PNC TJ4164 86-002

除染廃液処理確証試験

最終報告書

(動力炉・核燃料開発事業団　委託研究成果報告書)

1986年10月

株式会社　東　　芝

複製又はこの資料の入手については，下記にお問い合わせ下さい。
〒107　東京都港区赤坂１－９－13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部　技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団（Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation）

PNC TJ4164 86-002
1986年10月31日

除染廃液処理確証試験*

大野　正剛** 三塚　哲正** 大野千左人**
森末　哲夫** 遠田　正見** 松本　要***
松浦　宏之*** 鈴木　猛雄*** 戸村　寿***

要　旨

本確証試験は，東海再処理工場より発生する除染廃液の処理について，前提条件の検討，基礎試験，処理システムの検討，開発項目の摘出を行い，今後，建設が予定されている減容処理施設内に設置される除染廃液処理設備のシステムの確証を行うとともに，試験で得られたプロセス基礎データを採取することを目的として実施し，以下の成果を得られた。

① 除染廃液の発生元別に使用除染剤の種類，除染手順，および使用量を使用実績，予定等より評価し，除染廃液の組成，発生量を前提条件として整理した。

② 前提条件の検討から明らかになった除染廃液をビーカスケールにて混合→処理→乾燥試験を行い，最適処理方法を選定した。

③ 基礎試験の結果から選定した除染剤処理方法を中規模スケールの試験にて確認し，基礎試験と同様の結果を得た。

④ 前提条件，基礎試験，確認試験結果より減容処理施設内に設置される除染廃液処理設備のシステムの検討を行い，ＰＦＤ，ＥＦＤ，機器リストを作成した。

⑤ 除染廃液処理に関する，開発項目を摘出し，開発スケジュール等について検討した。

---

* 本報告書は，株式会社東芝が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契 約 番 号：600D297

事業団担当者：環境工学開発部　減容技術開発室　宮田　和俊　殿

** 株式会社　東芝　原子力事業本部

*** 日本原子力事業株式会社　総合研究所

PNC TJ4164 86-002
October 1986

The Fundamental Study for Decontamination Liquid Waste Treatment*

Masayoshi Ohno**, Norimasa Mitsuzuka**, Tisato Ohno**, Tetsuo Morisue**, Masami Enda**, Kaname Matsumoto***, Hiroyuki Matsuura***, Takeo Suzuki***, Hisashi Tomura***

This report presents the results of an investigation and fundamental tests made processing decontaminated waste effluents from The Tokai Fuel Reprocessing Plant. The kinds, composition and quantity of decontaminated waste effluents were surveyed. Fundamental tests carried out involved mixing, pre-treatment and drying the decontaminated waste effluents. The best processing decontaminated waste effluent was selected. Up scaling tests were carried out in the same selected processing method.

Results were found to be the same as obtained in the fundamental test. The Process Flow Diagram (PFD), Engineering Flow Diagram (EFD), and component lists were drawn up for the processing the decontaminated waste effluent at the Low Level Waste Treatment Facility. Problems in processing the decontamination effluents were found and overcome.

---

* Work performed by Toshiba Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Kazutoshi Miyata
Waste Consolidation Technology Development Section,
Waste Management Technology Development Division

** Nuclear Energy Group, Toshiba Corporation

*** NAIG Nuclear Research Laboratory, Nippon Atomic Industry

目　　次

要　旨

1. まえがき …… 1

2. 目　　的 …… 2

3. 除染廃液処理に係わる前提条件の検討 …… 4

3.1 除染方法の評価・検討 …… 4

3.1.1 除染技術の調査 …… 4

3.1.2 再処理施設での除染実績 …… 8

3.1.3 東海再処理工場で使用実績のある除染剤の評価 …… 12

3.2 除染廃液の推定 …… 15

3.2.1 除染対象機器および除染方法 …… 15

3.2.2 使用済除染液の発生量 …… 15

3.2.3 使用済除染液の排出ルート …… 15

3.2.4 除染廃液の前提条件 …… 16

3.2.5 除染廃液の発生量 …… 16

4. 除染廃液処理基礎試験 …… 53

4.1 廃液収集方法の検討 …… 53

4.1.1 組合せ収集方法の検討 …… 53

4.1.2 混合試験 …… 55

4.2 廃液処理方法の検討および試験 …… 60

4.2.1 処理方法の調査および描出 …… 60

4.2.2 処理試験 …… 61

4.3　乾燥処理適応性評価 …… 68
4.3.1　熱　分　析 …… 68
4.3.2　乾燥試験 …… 69
4.4　腐食試験 …… 78
4.4.1　試験方法 …… 78
4.4.2　試験装置 …… 78
4.4.3　試験片 …… 78
4.4.4　浸漬模擬液の調整 …… 78
4.4.5　結果および考察 …… 79
4.5　処理方法の評価および選定 …… 81

5.　除染廃液処理確認試験 …… 167
5.1　除染廃液処理試験 …… 167
5.2　乾燥試験 …… 171

6.　除染廃液処理システムの検討・評価 …… 201
6.1　設計条件 …… 201
6.1.1　除染廃液処理工程 …… 201
6.1.2　乾燥処理工程 …… 202
6.2　設備容量の算定 …… 204
6.2.1　除染廃液処理工程 …… 204
6.2.2　乾燥処理工程 …… 205
6.3　工　程　図 …… 207
6.3.1　プロセスフローダイヤグラム …… 207
6.3.2　エンジニアリングフローダイヤグラム …… 207
6.4　概略機器リスト …… 208

7. 開発項目の摘出 …… 225
7.1 開発項目の検討 …… 225
7.1.1 実廃液による確認試験 …… 225
7.1.2 高放射能濃度を有する除染廃液の処理確認試験 …… 226
7.2 開発スケジュールおよび予算の検討 …… 228
7.2.1 実廃液による確認試験 …… 228
7.2.2 高放射能濃度を有する除染廃液の処理確認試験 …… 228

8. ま と め …… 229

9. あとがき …… 234

10. 謝 辞 …… 235

11. 参考文献 …… 236

12. 添付資料 …… 付(239)

図　リ　ス　ト

図－2. 1　減容処理施設のプロセスフロー …… 3

図－3. 1　ＴＲＵ汚染したステンレス鋼に対するRedox除染方法による除染 …… 18

図－3. 2　汚　染　源 …… 19

図－3. 3　potential-PH equilibrium diagram for the system ruthenium-water , at 25℃ …… 20

図－3. 4　同上　iron-water ,　at25℃ …… 21

図－3. 5　同上　chromium-water, at25℃ …… 22

図－3. 6　同上　plutonium-water, at25℃ …… 23

図－3. 7　ＰＨ－Ｅ°による化学除染液の分類 …… 24

図－3. 8　使用済除染液処理フロー（前処理課） …… 25

図－3. 9　同上（化学処理第一課） …… 26

図－3.１０　同上（化学処理第二課） …… 27

図－3.１１　同上（保守課） …… 28

図－3.１２　同上（分析課，技術課） …… 29

図－3.１３　使用済除染液の排出フロー …… 30

図－3.１４　除染廃液の発生量 …… 31

図－4. 1　沸騰硝酸（１２Ｎ）中での各種酸化還元系の腐食への影響 …… 83

図－4. 2　混合試験装置 …… 84

図－4. 3　ＥＤＴＡ量とガス発生量の関係 …… 85

図－4. 4　Ｘ線回折結果（前処理課） …… 86

図－4. 5　同上（化学処理第一課） …… 87

図－4. 6　同上（化学処理第二課） …… 88

図－4. 7　同上（保守課） …… 89

図－4. 8　電解還元試験装置概略図 …… 90

図－4. 9　電解還元試験結果 …… 91

図－4.１０　Ｘ線回折結果（Redox除染廃液） …… 92

図－4.１１　乾燥試験装置 …… 93

図－4.1.2　竪型薄膜乾燥機 …… 94
図－4.1.3　乾燥機内部状態の概要 …… 95
図－4.1.4　乾燥処理中の内部状態（前処理課） …… 97
図－4.1.5　同上（化学処理第一課） …… 99
図－4.1.6　同上（化学処理第二課） …… 101
図－4.1.7　同上（保守課） …… 103
図－4.1.8　保守課廃液　乾燥機消費動力値（最高値） …… 105
図－4.1.9　乾燥処理中の内部状態（減容技術開発室） …… 107
図－4.2.0　同上（硝酸ナトリウム） …… 109
図－4.2.1　乾燥機消費動力値（最高値） …… 111
図－4.2.2　多重隙間付き試験片 …… 112
図－4.2.3　浸漬試験槽 …… 113
図－4.2.4　一括混合収集に係わる除染廃液の処理フロー …… 114
図－4.2.5　Turco系除染廃液の処理フロー …… 115
図－4.2.6　Redox除染廃液の処理フロー …… 116
図－5.　1　処理装置概略図 …… 181
図－5.　2　竪型薄膜乾燥機内部構造図 …… 182
図－5.　3　乾燥処理システムフロー図 …… 183
図－5.　4　竪型薄膜乾燥機概略図 …… 184
図－5.　5　乾燥機軸動力換算値 …… 185
図－5.　6　化学処理第二課乾燥性能曲線 …… 186
図－6.　1　プロセスフローダイヤグラム（前処理課） …… 213
図－6.　2　プロセスフローダイヤグラム（化学処理第一課） …… 215
図－6.　3　プロセスフローダイヤグラム（化学処理第二課） …… 217
図－6.　4　プロセスフローダイヤグラム（保守課） …… 219
図－6.　5　プロセスフローダイヤグラム（減容技術開発室） …… 221
図－6.　6　エンジニアリングフローダイヤグラム …… 223

表　リ　ス　ト

表－3.　1　配管系に適用し得る化学除染剤(1) …… 32
表－3.　2　配管系に適用し得る化学除染剤(2) …… 33
表－3.　3　軽水炉における代表的な除染剤 …… 35
表－3.　4　再処理プラント用化学除染法 …… 37
表－3.　5　濃りん酸法の操作条件 …… 38
表－3.　6　濃りん酸法の除染実績 …… 38
表－3.　7　希硫酸法の操作条件および除染実績 …… 39
表－3.　8　Ｒ１３１の適用除染法 …… 40
表－3.　9　液体廃棄物発生量 …… 41
表－3.１０　薬品使用量 …… 41
表－3.１１　ユーロケミック工場において除染を行った機器 …… 42
表－3.１２　ユーロケミック工場で使用した除染剤 …… 43
表－3.１３　ユーロケミック工場で使用した除染剤の除染能力の比較 …… 44
表－3.１４　汚染元素の溶解条件 …… 45
表－3.１５　東海再処理工場で使用実績のある除染剤 …… 46
表－3.１６　除染対象機器および除染頻度 …… 47
表－3.１７　各課の除染方法 …… 48
表－3.１８　除染廃液の使用頻度および発生量 …… 49
表－3.１９　プロセス廃液の組成 …… 50
表－3.２０　除染廃液の発生量(1) …… 51
表－3.２１　除染廃液の発生量(2) …… 52
表－4.　1　Redox除染廃液の還元処理方法 …… 117
表－4.　2　還元剤の主な性質 …… 118
表－4.　3　除染廃液処理試験結果（前処理課） …… 119
表－4.　4　同　上　（化学処理第一課） …… 120
表－4.　5　同　上　（化学処理第二課） …… 121
表－4.　6　同　上　（保守課） …… 122

表－4.　7　還元剤添加による還元試験結果 …… 123
表－4.　8　還元処理試験結果の評価 …… 124
表－4.　9　熱分析結果 …… 125
表－4.10　乾燥試験用除染廃液分析結果 …… 126
表－4.11　伝熱面温度状態 …… 127
表－4.12　各除染担当課から発生する除染廃液の組成 …… 128
表－4.13　腐食試験結果（浸漬時間：1033hr） …… 129
表－4.14　腐食試験結果（重量変化速度および浸食度） …… 130
表－5.　1　混合試験　（廃液の性状） …… 187
表－5.　2　処理試験　（廃液の性状） …… 188
表－5.　3　乾燥試験内容 …… 189
表－5.　4　凝縮水水質分析結果 …… 190
表－5.　5　乾燥粉体物性試験結果 …… 191
表－5.　6　幹燥処理駆動動力試験結果 …… 192
表－5.　7　固形分濃度分析結果 …… 193
表－5.　8　含水率測定結果 …… 194
表－5.　9　蒸気温度の影響確認試験結果（含水率測定） …… 195
表－5.10　運転状態の確認試験結果 …… 196
表－5.11　ガス分析測定結果 …… 197

写　真　リ　ス　ト

写－4. 1　混合試験装置 …… 131

写－4. 2　一括混合収集におけるスラッジの発生状態 …… 133

写－4. 3　Turco系除染廃液の沈降状態 …… 135

写－4. 4　示差熱測定器 …… 137

写－4. 5　竪型薄膜乾燥機（可視型） …… 139

写－4. 6　乾燥終了時の内部状態（前処理課） …… 141

写－4. 7　同上　（化学処理第一課） …… 143

写－4. 8　同上　（化学処理第二課） …… 145

写－4. 9　同上　（保守課） …… 147

写－4.10　同上　（減容技術開発室） …… 149

写－4.11　同上　（硝酸ナトリウム） …… 151

写－4.12　試験状態 …… 153

写－4.13　除染廃液と試験ピース …… 153

写－4.14　腐食試験結果（前処理課，SUS304） …… 155

写－4.15　同上　（前処理課，SUS316L） …… 157

写－4.16　同上　（化学処理第一課，SUS304　） …… 158

写－4.17　同上　（化学処理第一課，SUS316L） …… 161

写－4.18　同上　（化学処理第二課，SUS304　） …… 163

写－4.19　同上　（化学処理第二課，SUS316L） …… 165

写－5. 1　乾燥処理粉体 …… 199

1. まえがき

現在，原子力発電所は我国の総発電量の約３０％を占めるに至っており，原子力発電が我国のエネルギー供給の重要な地位を占めている。この原子力発電が化石燃料の乏しい我国において，今後一層安定したエネルギーとしての役割を果すため，下北半島に核燃料サイクル基地を建設して，核燃料サイクルの完結を図ることが計画されている。このような状況下にあって，再処理工場の占める意義は極めて大きい。

東海再処理工場においては，新溶解槽（Ｒ１２）の設置，および旧溶解槽（Ｒ１０，Ｒ１１）の補修等により順調な稼動を続けているが，このような運転を維持するためには多種の施設および機器の除染作業が予測され，それらの状況に応じた適切な除染法を選定することが望まれる。しかし，下流側の既設低レベル放射性廃棄物処理施設には除染廃液専用の処理設備を持たないため，処理能力および材料上から除染法の制限を受けている。このため，これらの適切な除染法から発生する廃液を処理する専用の設備を増設することが予定されている。

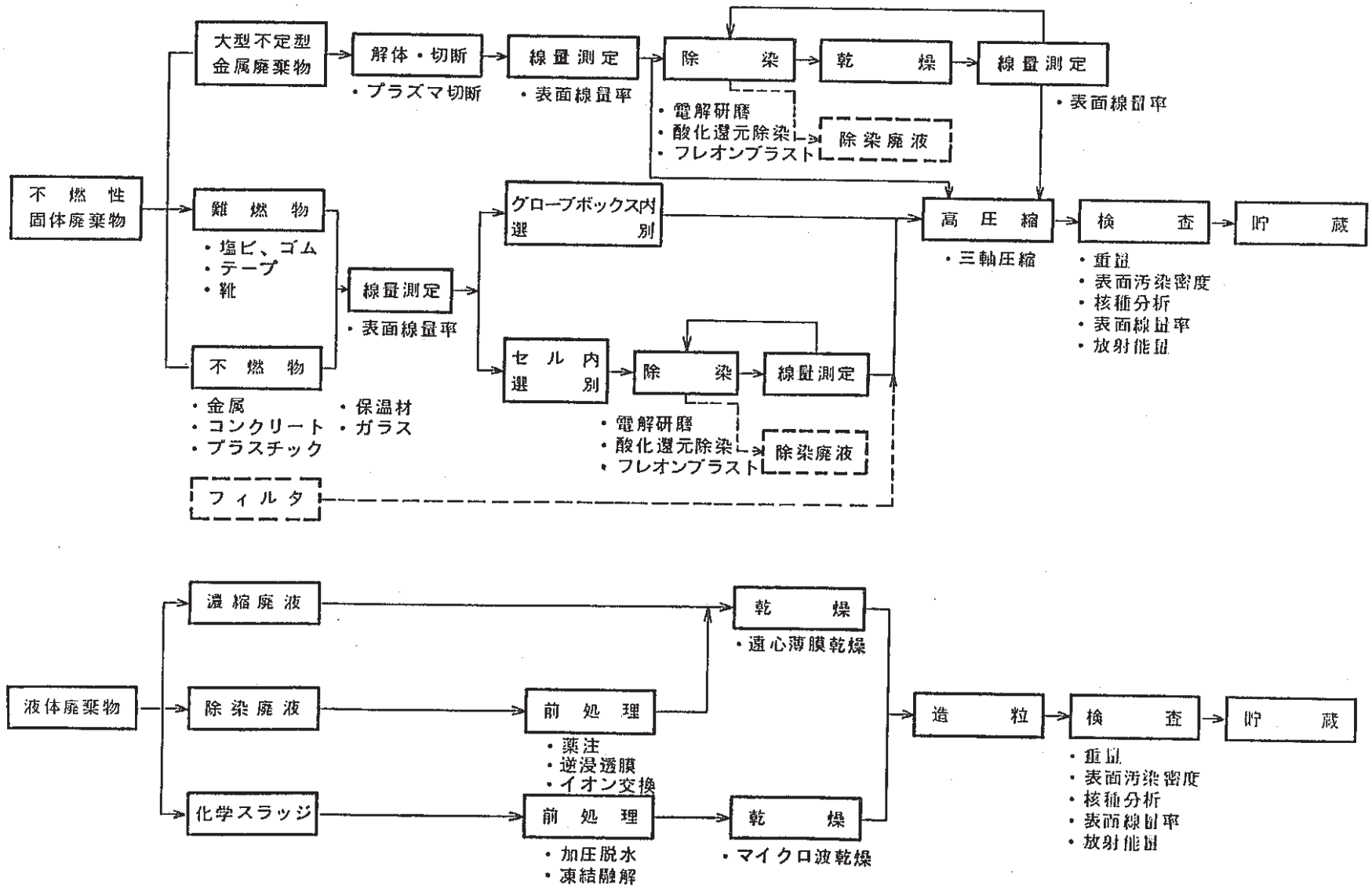
このような背景下で，今後東海再処理工場から発生するであろう除染廃液を推定するとともに，これらの除染廃液の処理システムを設計したので，その結果を報告する。

2. 目　　的

本研究は，既設の低レベル放射性廃棄物処理施設の増強および新技術の開発のために建設を計画している低レベル廃棄物処理開発施設ＬＷＴＦ（減容処理施設）内に設置する低レベル濃縮廃液用遠心薄膜乾燥機で，再処理工場主施設および減容処理施設から発生する除染廃液を処理可能とする前処理方法の開発を目的とする。

このため，今後東海再処理工場から発生するためであろう除染廃液を推定し，基礎試験および確認試験よりシステムの基礎データを採取して除染廃液処理システムを設計するものとする。

なお，減容処理施設のプロセスフローを図－2.1に示す。



図—2.1　減容処理施設のプロセスフロー

3. 除染廃液処理に係わる前提条件の検討

減容処理施設で除染廃液を処理するに当り，発生元である東海再処理工場および減容処理施設で今後使用されるであろう除染剤とその性状，発生量を推定した。以下に処理システムを検討するための前提条件を示す。

3.1 除染方法の評価・検討

東海再処理工場で実績のある除染方法を評価，整理するとともに，その除染剤について化学的，物理的性質を調べた。さらに公開文献等により国内外で使用実績のある除染剤，除染条件，実績等を調査した。

この調査結果から東海再処理工場で使用実績のある除染剤および今後使用するとき推定される除染剤について評価，検討した。

3.1.1 除染技術の調整

除染はその目的によって，供用中除染と廃炉時除染に大別される。これまでに開発されてきた除染技術は，主に供用中除染であり廃炉時除染は極めて少ない。ここでは，これまでに開発されてきた除染技術を化学除染法と電気化学除染法に分けて述べる。

(1) 化学除染法

化学除染法は，使用する除染剤の種類とその使用法によって特徴づけられる。

除染剤は基本的には，材料表面の付着物や酸化被膜を溶解しうるものであれば，どのような除染剤でもよいことになるが，実際には上述のように除染対象によって種々の制約があるうえに，除染後の廃液処理が可能かつ容易なものである必要性から，除染剤の選択が限られてくる。これまでに数多くの除染剤が提案され，使用実績についても報告されている。

これまでに報告されている主な除染剤の概要を使用する除染剤によって分類し，表－3.1～3.2に示す。化学除染用の除染剤は基本的には，①酸化剤，②還元剤，③錯化剤およびキレート化剤，④腐食抑制剤，⑤表面活性剤を単独または，複合して用いるものである。[1)]。

これらは除染プロセスの中でワンステップまたはマルチステップで用いられている。ワンステッププロセスは，汚染クラッドが一回の操作で溶解する場合に用いられ，迅速であると共に効果的であるが，場合によっては，汚染クラッドが部分的にしか溶解しなかったり，あるいはキレート化剤を加えなければ再沈着がおこるようなケースもあるがこの場合にはマルチステッププロセスが有効である。ただし，時間がかかると共に廃液量が大となる[2)]。

以下に代表的な除染剤の使用実施例を示す。

(i) 軽水炉プラントにおける化学除染法

軽水炉における代表的な化学除染法を表－3.3に示す。軽水炉における化学除染法は，除染機器の再使用を目的にしているため腐食性除染剤と腐食抑制除染剤の混合除染剤を用いる方法が主である。

(ii) 再処理プラントにおおる化学除染法

再処理プラントにおける主な汚染物は，Pu．U等のα汚染と，FPのRu-106，Zr-95，Nb-95の汚染である。上記汚染物を除染する除染法はシュウ酸（$H_2(COO)_2$）と過酸化水素（H_2O_2）の混合溶液（過酸化シュウ酸）を主成分とした除染液が最も多い。その中の代表的な除染法を表－3.4[3)]示す。8－ヒドロキシキノリン（C_9H_7NO）は，H_2O_2の分解を遅らせる抑制剤であり，また過酢酸（CH_3COOOH），あるいはグルコン酸－グルコン酸ナトリウム（$C_6H_{12}O_7-C_6H_{11}NaO_7$）は，U，$UO_2$ やPuO_2の溶解能力を高くする添加剤がある。一方，FPであるRuやNbは非常に除去しにくい。このため，フッ化水素酸（HF）の添加によって，核分裂生成物の除去効果を上げている。

(2) 電気化学除染法

除染実績の多い化学除染法，機械除染法の他に近年電気化学反応を用いた電気化学除染法の実用化が進められている。ここでは，電解研磨法とRedox除染法について述べる。

(i) 電解研磨除染方法

電解研磨とは，研磨したい金属を陽極とし，その表面を電気化学的に溶解する方法[4.5)]でその原理を除染に応用したのが電解研磨除染法である。電解液に着目した代表的な電解研磨除染法の詳細を以下に示す。

(a) 濃りん酸法[6.7.8)]

主な操作条件を表－3.5[6.7)]に示す。電解液としては，４０～８０％のりん酸を用いる。除染実績を表－3.6[6.7)]に示す。除染効果としては，約５～２０分の所要時間でバックグランドまで除染できる。

(b) 希硫酸法[9.10)]

操作条件および除染実績を表－3.7[10)]に示す。電解液としては，５wt% の硫酸を用いる。本法は，希硫酸が脱塩水装置再利用として原子力発電所内で広く使われていることに着目した[9)]電解除染法であり，次のような特徴[10)]がある。

① 二次廃棄物が少ない。

② 廃棄物処理が容易である。

(ii) Redox 除染法

電気化学除染法のうち，電解除除染法は，前述したように除染に電気化学反応そのものを利用した除染法であったが，Redox 除染法は，酸化還元反応（Reduction-Oxdation）を用い，除染液の再生に電気化学反応を利用する新しい除染法である。

(a) 原　　理

Redox 除染法は，高い酸化力を持つCe^{4+}等の溶液中に汚染金属を浸漬すると金属表面で金属（M）がCe^{4+}により酸化金属イオン（M^{+}）として溶け出すことを利用して除染する方法である。

化学反応式を以下に示す。

$$Ce^{4+} + M \rightarrow M^{+} + Ce^{3+}$$

Ce^{4+}は安定なCe^{3+}になるが電解酸化反応によりCe^{4+}は再生される。

(b) 特　　徴

① 除染液の再生ができるため，二次廃棄物の発生量が少ない。

② 高い除染係数を得ることができる。

③ 形状による制限が少なく，適用性の拡大がはかれる。

(c) 除染対象

特徴においても述べたように，形状による制限が少なく，複雑な形状の機材や大型設備の壁面の除染も有効であり，ほとんど全ての汚染金属表面に適用できる。

また，表面に錆び等の酸化被膜が付着したり，対薬品性ペイントを塗布した汚染

金属表面を溶解，除去できる。

主な除染対象物は，配管，バルブ，エルボ，複雑な形状の工具類および大型設備の壁面である。

(d) 除染効果

除染効果の一例を図－3.1[11]に示す。この図は，TRU汚染したステンレス鋼に対するRedox除染法の除染効果を示したものである。

縦軸にTRU汚染レベル（cpm），横軸に除染時間を示した。また図中内の○印は硝酸，△はRedox除染法による除染効果を示したものである。

この図から明らかなようにRedox法で除染すると，汚染は直線的に減少するが，硝酸で除染した場合，汚染は約10^4 cpmまでしか除染できない。この後,Redox除染液で除染すると汚染は，10^4 cpmから10^2 cpmまで除染することができ，ステンレス鋼に対する除染効果が大きいことがわかる。

除染係数（DF）は電解除染とほぼ等しく10^2～10^4である。

(3) 除染技術の評価

除染技術は，除染を必要とする対象物が種々雑多であり，要求される除染の程度もまちまちであるため雑多な汚染に対応しうるよう多様化し，多岐にわたっているのが大きな特徴である。現在行われている除染方法を分類すると下記に大別することができる。

① 化学除染法

② 機械（物理）除染法

③ 電気化学除染法

これら除染方法を適用するにあたっては，除染目的と除染対象に最も適したものを選択することが望ましい。従来，除染は除染効率，除染後の健全性を考慮して使用されてきたものが多く，特に化学除染法はその結果が大きいため最も多く使用されてきた。しかし除染後に発生する廃液の量，種類ともに多いため現在は，廃液処理も考慮したうえで化学除染法が使用されている。

従って，除染を行う場合は除染効率，除染後の健全性のみならず廃棄物処理，再汚染，経済性等を考慮したうえで除染法を選択するのが望ましい。以下に各種除染法の特徴を簡単に述べる。

(i) 化学除染法

化学除染法は最も多く開発され使用されており，その使用は原子炉の一次系等のような，強固な汚染を含む複雑なシステムを系統除染するのに適している。化学除染に使用される除染剤は，前記(1)で述べたように酸，アルカリ，酸化剤，還元剤，キレート剤に分類でき，これら除染剤の特徴としては酸，酸化剤が金属母材の溶解に対して用いられ，還元剤は腐食酸化被膜の成分である鉄酸化物等を還元溶解する方法に多く用いられている。キレート剤も金属酸化物の溶解に用いられるが，単独ではなく他の除染剤と混合して使用されることが多い。アルカリは，金属または金属酸化物に対してほとんど溶解能力がなく，酸化剤あるいは還元剤と混合して使用されることが多い。

(ii) 機械（物理）除染法

機械除染法は，汚染物質を被除染物から除去する手段として，機械的な衝撃力や震動，破砕，剝離の作用を利用した方法である。除染対象物はタンク類の除染をはじめ複雑な形状や微細な隙間のある被除染物に適用できるものの，金属母材の溶解能力がないため表面に付着したクラッドの除去を対象とする場合が多い。

(iii) 電気化学除染法

電気化学除染法は，徹底除染の観点から使用されることが多く除染対象物も工具等の小物からタンク，長尺配管等と適用範囲は広い。しかし電解研磨法のように被除染物と電極を対峙させて除染する場合は，被除染物の形状に制約を受ける。

3.1.2 再処理施設における除染の実績

国内外における再処理施設での除染実績を調査した。その結果を以下に示す。

(1) 東海再処理工場での除染実績

(i) 酸回収蒸発缶の修復について[13,14]

動燃東海再処理工場では，昭和５４年にホット試験を開始し，昭和５８年までに１７４ｔの使用済燃料を処理している。この間酸回収蒸発缶の故障が発生したため，昭和５４年および昭和５８年の酸回収蒸発缶の修復工事に先立ち，酸回収工程機器の除染を実施した。

酸回収蒸発缶は，酸回収セル（約１ｍ厚のコンクリート）内に設置されており，人間の出入りはマンホールから行う構造となっている。酸回収セルに立入るには，セル

内空間線量率を低減する必要があり，化学薬品を用いた除染を行った。

酸回収蒸発缶は，Ｎｂを含むオーステナイト系ステンレス鋼でできており，また内部にはRu－１０６が多く付着していることが判明している。除染剤としては，腐食上問題がなくかつ除染効率の高いものが要求される。

除染は，次の手順で行われた。

① 純化および硝酸による洗浄

② 水酸化ナトリウム溶液によるアルカリ除染

③ 酸化剤およびキレート剤による除染

④ 水酸化ナトリウム溶液によるアルカリ洗浄

これらにより得られた結果は以下の通りである。

(a) 硝酸によぬ洗浄で全体の除染放射能量の約１８％の放射能を除去できたが，セル内の空間線量率を大きく下げられなかった。

(b) NaOH溶液によるアルカリ洗浄により，除染放射能量の約６０％を除去できた。

(c) $KMnO_4$＋NaOH→純水→硝酸→ＥＤＴＡ・２Ｎａ→純水のサイクルを３回行い，除染放射能量の約２０％を除去できた。

(d) NaOHによる最終アルカリ洗浄により，セル内の空間線量率を低下できた。

この除染の経験により，酸回収蒸発缶のような，Ｒｕなどが支配的である機器を除染するためには，水酸化ナトリウム溶液や，$KMnO_4$＋NaOH，EDTA・2Naといった除染剤が有効的であることが報告されている。

(ii) 濃縮ウラン溶解槽装荷セル（Ｒ１３１）除染

本除染作業は除染機器を用いた「遠隔除染（化学除染を含む）」および作業員が直接セルに入って行う「手除染」に分けられる。

適用除染法の詳細を，表－3.8に示す。

(a) 遠隔除染

(イ) Ｒ１３１セル内床・壁・天井除染

Ｒ１３１セルの除染は，粗除染から始まり水除染，ブラッシング，電解研磨除染を経て水除染，拭きとりをもって完了した。各作業は，重複，あるいは間欠的に実施された。

(ロ) 分配器およびシュートパイプの除染

分配器およびシュートパイプの除染は，分配器底面の多量の堆積物の除去から開始された。洗浄操作装置を用いた掻取りの後，高圧水による水洗浄を経て，シュートパイプの水除染がシュフトウォシャ，ドレンノズルを用いて行われ，一通りの除染を終了した。

(ハ) ベント配管および２３５系配管の除染

ベント配管の除染は，除染液を３階Ｇ３４６におかれたタンクからオフガスベントフィルタＦ２３，Ｆ２４，Ｆ２５のそれぞれ頂部に導入し，ベント配管に満たし，浸漬放置後ブローした。

当初，計画通り硝酸洗浄を実施したが除染効果に限界がみられたので水酸化ナトリウムによる浸漬洗浄を実施した。また炭酸水素ナトリウム，過マンガン酸カリによる化学洗浄も試みた。

(b) 手除染

手除染作業は，溶解槽装荷セル（Ｒ１３１）内に人が立入り，セル内床面，壁面，天井面，クレーンレール，機器表面の除染を行うものである。

除染手順を以下に示す。

① キムタオルによる水拭取除染

② スコッチブライト法による拭取除染

③ 電解研磨法による除染

の３つの手順を順次組合わせ，実施した。

(c) 廃棄物発生量

本除染工事における廃棄物は，遠隔除染段階においては液体廃棄物の他ハル缶に収納搬出した高レベル固体廃棄物であり，手除染段階では，固体廃棄物ある。表－3.9に液体廃棄物発生量表－3.１０に薬品使用量を遠隔除染と手除染の合計量で示す。

(2) ユーロケミック工場における除染実績

(i) １９７０年に行った除染[15)]

ユーロケミック工場は，１９６６年に運転を開始し，４年間の運転で，放射能にして１６００Ｃｉ／kgU を処理した。しかし，保守・修繕が必要となり，１９７０年に表－3.１１に示す機器の除染を行った。

機器の汚染状態には，次の２種類がある。

(a) 腐食物や粒状物が金属表面の孔に沈積した汚染

(b) イオン交換反応に強く吸着した汚染

除染の難しさは，対象核種が多く，また，機器の表面状態や温度，除染剤の活性度や接触時間など，依存するファクターの多い点にある。

物理吸着の場合，温度を上げることにより，脱離が可能であり，スチームを流す等の方法が有効である。また，イオン交換した陽イオンには，錯体形成試薬が有効で，酒石酸やシュウ酸またはフッ素化合物が用いられる。陽イオンは錯体形成脱離させることにより，洗浄の間に，再吸着されることはない。

表－3.１２に用いた除染剤を示す。

除染剤は通常組合せて用いる。たとえば，硝酸と水酸化ナトリウムの場合は，酸－アルカリの洗浄を交互に，数回のサイクルを行う。また，$KMnO_4$とシュウ酸のように，酸化剤と還元剤を交互に用いる方法もある。

〝バントック硝酸塩〟（ジメチルベンジルアンモニウム硝酸ウラニル）は有機物の除去に有効で，溶媒を用いる工程の除染に用いる。バントック硝酸塩は，塩素イオンの存在下では，塩素化合物を形成するので，除染効果が弱くなる。

表－3.１３に除染剤の除染能力の比較を示す。

ＤＦは，処理の前後の放射能の比である。

ＤＦの値から判断すると，除染剤の能力に大きな差がない。これは，数種の除染剤を順次に用いていることに依存している。価格は，硝酸－水酸化ナトリウムが最も安いが，除染速度が遅く，また，除液量が増加する欠点がある。

〝バントック試薬〟は，洗浄後のトレース量も，抽出に影響があるため，使用は望ましくない。

除染剤の使用手順は，腐食性の弱いものの後に，腐食性の強いものを用いる方法が有効である。

(ii) １９７４年に行った除染[16)]

ユーロケミック工場では，１９７１年の運転再開後，１９７４年に運転を停止した。停止後溶解槽の除染・解体・撤去を行った。溶解槽は，1.6％濃縮U用（第１）と，ＭＴＲ燃料用（第３）である。第３溶解槽は，完全に撤去し，第１溶解槽は，一部撤去した。

今回の除染においては，特に高圧水ジェット法が有効であった。

溶解槽の除染に伴い，隣接するセル1，　およびセル０２の除染も行った。

第１溶解槽は，Ｎｉ合金製，セル１ａはコンクリート被覆であり第３溶解槽はＳＵＳ３０４製，セル１ｂはＳＳライニングである。セル０２はいずれも床のみＳＳライニング，壁等は，コンクリート被覆である。

除染にはスチームスプレーおよび加熱空気の除染が有効であった。溶解槽の除染に用いた除染剤は，

HNO_3	44.5	m^3	0.5Mと4m^3　11M
NaOH	48.5	m^3	0.5M
$KMnO_4/HNO_3$	10	m^3	0.1／5～8M
$H_2C_2O_4$	10	m^3	0.1M
CH_3COOH	3	m^3	10　％

である。

廃液は，工場内廃棄物処理系で，濃縮処理し，１／１００程度に減容した後，アスファルト固化する。また，アセトンは，セル内で蒸発するので処理しない。

3.1.3　東海再処理工場で使用実績のある除染剤の評価

前記3.1.1および3.1.2項で調査した結果を基に，再処理施設から発生する汚染核種を推定し，東海再処理工場で使用実績のある除染剤および適用性の高い除染剤について評価した。

(1)　汚染源および汚染元素

再処理施設から発生する汚染源を図－3.2に示す。汚染源としては，使用済燃料中に含まれる超ウラン元素（ＴＲＵ），核分裂生成物（ＦＰ），放射化された被覆管（ハル）せん断微粉と被覆管に付着している腐食生成物（ＣＰ）等がある。

これら汚染源から発生する汚染元素を以下に示す。

① TRU：U．Pu．Am

② FP：Ru．Mo．Tc．Pd．Rh．Cs

③ CP：Co．Fe．Ni．Cr

④ ハルの微粉：Sb．Sn．Zr

これら汚染元素は，環境によっては金属粒子または酸化物として存在するものと考えられる。

(2) 除染方法

前述したように除染対象と推定されるＴＲＵ，ＦＰ，ハル，ＣＰ等の汚染元素は多種多様に存在するため単一の除染では除染不可能である。上記汚染元素を除染するための除染剤を選定するには，汚染元素の化学状態を知ることが最も有効である。

汚染元素の電位－ＰＨ図[17]（Pourbaix線図）を代表例としてRu，Fe，Cr，Puについて示す。Ｒｕは除染液の性状が酸化還元電位0.2～2.2V，PH8～16 の範囲（斜線部）であれば$HRuO^{-}$，RuO^{-}として除染液中に溶解する。すなわちＲｕは，図－3.3～3.6に示す。

アルカリ性またはアルカリ性＋酸化性除染液で溶解する。Ｆｅ，Ｃｒ，Ｐｕについても斜線部で示した電位－ＰＨ領域の除染液であればイオン化して除染液中に溶解する。この関係をまとめた俵を表－3.14に示す。Ｒｕは，前述したようにアルカリ性またはアルカリ性＋酸化性除染液で，Ｆｅは，酸性または酸性＋還元性除染液で，Ｃｒは，酸性＋酸化性またはアルカリ性＋酸化性除旋液で，Ｐｕは，酸性または酸性＋酸化性除染液で溶解する。他の汚染元素についてもそれぞれ溶けやすい条件がある。

従って再処理施設から発生する汚染元素を除染するためには，上記の各汚染元素の性状に対応して前記3.1.1項(1)で述べた①～⑤の除染剤を組合せた多段階の除染が必要となる。

(3) 除染液の区分

除染液の性質は，大きく別けて酸性，アルカリ性，酸化性，還元性（キレート剤を含む）の４つに分類することができ，これをＰＨ－Ｅ°（電位）線図に表わすと図－3.7のようになる。これら除染液を一括混合した場合，酸とアルカリまたは酸化性と還元性は混合すると激しく反応するため，なるべく分割して収集したほうが望ましい。

従って，除染廃液の収集区分としては以下の様に分類される。

① 分類１：酸性および酸化性酸性除染液

② 分類２：アルカリ性および酸化性アルカリ性除染液

③ 分類３：還元性酸性除染液

(4) 東海再処理工場で使用実績のある除染剤

東海再処理工場で使用実績のある除染剤及び前述の(1)～(3)で検討した結果より，今後使用すると推定される除染剤を表－3.１５に示す。各除染剤を酸性，アルカリ性，酸化性，還元性，キレート剤の点から分類した。

硝酸，ＮＰ，ＮＣは酸化性酸性除染液，苛性ソーダはアルカリ性除染液，ＡＰ，Turco4５０２ は酸化性アルカリ性除染液，Turco4５２１ は還元性（キレート剤を含む）除染液ＥＤＴＡ，シュウ酸は還元性（キレート剤を含む）酸化性除染液に分類できる。

3.2　除染廃液の推定

東海再処理工場における運転実績，補修実績，運転計画をもとに今後必要とされるであろう除染対象機器とその除染頻度を推定した。また前記3.1節で検討した除染方法と東海再処理工場および減容処理施設から発生する除染廃液の種類，性状，発生量，発生パターンを明らかにした。以下にその結果を示す。

3.2.1　除染対象機器および除染方法

東海再処理工場の各除染担当課が担当する除染機器および除染頻度を表－3.16に示す。前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課の除染は非定常作業であり，保守課，分析課，技術課，減容処理施設で行う減容技術開発室の除染は定常除染作業である。

各課の除染方法を表－3.17に示す。除染方法として，酸性除染液の次にアルカリ性除染液で除染，酸化性除染液の次は還元性除染液で除染を行う手順とした。また各除染後に水洗を行うこととした。なお保守課のHNO_3，NaOH除染液と分析課，技術課の除染液は3.2.2項の表－3.18除染液の使用頻度および発生量に示すように使用除染液量が少なく，また図－3.13使用済除染液の排出ルートに示したように，現状プロセス廃液と混合して既設の排出系を通して廃棄物処理場で処理しているため，プロセス廃液とみなし除染方法の検討対象から外した。但し，保守課のTurco除染液は，活性度が高いため既設の排出系を通してプロセス廃液と混合できない。従って，Turco除染液については除染方法の検討を行った。

3.2.2　使用済除染液の発生量

各除染担当課で使用する除染液の使用頻度および発生量を表－3.18に示す。またプロセス廃液の組成を表－3.19に示す。除染剤としては，HNO_3，NaOHが多く使用されている。反対にNP，$(COOH)_2$は使用量が少ない。

3.2.3　使用済除染液の排出ルート

各除染担当課から排出される使用済除染液の排出ルートを図－3.8～3.12に示す。またこの排出ルートをまとめた結果を図－3.13に示す。前処理課，化学処理第一課，保守課の除染液は，LAW廃液貯槽から低放射性廃液貯槽を通って減容処理施設へ，技術課，分

析課の使用済除染液は，低放射性廃液貯槽を通って減容処理施設へ排出される。化学処理第二課の使用済除染液は，ＬＡ廃液貯槽と低放射性廃液貯槽の２系統を通って減容処理施設へ排出される。

3.2.4　除染廃液の前提条件

各除染担当課から排出される使用済除染液として減容処理施設で受入れるための前提条件を以下に示す。

(1)　使用済除染液の放射能濃度

１０μCi／cc 以下とする。

(2)　検討対象使用済除染液

①　使用済除染液は全て減容処理施設で処理する。

②　保守課の Turco 除染液は，活性度が高いためタンク移送後，減容処理施設で処理する。

(3)　水　洗　量

①　各除染後に除染液量の２倍の水量で洗浄する。

②　排出ルート途中のタンクのフラッシングは，Dead Volume の１０倍で洗浄する。

③　配管の Dead Volume は無視する。

(4)　そ　の　他

①　除染工事は３ケ月とする。

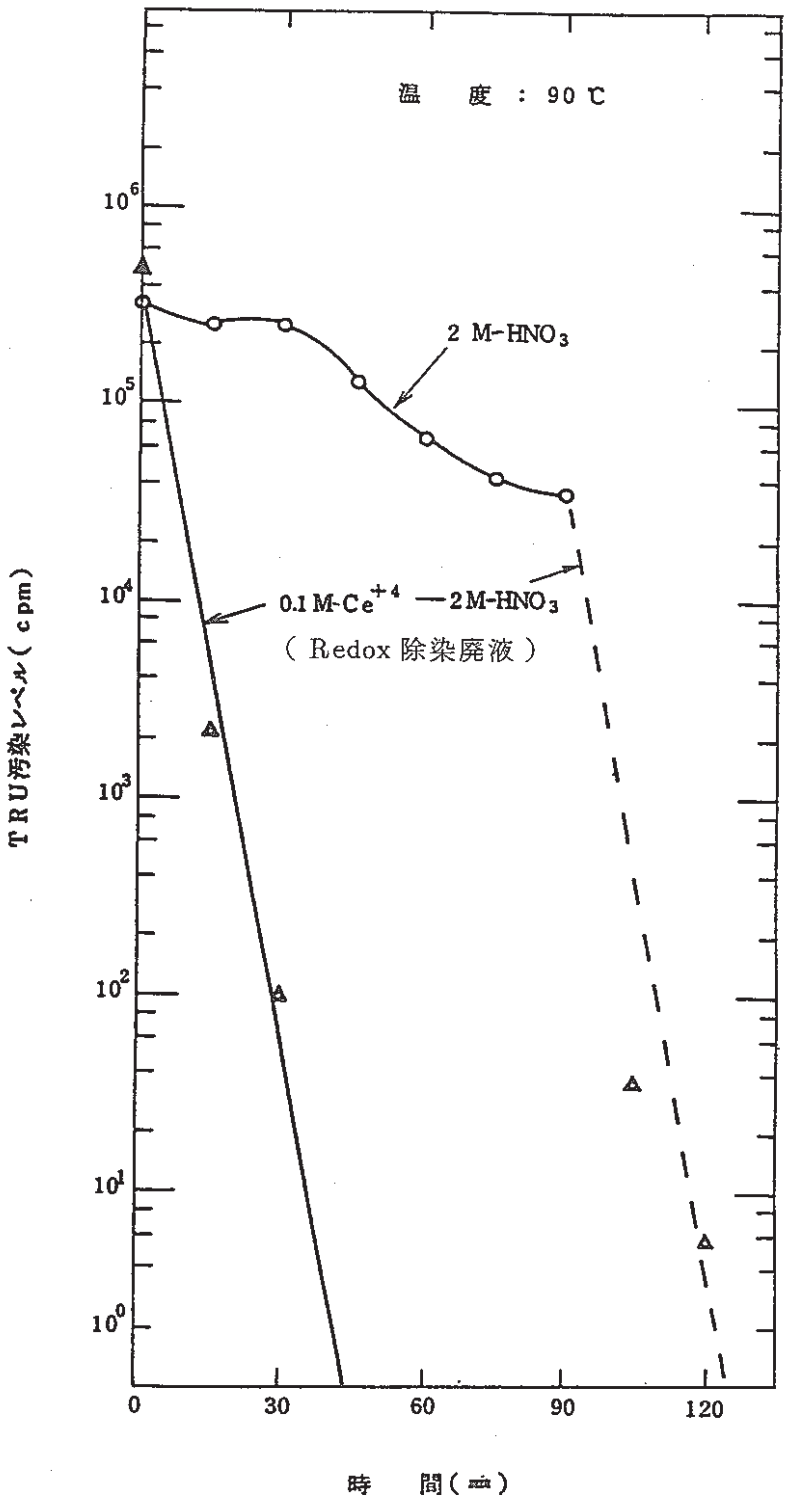
②　プロセス廃液は，主工程停止時でも１㎥／日は流れているものとする。

③　排出ルートのタンクが複数系統ある場合は，１基にて集中処理する。

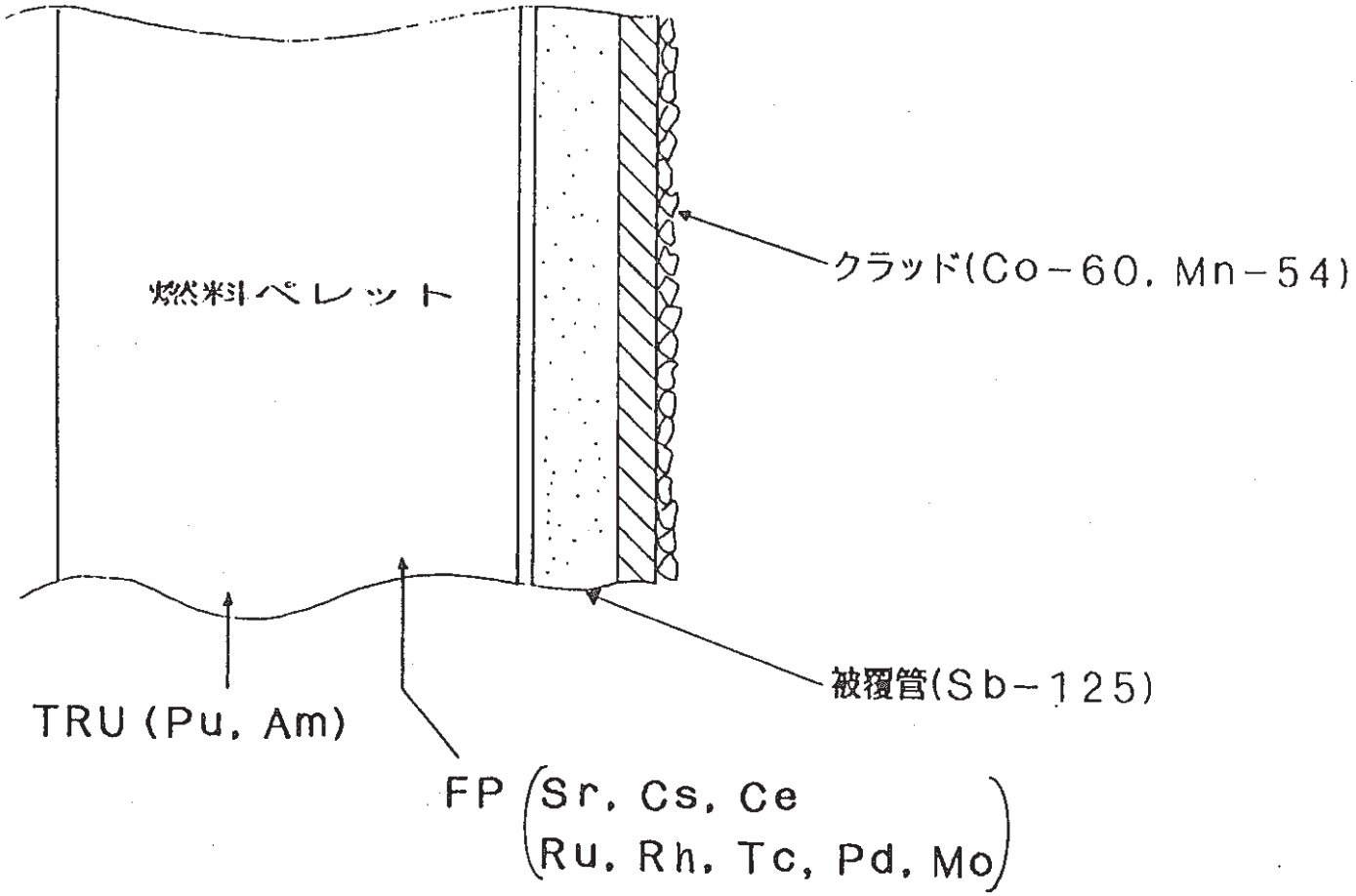
3.2.5　除染廃液の発生量

前記 3.2.1～3.2.4 項の前提条件をもとに求めた各除染担当課から発生する除染廃液の発生量および濃度を表－3.２０～3.２１に，さらに各除染担当課から発生する除染廃液の濃度を重量換算（kg／㎥）して求めた結果を図－3.１４に示す。また除染廃液の計算表を添付資料１に示す。除染廃液の濃度としては，前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課では，HNO_3，保守課では Turco 系除染液の濃度が高い。減容技術開発室で使用される Redox 除染液は他の除染液に比べ濃度は低い。

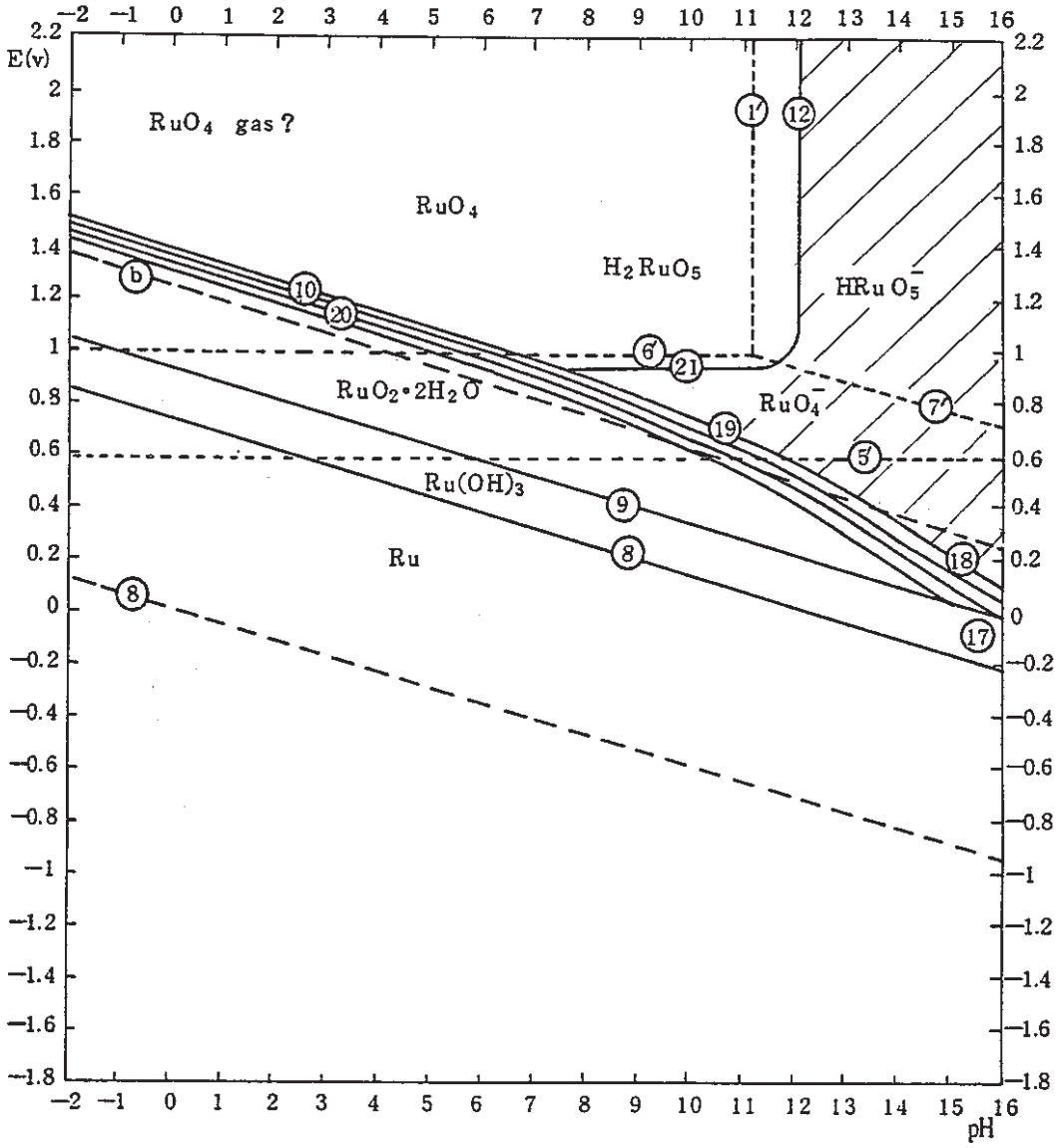
発生量としては，前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課からは約２００㎥，保守課から約７０㎥，減容処理施設からは約４００㎥の除染廃液が発生する。



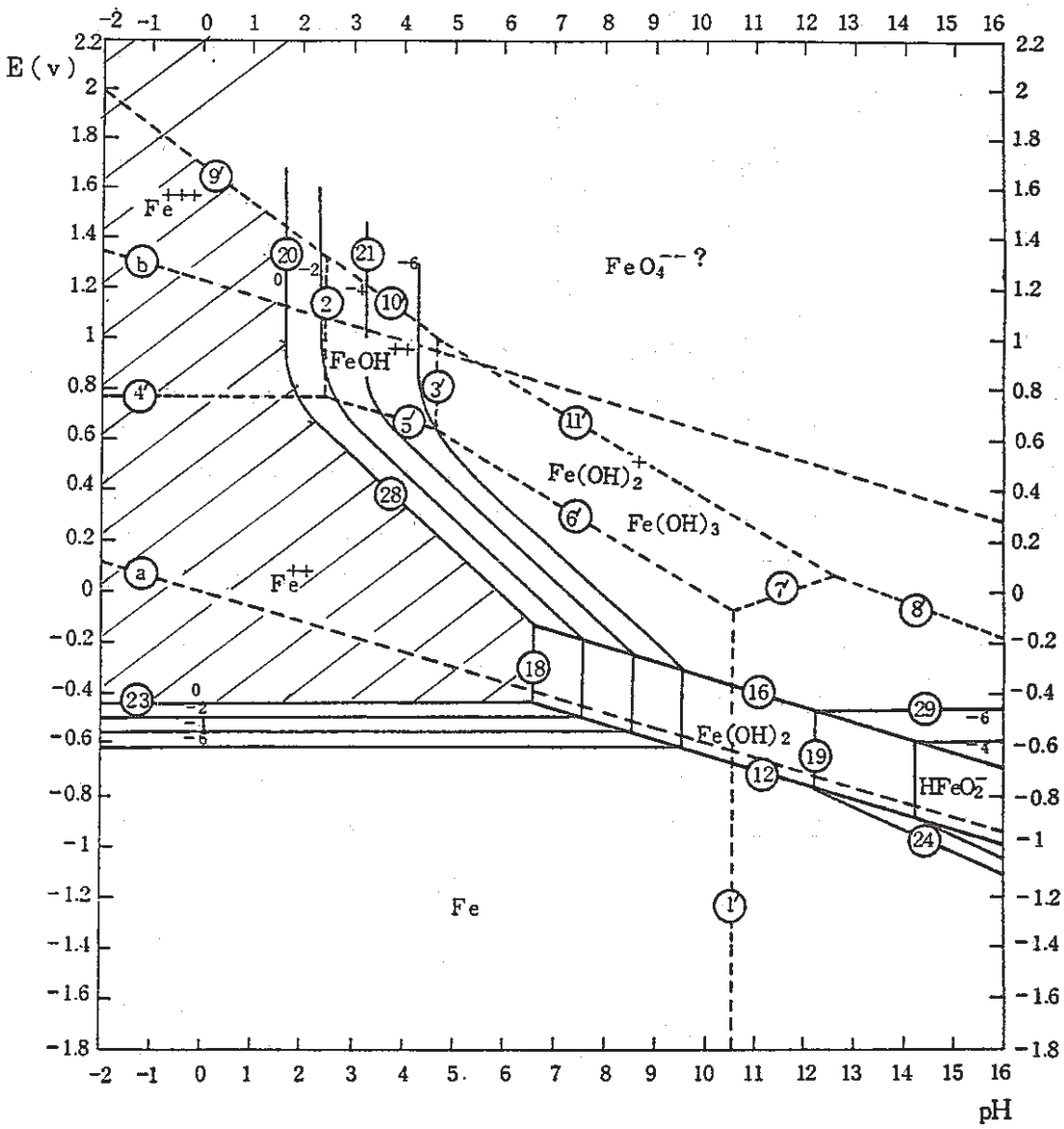
図－ 3.1　ＴＲＵ汚染したステンレス鋼に対するＲｅｄｏｘ除染法による除染


燃料ペレット
クラッド(Co−60, Mn−54)
被覆管(Sb−125)
TRU (Pu, Am)
FP (Sr, Cs, Ce
Ru, Rh, Tc, Pd, Mo)

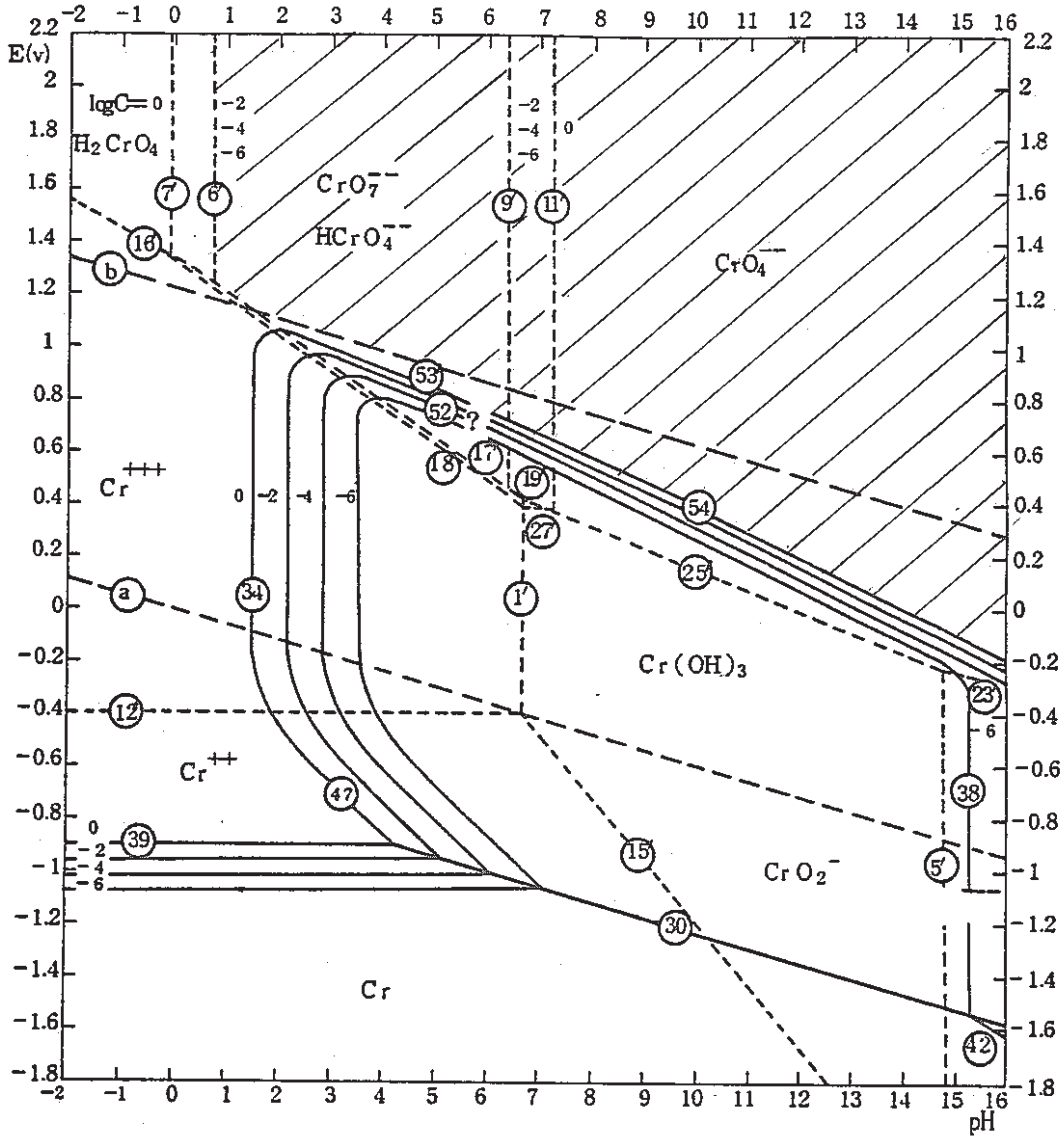
図－3.2　汚　染　源



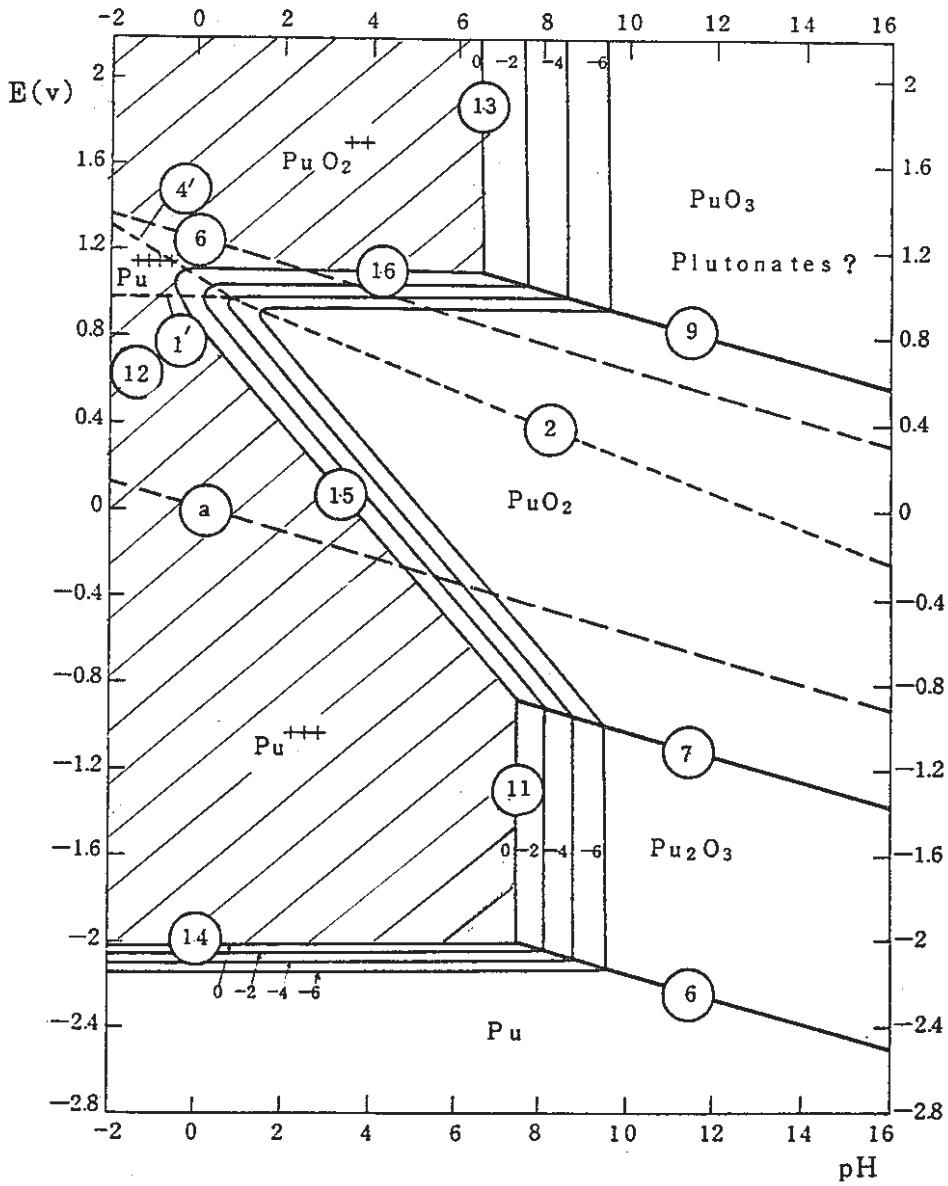
図－3.3 Potential－PH equilibrium diagram for the system ruthenium－water, at 25℃
(in the presence of solutions free from complexing substances)



