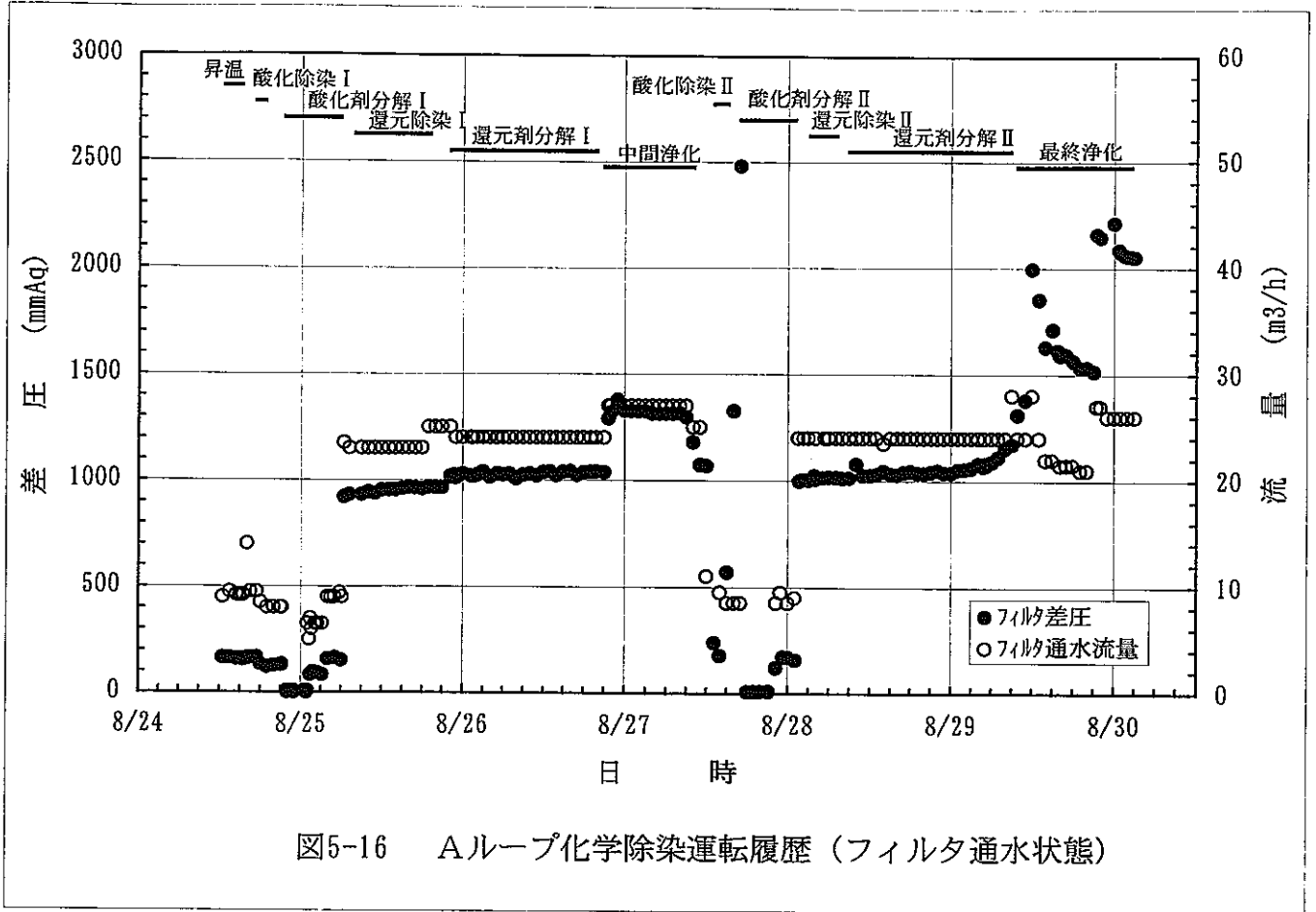


図5-16 Aループ化学除染運転履歴 (フィルタ通水状態)

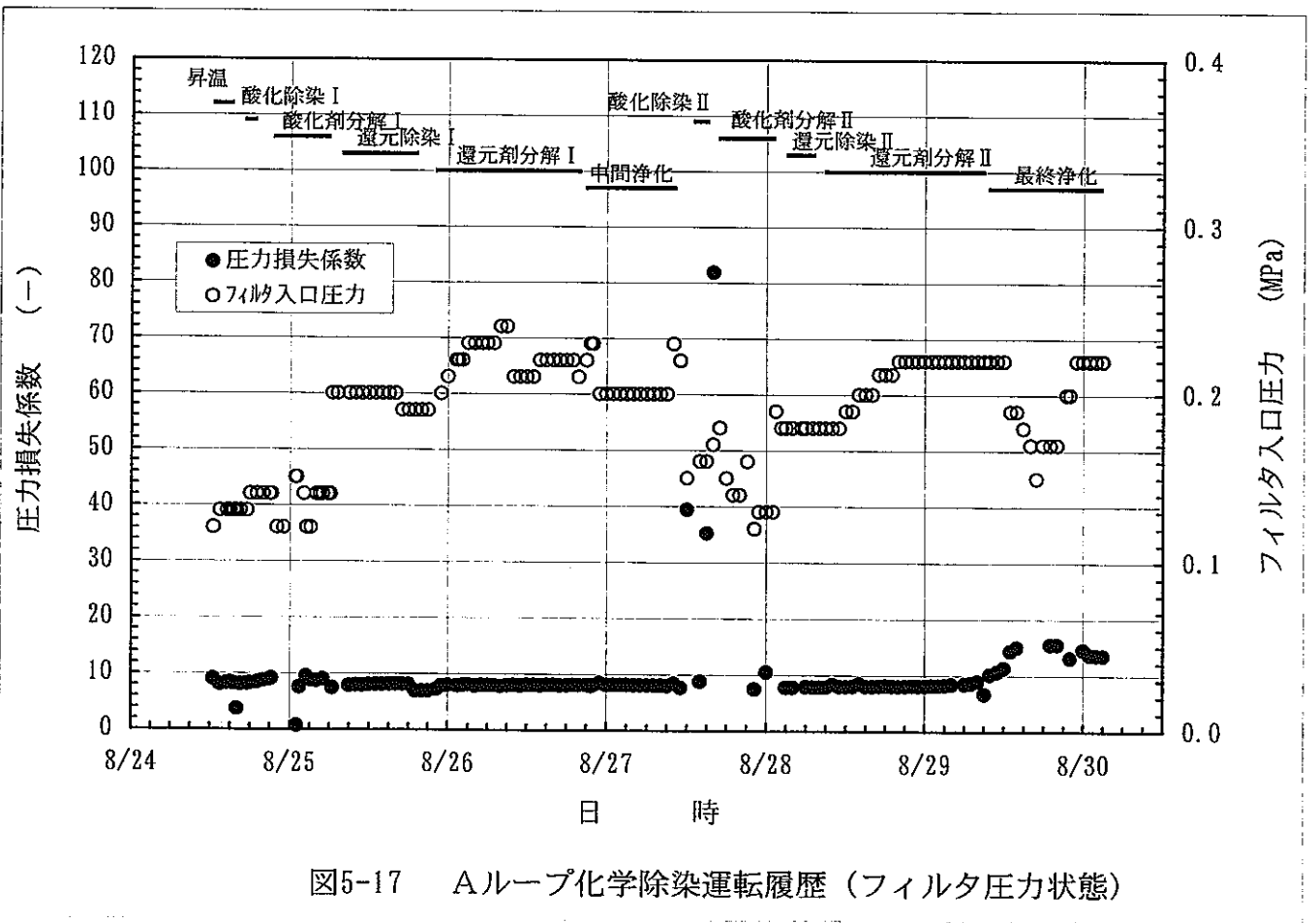


図5-17 Aループ化学除染運転履歴 (フィルタ圧力状態)

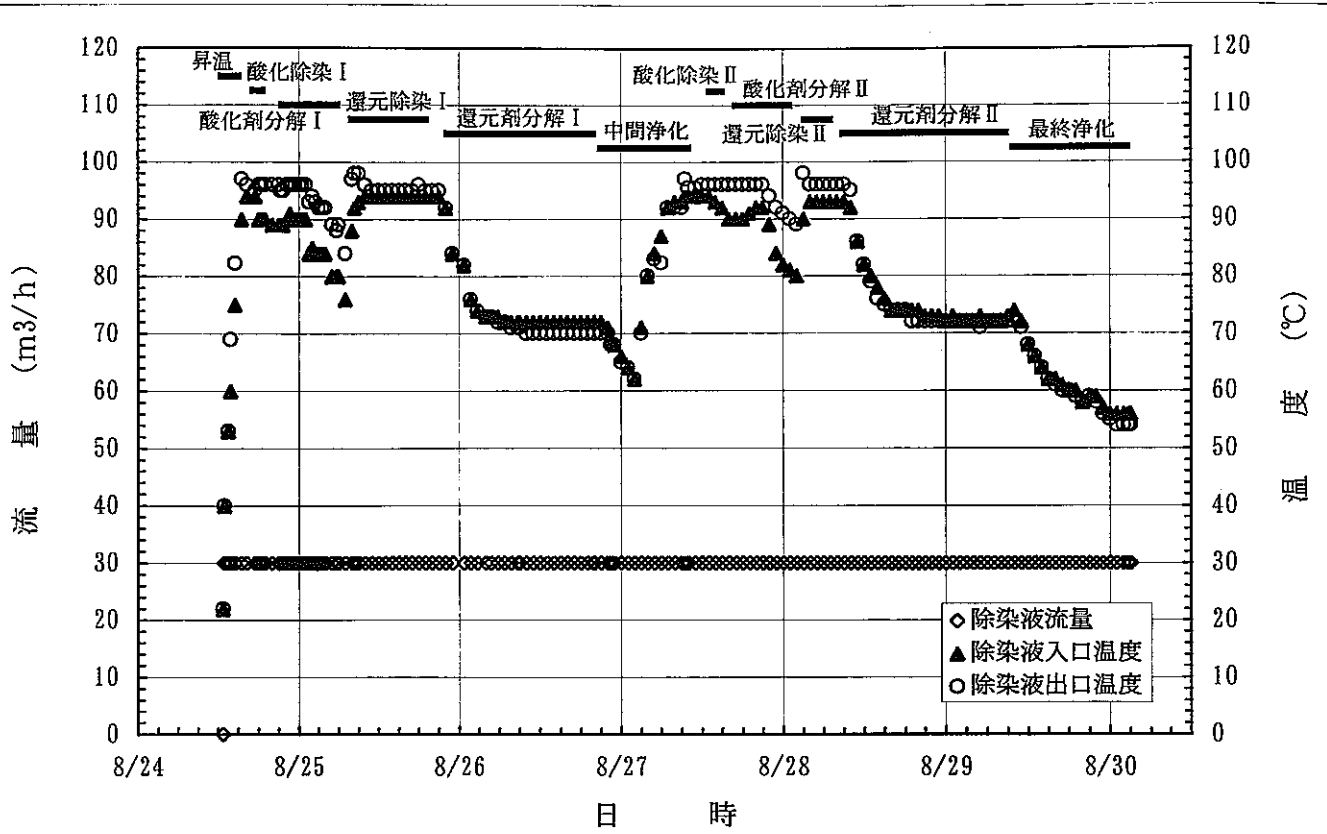


図5-18 Aループ化学除染運転履歴（再循環系仮設加熱器流量、温度）

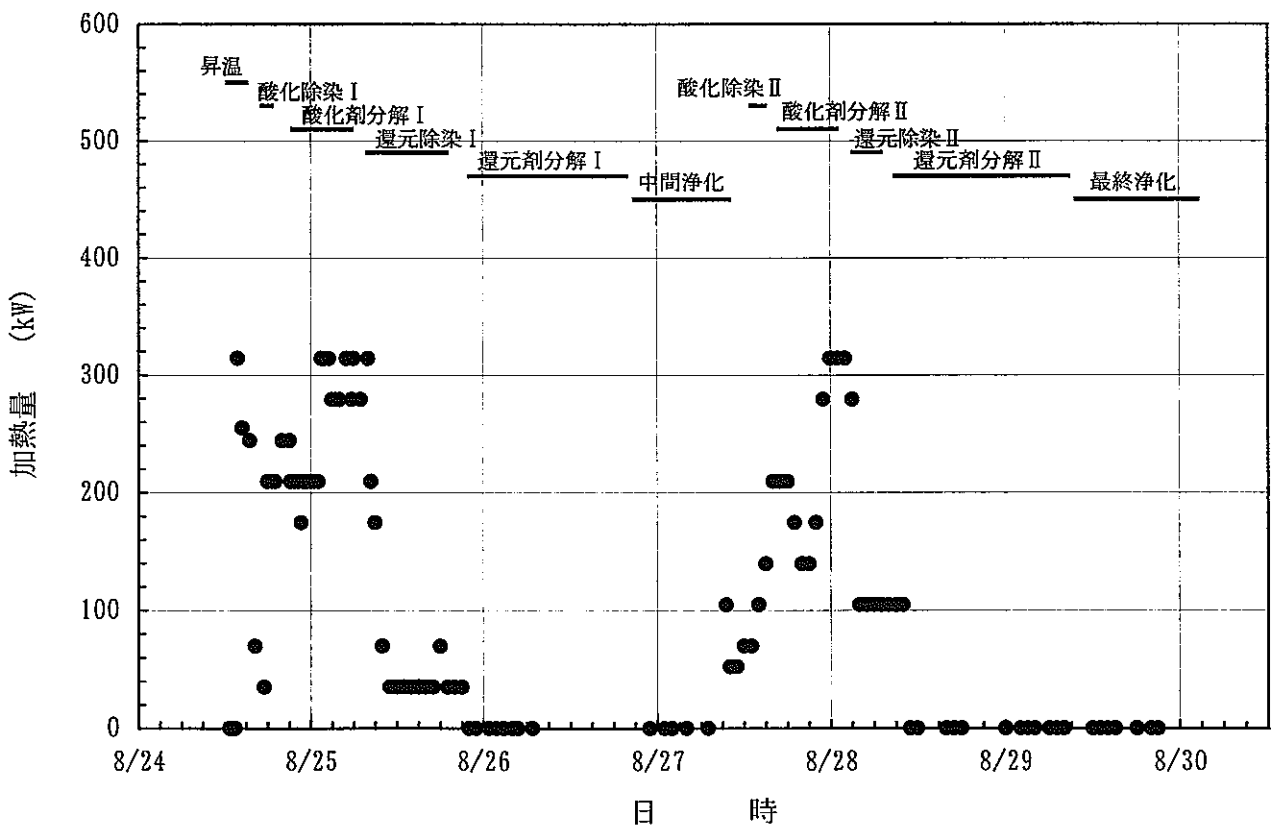
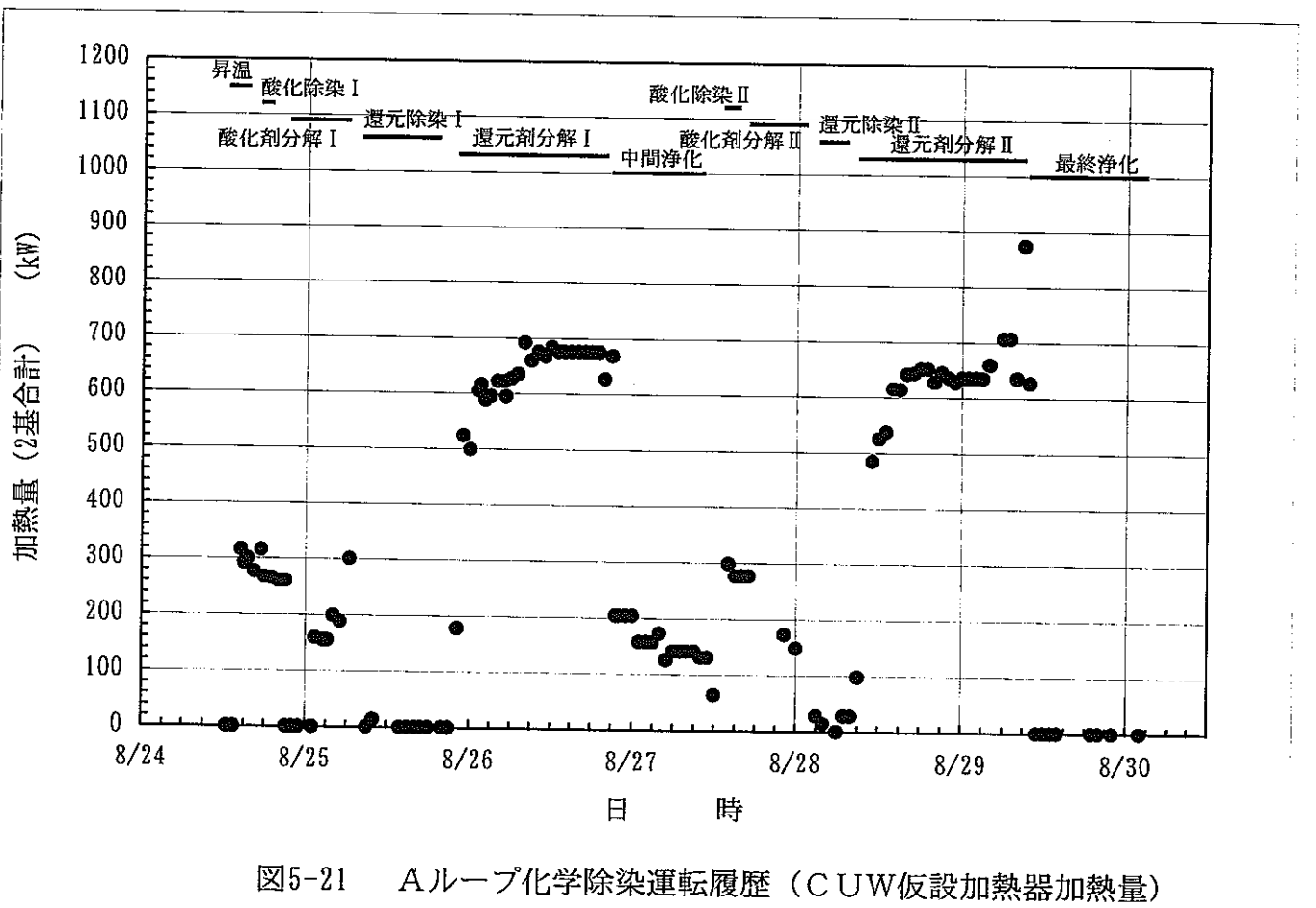
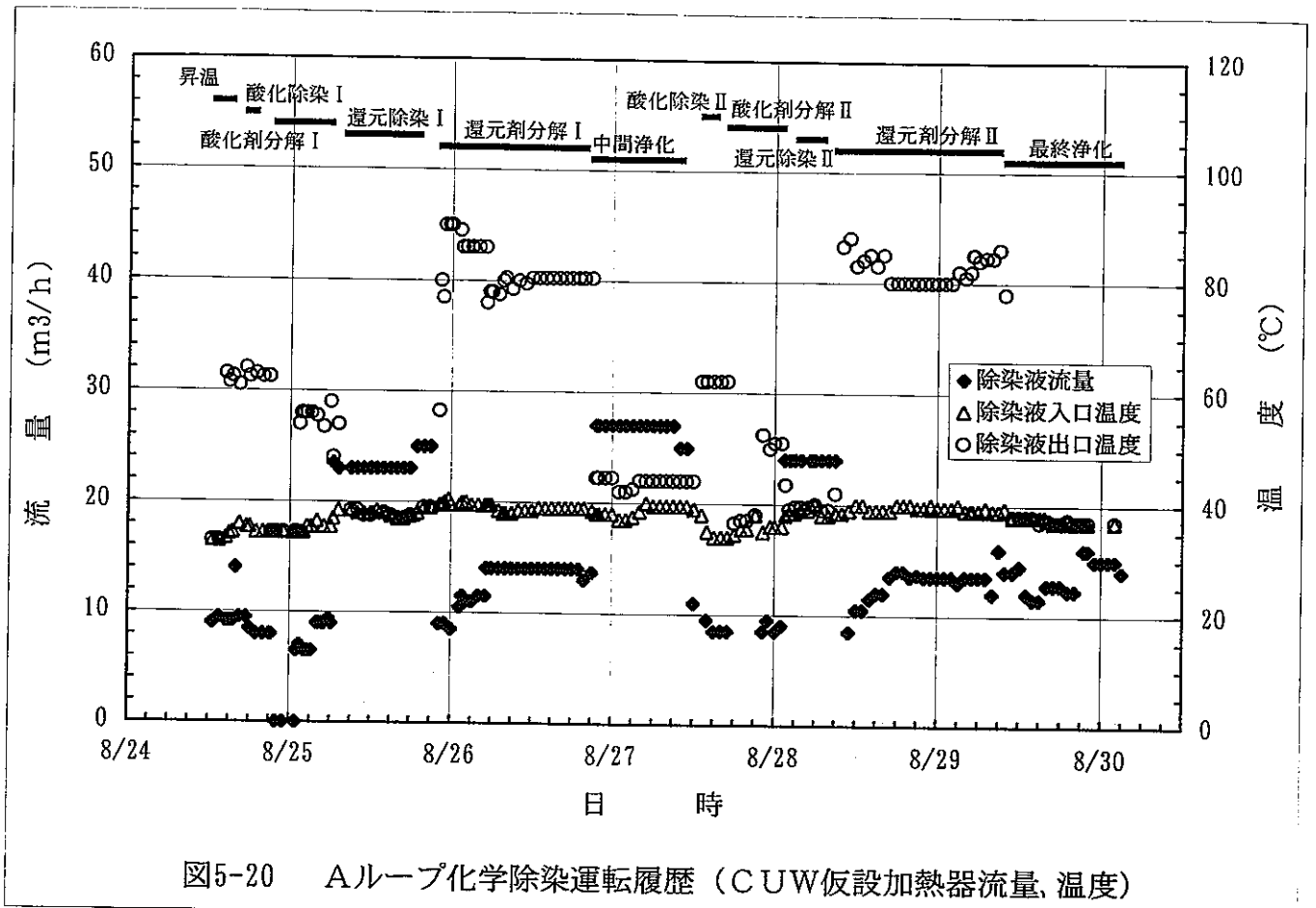


図5-19 Aループ化学除染運転履歴（再循環系仮設加熱器加熱量）





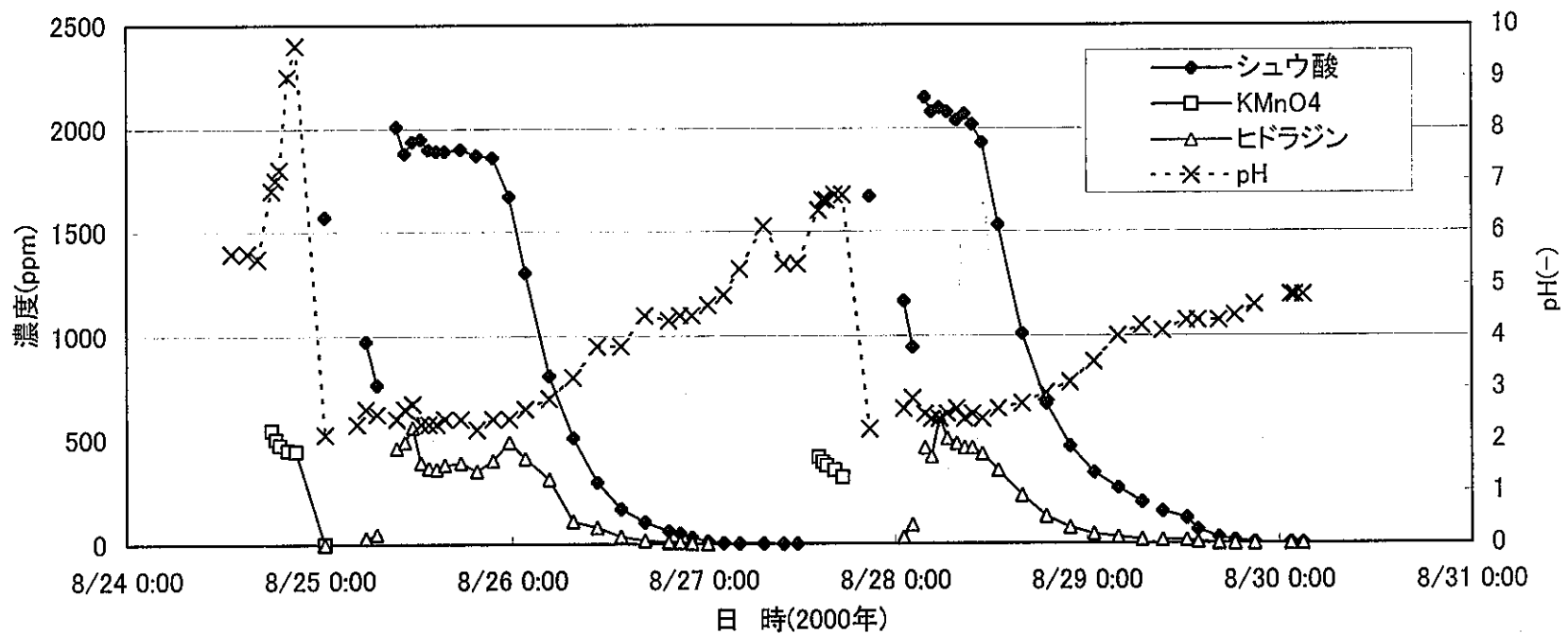
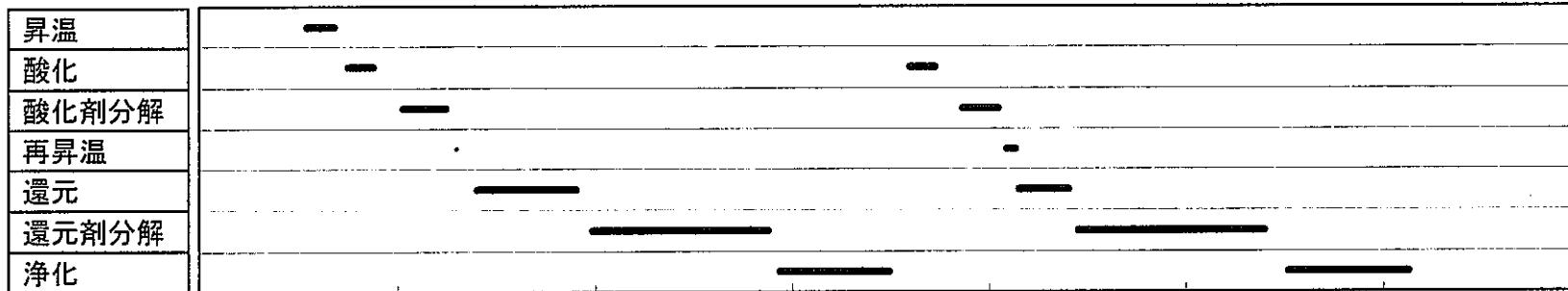


図5-22 A系系統化学除染時の再循環系除染液濃度変化

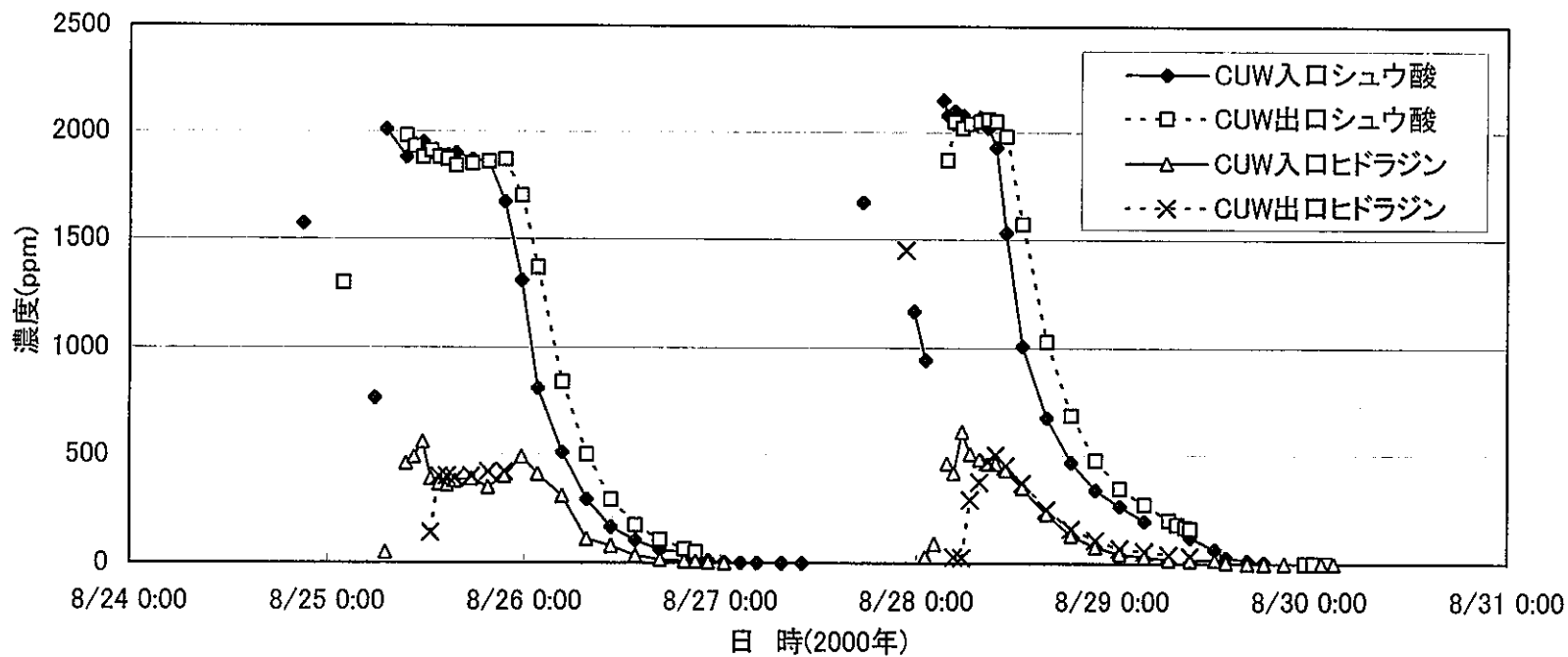
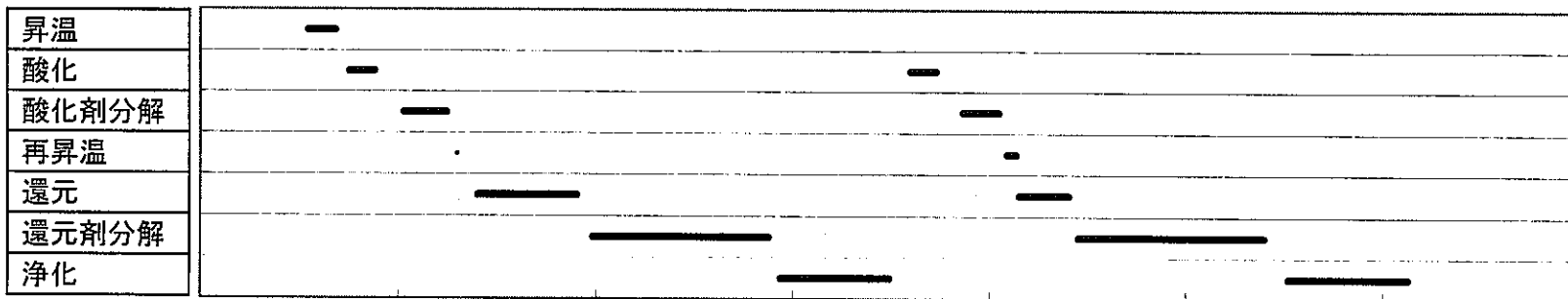


図5-23 A系系統化学除染時のCUW脱塩器入口・出口除染液濃度変化

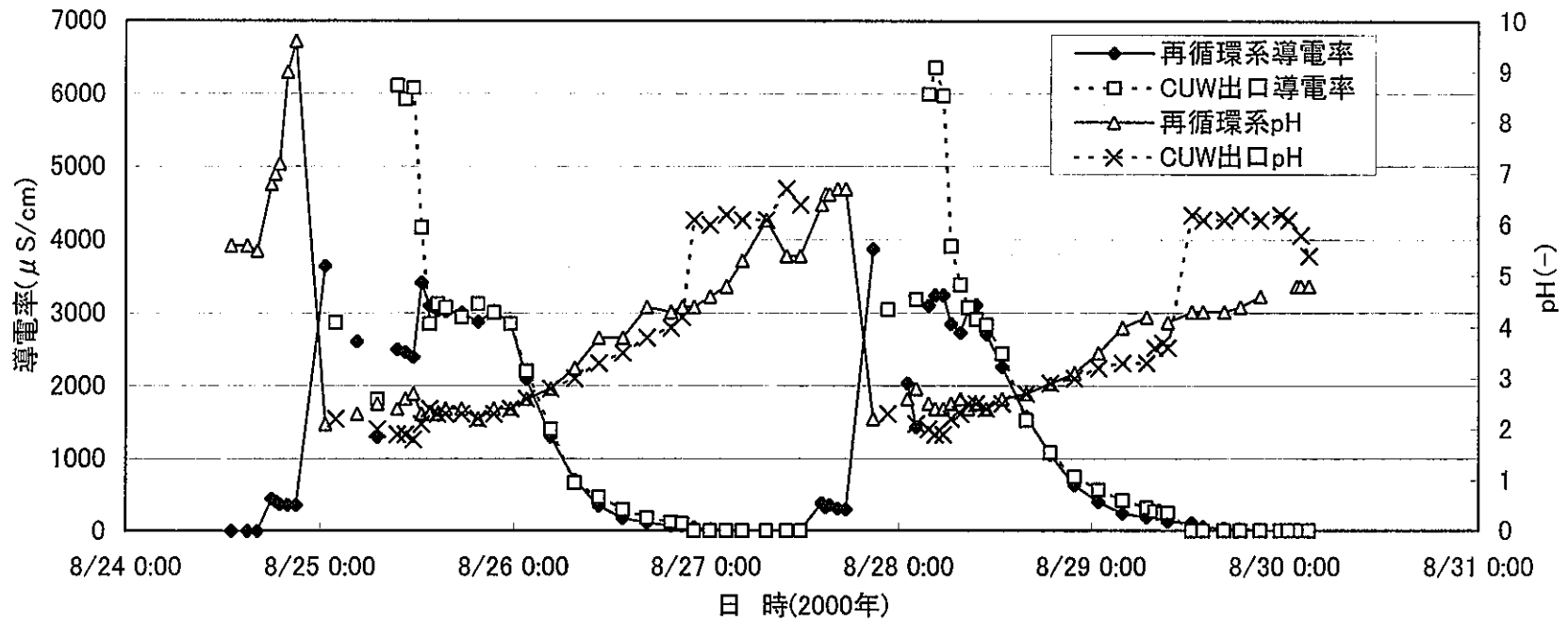
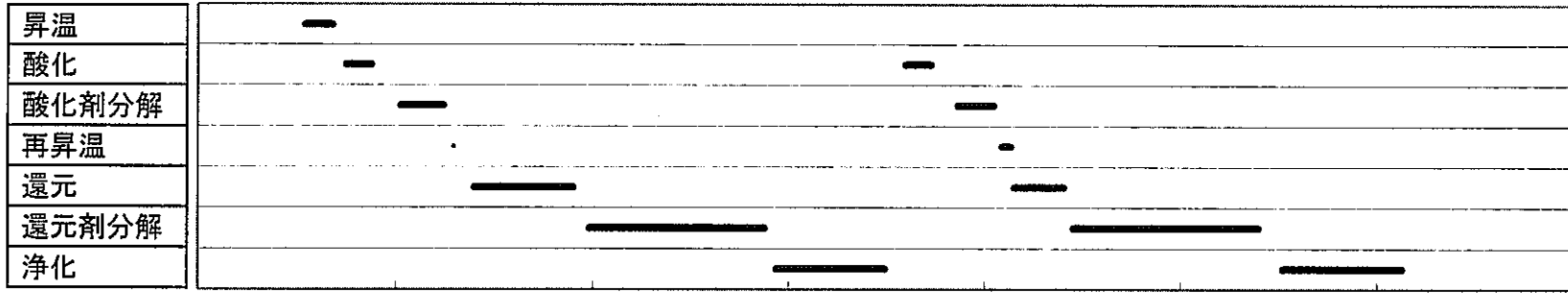


図5-24 A系系統化学除染時の導電率及びpH変化

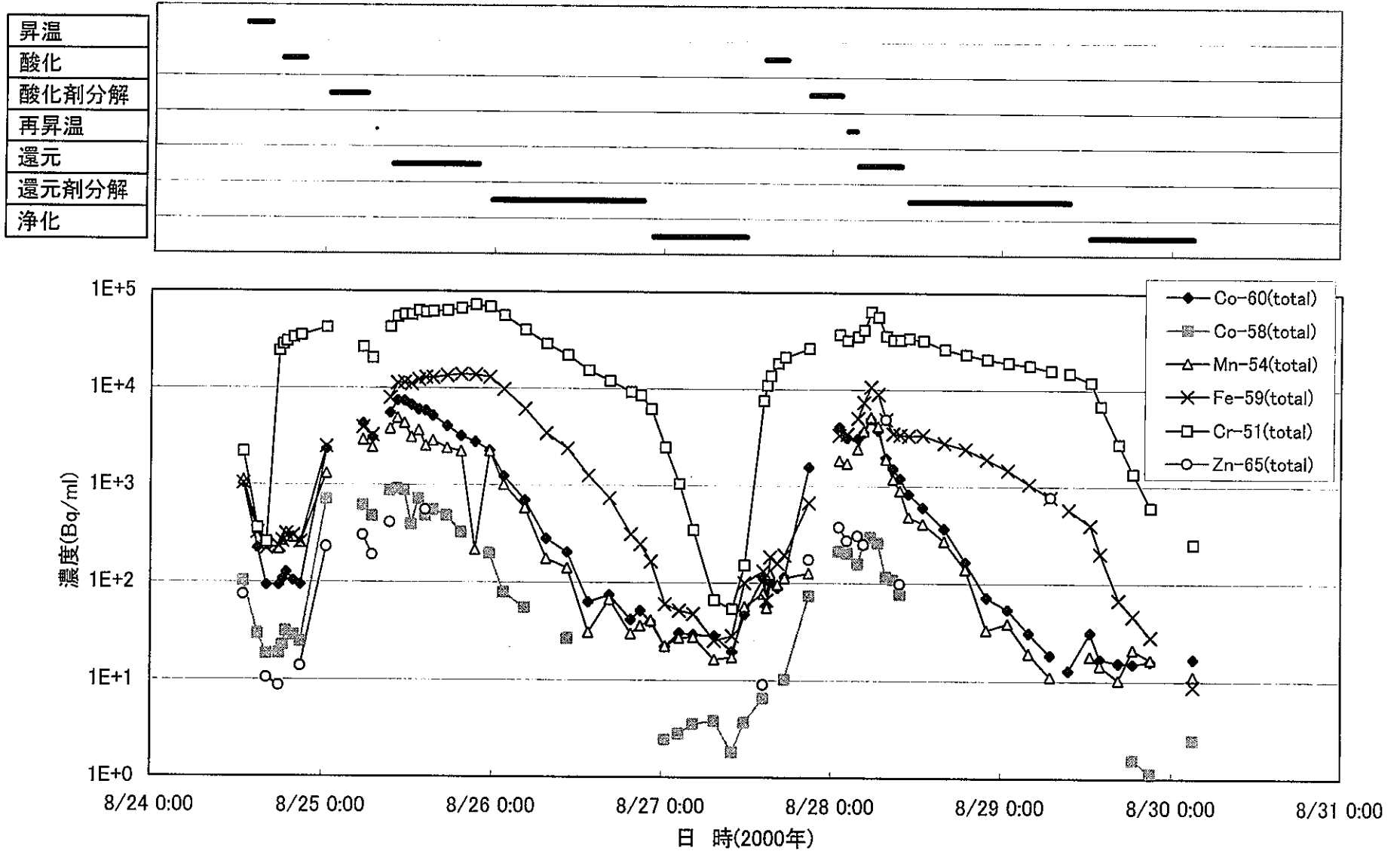


図5-25 A系系統化学除染時の再循環系放射能濃度変化

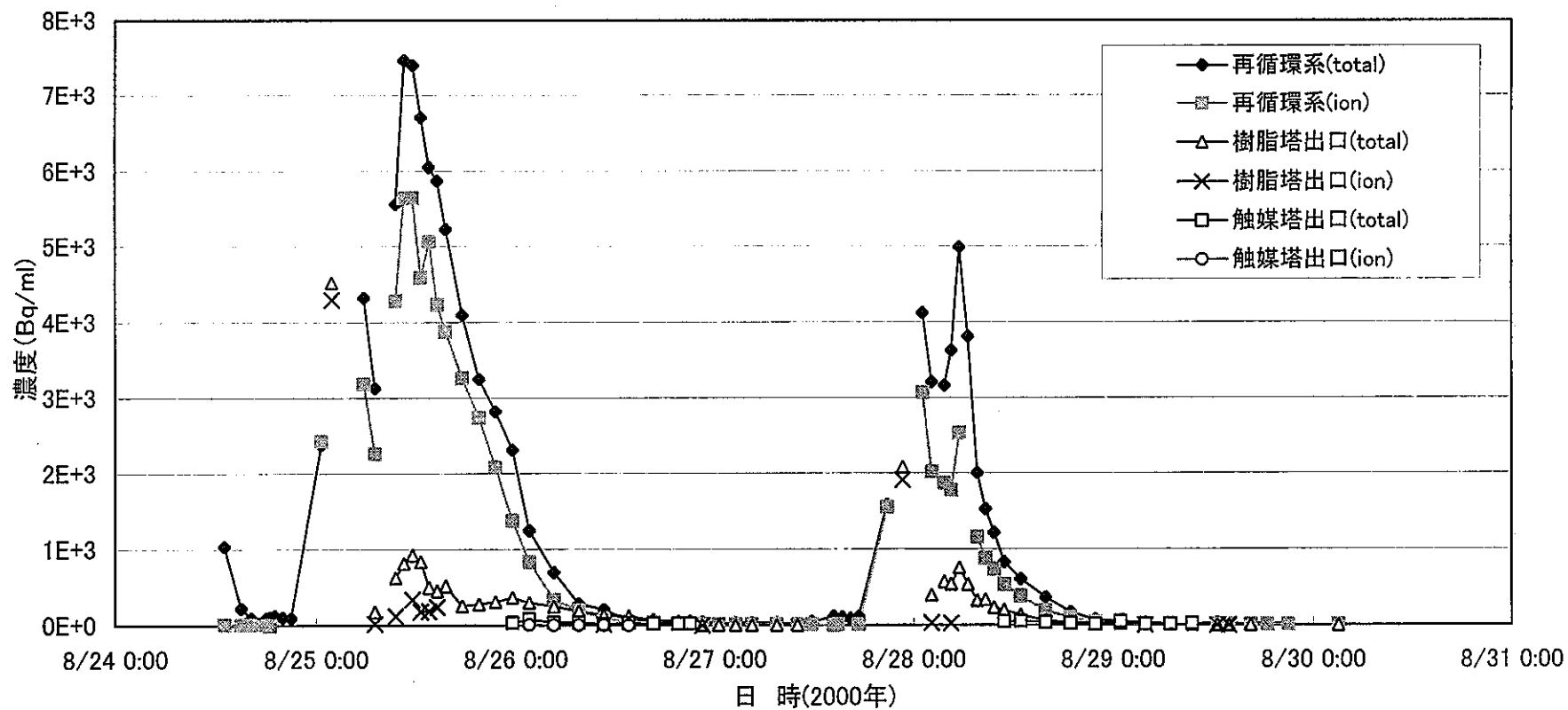
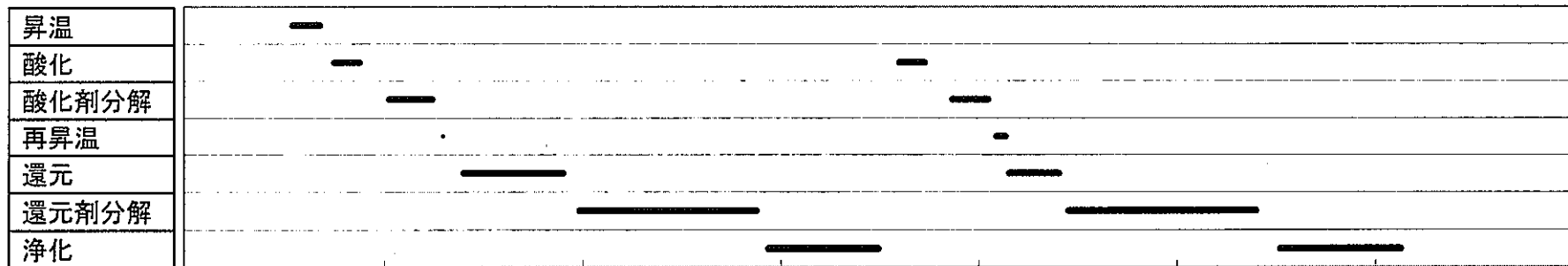


