

JAERI-Tech  
97-007



JP9704008



燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF)  
核燃料調製設備の概要  
(受託研究)

1997年3月

杉川 進・梅田 幹・石仙順也・中崎正人  
白橋浩一・松村達郎・田村 裕<sup>\*1</sup>・河合正雄<sup>\*2</sup>  
辻 健一<sup>\*3</sup>・舘盛勝一・井澤直樹・野村正之

VOL. 28 No. 14

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力公済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 (株)高野高速印刷

燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF)  
核燃料調製設備の概要

日本原子力研究所東海研究所NUCEF試験室

杉川 進・梅田 幹・石仙 順也・中崎 正人  
白橋 浩一・松村 達郎・田村 裕<sup>\*1</sup>・河合 正雄<sup>\*2</sup>  
辻 健一<sup>\*3</sup>・館盛 勝一<sup>+1</sup>・井澤 直樹・野村 正之<sup>+2</sup>

(1997年1月28日受理)

本報告書は燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF) の定常臨界実験装置 (STACY) 及び過渡臨界実験装置 (TRACY) で使用する溶液燃料の調製を行うことを目的とした核燃料調製設備について述べたものであり、酸化物燃料の溶解系、溶液燃料の調製系、精製系、酸回収系、溶液燃料貯蔵系等の設備に関して、工程設計条件、主要機器の設計諸元を示すとともに、臨界、火災・爆発等の安全設計についての考え方をまとめたものである。

---

本報告書の一部は、電源開発促進対策特別会計法施行令に基づく科学技術庁の委託によってなされた成果の一部である。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

+1 燃料サイクル安全工学部

+2 国際原子力総合研修センター

\*1 神戸製鋼 (株)

\*2 日揮 (株)

\*3 三井造船 (株)

Outline of a Fuel Treatment Facility in NUCEF

Susumu SUGIKAWA, Miki UMEDA, Junya KOKUSEN, Masato NAKAZAKI  
Kouichi SHIRAHASHI, Tatsuro MATSUMURA, Hiroshi TAMURA \*<sup>1</sup>, Masao KAWAI \*<sup>2</sup>  
Kenichi TSUJI, \*<sup>3</sup> Shoichi TACHIMORI \*<sup>1</sup>, Naoki IZAWA and Masayuki NOMURA \*<sup>2</sup>

Department of NUCEF Project  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 28, 1997)

This report presents outline of the nuclear fuel treatment facility for the purpose of preparing solution fuel used in Static Experiment Critical Facility(STACY) and Transient Experiment Critical Facility(TRACY) in Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility(NUCEF), including descriptions of process conditions and dimensions of major process equipments on dissolution system of oxide fuel, chemical adjustment system, purification system, acid recovery system, solution fuel storage system, and descriptions of safety design philosophy such as safety considerations of criticality, solvent fire, explosion of hydrogen and red-oil and so on.

Keywords : Uranyl Nitrate, Plutonium Nitrate, Dissolver, Evaporater, Mixer Settler, Purex, Purification,  
Solvent Recovery, Acid Recovery, Process Design, Safety Design

---

Part of this work was carried out by Japan Atomic Energy Research Institute under the auspices of the Science & Technology Agency of Japan.

- +1 Department of Fuel Cycle Safety Research
- +2 Nuclear Technology and Education Center
- \*1 Kobe Steel, Ltd.
- \*2 JGC Corporation
- \*3 Mitsui Engineering & Shipbulding Co., Ltd.

## 目 次

1.	はじめに .....	1
2.	プロセスの概要 .....	2
2.1	基本設計条件 .....	2
2.1.1	運転操作条件 .....	2
2.1.2	取扱燃料 .....	3
2.2	プロセス .....	4
2.2.1	溶解系 .....	4
2.2.2	調整系 .....	4
2.2.3	精製系 .....	4
2.2.4	溶媒回収系 .....	5
2.2.5	酸回収系 .....	5
2.2.6	溶液燃料貯蔵系 .....	6
2.2.7	オフガス処理系 .....	6
2.2.8	試薬調整系 .....	6
3.	装置の概要 .....	7
3.1	調整附属設備 .....	7
3.2	調整設備 .....	7
3.3	精製設備 .....	8
3.4	精製附属設備 .....	9
3.5	燃取補助設備 .....	9
3.6	溶液燃料貯蔵設備 .....	10
3.7	槽ベント設備 .....	10
3.8	真空設備 .....	11
4.	設備配置 .....	11
5.	運転監視・制御系 .....	11
6.	換気空調系 .....	11
7.	電源系 .....	12
8.	安全設計 .....	12
8.1	臨海安全設計 .....	12
8.2	火災・爆発防止設計 .....	13
8.2.1	有機溶媒火災防止 .....	13
8.2.2	水素爆発防止 .....	14
8.2.3	レッドオイル爆発防止 .....	14