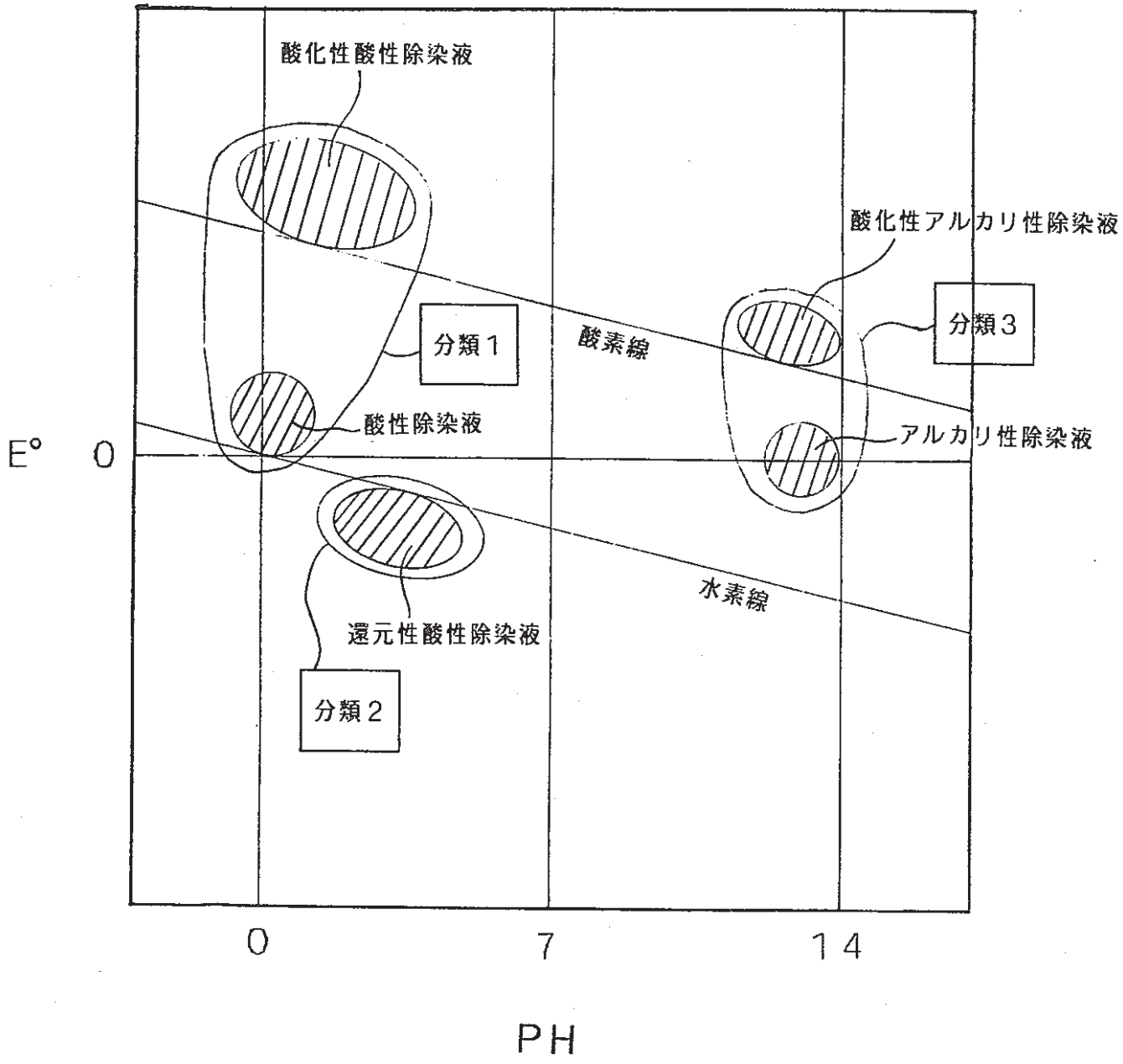
図－3.4 Potential－PH equilibrium diagram for the system iron－Water, at 25℃
〔Considering as solid substances only Fe, $Fe(OH)_2$, and $Fe(OH)_3$〕



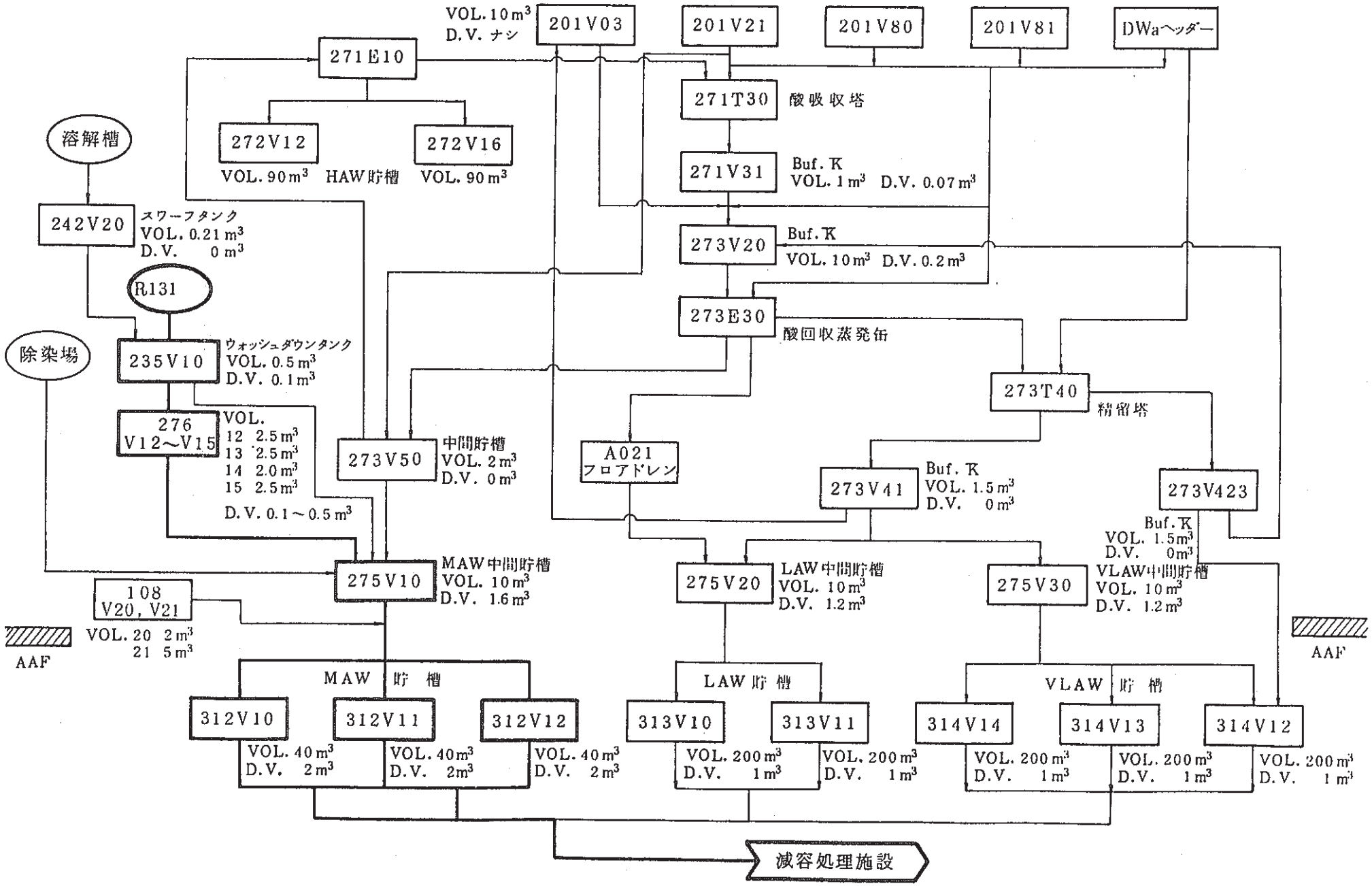
図－3.5 Potential－PH equilibrium diagram for the system chromium－water, at 25℃
〔Figure estabished considering $Cr(OH)_3$〕



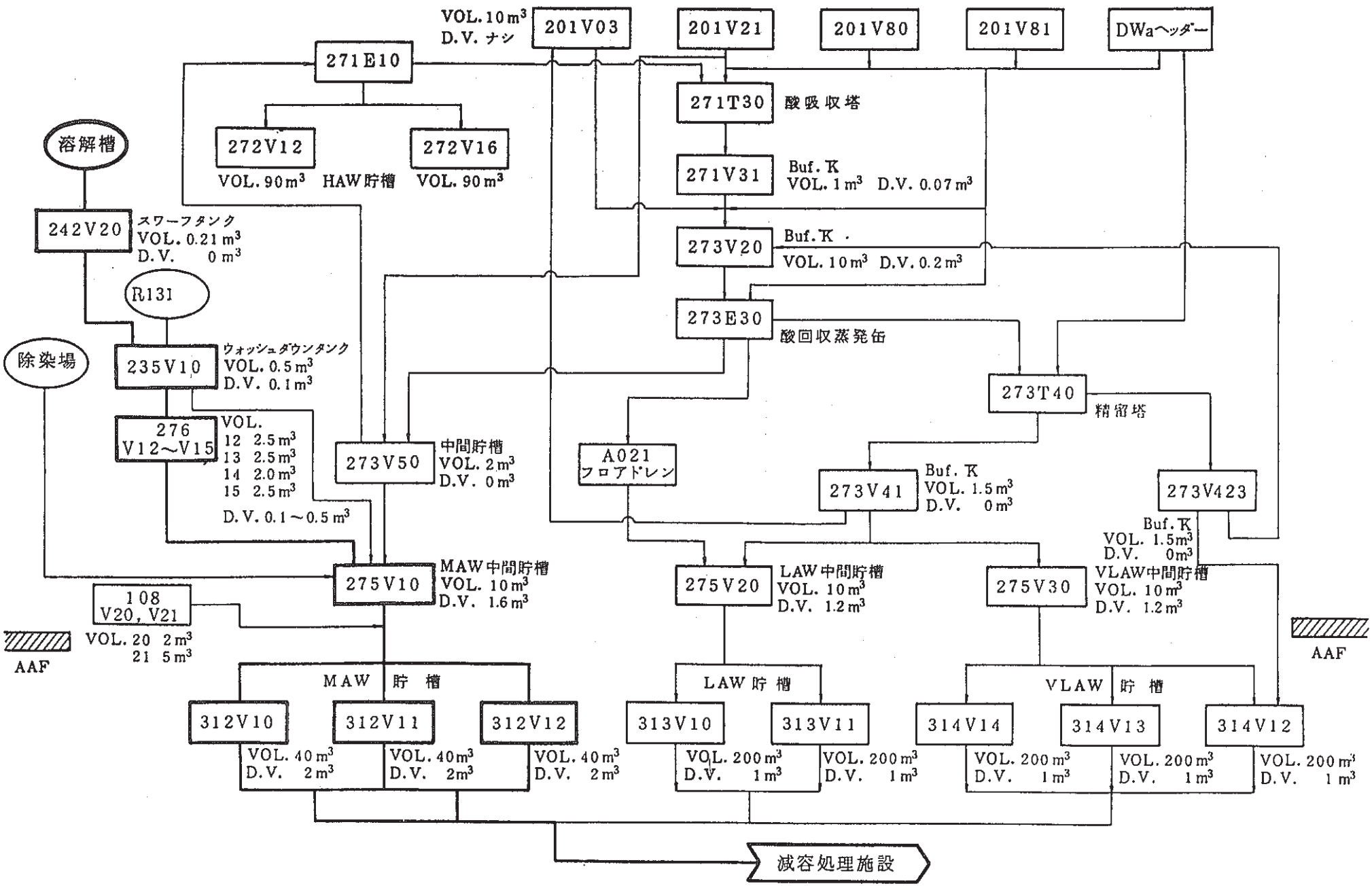
図－3.6 potential－PH equilibrium diagram for the system plutonium－water, at 25℃



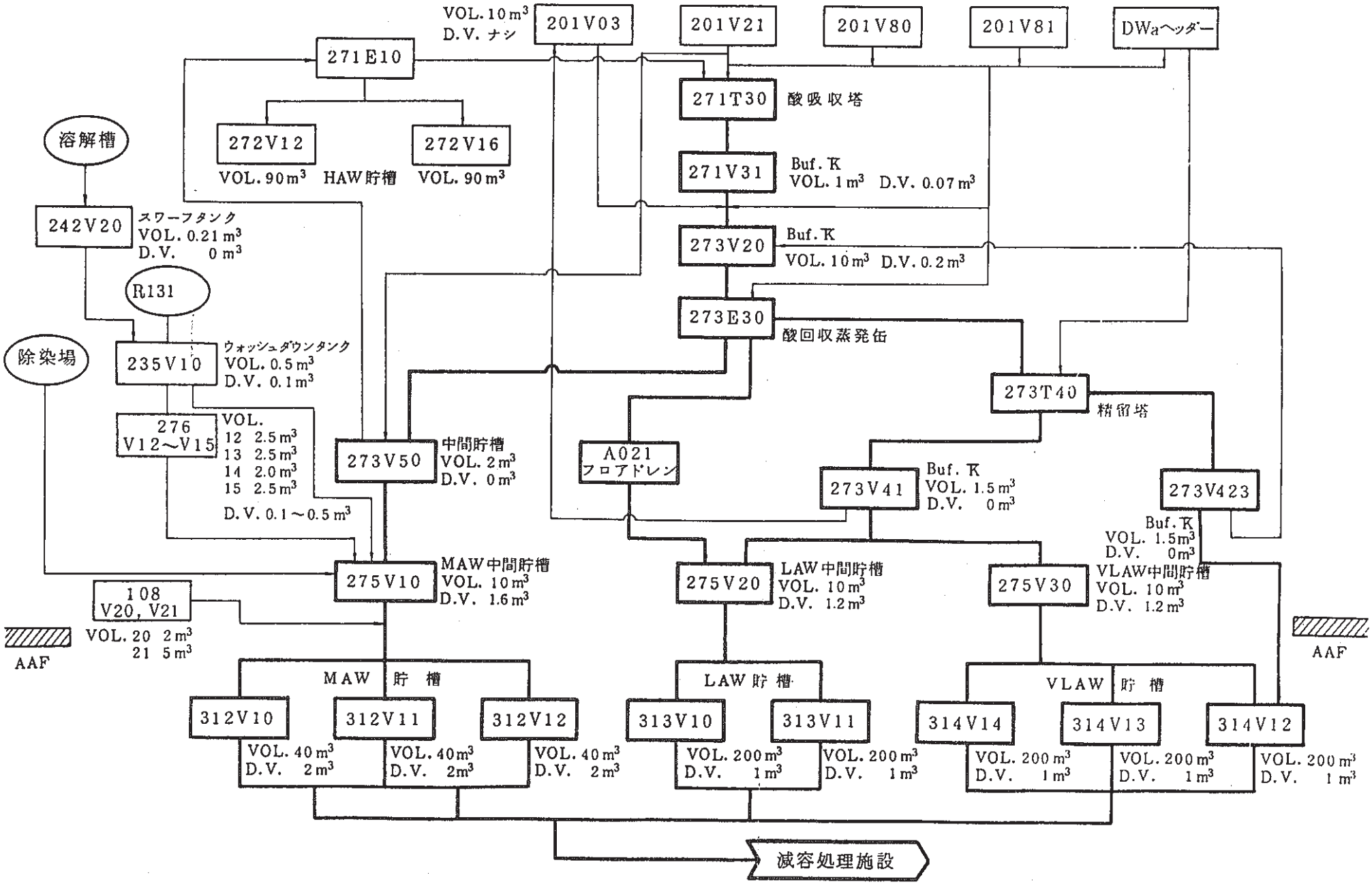
図－3.7　ＰＨ－E°による化学除染液の分類



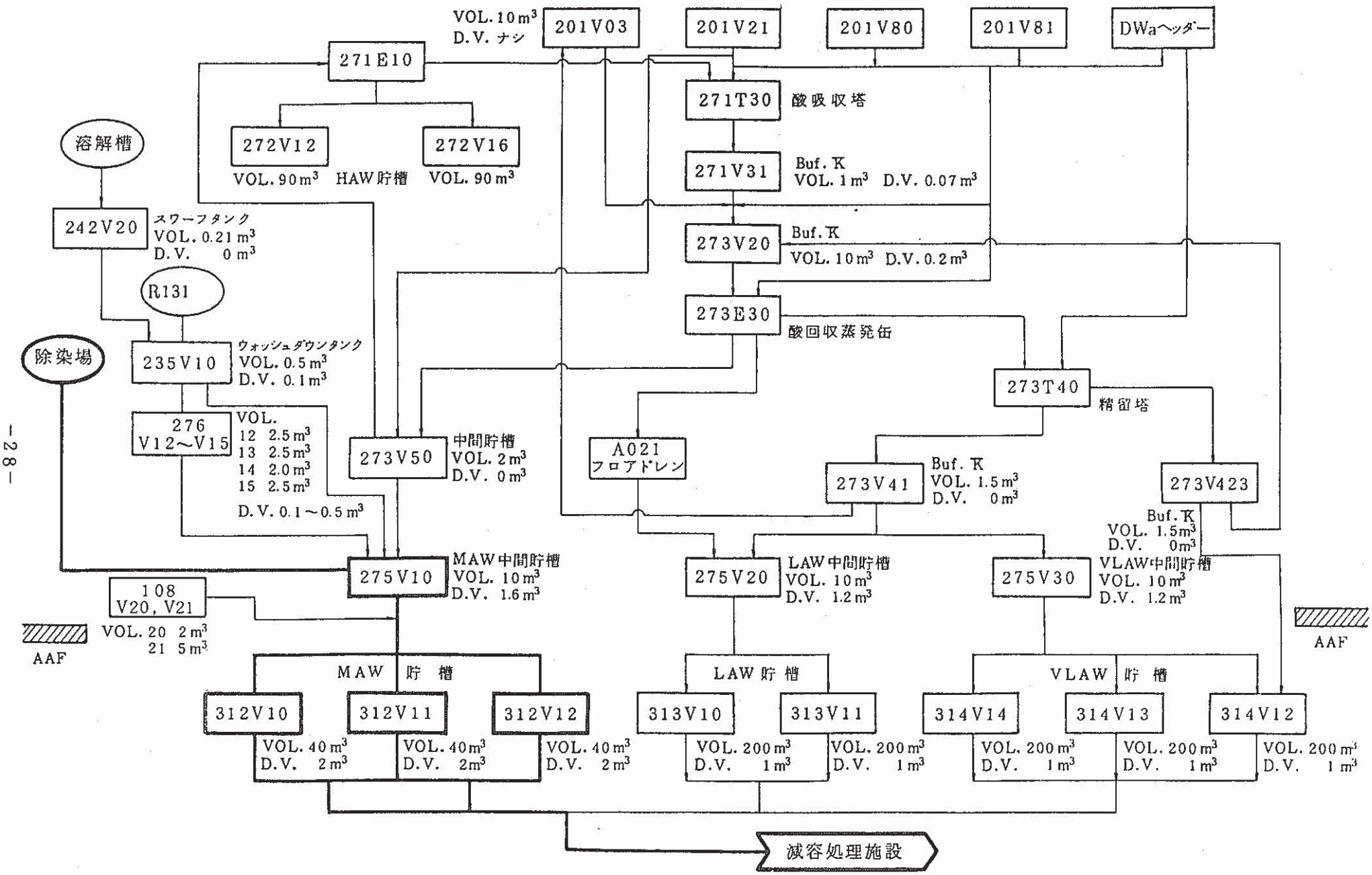
図－3.8 使用済除染液処理フロー（前処理課）



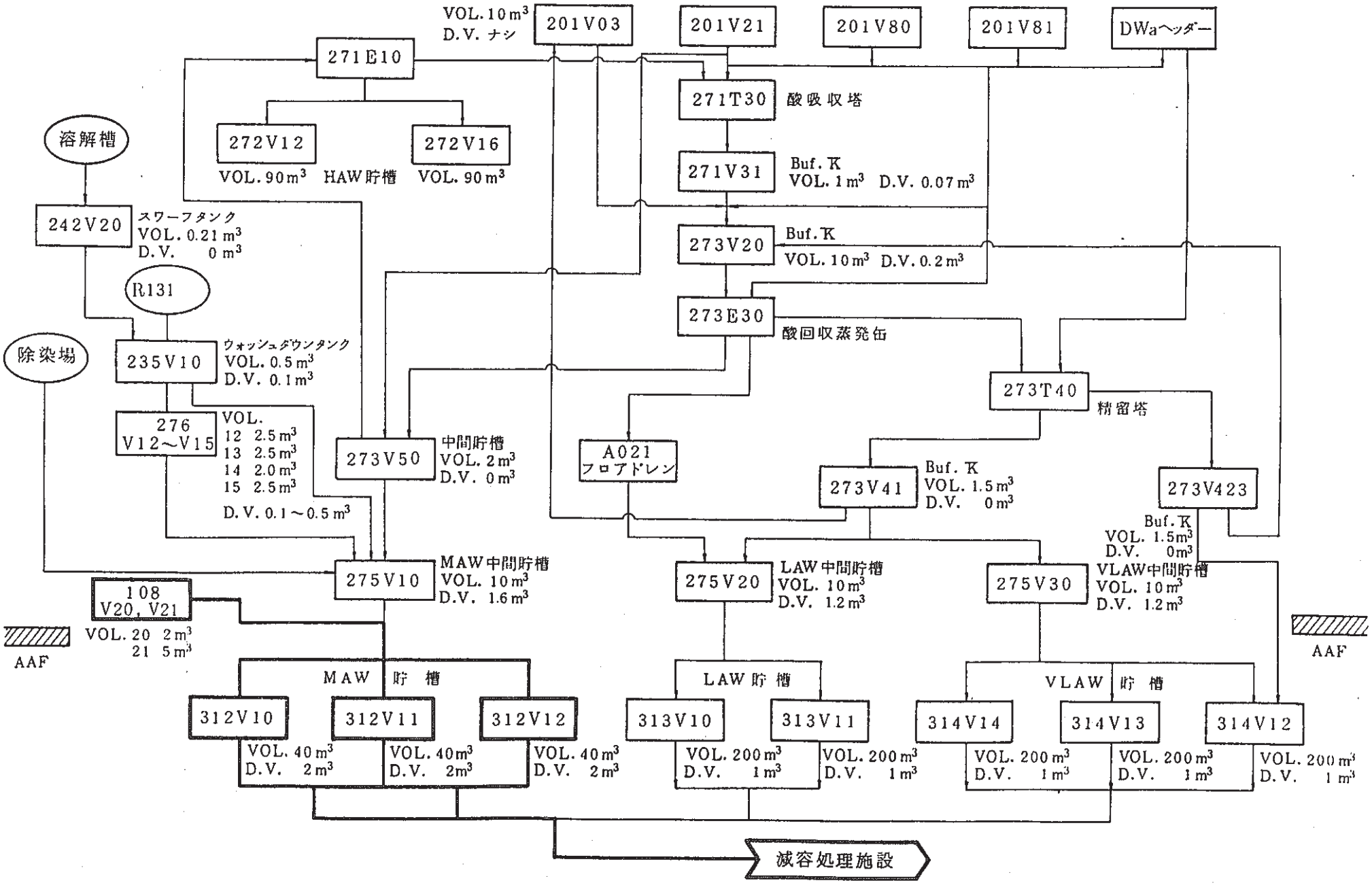
図－3.9 使用済除染液処理フロー（化学処理第一課）



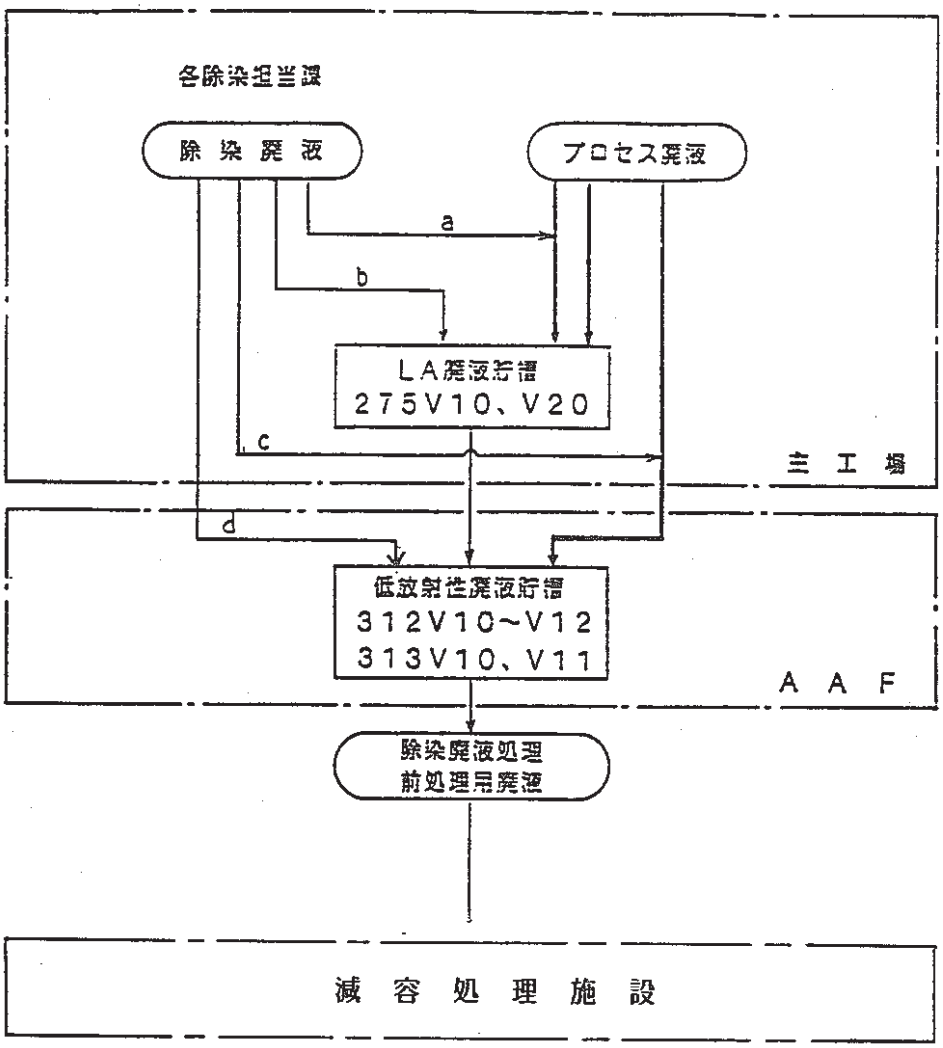
図－3.10 使用済除染液処理フロー（化学処理第二課）



図－3.11 使用済除染液処理フロー（保守課）

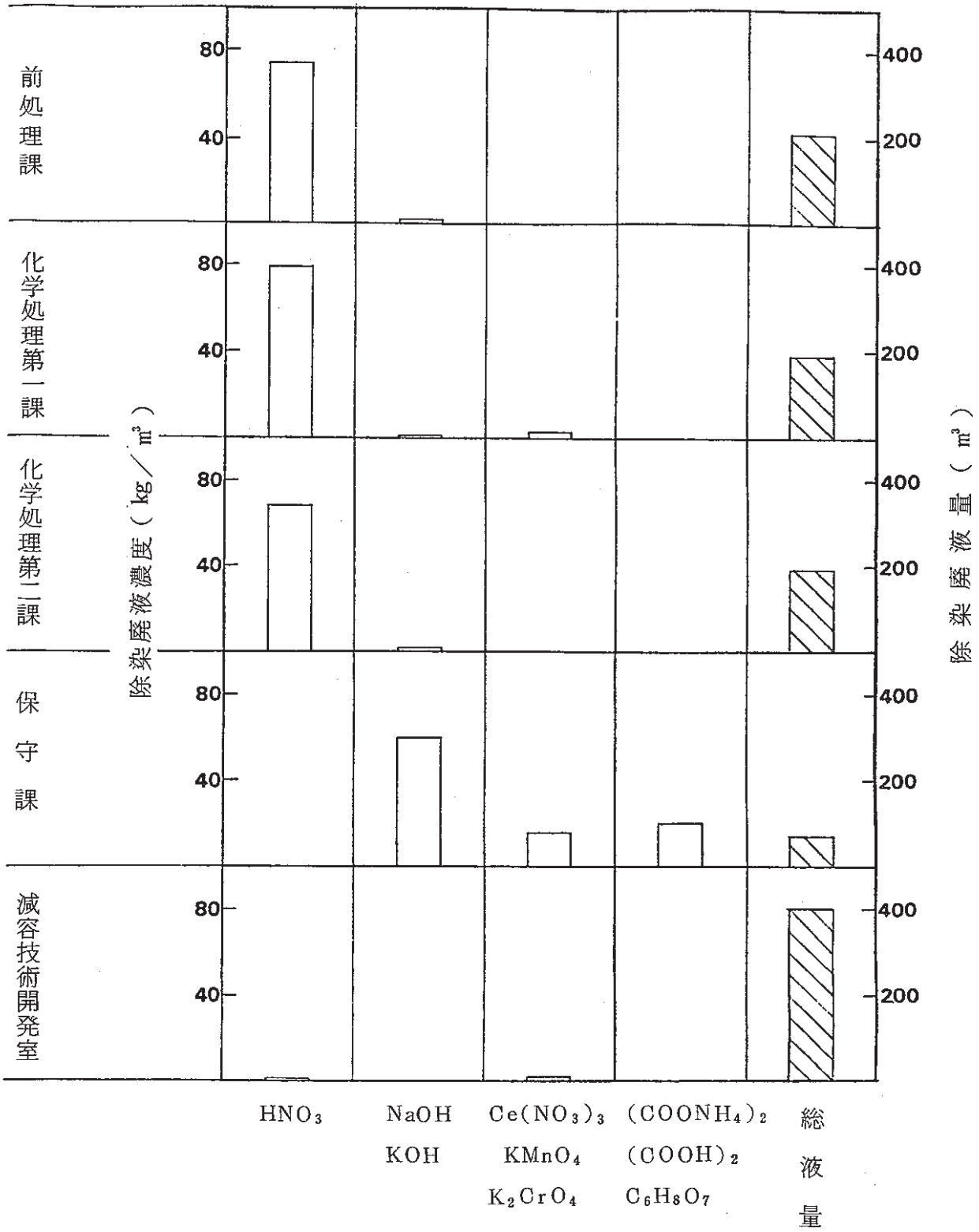


図－3.12 使用済除染液処理フロー（分析課，技術課）



除染担当課	排出ルート	除染担当課	排出ルート
化学処理第一課	a	保守課	b
化学処理第二課	a，c	技術課	d
前処理課	b	分析課	d

図－3.13　使用済除染液の排出ルート



図－3.14　除染廃液の発生量

表－3.1　配管系に適用し得る化学除染剤(1)

除染剤		対象母材金属					備考
名称	化学式	ステンレス鋼	炭素鋼	アルミニウム	インコネル	銅／銅合金	
アルカリ過マンガン酸カリ（AP）	NaOH $KMnO_4$	Cr_2O_3 を除去し腐食被膜をボーラスにする					SS* を腐食せずCS**をいくらか腐食する
クエン酸アンモニウム（AC）	$(NH_4)_2HC_6H_5O_7$	AP処理後の残存腐食被膜を除去	母材金属を腐食				クエン酸と水酸化アンモニウムから調製抑制剤を含まない場合はCSを腐食
EDTA		鉄酸化物の再付着を防止するためのキレート化剤，AO ACプロセスのACに加えて使用（APACA）					SSを腐食せず
シュウ酸（OX）	$H_2C_2O_4$	AP処理後に残存MnO_2を除去（APOX）	母材金属を腐食				不溶性沈澱を生成しこれが再蓄積するため除染効果が小となる
Citrox	$H_2C_2O_4$ $(NH_4)_2HC_6H_5O_7$ $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ $(C_2H_5NH)_2CS$	AP処理後に用いMnO_2を除去し残留OH^- 中和する再沈澱を防止する（APCitrox）			腐食被膜を除去		
スルファミン酸	NH_2SO_3H	AP処理後に使用（APSol）	CSに対する効果的な除染剤，低腐食率	アルミニウムに対する効果的な除染剤		腐食被膜除去に有効と思われる	
塩酸	HCℓ	母材金属を腐食	同左			同上	SS，CSに対し腐食性
硝酸	HNO_3	オーステナイト系SSからのウラン，プルトニウム化合物の除去に使用	母材金属を腐食			稀釈溶液は腐食被膜を除去	CSに対し腐食性
硫酸	H_2SO_4	有機物付着物の除去に使用					SS，CSに対し腐食性大
りん酸	H_3PO_4		除染効果大母材金属を腐食			腐食被膜を除去	長時間系統内にあると再蓄積をおこす

*　ステンレス鋼
**炭素鋼

表－3.2　配管系に適用し得る化学除染剤(2)

除染剤		対象母材金属					備考
名称	化学式	ステンレス鋼	炭素鋼	アルミニウム	インコネル	銅／銅合金	
シュウ酸 ナトリウム シュウ酸 過酸化水素 過酢酸 オキシン （OPP）	$Na_2C_2O_4$ $H_2C_2O_4$ H_2O_2 CH_3COOOH Oxine	燃料破損後のウラン，プルトニウム被膜の除去に使用	同左	同左	同左	母材金属を腐食	CS，SS，インコル，Zr，Aℓに対し腐食性なし
Sulbox	H_2SO_4 $H_2C_2O_4$ $C_6H_5NHCSNH_2$		腐食被膜を除去	効果的除染剤			CSをいくらか腐食
CAN-DECON法		腐食被膜を除去	同上				SSに対し腐食性なし CSをいくらか腐食
NS-1		同上	同上				SS，CSに対し極めて低腐食率
LOMI	V^{II} （Picolinate）	同上	同上				$Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ の還元によって腐食被膜を除去
DOE-GE法		同上	同上				CAN-DECON法と類似のプロセス

表－3.3　軽水炉における代表的な化学除染法

	キャンデコン法	NS－1法	LOMI法	ED－40法
開発者	AECL／LNL（カナダ）	ダウケミカル社（米）	EPRI（米）／CEGB（英）	東電／東芝／荏原工業洗浄
特徴	CANDU炉除染用に開発された除染法で次の特徴がある。 1）除染のための追加設備が少ない。 2）除染廃棄物は固体廃棄物のみで処理が容易で廃棄物発生量が少ない。 3）DFは比較的小さい。 4）インヒビタが含まれていないため金属材料の腐食量が比較的大きい。	ドレスデン1号機全体除染用に開発された除染法で次の特徴がある。 1）インヒビタが含まれているため金属材料の腐食量が少ない。 2）高いDFが得られる。 3）除染廃液の処理のため大規模な設備が必要となる。 4）除染廃液の処理に時間がかなり廃棄物量も比較的多い。	PWR除染用に開発された除染法で次の特徴がある。 1）還元剤によりクラッドの溶解性がよく除染温度が低くPHが比較的高い。 2）金属材料の腐食量が小さい。 3）除染廃液はインラインで脱塩処理する。	東電／東芝共研で開発された国産の除染法であり次の特徴がある。 1）金属材料の腐食量が少ない。 2）除染温度が低い割に比較的高いDFが得られる。 3）除染廃液を逆浸透膜装置によりインラインで濃縮処理できる。
主成分	しゅう酸 クエン酸 EDTA	有機酸 EDTA 無機塩 インヒビター	バナジウム（Ⅱ）ピコリン酸 ギ酸 インヒビター	有機酸 EDTA インヒビター
除染条件 PH	3.5	3.6	4.5～5.5	3.5
除染条件 除染剤濃度	0.1～0.2 %	5～10 %	0.1～1.0 %	1～5 %
除染条件 除染温度	90～125 ℃	120 ℃	80 ℃	90 ℃
除染条件 除染時間	～24 hr	100 hr	～6 hr	～24 hr
除染条件 DF	～5	50～100	～10	～10
除染方法	1）除染対象系統内の冷却材の脱気を行い，溶存酸素濃度を0.1 ppm以下に調整したうえで除染剤を注入し除染剤濃度を0.1 %程度に調整する。 2）系統を90～125℃に加温しカチオン塔で除染剤を再生しながら循環運転する過程で除染する。 3）分解する薬品（しゅう酸）を適宜補給する。 4）除染終了後，混床塔で除染剤および溶解した金属イオンを除去し冷却材の浄化運転を行う。 5）カチオン塔および混床塔の廃樹脂は固化処理する。	1）除染対象系統内の冷却材を排出した後，所定濃度に調整した除染剤を系内に注入する。 2）系統を約120℃に加温し一定時間循環運転する程度で除染される。 3）除染終了後，除染廃液を受タンクへドレンし，系内への脱塩水の水張りとドレンを数回繰り返し残留除染剤を受タンクへドレンする。 4）受タンクにドレンされた除染廃液を蒸発濃縮および脱塩処理する。 5）濃縮廃液および脱塩塔の廃樹脂は固化処理する。	1）除染系統内の冷却材の脱気を行い，ピコリン酸とNaOHでPHを調整する。 2）炭酸バナジウムを所定濃度になるまで注入し系統を80℃に昇温する。 3）加温しながら一定時間循環運転する過程で除染される。 4）除染廃液は陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂で順次浄化処理する。 5）廃樹脂は固化処理する。	1）除染対象系統内に除染剤を注入し，所定濃度に調整する。 2）系統を90℃に加温し一定時間循環する過程で除染される。 3）除染終了後，逆浸透膜装置をインサービスして除染廃液を濃縮廃液として系外へドレンする。 4）逆浸透膜装置で処理された系統水を温床塔をインサービスして浄化処理する。 5）逆浸透膜装置の濃縮廃液と温床塔の廃樹脂は固化処理する。
実績	CANDU炉 バーモントヤンキー　CUW，PLR系統除染 ブランズウイック1，2号機　CUW系統除染 ハッチ1号機　CUW系統除染 ナインマイルポイント　再循環ポンプ，PLR系統除染 ビーチボトム2，3号機　CUW系統除染 クォードシティ1，2号機　PLR系統除染 ドレスデン3号機　PLR，CUW系統除染 ミルストン1号機　PLR系統除染	ビーチボトム2，3号機　CUW再生熱交換器除染 ビルグリム　PLR，CUW系統除染 ドレスデン1号機　一次系全体除染	ウインフリス（SGHWR） 一次系除染（燃料を含む） モンティセロ PLR，CUW系統除染	BWRのRHRポンプ除染 BWRのPLRポンプインペラー除染 BWRのCUWポンプ・配管除染

表－3.4　再処理プラント用化学除染

除　染　液	名　　称	適　用　材　質
$Na_2(COO)_2$ $H_2(COO)_2$ H_2O_2 CH_3COOH C_9H_7NO	シュウ酸ナトリウム シュウ酸 過酸化水素 酢　酸 ヒドロキシキノリン	炭素鋼，ステンレス鋼，インコネル，ジルカロイ－2，アルミニウムに用いられる。
$Na_2(COO)_2$ $H_2(COO)_2$ H_2O_2 $C_6H_{12}O_7$ $C_6H_{11}NaO_7$	シュウ酸ナトリウム シュウ酸 過酸化水素 グルコン酸 グルコン酸ナトリウム	炭素鋼，ステンレス鋼，インコネル，ジルカロイ－2，アルミニウムに用いられる。
$(NH_4)_2C_2O_4$ $(NH_4)_2HC_6H_5O_7$ H_2O_2	シュウ酸アンモニウム クエン酸アンモニウム 過酸化水素	炭素鋼，ステンレス鋼，インコネル，ジルカロイ－2，アルミニウム兼用，炭素鋼表面の除染や錆取り，およびスケール除去に用いられる。
$H_2(COO)_2$ HF H_2O_2	シュウ酸 フッ酸 過酸化水素	ステンレス鋼表面の除染用，ステンレス鋼，インコネルに用いられる。炭素鋼，ジルカロイ－2，アルミニウムに腐食が大きい。

表－3.5　濃りん酸法の操作条件

電　解　液	40～80%りん酸
電解液温度	40～80℃
電　　圧	8～12V（DC）
電流密度	5～25A／dm²
所要時間	3～30 min 研磨量　5～50μm 電流密度16A／dm²（使用実績）

注）文献12）をまとめた。

表－3.6　濃りん酸法除染実績

除染対象物	除染効果	所要時間	備考
ハンフォードNリアクター供水逃し弁	10mR／hr　→BG	－	非汚染区域で保守・補修
ステンレス製動物用おり	RaとPb－210の除染	20分	—
マニピュレータートング	βγ10R／hr →BG	10分	非汚染区域で分解保守・補修組立
核分裂物質貯蔵カプセル（ハステロイC製）	SrF_2の除染 5R／hr→5mR／hr	20分	遠隔除染システムによる
グローブボックス工具（軟鋼およびステンレス製）	10^6 dis／min・100cm² →BG	5分	—
原子吸光光度系の煙突	αβγ 2R／hr　→BG	15分	超音波洗浄では2R／hrまでしか除染できなかったもの
トラベリングワイヤーフラックスモニター	2mR／hr　→BG	15分	

注）文献12）をまとめた。

表－3.7　希硫酸法の操作条件および除染実績[6)]

電 解 液　5％H_2SO_4
電流密度　0.5A／㎠
電解温度　室温～80℃

材　質	寸　　法	金属表面除去量（μ）	相対係数率（RC）	
			除染前	除染後
SUS配管	2B, 800L	108	1400	0.94
	4B, 400L	286	2800	1.01
炭素鋼配管	4B, 400L	170	430	1.01
炭素鋼プレート	200×205×13t	101	41	1.00

ただし，RC＝（試験片の計数率）／（バックグランドの計数率）

表－3.8　R 131の適用除染法

	遠隔除染								手除染			備考
	Ⅰ（粗除染）		Ⅱ（水除染）		Ⅲ（化学除染等）		Ⅳ（仕上除染）		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	
	スパークによるかき取り　他	拭取り	水によるブラッシング		電解研磨	化学除染	高圧ジェット	遮蔽	遮蔽	電解研磨他	拭取り	
床	○*1	○*2	○		○		○				○	*1 スクレーパ，回転ワイヤブラシ *2 スコッチブライト フォーサイトアルコール，クレンザ *3 スコッチブライト ブラッシング *4 超音波除染（HNO_3，NaOH浸積物）
下部（3㎝）					○		○				○	
上部							○				○	
天井							○				○	
側面	○*3		高圧ジェット ○			USC*4 ○						
底面	○		高圧ジェット ○			USC ○						
ドレン管	横形プラン ○		高圧ジェット ○			USC ○						
シュートパイプ	横形プラン ○		高圧ジェット ○			USC ○		底部 ○	底部 ○			
ベント配管 F23 F24 F25						○			局部 ○			当初予定のHNO_3浸積の他，NaOH，$KMnO_4$浸積を追加施行
ドレン管（233系）						○			局部 ○			
機器								○	○			
クレーン／ホイストレール							○				マスリン布拭 ○	

表－3.9　液体廃棄物発生量

液種　(ℓ)	水	硝　酸	水酸化ナトリウム	過マンガン酸カリ+水酸化ナトリウム	炭酸水素ナトリウム	EDTA
R131床，壁，天　井	27,677					
分配器シュートパイプ	16,654	8,921	3,033			
ベント管	7,079	4,419	3,397	333	442	325
計	51,410	13,340	6,430	333	442	325

表－3.10　薬品使用量

りん酸	80ℓ(内ステンブライト60ℓ)
クレンザー	50缶(400g入り)
フォーサイト	20ℓ
アルコール	40ℓ

表－3.11　ユーロケミック工場において除染を行った機器

ユニット	セル数	機器名	個数
第1および第3溶解槽	1	溶解槽	2
酸回収系	2	蒸発缶	1
		タンク（15 m³）	6
再調整系	1	容器（17 m³）	4
溶媒回収系	3	ミキサセトラ（1 m³）	5
		ポンプ	7
		容器（19 m³）	9
Pu最終精製系	1	蒸発缶（0.1 m³）	3
		ミキサセトラ	4
		容器（2.5 m³）	23
オフガス系	1	容器（2.2 m³）	2

表－3.12　ユーロケミック工場で使用した除染剤

腐食性のないもの		備　　考
1. HNO_3	（2～10M）	
2. NaOH	（0.5～5M）	組合せて使用
3. $Na_2HC_6H_5O_7$		
4. 2.5％バントック硝酸塩＋0.5M－NaOH （lauryl-dimethyl-benzyl-anmonium-nitate）		5M－HNO_3で洗浄
わずかに腐食性のあるもの		
1. 酒石酸ナトリウム＋5M－NaOH		6M－HNO_3で洗浄
2. 0.1M－$KMnO_4$＋0.1M－NaOH		
3. 7％ $H_2C_2O_4$		組合せて使用
腐　食　性		使用時間は5時間以内
1. 3％NaF＋5M－HNO_3＋0.1M－$A\ell(NO_3)_3$		$A\ell(NO_3)_3$はF^-
2. 0.1M－$A\ell(NO_3)_3$		除去

表－3.13　ユーロケミック工場で使用した除染剤の除染能力の比較

	平均 DF/cycle						平均 DF/day						価格	除染時間	廃液貯蔵量
	3rd diss.	Extr. units	Pu unit	Solv. rec.	Acid rec. unit	Re-work unit	3rd diss.	Extr. units	Pu unit	Solv. rec.	Acid rec. unit	Re-work unit	BF/Ci	hr/iC	(1/Ci)
HNO_3/NaOH	5	1.3	1.3	2.1	—	5	1.5	1.05	1.05	1.1	—	1.1	25	0.12	10
$KMnO_4$/oxalic acid	—	—	1.1	1.7	1.1	1.1	—	—	1.05	1.3	1.02	1.1	340	1.85	
NaF/$A\ell(NO_3)_3$	—	1.2	—	1.7	1.1	1.4	—	1.2	—	1.2	1.05	1.2	170	0.48	76
Na tartrate/HNO_3	—	1.5	1.7	1.7	1.5	1.7	—	1.05	1.05	1.2	1.05	1.2	90	0.43	14

表－3.14　汚染元素の溶解条件

汚染元素	イオン状態	溶解条件			
		酸性	アルカリ性	酸化性	還元性
Ru	RuO_4^-, $HRuO_5^-$		○	○	
Fe	Fe^{2+}, Fe^{3+}	○		△	○
Cr	CrO_7^{2-}, CrO_4^{2-}	○	○	○	
Pu	PuO_2^{2-}, Pu^{4+}, Pu^{3+}	○		○	

表－3.15　東海再処理工場で使用実績のある除染剤

除染剤	組　　成	酸　性	アルカリ性	酸化性	還元性	キレート剤	備　　考
硝　　酸	HNO_3：1～6M	○		○			
水酸化ナトリウム	NaOH：1～2M		○				
A　P	NaOH：1～1.5M $KMnO_4$：20g/ℓ		○	○			Alkari-Permanganate
Turco 4502	KOH：180g/ℓ $KMnO_4$：48g/ℓ K_2CrO_4：12g/ℓ		○	○			通常Turco 4521と対で使用。 基本特性はAPと同等。
N　P	HNO_3：8M $KMnO_4$：20g/ℓ	○		○			Nitric acid-Permanganate
N　C (Redox除染)	HNO_3：2M $Ce(NO_3)_3$：0.8M	○		○			Nitric acid-Cerium
EDTA	EDTA・2Na：0.5～5%	○			○	○	
シュウ酸	$(COOH)_2$：0.5M	○			○	○	
Turco 4521	$(COONH_4)_2$：48g/ℓ $(COOH)_2$：9g/ℓ $C_6H_8O_7$：3g/ℓ				○	○	通常Turco 4502と対で使用。 基本特性はシュウ酸と似ている。

表－3.16　除染対象機器および除染頻度

除染担当課	対象機器	除染頻度
前処理課	濃縮ウラン溶解槽装荷セル	非定常
化学処理第一課	溶解槽	
化学処理第二課	酸回収蒸発缶	
保守課	回転機器，バルブ等	定常
分析課	試験セル，グローブボックス等	
技術課	分析セル，グローブボックス等	
減容技術開発室	不燃性雑固体廃棄物	

表－3.17　各課の除染方法

除染担当課	除染手順									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
前処理課	HNO_3	水洗	NaOH	水洗	HNO_3	水洗	AP	水洗	EDTA	水洗
化学処理第一課	HNO_3	水洗	NaOH	水洗	AP	水洗	NC	水洗	EDTA	水洗
化学処理第二課	AP	水洗	NP	水洗	EDTA	水洗				
保守課	Turco 4502	水洗	Turco 4521	水洗						
減容技術開発室	NC	スプレー水洗	超音波水洗							

表－3.18　除染液の使用頻度および発生量

（単位　m^3／年）

除染剤	定常発生量				定常合計	非定常発生量			最大合計
	保守課	分析課	技術課	減容技術開発室		前処理課	化学処理第一課	化学処理第二課	
			1回／5年			67年度予定	1回／交換	1回／交換	
HNO_3	12(1M)		1.2(0.1M)		13.2	6 ＋ 6 (6M) (1M)	8(3M)		33.2
NaOH	12(1M)		1.2(0.1M)		13.2	10(1M)	4(1M)		27.2
H_3PO_4						10			10
AP		0.02			0.02	0.5	2.4	3.03	6.22
Turco 4502	12				12				12
NP								0.6	0.6
NC				3.06	3.06		2.4		5.46
EDTA		0.02			0.02	0.5	2.4	3.06	6.52
$(COOH)_2$		0.02			0.02				0.02
Turco 4521	12				12				12
	48	0.06	2.4	3.06	53.52	33	19.2	7.5	113.22

表－3.19　プロセス廃液の組成

成　　分	濃　　度
H^{+}	2.3 N
$NaNO_3$	0.086 g／ℓ
Fe^{3+}	0.47 g／ℓ
TBP	＜10 ppm
比　重	1.271
CF*	13

* Concentration Factor

表－3.20　除染廃液の発生量(1)

（単位：1年あたり）

		発生元組成				希釈水量（m³）			総量（m³）	減容処理施設における廃液組成濃度
		種類	濃度	発生量（m³）		水洗量	フラッシング量	合計		
前処理課	除染剤	HNO_3	6M	6	23	46	42	88	211	0.17 M
		$NaOH$	1M	10						0.05 M
		HNO_3	1M	6						0.03 M
		AP $NaOH$	1.5M	0.5						0.004M
		AP $KMnO_4$	20g/ℓ							0.05g/ℓ
		EDTA	5%	0.5						0.01 %
		H_3PO_4	40%	10(0.1%)*						0.005%
	プロセス廃液	H^+	2.3N	90		—	—	—		0.98 N
		$NaNO_3$	0.086g/ℓ							0.04g/ℓ
		Na_2CO_3	—							—
		Fe^{3+}	0.47g/ℓ							0.20g/ℓ
化学処理第一課	除染剤	HNO_3	3M	8	19.2	38.4	42	80.4	189.6	0.13 M
		$NaOH$	1M	4						0.02 M
		AP $NaOH$	1.5M	2.4						0.02 M
		AP $KMnO_4$	20g/ℓ							0.25g/ℓ
		NC HNO_3	2M	2.4						0.03 M
		NC $Ce(NO_3)_3$	0.8M							0.01 M
		EDTA	5%	2.4						0.06 %
	プロセス廃液	H^+	2.3N	90		—	—	—		1.10 N
		$NaNO_3$	0.086g/ℓ							0.04g/ℓ
		Na_2CO_3	—							—
		Fe^{3+}	0.47g/ℓ							0.22g/ℓ
化学処理第二課	除染剤	AP $NaOH$	1.5M	3.3	7.5	15	82.7	97.7	195.2	0.03 M
		AP $KMnO_4$	20g/ℓ							0.34g/ℓ
		NP HNO_3	8M	0.6						0.02 M
		NP $KMnO_4$	20g/ℓ							0.06g/ℓ
		EDTA	5%	3.6						0.09 %
	プロセス廃液	H^+	2.3N	90		—	—	—		1.06 N
		$NaNO_3$	0.086g/ℓ							0.04g/ℓ
		Na_2CO_3	—							—
		Fe^{3+}	0.47g/ℓ							0.22g/ℓ

＊H_3PO_4 は洗浄水により0.1％に稀釈され，10m³発生する。

表－3.21　除染廃液の発生量(2)

（単位：1年あたり）

発生元	発生元組成 名	種類	濃度	量（m³）	希釈水量（水洗）（m³）	総量（m³）	減容処理施設における廃液組成濃度
保守課	Turco 4502	KOH	180g/ℓ	12	24	72	30g/ℓ
		$KMnO_4$	48g/ℓ				8g/ℓ
		K_2CrO_4	12g/ℓ				2g/ℓ
	Turco 4521	$(COONH_4)_2$	48g/ℓ	12	24		8g/ℓ
		$(COOH)_2$	9g/ℓ				1.5g/ℓ
		$C_6H_8O_7$	3g/ℓ				0.5g/ℓ
減容技術開発室	NC (Redox)	HNO_3	2M	3.06 (0.51×6回)		404.56	0.02M
		$Ce(NO_3)_3$	0.8M				0.006M
	スプレー洗浄水				219 (0.6m³/日×365)		
	超音波洗浄水				182.5 (0.5m³/日×365)		

4. 除染廃液処理基礎試験

4.1 廃液収集方法の検討

4.1.1 組合せ収集方法の検討

(1) 廃液の分類と収集方法

第3章「前提条件の検討」で述べたように，再処理工場における廃棄物の汚染核種は多種多様であり，複数の除染液を使用せざるをえない。普通，これらの除染液の廃液は二つの組合わせで整理することができる。

- 酸性廃液
- アルカリ性廃液

- 酸化性廃液
- 還元性廃液

実際に東海再処理工場で発生する可能性のある除染廃液としては，図－3.7に示すように，

- 酸化性酸性廃液
- 酸性廃液
- 還元性酸性廃液（有機酸類）
- 酸化性アルカリ性廃液
- アルカリ性廃液

に区分できる。このうち混合しても反応しないということでまとめると，

分類1　酸化性酸性廃液，酸性廃液

分類2　酸化性アルカリ性廃液，アルカリ性廃液

分類3　還元性酸性廃液

に分類できる。

これらの除染廃液の収集方法としては，

- 分別収集
- 一部混合収集
- 一括混合収集

が考えられる。除染廃液の処理を考えると，分別収集が望ましい。一方，除染元から処理側への移送の点からは混合収集が容易である。

(2) 除染元から処理側への廃液移送方法

除染廃液を除染元から処理側へ廃液を移送する方法としては，配管移送と容器移送が考えられる。移送配管としては，既設配管か新設配管の利用にまとめられる。

- 既設配管移送
- 新設配管移送
- 容器移送

既設配管移送の場合は，移送は容易であるが，混合収集，特に一括混合収集にならざるをえない。新設配管移送は施設全体を新規に建設する場合には，成立するが，既設の再処理工場に除染廃液の移送配管を設置する事は困難である。腐食性で反応活性度の高い廃液のため既設の配管移送が不可能な場合は，特殊容器による容器移送にならざるをえないであろう。

(3) 除染廃液のオーステナイト系ステンレス鋼に対する腐食特性

東海再処理工場で使用されている配管材料は，Fe，Ni，Cr を主成分とするオーステナイト系ステンレス鋼であり，この材料は硝酸，水酸化ナトリウムによる腐食は，ほとんど問題とはならない。このため，再処理工場では硝酸，水酸化ナトリウムの除染廃液は，既設配管を用いて廃液処理設備へ排出している。

しかしながら，強酸化性の除染剤は条件によりオーステナイト系ステンレス鋼を腐食する。東海再処理工場で使用実績あるいは使用計画のある除染剤の中でこれに該当する可能性のある成分は，ＮＣ除染剤に含まれるCe^{4+}，ＡＰ，ＮＰ系除染剤に含まれるMn^{7+}，Turco 4502に含まれるCr^{6+}の３種類の酸化剤であろう。

オーステナイト系ステンレス鋼に対する沸騰硝酸（１２Ｎ）中での各種酸化還元系イオンの腐食への影響を図－4.1に示す。図において，縦軸は硝酸＋酸化還元系イオンに

よるステンレス鋼の腐食割合い横軸は各種酸化還元系イオンの酸化還元電位を示す。なお縦軸の腐食割合は，沸騰硝酸（１２Ｎ）中でのステンレス鋼の腐食量を１としている。この図からわかるようにCe^{4+}は約２０倍，Cr^{6+}は約４０倍硝酸よりも腐食量が多いが，Mn^{7+}は硝酸とほぼ同程度の腐食量を示している。従ってMnの腐食特性は，硝酸溶液とほぼ同等と見なすことができる。

以上のことから前処理課，化学処理第二課で使用されるＡＰ，ＮＰ除染液を除染廃液として既設の配管系を用いて排出することに対しては，特に問題はないと考えられる。

化学付理第一課で使われるＮＣ除染剤は，溶解槽の除染に対して使用される場合，以下に示す条件により

面積対除染液比：4.5 m^3／m^2

Ce^{4}＋濃度：0.4 M

約２時間で除染剤に含まれるCe^{4+}は，全てCe^{3+}になり，酸化力を失う。この除染液は，電解再生しないかぎりオーステナイト系ステンレス鋼に対する腐食性は全くなくなる。従って，廃液中にCe^{4+}が残留していないことを酸化還元滴定法により（検出限界以下）確認した後，ＮＣ除染廃液を既設の配管系を用いて排出することは，ほとんど問題はないと考えられる。

保守課で使用されるTurco系除染液は，Cr^{6+}の他にMn^{7+}が共存しており，その腐食特性は不明確である。従って，現状では既設の配管系を用いて排出することは避けるのが望ましいと考えられる。

4.1.2　混合試験

第4.1.1項除染廃液の収集方法で検討したように前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課に係わる除染廃液は，種類，量ともに多いため，作業効率の点から既設配管を用いた一括混合収集が望ましい。この場合，移送・混合過程での異常な反応や配管腐食の発生のないことの確認が必要となる。

そこで第3.2項の除染廃液の推定で求めた除染廃液の発生量および濃度を基に試薬を用いて混合試験を行い，上記除染担当課から発生する除染廃液の化学的・物理的性質を明らかにした。

以下にその結果を示す。

(1) 対象除染廃液

前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課から発生する除染廃液を以下に示す。

（発生量および濃度については表－3.20を参照）

① 前処理課

（硝酸，水酸化ナトリウム，リン酸，AP，EDTA）＋プロセス酸性廃液

② 化学処理第一課

（硝酸，水酸化ナトリウム，AP，NC，EDTA）＋プロセス酸性廃液

③ 化学処理第二課

（AP，NP，EDTA）＋プロセス酸性廃液

(2) 試験装置および試験条件

(i) 試験装置

図－4.2に混合試験装置を示す。また装置仕様を以下に示す。

① 混　合　槽：2ℓ三口セパラブルフラスコ（ガラス製）

② 冷　却　器：氷冷式（ガラス製）

③ 攪　拌　器：マグネチックスターラー

④ 供給ポンプ：ローラーポンプ

(ii) 試験条件

① 濃　　度：発生元での濃度（希釈なし）と減容処理施設で受入れ時の濃度（希釈あり）について試験を行った。

② 温　　度：室　温

(3) 試験項目

① 発熱量または温度上昇

② 除染廃液の性質（スラッジの発生量，PH，比重，電位[19] TOC）

③ ガスの発生量および定性

④ 混合状態（突沸，発泡）の観察

⑤ 溶解，不溶解生成物の種類および化学的性質

(4) 実験手順

① フラスコに除染剤を給液ポンプ（ローラーポンプ）にて前提条件の検討で得られた

結果をもとに，除染順序に従って既知量添加した。

② 除染剤添加後は，スターラにて緩かに撹拌し，混合した。

③ それと同時に，温度記録用レコーダを「ＯＮ」にして温度上昇を確認すると共に突沸や発泡の混合状態を観察した。→温度上昇，混合状態の観察

④ 混合によってガスの発生があれば収集装置にてガスを収集し，量およびガス検知管にてガスの定性を行う。→ガスの発生量，定性温度指示が一定値およびガス量に変動がないことを確認した時点で反応は終わったものとした。

⑤ 混合廃液を取り出し，液の比重，ＴＯＣを測定した。その液を，前もって秤量したニュクリポアーメンブレンフィルタ（ＮＰＭＦ）にてろ過し，残渣重量を測定した。→除染廃液の性質

⑥ ＮＰＭＦ上の残渣は，乾燥した後，Ｘ線回析した。→不溶解性生成物の種類

⑦ ろ液は，ＰＨ，電位を測定した。

なお，各分析方法を添付資料２に示す。

(5) 試験結果

(i) 前処理課

「希釈あり」（洗浄水含む）および「希釈なし」（洗浄水含まず）における試験結果を添付資料３に示す。

(a) 発熱量または温度上昇

硝酸と水酸化ナトリウムの中和熱と，ＡＰ廃液を混合した時にわずかに発熱した。

(b) 除染廃液の性質

混合後の廃液の性状を以下に示す。

	希釈なし	希釈あり
ＰＨ	1.2	1.6
比　重	1.05	1.03
電位（V）	0.81	0.63
ＴＯＣ（ppm）	11.6	34.2

なお，混合過程においてスラッジの発生はなかった。

(c) ガスの発生量および定性

ガスの発生はなかった。

(d) 混合状態（突沸，発泡）の観察

突沸，発泡はなかった。

(e) 溶解，不溶解生成物の種類および化学的性質

混合過程においてスラッジの発生はなかった。

(ii) 化学処理第一課

「希釈あり」および「希釈なし」における試験結果を添付資料３に示す。

(a) 発熱量または温度上昇

硝酸と水酸化ナトリウムおよびＥＤＴＡを添加した時に発熱した。ＥＤＴＡを添加した時の発熱は，ＮＣのもつ酸化力とＥＤＴＡの還元との反応熱と考えられる。このことは，前者（前処理課）の場合でもＡＰのもつ酸化で発熱があってもいいことになるが実験では発熱がみられないことからＮＣがＡＰに比べて強力な酸化剤であると考えられる。

