

JNC TN9410 99-017

旧「常陽」廃棄物処理建家の汚染性状分析

(技術報告書)

1999年8月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

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

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194

Japan.

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

1999

旧「常陽」廃棄物処理建家の汚染性状分析 (技術報告書)

吉澤俊司*、石島昇*、谷本健一*

要旨

1994 年に運転が停止された旧「常陽」廃棄物処理建家のデコミッショニング計画の一つとして、除染方法の検討が行われている。本研究では、旧常陽廃棄物処理建家の系統配管からサンプルを採取して、汚染状況を調査し、また、その除染方法を検討した。成果は以下の通りである。

- (1)配管内表面は $1 \mu\text{m}$ オーダー以下の薄膜で覆われ、さらに、深さ約 $20 \mu\text{m}$ の結晶粒子の脱落と考えられる空孔が確認された。また、一部に、深さ約 $440 \mu\text{m}$ の腐食と考えられる組織が観察された。
- (2)放射性物質は配管下部に沈着しており、また、皮膜内にも取り込まれていると考えられる。 ^{60}Co が支配的汚染核種である。
- (3)被ばく低減を目的とする系統除染は、基本的に熱硝酸浸漬除染が適用可能と考えられるが、主系統のサンプルを用いたホット試験により効果を確認する必要がある。また、除染しにくいゴムライニングタンクについては、他の除染方法を検討する必要がある。
- (4)クリアランスレベルを目的とする除染方法については、今後、主系統のサンプリングによる汚染状況調査およびホット除染試験を実施して決定する必要がある。

* 大洗工学センター 照射施設運転管理センター 環境保全課

Analysis of Contamination Conditions of The Joyo Waste Treatment Facility

S.Yoshizawa*, N.Ishijima*, K.Tanimoto*

Abstract

Decontamination methods have been studied for decommissioning of Joyo Waste Treatment Facility whose operation has been stopped in 1994. In this study, we analyzed samples of its system piping, whose dose rate was relatively low, to determine conditions of contamination. We also study appropriate decontamination methods for them. Results are as follows.

1. The inner surfaces of piping were covered with a very thin clad that was less than 1 micrometer in thickness and had many vacancies, looked like particle detachment, that were about 20 micrometers in depth. Something like corrosion product was observed near the surface and it was 440 micrometers in depth.
2. Radioactive contamination was considered to settle on a lower part of the piping and to be buried in the clad. A kind of dominant contamination nuclide was ^{60}Co .
3. Hot nitric acid process will be suitable for system decontamination to reduce dose rate before dismantling. But its feasibility tests are indispensable using samples of main system components that have high dose rate. Rubber lining tanks requires another methods because of its difficulty of decontamination.
4. Analyses and decontamination tests using main system are required to decide through decontamination methods according to the clearance level.

* Oarai Engineering Center Waste Management Section

目次

1.はじめに	1
2.汚染状況の調査	2
2.1 旧 JWTF の概要	2
2.2 調査対象および調査方法	4
2.3 調査結果	6
2.4 汚染状況調査のまとめ	16
3.除染技術の調査	18
3.1 除染技術調査の概要	18
3.2 除染技術調査に反映すべき事項	18
3.3 除染技術の調査結果	19
4.除染技術の適用性に関する考察	23
4.1 概要	23
4.2 デコミッショニングにおける除染の概念	23
4.3 除染方法の適用性	25
5.あとがき	29
5.1 汚染状況調査	29
5.2 除染方法の選定	29
5.3 今後の課題	30
6.参考文献	32
表	34
図	45
写真	61

図表目次

表 2.1.1	旧 JWTF 系統除染工程および除染結果	34
表 2.2.1	試料片の切出しポイント、位置および加工内容	35
表 2.3.1	汚染状況の調査の概要	36
表 2.3.2	GM サーベイメータによる汚染密度測定結果	37
表 2.3.3	高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管の放射能濃度比	38
表 2.3.4	廃液供給系配管(A 系統)の放射能濃度比	40
表 2.3.5	廃液供給系配管(B 系統)の放射能濃度比	41
表 2.3.6	濃縮廃液系サンプリング配管の放射能濃度比	42
表 3.1	除染技術調査結果一覧	43
表 4.1	必要除染係数の推定	44
図 2.1.1	旧 JWTF 平面図	45
図 2.1.2	旧 JWTF 高濃度廃液処理フロー	46
図 2.1.3	系統除染作業 空間線量率測定記録	47
図 2.2.1	試料取出しポイント	48
図 2.2.2	高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管	49
図 2.2.3	廃液供給系配管(A 系統)	49
図 2.2.4	廃液供給系配管(B 系統)	50
図 2.2.5	濃縮液系サンプリング配管	50
図 2.2.6	試料の切出し寸法と目的	51
図 2.2.7	輪切り試料片の加工と目的	52
図 2.2.8	化学組成測定(X 線回折)用試料の加工	53
図 2.2.9	切断面観察用試料の加工	54
図 2.2.10	高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管作業フロー	55
図 2.2.11	廃液供給系配管(A 系統)作業フロー	56
図 2.2.12	廃液供給系配管(B 系統)作業フロー	57
図 2.2.13	濃縮廃液系サンプリング配管作業フロー	58
図 2.2.14	顕微鏡観察および写真撮影概念図	59

図 3.1 除染法の分類	60
 写真 - 1 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管	61
写真 - 2 廃液供給系配管(A系統)	61
写真 - 3 廃液供給系配管(B系統)	62
写真 - 4 濃縮廃液系サンプリング配管	62
写真 - 5 ハンドプレス	63
写真 - 6 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側	64
写真 - 7 高レベルタンク系供給側廃液サンプリング系配管ライン側	65
写真 - 8 廃液供給系配管(A系統)上流側	66
写真 - 9 廃液供給系配管(A系統)下流側	66
写真 - 10 廃液供給系配管(B系統)上流側	67
写真 - 11 廃液供給系配管(B系統)下流側	67
写真 - 12 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管水平部	67
写真 - 13 濃縮廃液系サンプリング配管水平部ライン側	68
写真 - 14 濃縮廃液サンプリング系配管フランジ側	69
写真 - 15 濃縮廃液サンプリング系配管バルブ側	69
写真 - 16 マイクロスコープ	70
写真 - 17 X線回折装置	71
写真 - 18 未使用 SUS304、40A 配管表面	72
写真 - 19 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(上部)	73
写真 - 20 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(側部)	75
写真 - 21 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(下部)	76
写真 - 22 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管ライン側(上部)	77
写真 - 23 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管ライン側(側部)	78
写真 - 24 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管ライン側(下部)	79
写真 - 25 廃液供給系配管(A系統)上流側(上部)	80
写真 - 26 廃液供給系配管(A系統)上流側(下部)	81
写真 - 27 廃液供給系配管(A系統)下流側(上部)	82
写真 - 28 廃液供給系配管(A系統)下流側(下部)	83

写真-29	廃液供給系配管(B系統)上流側(上部)	84
写真-30	廃液供給系配管(B系統)上流側(下部)	85
写真-31	廃液供給系配管(B系統)下流側(上部)	86
写真-32	廃液供給系配管(B系統)下流側(下部)	87
写真-33	廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管水平部(上部).....	88
写真-34	廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管水平部(下部).....	89
写真-35	濃縮廃液系サンプリング配管水平部ライン側(上部).....	90
写真-36	濃縮廃液系サンプリング配管水平部ライン側(下部).....	91
写真-37	濃縮廃液系サンプリング配管フランジ側	92
写真-38	濃縮廃液系サンプリング配管バルブ側	93
写真-39	高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管(上部)断面	94
写真-40	高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管(側部)断面	95
写真-41	高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管(下部)断面	96
写真-42	廃液供給系配管(A系統)(上部)断面	97
写真-43	廃液供給系配管(A系統)(側部)断面	98
写真-44	廃液供給系配管(A系統)(下部)断面	99
写真-45	廃液供給系配管(B系統)(上部)断面	100
写真-46	廃液供給系配管(B系統)(側部)断面	101
写真-47	廃液供給系配管(B系統)(下部)断面	102
写真-48	廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管(上部)断面	103
写真-49	廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管(側部)断面	104
写真-50	廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管(下部)断面	105
写真-51	濃縮廃液系サンプリング配管(上部)断面	106
写真-52	濃縮廃液系サンプリング配管(側部)断面	108
写真-53	濃縮廃液系サンプリング配管(下部)断面図	109

1. はじめに

旧「常陽」廃棄物処理建家(以下、旧 JWTF)は1996年2月に更新施設の運転開始に伴い、その使命が終了した。旧 JWTF は、更新施設への切替えに先立ち、設備の維持管理を容易にすることを目的として、1994年6月から11月にかけて、硝酸などを用いた系統設備の洗浄を行い空間線量当量率を低減させている。旧 JWTF は、2006 年にデコミッショニングを開始する計画であり、現在は、デコミッショニングのためのシステムエンジニアリングを行うとともに、個別の要素である除染方法および解体工法等の検討を行っている。

デコミッショニングの実施にあたっては、解体作業中の被ばく線量当量低減や放射性廃棄物量の低減の観点から、系統を構成している配管、タンクおよび装置等の汚染設備機器を除染する必要がある。適切な除染方法を選定するためには、除染対象となる設備機器の汚染性状および汚染状況を的確に把握すると共に、経済性や除染効果も考慮する必要がある。

本研究では、適切な除染方法を選定するために、旧 JWTF の構成配管の一部からサンプルを採取し、汚染状況の調査を実施した。また、汚染状況調査結果を踏まえて、適用可能性のある、研究開発中の除染技術及び実プラントに適用された除染技術についても調査を実施した。本報告書は、上記の調査結果をまとめたものである。

2. 汚染状況の調査

2.1 旧 JWTF の概要

旧 JWTF の使用履歴、受入れ廃液および運転停止時の除染状況について示す。

2.1.1 旧 JWTF の履歴

旧 JWTF は、高速実験炉「常陽」及び照射燃料集合体試験施設(FMF)等から発生する放射性廃液を受入れ、これらの廃液を、日本原子力研究所大洗中央廃棄物処理場(中廃)の受入基準値($\alpha < 1.0 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$ 、 $\beta \gamma < 3.7 \times 10^1 \text{Bq/cm}^3$)に合致するように前処理することを目的に建設された。本施設は、1977年から1994年の間、十分な処理実績をあげ、1996年に新 JWTF に切り替えられると同時に、運転を停止し、維持管理施設となつた。旧 JWTF の累積受入量は、低濃度廃液 68.8m^3 、高濃度廃液 1203.9m^3 であった。

旧 JWTF は、運転停止後の維持管理を容易にする目的で、1994 年には、施設の系統洗浄/ドレンアウト作業が実施された。現在は、2006 年解体予定として、施設の解体エンジニアリング等が実施されている。

2.1.2 旧 JWTF の設備

旧 JWTF の配置を図 2.1.1 に示す。廃液処理フローを図 2.1.2 に示す。設備および廃液処理の概要を次に示す。

(1) 蒸発濃縮処理装置による処理

放射性腐食生成物を大量に含んだ燃料洗浄廃液などの高濃度廃液を、受入れタンクである中和槽に移送し、中和槽内で放射性腐食生成物(CP:Corrosion Products)を沈殿させた後、上澄液は高レベル廃液タンクに移送してから蒸発缶に供給し、蒸発濃縮処理を行なつた。蒸発缶で処理を行なつた後の凝縮液は低濃度廃液であるため、上澄水タンクに移送し、放出予備タンクを経由して中廃へ搬出した。

(2) 乾燥・溶融固化装置による処理

中和槽で CP を沈降させた沈降液および蒸発濃縮処理装置で濃縮した濃縮廃液が高放射性廃液となるため、乾燥・溶融固化装置で処理を行なつた。

2.1.3 受入廃液

本施設への廃液発生元施設の廃液概況を次に示す。

(1) 高速実験炉「常陽」の高濃度廃液

「常陽」からの高濃度廃液は、燃料交換時に発生する洗浄廃液及びメンテナンス建家から発生する機器洗浄廃液である。

「常陽」は冷却材に液体ナトリウム(Na)を用いており、使用済燃料及び照射燃料等は缶詰にされ、貯蔵プールで冷却されるか、燃料等の試験のために FMF に移送される。使用済燃料等を缶詰にする前に、ラッパー管、被覆管及びラッピングワイヤ等に残留する Na を水蒸気で洗浄している。このため、ラッパー管等に付着している CP 核種である ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn および ^{51}Cr が、洗浄の際に廃液中に含まれることになる。この廃液の放射能濃度は $10^2\text{Bq}/\text{cm}^3$ オーダーである。

また、Na は洗浄廃液中では水酸化ナトリウム(NaOH)の化学形態で存在するため、廃液は pH10 から pH12 の強アルカリ性である。

(2) 照射燃料集合体試験施設(FMF)の高濃度廃液

FMF では、「常陽」の照射燃料集合体等を、セル内で解体して、集合体構成要素の試験検査を行うとともに、照射材料及び照射燃料を、それぞれ照射材料試験施設及び照射燃料試験施設への移送を行う。FMF で発生する高濃度廃液は、燃料切断粉等の付着している機器及び試験片の洗浄廃液であるため、基本的には、「常陽」の高濃度廃液と同様であるが、わずかに α 核種を含有している。 α 核種は FMF にて除去しているが、受入廃液中に、 α 核種や、FP 核種を含有している可能性がある。

(3) 低濃度廃液

旧 JWTF で受入れた低濃度廃液は、付属建家、メンテナンス建家、第 1SFF、第 2SFF 及び FMF から発生する管理区域内の手洗い水及びプール水が主である。

2.1.4 系統洗浄／ドレンアウトの概要

建家内の空間線量当量率を低減し、設備の安全性の向上及び維持管理を容易にするため、高線量当量となっていた塔槽類の洗浄及び廃液のドレンアウトを、施設運転停止の前に実施した。

系統の配管及び機器等に付着する放射性廃棄物は、主として常陽の燃料洗浄廃液に含まれる、運転中に燃料集合体に付着した CP や放射化ナトリウム等である。

除染の概要を表 2.1.1 に示す。また、除染の効果を図 2.1.3 に示す。なお、除染廃液の処理には、蒸発缶 A(A 系統)を使用した。

系統洗浄の結果、一部DF値が低いところがあるものの、全体としては、初期の目的を達した。特に、蒸発缶A、B及び濃縮液受槽の除染結果は、他と比較して高いDF値を示している。これは、熱硝酸による除染効果が非常に高かったためと考えられる。また、除染廃液の処理に使った蒸発缶Aは、蒸発缶Bより高い当量率を示した。

今後、廃止措置に移行する場合には、廃棄物の処分と関連して、必要な放射線レベルを設定し、除染を行う必要がある。

2.2 調査対象および調査方法

汚染状況の調査対象および調査方法について示す。

2.2.1 調査対象の選定

調査対象としては、極力、高線量当量率の主要系統が望ましいが、施設管理上およびサンプルを取り出す際の放射線被ばくの制約等から、容易に取り出せ、かつ、比較的高線量当量率と考えられる、次の4点を選定した。

- ①高レベル廃液タンクの供給側廃液サンプリング系配管
- ②高レベルタンクから蒸発缶に至る廃液供給系配管(A系統)
- ③高レベルタンクから蒸発缶に至る廃液供給系配管(B系統)
- ④蒸発缶から濃縮液受槽に至る濃縮廃液系サンプリング配管

これらの配管の設置位置を図 2.2.1 に、また、各配管を写真-1 から写真-4 に示す。

これらの配管の表面線量当量率は、主要な汚染配管および機器より低く、 $1/10$ 程度である。なお、上述のA、B系統は、それぞれ蒸発缶A、Bに対応しており、除染時に最終的に廃液処理に使用したのはA系統である。

これらの配管に対して、顕微鏡観察、X線回折、GMサーベイメータ測定及びGe半導体測定を実施した。

2.2.2 試料片の作成

(1)試料片の切り出し

取り出した配管から、各種分析用として、試料片を切り出した。分析用試料片の切り出し位置を図 2.2.2 から図 2.2.5 に示す。

①供給側廃液サンプリング系配管

本配管は、内径44mm(外径48mm)のステンレス鋼(SUS304)配管であり、水平

に位置する。本配管は比較的配管径が大きく、試料が取出し易いため、表面観察試料として上部、側部、下部の3点を作成しそれぞれ比較することとした。

②廃液供給系配管(A系統、B系統)

廃液供給系配管については、最後に廃液処理に使用したA系統と、除染しただけのB系統との相違を確認する観点から、両配管の同じ場所から試料片を切り出した。また、B系統については流量測定用配管の水平直管部中央付近からも試料片を切り出した。A系統の配管表面線量当量率は $75 \mu \text{Sv/h}$ 、B系統は、 $15 \mu \text{Sv/h}$ から $20 \mu \text{Sv/h}$ である。

なお、配管は内径15mm(外径21mm)のステンレス鋼(SUS304)である。

③濃縮廃液系サンプリング配管(濃縮廃液系配管)

濃縮廃液系配管は、水平部及び垂直部を有している。配管の垂直部と水平部では、除染時の浸漬の状況の相違を確認する観点から選定した。配管は内径15mm(外径21mm)のステンレス鋼(SUS304)である。なお、濃縮廃液系の表面線量当量率は $20 \mu \text{Sv/h}$ から $30 \mu \text{Sv/h}$ である。

(2)試料片の加工

各種分析のために、切断した配管をパイプカッター、金鋸、バイス及びバンドソー等を用いて加工した。加工の手順は次の通りである。

まず、図2.2.6に示すように、約15mmの長さに輪切り状に切断し、更に図2.2.7に示すように上部、側部、下部(濃縮廃液系配管のみ)または上部・下部に縦切りにした。

この試料片に対して、顕微鏡観察、GMサーベイメータ測定及びGe半導体測定を行なった。

上記試料は、測定終了後、X線回折用試料とするために、図2.2.8に示すように、ハンドプレスにより面出しを行った。写真-5にハンドプレスの外観を示す。

また、配管切断面(内表面近傍)の状況を顕微鏡観察するために、断面の標本を作成した。図2.2.4に示した約40mmの長さに切断した配管に、図2.2.7に示すように樹脂を充填し、樹脂が固化した後で切断し、ストレートグラインダーによるバリ取り、紙やすりなどによる研磨処理を行った。

これらの試料片の作成内容を表2.2.1に示す。分析までを含めたそれぞれの試料片の作業工程を図2.2.10から図2.2.13に示す。また、加工後の試料片を、写真

-6 から写真-15 に示す。

2.2.3 測定方法

(1)顕微鏡による配管内表面の観察

作成した試料片に対して、高倍率(100～1,000 倍)の光学顕微鏡による配管の内表面観察を行った。一般にステンレス鋼の表面の状態は 300 倍程度で把握できるので、上述の倍率で十分である。観察面はパソコンと直結したデジタル写真として撮影・保存した。

顕微鏡観察にはハイロックス社製マイクロスコープ(DH-2400)、レンズには通常タイプとして MX-5030SZ(倍率 50～300) 及び同軸落射タイプ(倍率 250～2,500)を使用した。これらの概要を図 2.2.14 に示す。写真-16 にマイクロスコープの外観を示す。

(2)配管切断面(内表面近傍)の観察

樹脂埋めした試料片を研磨処理し、切断面の状況を、光学顕微鏡を用いて観察した。観察方法は前節 2.2.3(1)で述べた方法と同じである。

(3)汚染密度の測定

加工した各試料片に対して、GM サーベイメータを用いて汚染密度の測定を行った。GM サーベイメーターはアロカ社製の TGS-136 を使用した。

(4)汚染核種分析

加工した各試料片に対して、Ge 半導体検出器を用いて汚染核種の分析を行った。使用した Ge 半導体検出器はサイクル機構が所有している汎用型のものである。

(5)X 線回折による配管の化学組成の測定

上記分析を終了した各試料片を、図 2.2.8 に示すハンドプレスを用いて、200～300 kg/cm² の圧力でプレス処理して試料面を平らにした後、写真-17 に示す X 線回折装置により、試料片表面の化学組成を測定した。

使用した X 線回折装置は、理学社製のミニフレックスを用いた。X 線管球は Fe であり、フィルターには Mn を用いた。

2.3 調査結果

調査結果の概要を、表 2.3.1 に示す。また、調査結果を以下に示す。

2.3.1 目視および顕微鏡による配管内面の観察

本節では、各配管試料内面の顕微鏡観察結果について示す。

参考として、未使用のオーステナイト系ステンレス鋼配管(SUS304 40A)の観察結果を、写真-18に示す。結晶粒は約 $20\mu\text{m}$ の大きさを有しており、顕微鏡観察により、結晶組織や粒界が明確に確認できる。

(1)高レベル廃液タンク供給側廃液サンプリング系配管

本配管は、写真-1に示すように、設備の使用中止後にバルブの外側に閉止フランジを取付けていた。この配管は水平に位置しているが、系統上、設備の下方に位置するため、内部に放射性廃液または除染廃液が溜まった状態にあった。したがって、写真-1のテープィングしたフランジ部分で取外した際に、配管内部から約1ℓの液体が漏出した。この液体については特に分析を実施しなかった。

分析用試料として、図2.2.2に示すように、バルブとフランジの間の配管を使用した。以下に調査結果を示す。

①バルブ側

バルブ側配管の内面を写真-6に示す。

目視観察の結果、配管上部内表面には、黄褐色の皮膜が確認された。また、バルブ側配管側部および下部には、特に皮膜のような変化は見られなかった。

配管上部の顕微鏡写真を写真-19に示す。配管上部には目視観察と同様に、薄茶褐色の皮膜が確認された。皮膜は部分的に付着しており、結晶粒界の確認できる場所もあった。また、皮膜に隠れて明確ではないが、黒褐色状に点在している部分は、表層部の結晶粒子が、局部腐食などにより脱落したものと考えられる。

配管側部および下部の顕微鏡写真を、それぞれ写真-20および写真-21に示す。側部および下部とも、内表面は同じような状態であり、結晶粒界が確認できた。また、側部および下部とも、上部と同様に結晶が脱落したと考えられる空孔が観察された。空孔の数については、上部、側部および下部とも同程度であった。

写真-20および写真-21に示す、側部および下部の顕微鏡写真($\times 1000$)には、空孔の状況が良く示されている。特に、写真-20については、焦点深度を変えて観察した結果、空孔の深さは、粒子の大きさ程度であることが分かった。

②ライン側

ライン側の内表面を、写真-7に示す。

目視観察では、バルブ側と異なり、上部、側部および下部のいずれの位置でも特に変化は見られなかった。

各部の顕微鏡写真を、写真-22、写真-23および写真-24に示す。上部は、目視では確認できなかつたが、皮膜状の層があるため、結晶の組織は判然としない。側部および下部では結晶組織が観察でき、わずかにではあるが薄い皮膜が観察される。また、各部とも表層部の結晶の脱落と思われる空孔が確認された。

(2)廃液供給系配管(A系統)

本配管からは廃液が抜かれており、配管の取外し時に廃液が漏出することはなかつた。オリフィスの上流および下流での、流れの違いの影響を確認するために、オリフィス前後の配管を調査した。

なお、本配管は外径21mmと廃液系配管より小さいため、配管の上、下を2分割して試料とした。

①上流側

上流側の内面を、写真-8に示す。目視観察により、内面には、廃液系配管のバルブ側上部と同様な、黄褐色の皮膜があることが確認された。

上流側の顕微鏡写真を写真-25および写真-26に示す。上部、下部とも茶褐色の皮膜と空孔が観察され、粒界は確認できなかつた。なお、表層部の空孔は試料全面に渡り、ほぼ均一に分布している。

②下流側

下流側の内面を写真-9に示す。また、顕微鏡写真を写真-27および写真-28に示す。目視観察では、特に内面に異常は確認できなかつたが、顕微鏡観察では茶褐色の皮膜および空孔が確認できた。結晶粒界は確認できなかつた。

(3)廃液供給系配管(B系統)

B系統配管も、基本的には廃液は残留していなかつた。本配管も外径21mmなので、A系統と同様に、配管の上、下を2分割して試料とした。

また、オリフィスから分岐した流量測定用配管についても調査を行なつた。この配管は内部に廃液が封入された状態になつてゐたため、試料片を切り出す際に、約200cc(配管内部にほぼ満たされた状態)の液体が漏出した。液体の性状は黄褐色であり、pHはほぼ1であった。この配管系統は運転終了時に硝酸による除染を実

施しているので、この除染液が抜けきらずに封入されたものと考えられる。

①上流側

試験片内表面を写真-10 に示す。写真では判別しにくいが、目視観察では、上流側内表面に、高レベル廃液系配管と同様な、黄褐色の皮膜が観察された。

顕微鏡写真を写真-29 および写真-30 に示す。全般的に、結晶粒界は不明確である。下部では黄褐色の皮膜が良く確認できた。また、全体に結晶粒子の脱落と考えられる空孔が観察された。

②下流側

試験片内表面を写真-11 に示す。目視観察の結果では、下流側内表面には、特に変化は見られなかった。

顕微鏡写真を写真-31 および写真-32 に示す。顕微鏡観察では、黄褐色や茶褐色の皮膜が薄く広がっている様子が見られた。皮膜は、特に下部に顕著である。また、上流側と同様に、表層部に結晶粒子の脱落と考えられる空孔が存在していた。

③流量測定用配管

試験片内表面を写真-12 に示す。目視観察では、内表面全体に渡って、濃い黄褐色の皮膜があることが確認された。なお、この皮膜と、残留した廃液(除染液と思われる)の色は同じである。

顕微鏡写真を写真-33 および写真-34 に示す。この試験片は、目視により、表面に皮膜が明確に確認されたが、顕微鏡では結晶粒界の確認が可能であった。

(4)濃縮廃液系サンプリング配管

本配管はサンプリング用として使用されており、サンプリング時以外は、バルブにより閉止されているため、通常は、ほとんど廃液が流れていなかった。また、旧 JWTF 運転停止に伴ない、バルブより先端部は閉止フランジにて施栓されていた。

本配管も外径 21 mmなので、廃液供給系配管と同様に、配管を 2 分割して試料とした。また、配管の位置による違いを観察するために、垂直部と水平部から試料を切り出した。

なお、本配管取出し時には、フランジ側から微量の廃液が漏出したが、配管内のほとんどは廃液に浸漬していなかったと思われる。

①水平部

水平部の試料を写真-13 に示す。写真では分かりにくいが、目視観察では特に有意な変化は認められなかった。

顕微鏡写真を写真-35 および写真-36 に示す。顕微鏡観察においても、特に有意な変化は認められず、他の系統の配管と異なり、比較的明瞭に結晶粒子が確認できた。また、他の系統と比較して、空孔が少ないことが判明した。これは、本系統の使用頻度が少なく、また、廃液が残留していないなど、保管状態が良好であることに起因していると考えられる。

②フランジ側(垂直配管)

試料片を写真-14 に示す。また、顕微鏡写真を写真-37 に示す。

目視および顕微鏡観察とも、水平部と同様であり、有意な変化は見られなかった。

③バルブ側(垂直配管)

試料片を写真-15 に示す。また、顕微鏡写真を写真-38 に示す。

目視および顕微鏡観察とも、水平部と同様であり、有意な変化は見られなかった。

2.3.2 配管切断面(内表面近傍)の観察

各系統の配管内表面への酸化物や付着物の状況(径方向)を、光学顕微鏡を用いて調べた。以下にその結果を報告する。

なお、写真全般に渡って、全体的に表面のバリのように見えるのは配管切断時の影響である。またエッティング処理後にも観察された表面上の黒い点はバフの滓または研磨剤の残りと考えられる。筋状の線は試料片を処理する際に付いた傷である。これらの加工は管理区域内にて、保護具を着用し、手作業で実施したため、やや不十分な仕上げとなった。

(1)高レベル廃液タンク供給側廃液サンプリング系配管

本配管試料は、図 2.2.2 および図 2.2.7 に示すように、U 字部の中央から切り出した輪切りの試料であり、表面観察は配管上部、側部および下部に対して行った。写真-39 から写真-41 に断面を示す。

①配管上部

配管上部の写真-36 のうち、倍率 1,000 倍の写真において、内表面から母材

に向かって鍵状に幅 $4\sim10 \mu m$ 、長さ約 $53 \mu m$ の黒色の線が見られた。これはエッティング処理前の写真であり、研磨時の筋状の線が同じ方向にいくつか見られることから、研磨時の損傷か研磨の残材と考えられる。この他には、特に顕著な変化は見られなかった。なお、この場所は配管周方向の溶接部の熱影響部である。

②配管側部

配管側部の断面を写真-40 に示す。側部表面近傍には、特に損傷等は観察されなかった。

③配管下部

写真-41 に配管下部の断面を示す。エッティング処理した倍率 500 倍および 1,000 倍の写真において、場所が異なるが、表層から母材の中に向かって斜めに腐食によるものと考えられる、帯状に連続した組織(空孔)が観察された。この内部に汚染物質が付着する可能性がある。

倍率 500 倍の写真ではこの帯状の組織の大きさは幅が約 $47\sim107 \mu m$ 、深さが約 $440 \mu m$ 程度である。この組織は、写真断面では途中で分離しているが、母材の内部に独立してこのような組織が存在することは考えにくく、両組織は、実際には異なる断面位置でつながっているものと考えられる。

倍率 1,000 倍の写真では、帯状の組織は配管内表面から真っ直ぐに母材側に進展し、その後、母材中で周方向の左側に進展し、更に斜めに進展している。また、この組織は、この断面では途中で途切れているが、その先で、母材中に進展している様子が観察された。帯状の組織の形状は極めて複雑であり、幹から枝が伸びたような構造となっている。なお、その組織は幅が約 $7\sim50 \mu m$ 、長さは、途中で途切れたところまでで、約 $230 \mu m$ であった。この組織の終端は確認していない。

(2)廃液供給系配管(A 系統)

図 2.2.3 および図 2.2.7 に示すように、廃液供給系配管(A 系統)のオリフィスの上流側から切り出した輪切りの試料について、配管上部、側部および下部の断面観察を行った。添付資料の写真-42 から写真-44 にその結果を示す。

①配管上部

配管上部の断面を写真-42 に示す。顕微鏡観察の限りにおいては、表面近傍

には特に大きな変化は確認されなかった。

②配管側部

配管側部の観察結果を写真-43 に示す。写真から判るように、顕微鏡観察で見た限りにおいては、使用後の損傷等は確認されなかった。なお、エッティング後の倍率 1,000 倍の写真において、斜め横に髭状の黒い線が見られるが、これは一方向に研磨した際の傷と考えられる。

③配管下部

配管下部の断面を写真-44 に示す。顕微鏡観察の限りでは、変化は特に確認されなかった。

(3)廃液供給系配管(B 系統)

廃液供給系配管(B 系統)試料には、図 2.2.4 および図 2.2.7 に示すように、オリフィス上流側から切り出した試料と、流量計測用配管から切り出した試料の2点がある。表面観察はそれぞれに対して配管上部、側部および下部について行った。写真-45 から写真-50 にそれらの断面を示す。

①上流側配管上部

配管上部の断面を写真-45 に示す。顕微鏡観察で見た限りにおいては、変化は特に確認されなかった。

②上流側配管側部

配管側部の断面を写真-46 に示す。顕微鏡観察の限りにおいては、設備使用後の変化は、特に確認されなかった。なお写真において、軸方向に向かって髭状の黒い線が見られるが、これは一方向に研磨した際の傷と考えられる。

③上流側配管下部

配管下部の断面を写真-47 に示す。顕微鏡観察の限りにおいては、設備使用後の変化は、特に確認されなかった。なお、写真において、軸方向と径方向に髭状の黒い線が見られるが、これは研磨した際の傷と考えられる。

④流量計測用配管上部

配管上部の断面を写真-48 に示す。顕微鏡により観察した限りにおいては、特に変化は確認されなかった。なお、エッティング前の写真で表面から母材に向かって幅約 $7 \mu\text{m}$ から $20 \mu\text{m}$ 、深さ約 $40 \mu\text{m}$ の黒い線が見られるが、これは研磨した際の傷か研磨の残材と考えられる。

⑤流量計測用配管側部

配管側部の断面を写真-49に示す。顕微鏡を用いて観察した限りにおいては、供用による損傷は確認されなかった。

⑥流量計測用配管下部

配管下部の断面を写真-50に示す。配管内表面から母材に向かって、幅約 $20\mu\text{m}$ から $40\mu\text{m}$ 、長さ約 $117\mu\text{m}$ の黒い線が観察された。エッティング後の写真と同一の場所ではないため、研磨した際の傷か研磨の残材と考えられる。この他に、特に顕著な変化は確認されなかった。

(4)濃縮廃液系サンプリング配管

濃縮廃液系サンプリング用配管については、図2.2.5および図2.2.7に示すように、U字部のほぼ中央から切り出した輪切りの試料を用い、配管上部、側部および下部に対して表面観察を行った。写真-51から写真-53にそれらの断面を示す。

①配管上部

配管上部の断面を写真-51に示す。顕微鏡で観察した限りにおいては、使用後の変化は特に確認されなかった。なお、倍率500倍の写真において、黒色でよれて三日月状になったものは、研磨の残材と考えられる。この他に、特に顕著な変化は確認されなかった。

②配管側部

配管側部の断面を写真-52に示す。配管内表面から母材に向かって、幅約 $10\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ 、長さ約 $110\mu\text{m}$ の黒い線が観察された。これは研磨した際の傷か研磨の残材と考えられる。この他に、特に顕著な変化は確認されなかった。

③配管下部

配管下部の断面を写真-53に示す。顕微鏡で観察した限りにおいては、特に供用による変化は確認されなかった。

2.3.3 GM サーベイメータによる汚染密度の測定

切り出した試料片を加工し、光学顕微鏡による観察を行った後、各試料片に対して、GM サーベイメータによる汚染密度の測定を行った。その結果を表2.3.2に示す。

測定の結果、①廃液供給系配管(A系統)、②高レベル廃液タンク系供給側廃液サンプリング配管、③廃液供給系配管(B系統)、④濃縮廃液系サンプリング配管の順に汚染密度が高い値を示した。

なお、③廃液供給系配管(B 系統)、④濃縮廃液系サンプリング配管については、ほとんどバックグラウンドレベル(70cpm)もしくはこの値に近い 70cpm から 400cpm の汚染密度であった。

全般的に、配管の下部が高い汚染密度を示したが、これは、供用時に沈降性の汚染物質が下部において堆積もしくは酸化物に取り込まれやすいためと考えられる。

なお、高レベルタンク廃液供給側廃液サンプリング系配管のバルブ側は、表面観察において、上部内面に明確に有色皮膜の存在が確認された上部(3,200cpm)が、側部(100cpm)よりも高い汚染密度を示しており、皮膜の中に放射性核種が取り込まれていると考えられる。

廃液供給系配管は A、B の両系統とも施設を運転している時は交互に使用しているものの、汚染密度のデータにかなりの乖離(例えば上流側下部で A 系統が 18,500cpm に対して B 系統は 270cpm)があった。これは施設の使用停止時の最終的な廃液処理に A 系統を使用したためと考えられる。

2.3.4 Ge 検出器による汚染核種の測定

各試料片に対して、配管の内表面から母材や皮膜等の中へ入り込んだ放射性核種の同定を行うために、Ge 検出器による分析を行った。検出及び分析には、キャンベラ社製システム 100 を使用した。

各系統毎の Ge 測定データおよび ^{60}Co に対する他の核種の放射能濃度比を表 2.3.3 から表 2.3.7 に示す。測定は、当初全試料について 300 秒の計測時間で行った(ただし、廃液供給系 B 系統配管の下流側上部については GM 測定結果がバックグラウンドレベルであることから省略した)。この結果、各系統とも、汚染源である放射性核種は ^{60}Co が支配的であることが判った。これらの測定結果では、汚染密度が高い廃液供給系配管 A 系統の上流側下部の試料片は ^{60}Co の他、 ^{137}Cs が検出された。しかし、放射能濃度は ^{60}Co 比で 2×10^{-3} であり、放射能濃度としてはほとんど寄与しないことが判る。

各系統における、他の核種の存在を確認するために、Ge 計測時間を長くして測定を行った。その結果を以下に示す。

(1) 高レベル廃液タンク系供給側廃液サンプリング配管

高レベル廃液タンク系サンプリング配管の各試料について 10,000 秒計測した結果、GM サーベイメータにより比較的大きな汚染密度測定値を示したバルブ側下部、

ライン側側部およびライン側下部において、 ^{60}Co 以外に ^{137}Cs が検出された。また、計測時間を 60,000 秒としたバルブ側上部でも同様に ^{137}Cs が検出された。しかしながら、これらの放射能濃度は ^{60}Co 比でいずれも 10^{-4} のオーダーであり、放射能濃度としてはほとんど寄与しないことが判る。

(2) 廃液供給系配管(A 系統)

廃液供給系 A 系統配管では、 ^{137}Cs が 300 秒計測で検出された上流側配管下部について、計測時間を 2,200 秒として 300 秒との比較を行った。 ^{137}Cs の ^{60}Co 比の放射能濃度は 10^{-3} オーダーであり、特に変化はなかった。また、この系統では 2 番目に汚染密度の高い下流側配管下部について、60,000 秒で計測した結果、 ^{137}Cs が検出された。しかしながら、これについても放射能濃度は ^{60}Co 比で 10^{-4} オーダーであり、放射能濃度としてはほとんど寄与しない。

(3) 廃液供給系配管(B 系統)

本配管では、汚染密度が小さいこともあり、1,200 秒の測定時間では ^{60}Co 以外の核種は検出されなかった。また、汚染密度が最も高い流量計測用配管下部について 60,000 秒間測定した結果からは ^{137}Cs が検出されたが、この放射能濃度も ^{60}Co 比で 10^{-3} オーダーであり、放射能濃度としてはほとんど寄与しないことが判る。

(4) 濃縮廃液系サンプリング配管

本配管の汚染密度はほとんどバックグラウンドレベルであり、バックグラウンドの核種確認も兼ねて 200,000 秒の計測時間で行った。この結果、有意な核種として、 ^{60}Co の他、 ^{137}Cs 、 ^{109}Cd 、 ^{57}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{22}Na が検出された。これらの放射能濃度は ^{60}Co 比で 10^{-2} から 10^{-3} オーダーであり、放射能濃度としては寄与しない。

以上の測定結果から、汚染に大きく関与している放射性核種は ^{60}Co であることが明らかである。

2.3.5 X 線回折による配管内表面の化学組成の測定

X 線回折装置を用いて試料片の表面の化学的組成を測定した。X 線回折測定のために、ハンドプレスを用いて試料を平らにした。

また、X 線回折結果の中で、有意な信号と見られるピーク値が存在すると考えられる代表的な試料 5 点について、分析用ソフトウェア JADE により、結晶性ピークの角度と強度を読み取って新たにプロファイルを作成し、定性分析を実施した。

回折結果からは、SUS304 の構成元素である(Fe、C)、Fe-Cr 以外は同定できなか

った。なお、試料片のうち、濃縮廃液系配管バルブ側のみについては、明確ではないが亜磷酸水素カルシウム($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$)の存在の可能性が示された。

しかしながら、pH1の除染廃液(硝酸)を約3年に渡って封入していた廃液供給系(B系統)の流量測定用配管においても何らかの酸化物を検出しないのは不合理であり、したがって、酸化物が検出できないのは、酸化物量が非常に少ないなど、測定精度上の問題があるものと考えられる。

2.4 汚染状況調査のまとめ

汚染状況の調査結果を表2.3.1および以下に示す。

(1) 試料表面の目視および顕微鏡観察

配管内表面の目視観察では、各配管の一部に、黄褐色または茶褐色の皮膜が観察された。

光学顕微鏡による内表面観察でも、同様に、所々に皮膜が観察され、金属組織の確認が困難であった。また、配管のほぼ全面に渡って、結晶粒子が脱落していると思われる空孔が確認された。さらに、表面近傍の断面観察では、一部の配管において内表面から母材内部に向かって腐食によるものと考えられる組織が観察された。この組織は空孔状であり、その寸法は幅約 $47\mu\text{m}$ から $107\mu\text{m}$ 、深さが約 $440\mu\text{m}$ 程度であった。

また、使用回数の少ない濃縮廃液系サンプリング配管では、目視および顕微鏡観察とも有意な変化は見られず、金属組織の確認も可能であった。

(2) 汚染密度

GM サーベイメーターによる汚染密度の測定から、全体として配管の下部ほど汚染密度が高く、放射性物質が配管下部に沈着したものと想定される。また、高レベル廃液タンク供給側サンプリング系配管では、側部および下部と比較して明確に皮膜が確認できる上部でも、比較的高い汚染密度を示した。これは、放射性物質が皮膜内に取り込まれている可能性を示している。

(3) 汚染核種

Ge 検出器による放射性核種の同定から、系統配管内の汚染核種は ^{60}Co が支配的であることが判った。最も汚染密度が高いのは、廃液供給系A系統配管であり、約 $390\text{Bq}/\text{cm}^2$ である。 ^{137}Cs も検出されたが、放射能濃度は ^{60}Co 比で $10^{-3}\sim 10^{-4}$

のオーダーであり、無視しても差し支えない。

「常陽」から受入れる廃液に含まれる汚染核種の主なものは ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 及び ^{51}Cr であるが、これらはオーダーとしては同程度であり。また、 ^{60}Co 以外の核種は半減期が短いことから、運転停止約 3 年後には、残留する放射性核種は ^{60}Co が支配的になるものと考えられ、これは、測定結果と良く一致する。

(4) 化学形態

X 線回折により配管内表面の化学組成を分析した結果、SUS304 以外の構成元素以外は同定できなかった。しかしながら、除染廃液(pH1)が封入されていた廃液供給系(B 系統)の流量測定用配管においても、酸化物が検出されなかつた。このことから、分析の結果は酸化物が存在しないことを示しているのではなく、測定精度等の問題から、検出できなかつたものと考えられる。

施設の運転においては、受入れ廃液は pH10~12 程度であり、各配管はこの廃液を直接または中和してから受入れており、厚い酸化膜が形成されることはないと考えられる。除染においては、工業用水および硝酸を使用しており、酸化膜を形成する可能性はあったが、実際には、廃液供給系(B 系統)の流量測定用配管に形成された黄褐色の皮膜であっても、断面写真($\times 1000$)で皮膜厚さが判らず、下層の金属組織が確認できる程度の薄膜である。

したがって、放射能濃度が高いところについては、この薄い皮膜の中に汚染物質を、特に沈降性の高い ^{60}Co を取り込んでいるか、あるいは、結晶粒子の脱落部(空孔)に放射性物質が沈着している状態が想定される。

今回調査を実施した配管は汚染レベルの高い系統の配管ではない。供用中に頻繁に使用された主配管等では、内表面の皮膜がより厚かつたり、母材の腐食がさらに進展している可能性がある。今後、除染の実施に当たっては、事前に主系統よりサンプルを採取して、ホット除染試験を含めて汚染状況および性状を確認する必要がある。

3. 除染技術の調査

3.1 除染技術調査の概要

第2章において旧 JWTF の一部の配管に関し、目視および機器分析により汚染状況および化学形態等を調査した。第3章では、この調査結果を踏まえて、主要な汚染核種の除染方法について調査した結果を示す。

除染方法には、図3.1に示すように、化学除染、物理除染、電気化学除染および複合除染に大別できる。これらの除染法は、日常的に原子力施設の定期点検時の保守、予防保全および設備の更新等の作業への被曝低減策として効果を上げている。

一方、原子力施設または設備の廃止措置に基づく解体時には、被曝低減のための除染を行なうだけでなく、クリアランスレベルの問題や処分を考慮して、汚染レベルをさらに低減するとともに有機物を局限する必要がある。