図5-26 A系系統化学除染時のCo-60濃度変化

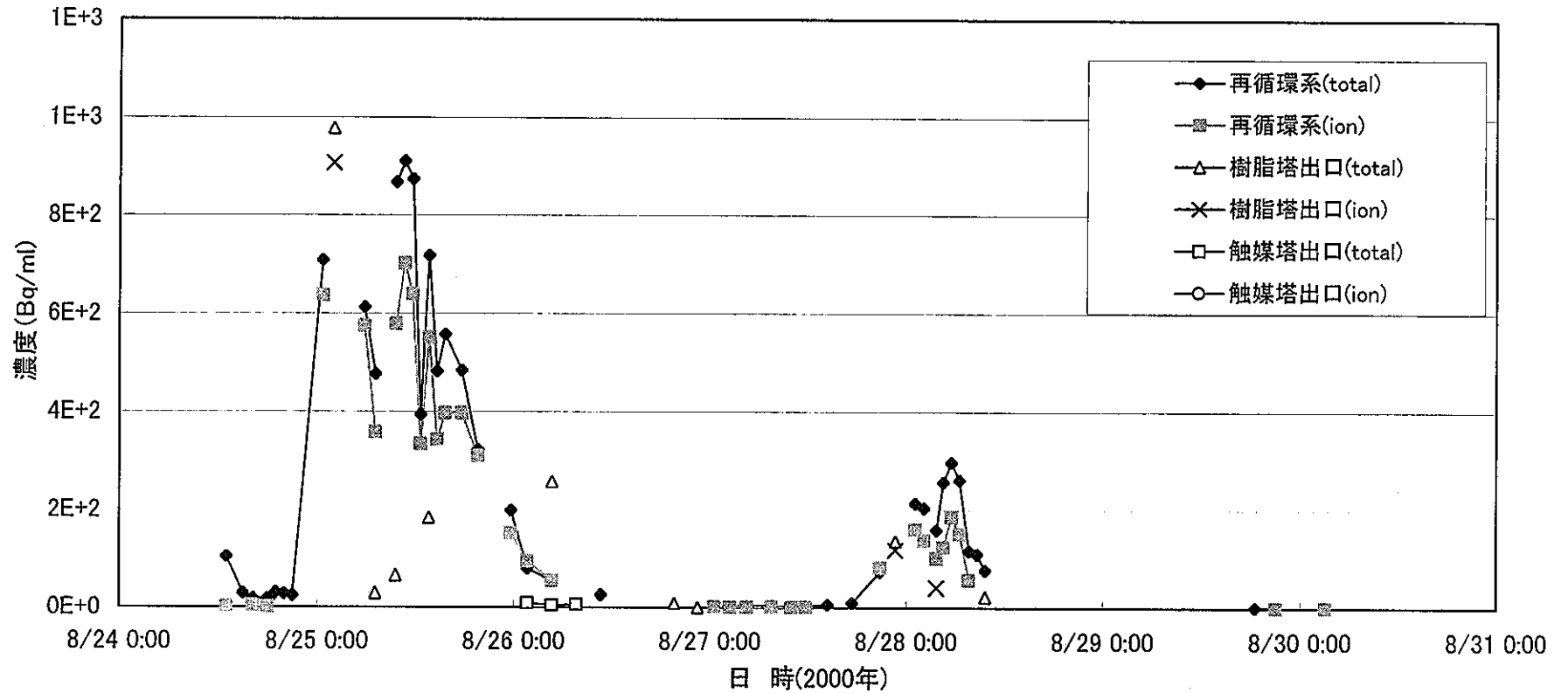
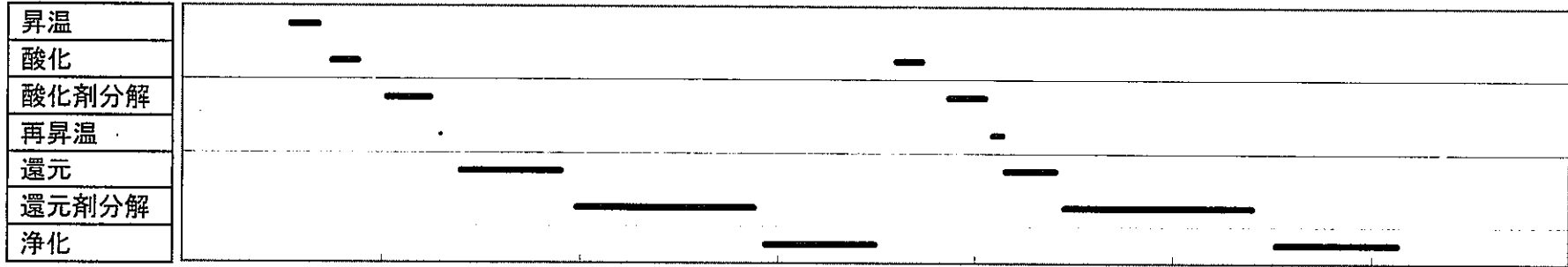


図5-27 A系系統化学除染時のCo-58濃度変化

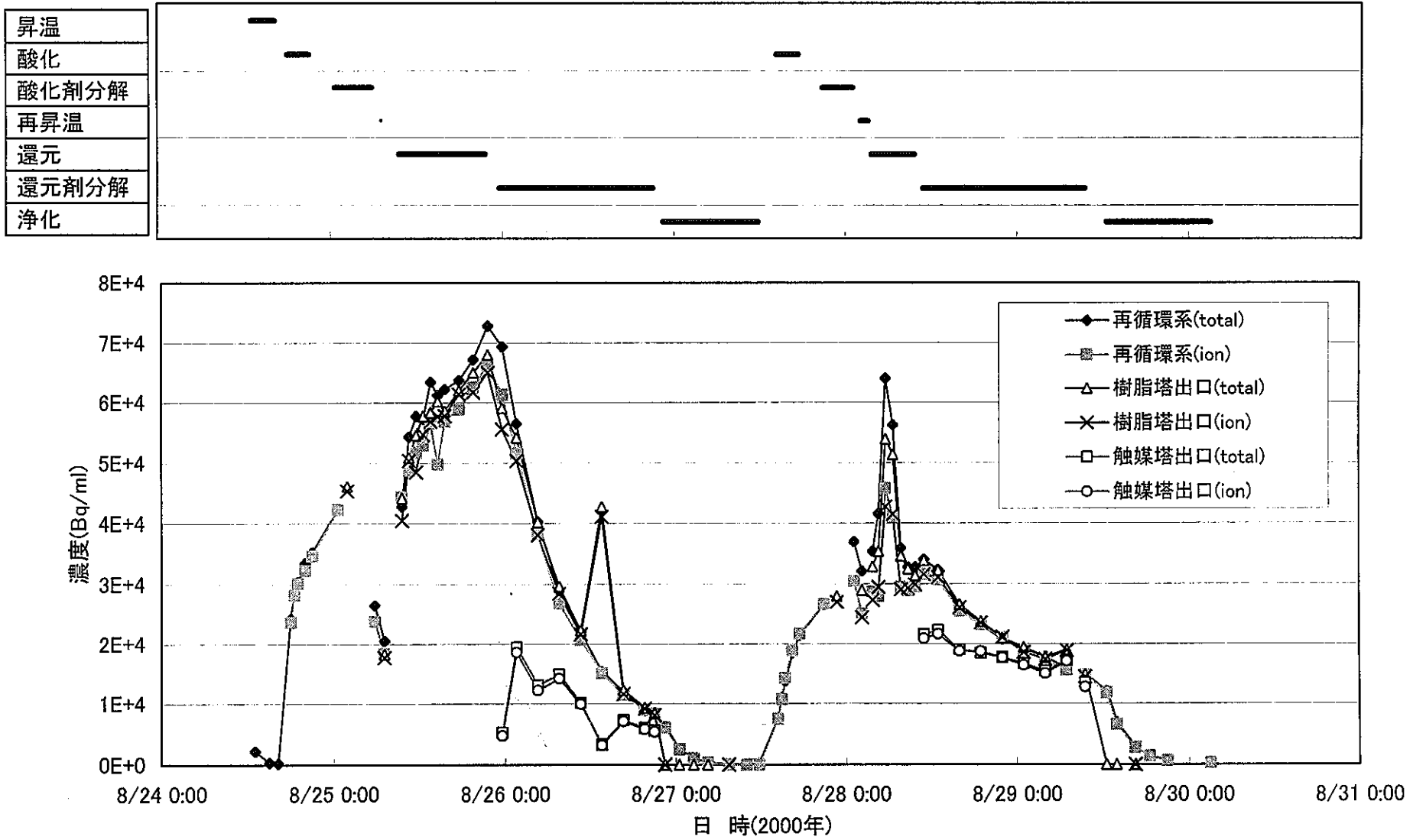


図5-28 A系系統化学除染時のCr-51濃度変化

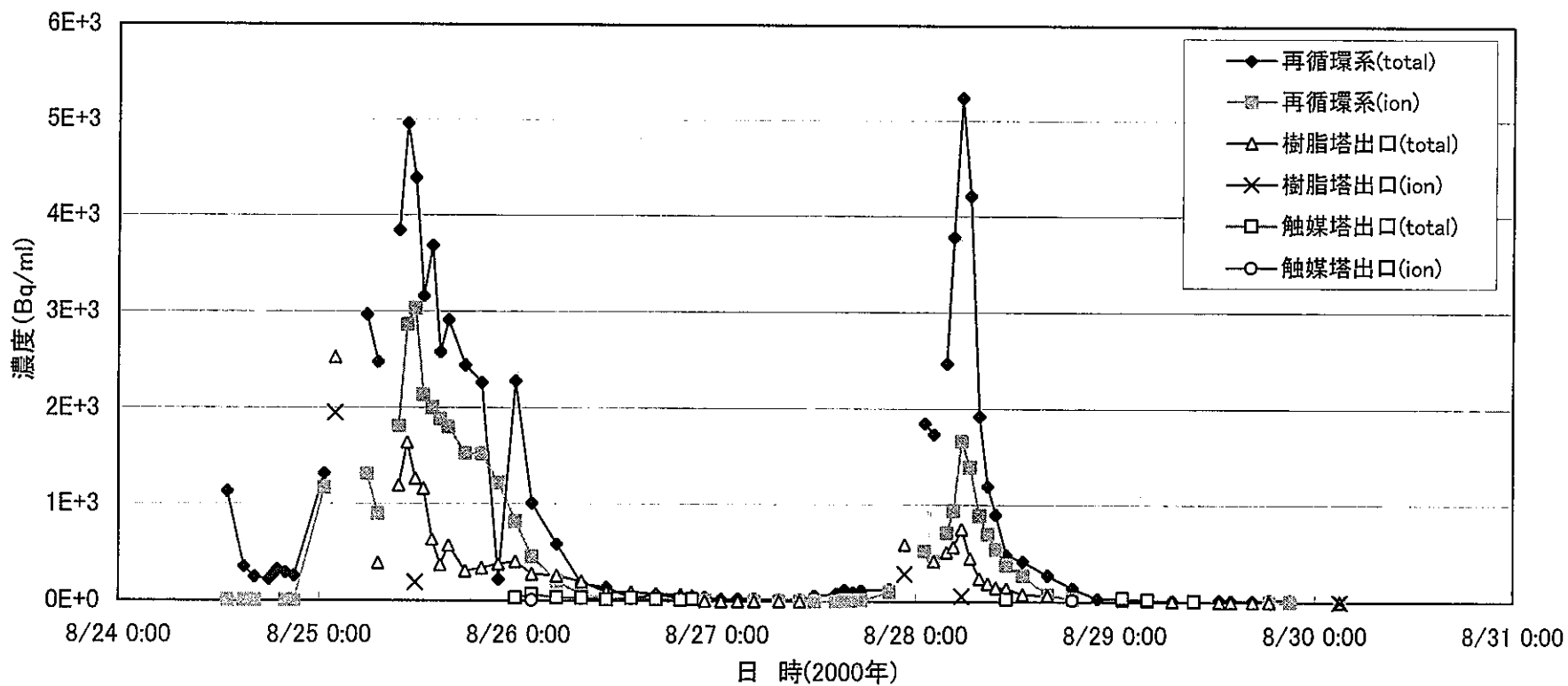
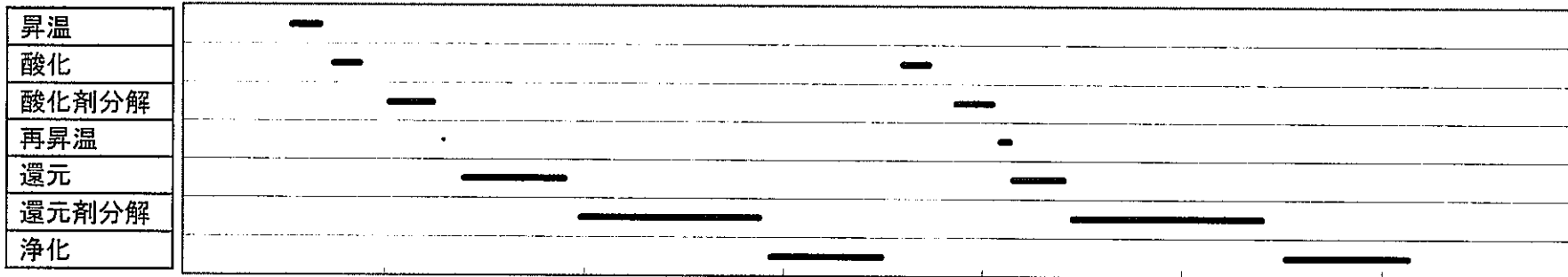


図5-29 A系系統化学除染時のMn-54濃度変化



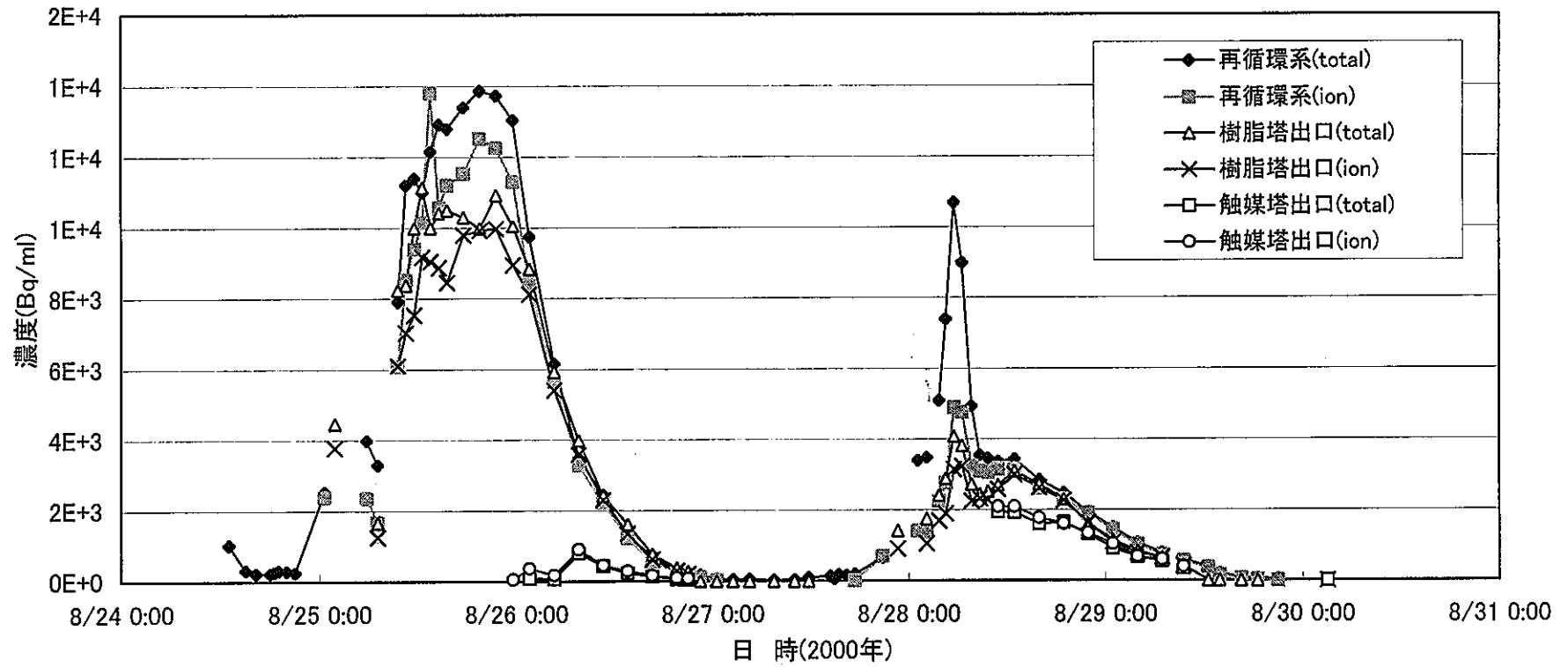
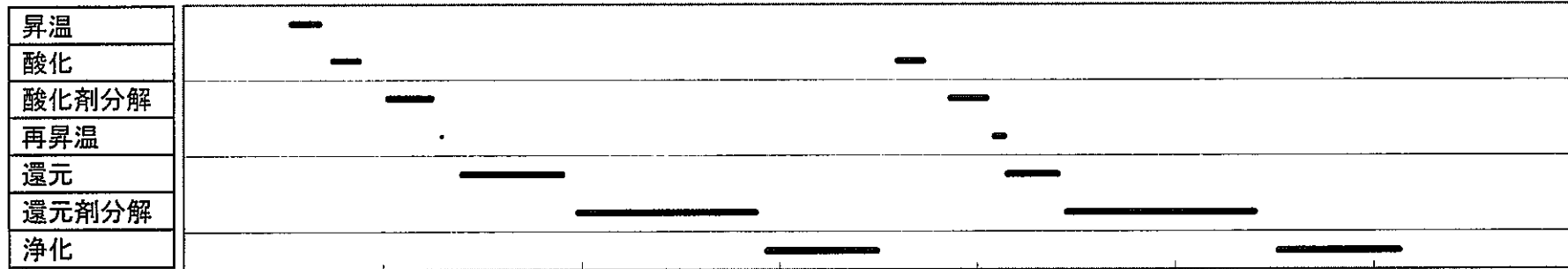


図5-30 A系系統化学除染時のFe-59濃度変化

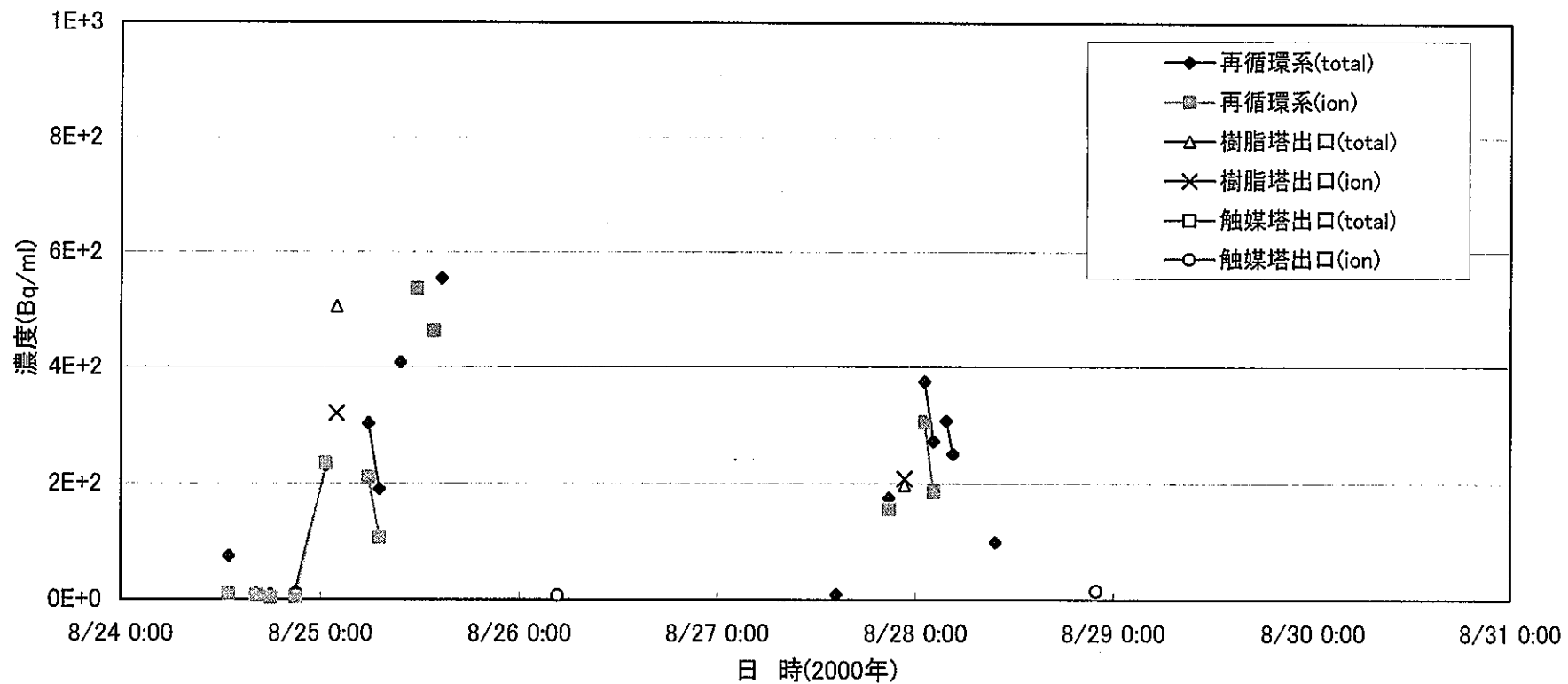
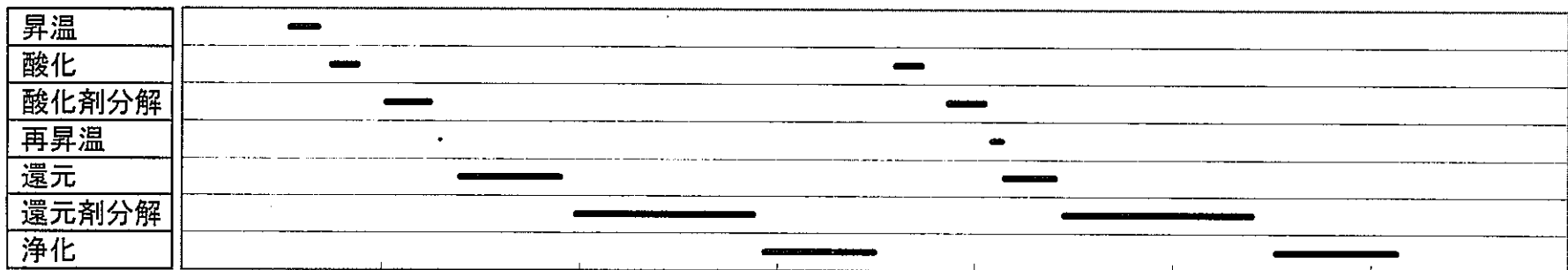


図5-31 A系系統化学除染時のZn-65濃度変化

昇温	—
酸化	—
酸化剤分解	—
再昇温	—
還元	—
還元剤分解	—
浄化	—

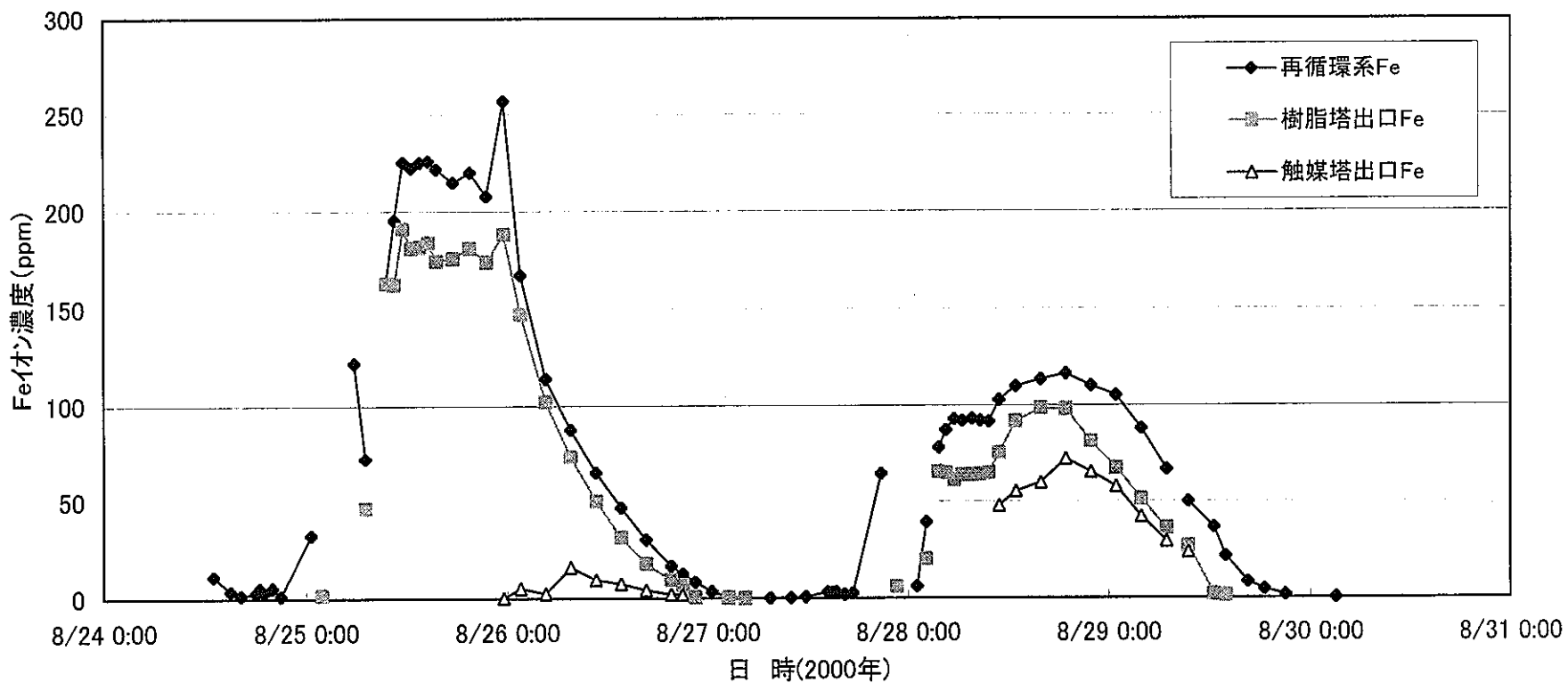


図5-32 A系系統化学除染時のFe濃度変化

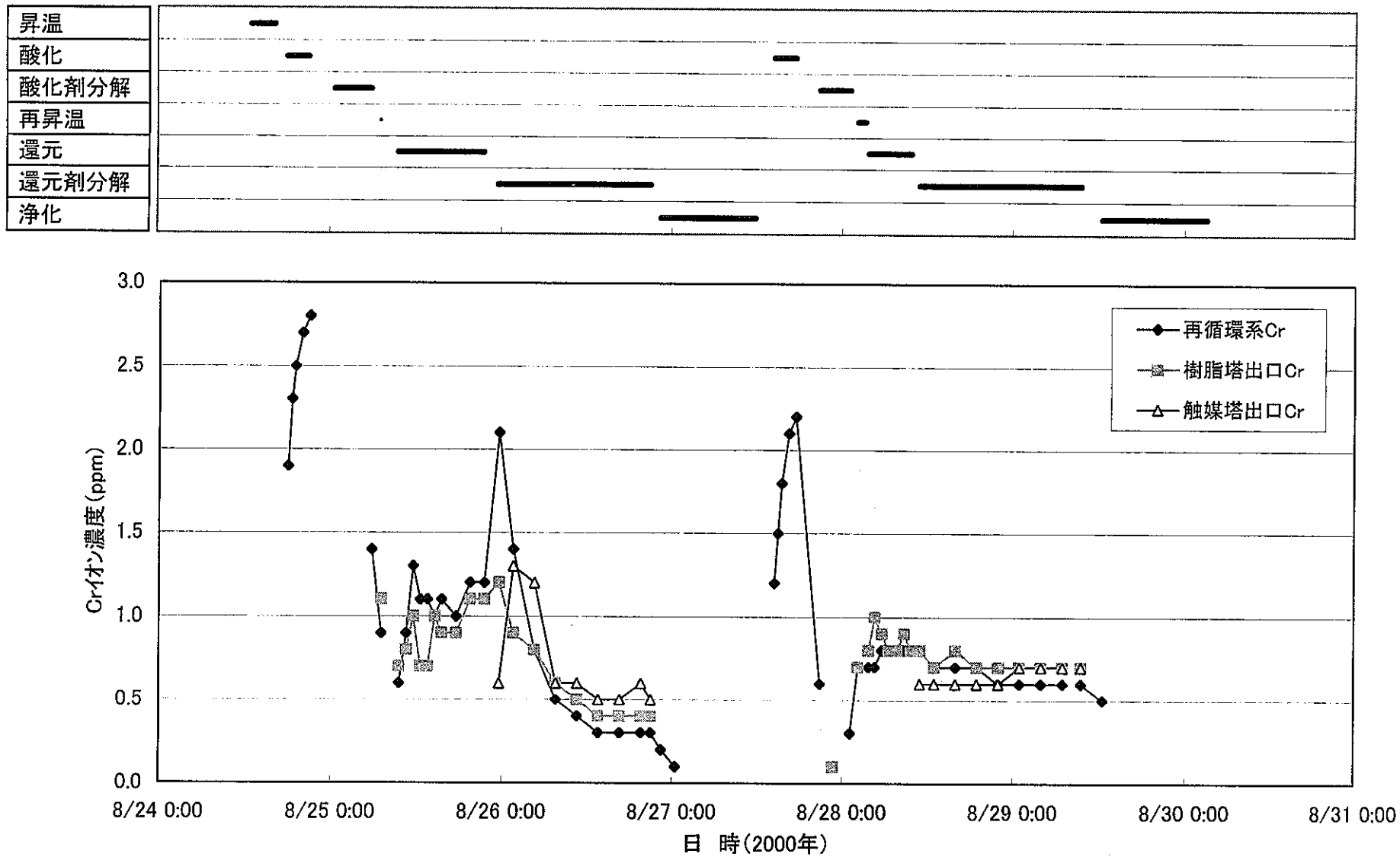


図5-33 A系系統化学除染時のCr濃度変化

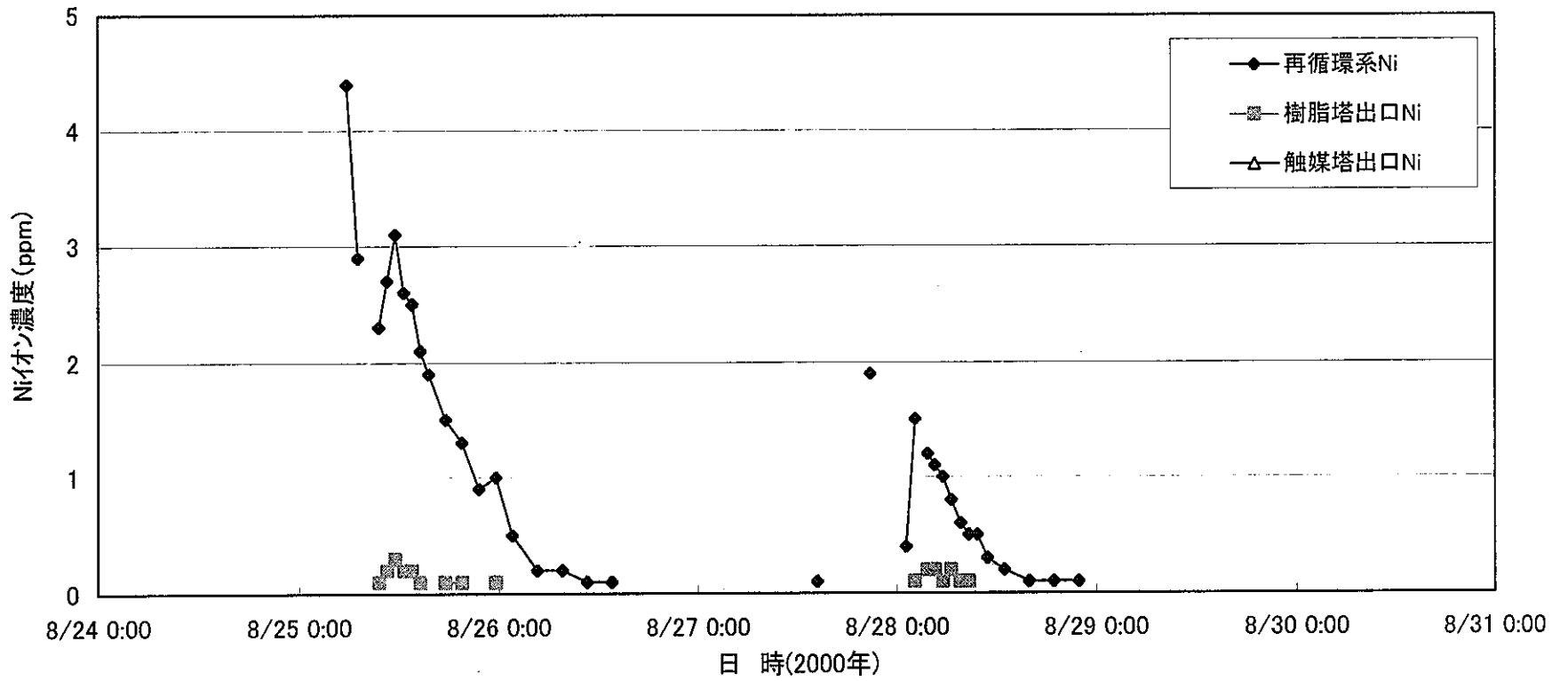
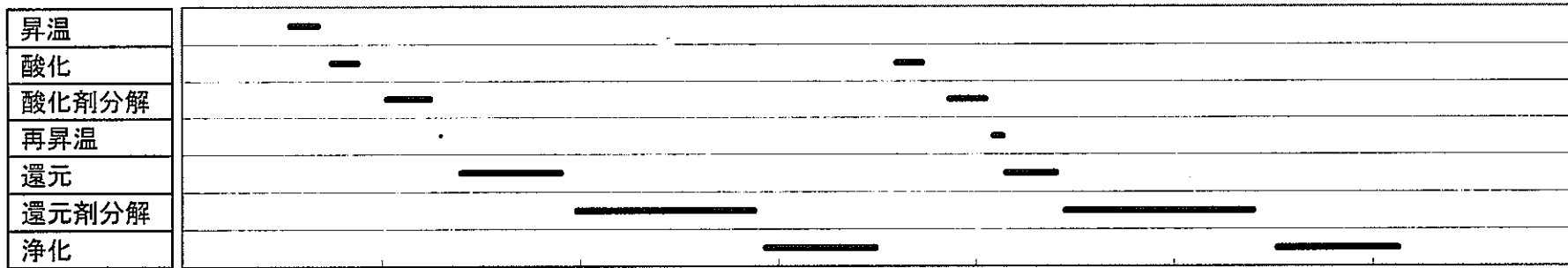