(b) 除染廃液の性質

混合後の廃液の性状を以下に示す。

	希釈なし	希釈あり
ＰＨ	1.0	1.3
比　重	1.07	1.03
電位（V）	0.62	0.60
ＴＯＣ（ppm）	291	185

(c) ガスの発生量および定性

ＥＤＴＡ添加後ガスの発生がみられた。これは，ＮＣのもつ酸化力でＥＤＴＡが分解したためと考えられる。このことは，上記(a)で述べた如くＮＣがＡＰに比べて強力な酸化剤であるためと考えられる。また，この時のガスの発生量はＥＤＴＡの濃度に比例していた。すなわち，図－4.3に示したように，除染元における除染剤量に対する発生量と減容処理施設におけるそれをプロットすると相関が得られたことによる。また，このガスはCO_2であった。

(d) 混合状態（突沸，発泡）の観察

突沸，発泡はなかった。

(e) 溶解，不溶解生成物の種類および化学的性質

混合過程においてスラッジの発生はなかった。

(iii) 化学処理第二課

「希釈あり」および「希釈なし」における試験結果を添付資料３に示す。

(a) 発熱量または温度上昇

ＡＰとＮＰに含まれている硝酸と水酸化ナトリウムの中和熱およびＥＤＴＡの添加による分解熱が発生した。

(b) 除染廃液の性質

混合後の廃液の性状を以下に示す。

	希釈なし	希釈あり
ＰＨ	1.2	1.4
比　重	1.07	1.03
電位（V）	0.62	0.60
ＴＯＣ（ppm）	395	382

(c) ガスの発生量および定性

ガスの発生はなかった。

(d) 混合状態（突沸，発泡）の観察

突沸，発泡はなかった。

(e) 溶解，不溶解生成物の種類および化学的性質

混合過程においてスラッジの発生はなかった。

(6) 混合試験結果の評価

混合試験結果から，前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課いずれもＰＨが約1.0と低く強酸であり，また，電位がプロセス廃液（＋0.43Ｖ）と比較して高い傾向を示しているので，乾燥機で乾燥処理するには沸騰領域状態で乾燥することから材料の腐食の面で薄膜乾燥機の供給液として不可である。このため何等かの廃液処理が必要である。

その処理方法としては，ＰＨを上げることが考えられる。ＰＨを上げることは電位が低下することも予想され，さらにこれより電位を下げる必要のある場合は還元処理など電位を下げる対策が必要と考えられる。

4.2　廃液処理方法の検討

4.2.1　処理方法の調査および抽出

(1)　一括混合収集した廃液の処理方法

混合試験で述べたように，最終段階の混合廃液はすべて酸性廃液である。このためこの混合廃液を直接乾燥機で処理することは沸騰領域で乾燥することから乾燥機本体の材料腐食の面で処理できない。薄膜乾燥機側から要求される供給液のＰＨは，９～１１のアルカリが望まれ，ＰＨをこの範囲に上げるためにはあらかじめ中和処理が必要である。中和に際しては再処理工場のプロセスで使用されている水酸化ナトリウムが有望と考えられる。また，電位を下げる方法としてこの場合は，ＰＨを上げること，および還元処理を行い電位を下げることが考えられる。ＰＨを上げることは上記に述べたが，還元処理方法としては，

①　Fe イオンの添加

②　H_2O_2 や有機酸等の添加

③　電解還元処理

が考えられる。

このうち①に関しては，添加に伴って二次廃棄物の増大，③は，処理対象物の濃度が高くないと効率が悪い，などの短所がある。それに比較して②は，添加剤自体分解し，かつ安価であり，この方法が有望と考えられる。

(2)　Turco系除染廃液の処理方法

Turco 系除染廃液はTurco４５０２とTurco４５２１ を組合せて使用されることから処理においても組合せて行う。処理方法は，Turco４５０２とTurco ４５２１ を混合させその後，ホルマリンを添加することでなしとげられる。これは従来欧米で行われている方法である。さらにこの廃液はTurco４５０２の量が Turco４５２１に比べると多いためアルカリ性を示す事が予想され，ＰＨが１１を越えるようであれば薄膜乾燥機側の要求であるＰＨ９～１１に調整する。このときのＰＨ調整に使用する薬品は再処理工場のプロセスで使用されている硝酸がよいと考えられる。

(3)　Redox(ＮＣ)除染廃液の処理方法

ＮＣ除染廃液に含まれる Ce^{4+} は強力な酸化剤であるため，乾燥処理する前に安定な Ce^{3+} に還元処理しなければならない。還元処理としては以下に示すＣｅ，

$$Ce^{4+} + e^- \rightarrow Ce^{3+} + 1.61\,V$$

の酸化還元電位よりも高い電圧を電極に印加して陰極側で還元するか，それよりも低い酸化還元電位をもった成分を添加して還元反応を生起させる方法がある。これらの方法をまとめた結果を表－4.1に示す。還元剤としてはFe^{3+}等の無機還元剤とH_2O_2，有機酸等の自己分解還元剤がある。しかし無機還元剤は，還元剤自身が廃棄物として残留する欠点があり，一方自己分解還元剤は，酸化されると酸素または炭酸ガスを発生して水に分解するため還元剤自身が廃棄物として残留しない長所を持っている。

電解還元法は，廃棄物の増加は無いものの電流効率面から１００％の還元反応は，不可能と考えられる。

表－4.2に上記観点から選定した還元剤の性質を示す。当量点での平衡定数は，以下の式に従って求めた。

$$1\,nK = \frac{nF(E1-E2)}{RT}$$

K：　平衡定数

n：　反応電子数

R：　8.314J／mol・k

F：　96487 coulomb／mol

T：　298.15k

E1：　Ceの標準酸化還元電位

E2：　還元剤の標準酸化還元電位

平衡定数からこれら還元剤によるCe^{4+}の還元反応は，完全に進むものと考えられる。

従って還元処理としては，還元剤の添加と電解還元法について評価，検討を行うものとする。

4.2.2　処理試験

上記の処理方法の調査および抽出で述べた方法について処理試験を実施した。

(1) 混合試験から必要とされる前処理

混合試験の結果より，前処理課，化学処理第一課および化学処理第二課担当の除染廃液に関しては，中和処理を施してＰＨ９～１１に調整した。また，中和処理を終了した段階で酸化還元電位は，プロセス廃液の電位（＋0.43Ｖ）よりも十分に低かったので還元処理は実施しなかった。

(2) 分別収集から必要とされる前処理

(i) 保守課

保守担当除染廃液のTurco４５０２，Turco４５２１を用いる除染は，それぞれ単独で行うことはまれであるため，これらの処理に関しては混合して前処理を行った。除染廃液の濃度は，3.2.5項の表－3.２１の通りである。

(ii) 減容技術開発室

ＮＣに含まれるCe^{4+}は強力な酸化剤であり，乾燥処理する前に還元処理し，安定なCe^{3+}に変えた。還元処理としては，還元剤の添加，電解還元について検討した。さらに還元処理後，中和処理を施したＰＨ９～１１に調整した。除染廃液の濃度は，3.2.5項の表－3.２１の通りである。

(3) 試験結果

(i) 一括混合収集

結果を表－4.3，表－4.4，表－4.5に示す。

表より明らかなように，いずれの場合においても中和処理だけでＰＨを下げかつ電位も下がっていることを確認した。これにより，混合廃液は，中和処理のみで薄膜乾燥機に供給できることを確認した。また，これら中和時にそれぞれスラッジの発生があった。（写－4.2参照） 以下にこのスラッジを含む混合廃液の性状について述べる。

(a) 前処理課

このスラッジは，沈澱性にとんだ褐色の沈澱物であった。この沈澱物を含む溶液をろ過し，溶解性物質（ろ液側），不溶解性物質（残渣側）のＸ線回析を行った。図－4.4に本廃液の溶解性物質および不溶解物質のＸ線回析結果を示す。さらに図中に硝酸ナトリウム試薬より得た回析パターン[20) 21) 22)]も示した。

図より試薬の回析パターンと溶解性物質のそれは，完全に一致することがわかる。またＡＳＴＭカードによれば溶解性物質の回析パターンは，（１１３）面からの反

射が最も強い典型的な硝酸ナトリウム型結晶構造によるものであることがわかる。従って本廃液の溶解性物質は硝酸ナトリウムから成ると考えられる。一方不溶解生成物質については，結晶面からの反射を示す明確なピークが見られないこと，また２θ＝２０°付近にブロードな反射が見られる事から，結晶面が存在しない，すなわち非結晶構造となっていることがわかる。従って不溶解性物質は，非結晶物であると考えられる。また，これらは原子吸光法による組成を確認したところFe の主成分とした結晶物であった。

(b) 化学処理第一課

中和時にスラッジの発生があった。このスラッジは，沈降性にとんだ茶色の沈澱物であった。この沈澱物を含む溶液についてろ過し，溶解性物質，不溶解性物質のＸ線回析を行った。結果を図－4.5に示す。溶解性物質のピークは，Alphabetical Index で調査したところ，硝酸ソーダであることを確認した。

一方，不溶解性物質の回折線は図に示した如く，ブロードなピークであり，顕著な回折線のないことから非結晶質であると考えられる。また，この金属イオン組成は，Fe およびMn で占められていた。

(c) 化学処理第二課

中和するとスラッジの発生があった。このスラッジは，沈降性に富んだ褐色の沈澱物であった。この沈澱物を含む溶液についてもろ過し溶解性物質，不溶解性のＸ線回折を行った。結果を図－4.6に示す。この結果，溶解性のものは，硝酸ソーダであることを確認したが不溶解のものは，ピークがなく，ほとんどが非結晶質になっているものと考えられる。

(ii) 分別収集

(a) 保守課

保守課担当除染廃液の Turco４５０２と Turco４５２１ を混合した混合廃液は，酸化還元電位がプロセス廃液より高く，ＰＨが１３であり薄膜乾燥で処理するには高かった。これにより，酸化力を弱めるために還元性のホルマリンを添加し，さらに，ＰＨを下げるために硝酸を添加するという前処理を行った。結果を表－4.6に示す。表よりホルマリンによって電位は低下し，かつ硝酸によってＰＨが下がり乾燥機に供給できる廃液になった。以下に混合状態および廃液の性状について示す。

① 発熱量または温度上昇

保守課担当除染液のTurco 4502に含まれている水酸化カリウムと，Turco 4521に含まれているシュウ酸，クエン酸の反応熱が発生し，かつホルマリンの添加時において発熱した。

② 除染廃液の性質

発生元でのTurco 4502とTurco4521の混合溶液（希釈なし）と減容処理施設で受入れ時のTurco 4502とTurco 4521の混合溶液（希釈あり），およびホルマリンを添加して還元処理した後の性状を以下に示す。

	希釈なし	分解後	希釈あり	分解後
PH	13.4	13.3	12.6	12.5
比重	1.07	1.09	1.03	1.03
電位（V）	0.62	−0.13	0.36	−5.07
TOC（ppm）	4100	3900	2100	1700

③ ガスの発生量および定性

ガスの発生はなかった。

④ 混合状態（突沸，発泡）の観察

突沸はないが，若干の発泡がみられた。これは，保守課担当除染廃液のTurco 4521自体が比較的発泡する除染廃液であり，この影響とみられる。

⑤ 溶解，不溶解生成物の種類および化学的性質

混合過程において，スラッジの発生はなかったが，中和するとスラッジの発生があった。このときに生成したスラッジの沈降状態を写－4.3に示す。写真に示す如く，このスラッジは沈降性にとんだ黒褐色の沈澱物であった。また，沈降後の上澄液は黄色を呈し，保守課担当除染廃液の組成を考えるとCrがろ液に存在 しているものと考える。

この沈澱物を含む溶液についてもろ過し溶解性物質，不溶解性物質のX線回折を行った。結果を図－4.7に示す。この結果，溶解性物質は，硝酸カリウムであった。このことは，Turco 4502の主成分である水酸化カリウムと中和処理に用い

た硝酸から生成するものと考えられる。一方，不溶解のものは，ピークがなかった。これは，Mnが非晶質になっているものと考えられる。

以上の結果より，保守課担当除染廃液はTurco 4502とTurco 4521 を混合した後，ホルマリンを添加し，中和処理を行えば薄膜乾燥機に供給できることを確認した。

(b) 減容技術開発室

4.2.1項の(3)で検討した処理方法（表－4.1）について，その適用性を評価するため還元試験を行った。以下にその試験結果を示す。

(イ) 試験条件

① 還元剤の添加

還元剤の濃度は2次廃棄物量を少なくするために当量での試験を原則としたが，反応速度が遅い場合は，2倍当量についても試験を行った。

温度は，操作を容易にするために室温での試験を原則としたが，反応速度が遅い場合は50℃の温度についても試験を行った。

② 電解還元

電解還元用電極は，Ce^{4+} 生成電解に使われている白金を陽極と陰極に使用した。陰極と陽極の面積および電流密度は直流電源容量（35V－50A），試験規模（1ℓビーカー）と還元反応速度を考慮し，陰極：25㎠，陽極：0.25㎠，電流密度0.1A／㎠で試験を行った。

③ 中和処理

Redox 除染液は，強酸であるため中和処理しないと乾燥機で処理することができない。そこでNaOHで中和処理を行った。

(ロ) 還元処理

① 還元剤の添加

還元剤を添加して還元処理を行った結果を表－4.7に従って以下に示す。

○ Fe^{2+}

当量，室温で還元反応は1分以内で終了した。また発熱，発泡はほとんど観察されなかった。

○ H_2O_2

2倍当量，室温で還元反応は1分以内で終了した。また，発熱，発泡はほとんど観察されなかった。

○ HCOH

2倍当量で温度50℃の時，約1時間で還元反応は終了した。また，発熱，発泡はほとんど観察されなかった。

○ HCOOH

2倍当量，温度50℃の場合でも還元反応はほとんど認められなかった。また，発熱，発泡もほとんど観察されなかった。

② 電解還元法

○ 電解還元試験装置

電解還元試験装置の概略図を図－4.8に示す。陰極と陽極の対面以外は絶縁ペンキでマスキンした。電極の間には，直流電源により電圧を加えその値を記録計に記録した。また電流は，シャントを介して記録計に記録した。

○ 電解還元試験結果

発生元の濃度（Ce^{4+}濃度0.4mol/ℓ）で試験を行った結果を図－4.9に示す。Ce^{4+}濃度は3時間以上電解しても0.16 mol／ℓ 以下には還元されず，ほぼ飽和する傾向が得られた。この結果より，Redox除染液が水洗水より希釈された濃度（Ce^{4+}濃度 0.003 mol／ℓ）はほとんど還元されないものと考えられる。

③ 中和処理

還元処理した後のRedox除染廃液は，酸性溶液であるため中和処理しないと乾燥機で処理することができない。NaOHで中和処理した後のPH，電位を以下に示す。

	中和前	中和後
PH	3.18	11.39
比重	1.00	1.00
電位（V）	0.44	－0.067
TOC（ppm）	－	－

ＰＨ 11.39 に中和処理すると褐色のスラッジが発生した。ろ液の電位もさらに低くなり安定化した。

このスラッジとろ液をＸ線回析した結果を図－4.10に示す。ろ液側には$NaNO_3$のピークの他に同定できないピークが検出された。このピークは，沈澱されずに残ったＣｅが単純な酸化物や水酸化物でなく複雑に化学結合をしたのと考えられる。

一方スラッジからは，結晶面からの反射を示す明確なピークは検出されなかった。このスラッジは，非晶質構造のＣｅの酸化物または水酸化物であると考えられる。

④ 評　価

還元剤の添加および電解還元法の試験結果の評価を表－4.8に示す。還元処理としては，Ce^{4+}を完全に還元し，また還元剤自身が乾燥器本体に腐食をおよぼさない方法が最適である。したがって還元反応が速く，当量以上添加しても中和処理時に分解されるH_2O_2がCe^{4+}の還元処理に最適である。

また，還元処理した後の溶液はＮａＯＨにより中和処理できることを確認した。

4.3 乾燥処理適応性評価

4.2.2項で確認した処理方法に従い，調整した模擬除染廃液を用いて，乾燥処理への適応性評価試験を行った。

特に対象廃棄物が酸化性の高い硝酸根を多量に含む廃液であるので，乾燥処理中の急激な発熱による危険性の有無を示差熱分析により確認した。また，検討対象の各廃液が正常に乾燥処理されるか判断するために小型乾燥機による乾燥試験を行った。

4.3.1 熱　分　析

処理対象物の乾燥処理中における急激な発熱の有無を確認するために，各廃液乾燥粉体の示差熱，熱重量変化分析を行った。乾燥機は～１８０℃の飽和蒸気で加熱されるので，２００℃以下に大きな発熱ピークとそれに伴う熱重量変化がなければ，乾燥機内での発火等の異常は生じないと結論でき，乾燥処理は可能と判断した。

使用した試験装置，実験条件は以下の通りである。

(1) 試験装置仕様

写－4.4に熱重量，示差熱測定器を示す。

装置名	TGD－5000RH （ULVAC製）
測定温度範囲	室温～１４００℃
試料大きさ	8φ×10㎜（セルの最大内径）
加重範囲	3g（セル含む）

(2) 測定条件

試料重量	約２０～５０mg
雰囲気	① 空気中
	② 窒素ガス中
ガス流量	２５０mℓ／min
昇温速度	１０℃／min
最高測定温度	６００℃
温度比較試料	$A\ell_2O_3$

(3) 測定項目

① 示差熱分解

② 熱重量測定

(4) 対象粉体

以下に示す除染廃液発生元の廃液処理後のろ液粉体およびスラッジについて行った。

① 前処理課

② 化学処理第一課

③ 化学処理第二課

④ 保守課

⑤ 減容技術開発室

(5) 結　　果

前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課，保守課，減容技術開発室，いずれについても，示差熱測定特有の大きな示差熱測定値のうねりは見られるものの，２００℃以下での急激な発熱ピークは見られなかった。

熱重量分析においても不溶解残渣には１００℃～２００℃ぐらいにおいて脱水と考えられる緩かな重量現象は見られたが，急激な重量変化はなく，乾燥処理中の異常はないと判断された。

以上より，今回検討した廃液は，いずれも熱重量，示差熱分析結果による検討では問題なく乾燥可能と判断できる。

表－4.9に加熱温度範囲中における熱的変化状態の発生有無の結果をまとめる。

なお，示差熱測定結果を添付資料４に示す。

4.3.2　乾燥試験

除染廃液の乾燥機による乾燥処理適応性を確認するために，小規模乾燥機（可視型）を使用して，粉体の生成状態，スケーリング状態を観察し，十分に乾燥処理できることを確認する。

(1) 試験装置概要

図－4.１１に試験装置の概要を示す。

乾燥処理は，廃液受タンクから，給液ポンプ（ローラポンプ）で乾燥機上部シャフト部より分散環を経て均一に伝熱面に供給され乾燥処理される。乾燥蒸発水は粉体生成状態，

乾燥機の内部状態の観察を乾燥機上部から行うため，粉体出口側の排気口から排気ブロアーで排気される。

乾燥機には加熱部の伝熱面に熱電対を取付け，乾燥処理状態を把握できる構造になっている。また，乾燥処理時のブレード掻き取り負荷を確認するため，ブレード取付けシャフトにトルク計が取付けてある。

粉体生成状態，乾燥機の内部状態の観察は，乾燥機上部に設置したストロボ発信機とブレードシャフト軸の回転数とを同期させ，乾燥機内部にストロボ光を発光し，ブレードの回転を停止状態にして行う。また，乾燥処理中の内部状態の記録は，乾燥機上部に設置したビデオカメラで録画する。録画中の画像には画像合成処理装置を介して伝熱面温度測定値およびトルク値の変化状態を表示させ，これをビデオモニターおよびビデオレコーダに記録する。さらにハードコピー器を使用して合成した画像を記録紙に取りだし状態変化の詳細な検討ができる。

(2) 乾燥機仕様

装置名	堅型薄膜乾燥機（可視型）
	（図－4.12，　写－4.5　参照）
伝熱面積	0.16m²
寸　法	φ210×H730
加熱方法	飽和加熱蒸気
回転数	120～1800rpm

(3) 試験条件

加熱蒸気温度	～175℃
ブレード回転数	～1300rpm
流　量	～10ℓ/hr
PH	9～11

(4) 測定項目

(i) 粉体の生成状態の観察

① 伝熱面温度分布状態

② 内部状態の記録（ビデオ録画およびハードコピー処理）

③ 乾燥粉体の粉体化確認

(ii) スケーリング状態の観察

① 伝熱面温度分布状態

② シャフト駆動トルク

③ 内部状態の確認，記録（ビデオ録画およびハードコピー処理）

(5) 対象廃液

前項より乾燥処理可能と評価された除染廃液処理方法に従って調整された廃液について乾燥処理試験を行う。また，廃液発生元の前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課の混合廃液は廃液組成の主成分が混合試験結果から硝酸ナトリウムであるので，これと比較するための試験として硝酸ナトリウムのみの廃液について乾燥試験運転を行った。

(6) 除染廃液作成手順

(i) 前処理課

① HNO_3 水溶液（6 mol） 568.7 mℓを容器に投入

↓

② H_2O 1137.4 mℓを投入

↓

③ NaOH 水溶液（1 mol） 947.9 mℓを投入

↓

④ H_2O 1895.7 mℓを投入

↓

⑤ HNO_3 水溶液（1 mol） 568.7 mℓを投入

↓

⑥ H_2O 1137.4 mℓを投入

↓

⑦ AP〔組成：NaOH（1.5 mol），$KMnO_4$（20 g／ℓ）〕
47.4 mℓを投入

↓

⑧ H_2O 94.8 mℓを投入

↓

⑨ EDTA 水溶液（5％） 47.4 mℓを投入

↓

⑩ H_2O　９４.８ mℓを投入

↓

⑪ H_3PO_4 水溶液（０.１％）　９４７.９ mℓを投入

↓

⑫ H_2O　３９８１mℓを投入

↓

⑬ プロセス廃液〔組成：HNO_3（2.3N），$NaNO_3$（0.086g／ℓ），$Fe(NO_3)_3$（0.47g／ℓ）〕８５３１mℓを投入

↓

⑭ NaOH　６００ｇを投入してＰＨ調整

↓（約ＰＨ１１に微調整）

⑮ 乾燥処理

(ii) 化学処理第一課

① HNO_3 水溶液（３mol）　８４３.９mℓを容器に投入

↓

② H_2O　１６８７.８mℓを投入

↓

③ NaOH水溶液（１mol）　４２１.９ mℓを投入

↓

④ H_2O　８４３.９mℓを投入

↓

⑤ AP　２５３.２mℓを投入

↓

⑥ H_2O　５０６.３mℓを投入

↓

⑦ NC〔組成：HNO_3（２mol），$Ce(NO_3)_3$（0.8 mol）〕２５３.２ mℓを投入

↓

⑧　H_2O　506.3mℓを投入

↓

⑨　EDTA水溶液（5％）　253.2mℓ　を投入

↓

⑩　H_2O　4936.3mℓを投入

↓

⑪　プロセス廃液　9494mℓを投入

↓

⑫　NaOH　589.8gを投入して約PH11に調整

↓

⑬　乾燥処理

(iii)　化学処理第二課

①　AP　338.1mℓを容器に投入

↓

②　H_2O　676.3mℓを投入

↓

③　NP〔組成：HNO_3（8mol），$KMnO_4$（20g／ℓ）〕
61.5mℓを投入

↓

④　H_2O　123.0mℓを投入

↓

⑤　EDTA水溶液（5％）　368.9mℓを投入

↓

⑥　H_2O　9211.0mℓを投入

↓

⑦　プロセス廃液　9221.4mℓを投入

↓

⑧　NaOH　500gを投入して約PH11に調整

↓

⑨　乾燥処理

(Ⅳ) 保 守 課

① Turco 4502〔組成：KOH（180g／ℓ），$KMnO_4$（48g／ℓ），K_2CrO_4（12g／ℓ）〕 760.0gを容器中のH_2O 5.0ℓに投入

↓

② H_2Oを投入して 9.5ℓに容量調整

↓

③ Turco 4521〔組成：$(COONH_4)_2$（48g／ℓ），$(COOH)_2$（9g／ℓ），$C_6H_8O_7$・その他（3g／ℓ）〕 190gを別容器中のH_2O 5.0ℓに投入

↓

④ H_2Oを投入して 9.5ℓに容量調整

↓

⑤ 上記Turco 4502水溶液とTurco 4521水溶液を混合

↓

⑥ ホルマリン 58.1mℓを投入

↓

⑦ HNO_3 500mℓを投入して約PH11に調整

↓

⑧ 乾燥処理

(Ⅴ) 減容技術開発室

① Redox液〔組成：HNO_3（2mol），$Ce(NO_3)_3$（0.8mol）〕 150mℓを容器に投入

↓

② H_2O 19.85ℓを投入

↓

③ H_2O_2（11.7mol／ℓ） 2.6mℓを投入

↓

④ NaOHを投入して約PH11に調整

↓

⑤ 乾燥処理

(7) 試験手順

① 前項の除染廃液作成手順に従い，既知量を混合して，廃液の調整を行う。廃液の混合は，試料調整および乾燥機に給液中もプロペラ型攪拌機で連続攪拌する。

② 乾燥機まわりの運転準備として，加熱蒸気を供給し，蒸気温度が１７５℃に達したら，ブレード回転数を約１３００rpmに合せる。その後，蒸発蒸気を排出する排出ブロアーを作動させる。

③ 測定系のスイッチを動作させ，乾燥機内部状態を観察できるようにビデオカメラを調整する。

④ ローラポンプを動かし流量を１０ℓ／ｈｒ に調整し，乾燥機へ廃液を供給する。

⑤ 乾燥処理中の粉体生成状態の確認を測定項目に従い行う。

⑥ 乾燥処理中の伝熱面温度上昇，または，シャフト駆動トルク値の異常な上昇が見られたら，内部状態の確認，記録を行う。

⑦ 乾燥処理状態が安定したら，給液を停止する。

(8) 試験結果

乾燥試験用除染廃液分析結果を表－4.１０に示す。

各除染担当課ごとの除染廃液乾燥運転試験結果を以下に示す。

(i) 前処理課

図－4.１３に乾燥機内部状態の概要を示し，図－4.１４に乾燥処理中の内部状態を示す。写－4.6に乾燥終了時の状態を示す。

乾燥処理中の運転状態は正常に行われ，モータトルク値も設計基準値以下であった。ブレード前面の粉体滞留現象も発生せず，運転停止後行った伝熱面観察状態では伝熱面のスケール付着はほとんど見られなかった。以上の結果より前処理課の廃液は十分乾燥処理運転できることを確認した。

(ii) 化学処理第一課

図－4.１５に乾燥処理中の内部状態を示す。

写－4.7に乾燥終了時の状態を示す。

乾燥処理中の運転状態は正常に行われ，モータトルク値も設計基準値以下であった。ブレード前面の粉体滞留現象はないがスラリー領域でブレード前面に高粘度物の滞留が確認された。この滞留現象は成長することはなく逐次崩壊現象が発生して一定量の滞留

に止どまる。運転停止後行った伝熱面観察状態では伝熱面のスケール付着はほとんど見られなかった。以上の結果より化学処理第一課の廃液は十分乾燥処理運転できることを確認した。

(ii) 化学処理第二課

図－4.16に乾燥処理中の内部状態を示す。

写－4.8に乾燥終了時の状態を示す。

乾燥処理中の運転状態は正常に行われ，モータトルク値も設計基準値以下であった。ブレード前面の粉体滞留現象も発生せず，運転停止後行った伝熱面観察状態では伝熱面のスケール付着はほとんど見られなかった。以上の結果より化学処理第二課の廃液は十分乾燥処理運転できることを確認した。

(iv) 保 守 課

図－4.17に乾燥処理中の内部状態を示す。

写－4.9に乾燥終了時の状態を示す。

乾燥処理中の運転状態はモータトルク値が(i)～(iii)の結果と比較して高い値を示したが（図－4.21），モータトルク値は設計トルク基準値以下で運転されているので，正常な運転ができたと判断できる。乾燥処理中の乾燥機内部は，ブレード全面での粉体滞留現象は見られないが，スラリー領域において高粘度物による細長い帯状物が形成され，この帯状物は逐次崩壊されず長時間一定状態を保っていた。また，運転停止後行った伝熱面観察状態から多少のスケール付着が確認されたが，モータトルク値が設計基準値よりも低いので竪型薄膜乾燥機による乾燥処理運転は十分に行えることを確認した。

モータ負荷の加わる原因調査試験としてTurco 4502とTurco 4521 の各廃液ごとの乾燥処理試験を行った。それぞれの廃液調整はTurco 4502 ではホルマリン処理後硝酸でＰＨ調整をし，Turco 4521の処理では水酸化ナトリウムでＰＨ調整をした。図－4.18に試験結果を示す。この結果，Turco 4502 廃液性状がモータ負荷に影響を与えていることが判明した。

(v) 減容技術開発室

図－4.19に乾燥処理中の内部状態を示す。

写－4.10に乾燥処終了時の状態を示す。

乾燥処理中の運転状態は正常に行われ，モータトルク値も設計基準値以下であった。ブレード前面の粉体滞留現象も発生せず，運転停止後行った伝熱面観察状態で多少のスケール付着を確認した。以上の結果より減容技術開発室の廃液は十分乾燥処理できることを確認した。

(vi) 硝酸ナトリウム

図－4.20に乾燥処理中の内部状態を示す。

写－4.11に乾燥終了時の状態を示す。

乾燥処理中の運転状態はほとんど前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課と同様である。乾燥運転終了時のブレードへの粉体付着状態は硝酸ナトリウムのみの場合が一番多かったが，モータ負荷は設計基準値以下であり，十分に乾燥できることを確認した。

表－4.11に各廃液乾燥中の伝熱面温度変化状態を示す。全て同一傾向を示し伝熱面温度位置1および2の位置で水分の蒸発が行われていることがわかる。

(vii) 評　　価

図－4.21に各除染廃液の乾燥処理に必要とされるモータトルク値を示す。この結果，保守課のTurco 混合廃液が他の廃液に比較して一番モータ負荷が大きいことが判明した。

前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課，保守課，減容技術開発室から発生する除染廃液の処理方法は可視型薄膜乾燥機による乾燥処理適応性評価試験から乾燥処理に適応することを確認した。

4.4 腐食試験

基礎試験結果より各除染担当課から発生する除染剤は，中和処理を行うだけで電位が下がった。しかしながらこの電位だけでは材料腐食の評価が困難なためここではK.D.Efird[23]，H.P.Hack[24]等の方法を参考にして多重隙間腐食試験を行って評価した。

4.4.1 試験方法

この試験方法は図－4.22(b)に示すようなテフロン製隙間形成治具（図－4.22(c),(d)参照）を取り付けた試験片（図－4.22(a)参照）を所定の溶液内に浸漬させ，浸漬後，隙間腐食数や腐食深さ[25]，および重量の増減を測定することにより評価した。なお，浸漬時間の妥当性を添付資料5に示す。

4.4.2 試験装置

浸漬槽として，図－4.23および写－4.12に示したような容量2ℓのセパラブルフラスコを使用した。液温は沸騰領域で行った。フラスコ上部には貫流コンデンサーを取り付けて溶液の濃度を一定に保った。液量は試験片表面積1㎠当たり20mℓ以上とした。

4.4.3 試験片

試験片は図－4.22(a)に示したような30㎜×50㎜×2tの薄い板であり，テフロン製ボルトを通すための孔を中央に設けた。試験片は，SUS304およびSUS316Lの2種類であり，その表面は湿式エメリー紙600番で研磨し，試験実施前にアクセント中で5分間超音波洗浄したものを用いた。隙間部の数は一試料当たり24箇所（図－4.22(c)中の台形部），隙間部とその他表面との面積比は約1：24とした。なお，試験片を吊した状態を写－4.13に示す。

4.4.4 浸漬模擬液の調整

模擬液は前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課を対象として，以下に示す要領で混合した。中和処理ではPHを11に調整した。なお，各除染担当課から発生する除染廃液の組成を表－4.12に示す。

混合手順	前処理課	化学処理第一課	化学処理第二課
1	6M−HNO_3	3M−HNO_3	A P
2	水洗水	水洗水	水洗水
3	1M−NaOH	1M−NaOH	N P
4	水洗水	水洗水	水洗水
5	1M−HNO_3	A P	EDTA
6	水洗水	水洗水	水洗水
7	A P	N C	フラッシング水
8	水洗水	水洗水	プロセス廃液
9	EDTA	EDTA	中和処理
10	水洗水	水洗水	−
11	H_3PO_4	フラッシング水	−
12	フラッシング水	プロセス廃液	−
13	プロセス廃液	中和処理	−
14	中和処理	−	−

4.4.5　結果および考察

1033hr 浸漬した試験結果を表−4.13および写−4.14〜4.19に示す。表−4.13より，わかるように，前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課は共に隙間腐食はみられなかった。また，浸漬前後の重量変化は，前処理課，化学処理第一課では，重量が減少しておりその腐食率は0.01%程度であった。化学処理第二課については，浸漬後の重量が浸漬前に比べて増加していた。これは酸化被膜が形成しているとみられ腐食は抑制されているものと考えられる。また，SUS304とSUS316Lの相違はみられなかった。

一方，腐食は，全面腐食かそれに近い場合に重量変化速度（mg／cm²・hr）と，重量変化

では直感的な比較がしにくいために重量変化を密度で割って表す浸食度で比較する。表－4.１３の重量変化から重量変化速度，浸食度をもとめた結果を表－4.１４に示した。

浸食度をもとにして耐食性を評価する基準は現時点ではないが，多くの研究者の提案を総合すると以下に示す通りになる。

浸食度による耐食性の評価

耐食性の評価	浸食度
全く腐食しない	＜ 0.001
極めて完全な耐食性	＜ 0.01
完全な耐食性	＜ 0.1
十分な耐食性	＜ 0.3

表－4.１４と上記の表を比較すると，前処理課と化学処理第一課については，その浸食度は 10^{-3} mm／年以下であり，全く腐食しないとみなされる。また，化学処理第二課についても，酸化被膜により腐食しないと考えられる。

以上のことから，乾燥処理にあたって，各除染担当課から発生する除染廃液は，乾燥機材料に対してなんら問題のない廃液であると考えられる。

4.5 処理方法の評価および選定

(1) 前処理課

前処理課に係わる除染廃液は，除染手順に従って順次混合しても異常反応はなく，また配管の腐食についても特に問題はないことを確認した。従って，前処理課に係わる除染廃液は，既設の配管系を用いて廃液処理側に移送し，一括混合収集する。この場合，収集した除染廃液は酸性であり，その電位はプロセス廃液よりも若干高いため，薄膜乾燥機で乾燥する前に，水酸化ナトリウム水溶液でＰＨ７～１１に中和処理し，同時に酸化還元電位を下げる。中和処理によりスラッジが発生するが，このスラッジと溶液は，特に問題なく薄膜乾燥機で乾燥・粉体化できる。

選定した前処理課に係わる除染廃液処理フローを図－4.２４に示す。

(2) 化学処理第一課

前処理課に係わる除染廃液処理の場合と同様である。

選定した化学処理第一課に係わる除染廃液処理フローを図－4.２４に示す。

(3) 化学処理第二課

前処理課に係わる除染廃液処理の場合と同様である。

選定した化学処理第二課に係わる除染廃液処理フローを図－4.２４に示す。

(4) 保守課（Turco系除染廃液）

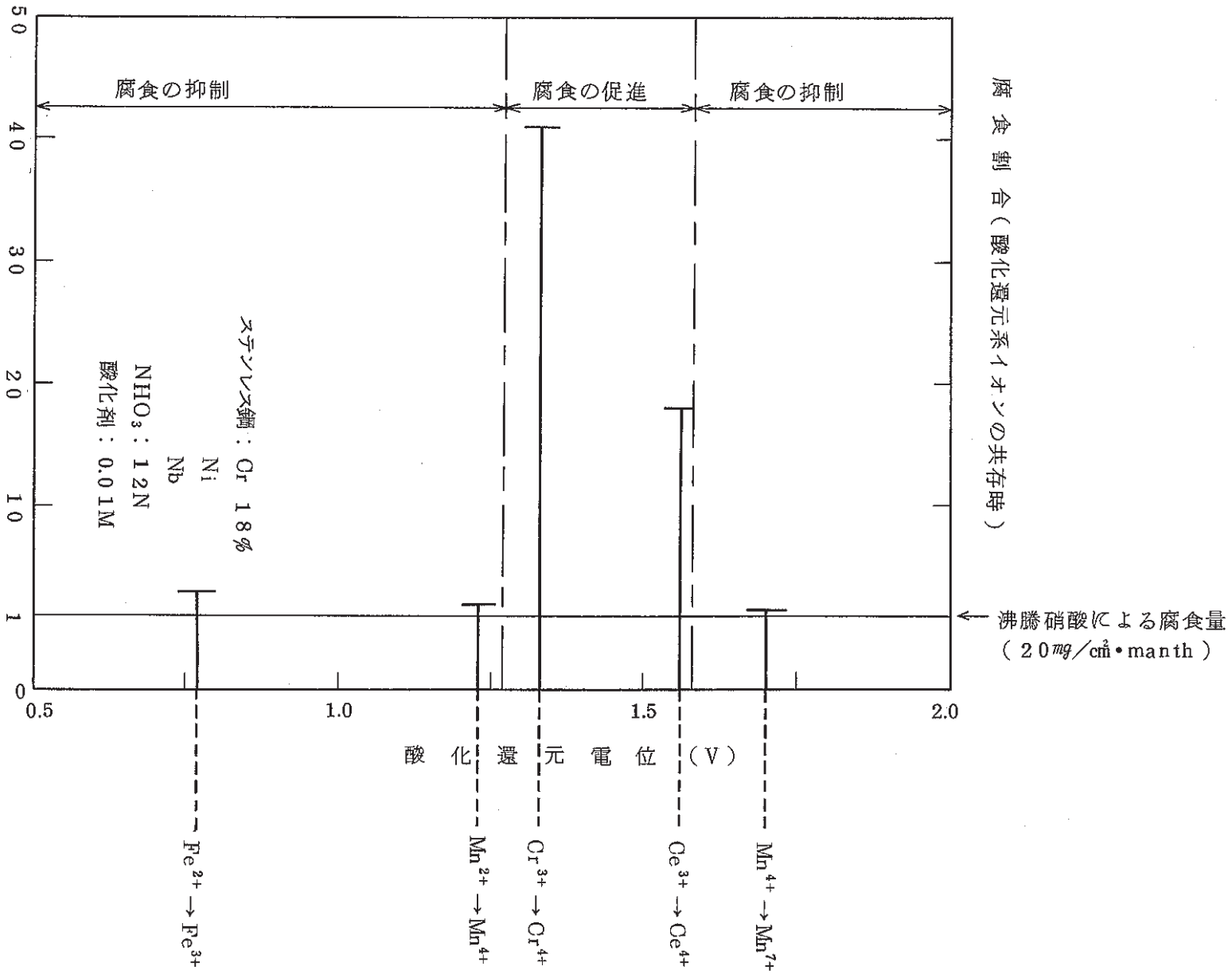
保守課で用いるTurco系除染液はTurco４５０２とTurco４５２１の２段階法で使われている。この液はそれぞれ酸化性アルカリ性除染液，還元性酸性除染液であるため両者混合し，さらにホルマリンを添加することにより分解・安定化することができた。この混合・安定化した溶液は高アルカリ性であるため，硝酸でＰＨ９～１１に調整する。中和処理によりスラッジが発生するが，このスラッジと溶液は特に問題なく薄膜乾燥機で乾燥・粉体化できる。

選定した保守課に係わる除染廃液処理フローを図－4.２５に示す。

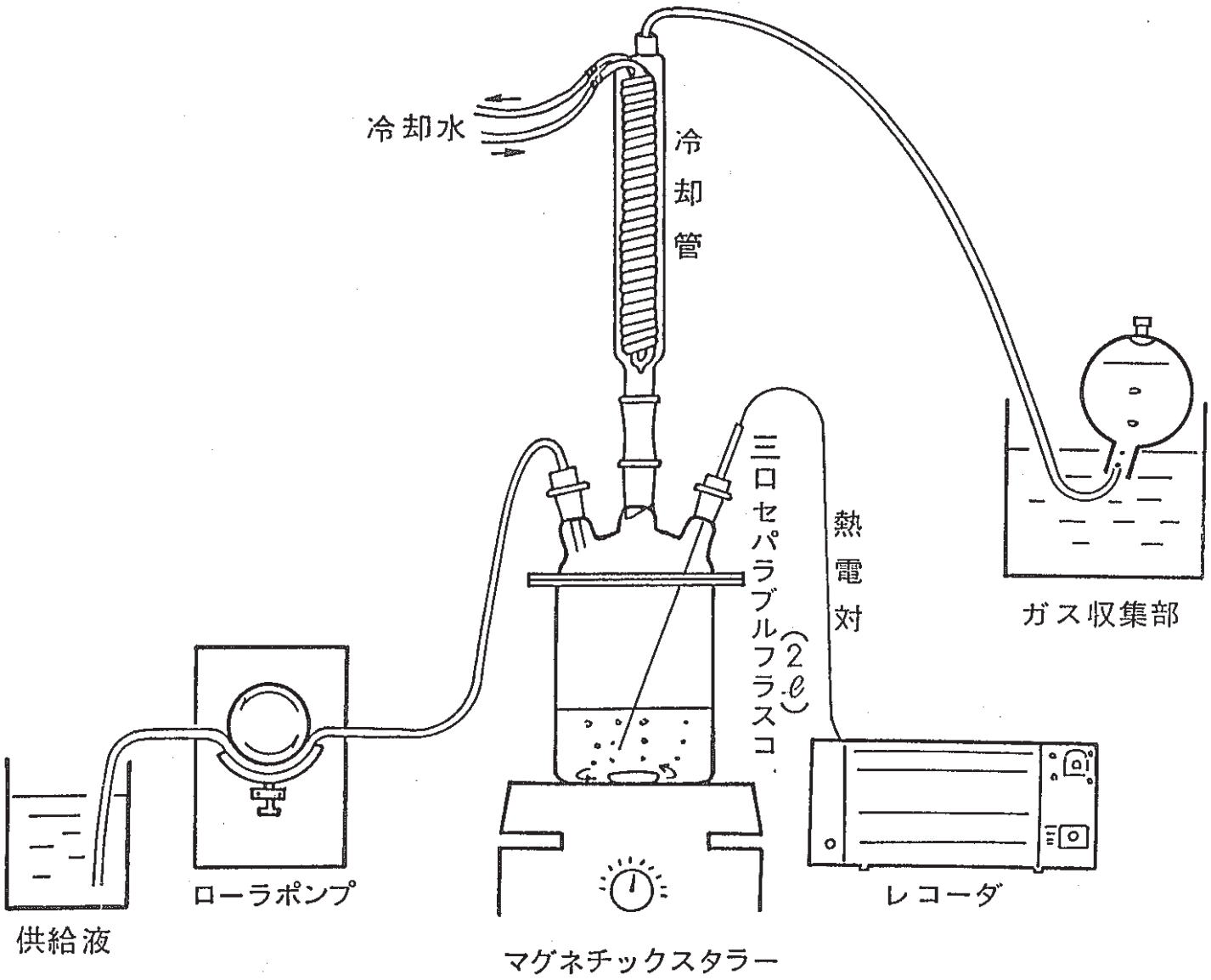
(5) 減容技術開発室（Redox除染廃液）

減容技術開発室で用いるRedox除染廃液には強酸化性のCe^{4+}が残っている，基礎試験の結果，過酸化水素で最も効率良く還元・安定化できることを確認した。処理後の溶液は酸性であるため，水酸化ナトリウム水溶液でＰＨ９～１１に中和処理する。この過程で残留過酸化水素は分解する。中和処理によりスラッジが発生するが，このスラッジと溶液は

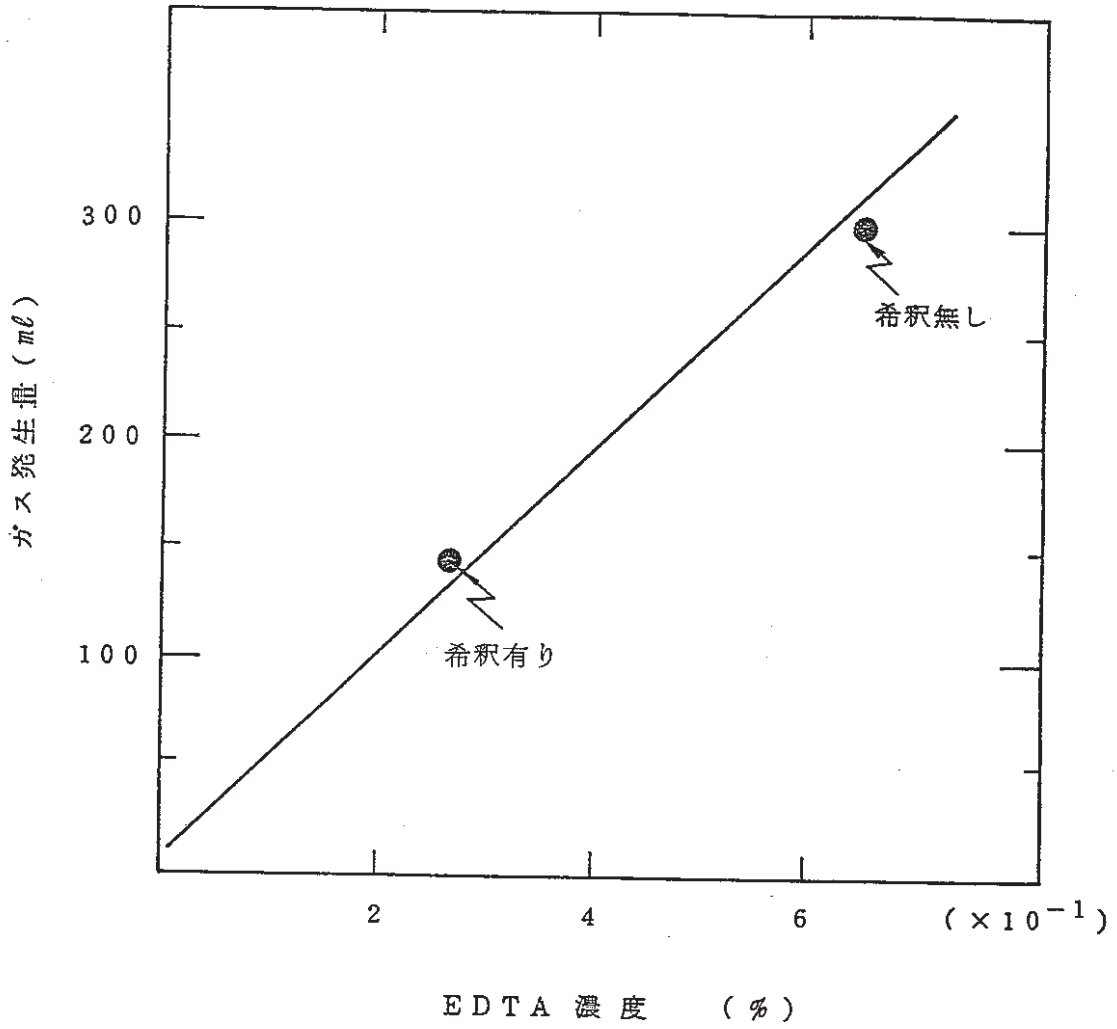
特に問題なく薄膜乾燥機で乾燥・粉体化できる。選定した減容処理施設に係わる除染廃液処理フローを図－4.26に示す。



図－4.1　ステンレス鋼に対する沸騰硝酸中での各種酸化還元系イオンの腐食への影響

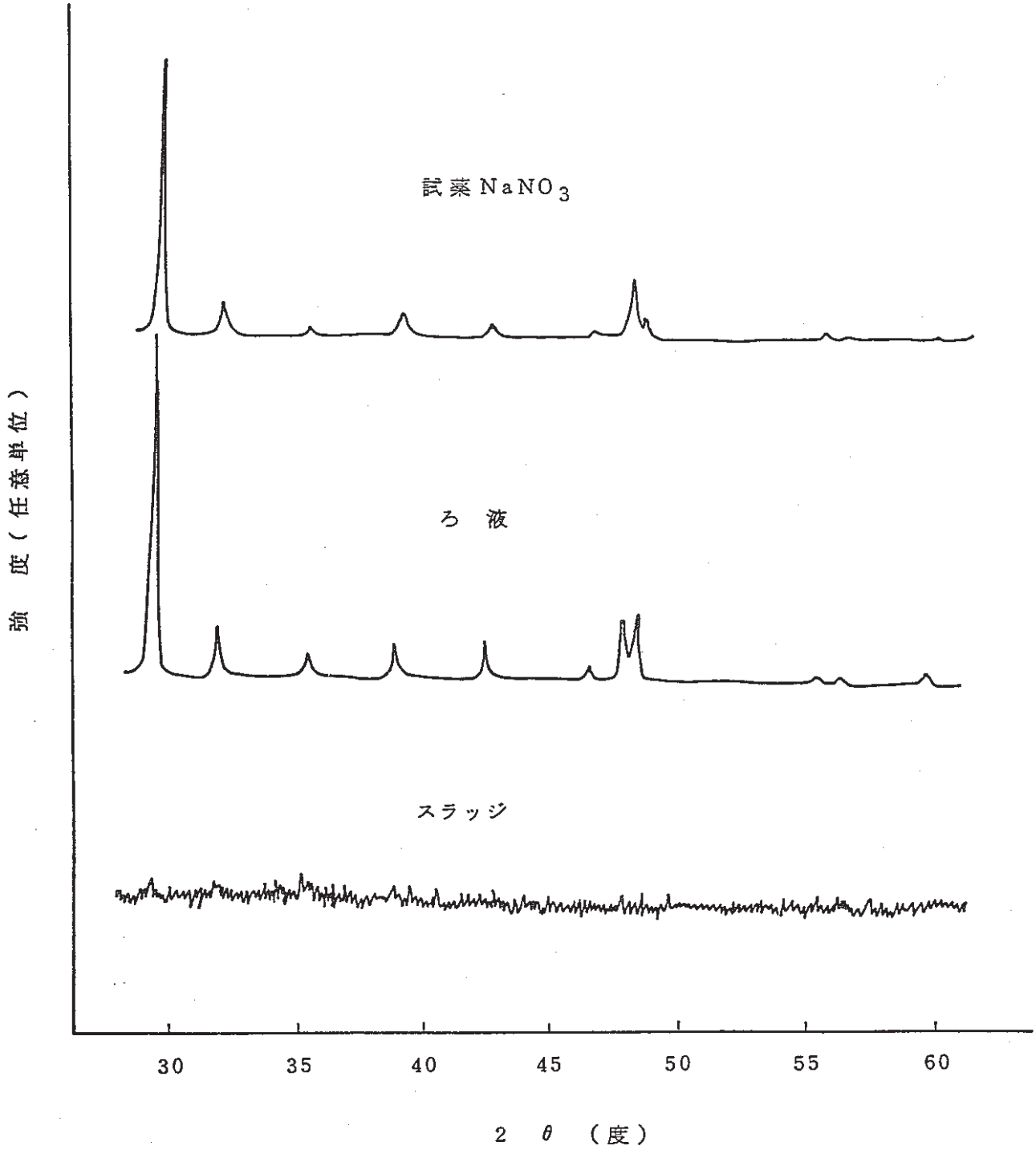

冷却水
冷却管
三口セパラブルフラスコ（2ℓ）
熱電対
ガス収集部
ローラポンプ
供給液
マグネチックスタラー
レコーダ

図－4.2　混合試験装置

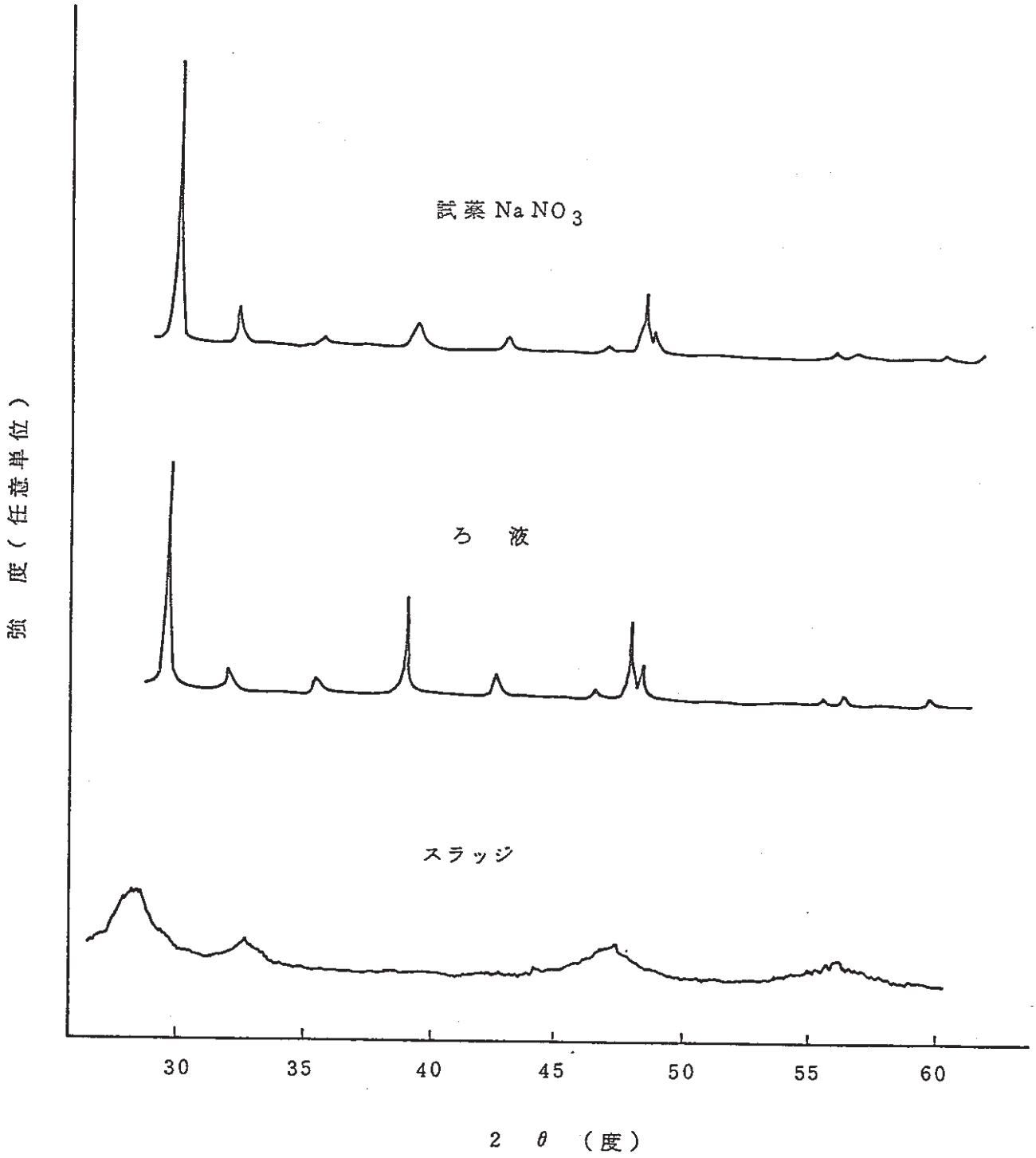


図－4.3　EDTA量とガス発生量の関係

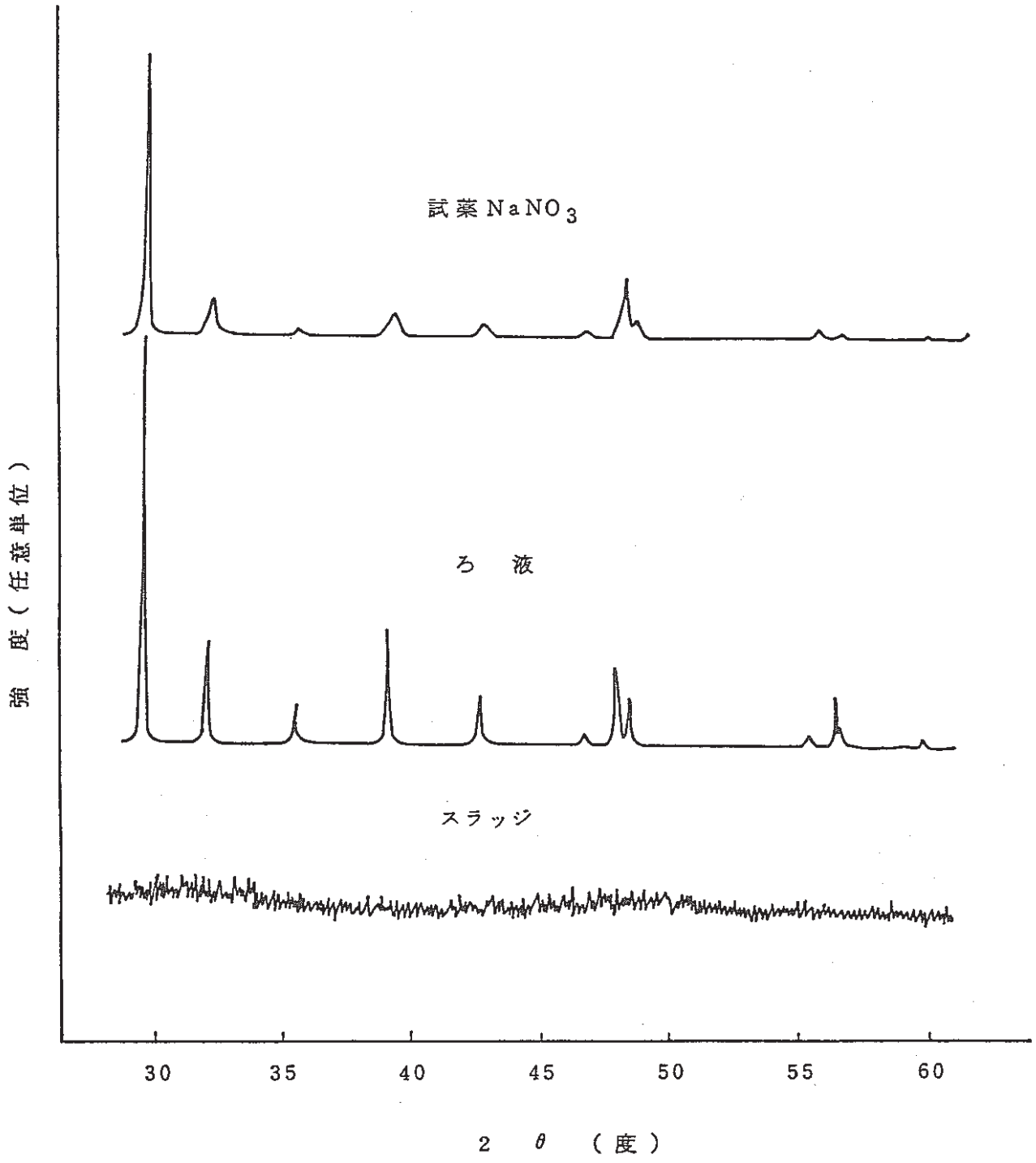
希釈無し：発生元での除染廃液濃度
希釈有り：減容処理施設で受け入れ時の除染廃液濃度