廃止措置に伴う解体では、原子力施設の保守・保全等の作業とは異なり、配管等の汚染表面の溶解による腐食が極端に進行しても問題ではなく、むしろ、除染後の放射能レベルをいかに低減できるかどうかが重要である。また、除染能力とともに、除染対象施設の配管、塔槽類等の系統への適合性、二次廃棄物の処理および経済性を考慮して除染技術を選定する必要がある。

3.2 除染技術調査に反映すべき事項

汚染状況調査の結果において、考慮すべき事項は以下の通りである。

- (1) 除染対象とする核種は、主に⁶⁰Coとする。
- (2) 調査対象となった配管では、Fe-O系およびCr-O系等の酸化物の顕著な形成は見られなかった。暫定的に、酸化物はほとんど存在しないものとするが、使用頻度および汚染レベルの高かった系統内機器に関しては、さらに調査が必要である。
- (3) 調査対象となった配管では、Fe-Cr系の形成のみであり、Fe-Co系およびCr-Co系の形成が見られなかつたので、⁶⁰Coをターゲットとした除染には影響がない。系統主配管については、調査する必要があり、Fe-Cr-Co系が存在し、かつ、汚染レベルが高い場合には、局部的な物理除染等を考慮する必要がある。
- (4) 亜リン酸水素カルシウム[Ca(H₂PO₂)₂]が検出されたが、これは硝酸および塩酸等

の酸溶液でリン酸水素カルシウム($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)になり、容易に溶解できる。したがって、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ に汚染核種が内包されていた場合でも、除染は容易であり、特に除染方法を検討する必要はない。

以上を考慮して、除染対象核種を主に ^{60}Co とし、比較的除染係数の高い除染方法を調査することとした。

3.3 除染技術の調査結果

除染係数の高い除染方法に関する調査結果を表 3.1 に示す。また、概要を以下に示す。

(1)Sonatol プロセス¹⁾

清浄剤として過フッ化炭素溶媒(PFC)に高分子のフッ化炭素の界面活性剤を溶かして用いる方法で、10Mrad の γ 線下でも効力を失わず、耐放射線性を有する。

この除染技術は、米国 Pilgrim 原子力発電所(69.6 万 kW BWR)で使用された実績がある。除染された部品の大部分は管理区域外への持出しが可能になり、また、除染された精密エレクトロニクス機器は、その後、正常に作動した。

本プロセスを用い、超音波処理することにより、1 時間除染した時の DF は 1213($\pm 31\%$)であり、純粋の PFC を用いる場合(DF=250)より格段に高い除染効果が得られる。

(2)ガス流動研磨法²⁾

日本原子力研究所で開発を行なっている、大口径配管に適用可能な乾式除染技術で、研磨材として、アルミナや鋳鉄グリッドを用いたガス流動研磨法である。

研磨剤の投射方式としては、強制投射よりも自重式投射の方が研削力が高い。この場合、ベンド部を含む配管において、投射ノズルから約 10m の範囲で約 $20 \mu\text{m}$ から $50 \mu\text{m}$ を研削した試験結果がある。

また、配管径の大きい方が旋回流動が得やすく、平均的な研削性能が向上する。200A 配管に適用した場合、100A 配管の場合と比べて、同程度から数倍に達する研削性能を有している。

研磨剤としてはアルミナの方が鋳鉄の約 1.3 倍の研削能力を有している。しかしながら、アルミナの消耗率が鋳鉄の約 4 倍であることを考慮すると、総合的には鋳

鉄グリッドの方が優れている。

(3)原位置遠隔電解研磨法²⁾

電解除染法を適用して、解体前系統配管内の汚染を、汚染原の位置で除染する方法で、日本原子力研究所が開発を行なっている。

二つのバルーンの間に組み込まれた内部電極からなる電解除染部、配管内を移動するための走行機構部および電解液循環装置等付帯設備から構成される。

まず、電解除染部を配管内部に挿入し、当該位置まで走行機構により移動させる。次に、両端のバルーンに空気を供給し、膨らませて閉空間を形成して電解液を満たす。この電解液を循環させながら、バルーン間の配管内面を除染する。

試験の結果、初期電解液温度 50°C、陽極電流密度 0.1A/cm²の条件で、研磨速度 1.45 μm/分が得られた。

(4)フォーム除染³⁾

少量の泡剤で効率の良い除染が可能であり、2次廃棄物量は除染液を循環させる場合と比較して、1/10 以下である。また、泡剤は酸性およびアルカリ性(5mol/Lまで)いずれの環境でも使用可能である。

本除染方法は、EU(European Union)での原子力に関する計画の一環として、1993 年に実施されたグラファイトガスクーラーの除染で使用され、良好な結果が得られた。グラファイトガスクーラーの仕様は以下の通りである。

全容量:18m³(汚染部容量:13m³)

汚染面積:1000m²

汚染部材質:炭素鋼(クーラー本体)90m²、錫入り真鍮管:873m²

主要汚染核種:⁶⁰Co、¹³⁷Cs

この除染で発生した廃液は 6m³(6.2 L/m²)であり、DF は 190 であった。

(5)塩酸浸漬除染⁴⁾

本除染方法は、東海発電所の廃止措置に伴う、蒸気発生器の除染技術として、川崎重工業により検討されており、実機より採取した試験片を用いた除染試験が実施された。

対象となる蒸気発生器内部には 6 層の伝熱管群があり、試験片は各層の伝熱管群上部のバッフル板(伝熱管群を囲む厚さ 5 mm の整流板)から採取された。材質は炭素鋼で、マグネタイト中に炭素が析出した分厚い酸化膜(最大 300 μm)が形

成されている。主要核種は⁶⁰Coであり、放射能濃度は5~34Bq/gであった。

本除染方法を適用することにより、除染後の放射能濃度は 4×10^{-3} Bq/gになり、DFは1000以上であった。

(6) REDOX 除染法

①BWR ホットサンプルによる除染試験⁵⁾

中部電力および東芝により、ビーカースケールでのホットサンプル除染試験が行なわれた。除染液として硫酸系 REDOX 除染液($\text{Ce}^{+4}-\text{H}_2\text{SO}_4$)および硝酸系 REDOX 除染液を用いた。

ステンレス鋼の場合、約10~50 μm溶解すると、DF=500~5000が得られた。また、炭素鋼の場合、約100~200 μm以上溶解すると、DF=80~110が得られた。

②JPDR の強制循環系除染⁶⁾

日本原子力研究所により、硫酸系 REDOX 除染液(0.25M)を使用して、JPDR の強制循環系の除染が実施された。106時間の除染を実施して、除染係数は300~1200(平均900)であった。

(7) CORD/UV プロセス^{7), 8), 9)}

酸化剤に過酸化マンガン酸、還元剤にシウ酸を用いる酸化還元除染法の一つであり、酸化、除染、洗浄の3工程からなり、BR3(ベルギー、10.5 MW PWR)で使用された。

酸化工程では、0.4g/lの過マンガン酸が使用された。除染工程では3g/lのシウ酸が用いられた。洗浄工程では、過剰な有機酸が過マンガン酸または過酸化水素で消滅された。3サイクルの除染を実施した結果、除染係数はほぼ10程度が得られた。

また、VAK(ドイツ、167MW BWR)では、5サイクルの除染が行われ、DFは20~120が得られた。

OKGI(スウェーデン、442MW BWR)では4サイクルの除染が実施され、除染係数は、再循環ループで30、RPV底部で約1000が得られた。

Loviisa2(フィンランド、445MW PWR)では、4サイクルの除染が実施され、DFは14から153であった。

(8)超流動振動除染技術¹⁰⁾

除染対象物の外部から変調磁場を与え、内部の磁性体除染剤を揺動し、汚染面を研磨除染する方法で、現在は試験段階にある。

酸性磁性体研磨剤の直接接触と瞬時磁気反転による高い除染効率が得られ、大型汚染物の非解体および解体前除染が可能である。

⁶⁰Coを焼き付け、汚染したステンレス鋼試験体の除染試験では、3000以上の除染係数が得られた。

4. 除染技術の適用性に関する考察

4.1 概要

旧 JWTF の除染方法の適用性評価に当たり、旧 JWTF の解体除染の方針について整理し、これに基づいて除染方法を考察した結果を以下に示す。

4.2 デコミッショニングにおける除染の概念

原子力施設のデコミッショニングにおける除染は、次の目的で実施される。

- ①解体前除染による解体作業時の被曝低減および汚染拡大防止
- ②徹底除染による放射性廃棄物量の低減

①に関しては、基本的には供用中原子力施設の除染の延長にあり、作業上、必要な放射線レベルまで低減することを目的として行われる。一方、②については、放射性廃棄物処分上の負担の軽減を目的として、相当量の廃棄物のレベル区分を低減したり、クリアランスレベル以下とすることを目標とする。

これらの除染に関する一般的な目的を、旧 JWTF に適用した場合について、考察した結果を以下に示す。

4.2.1 解体作業時の被ばく低減および汚染拡大防止

解体前除染による被ばく線量当量の低減は、安全性の観点から非常に重要であるとともに、解体作業に伴う経済性においても重要な位置付けにある。すなわち、高空間線量当量下での作業は、作業時間の制約や高価な遠隔機器の導入など、一般にコストアップ要因となる。

ここで、旧 JWTF の暫定除染目標を次のように仮定した。

まず、汚染性状調査作業での実績より、1配管をフランジから取外すのに要した時間は約 30 分であり、さらに直接配管に接触している時間は約 10 分であった。ここで、主要な被ばくは配管との接触中に受け、その時の線量当量率は表面線量当量率と同等と仮定する。また、1日当たりの作業時間を 5 時間とし、取り外し配管数を、長さ等には関係ないものとして、10 本とする。1ヶ月当たり 25 日作業するものとすると、3ヶ月間で被ばくする時間は約 125 時間となる。要警戒レベルは、実効線量当量率で $13\text{mSv}/3\text{ヶ月}$ である。以上より、配管表面での線量当量率を $0.1\text{mSv}/\text{h}$ 以下とすることとする。

ただし、大型のタンク類については、切断等の作業時間がかかり、また、寸法が大きいため空間線量当量率が大きくなることを考慮し、作業中、常に接触状態にあるものと仮定して、表面での線量当量率を上記の1/3である0.033mSv/h以下とする。

また、平成18年解体予定として12年間の安全貯蔵が行われたとし、主要核種が⁶⁰Co(半減期5.3年)であることから、機器の表面線量当量率は、約22%まで低下するものと仮定する。

以上に基づき、除染のレベルを次のように分類した。また、結果を表4.1に示す。

①除染が不要な機器

蒸発缶AおよびB、濃縮液受槽、低レベルタンクA、BおよびC、上澄液タンク、放出予備タンク

②必要なDFが10以下の機器

中和槽サンプリング配管、自動中和装置配管、受入配管(6系統)、薬廃タンク

③必要なDFが10を越えて50以下の機器

中和槽本体、中和槽移送配管、定量槽本体、高レベルタンクAおよびB

④必要なDFが50を越える機器

定量槽移送配管(必要DF≥101)、計量槽本体(必要DF≥420)

したがって、④に示す機器は比較的大きなDF≥420以上を必要とするが、他の機器はDF=10～50程度が達成できれば、作業上の安全性は確保できることとなる。

4.2.2 解体廃棄物のレベル区分の低減

例えば、浅地層処分を目的として廃棄物のレベル区分を低くすることである。すなわち、廃棄物を当該レベル区分に入るように改めて除染し、処分場へ搬送するまでの間、一時貯蔵する。しかしながら、現状では、原発以外の廃棄物処分場が確定していないため、レベル区分を低減しても、外部への持出しができない。

したがって、現状ではレベル区分を低減するだけの除染は避けた方が望ましい。

4.2.3 クリアランスレベル以下にすることによる廃棄物低減

廃棄物を現在審議されているクリアランスレベル以下まで除染にすることにより、放射性廃棄物を大幅に低減し、除染された廃棄物を条件付き一般処分とすることができる。すなわち、除染された廃棄物の最終処分は、リサイクル(金属等再生処理)することが明確で、処理業者が廃棄物の経歴を理解、了解している場合に、当該業者へ処分を委託することができるようになる。

クリアランスレベルの実質的な運用開始までは、廃棄物を一時貯蔵する必要があるが、実施が確実であり、除染後の廃棄物がほぼ一般廃棄物並みに取扱えることが有利である。

また、この除染は、解体前後のいずれでも良いため、除染方法や規模に関して比較的自由度がある。

4.3 除染技術に関する考察

汚染状況の調査および除染技術の調査結果を踏まえて、旧 JWTF の除染技術の適用性について考察を行なった。

4.3.1 評価のための条件

(1) 対象核種

除染対象核種は ^{60}Co とする。

(2) 除染目標

ALARAに基づき、解体作業時の被ばくの低減を目的として、系統別に解体前除染(系統除染)を行なうものとする。DF は前項で示した通り、系統毎に設定し、適切な除染方法を選定する。ただし、調査した除染方法の DF は除染時間および除染温度等の関数であるので、評価上は目安と考える。

また、処分を考慮してクリアランスレベル以下とする徹底除染についても考慮するが、これは解体後実施でも構わない。調査では、配管内表面より深さ約 $440\ \mu\text{m}$ に達する空孔(腐食組織)が確認されており、今後の調査によってはその深さまで除去する必要が生じる可能性はある。なお、主要核種である ^{60}Co のクリアランスレベルは、 0.4Bq/g 以下である。

(3) 除染剤

除染剤によっては、廃液の専用処理設備が必要であり、コストアップ要因となる。除染剤は、JWTF で処理可能な硝酸系を使用するか、あるいは可能な限り再利用可能なものとする。

(4) 高汚染レベルの汚染状況

今回の調査範囲に含まれていない、中和槽、計量槽等の高汚染機器については、内部の汚染物質が CP の沈降堆積物なのかスラッジ状なのか不明である。物理的な汚染形態が異なると、除染効果が期待できないケースも考えられるので、両ケー

スを考慮する。

(6) 環境負荷

環境に直接影響を与える塩素系や有機溶媒を使用する除染方法は採用しないこととする。

4.3.2 適用性の考察

4.3.1 項で設定した条件に従い、3章で調査した除染方法の適用性を評価した結果を以下に示す。

(1) 解体前除染(系統除染)

① 必要な DF が 10 以下の機器

(イ) 中和槽サンプリング配管、自動中和装置配管、受入配管(6 系統)は、必要な DF が小さいことから、硝酸による浸漬除染を用い、浸漬時間を長くするなどにより対応できる可能性がある。特に、熱硝酸を使用した場合は、十分に除染可能と考えられる。他の CORD 法や REDOX 法などの化学除染方法および複合除染でも加熱する必要があり、また、廃液処理の問題を考慮すれば、JWTTF で処理できる硝酸を使用できるメリットは非常に大きい。

(ロ) 薬廃タンクは寸法が大きく、容積が約 1400t 必要である。塔槽類の洗浄実績として、中和槽本体で 1N 硝酸を 1800t 使用した実績を考慮すると、浸漬除染は量的には問題ないレベルである。ただし、1N 硝酸および水洗浄による除染実績値では、やや確実性に劣るため、除染時間を長く取るか、可能であれば、加熱する。

② 必要な DF が 10 を越えて 50 以下の機器

(イ) 定量槽本体は容量が約 400t 程度なので、十分に除染液に浸漬可能である。ただし、常温で除染する場合は、確実性に問題があり、熱硝酸が望ましい。中和槽移送配管も同様である。

(ロ) 中和槽本体は容積が約 17000t と大きく、浸漬除染では大量の除染液が必要になる。また、常温での除染では確実性が低い。除染液量を低減する観点からは、廃液量が 1/10 になるというフォーム法が考えられる。ただし槽類では除染剤の循環の問題があり、適用性は不明である。また、物理除染としては、ドライアイスblast やアブレイシブウォータージェットなどによるブلاスティングが可能性がある。

(ハ)高レベルタンクAおよびBは多孔質の天然ゴムでライニングされているため、除染が容易ではなく、物理的にライニングを剥離する除染法が最も有効である。数 1000kg/cm^2 以上の高圧水による除染等、物理的な除染方法が適當と考えられるが、詳細を検討し、試験などで確認する必要がある。

また、天然ゴムは硝酸により浸食されるため、硝酸による除染もありえるが、高レベルタンクの場合、容積が約 6000ℓ と大きく、また、硝酸によるライニングの溶解の仕方などが不明であることなどから、適用性および安全性を確認する必要がある。

③必要なDFが50を越える機器

定量槽移送配管(必要 $\text{DF} \geq 101$)、計量槽本体(必要 $\text{DF} \geq 420$)に関しては、少なくとも、熱硝酸を使用し、除染時間を長く取る必要があると思われる。容積的には特に大きないので、浸漬除染は問題が無い。

(2)解体後除染(徹底除染)

廃棄物をクリアランスレベル以下にすることを目的とする。系統除染と異なり、細断後の除染も可能なので、必要な除染能力を有していることと、除染設備が適切な規模およびコストであれば問題はない。

今回の汚染性状調査では、深さ約 $440\mu\text{m}$ に達する腐食と考えられる組織があり、この深さまで汚染されている可能性がある。しかしながら、今回の調査では、このような組織は頻繁に確認されておらず、また、汚染の有無を確認していないため、支配的な汚染源であるかどうかは判断できない。仮に、この深さまで除去すれば、どのような除染方法であっても相当な設備および時間を必要とすると考えられる。例えば、内表面積約 23m^2 の中和槽に対して、硫酸水溶液を用いた電解研磨¹¹⁾を行なうことについて検討すると、以下の通りになる。

除染面積: 46m^2 (内面のみを選択的に除染できないため)

電解液種類: $7.5\text{wt\% H}_2\text{SO}_4$ 水溶液(約 $1.08\text{kg}/\ell$)

除染速度: $130\mu\text{m/h}$

必要除染量: 5980cm^3 (除染深さ $440\mu\text{m}$ 、約 160kg 相当)

電解液寿命:約 3wt\% (金属イオン濃度)

したがって、この腐食層を全て除去する場合、必要な電解液量は約 5400kg (約 5000ℓ)と膨大な量となる。なお、高レベルの廃棄物を除染する場合には、電解液の

放射能レベルが短時間で規定より高くなり、金属イオン濃度による寿命より短くなることも考えられる。

また、結晶の脱落した空孔にも CP が沈着していると仮定する。結晶の寸法が約 $20 \mu\text{m}$ であることから、空孔の深さも同程度と考えられる。空孔に沈着した CP が支配的な汚染原であれば、除去する深さも $20\sim30 \mu\text{m}$ 程度であるので、上記腐食層の場合の約 $1/15$ 程度の規模で実施可能であり、中和槽除染に必要な電解液は約 340ℓ となる。

このように、今回の調査結果では、汚染物質の位置が分からぬいため、単純に汚染深さの推定による、除染の規模に関する予測が立て難い。さらに、主系統においては除染性状が今回調査と同様である保証が無い。

クリアランスレベルを目標とした、実際に除去が必要なレベルを決定するためには、主系統での汚染性状や、採取したサンプルによるホット除染試験等により必要な除染深さを明確にする必要がある。

また、ゴムライニングタンクは汚染の有無にかかわらずゴムを剥離する必要があり、これに関しては、ブラストのような物理的除染方法が有効と考えられる。

5.あとがき

5.1 汚染状況調査

(1)試料表面の目視および顕微鏡観察

光学顕微鏡による内表面観察の結果、表面は $1\text{ }\mu\text{m}$ オーダー以下の極めて薄い皮膜で覆われていることが確認された。また、内表面ほぼ全面に、結晶粒子が脱落していると思われる空孔が確認された。さらに、表面近傍の断面観察では、一部の配管において内表面から母材内部に向かって腐食層と考えられる組織が観察された。この腐食層は、最大のもので幅約 $47\text{ }\mu\text{m}$ から $107\text{ }\mu\text{m}$ 、深さが約 $440\text{ }\mu\text{m}$ 程度であった。

また、使用回数の少ない濃縮廃液系サンプリング配管では、目視および顕微鏡観察とも有意な変化は見られず、金属組織の確認も可能であった。

(2)汚染密度

汚染密度の測定結果から、配管の下部ほど汚染密度が高く、放射性物質が配管下部に沈着したものと想定された。また、明確に皮膜が確認できる部位では汚染密度が高く、放射性物質が皮膜内に取り込まれていると考えられる。

(3)汚染核種

Ge 検出器による放射性核種の同定から、系統配管内の汚染核種は ^{60}Co が支配的であることが判った。

(4)化学形態

X線回折により配管内表面の化学組成を分析した結果、SUS304 以外の構成元素以外は同定できなかった。これは、酸化物が存在しないことを示しているのではなく、測定精度等の問題から、検出できなかったものと考えられる。

5.2 除染方法の選定

(1)解体前除染(系統除染)

解体作業時の被ばく低減を主目的とする。2006 年に解体するものとして除染方法を検討すると、ほとんどの機器は熱硝酸浸漬除染で対応可能と考えられる。ただし、一部、容積の大きなタンク類では、除染液が非常に多くなるため、これを低減する方法や、プラスティングなどの物理的除染方法を考慮する必要がある。また、除

染しにくいゴムライニングされている高レベルタンクについては、アブレイシブウォータージェット等物理的な方法によるライニングの剥離や、遠隔切断により対応する必要がある。

(2)解体後除染

クリアランスレベルまで除染することを目的とする。今回調査では、汚染状況が十分に明らかでなく、除染方法を選定することはできない。

5.3 今後の課題

今回の汚染状況調査によって、配管内の状況等に関する知見が得られた。しかしながら、主系統配管でないことなど、予備的調査の性格が強く、解体時除染の実施に当たっては、以下のような課題がある。

- (1) 系統除染は、基本的には熱硝酸浸漬除染とするが、個別の機器について硝酸の投入・回収、加熱方法および放射線作業管理等、詳細な除染計画を立案する必要がある。特に、スラリー状の汚染物質や除染液が溜まるなどにより、汚染レベルが低下しない部位もありえるので、これらに対する対策を講じる必要がある。また、実際の除染を行なうに当たっては、事前に線量当量率の高い主系統からサンプルを採取し、汚染性状を把握し、ホット除染試験を実施して、効果を確認する必要がある。
- (2) 中和槽などの特に容積の大きな槽類に熱硝酸浸漬除染をする場合は、使用する硝酸量を低減する方法を考慮することが望ましい。あるいは、代替案として他の廃液の少ない除染方法について検討する必要がある。
- (3) 除染の困難なゴムライニングを有する高レベルタンクの除染では、ライニングの剥離が有効と考えられる。しかしながら、手作業による剥離作業は被ばく量が相当大きくなることが予想されるため、遠隔操作による剥離が妥当と考えられる。遠隔操作技術の適用に当たっては、モックアップ試験を実施し、安全性の確保、作業手順の確認および使用ツールの妥当性等を十分に確認して、実除染に備えることが重要である。
- (4) クリアランスレベルを確保する観点から、事前に主系統からサンプルを採取し、ホット除染試験を行ない、必要な除染レベルを確認した上で、徹底除染方法を選定する必要がある。

(5)除染は、デコミッショニングシステムエンジニアリングの1要素であり、廃止措置シナリオに基づいて、放射能インベントリー評価、解体前後の除染区分、除染方法、除染順位(手順)、目標除染レベル、設備の解体・撤去、廃棄物の管理・処理処分等、一連の作業の中で整合を取る必要がある。

6. 参考文献

- (1) R.Kaiser、C.S.Yam、P.Droof、P.Jones:Decontamination of Electromechanical Parts by Sonatol Process-2 Results、Proceeding Waste Management '98
- (2) Y.Kameo、K.Aoki、H.Ouchi、T.Gorai、T.Hirabayashi:Development of Advanced Decontamination Technique for Decommissioning、Proceeding Waste Management '98
- (3) M.Faury、B.Fournal、G.Boissonnet、H.Provence:Foams for Nuclear Decontamination Process:Achievement and Prospects、Proceeding Waste Management '98
- (4) 三角昌弘、千代亮、鈴木達志、高橋範明、山本龍美、松浦豊、島崎芳博:東海発電所蒸気発生器(SRU)除染技術の開発－鋼材のサンプリング調査－、日本原子力学会「1998年春の年会」要旨集、1998
- (5) 石部忠生、竹内幹雄、仁科勝好、藤田玲子、遠田正見、森末哲夫、梶沼仁志:BWRにおけるREDOX除染法の適用性評価研究(II)－ホット除染試験－、日本原子力学会「昭和63年秋の大会」予稿集、1988
- (6) 平林孝園、原子炉解体除染技術の現状と開発動向、第9回原子力施設デコミッショニング技術講座テキスト、1998.1
- (7) H.Wille、H.O.Bertholdt:Experience With Fully System Decontamination With The CORD Process For Decommissioning、ICEM'95 Proceeding of the Fifth International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation
- (8) V.Massaut:PILOT DISMANTLING OF THE BR3 PRESSURIZED WATER REACTOR、3rd International Conference on Decommissioning of Nuclear Installations Luxembourg、1994
- (9) M.Klein、A.Rahier:Thorough Decontamination of Metallic Pieces with The Cerium Process、SPECTRUM'96 Proceedings of International Topical Meeting on Nuclear and Hazardous Waste Management
- (10) 蓼沼克嘉他:超流動振動除染技術の開発(3)大型汚染廃棄物 PWR-SG の磁気揺動研磨除染、日本原子力学会「1999春の年会」要旨集、1999

(11)堂野前寧、石島昇、小川竜一郎、谷本健一:JNC TN9410 99-006 電解研磨除染
技術に係わる工学的データの取得試験(技術報告書)、1994.4

表 2.1.1 旧JWTF系統除染工程及び除染結果

設備機器	除染工程	DF	表面線量当量率 (mSv/h)
中和槽本体	1N硝酸浸漬→エアハーフリンク→高圧水洗浄→トレンアウト	0.5~17	0.7~5.2
中和槽サンフーリング配管	1N硝酸循環→トレンアウト	1.0~7.5	0.2~4.2
中和槽移送配管	1N硝酸移送→トレンアウト	1.0~2.4	0.5~7.0
定量槽移送配管	1N硝酸移送→トレンアウト	1.0~45	1.0~48.0
自動中和装置配管	1N硝酸循環→脱塩水循環→トレンアウト	0.6~1.7	0.3~1.9
定量槽本体	1N硝酸浸漬→脱塩水浸漬→高圧水洗浄→トレンアウト	1.1~1.8	1.0~10.0
計量槽本体	1N硝酸浸漬→高圧水洗浄→トレンアウト	1.1~1.8	3.0~200.0
高レベルタンクA、B	1N硝酸浸漬→トレンアウト→高圧水洗浄→トレンアウト	0.9~7.5	0.2~1.9
蒸発缶 A	1N硝酸トレンアウト→水洗浄→1N熱硝酸浸漬→トレンアウト→水洗浄→トレンアウト	5.3~300	0.004~0.19
蒸発缶 B	1N硝酸トレンアウト→水洗浄→1N熱硝酸浸漬→トレンアウト→水洗浄→トレンアウト	30~150	0.01~0.09
濃縮液受槽	1N熱硝酸浸漬→エアハーフリンク→1N硝酸浸漬→トレンアウト	9.1~200	0.07~0.13
薬廃タンク	トレンアウト(スラッジ含む)→高圧水洗浄→トレンアウト	6.0~12.0	0.2~0.5
低レベルタンク A、B、C	トレンアウト(スラッジ含む)→高圧水洗浄→トレンアウト	0.3~13.3	0.02~0.15
上澄水タンク	トレンアウト(スラッジ含む)→高圧水洗浄→トレンアウト	1.0~2.5	0.01~0.03
受入配管(6系統)	トレンアウト	0.9~1.1	0.1~2.2
放出予備タンク	トレンアウト(スラッジ含む)	1.0~3.0	0.02~0.04
原研排水ライン	トレンアウト	—	—

表 2.2.1 試料片の切出しポイント、位置および加工内容

切り出しポイント	切り出し位置		試験片の加工
高レベルタンク系 サンプリング 用配管	バルブ側	上部	顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
		側部	//
		下部	//
	フランジ側	上部	//
		側部	//
		下部	//
	断面観察用		樹脂埋め後、切断面研磨
	上流側	上部	顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
		下部	//
廃液供給系配管 (A 系統)	下流側	上部	//
		下部	//
	断面観察用		樹脂埋め後、切断面研磨
	上流側	上部	顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
		下部	//
	下流側	上部	//
		下部	//
	断面観察用		樹脂埋め後、切断面研磨
	流量計測用配管 水平部	上部	顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
		下部	//
廃液供給系配管 (B 系統)	流量計測用配管 断面観察用		樹脂埋め後、切断面研磨
	上流側	上部	顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
		下部	//
	下流側	上部	//
		下部	//
	断面観察用		樹脂埋め後、切断面研磨
	流量計測用配管 水平部		顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
濃縮廃液系 サンプリング 用配管	水平部	上部	顕微鏡観察用に加工後、プレス加工
		下部	//
	バルブ側		//
	フランジ側		//
	水平部断面観察用		樹脂埋め後、切断面研磨

表 2.3.1 汚染状況の調査の概要

	線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{H}$)	調査部位	目視観察	顕微鏡観察(内面)	顕微鏡観察(切断面)	汚染密度 [*] (Bq/cm^2)	汚染核種	備考
高レベル廃液タンク供給側廃液サンプリング系配管	(測定せず)	バルブ側上部	部分的に黄褐色皮膜有り	薄い茶褐色皮膜および空孔あり。一部、粒界確認可。	上部：異常無し。 側部：異常無し。 下部：腐食層を確認。	60	^{60}Co (主) ^{137}Cs	廃液封入。
		バルブ側側部	変化無し	粒界確認可。空孔あり。粒界確認可。		2		
		バルブ側下部	変化無し	空孔あり。粒界確認可。		244		
		ライン側上部	変化無し	薄い皮膜および空孔あり。		2		
		ライン側側部	変化無し	極一部に皮膜あり。空孔あり。粒界確認可。		111		
		ライン側下部	変化無し	極一部に皮膜あり。空孔あり。粒界確認可。		130		
蒸発缶廃液供給系配管 (A系統)	75	上流側上部	黄褐色皮膜あり	茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。	上部：異常無し。 側部：異常無し。 下部：異常無し。	18	^{60}Co (主) ^{137}Cs	除染時に、廃液処理に使用。
		上流側下部	黄褐色皮膜あり	茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。		389		
		下流側上部	変化無し	茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。		4		
		下流側下部	変化無し	茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。		55		
蒸発缶廃液供給系配管 (B系統)	15~20	上流側上部	黄褐色皮膜あり	空孔あり。粒界確認不可。	上部：異常無し。 側部：異常無し。 下部：異常無し。	1	^{60}Co (主) ^{137}Cs	流量測定用配管に除染液(pH1)封入。
		上流側下部	黄褐色皮膜あり	茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。		5		
		下流側上部	変化無し	黄褐色・茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。		1		
		下流側下部	変化無し	黄褐色・茶褐色皮膜および空孔あり。粒界確認不可。	上部：異常無し。 側部：異常無し。 下部：異常無し。	3		
		バイパス管上部	濃い黄褐色皮膜あり	黄褐色皮膜あり。結晶粒確認可能。		1		
		バイパス管下部	濃い黄褐色皮膜あり	黄褐色皮膜あり。結晶粒確認可能。		7		
濃縮廃液系サンプリング配管	20~30	水平部上部	変化無し	空孔はあるが比較的少ない。結晶粒確認可能。	上部：異常無し。 側部：異常無し。 下部：異常無し。	2	^{60}Co (主) ^{137}Cs ^{109}Cd ^{57}Co ^{54}Mn ^{21}Na	—
		水平部下部	変化無し	空孔はあるが比較的少ない。結晶粒確認可能。		3		
		バルブ側	変化無し	空孔はあるが比較的少ない。結晶粒確認可能。		2		
		フランジ側	変化無し	空孔はあるが比較的少ない。結晶粒確認可能。		2		

*: GM サーベイメーターによる測定値

表 2.3.2 GM サーベイメータによる汚染密度測定結果

試料切り出し位置		寸法	計数率	
			(cpm)	(cpm/cm ²)
高レベルタンク系 サンプリング用配管	バルブ側	上側	19×14	3200 1203
		側面	19×14	100 38
		下側	19×14	13000 4887
	ライン側	上側	20×13	90 35
		側面	19×13	5500 2227
		下側	18×15	7000 2593
廃液供給A系統 (内径15, 外径21)	上流側	上側	14×18	900 357
		下側	17×14	18500 7773
	下流側	上側	15×15	160 71
		下側	16×16	2800 1094
廃液供給B系統 (内径15, 外径21)	上流側	上側	18×15	70 26
		下側	17×17	270 93
	下流側	上側	17×16	70 26
		下側	14×17	130 55
	流量計測用配管水平部	上側	16×17	70 26
濃縮廃液系 サンプリング用配管 (内径15, 外径21)	流量計測用配管水平部	下側	16×17	400 147
		上側	16×17	90 33
	水平部	下側	16×16	130 51
		フランジ側	14×17	110 46
	バルブ側		14×18(17)	90 37

備考 : GM計数装置 GML-55(アロカTGS-136)

計数効率 33.2%(0.05Bq/cpm)

検出面積 19.2cm²

BG 70cpm

表2.3.3-1 高レベルタンク系サンプリング用配管のCo-60に対する他核種放射能濃度比

試料片 切り出し 位置	寸法 mm × mm	核種	測定時間		
			300秒	1200秒	6000秒
			Co-60比	Co-60比	Co-60比
バルブ側 (上側)	19 × 14	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 3E-03		
		Cd-109	< 2E-02		
		Co-57	< 9E-04		
		Mn-54	< 4E-03		
		Na-22	< 2E-03		
バルブ側 (側面)	19 × 14	Co-60	1E+00	1E+00	
		Cs-137	< 8E-02	< 3E-02	
		Cd-109	< 8E-01	< 3E-01	
		Co-57	< 3E-02	< 1E-02	
		Mn-54	< 7E-02	< 4E-02	
		Na-22	< 8E-02	< 3E-02	
バルブ側 (下側)	19 × 14	Co-60	1E+00		1E+00
		Cs-137	< 2E-03		< 3E-04
		Cd-109	< 1E-02		< 2E-03
		Co-57	< 4E-04		< 1E-04
		Mn-54	< 2E-03		< 4E-04
		Na-22	< 1E-03		< 3E-04
ライン側 (上側)	20 × 13	Co-60	1E+00	1E+00	
		Cs-137	< 6E-02	< 2E-02	
		Cd-109	< 5E-01	< 2E-01	
		Co-57	< 2E-02	< 9E-03	
		Mn-54	< 6E-02	< 3E-02	
		Na-22	< 7E-02	< 2E-02	
ライン側 (側面)	19 × 13	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 2E-03		
		Cd-109	< 2E-02		
		Co-57	< 7E-04		
		Mn-54	< 3E-03		
		Na-22	< 2E-03		
ライン側 (下側)	18 × 15	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 2E-03		
		Cd-109	< 2E-02		
		Co-57	< 6E-04		
		Mn-54	< 2E-03		
		Na-22	< 2E-03		

表2.3.3-2 高レベルタンク系サンプリング用配管のCo-60に対する他核種放射能濃度比

試料片 切り出し 位置	寸法 mm × mm	核種	測定時間		
			7200秒	10000秒	60000秒
			Co-60比	Co-60比	Co-60比
バルブ側 (上側)	19×14	Co-60			1E+00
		Cs-137			9E-04
		Cd-109			< 2E-03
		Co-57			2E-04
		Mn-54			3E-04
		Na-22			2E-04
バルブ側 (側面)	19×14	Co-60			
		Cs-137			
		Cd-109			
		Co-57			
		Mn-54			
		Na-22			
バルブ側 (下側)	19×14	Co-60		1E+00	
		Cs-137		3E-04	
		Cd-109		< 2E-03	
		Co-57		< 8E-05	
		Mn-54		< 3E-04	
		Na-22		< 2E-04	
ライン側 (上側)	20×13	Co-60			
		Cs-137			
		Cd-109			
		Co-57			
		Mn-54			
		Na-22			
ライン側 (側面)	19×13	Co-60	1E+00	1E+00	
		Cs-137	< 5E-04	5E-04	
		Cd-109	< 3E-03	< 3E-03	
		Co-57	< 1E-04	< 1E-04	
		Mn-54	< 5E-04	< 5E-04	
		Na-22	< 3E-04	< 3E-04	
ライン側 (下側)	18×15	Co-60	1E+00	1E+00	
		Cs-137	7E-04	6E-04	
		Cd-109	< 3E-03	< 3E-03	
		Co-57	< 1E-04	< 1E-04	
		Mn-54	< 5E-04	< 4E-04	
		Na-22	< 3E-04	< 2E-04	

表2.3.4 廃液供給系配管(A系統)のCo-60に対する他核種放射能濃度比

試料片 切り出し 位置	寸法 mm × mm	核種	測定時間		
			300秒	2200秒	60000秒
			Co-60比	Co-60比	Co-60比
上流側 (上側)	14 × 18	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 6E-03		
		Cd-109	< 4E-02		
		Co-57	< 2E-03		
		Mn-54	< 7E-03		
		Na-22	< 4E-03		
上流側 (下側)	17 × 14	Co-60	1E+00	1E+00	
		Cs-137	2E-03	1E-03	
		Cd-109	< 1E-02	< 3E-03	
		Co-57	< 4E-04	< 1E-04	
		Mn-54	< 2E-03	< 6E-04	
		Na-22	< 1E-03	< 4E-04	
下流側 (上側)	15 × 15	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 3E-02		
		Cd-109	< 3E-01		
		Co-57	< 1E-02		
		Mn-54	< 3E-02		
		Na-22	< 3E-02		
下流側 (下側)	16 × 16	Co-60	1E+00		1E+00
		Cs-137	< 3E-03		7E-04
		Cd-109	< 2E-02		< 2E-03
		Co-57	< 1E-03		< 7E-05
		Mn-54	< 4E-03		< 3E-04
		Na-22	< 2E-03		< 2E-04

表2.3.5 廃液供給系配管(B系統)のCo-60に対する他核種放射能濃度比

試料片 切り出し 位置	寸法 mm × mm	核種	測定時間		
			300秒	1200秒	60000秒
			Co-60比	Co-60比	Co-60比
上流側 (上側)	18×15	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 4E-02		
		Cd-109	< 3E-01		
		Co-57	< 1E-02		
		Mn-54	< 4E-02		
		Na-22	< 2E-02		
上流側 (下側)	17×17	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 2E-02		
		Cd-109	< 1E-01		
		Co-57	< 5E-03		
		Mn-54	< 2E-02		
		Na-22	< 1E-02		
下流側 (上側)	17×16	Co-60		1E+00	
		Cs-137		< 2E-02	
		Cd-109		< 2E-01	
		Co-57		< 9E-03	
		Mn-54		< 3E-02	
		Na-22		< 2E-02	
下流側 (下側)	14×17	Co-60	1E+00		
		Cs-137	< 3E-02		
		Cd-109	< 2E-01		
		Co-57	< 1E-02		
		Mn-54	< 3E-02		
		Na-22	< 2E-02		
流量計測 用配管 水平部 (上側)	16×17	Co-60	1E+00	1E+00	
		Cs-137	< 9E-02	< 4E-02	
		Cd-109	< 9E-01	< 4E-01	
		Co-57	< 3E-02	< 2E-02	
		Mn-54	< 1E-01	< 4E-02	
		Na-22	< 9E-02	< 4E-02	
流量計測 用配管 水平部 (下側)	16×17	Co-60	1E+00		1E+00
		Cs-137	< 1E-02		2E-03
		Cd-109	< 7E-02		< 5E-03
		Co-57	< 3E-03		< 2E-04
		Mn-54	< 1E-02		< 8E-04
		Na-22	< 8E-03		< 4E-04

表2.3.6 濃縮廃液系サンプリング用配管Co-60に対する他核種放射能濃度比

試料片 切り出し位置	寸法 mm × mm	核種	測定時間	
			300秒	200000秒
			Co-60比	Co-60比
濃縮系 水平部(上側)	16 × 17	Co-60	1E+00	
		Cs-137	< 4E-02	
		Cd-109	< 3E-01	
		Co-57	< 1E-02	
		Mn-54	< 4E-02	
		Na-22	< 4E-02	
濃縮系 水平部(下側)	16 × 16	Co-60	1E+00	1E+00
		Cs-137	< 3E-02	1E-02
		Cd-109	< 3E-01	4E-02
		Co-57	< 9E-03	4E-03
		Mn-54	< 3E-02	1E-03
		Na-22	< 3E-02	2E-03
濃縮系フランジ 側	14 × 17	Co-60	1E+00	
		Cs-137	< 4E-02	
		Cd-109	< 4E-01	
		Co-57	< 1E-02	
		Mn-54	< 5E-02	
		Na-22	< 4E-02	
濃縮系バルブ 側	14 × 18(17)	Co-60	1E+00	
		Cs-137	< 4E-02	
		Cd-109	< 4E-01	
		Co-57	< 2E-02	
		Mn-54	< 5E-02	
		Na-22	< 5E-02	