図5-34 A系系統化学除染時のNi濃度変化

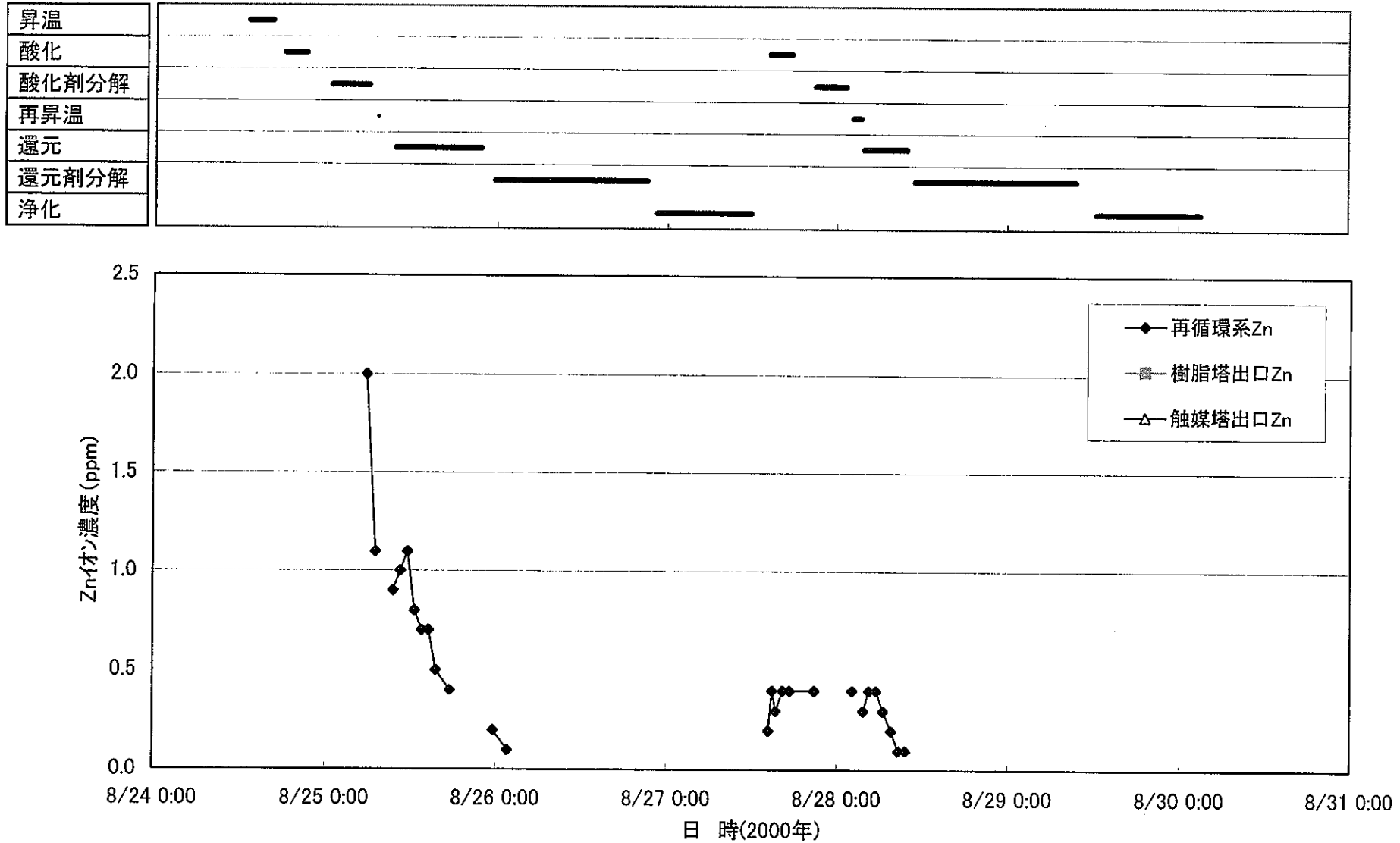


図5-35 A系系統化学除染時のZn濃度変化

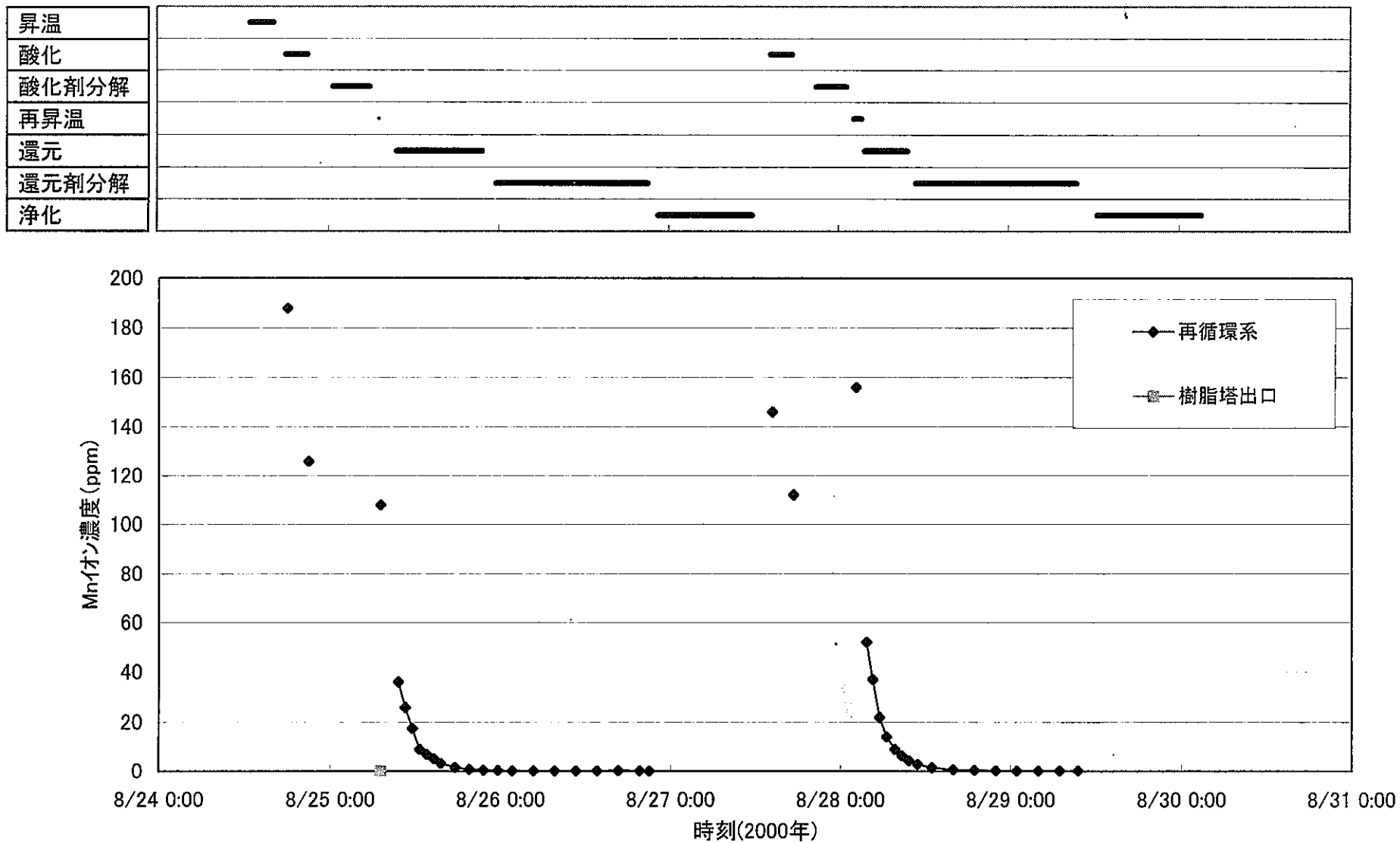


図5-36 A系系統化学除染時のMn濃度変化

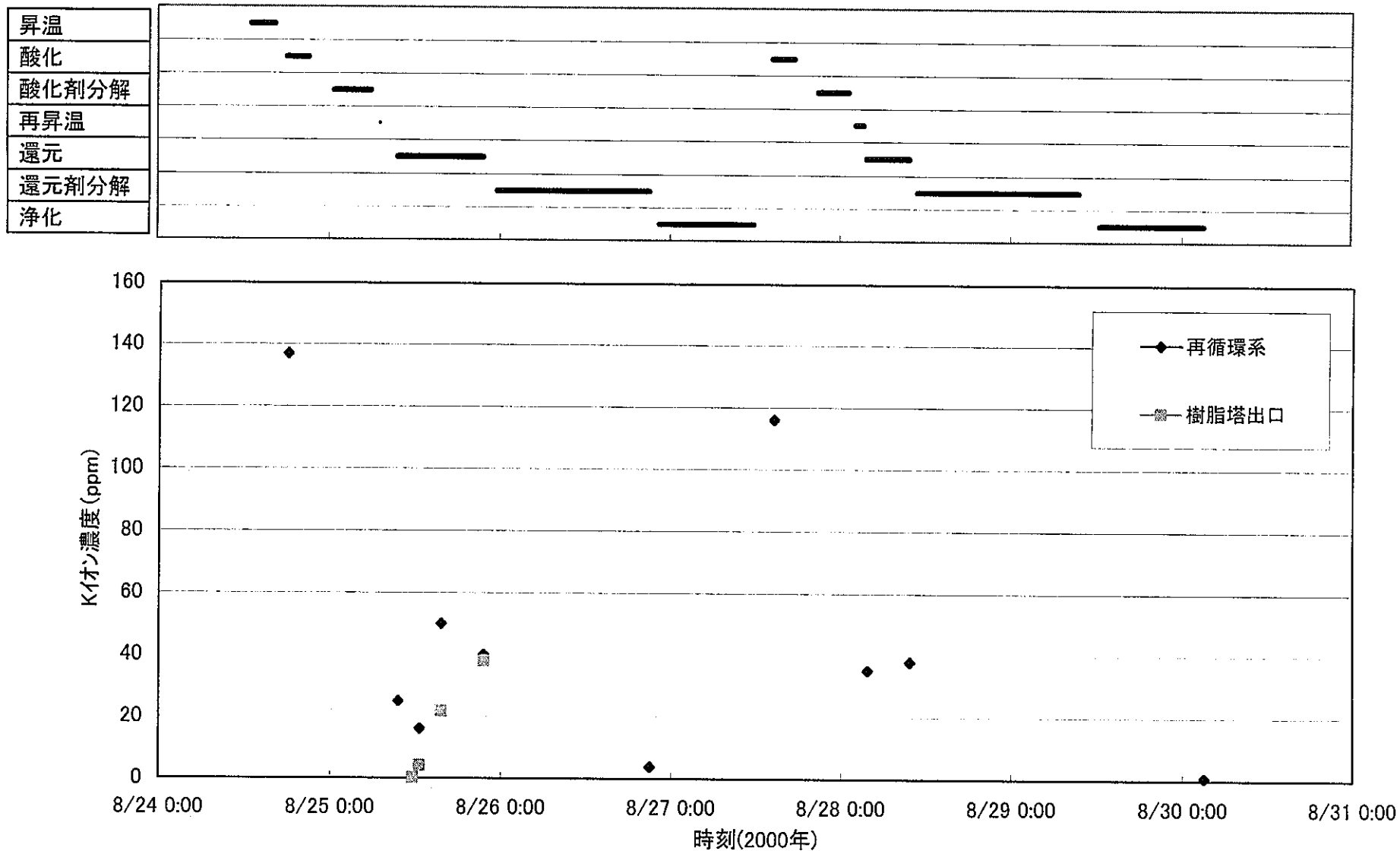


図5-37 A系系統化学除染時のK濃度変化



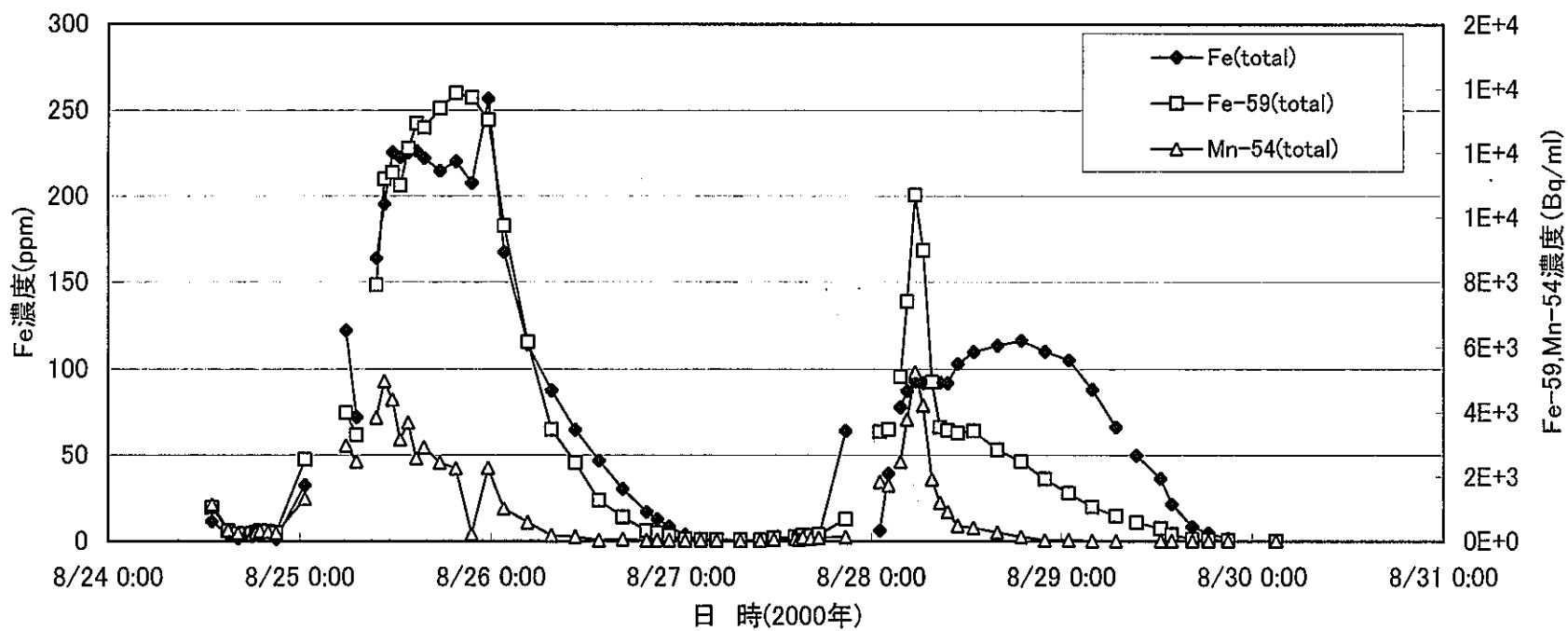
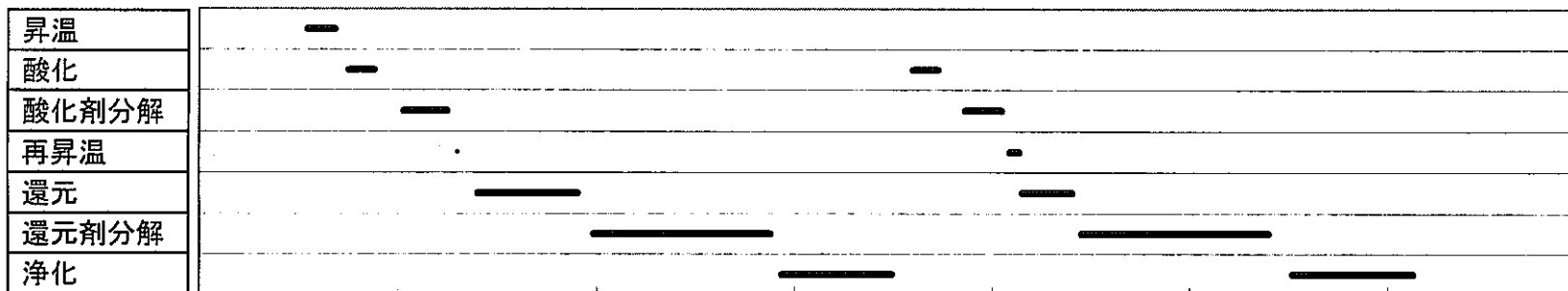


図5-38 Fe濃度とFe-59,Mn-54濃度変化

昇温	8/24 18:00 - 8/25 00:00
酸化	8/24 21:00 - 8/25 03:00
酸化剤分解	8/25 06:00 - 8/25 12:00
再昇温	8/25 15:00 - 8/25 18:00
還元	8/25 21:00 - 8/26 03:00
還元剤分解	8/26 06:00 - 8/27 00:00
浄化	8/27 03:00 - 8/28 00:00
	8/28 18:00 - 8/29 00:00
	8/29 06:00 - 8/29 12:00
	8/29 18:00 - 8/30 00:00
	8/30 06:00 - 8/30 12:00

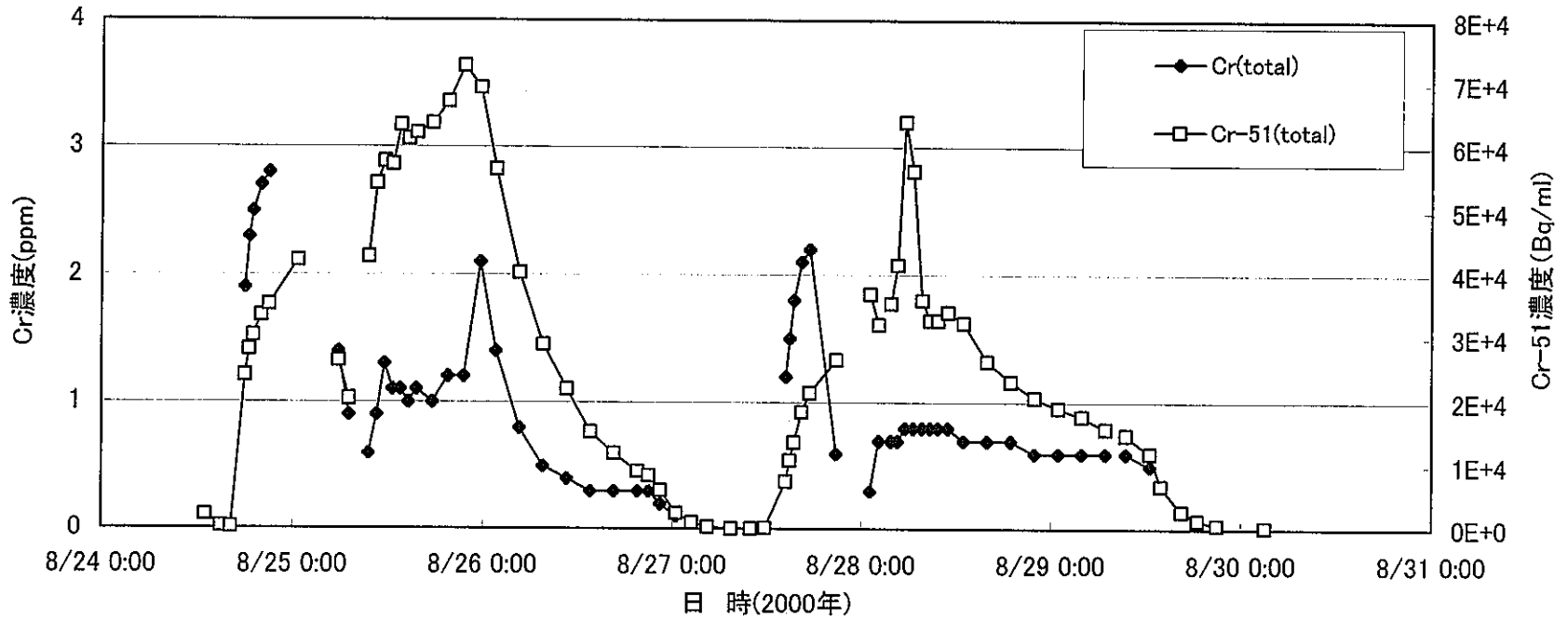


図5-39 Cr濃度とCr-51濃度変化

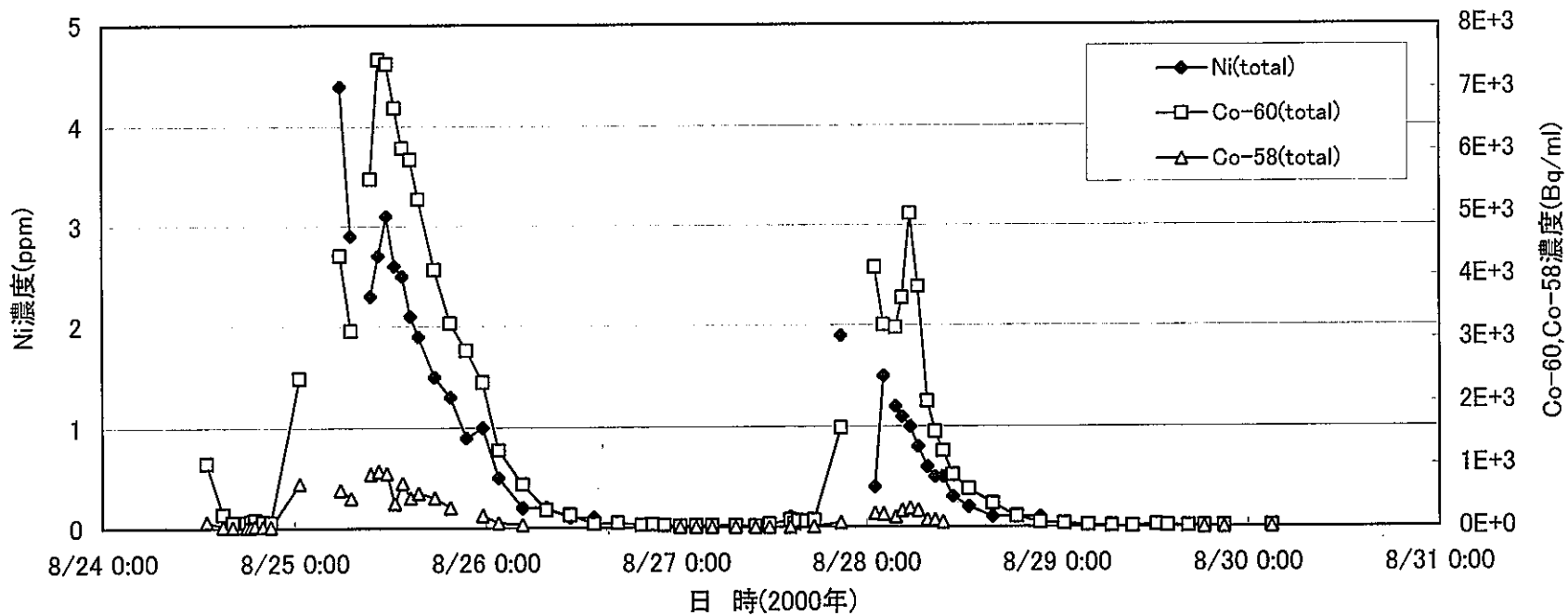
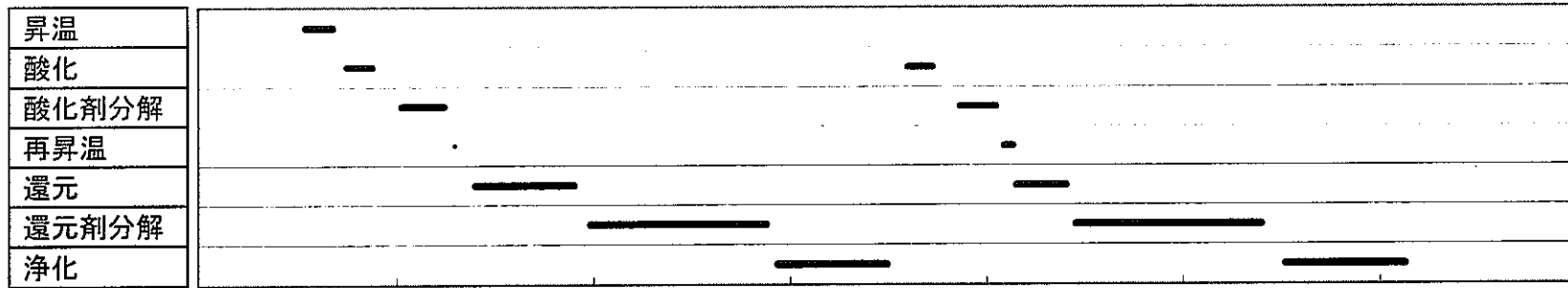


図5-40 Ni濃度とCo-60,Co-58濃度変化

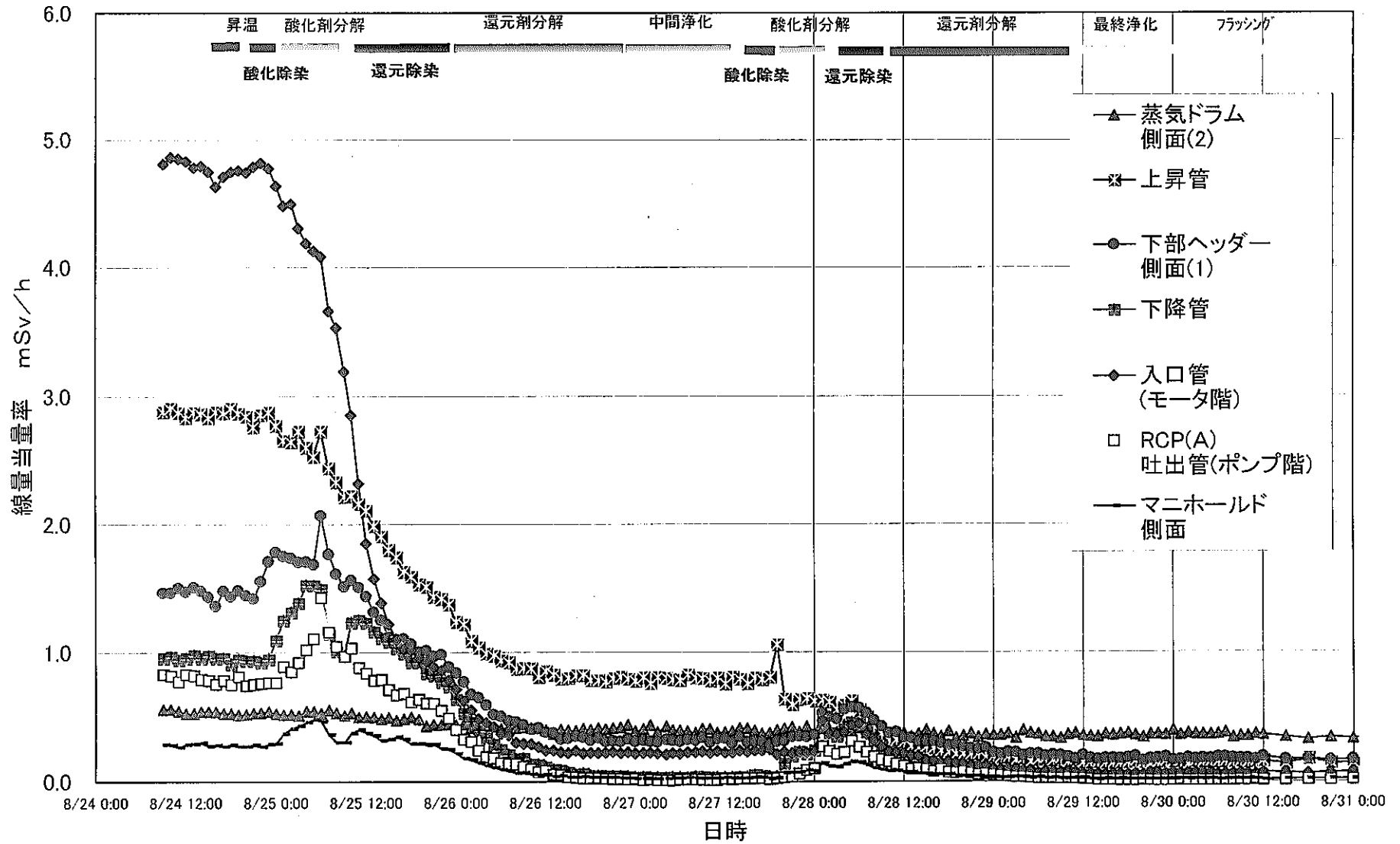
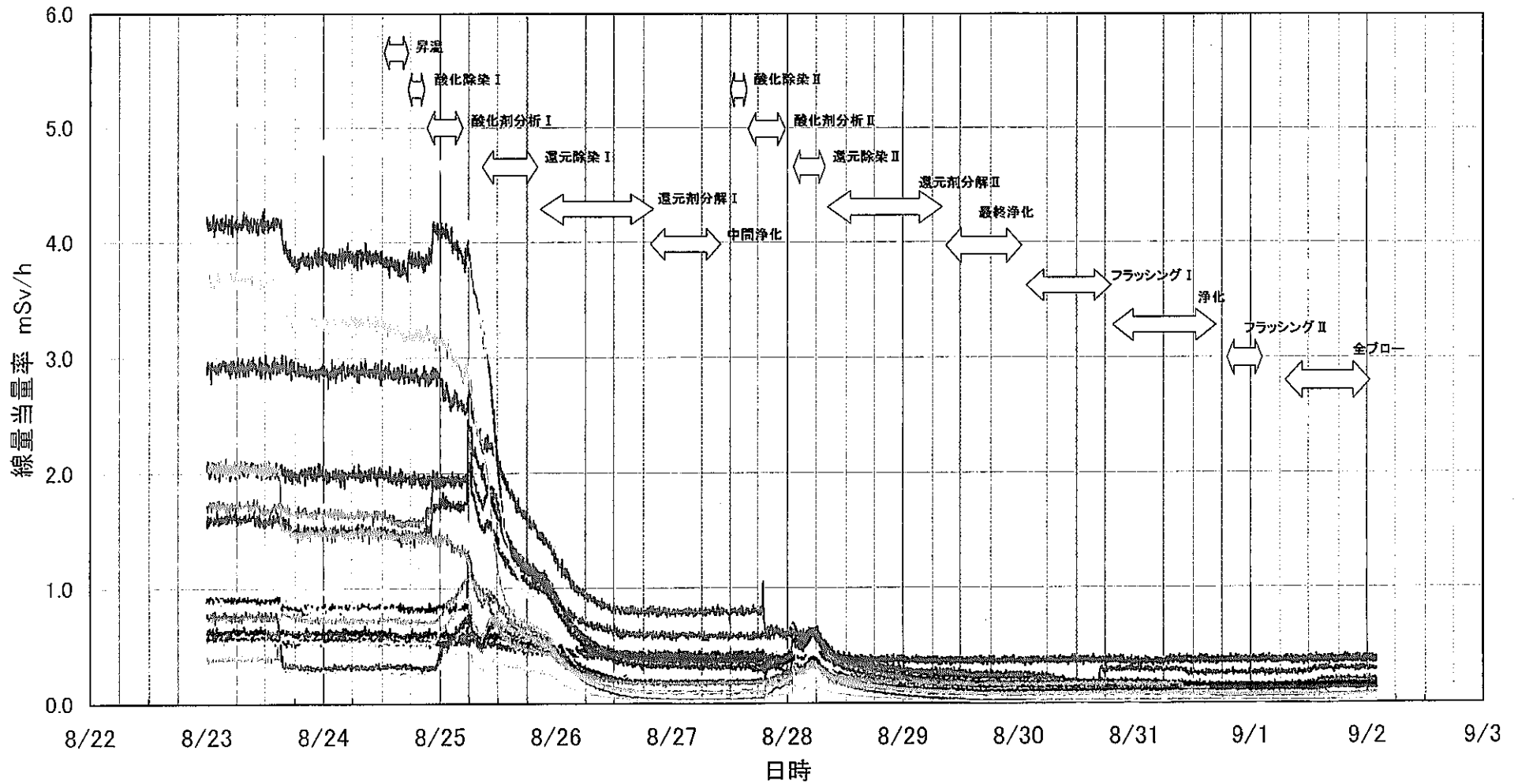


図5-41 無線式エリアモニタによるA系機器配管代表点の表面線量当量率推移



- |                     |                |                 |                      |
|---------------------|----------------|-----------------|----------------------|
| — 1.蒸気ドラム側面(1)      | — 2.蒸気ドラム側面(2) | — 3.蒸気ドラムノズル部   | — 4.上昇管              |
| — 5.下部ヘッダー側面(1)     | — 6.下部ヘッダーノズル部 | — 7.下部ヘッダー側面(2) | — 8.下部ヘッダー逆止弁        |
| — 9.RCP(A)吐出管(モータ階) | — 10.下降管       | — 11.入口管(モータ階)  | — 12.RCP(A)吐出管(ポンプ階) |
| — 13.入口管(ポンプ階)      | — 14.RCP(C)吐手管 | — 15.マニホールドレン弁  | — 16.マニホールド側面        |
| — 17.マニルド下部         | — 18.入口管水平部    | — 19.RCP(C)吸込管  |                      |

図5-42 無線式エリアモニタによるA系機器配管19点の表面線量当量率推移

## 6. 除染結果

前章で述べた除染実施内容を踏まえ、今回の除染実施による除染効果、放射能及び金属除去量、廃棄物発生量等を以下に纏める。

### 6.1 除染効果

#### 6.1.1 除染係数

##### (1) 原子炉冷却系のDF

除染前後の機器配管表面線量当量率測定値を基に、各機器配管の面積を考慮した総括除染係数DFを求めた。結果を表6-1に纏める。

表6-1の中で\*付きの機器配管部位は、RCP分解点検に直接影響を及ぼす下降管から入口管までのDFを纏めたものであり、これらを含む原子炉冷却系Aループ全体について纏めてある。尚、機器配管の線量当量率は対象機器により測定箇所数の違いは有るが、複数の測定値の平均値である。これらデータの詳細は添付資料5-2に示すが、評価データを添付資料6-1,2に示す。

表6-1から判るように、RCP分解点検に直接影響する部位の機器配管の総括DFは32.9が得られた。この結果、RCP分解点検エリアの雰囲気線量当量率も、機器の表面線量当量率の低下により、除染前の1/20.7に低下しており(後述の表6-4参照)、除染による線量当量率低減効果は顕著である。

一方、上昇管及び蒸気ドラムを含めた原子炉冷却系Aループ全体の総括DFとしては16.4の値が得られた。この値は上記のRCP分解点検に直接係わるDF=32.9と比較して小さいが、これは蒸気ドラムのDFが5程度と小さいためである。しかしながら表から判るように、機器別の除染係数では、入口管が最大で37.9、蒸気ドラムが最低で5.0であるが、いずれにしる目標値DF=2は達成でき、機器分解点検に係わる部位については実質的目標値であるDF=10を充分達成できたと判断できる。

この結果と、前回第15回定検時実施したBループの系統化学除染結果とを比較した結果を表6-2に示す。RCP分解点検に直接影響する部位の機器配管の総括DFは、Aループが32.9、Bループが20.3であり、系統全体ではAループが

16.4、Bループが6.5であることから、今回の除染は前回Bループより良好であった。特に系統全体のDFはBループの約2.5倍と顕著な違いが有った。これは今回の除染では、第1サイクルの還元時間を前回の2倍に変更したことにより、系統全体の機器配管のDFが増加したが、特に炉心出口側の上昇管でのDFが前回の3.2から13.4へと約4倍にも増加した効果が大きかった結果と考えられる。

第1サイクルの還元時間を前回の2倍に変更したことは、前回Bループの除染結果で、入口管部で高いDF、上昇管部で低いDFとなった結果を検討し、それを

反映したものである。

即ち、長期水素注入環境下でクロム含有率の高い酸化皮膜が生成されている部位に関して、その中でも水素注入効果が有効に働いている高流速で単純な形状の配管部である下降管や入口管では、前回のHOP法による除染条件でも、十分な除染効果を得ることができた。しかし下降管や入口管と同様に水素注入が有効に働いている部位でも、クラッドが沈積し易い部位等を有するマニホールド、吐出管及び下部ヘッダ等や、水素注入効果が有効に働いていないと考えられる上昇管や蒸気ドラムでは、入口管等に比してクロム含有率が低く、これらの部位では還元除染剤により除染し易い多量の鉄系のクラッドが存在していたため、クラッドを化学的に全て溶解するために必要な時間が確保できず、構造材表面にクラッドが残留し、除染係数が低く留まったものと考えられたからである。

今回の除染ではこの点を考慮し、第1サイクルの還元時間を前回の2倍に変更しており、この結果、クラッドの溶解が前回より進み、系統全体としてのDFが上昇したと考えられるが、特にマニホールド、下部ヘッダ及び上昇管等のDFの向上が顕著であった。尚、蒸気ドラムでもDFが向上しているが、他の部位に比して緩やかな上昇であった。

参考として、除染後の蒸気ドラム内の写真を写真6-1に示す。セパレータの通常液面(NWL)以下の部位で赤褐色クラッドが溶解されているのが判る。

## (2) 関連系統及び関連エリアの結果

系統化学除染の効果評価は前述した原子炉冷却系での評価が主体となるが、系統化学除染により影響を受けた、関連系統及び関連エリアについての除染の影響結果を簡単に纏める。

再循環系を含め、CUW及びRHR系統の機器配管に係わるDFを表6-3及び図6-1に示す。但しこの表及び図のDFは機器配管の面積を考慮した総括除染係数ではなく、単純な除染係数である。尚、再循環系についての説明は前項で触れているので割愛する。

CUW系統についてみると、高温部配管、低圧サージタンク及び出入り口配管、及びシール水フィルタ出入り口配管では除染効果が認められるが、その他の部位では除染後線量当量率が上昇し、DFは1より小さくなった。特に非再生熱交換器ではそれが顕著であった。この原因は原子炉冷却系で溶解した鉄が蓼酸鉄として再付着したもので、特に熱交換器胴側伝熱管U字管部では温度変化が大きく、その結果付着も大きくなったものと推定される。

この事象についての考察は添付資料6-3を参照されたい。尚、この事象は凡そ

2ヶ月後のCUW通水再開により、付着核種が再度溶解又は剥離し脱塩器により除去され、除染前の線量当量率に戻ったことが確認されている。

RHR系統についてみると、RHR熱交換器出入口配管を除くと線量当量率が除染後上昇を示し、特にRHRポンプ出入口配管では顕著であり、DFは1より小さくなった。特に、RHRポンプ入口にあるサイクロンセパレータでは除染後線量当量率の顕著な上昇が観察された。これらCUW及びRHRにおける除染後の線量当量率の上昇は、再循環系で溶解／剥離した放射性核種の再付着／沈着によるものと考えられる。

関連エリアの雰囲気線量当量率に関する結果を表6-4に示す。表から判るようにR/B内においては前述した機器配管表面線量当量率の低下を反映し、雰囲気線量当量率の良好な低下となった。特に、RCP分解点検に直接係わるエリアであるNo. 4のポンプ階においては、約1/20に低減した。

一方A/B内のCUW関連の各部屋について見ると、低圧サージタンク室及び充填ポンプ室では除染前後での変化はほぼ無かったが、熱交換器室やブースタポンプ室では除染後雰囲気線量当量率が上昇したことから、DFは1より小さくなった。

RHR関連においては熱交換器室では除染後線量当量率が減少しているが、ポンプ室では除染後3倍ほどの上昇結果となっている。これらの結果は表6-3の機器配管の除染結果とほぼ対応していると考えられる。

#### 6.1.2 被ばく低減効果

今回の除染もRCP及び下部ヘッダ逆止弁の分解点検作業の被ばく低減を主目的として行われた。そこで除染によるこれらの作業に係わる線量当量の予測と実績値を表6-5に示すが、併せて定検時線量当量の予測と実績値も示す。また、RCP分解点検作業等における除染による線量当量低減効果を図6-2に示す。

表6-5及び図6-2から判るように、RCP等の分解点検作業における総線量当量は、除染無しの場合の予測値3.3人・Svに対して、実績値は0.33人・Svであり、被ばくを1/10に低減することができ、約3.0人・Svの低減効果をもたらした。特にRCPの分解点検に関しては約1/30の低減効果であり、除染効果が顕著であった。

今回の結果は、前回BループのRCP等の分解点検作業における総線量当量0.81人・Svと比較して更に低減されており、除染効果が顕著であったことを示している。

以上のこのことから、今回の除染は所期の目的を充分達成したとすることができる。



また、定検作業全体としても、除染無しの予測値6.5人・Svに対し、実績2.5人・Svという状況であり、4.0人・Svの低減となった。この実績レベルは第10回から第14回定検のレベルと同程度であり、今回の除染は十分な効果を達成することができた(図6-3参照)。

## 6.2 放射能及び金属除去量

### 6.2.1 放射能除去量

今回の除染により原子炉冷却系Aループの機器配管から溶出した放射能はCUW脱塩器、除染剤分解触媒塔、及び除染設備内のフィルタII等に蓄積し除去された。これらの内、前2者に蓄積された量は水質分析結果により評価した。結果を表6-6に示すが、表には併せて前回第15回定検時のBループの除去量も示す。

フィルタIIへの蓄積量は分析データが無いため、評価から除外した。前回Bループの除染結果評価においては、フィルタIIの表面線量当量率測定値を用いてCo-60相当量の評価したが、この場合、フィルタIIへの蓄積量は全体の5%以下であった。

CUW樹脂塔及び触媒塔での放射能除去量経時変化を図6-4に示す。Co-60、Co-58及びMn-54の除去量は、還元除染の進行に伴い増加し同様な挙動を示した。一方、Cr-51及びFe-59は、シュウ酸と錯体を形成しアニオンとして存在するため、還元除染期間中での除去量増加は見られず、還元剤分解工程で増加した。これは、還元剤分解に伴う触媒塔への付着が増加したことを示している。また、図6-5のサイクル別除去比率に示すように約80%が第1サイクル時に除去された。

放射能除去総量の約60%がCr-51であり、除去核種で最も多く $1.0E+13$ Bqが除去された。この量は、前回のB系除染時に対して約1.3倍となった。一方、Co-60除去量は $2.5E+12$ Bqであり、B系に対して30%減となっている。また、Zn-65についてはB系に対して約3.8倍となった。これは、水素注入+亜鉛注入環境に伴い酸化物中の核種構成比が異なってきたものと推定される。図6-6の放射能及び金属量除去の前回との比較に示すように、放射能除去総量はB系除染時と同等であった。

表6-6から判るように、CUW樹脂塔と触媒塔への放射能吸着量の比率はほぼ同じであり、Bループでの比率が約20%であったことから見て大きくなっている。特にCr-51の触媒塔への蓄積は顕著である。これはCr-51の組成が増加したことや、触媒である活性炭の粒径を小さくしたことにより、クロム錯体が吸着され易くなった結果と考えられる。

## 6.2.2 金属除去量

### (1) 全容

水質分析結果からCUW樹脂塔および触媒塔への金属吸着量を評価した。結果を表6-7に示す。金属除去総量は約65.1Kgで、Feとしては約63.4Kgであり約97%を占めた。Fe量は前回のB系除染時に比べて若干多くなっているが、除去総量としては放射能と同様にB系除染時と同量であった(図6-6参照)。また、金属除去量の経時変化を図6-7に示すが、この図及び図6-5より約60%は第1サイクルで除去されたことが判る。

### (2) Cr除去量について

表6-7から判るように、A系の除染におけるCr除去量は0.4kgであり、金属除去量全体に対する比率は0.6%と少なかった。一方、前回の第15回定検時に行ったB系の除染では1.3kg<sup>1)</sup>が除去されており、今回の除去量は前回の約1/3と少ない値である。この点について若干検討した。

(注記1:第15回除染報告書記載のCr除去量2.0kgはデータ誤入力があり、見直しにより1.3kgに訂正する。)

除染時のCr濃度変化を、図6-8(A系除染結果)及び図6-9(B系除染結果)に示すが、再循環系濃度とCUW脱塩器出口濃度及び触媒塔出口濃度が等しい値を示す。さらに、CUW脱塩器出入口及び触媒塔出入口濃度については、出口濃度の方が高い値を示すことも多い。これらの現象は、CrがCUW脱塩器および触媒塔で除去し難いことに起因している。したがって、Cr除去量の計算結果は、Co-60やFe等の評価結果に比べ誤差が大きいため、これまでのA系、B系結果でのCr除去量の算出に差が生じたと考えられる。

A系及びB系除染時における再循環系のCr濃度を、除染開始からの時間で整理し図6-10に示す。A系における酸化除染期間中のCr濃度は3~2ppmであったのに対して、B系除染同時期のCr濃度は9~8ppmであった。これらのことから、明らかにA系除染時のCr溶解量はB系より少なかったと判断できる。仮に酸化除染時のピーク濃度に相当する溶解量を、Cr濃度×除染液量(約60m<sup>3</sup>)で計算すると、表6-8に示す結果となる。さらに、還元除染期間中には酸化除染期間中より多くのCrが溶解するとは考え難いため、最終的なマスバランスの結果は表6-8に示したCr溶解量に少量の溶解量が加わった結果になると考えられる。

ここで改めて、CUW脱塩器及び触媒塔出入口Cr濃度変化とCr除去量の計算結果を図6-11に示す。A系及びB系除染時も酸化剤分解期間中の再循環系

及びCUW脱塩器出口Cr濃度データは測定対象から除外した。これは、酸化剤分解中は分解ステップが複雑で運転状態が変化するため、必ずしも均一なデータが取れないこと、及びCrイオンはシュウ酸溶液中ではシュウ酸錯体を形成しアニオンとして挙動するためカチオン樹脂に除去されないことから、酸化除染最終データと大きく変わらないと考えられるためであった。したがって、酸化剤分解ステップIV以降CUW脱塩器通水開始から還元除染開始までの除去量がCUW脱塩器出入り口データから計算されず、計算結果から欠落することとなる。

B系除染時の酸化剤分解期間中のCr濃度に大きな変化がなかったが、A系除染時には図6-11に示すように酸化除染末期に対して酸化剤分解完了時のCr濃度が1/2に低下した。この濃度低下は、RHR系に除染液が循環され希釈される効果(約15%低下)より大きかった。したがって、A系除染時には酸化剤分解期間中のCr除去量を再循環系濃度変化から求め補正し、Cr除去量を0.4kgと評価した。

なお、水質分析データから評価する限り、明らかにA系除染時とB系除染時におけるCr溶解量は3倍以上の差があると言える。Cr溶解量に差が生じた要因として亜鉛注入の影響が考えられるが、とにかくA系はB系よりCrの付着量が少なかったと考えられ、この結果が、A系での高い除染効果が得られた一因と考えられる。

### 6.3 廃棄物発生量

除染作業により発生した廃棄物量を表6-9に纏めるが、殆ど前回Bループの結果と同じであった。

廃水及び廃樹脂は通常の廃棄物処理手順により処理され、廃触媒等は遮蔽付ドラム缶に収納し、固体廃棄物貯蔵庫に収納した。

表6-1 原子炉冷却系Aループの系統化学除染における総括除染係数  
(第16回定期検査において、H12年8月実施)

機器名称	平均線量当量率 (mSv/h)		機器別の 除染係数 Pi/Qi	機器表面積 (m <sup>2</sup> ) Si	Pi、Qiの面積積	
	除染前 Pi	除染後 Qi			Pi・Si	Qi・Si
上昇管	3.69	0.276	13.4	367.9	1357.1	101.4
蒸気ドラム	1.46	0.292	5.0	173.0	252.3	50.5
下降管・吐出管 *	1.51	0.056	27.1	106.5	160.7	5.9
マニホールド *	0.63	0.090	7.0	20.2	12.8	1.8
再循環ポンプ(A) *	0.81	0.067	12.1	20.5	16.7	1.4
再循環ポンプ(C) *	0.89	0.033	27.3	20.5	18.2	0.7
下部ヘッダ *	2.14	0.160	13.4	26.5	56.7	4.2
入口管 *	3.83	0.101	37.9	388.4	1488.9	39.3
合計	—	—	—	系統全体	3363.5	205.1
				*部	1754.0	53.3
総括除染係数 DF	DF = $\sum (Pi \cdot Si) / \sum (Qi \cdot Si)$			系統全体	16.4	
				*部	32.9	