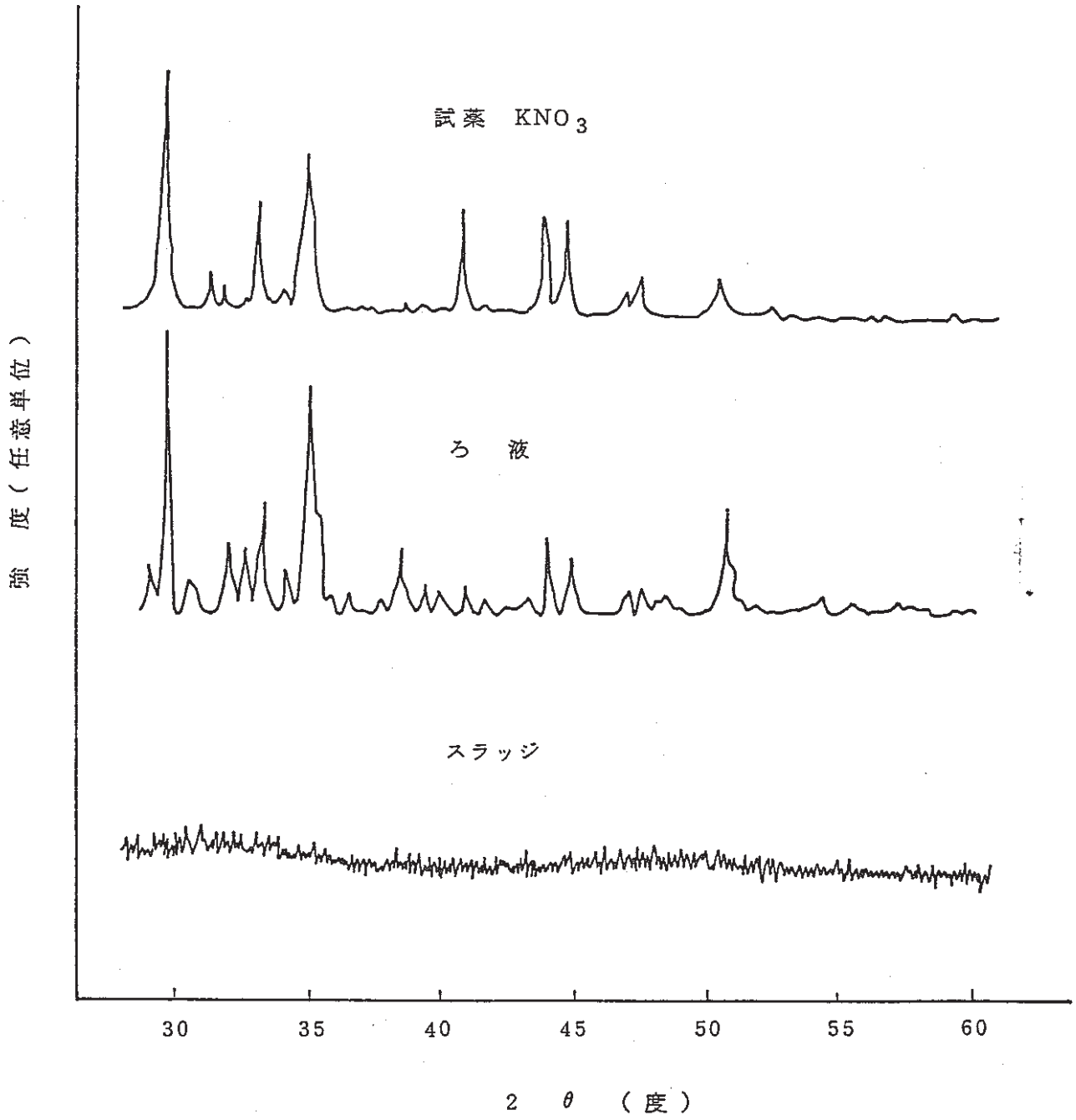
図－4.4　X線回折結果（前処理課）



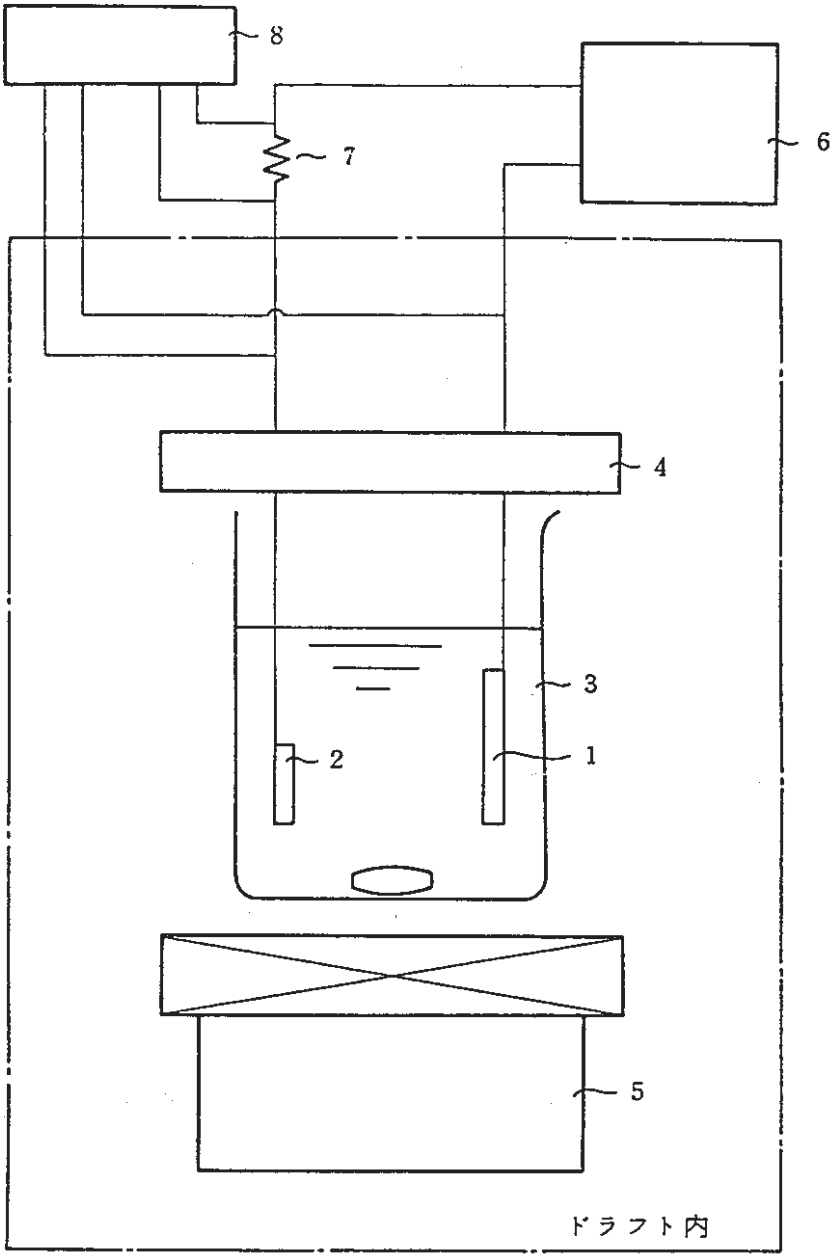
図－4.5　X線回折結果（化学処理第一課）



図－4.6　X線回折結果（化学処理第二課）

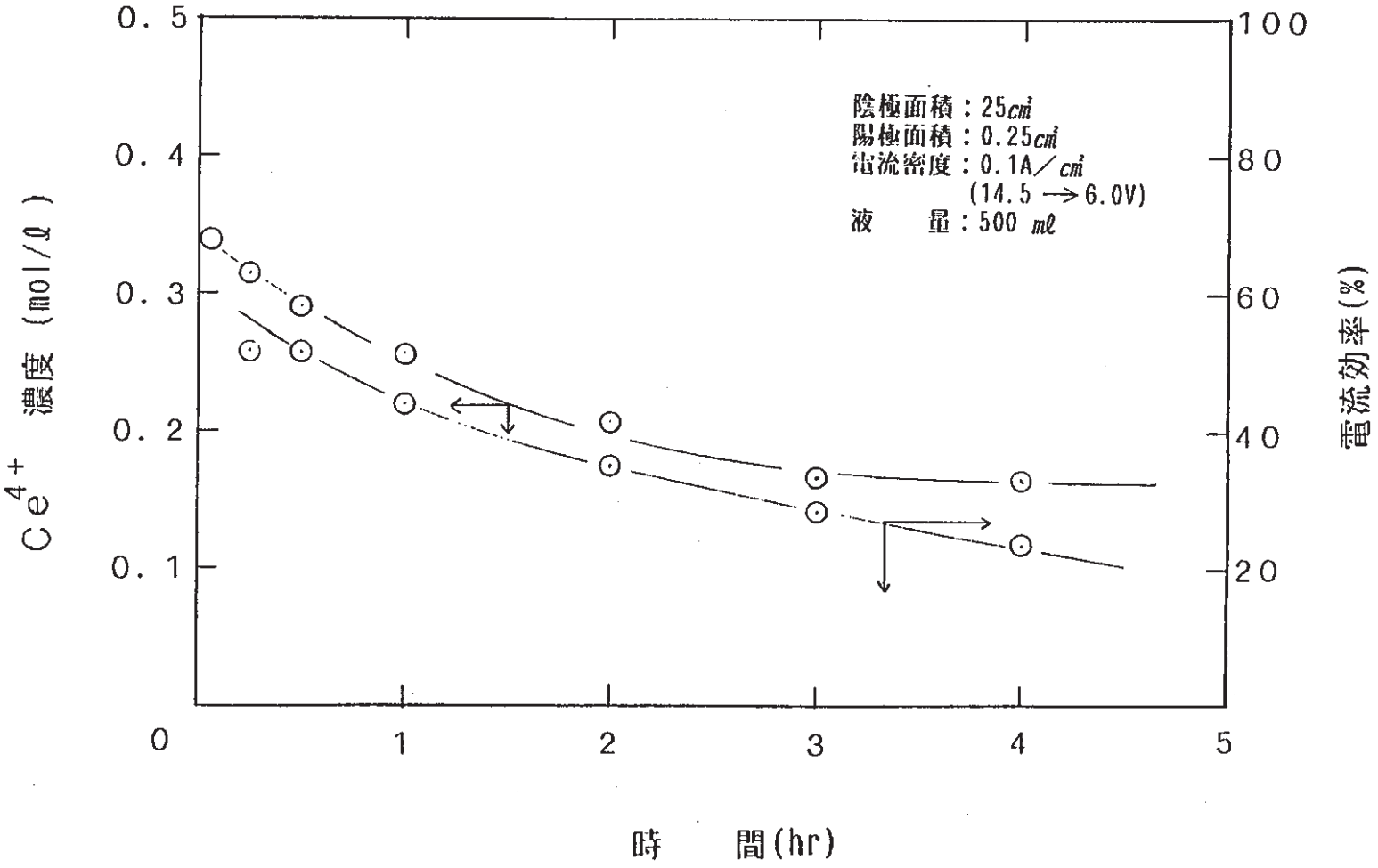


図－4.7 X線回折結果（保守課）

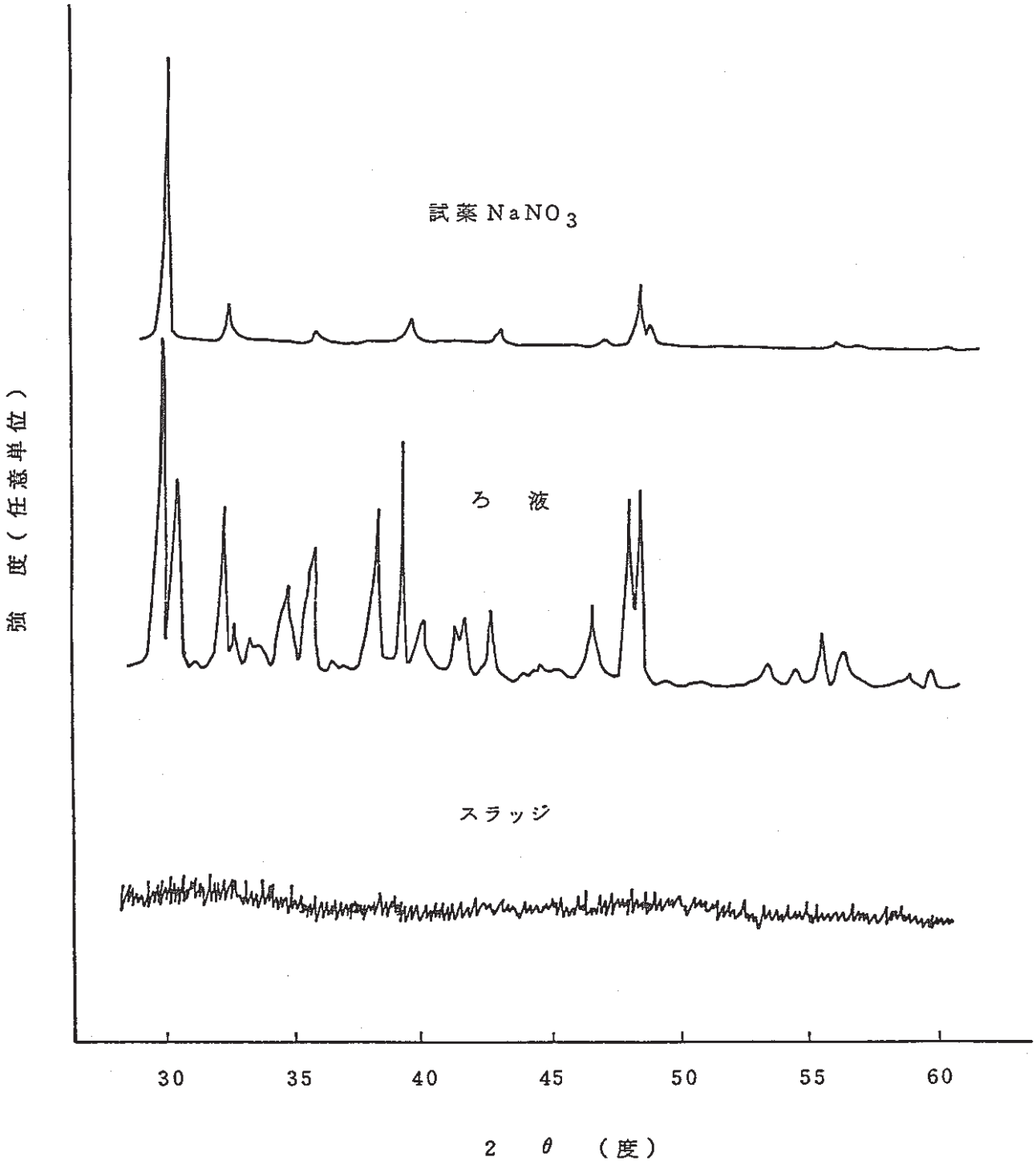


1. 陰　　極　　6. 直流電源
2. 陽　　極　　7. シャント
3. 電 解 槽　　8. 記 録 計
4. 電極固定治具
5. ヒーター付マグネチックスターラー

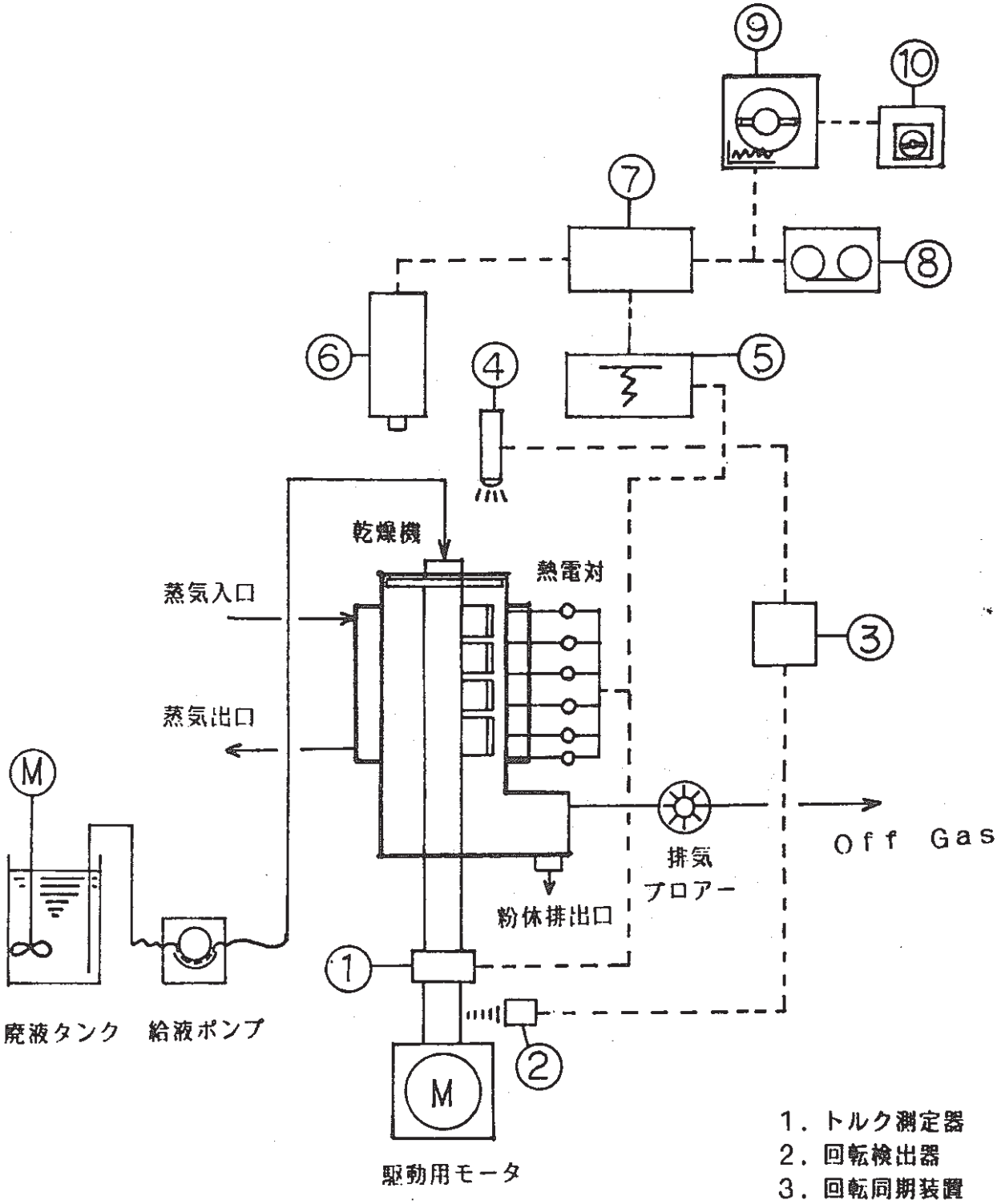
図－4.8　電解還元試験装置概略図



図－4.9　電解還元試験結果

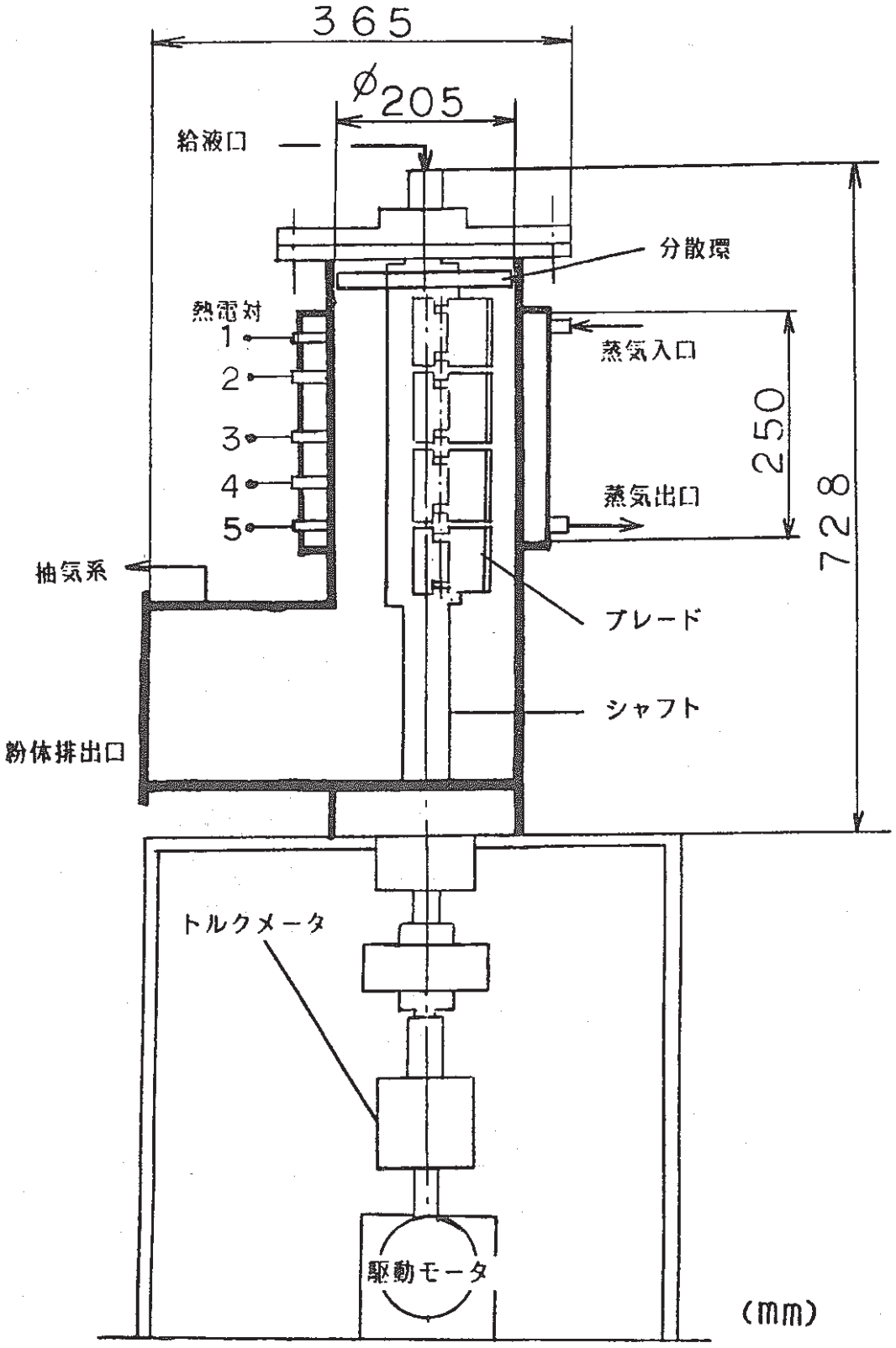


図－4.10　X線回折結果（Redox除染廃液）

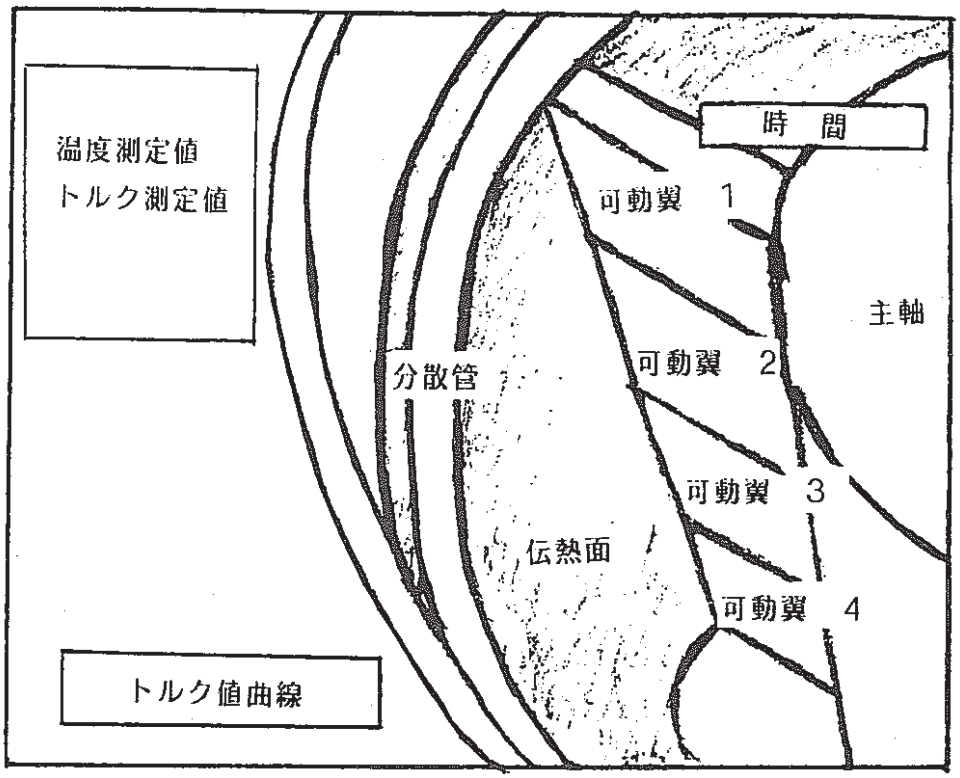


1．トルク測定器
2．回転検出器
3．回転同期装置
4．ストロボ発信器
5．データ記録装置
6．ビデオカメラ
7．合成処理装置
8．ビデオレコーダ
9．ビデオモニター
10．ハードコピー

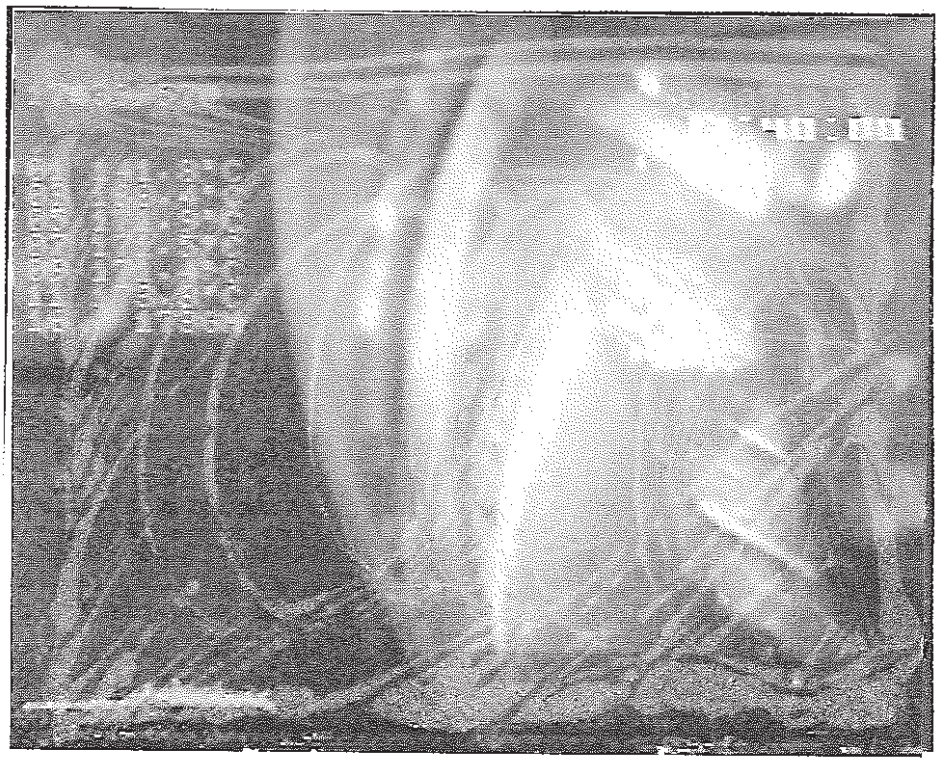
図－4.11　試験装置概略



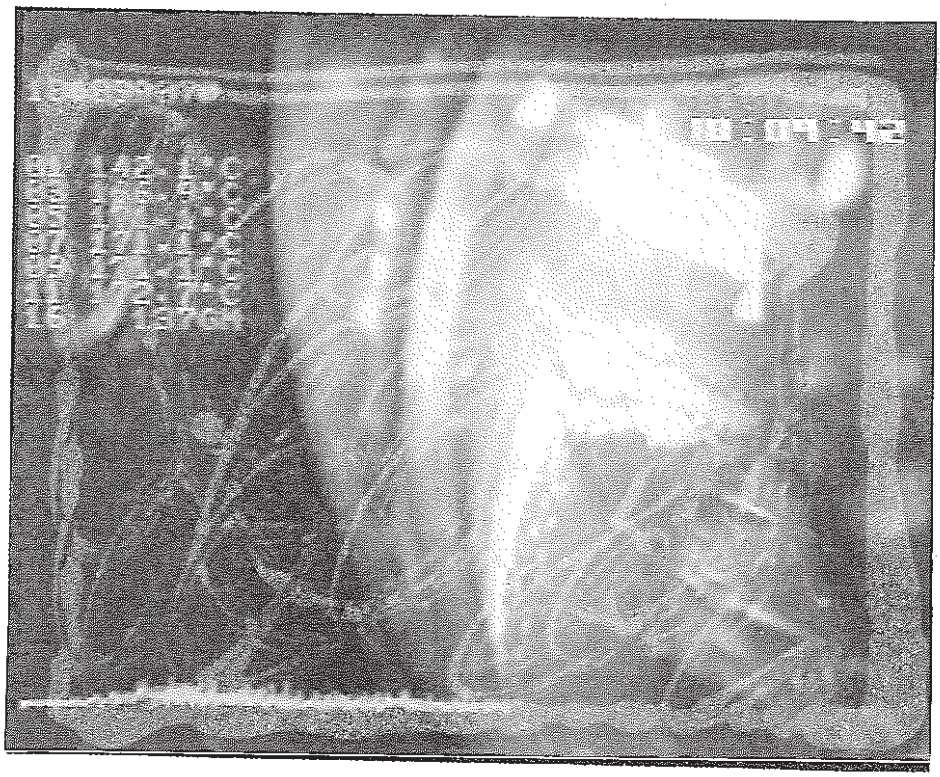
図－4.12　竪型薄膜乾燥機



図－4.13　乾燥機内部状態の概要

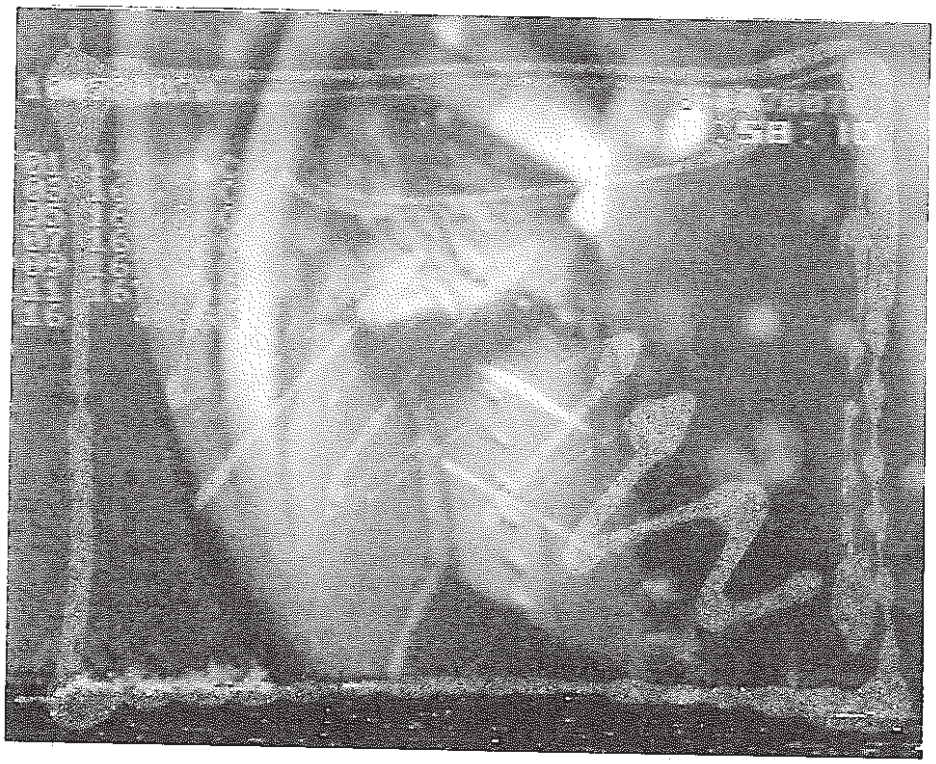


運転３０分後

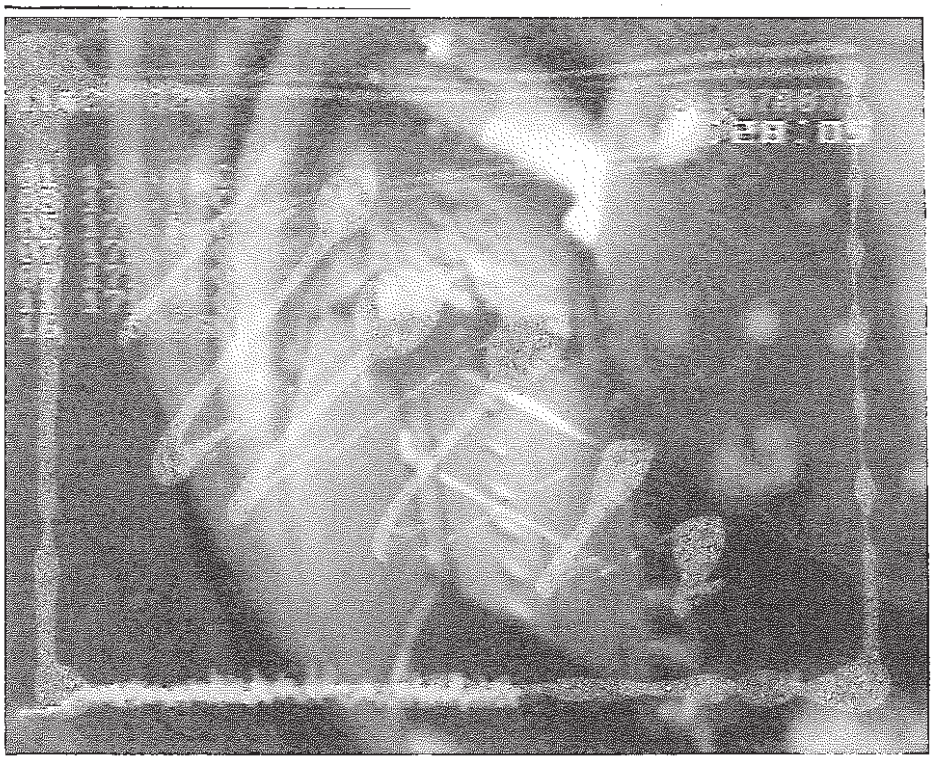


運転６０分後

図－4.14　乾燥処理中の内部状態（前処理課）

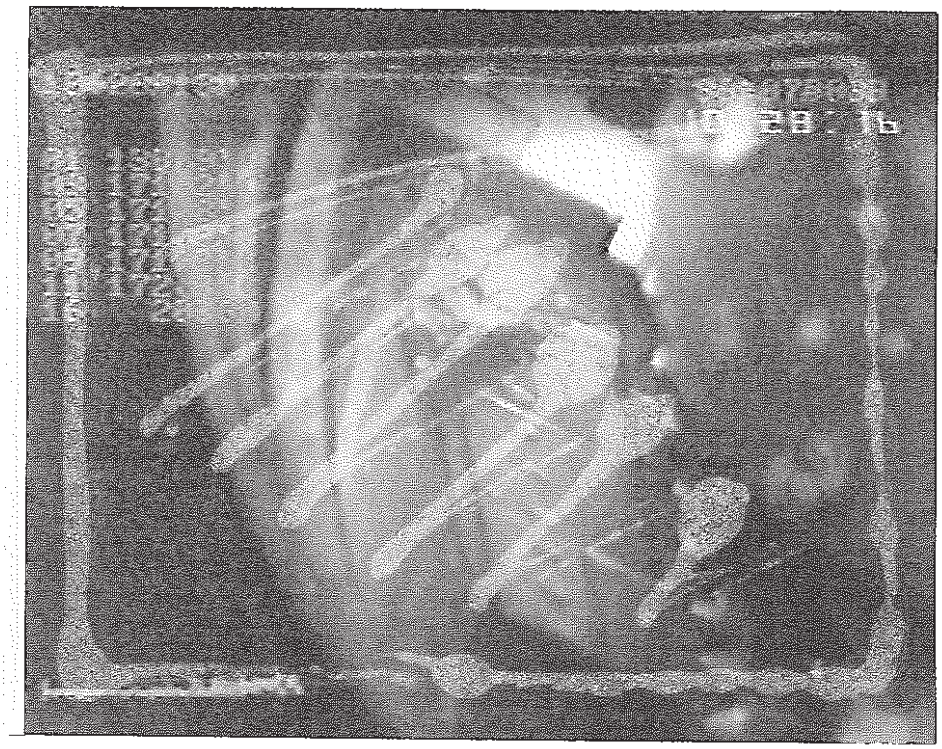


運転３０分後

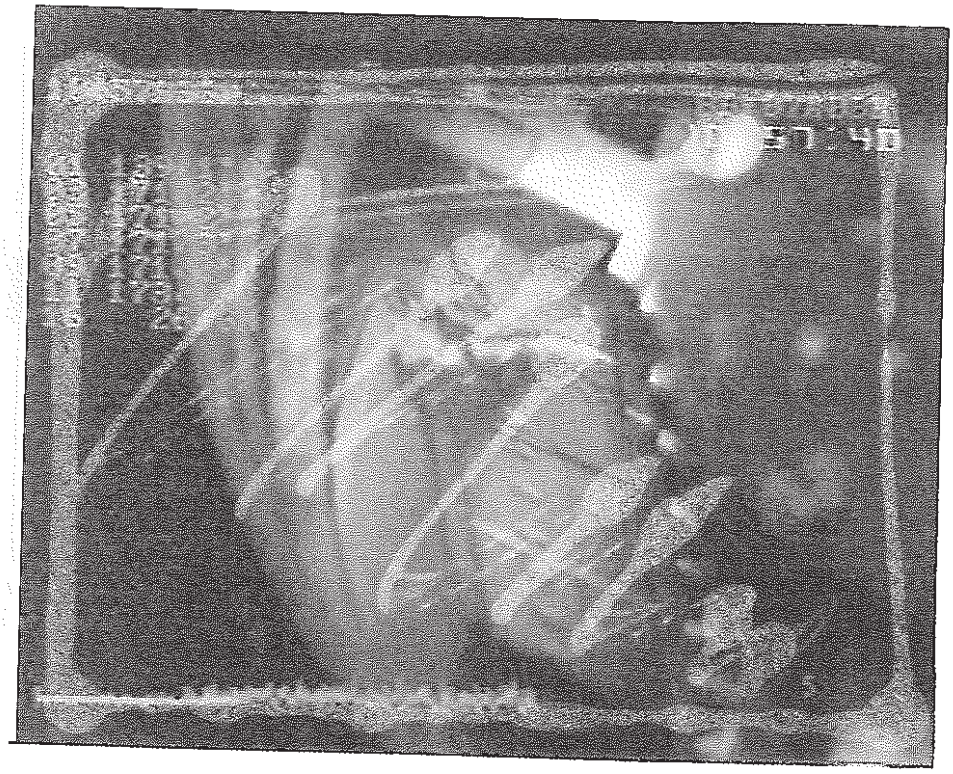


運転６０分後

図－4.１５　乾燥処理中の内部状態（化学処理第一課）

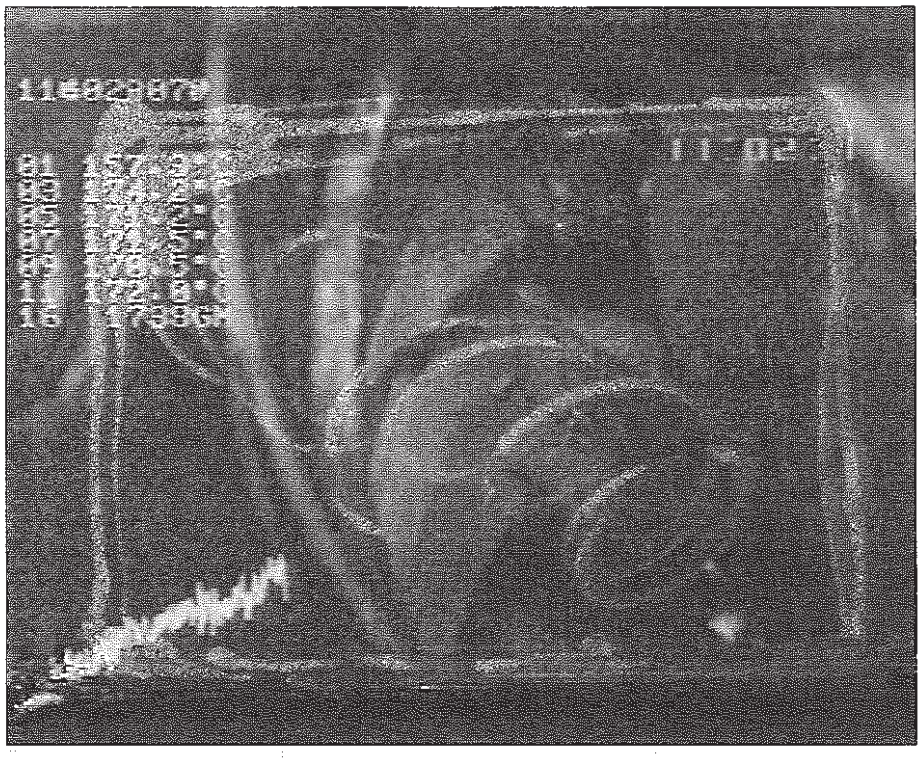


運転３０分後

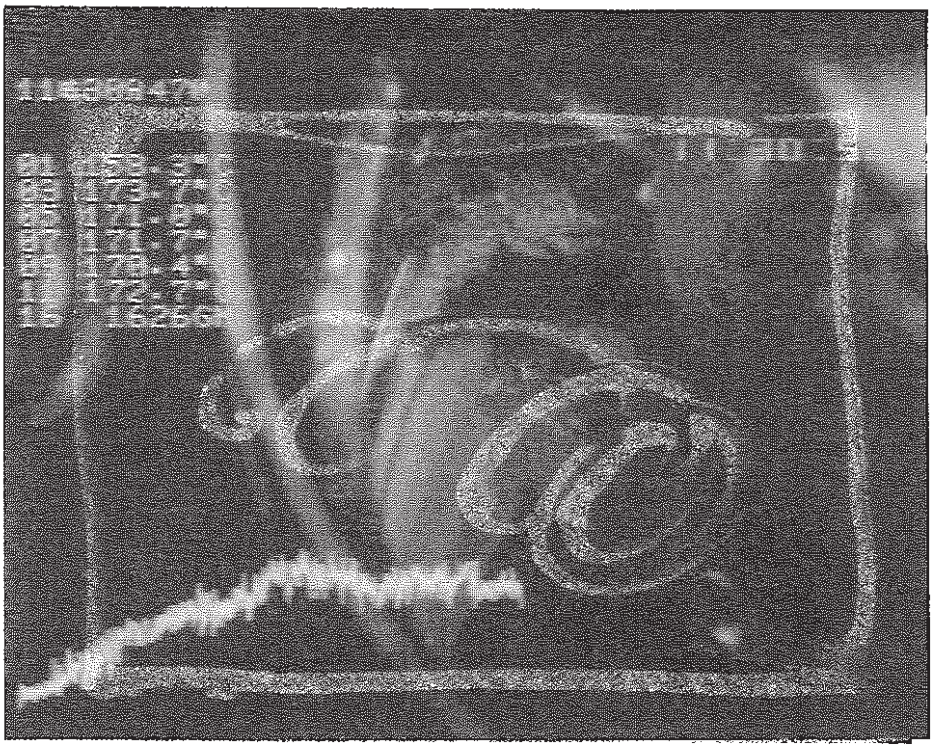


運転６０分後

図－4.１６　乾燥処理中の内部状態（化学処理第二課）

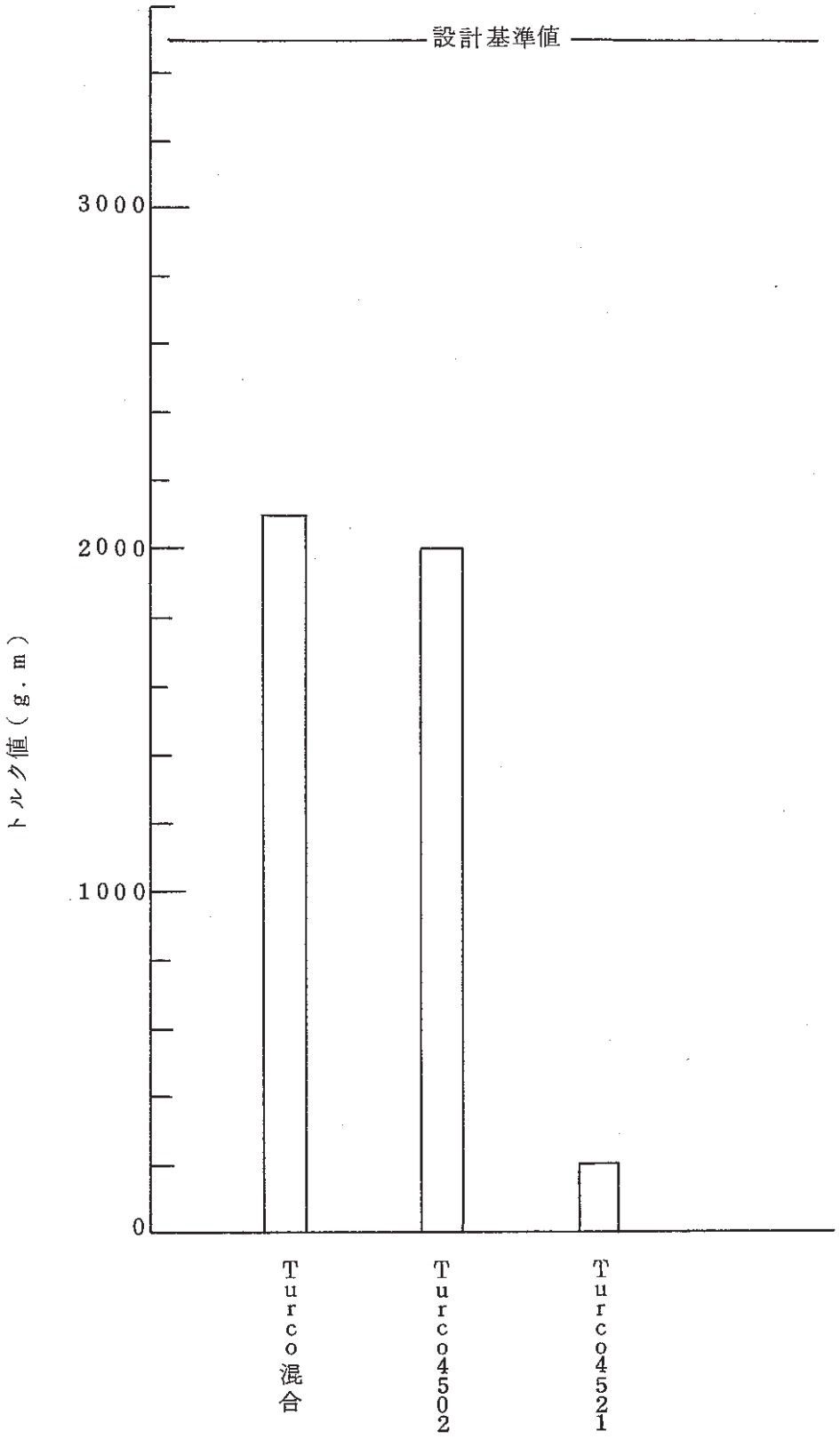


運転３０分後

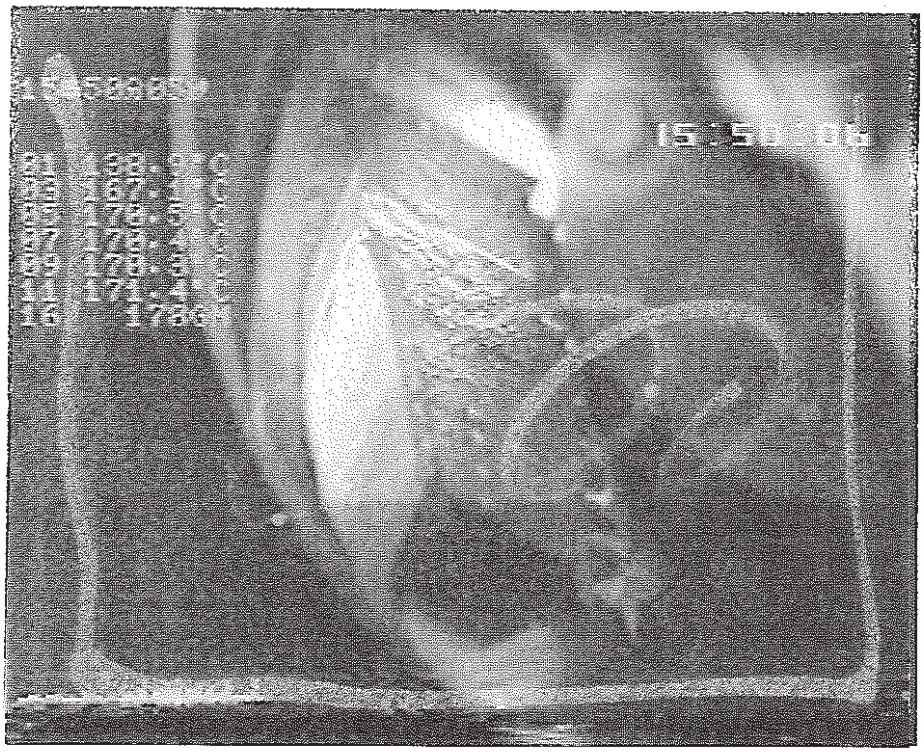


運転６０分後

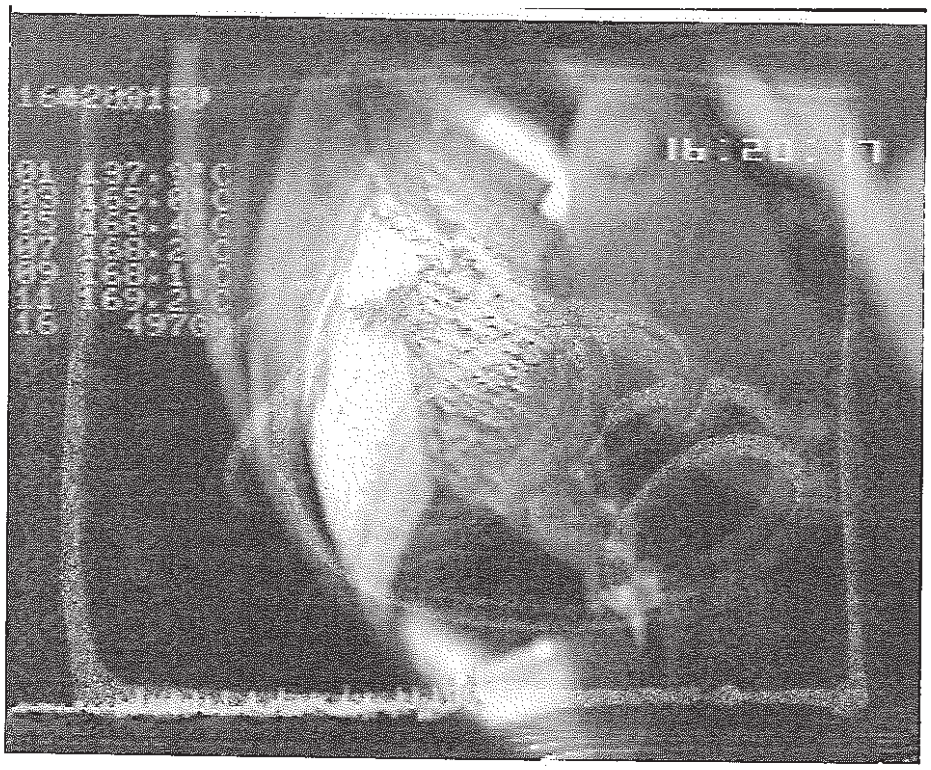
図－4.17　乾燥処理中の内部状態（保守課）



図－4.18　保守課廃液　乾燥機消費動力値（最高値）



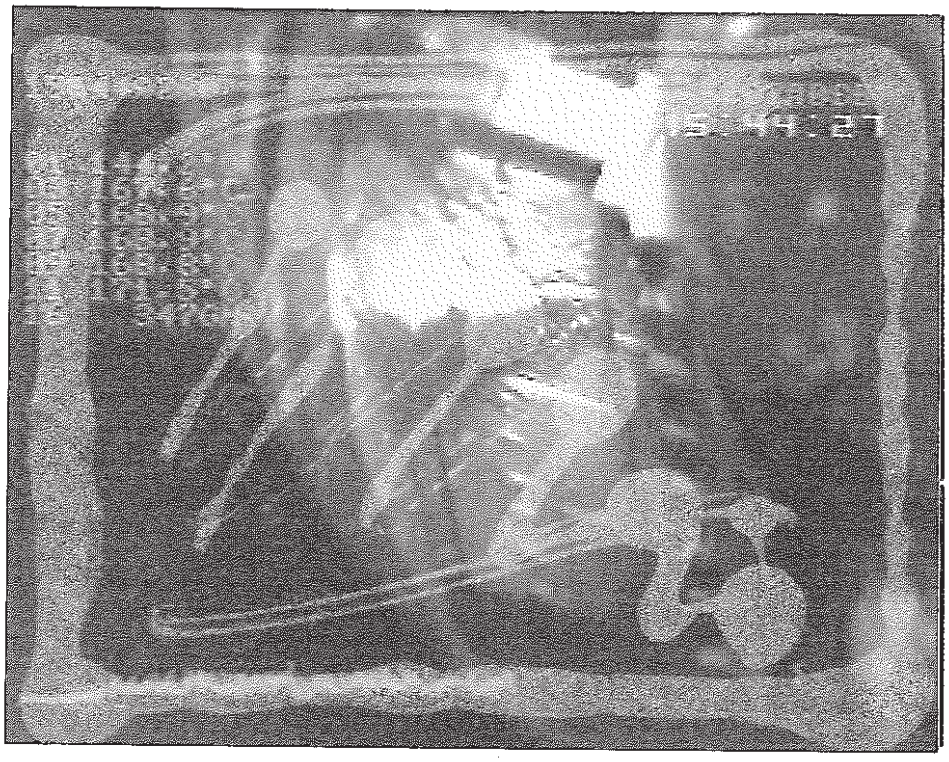
運転３０分後



運転６０分後

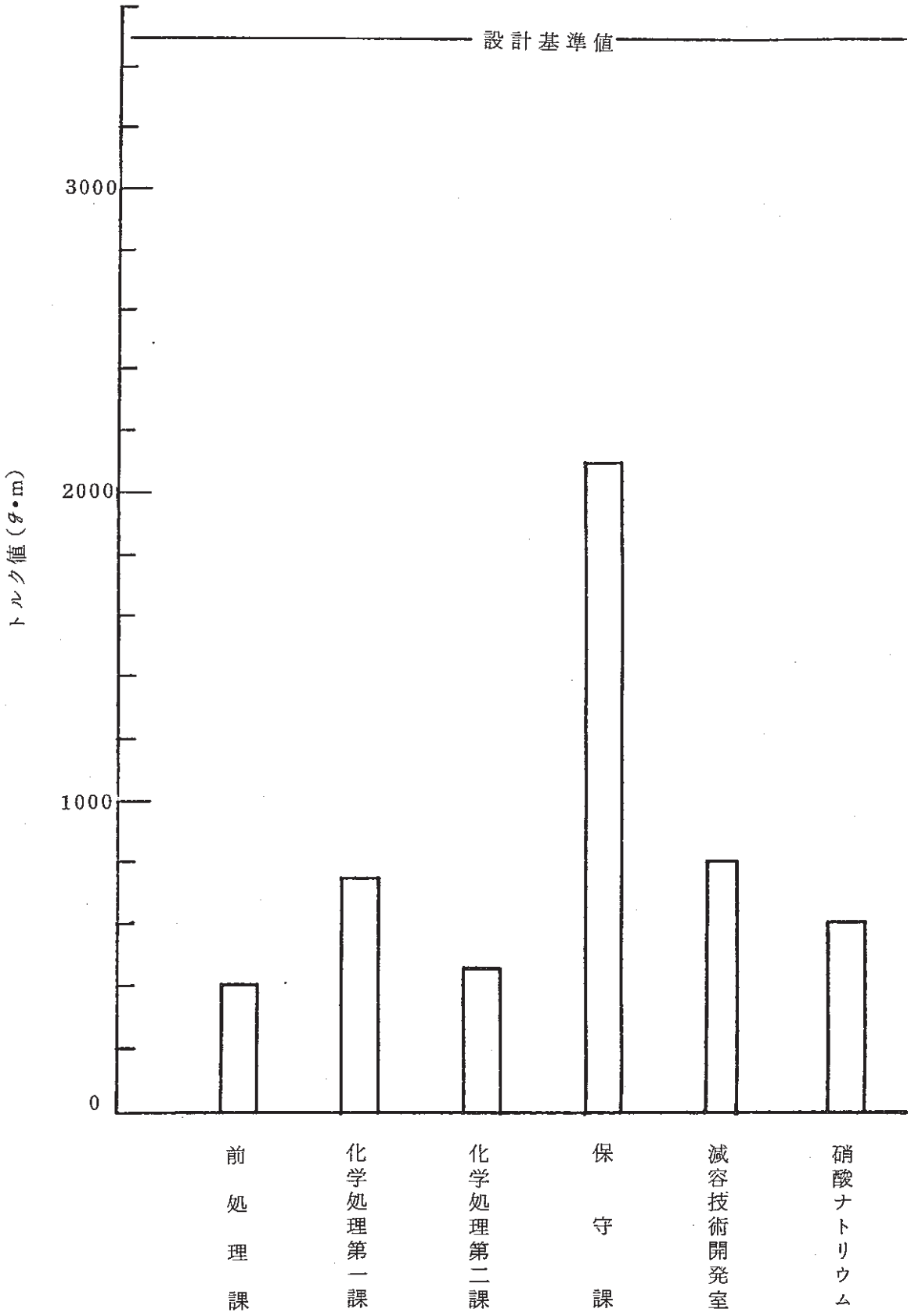
図－4.１９　　乾燥処理中の内部状態（減容技術開発室）

運転30分後

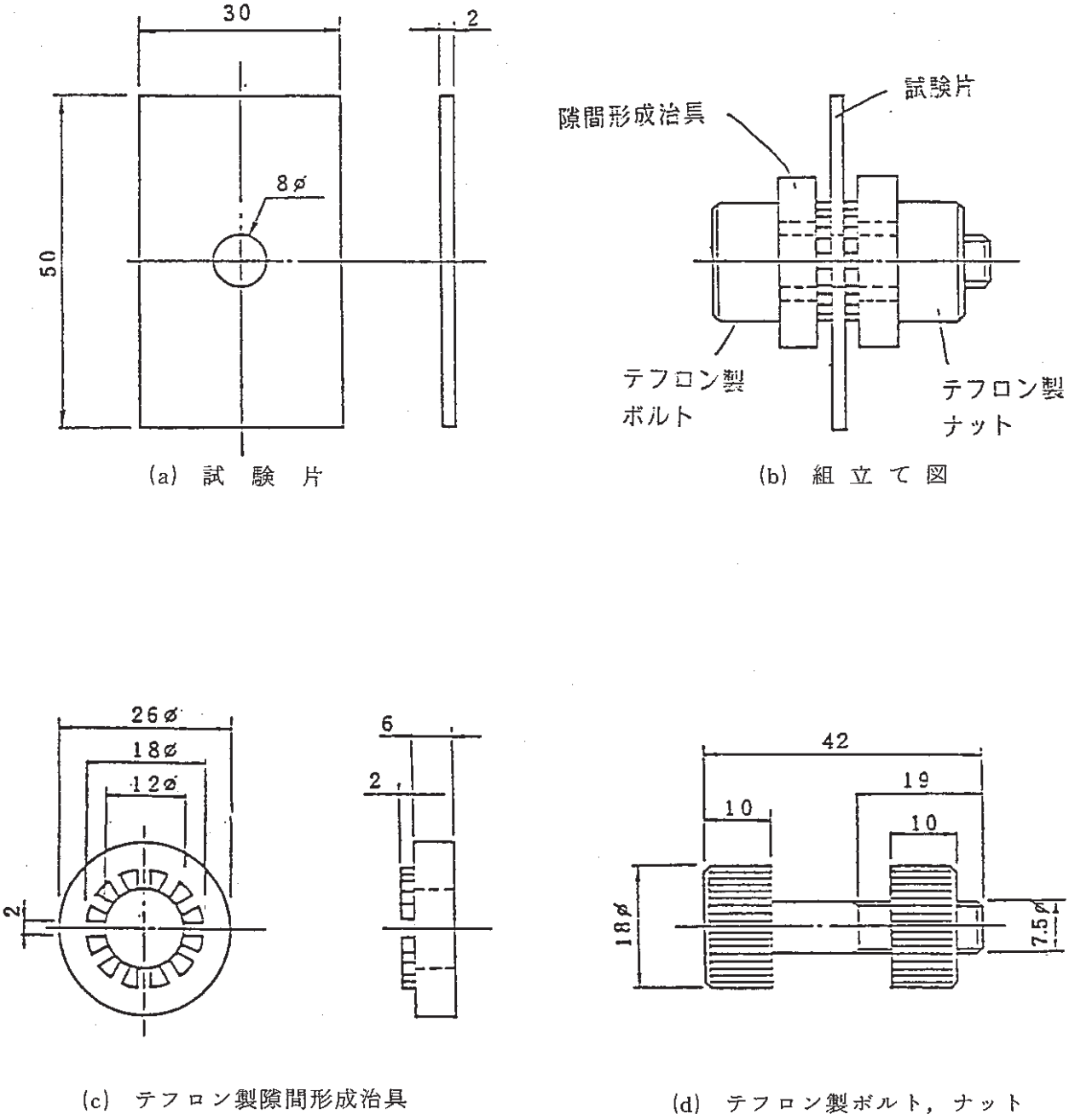


運転60分後

図－4.20　乾燥処理中の内部状態（硝酸ナトリウム）



図－4.21　乾燥機消費動力値（最高値）



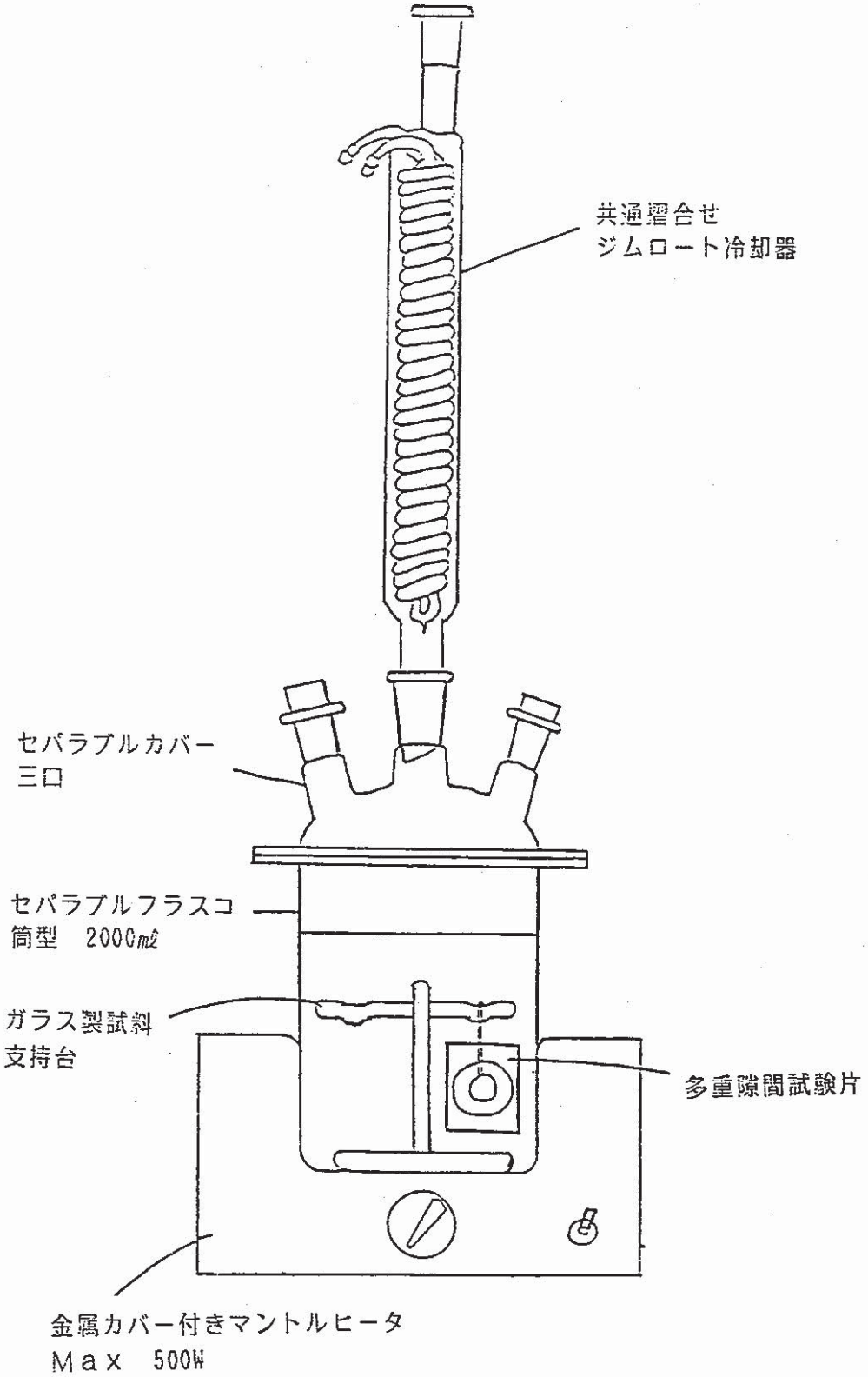
(a) 試 験 片

(b) 組 立 て 図

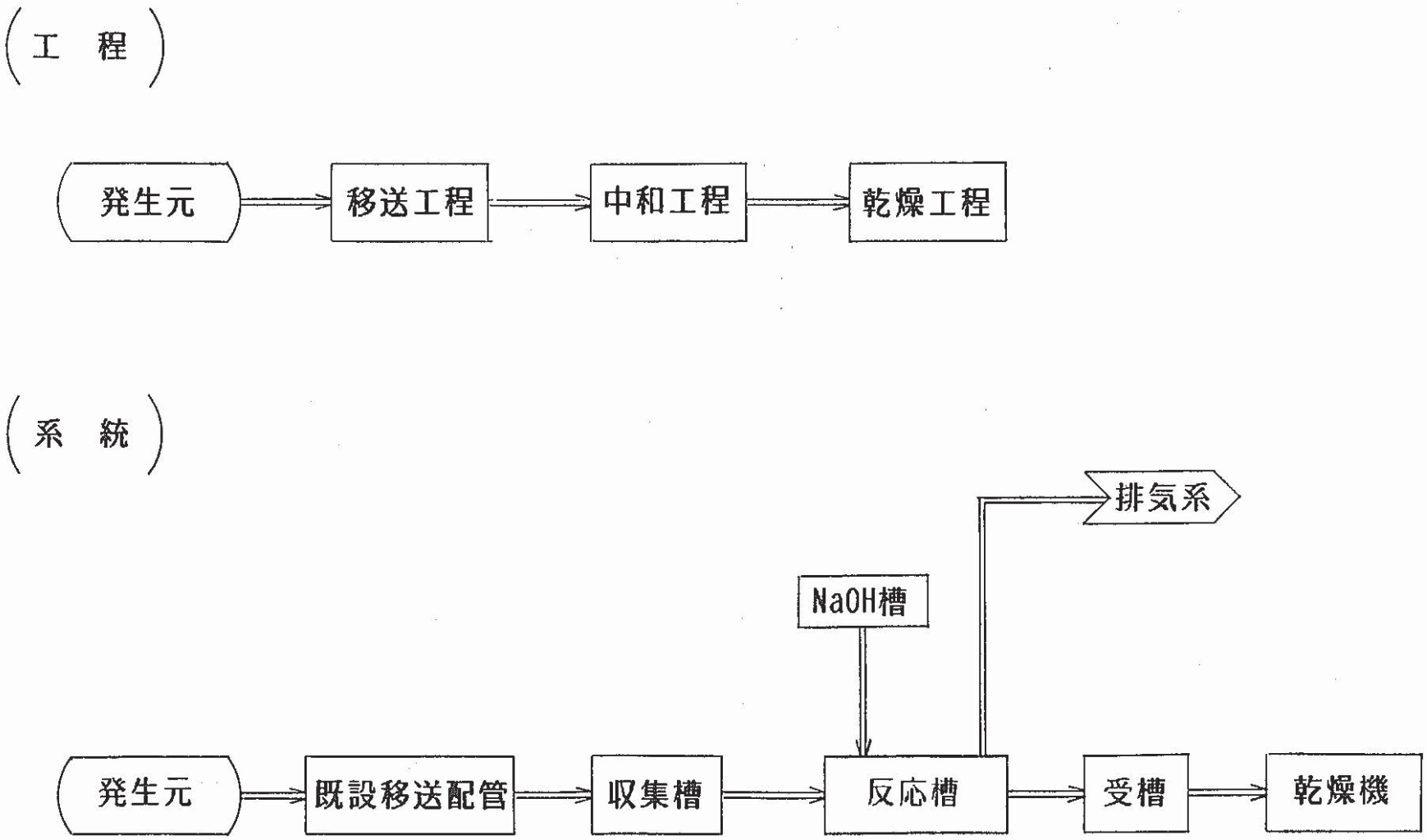
(c) テフロン製隙間形成治具

(d) テフロン製ボルト，ナット

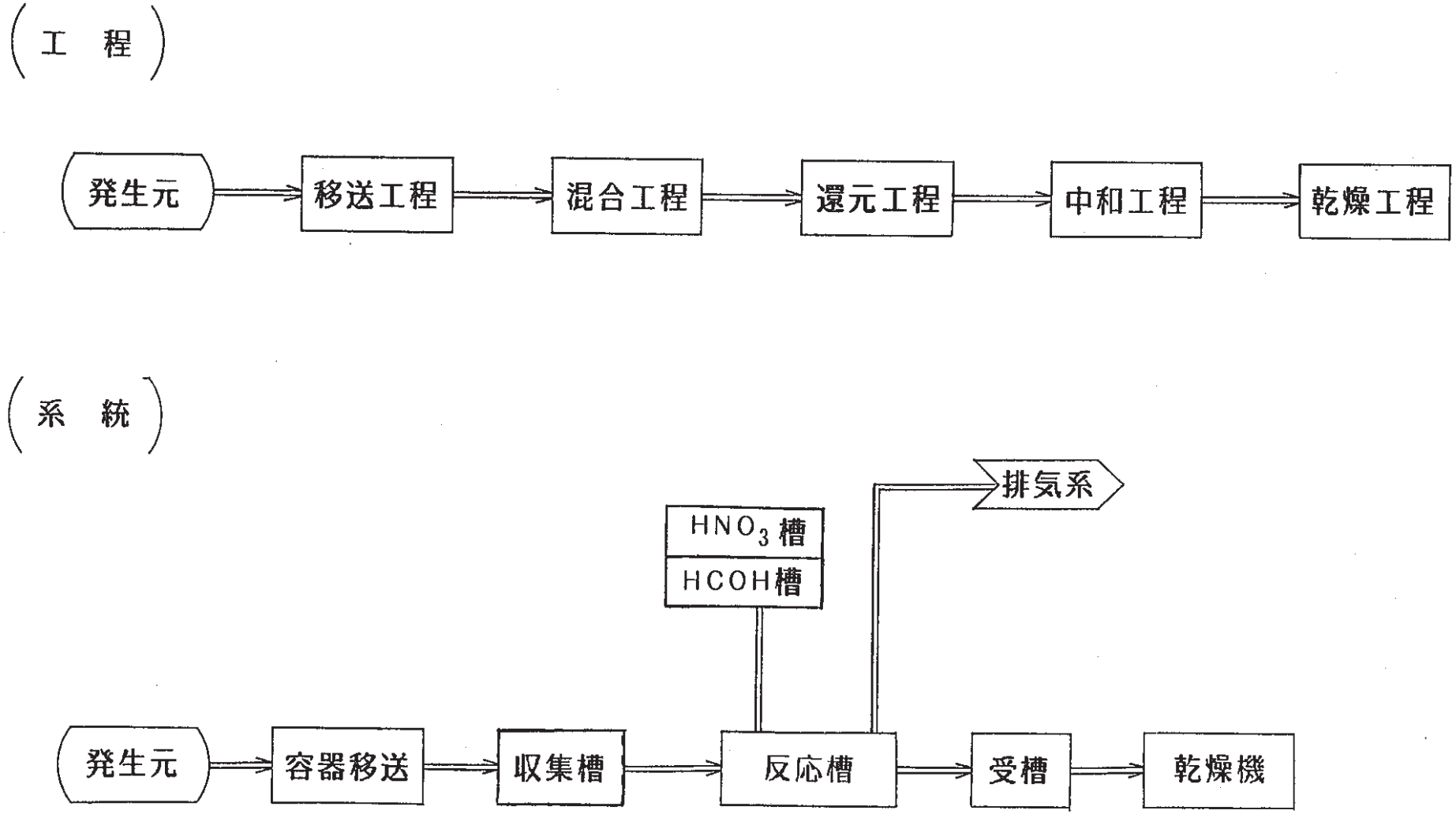
図－4.22 多重隙間付き試験片


共通摺合せ
ジムロート冷却器
セパラブルカバー
三口
セパラブルフラスコ
筒型　2000㎖
ガラス製試料
支持台
多重隙間試験片
金属カバー付きマントルヒータ
Ｍａｘ　500W