表 3.1 除染技術調査結果一覧

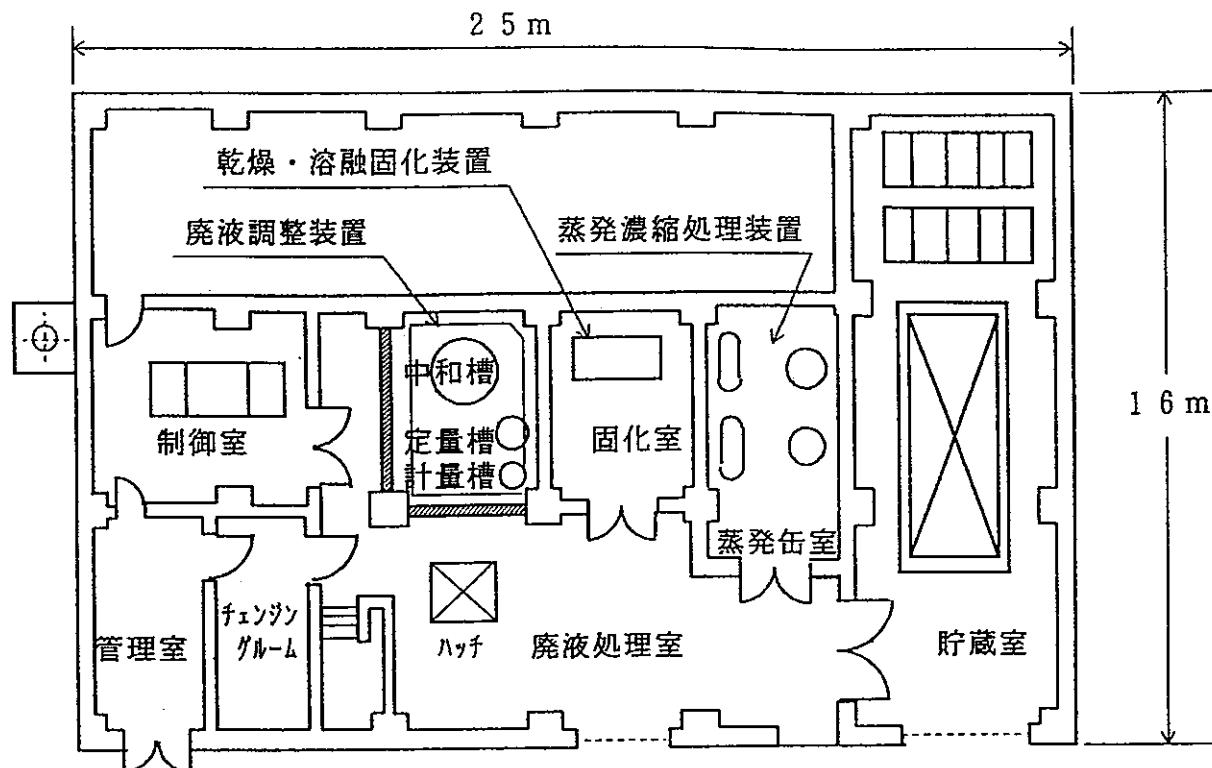
No.	除染方法	方法(概略)	除染係数	除染温度(℃)	核種、適用性	実績	廃棄物・発生量	備考
1	物理除染							
	①ガス流動研磨法	アルミナ+鉄物鉄、ガス流動研磨、	Max.200 μm/5h		核種記載無。 管径大⇒DF高	開発研究	アルミナ>鉄物鉄	原研 一部*
	②水流動研磨法	B4C、水、流動	200~1,660	室温	記載無。	JPDR	研磨材、スラッジ、 フィルター	原研 *
2	化学除染							
	①Sonatolプロセス	フッ化炭素溶媒+界面活性剤	64~1,213	記載無。	核種記載無。 超音波⇒Fe-59 効果大	Plugrim原発(USA)	溶媒のろ過・蒸留による リサイクル可能。	Boston Edison Co.(USA)、*
	②フォーム法	酸または、アルカリ+発泡剤⇒散布	>190	記載無。	Co-60, Cs-137	GCRの冷却器	記載無	CEA、フランス 発泡剤: CEA特許
	③酸洗浄	塩酸	1,000~10,000	記載無。	Co-60	原電東海1号炉・ SGの一部	記載無。塩素ガス処理要。	原電・川重
3	電気化学							
	①電解研磨法	リン酸、電解、SUS単純形状	1,000~10,000	80			(イオン交換樹脂)	NUPEC
	②電解研磨法	硫酸	>10,000	50~80	核種記載無。	ホット試験	(イオン交換樹脂)	NUPEC
	④CORD法	過マンガン酸(酸化)⇒シュウ酸(還元)	Av.10(Max.31)	80~100	核種記載無。	BR-3(PWR) 1次系	7.6m ³ (イオン交換樹脂)	CSK/CEN-Belgium*
4	複合除染							
	①CORD-UV法	過マンガン酸(酸化)⇒シュウ酸(還元) ⇒紫外線分解-H ₂ O+CO ₂	20~120	蒸気加熱	核種記載無。	ドイツVAK	イオン交換樹脂	Siemens-ドイツ *
	②CORD-UV法	同上	≈1000	蒸気加熱	Fe, Cr, Ni	スエーデンOKG-1	イオン交換樹脂	Siemens-ドイツ *
	③CORD-UV法	同上	14~153		Fe, Cr, Ni	ロシアLoviisa-2号	イオン交換樹脂	Siemens-ドイツ *
	④REDOX法	H ₂ SO ₄ +Ce(III)⇒Ce(IV)	系統:300~1,200 浸漬:1,000~10,000	70~80	核種記載無。	JPDR(原研)	濃縮液、希硫酸、イオン交 換膜、フィルター、樹脂	原研 *
	⑤REDOX法	同上	≈1,000	80	核種記載無。	BR-3	オゾンによる酸化	CSK/CEN-Belgium*
	⑥REDOX法	同上	>10,000	記載無。	核種記載無。	ホット試験	記載無。	NUPEC *
	⑦REDOX法	同上	500~5,000	記載無。	核種記載無。	ホット試験	記載無。	東芝、中部電力 *
	⑧ラジカル法	HNO ₃ +Ag(I)⇒Ag(II)⇒OH*	>1,000	特定の必要無し	U,(Pu,Ce,Cs, Mn,Fe,Cr etc.)	ホット試験	スラッジ、樹脂(可燃性)	RANDEC *

*再利用

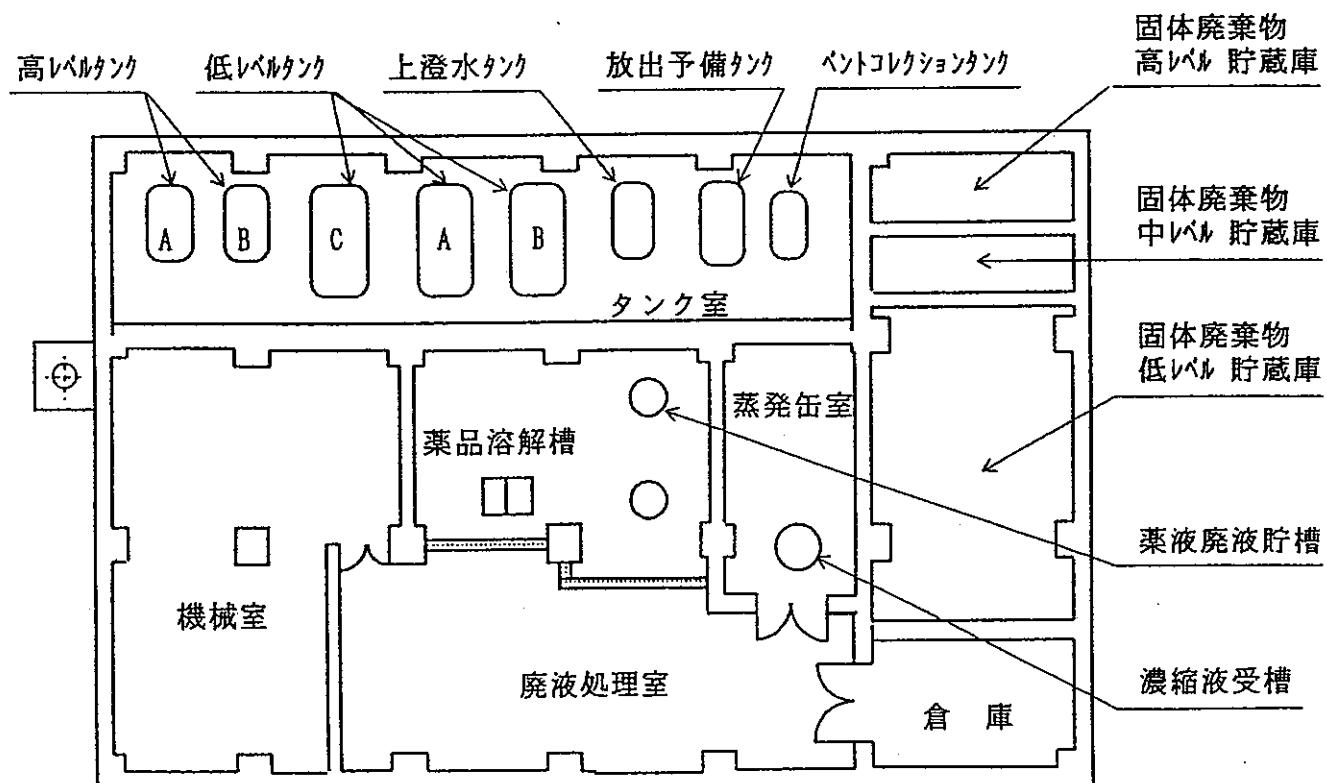
表4.1 必要除染係数の推定

設備機器	重量(kg)	表面線量当量率 (mSv/h)(1994年)	表面線量当量率 (mSv/h)(2006年)	許容表面線 量当量率 (mSv/h)	必要除 染係数 (DF)
中和槽本体	2500	0.7 ~ 5.2	0.147 ~ 1.092	0.033	33
中和槽サンプリング配管	-	0.2 ~ 4.2	0.042 ~ 0.882	0.1	9
中和槽移送配管	-	0.5 ~ 7	0.105 ~ 1.47	0.1	15
定量槽移送配管	-	1 ~ 48	0.21 ~ 10.08	0.1	101
自動中和装置配管	-	0.3 ~ 1.9	0.063 ~ 0.399	0.1	4
定量槽本体	150	1 ~ 10	0.21 ~ 2.1	0.1	21
計量槽本体	130	3 ~ 200	0.63 ~ 42	0.1	420
高レベルタンクA、B	2000	0.2 ~ 1.9	0.042 ~ 0.399	0.033	12
蒸発缶A	1800	0.004 ~ 0.19	8E-04 ~ 0.04	0.033	1
蒸発缶B	1800	0.01 ~ 0.09	0.002 ~ 0.019	0.033	1
濃縮液受槽	700	0.07 ~ 0.13	0.015 ~ 0.027	0.033	1
薬廃タンク	800	0.2 ~ 0.5	0.042 ~ 0.105	0.033	3
低レベルタンクA、B、C	2500	0.02 ~ 0.15	0.004 ~ 0.032	0.033	1
上澄水タンク	2400	0.01 ~ 0.03	0.002 ~ 0.006	0.033	0
受入配管(6系統)	-	0.1 ~ 2.2	0.021 ~ 0.462	0.1	5
放出予備タンク	2000	0.02 ~ 0.04	0.004 ~ 0.008	0.033	0

許容表面線量当量率は、暫定的に、重量が
500kgを越えるものについては0.033mSv/h、
500kg以下であれば、0.1mSv/hに設定した。



1階平面図



地階平面図

図 2.1.1 旧 JWTF 平面図

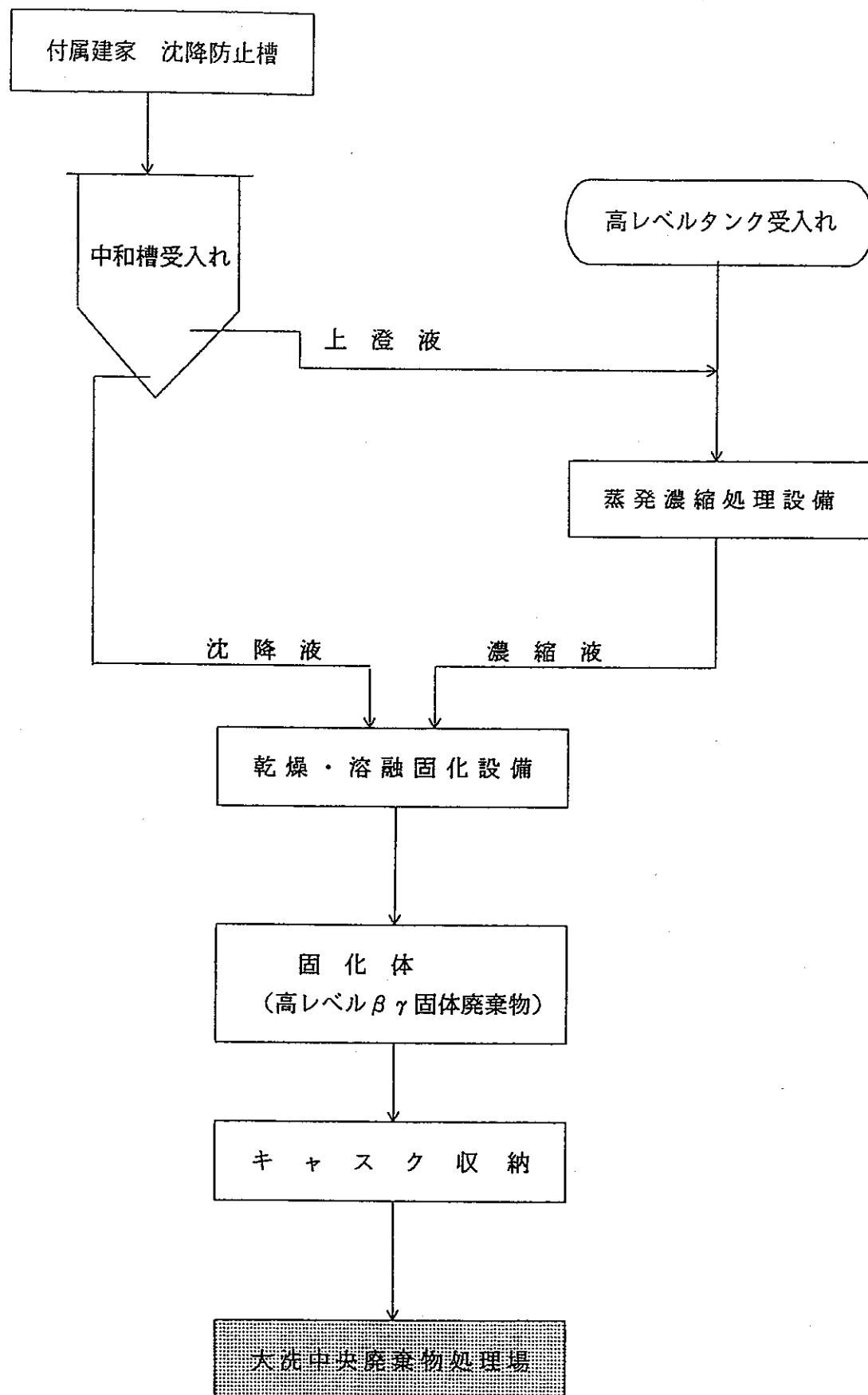


図 2.1.2 旧 JWTF 高濃度廃液処理フロー

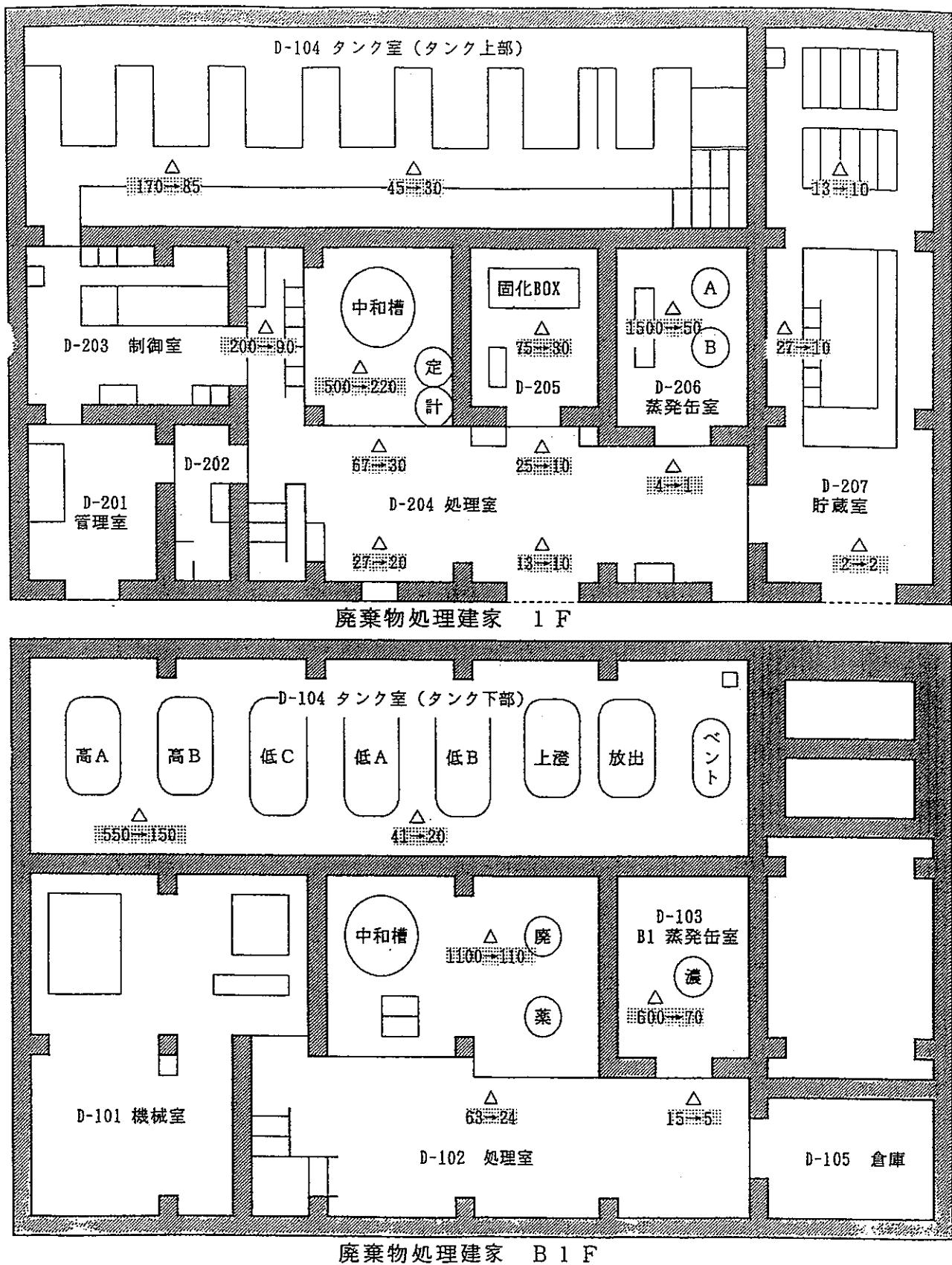


図 2.1.3 系統洗浄作業 空間線量当量率測定記録

測定箇所△: 洗浄前→洗浄後($\mu\text{Sv/h}$)

洗浄前 平成 6 年 6 月 16 日
洗浄後 平成 6 年 11 月 30 日

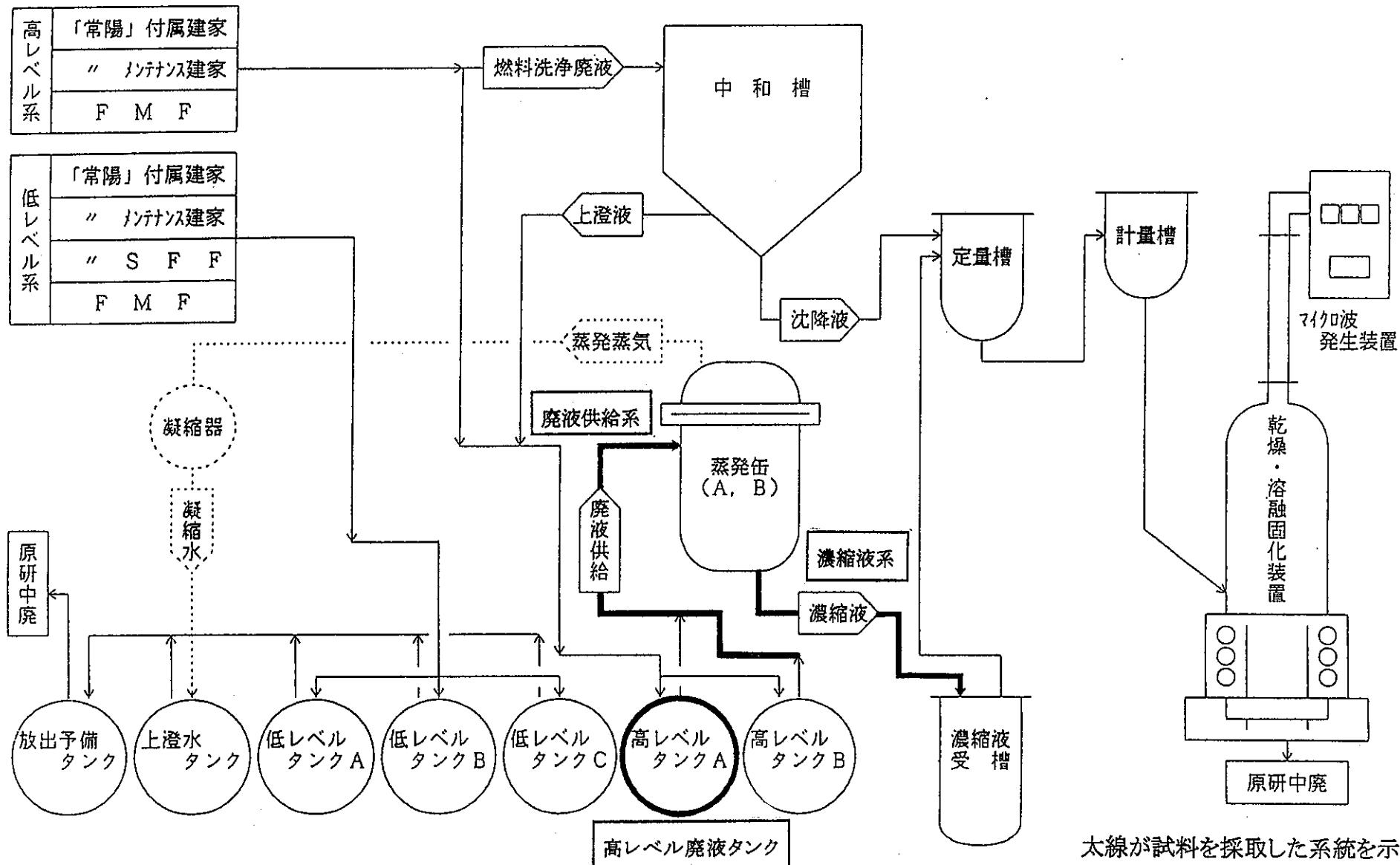


図 2.2.1 試料取出しポイント

太線が試料を採取した系統を示す。

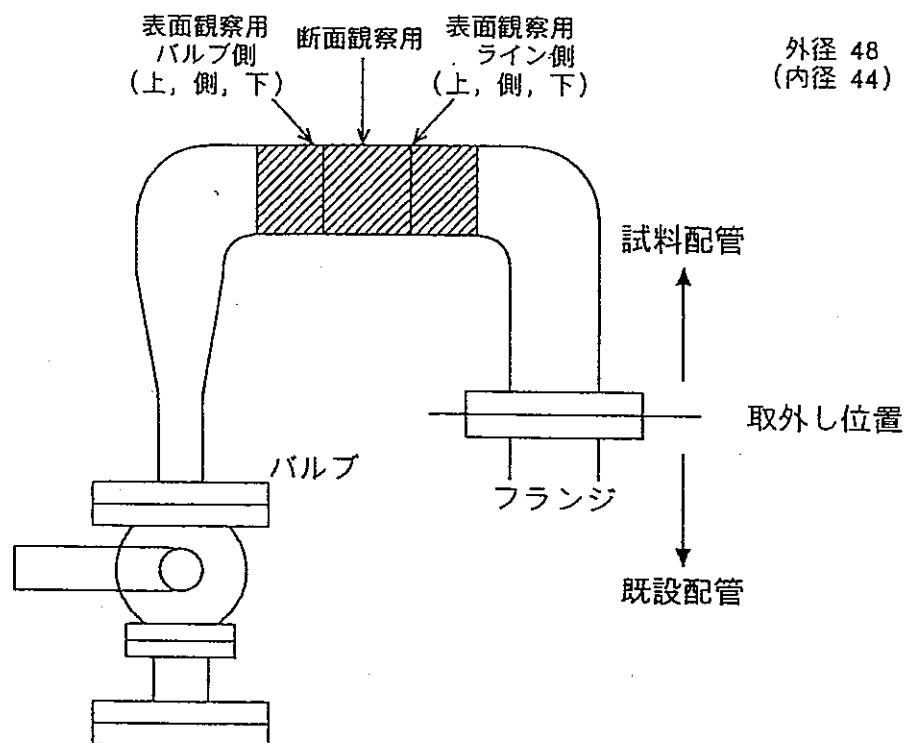


図 2.2.2 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管

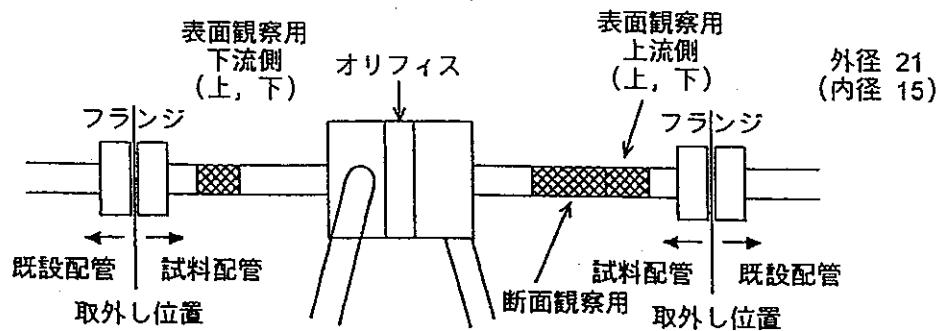


図 2.2.3 廃液供給系配管 (A 系統)

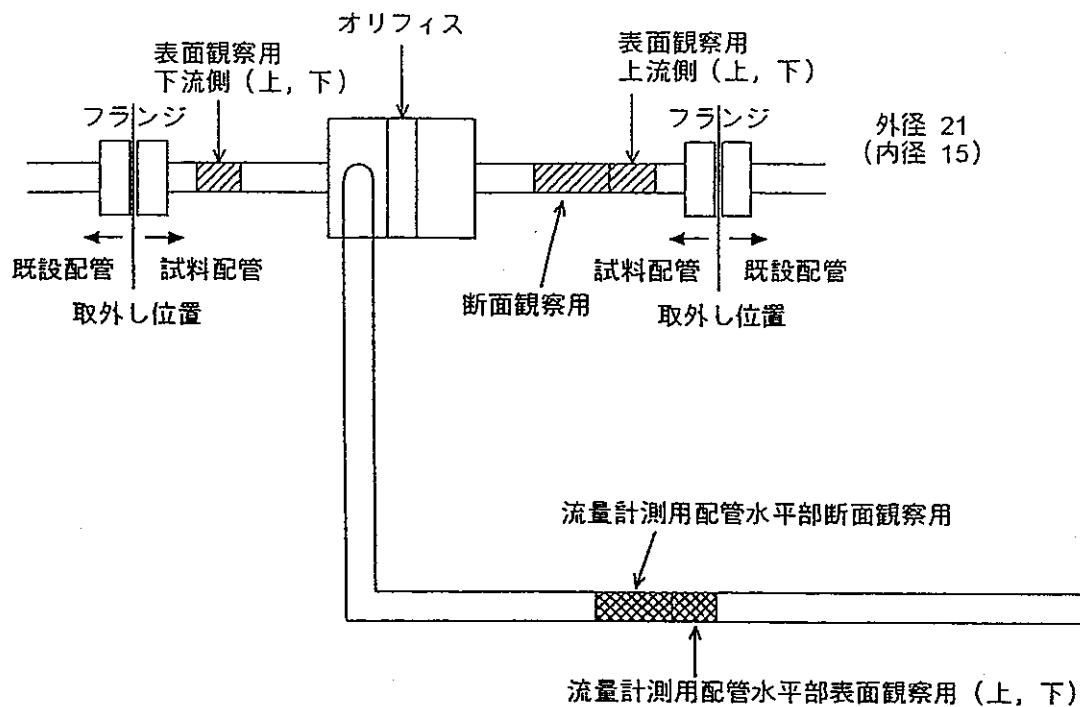


図 2.2.4 廃液供給系配管(B 系統)

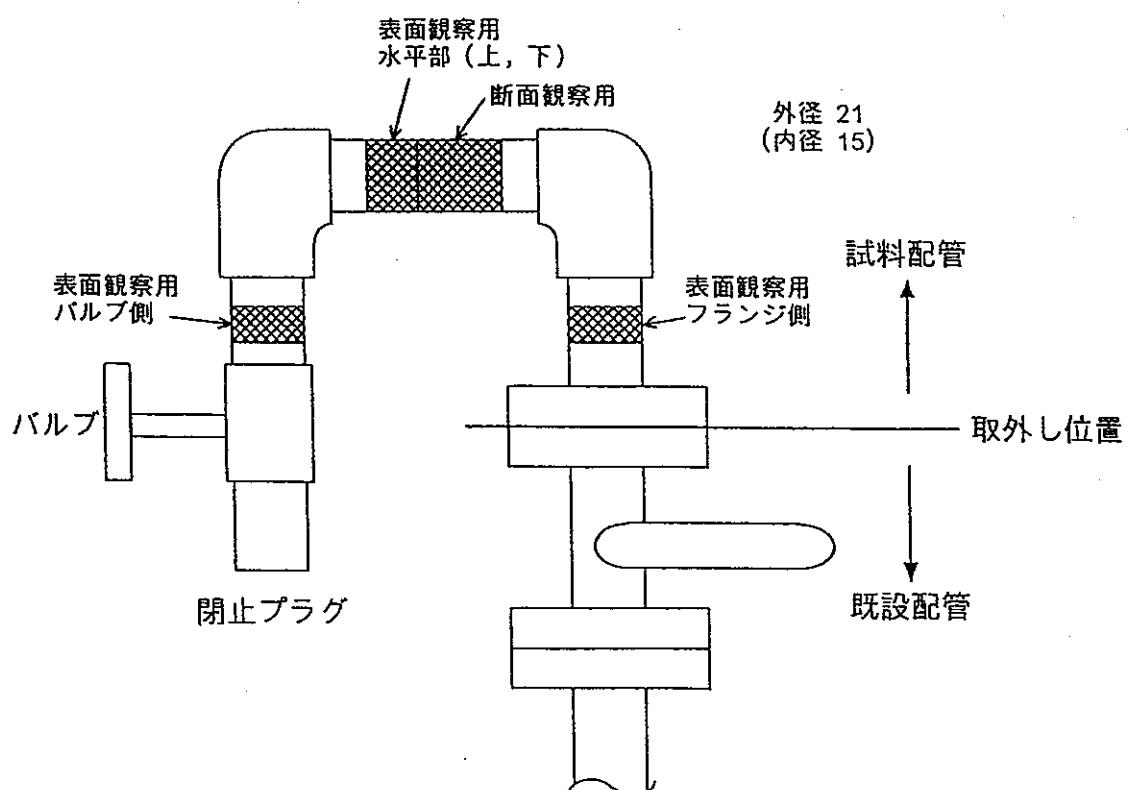


図 2.2.5 濃縮廃液系サンプリング配管

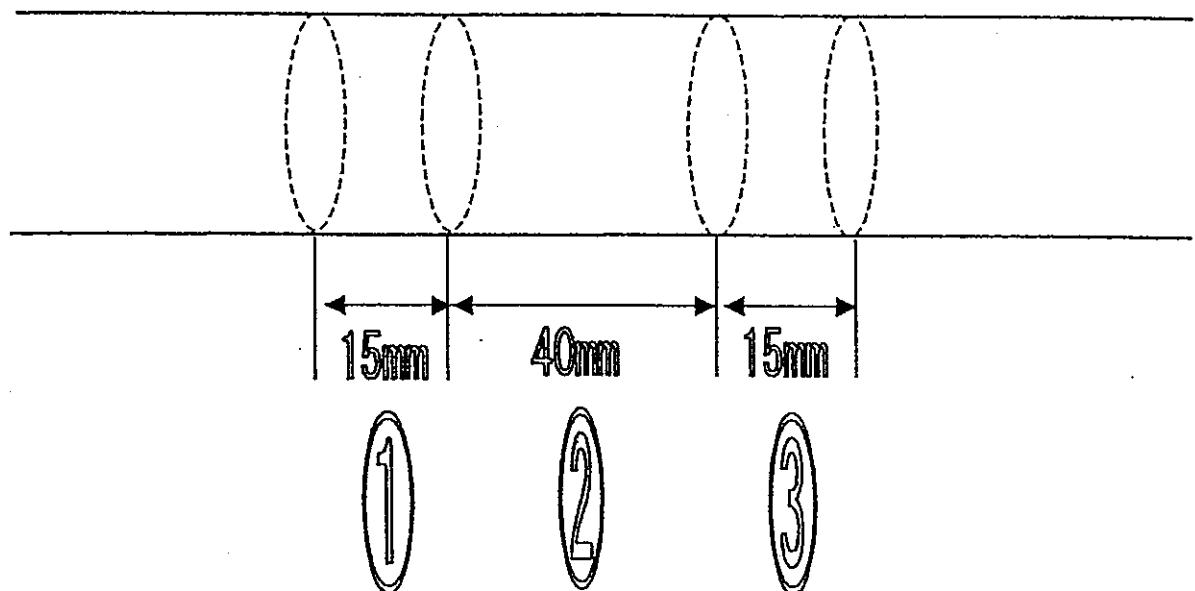


図 2.2.6 試料片の切出し寸法と目的

図 2.2.1 から図 2.2.5 に示すポイントから、パイプカッター、金ノコおよびバイスなどを用いて、試料を切出した。目的は以下の通り。

- ①目視観察、顕微鏡観察、線量測定、核種測定および化学組成測定
- ②断面観察
- ③予備

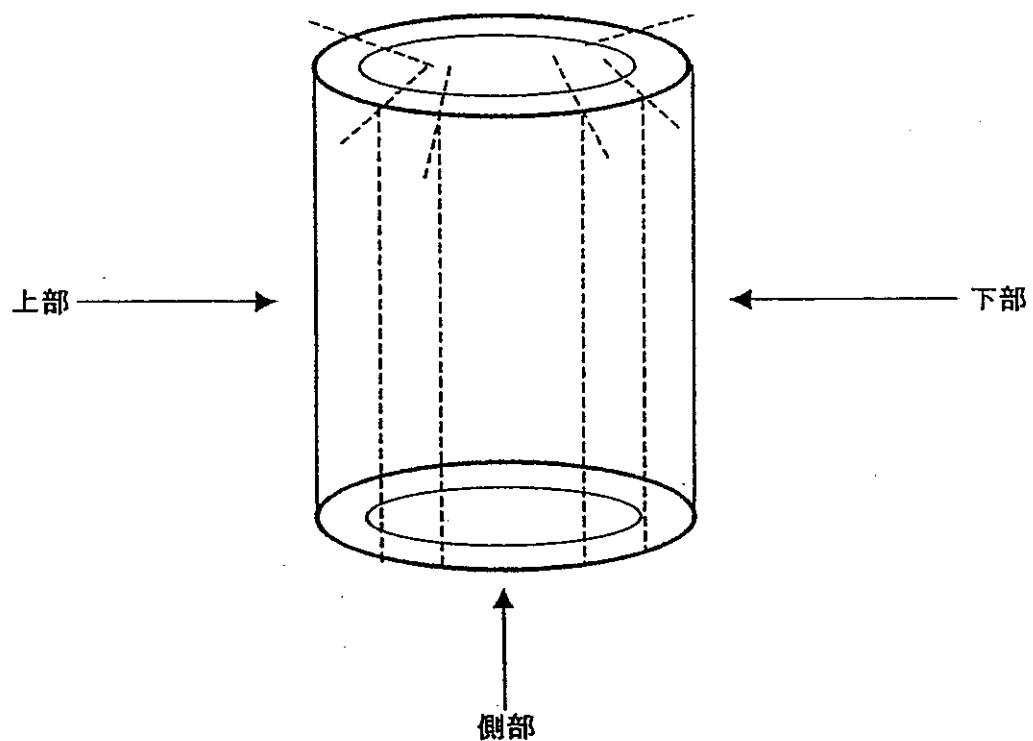


図 2.2.7 輪切り試料片の加工と目的

図 2.2.6 輪切り試料①を、金ノコ、バイス等を用いて上部、側部、下部あるいは上部、下部に縦切り、分割した。本試料は、目視観察(写真撮影含む)および顕微鏡観察(撮影含む)の後、GM サーベイメータによる線量当量率測定および Ge 半導体測定器による核種測定、X 線回折による化学組成測定に使用された。