- 備考
- ・\*部はRCP分解点検作業に直接影響する箇所
  - ・RCP分解点検にかかわるAループポンプ階作業雰囲気線量当量率は除染前の1/20.7
  - ・機器別の除染係数の単純平均は17.9

表6-2 原子炉冷却系の系統化学除染における除染係数の比較

機器・配管名称	機器の 表面積 (m <sup>2</sup> ) Si	Aループ			Bループ		
		平均線量当量率 (mSv/hr)		機器別の 除染係数 DF=Pi/Qi	平均線量当量率(mSv/hr)		機器別の 除染係数 DF=Pi/Qi
		除染前 Pi	除染後 Qi		除染前 Pi	除染後 Qi	
上昇管	367.9	3.69	0.276	13.4	4.50	1.41	3.2
蒸気ドラム	173.0	1.46	0.292	5.0	3.33	0.80	4.2
下降管・吐出管 *	106.5	1.51	0.056	27.1	2.37	0.16	14.8
マニホールド *	20.2	0.63	0.090	7.0	1.00	0.28	3.6
再循環ポンプ(A)/(B) *	20.5	0.81	0.067	12.1	1.61	0.09	17.9
再循環ポンプ(C)/(D) *	20.5	0.89	0.033	27.3	1.36	0.12	11.3
下部ヘッダ *	26.5	2.14	0.160	13.4	3.58	0.50	7.2
入口管 *	388.4	3.83	0.101	37.9	6.67	0.28	23.8
総括除染係数 DF	系統全体	16.4			6.5		
	*部	32.9			20.3		

備考

- ・\*部はRCP分解点検作業に直接影響する箇所
- ・RCP分解点検に係わるポンプ階作業雰囲気線量当量率はAループ:1/20.7、Bループ:1/19.6に低減
- ・機器別の除染係数の単純平均はAループ:17.9、Bループ:10.8
- ・総括除染係数  $DF = \sum (Pi \cdot Si) / \sum (Qi \cdot Si)$

表6-3 Aループ主要機器・配管の除染係数

系統	No.	機器名称	測定 点数	線量当量率平均値 (mSv/h)		機器別DF $Pi^{av}/Qi^{av}$
				除染前 $Pi^{av}$	除染後 $Qi^{av}$	
再 循 環 系	1	上昇管	9	3.69	0.276	13.4
	2	蒸気ドラム	6	1.46	0.292	5.0
	3	下降管・吐出管	16	1.51	0.056	27.1
	4	マニホールド	16	0.63	0.090	7.0
	5	RCP(A)	10	0.81	0.067	12.1
	6	RCP(C)	10	0.89	0.033	27.3
	7	下部ヘッド	13	2.14	0.160	13.4
	8	入口管	9	3.83	0.101	37.9
C U W	1	再生熱交換器入口水室	5	0.15	0.37	0.4
	2	再生熱交換器胴側	9	0.12	0.37	0.3
	3	非再生熱交換器 A入口水室	5	0.12	0.75	0.2
	4	非再生熱交換器 A胴側	9	0.47	3.41	0.1
	5	非再生熱交換器 B入口水室	5	0.10	0.23	0.4
	6	非再生熱交換器 B胴側	9	0.20	7.66	0.03
	7	蒸気ドラム～再生熱交配管	6	0.77	0.19	4.0
	8	再生熱交～非再生熱交配管	2	0.18	0.36	0.5
	9	非再生熱交～脱塩塔配管	4	0.33	0.28	1.2
	10	充填ポンプ	1	0.022	0.022	1.0
	11	ブースタポンプ	1	0.075	0.130	0.6
	12	低圧サージタンク	2	0.095	0.058	1.7
	13	低圧サージタンク出入口配管	4	0.69	0.16	4.4
	14	充填ポンプ出入口配管	4	0.030	0.031	1.0
	15	シール水フィルタ	2	0.028	0.046	0.6
	16	シール水フィルタ出入口配管	4	0.016	0.006	2.5
R H R	1	A-RHR熱交換器入口水室部	4	0.32	0.55	0.6
	2	A-RHR熱交換器出入口配管	2	0.20	0.20	1.0
	3	A-RHRポンプ	3	0.40	0.83	0.5
	4	A-RHRポンプ出入口配管	2	0.21	1.00	0.2

注: 本表の機器別DFは機器配管の面積寄与を考慮していないものである。

表6-4 A系除染における主要エリアの除染係数

建屋	No.	エリア名称	評価 点数	線量当量率平均値(mSv/h)		エリア別DF $Pi^{av}/Qi^{av}$
				除染前 $Pi^{av}$	除染後 $Qi^{av}$	
R/B	1	Aループ 蒸気ドラム階	20	0.462	0.120	3.9
	2	Aループ ヘッダ階	8	2.044	0.176	11.6
	3	Aループ モータ階	7	0.679	0.029	23.8
	4	Aループ ポンプ階	6	0.458	0.022	20.7
	5	Aループ マニホールド階	13	0.455	0.055	8.3
A/B	1	CUW熱交換器室	10	0.126	0.690	0.2
	2	低圧サージタンク室	6	0.157	0.134	1.2
	3	ブースタポンプ室	2	0.014	0.048	0.3
	4	充填ポンプ室	6	0.027	0.022	1.3
	5	RHR熱交換器室	10	0.285	0.190	1.5
	6	RHRポンプ室	4	0.136	0.528	0.3

表6-5 A系除染におけるRCP等分解点検に係わる被ばく低減効果

区分 No.	作業件名	計画値 (除染無し)	計画値*1 (除染有り)	実績値 (除染有り)	除染による 低減効果
		A (人・mSv)	B (人・mSv)	C (人・mSv)	C/A
1.	RCP等分解点検				
(1)	RCP分解点検	2450	1225	81	1/30
(2)	下部ヘッダ逆止弁分解点検	872	436	72	1/12
(3)	除染作業	0	255	177	—
	合計	3322	1916	330	1/10
2.	その他作業	3151	2890	2139	1/1.5
	第16回定検総計	6473	4806	2469	1/2.7

\* 1: 除染係数DF=2により推定



表6-6 A系除染時の放射能及び金属除去量

成分	カチオン樹脂塔	混床樹脂塔	樹脂塔合計	触媒塔	総合計	第15回定検
Co-60(Bq)	2.4E+12	1.2E+10	2.4E+12	4.2E+10	2.5E+12	3.6E+12
Co-58(Bq)	2.4E+11	1.1E+09	2.4E+11	9.5E+09	2.5E+11	4.0E+11
Mn-54(Bq)	1.5E+12	1.1E+10	1.5E+12	4.3E+10	1.5E+12	2.2E+12
Fe-59(Bq)	1.7E+12	2.4E+10	1.8E+12	1.0E+12	2.8E+12	3.1E+12
Cr-51(Bq)	2.3E+12	4.9E+11	2.8E+12	7.2E+12	1.0E+13	7.8E+12
Zn-65(Bq)	2.6E+11	0.0E+00	2.6E+11	0.0E+00	2.6E+11	6.9E+10
合計(Bq)	8.4E+12	5.4E+11	8.9E+12	8.4E+12	1.7E+13	1.7E+13
Fe(kg)	41.9	0.3	42.2	21.2	63.4	62.0
Cr(kg)	0.34	0.01	0.35	0.03	0.4	1.3 <sup>1)</sup>
Ni(kg)	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.9
Zn(kg)	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	-

注1:再見直しの結果、データ誤入力による間違いを修正(計算結果の詳細は図6-11参照)

表6-7 各サイクル毎の放射能及び金属除去量

成分	第1サイクル	第2サイクル	合計
Co-60(Bq)	1.9E+12	5.5E+11	2.5E+12
Co-58(Bq)	2.2E+11	3.4E+10	2.5E+11
Mn-54(Bq)	1.0E+12	4.9E+11	1.5E+12
Fe-59(Bq)	1.9E+12	8.5E+11	2.8E+12
Cr-51(Bq)	8.0E+12	1.9E+12	1.0E+13
Zn-65(Bq)	4.4E+10	2.2E+11	2.6E+11
合計(Bq)	1.3E+13	3.9E+12	1.7E+13
Fe(kg)	38.8	24.6	63.4
Cr(kg)	0.2	0.2	0.4
Ni(kg)	0.8	0.2	1.0
Zn(kg)	0.2	0.1	0.3
合計(kg)	40.1	25.0	65.1

表6-8 酸化除染時のCr溶解量

系統	酸化(I)	酸化(II)	合計	備考
A系	0.17	0.13	0.3	第16回定検
B系	0.54	0.51	1.05	第15回定検

単位:kg

表6-9 二次廃棄物発生量

廃棄物	第16回定検 (A-Loop)	第15回定検 (B-Loop)	備考
イオン交換樹脂	4.05 m <sup>3</sup>	4.05 m <sup>3</sup>	浄化塔3塔分
廃触媒	0.5 m <sup>3</sup>	0.5 m <sup>3</sup>	鉛遮蔽付200L ドラム缶 7本収納
仮設フィルタ	6 塔	7 塔	鉛遮蔽付200L ドラム缶に収納
廃液	0 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	系統フラッシング ドレン水(83.5 m <sup>3</sup> )

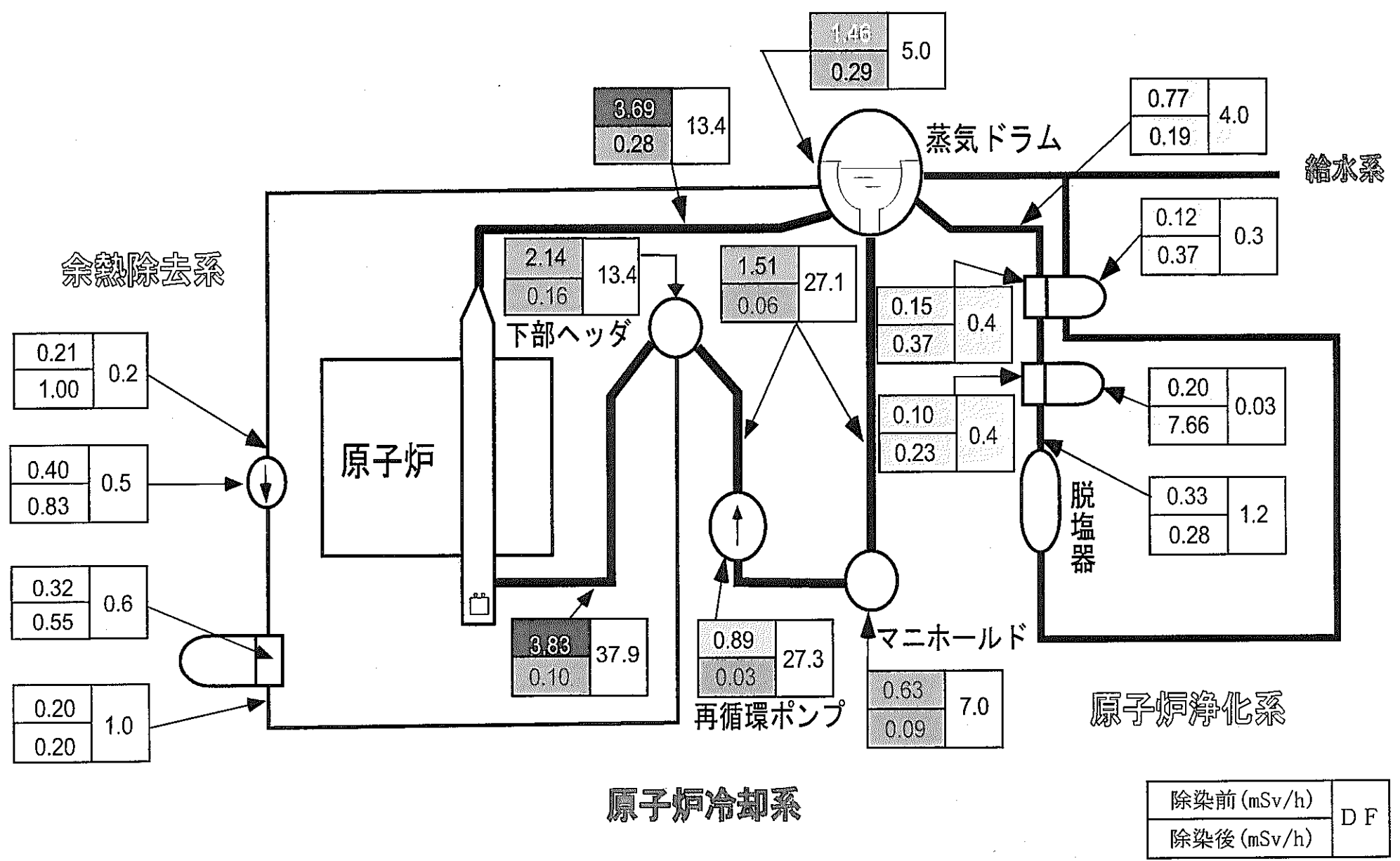


図6-1 A系除染前後の各部の線量当量率変化

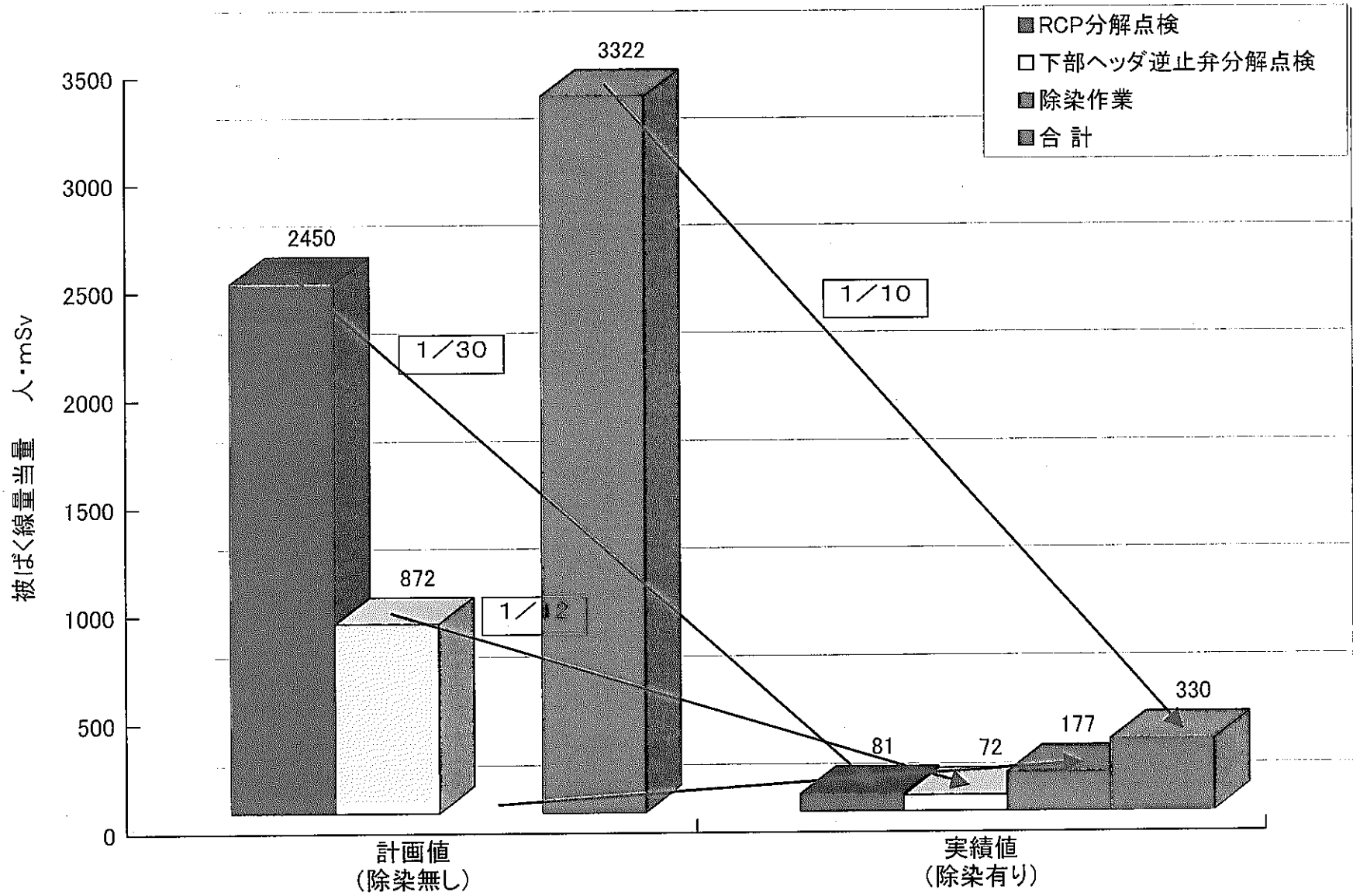


図6-2 RCP等分解点検における系統化学除染の効果

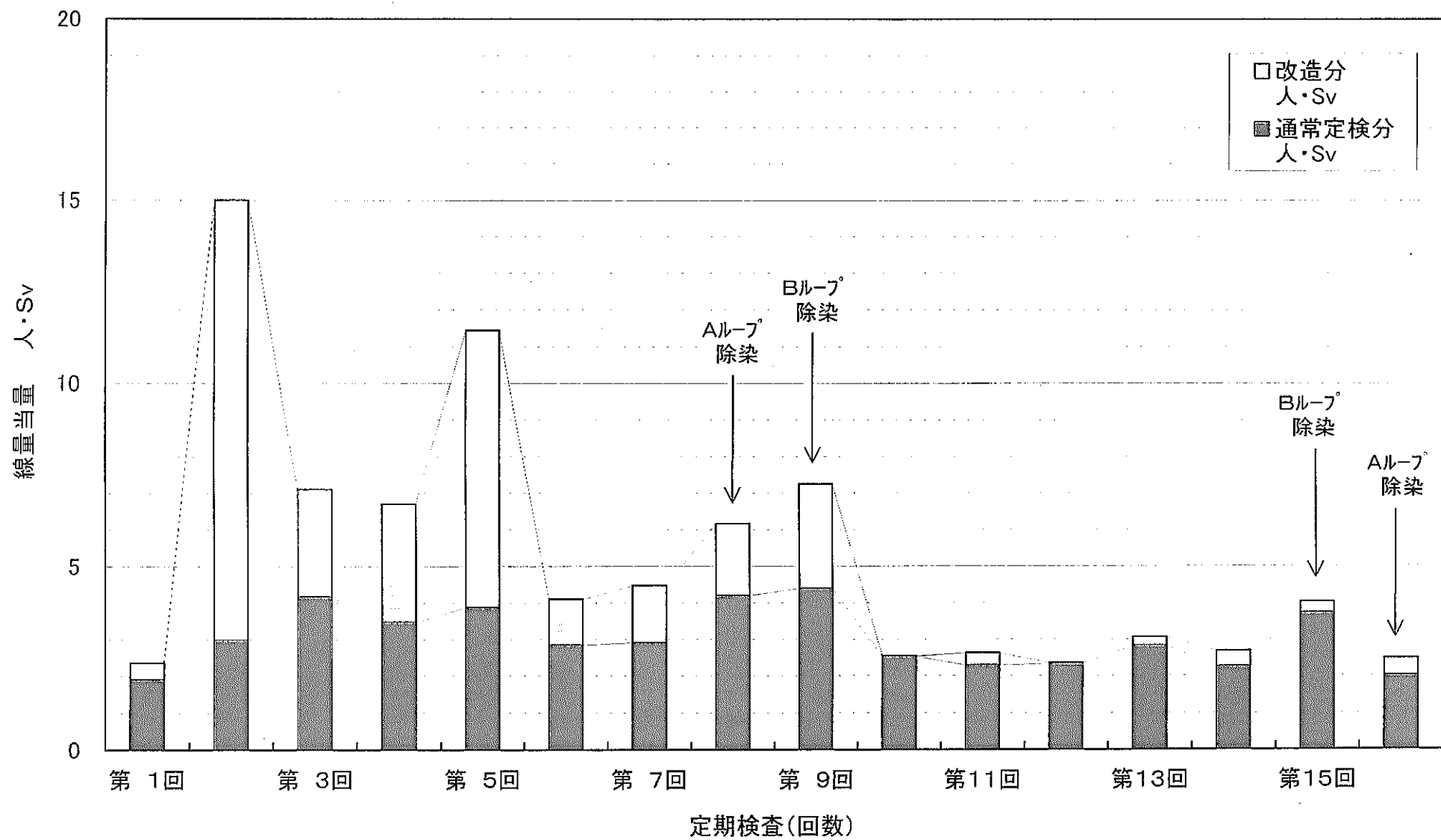


図6-3 「ふげん」定期検査における線量当量の実績推移

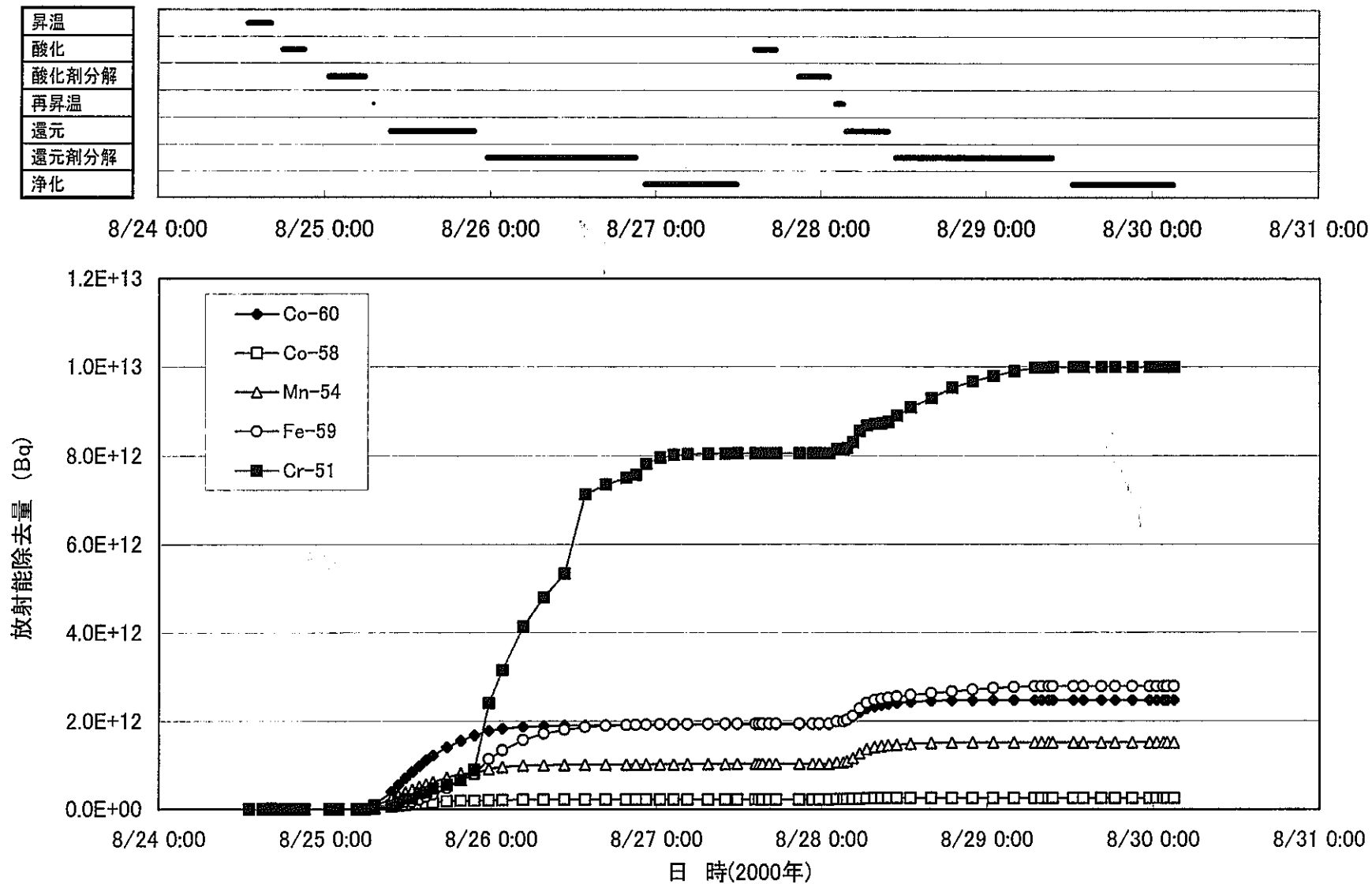


図6-4 A系系統化学除染時の放射能除去量経時変化

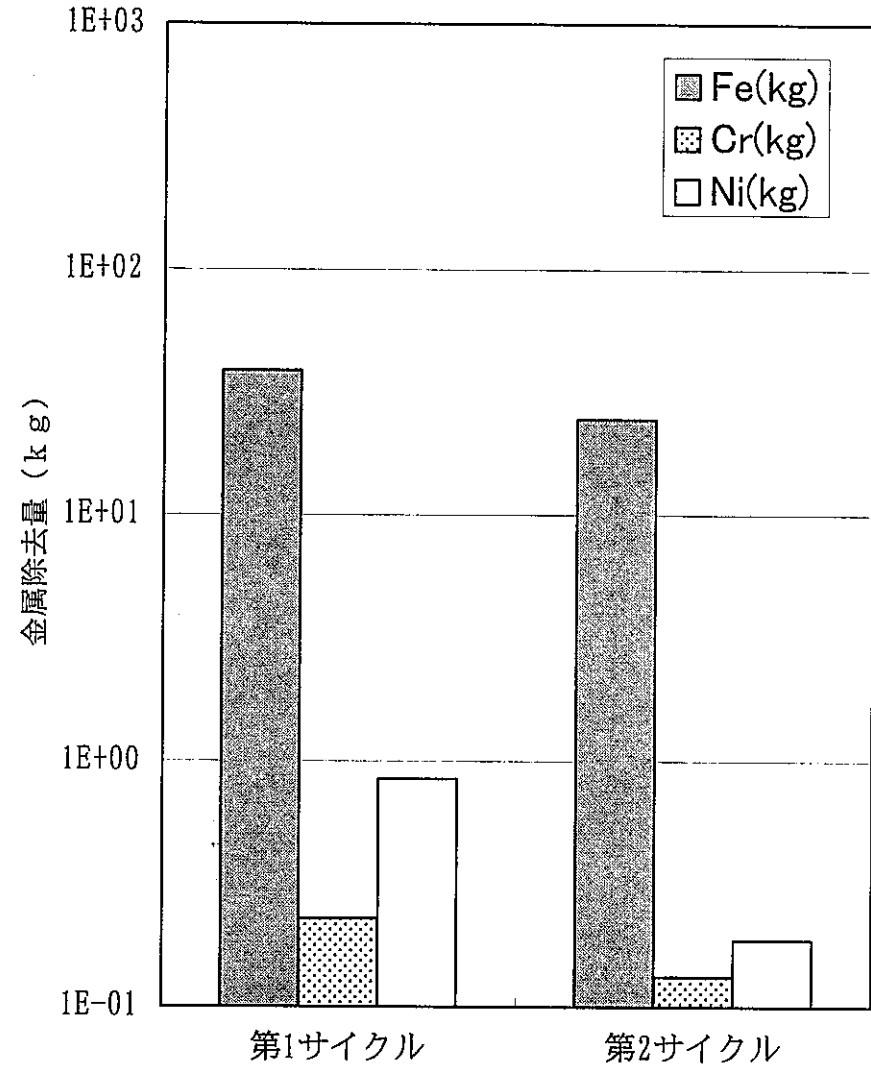
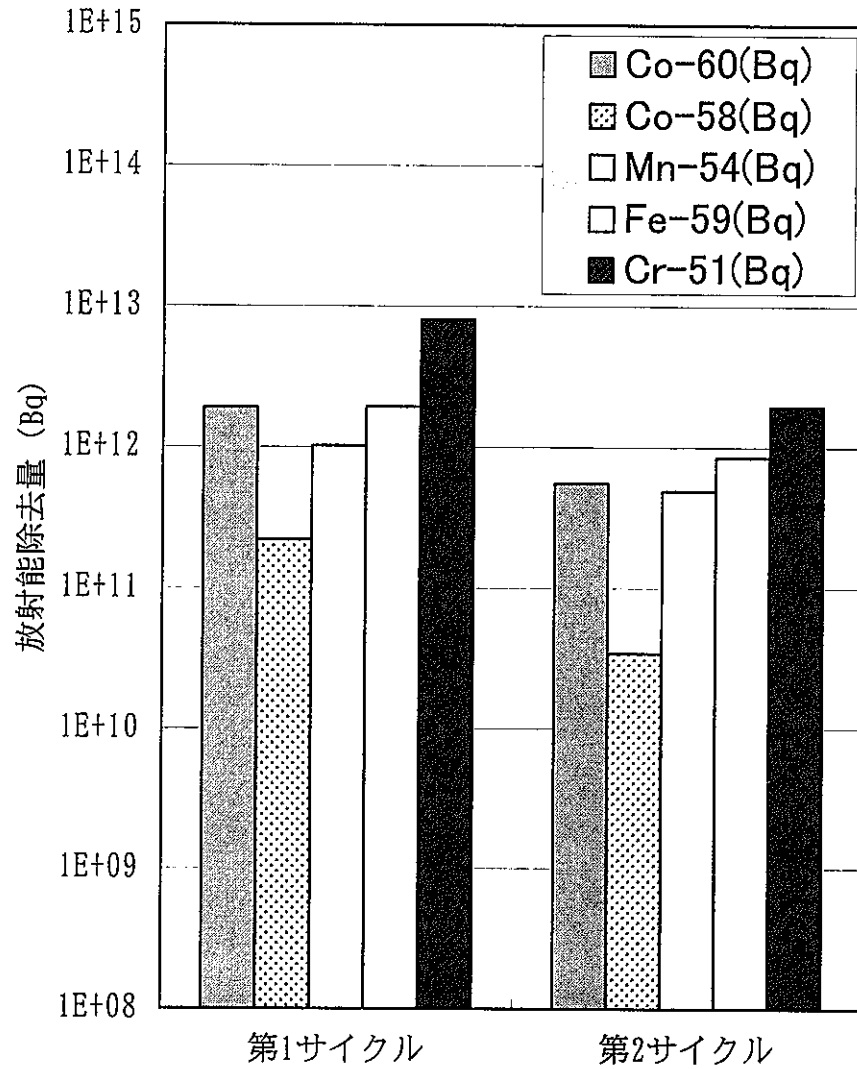
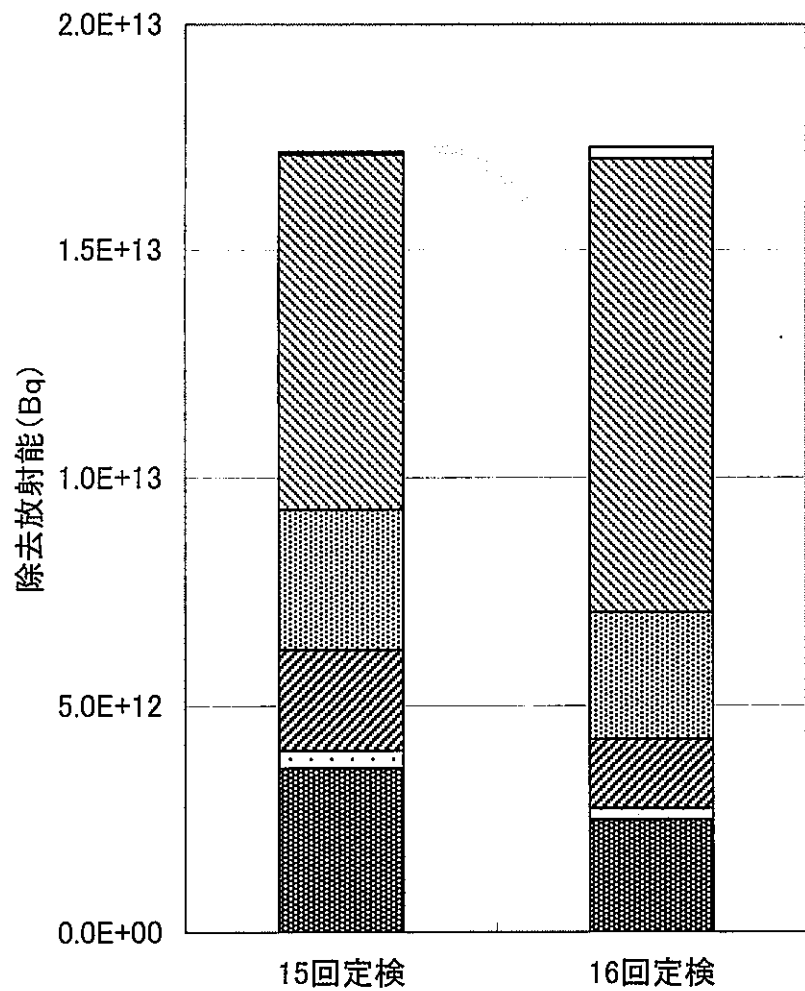
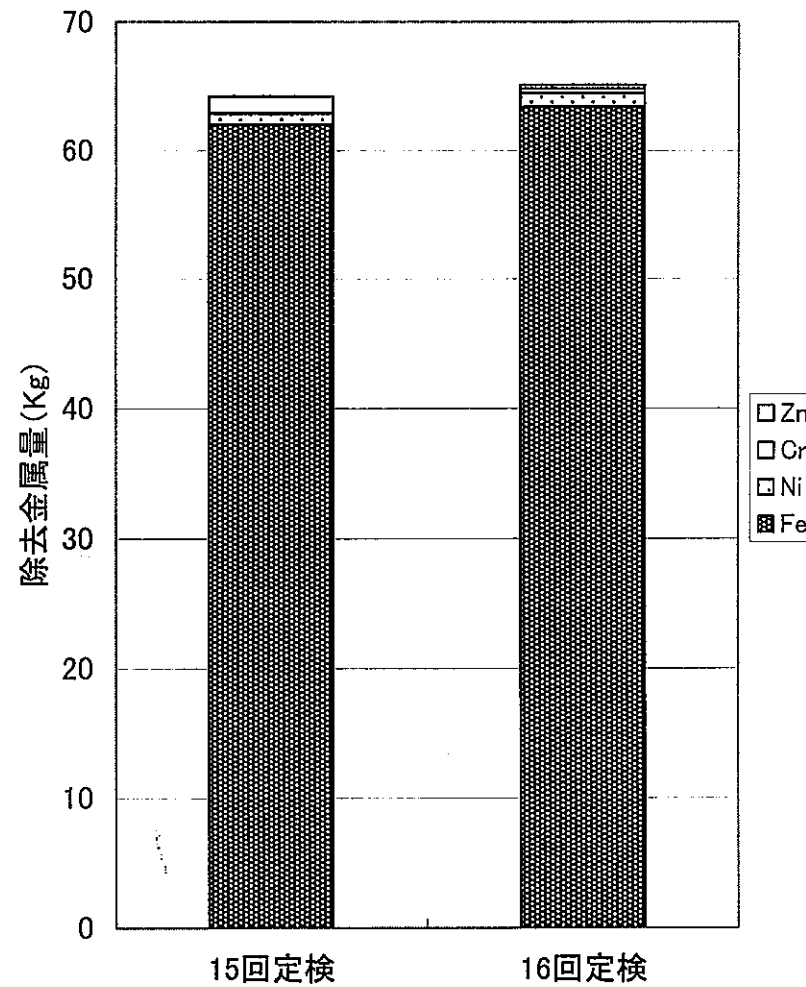