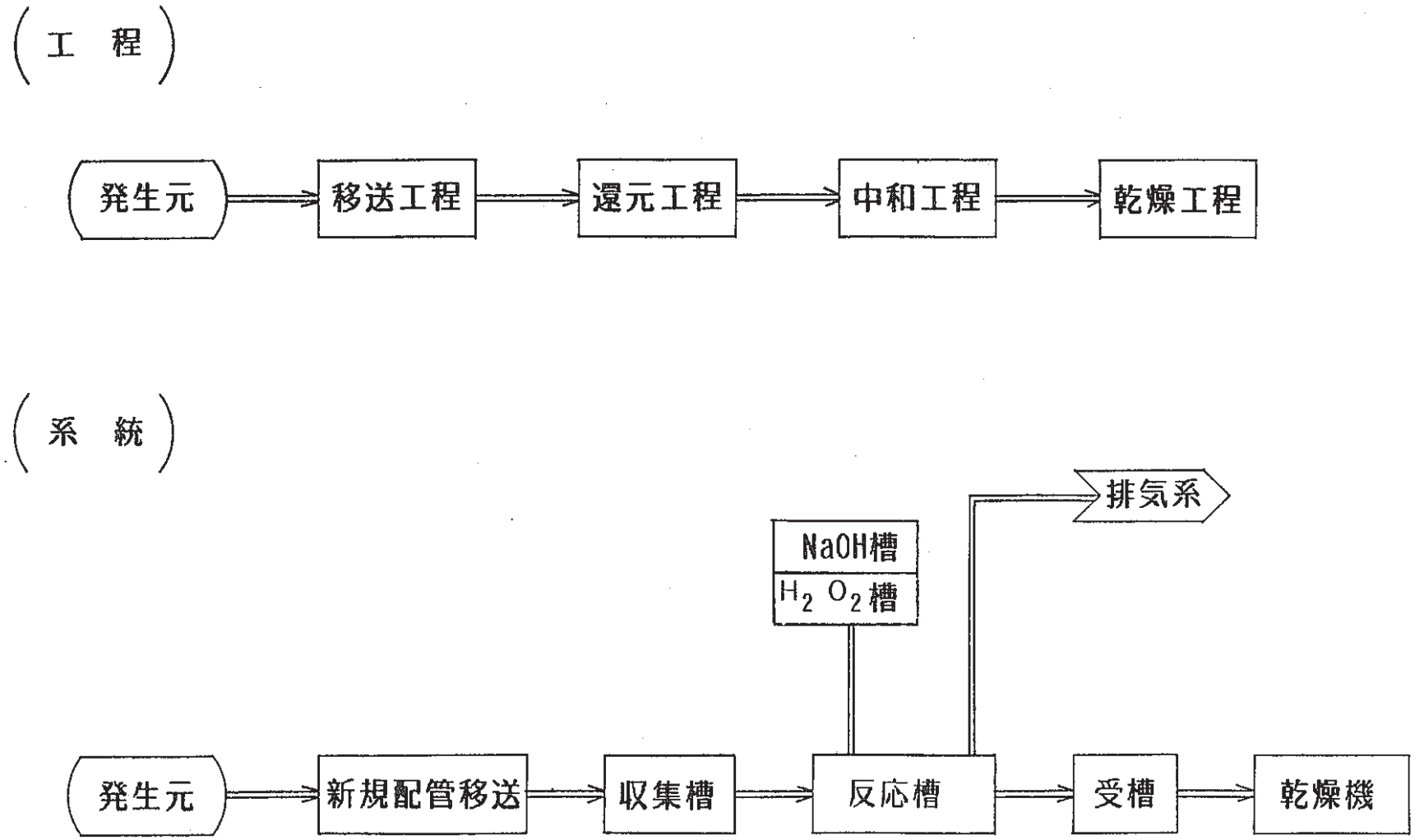
図－4.23　浸 漬 試 験 槽



図－4.24　一括混合収集に係わる除染廃液の処理フロー



図－4.25　Turco系除染廃液の処理フロー



図－4.26　Redox除染廃液の処理フロー

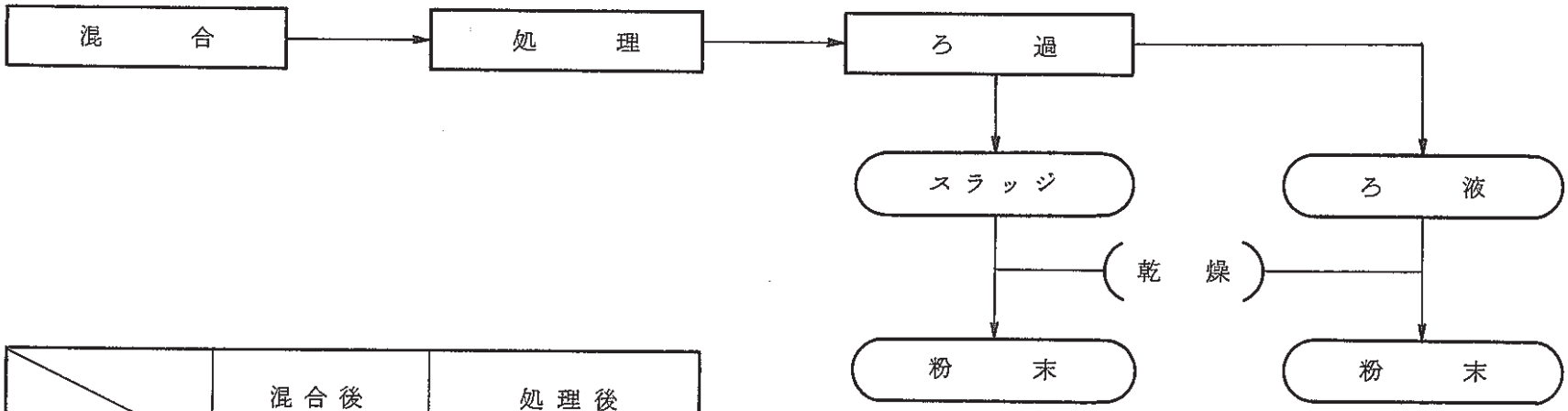
表－4.1　Redox 除染廃液の還元処理方法

方法		概要	特徴
無機還元剤	Fe^{2+} イオン添加	化学当量の $Fe(NO_3)_2$ を添加 $Ce^{4+} + Fe^{2+} \rightarrow Ce^{3+} + Fe^{3+}$	• 残留 Ce^{4+} は無い • Feイオンの活性度低い • 廃棄物量増える
自己分解還元剤	H_2O_2 有機酸等の添加	$2Ce^{4+} + H_2O_2 \rightarrow Ce^{3+} + 2H^+ + O_2$	• 残留 Ce^{4+} は無い • 廃棄物の増加は無い • 残留 H_2O_2 の影響
電解還元法		陰極／陽極面積を上げ，低い電流密度で電解還元を行う。	• 廃棄物増加は無い • 電流効率面から１００％反応は不可能

表－4.2　還元剤の主な性質

還元剤	標準酸化還元電位（V）	沸点（分解温度）	Ce^{4} との反応式	平衡定数	備考
鉄2価イオン（Fe^{2+}）	0.77	－	$Ce^{4+} + Fe^{2+} \rightarrow Ce^{3+} + Fe^{3+}$	1.57×10^{14}	
過酸化水素（H_2O_2）	0.69	155℃	$2Ce^{4+} + H_2O_2 \rightarrow 2Ce^{3+} + 2H^{+} + O_2$	1.25×10^{31}	・強酸化剤，強還元剤，アルカリ等で分解 ・30℃で自己分解率1%／年（90wt%）
ホルムアルデヒド（HCOH）		96℃			・硝酸と反応しギ酸を生成
ギ酸（HCOOH）	−0.20	100.8℃	$2Ce^{4+} + H_2CO_2 \rightarrow 2Ce^{3+} + 2H^{+} + CO_2$	1.51×10^{61}	

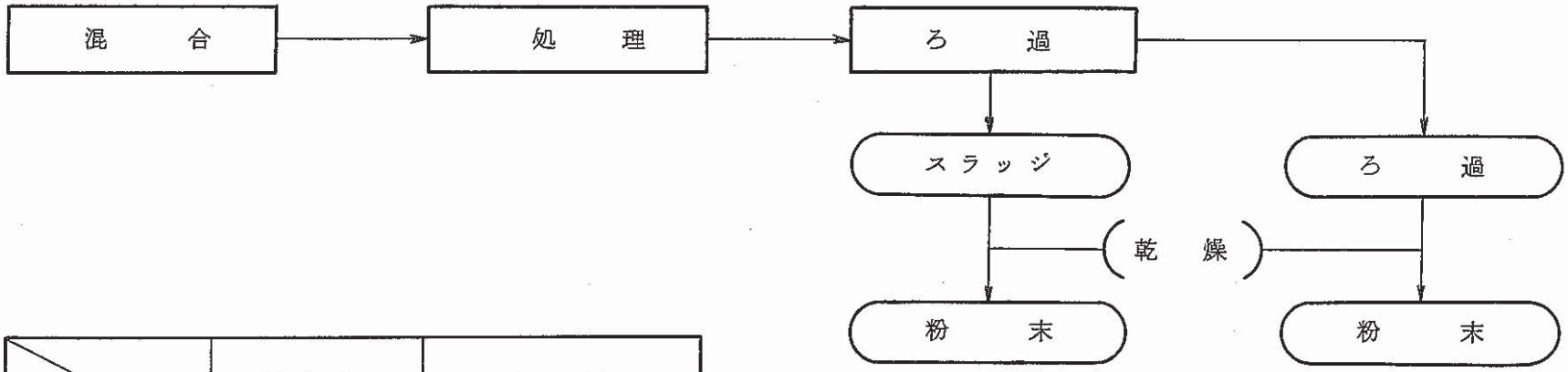
表－4.3　除染廃液処理試験結果　（前処理課）



	混合後	処理後
PH	1.6	10.8
電位（V）	0.63	－0.18
スラッジの発生	無	有 沈降性の良い 褐色の沈澱

		スラッジ	ろ　液
X線回折		ピークなし（非晶質）	$NaNO_3$
組成（mg／g）粉体	Na	13	313
	Mn	10	－
	Fe	471	－
	Cr	－	－
	K	－	－

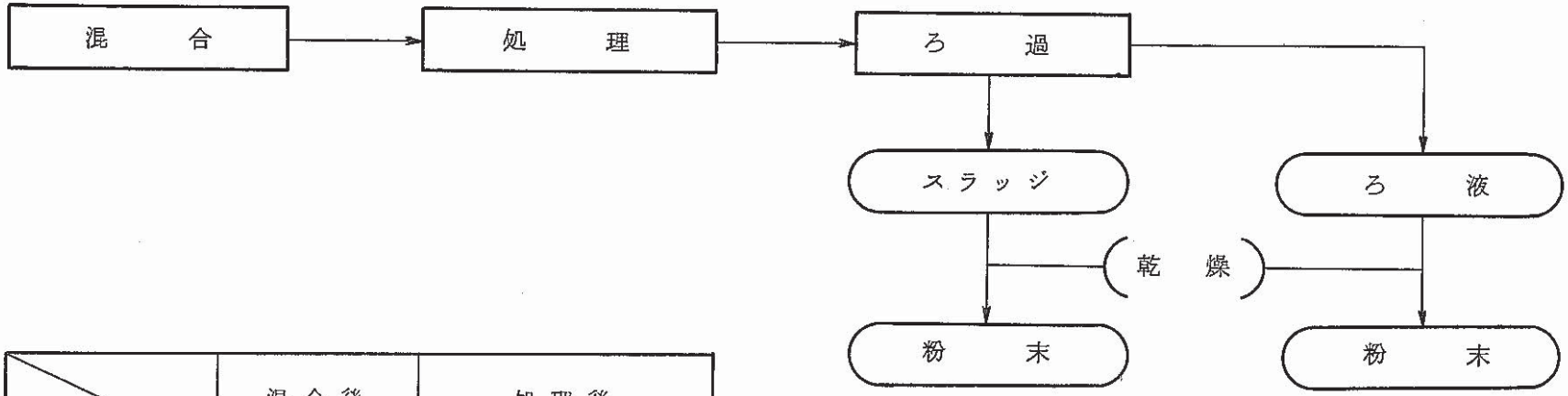
表－4.4　除染廃液処理試験結果（化学処理第一課）



	混合後	処理後
PH	1.3	10.8
電位（V）	0.60	－0.68
スラッジの発生	無	有 沈降性の良い 茶色の沈澱

		スラッジ	ろ　液
X線回折		$NaFeO_2$	$NaNO_3$
組成（mg／g）粉体	Na	－	318
	Mn	160	－
	Fe	380	－
	Cr	－	－
	K	－	－

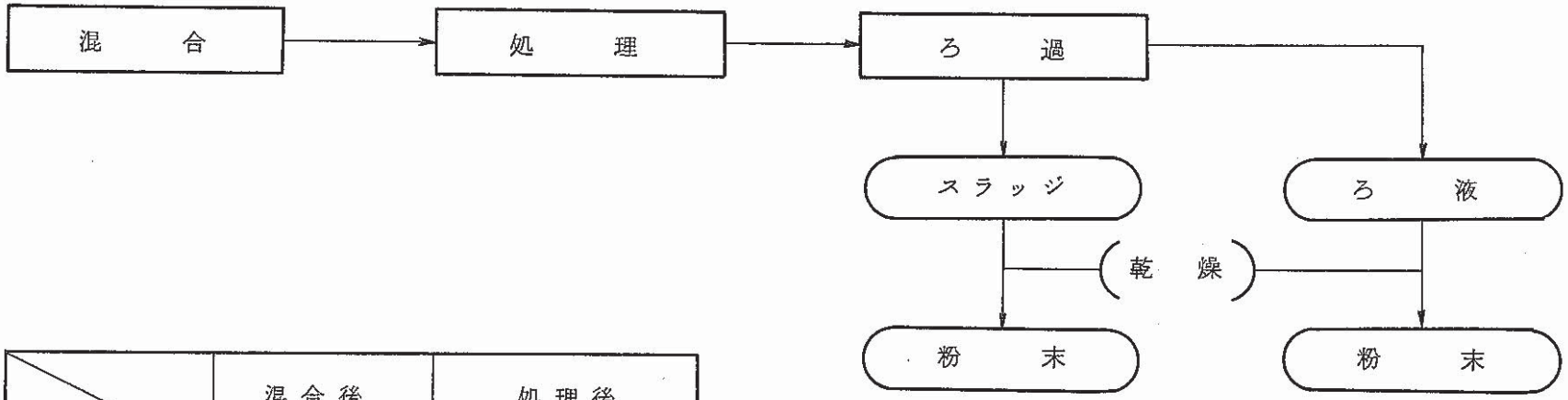
表－4.5　除染廃液処理試験結果（化学処理第二課）



	混合後	処理後
PH	1.4	11.0
電位（V）	0.60	－0.50
スラッジの発生	無	有 沈降性の良い 褐色の沈澱

		スラッジ	ろ　液
X線回折		ピークなし（非晶質）	$NaNO_3$
組成（mg／g）粉体	Na	8	306
	Mn	96	－
	Fe	441	－
	Cr	－	－
	K	－	－

表－4.6　除染廃液処理試験結果　（保守課）



	混合後	処理後
PH	12.6	11.0
電位（V）	0.36	−0.15
スラッジの発生	有 沈降性の良い 黒褐色の沈澱	同　左

		スラッジ	ろ　液
X線回折		ピークなし（非晶質）	$NaNO_3$
組成（mg／g）粉体	Na	−	−
	Mn	501	−
	Fe	−	−
	Cr	5	4
	K	54	426

表－4.7　還元剤添加による還元試験結果

還元剤	濃度 (mol／ℓ)	量 (mol)	Ce^{4+}濃度 (mol／ℓ)	Ce^{4+} 量 (mol)	温度(℃) 還元前	温度(℃) 還元後	電位(mV)* 還元前	電位(mV)* 還元後	還元時間	結果
Fe^{2+}	1.0	4.0×10^{-3}	3.42×10^{-3}	3.42×10^{-3}	27.7	27.8	1150	475	＜1分	・1分以下で反応は終了 ・発熱，発泡はほとんど無し
H_2O_2	11.7	1.75×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	27.0	27.9	1120	370	＜1分	・1分以下で反応は終了 ・発熱，発泡はほとんど無し
HCOH	10.1	1.52×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	27	27	1110	＜1040	＞75分	・2倍当量，温度50℃時約1時間で反応は終了 ・発熱，発泡はほとんど無し
					50	50	1000	＜ 640	＞75分	
		3.03×10^{-3}			26	26	1040	＜ 980	＞60分	
					50	50	1000	380	約60分	
HCOOH	26.3	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	24	24	1030	＜1030	∞	・1時間では還元反応は，認められず
					50	50	1050	＜1050	∞	

* SCE基準（添付資料2参照）

表－4.8　還元処理試験結果の評価

還元剤	温度（℃）	還元時間	コメント	還元剤の必要量		評価
				濃度	必要量（m³）	
Fe^{2+}	室温	＜1分	・還元反応は1分以内で終了 ・Feが廃棄物として残る	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 20.8g／100g （20℃）	0.180	○
H_2O_2	室温	＜1分	・還元反応は1分以内で終了 ・当量以上のH_2O_2は，中和および乾燥時に分解	35wt％	0.052	◎
HCOH	50	約1時間	・2倍当量，温度50℃の場合還元反応は，1時間で終了	35wt％	0.064	○
HCOOH	室温	∞	・還元反応は，ほとんど起こらない	88wt％	0.026	×
電解還元法	室温	∞	・電流効率の面から100％の還元反応は，不可能			×

表－4.9　熱分析結果

発生元	測定粉体	示差熱測定結果
前処理課	ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	○ろ液紛体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	スラッジ	なし
	○スラッジ	なし
化学処理第一課	ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	○ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	スラッジ	なし
	○スラッジ	なし
化学処理第二課	ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	○ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	スラッジ	なし
	○スラッジ	なし
保守課	ろ液粉体	300℃（吸熱：融点）
	○ろ液粉体	300℃（吸熱：融点）
	スラッジ	なし
	○スラッジ	なし
減容技術開発室	ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	○ろ液粉体	310℃（吸熱：$NaNO_3$ 融点）
	スラッジ	なし
	○スラッジ	なし

○印　窒素雰囲気測定

表－4.10　乾燥試験用除染廃液分析結果

	PH	導電率 (ms／cm)	比　重	濃　度 (wt%)
前　処　理　課	10.9	59.9	1.040 (22℃)	5.8
化学処理第一課	10.8	58.1	1.055 (22℃)	7.50
化学処理第二課	10.8	51.2	1.045 (23℃)	6.05
保　守　課	10.8	55.4	1.035 (25℃)	5.32
減容技術開発室	11.1	14.6	1.004 (24.5℃)	0.651
硝酸ナトリウム	7.9	87.8	1.067 (23.5℃)	9.48

表－4.11　伝熱面温度状態

項　目	熱温度範囲（℃）					蒸気温度（℃）
	*1	*2	*3	*4	*5	
前処理課	138～145	165～170	168～172	168～172	168～172	168～172
化学処理第一課	140～148	165～170	168～172	168～172	168～172	168～172
化学処理第二課	138～140	165～171	168～172	168～172	168～172	168～172
保守課	150～158	165～170	165～172	165～172	165～172	165～172
減容技術開発室	135～140	155～170	170～172	165～172	165～172	165～172
硝酸ナトリウム	138～146	165～170	168～172	168～172	168～172	168～172

*　図－4.12の熱電対取付位置を示す。

表－4.12　各除染担当課から発生する除染廃液の組成

		前処理課		化学処理第一課		化学処理第二課	
PH		10.8		10.8		11.0	
電位（V）		－0.18		－0.68		－0.50	
X線回折		スラッジ	ろ　液	スラッジ	ろ　液	スラッジ	ろ　液
		ピークなし	$NaNO_3$	ピークなし	$NaNO_3$	ピークなし	$NaNO_3$
組成〔mg/g〕粉体	Na	13	313	－	318	8	306
	Mn	10	－	160	－	96	－
	Fe	471	－	380	－	441	－

表－4.13　腐食試験結果　（浸漬時間：1033hr）

	材　料	隙間腐食の有無	浸漬前重量（g）	浸漬後重量（g）	増減重量（g）	腐食率（%）注1)
前処理課	SUS304	無	22.22946	22.22676	−0.00270	0.012
	SUS316L	無	22.76405	22.76196	−0.00209	0.009
化学処理第一課	SUS304	無	22.15037	22.14851	−0.00186	0.008
	SUS316L	無	22.81981	22.81731	−0.00250	0.011
化学処理第二課	SUS304	無	22.14835	22.15148	+0.00303	0.014
	SUS316L	無	22.76795	22.76981	+0.00186	0.008

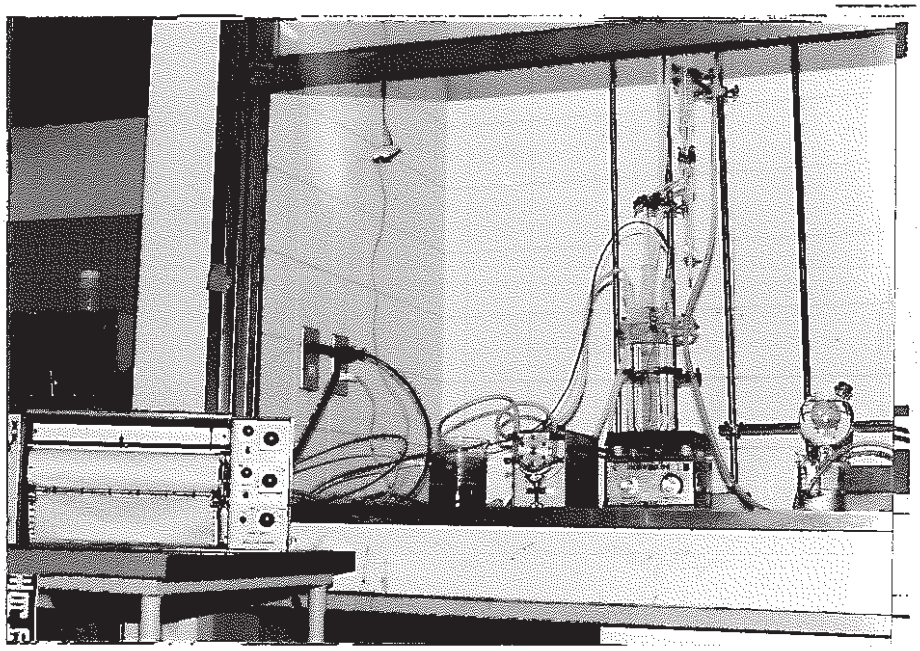
注1）

$$腐食率(\%) = \frac{浸漬前重量(g) - 浸漬後重量(g)}{浸漬前重量(g)} \times 100$$

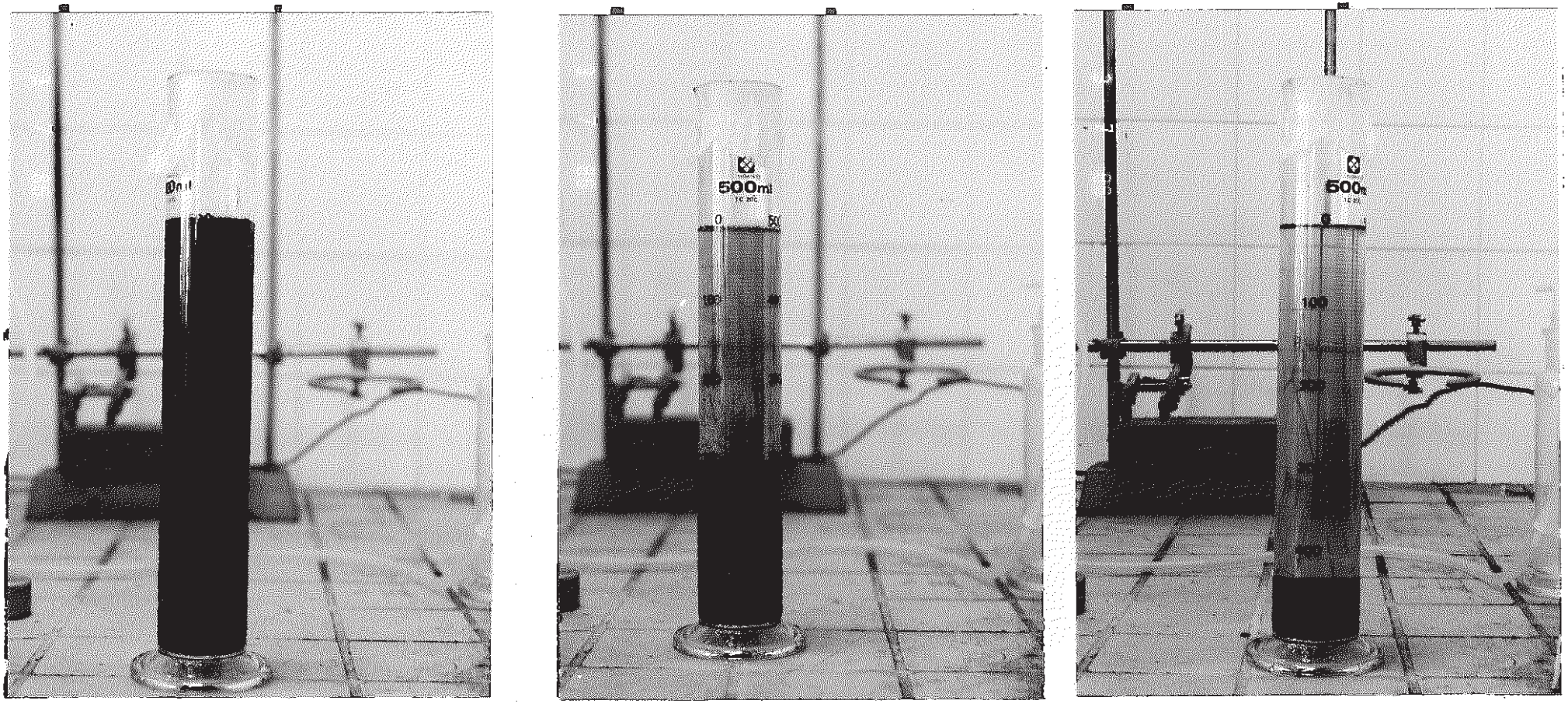
表－4.14　腐食試験結果（重量変化速度および浸食度）

	材　料	重量変化（mg）	重量変化速度（mg／cm²・hr）	浸　食　度（mm／年）
前処理課	SUS304	－2.07	-8.34×10^{-5}	-9.25×10^{-4}
	SUS316L	－2.09	-6.46×10^{-5}	-7.16×10^{-4}
化学処理第一課	SUS304	－1.86	-5.75×10^{-5}	-6.37×10^{-4}
	SUS316L	－2.50	-7.72×10^{-5}	-8.56×10^{-4}
化学処理第二課	SUS304	＋3.03	$+9.36\times10^{-5}$	$+1.04\times10^{-3}$
	SUS316L	＋1.86	$+5.75\times10^{-5}$	$+6.37\times10^{-4}$

（表面積：31.3 cm
密　度：7.9 g／cm³）

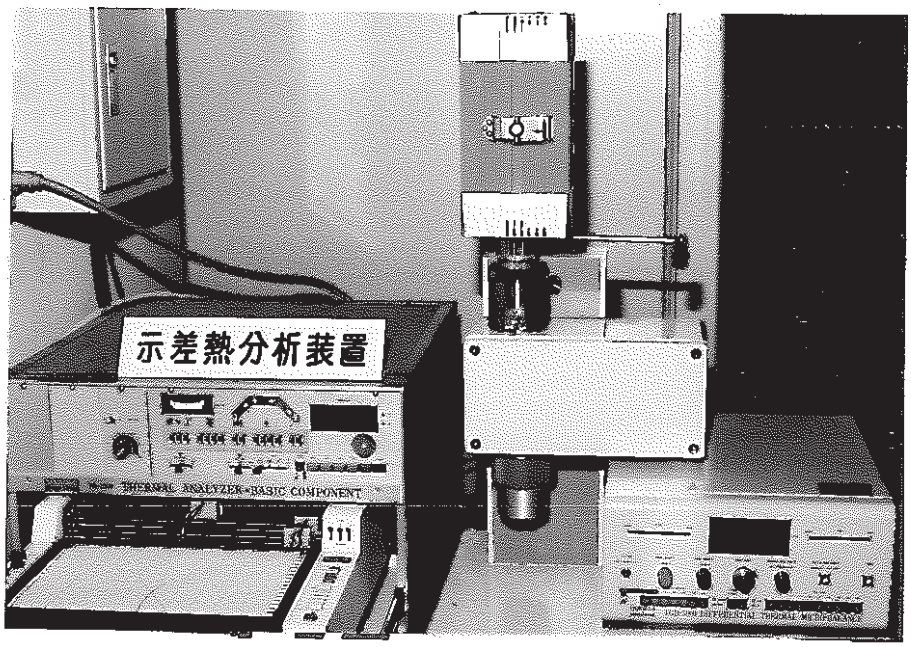


写－4.1　　混　合　試　験　装　置

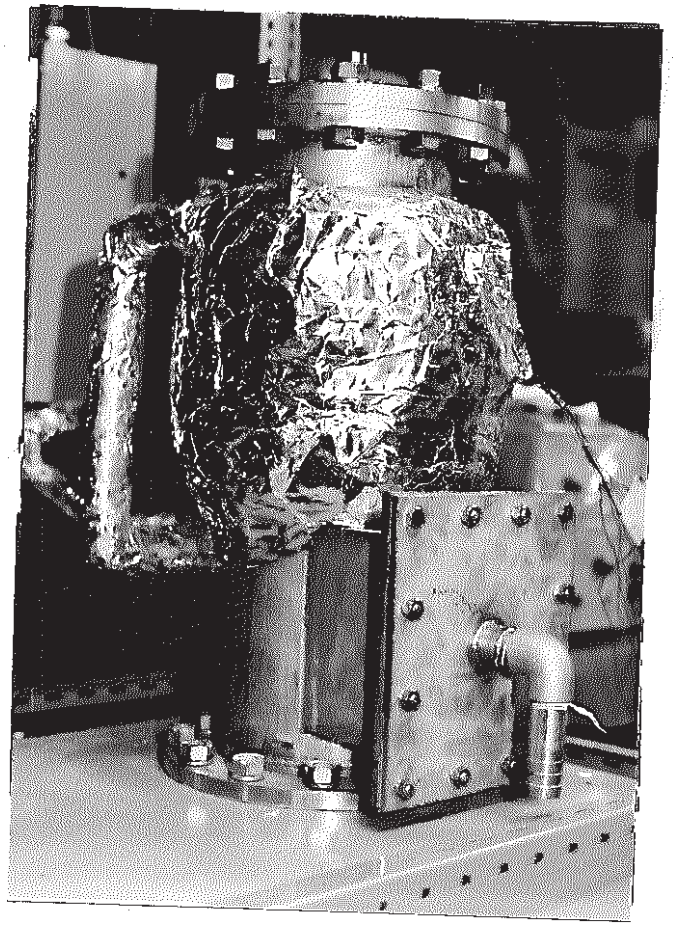


（ 0 分 ）　　（3分経過後）　　（20分経過後）

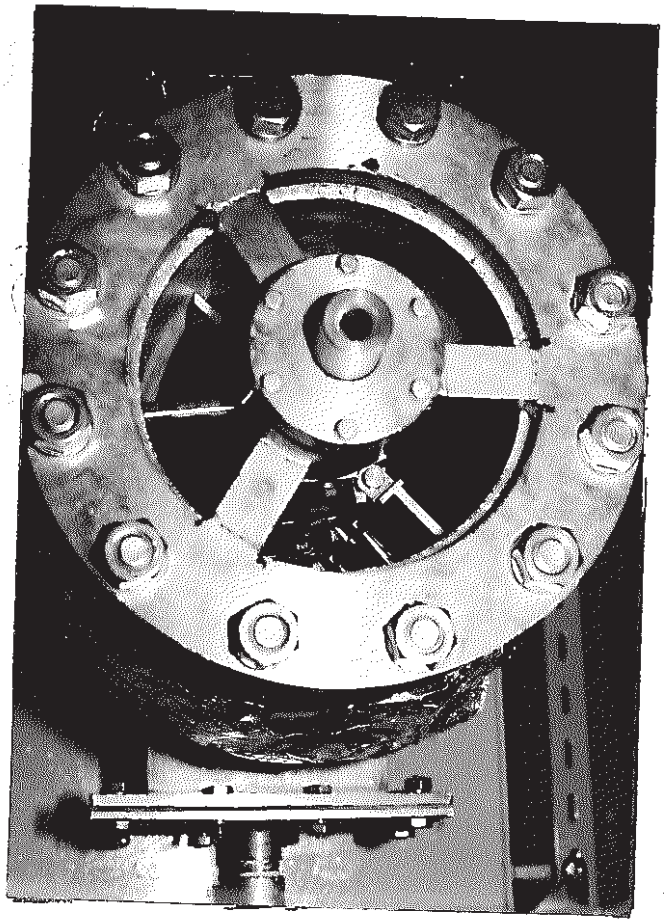
写－4.3　Turco系除染廃液の沈降状態



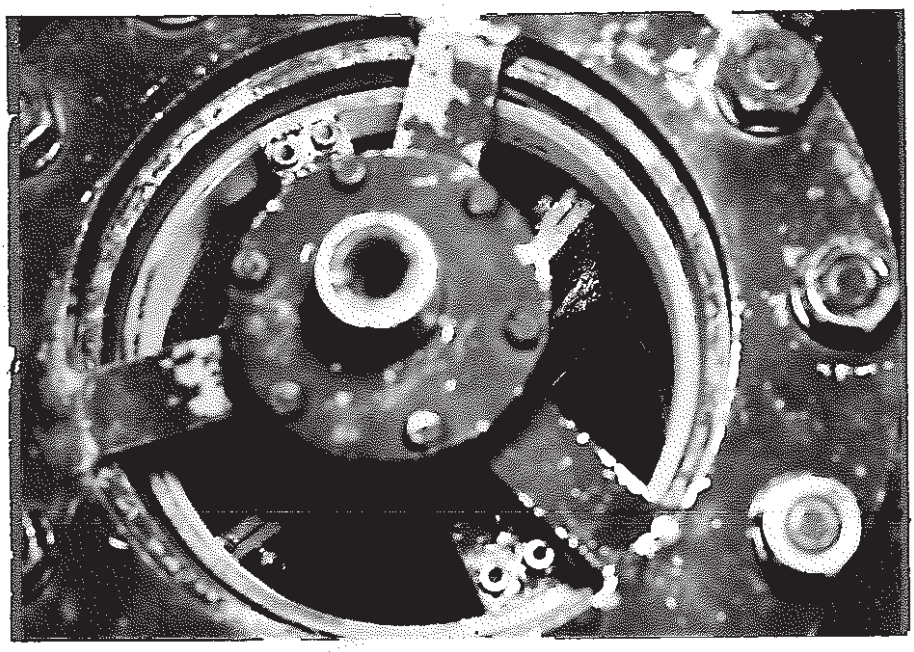
写一 4.4　　示　差　熱　測　定　器



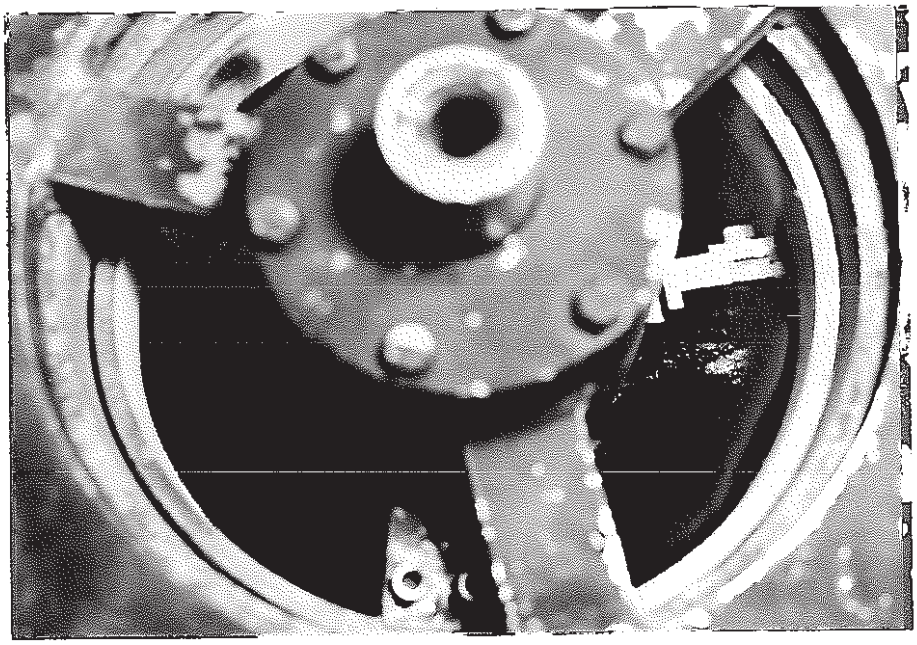
外　部　状　態



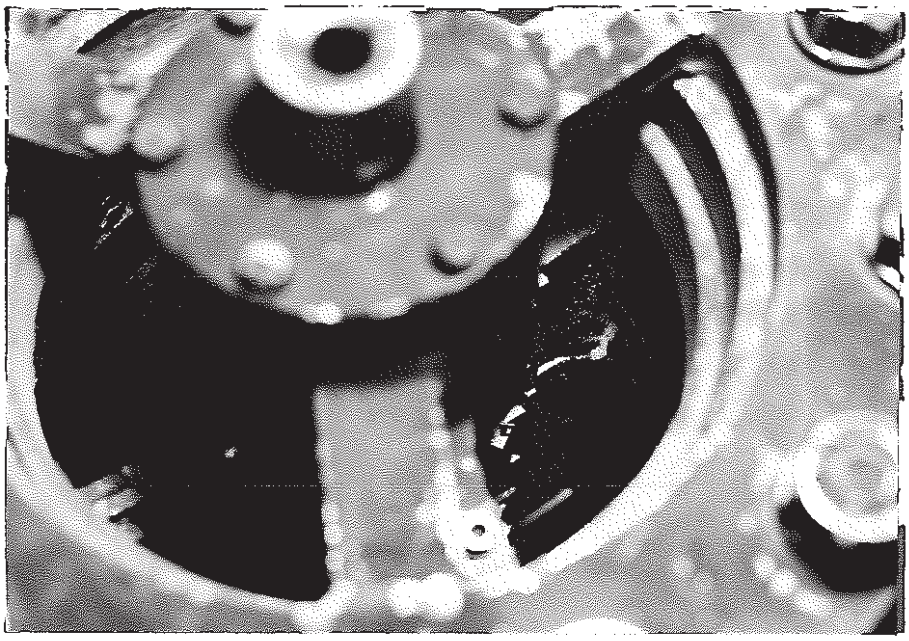
写一 4.5　　竪型薄膜乾燥機（可視型）



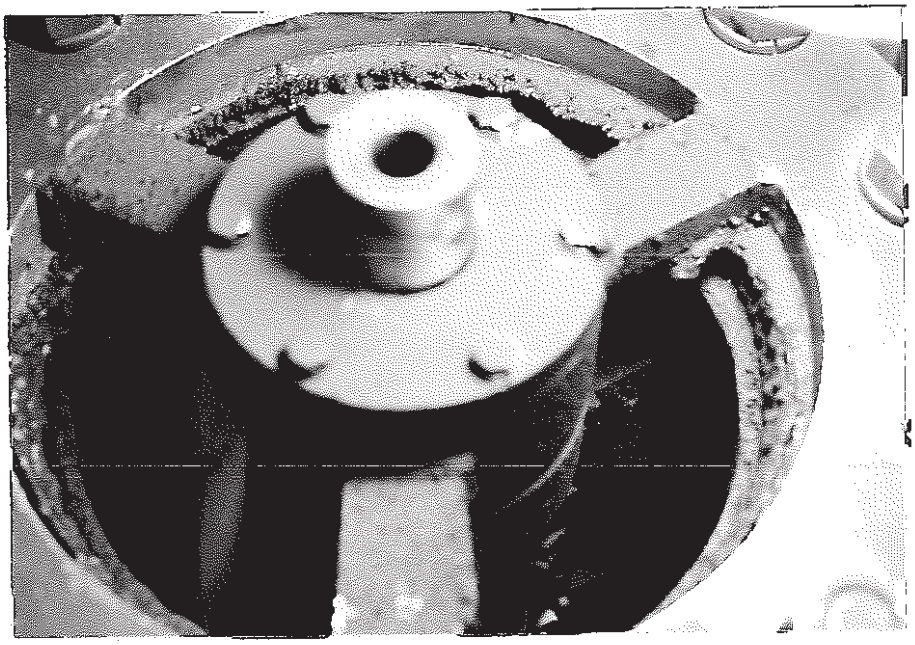
写－4.6　　乾燥終了時の内部状態（前処理課）



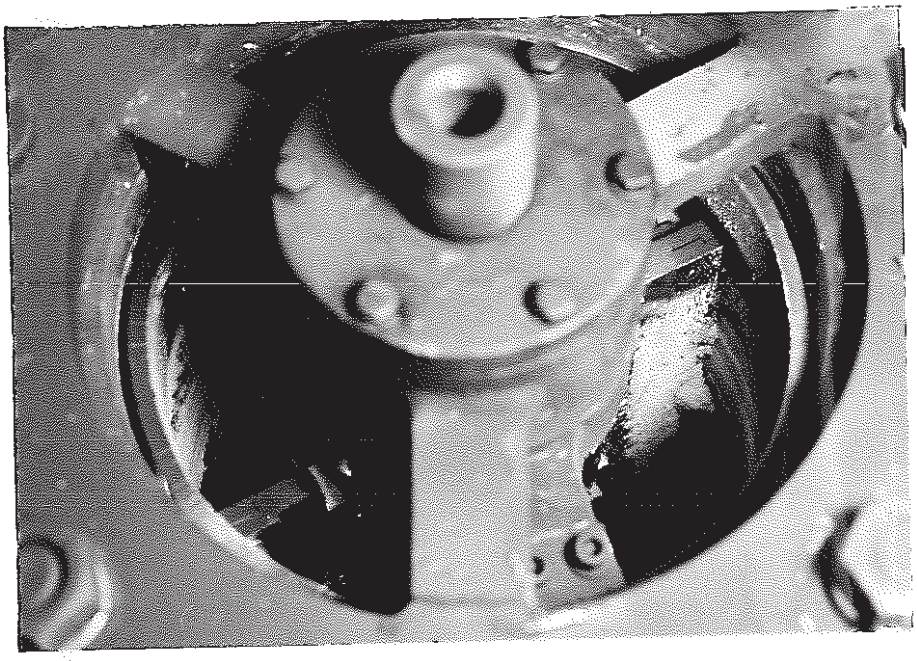
写－4.7　　乾燥終了時の内部状態（化学処理第一課）



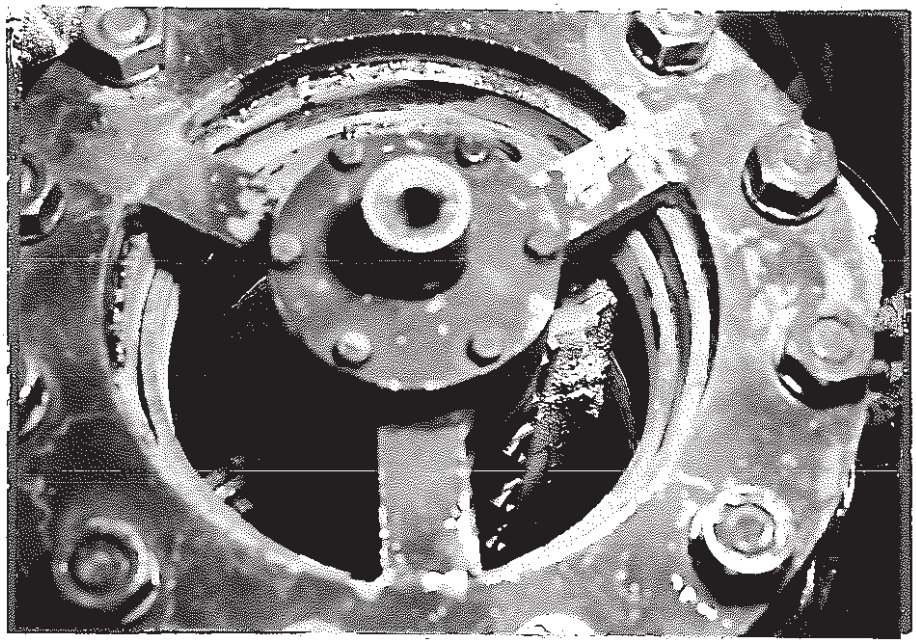
写－4.8　　乾燥終了時の内部状態（化学処理第二課）



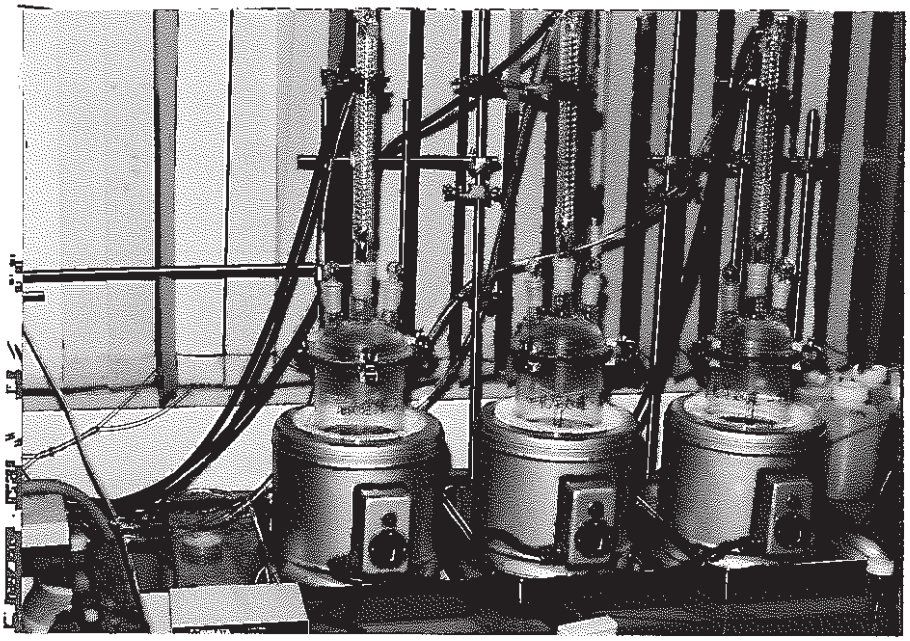
写－4.9　　乾燥終了時の内部状態（保守課）



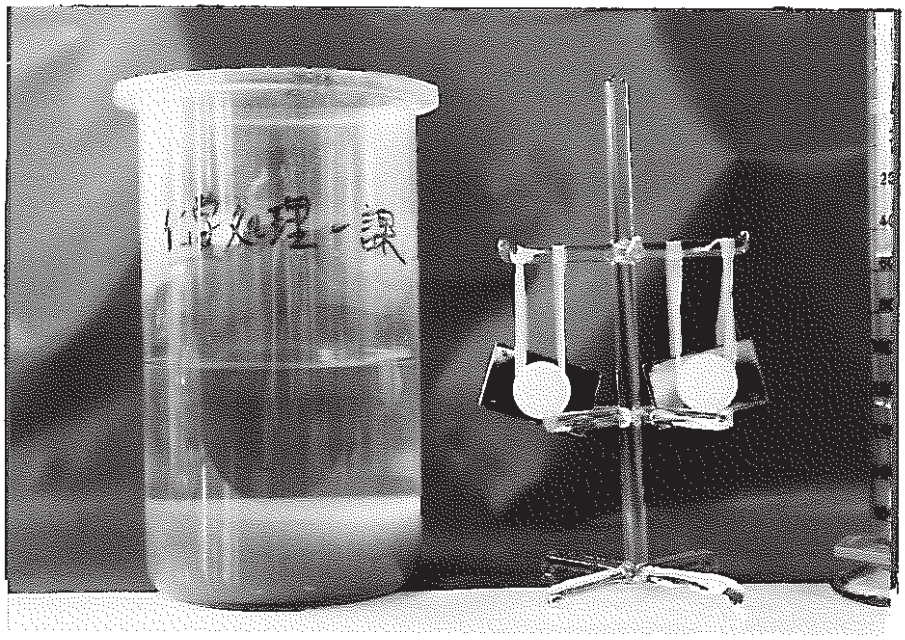
写－4.10　乾燥終了時の内部状態（減容技術開発室）



写－4.11　乾燥終了時の内部状態（硝酸ナトリウム）

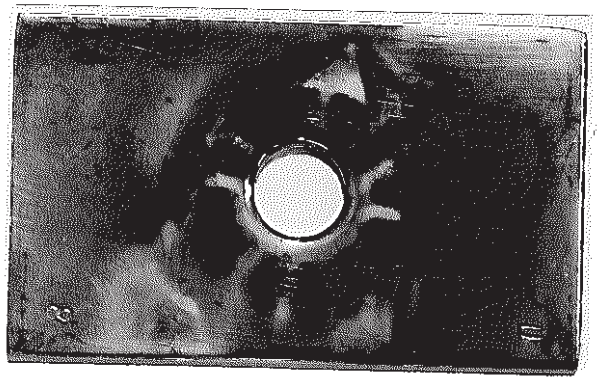


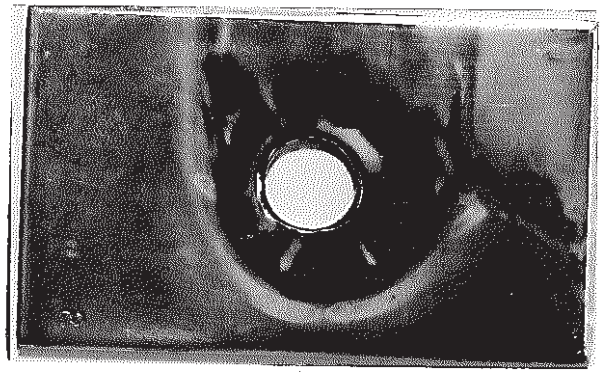
写－4.12　　試　　験　　状　　態



写－4.13　　除染廃液と試験ピース

（浸漬後）

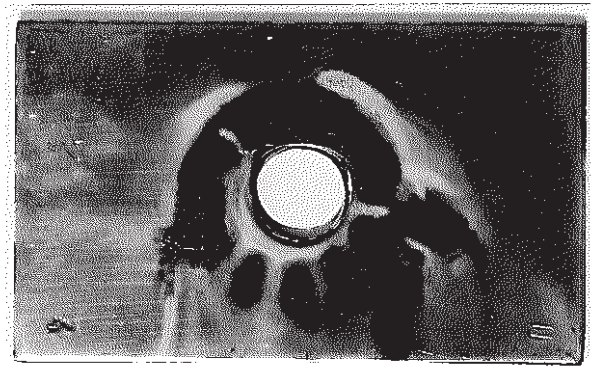


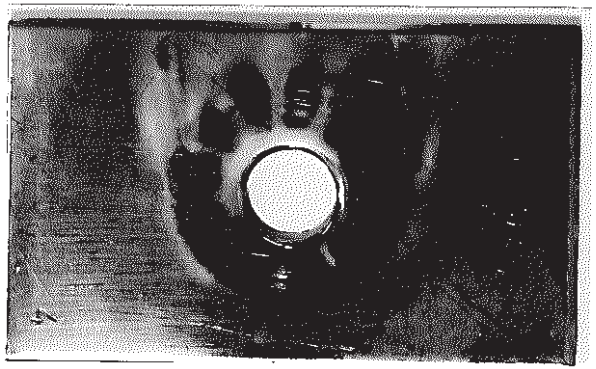


（浸漬前）

写－4.14　腐食試験結果（前処理課．SUS 304）

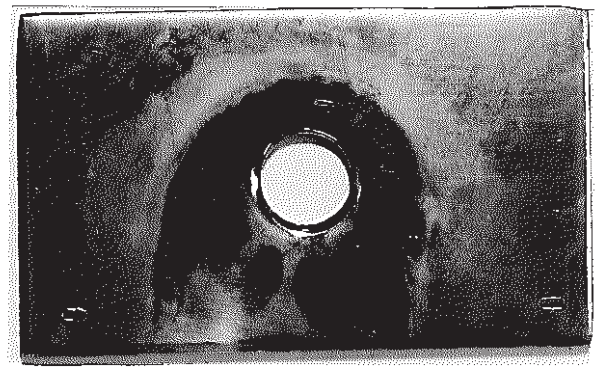
（浸漬後）

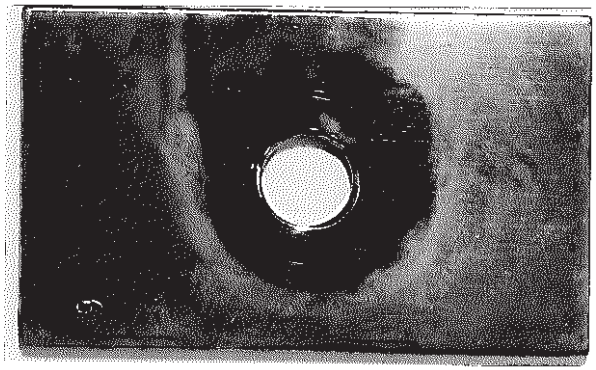




（浸漬前）

写－4.15　腐食試験結果（前処理課．　SUS　316L）



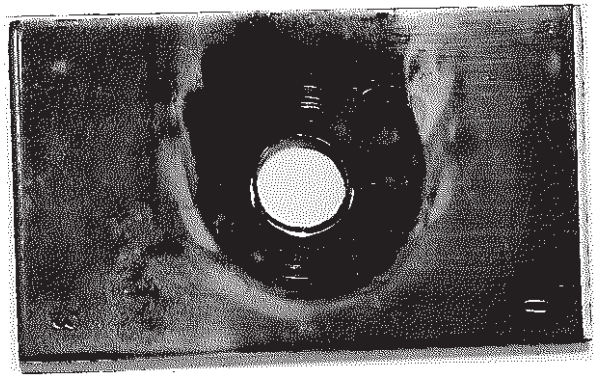


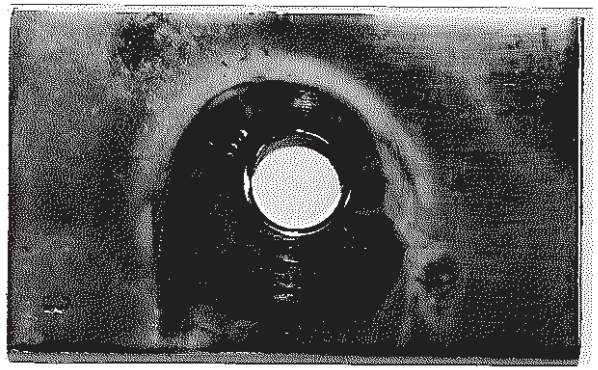
（浸漬後）

（浸漬前）

写－4.16　腐食試験結果（化学処理第一課．　SUS　304）

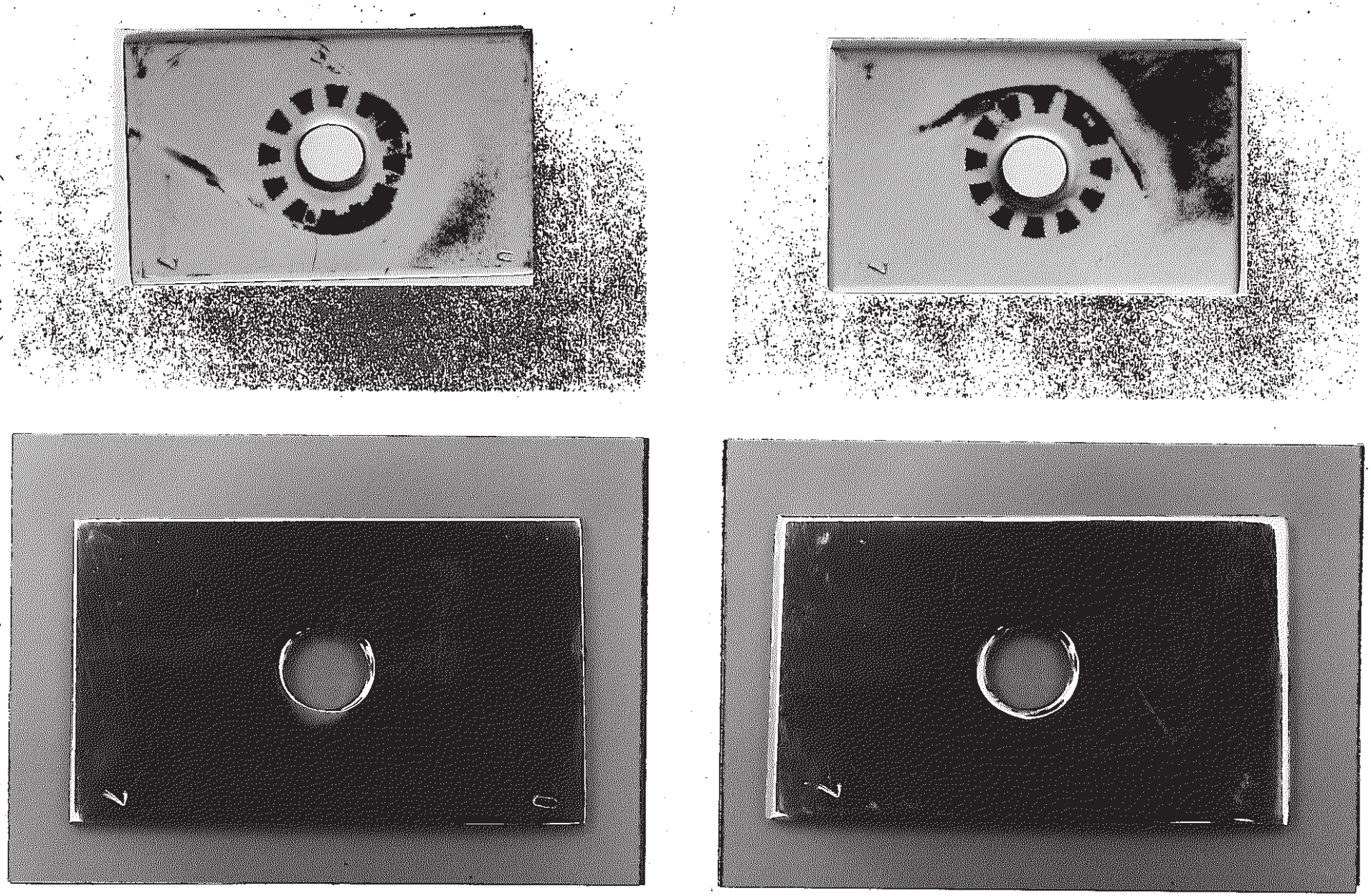
（浸漬後）



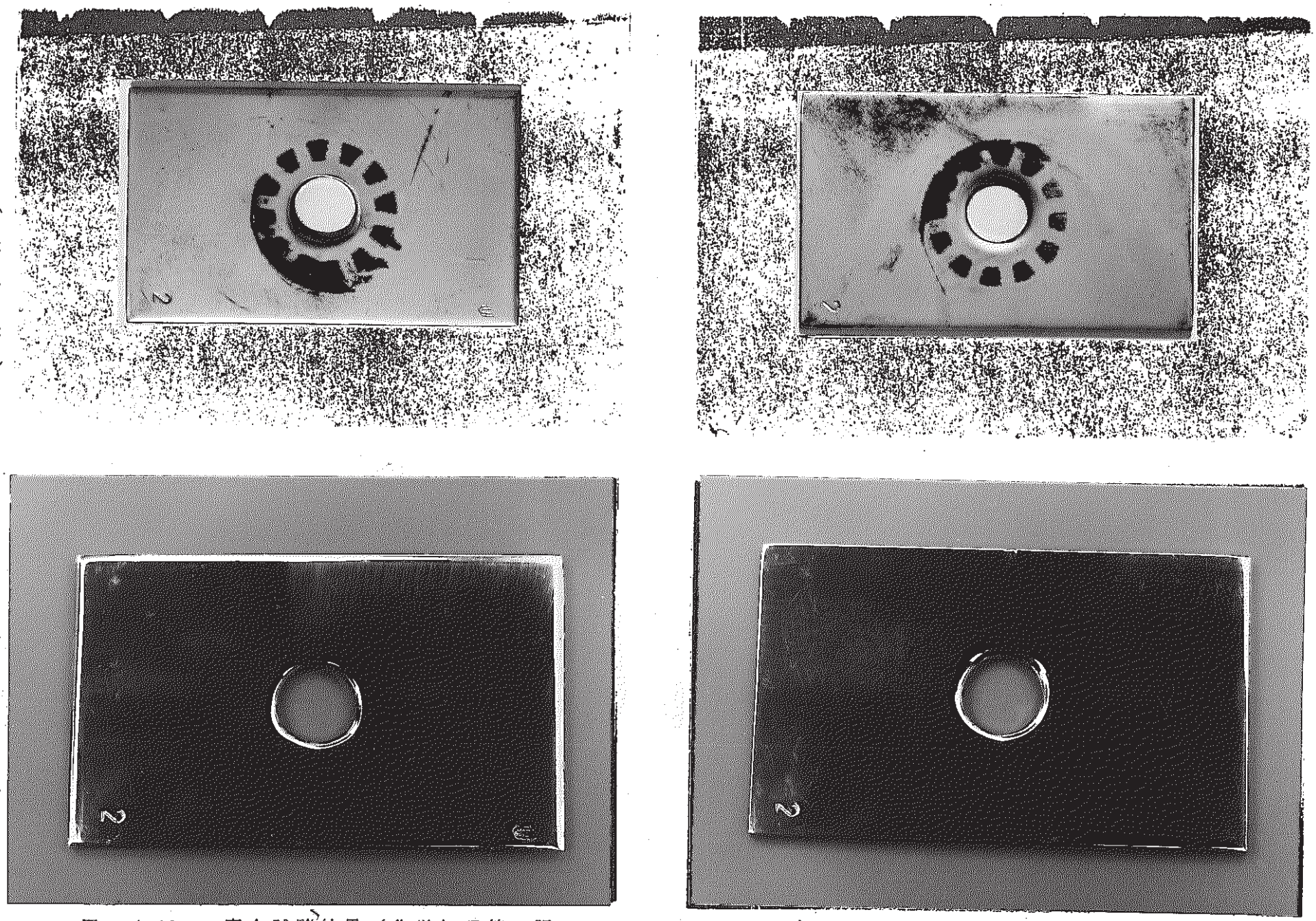


（浸漬前）

写－4.17　　腐食試験結果（化学処理第一課．　SUS　3161）



写－4.18　腐食試験結果（化学処理第二課．　SUS　304）



写－4.19　腐食試験結果（化学処理第二課．　SUS　316L）

5. 除染廃液処理確認試験

5.1 除染廃液処理試験

基礎試験で得られた結果をもとに選定した除染廃液処理方法に関して中規模装置により一連の処理試験を行い，その適応性を確認した。

(1) 処理装置の概要

図－5.1に処理装置の概略図を示す。

除染廃液は円筒平底型式の反応タンクで混合処理される。このタンク上部には除染液の受入れ容器を取りつけ，受入れた廃液はバルブを介して反応タンクに投入する。除染廃液の混合には，反応タンクに設けた攪拌機で行い，さらに薬剤注入タンクから除染廃液を前処理するための薬剤がローラポンプで一定量供給される。また，反応タンク上部には透明板を取りつけ，混合処理中の混合状態が観察できる。