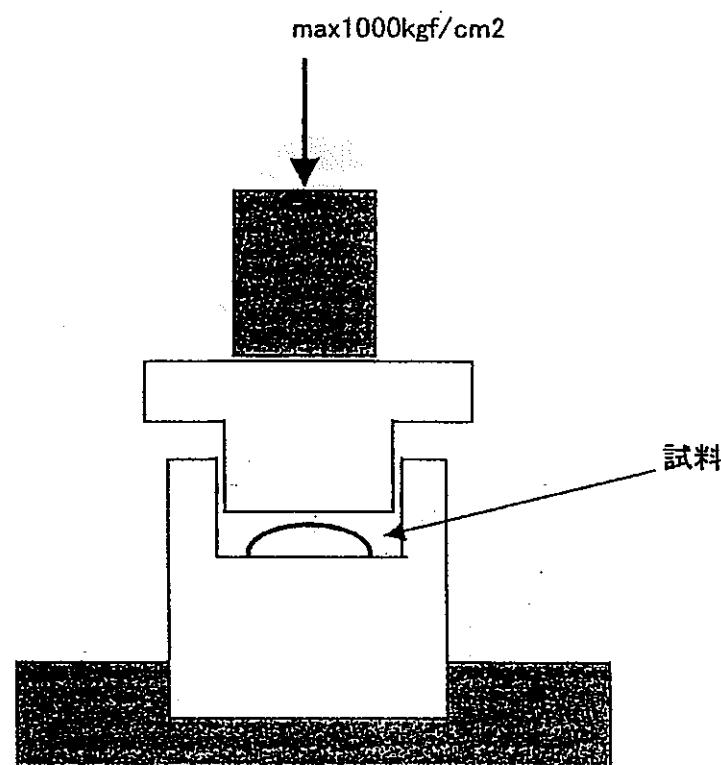


図 2.2.8 化学組成測定(X 線回折)用試料の加工

図 2.2.7 に示す試料について、目視観察、顕微鏡観察、線量測定および核種測定終了後、ハンドプレスを用いて、X 線回折測定用に面出しこする。

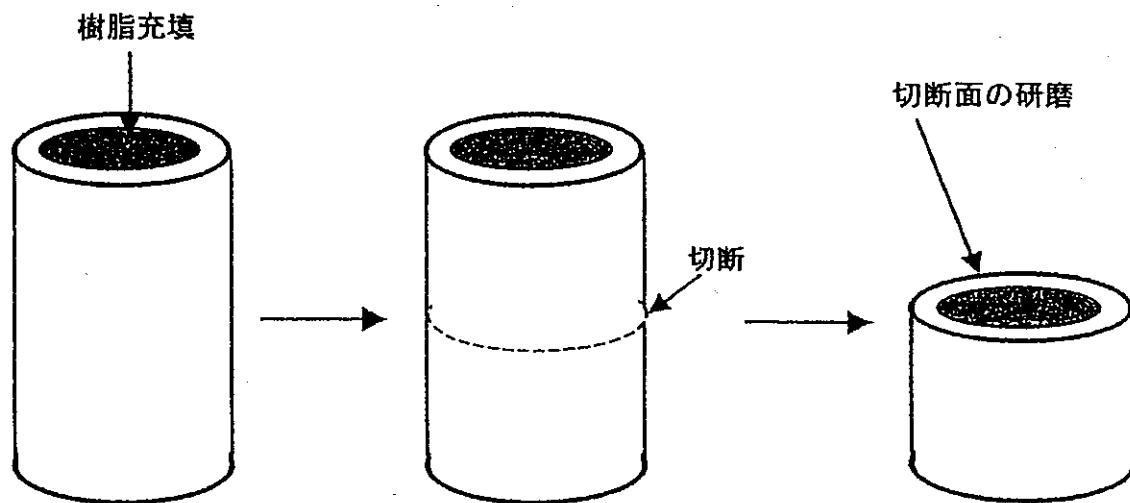


図 2.2.9 切断面観察用試料の加工

図 2.2.6 の輪切り試料②の内部に樹脂を充填し、樹脂の固化後、バイス、金ノコなどで切断したのち、ストレートグラインダ、研磨紙等で断面を研磨した。

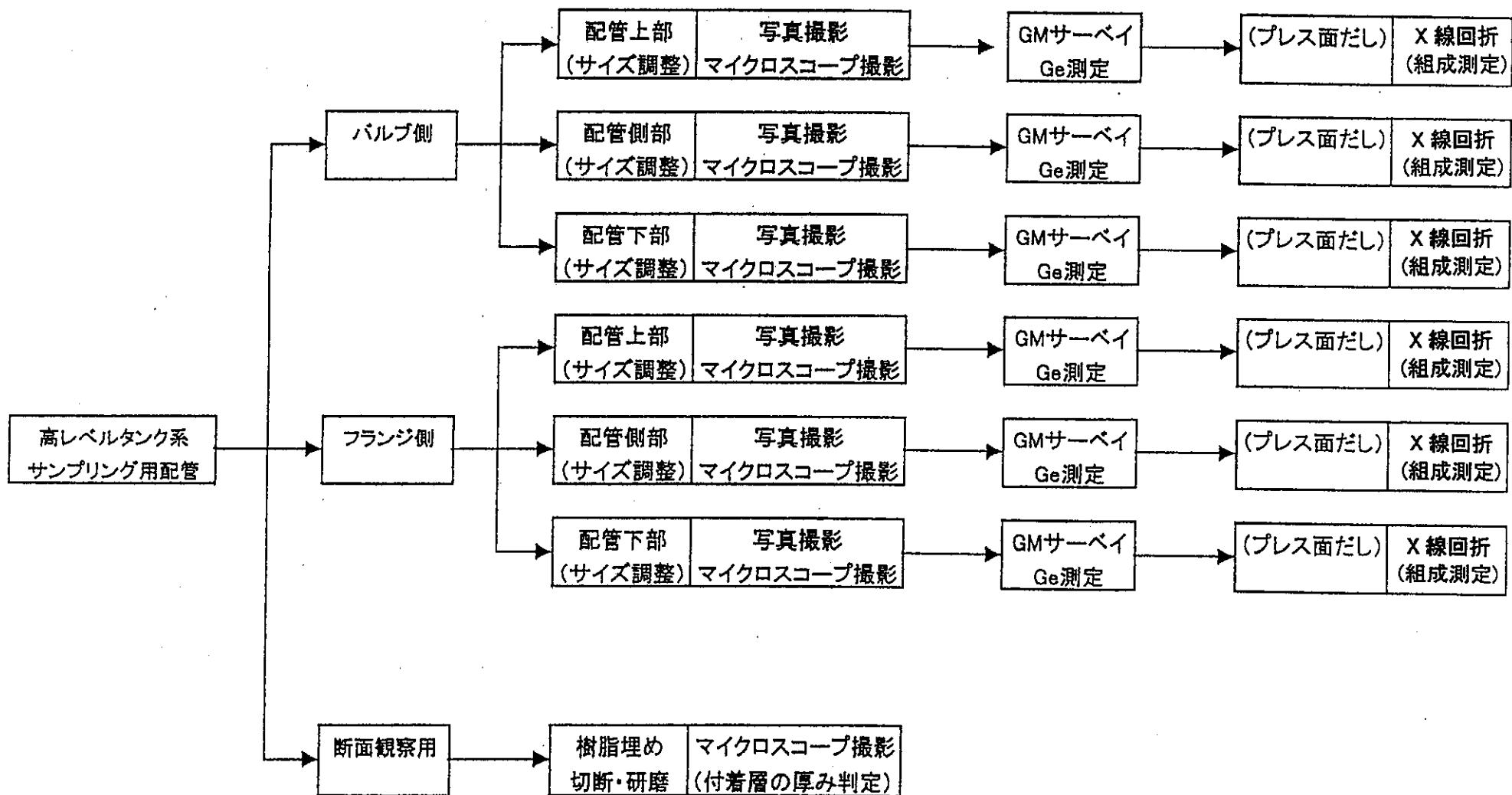


図 2.2.10 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管作業フロー

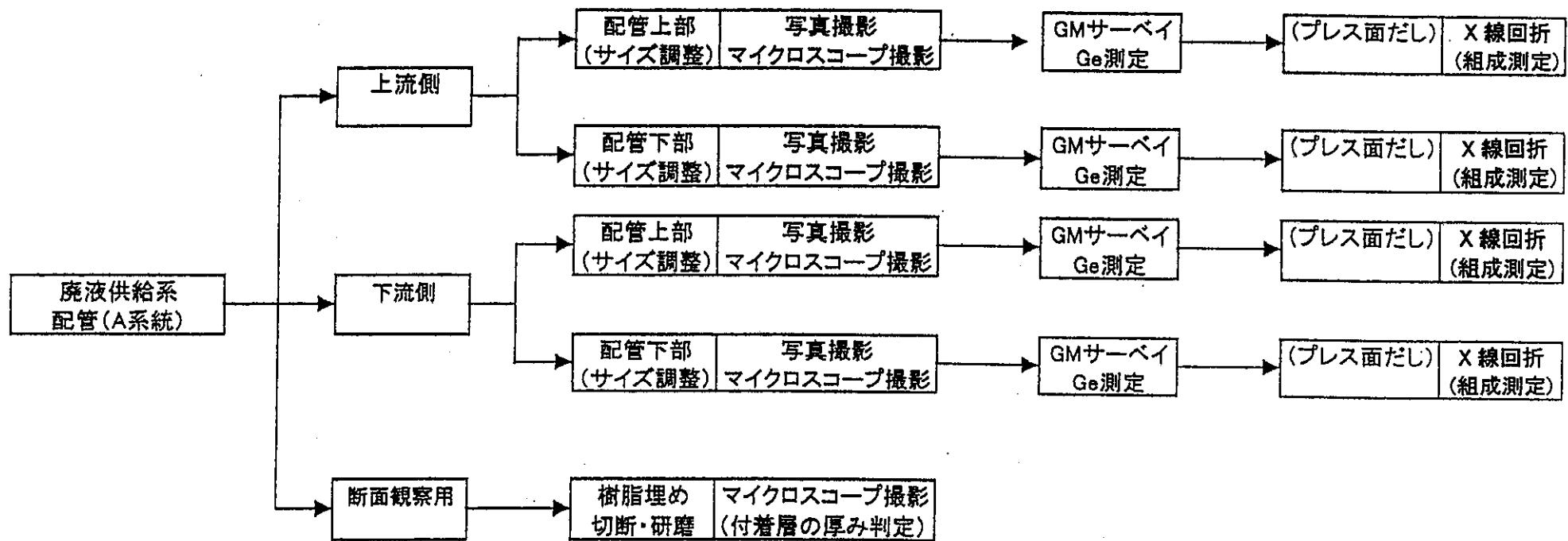


図 2.2.11 廃液供給系配管(A系統)作業フロー

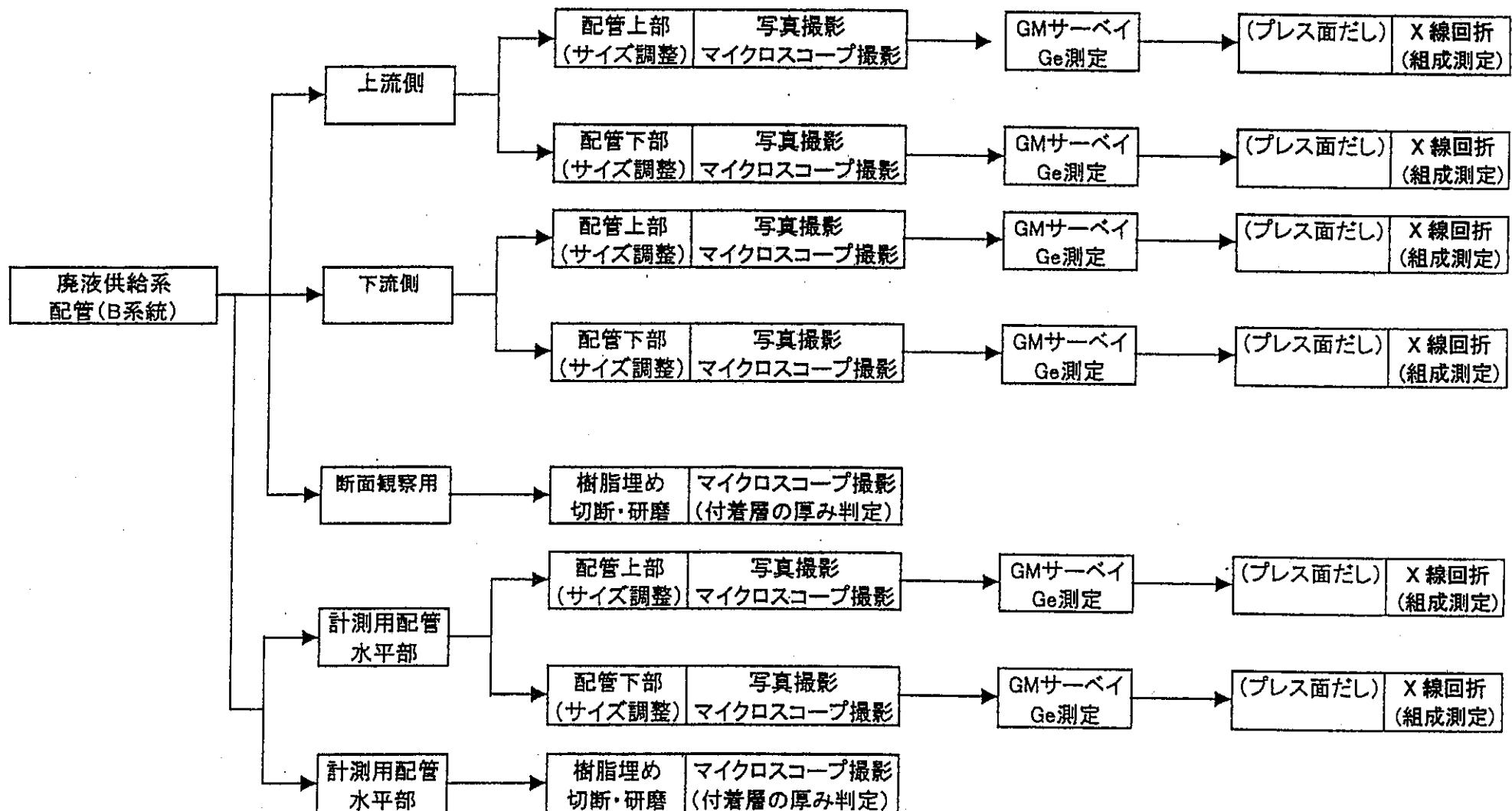


図 2.2.12 廃液供給系配管(B系統)作業フロー

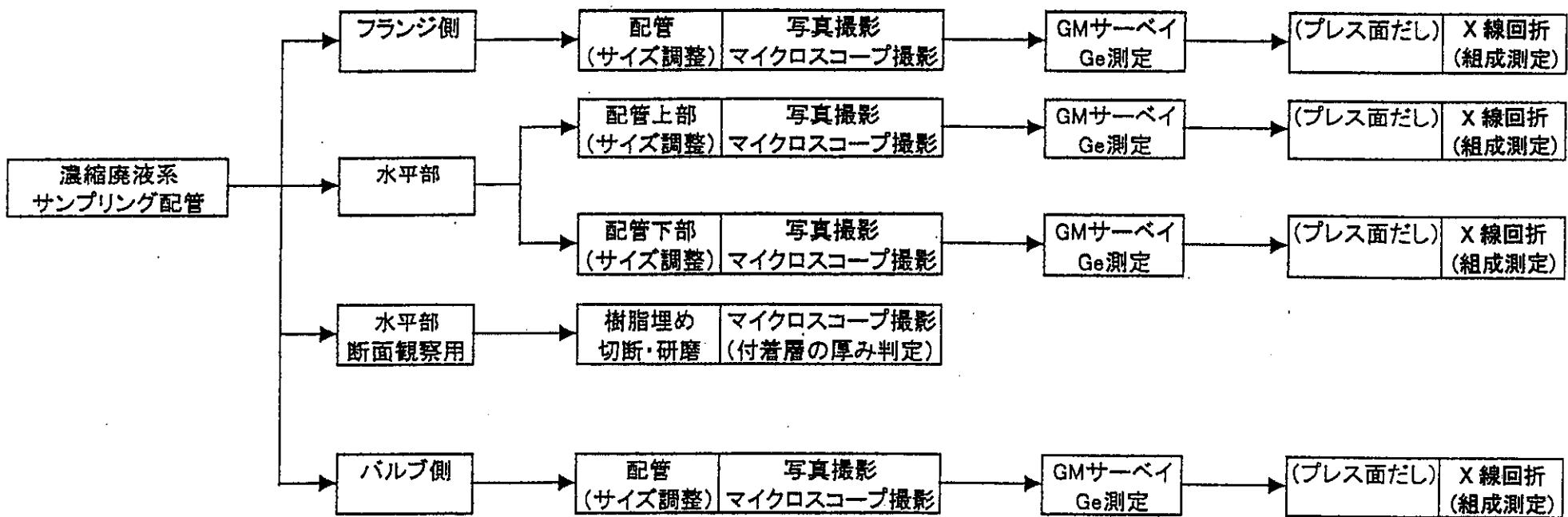


図 2.2.13 濃縮廃液系サンプリング配管作業フロー

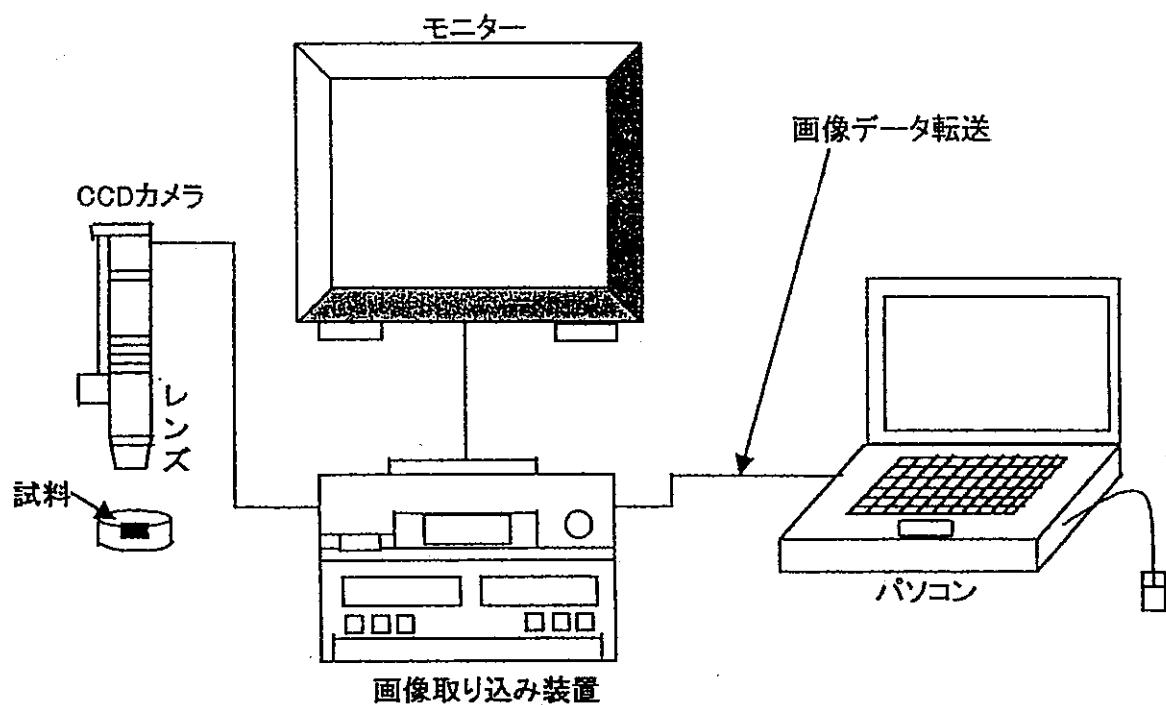


図 2.2.14 頭微鏡観察および写真撮影概念図

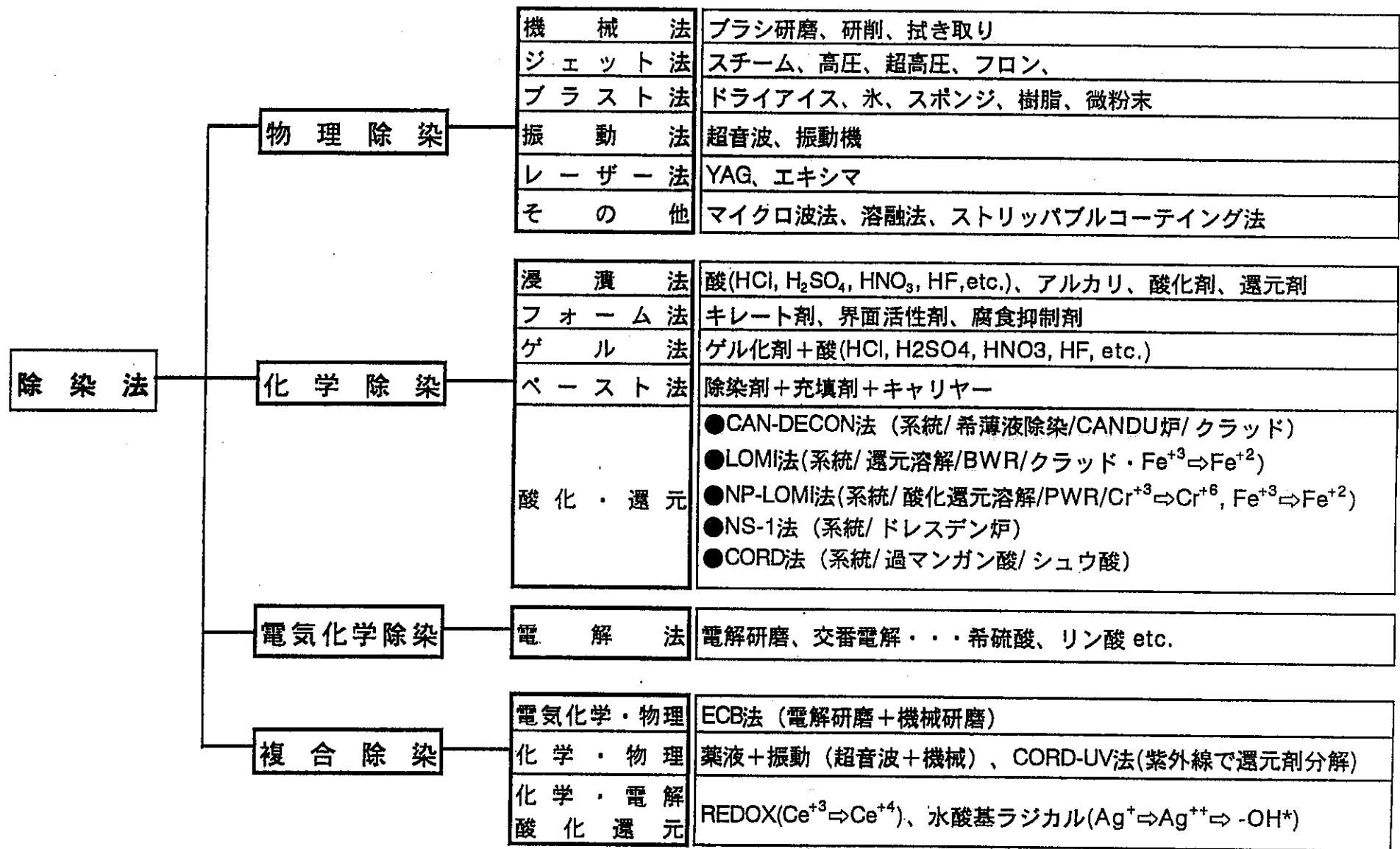


図 3.1 除染法の分類

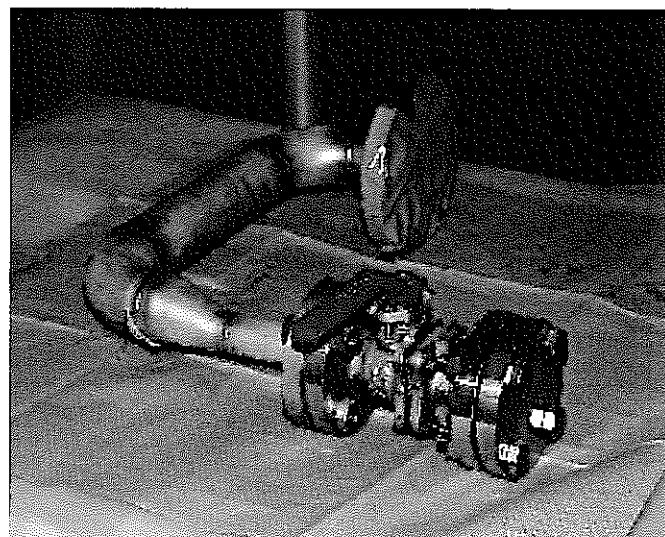


写真-1 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管

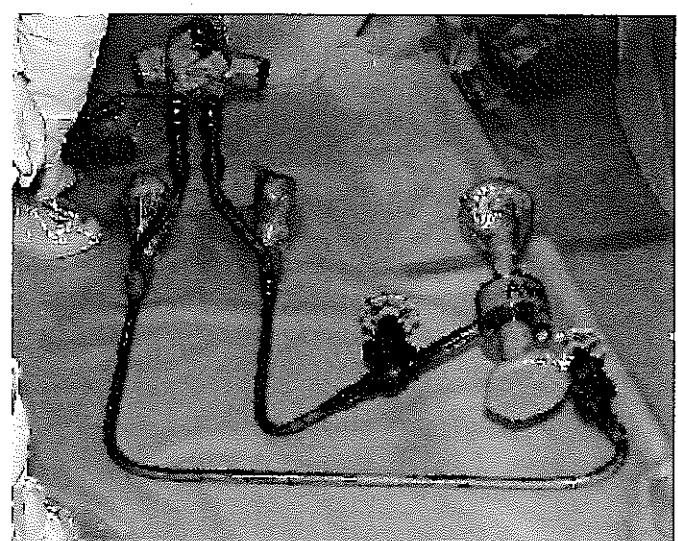
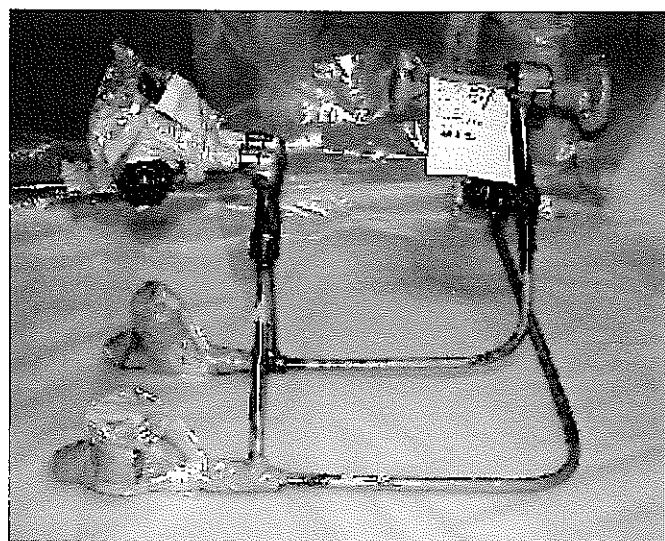


写真-2 廃液供給系配管(A系統)

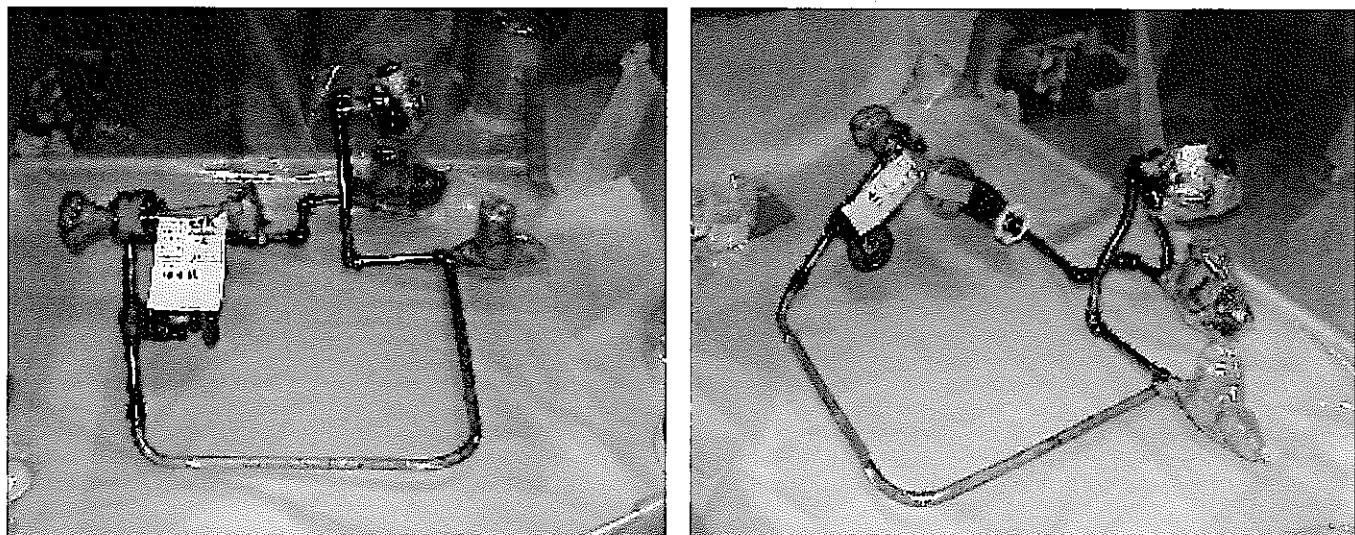


写真- 3 廃液供給系配管 (B 系統)

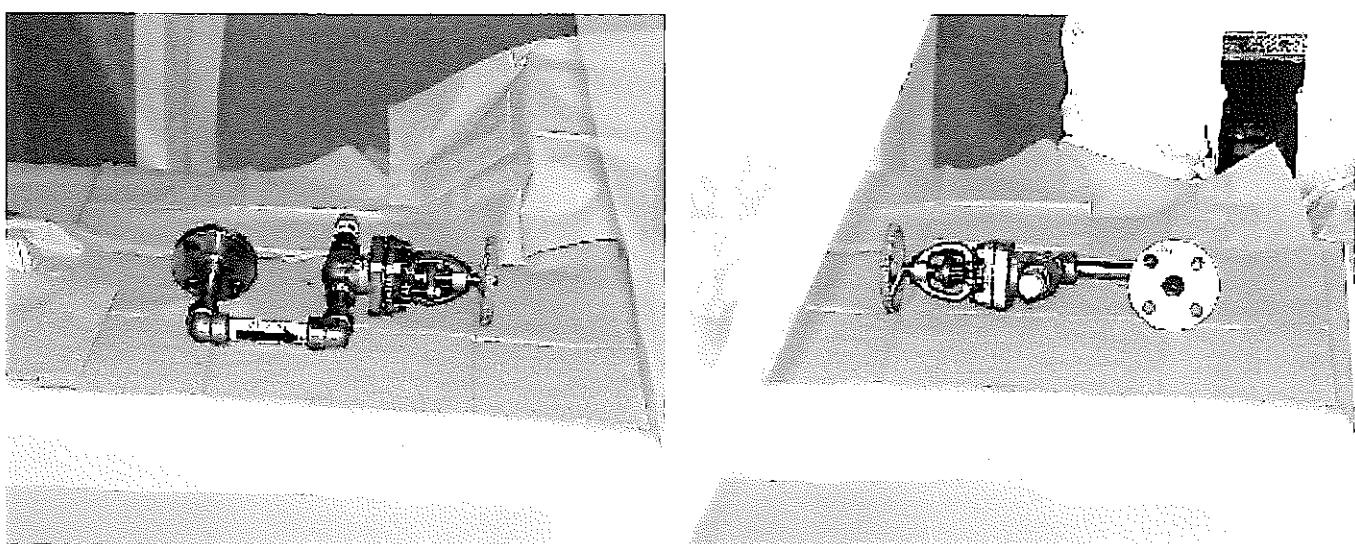


写真- 4 濃縮廃液系サンプリング配管

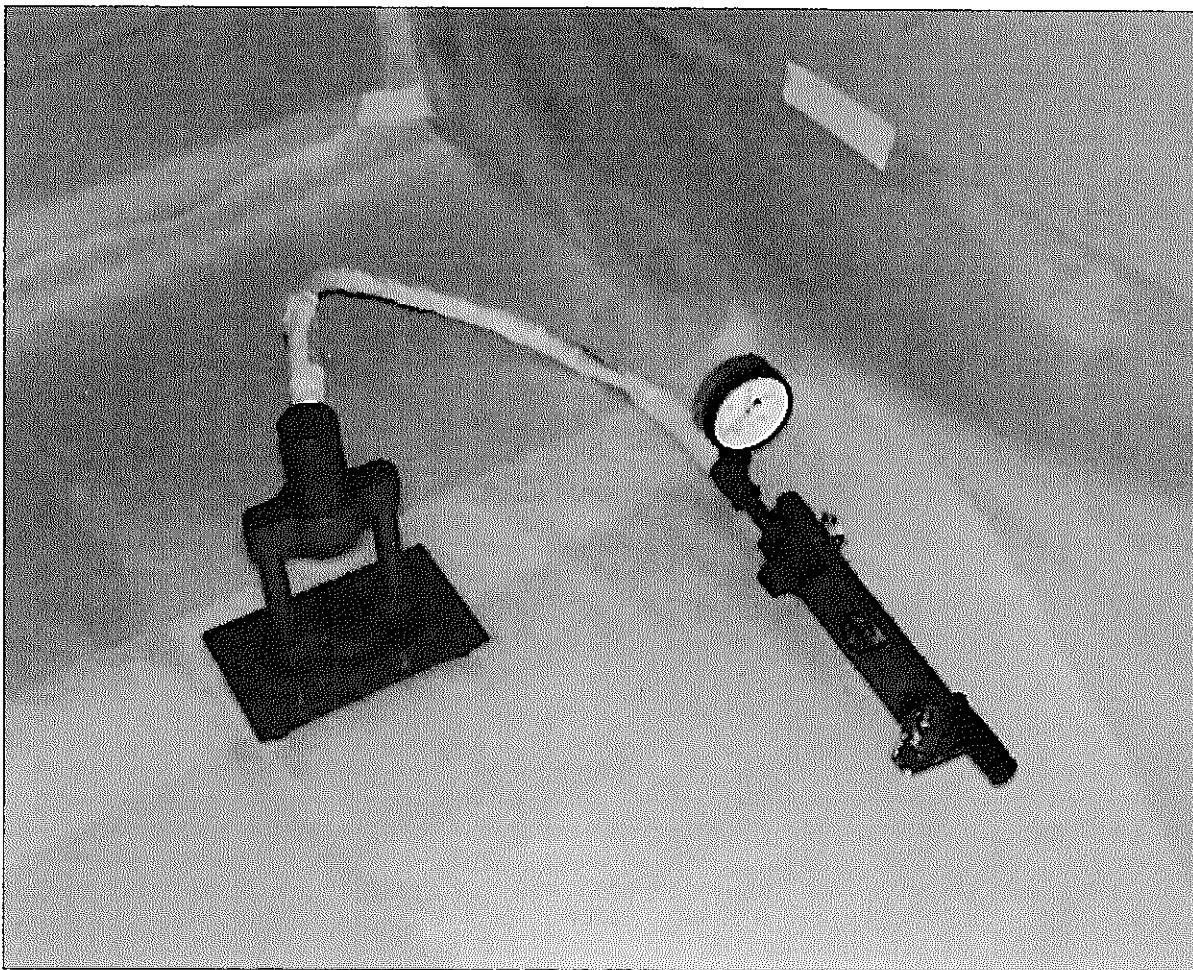
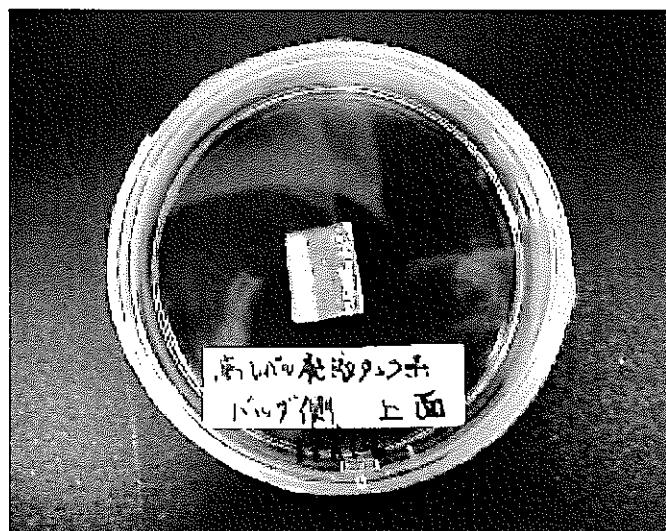
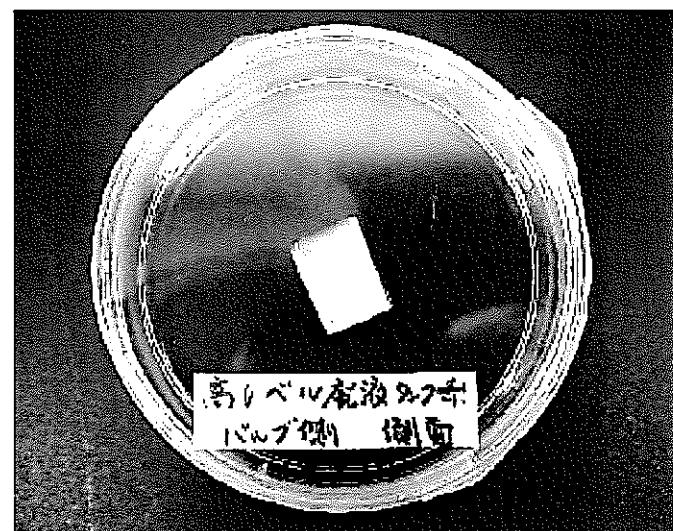


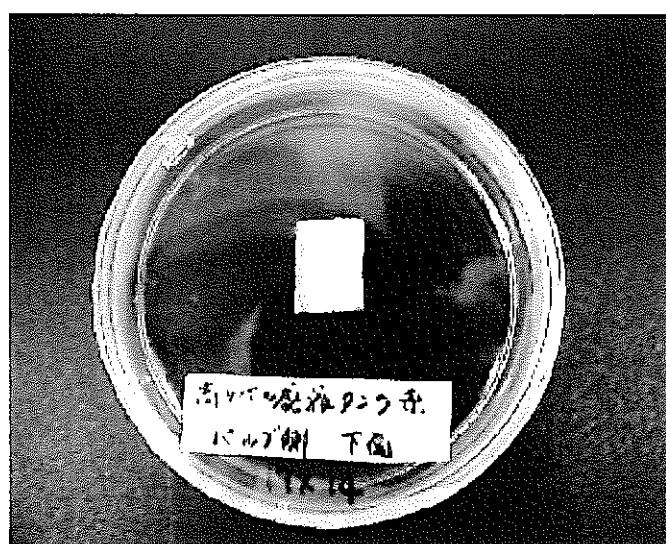
写真 - 5 ハンドプレス



上側



側面

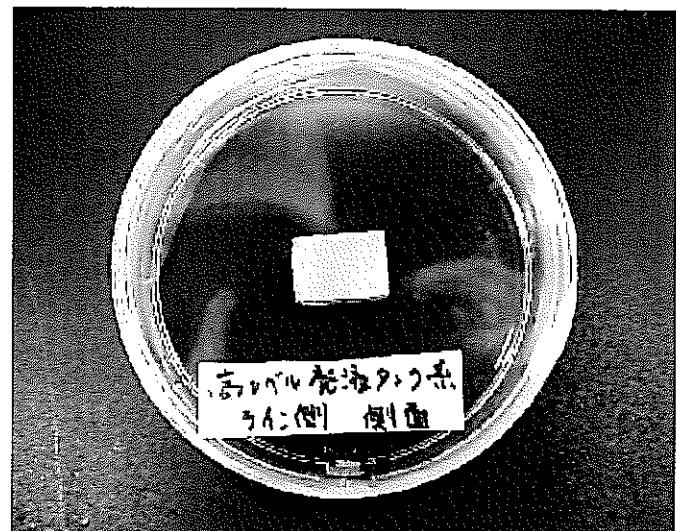


下側

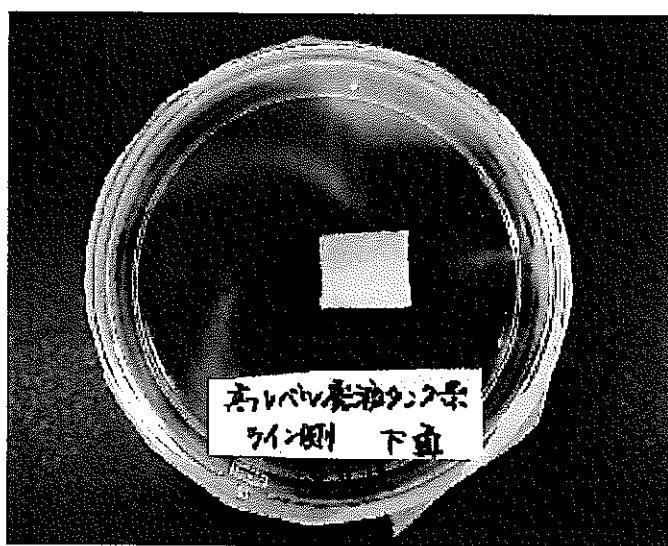
写真-6 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側



上側

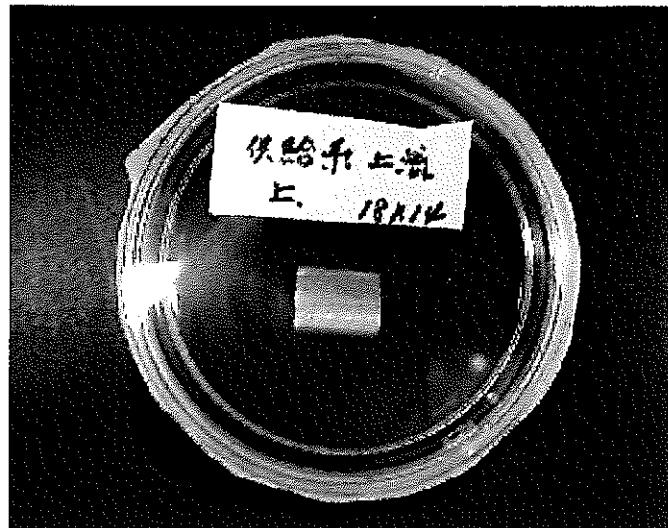


側面

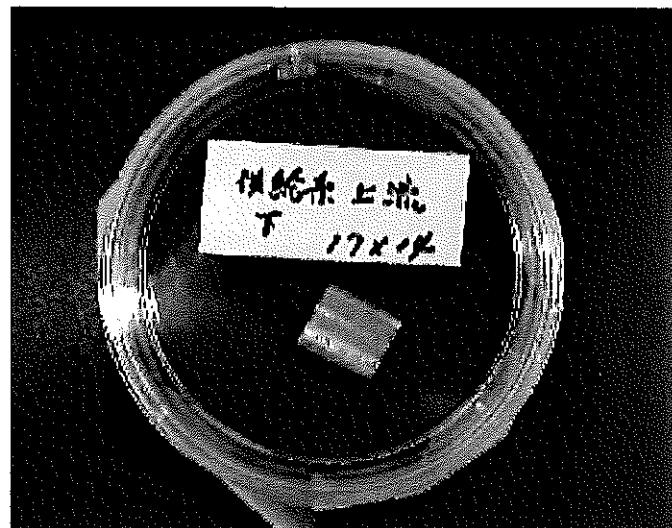


下面

写真-7 高レベルタンク系供給側廃液サンプリング系配管ライン側



上側



下側

写真- 8 廃液供給系配管(A系統)上流側

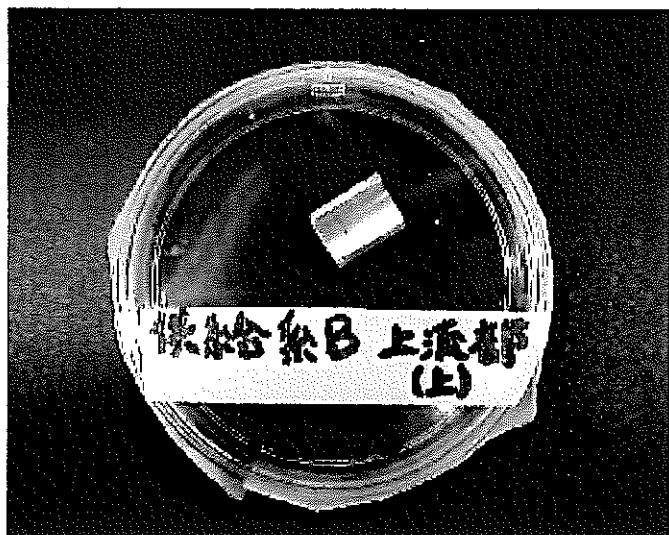


上側

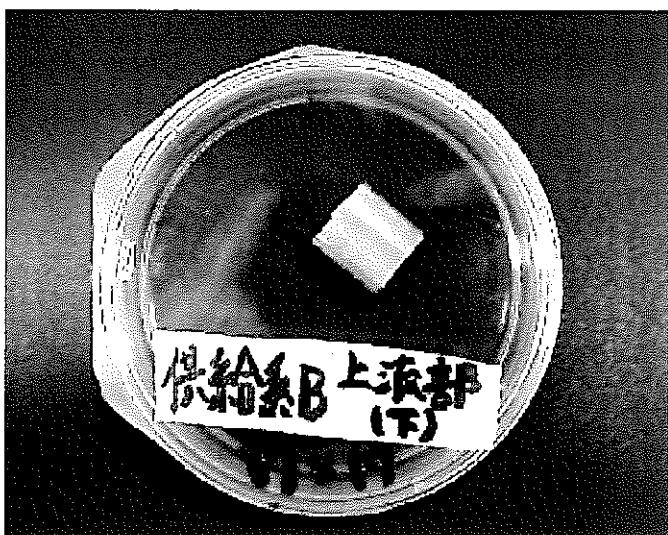


下側

写真- 9 廃液供給系配管(A系統)下流側



上側

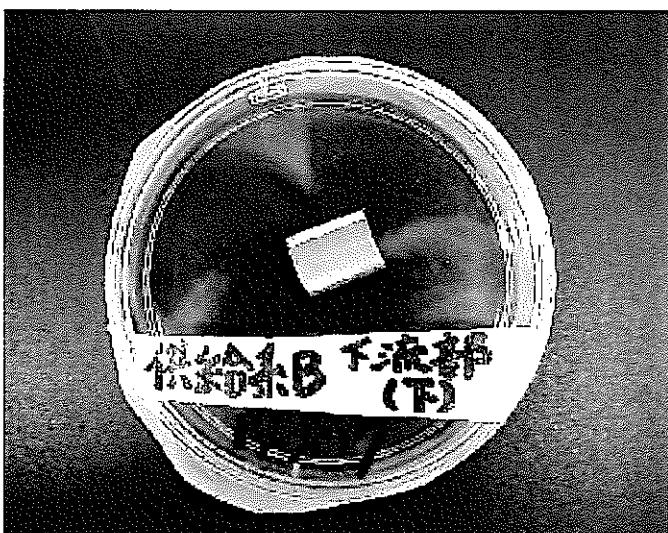


下側

写真-10 廃液供給系配管(B系統)上流側



上側

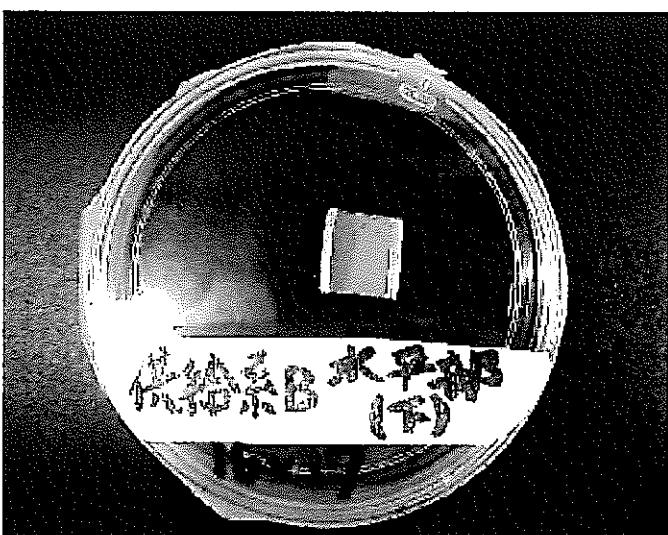


下側

写真-11 廃液供給系配管(B系統)下流側

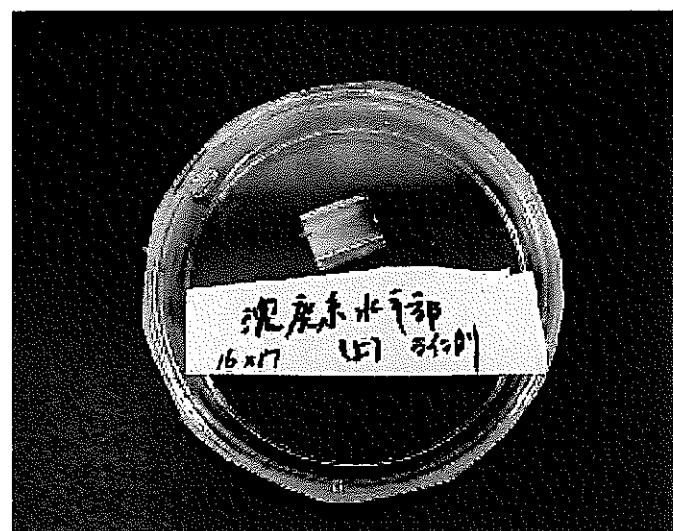


上側

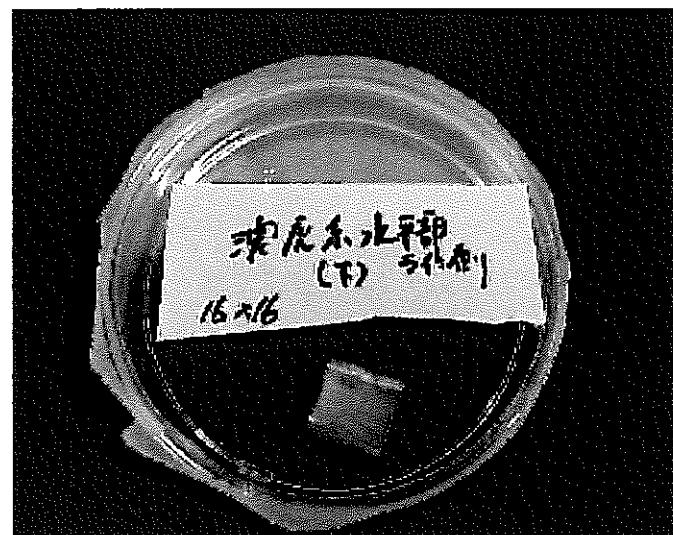


下側

写真-12 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管水平部



上側



下側

写真-13 濃縮廃液系サンプリング配管水平部ライン側



写真-14 濃縮廃液サンプリング系配管フランジ側



写真-15 濃縮廃液サンプリング系配管バルブ側

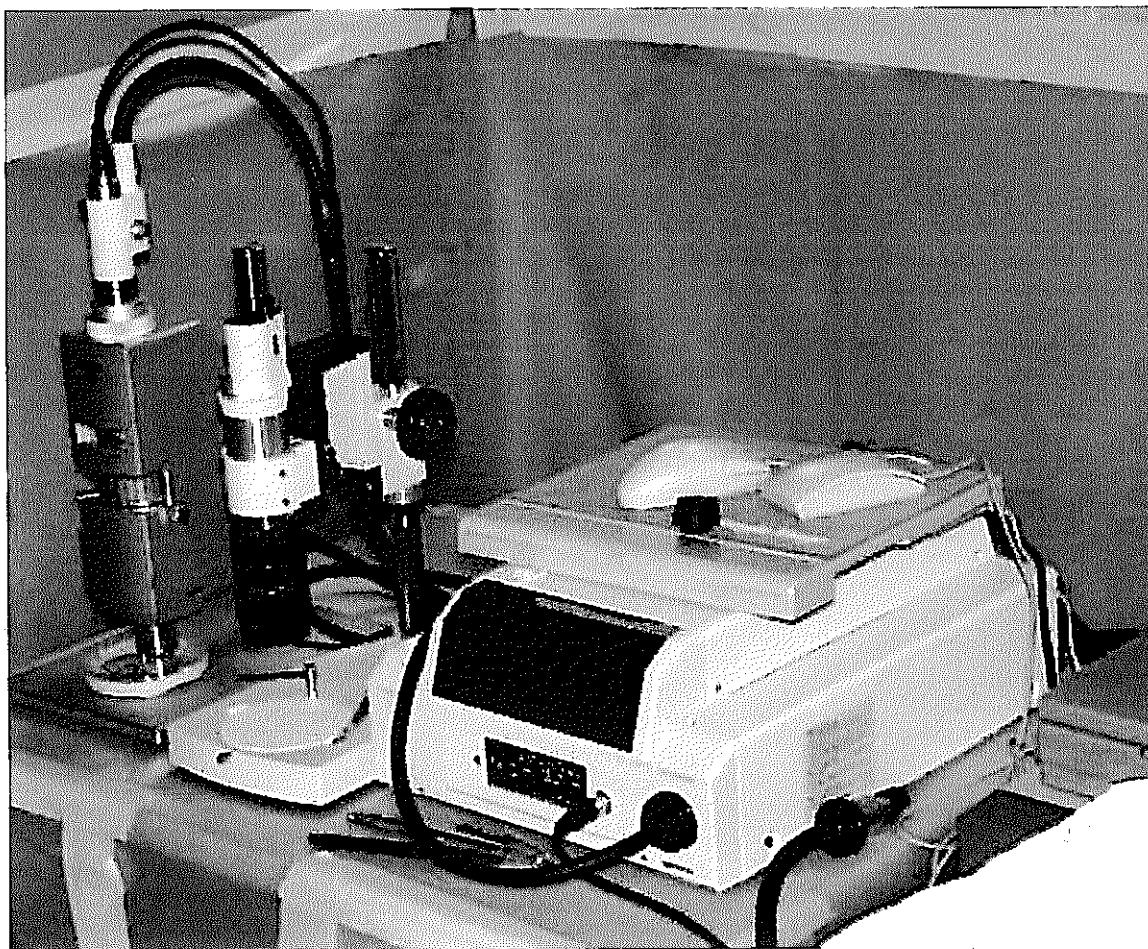
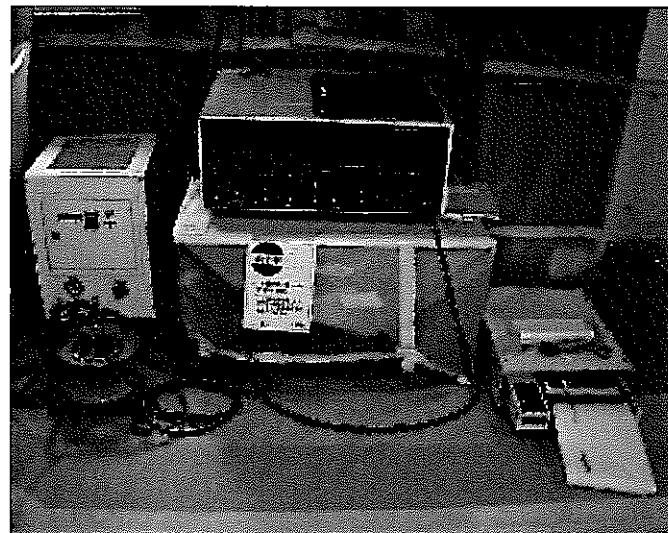
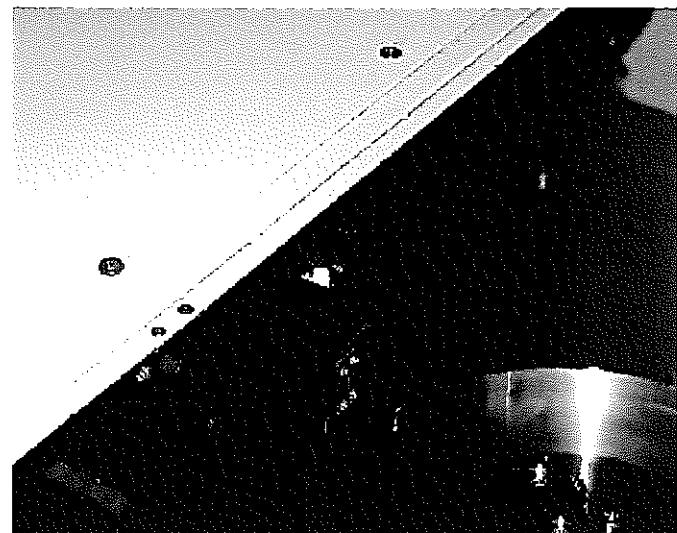