図6-5 除染サイクル毎の放射能及び金属除去量





【放射能除去量比較】



【金属除去量比較】

図6-6 放射能及び金属除去量の前回との比較

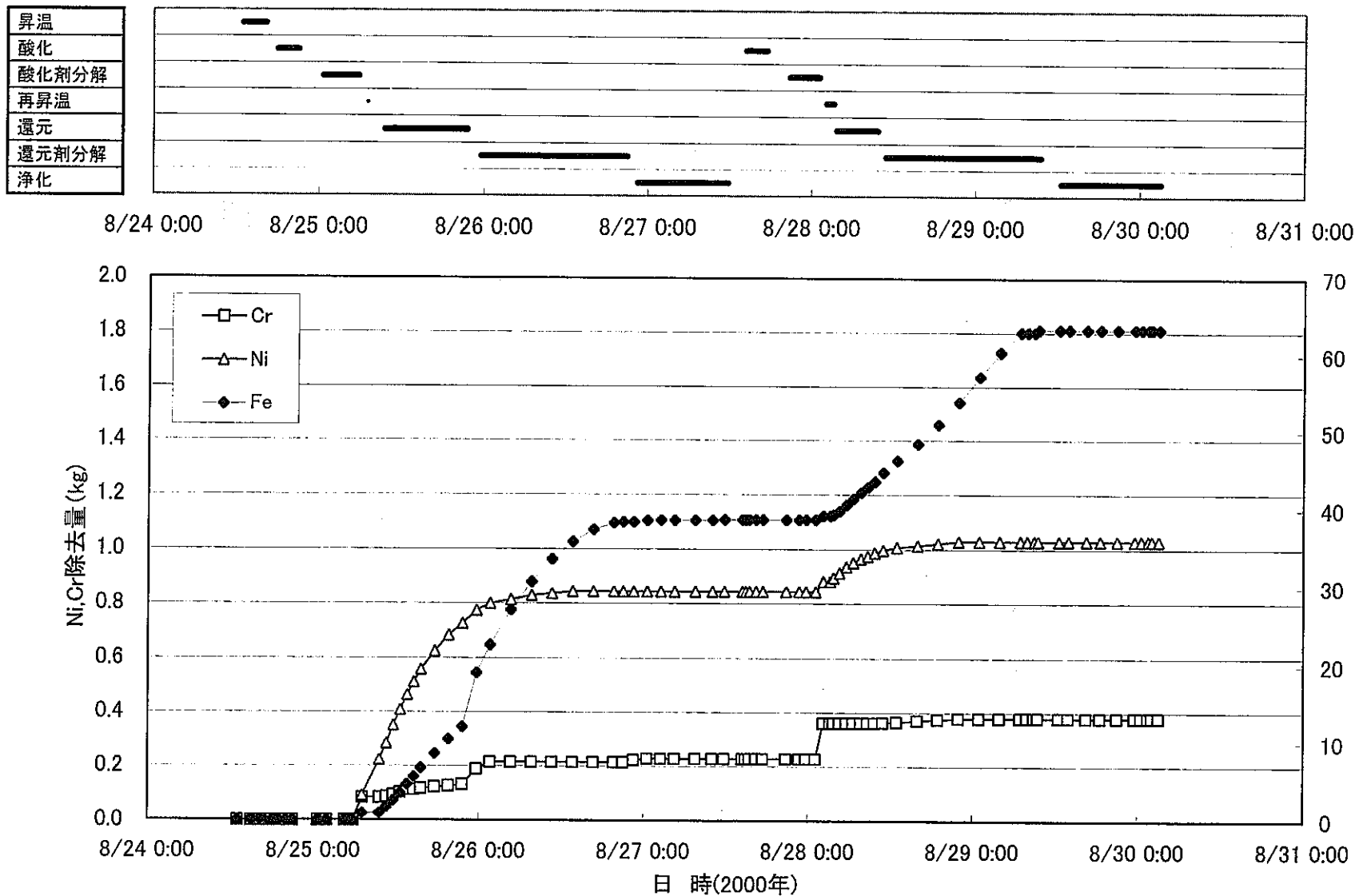


図6-7 A系系統化学除染時の金属除去量の経時変化

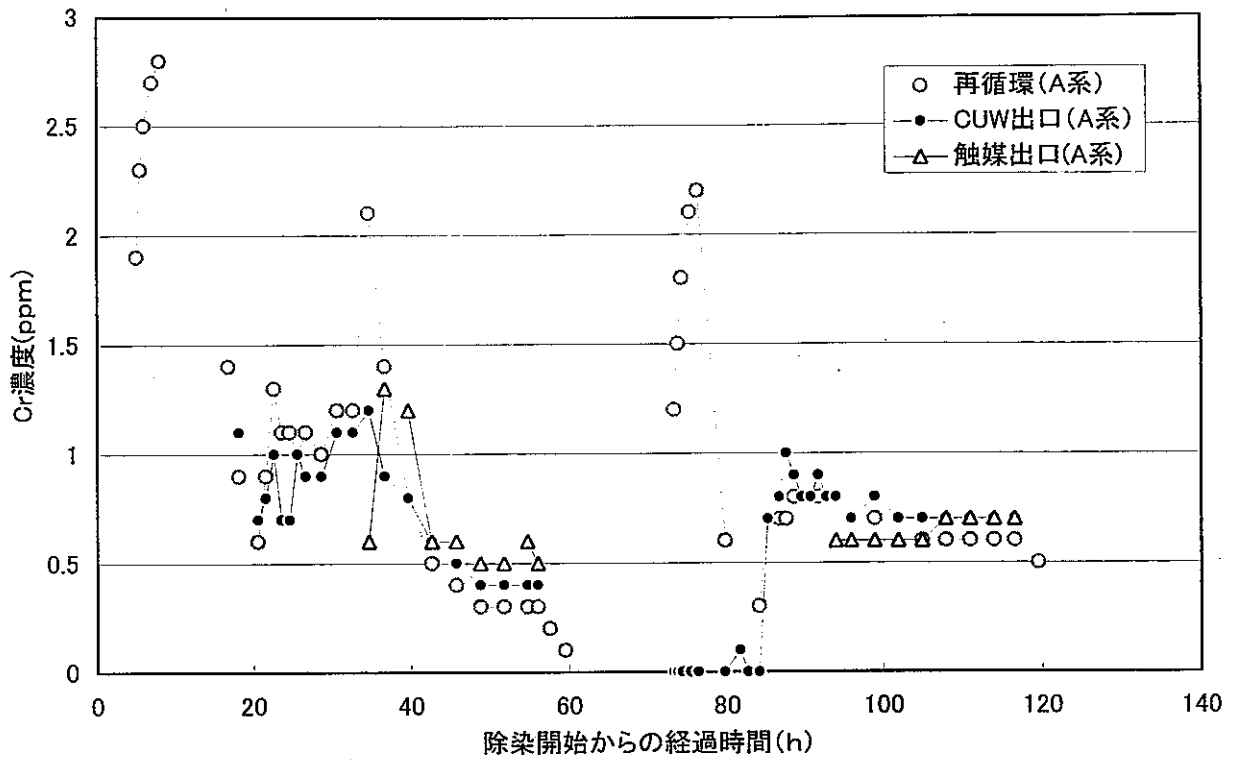


図6-8 A系化学除染時のCr濃度変化

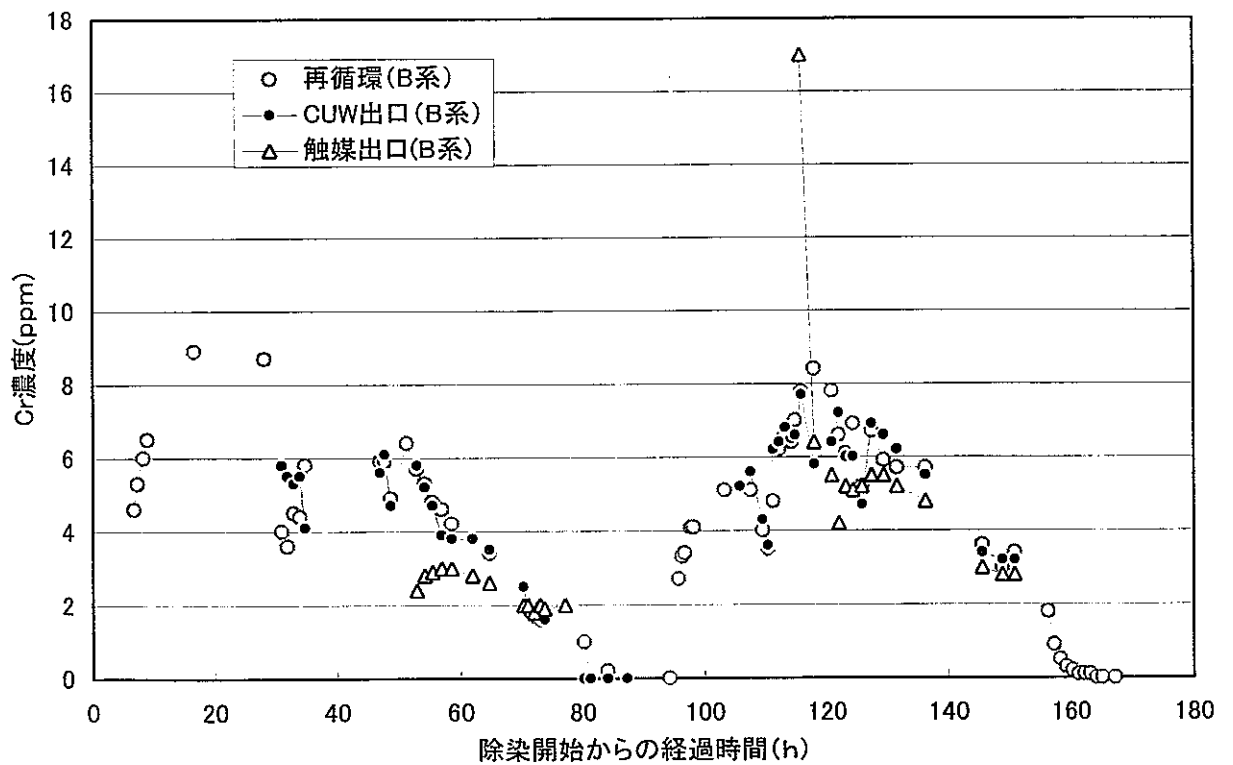


図6-9 B系化学除染時のCr濃度変化

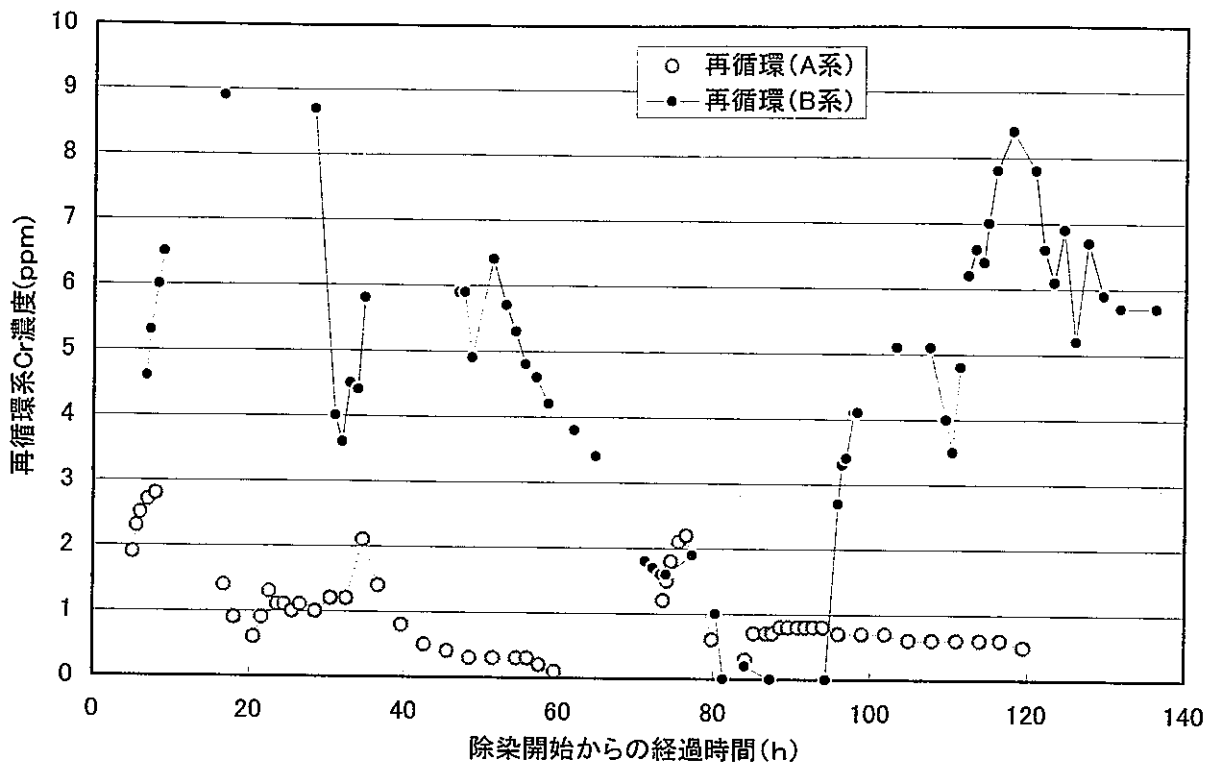
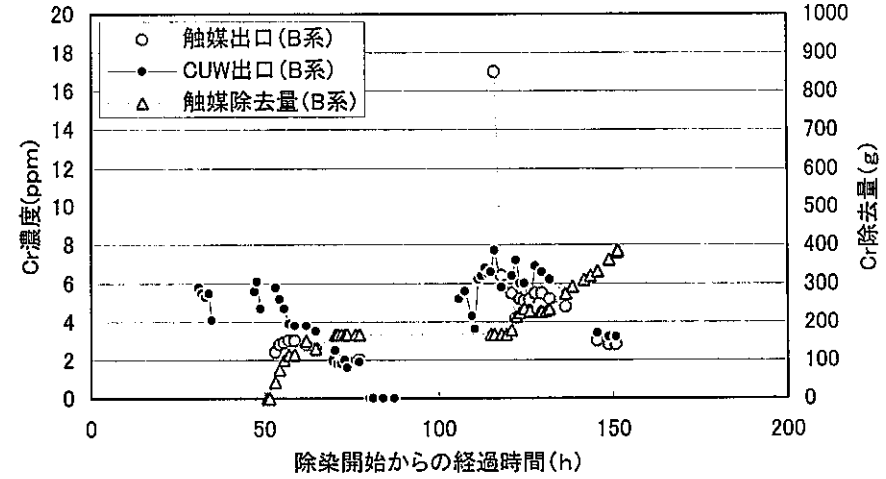
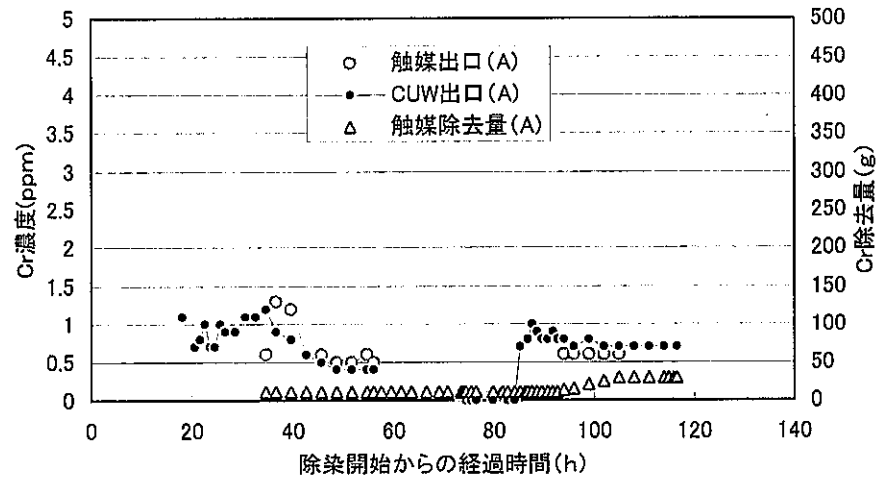
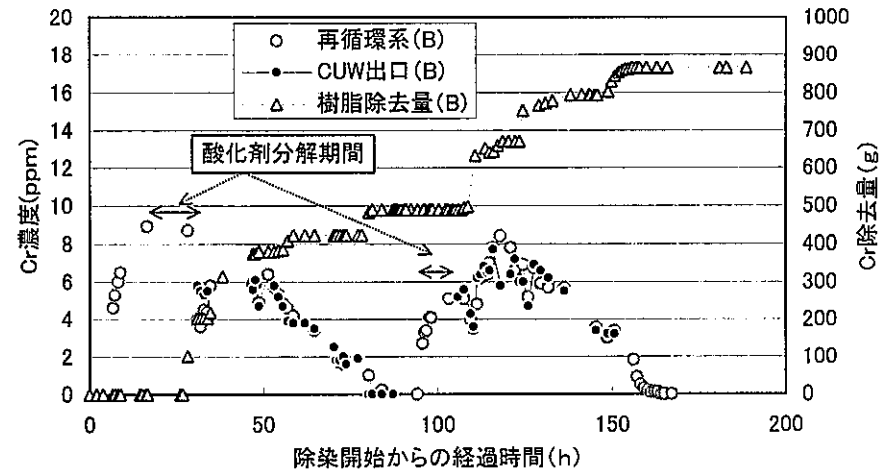
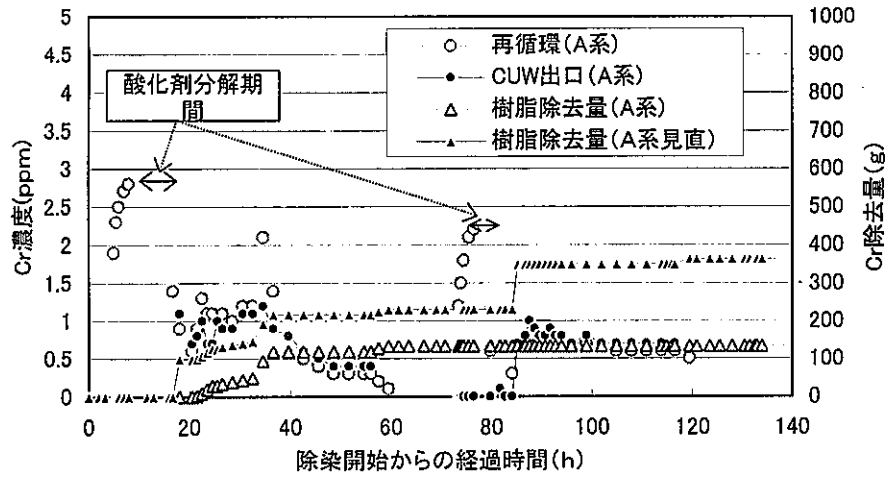


図6-10 A系及びB系化学除染時のCr濃度比較

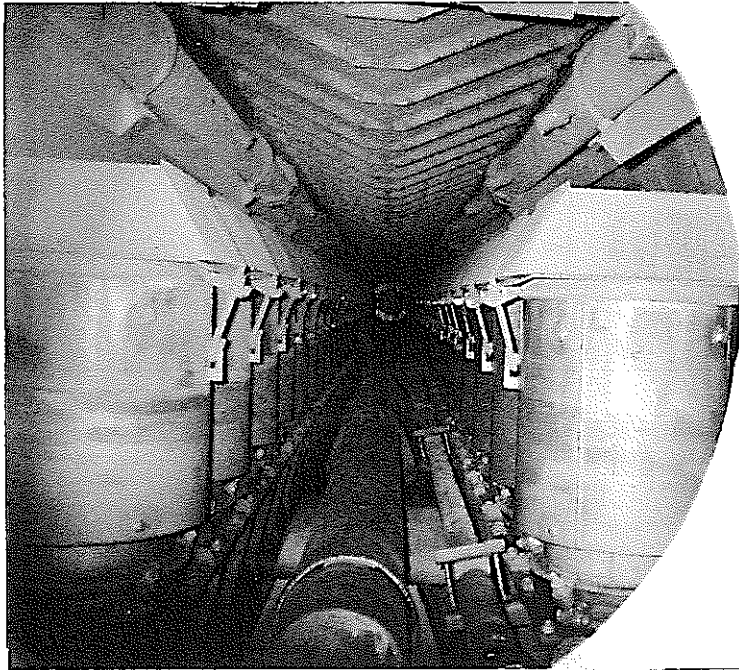


注) B系除染時のデータ誤入力により触媒塔Cr除去量を1.4kgから0.4kgに修正

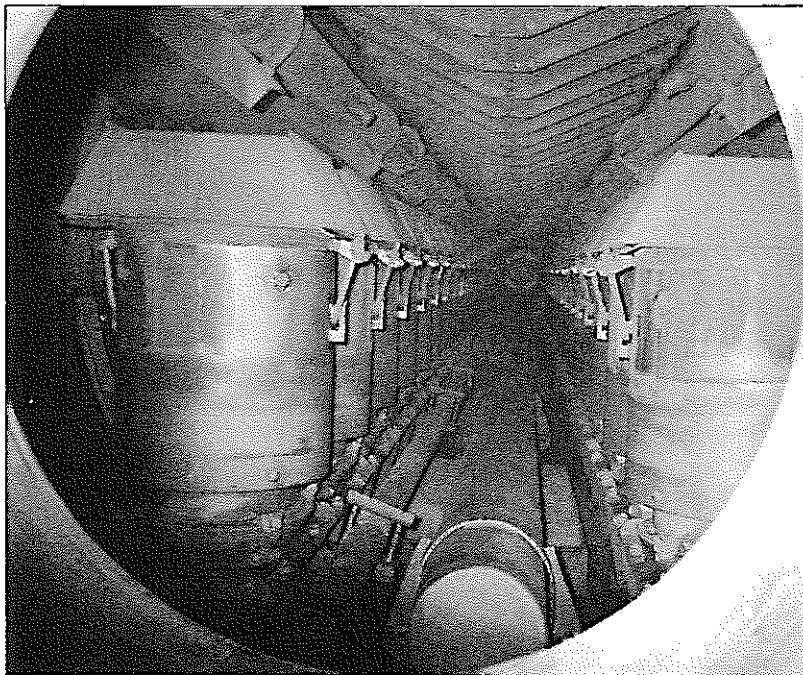
図6-11 樹脂塔及び触媒塔出入り口Cr濃度変化とCr除去量計算見直し結果

写真 6-1 第 16 回定検 A 蒸気ドラム内部点検

0° 側



180° 側



## 7. Aループ除染における改善及び次回への提案

### 7.1 Aループ除染における改善

Aループの除染実施にあたっては、第15回定検時で実施した再循環系Bループの除染で明らかとなった課題を念頭に検討し、除染プロセス、設備、運転法等の改善を行った。それらの主要な結果を以下に要約すると共に、表7-1に纏める。

#### (1) 除染効率向上:還元除染時間及び配分変更

##### (a) Bループ化学除染時の発生事象

還元除染Ⅰの計画時間(6h)では鉄酸化物の溶解が不十分であり、また計画の除染時間(還元Ⅰ、Ⅱ合計12~18時間)も確保できなかつたため、上昇管の除染効果が小さく、他の部位に比べて線量当量率の低下が小さかつた。

##### (b) Aループ化学除染時の改善事項

還元除染(Ⅰ)(Ⅱ)の合計時間は同じとして、還元除染ⅠとⅡの時間配分を下記のように変更した。

還元除染Ⅰ:12h (Bループ化学除染 実績:6h、計画:6h)

還元除染Ⅱ:6h (Bループ化学除染 実績:5.5h、計画6~12h)

##### (c) 改善効果

還元除染を計画通り実施し、前回よりも除染時間延長が図られたため、全ての除染対象部位で良好な除染効果が得られた(表6-2参照)。還元除染Ⅰを12h、還元除染Ⅱを6hに変更したことは、上昇管のクラッド溶解時間の確保のために適切な改善であったと判断できる。

#### (2) 還元剤分解効率

##### (a) Bループ化学除染時の発生事象

「ふげん」では本設のCUWを使用して化学除染を実施した。CUWの最高使用温度は70℃であるため、70℃以上の除染液を循環することは許容されない。そのため、還元剤分解時における触媒塔通水温度は65℃程度と低くせざるを得ず、図7-1に示すように還元剤分解効率が低く、還元剤分解時間が長かつた。また、還元剤分解時に使用した過酸化水素の分解も不十分な時期があり、過酸化水素が下流側に流出し、樹脂の損傷原因となつた。

##### (b) Aループ化学除染時の改善事項

触媒塔通水と触媒塔バイパスラインを設置し、触媒塔通水側にCUW仮設加熱器を設置して触媒塔通水温度を80℃程度まで上昇させた。触媒通水後は低温の触媒塔バイパス水と混合し、水温を65℃以下とする運転を行い、CUWの最高使用温度を満足するようにした。加えて触媒塔構造を見直して小粒径触媒を

採用し、当温度域(80℃)における分解効率を向上させた。

(c) 改善効果

図7-2に示すように、シュウ酸分解効率は還元剤分解Ⅰの初期～後半にかけては90%以上、サイクル終盤でも約80%であった。また、還元剤分解Ⅱの初期においても、シュウ酸分解効率は約90%であった。後半にはシュウ酸分解効率は50%にまで低下したものの、全体的にはBループ化学除染時よりも高い分解効率を確保することができた。その結果、Bループ除染時に対して今回のAループ除染においては、還元剤分解時間を短くすることができた。また、過酸化水素のリーク発生もなく、分解工程をスムーズに進めることができた。

なお、シュウ酸分解効率が低下したのはシュウ酸濃度の低下と触媒表面への鉄付着量の増加によるものと考えられる。

以上の結果より、触媒塔通水温度を上昇させたこと、及び小粒径触媒の採用は適切な改善であったと判断できる。

(3) CUW充填ポンプ吐出圧の低下

(a) Bループ化学除染時の発生事象

還元除染時に使用していたB-CUW充填ポンプの吐出圧が低下し、最終的には過負荷警報が発生したため、A-充填ポンプに切替えて化学除染を実施した。原因はエロージョン・コロージョンによって、充填ポンプのブッシュ部が減肉し、バイパス流が発生したためである。

(b) Aループ化学除染時の改善事項

充填ポンプのエロージョン・コロージョンの影響を緩和するために、Bループの還元除染時には約65℃に昇温していたのに対し、Aループの還元除染時にはCUW仮設加熱器での昇温を実施せず、低温(40℃程度)の除染液を充填ポンプに供給するようにした。

(c) 改善効果

還元除染Ⅰの期間では充填ポンプ吐出圧は8.13MPa(83kg/cm<sup>2</sup>)一定で吐出圧の低下は発生しなかった。還元剤分解Ⅰにおいて、吐出圧は8.13MPa(83kg/cm<sup>2</sup>)から7.64MPa(78kg/cm<sup>2</sup>)に低下したが、運転継続には支障がなかった。

還元除染Ⅱの期間において、充填ポンプの吐出圧は7.45MPa(76kg/cm<sup>2</sup>)から7.30MPa(74.5kg/cm<sup>2</sup>)に、還元剤分解Ⅱにおいて7.30MPa(74.5kg/cm<sup>2</sup>)から6.86 MPa(70kg/cm<sup>2</sup>)低下したが、運転継続には支障がなかった。

以上の結果より、還元除染時に低温の除染液を充填ポンプに供給するように改善したことによって、充填ポンプ吐出圧の低下事象は大幅に改善され、適切な



改善であったと判断できる。

#### (4) RCP第1シール差圧の低下及び熱遮蔽差圧の上昇

##### (a) Bループ化学除染時の発生事象

還元除染時にRCP第1シール差圧が低下し、シール注水量を $5.5\text{m}^3/\text{h}$ から $7.5\sim 8.0\text{m}^3/\text{h}$ に増加させて運転し、差圧を確保した。

一方、酸化除染時には酸化剤の反応により生成した二酸化マンガンにより、熱遮蔽シール部が閉塞気味になり差圧が上昇し、これにより第1シール部流量が増加し、差圧が上昇したため、シール注水水量を減少させた。

##### (b) Aループ化学除染時の改善事項

RCPシール部材に対する腐食の影響を緩和するため、非再生熱交換器出口温度を低下(目安値 $45\sim 60\rightarrow 40\sim 50^\circ\text{C}$ )させ、また、前述の(2)項で述べたように還元剤分解時間の短縮を図った。

なお、酸化除染時の熱遮蔽差圧上昇は、酸化剤分解時に添加したシュウ酸により溶解して降下するが、RCPへの負荷を低減するため、酸化剤分解工程をRCPを除く再循環系、低圧サージタンクの順に変更した。

##### (c) 改善効果

前述の(2)項の効果により還元剤分解時間が短縮された結果、第1シール差圧の低下は少なく、 $6\text{m}^3/\text{h}$ のシール水量で最終浄化まで運転できた。これにより改善対策は適切であったと判断できる。

なお、酸化除染時の熱遮蔽差圧上昇は分解工程を見直したにもかかわらず上昇し、注水量を約 $5\text{m}^3/\text{h}$ から $4.5\text{m}^3/\text{h}$ に減少させて対応した。

#### (5) RCPシール注排水系フィルタの差圧上昇

##### (a) Bループ化学除染時の発生事象

RCPシール注排水系フィルタの差圧が、酸化除染時には二酸化マンガンにより、還元除染時には未溶解クラッドにより上昇した。

このため、酸化時間の短縮、還元除染時にはRCP運転停止、フィルタの交換等により対処した。また、仮設設備側でのフィルタの追加を実施した。

##### (b) Aループ化学除染時の改善事項

後述の(6)項でも述べるが、仮設設備フィルタ基数を2基から6基に増強し、ろ過面積を増加させた。

##### (c) 改善効果

酸化除染時にはフィルタ差圧が上昇したが、シール注水フィルタ2塔並列運用

で運転し、フィルタの交換やRCP停止無しで除染を実施できた。また還元除染時には顕著な差圧の上昇は生じなかった。

以上の結果より、仮設設備フィルタの増強は適切な改善であったと言える。

## (6) フィルタの表面線量当量率上昇

### (a) Bループ化学除染時の発生事象

還元除染時に、クラッドとしてフィルタに詰まったCo-60等核種が線源となって、フィルタの表面線量当量率が70～80mSv/h(推測値)に上昇した。

そのため、化学除染期間中は仮設の鉛遮へいを追加設置し、作業の安全確保を行った。また、このような高線量当量率機器は構内輸送基準(表面:2mSv/h、at1m:0.1mSv/h)及び固体廃棄物貯蔵基準(表面:20mSv/h)を満足しないため、化学除染後は、特殊ボックスパレット内に収納し、内側に鉛遮へいを設置して構内輸送し、固体廃棄物貯蔵庫に貯蔵した。

これらの対応のため、作業量及び被ばく線量当量が増加した。

### (b) Aループ化学除染時の改善事項

- ① フィルタ基数を6基に増強して、1基当たりの保有する放射エネルギーを低減した。(Bループ化学除染時は2基。)
- ② フィルタ内の鉛遮へい厚さを80mmに増強し、遮へい効果を高めた。(Bループ化学除染時は30mm。)

### (c) 改善効果

化学除染期間中のフィルタ表面線量当量率は0.65～0.9mSv/h(水を内包した状態)に抑制することができた。また、化学除染後にフィルタ内の水抜きをした状態でのフィルタ表面線量当量率は1.2～2.5mSv/hに抑制することができ、作業の安全性、作業性向上に効果的であった。なお、一部のフィルタは構内輸送基準を満足しなかったため、鉛毛マットで仮設遮へいを施して構内輸送を行い、固体廃棄物貯蔵庫で鉛毛マットを取外して貯蔵した。

以上の結果、フィルタ表面線量当量率を大幅に低減することができたことから、フィルタ基数を6基とし、鉛遮へい厚さを80mmとしたことは適切な改善であった。

## (7) 混床樹脂比率

### (a) Bループ化学除染時の発生事象

充填ポンプが不調となったため、シュウ酸濃度100ppmで還元剤分解Ⅱを終了し、浄化工程に移行した。シュウ酸は混床樹脂で吸着させたが、計画よりも早い段階で浄化工程に移行したため、樹脂の負荷を増加させた。その結果、フラッシ

ング時にはアニオン樹脂容量の不足により、所定のレベルまで浄化することができなかつた。(混床樹脂比 カチオン/アニオン=2/1)

(b) Aループ化学除染時の改善事項

計画段階から、還元剤分解はシュウ酸濃度100ppmで終了することとして、混床樹脂塔の樹脂比率を、アニオン樹脂2、カチオン樹脂1とアニオン樹脂を増加させ、シュウ酸吸着容量を増加させた。

(c) 改善効果

中間浄化はシュウ酸濃度約50ppmから開始し、14.5時間で約 $2.5 \mu\text{S/cm}$ まで浄化できた。

最終浄化においては、シュウ酸濃度約150ppmから開始し、16時間で約 $7.9 \mu\text{S/cm}$ まで浄化することができた。

なお、当初計画では浄化・フラッシング工程中に炉水導電率を $1 \mu\text{S/cm}$ まで浄化する計画であった。しかし、図7-3に示すように浄化・フラッシング工程中の炉水導電率は、煮沸処理を行い大気中炭酸ガスを排除した(脱気)後においても $2 \mu\text{S/cm}$ 以下とならなかつた。炉水導電率が低下しなかつた直接の要因は下記に示すシュウ酸と硫酸イオンによる影響であった。

(i) 炉水中のシュウ酸濃度が約0.4ppmで一定となつた

(ii) 炉水中硫酸イオン濃度が増加した

CUW脱塩器出口シュウ酸濃度は低く維持されていたことから、混床樹脂の性能は十分な性能を維持していた。前記状態であるにも係わらず炉水シュウ酸濃度が低下しない現象は、混床樹脂で除去された量と同じ量のシュウ酸が新たに流入していたと考えられる。可能性としては、炭素鋼で構成されるRHR系配管内面に形成したシュウ酸鉄が徐々に溶出し、炉水に流入したと考えられる。なお、浄化を継続することによりRHR系からのシュウ酸の供給が減少すると考えられたが、限られた工程内での処理は困難と判断した。

また、炉水中硫酸イオンの生成はCUW脱塩器のカチオン樹脂が劣化し、スルホン基( $\text{R-SO}_3\text{H}$ )を有する劣化高分子が流出し、炉心の放射線により硫酸イオンに転化した結果と推定した。前回のB系除染時には触媒塔からリークした $\text{H}_2\text{O}_2$ がイオン交換樹脂を劣化させたと推定したが、今回の除染においては、 $\text{H}_2\text{O}_2$ のリークはほとんど生じなかつた。したがって、イオン交換樹脂が劣化した要因は現状不明であり、高濃度のシュウ酸あるいはシュウ酸鉄、シュウ酸クロム等の負荷不純物の影響等を含めて検討する必要がある。

以上示した炉水中のシュウ酸濃度および硫酸イオンの挙動より、浄化の継続による水質の向上が期待できず、場合によっては水質の悪化の可能性が想定され

たため、浄化を途中中断した。

以上の結果から、樹脂比をカチオン/アニオン=1/2に変更したことにより、シュウ酸吸着裕度の増加をもたらし、工程(分解時間)の短縮効果が得られた。しかし、炉水水質の確保のためには、さらに炭素鋼表面に形成するシュウ酸鉄の溶解挙動の定量化、及びイオン交換樹脂劣化現象等に関し検討する必要がある。

#### (8) 触媒塔出口の汽水分離槽容量

##### (a) Bループ化学除染時の発生事象

触媒塔は合計7塔設置し、その内前段並列4塔と後段並列3塔を直列にした構成とし、前段の4塔に汽水分離槽を設置していた。しかし、触媒塔内で発生した分解ガスを汽水分離槽で処理しきれず、分解ガスの一部が低圧サージタンク内に流入し、圧力上昇させる原因となった。そのため、適宜低圧サージタンクの圧力調整運転を行い、化学除染運転を継続した。

##### (b) Aループ化学除染時の改善事項

触媒塔は合計7塔を並列に設置した構成とし、全ての触媒塔に汽水分離槽を設置した。

##### (c) 改善効果

還元剤分解工程において、低圧サージタンクの圧力が上昇する事象は発生し、圧力調整を行ったが、運転に支障はなかった。

以上の結果より、触媒塔全てに汽水分離槽を設置したことは適切な改善であったと判断できる。

#### (9) 還元剤分解工程終了判定基準

##### (a) Bループ化学除染時の発生事象

還元剤分解効率が低く、還元剤分解に長時間を要した。また、還元剤分解Ⅱにおいて、充填ポンプが不調となったため、シュウ酸濃度100ppmで浄化工程に移行した。

##### (b) Aループ化学除染時の改善事項

計画段階から、還元剤分解はシュウ酸濃度100ppmで終了することとし、還元剤分解工程の短縮及び充填ポンプの保護を図った。

##### (c) 改善効果

Bループ化学除染時の還元剤分解時間は還元剤分解Ⅰが約41.7h、還元剤分解Ⅱが約36.2hであった。Aループ化学除染時の還元剤分解Ⅰが約22.4h、還元剤分解Ⅱは約23.8hとなり、大幅な工程短縮となった。また、充填ポンプも支

障なく運転することができた。但しこれらの結果は、判断基準変更の効果だけでなく、分解効率向上や、樹脂比率変更等の効果も関連したものである。

## 7.2 今後の課題及び提案

今回の除染は今まで述べてきたように、前回の経験を踏まえて実施したことにより、ほぼ計画通りに進めることができ、且つ又、良好な結果を得て終了した。

しかしながらより細かい点を見ると、尚且つ改善すべき点も有る。それゆえ参考として、今後の除染計画における課題と改善提案を表7-2に纏めておく。

表 7-1 A 系除染における改善とその結果(1/2)

No.	B 系除染時の課題	A 系の改善対策内容	改善効果
1	上昇管の除染効果が小さく、他の部位に比べて線量当量率の低下が小さかった。 (還元時間 計画 12~18h、実績 11.5h)	第 1 還元除染を 6 時間から 12 時間に変更し、合計還元時間も 18 時間実施した。	除染係数 DF が前回 B 系より向上した。特に上昇管の DF は 3.2 から 13.4 に大幅に増加した。
2	CUW の最高使用温度 70°C の制限から触媒塔への通水液温度が 65°C であった。このため還元剤分解効率が低く、分解時間が長かった。また、注入した過酸化水素が完全に分解されず流出し、樹脂の損傷原因となった。	バイパスラインを設置し、仮設加熱器により触媒塔通水温度を 80~85°C とし、出口側でバイパスさせた低温の液と混合し、約 65°C に低温化させた。	前回に比べて高い分解効率が確保でき、分解工程をスムーズに進めることができ、工程を短縮できた。また、過酸化水素の流出もなかった。
3	還元除染時に使用していた CUW 充填ポンプの吐出圧が低下した。A ポンプに切替えて化学除染を終了した。	還元除染時、CUW の仮設加熱器の昇温をやめ、充填ポンプ通水除染液温度を 65°C から 40°C に低温化した。	充填ポンプ吐出圧の低下事象は大幅に改善された。ポンプ 1 台で運転継続に支障はなかった。
4	還元除染時、RCP 第 1 シール差圧の低下により、シール注水量を 5.5 から 7.5m <sup>3</sup> /h に増加させた。 なお、酸化除染時には二酸化マンガンの RCP 熱遮蔽差圧が上昇し、これに伴いシール差圧も上昇し、シール注水量を減少させた。	非再生熱交換器出口温度を低下(目安値 45~60→40~50°C)させ、触媒塔通水温度の上昇による還元剤分解時間を短縮した。なお酸化除染時の差圧上昇は、酸化剤分解時には添加したシュウ酸により溶解して降下するが、負荷低減のため、分解工程を見直した。	第 1 シール差圧の低下は少なく、6m <sup>3</sup> /h の流量で最終浄化まで差圧を確保できた。これは還元剤分解時間短縮による腐食緩和の結果である。
5	RCP シール注排水系のフィルタ差圧が、酸化除染時は二酸化マンガンの RCP 熱遮蔽差圧により、還元除染時には未溶解クラッドにより上昇し、除染時間短縮、RCP 運転停止、フィルタ交換等で対処した。	除染設備側仮設フィルタ基数を 2 基から 6 基に増強し、ろ過面積を増加させた。	酸化除染時にはフィルタ差圧が上昇したが、フィルタ 2 塔並列運用で運転でき、フィルタ交換や RCP 停止せずに実施できた。還元除染時には顕著な差圧上昇は無かった。

表 7-1 A 系除染における改善とその結果 (2/2)

No.	B 系除染時の課題	A 系の改善対策内容	改善効果
6	2 基の仮設フィルタが目詰まりし、遮蔽なしフィルタ 4 基を追設した。このフィルタに捕捉された放射性核種により、線量当量率が Max70~80mSv/h に上昇した。このため除染後の後片付け作業時の被ばく線量を増加させた。	仮設フィルタ基数を2基から 6 基に増強し、ろ過面積を増加させ、1 基あたりの負荷放射エネルギーを低減した。また、鉛遮蔽厚さを 30mm から 80mm に増強し、遮蔽効果を高めた。	フィルタ差圧の上昇は小さく、フィルタ表面の線量当量率を0.65~0.9mSv/h(水内包状態)に抑制できた。これにより作業被ばく低減と後片付け作業性が改善された。
7	シュウ酸濃度 100ppmで浄化工程に移行したため、陰イオン交換容量が不足し、フラスキング時の浄化に支障をきたした。	還元剤分解終了時シュウ酸濃度を 100ppm とし、混床塔の樹脂比率カチオン/アニオンを、2/1 から 1/2 に変更した。	中間浄化及び最終浄化開始時のシュウ酸濃度は各々 50、150ppmであったが、何れも計画時間内に所定水質に浄化できた。
8	還元除染時触媒塔内で発生した分解ガスを汽水分離槽で処理しきれず、分解ガスの流入により低圧サージタンクの圧力が上昇し、圧力調整を実施した。	触媒塔 7 塔を並列設置し、全塔に汽水分離槽を設置した。	低圧サージタンクの圧力上昇は発生し、圧力調整運転を実施したが、特に運転に支障は無かった。
9	還元剤分解に長時間を要し、充填ポンプの吐出圧が低下したため、シュウ酸濃度 100 ppmで浄化工程に移行した。	還元剤分解終了時のシュウ酸濃度基準を 10ppmから 100ppmに変更した。	還元剤分解時間が短縮され、充填ポンプ運転も支障無く運転することができた。但しこの結果はこの項単独の効果でなく、No.2、3、7項と関連したものである。

表7-2 次回除染時反映事項(1/2)

No.	名 称	事 象	今回の対策及び処置	次回への課題／改善
1	混床樹脂塔の差圧上昇	最終浄化時に混床樹脂塔内でシュウ酸が除去され、シュウ酸鉄として存在していた鉄が水酸化鉄に変化して付着し、樹脂塔の差圧を上昇(1.7kg/cm <sup>2</sup> )させた。	樹脂塔への通水流量を減少させ(30m <sup>3</sup> /hから22m <sup>3</sup> /h)、発生差圧を抑え、最終浄化を継続して差圧回復を待った。	還元剤分解Ⅱを途中で打ち切ったため、除染液中の鉄濃度が高いことが原因と推察される。還元剤分解時には計画濃度(100ppm以下)まで分解するようにする。
2	非再生熱交換器の線量当量率上昇	CUW非再生熱交換器内伝熱管表面にシュウ酸鉄等が付着もしくは析出して線量が上昇し、機器点検作業の支障になった。	当初予定していた非再生熱交換器の分解点検を次定検に延期した。 なおCUW系運転再開後の線量測定で除染前のレベルまで低下していることが確認された。	システム構成上根本的な解決は困難であるが、系統除染後に今回と同様な時期、状態で、CUW系の継続通水運転を実施し、付着した放射性物質を除去する。
3	RHRポンプ入口部の線量当量率上昇	RHRポンプ入口部にあるサイクロンセパレータにクラッド等が蓄積し、線量当量率が上昇し、機器点検作業の支障になった。	除染後当該部を交換した。	システム構成上根本的な解決は困難である。系統除染後の交換か、RHR系を使用しない系統構成を考える。
4	最終浄化時の水洗	シュウ酸濃度10ppmの時点で脱塩器バイパスライン等の使用ラインを水洗したため、導電率の悪化が大きく、浄化目標(導電率10μS/cm)に達するのに時間を要した。	導電率が目標の10μS/cmに達するまで浄化運転を継続した。	水洗をシュウ酸濃度30ppmと10ppmの時に実施し、水洗による水質悪化割合を緩和して、最終浄化工程の短縮を行う。
5	フラッシング時の水質悪化	フラッシング・浄化工程後半に電導率が上昇して、所定の水質まで浄化が出来なかった。	浄化工程終了を、当初計画1.0μS/cmから2.1μS/cmで打ち切った。	樹脂のイオン交換容量を再検討するか、または終了時の水質基準を見直す。



表7-2 次回除染時反映事項(2/2)

No.	名 称	事 象	今回の対策及び処置	次回への課題／改善
6	触媒塔の微粉炭流出	還元剤分解Ⅱの終盤に、一部触媒塔の通水・隔離操作を繰り返した後に、触媒塔から触媒の微粉炭が流出するのが確認された。	還元剤分解終了を当初の計画より前倒しして、系統内への微粉炭の流入を防いだ。(シュウ酸濃度約150ppm)	微粉炭の発生は、外乱による触媒塔内触媒の状態変化が大きいことが原因と推察されるため、触媒塔に大きな外乱を与えずに運転する。更に触媒塔内構造を変更し、微粉炭流出を抑えるようにする。又は通水温度を確保し前回と同タイプの触媒を使用する。
7	薬品溶解作業	昇温が完了したにも拘らず、過マンガン酸カリウムの溶解作業が完了していなかったため、昇温完了後直ちに酸化除染Ⅰの工程に移行できなかった。	過マンガン酸カリウムの溶解終了を待って酸化除染Ⅰに移行した。	薬品溶解作業は早めに実施し、速やかに次工程に移行できるようにする。
8	樹脂交換作業	樹脂交換作業が終了していなかったため、前工程終了直後に酸化除染Ⅱや、最終浄化に移行できなかった。	樹脂交換が終了するのを待って、酸化除染Ⅱ、最終浄化工程に移行した。	化学除染の進捗状況に応じて樹脂交換作業を終了できるように、的確な工程調整を行う。