(2) 処理装置仕様

(i) 反応タンク

容　　量	１５０ℓ
材　　質	ＳＵＳ３０４
攪拌機回転数	０～５００ｒpm

(ii) 除染廃液受タンク

容　　量	２０ℓ
材　　質	ＳＵＳ３０４

(iii) 薬剤注入タンク

容　　量	１０ℓ
材　　質	ポリエチレン

(iv) 薬剤注入ポンプ

流　　量	０～３０ℓ／ｈｒ
材　　質	ローラ　：　ＳＵＳ３０４
	チューブ　：　シリコン樹脂

(3) 試験条件

(i) 除染剤の投入手順

3.2.1項の前提条件の検討で確認した手順に従った。

(ii) 除染廃液処理用薬剤の注入手順

4.5節の基礎試験で得られた最適処理手順に従った。

(4) 確認項目

以下の項目について確認した。

(i) 温度測定

(ii) 除染廃液の性質（スラッジの発生量，PH，比重，電位，Toc等）

(5) 測定方法

(i) 温度測定

ＣＡ熱電対

(ii) スラッジの発生量

ＪＩＳ　Ｋ　０１０１に準じた。

(iii) ＰＨ

ＪＩＳ　Ｋ　０１０１に準じた。

(iv) 比　重

ＪＩＳ　Ｋ　０１０１に準じた。

(v) 電　位

酸化還元電位測定（添付資料２を参照）

(vi) TOC

TOC測定器（添付資料２を参照）

(6) 対象除染廃液

(i) 前処理課

（硝酸，水酸化ナトリウム，りん酸，　AP，EDTA）　＋プロセス酸性廃液

(ii) 化学処理第一課

（硝酸，水酸化ナトリウム，AP，NC，EDTA）＋プロセス酸性廃液

(iii) 化学処理第二課

（AP，NP，EDTA）＋プロセス酸性廃液

(iv) 保守課

Turco 4502＋Turco 4521

(v) 減容技術開発室

NC（Redox 廃液）

(7) 試験手順

① 前提条件の検討で確認された除染剤およびプロセス廃液を調整する。

② 廃液温度，廃液電位測定のスイッチをいれる。

③ 攪拌機を動作させる。

④ 反応タンクに調整した除染剤およびプロセス廃液を前提条件手順に従い順次投入する

⑤ 基礎試験結果に従って，反応タンクで廃液処理を行う。

⑥ 除染廃染処理終了後，分析用廃液を採取する。

⑦ 乾燥処理工程

⑧ タンク内部洗浄（システム洗浄）

(8) 試験結果

前提条件の検討結果を踏まえ，ここでは中規模試験装置による除染廃液処理試験，並びに乾燥処理試験を実施した。

(i) 除染廃液処理試験

(a) 混合試験

各担当課から発生する各々の除染剤の混合過程において急激な温度上昇，突沸，発泡はみられなかった。これは基礎試験結果と同様な結果が得られていた。また，廃液の性状面からでも表－5.1に示す如く強酸，かつ電位が高く前処理が必要な廃液であり，基礎試験結果と同様な結果が得られていることも確認した。

(b) 処理試験

上記混合試験で得られた廃液の処理試験を実施した。結果を表－5.2に示す。

(イ) 一括混合収集（前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課）

NaOHにより中和処理を行ったところ表に示す如く電位が低下した。このことは基礎試験結果と同様な結果であり，かつ廃液の性状面からでも推察される。

(ロ) 分別収集

○保守課

基礎試験結果を踏まえ，ホルマリン（ＨＣＯＨ）による還元処理によって電位は下がり，さらにHNO_3による中和処理で乾燥処理可能な性状になることを確認した。また，廃液の性状面からでも，基礎試験結果と同様な結果が得られていた。

○減容技術開発室

基礎試験結果を踏まえて，過酸化水素（H_2O_2）による還元処理，およびNaOHによる中和処理で電位が下がり乾燥処理可能な性状になることを確認した。また，廃液の性状から基礎試験結果と同様な結果が得られていることを確認した。

5.2　乾燥処理試験

5.1項において薄膜乾燥機で乾燥処理できる様に前処理した除染廃液は，伝熱面積0.5 m^2を有する中規模薄膜乾燥機を使用して乾燥処理を行い，薄膜乾燥機による乾燥処理が十分に行えることを確認する乾燥処理試験を行った。乾燥処理試験は，定常運転状態中の乾燥処理挙動確認試験と，乾燥処理能力確認試験，および，乾燥処理で得られた乾燥粉体の粉体物性測定と，乾燥運転状態観察等より，薄膜乾燥機によって乾燥処理することが問題ないことを確認した。

(1)　竪型薄膜乾燥機の運転原理

竪型薄膜乾燥機の内部構造を図－5.2に示す。

乾燥処理廃液は給液口より加熱蒸発領域上に導かれ，乱流薄膜を形成して加熱壁へ分散環により均一に供給される。

均一分散した廃液は重力により下方へと落下するのに従い，その間に廃液中の水分の蒸発が素早く行われ，スラリーを形成して更に固形物になるまで乾燥処理が成され粉体化する。これと同時に蒸発水は機器上部の蒸気出口より排出される。

乾燥機内部は固形物を含む液から固形物を連続的に分離するために，ロータ上に可動翼を取りつけた特別な設計が施されている。この可動翼は蒸発領域や晶析領域では最小間隙を持つ固定翼の様に作動する。一方，スラリー領域では可動翼の振り子作用によって，集塊粒子を分解する。

ロータ上の可動翼は加熱壁との間隙が一定に保たれていて，接触しないで処理物の伝熱面上での推積物を掻き取る効果があるので効率のよい掻き取り効果と処理物を乱流薄膜状にすることにより高い熱効率が得られる。

薄膜乾燥機に供給する乾燥処理物の入口固形物濃度は数％から４０％程度のものまで乾燥処理することが可能であり，乾燥粉体中の含水率は，１０％以下の含水率まで容易に乾燥処理することができる。

(2)　乾燥処理装置の概要

乾燥処理システムのフローを図－5.3に示す。

5.1節で前処理した除染廃液は，廃液受けタンクに貯蔵し，給液ポンプ（ローラポンプ）により竪型薄膜乾燥機の給液口から内部へ供給する。

乾燥機内部での除染廃液は，粉体と蒸発水とに分離し，乾燥粉体は乾燥機下部より排出

され乾燥機下部に設けた粉体受け容器に入る。乾燥機内部で蒸発した水分は乾燥機上部の蒸気出口部より排出され管路結合されている凝縮器によって凝縮水になり排出される。

乾燥機系内は粉体排出側へ蒸気が移行しないように乾燥機下部側でエアーパージし，抽気装置でこれを吸引して，復水器側に流れを作っている。このため系内は一数１０mmＡｑになる様に負圧調整されている。

抽気装置のオフガス系には乾燥処理中にガスの発生を測定するため，ガス濃度測定器とガス濃度が使用した測定器の測定限界値以下であった場合のためにガスクロマトグラフィーを用いて確認できる様に，ガス捕集器の組込みを行った。

(3) 機器仕様

(i) 竪型薄膜乾燥機

図－5.4に試験に使用した竪型薄膜乾燥機の概略図を示す。

(a) 乾燥処理部

伝熱面積	0.5 m^2
最高設計圧力	１２kg／cm^2
最高設計温度	１９０℃
使用圧力	MAX 9kg／cm^2
使用温度	MAX １７５℃
加熱方法	飽和蒸気加熱

(b) 駆動モータ

型式	ＥＣモータ
回転数制御範囲	１２０～１２００rpm
動力	９kW（乾燥機軸動力値）

(ii) 凝縮器

型式	多管式熱交換器
伝熱面積	３ m^2
熱交換量	８４００Kcal／hr
材質	ＳＵＳ３０４

(iii) 給液ポンプ

型　　式	ローラポンプ
容　　量	１００ℓ／hr
チ ュ ー ブ	シリコン
モ　ー　タ	電子制御　　AC100V　300W

(iv) 抽気装置およびエゼクター

最大吸引空気流量	１８m³／hr
モ　ー　タ	AC200V　2.2kW

(v) ボイラー

型　　式	貫流ボイラー
蒸気発生能力	８５０KG／hr
最 大 圧 力	１０KG／cm²

(4) 試験項目および方法

(i) 乾燥処理挙動確認試験

0.5m²乾燥機の定格流量値である流量３７.５ℓ／hr で乾燥処理を連続に行い，この定常運転処理中における乾燥処理挙動特性について確認を行った。確認項目は，乾燥処理中に排出される凝縮水水質分析と，これにより得られる除去性能結果および乾燥粉体を採取し，乾燥処理粉体中の含水率測定と粉体物性の一般的項目について求めた。

また，乾燥処理に必要とされる乾燥機駆動動力値について求めた。

(ii) 乾燥処理能力確認試験

対象除染廃液の乾燥処理能力の確認は，薄膜乾燥機下部から排出される乾燥粉体中にスラリー状物質が発生するまで給液流量を上昇して行った。

また，再処理工場内での使用蒸気は約１３３℃以下であることより，蒸気加熱温度による影響確認として蒸気温度を変化させた場合の乾燥処理能力について上記と同じ内容で確認した。

(iii) 乾燥運転状態の観察

乾燥機下部から排出される乾燥粉体の排出状況の観察と，乾燥処理中に乾燥機内部から発生する異常音の有無について確認した。

(iv) 乾燥処理中のガス発生確認

対象除染廃液中の乾燥処理中におけるガスの発生の確認をガス濃度測定器と，ガスクロマトグラフィーによって確認した。

(5) 試験条件

(i) 乾燥機運転条件

乾燥処理能力の確認を行うため，加熱蒸気温度と廃液供給流量をパラメータとして，以下に示す運転条件で乾燥処理試験を行った。

加熱蒸気温度	１３０～１７５℃
回　転　数	～９１０ rpm
流　　量	３０～８０ℓ／hr
ＰＨ	９～１１
系内雰囲気	空気

(ii) 乾燥処理対象廃液

5.1節で乾燥処理が可能な様に廃液処理した除染廃液について乾燥処理試験を行った。なお，対象除染廃液は，3.2.5項の表－3.２０～3.２１の通りである。

(6) 測定項目

乾燥処理試験における測定項目および測定内容を以下に示す。

(i) 乾燥粉体物性

含水率，粒度分布，かさ密度*，安息角*

(ii) 凝縮水の水質

電導度，全固形分濃度，ＰＨ，TOC濃度，Ｎａ濃度，Ｍｎ濃度

(iii) 運転状態の観察

モータ動力値，粉体排出状態，異常音発生の有無

(iv) 発生ガスの確認

ＮＯｘ，ＣＯ，CO_2

＊ 測定方法を添付資料２に示す。

(7) 測定機器仕様

(i) 含水率

型　　式	カールフィッシャー水分計
滴定方式	容量滴定方式
測定範囲	0.1～100㎎ H_2O

(ii) 粒度分布

型　　式	コールターカンター粒度分布計
媒　　液	イソプロピルアルコール
測定範囲	0.6～400 μm

(iii) かさ密度，安息角

型　　式	粉体パウダー測定器
ふるい振動数	3000 rpm
ふるい振巾	MAX 2.0㎜

(iv) 電導度測定

型　　式	電導度測定器

(v) 全固形分濃度

JIS K 0101に準じた。

(vi) PH測定

型　　式	PH測定器

(vii) Na測定

型　　式	炎光分析測定器
測定波長範囲	190 nm～900 nm
検出限界	0.3 ppm

(viii) Mn測定

型　　式	原子吸光測定器
測定波長範囲	190 nm～900 nm
検出限界	0.4 ppm

(ix) ＴＯＣ測定

型　　式	全有機炭素分析計
測定範囲	１～４０００ppm

(x) ガス分析

(a) ＮＯｘ測定

（連続ガス濃度分析）

型　　式	ＮＯｘ測定器
測定原理	常圧式化学発光法
測定範囲	０.５～５０ppm

(b) ＣＯ測定

（採取ガス分析）

型　　式	ガスクロマトグラフィ
測定限界値	１００ppm
基準ガス濃度	０.４５％

（連続ガス濃度分析）

型　　式	ＣＯ測定器
測定原理	非分散形赤外線吸収方式
測定範囲	０.１～５Vol％

(c) CO_2 測定

（採取ガス分析）

型　　式	ガスクロマトグラフィ
測定限界値	１００ppm
基準ガス濃度	２３％

（連続ガス分析）

型　　式	CO_2 測定器
測定原理	非分散形赤外線吸収方式
測定範囲	０.３～１５Vol％

(8) 試験手順

① 廃液受，タンクに5.1節で前処理を施した除染廃液を受け入れる。

② 廃液受　タンクの攪拌機を作動させ，十分に攪拌を乾燥処理中行う。

③ 乾燥機加熱ジャケットに加熱蒸気を通す。

④ 計測器関係のスイッチを動作させ，測定準備を行う。

⑤ 乾燥機下部へ所定流量のパージガスを流す。

⑥ 抽気装置を動作させ，乾燥機系内を負圧に保つ。

⑦ 凝縮器に凝縮水を通水する。

⑧ 乾燥機メカシール部にシール水を通水する。

⑨ 乾燥機加熱状態が安定した後，乾燥機モータを起動する。

⑩ 乾燥機回転数を所定の回転数に調整する。

⑪ 給液ポンプの回転数を徐々に高め，所定流量まで供給する。

⑫ 乾燥処理状態が安定状態に達したら，凝縮水，ガス捕集器のサンプリングをする。

⑬ 乾燥処理停止後，乾燥粉体容器から粉体をサンプリングする。

⑭ 乾燥機の洗浄を行う。

(9) 試験結果

乾燥運転試験内容および乾燥処理対象除染廃液の水質分析結果を表－5.3に示す。

乾燥処理能力確認試験は対象除染廃液全てにおいて行い，それぞれの乾燥処理能力限界値を確認した。

乾燥加熱蒸気温度の影響確認については試験の都合により化学処理第二課を対象に行った。以下に乾燥処理試験で得られた結果について述べる。

(i) 乾燥処理挙動確認

試験は，0.5 m^2薄膜乾燥機の定格流量である37.5 ℓ／hr で連続乾燥処理している時の乾燥挙動について行った。以下に試験結果を示す。

(a) 凝縮水水質

凝縮水水質分析結果を表－5.4に示す。

凝縮水の水質は，ＰＨは，模擬廃液のＰＨよりやや低めで弱アルカリ側で排出された。また，電導度については，減容技術開発室が70 μs／cmと最低の電導度値を示

し，保守課は６００μs／cmと最大値を示した。

全固形分測定値は，0.02wt％が最大であり，ナトリウムイオン濃度については１１０ppm，ＴＯＣ濃度については３００ppmであった。

これらの測定結果から凝縮水中への固形分同伴割合について除去係数で評価した。評価項目は，全固形分，ナトリウムイオン濃度，ＴＯＣ濃度について行った。保守課についてはナトリウムイオン濃度の代りにマンガンイオン濃度を求めた。

除去係数の求め方を以下に示す。

$$除去係数 = \frac{模擬廃液中の濃度}{凝縮水中の濃度}$$

除去係数は全固形分，ナトリウムイオン濃度とも同一傾向を示し，百から千位の範囲の除去性能を有していることが確認された。ＴＯＣ濃度についても約十位の除去係数を有していることを確認した。

(b) 粉体物性

測定結果を表－5.5に示す。

乾燥機下部から排出した乾燥粉体を写真－5.1に示す。

乾燥粉体は全て粉体物として得られた。また，この粉体中には最低0.05～最大0.6％の範囲で水分が含有していることを確認した。

乾燥粉体の粒径は，硝酸ナトリウムを主成分とする前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課は平均粒径で～３０μを示した。

保守課は，硝酸カリウムが主成分であるが，廃液中に水酸化物のスラッジが前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課より多く含まれているということから，平均粒径が～１４０μという測定結果を得た。

減容技術開発室についても主成分は硝酸ナトリウムであるが，前記と同様，水酸化物のスラッジが含まれている影響で平均粒径が～１１０μという測定結果を得た。

嵩密度は緩み状態について測定を行なった結果，硝酸ナトリウムを主成分とする前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課の廃液が0.5g／ccであるのに対して，保守課，減容技術開発室が～1.1g／cc であった。

この測定値の違いは粒径が大きく影響していると判断できる。また，安息角測定についてはさほど大差ないという測定結果を得た。

これらの結果から，廃液性状によって粉体物性が影響することを確認した。

(c) 乾燥処理駆動動力

乾燥機定常運転状態における乾燥機駆動動力値の試験結果を表－5.6に示す。

表には薄膜乾燥機（0.5 m^2）で乾燥処理に必要な駆動モータの消費電力値の最高値について示した。また，薄膜乾燥機の伝熱面積（m^2）あたりでの軸動力換算値を示した。また，図－5.5に対象除染廃液の軸動力換算値における比較曲線と設計基準値との関係について示す。

乾燥機の駆動動力負荷は廃液中に含まれる固形分濃度とスケール成分量によって影響することが表－5.7の固形分濃度分析結果より推測できる。

対象除染廃液の乾燥処理に必要とされた駆動動力値は，図－5.5の軸動力換算値よりどれも設計基準値以内で乾燥処理されていることが確認できた。

(ii) 乾燥処理限界能力

(a) 乾燥処理限界値

各模擬除染廃液の乾燥処理限界能力を求めるため，給液流量を変化させ，未乾燥物の発生する領域を確認した。また，任意の流量において粉体中の含水率を求めた。

表－5.8に含水率測定結果および乾燥処理限界値を示す。

硝酸ナトリウムを主成分とする前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課は流量７０ℓ／hr から含水率上昇状態を示した。減容技術開発室は濃度が低いため，水分を余計に蒸発する必要から６０ℓ／hr から含水率上昇状態を示した。

保守課については，スケールによる乾燥処理能力の低下が考えられ，６０ℓ／hr から含水率上昇状態を示した。

(b) 蒸気温度の影響確認

乾燥機加熱蒸気温度を変化させ，蒸気温度による影響確認をした。試験は，化学処理第二課を対象にして行った。

試験結果を表－5.9に示す。

加熱蒸気温度１３０℃では流量１５ℓ／hr から含水率上昇状態を示し，加熱蒸気温度１７５℃では７０ℓ／hr から含水率上昇状態を示した。

この結果から乾燥性能曲線を求めた。乾燥性能曲線は，硝酸ナトリウム溶液の沸点が約１２０℃にあるので，これを基準点として曲線を引き乾燥粉体排出領域と未乾燥物排出領域を示した。

乾燥性能曲線を図－5.6に示すが，明らかに蒸気温度によって著しく乾燥性能が変化することを示した。

温度による粉体物性への影響は，測定結果より同等の測定値が得れ，乾燥温度による影響ないことが確認された。

粉体物性の試験結果を表－5.5に示す。

(iii) 乾燥機運転状態の確認

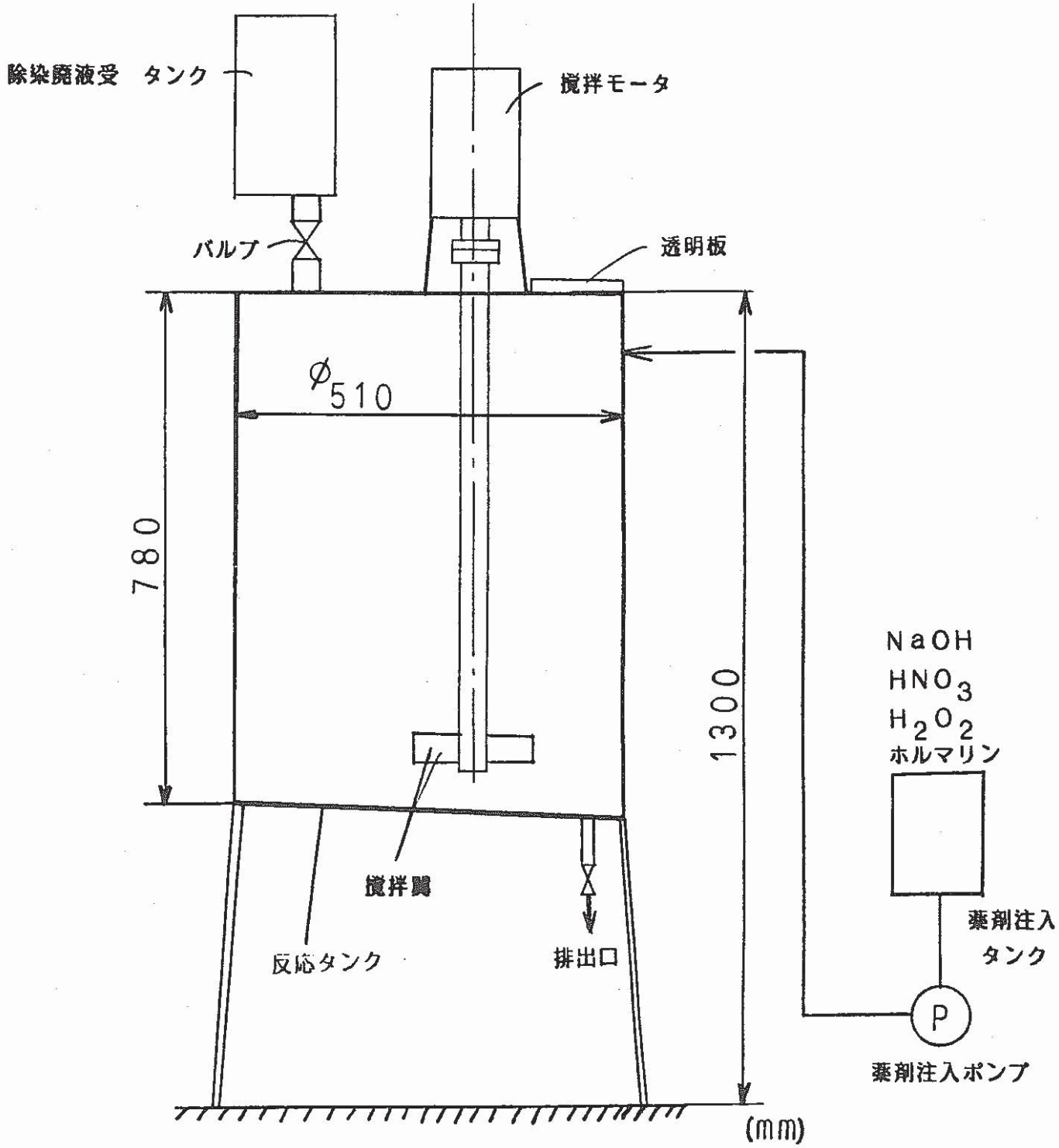
乾燥処理中の運転状態の確認として，粉体排出状態と異常音発生の有無について確認した。表－5.１０に試験結果を示す。

対象除染廃液の乾燥処理中の粉体排出状態は良好に行われ，異常音発生など起らないことが確認された。

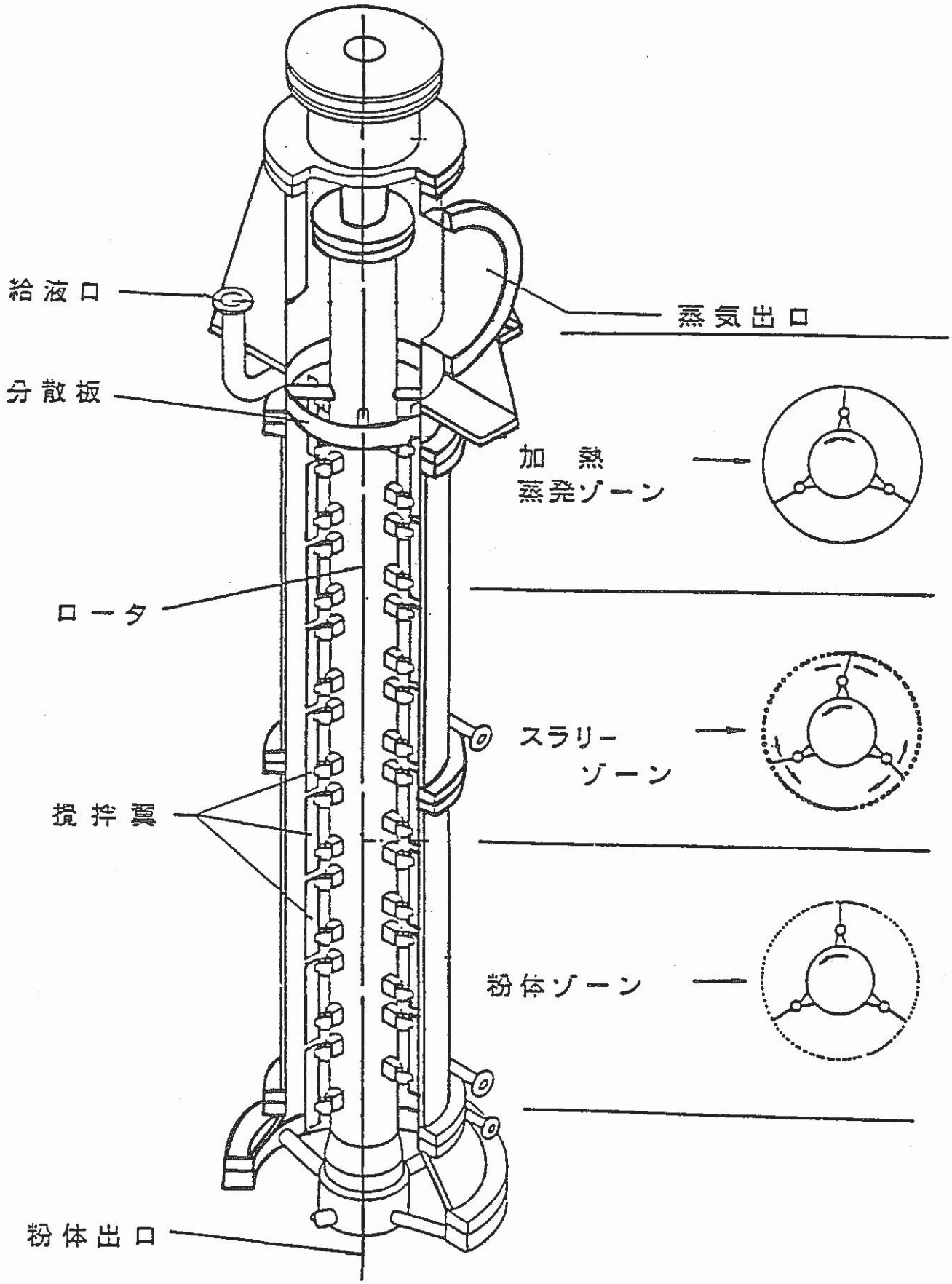
(iv) 乾燥処理によるガス発生

表－5.１１に測定結果を示す。

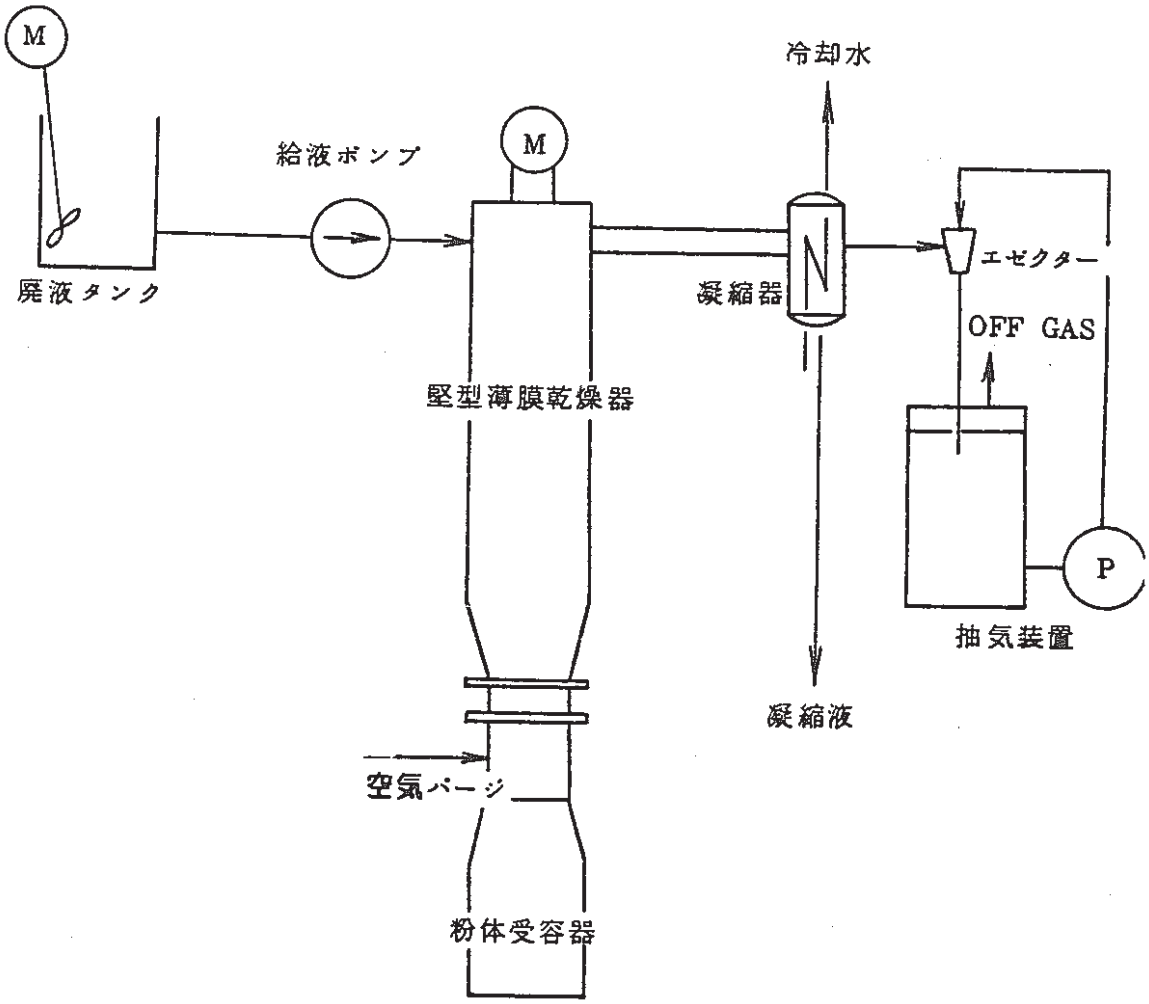
今回行った測定項目については乾燥処理に伴ってガスの発生しないことが確認できた。


除染廃液受　タンク
撹拌モータ
バルブ
透明板
φ510
780
1300
NaOH
HNO3
H2O2
ホルマリン
撹拌翼
反応タンク
排出口
薬剤注入
タンク
P
薬剤注入ポンプ
(mm)

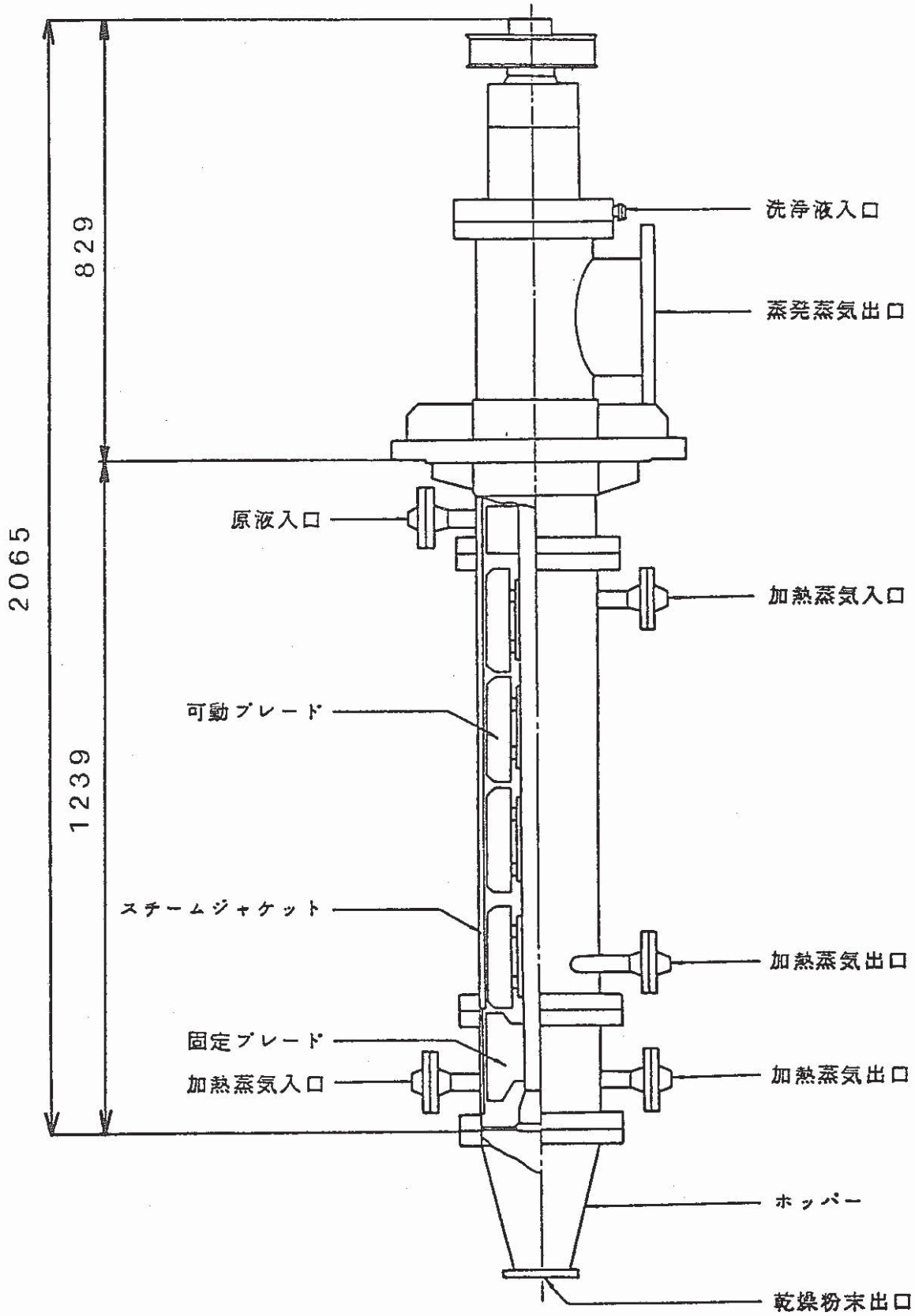
図－5.1　処理装置概略図



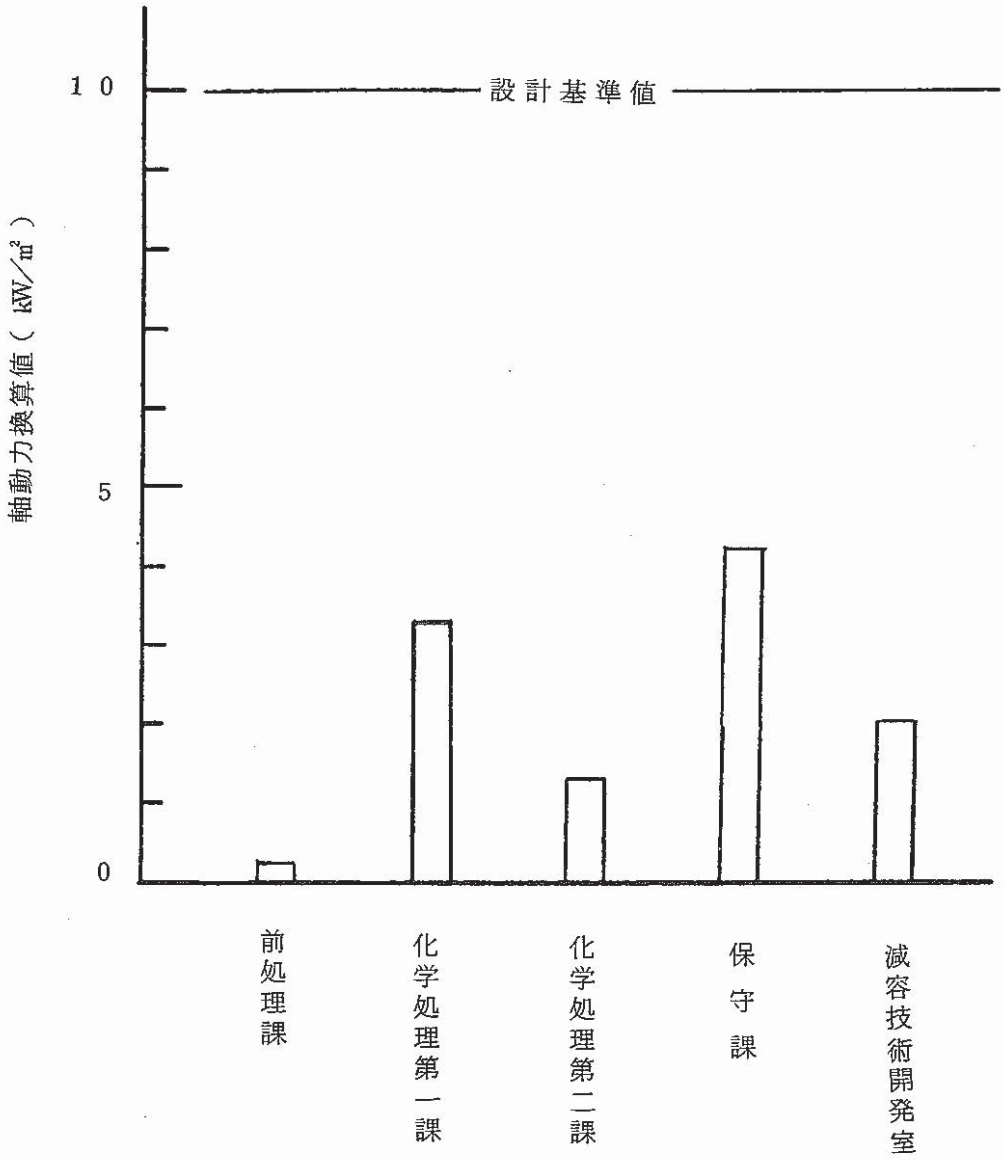
図－5.2　竪型薄膜乾燥機内部構造図



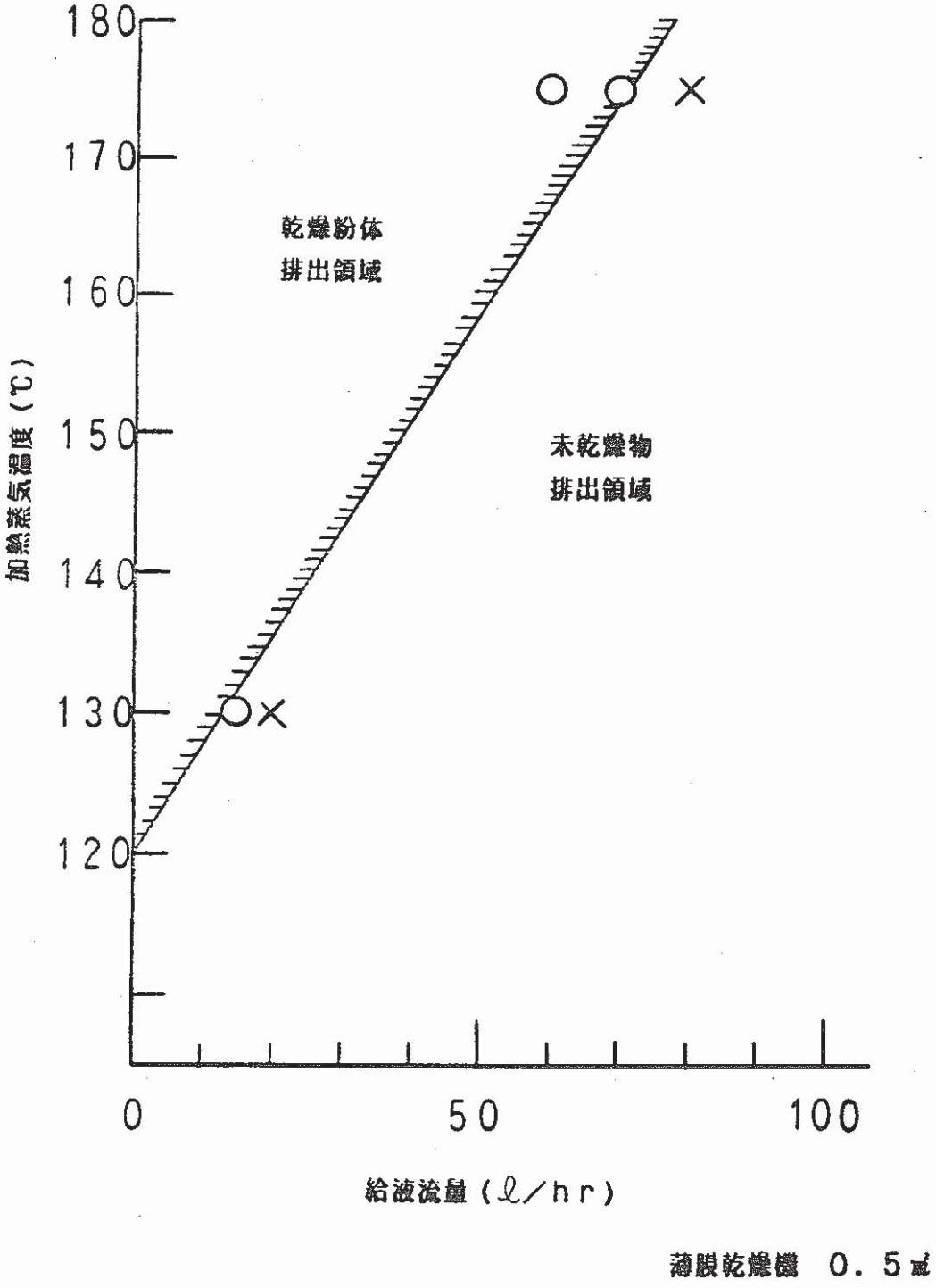
図－5.3　乾燥処理システムフロー図



図－5.4　竪型薄膜乾燥機概略図



図－5.5　乾燥機軸動力換算値



図－5.6　化学処理第二課乾燥性能曲線

表－5.1　混合試験（廃液の性状）

	前処理課		化学処理第一課		化学処理第二課		保守課		減容技術開発室	
	基礎	確認	基礎	確認	基礎	確認	基礎	確認	基礎	確認
PH	1.6	1.4	1.3	1.2	1.4	1.2	12.6	13.4	3.2	3.0
比重	1.03	1.03	1.03	1.05	1.03	1.04	1.03	1.03	1.00	1.00
電位(V)	0.63	0.60	0.60	0.65	0.60	0.56	0.36	0.37	1.15	1.15

表－5.2　処理試験（廃液の性状）

	前処理課		化学処理第一課		化学処理第二課		保守課		減容技術開発室	
	基礎	確認	基礎	確認	基礎	確認	基礎	確認	基礎	確認
PH	10.8	11.0	10.8	10.9	11.0	11.0	10.8	10.6	11.0	10.9
比重	1.04	1.04	1.06	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.00	1.00
電位(V)	−0.18	−0.14	−0.68	−0.61	−0.50	−0.60	−0.15	−0.13	−0.07	−0.07

表－5.3　乾燥試験内容

	乾燥運転条件			模擬廃液組成					
	温度 (℃)	回転数 (rpm)	流量 (ℓ/hr)	電導度 (ms/cm)	全固形分濃度 (wt%)	比重 (−)	PH	Na濃度 (ppm)	TOC濃度 (ppm)
前処理課	175	910	37.5～80	65.9	6.8	1.044 (25℃)	11.0	23800	37
化学処理第一課	175	910	37.5～80	91.8	10.4	1.065 (24℃)	10.9	36500	130
化学処理第二課	130～175	910	37.5～80	83.6	9.0	1.055 (29℃)	11.0	313000	253
保守課	175	910	37.5～70	50.5	5.1	1.036 (25℃)	10.6	*2310	1920
減容技術開発室	175	910	37.5～70	3.7	0.4	1.000 (27℃)	10.7	945	−

＊マンガン濃度

表－5.4　凝縮水水質分析結果

	* 凝縮水水質					*** 除去係数		
	電導度 (ms/cm)	全固形分濃度 (wt%)	PH (-)	Na濃度 (ppm)	TOC濃度 (ppm)	全固形分	Na	TOC
前処理課	197	0.01	9.1	42	3.5	680	567	10.6
化学処理第一課	540	0.02	6.8	107	9.8	520	341	13.3
化学処理第二課	121	0.005	9.2	23	17.7	1800	1306	11.7
保守課	595	0.004	10.0	**2	300.0	1020	** 1155	6.4
減容技術開発室	68	0.005	8.1	15	－	100	63	

* 給液流量　37.5 ℓ/hr

** マンガン濃度

*** 除去係数＝ 模擬廃液中の濃度 / 凝縮水中の濃度

表－5.5　乾燥粉体物性試験結果

	加熱温度（℃）	給液流量（ℓ／hr）	含水率（%）	平均粒径（μ）	嵩密度（g／cc）	安息角（度）
前処理課	175	37.5	0.15	28	0.49	53
化学処理第一課	175	37.5	0.05	32	0.72	40
化学処理第二課	130	37.5	0.12	37	0.65	48
	175	37.5	0.09	30	0.69	41
保守課	175	37.5	0.25	143	1.09	36
減容技術開発室	175	37.5	0.61	110	1.15	40

表－5.6　乾燥処理駆動動力試験結果

（kW）

	消費電力値（MAX）	伝熱面積m² あたりの軸動力換算値
前　処　理　課	0.2	0.24
化学処理第一課	2.7	3.24
化学処理第二課	1.1	1.32
保　守　課	3.5	4.2
減容技術開発室	1.7	2.04

乾燥機加熱温度　　175℃

廃液供給量　　37.5ℓ／hr

表－5.7　　固形分濃度分析結果

（wt％）

	模擬廃液		乾燥粉体中の
	溶解成分	不溶解成分	不溶解成分
前処理課	6.76	0.008	0.12
化学処理第一課	10.22	0.16	1.54
化学処理第二課	8.98	0.021	0.23
保守課	4.48	0.622	12.2
減容技術開発室	0.20	0.106	34.6

表－5.8　含水率測定結果

(%)

	流　量（ℓ／hr）			
	3.7.5	60	70	80
前処理課	0.15	0.10	0.71	スラリー
化学処理第一課	0.05	0.23	0.82	スラリー
化学処理第二課	0.09	0.32	0.56	スラリー
保守課	0.25	0.53	スラリー	——
減容技術開発室	0.61	0.98	スラリー	——

（乾燥機加熱温度　175℃）

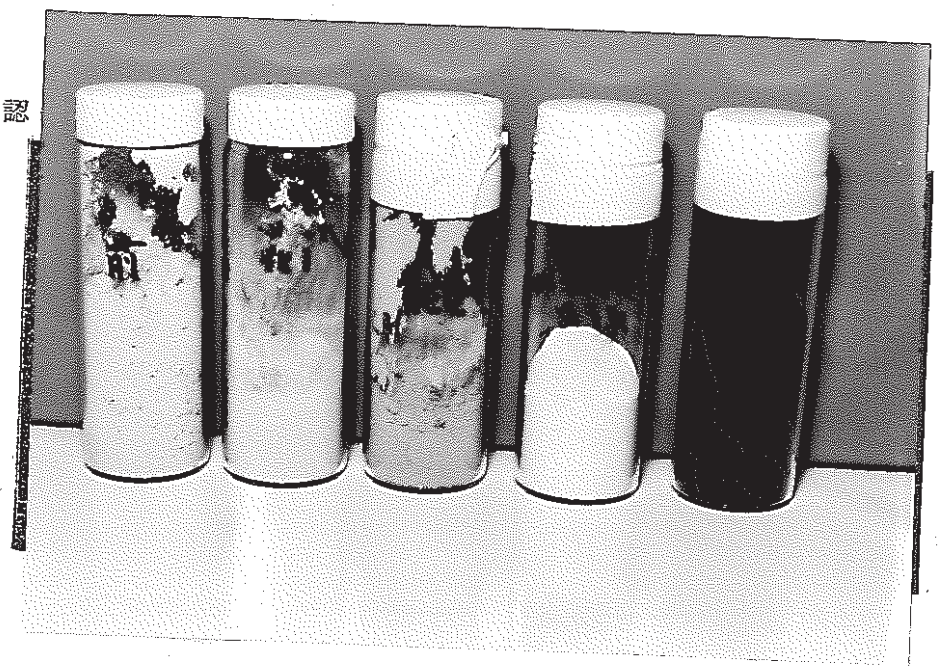
表－5.10　運転状態の確認試験結果

	粉体排出状態	異常音発生の有無
前処理課	良好	無し
化学処理第一課	良好	無し
化学処理第二課	良好	無し
保守課	良好	無し
減容技術開発室	良好	無し

表－5.11　ガス分析測定結果

	NOx	CO		CO_2	
		インライン	ガスクロ分析	インライン	ガスクロ分析
前処理課	0.5ppm 以下	0.1 % 以下	100ppm 以下	0.3 % 以下	100ppm 以下
化学処理第一課	0.5ppm 以下	0.1 % 以下	100ppm 以下	0.3 % 以下	100ppm 以下
化学処理第二課	0.5ppm 以下	0.1 % 以下	100ppm 以下	0.3 % 以下	100ppm 以下
保守課	0.5ppm 以下	0.1 % 以下	100ppm 以下	0.3 % 以下	100ppm 以下
減容技術開発室	0.5ppm 以下	0.1 % 以下	100ppm 以下	0.3 % 以下	100ppm 以下

乾燥挙動確認



前処理課　化学処理第一課　化学処理第二課　減容技術開発室　保守課

加熱蒸気温度　175 度

回転数　910rpm

乾燥機　0.5m²

蒸気温度の影響確認

175 度　　130 度

化学処理第二課

回転数　910rpm

乾燥機　0.5m²

写－5.1　乾燥処理粉体

6. 除染廃液処理システムの検討・評価

本除染廃液処理設備のシステム設計に関しては，処理後の除染廃液を下流側に位置する低レベル濃縮廃液用遠心薄膜乾燥機で乾燥処理するという前提から，乾燥処理工程の設備容量，運転モード等を決定しないとシステム設計は困難である。しかし，現状減容処理施設の設計が十分に進んでいないため，乾燥処理工程の設備容量，運転モード等は決まっていない。

そのため，本除染廃液処理設備の下流側に位置する遠心薄膜乾燥機の処理容量，運転モード等を検討し，それらの結果を踏まえて，本除染廃液処理設備のシステム設計を行うものとする。

なお，本システム設計に際しては，3章の基本試験，および4章の確認試験の結果を基本とするものとする。

6.1 設 計 条 件

6.1.1 除染廃液処理工程

(1) 除染廃液の種類および処理量

本除染廃液処理設備で処理する除染廃液の種類および処理量は3.2.5項で推定した表－3.20～3.21を使用するものとする。

なお，非定常に発生する除染廃液に関しては，前処理課，化学処理第一課，および化学処理第二課が同時期（同年度）に除染作業を行うことなく，各担当課から発生する除染廃液は別々の年度に発生するものとする。

(2) 除染廃液処理設備の年間処理容量

本除染廃液処理設備の年間処理容量は，

① 非定常に発生する除染廃液のうち最大のもの（前処理課担当の除染廃液）

② 保守課担当の除染廃液（Turco系除染廃液）

③ 減容処理施設から発生する除染廃液（Redox除染廃液）

を合計した除染廃液量690m^2/年とする。

(3) 除染廃液処理設備の1日当りの処理容量

本除染廃液処理設備の1日当りの処理容量は，下流側に位置する遠心薄膜乾燥機の1日当りの処理容量6.0m^2/日[注1)]とする。

注1） 除染廃液を処理した後の容量（処理用試薬を添加後）であり，処理前の除染廃液に換算すると5.8m^2となる。

また，１バッチ／日のバッチ処理とする。

遠心薄膜乾燥機の処理容量　　２５０ℓ／hr[注2)]

遠心薄膜乾燥機の１日当りの処理容量

２５０ℓ／hr × ２４hr／日＝６０００ℓ／日＝6m³／日

(4)　除染廃液処理設備の年間稼働日数

本除染廃液処理設備の年間稼働日数は，年間処理容量を１日当りの処理容量で除した値なので，１２０日/年とする。

年間処理容量　　６９０m³／年

１日当りの処理容量　　5.8m³／日

（処理前の除染廃液処理容量）

除染廃液処理設備の年間稼働日数

$$\frac{690\,m^3/年}{5.8\,m^3/日} = 119 \simeq 120日/年$$

(5)　除染廃液受槽の設置

本除染廃液の乾燥処理は低レベル濃縮廃液用遠心薄膜乾燥機で処理するため，除染廃液の乾燥処理期間を限定することはなく任意に処理できるよう，除染廃液を一旦受槽で全量（年間発生量）受けるものとする。

また，除染廃液は廃液収集方法の検討から３種に区分されるので，区分された除染廃液に対して各々受槽を設け，合計３槽設けるものとする。

(6)　中間槽の設置

本除染廃液処理設備はバッチ運転（１バッチ／日）とするが，下流側に位置する遠心薄膜乾燥機は２４hr/日連続運転とするため，これらの設備の間には中間槽を設けるものとする。

6.1.2　乾燥処理工程

(1)　乾燥処理対象廃液の種類および処理量

本遠心薄膜乾燥機で処理する対象廃液の種類および処理量は以下の通りとする。

注２）　次項の乾燥処理工程を参照のこと。

① 低レベル濃縮廃液　　360m^3/年

② 再処理主施設から発生する処理済除染廃液

ⓐ 非定常に発生する除染廃液（前処理課担当）　221m^3/年

ⓑ 保守課担当の除染廃液　　75m^3/年

③ 減容処理施設から発生する処理済除染廃液　　407m^3/年

よって，乾燥処理対象廃液の処理量合計1063m^3/年とする。

(2) 遠心薄膜乾燥機の年間稼働日数

本遠心薄膜乾燥機の年間稼働日数は200日/年とする。

(3) 遠心薄膜乾燥機の運転モード

① 24 hr/日連続運転とする。

② 通常，月曜日から金曜日までの5日/週運転とし，月曜日7時に立上げ，金曜日23時に停止するものとする。

立上げ所要時間　　2 hr

停止所要時間　　3 hr

③ 1週当りの乾燥処理時間は107 hr/週とする。

運転時間　　112 hr/週

立上げ，停止時間　　5 hr/週

1週当りの乾燥処理時間（正味廃液処理時間）

112 hr/週－5 hr/週＝107 hr/週

(4) 遠心薄膜乾燥機の処理容量

本遠心薄膜乾燥機の処理容量は，乾燥処理対象廃液の処理量を遠心薄膜乾燥機の年間稼働時間で除した値なので，250 ℓ/hr とする。

乾燥処理対象廃液の処理量　　1063m^3/年

遠心薄膜乾燥機の年間稼働時間　　4280 hr/年

遠心薄膜乾燥機の処理容量

$$\frac{1063m^3/年}{4280hr/年} = 0.249m^3/hr \simeq 250\ell/hr$$

6.2　設備容量の算定

6.2.1　除染廃液処理工程

(1)　除染廃液受槽

6.1.1項の設計条件より，本除染廃液受槽は除染廃液を一旦全量（年間発生量）を受入れる必要がある。

また，3種に区分された除染廃液に対して，各々受槽を設ける。

以上より，1.2倍程度の余裕をみて，除染廃液受槽の容量（有効容量）を下表に示す。

	対象除染廃液	容量
除染廃液受槽A	非定常に発生する除染廃液	260 m^3
除染廃液受槽B	保守課担当の除染廃液	90 m^3
除染廃液受槽C	減容処理施設から発生する除染廃液	490 m^3

(2)　処理槽

6.1.1項の設計条件より，本除染廃液処理設備の1日当りの処理容量は除染廃液を処理するための添加試薬も加味して，6.0m^3/日である。

また，本除染廃液処理設備は1バッチ/日運転のため，処理容量は6.0 m^3/バッチである。

以上より，処理槽の容量（有効容量）は1.2倍程度の余裕をみて，8 m^3とする。

(3)　中間槽

6.1.1項の設計条件より，本除染設備と下流側の遠心薄膜乾燥機の間には中間槽を設ける必要があり，本中間槽は処理槽で処理された除染廃液を受入れる槽なので，容量としては処理槽と同一容量となる。

以上より，中間槽の容量（有効容量）は8 m^3とする。

(4)　中和試薬槽Ⅰ

除染廃液のPH調整を行う水酸化ナトリウムの供給槽を中和試薬槽Ⅰとし，再処理工場の薬品貯蔵所から除染廃液1バッチ処理毎に本中和試薬槽Ⅰへ試薬（NaOH）を給液するものとする。

以上より，中和試薬槽Ⅰの容量（有効容量）は水酸化ナトリウムの1バッチ処理分（0.71 m^3）に1.2倍程度の余裕をみて0.9 m^3[注1]とする。

注1）除染廃液1バッチ処理当りの水酸化ナトリウム使用量が最も多い化学処理第一課の値で算定。

(5) 中和試薬槽Ⅱ

除染廃液のＰＨ調整を行う硝酸の供給槽を中和試薬槽Ⅱとし，再処理工場の薬品貯蔵所から除染廃液１バッチ処理毎に本中和試薬槽Ⅱへ試薬（HNO_3）を給液するものとする。

以上より，中和試薬槽Ⅱの容量（有効容量）は硝酸の１バッチ処理分（0.24m^3）に1.2倍程度の余裕をみて0.3m^3とする。

(6) 還元試薬槽Ⅰ

保守課担当の除染廃液の還元を行なうホルマリンの供給槽を還元試薬槽Ⅰとする。除染廃液１バッチ処理当りのホルマリン使用量は８ℓであり微少であるため，本還元試薬槽Ⅰはホルマリンの年間使用量を貯蔵できる容量とする。

以上より，還元試薬槽Ⅰの容量（有効容量）は余裕をみて0.2m^3とする。

保守課担当の除染廃液年間処理量	７２m^3／年
保守課担当の除染廃液１日当りの処理量	5.8m^3／日
保守課担当の除染廃液年間処理日数	１３日／年

ホルマリンの年間使用量

８ℓ／日×１３日/年＝１０４ℓ/年

(7) 還元試薬槽Ⅱ

減容処理施設から発生する除染廃液の還元を行なう過酸化水素水の供給槽を還元試薬槽Ⅱとする。除染廃液１バッチ処理当りの過酸化水素水使用量は0.8ℓであり微少であるため，本還元試薬槽Ⅱは過酸化水素水の年間使用量を貯蔵できる容量とする。