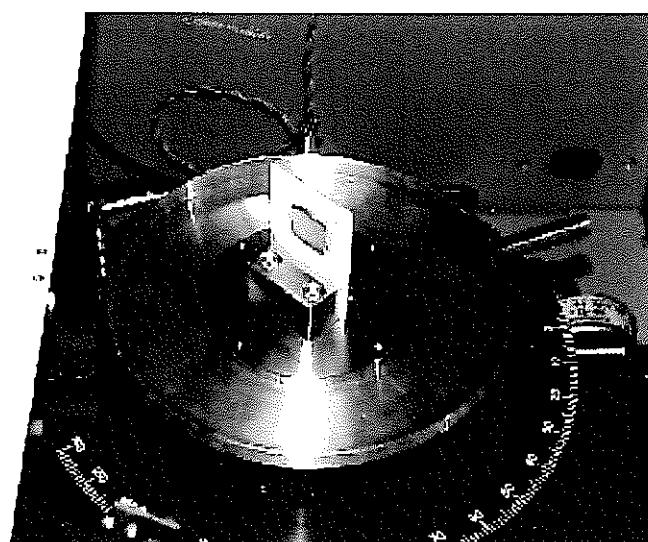
写真-16 マイクロスコープ



全体

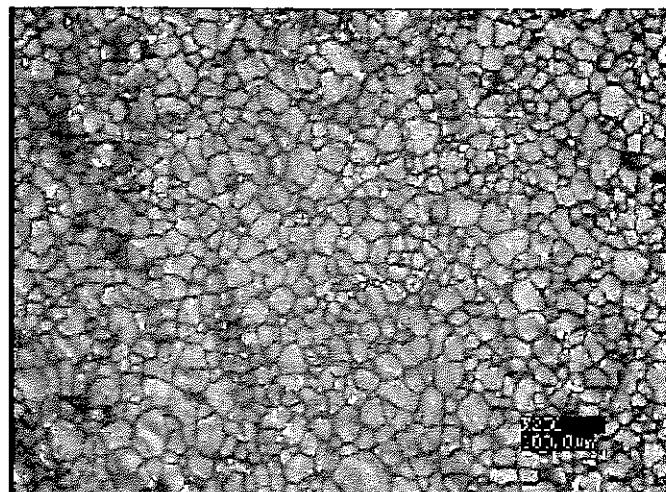


スリット部

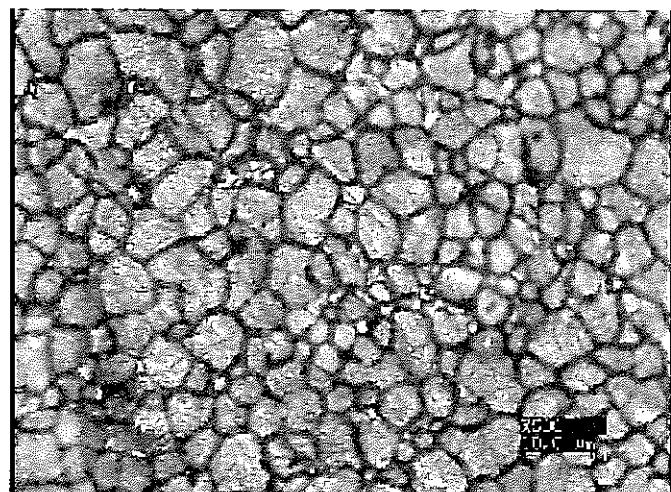


試料台

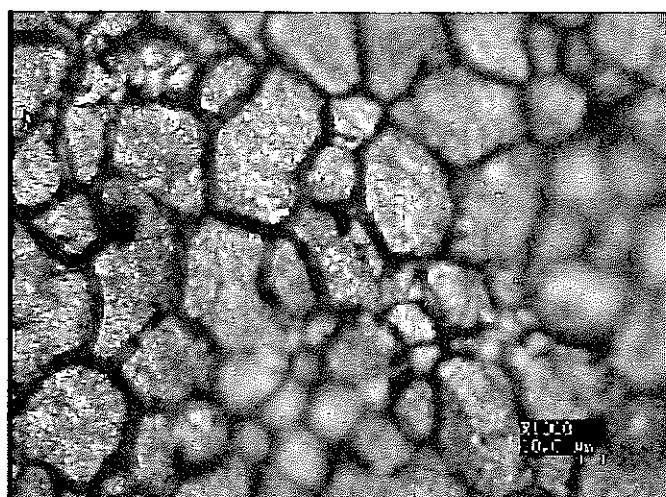
写真-17 X線回折装置



× 250

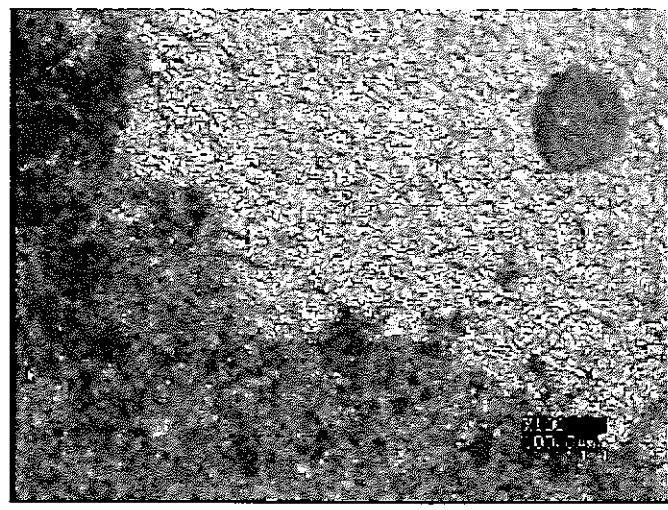


× 500

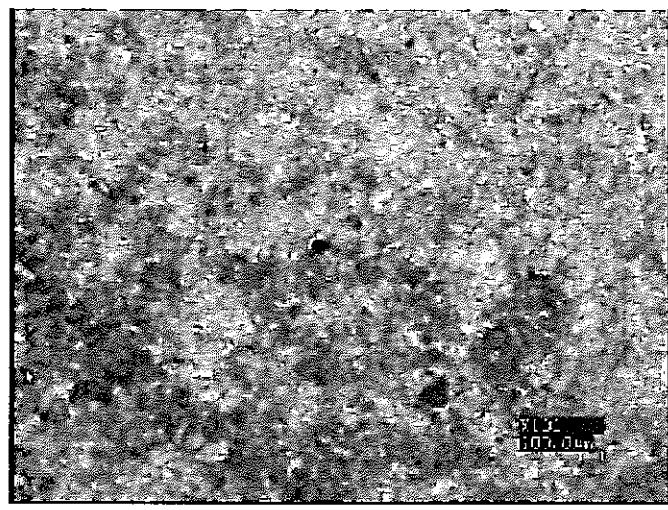


× 1000

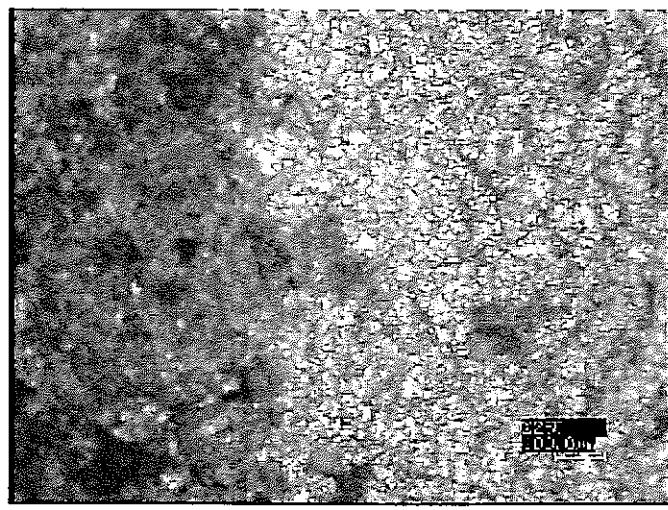
写真-18 未使用 SUS304、40A 配管表面



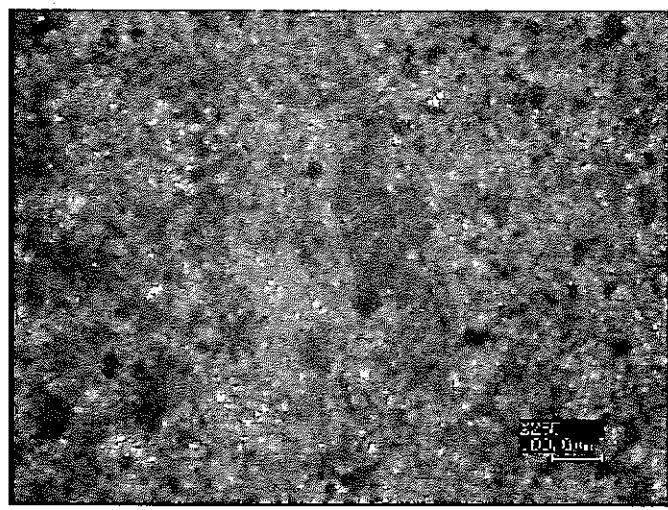
× 100



× 100

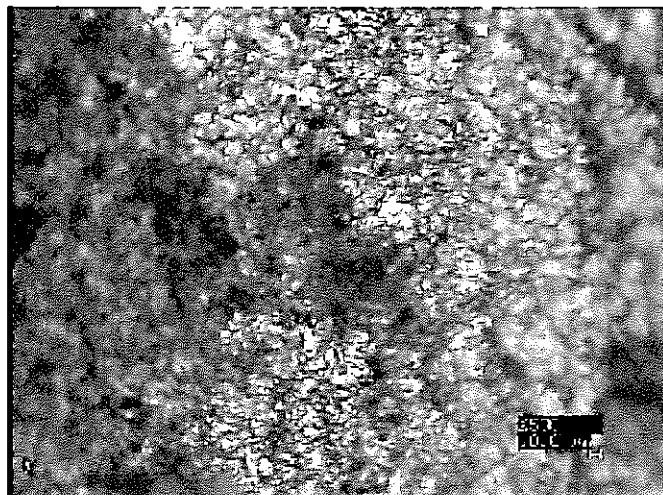


× 250

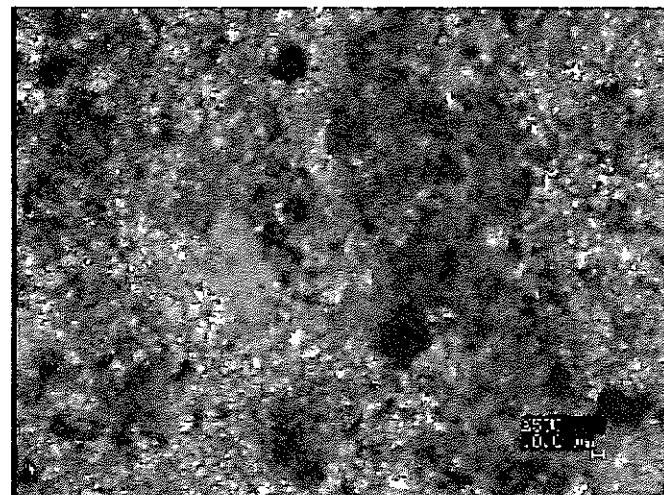


× 250

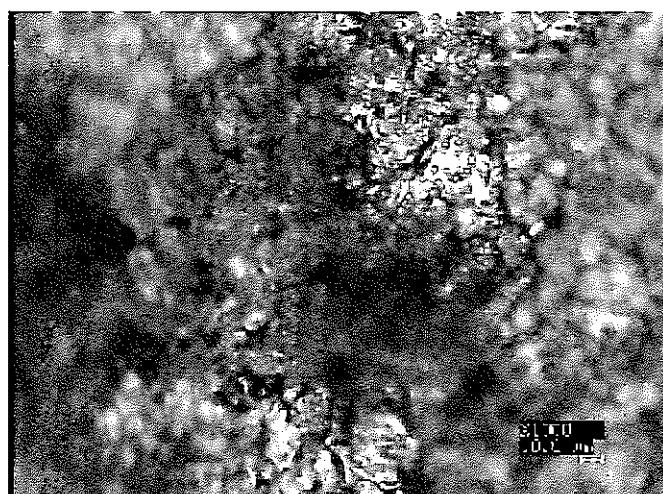
写真-19-1 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(上部)



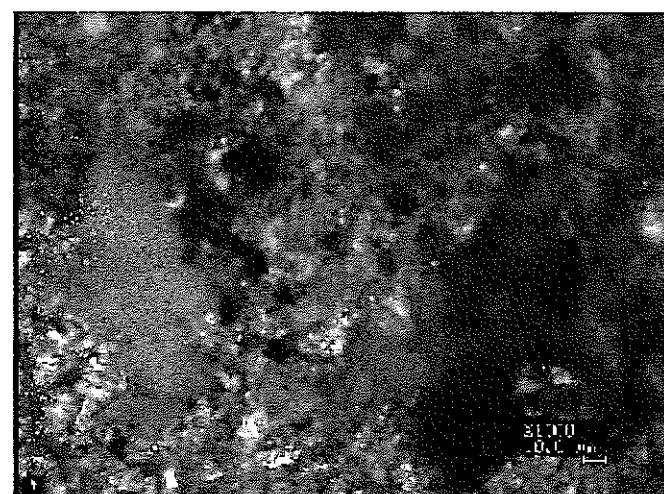
× 500



× 500

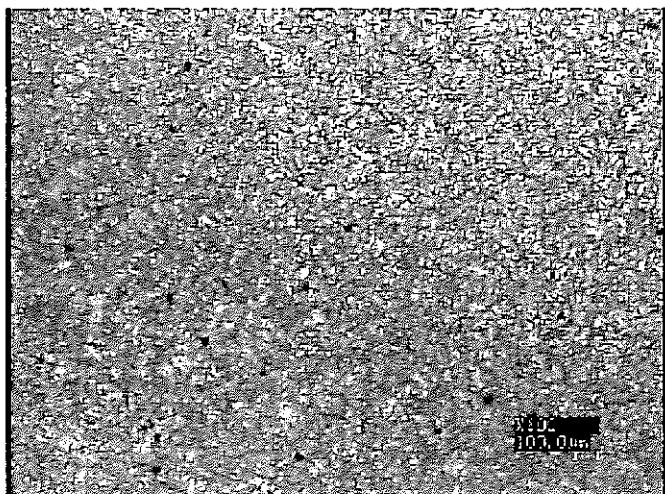


× 1000

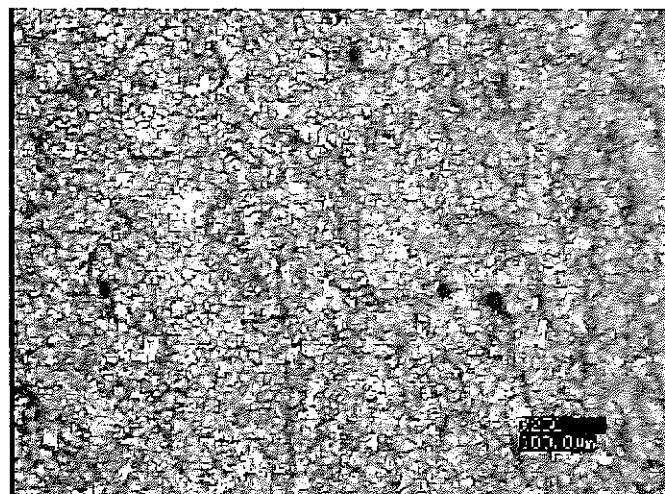


× 1000

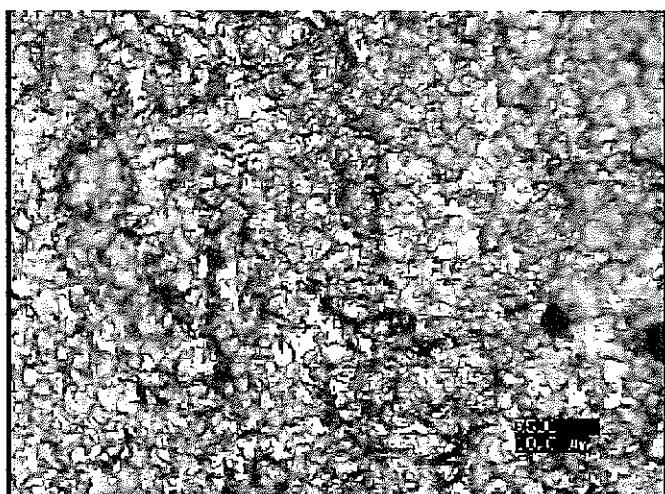
写真-19-2 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(上部)



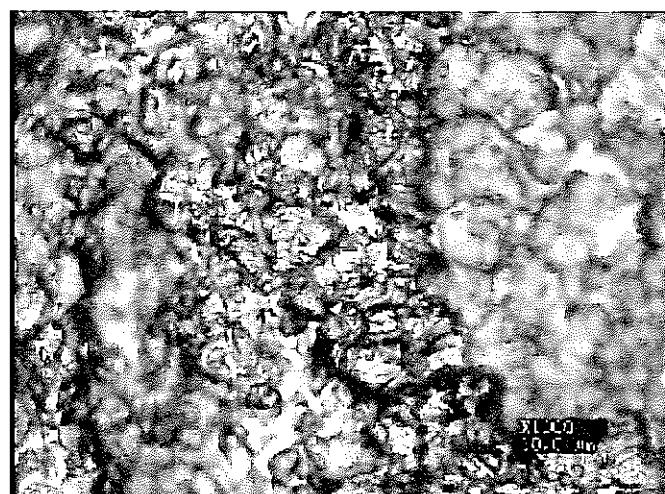
$\times 100$



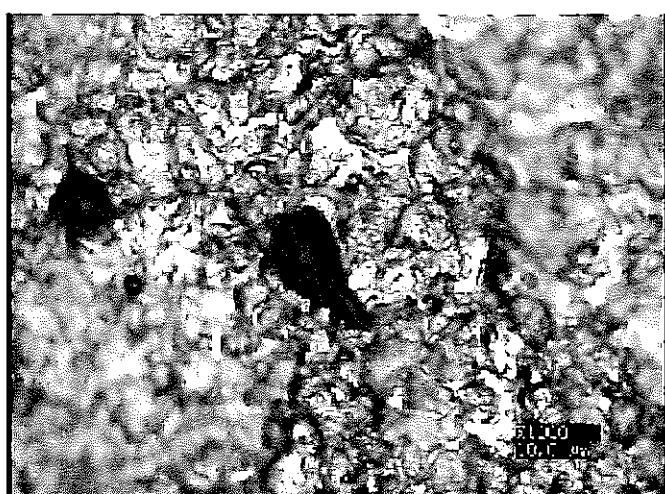
$\times 250$



$\times 500$

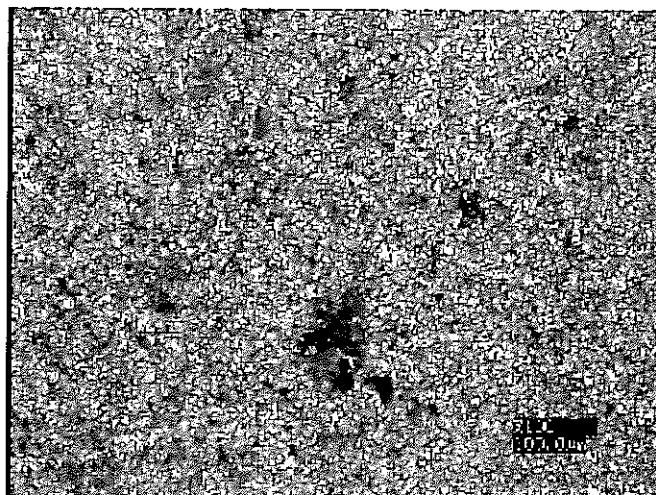


$\times 1000$

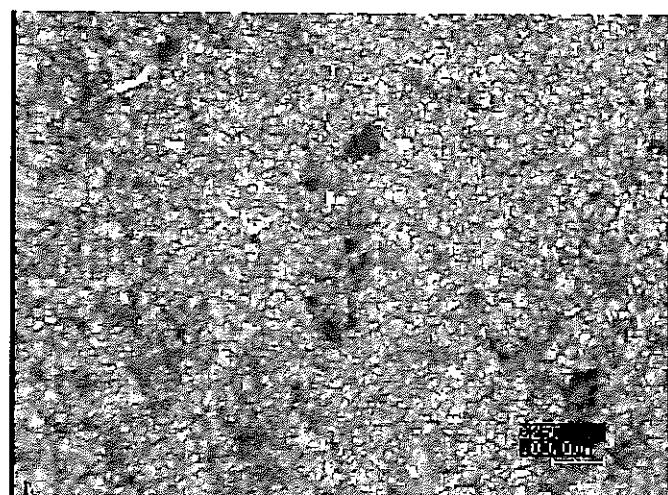


$\times 1000$

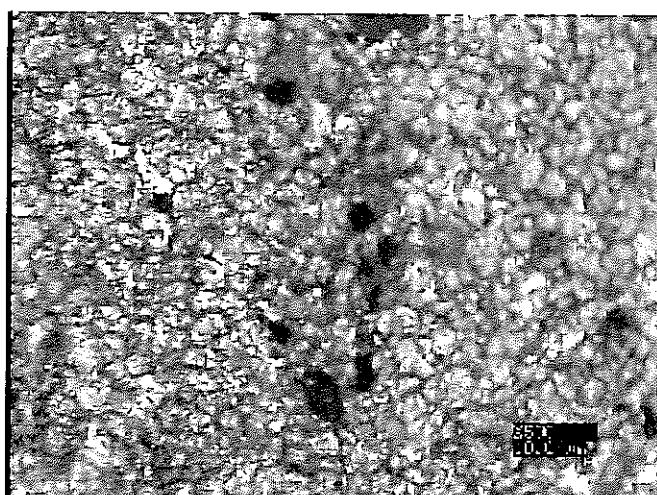
写真-20 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(側部)



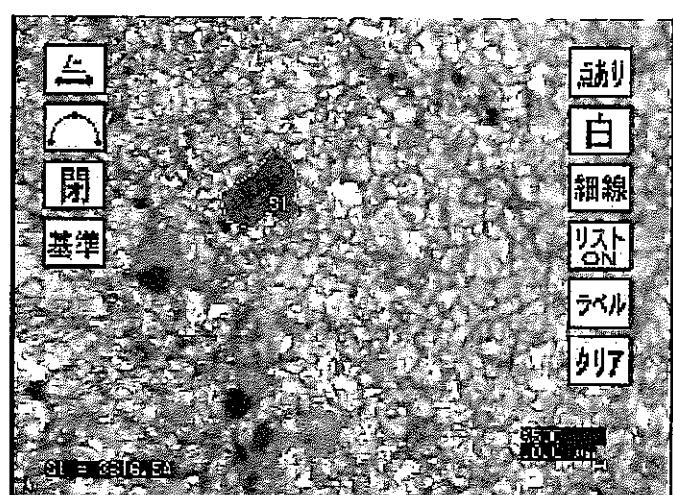
× 100



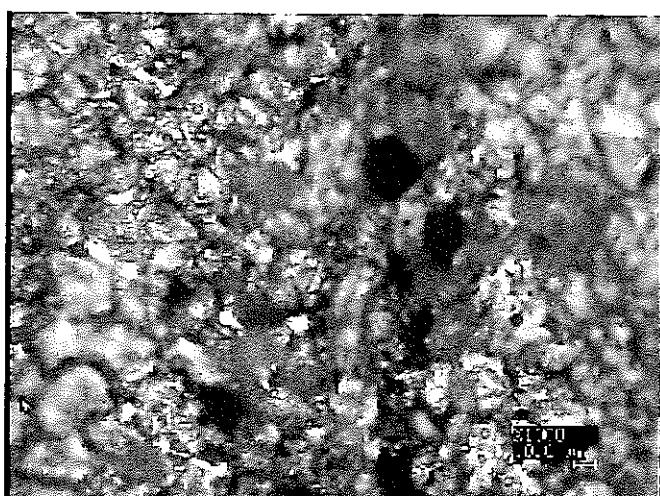
× 250



× 500

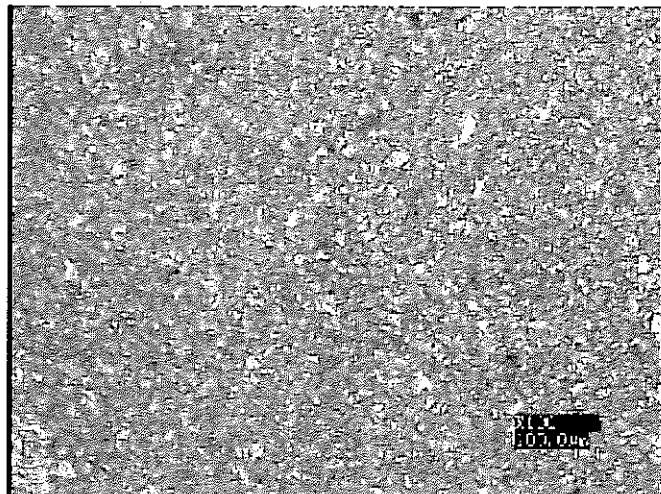


× 500

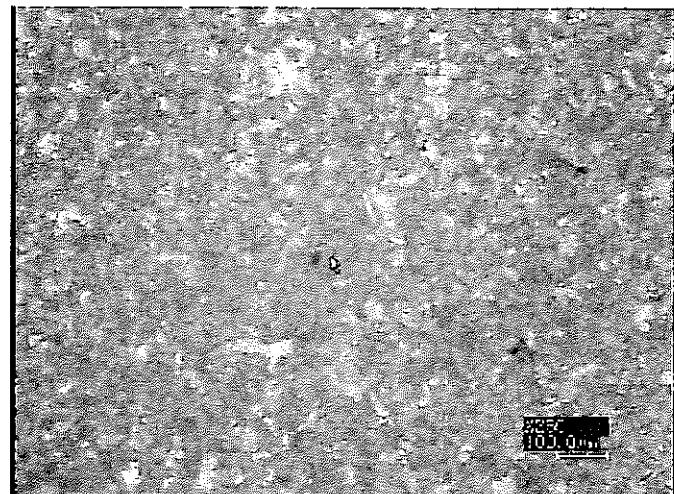


× 1000

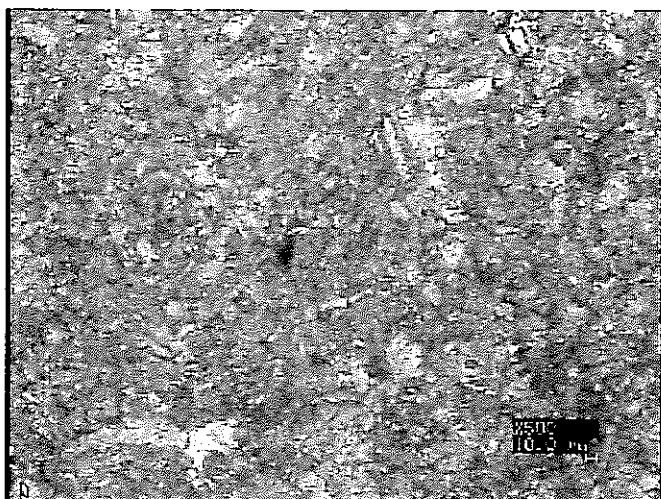
写真-21 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管バルブ側(下部)



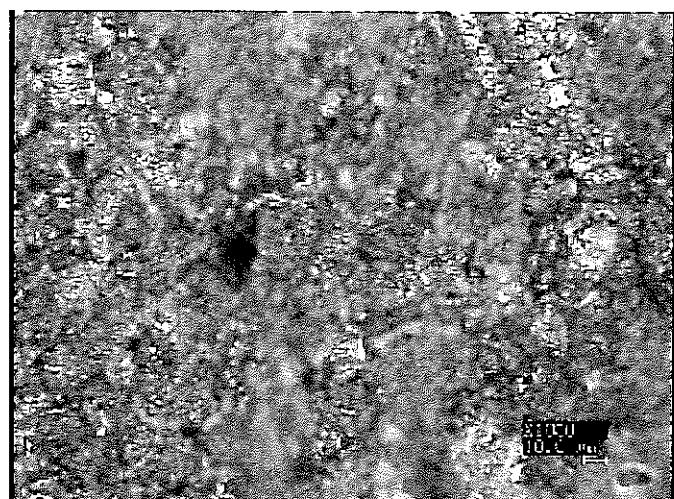
× 1 0 0



× 2 5 0

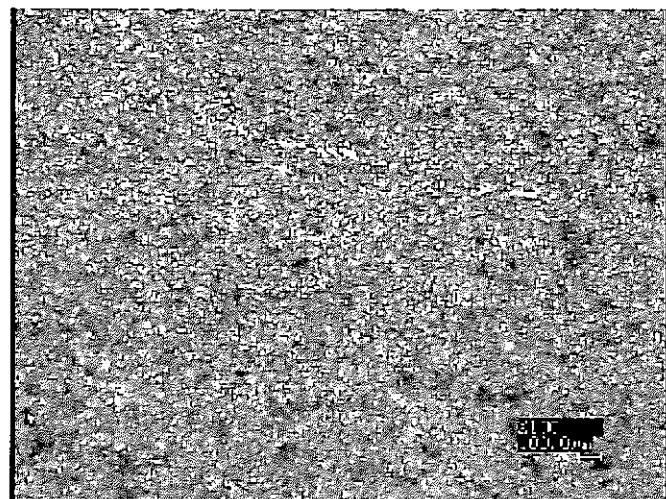


× 5 0 0

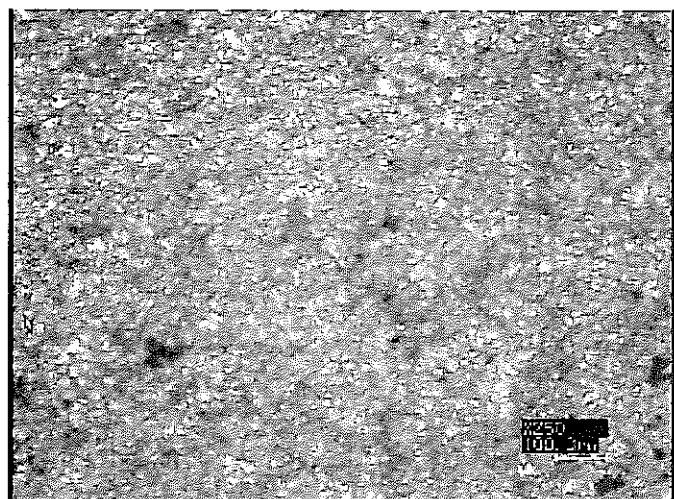


× 1 0 0 0

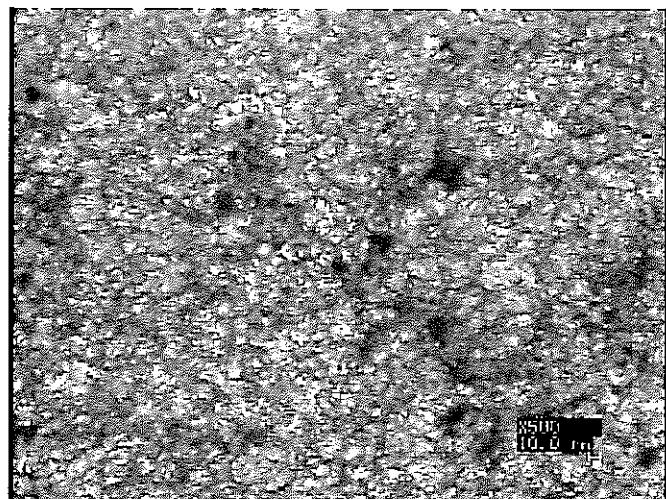
写真-22 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管ライン側(上部)



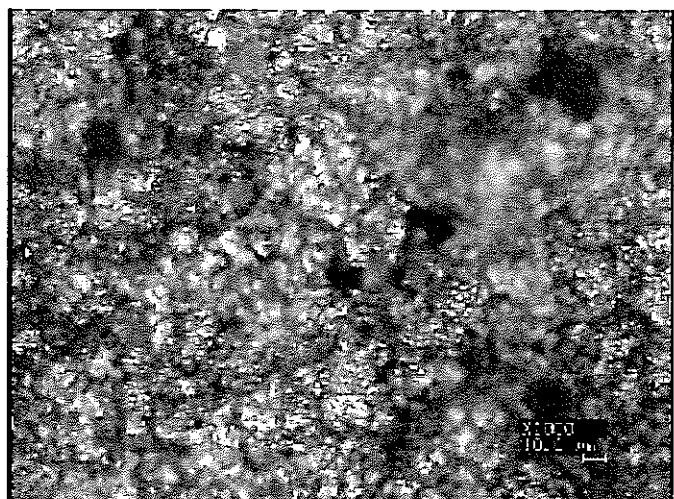
× 100



× 250

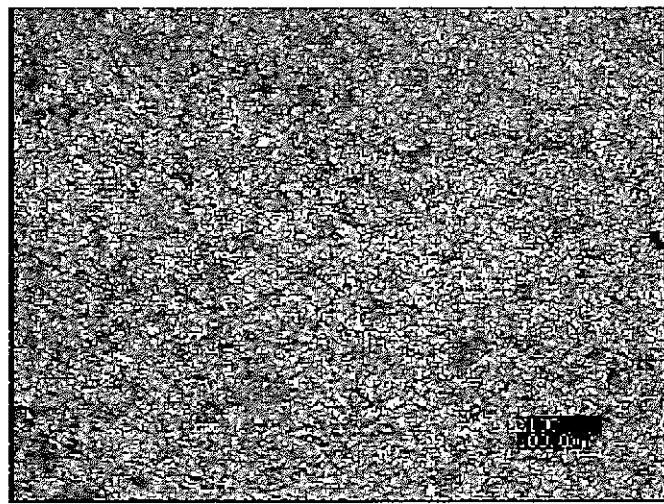


× 500

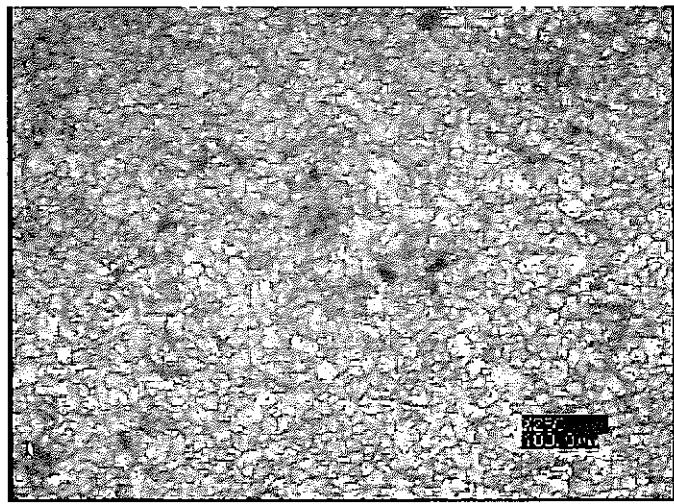


× 1000

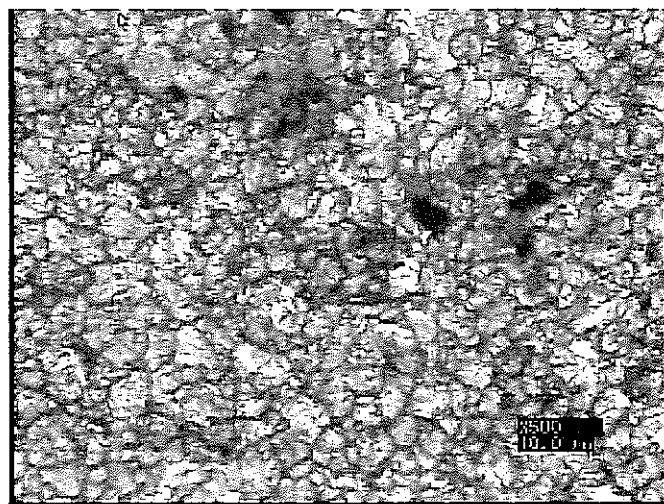
写真-23 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管ライン側(側部)



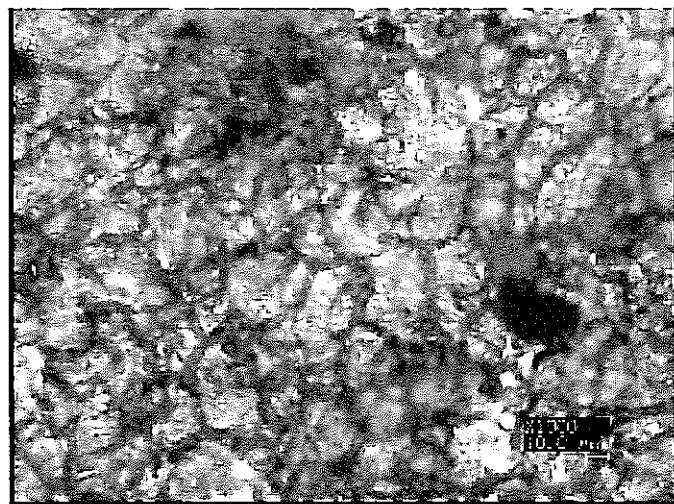
× 1 0 0



× 2 5 0

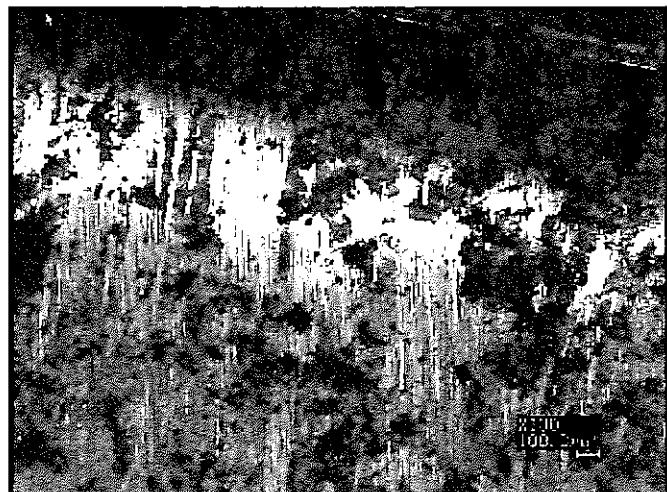


× 5 0 0

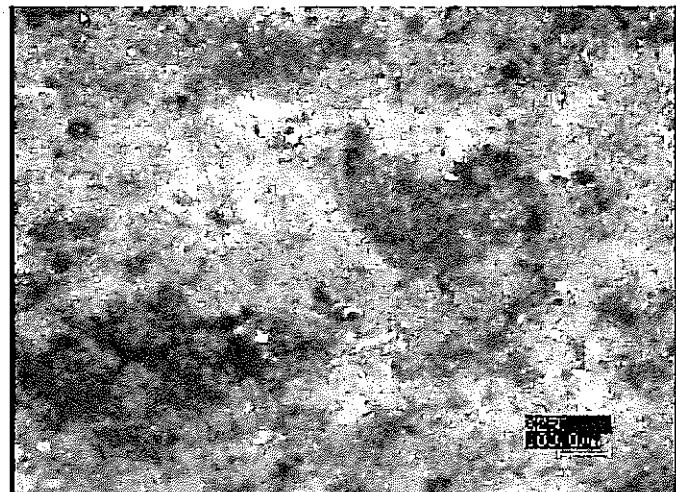


× 1 0 0 0

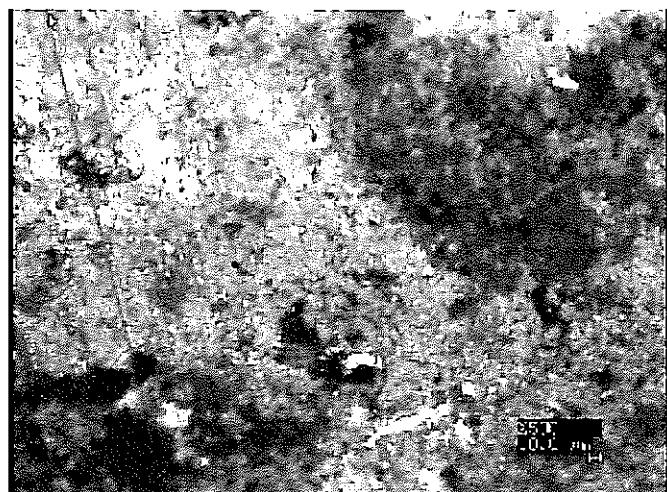
写真-24 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管ライン側(下部)