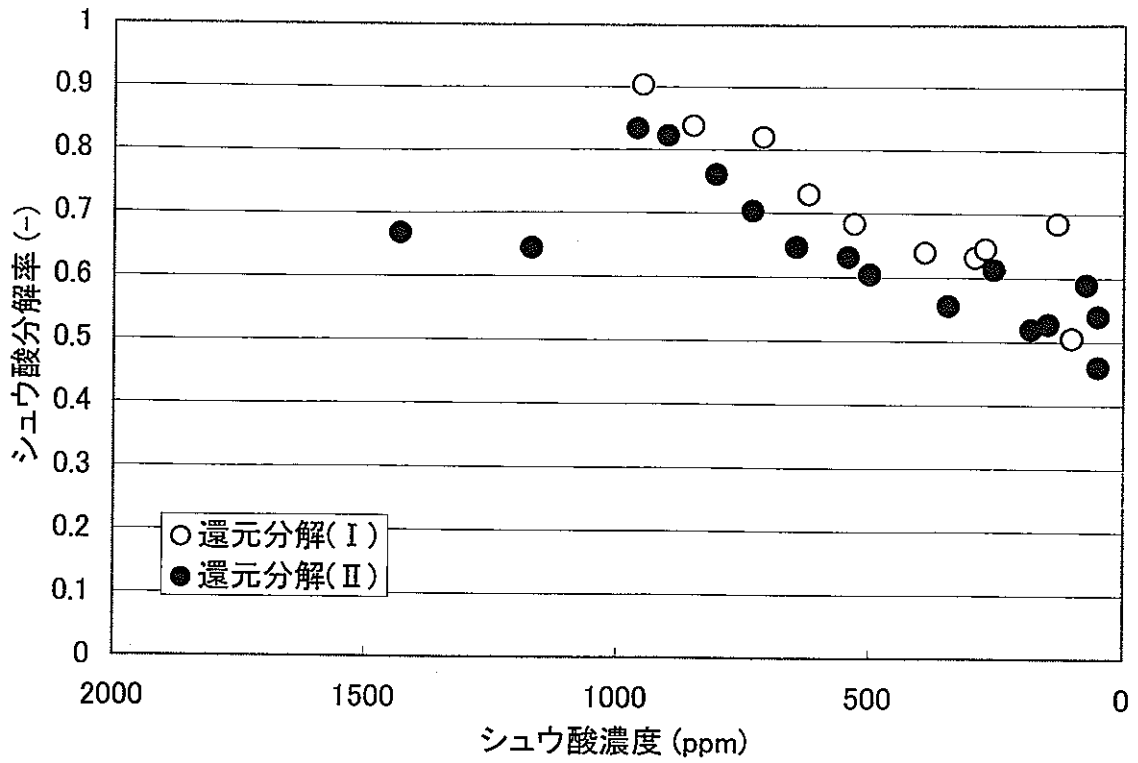


図7-1 B系除染時の触媒塔におけるシュウ酸の分解率

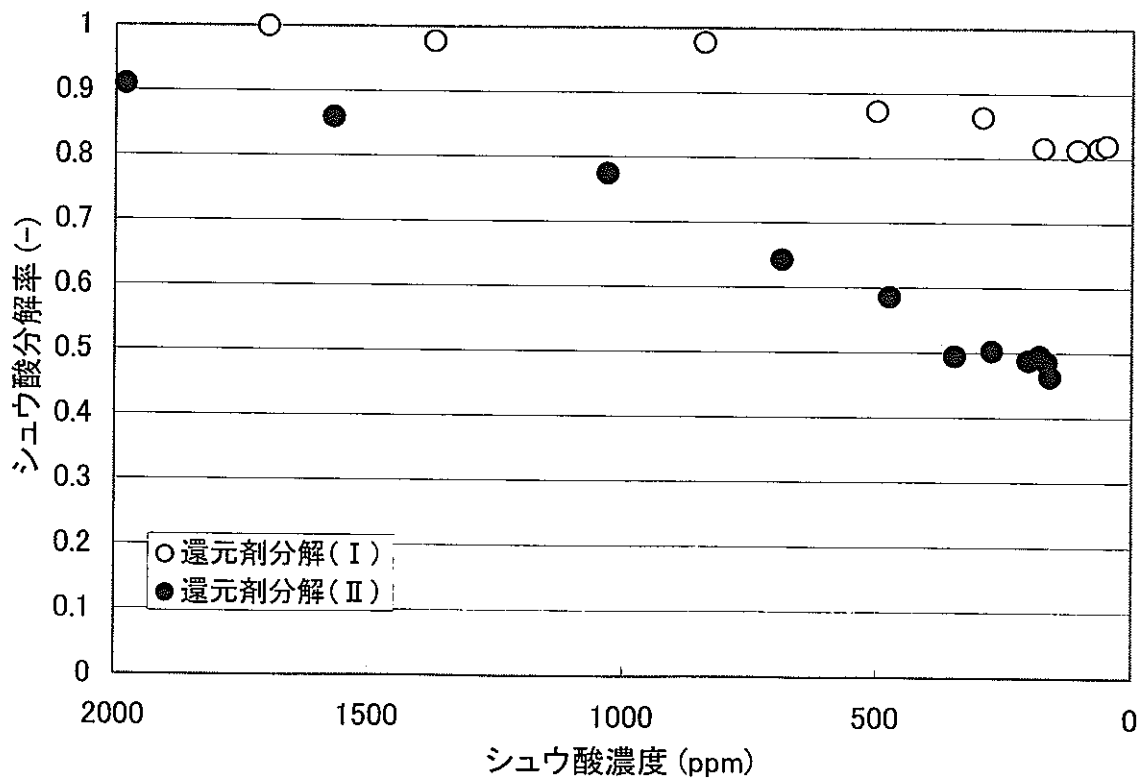


図7-2 A系除染時の触媒塔におけるシュウ酸の分解率

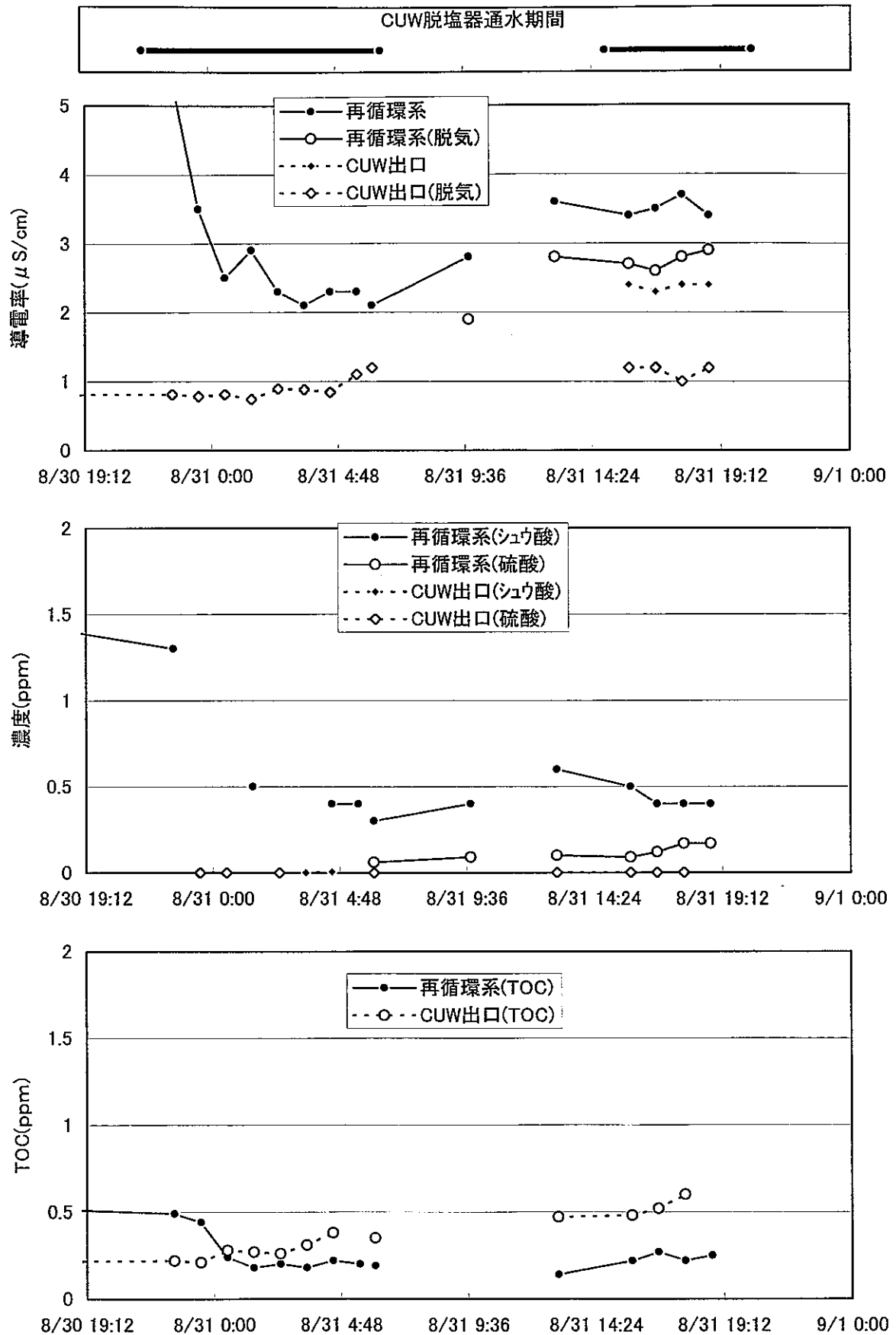


図7-3 A系除染時フラッシング(I)期間中の水質変化

## 8. 除染結果纏め

平成12年8月24日から9月2日にかけて行った、原子炉冷却系Aループの系統化学除染は計画通り進めることができ、前回Bループの結果を上回る除染効果を得て終了した。これは前回Bループの経験を踏まえた計画検討結果によるものである。この結果について以下に纏める。

- (1) 酸化還元除染法(HOP法)を原子炉冷却系Aループの系統化学除染に適用し、再循環ポンプ及び下部ヘッダ分解点検に直接影響する、機器・配管部分の総括除染係数DFとして、32.9を得、R/Bポンプ階の空間線量当量率を1/20.7に低減した。このDFは前回実施したBループの結果の約1.5倍である。
- (2) 系統全体としてのDFとしては16.4が得られた。この結果は前回Bループの除染結果の約2.5倍である。今回特に上昇管での除染効果は顕著であり、前回経験を踏まえた改善が的確であったことを示している。
- (3) この結果、再循環ポンプの分解点検にかかわる被ばく線量は、除染無しの場合の1/30に低減され、下部ヘッダの分解点検については1/12に低減され、これらの作業全体としては1/10に低減され、線量当量を3.0人・Sv低減した。  
また定検全体の総線量当量は、除染無しの場合の予測値6.5人・Svに対し、実績値は2.5人・Svであり、総線量当量を4.0人・Sv低減した。これらの結果は何れも、前回定検におけるBループの除染結果を上回るものである。
- (4) 除染作業時間(昇温開始から最終浄化まで)は134hrで、殆ど計画工程通りであり、大幅な工程変更等は無く、前回Bループの経験を踏まえた計画が妥当なものであった。
- (5) 除染期間中の系統及び除染設備の運転状態量は殆ど概ね計画どおりであった。但し計画外事象が若干生じたが、若干の工程変更で対応できた。
- (6) フラッシング時において、目標水質(導電率 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下)をクリアできず、浄化を終了した。これは残留シュウ酸又はシュウ酸鉄及び樹脂分解生成物による硫酸イオンの増加によるものである。目標水質はクリアできなかったが、廃水処理には問題ないことを確認し、フラッシング浄化工程を終了した。
- (7) 今回の除染作業において、除染設備の設置、除染、及び後片付け作業を通して、作業者の怪我、過剰被ばく等は無く、プラント及び除染設備の破損等機器の異常も無く、所期の目的を達成して無事除染を終了することができた。

## 9. 終りに

今定検では原子炉冷却系Aループの再循環ポンプ及び下部ヘッダの分解点検作業における被ばく低減を主目的に、前回Bループにおいてその有効性が実証された酸化還元除染法(HOP法)による、原子炉冷却系Aループの系統化学除染を、平成12年8月24日から9月2日にかけて行い、前回Bループの結果を上回る良好な除染結果を得るとともに、無事計画通り終了した。

系統化学除染の実施にあたっては前回の経験を踏まえ、所内に除染WGを設置し、計画検討、実施計画、現場調査等各段階において各課の協力の元に作業を進めた。これら作業を進めるにあたって、激励、助言、監督指導頂いた関係各位に本紙上をお借りして感謝する次第である。

また、除染担当メーカーである(株)日立製作所及び栗田エンジニアリング(株)殿には、計画段階から多大なる御協力を頂き、穴沢氏及び玉川氏を始めとする関係各位に感謝する次第である。更に除染実施にあたって担当頂いた三菱重工業(株)殿斉木氏を始めとする関係各位、及び富士電機(株)殿元島氏を始めとする関係各位にも厚く御礼申し上げる次第である。

今回「ふげん」での除染結果は前回の結果を上回るものであり、これらは前回その有効性が実証されたHOP法が、その後の軽水炉特にBWRでの除染実績を踏まえて改善され、それらの結果を基にした除染計画が妥当なものであったことを示しており、HOP法が確立したものといえる。

今後は「ふげん」で得られた知見を、廃炉措置時における除染や、軽水炉に反映させて行く予定である。今後とも、関係各位の御協力をお願いする。

添付試料 5-1

A 系系統化学除染水質分析データ

測定項目	除染ステップ			昇温					酸化(I)					再昇温			還元(I)													
	サンプリング指標			昇温開始から			KMnO <sub>4</sub> 注入完了から					酸化剤分解(I)					RHRポンプ起動から			C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 注入完了から										
	採取日時			0 h	2 h	3.3 h	0 h	0.5 h後	1 h後	2 h後	最終	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	0.5h	1.5h	2.5h	0h後	1h後	2h後	3h後	4h後	5h後	6h後	8h後			
	8/24 13:00			8/24 15:00	8/24 16:15	8/24 18:00	8/24 18:30	8/24 19:00	8/24 20:00	8/24 21:00	8/25 0:38	8/25 0:38	8/25 1:55	8/25 4:35	8/25 5:00	8/25 5:45	8/25 7:05	8/25 7:05	8/25 7:05	8/25 9:34	8/25 10:34	8/25 11:34	8/25 12:34	8/25 13:34	8/25 14:34	8/25 15:34	8/25 17:34			
樹脂塔流量																														
再循環系	導電率 (μS/cm)	1.7	1.7	1.8	454	413	373	366	359	3640					2610		1430	1300	2500	2460	2390	3410	3100	3030	3020	3000				
	pH (at25°C)	5.6	5.6	5.5	6.8	7.0	7.2	9.0	9.6	2.1					2.3		2.6	2.5	2.4	2.6	2.7	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4			
	KMnO <sub>4</sub> (ppm)				545	502	474	450	444	<1							<1	<1												
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (ppm)									1570							974	765	2010	1880	1940	1950	1900	1890	1890	1900				
	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)									<1						30	48		460	490	560	390	365	360	380	390				
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)																													
	TOC (ppm)																													
	全放射能	TCo-60 (Bq/ml)	1.04E+3	2.25E+2	9.35E+1	9.30E+1	1.08E+2	1.27E+2	1.04E+2	9.48E+1	2.38E+3						4.32E+3	3.13E+3	5.56E+3	7.47E+3	7.40E+3	6.70E+3	6.05E+3	5.87E+3	5.23E+3	4.10E+3				
		TCo-58 (Bq/ml)	1.03E+2	2.95E+1	1.85E+1	1.86E+1	2.26E+1	3.15E+1	2.85E+1	2.46E+1	7.08E+2						6.12E+2	4.76E+2	8.68E+2	9.11E+2	8.75E+2	3.94E+2	7.18E+2	4.81E+2	5.57E+2	4.83E+2				
		TMn-54 (Bq/ml)	1.13E+3	3.50E+2	2.45E+2	2.20E+2	2.69E+2	3.19E+2	2.89E+2	2.56E+2	1.31E+3						2.97E+3	2.48E+3	3.84E+3	4.96E+3	4.39E+3	3.16E+3	3.68E+3	2.58E+3	2.91E+3	2.44E+3				
		TFe-59 (Bq/ml)	1.04E+3	3.22E+2	2.23E+2	2.34E+2	2.65E+2	3.14E+2	2.99E+2	2.60E+2	2.53E+3						3.98E+3	3.30E+3	7.91E+3	1.12E+4	1.14E+4	1.10E+4	1.22E+4	1.29E+4	1.28E+4	1.34E+4				
		TCr-51 (Bq/ml)	2.23E+3	3.57E+2	2.58E+2	2.42E+4	2.82E+4	3.04E+4	3.36E+4	3.53E+4	4.23E+4						2.65E+4	2.05E+4	4.28E+4	5.43E+4	5.77E+4	5.73E+4	6.34E+4	6.12E+4	6.22E+4	6.37E+4				
		TZn-65 (Bq/ml)	7.42E+1	<1.26E+1	1.05E+1	8.71E+0	<9.44E+0	<1.12E+1	<1.30E+1	1.39E+1	2.31E+2						3.03E+2	1.90E+2	4.08E+2	<5.97E+2	<6.49E+2	<5.49E+2	<5.93E+2	5.54E+2	<6.36E+2	<3.75E+2				
		FCo-60 (Bq/ml)	1.10E+1	9.44E+0	8.56E+0	2.69E+0	1.69E+0	<1.77E+0	<1.77E+0	<1.64E+0	2.43E+3						3.18E+3	2.26E+3	4.28E+3	5.64E+3	5.65E+3	4.58E+3	5.06E+3	4.24E+3	3.88E+3	3.27E+3				
		FCo-58 (Bq/ml)	2.58E+0	<1.81E+0	4.33E+0	1.44E+0	<8.61E-1	<1.45E+0	<1.45E+0	<1.57E+0	6.37E+2						5.74E+2	3.58E+2	5.78E+2	7.01E+2	6.39E+2	3.34E+2	5.50E+2	3.43E+2	3.97E+2	3.97E+2				
		FMn-54 (Bq/ml)	4.48E+0	5.10E+0	4.09E+0	<1.12E+0	1.94E+0	<1.34E+0	2.22E+0	2.46E+0	1.16E+3						1.30E+3	8.96E+2	1.81E+3	2.860E+3	3.03E+3	2.14E+3	2.00E+3	1.89E+3	1.89E+3	1.52E+3				
		FFe-59 (Bq/ml)	<3.096E+0	<3.65E+0	<4.66E+0	<2.37E+0	<2.25E+0	<3.71E+0	<2.52E+0	<3.00E+0	2.38E+3						2.35E+3	1.67E+3	6.07E+3	8.520E+3	9.39E+3	1.02E+4	1.38E+4	1.06E+4	1.12E+4	1.15E+4				
	FCr-51 (Bq/ml)	<9.576E+0	<8.14E+0	<8.40E+0	2.37E+4	2.82E+4	3.02E+4	3.23E+4	3.47E+4	4.23E+4						2.38E+4	1.84E+4	4.44E+4	4.880E+4	5.17E+4	5.29E+4	5.65E+4	4.98E+4	5.69E+4	5.88E+4					
	FZn-65 (Bq/ml)	9.84E+0	<3.65E+0	7.19E+0	3.64E+0	<2.13E+0	<3.31E+0	<3.69E+0	3.84E+0	2.35E+2						2.11E+2	1.06E+2	<4.99E+2	<5.49E+2	5.36E+2	<4.96E+2	4.63E+2	<4.78E+2	<5.19E+2	<3.84E+2					
	クラッド	CFe (ppm)	11.5	3.8	1.7	3.0	5.2	3.2	5.4	1.4	1.9					53	12.2	13.8	23.5	43.4	27.6	29.3	17.2	19	12.9					
CCr (ppm)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1					0.6	0.2	0.2	0.4	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3						
CNi (ppm)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1					0.5	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3						
CZn (ppm)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1					0.2	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1						
CFe (ppm)		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	30.8					69	60	150	172	182	195	196	209	203	202						
MF濾液	FCr (ppm)				1.9	2.3	2.5	2.7	2.8	1.0					0.8	0.7	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7					
	FNi (ppm)				<0.1				<0.1	2.5					3.9	2.7	2.1	2.4	2.5	2.2	2.0	1.7	1.5	1.2						
	FZn (ppm)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				<0.1	1.1					1.8	1.1	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4						
	Mn (ppm)				188				126							108		36	26	17.5	9.0	7.0	5.2	3.3	1.6					
	K (ppm)				137													25			16									
SS (ppm)	10	<5	<5	10		13	18	5																50						
SO <sub>4</sub> (ppm)																														
脱塩器出口	導電率 (μS/cm)														2870		1810	6110	5920	6080	4170	2850	3120	3070	2940					
	pH (at25°C)														2.2		2	1.9	1.9	1.8	2.1	2.4	2.3	2.3	2.3					
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (ppm)														1300			1980	1930	1880	1910	1880	1870	1840	1850					
	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)																	<1	<1	<1	140	400	400	390	400					
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)																													
	全放射能	TCo-60 (Bq/ml)														4.51E+3		1.79E+2	6.23E+2	8.14E+2	9.24E+2	8.35E+2	4.96E+2	4.54E+2	5.18E+2	2.56E+2				
		TCo-58 (Bq/ml)														9.79E+2		2.97E+1	6.50E+1	<1.88E+2	<2.03E+2	<1.90E+2	1.84E+2	<1.81E+2	<2.03E+2	<9.96E+1				
		TMn-54 (Bq/ml)														2.52E+3		3.86E+2	1.19E+3	1.64E+3	1.26E+3	1.16E+3	6.33E+2	3.68E+2	5.70E+2	3.04E+2				
		TFe-59 (Bq/ml)														4.46E+3		1.66E+3	8.23E+3	8.38E+3	9.99E+3	1.11E+4	1.00E+4	1.04E+4	1.05E+4	1.03E+4				
		TCr-51 (Bq/ml)														4.62E+4		1.83E+4	4.42E+4	5.09E+4	5.46E+4	5.78E+4	5.83E+4	6.02E+4	5.86E+4	6.20E+4				
TZn-65 (Bq/ml)															5.05E+2		<4.92E+1	<4.16E+2	<3.37E+2	<3.96E+2	<3.82E+2	<3.82E+2	<2.92E+2	<3.70E+2	<1.61E+2					
MF濾液	FCo-60 (Bq/ml)														4.30E+3		2.41E+1	1.20E+2	<2.15E+2	3.37E+2	1.82E+2	1.85E+2	2.39E+2	<1.73E+2	<6.09E+1					
	FCo-58 (Bq/ml)														9.08E+2		<2.48E+1	<1.69E+2	<1.55E+2	<1.79E+2	<1.90E+2	<2.11E+2	<1.99E+2	<2.03E+2	<9.65E+1					
	FMn-54 (Bq/ml)														1.95E+3		<2.64E+1	<1.91E+2	<1.70E+2	1.89E+2	<1.90E+2	<1.60E+2	<2.21E+2	<2.14E+2	<1.04E+2					
	FFe-59 (Bq/ml)														3.78E+3		1.26E+3	6.11E+3	7.04E+3	7.54E+3	9.17E+3	9.04E+3	8.87E+3	8.45E+3	9.80E+3					
	FCr-51 (Bq/ml)														4.54E+4		1.77E+4	4.05E+4												















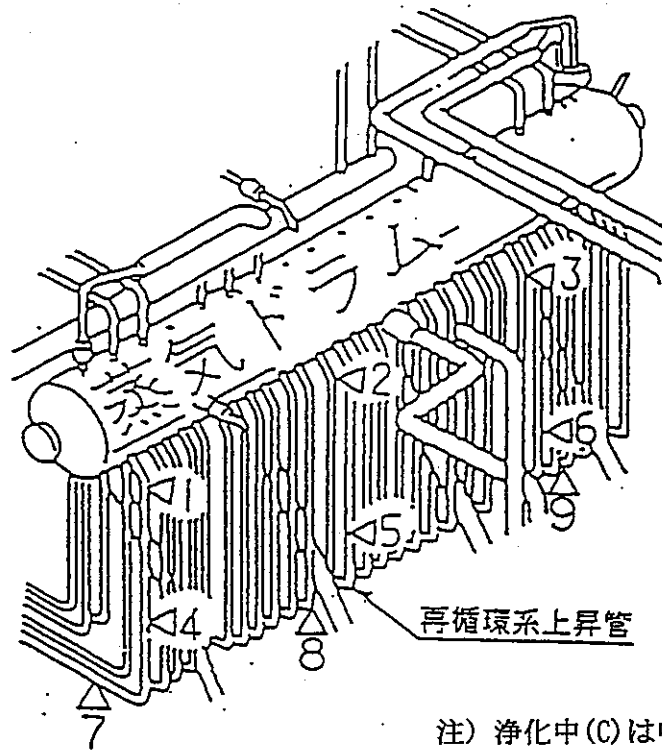
測定項目	除染ステップ サンプリング指標 採取日時	最終浄化 浄化開始から								フラッシング(I) 浄化開始から								フラッシング(II) 浄化開始から								
		5h	7h	10h	12.5h	13.5h	14.5h	15h	15.5h	最終	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	最終	0h	0h	7h	10h	13h	最終	
		8/29 16:31	8/29 18:31	8/29 21:00	8/29 23:30	8/30 0:30	8/30 1:30	8/30 2:00	8/30 2:30	8/30 3:00	8/30 22:30	8/30 23:30	8/31 0:30	8/31 1:30	8/31 2:30	8/31 3:30	8/31 4:30	8/31 5:30	8/31 6:05	8/31 6:05	8/31 9:45	8/31 11:15	8/31 13:00	8/31 15:45	8/31 16:45	8/31 17:45
触媒塔出口	pH (at25℃)																									
	C2H2O4 (ppm)																									
	N2H4 (ppm)																									
	H2O2 (ppm)																									
	全放射能	Co-60 (Bq/ml)																								
		Co-58 (Bq/ml)																								
		Mn-54 (Bq/ml)																								
		Fe-59 (Bq/ml)																								
		Cr-51 (Bq/ml)																								
	MF濾液	Zn-65 (Bq/ml)																								
		Co-60 (Bq/ml)																								
		Co-58 (Bq/ml)																								
		Mn-54 (Bq/ml)																								
		Fe-59 (Bq/ml)																								
	クラッド	Cr-51 (Bq/ml)																								
		Zn-65 (Bq/ml)																								
		Fe (ppm)																								
		Cr (ppm)																								
		Ni (ppm)																								
	MF濾液	Zn (ppm)																								
Fe (ppm)																										
Cr (ppm)																										
Ni (ppm)																										
Zn (ppm)																										
低圧サイジタンク	Mn (ppm)																									
	導電率 (μS/cm)	5.8							1.8																	
	pH (at25℃)	5.00							5.40																	
	KMnO4 (ppm)								-																	
	C2H2O4 (ppm)								0.2																	
	N2H4 (ppm)								<0.02																	
	H2O2 (ppm)																									
	TOC (ppm)																									
	全放射能	TCo-60 (Bq/ml)								<9.84E-2																
		TCo-58 (Bq/ml)								<7.90E-2																
		TMn-54 (Bq/ml)								<8.86E-2																
		TFe-59 (Bq/ml)								3.06E-2																
		TCr-51 (Bq/ml)								4.64E+0																
	MF濾液	TZn-65 (Bq/ml)								<1.70E-1																
		FCo-60 (Bq/ml)								1.40E-1																
		FCo-58 (Bq/ml)								<7.90E-2																
		FMn-54 (Bq/ml)								<8.03E-2																
		FFe-59 (Bq/ml)								<1.51E-1																
	クラッド	FCr-51 (Bq/ml)								4.08E+0																
		FZn-65 (Bq/ml)								<2.40E-1																
OFe (ppm)									<0.1																	
OCr (ppm)									<0.1																	
ONi (ppm)									<0.1																	
MF濾液	OZn (ppm)								<0.1																	
	FFe (ppm)								<0.1																	
	FCr (ppm)								<0.1																	
	FNi (ppm)								<0.1																	
	FZn (ppm)								<0.1																	
液	Mn (ppm)								<0.1																	
	K (ppm)								1.0																	
	TOC								0.1																	

添付試料 5-2

A 系系統化学除染線量当量率測定データ

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 12系統 機器配管名称 上昇管 実施メーカー 三菱重工



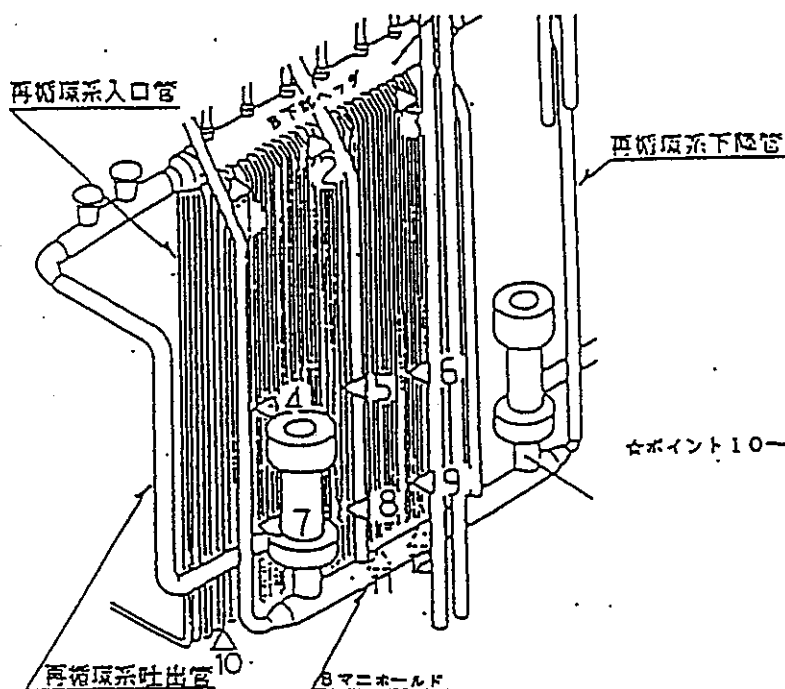
注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日 9時50分		IA-13	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		IA-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	1.00	0.17	5.9	0.60	1.7	
2	1.20	0.15	8.0	0.50	2.4	
3	2.50	0.17	14.7	1.00	2.5	
4	3.00	0.18	16.7			
5	6.00	0.25	24.0			
6	3.50	0.35	10.0			
7	4.00	0.60	6.7			
8	8.00	0.41	19.5			
9	4.00	0.20	20.0			
合計	33.20	2.48	—	—	—	備考:
平均DF	3.69	0.28	13.4	—	—	



機器・配管表面線量当量率測定

系統番号	12系統	機器配管名称	入口管	実施メーカー	三菱重工
------	------	--------	-----	--------	------



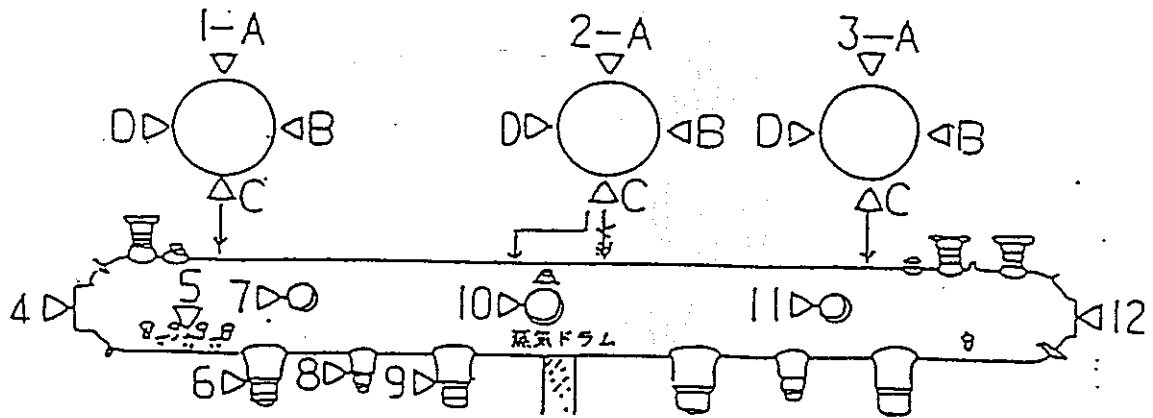
☆ポイント10-12は入口管の水平部を測定。

注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プリント条件		
除染前	8月23日10時15分		IA-13	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		IA-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	3.50	0.10	35.0	0.35	10.0	
2	3.00	0.25	12.0	0.50	6.0	
3	3.50	0.30	11.7	0.50	7.0	
4	3.00	0.04	75.0			
5	5.00	0.05	100.0			
6	4.50	0.05	90.0			
7	2.50	0.04	71.4			
8	5.00	0.04	125.0			
9	4.50	0.04	112.5			
10	2.50	0.18	13.9			
11	4.50	0.022	204.5			
12	4.00	0.20	20.0			
合計	45.50	1.31	—	—	—	備考:
平均DF	3.79	0.11	38.0	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 A蒸気ドラム 実施メーカー 三菱重工

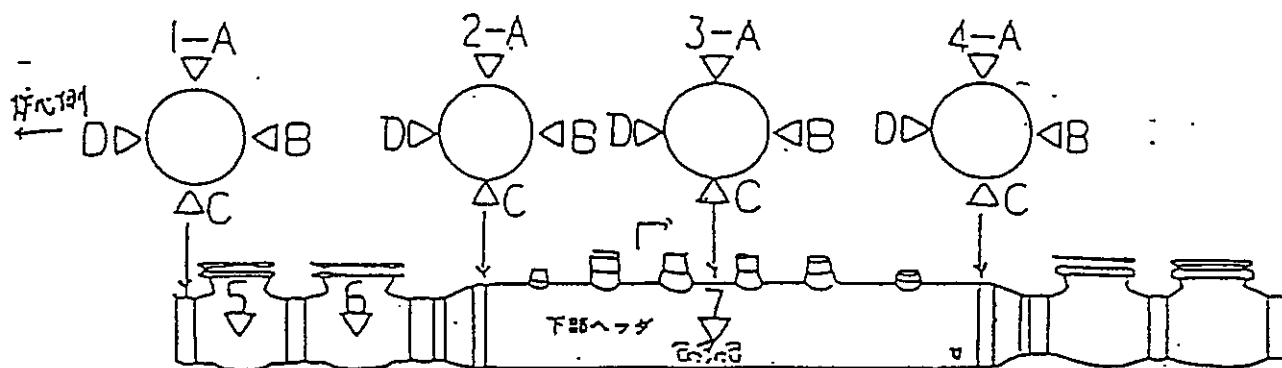


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h  
プラント条件

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月23日10時15分	IA-13				
除染後	8月30日15時00分	IA-13				
中間浄化中	8月27日00時40分	IA-34				
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1-A※	0.20	0.15	1.3			
1-B※	0.80	0.18	4.4	0.50	1.6	
1-C	0.75	0.45	1.7	0.65	1.2	
1-D※	0.80	0.50	1.6			
2-A※	0.21	0.20	1.1			
2-B※	0.85	0.16	5.3	0.50	1.7	
2-C	2.20	0.35	6.3	0.80	2.8	
2-D※	1.00	0.14	7.1			
3-A※	0.20	0.20	1.0			
3-B※	0.65	0.50	1.3	0.50	1.3	
3-C	1.80	0.20	9.0	0.55	3.3	
3-D※	1.00	0.80	1.3			
4※	0.07	0.05	1.4	0.07	1.0	
5	0.40	0.30	1.3			
6	1.50	0.30	5.0			
7※	1.00	0.50	2.0			
8※	2.00	0.35	5.7			
9	2.10	0.15	14.0			
10※	0.55	0.20	2.8	0.35	1.6	
11※	0.85	0.95	0.9			
12※	0.10	0.05	2.0	0.08	1.3	
合計	8.75	1.75	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	1.46	1.01	1.4	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 A下部ヘッド 実施メーカー 三菱重工

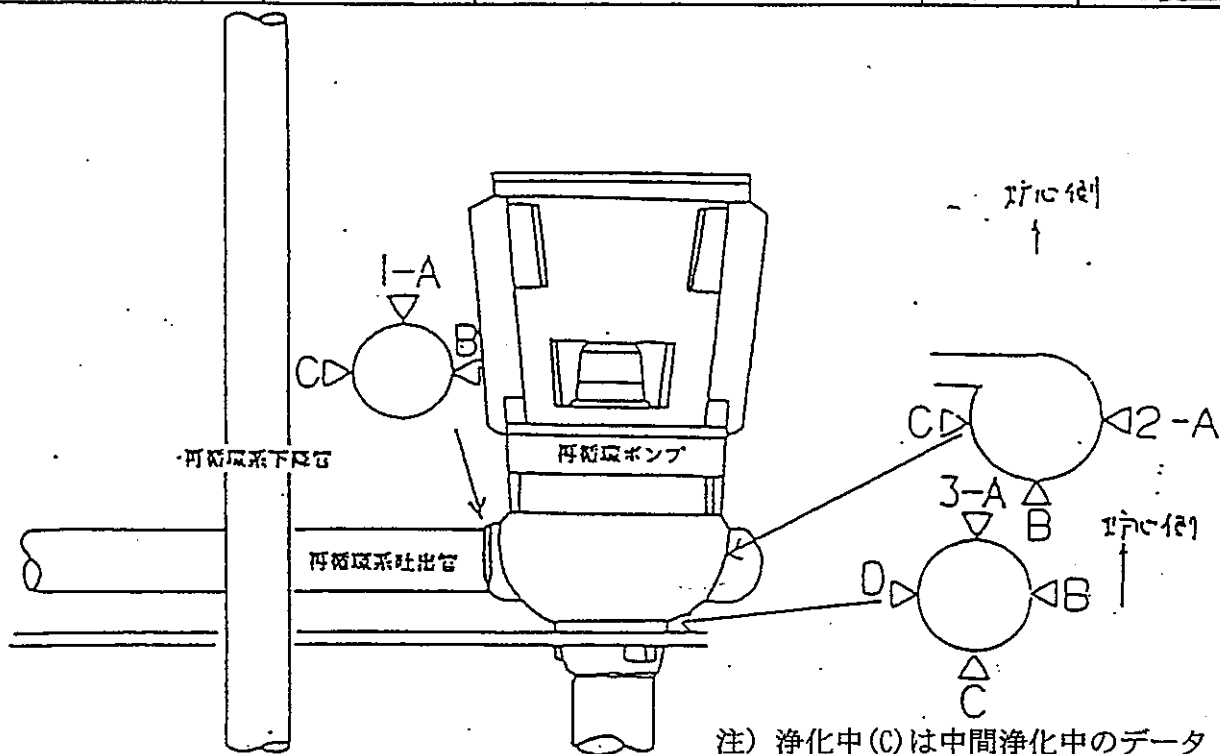


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日14時30分		IA-13	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		IA-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1-A※	1.00	0.10	10.0			
1-B※	0.85	0.08	10.6	0.13	6.5	
1-C※	0.70	0.08	8.8	0.11	6.4	
1-D※	0.90	0.09	10.0			
2-A	1.40	0.15	9.3			
2-B	1.40	0.08	17.5	0.25	5.6	
2-C	1.80	0.15	12.0	0.20	9.0	
2-D	1.00	0.08	12.5			
3-A	1.60	0.30	5.3			
3-B	2.50	0.10	25.0	0.65	3.8	
3-C	4.00	0.25	16.0	0.35	11.4	
3-D	4.50	0.18	25.0			
4-A	1.40	0.20	7.0			
4-B	1.50	0.15	10.0	0.35	4.3	
4-C	2.40	0.10	24.0	0.14	17.1	
4-D	1.60	0.10	16.0			
5 ※	1.20	0.15	8.0			
6 ※	1.50	0.12	12.5			
7	2.70	0.24	11.3	0.55	4.9	
合計	27.80	2.08	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	2.14	0.16	13.4	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 C再循環ポンプ 実施メーカー 三菱重工

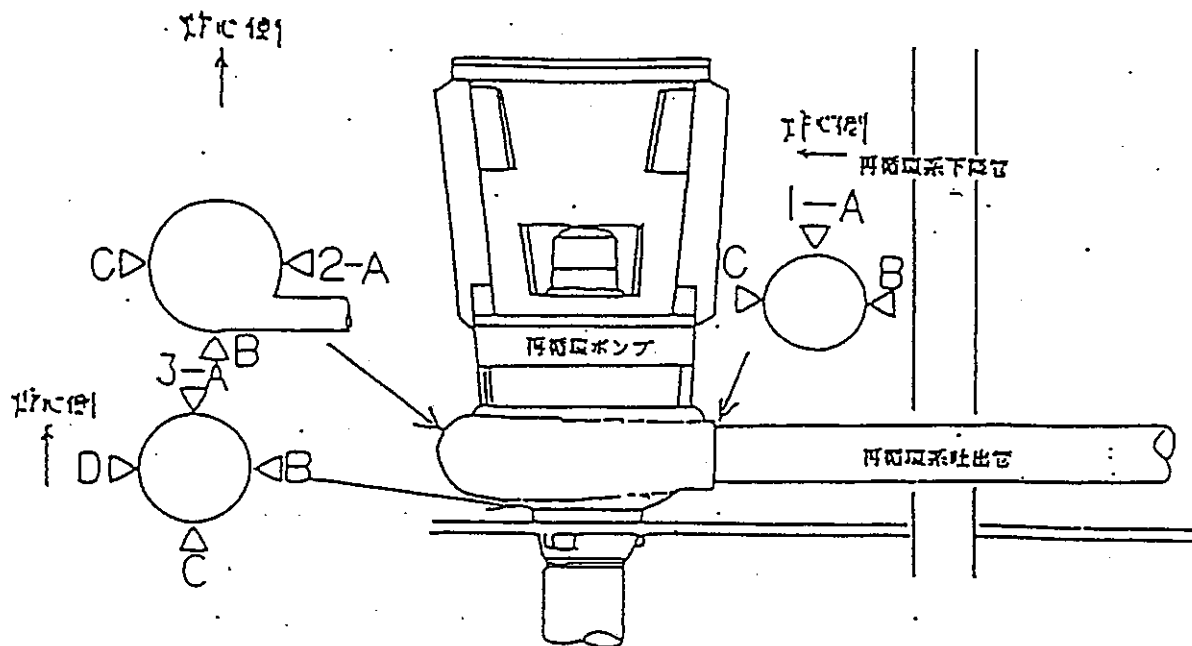


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日14時30分		IA-13			
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		IA-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1-A	1.30	0.020	65.0			
1-B	1.10	0.024	45.8	0.060	18.3	
1-C	1.00	0.010	100.0			
2-A	0.80	0.015	53.3			
2-B	0.20	0.006	33.3	0.020	10.0	
2-C	0.35	0.006	58.3			
3-A	1.00	0.130	7.7			
3-B	0.85	0.060	14.2	0.040	21.3	
3-C	1.00	0.015	66.7			
3-D	1.30	0.040	32.5			
合計	8.90	0.326	—	—	—	備考:
平均DF	0.89	0.033	27.3	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 A再循環ポンプ 実施メーカー 三菱重工

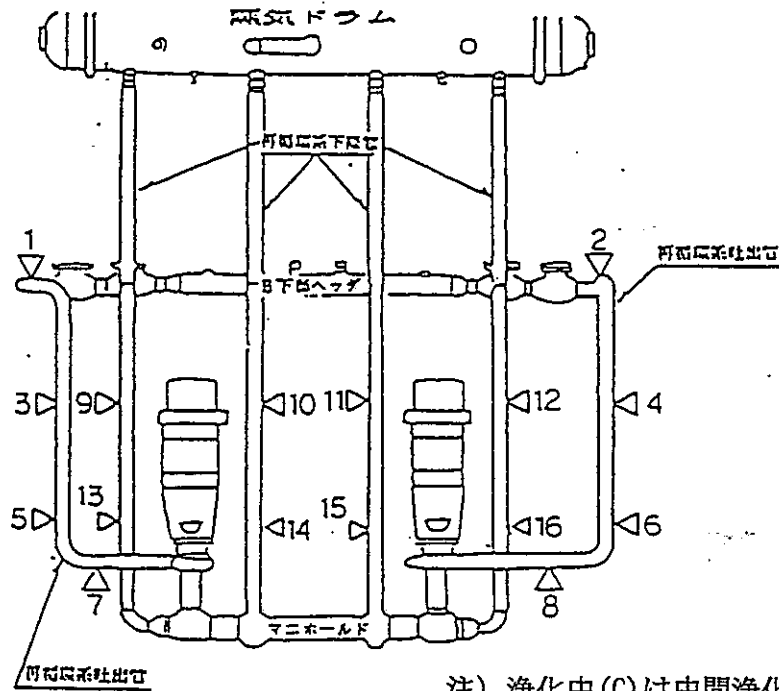


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日14時30分		IA-13			
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		IA-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1-A	0.80	0.018	44.4			
1-B	0.70	0.025	28.0	0.055	12.7	
1-C	0.82	0.002	410.0			
2-A	0.50	0.022	22.7			
2-B	0.20	0.015	13.3	0.030	6.7	
2-C	0.82	0.030	27.3			
3-A	1.00	0.065	15.4			
3-B	0.90	0.065	13.8	0.090	10.0	
3-C	1.10	0.230	4.8			
3-D	1.30	0.200	6.5			
合計	8.14	0.672	—	—	—	備考:
平均DF	0.81	0.067	12.1	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 下降管・吐出管 実施メーカー 三菱重工