以上より，還元試薬槽Ⅱの容量（有効容量）は余裕をみて0.1m^3とする。

減容処理施設の除染廃液年間処理量	４０５m^3／年
減容処理施設の除染廃液１日当りの処理量	6.0m^3／日
減容処理施設の除染廃液年間処理日数	６８日／年

過酸化水素水の年間使用量

0.8ℓ/日／６８日/年＝５4.4ℓ/年

6.2.2 乾燥処理工程

(1) 遠心薄膜乾燥機

6.1.2項の設計条件より，本遠心薄膜乾燥機の処理容量は２５０ℓ／hrが要求される。

また，故障時の対応，ハンドリング性等を考慮して，処理容量の５０％の２系列で構成する。

以上より，1.2倍程度の余裕をみて，遠心薄膜乾燥機は処理能力150ℓ/hrの２系列とする。

6.3 工　程　図

6.1節，6.2節で検討をした設計条件，および設備容量の算定をもとにして，工程図（PFD，EFD）を作成するものとする。

なお，工程図に使用した記号表を添付資料5に示す。

6.3.1 プロセスフローダイヤグラム（PFD）

本除染廃液処理設備のプロセスフローダイヤグラムを除染担当課別に，図－6.1～6.5に示す。

6.3.2 エンジニアリングフローダイヤグラム（EFD）

本除染廃液処理設備のエンジニアリングフローダイヤグラムを図－6.6に示す。

6.4 概略機器リスト

本除染廃液処理設備の概略機器リストを下表に示す。

機器番号	機器名称	基数	機器仕様
V10A	除染廃液受槽A	1	形式：ライニング槽 有効容量：260㎥ 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304L（ライニング材） 概略寸法：（全面）9m （全長）5m （深さ）7m
V10B	除染廃液受槽B	1	形式：ライニング槽 有効容量：90㎥ 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304L（ライニング材） 概略寸法：（全面）6m （全長）3.6m （深さ）5m
V10C	除染廃液受槽C	1	形式：ライニング槽 有効容量：490㎥ 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304L（ライニング材） 概略寸法：（全面）10m （全長）7m （深さ）8.5m
V11	処理槽	1	形式：たて置円筒形 有効容量：8㎥ 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304L 概略寸法：（外径）2.1m （全高）3m

機器番号	機器名称	基　数	機　器　仕　様
V12	中　間　槽	1	形　　式：たて置円筒形 有効容量：8 m^3 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304L 概略寸法：（外径）2.1 m （全高）3 m
V13	中和試薬槽Ⅰ	1	形　　式：たて置円筒形 有効容量：0.9 m^3 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304 概略寸法：（外径）1 m （全高）1.4 m
V14	中和試薬槽Ⅱ	1	形　　式：たて置円筒形 有効容量：0.3 m^3 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304L 概略寸法：（外径）0.7 m （全高）1 m
V15	還元試薬槽Ⅰ	1	形　　式：たて置円筒形 有効容量：0.2 m^3 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304 概略寸法：（外径）0.6 m （全高）0.9 m
V16	還元試薬槽Ⅱ	1	形　　式：たて置円筒形 有効容量：0.1 m^3 設計圧力：静水頭 設計温度：60℃ 主要部材質：SUS304 概略寸法：（外径）0.5 m （全高）0.7 m

機器番号	機器名称	基　数	機　器　仕　様
P101A	除染廃液受槽 ポンプA	1	形　　式：うず巻形 定格容量：65㎥/hr 定格揚程：40m 主要部材質：SGS14 出　　力：15KW
P101B	除染廃液受槽 ポンプB	1	形　　式：うず巻形 定格容量：30㎥/hr 定格揚程：40m 主要部材質：SCS14 出　　力：11KW
P101C	除染廃液受槽 ポンプC	1	形　　式：うず巻形 定格容量：120㎥/hr 定格揚程：40m 主要部材質：SCS14 出　　力：22KW
P111	処理槽ポンプ	1	形　　式：うず巻形 定格容量：18㎥/hr 定格揚程：40m 主要部材質：SCS14 出　　力：7.5KW
P121A P121B	乾燥機給液 ポンプA，B	2	形　　式：うず巻形 定格容量：6㎥/hr 定格揚程：45m 主要部材質：SCS14 出　　力：5.5KW
P131	中和試薬槽 ポンプI	1	形　　式：プランジャ形 定格容量：600ℓ/hr 定格揚程：100m 主要部材質：SCS14 出　　力：1.5KW

この頁はPDF化されていません。

内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理

担当箇所で原本冊子を参照して下さい。

213頁　～　223頁

7. 開発項目の摘出

東海再処理工場において，機器の補修や交換工事のため，既に何回か除染作業が実施され，また今後も計画されている。これらの除染作業に伴う廃液の発生量は他のプロセス廃液の量に比べて無視できるものではないし，さらに化学的活性度，放射能レベルも高いものである。このため除染廃液に対して減容・安定化する必要がある。動力炉・核燃料開発事業団殿では，この除染廃液を前処理後，乾燥・粉体化する方法を検討している。本研究では，必要とされる前処理方法を明確にし，さらに前処理後の除染廃液が乾燥・粉体化できることを確認した。

しかしながら，本研究の結果をもとに，減容処理施設における除染廃液処理設備を明確にするとともに，再処理工場における除染作業に伴う全ての廃液の処理を確実なものにするため，さらにいくつかのＲ＆Ｄが必要である。以下にこれらをまとめる。

7.1 開発項目の検討

7.1.1 実廃液による確認試験

(1) 目　　的

今回実施した除染廃液処理確証試験は，基本的には廃液の化学的特性（反応性，腐食性，乾燥性等）を中心にまとめたものである。しかしながら，実際の除染廃液には除染作業や再処理プロセス廃液との混合により，多種多様な放射性核種が混入している。このため今回実施した化学的特性評価の他に，放射性核種の共存による問題点を明らかにしておく必要がある。最も望ましい方法は，実際の除染工事に伴って発生する除染廃液と再処理プロセス廃液を用いて確認することであるが，その実施は困難である。

考えられる放射性核種は基本的には，再処理プロセス廃液に含まれているとみなせる。従って，次善の策として，再処理プロセス廃液は実廃液を採取し，除染廃液についてはcoldで化学特性のみを模擬して，放射性核種の共存による影響を評価する。このため，再処理工場内で発生が予想される除染廃液のプロセス廃液に与える化学的な影響を可能な限り分析，検討し，廃液減容処理に影響のないことを確認するものである。

(2) 研　究　内　容

(i) 再処理工場プロセス廃液の調査

再処理工場で現在発生している放射性のプロセス廃液の性状について詳細に調査する。

(ii) 除染廃液とプロセス廃液の混合評価

再処理工場で現在発生している放射性のプロセス廃液に除染廃液模擬液を添加し，化学的性状変化を分析する。

- ＰＨ測定
- 電導度測定
- 溶解成分分析
- 不溶解成分分析
- 発生ガス分析
- 酸化・還元電位測定

(iii) 乾燥処理確認試験

ビーカ規模の乾燥試験を行い，乾燥物の性状を確認する。

- 粉体示差熱分析
- 粉体性状確認
- 発生蒸気・ガス分析

7.1.2 高放射能濃度を有する除染廃液の処理確認試験

(1) 目　　的

今回前提として，除染廃液は全て１０μCi/cc以下であり，減容処理施設で処理できるものとした。しかしながら実際の除染作業においては，特に除染初期の段階に，10μCi/ccを越える高放射能濃度の除染廃液が発生する可能性が高い。この場合には，減容処理施設での除染廃液処理は原則的にはできない。従って，１０μCi/ccを越える高レベル除染廃液は規定値以下まで稀釈するか，高レベル廃液処理系（ガラス固化施設）で処理する必要がある。

本研究の目的は，高放射能のプロセス機器の除染作業において発生が予想される高放射能濃度（１０μCi/cc以上）の除染廃液の処理法について調査・検討し，各除染廃液処理系への分別手法，最適処理法を策定するものである。

(2) 研　究　内　容

(i) 除染廃液の性状予測

再処理工場における除染作業の実績を整理するとともに，将来除染作業が予想される

機器や場所について，除染廃液の発生量・性状，放射能汚染の程度等を推定する。この結果より，将来再処理工場において発生する可能性のある除染廃液に対して放射能濃度に着目した分類・整理を行う。

(ii) 除染廃液の分別方法の検討

上記検討結果を整理し，特に高レベルの放射能を有する除染廃液の処理方法について調査・試験する。この結果より，再処理工場内での最適分別方法，処理方法を策定する。

(iii) 除染廃液の処理方法の確認

策定した高レベル除染廃液の処理方法について，確認試験を行う。

(iv) 高レベル除染廃液処理システムの検討・評価

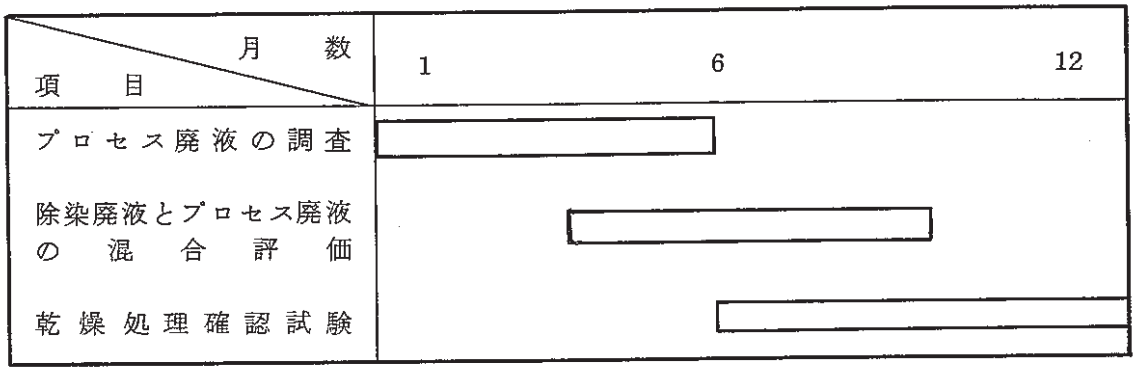
(i)～(iii)の結果にもとづき，高レベル除染廃液処理システムを検討し，再処理工場への適用性を評価する。

7.2　開発スケジュールおよび予算の検討

前節7.1でまとめた各R＆D項目について，開発スケジュールおよび予算を以下に示す。

7.2.1　実廃液による確認試験

(1)　スケジュール

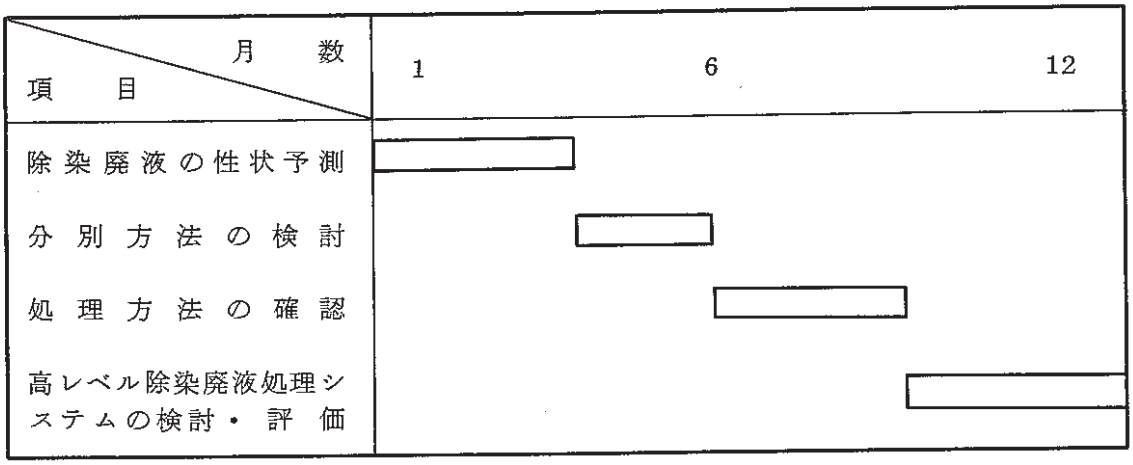


(2)　予　　算

実廃液による確認試験の概略予算は，約3,600万円程度と推定される。

7.2.2　高放射能濃度を有する除染廃液の処理確認試験

(1)　スケジュール



(2)　予　　算

高放射能濃度を有する除染廃液の処理確認試験の概略予算は，約3,200万円程度と推定される。

8. ま　と　め

本章は，前提条件の検討，基礎試験，確認試験，システムの検討・評価および開発項目の摘出の各章をまとめたものである。

(1) 除染廃液処理に係わる前提条件の検討

(i) 除染方法の評価・検討

東海再処理工場で実績のある除染方法を評価，整理するとともに，その除染剤について化学的，物理的性質をしらべた。さらに公開文献等により国内外で使用実績のある除染剤，除染条件，実績等を調査した。

この調査結果から東海再処理工場で使用実績のある除染剤及び今後使用すると推定される除染剤について評価，検討した。

(ii) 除染廃液の推定

東海再処理工場における運転実績，補修実績，運転計画をもとに今後必要とされるであろう除染対象機器とその除染頻度を推定した。また，除染方法と東海再処理工場及び減容処理施設から発生する除染廃液の種類，性状，発生量，発生パターンを明らかにした。

(2) 除染廃液処理基礎試験

(i) 廃液収集方法の検討

- 既設配管移送 ― 一括混合収集　：　前処理課
  - 化学処理第一課
  - 化学処理第二課
- 容器移送 ― 分別収集　：　保守課（Turco 系除染廃液）
- 新設配管移送 ― 分別収集　：　減容技術開発室（Redox 除染廃液）

(ii) 混合試験

混合試験を行った結果，前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課いずれもＰＨが低く強酸であり，かつ電位がプロセス廃液（＋0.43Ｖ）に比較して若干高いため薄膜乾燥機の供給液として不可であった。そこで何んらかの処理が必要である。

その処理方法としては，ＰＨを上げることが考えられる。ＰＨを上げることとは電位

が低下することも予想され，さらにこれより電位を下げる必要のある場合は還元処理など電位を下げる対策を施すものとする。

(iii) 処　理　試　験

(a) 一括混合収集

いずれの場合も中和処理だけでＰＨが下がり，かつ電位も下がることを確認した。これにより，混合廃液は中和処理のみで薄膜乾燥機に供給することが可能である。

(b) 分　別　収　集

保守課担当除染廃液は，Turco 4502とTurco 4521 の混合廃液にホルマリンを添加し，還元処理した後，中和処理を行えば薄膜乾燥機に供給できることを確認した。

減容技術開発室担当除染廃術は，H_2O_2 で還元処理した後NaOHにより中和処理を行えば薄膜乾燥機に供給できることを確認した。

(iv) 乾　燥　試　験

(a) 熱　　分　　析

前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課，保守課，減容技術開発室いずれについても，示差熱測定特有の大きな示差熱測定値のうねりは見られるものの，２００℃以下での急激な発熱ピークは見られなかった。

熱重量分析においても不溶解残渣には100℃～200℃ぐらいにおいて脱水と考えられる緩かな重量現象は見られたが，急激な重量変化はなく，乾燥処理中の異常はないと判断された。

以上より，今回検討した廃液は，いずれも熱重量，示差熱分析結果による検討では問題なく乾燥可能と判断できる。

(b) 乾　燥　試　験

前処理課，化学処理第一課，化学処理第二課，保守課，減容技術開発室から発生する除染廃液の処理方法は可視型薄膜乾燥機による乾燥処理適応性評価試験から乾燥処理に適応することを確認した。

(v) 腐　食　試　験

前処理課と化学処理第一課については，その浸食度は１０－３㎜/年以下であり，全く腐食しないとみなされる。また，化学処理第二課についても，酸化被膜により腐食しないと考えられる。

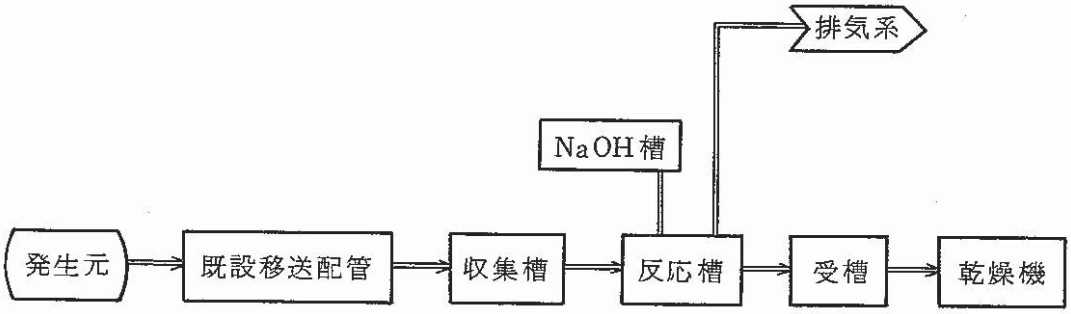
以上のことから，乾燥処理にあたって，各担当課から発生する除染廃液は，乾燥機材料に対してなんら問題のない廃液であると考えられる。

(vi) 処理方法の評価および選定

(a) 一括混合収集

（工　程）

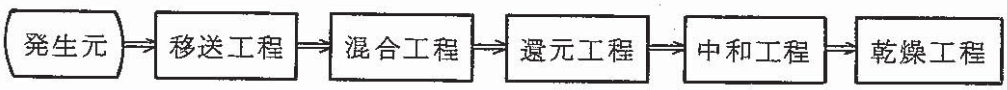
（系　統）



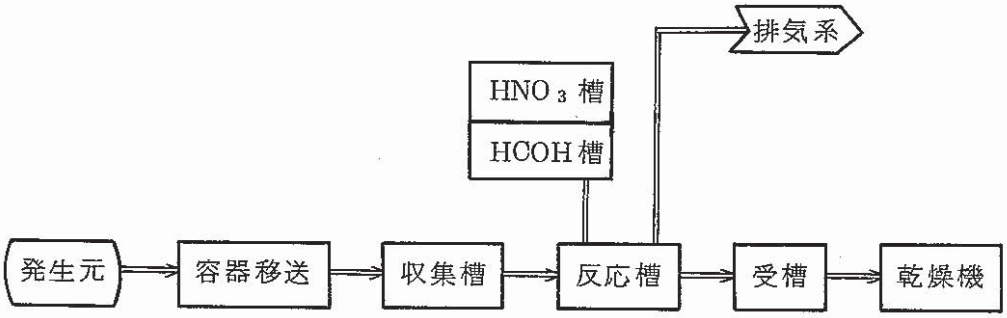
(b) 分　別　収　集

(イ) 保守課担当除染廃液

（工　程）



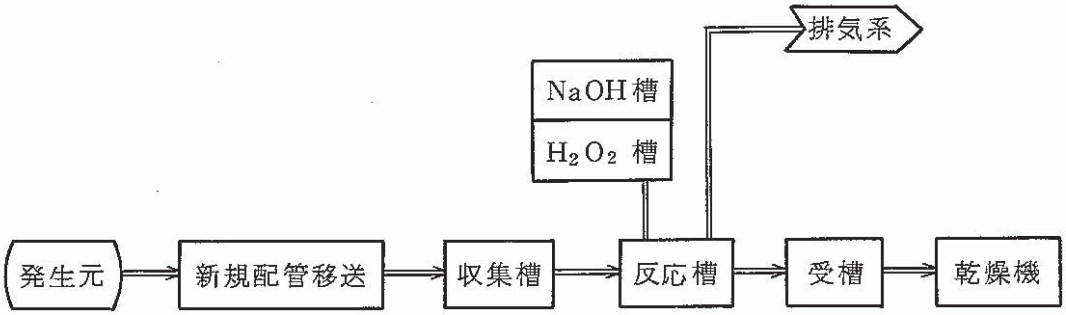
（系　統）



(ロ) 減容技術開発室担当除染廃液

（工　程）

（系　統）



(3) 確　認　試　験

(i) 除染廃液処理試験

基礎試験と同様，除染廃液を前処理することにより，乾燥機への供給が可能になることを確認した。

(ii) 乾　燥　試　験

前処理を施した除染廃液が十分に乾燥できることを確認した。

(a) 乾燥処理挙動確認

① 除去係数（ＤＦ）は，全固形分，ナトリウムイオンにおいて10^2～10^3

② 粉体の含水率は0.０５～0.６％

③ 駆動動力はすべて設計基準値以内

(b) 乾燥処理限界能力

① 乾燥処理限界値　　７０ℓ/hr～６０ℓ/hr

② 蒸気温度の影響　　加熱蒸気１３０℃の時：１５ℓ/hr

加熱蒸気１７５℃の時：７０ℓ/hr

(iii) 乾燥機運転状態の確認

対象除染廃液の乾燥処理中の粉体排出状態は良好に行われ，また，異常音発生など起らないことが確認された。

(iv) 乾燥処理によるガス発生

今回行った測定項目については乾燥処理に伴ってガスの発生しないことが確認できた。

(4) 除染廃液処理システムの検討・評価

設計条件を検討した上で，工程図（PFD，EFD），および概略機器リストを作成した。

(5) 開発項目の摘出

開発項目として実廃液による確認試験および高放射能濃度を有する除染廃液の確認試験を摘出し，開発スケジュールおよび予算の検討を行った。

9. あ と が き

減容処理施設内に設置する低レベル濃縮廃液用遠心薄膜乾燥機で，再処理工場主施設および減容処理施設から発生する除染廃液を処理可能とする前処理方法の開発を目的として，除染廃液処理確証試験を行った結果，以下の結論を得た。

東海再処理工場および減容処理施設で今後使用されるであろう除染剤とその性状，発生量から除染廃液を推定し，基礎試験および確認試験を実施した結果，除染廃液は中和処理と還元処理を施せば，プロセス廃液と同様に乾燥処理することができる。

しかし，今回実施した除染廃液処理試験はあくまでも廃液の化学的特性に基づいたものであり，実際の除染廃液には多種の放射性核種が含まれている。このため，放射性核種の共存による廃液処理への影響は十分には評価されていない。従って，今後実廃液（プロセス廃液）との混合によるホット試験を行うことにより，今回設計した除染廃液処理プロセスを確証することが必要であると考えられる。

10. 謝　　辞

本研究の遂行に当り，種々の御指導と御協力を戴いた動力炉・核燃料開発事業団　環境工学開発部　減容技術開発室　鈴木室長，大内主査，宮田副主研および加川研究員殿に深い感謝の意を表します。

11. 参 考 文 献

1) M. Benedict et al. : "Nuclear Chemical Engineering", 2nd ed. Chap 8, McGraw-Hill (1981)

2) W. J. Manion et al. : Decommissioning Handbook, DOE/EV/10128-1, Nov. 1980.

3) 安中英雄. ISU編"軽水炉一次冷却系の放射能蓄積抑制と除染" P141,1978

4) J. L. Smee : Dissolution Characteristics of Metal Oxides in Water Cooled Reactors, Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities : Prenum Press, 1980, p. 281.

5) W. B. Stewart and T. S. Drolet : Design Considerations for PHWR Decontamination, ibid., 1980, p. 81.

6) Allen, R.P., H.W. Arrowsmith, L.A. Charlot and J.L. Hooper : "Electropolishing as a Decontamination Process : Progress and Applications" PNL-SA-6858 (April, 1978)

7) Allen, R. P. and H.W. Arrowsmith : "Radioactive Decontamination of Metal Surfaces by Electropolishing", Materials Performance (November, 1979)

8) Hagan, P.G. : "A Review of Processes for the Decontamination of Transuranic Wastes", RFP 3225 (May, 1981)

9) 宮川ら, 日本原子力学会 昭和58年秋の分科会予稿集 K4

10) 宮川ら, 日本原子力学会 昭和59年年会予稿集 G40

11) J. A. Partridge, et al. : GEDL-TC-1503 (1979)

12) 電気化学協会編 「電気化学便覧」, 丸善 P855～(1970)

13) 槇ら：動燃技報 50,P71 (1984)

14) 槇ら：動燃技報 52,P86(1984)

15) J. Van Geel et al. : "Decontamination of Highly Active Process Equipment of the Eurochemic Reprocess Plant" ETR-269 (1971)

16) E. Detilleux et al. : "Decontamination and Partial Dismantling of the Eurochemic Plant" ETR 303 (1980)

17) M. Pourbaix : "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Pergamon Press (1966)

18) 鮫島実三郎“物理化学実験法”裳華房
19) 伊東伍郎：“腐食工学と防食技術（第3版）”，コロナ社
20) H.E. Swanson, H.F. McMurdie : Standard X-ray Diffraction Powder Patterns.
21) Alphabetical Index Inorganic Materials 1979.
22) Tables for Conversion of X-ray Diffraction Angles to Interplaner Spacing.
23) K.D. Effird : The 6th Int. Cong. on Met. Corr., "The Effect of Temperature on Grevice Corrosion of Stainless Steels in Seawater". (1975)
24) H.P. Hack : Mater. Perf. P.24 (1983.6)
25) D.B. Anderson : "Statistical Aspects of Crevice Corrosion in Seawater" ASTEM STP576; Galvanic and Pitting Corrosion-Field and Laboratory Studies, P. 231. (1976)

添付資料１　除染廃液の計算方法

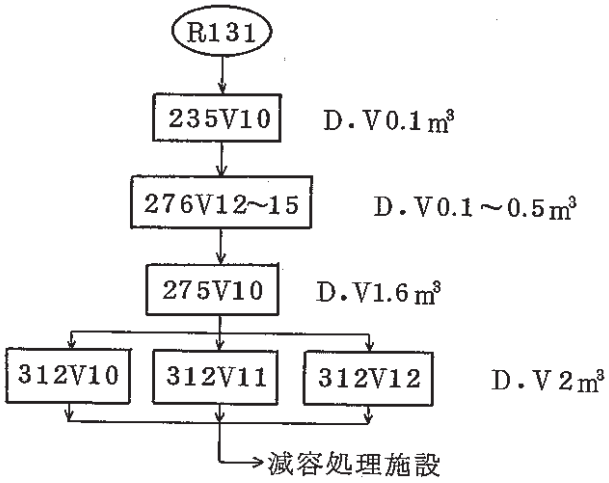
前処理課除染廃液の計算方法

(1) 除染元における除染手順

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	計
	HNO_3	水洗	NaOH	水洗	HNO_3	水洗	AP	水洗	EDTA	水洗	H_3PO_4*	
使用濃度	6M		1M		1M		注)		5%		0.1%	79m³
液 量(m³)	6	12	10	20	6	12	0.5	1	0.5	1	10	

＊電解除染液
注)NaOH ：1.5M
$KMnO_4$：20g／ℓ

(2) 排出経路



(3) 減容処理施設に排出される使用済除染液量

① 除染剤量

23m³

② 水洗量

46m³

③ 電解除染液量

10m³

④ タンクフラッシング量

(0.1＋0.5＋1.6＋2)×10＝42m³

⑤ プロセス廃液量

酸廃液１m^3／day×90day（３ケ月）＝９０m^3

⑥　合計液量

２１１m^3

(4)　減容処理施設における各除染剤の濃度

①　HNO_3：（6M×6m^3＋1M×6m^3）／２１１m^3＝0.２０M^3

②　NaOH：（1M×１０m^3＋1.5M×0.5m^3）／２１１m^3＝0.０５M^3

③　$KMnO_4$：（２０g／ℓ×0.5m^3）／２１１m^3＝0.０５g／ℓ

④　EDTA：（５％×0.５m^3）／２１１m^3＝0.０１％

⑤　H_3PO_4：（0.１％×１０m^3）／２１１m^3＝0.００５％

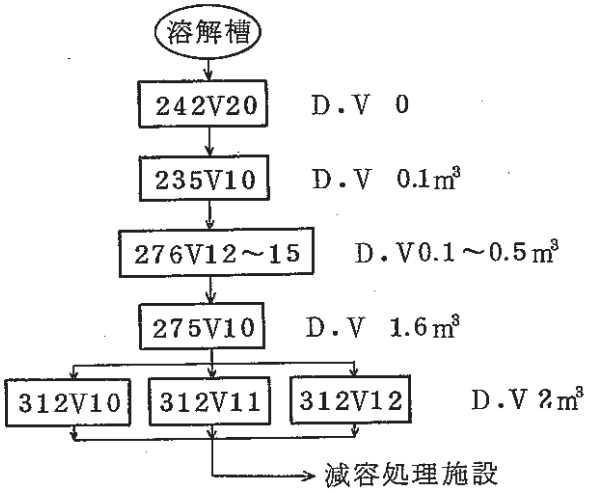
化学処理第一課除染廃液の計算方法

(1)　除染元における除染手順

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
	HNO_3	水洗	NaOH	水洗	AP	水洗	NC	水洗	EDTA	水洗	
使用濃度	3M		1M		注1）		注2）		5％		57.6m^3
液量（m^3）	8	16	4	8	2.4	4.8	2.4	4.8	2.4	4.8	

注1）NaOH　：1.5M
　　$KMnO_4$　：２０g／ℓ
注2）HNO_3　：2M
　　$Ce(NO_3)_3$　：0.8M

(2)　排出経路



(3) 減容処理施設に排出される使用済除染液量

① 除染剤量

１９.2m^3

② 水洗量

３８.4m^3

③ タンクフラッシング量

（ 0.1＋0.5＋1.6＋２）×１０＝４２m^3

④ プロセス廃液量

酸廃液１m^3／day×90day（３ケ月）＝９０m^3

⑤ 合計液量

189.6m^3

(4) 減容処理施設における各除染剤の濃度

① HNO_3 ：（３M×８m^3＋２M×2.4m^3）／１８９.6m^3＝0.１５M

② NaOH：（１M×４m^3＋ 1.5M×2.4m^3）／１８９.6m^3＝0.０４M

③ $KMnO_4$ ：（２０g／ℓ×2.4m^3）／１８９.6m^3＝0.２５g／ℓ

④ $Ce(NO_3)_3$ ：（0.8M×2.4m^3）／１８９.6m^3＝0.０１M

⑤ EDTA：（５%×2.4m^3）／１８９.6m^3＝0.０６%

化学処理第二課除染廃液の計算方法

(1) 除染元における除染手順

項目	1	2	3	4	5	6	計
	AP	水洗	NP	水洗	EDTA	水洗	
使用濃度	注1)	注2)			5%		22.5 m^3
液量 (m^3)	3.3	6.6	0.6	1.2	3.6	7.2	

注1) NaOH ：1.5M
$KMnO_4$ ：20g／ℓ
注2) HNO_3 ：8M
$KMnO_4$ ：0.8M

(2) 排出経路

図－3.10の排出ルートを参照

(3) 減容処理施設に排出される使用済除染液量

① 除染剤量

7.5 m^3

② 水洗量

15 m^3

③ タンクフラッシング量

(0.07＋0.2＋1.2＋1.2＋1.6＋2＋1＋1)×10＝82.7 m^3

④ プロセス廃液量

酸廃液1 m^3／day×90day (3ケ月)＝90 m^3

⑤ 合計液量

195.2 m^3

(4) 減容処理施設における各除染剤の濃度

① NaOH：(1.5M×3.3 m^3)／195.2 m^3＝0.03M

② HMO_3 ：(8M×0.6 m^3)／195.2 m^3＝0.02M

③ $KMnO_4$ ：〔20g／ℓ×(3.3 m^3＋0.6 m^3)／195.2 m^3＝0.40g／ℓ

④ EDTA：(5%×3.6 m^3)／195.2 m^3＝0.09%

保守課除染廃液の計算方法

(1) 除染元における除染手順

項目	1	2	3	4	計
	Turco4502	水洗	Turco4521	水洗	
使用濃度	注1）		注1）		72m³
液量（m³）	12	24	12	24	

注1）KOH　：180g／ℓ
　　$KMnO_4$　：20g／ℓ
　　K_2CrO_4　：12g／ℓ
注2）$(COONH_4)_2$：48g／ℓ
　　$(COOH)_2$　：9 g／ℓ
　　$C_6H_8O_7$　：3 g／ℓ

(2) 排出経路

容器移送

(3) 減容処理施設に排出される使用済除染液量

① 除染剤量

24m³

② 水洗量

48m³

③ 合計液量

72m³

(4) 減容処理施設における各除染剤の濃度

① KOH：（180g／ℓ×12m³）／72m³＝30g／ℓ

② $KMnO_4$：（48g／ℓ×12m³）／72m³＝8g／ℓ

③ K_2CrO_4：（12g／ℓ×12m³）／72m³＝2g／ℓ

④ $(COONH_4)_2$：（48g／ℓ×12m³）／72m³＝8g／ℓ

⑤ $(COOH)_2$：（9g／ℓ×12m³）／72m³＝1.5g／ℓ

⑥ $C_6H_8O_7$：（3g／ℓ×12m³）／72m³＝0.5g／ℓ

減容技術開発室除染廃液の計算方法

(1) 除染元における除染手順

項目	1	2	3	計
	NC	スプレイ水洗	超音波水洗	
使用濃度	注1)			405 m^3
液量 (m^3)	3.06	219	182.5	

注1) HNO_3 ：2M
$Ce(NO_3)_3$ ：0.8M

(2) 排出経路

新設配管移送

(3) 減容処理施設に排出される使用済除染液量

① 除染剤量

3.06 m^3

② 水洗量

401.5 m^3

③ 合計液量

405 m^3

(4) 減容処理施設における各除染剤の濃度

① HNO_3：(2M×3.06 m^3)／405 m^3＝0.02M

② $Ce(NO_3)_3$：(0.8M×3.06 m^3)／405 m^3＝0.006M

添付資料２　各　種　分　析　法

1. ＰＨ

ガラス電極ＰＨ測定装置（ＰＨ計ＣＯＭ－１０型電気化学計器株式会社製）を用いて測定した。

2. 導電率

導電率測定装置（導電率計ＣＯＭ－１０型電気化学計器株式会社製）を用いて測定した。

3. 比　重

浮き子式比重計を用いて測定した。

4. ＴＯＣ（有機体炭素）

試料をマイクロシリンジで一定量採取し非分散型赤外ガス分析計（ＴＯＣ分析器９１５Ｂ型ベックマン社製）で全炭素量および無機体炭素量を測定した。

ＴＯＣ濃度は全炭素の量から無機体炭素の量を差し引いて算出した。

5. 全固形分

蒸発皿に試料を一定量測りとり，水浴上で乾燥した後デシケータ中で放冷し，重量を測定して次式によって求めた。

6. 酸化還元電位

白金電極および飽和カルメロ電極を溶液中に浸漬し，その電位差を電位差計（エレクトロメータＨＥ１０４型北斗電工社製）を測定した。

7. 金属分析

(1) Mn

Mn 含む試料を塩酸で溶解し，原子吸光法（原子吸光分析器ＳＡＳ－７２５型ＳＥＩＫＯ社製）で波長２４９.５ｎｍ を用いて測定した。

(2) Fe

Fe 含む試料を塩酸で溶解し，原子吸光法（原子吸光分析器ＳＡＳ－７２５型ＳＥＩＫＯ社製）で波長２８４.３ nmを用いて測定した。

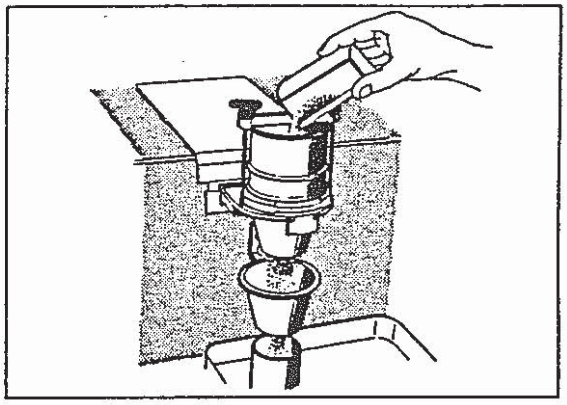
(3) Na

Na 含む試料を炎光光度法（原子吸光分析器ＳＡＳ－７２５型ＳＥＩＫＯ社製）で波長５８９.０ｎｍを用いて測定した。

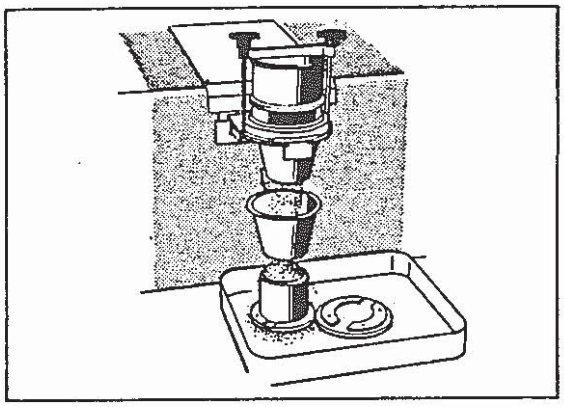
8. 嵩密度

① 測定粉体を適当量投入する。

（内部には目開き７１０μのフルイをセットする。）

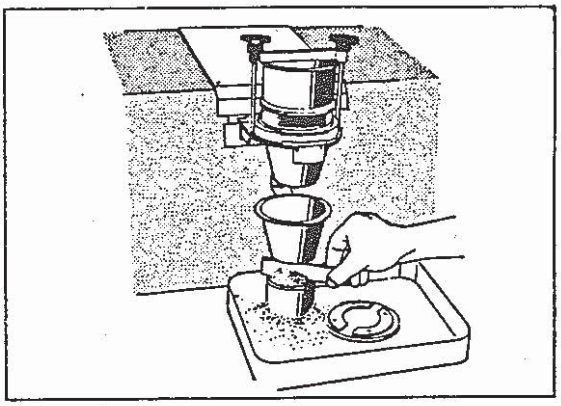


② 粉体受容器に振動を与えて，粉体を流出させる。



③ 粉の表面をすり切って上皿天秤で秤量します。

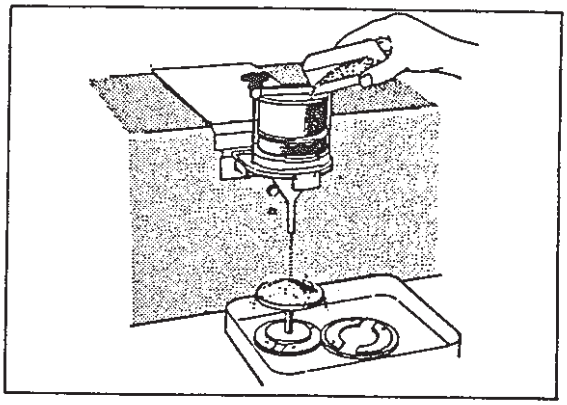
カップの内容量は１００ccにしてあるので，粉体の重量÷100がゆるみが密度（g/cc）となる。



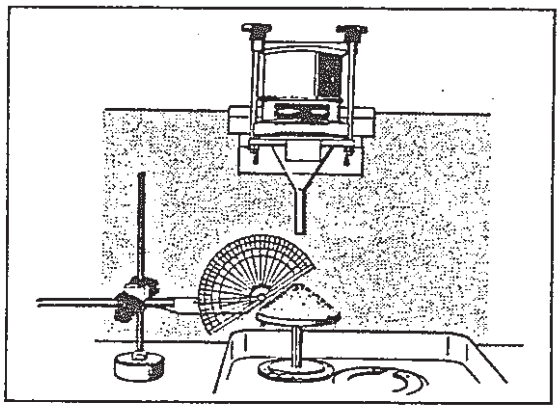
9. 安息角

① 測定粉体を適当量投入する。振動を与えて粉体を流出させ，安息角が一定状態に達したら流出を止める。

（内部には目開き710μ のフルイをセットする。）



② 分度器スタンドにて堆積した粉体の陵線に分度器の直線部が平行になるように，分度器を動かし測定する。



添付資料３　混合試験結果

前処理課

混合手順		添加量（mℓ）
1	6M－HNO_3	87
2	水洗水	174
3	1M－NaOH	145
4	水洗水	290
5	1M－HNO_3	87
6	水洗水	174
7	AP	7
8	水洗水	14
9	EDTA	7
10	水洗水	14
	（上記混合液から327mℓ 分取）	
11	H_3PO_4	47
12	フラッシング水	199
13	プロセス廃液	426

化学処理第一課

混合手順		添加量（mℓ）
1	３Ｍ－ＨＮＯ$_3$	１３９
2	水洗水	２７８
3	１Ｍ－ＮａＯＨ	６９
4	水洗水	１３９
5	ＡＰ	４２
6	水洗水	８３
7	ＮＣ	４２
8	水洗水	８３
9	ＥＤＴＡ	４２
１０	水洗水	８３
	（上記混合液から３０４mℓ 分取）	
１１	フラッシング水	２２２
１２	プロセス廃液	４７５

化学処理第二課

混合手順		添加量（mℓ）
1	ＡＰ	１４７
2	水洗水	２９３
3	ＮＰ	２７
4	水洗水	５３
5	ＥＤＴＡ	１６０
6	水洗水	３２０
	（上記混合液から１１５mℓ 分取）	
7	フラッシング水	４２４
8	プロセス廃液	４６１

保守課

混合手順		添加量（mℓ）
1	Turco４５０２	１６７
2	水洗水	３３３
3	Turco ４５２１	１６７
4	水洗水	３３３

表1　試験結果（前処理課希釈なし）

突沸・発泡	無	←	←	←	←	←	←						
ガス発生の有無	無	←	←	←	←	←	←						
スラッジ発生の有無	無	←	←	←	←	←	←						
液の色	無色透明	←	←	赤紫	無色透明	←	←						
TOC濃度 (ppm) 400 300 200 100													
電位 (V) 1.2 1.1 1.0 0.9 0.8													
比重 PH 1.2 2 1.1 1													
液温 (℃) 30 25													
	＊123	123	123	123	123	123	123						
	6M HNO_3	1M NaOH	1M HNO_3	AP	EDTA	リン酸	プロセス廃液						
	前処理課												

＊ 経過時間（単位　分）

表２　試験結果（希釈あり）

突発・沸泡	無	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
ガス発生の有無	無	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
スラッジ発生の有無	無	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
液の色	無色透明	←	←	←	←	←	紫	←	無色透明	←	←	←	←
TOC濃度 (ppm) 200 400									•	•	•	•	•
電位 (V) 1.0	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
比重 PH 1.2 2 / 1.1 1	× •	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×	• ×
液温 (c) 30 25	•	•	•	• •	•	• •	• •	•	•	•	•	•	•
	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123
	6M HNO_3	水洗	1M NaOH	水洗	1M HNO_3	水洗	AP	水洗	EDTA	水洗	リン酸	タンクフラッシング	プロセス廃液
	前処理課												

表3　試験結果（希釈なし）

突発・沸泡	無	←	←	←	←	←							
ガス発生の有無	無	←	←	←	有 (308mℓ)	無							
スラッジ発生の有無	無	←	←	←	←	←							
液の色	無色透明	←	赤黒色	←	無色透明	←							
TOC濃度 (ppm) 2000 / 1500 / 1000 / 500					•	•							
電位 (V) 1.3 / 1.1 / 0.9 / 0.7 / 0.5 / 0.3	•	•	•	•	•	•							
pH 比重 11. 2 / 1.0 1 / ×	× / •	× / •	× / •	× / •	× / •	× / •							
液温 (℃) 30 / 25		•	• •	• •	•	•							
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3							
	3M HNO_3	1M NaOH	AP	NC	EDTA	プロセス廃液							
	化学処理第一課												

表4　試験結果（希釈あり）

突発・沸泡	無	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
ガス発生の有無	無	←	←	←	←	←	←	←	←	有	無	←
スラッジ発生の有無	無	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
液の色	無色透明	←	←	←	黒褐色	←	←	←	無色透明	←	←	←
TOC濃度 (ppm) 500									•	•	•	•
電位 (V) 1 / 0.5	•	•	•	•	•	•	•	•	(0.242)	(0.305)	(0.250)	•
比重 PH 1.2 / 1.1 ×	×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×	• / ×
液温 (℃) 30 / 25	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3
	3M HNO_3	水洗	1M NaOH	水洗	AP	水洗	NC	水洗	EDTA	水洗	タンクフラッシング	プロセス廃液
	化学処理第一課											

表5　試験結果（希釈なし）

突発・沸泡	無	←	←	←									
ガス発生の有無	無	←	←	←									
スラッジ発生の有無	無	←	←	←									
液の色	赤紫	黒茶	←	黄色透明									
TOC濃度 (ppm) 5000			•	•									
電位 (V) 0.5	• •	• •	•	•									
比重 1.1 / pH 10	×	×	•	×									
0.5 / 5	×	×	×	•									
液温 (℃) 30		• •	• •	• •									
液温 (℃) 25	•												
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3									
	AP	NP	EDTA	プロセス廃液									
	化学処理第二課												

表6　試験結果（希釈あり）

突発・沸泡	無	←	←	←	←	←	←	←					
ガス発生の有無	無	←	←	←	←	←	←	←					
スラッジ発生の有無	無	←	←	←	←	←	←	←					
液の色	赤紫	←	黒茶色	←	←	←	←	黄色透明					
TOC濃度 (ppm) 4000 / 3000 / 2000 / 1000					•	•	•	•					
電位 (V) 0.5	•	•	•	•	•	•	•	•					
比重 1.1 / 1.0	×	×	×	×	×	×	×	×					
pH 13 / 12 / 11 / 10 / 0.3	•	•	•	•	•	•	•	•					
液温 (℃) 30 / 25	•	•	•	•	•	•	•	•					
	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3					
	AP	水洗	NP	水洗	EDTA	水洗	タンクフラッシング	プロセス廃液					
	化学処理第二課												

添付資料４　示差熱分析結果

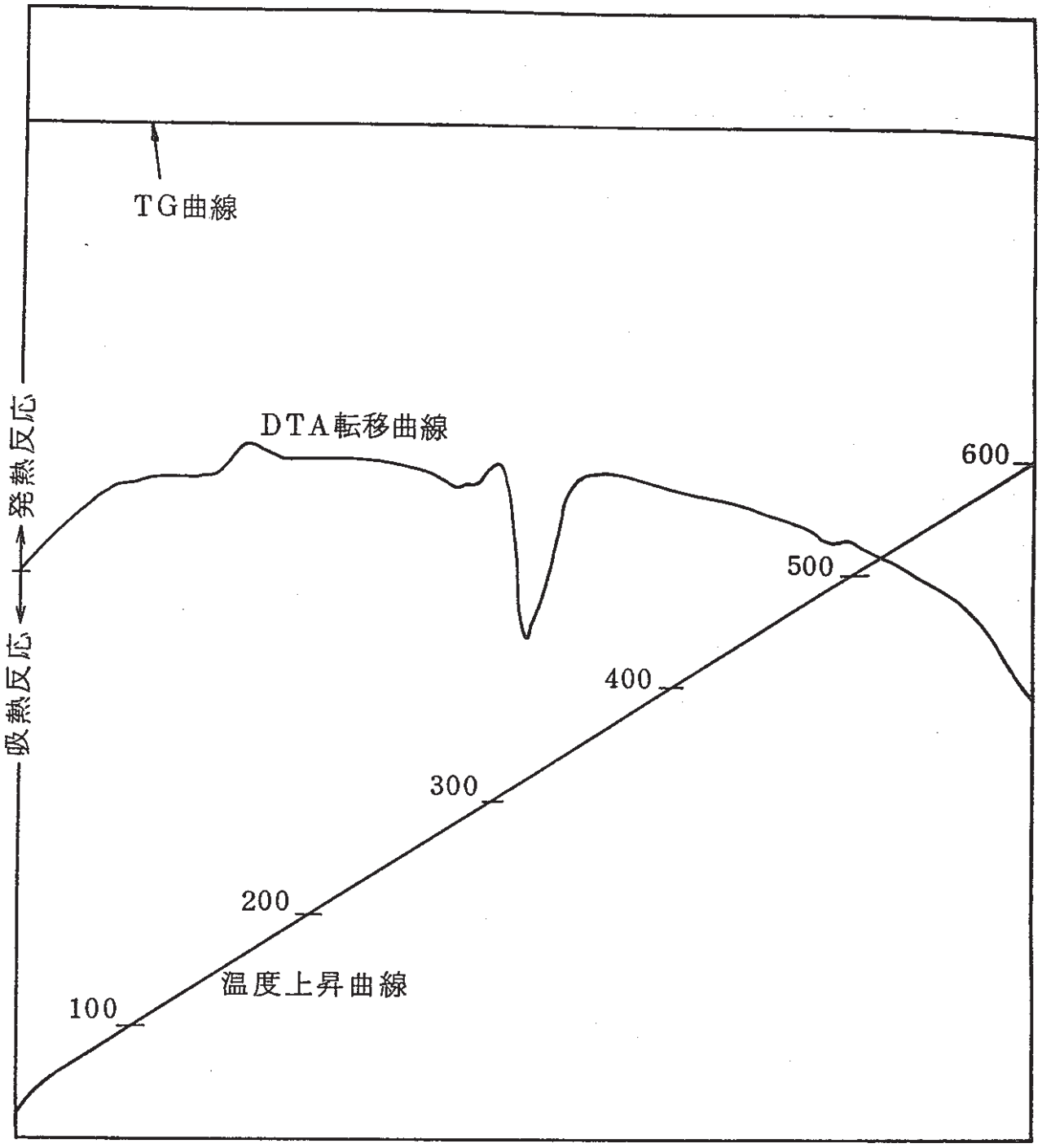


図 1.　前処理課（ろ液粉体）
TG. DTA測定

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：47.48mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

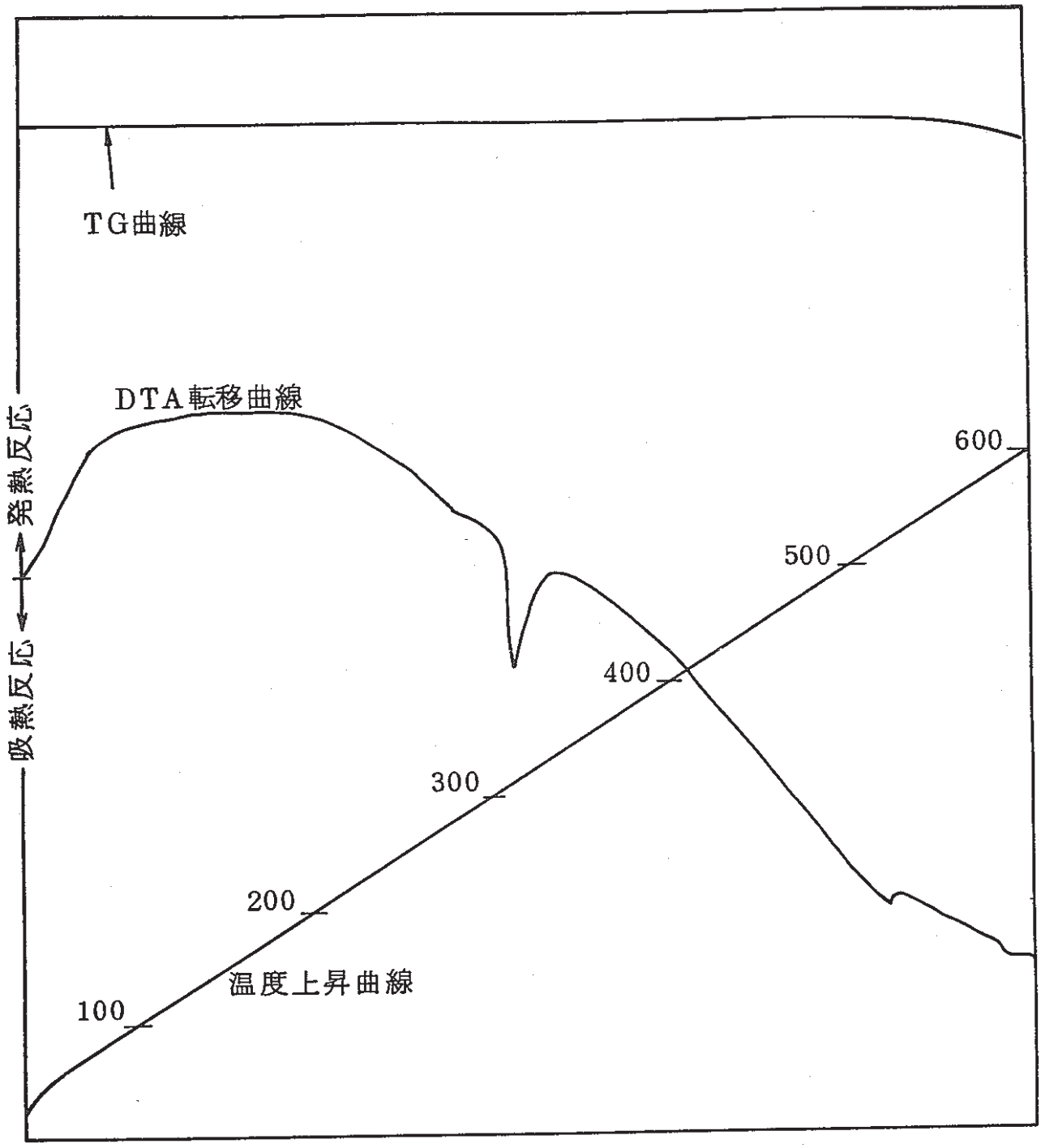


図 2.　前処理課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：19.64mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$A\ell_2O_3$

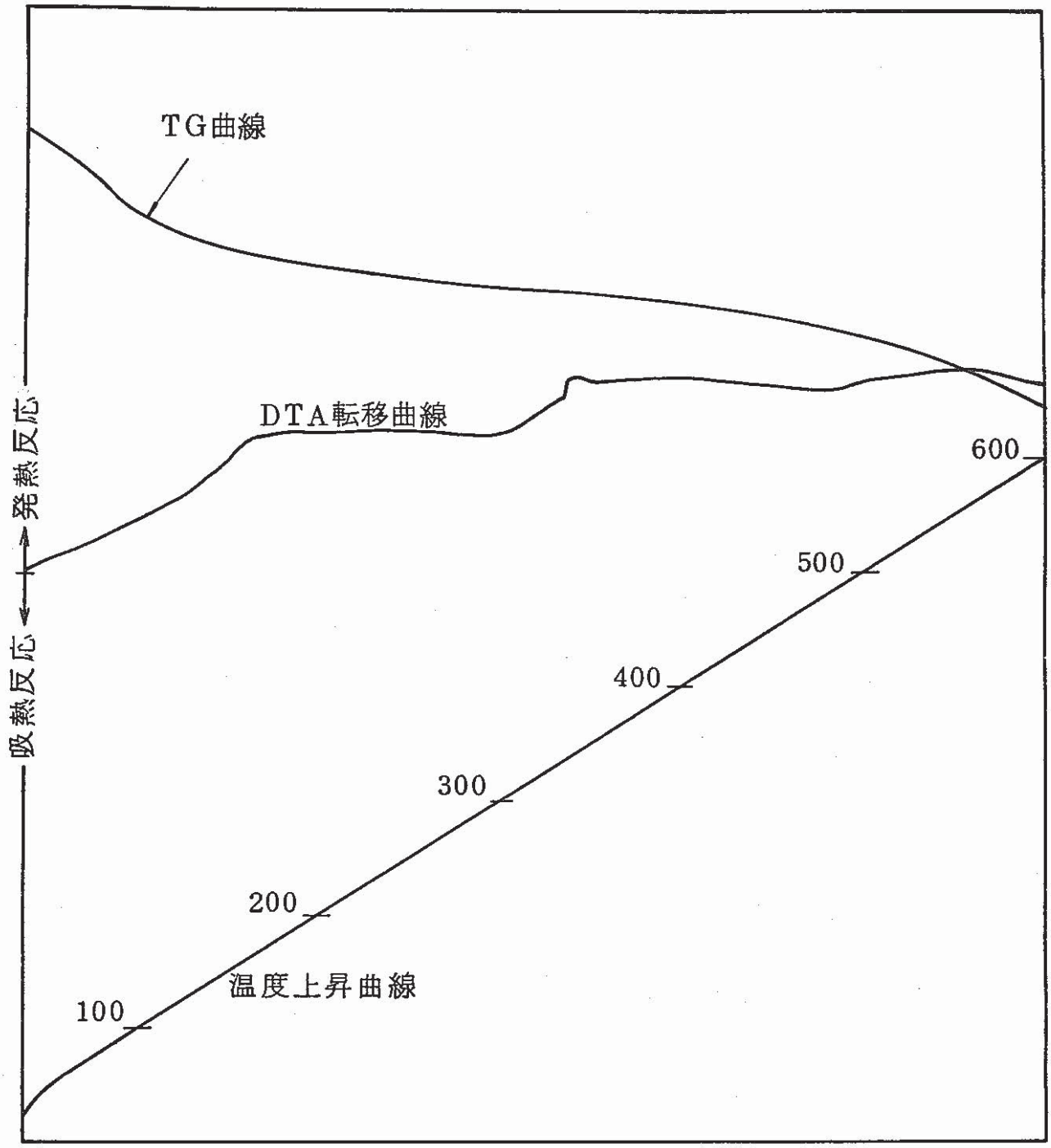


図 3.　前処理課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：20.00mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$A\ell_2O_3$

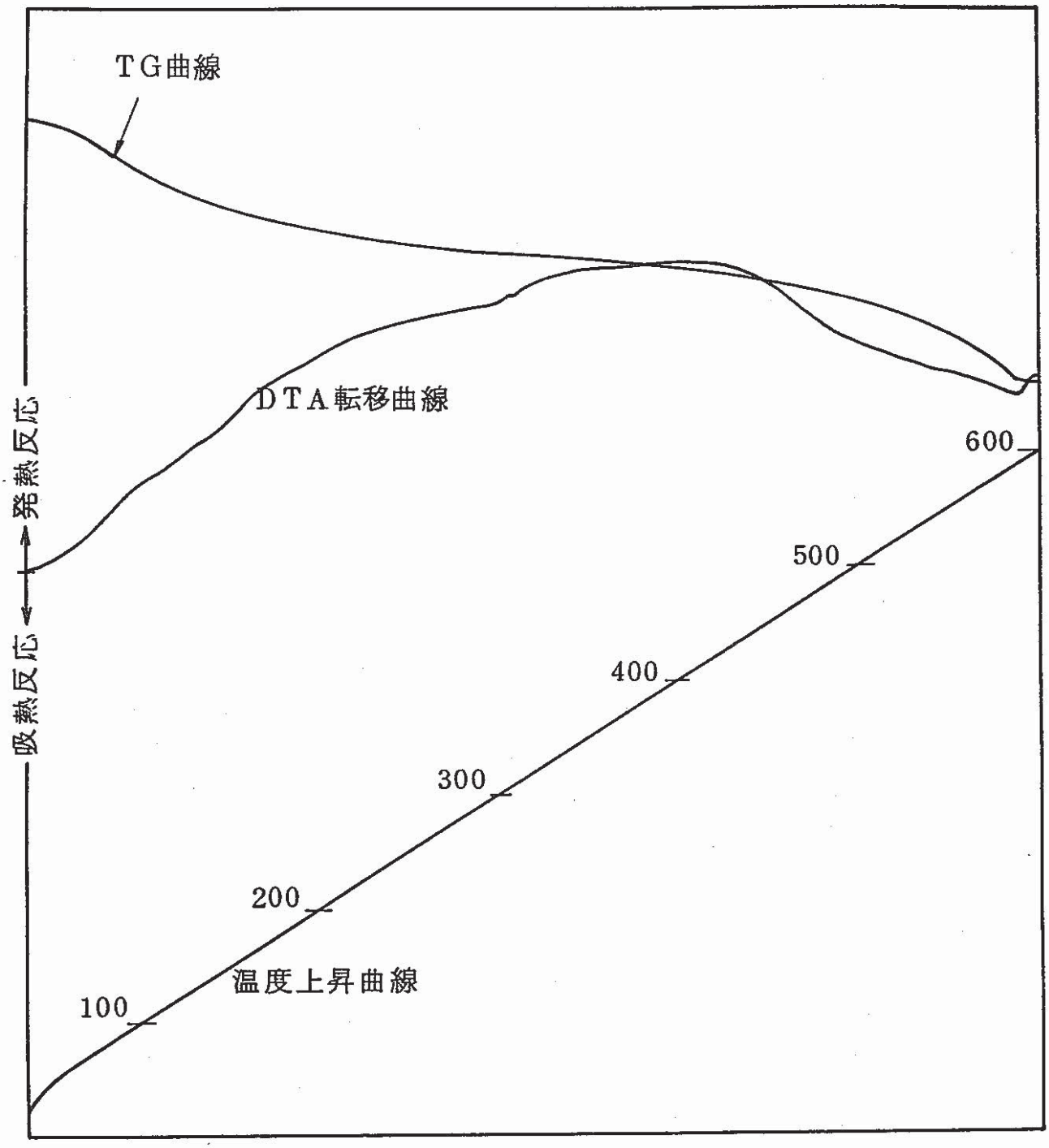


図 4.　前処理課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：18.46mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$A\ell_2O_3$

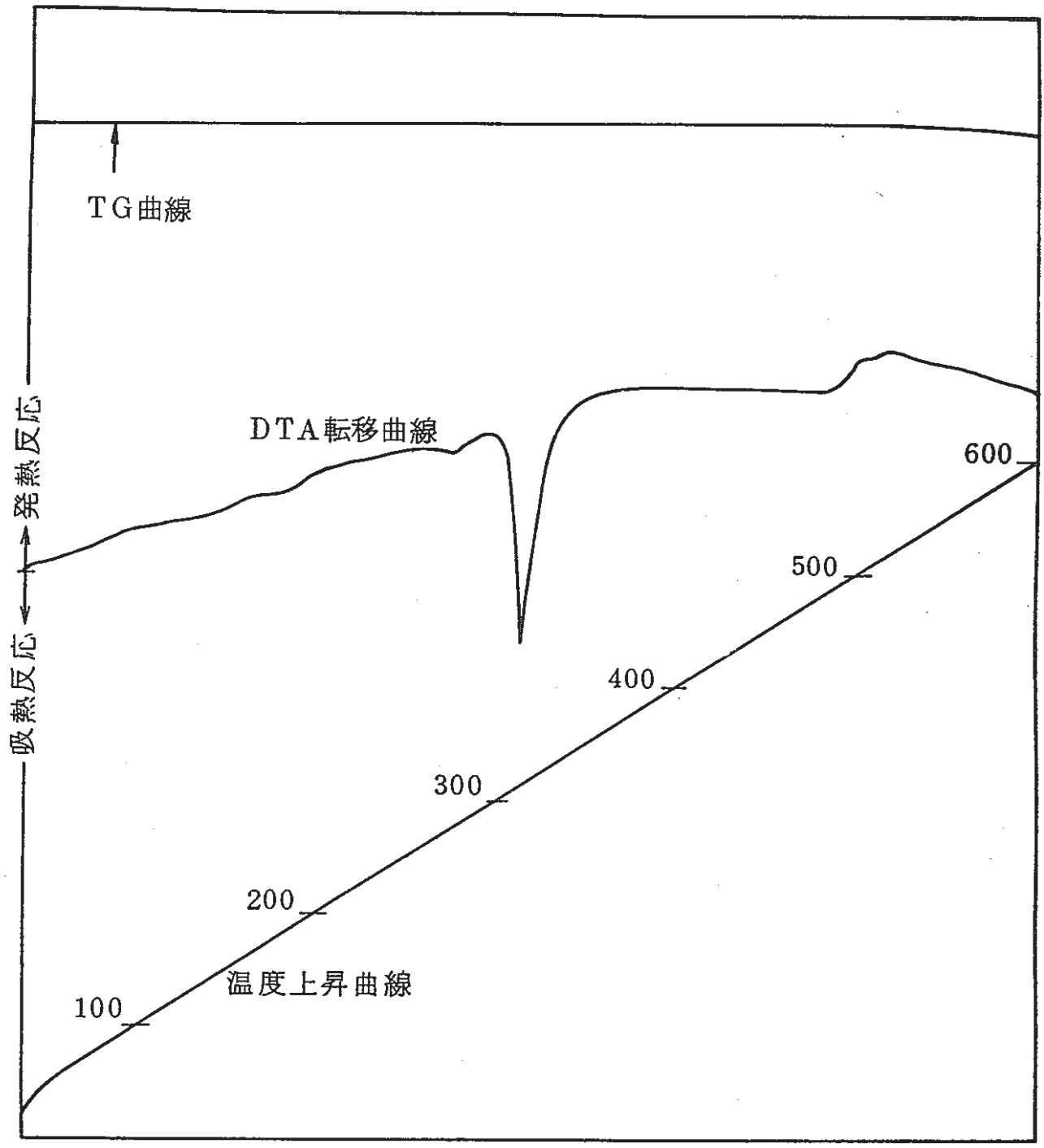


図 5.　化学処理第一課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：48.00mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$A\ell_2O_3$