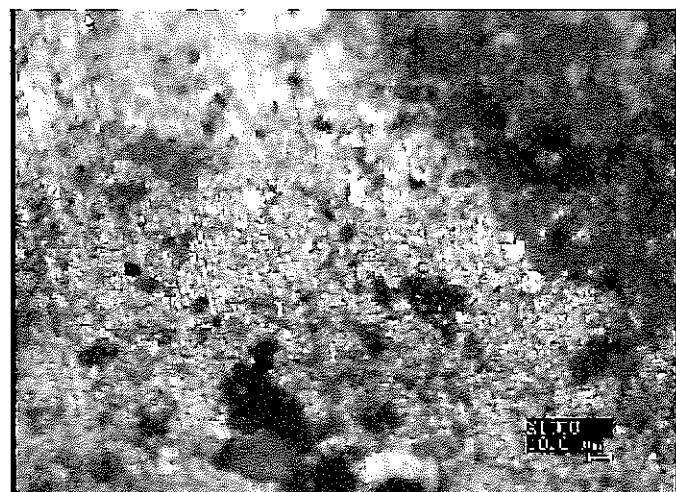
× 100



× 250

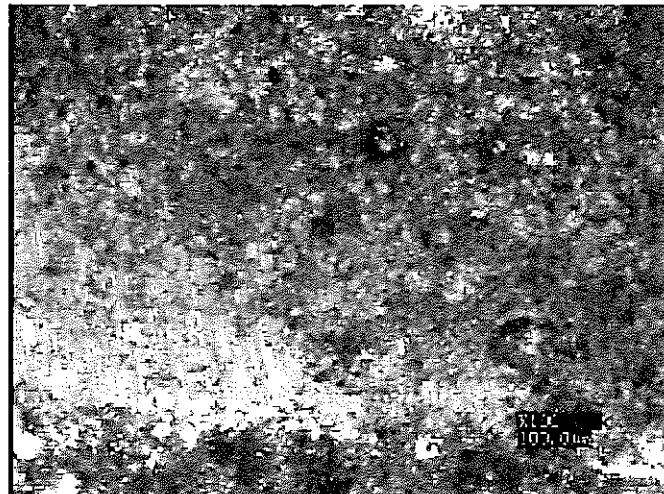


× 500

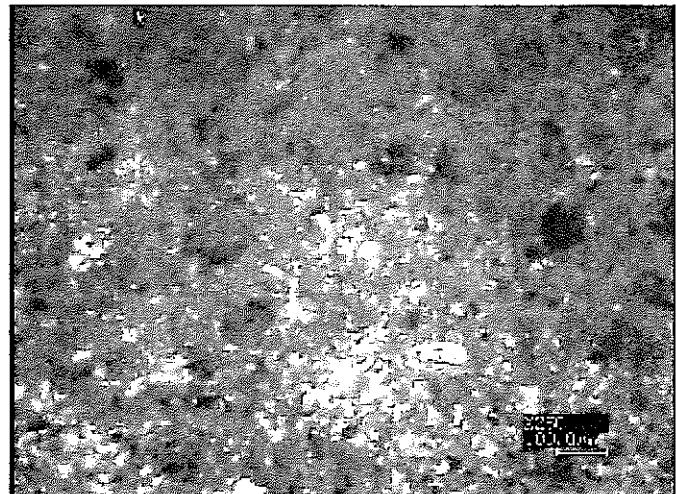


× 1000

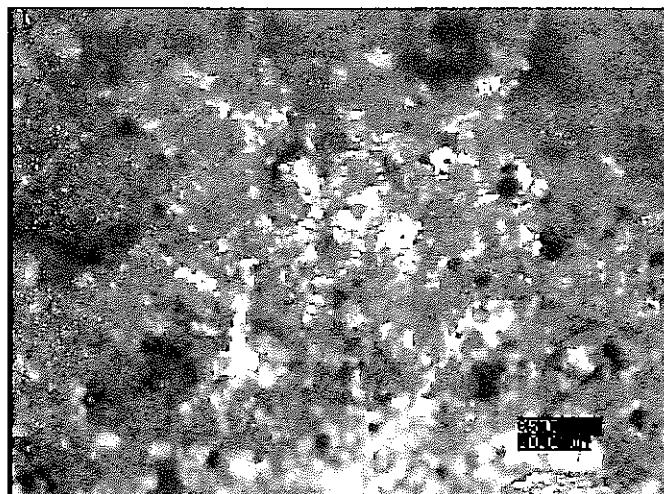
写真-25 廃液供給系配管(A系統)上流側(上部)



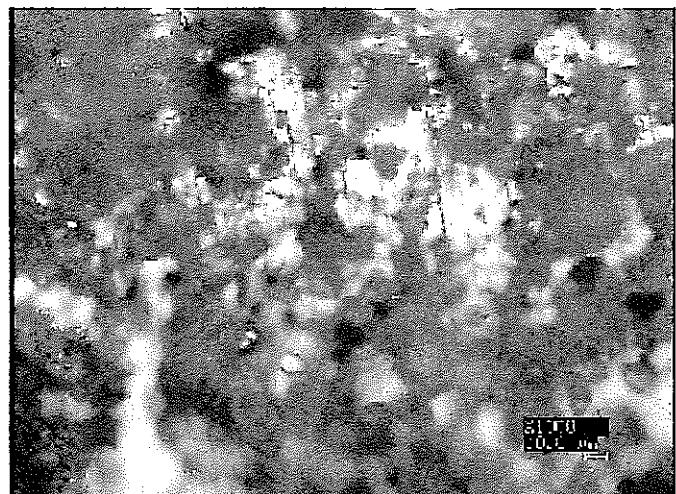
× 100



× 250

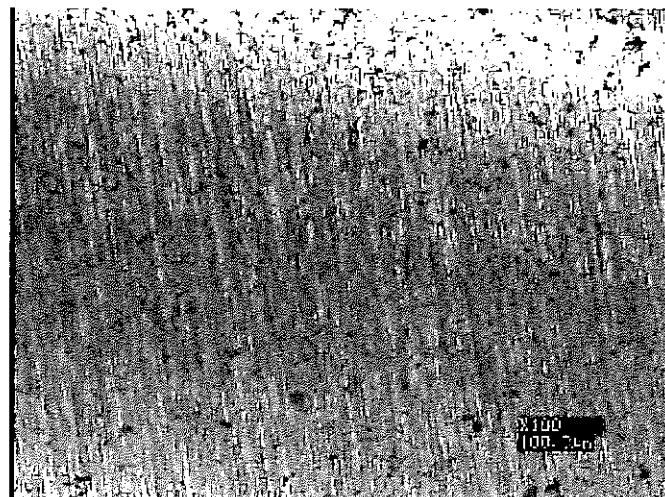


× 500

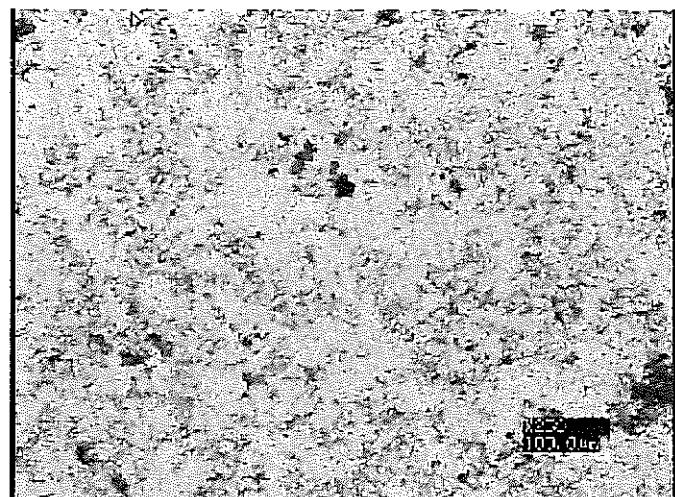


× 1000

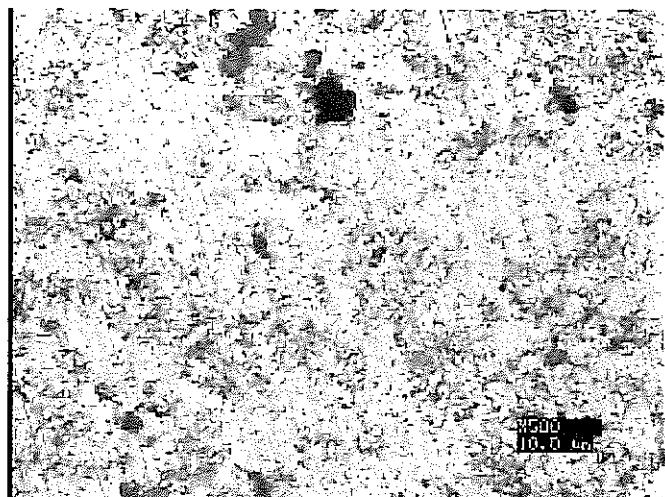
写真-26 廃液供給系配管(A系統)上流側(下部)



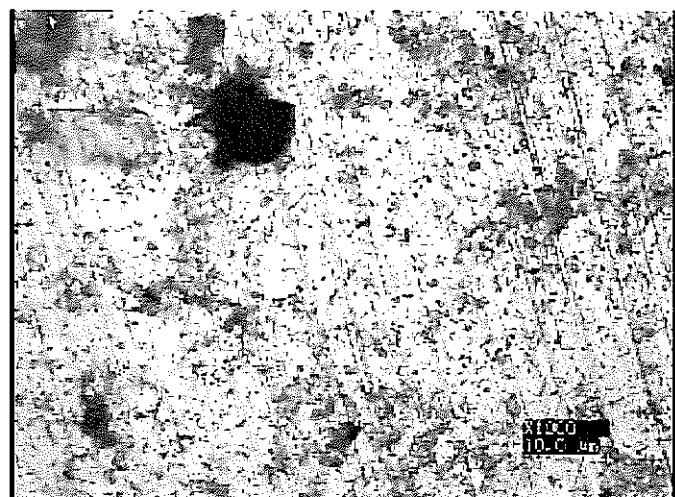
× 100



× 250

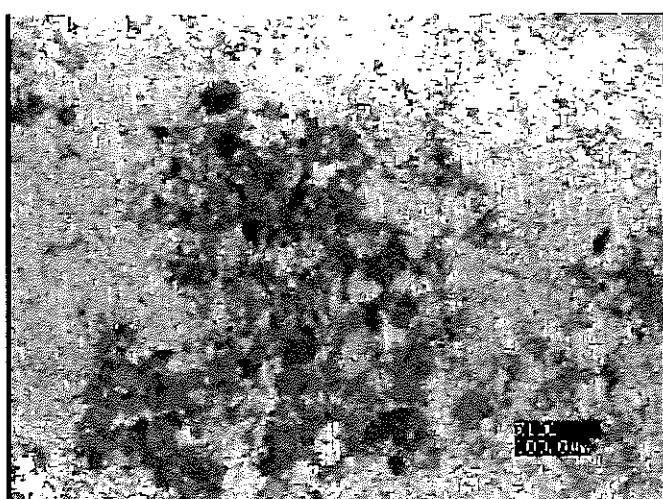


× 500

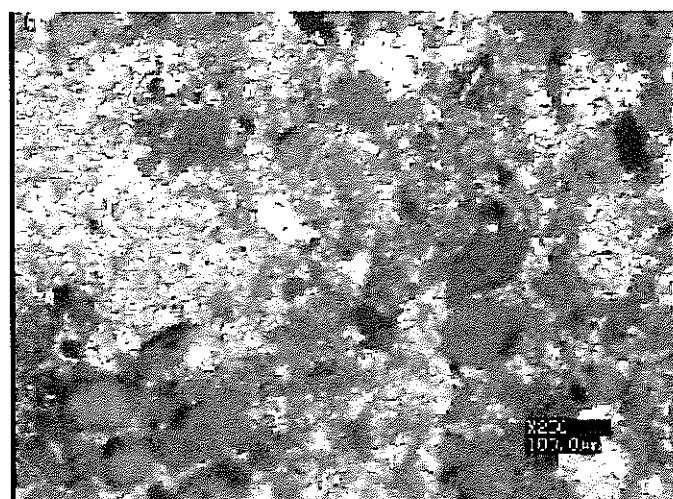


× 1000

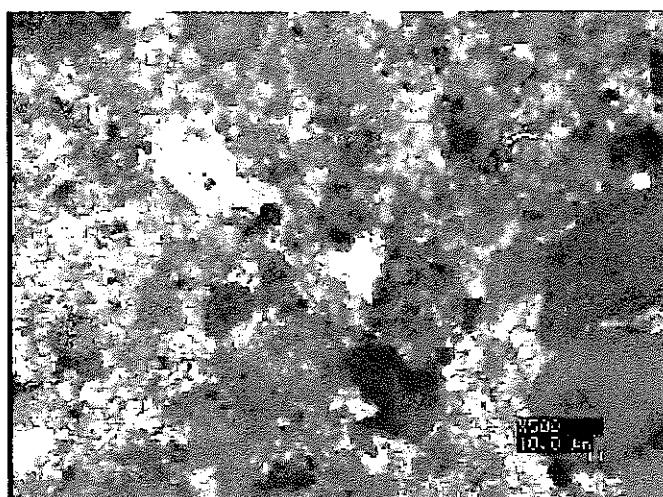
写真-27 廃液供給系配管(A系統)下流側(上部)



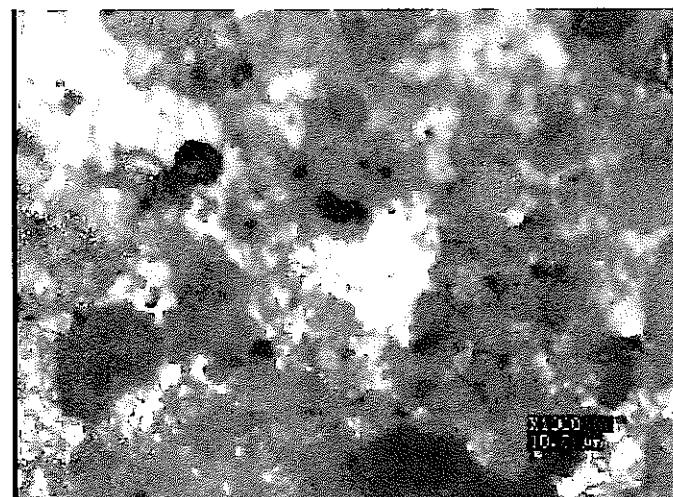
× 1 0 0



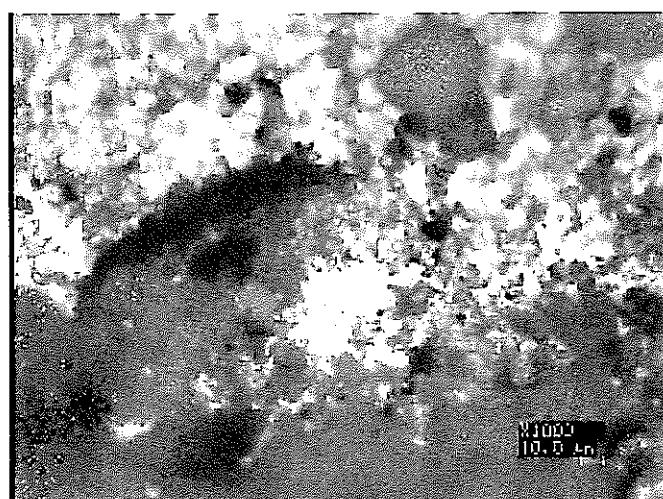
× 2 5 0



× 5 0 0

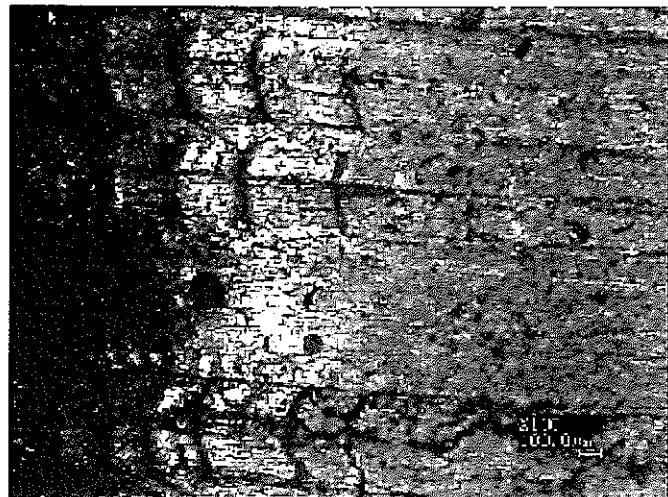


× 1 0 0 0

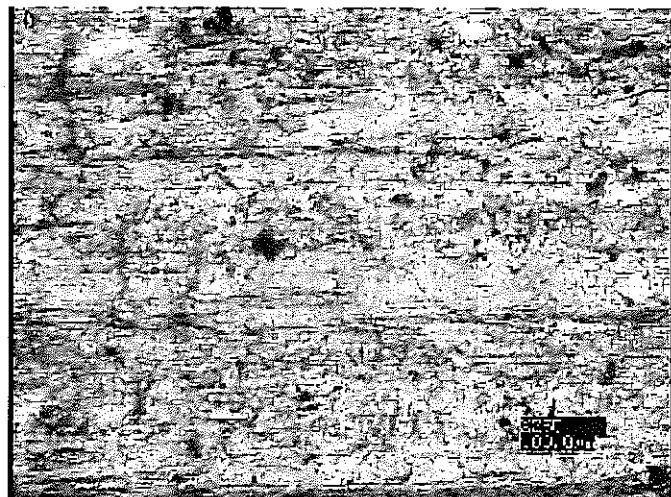


× 1 0 0 0

写真-28 廃液供給系配管(A系統)下流側(下部)



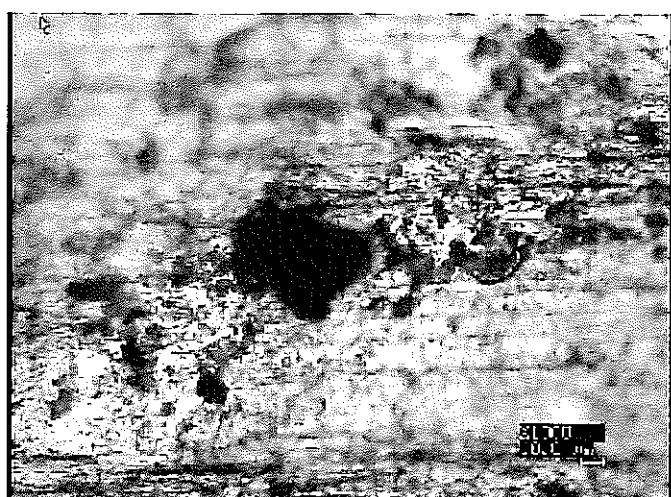
× 100



× 250

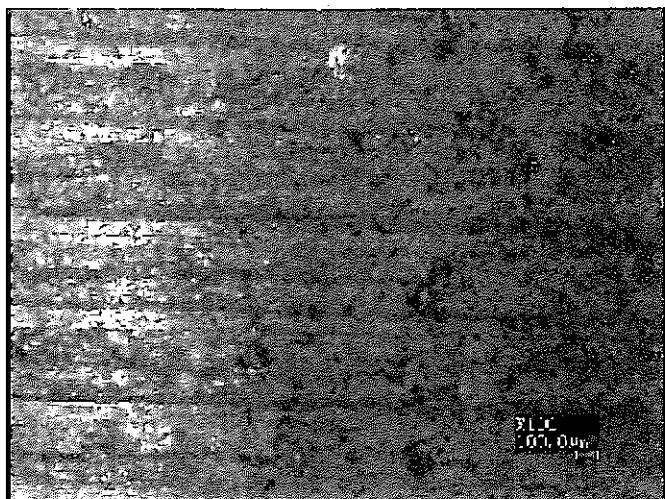


× 500

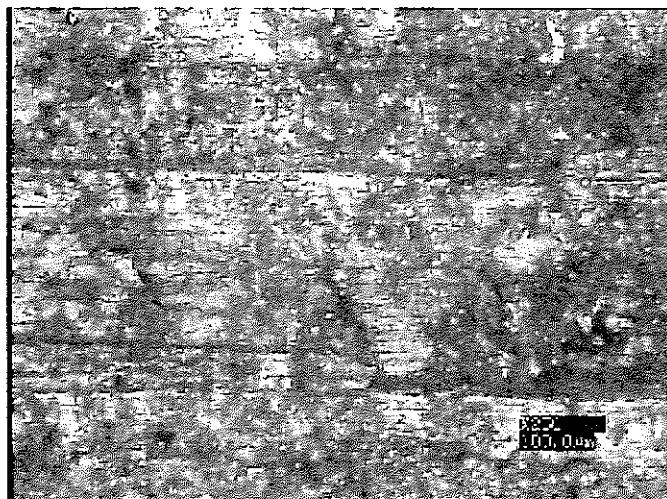


× 1000

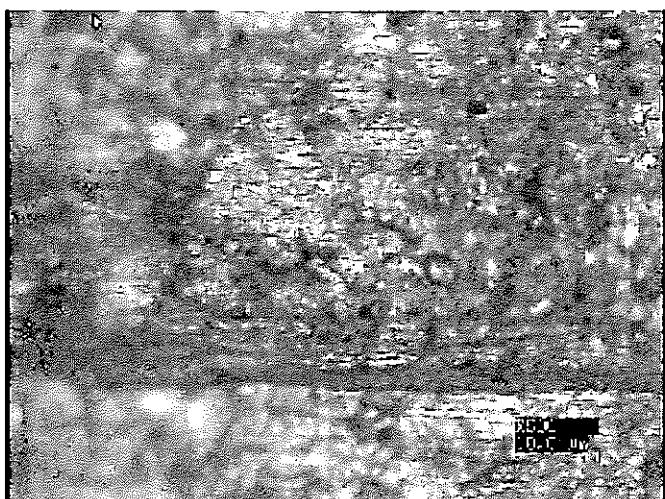
写真-29 廃液供給系配管(B系統)上流側(上部)



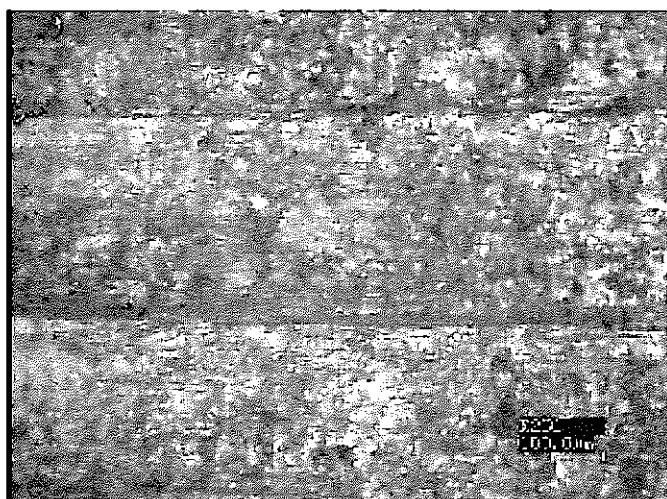
× 1 0 0



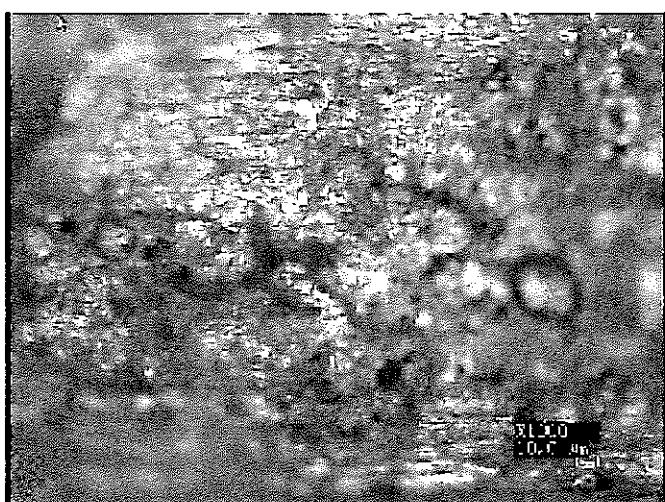
× 2 5 0



× 5 0 0

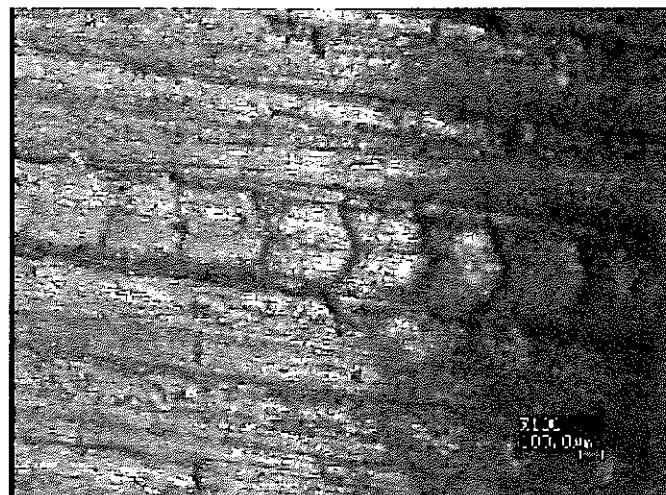


× 1 0 0 0

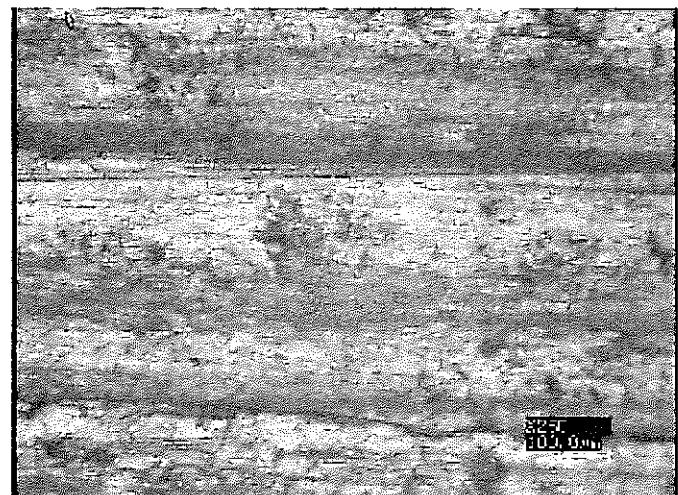


× 1 0 0 0

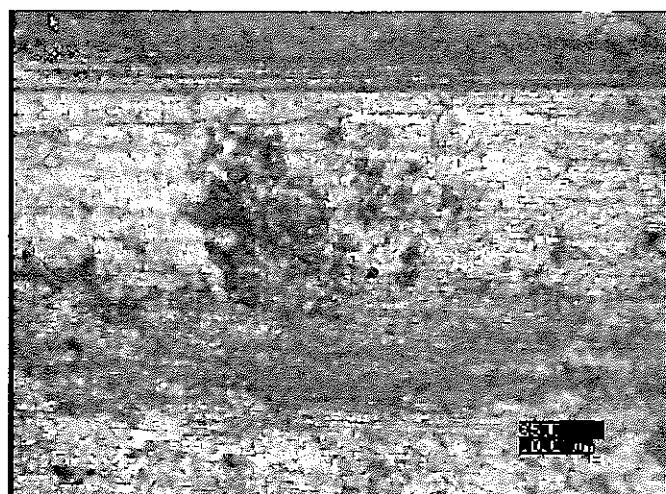
写真-30 廃液供給系配管(B系統)上流側(下部)



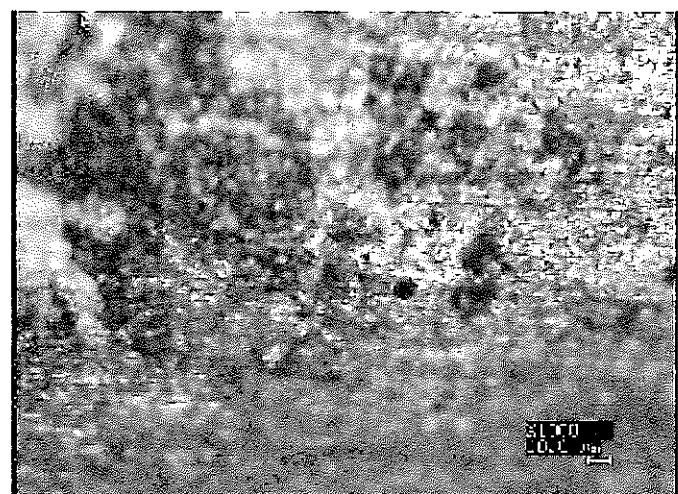
× 100



× 250

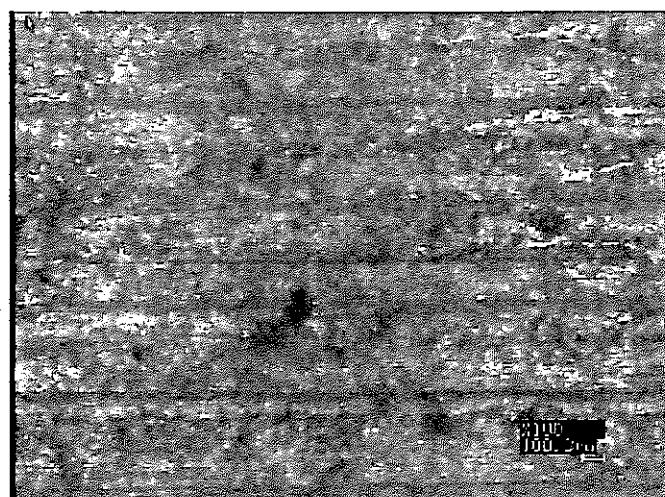


× 500

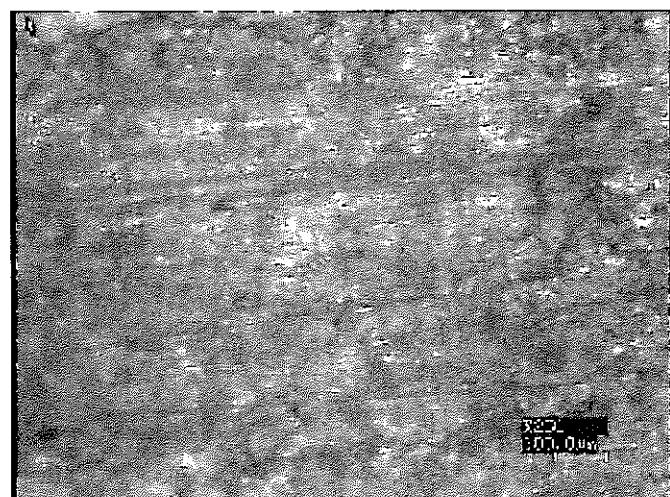


× 1000

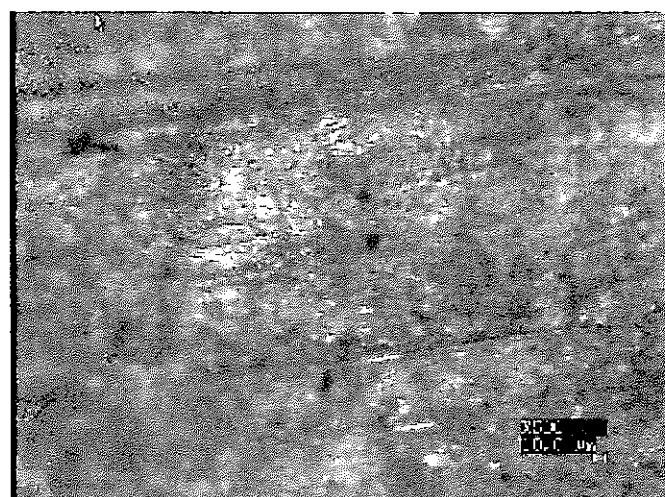
写真-31 廃液供給系配管(B系統)下流側(上部)



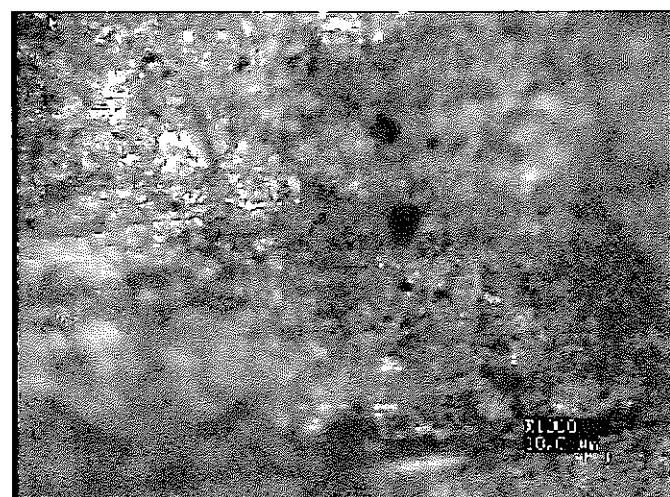
× 1 0 0



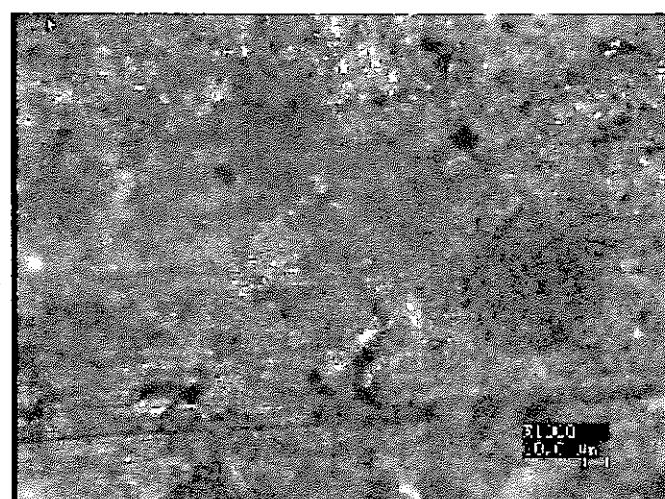
× 2 5 0



× 5 0 0

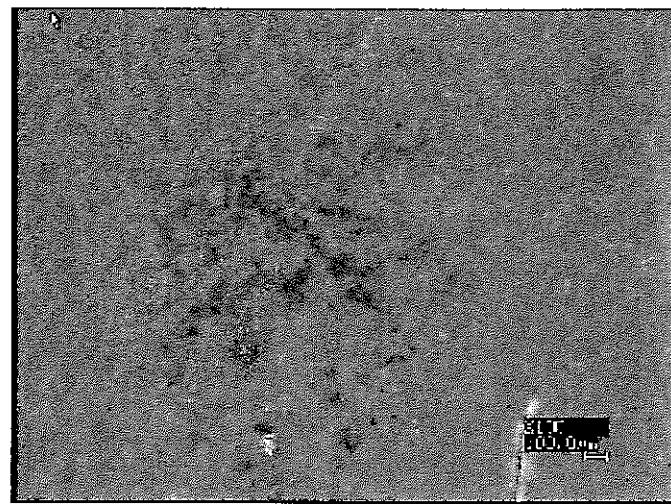


× 1 0 0 0

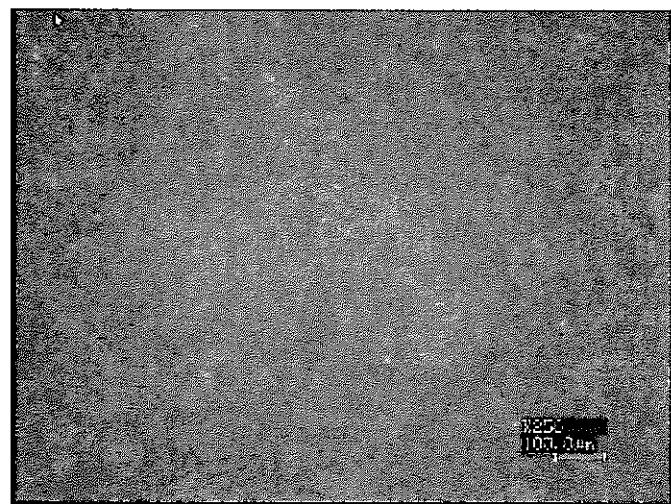


× 1 0 0 0

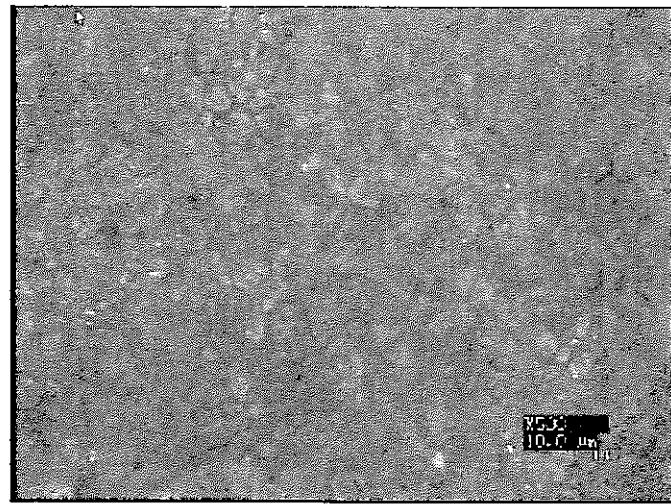
写真-32 廃液供給系配管(B系統)下流側(下部)



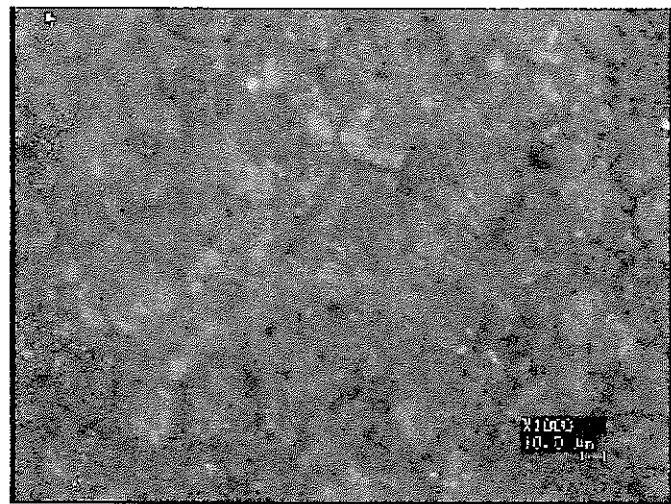
× 100



× 250

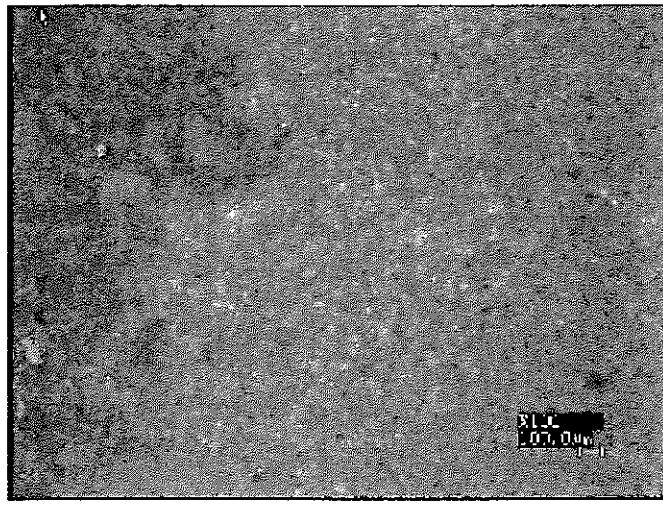


× 500

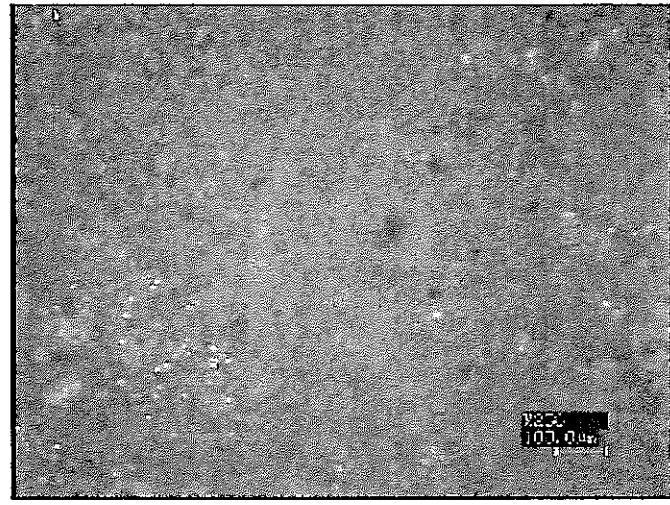


× 1000

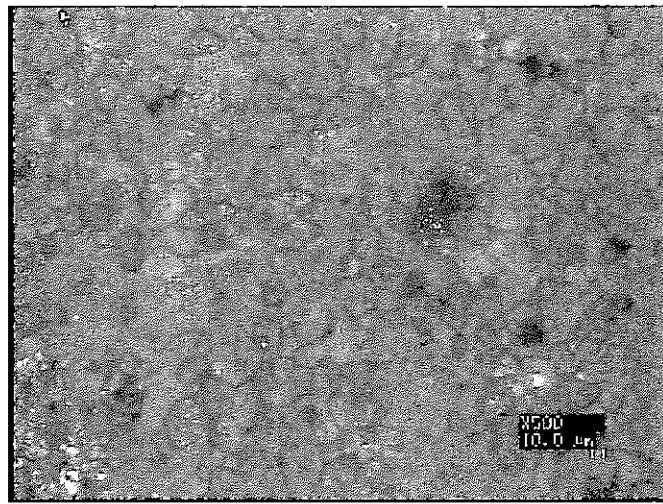
写真-33 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管水平部(上部)