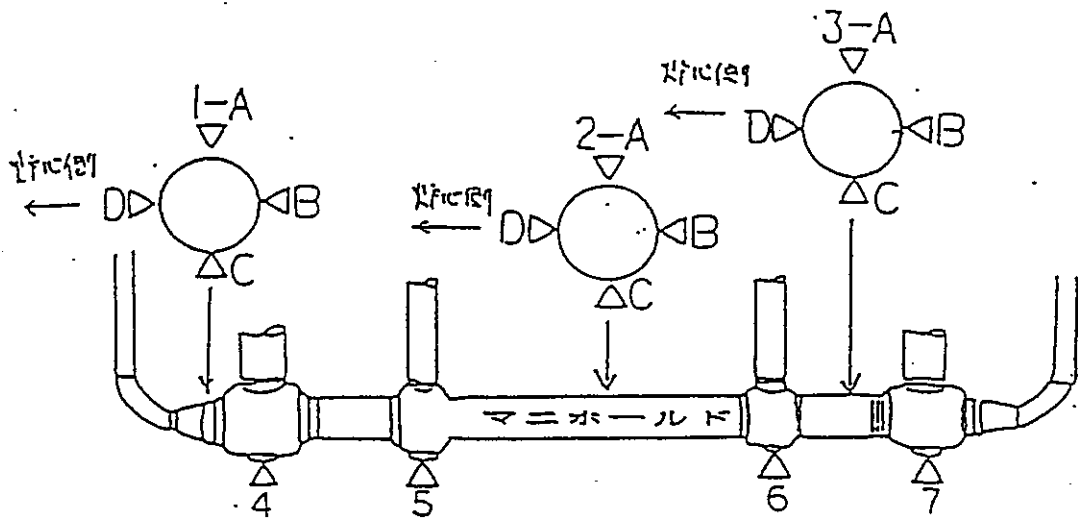


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日10時15分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		IA-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	1.20	0.080	15.0			
2	0.90	0.035	25.7			
3	3.00	0.300	10.0	0.550	5.5	
4	1.50	0.140	10.7	0.350	4.3	
5	0.85	0.010	85.0	0.030	28.3	
6	1.30	0.030	43.3	0.055	23.6	
7	0.80	0.008	106.7			
8	0.90	0.045	20.0			
9	1.20	0.026	46.2	0.055	21.8	
10	1.80	0.020	90.0	0.060	30.0	
11	1.70	0.020	85.0	0.070	24.3	
12	1.40	0.045	31.1	0.095	14.7	
13	1.30	0.008	162.5	0.040	32.5	
14	3.50	0.018	194.4	0.070	50.0	
15	1.50	0.015	100.0	0.055	27.3	
16	1.30	0.090	14.4	0.065	20.0	
合計	24.15	0.890	—	—	—	備考:
平均DF	2.94	0.106	27.7	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 マニホールド 実施メーカー 三菱重工

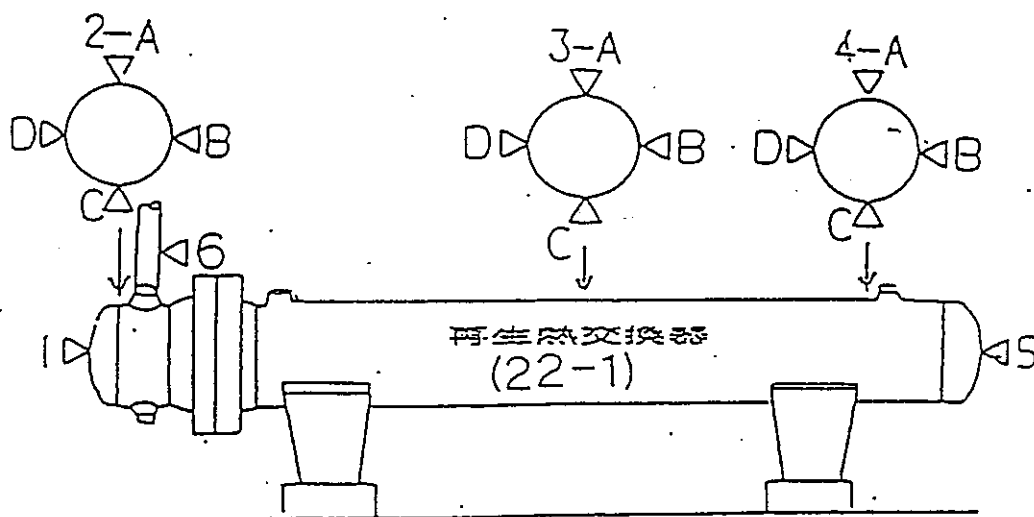


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月23日 9時30分	AE-34				
除染後	8月30日15時00分	IA-13				
中間浄化中	8月27日00時40分	AE-34				
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1-A	0.90	0.040	22.5			
1-B	0.70	0.015	46.7	0.030	23.3	
1-C	0.65	0.040	16.3	0.060	10.8	
1-D	0.80	0.045	17.8			
2-A	0.75	0.090	8.3			
2-B	0.45	0.030	15.0	0.070	6.4	
2-C	0.40	0.045	8.9	0.060	6.7	
2-D	1.20	0.300	4.0			
3-A	1.00	0.170	5.9			
3-B	0.60	0.080	7.5	0.110	5.5	
3-C	0.75	0.140	5.4	0.250	3.0	
3-D	1.00	0.240	4.2			
4	0.15	0.025	6.0			
5	0.35	0.065	5.4			
6	0.30	0.065	4.6			
7	0.14	0.050	2.8			
合計	10.14	1.440	—	—	—	備考:
平均DF	0.63	0.090	7.0	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 再生熱交換器(22-1) 実施メーカー 三菱重工



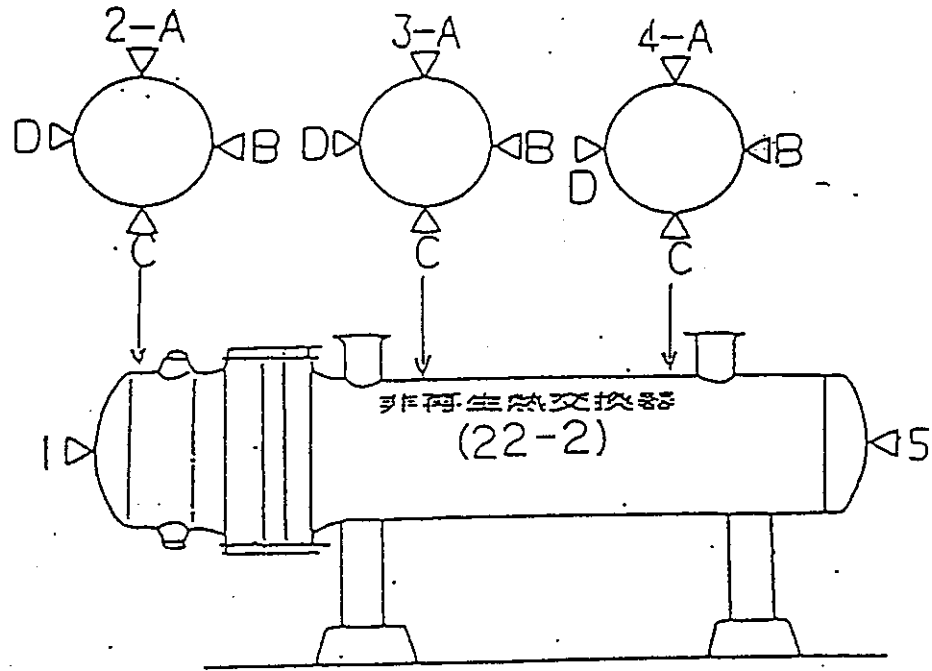
単位: mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日10時40分	AE-13	NWL			
除染後	8月30日15時00分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.14	0.180	0.8			
2-A	0.21	0.160	1.3			
2-B	0.14	0.150	0.9			
2-C	0.13	1.200	0.1			
2-D	0.15	0.180	0.8			
3-A	0.17	0.350	0.5			
3-B	0.12	0.080	1.5			
3-C	0.12	0.550	0.2			
3-D	0.14	0.350	0.4			
4-A	0.14	0.700	0.2			
4-B	0.11	0.100	1.1			
4-C	0.11	0.450	0.2			
4-D	0.13	0.650	0.2			
5	0.035	0.090	0.4			
6	0.27	0.150	1.8			
合計	2.12	5.340	—	—	—	備考:
平均DF	0.14	0.36	0.4	—	—	



機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 非再生熱交換器(22-2) 実施メーカー 三菱重工

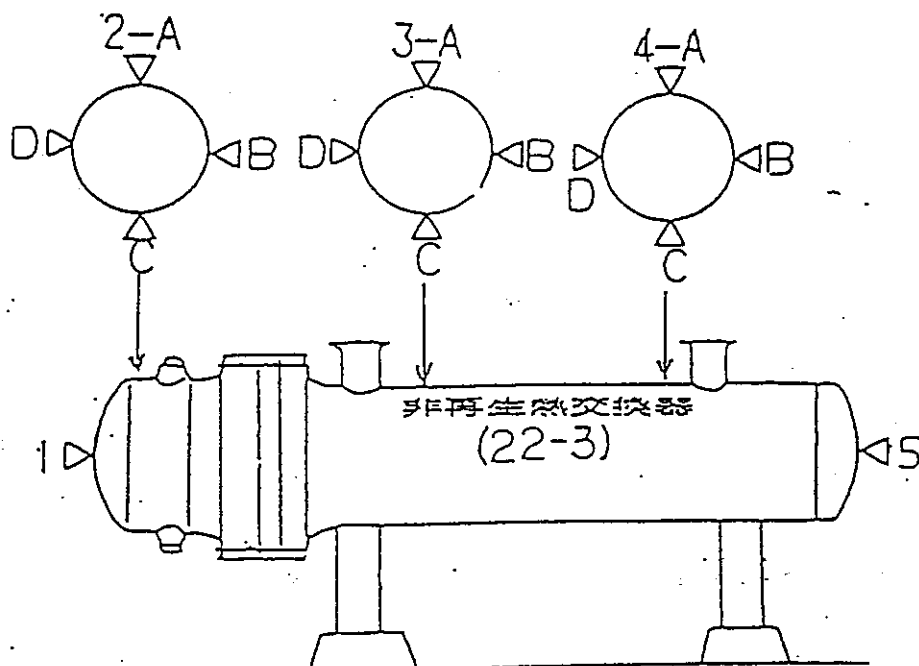


単位：mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日10時40分	AE-13	NWL			
除染後	8月30日20時30分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.16	0.250	0.6			
2-A	0.10	0.110	0.9			
2-B	0.13	0.180	0.7			
2-C	0.12	3.000	0.0			
2-D	0.07	0.190	0.4			
3-A	0.55	1.250	0.4			
3-B	0.55	4.500	0.1			
3-C	0.50	2.500	0.2			
3-D	0.60	4.500	0.1			
4-A	0.50	2.500	0.2			
4-B	0.45	3.000	0.2			
4-C	0.50	8.000	0.1			
4-D	0.55	4.000	0.1			
5	0.04	0.450	0.1			
合計	4.82	34.430	—	—	—	備考：
平均DF	0.34	2.46	0.1	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 再生熱交換器(22-3) 実施メーカー 三菱重工

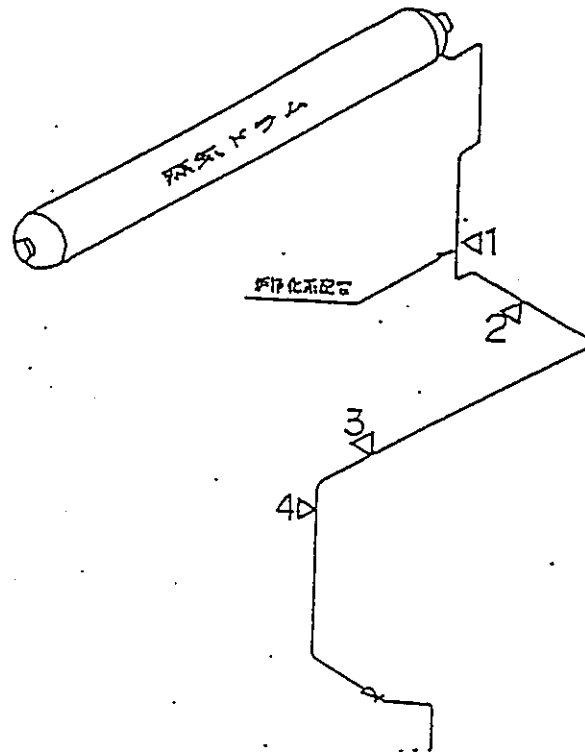


単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日10時35分		AE-13	NWL		
除染後	8月30日20時30分		AE-36			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.07	0.250	0.3			
2-A	0.085	0.130	0.7			
2-B	0.10	0.250	0.4			
2-C	0.18	0.200	0.9			
2-D	0.05	0.300	0.2			
3-A	0.50	1.100	0.5			
3-B	0.20	2.500	0.1			
3-C	0.17	7.000	0.0			
3-D	0.18	6.000	0.0			
4-A	0.17	2.500	0.1			
4-B	0.21	4.000	0.1			
4-C	0.20	40.000	0.0			
4-D	0.17	5.500	0.0			
5	0.035	0.350	0.1			
合計	2.32	70.080	—	—	—	備考:
平均DF	0.17	5.01	0.03	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 蒸気ドラム ~ 貫通部 実施メーカー 三菱重工

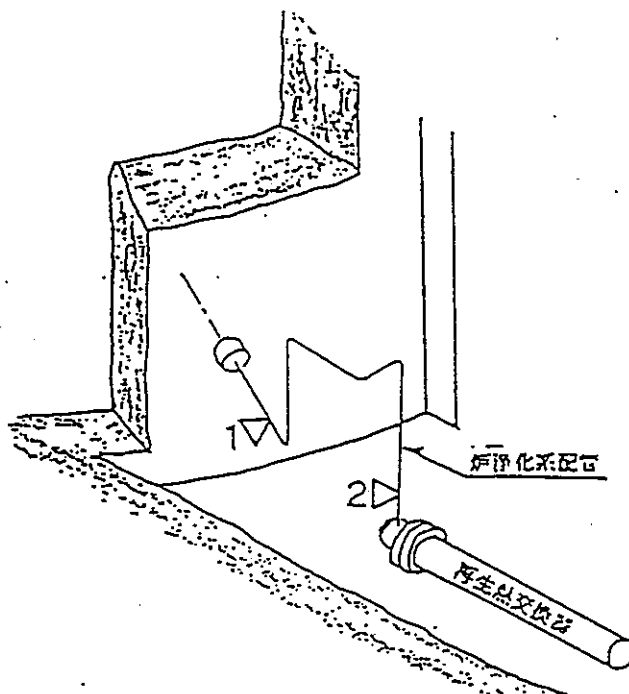


単位：mS·v/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日14時15分		IA-13	NWL		
除染後	8月30日20時30分		AE-36			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.80	0.200	4.0			
2	0.85	0.200	4.3			
3	0.70	0.180	3.9			
4	0.75	0.170	4.4			
合計	3.10	0.750	—	—	—	備考：
平均DF	0.78	0.19	4.1	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 貫通部 ~ 再生熱交 実施メーカ 三菱重工

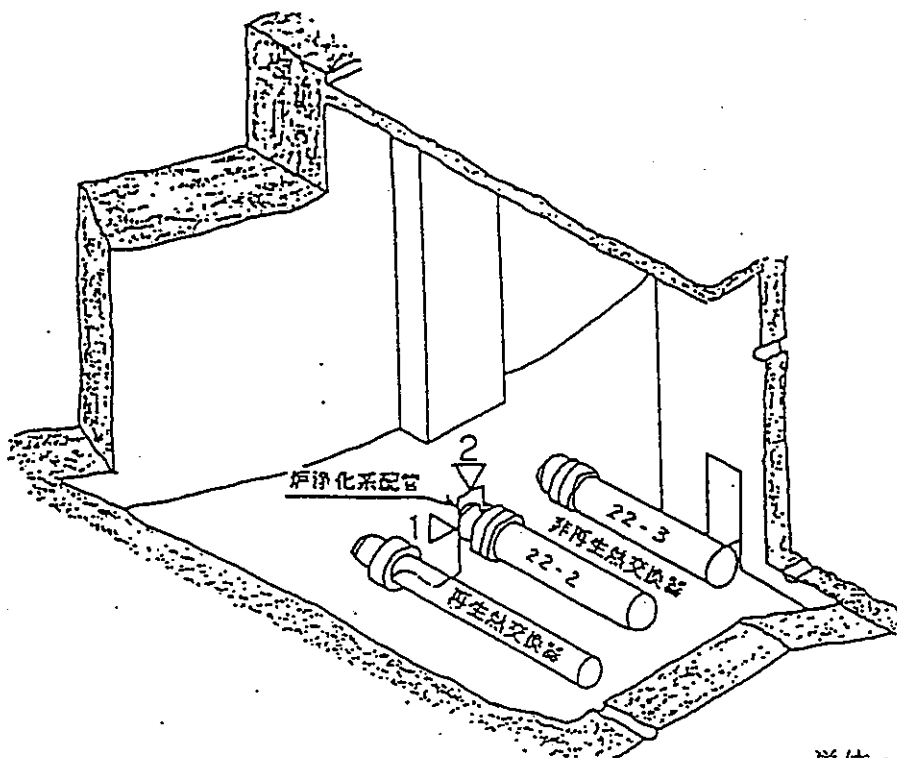


単位 : mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22 9時50分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日20時20分		AE-36			
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.80	0.250	3.2			
2	0.70	0.150	4.7			
合計	1.50	0.400	—	—	—	備考:
平均DF	0.75	0.20	3.8	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 再生熱交換器 ~ 非再生熱交換器実施メーカー 三菱重工

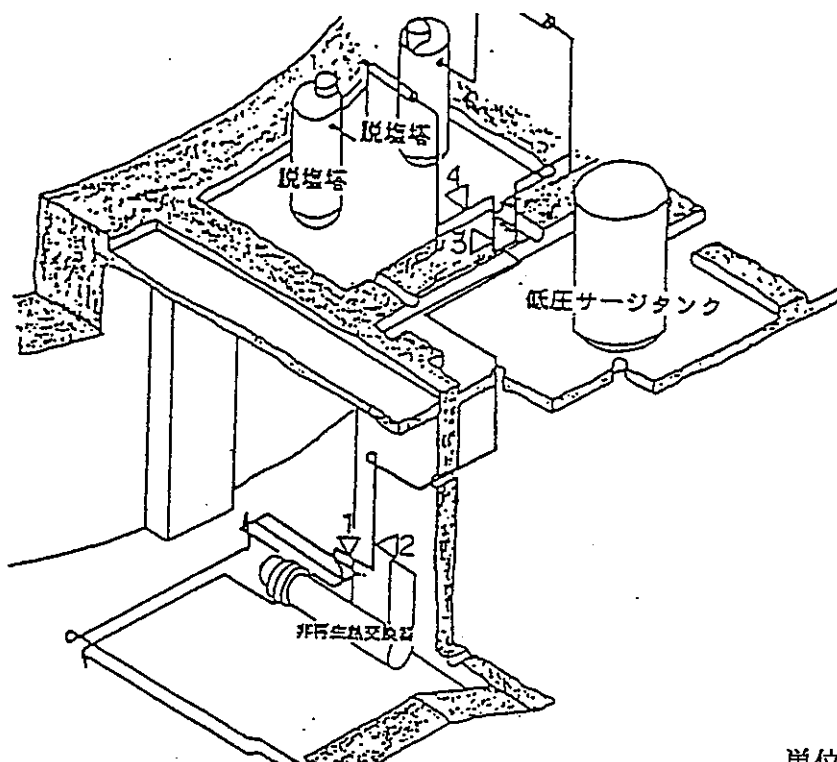


単位：mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日10時20分	AE-34	NWL			
除染後	8月30日20時20分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.17	0.120	1.4			
2	0.18	0.600	0.3			
合計	0.35	0.720	—	—	—	備考：
平均DF	0.18	0.36	0.5	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 | 22系統 | 機器配管名称 | 非再生熱交換器 ~ 脱塩塔 | 実施メーカー | 三菱重工

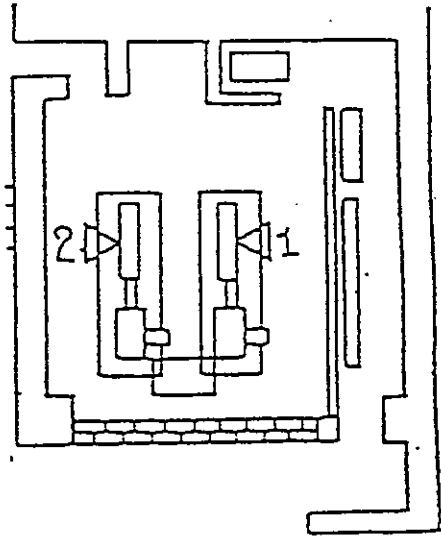


単位：mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日 9時20分		AE-14	NWL		
除染後	8月30日22時10分		AE-36			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(c)	a/c	測定条件
1	0.07	0.060	1.2			
2	0.10	0.060	1.7			
3	0.85	0.750	1.1			
4	0.30	0.230	1.3			
合計	1.32	1.100	—	—	—	備考：
平均DF	0.33	0.28	1.2	—	—	

### 機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 充填ポンプ 実施メーカー 三菱重工

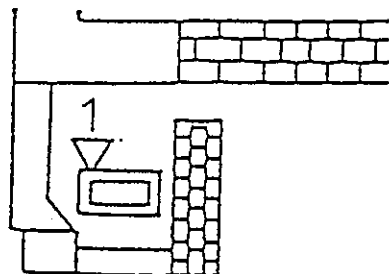


単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日 9時30分		AE-14	NWL		
除染後	8月30日 20時10分		AE-14			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.022	0.022	1.0			
2	0.015	0.012	1.3			
合計	0.037	0.034	—	—	—	備考:
平均DF	0.02	0.02	1.1	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 機器配管名称 ブースタポンプ 実施メーカー 三菱重工



単位：mSv/h

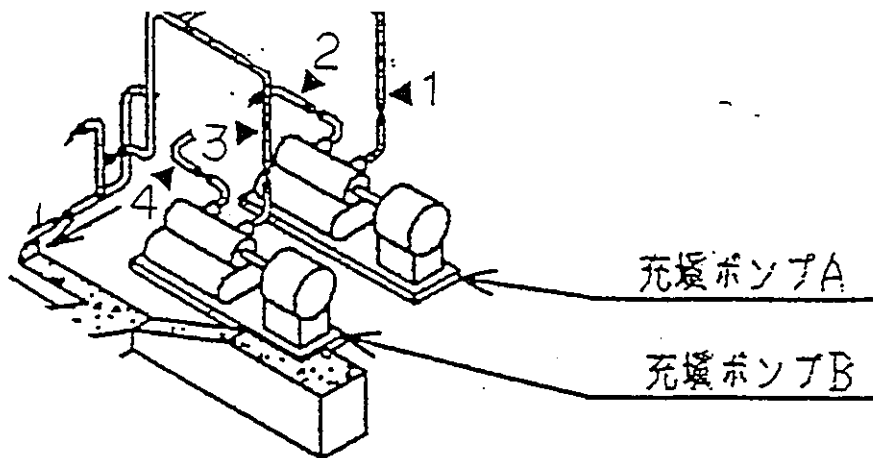
項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日10時15分		AE-14	NWL		
除染後	8月30日20時10分		AE-36			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.075	0.130	0.6			
合計	0.075	0.130	—	—	—	備考：
平均DF	0.08	0.13	0.6	—	—	





機器・配管表面線量当量率測定

系統番号	22系統	機器配管名称	充填ポンプ出入口配管	実施メーカー	三菱重工
------	------	--------	------------	--------	------

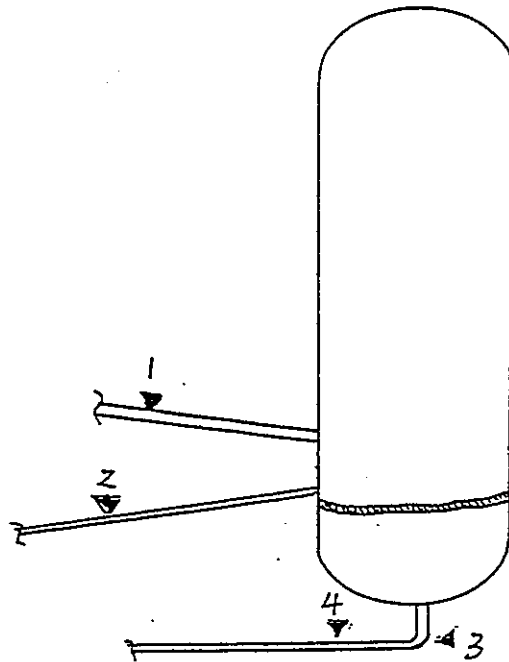


単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日 9時00分		AE-14	NWL		
除染後	8月30日 20時10分		AE-14			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.040	0.035	1.1			
2	0.035	0.050	0.7			
3	0.025	0.025	1.0			
4	0.020	0.015	1.3			
合計	0.120	0.125	—	—	—	備考:
平均DF	0.03	0.03	1.0	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 22系統 | 機器配管名称 低圧サージタンク出入口配管 | 実施メーカー 三菱重工



単位：mSv/h

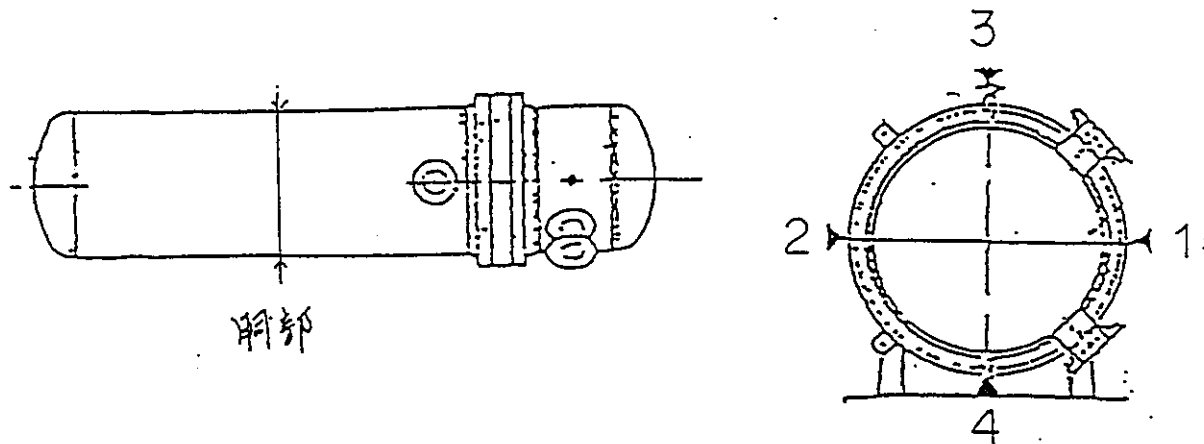
項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日10時45分	AE-14	NWL			
除染後	8月30日22時10分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.15	0.050	3.0			
2	0.21	0.110	1.9			
3	2.00	0.250	8.0			
4	0.40	0.220	1.8			
合計	2.760	0.158	—	—	—	備考：
平均DF	0.69	0.16	4.4	—	—	





機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 RHR熱交換器A, B 実施メーカー 三菱重工

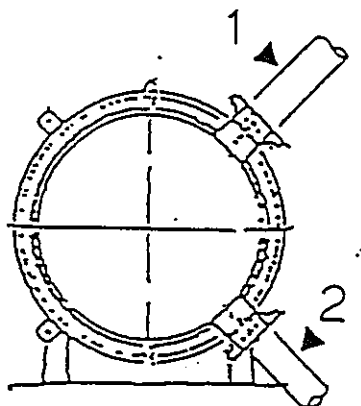


単位: mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日11時00分	AE-13	NWL			
除染後	8月30日00時40分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.32	0.60	0.5			A-RHR
2	0.20	0.60	0.3			A-RHR
3	0.19	0.50	0.4			A-RHR
4	0.55	0.50	1.1			A-RHR
1※	0.21	0.11	1.9			B-RHR
2※	0.14	0.14	1.0			B-RHR
3※	0.18	0.11	1.6			B-RHR
4※	0.40	0.30	1.3			B-RHR
						1, 2, 3; 鉛マット遮へい有り
合計	1.260	2.200	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	0.32	0.55	0.6	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号	21系統	機器配管名称	RHR熱交出入口配管	実施メーカー	三菱重工
------	------	--------	------------	--------	------

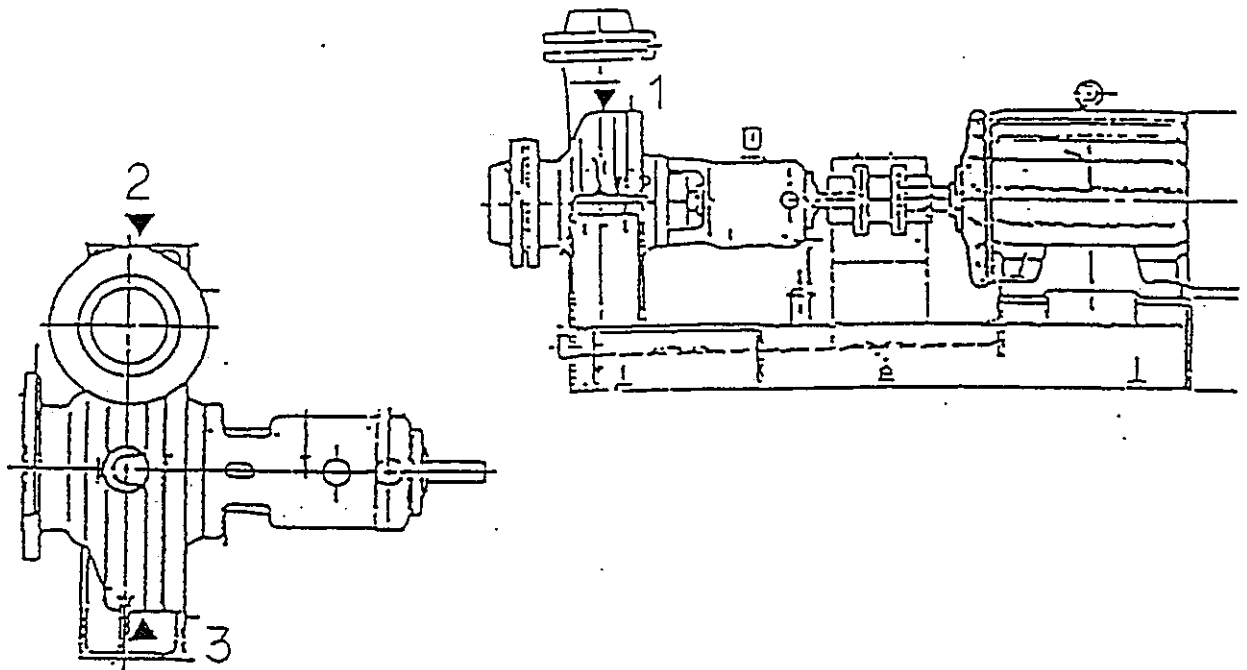


単位：mSv/h

項目	測定年月日			測定器No	プラント条件	
除染前	8月23日15時30分			IA-13	NWL	
除染後	8月31日00時40分			AE-36		
中間浄化中	月	日	時 分			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.12	0.20	0.6			
2	0.28	0.20	1.4			
合計	0.400	0.400	—	—	—	備考：
平均DF	0.20	0.20	1.0	—	—	

機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 RHRポンプA, B 実施メーカー 三菱重工



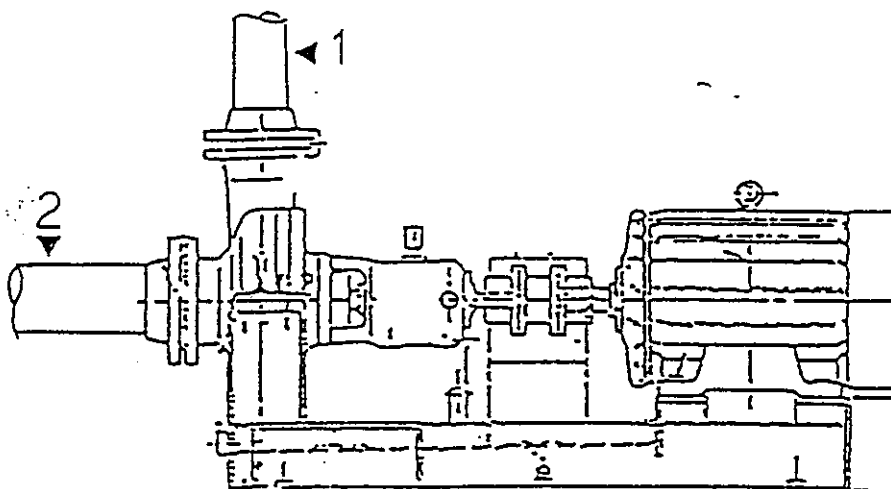
単位: mSv/h

項目	測定年月日			測定器No	プラント条件	
除染前	8月22日11時30分			AE-13	NWL	
除染後	8月31日01時40分			AE-36		
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.40	0.95	0.4			A-RHRポンプ側
2	0.50	0.25	2.0			
3	0.30	1.30	0.2			
1※	0.35	0.40	0.9			B-RHRポンプ側
2※	0.20	0.40	0.5			
3※	0.12	0.30	0.4			
合計	1.200	2.500	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	0.40	0.83	0.5	—	—	



機器・配管表面線量当量率測定

系統番号 21系統 機器配管名称 RHRポンプ出入口配管A, B 実施メーカー 三菱重工

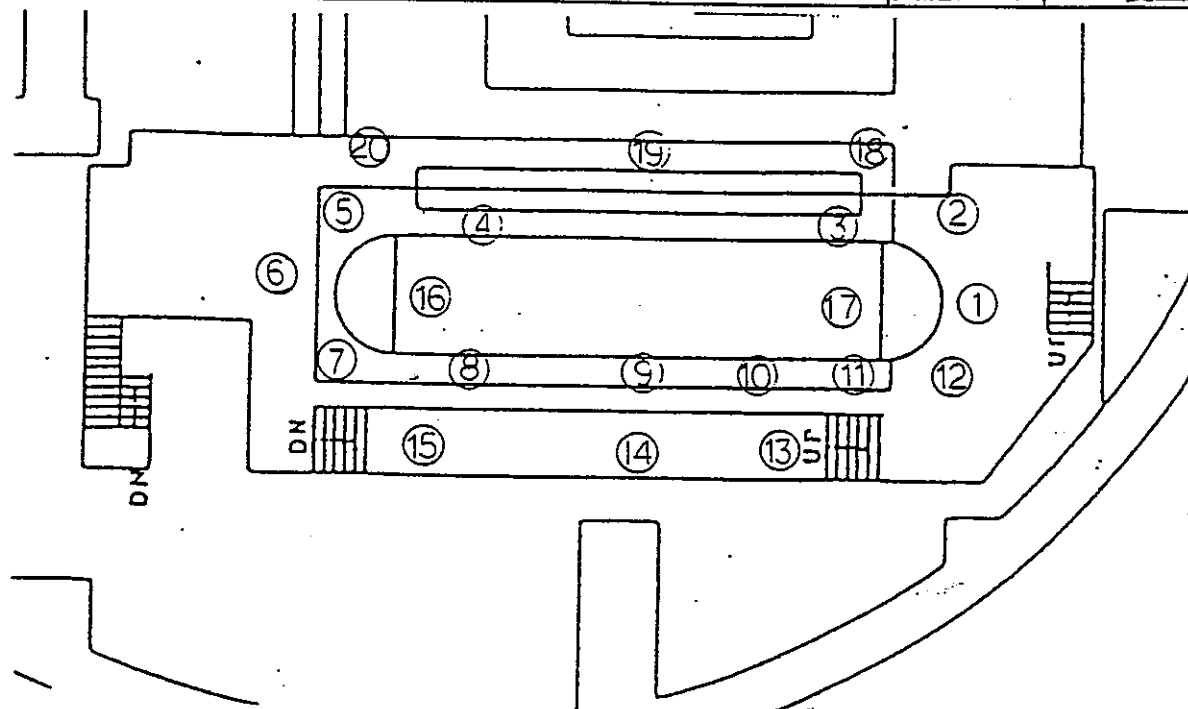


単位: mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日11時30分	AE-13	NWL			
除染後	8月31日01時40分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.18	1.10	0.2			A-RHRポンプ側
2	0.24	0.90	0.3			
1※	0.25	0.60	0.4			B-RHRポンプ側
2※	0.24	0.30	0.8			
合計	0.420	2.000	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	0.21	1.00	0.2	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名 R/B 場所(部屋名) ループ蒸気ドラム階 実施メーカー 三菱重工

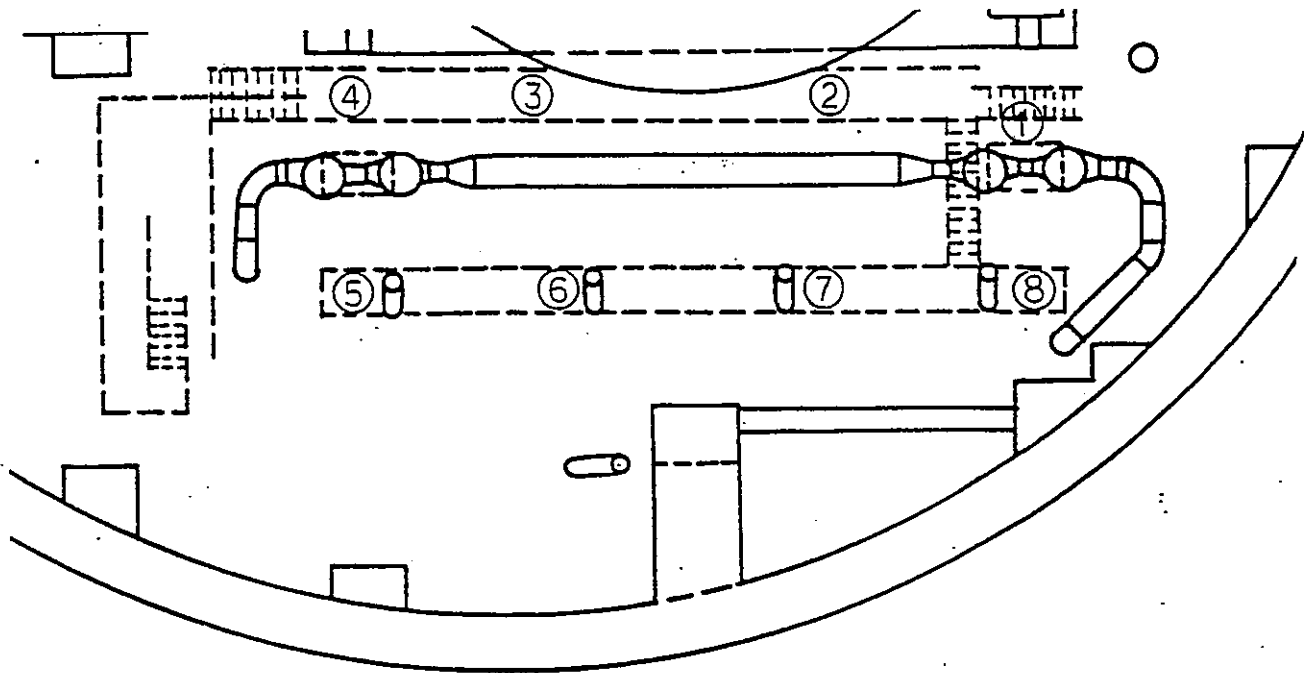


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日14時05分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		AE-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.15	0.110	1.4	0.100	1.5	
2	0.35	0.120	2.9			
3	0.75	0.150	5.0			
4	0.90	0.150	6.0			
5	0.40	0.100	4.0			
6	0.12	0.055	2.2	0.060	2.0	
7	0.35	0.120	2.9			
8	0.85	0.200	4.3			
9	0.90	0.120	7.5	0.450	2.0	
10	0.80	0.100	8.0	0.800	1.0	
11	0.65	0.350	1.9			
12	0.25	0.130	1.9			
13	0.12	0.120	1.0	0.140	0.9	
14	0.60	0.080	7.5	0.200	3.0	
15	0.50	0.065	7.7	0.075	6.7	
16	0.09	0.030	3.0			
17	0.05	0.050	1.0			
18	0.30	0.080	3.8	0.200	1.5	
19	0.70	0.120	5.8	0.250	2.8	
20	0.40	0.140	2.9	0.300	1.3	
合計	9.230	2.390	—	—	—	備考:
平均DF	0.462	0.120	3.9	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名 R/B 場所 (部屋名) ループヘッダー階 実施メーカ 三菱重工

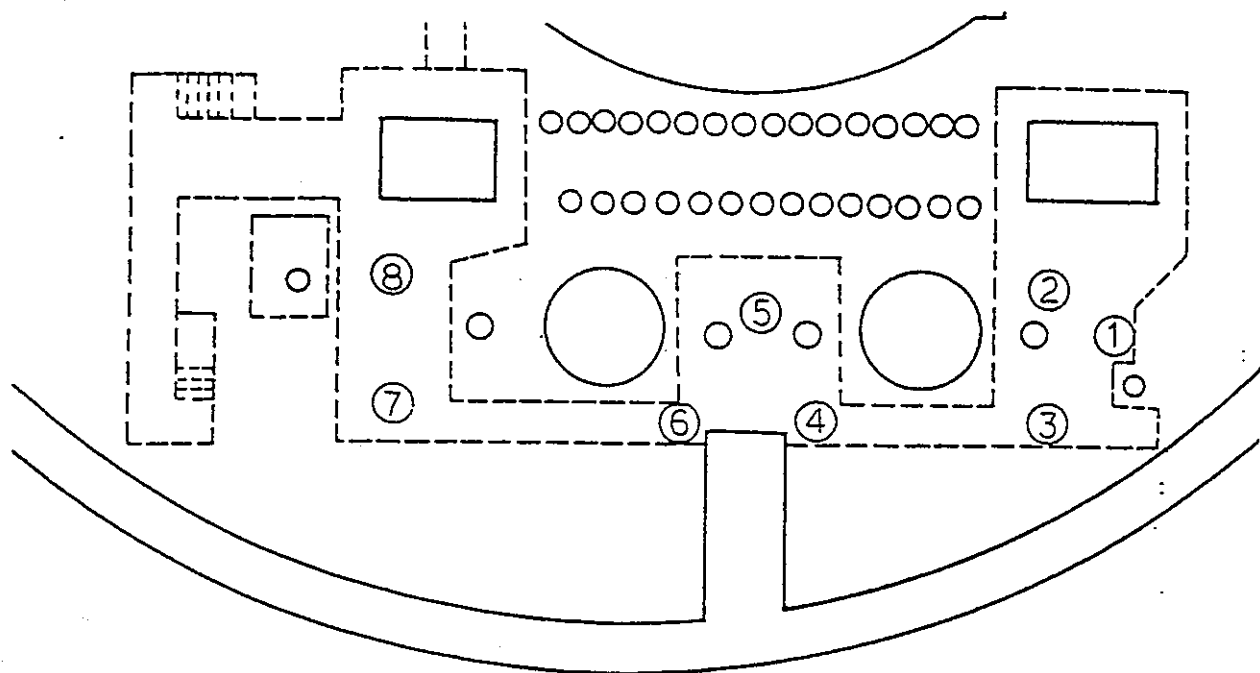


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日10時00分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		AE-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	1.30	0.075	17.3			
2	3.00	0.200	15.0			
3	3.00	0.170	17.6			
4	2.50	0.150	16.7			
5	1.10	0.100	11.0	0.300	3.7	
6	2.00	0.150	13.3	0.400	5.0	
7	2.50	0.400	6.3	0.700	3.6	
8	0.95	0.160	5.9	0.350	2.7	
合計	16.350	1.405	—	—	—	備考:
平均DF	2.04	0.176	11.6	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名 R/B 場所(部屋名) ループモータ階 実施メーカー 三菱重工