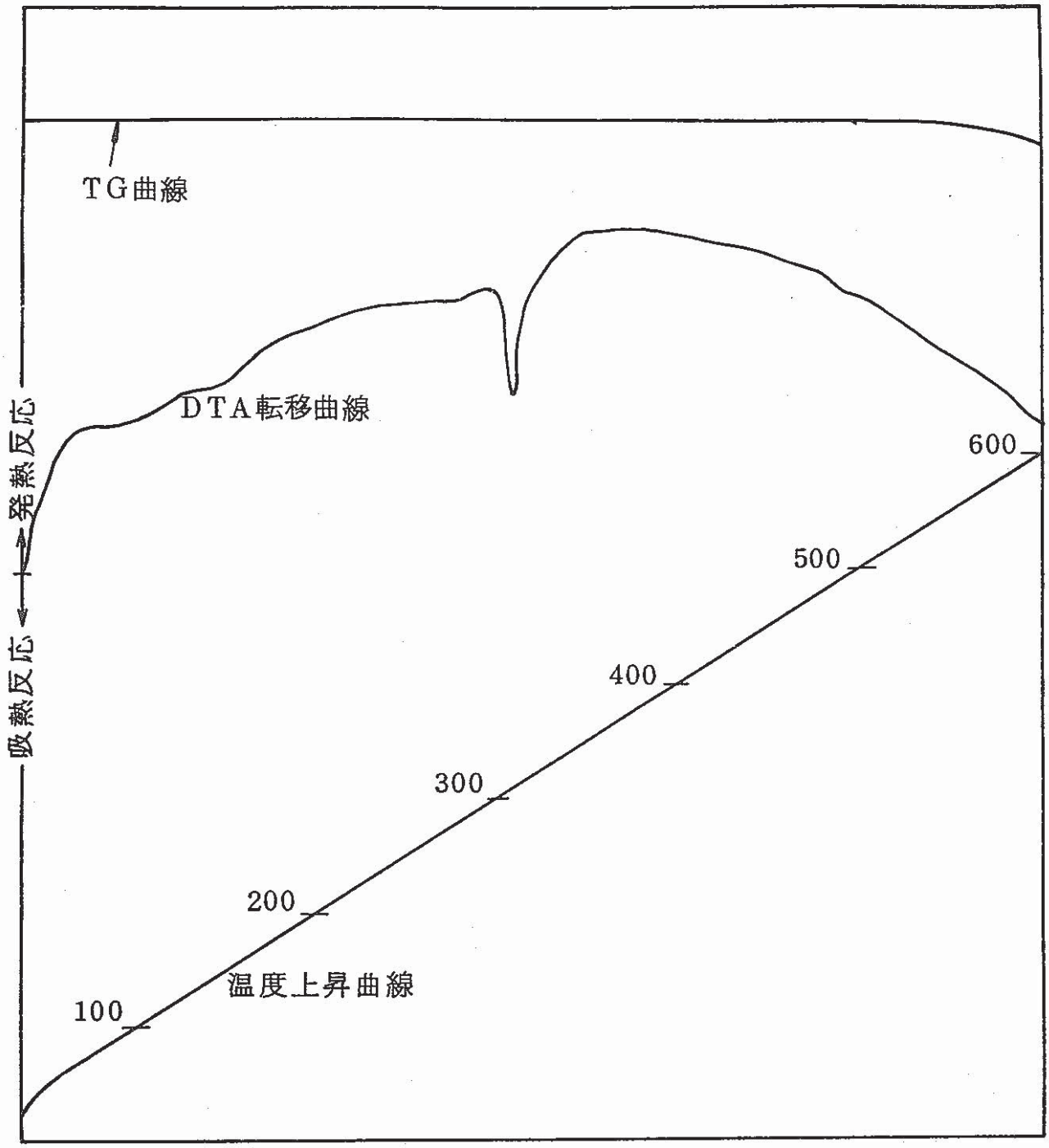


図 6.　化学処理第一課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.14mg
雰囲気：窒素
流量：250mℓ/min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

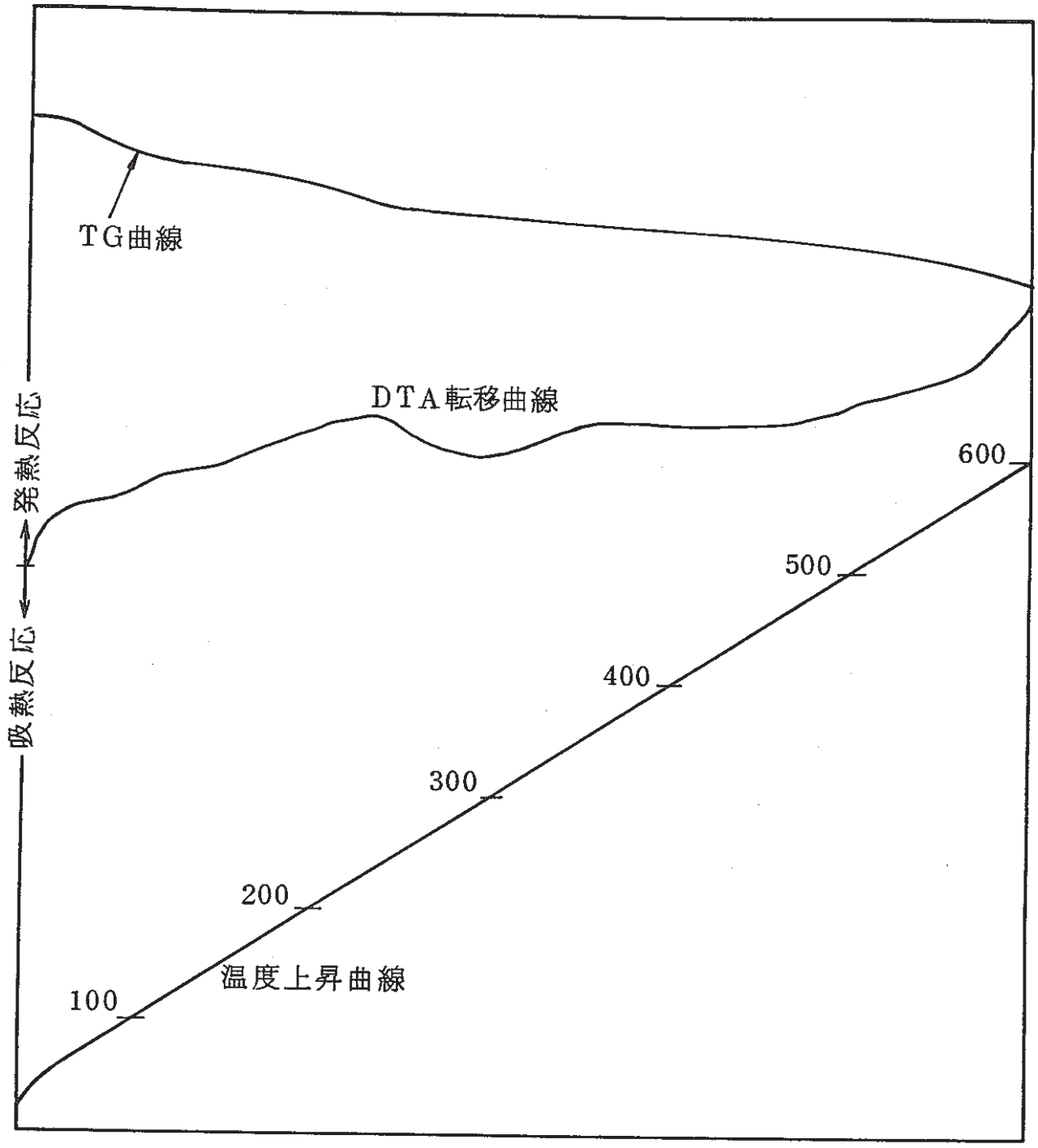


図 7.　化学処理第一課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.80mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$A\ell_2O_3$

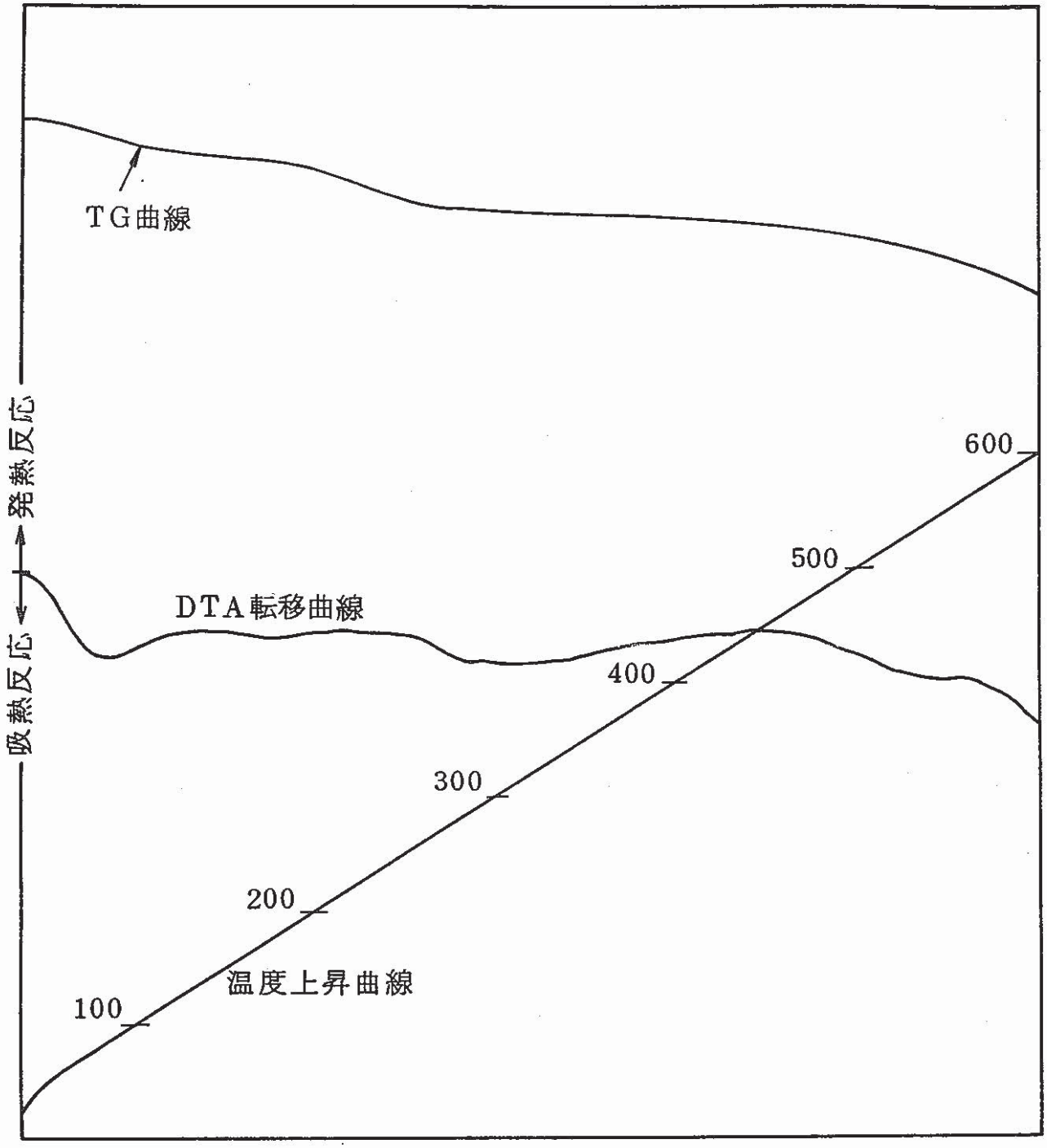


図 8.　化学処理第一課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：19.60mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$A\ell_2O_3$

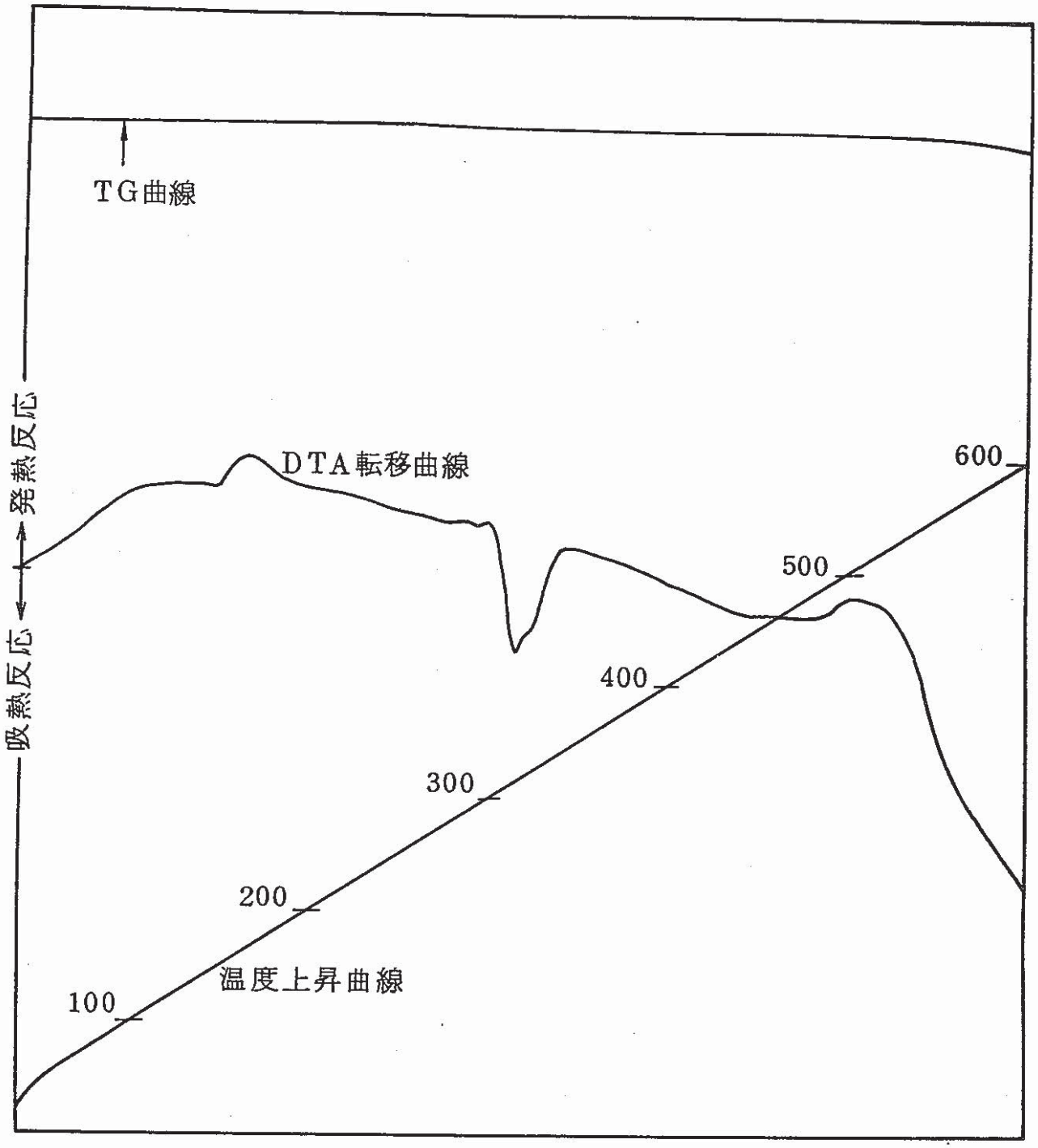


図 9.　化学処理第二課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：46.53mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

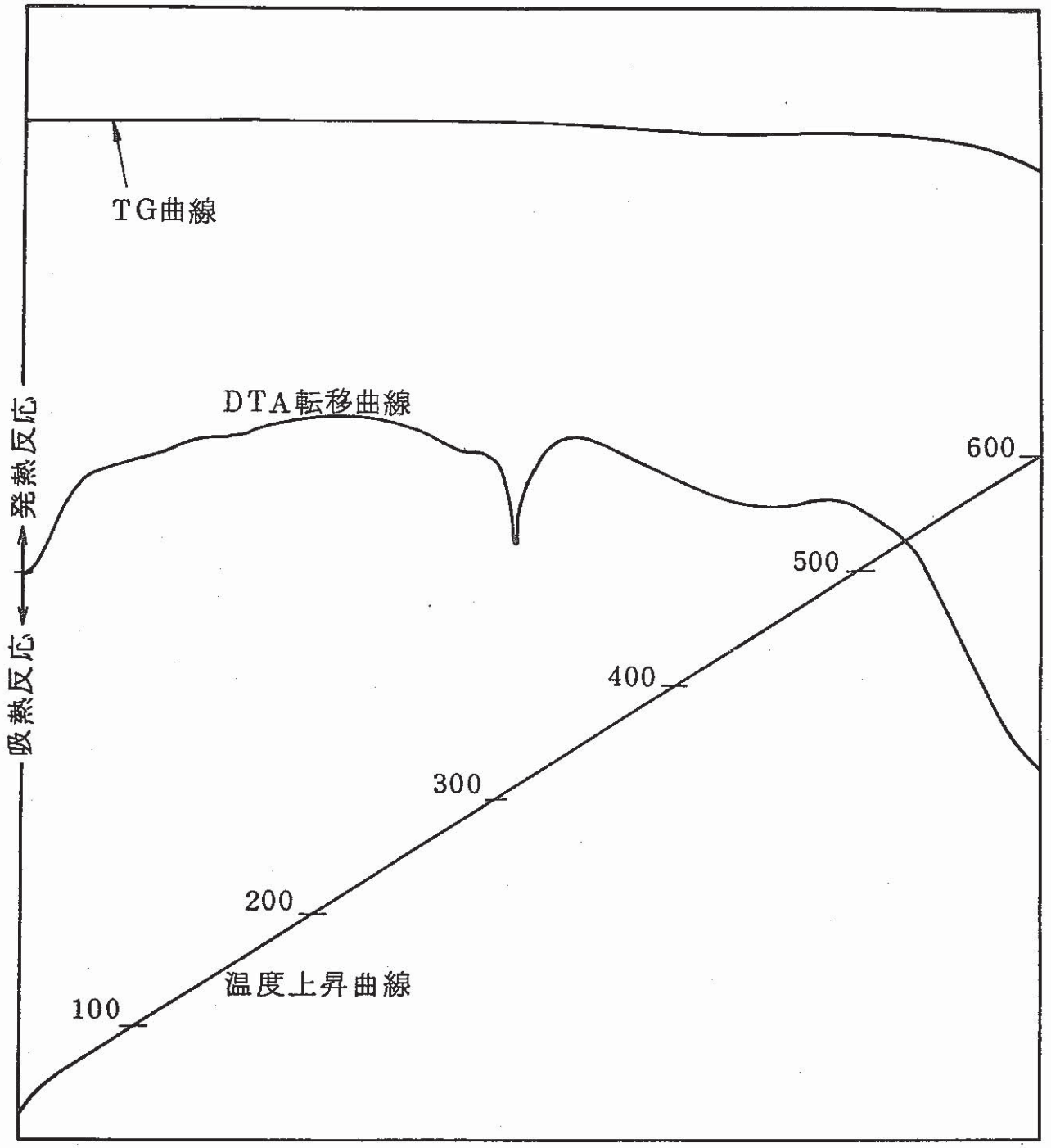


図 10.　化学処理第二課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：18.46mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

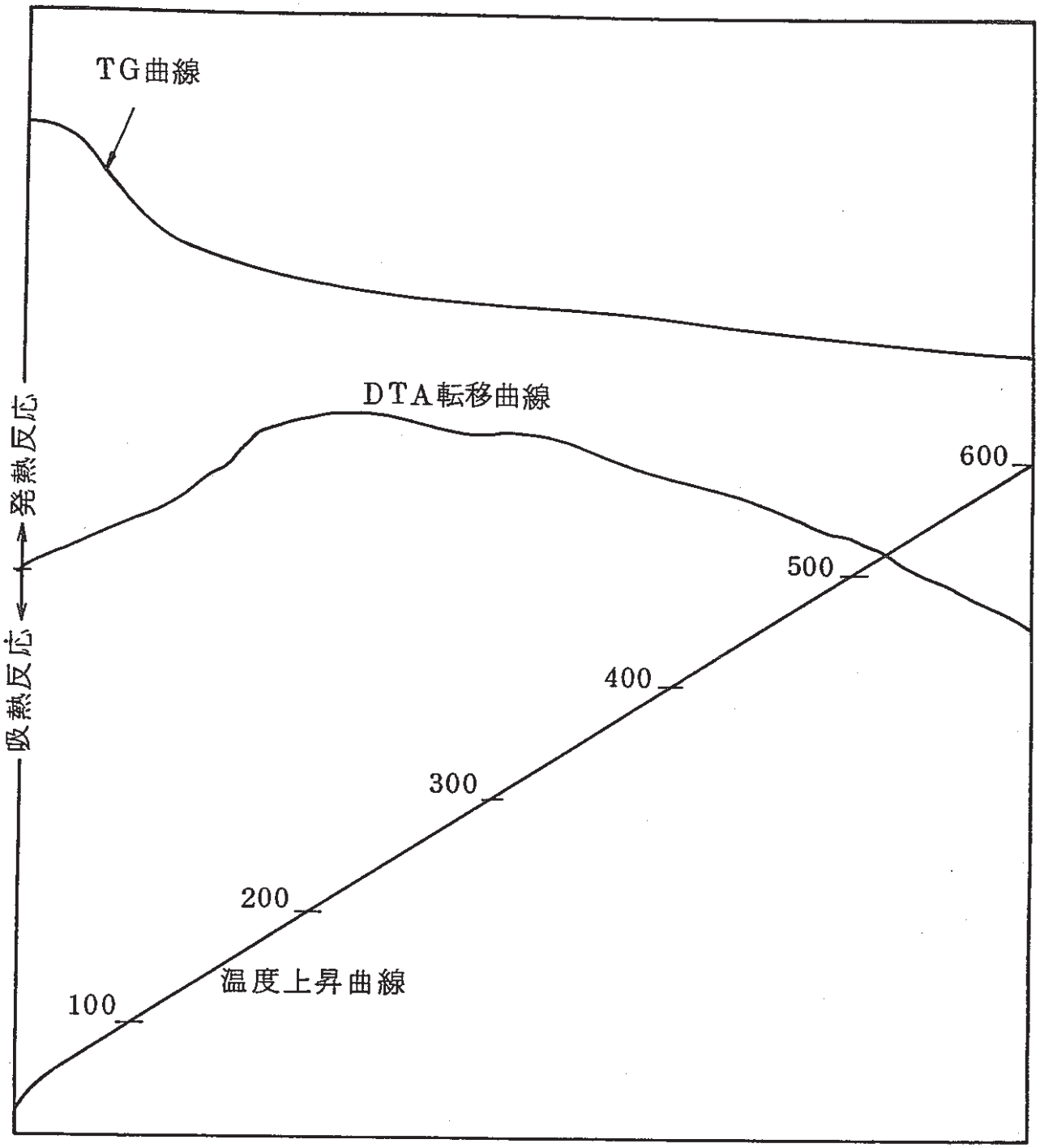


図 11.　化学処理第二課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：18.94 mg
雰囲気：空　気
流　　量：250 mℓ/min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

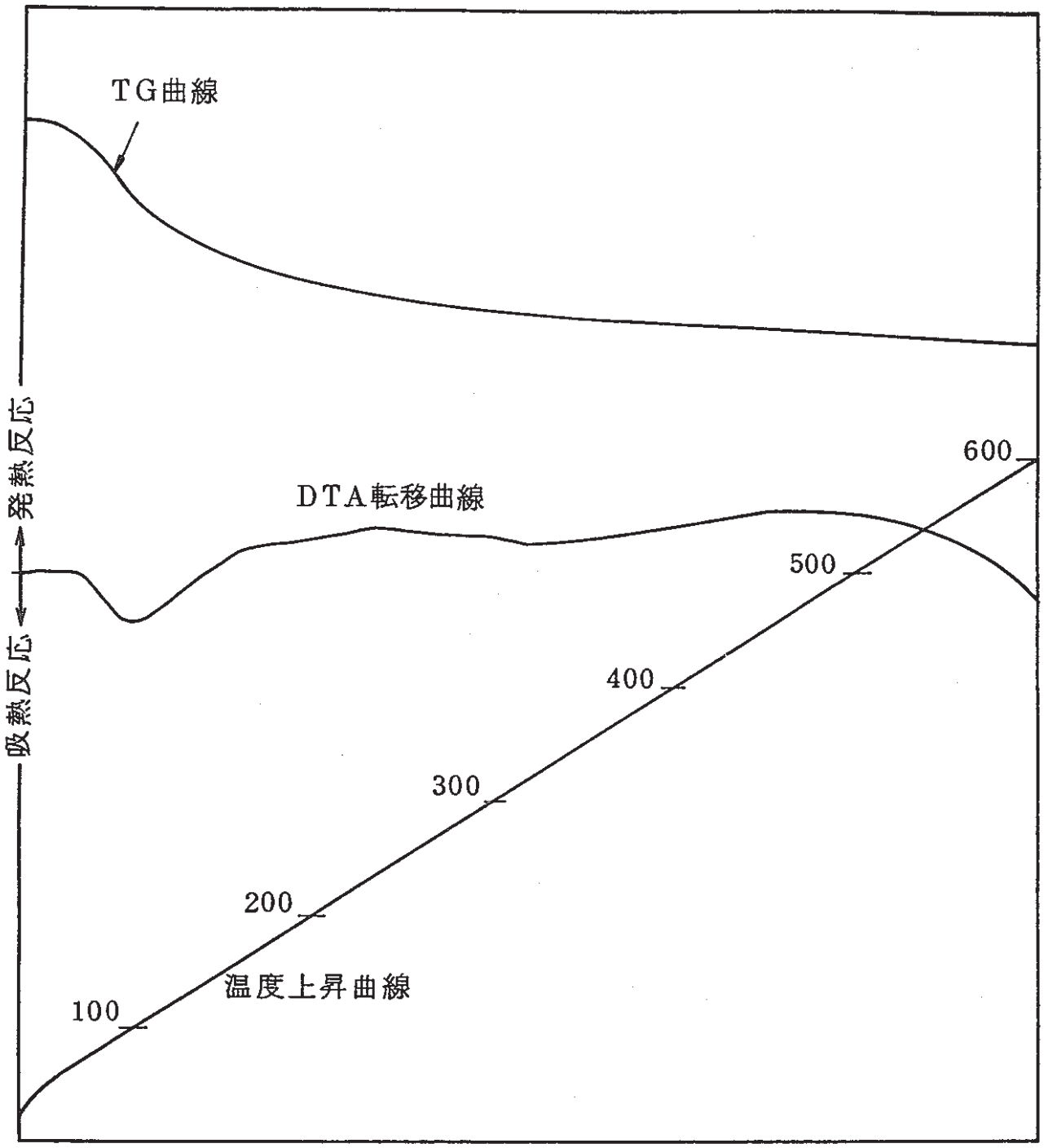


図12.　化学処理第二課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.36mg
雰囲気：窒素
流量：250mℓ/min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

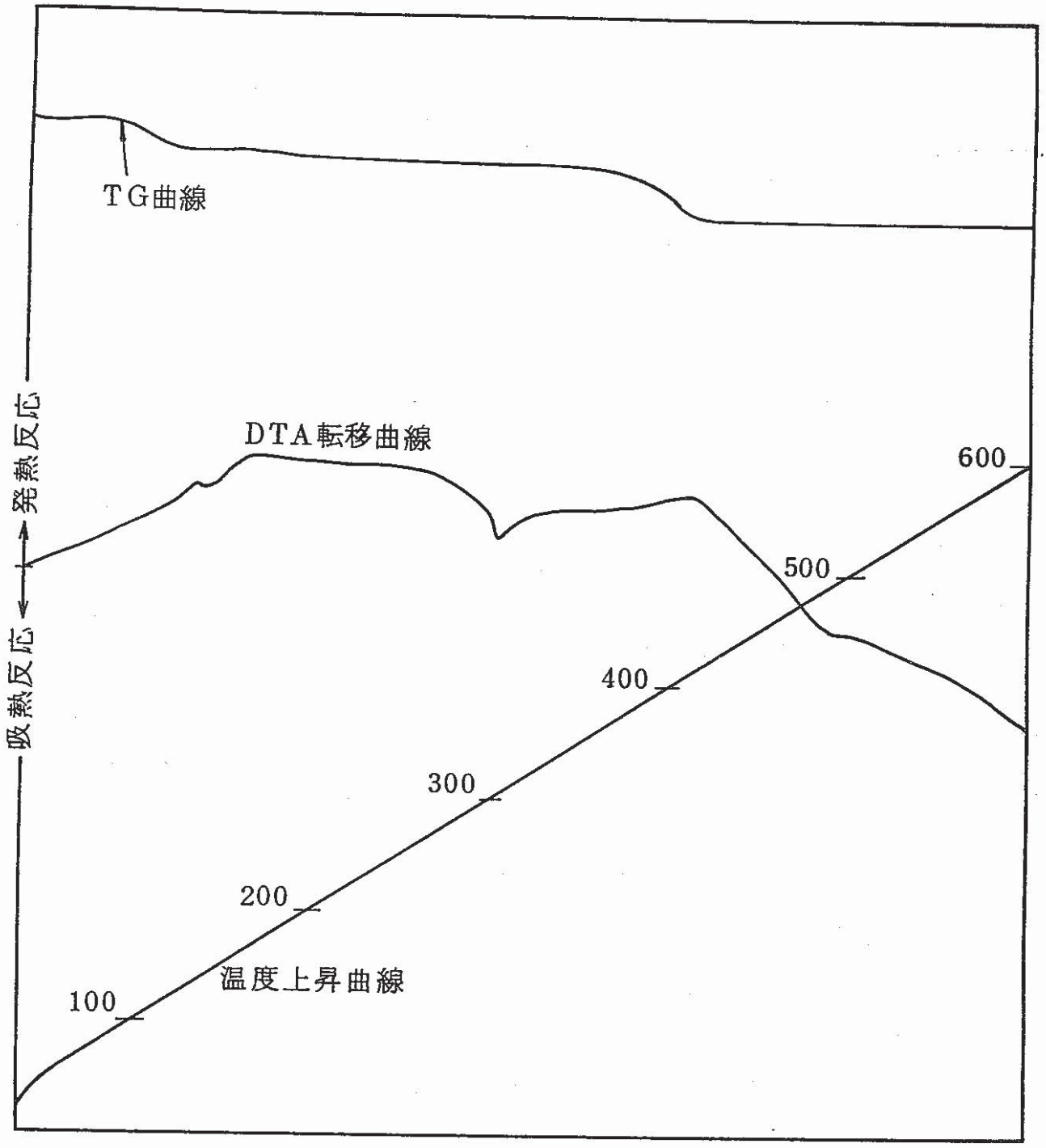


図13. 保　守　課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：19.72mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

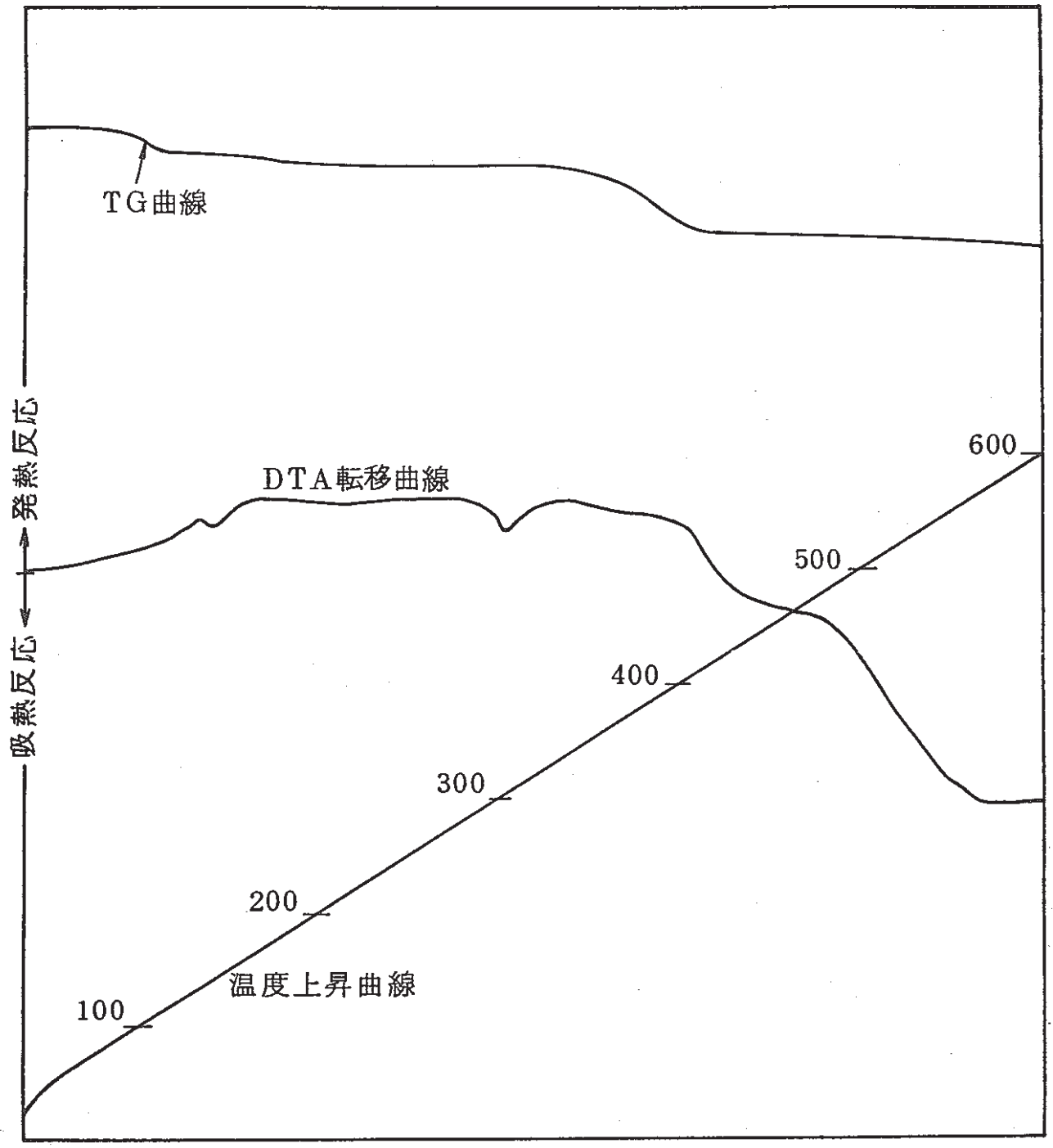


図 14.　保　守　課（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃／min
試料重量：20.30mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ／min
標準試料：$A\ell_2O_3$

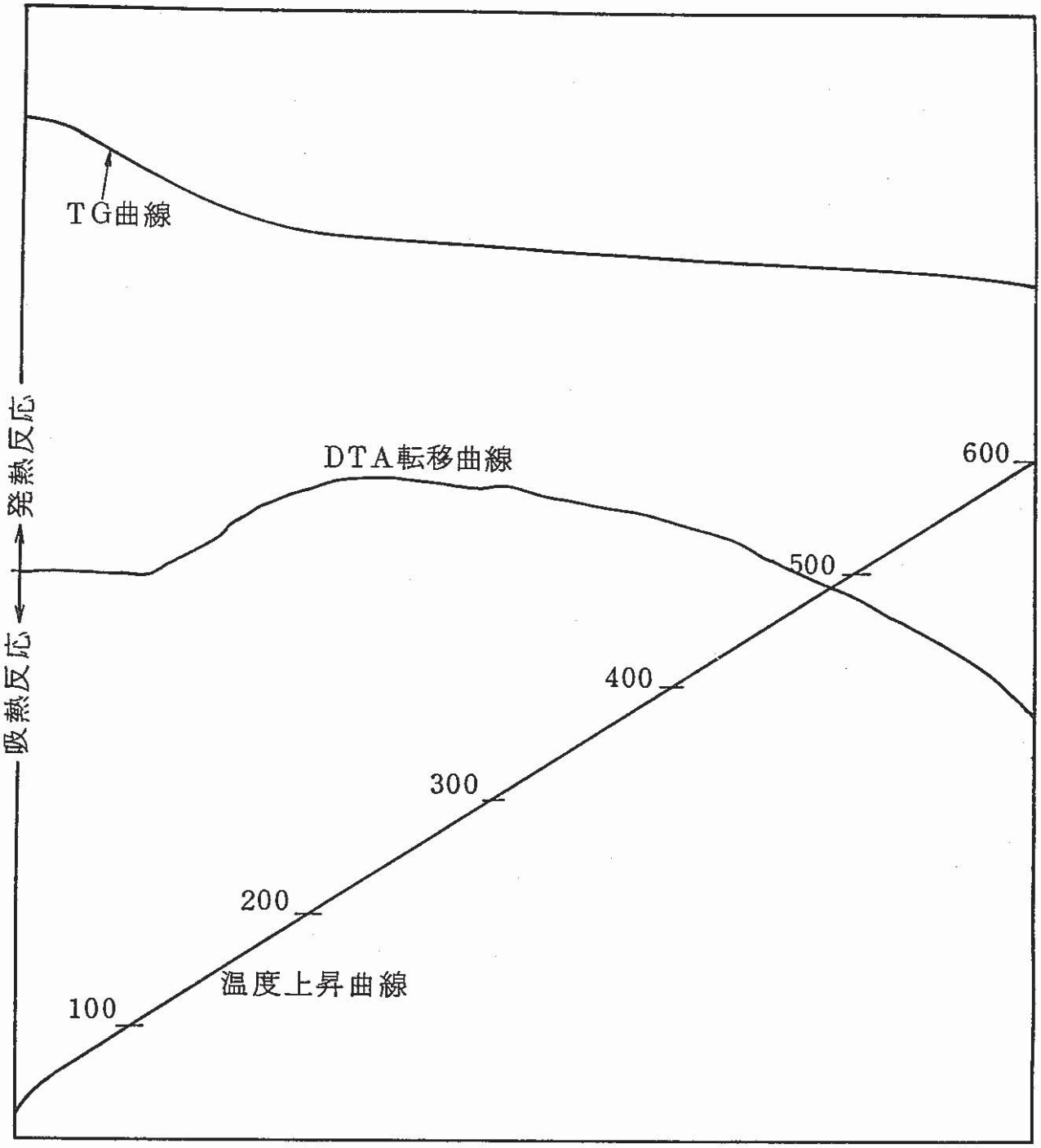


図 15. 保　守　課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.37mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$A\ell_2O_3$

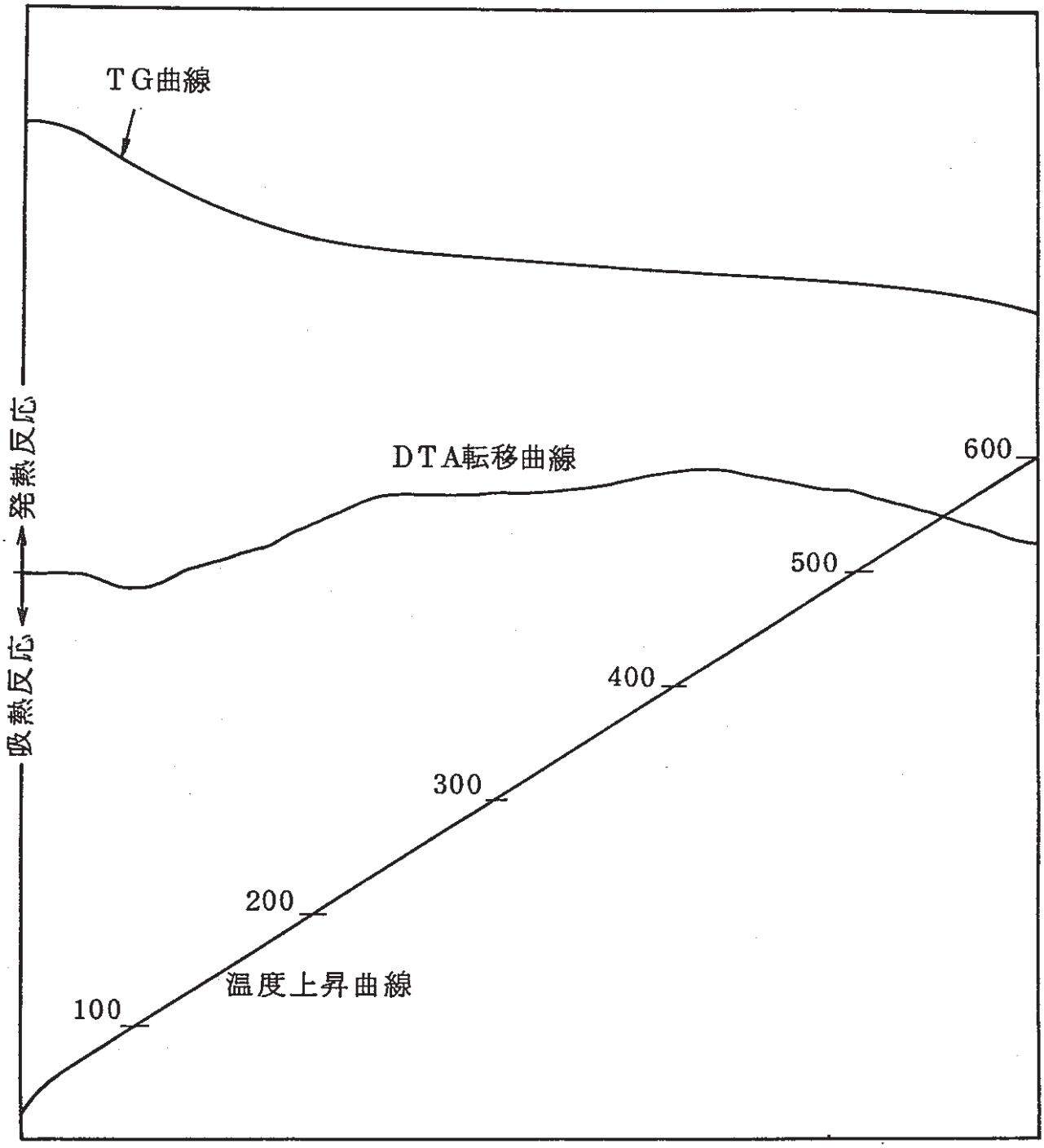


図16.　保　守　課（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.79mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$A\ell_2O_3$

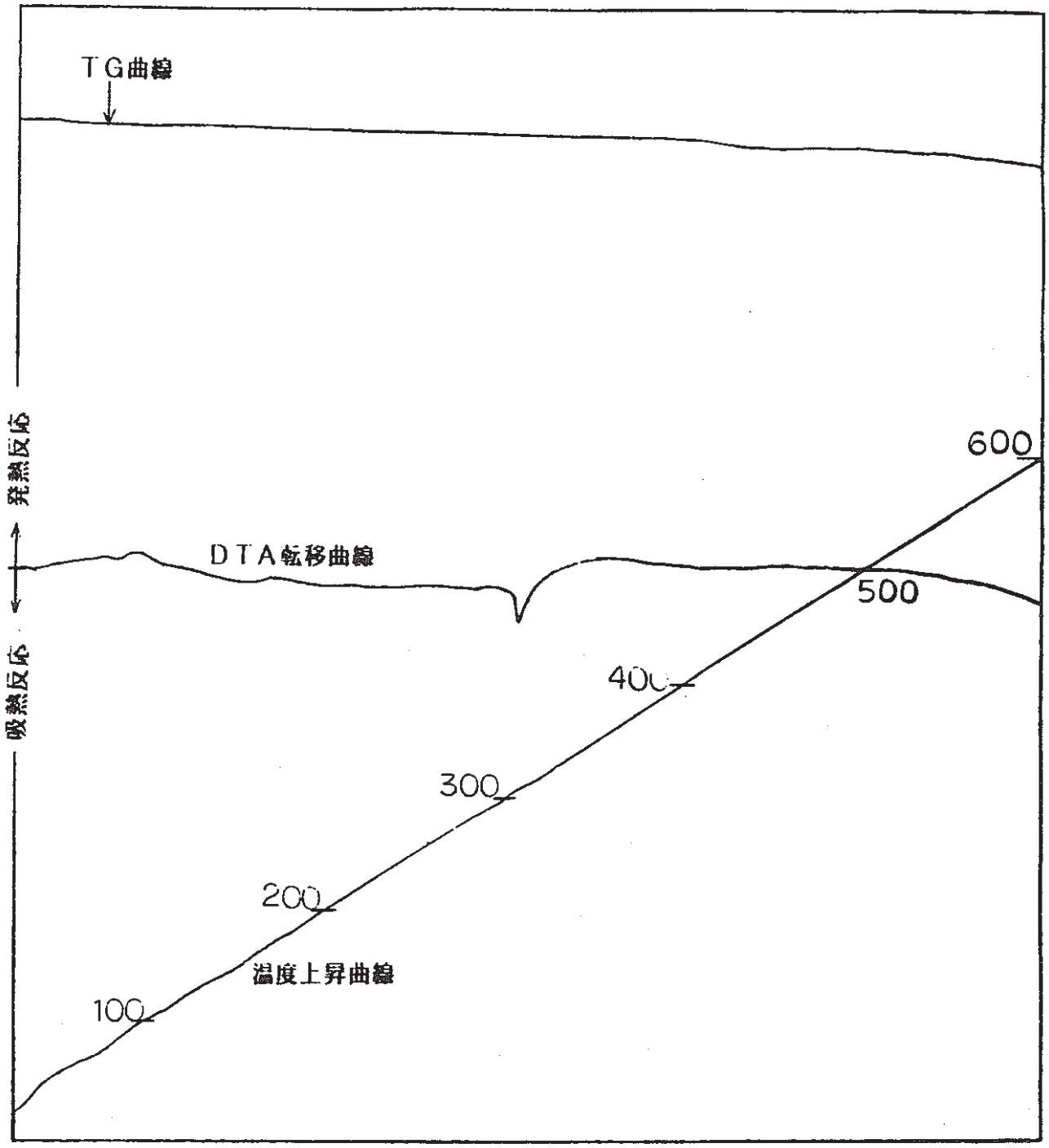


図17.　減容技術開発室（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.55mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$A\ell_2O_3$

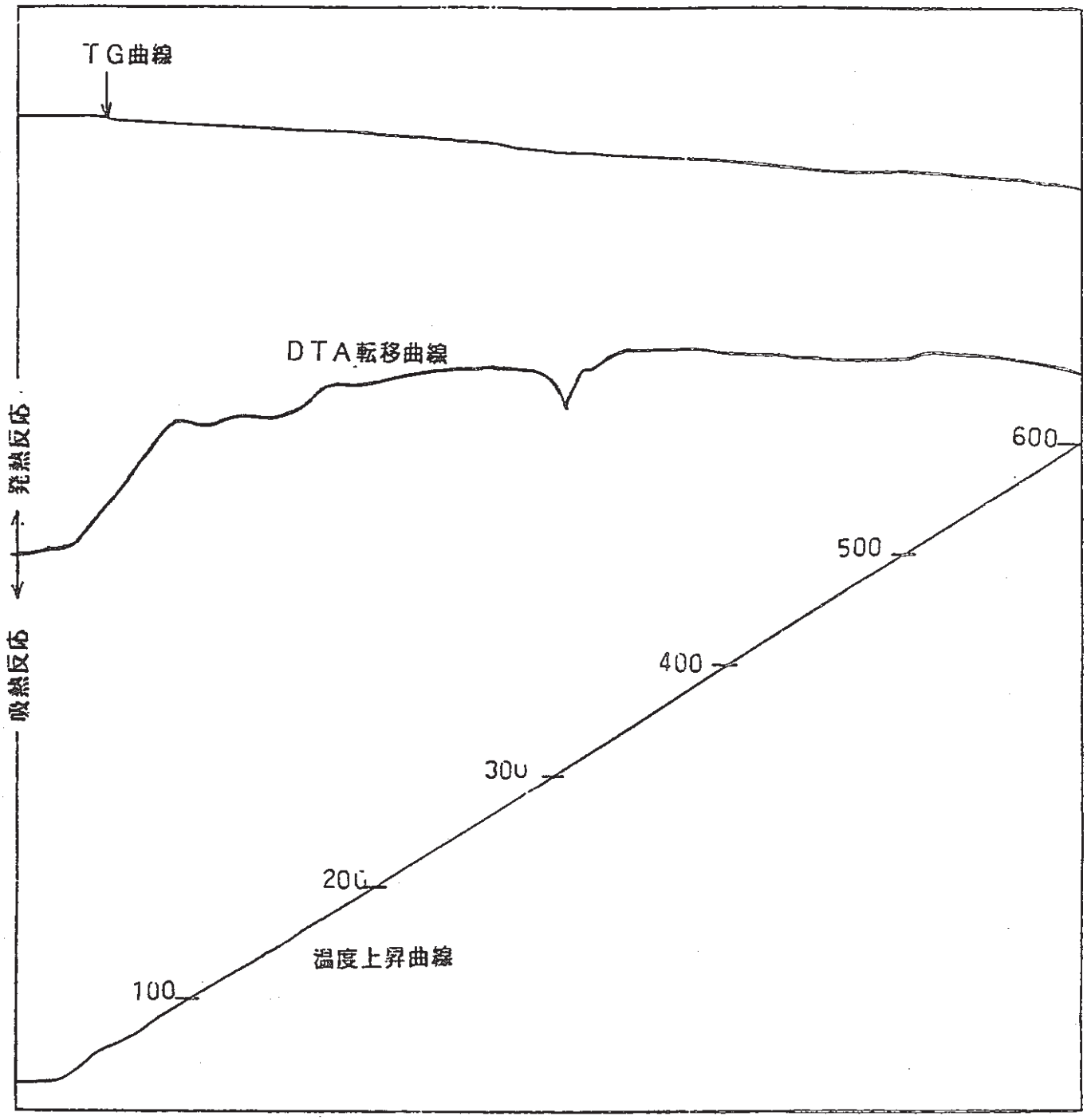


図 18.　減容技術開発室（ろ液粉体）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.94mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

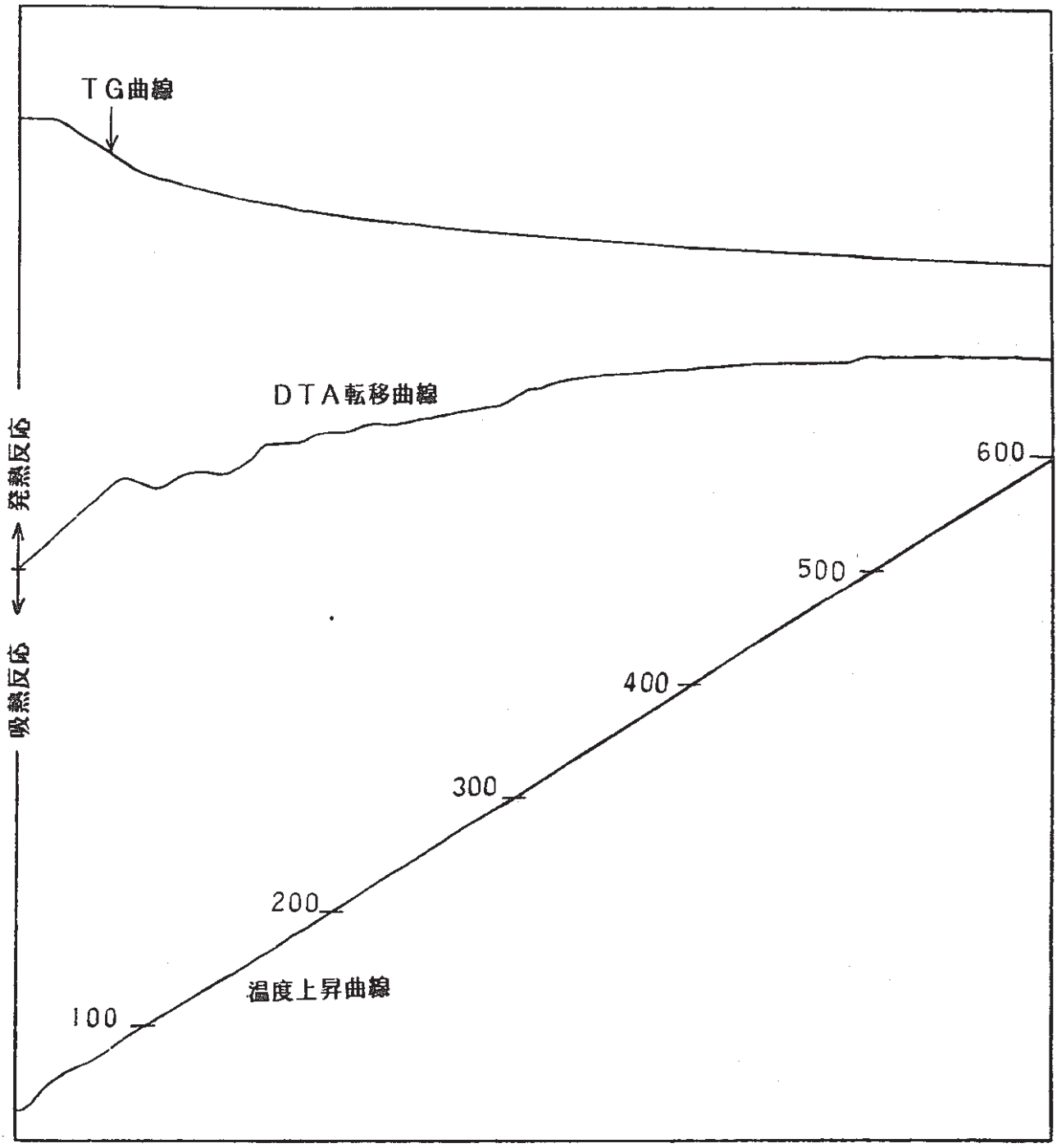


図19.　減容技術開発室（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：19.66mg
雰囲気：空　気
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$A\ell_2O_3$

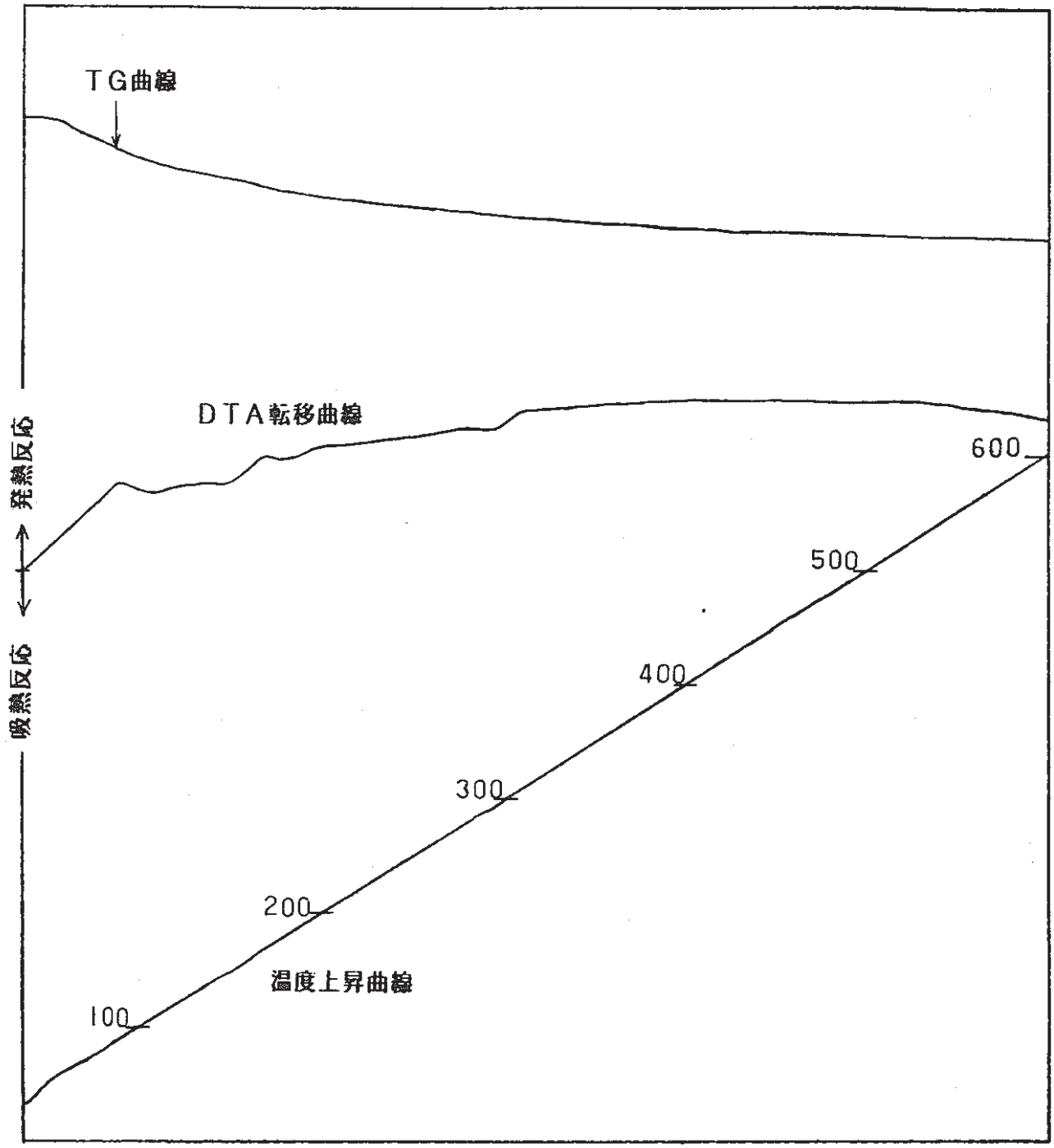


図 20.　減容技術開発室（スラッジ）
TG. DTA曲線

測定条件
昇温速度：10℃/min
試料重量：20.03mg
雰囲気：窒　素
流　　量：250mℓ/min
標準試料：$Aℓ_2O_3$

添付資料５　浸漬時間の妥当性

除染廃液処理基礎試験実施計画に対するコメントへの回答

コメント１

腐食試験１０００時間の妥当性の説明をもっと明確にできないか。

回答１

多重隙間腐食試験法では，試験片表面に隙間腐食が発生し易い隙間構造を設けるために，比較的厳しい条件での加速試験を行うことができます。(1)

また，隙間腐食が発生しない場合は重量減少量を測定することにより全面腐食について評価できます。この場合，腐食量の経時変化は図に示すような三つの場合が考えられます。いずれの場合もある一定時間後には腐食速度は一定となり，その時間は材料と環境との組合わせにより異なるが，経験的に１０００ 時間よりもかなり短時間であることが知られています。

なお，一般に『耐食性あり』と評価される腐食速度は0.3mm／年以下(2)であります。これに相当する１０００時間の腐食量をもとめると以下のようになります。

$$\text{全面腐食量} = \frac{0.03\,\text{cm/年} \times 7.8\,\text{g/cm}^3 \times 1000\,\text{時間} \times 1000\,\text{mg/g}}{24\,\text{時間} \times 365\,\text{日}} = 27\,\text{mg/cm}^3$$

この腐食量は，重量測定法で十分測定できる値であります。

従って１０００時間の腐食試験のデータを外挿することにより，運用期間中の腐食量を推定することができます。

---

(1) H.P.Hack ；Mater. Perform.22.(6)，24(1983)

(2) 伊藤五郎；腐食化学と防食技術，コロナ社，3, 486(1976)

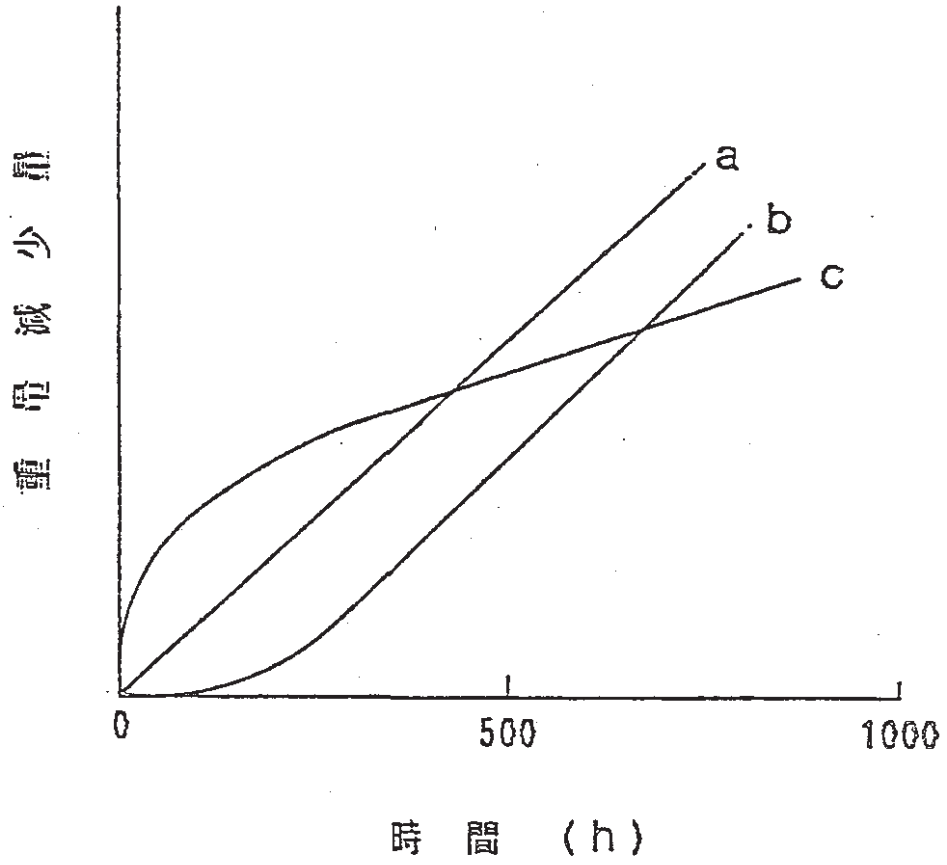


図　　腐食量の経時変化

添付資料６　　記　　号　　表

1. 工程図の記号

記　号	名　称	記　号	名　称
	槽（ライニング槽）		仕切弁
	タンク		玉形弁
	遠心ポンプ		逆止弁
	プランジャポンプ		アングル弁
M	遠心薄膜乾燥機	P	空気作動弁
SB	分析試料採取装置		コントロール弁

2. 機器の記号

V	槽，タンク
E	乾燥機，蒸発缶
P	ポンプ

3. 流体の記号

PP	プロセスの流れ
Re	試　薬
S	蒸　気
Ve	ベ ン ト

4. 計装の記号

(1) 測定対象（第1文字）

L	液　位
P	圧　力
PH	水素イオン濃度（ペーハー）
RO	酸化還元電位
F	流　量
T	温　度

(2) 測定内容（第2文字以降）

I	指示計
O±	関連系作動（＋上限，－下限）
C	制　御