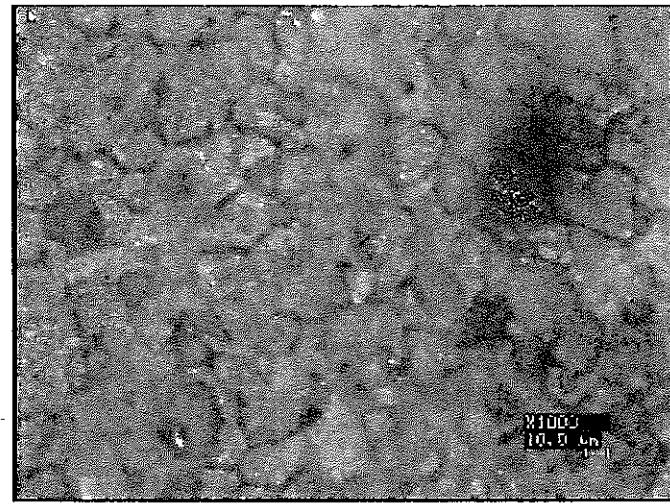
× 1 0 0



× 2 5 0

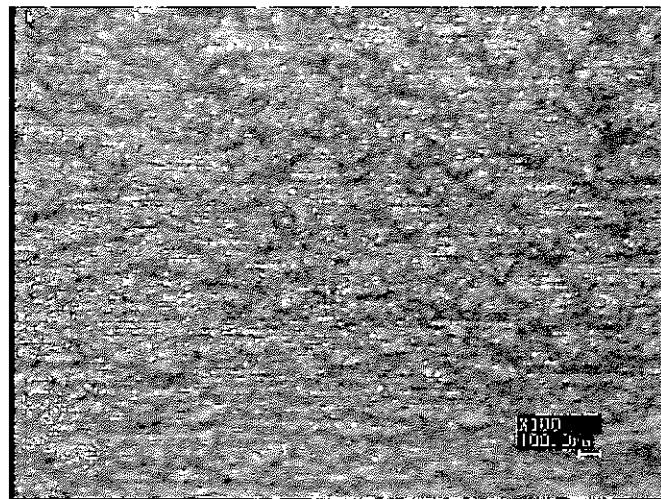


× 5 0 0

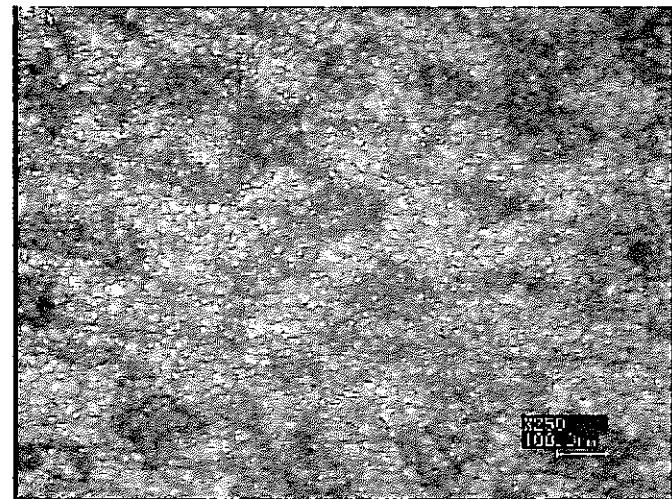


× 1 0 0 0

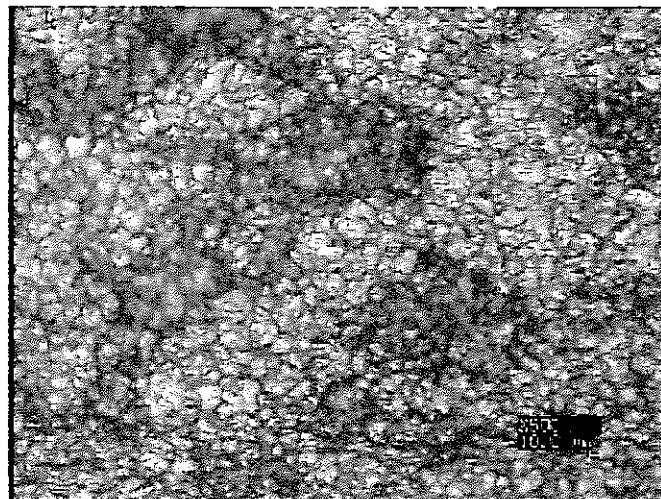
写真-34 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管水平部(下部)



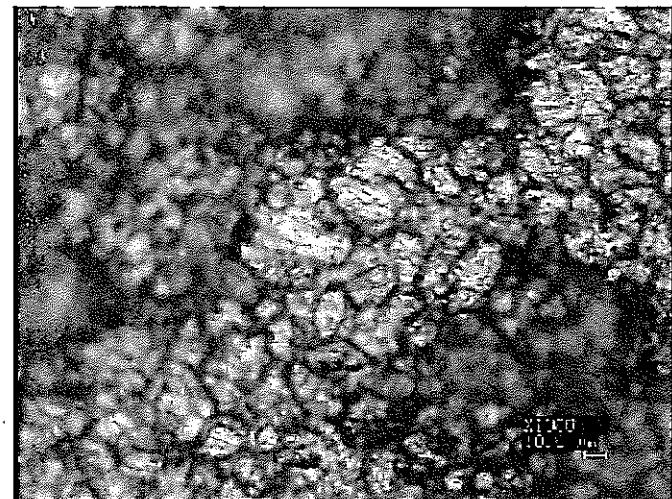
$\times 100$



$\times 250$

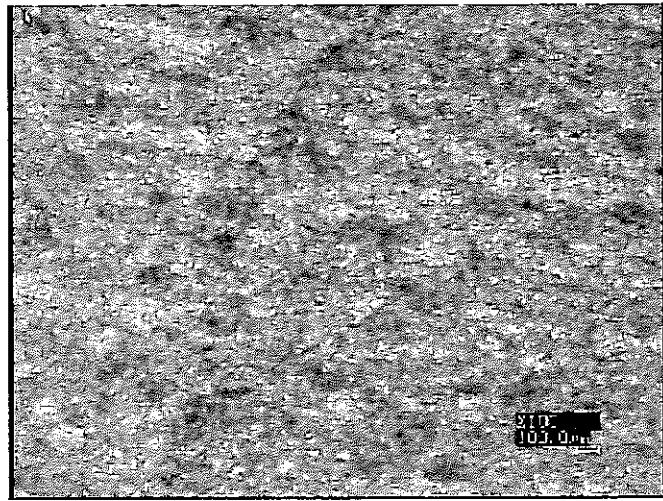


$\times 500$

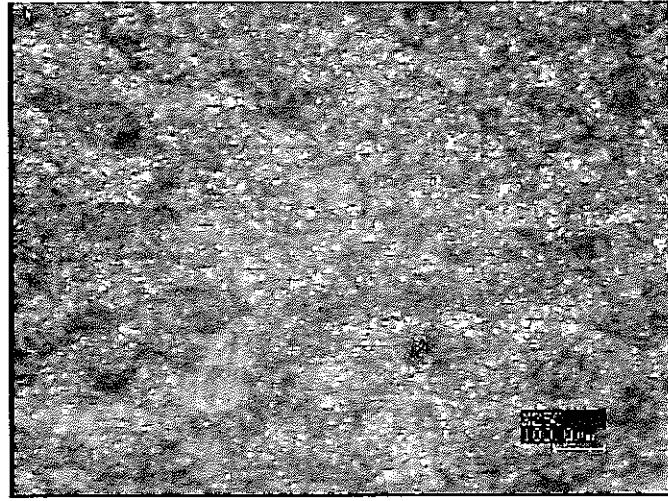


$\times 1000$

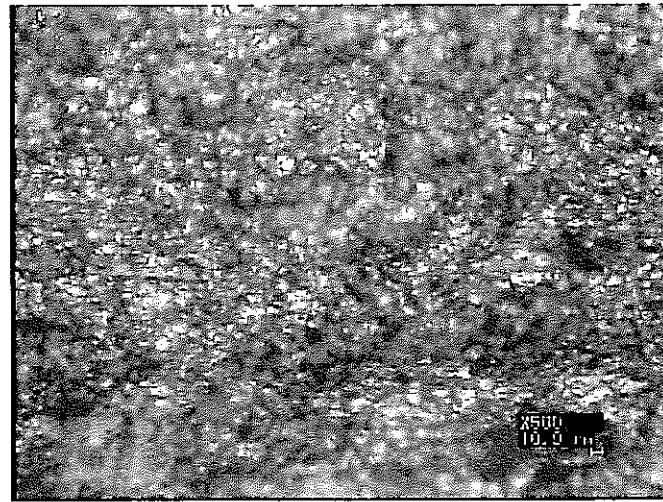
写真-35 濃縮廃液系サンプリング配管水平部ライン側(上部)



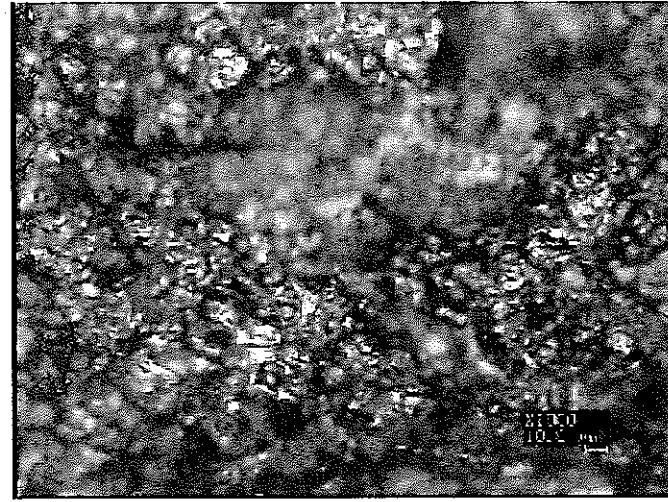
× 100



× 250

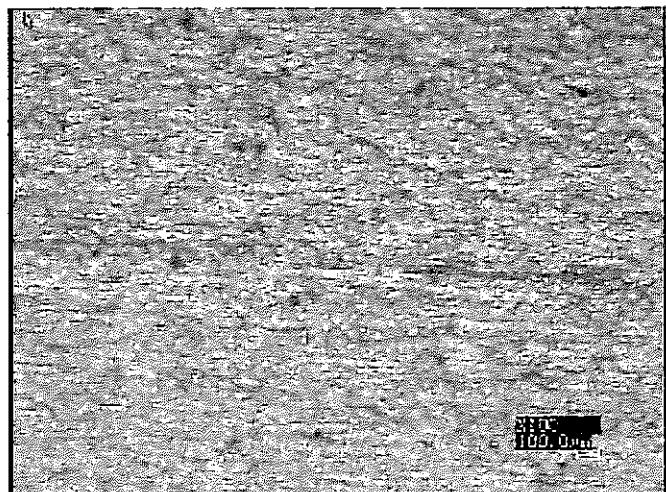


× 500

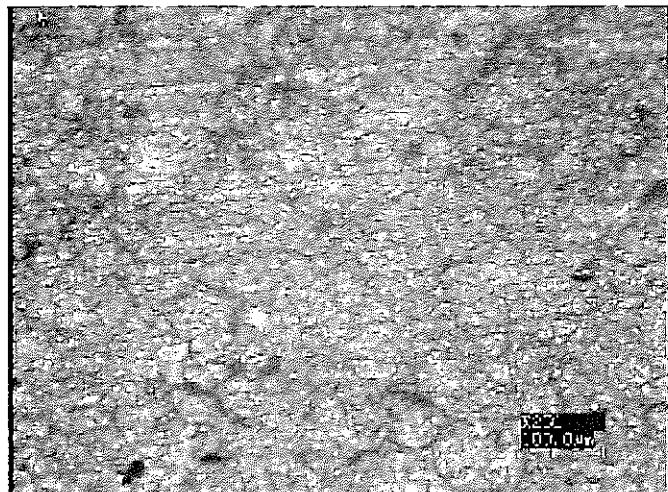


× 1000

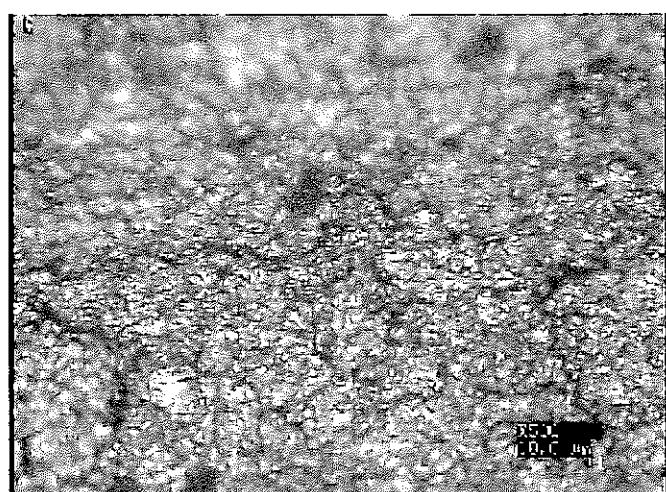
写真-36 濃縮廃液系サンプリング配管水平部ライン側(下部)



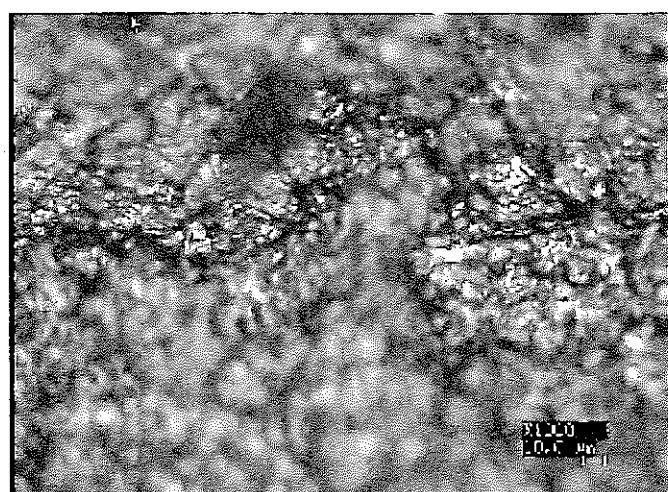
× 1 0 0



× 2 5 0

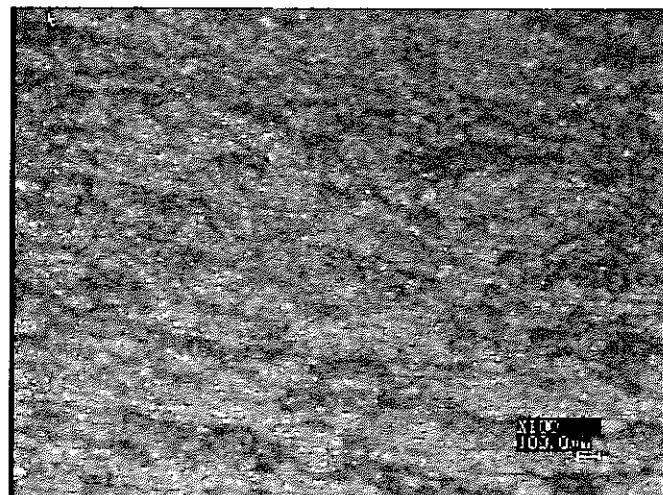


× 5 0 0

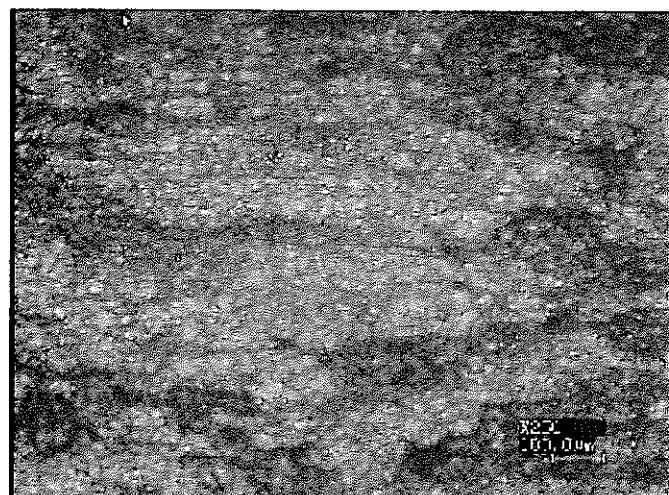


× 1 0 0 0

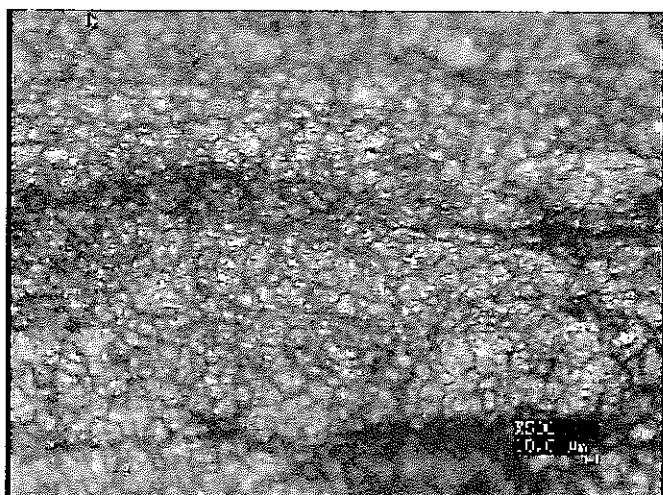
写真-37 濃縮廃液系サンプリング配管フランジ側



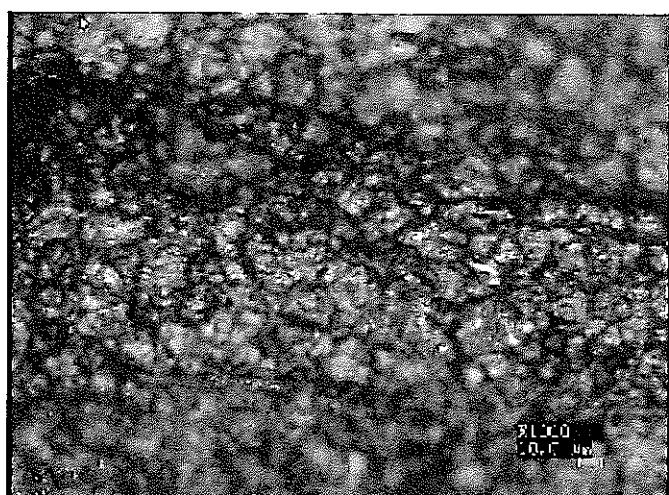
× 100



× 250

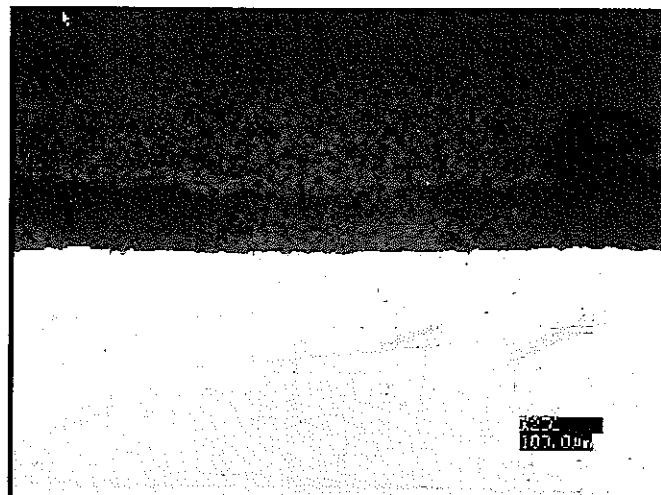


× 500

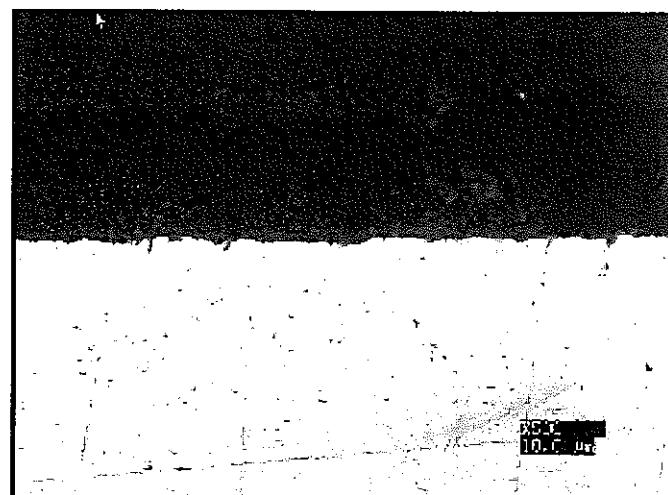


× 1000

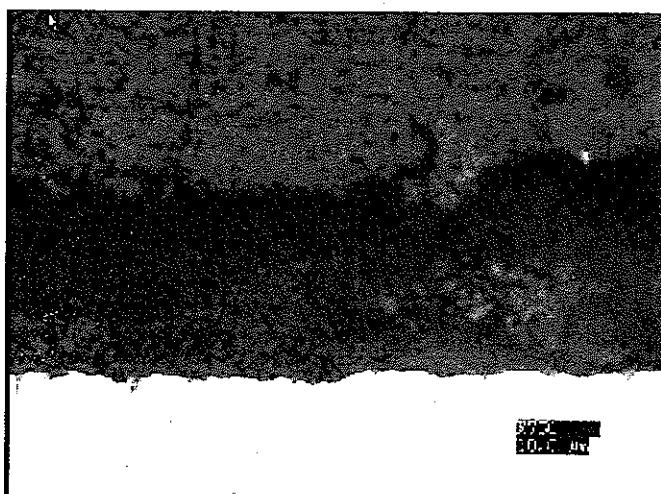
写真-38 濃縮廃液系サンプリング配管バルブ側



× 250



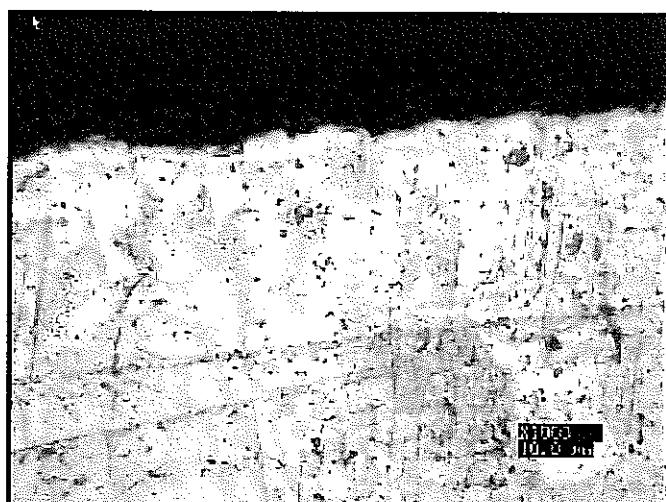
× 500



× 750

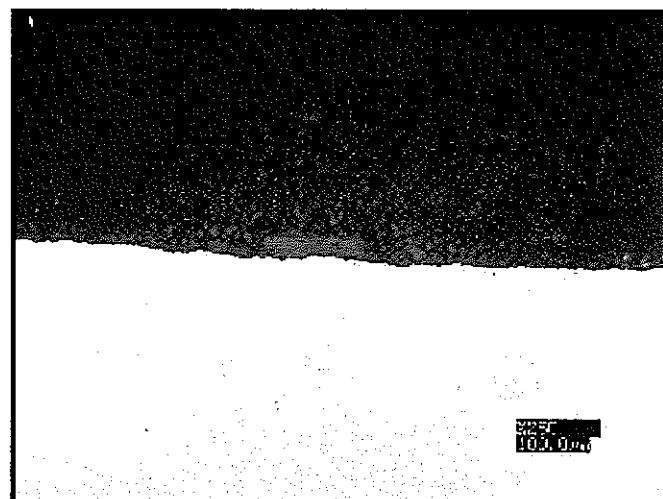


× 1000

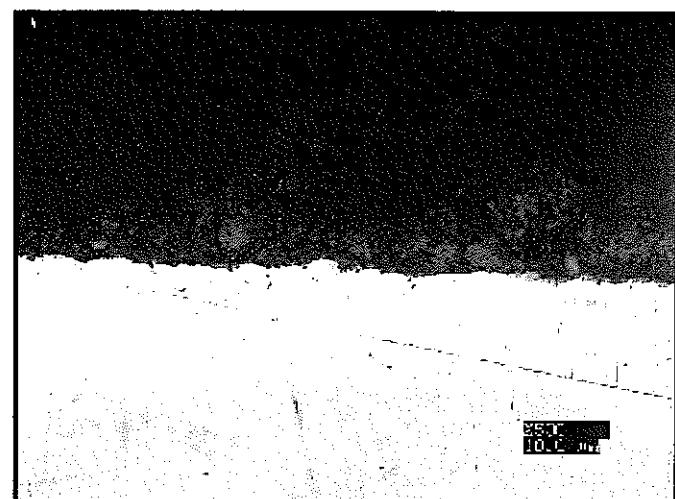


× 1000 (エッティング後)

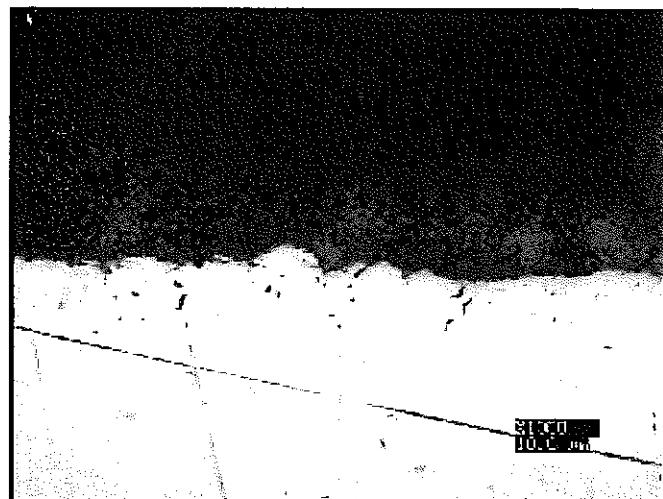
写真-39 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管(上部)断面



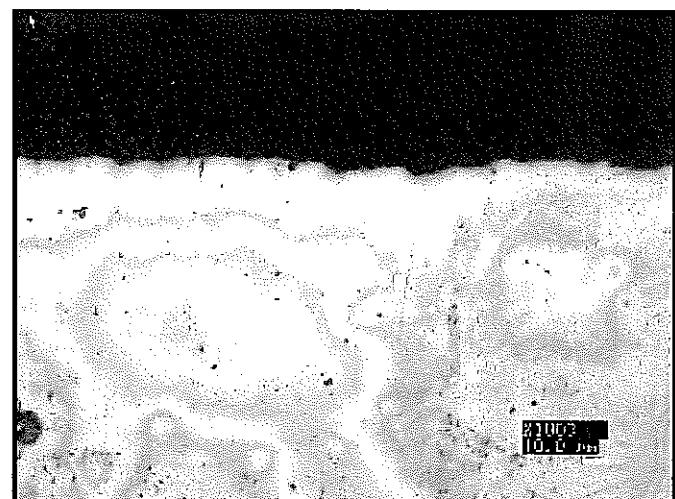
× 250



× 500

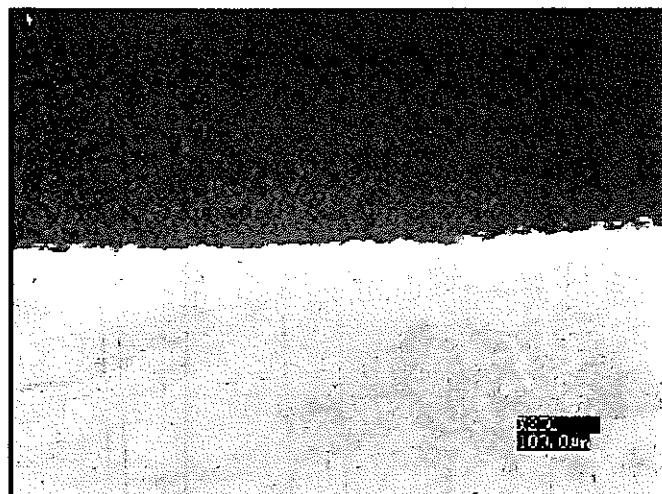


× 1000

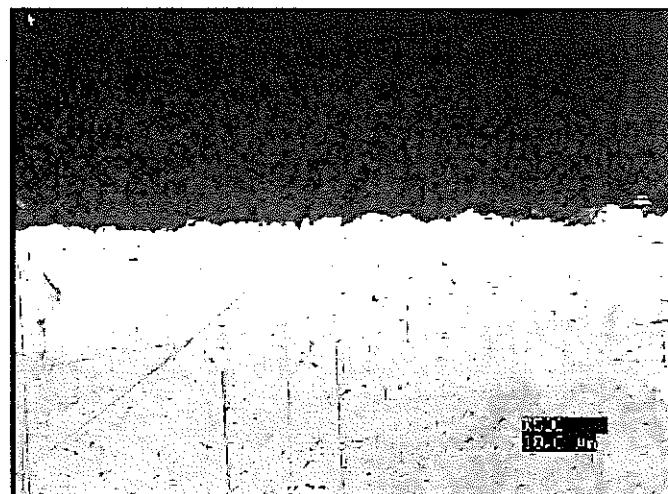


× 1000 (エッティング後)

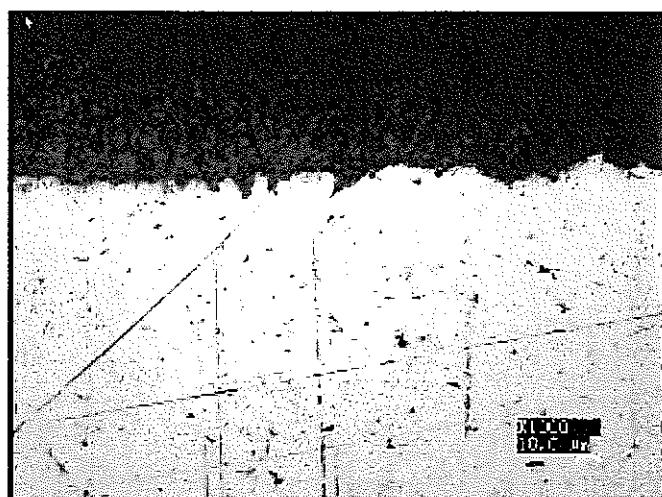
写真-40 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管(側部)断面



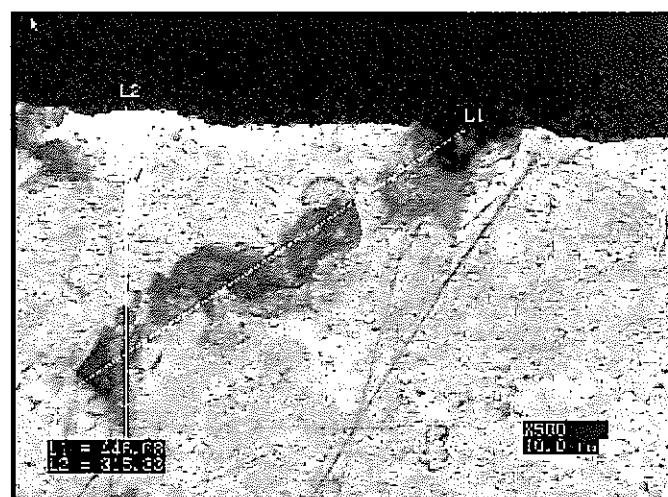
$\times 250$



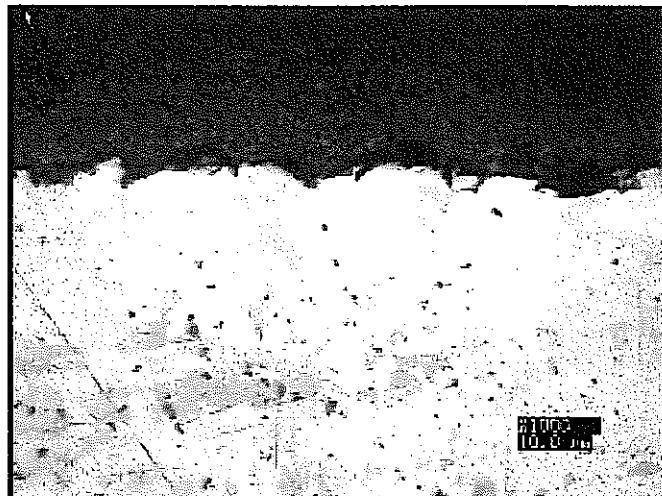
$\times 500$



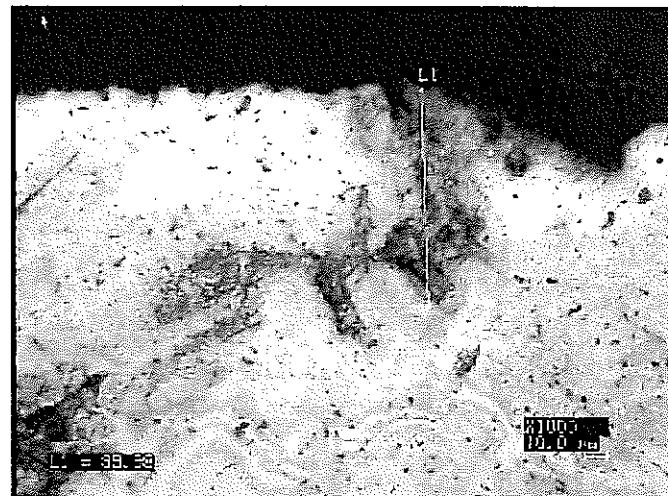
$\times 1000$



$\times 500$ (エッティング後)

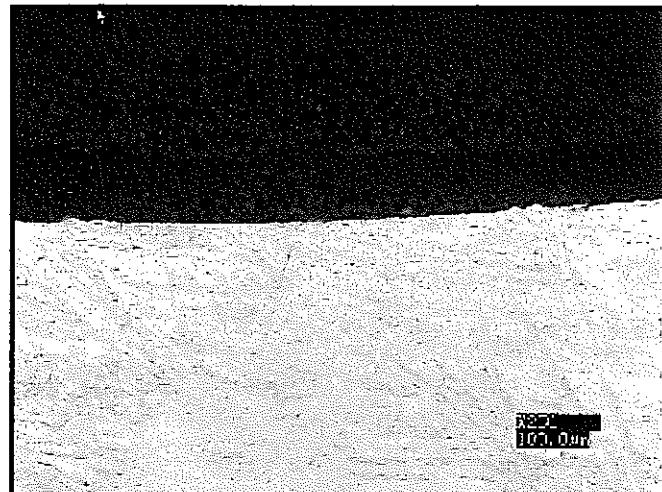


$\times 1000$ (エッティング後)

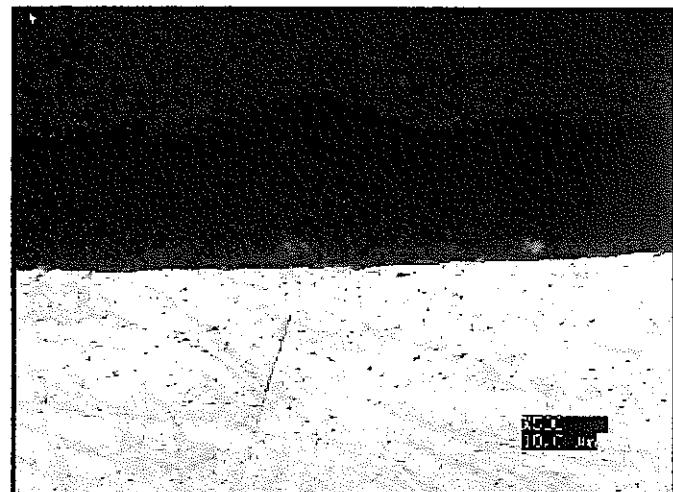


$\times 1000$ (エッティング後)

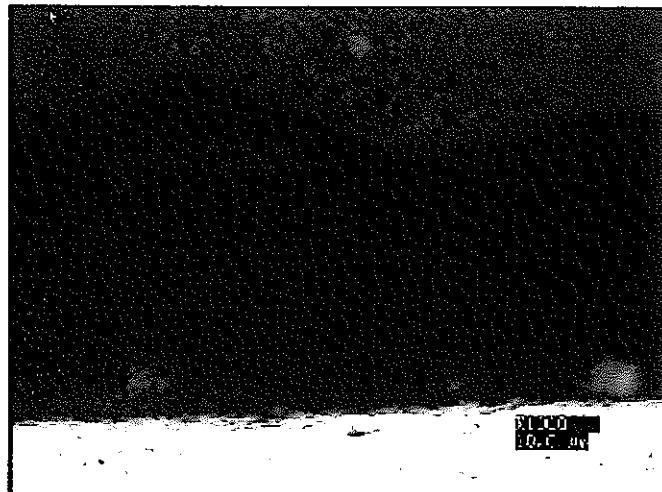
写真-41 高レベルタンク供給側廃液サンプリング系配管(下部)断面



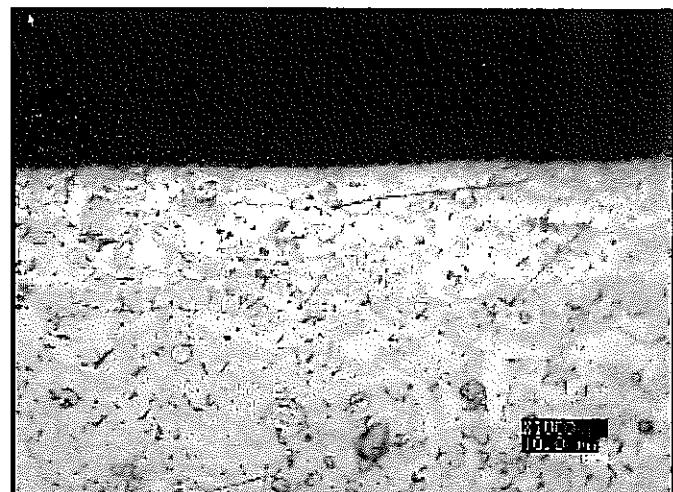
× 250



× 500

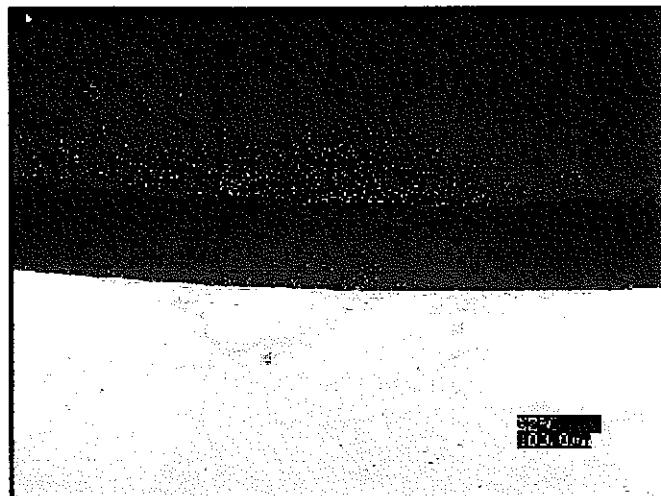


× 1000

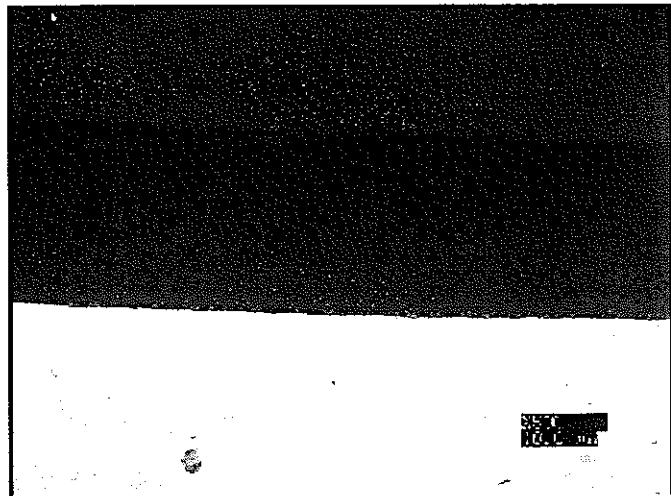


× 1000 (エッチング後)

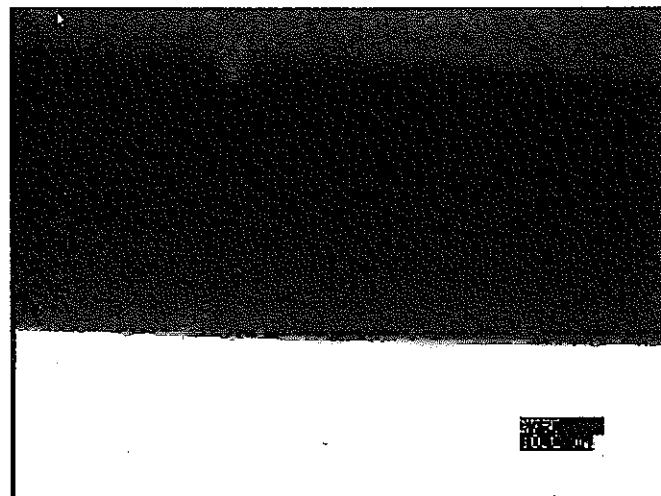
写真-42 廃液供給系配管(A系統)(上部)断面



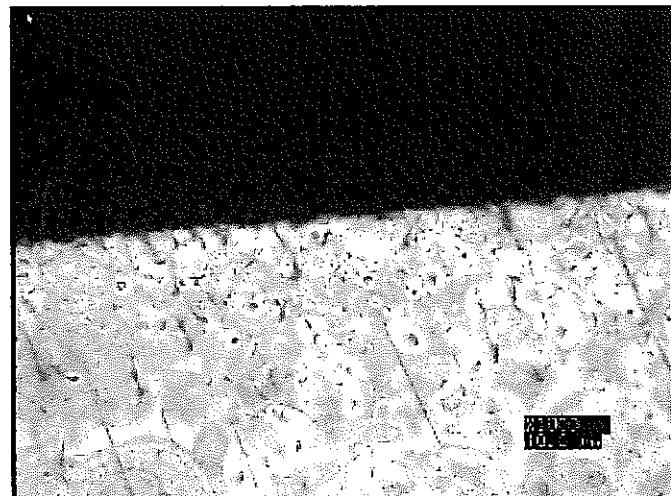
× 250



× 500

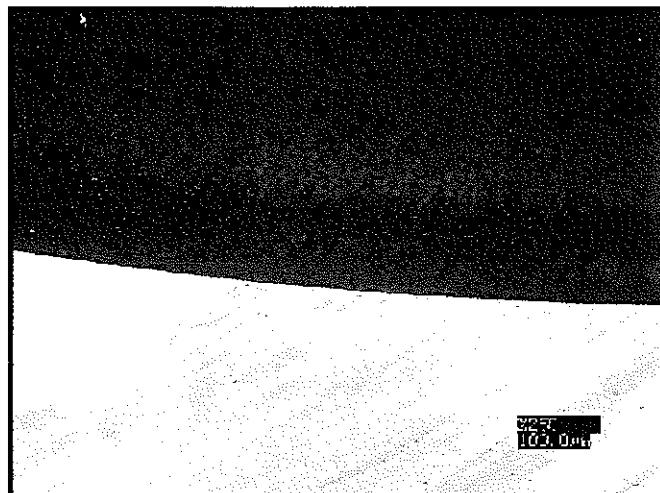


× 750

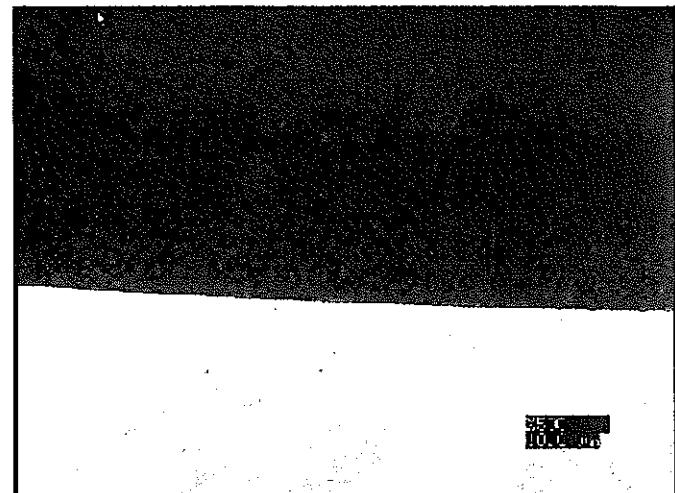


× 1000 (エッティング後)