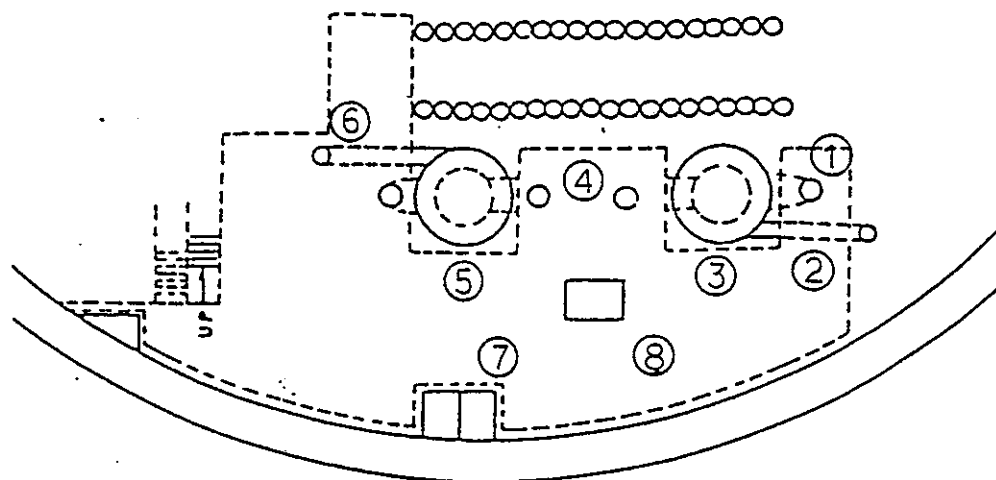


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日10時20分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		AE-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1※	0.40	0.400	1.0			
2	0.60	0.045	13.3	0.080	7.5	
3	0.45	0.035	12.9	0.080	5.6	
4	0.70	0.025	28.0	0.045	15.6	
5	1.15	0.030	38.3	0.090	12.8	
6	0.80	0.015	53.3	0.045	17.8	
7	0.55	0.020	27.5	0.045	12.2	
8	0.50	0.030	16.7			
合計	4.75	0.200	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	0.68	0.029	23.8	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名 R/B 場所(部屋名) ループポンプ階 実施メーカー 三菱重工

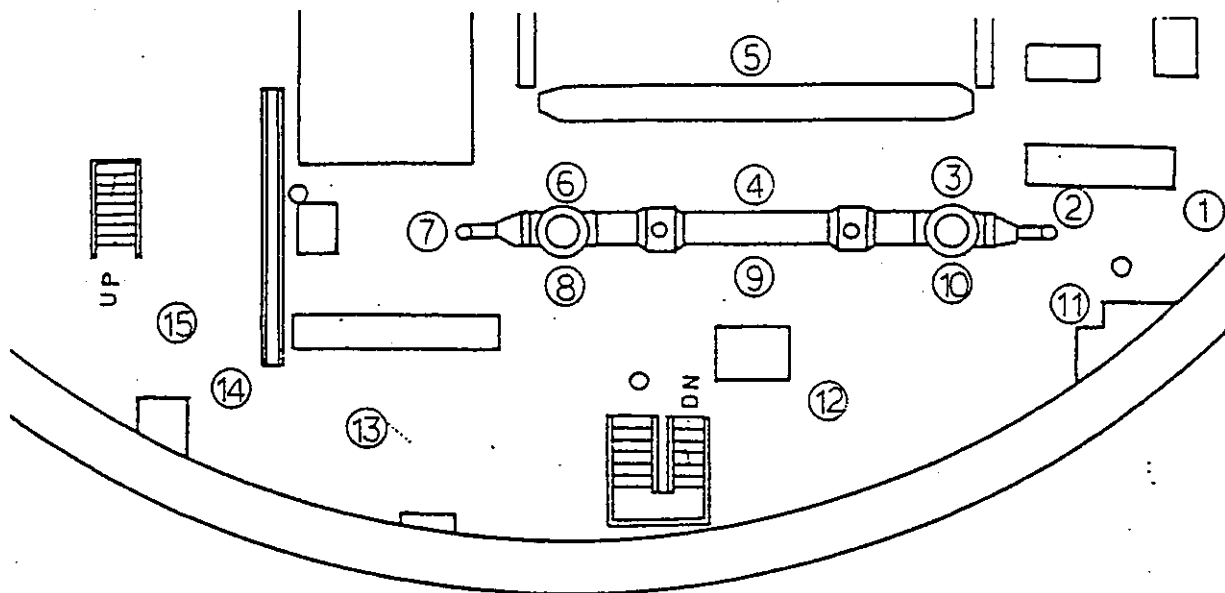


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日10時30分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日00時40分		AE-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1※	0.55	0.065	8.5			
2※	0.70	0.018	38.9	0.030	23.3	
3	0.45	0.017	26.5	0.030	15.0	
4	0.35	0.020	17.5	0.045	7.8	
5	0.45	0.066	6.8	0.030	15.0	
6※	0.25	0.014	17.9	0.030	8.3	
7	0.30	0.007	42.9			
8	0.50	0.005	100.0			
合計	2.05	0.12	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	0.41	0.02	17.8	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名	R/B	場所(部屋名)	ループマニホールド階	実施メーカ	三菱重工
-----	-----	---------	------------	-------	------

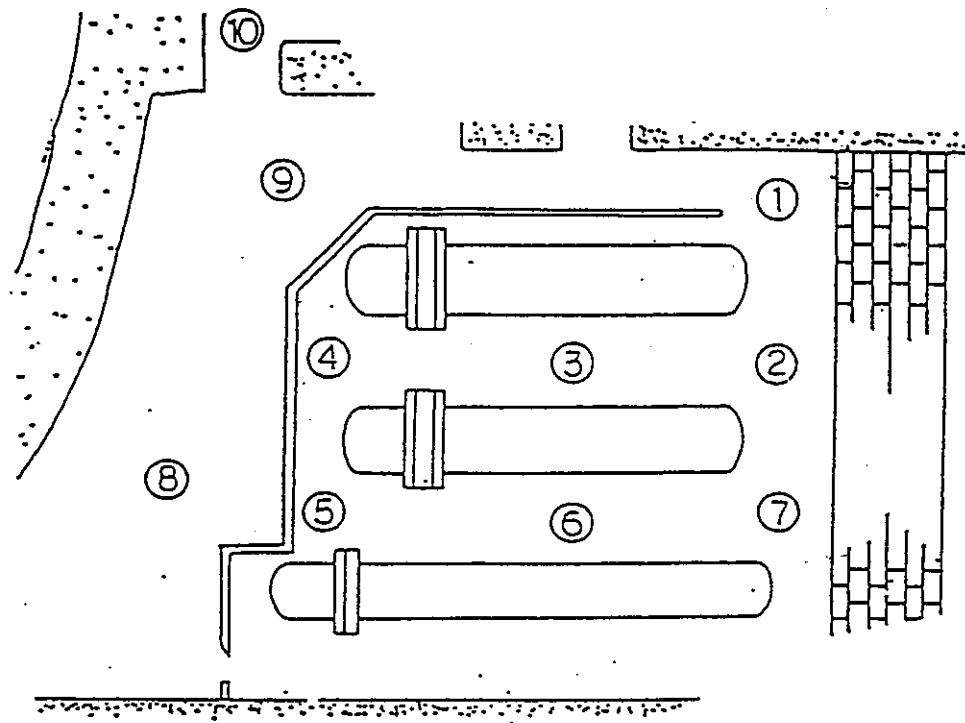


注) 浄化中(C)は中間浄化中のデータ  
 単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月23日 9時40分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日 15時00分		IA-13			
中間浄化中	8月27日 00時40分		AE-34			
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1※	0.08	0.055	1.5	0.065	1.2	
2	0.45	0.040	11.3	0.050	9.0	
3	1.50	0.120	12.5			
4	1.30	0.200	6.5			
5	1.80	0.270	6.7			
6	1.00	0.100	10.0			
7	0.18	0.020	9.0			
8	0.35	0.015	23.3			
9	0.50	0.045	11.1	0.070	7.1	
10	0.35	0.100	3.5			
11※	0.15	0.035	4.3	0.055	2.7	
12※	0.04	0.020	2.0	0.015	2.7	
13	0.03	0.005	6.0	0.001	30.0	
14	0.04	0.008	5.0			
15	0.03	0.006	5.5			
合計	7.53	0.93	—	—	—	備考 ※合計線量率に含まず
平均DF	0.63	0.08	8.1	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

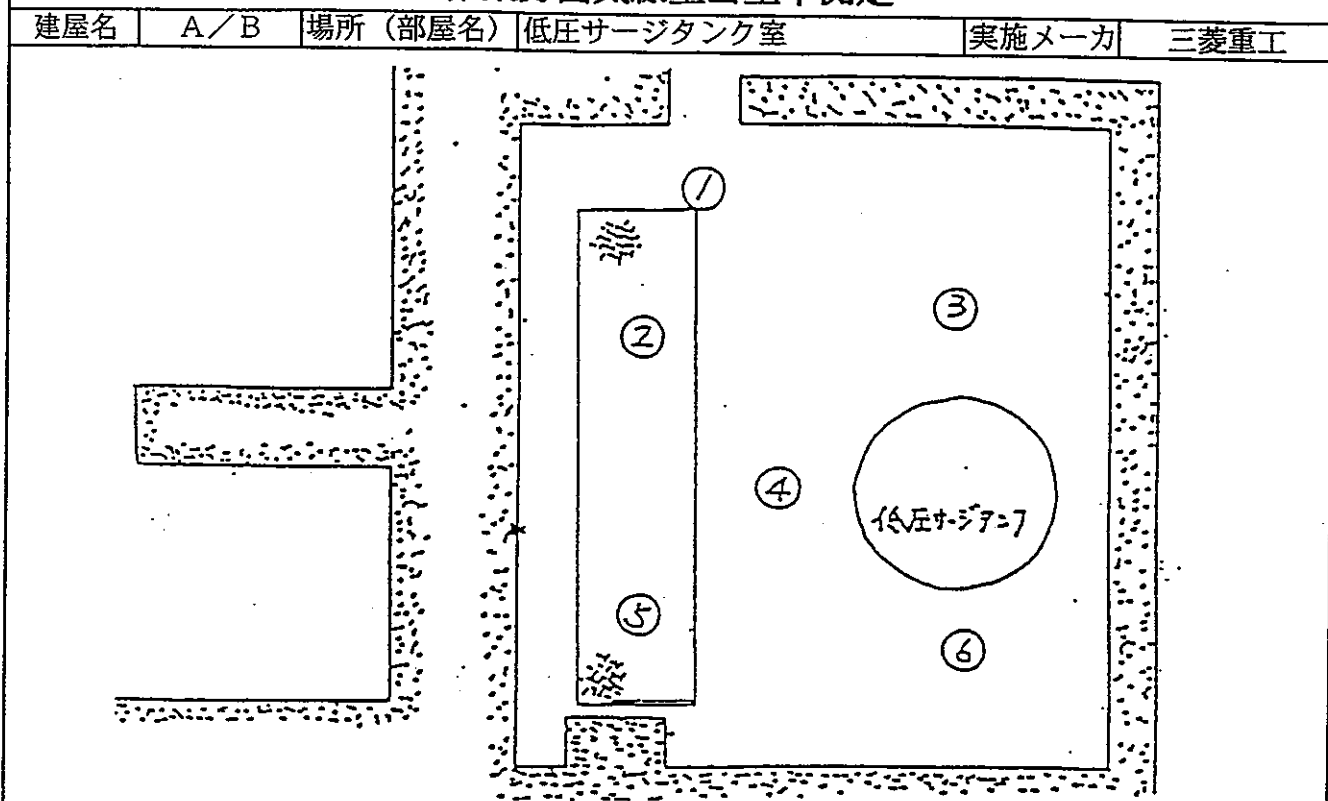
建屋名	A/B	場所(部屋名)	熱交換器室	実施メーカー	三菱重工
-----	-----	---------	-------	--------	------



単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日11時10分		AE-34	NWL		
除染後	8月30日20時40分		AE-36			
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.04	0.180	0.2			
2	0.045	0.800	0.1			
3	0.45	3.500	0.1			
4	0.08	0.120	0.7			
5	0.13	0.140	0.9			
6	0.25	1.100	0.2			
7	0.12	0.800	0.2			
8	0.05	0.140	0.4			
9	0.05	0.080	0.6			
10	0.04	0.040	1.0			
合計	1.255	6.900	—	—	—	備考:
平均DF	0.13	0.69	0.2	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定



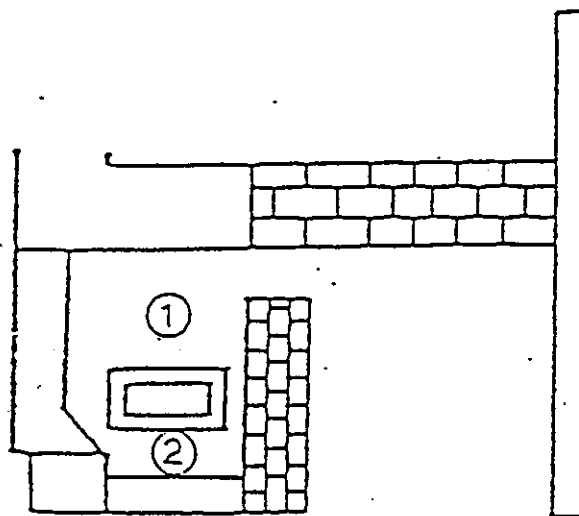
単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日 9時50分		AE-14	NWL		
除染後	8月30日 22時10分		AE-36			
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.09	0.080	1.1			
2	0.15	0.085	1.8			
3	0.06	0.030	2.0			
4	0.45	0.450	1.0			
5	0.13	0.120	1.1			
6	0.06	0.040	1.5			
合計	0.940	0.805	—	—	—	備考:
平均DF	0.16	0.13	1.2	—	—	



作業雰囲気線量当量率測定

建屋名	A/B	場所 (部屋名)	ブースターポンプ室	実施メーカー	三菱重工
-----	-----	----------	-----------	--------	------

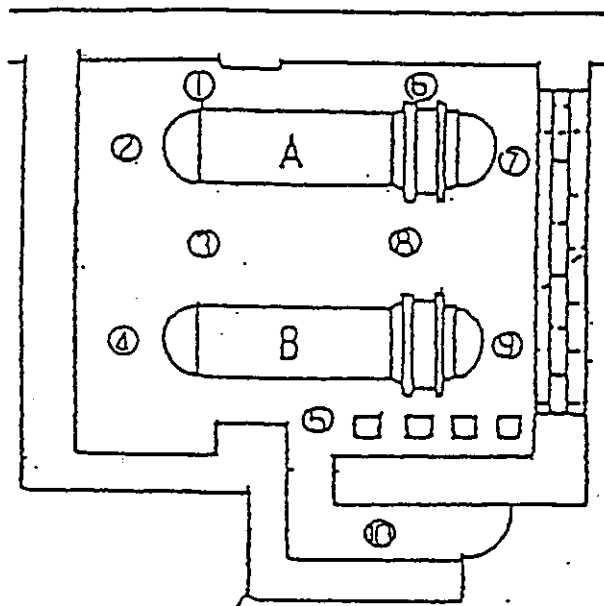


単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日10時15分		AE-14	NWL		
除染後	8月30日20時10分		AE-36			
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.021	0.070	0.3			
2	0.007	0.025	0.3			
合計	0.028	0.095	—	—	—	備考:
平均DF	0.01	0.05	0.3	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名	A/B	場所(部屋名)	RHR熱交換器室	実施メーカー	三菱重工
-----	-----	---------	----------	--------	------

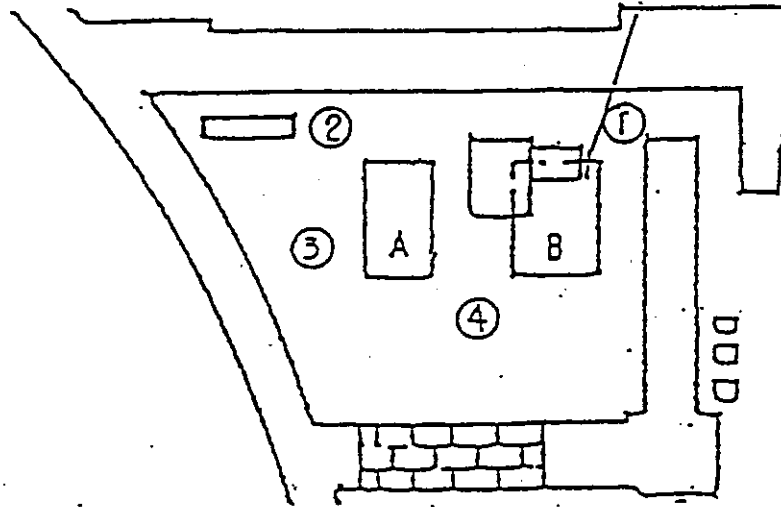


単位：mSv/h

項目	測定年月日	測定器No	プラント条件			
除染前	8月22日10時30分	AE-34	NWL			
除染後	8月31日00時45分	AE-36				
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.80	0.800	1.0			
2	0.30	0.300	1.0			
3	0.40	0.140	2.9			
4	0.11	0.080	1.4			
5	0.09	0.090	1.0			
6	0.23	0.120	1.9			
7	0.24	0.080	3.0			
8	0.50	0.180	2.8			
9	0.18	0.110	1.6			
10	0.001	0.001	1.0			
合計	2.851	1.901	—	—	—	備考：
平均DF	0.29	0.19	1.5	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名 A/B 場所 (部屋名) RHRポンプ室 実施メーカー 三菱重工

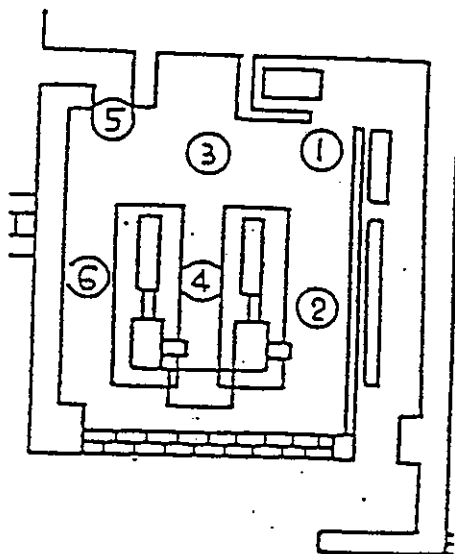


単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	プラント条件		
除染前	8月22日11時15分		AE-14	NWL		
除染後	8月31日01時40分		AE-36			
中間浄化中	月 日 時 分					
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.04	0.050	0.8			
2	0.045	0.080	0.6			
3	0.11	0.180	0.6			
4	0.35	1.800	0.2			
合計	0.545	2.110	—	—	—	備考:
平均DF	0.14	0.53	0.3	—	—	

作業雰囲気線量当量率測定

建屋名 A/B 場所(部屋名) 充填ポンプ室 実施メーカー 三菱重工



単位: mSv/h

項目	測定年月日		測定器No	測定条件		
除染前	8月22日 9時30分		AE-14	プラント条件		
除染後	8月30日 8時10分		AE-14	NWL		
中間浄化中	月	日	時	分		
ポイント	除染前(a)	除染後(b)	a/b	浄化中(C)	a/c	測定条件
1	0.017	0.016	1.1			
2	0.035	0.050	0.7			
3	0.021	0.022	1.0			
4	0.015	0.011	1.4			
6	0.060	0.019	3.2			
7	0.015	0.012	1.3			
合計	0.163	0.130	—	—	—	備考:
平均DF	0.03	0.02	1.3	—	—	

添付試料 6-1

## 機器・配管の除染係数計算データ

第16回定期検査 原子炉冷却系Aループ 系統化学除染における  
機器・配管の表面線量当量率平均値及び除染係数の計算

(1)原子炉冷却系

No.	機器名称	測定位置 No.	除染前線量当量率 (mSv/h)		除染後線量当量率 (mSv/h)		機器別DF	機器表面積 (m <sup>2</sup> )	総括DFの計算	
			Pi	Pi <sup>av</sup>	Qi	Qi <sup>av</sup>			Pi <sup>av</sup> /Qi <sup>av</sup>	Si
1	上昇管	1	1.00	3.69	0.17	0.276	13.4	367.9	1357.1	101.4
		2	1.20		0.15					
		3	2.50		0.17					
		4	3.00		0.18					
		5	6.00		0.25					
		6	3.50		0.35					
		7	4.00		0.60					
		8	8.00		0.41					
		9	4.00		0.20					
2	蒸気ドラム	1C	0.75	1.46	0.45	0.292	5.0	173	252.3	50.5
		2C	2.20		0.35					
		3C	1.80		0.20					
		5	0.40		0.30					
		6	1.50		0.30					
		9	2.10		0.15					
3	下降管・吐出管	1	1.20	1.51	0.080	0.056	27.1	106.5	160.7	5.9
		2	0.90		0.035					
		3	3.00		0.300					
		4	1.50		0.140					
		5	0.85		0.010					
		6	1.30		0.030					
		7	0.80		0.008					
		8	0.90		0.045					
		9	1.20		0.026					
		10	1.80		0.020					
		11	1.70		0.020					
		12	1.40		0.045					
		13	1.30		0.008					
		14	3.50		0.018					
		15	1.50		0.015					
		16	1.30		0.090					
4	マニホールD	1A	0.90	0.63	0.040	0.09	7.0	20.2	12.8	1.8
		1B	0.70		0.015					
		1C	0.65		0.040					
		1D	0.80		0.045					
		2A	0.75		0.090					
		2B	0.45		0.030					
		2C	0.40		0.045					
		2D	1.20		0.300					
		3A	1.00		0.170					
		3B	0.60		0.080					
		3C	0.75		0.140					
		3D	1.00		0.240					
		4	0.15		0.025					
		5	0.35		0.065					
6	0.30	0.065								
7	0.14	0.050								
5	RCP(A)	1A	0.80	0.81	0.018	0.07	12.1	20.5	16.7	1.4
		1B	0.70		0.025					
		1C	0.82		0.002					
		2A	0.50		0.022					
		2B	0.20		0.015					
		2C	0.82		0.030					
		3A	1.00		0.065					
		3B	0.90		0.065					
		3C	1.10		0.230					
		3D	1.30		0.200					

第16回定期検査 原子炉冷却系Aループ 系統化学除染における  
機器・配管の表面線量当量率平均値及び除染係数の計算

(1)原子炉冷却系

No.	機器名称	測定位置 No.	除染前線量当量率 (mSv/h)		除染後線量当量率 (mSv/h)		機器別DF $Pi^{av}/Qi^{av}$	機器表面積 ( $m^2$ )	総括DFの計算		
			$Pi$	平均値 $Pi^{av}$	$Qi$	平均値 $Qi^{av}$			$Pi^{av} \cdot Si$	$Qi^{av} \cdot Si$	
6	RCP(C)	1A	1.30	0.89	0.020	0.03	27.3	20.5	18.2	0.7	
		1B	1.10		0.024						
		1C	1.00		0.010						
		2A	0.80		0.015						
		2B	0.20		0.006						
		2C	0.35		0.006						
		3A	1.00		0.130						
		3B	0.85		0.060						
		3C	1.00		0.015						
		3D	1.30		0.040						
7	下部ヘッド	2A	1.40	2.14	0.150	0.16	13.4	26.5	56.7	4.2	
		2B	1.40		0.080						
		2C	1.80		0.150						
		2D	1.00		0.080						
		3A	1.60		0.300						
		3B	2.50		0.100						
		3C	4.00		0.250						
		3D	4.50		0.180						
		4A	1.40		0.200						
		4B	1.50		0.150						
		4C	2.40		0.100						
		4D	1.60		0.100						
		7	2.70		0.240						
		8	入口管		1						3.50
2	3.00			0.25							
3	3.50			0.30							
4	3.00			0.04							
				5	5.00	3.792	0.05	0.109	34.8	1472.8	42.3
6	4.50			0.05							
7	2.50			0.04							
8	5.00			0.04							
9	4.50			0.04							
	No. 1~8の 合計					143.3		3363.5	205.1		
	No. 1~8の 平均					17.9		16.4			
	No. 3~8の 合計					124.9		1754.0	53.3		
	No. 3~8の 平均					20.8		32.9			

注1:測定位置No. は添付資料5-2の機器・配管表面線量当量率測定結果の図1~8を参照のこと。

注2:機器配管No. 3~8はRCP及び下部ヘッドの分解点検の被ばくに直接影響する部位。

第16回定期検査 原子炉冷却系Aループ 系統化学除染における  
表面線量当量率平均値及び除染係数の計算

(2)CUW機器・配管(評価値)

機器名称	測定位置	除染前線量当量率(mSv/h)		除染後線量当量率(mSv/h)		機器別DF	備考
		実測値 Pi	機器平均値 Pi <sup>av</sup>	実測値 Qi	機器平均値 Qi <sup>av</sup>		
再生熱交換器 入口水室	1	0.14	0.15	0.18	0.37	0.4	再生熱交換器入口水室鏡部中央 再生熱交換器入口水室上面 再生熱交換器入口水室側面 再生熱交換器入口水室底面 再生熱交換器入口水室側面 再生熱交換器入口配管、評価から除外
	2A	0.21		0.16			
	2B	0.14		0.15			
	2C	0.13		1.20			
	2D	0.15		0.18			
	6	0.27		0.15			
再生熱交換器 胴側 (機器No. 22-1)	3A	0.17	0.12	0.35	0.37	0.3	再生熱交換器胴上面 再生熱交換器胴側面 再生熱交換器胴底面 再生熱交換器胴側面 再生熱交換器胴上面 再生熱交換器胴側面 再生熱交換器胴底面 再生熱交換器胴側面 再生熱交換器胴側面 再生熱交換器胴鏡部中央
	3B	0.12		0.08			
	3C	0.12		0.55			
	3D	0.14		0.35			
	4A	0.14		0.70			
	4B	0.11		0.10			
	4C	0.11		0.45			
	4D	0.13		0.65			
	5	0.035		0.09			
	5	0.035		0.09			
非再生熱交換器 入口水室	1	0.16	0.12	0.25	0.75	0.2	非再生熱交換器入口水室鏡部中央 非再生熱交換器入口水室上面 非再生熱交換器入口水室側面 非再生熱交換器入口水室底面 非再生熱交換器入口水室側面
	2A	0.10		0.11			
	2B	0.13		0.18			
	2C	0.12		3.00			
	2D	0.07		0.19			
非再生熱交換器 胴側 (機器No. 22-2)	3A	0.55	0.47	1.25	3.41	0.1	非再生熱交換器胴上面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴底面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴上面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴底面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴鏡部中央
	3B	0.55		4.50			
	3C	0.50		2.50			
	3D	0.60		4.50			
	4A	0.50		2.50			
	4B	0.45		3.00			
	4C	0.50		8.00			
	4D	0.55		4.00			
	5	0.040		0.45			
	5	0.040		0.45			
非再生熱交換器 入口水室	1	0.07	0.10	0.25	0.23	0.4	非再生熱交換器入口水室鏡部中央 非再生熱交換器入口水室上面 非再生熱交換器入口水室側面 非再生熱交換器入口水室底面 非再生熱交換器入口水室側面
	2A	0.085		0.13			
	2B	0.10		0.25			
	2C	0.18		0.20			
	2D	0.05		0.30			
非再生熱交換器 胴側 (機器No. 22-3)	3A	0.50	0.20	1.10	7.66	0.03	非再生熱交換器胴上面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴底面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴上面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴底面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴側面 非再生熱交換器胴鏡部中央
	3B	0.20		2.50			
	3C	0.17		7.00			
	3D	0.18		6.00			
	4A	0.17		2.50			
	4B	0.21		4.00			
	4C	0.20		40.00			
	4D	0.17		5.50			
	5	0.035		0.35			
	5	0.035		0.35			
CUW配管: 蒸気ドラム～ R/B貫通部	1	0.80	0.77	0.20	0.19	4.0	
	2	0.85		0.20			
	3	0.70		0.18			
	4	0.75		0.17			
R/B貫通部～ 再生熱交換器	1	0.80	0.18	0.25	0.36	0.5	
	2	0.70		0.15			
再生熱交換器～ 非再生熱交換器 非再生熱交換器 ～脱塩塔	1	0.17	0.33	0.12	0.28	1.2	
	2	0.18		0.60			
	3	0.85		0.75			
	4	0.30		0.23			
充填ポンプ	1	0.022	0.022	0.022	0.022	1.0	
	2	0.015		0.012			
ブースタポンプ	1	0.075	0.075	0.13	0.13	0.6	
	2	0.13		0.06			
低圧サージタンク	1	0.06	0.095	0.055	0.058	1.7	
	2	0.21		0.110			
低圧サージタンク 出入口配管	1	0.15	0.690	0.050	0.16	4.4	
	2	0.21		0.110			
	3	2.00		0.250			
	4	0.40		0.220			
充填ポンプ 出入口配管	1	0.040	0.030	0.035	0.031	1.0	こちら側の充填ポンプBは未使用だが、測定 位置3,4は除染液が拡散していると考える。
	2	0.035		0.050			
	3	0.025		0.025			
	4	0.020		0.015			
シール水フィルタ	1	0.045	0.028	0.002	0.05	0.6	
	2	0.011		0.090			
	3	0.013		0.012			
	4	0.003		0.004			
シール水フィルタ 出入口配管	1	0.040	0.016	0.004	0.006	2.5	
	2	0.013		0.012			
	3	0.003		0.004			
	4	0.006		0.006			

注1:測定位置No. は添付資料5-2の機器・配管表面線量当量率測定結果の図9～22を参照のこと。



第16回定期検査 原子炉冷却系Aループ 系統化学除染における  
表面線量当量率平均値及び除染係数の計算

(3)RHR機器・配管

No.	機器名称	測定位置	除染前線量当量率(mSv/h)		除染後線量当量率(mSv/h)		機器別DF	備考
			実測値 Pi	機器平均値 Pi <sup>av</sup>	実測値 Qi	機器平均値 Qi <sup>av</sup>		
1	A-熱交換器	1	0.32	0.32	0.60	0.55	0.6	熱交換器入口水室側部 熱交換器入口水室側部 熱交換器入口水室上面 熱交換器入口水室底面
		2	0.20		0.60			
		3	0.19		0.50			
		4	0.55		0.50			
2	熱交換器 出入口配管	1	0.12	0.20	0.20	0.20	1.0	
		2	0.28		0.20			
3	A-RHRポンプ	1	0.40	0.40	0.95	0.83	0.5	
		2	0.50		0.25			
		3	0.30		1.30			
4	A-RHRポンプ 出入口配管	1	0.18	0.21	1.10	1.00	0.2	
		2	0.24		0.90			

注1:測定位置No. は添付資料5-2の機器・配管表面線量当量率測定結果の図23~26を参照のこと。

添付試料 6-2

## 作業雰囲気の除染係数計算データ

添付資料6-2 作業雰囲気除染係数計算データ

第16回定期検査 原子炉冷却系Aループ 系統化学除染における  
作業雰囲気線量当量率平均値及び除染係数の計算

(1) R/B内

No.	機器名称	測定位置	除染前線量当量率(mSv/h)		除染後線量当量率(mSv/h)		エリア別DF	備考
			実測値 Pi	平均値 Pi <sup>av</sup>	実測値 Qi	平均値 Qi <sup>av</sup>		
1	Aループ 蒸気ドラム階	1	0.15	0.462	0.110	0.120	3.86	線量当量率測定結果図27参照
		2	0.35		0.120			
		3	0.75		0.150			
		4	0.90		0.150			
		5	0.40		0.100			
		6	0.12		0.055			
		7	0.35		0.120			
		8	0.85		0.200			
		9	0.90		0.120			
		10	0.80		0.100			
		11	0.65		0.350			
		12	0.25		0.130			
		13	0.12		0.120			
		14	0.60		0.080			
		15	0.50		0.065			
		16	0.09		0.030			
		17	0.05		0.050			
		18	0.30		0.080			
		19	0.70		0.120			
		20	0.40		0.140			
2	Aループ ヘッダ階	1	1.30	2.044	0.075	0.176	11.6	線量当量率測定結果図28参照
		2	3.00		0.200			
		3	3.00		0.170			
		4	2.50		0.150			
		5	1.10		0.100			
		6	2.00		0.150			
		7	2.50		0.400			
		8	0.95		0.160			
3	Aループ モータ階	1	0.40	0.679	0.400	0.029	23.8	線量当量率測定結果図29参照 No. 1は作業エリア外につき評価より除外
		2	0.60		0.045			
		3	0.45		0.035			
		4	0.70		0.025			
		5	1.15		0.030			
		6	0.80		0.015			
		7	0.55		0.020			
		8	0.50		0.030			
4	Aループ ポンプ階	1	0.55	0.458	0.065	0.022	20.7	線量当量率測定結果図30参照 No. 1、6は作業エリア外のため評価より除外
		2	0.70		0.018			
		3	0.45		0.017			
		4	0.35		0.020			
		5	0.45		0.066			
		6	0.25		0.014			
		7	0.30		0.007			
		8	0.50		0.005			
5	Aループ マニホール階	1	0.08	0.455	0.055	0.055	8.3	線量当量率測定結果図31参照 No. 1、5は作業エリア外のため評価より除外
		2	0.45		0.040			
		3	1.50		0.120			
		4	1.30		0.200			
		5	1.80		0.270			
		6	1.00		0.100			
		7	0.18		0.020			
		8	0.35		0.015			
		9	0.50		0.045			
		10	0.35		0.100			
		11	0.15		0.035			
		12	0.04		0.020			
		13	0.03		0.005			
		14	0.04		0.008			
		15	0.03		0.006			

注:測定位置は添付資料5-2の線量当量率測定結果図27~31参照

第16回定期検査 原子炉冷却系Aループ 系統化学除染における  
作業雰囲気線量当量率平均値及び除染係数の計算

(2) A/B内

No.	機器名称	測定位置	除染前線量当量率(mSv/h)		除染後線量当量率(mSv/h)		エリア別DF	備考
			実測値 Pi	平均値 Pi <sup>av</sup>	実測値 Qi	平均値 Qi <sup>av</sup>		
1	CUW熱交換器室	1	0.040	0.126	0.18	0.690	0.18	線量当量率測定結果図32参照
		2	0.045		0.80			
		3	0.450		3.50			
		4	0.080		0.12			
		5	0.130		0.14			
		6	0.250		1.10			
		7	0.120		0.80			
		8	0.050		0.14			
		9	0.050		0.08			
		10	0.040		0.04			
2	低圧サージタンク室	1	0.09	0.157	0.080	0.134	1.17	線量当量率測定結果図33参照
		2	0.15		0.085			
		3	0.06		0.030			
		4	0.45		0.450			
		5	0.13		0.120			
		6	0.06		0.040			
3	ブースタポンプ室	1	0.021	0.014	0.070	0.048	0.29	線量当量率測定結果図34参照
		2	0.007		0.025			
4	充填ポンプ室	1	0.017	0.027	0.016	0.022	1.25	線量当量率測定結果図37参照
		2	0.035		0.050			
		3	0.021		0.022			
		4	0.015		0.011			
		5	0.060		0.019			
		6	0.015		0.012			
5	RHR熱交換器室	1	0.80	0.285	0.800	0.190	1.50	線量当量率測定結果図35参照
		2	0.30		0.300			
		3	0.40		0.140			
		4	0.11		0.080			
		5	0.09		0.090			
		6	0.23		0.120			
		7	0.24		0.080			
		8	0.50		0.180			
		9	0.18		0.110			
		10	0.001		0.001			
6	RHRポンプ室	1	0.040	0.136	0.050	0.528	0.26	線量当量率測定結果図36参照
		2	0.045		0.080			
		3	0.110		0.180			
		4	0.350		1.800			

注:測定位置は添付資料5-2の線量当量率測定結果図32~37参照

添付試料 6-3

# CUW 非再生熱交換器の線量当量率 上昇について

納先 CUSTOMER	核燃料サイクル開発機構 殿	訂正回数 REV. No.	日付 DATE
		1	2000/9/26
		片岡 穴沢 穴沢	
品名 EQUIPMENT	新型転換炉ふげん発電所 系統除染	2	
題名 SUBJECT	CUW非再生熱交換器の線量当量率上昇について	3	

この資料及びこの資料に基づく計算機並びに記録計などの出力を複写、第三者へ開示又は公開しないようお願いします。

1. 事象

再循環A系化学除染後に、CUW系非再生熱交換器の一部で線量当量率が上昇する事象が生じています。この事象は、非再生熱交換器2基ともに見られ、同一箇所では線量当量率がホットスポット的に高くなっており、特に下流側の熱交換器(22-3)の線量当量率が高くなっています。

添付図1、図2に示しますように、熱交換器の冷却水入口側にホットスポットが生じています。

以下に、ホットスポットが生じた要因について記載します。

2. 要因検討

非再生熱交換器出入口の温度は下表1に示しますように入口温度約75℃に対して、出口温度は約32℃となっています。ホットスポットが生じている部位は冷却水の入口部になっており、構造上温度降下が大きくなっています。また、前回の化学除染時に比べ系統鉄濃度も高くなっており、鉄が析出しやすい状態となっていたものと考えられます。すなわち、温度降下に伴いシュウ酸鉄が析出し、析出時に系統放射能を取り込んだものと考えられます。

上記の推定を確認すべく、実験によってシュウ酸鉄溶解量と温度の相関データを取得しました。その結果を図3に示します。本図より、温度低下に伴い溶解量は低下傾向を示し、析出しやすくなっていることがわかります。

以上のことから、CUW非再生熱交換器の冷却水入口部で生じたホットスポットの要因は温度低下によるシュウ酸鉄析出に伴い放射能を取り込んだものと考えられます。

表1 非再生熱交出入口温度

	入口温度	出口温度
非再生熱交換器	約75℃	約32℃

株式会社 日立製作所

---

2000-09-26

---

原子力事業部  
原子力サービス部

御 参 考 用

用途	発行先	DISTRIBUTION	担当部課 ISSUED BY	原予計
<input type="checkbox"/> 承認用 FOR APPROVAL	サイクル機構殿	2	作成日 DATE	2000.09.21
<input checked="" type="checkbox"/> 参考用 FOR INFORMATION	原子 原開技	1	担当 PREPD.	片岡
<input type="checkbox"/> 検討用 FOR REVIEW	電開研	1	審査 CHKD.	穴沢
<input type="checkbox"/> 確認用 FOR CONFIRMATION	日立協和エンジニアリング	1	承認 APPD.	穴沢
<input type="checkbox"/>			控	

1 2 3 4 5

S221433表紙(改94-07) ENG-1R2.XLT







液量	純水 500ml
溶液	N <sub>2</sub> 脱気後(30分)、昇温
試薬	FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O 添加
採取	注射器にて吸引採取 (0.22 μmフィルタ付き)
分析	原子吸光分析

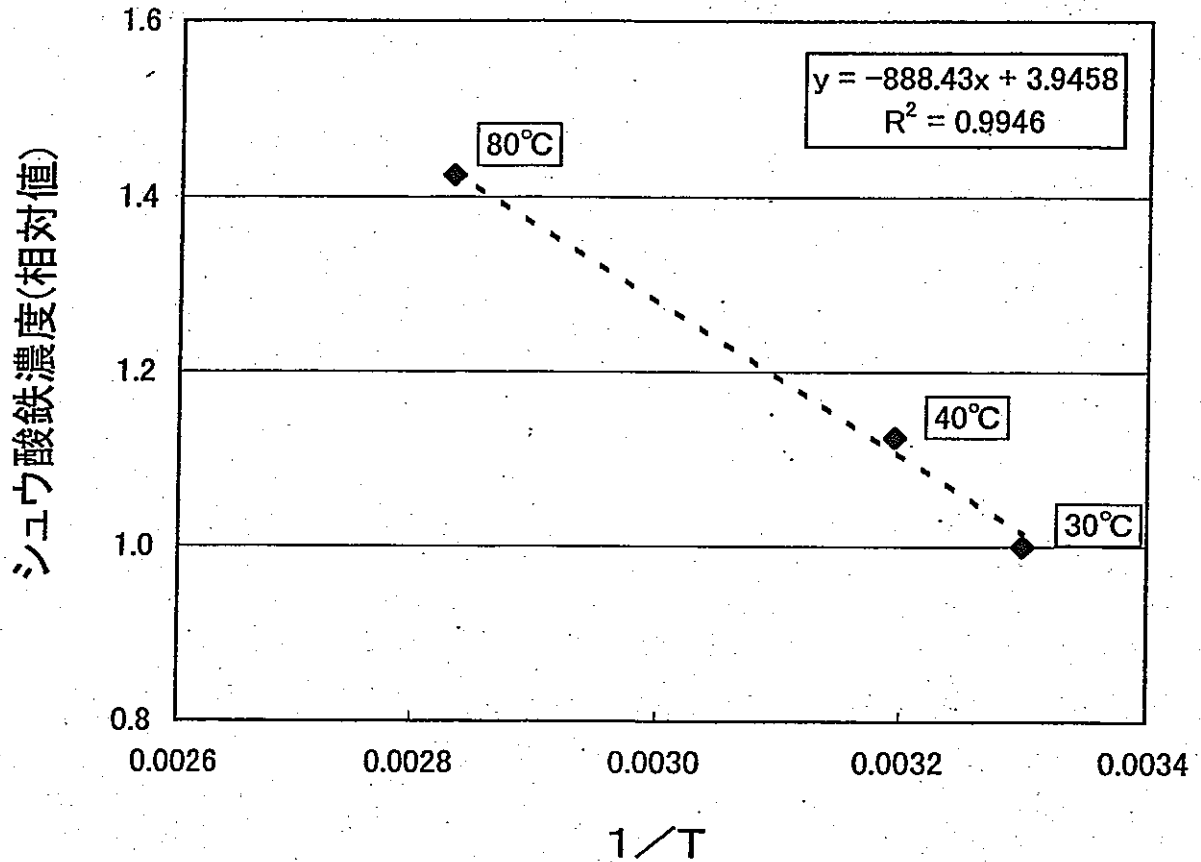


図3 シュウ酸鉄(II)の水に対する溶解量