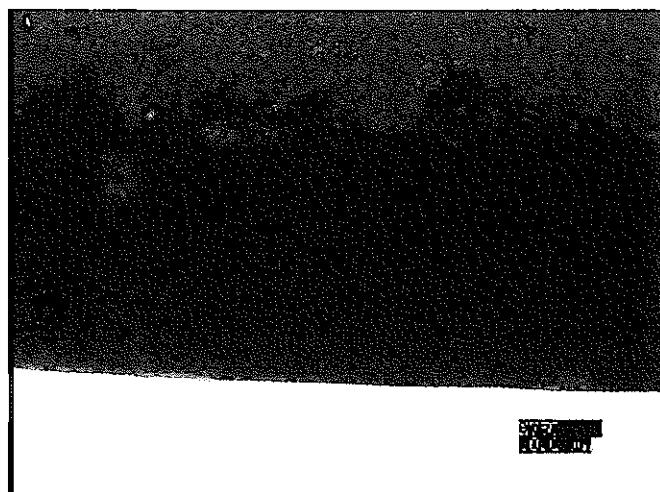
写真-43 廃液供給系配管(A系統)(側部)断面



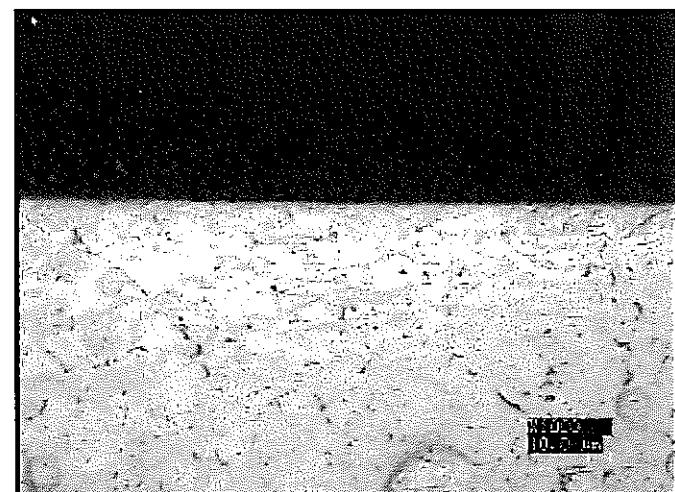
× 250



× 500

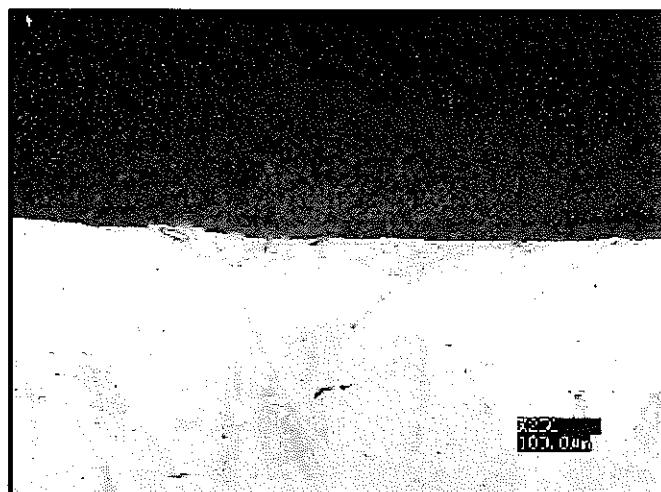


× 750

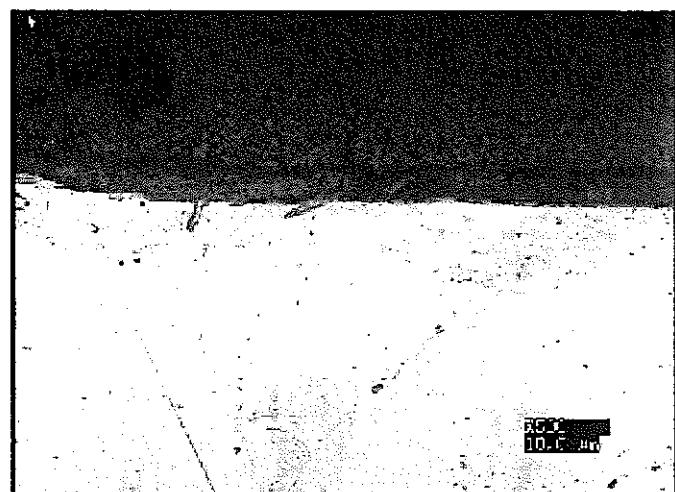


× 1000 (エッチング後)

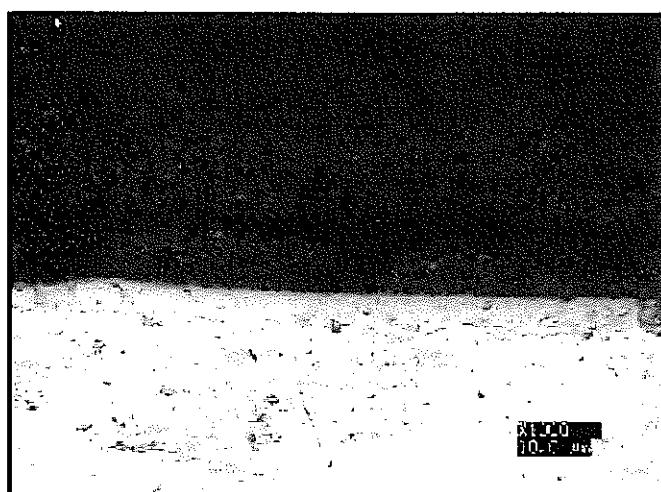
写真-44 廃液供給系配管(A系統)(下部)断面



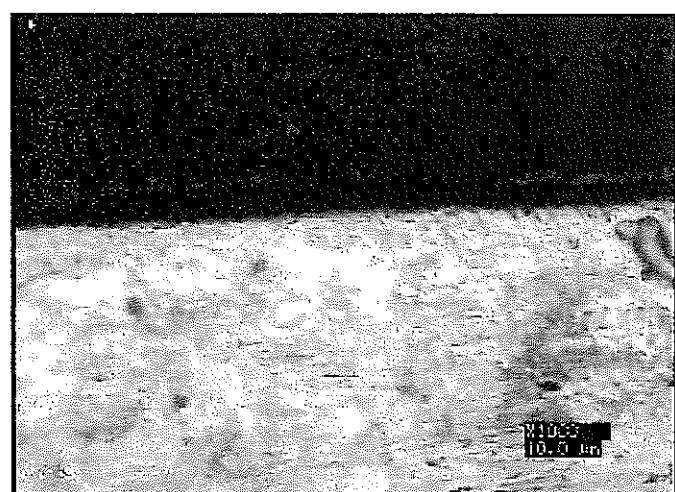
× 250



× 500

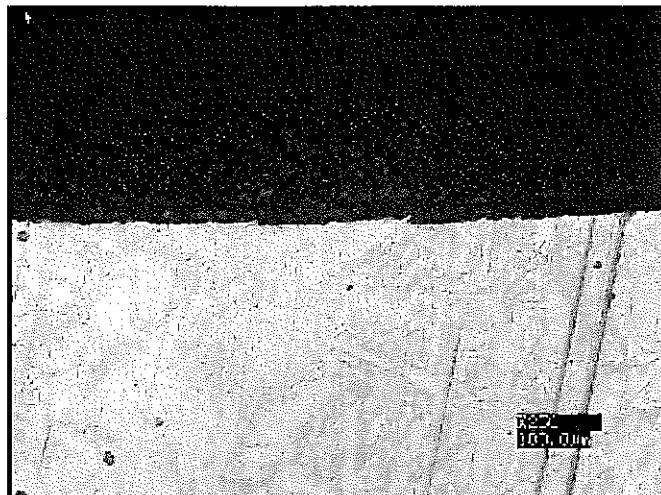


× 1000

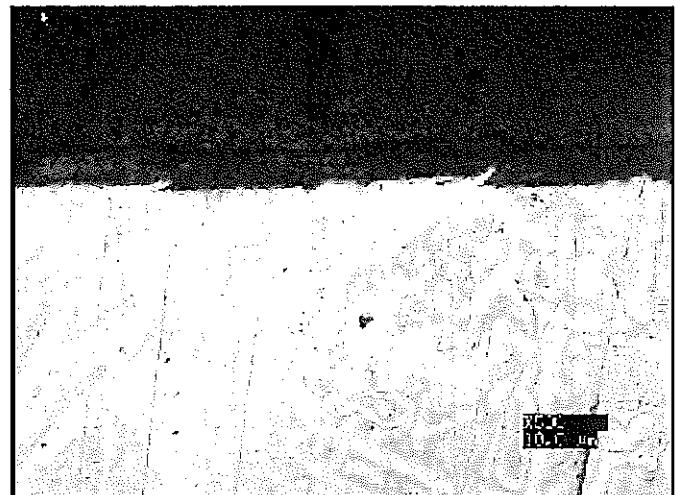


× 1000 (エッチング後)

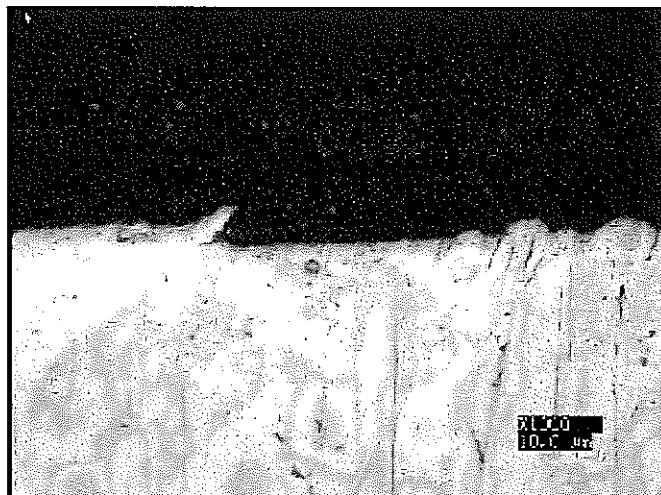
写真-45 廃液供給系配管(B系統)(上部)断面



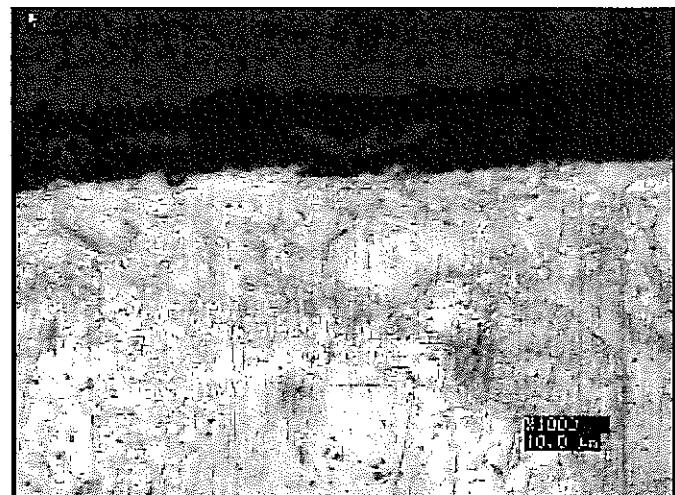
× 250



× 500

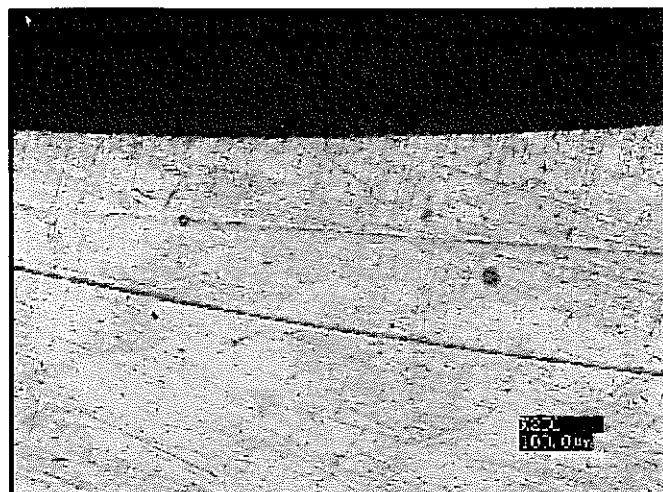


× 1000

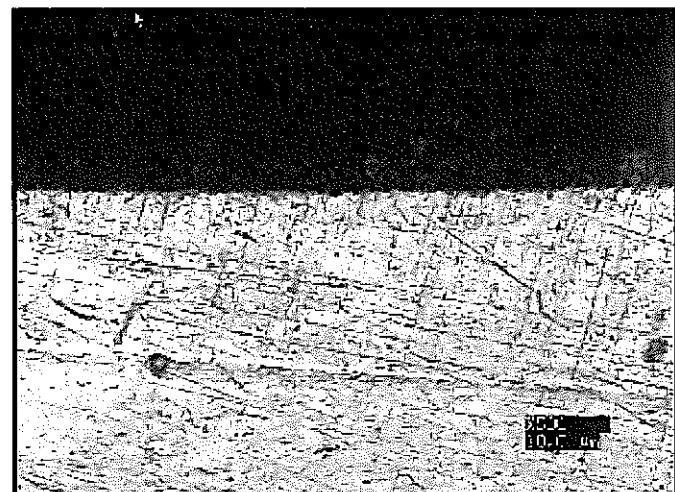


× 1000 (エッティング後)

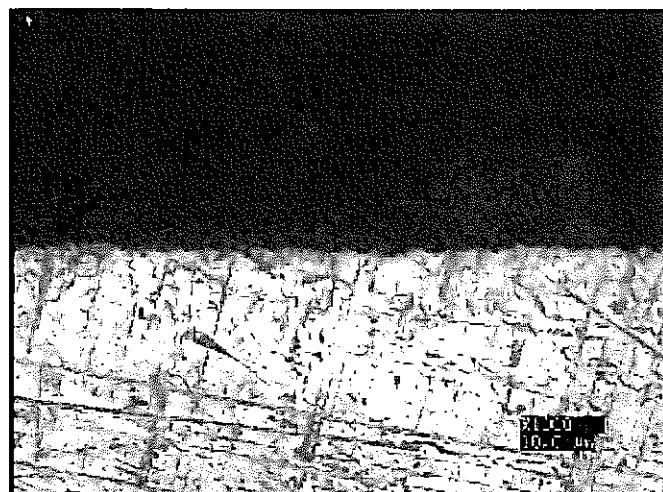
写真-46 廃液供給系配管(B系統)(側部)断面



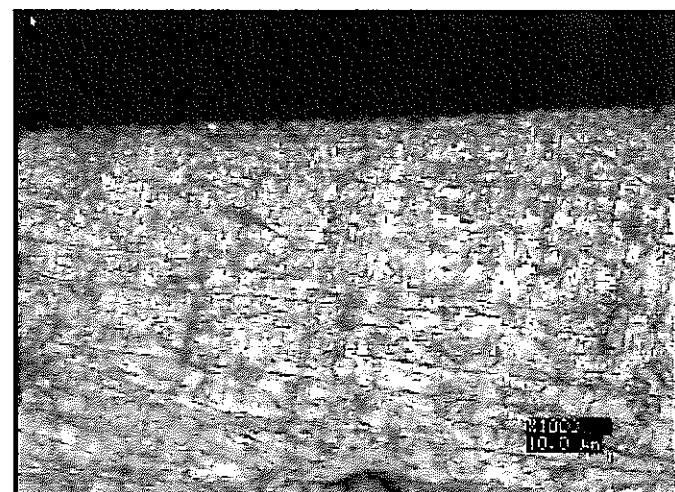
× 250



× 500

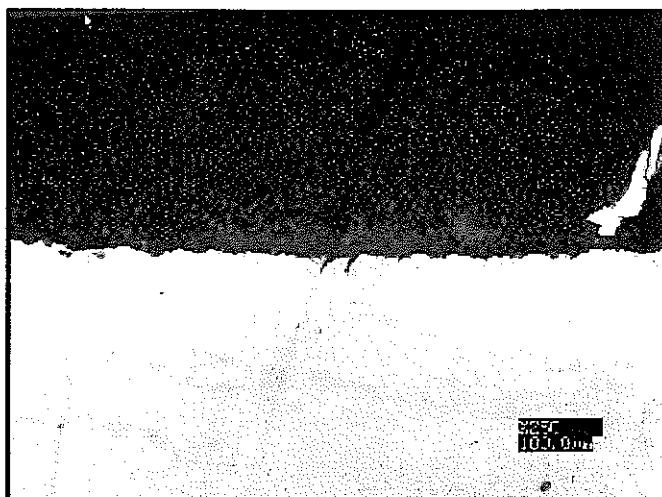


× 1000

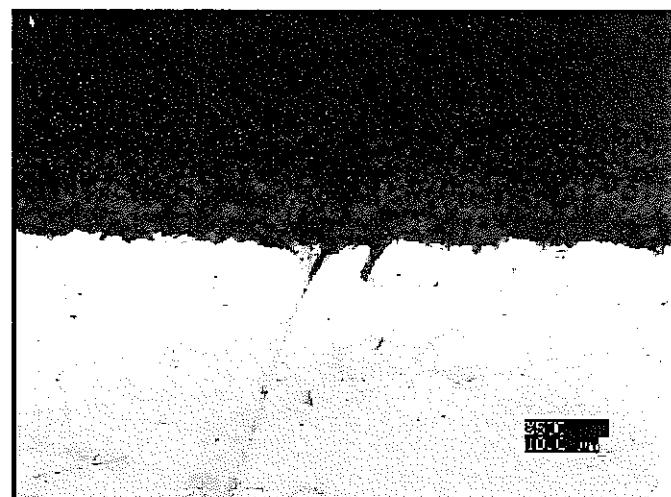


× 1000 (エッティング後)

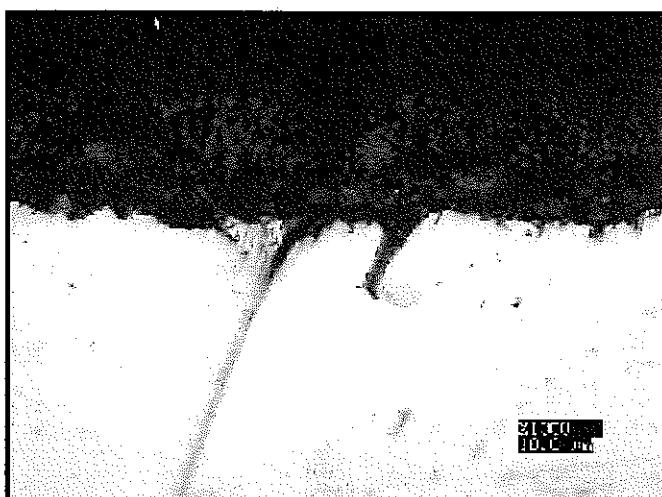
写真-47 廃液供給系配管(B系統)(下部)断面



× 250



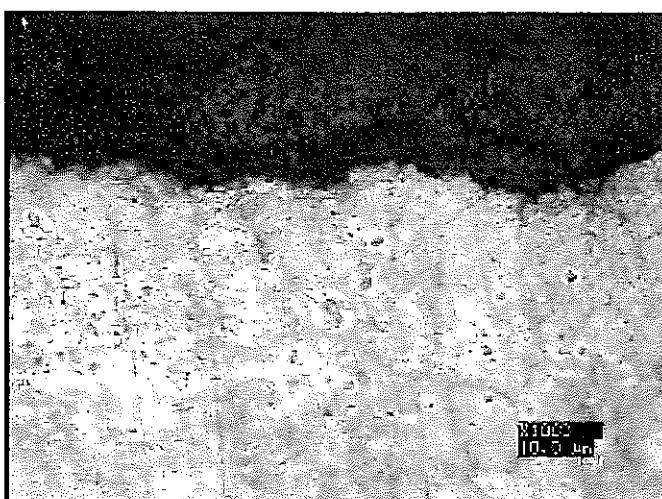
× 500



× 1000

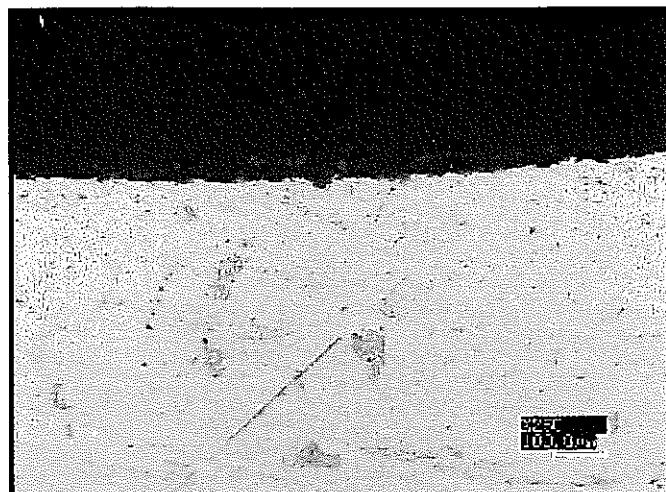


× 1000

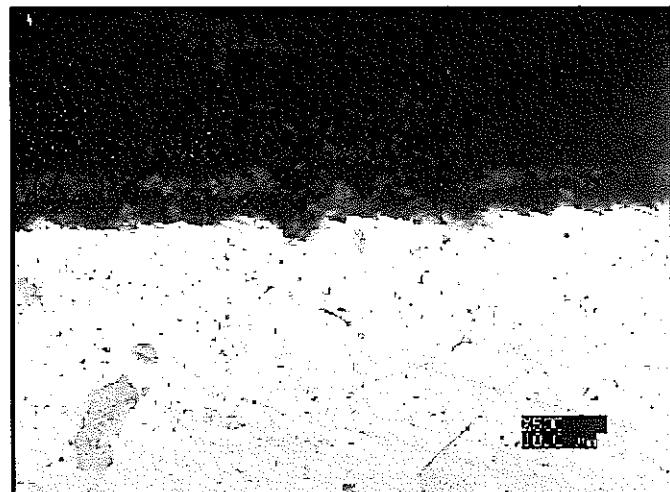


× 1000 (エッチング後)

写真-48 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管(上部)断面



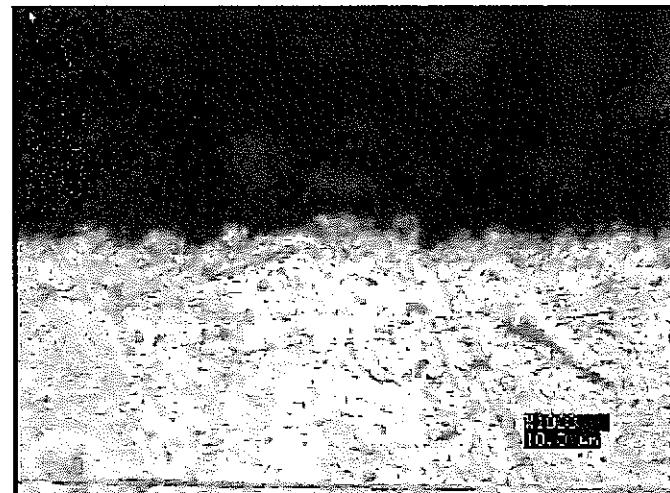
× 250



× 500

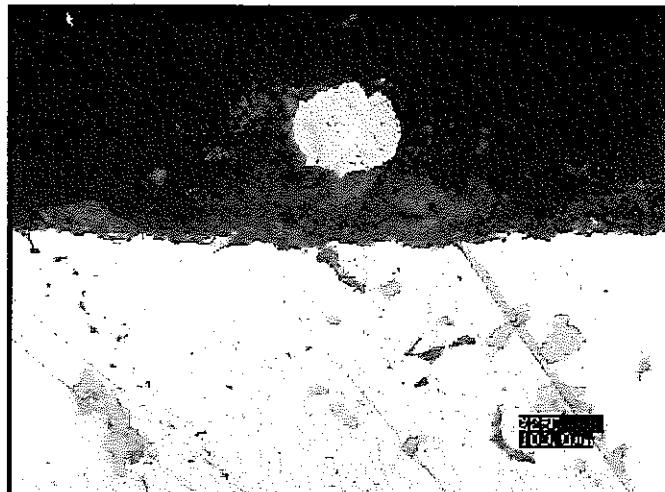


× 1000

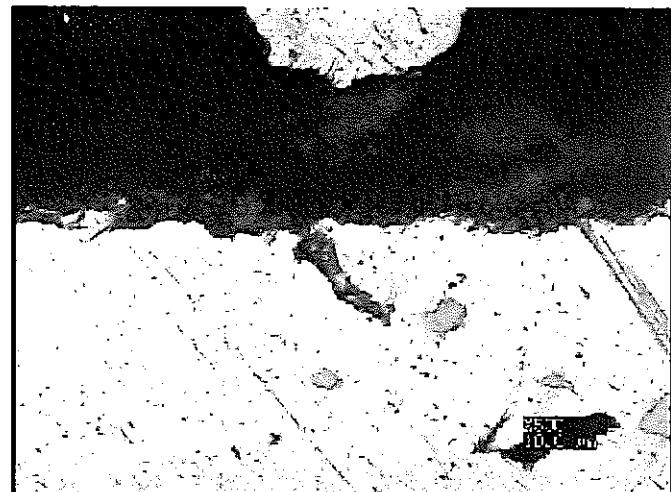


× 1000 (エッティング後)

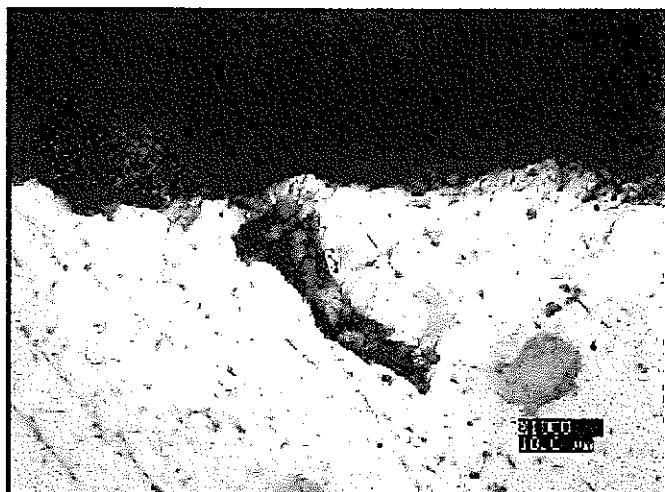
写真-49 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管(側部)断面



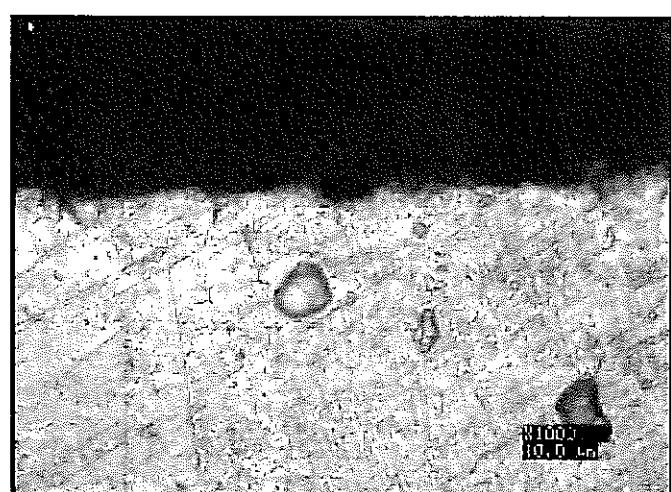
× 250



× 500

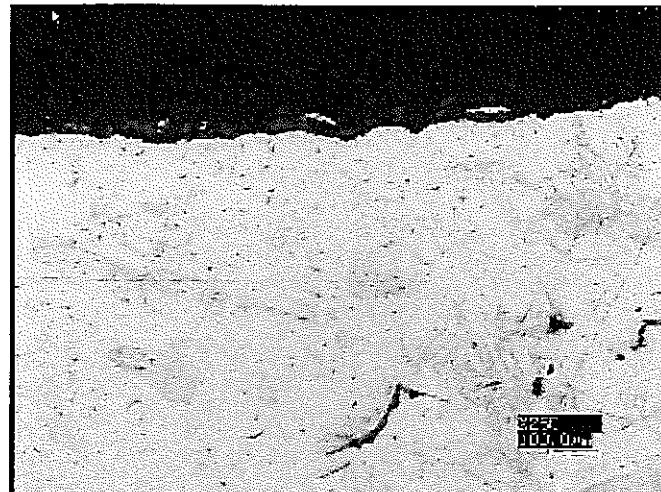


× 1000

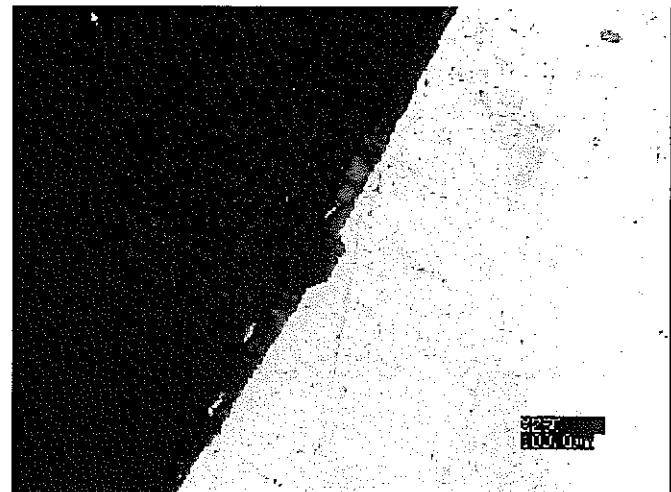


× 1000 (エッチング後)

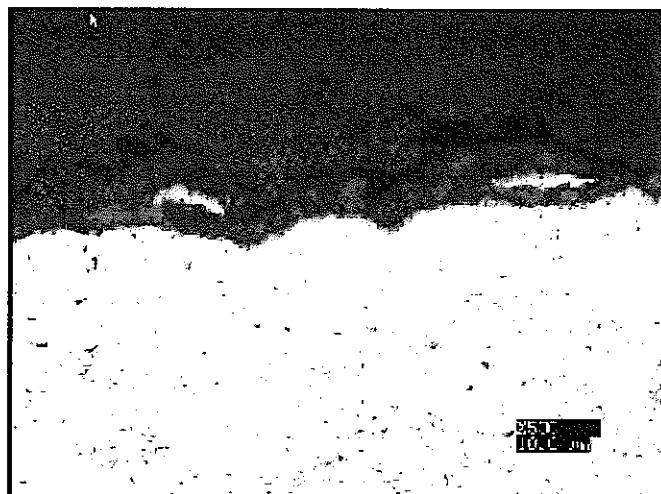
写真-50 廃液供給系配管(B系統)流量計測用配管(下部)断面



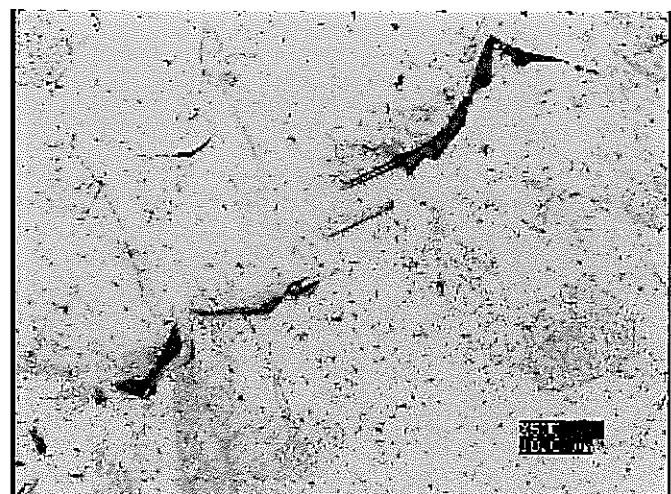
× 250



× 250

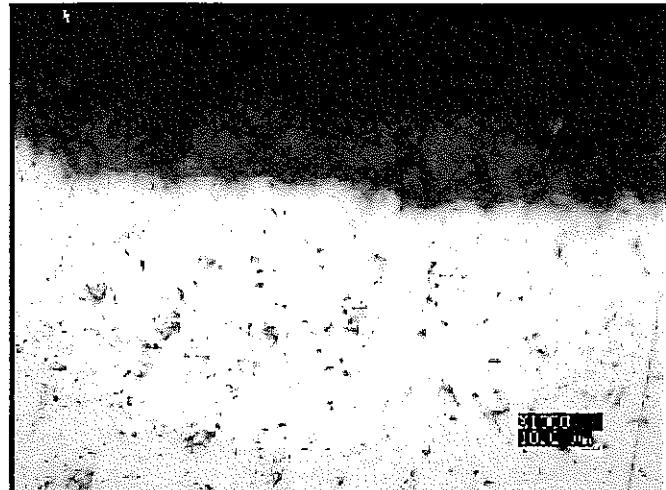


× 500

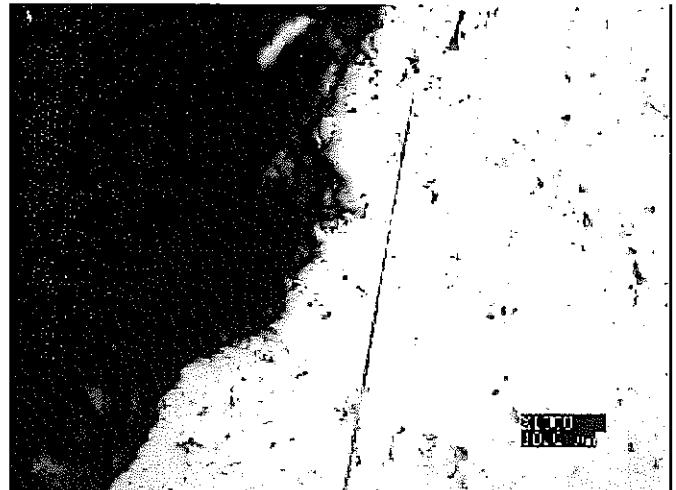


× 500

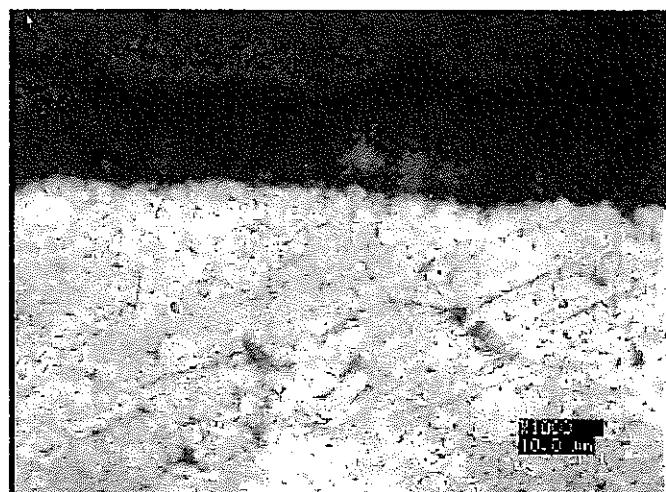
写真-51-1 濃縮廃液系サンプリング配管(上部)断面



× 1 0 0 0

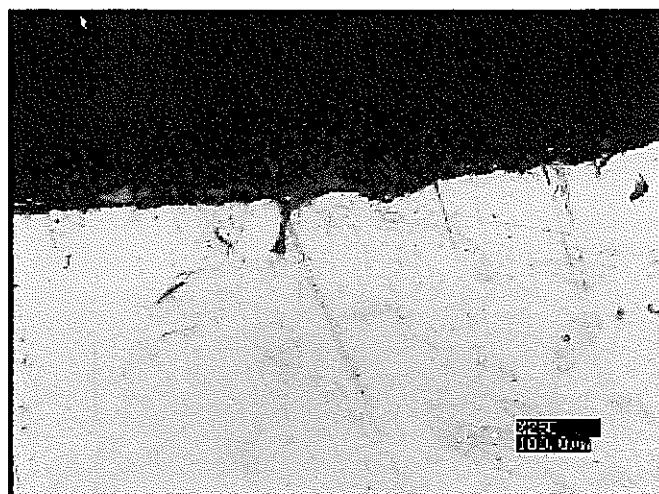


× 1 0 0 0

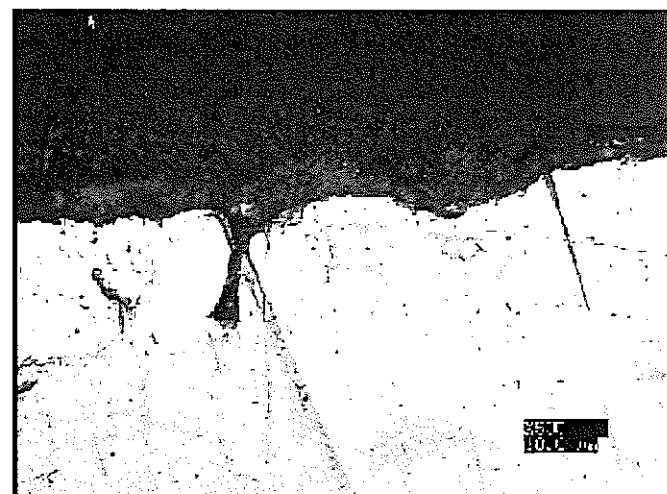


× 1 0 0 0 (エッチング後)

写真-51-2 濃縮廃液系サンプリング配管(上部)断面



× 250



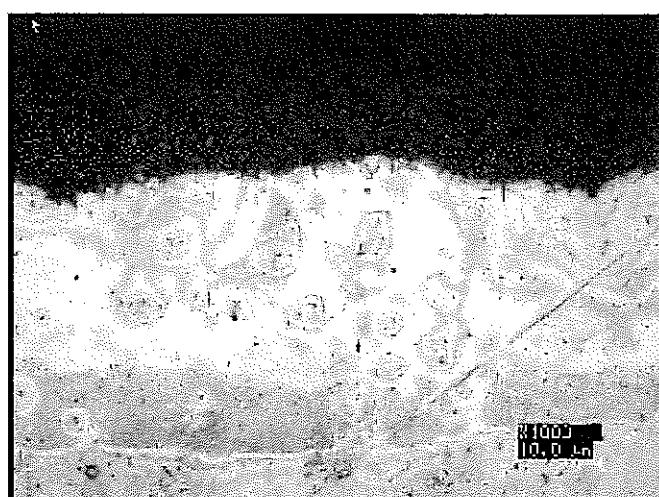
× 500



× 1000

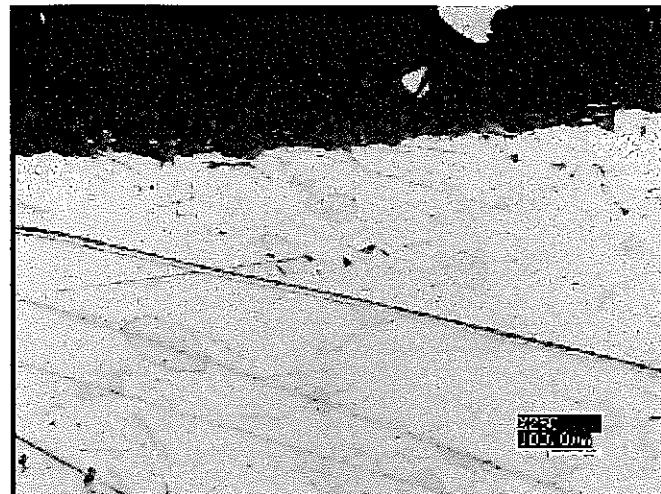


× 1000

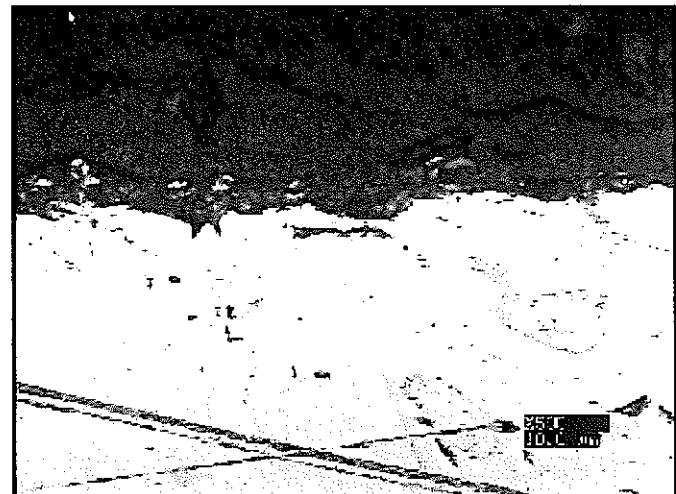


× 1000 (エッチング後)

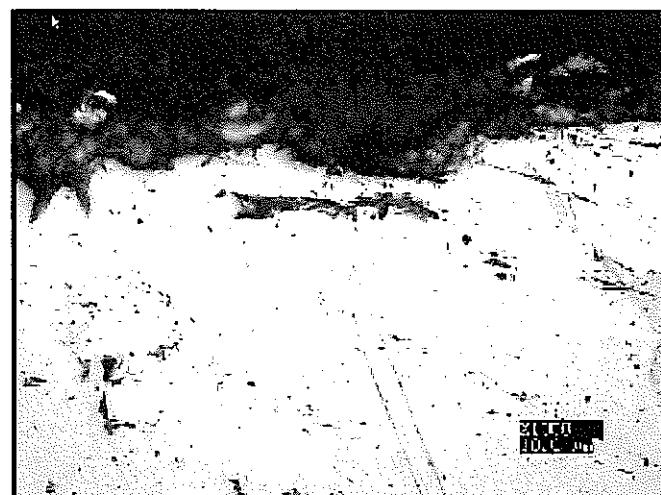
写真-52 濃縮廃液系サンプリング配管(側部)断面



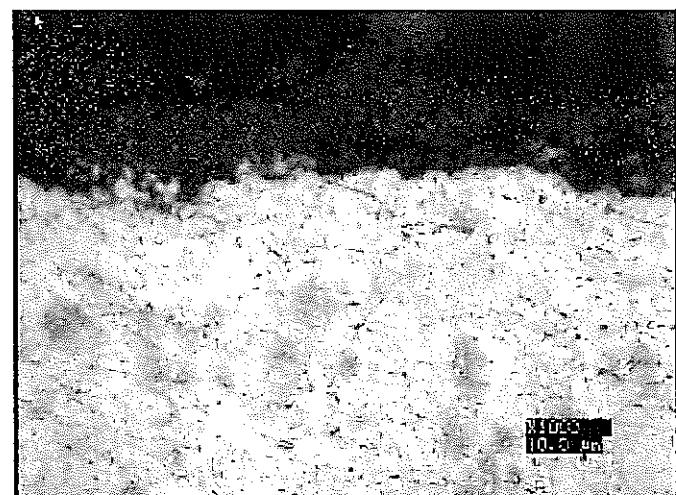
× 250



× 500



× 1000



× 1000 (エッチング後)

写真-53 濃縮廃液系サンプリング配管(下部)断面図