8.3	耐震・耐圧強度設計 .....	14
8.3.1	耐震強度設計 .....	14
8.3.2	耐圧強度設計 .....	15
8.4	遮へい設計 .....	15
9.	おわりに .....	16
謝 辞 .....		16
参考文献 .....		16
付録1	主要機器リスト .....	65
付録2	機器の写真 .....	80

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Outline of Chemical Process .....	2
2.1 Basic Design Condition .....	2
2.1.1 Operation Condition .....	2
2.1.2 Fuel Condition .....	3
2.2 Chemical Process .....	4
2.2.1 Dissolution .....	4
2.2.2 Chemical Adjustment .....	4
2.2.3 Purification .....	4
2.2.4 Solvent Recovery .....	5
2.2.5 Acid Recovery .....	5
2.2.6 Fuel Storage .....	6
2.2.7 Off-gas Treatment .....	6
2.2.8 Reagent Preparation .....	6
3. Outline of Process Equipments .....	7
3.1 Dissolution Equipments .....	7
3.2 Chemical Adjustment Equipments .....	7
3.3 Purification Equipments .....	8
3.4 Solvent Recovery Equipments .....	9
3.5 Acid Recovery Equipments .....	9
3.6 Storage Equipments .....	10
3.7 Off-gas Treatment Equipments .....	10
3.8 Vacuum Equipments .....	11
4. Layout of Equipments .....	11
5. Operation and Control System .....	11
6. Ventilation System .....	11
7. Power Supply System .....	12
8. Safety Considerations .....	12
8.1 Criticality Safety Design .....	12
8.2 Protection of Solvent Fire, Hydrogen Explosion and Red-oil Explosion .....	13
8.2.1 Solvent Fire .....	13
8.2.2 Hydrogen Explosion .....	14
8.2.3 Red-oil Explosion .....	14

8.3 Design of Seismic and Pressure Strength .....	14
8.3.1 Seismic Design .....	14
8.3.2 Pressure Strength Design .....	15
8.4 Shielding Design .....	15
9. Conclusions .....	16
Acknowledgments .....	16
References .....	16
Appendix 1     Equipment List .....	65
Appendix 2     Photograph of Equipment .....	80



## 1. はじめに

燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF：Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility）は、核燃料サイクルバックエンドに関する安全性研究及び基礎的研究を総合的に実施するための大型研究施設である。このうち再処理施設の臨界安全性に関する研究については、定常臨界実験装置（STACY）及び過渡臨界実験装置（TRACY）を使用し、再処理工程で用いられている種々の形状の機器・槽類についての溶液燃料の静的な臨界データの取得、溶液燃料の臨界事故模擬実験による臨界事故評価データの取得等を目的としている。これらの臨界実験では、低濃縮ウランの硝酸ウラニル溶液、硝酸プルトリウム溶液およびウラン・プルトリウムの混合溶液の溶液燃料を用いるため、臨界実験装置に隣接した小プラント規模の核燃料調製設備<sup>1)</sup>においてウランおよびプルトリウム酸化物燃料の溶解、溶液燃料の蒸発濃縮・脱硝、硝酸溶液での希釈、ウランおよびプルトリウム溶液の混合等を行う燃料調整、臨界実験後の溶液燃料の分離・精製等を行う。

再処理施設に類似しているこの設備は、溶解、調整、精製、溶媒回収、酸回収、槽ベント処理、貯蔵等の11設備から構成され、NUCEF実験棟のA棟からB棟にわたって配置され、32基の遮へい付きグローブボックス、5基の工学フード、15室の貯槽室には112基の主要機器および貯槽が配置されNUCEF施設の中で最も規模の大きな設備である。平成6年9月から共用を開始し、これまでに溶解による180kg（金属ウラン換算）の10%濃縮ウラン溶液の調製、臨界実験後の約240kgのウラン溶液の蒸発濃縮・脱硝等を行ってきた。

本報告書は、核燃料調製設備についてのプロセス概要、設計条件とフロシート、主要機器の設計諸元や機器基本図等を示すとともに安全設計<sup>2)</sup>の骨子をまとめたものである。

## 2. プロセスの概要

## 2.1 基本設計条件

核燃料調製設備は、多種・多様の溶液燃料を調製するため運転モードが多様となることから、基本的な設計上の配慮として①フレキシブルな運転対応が可能とし、②誤操作、故障等を十分に考慮した安全設計を取り入れることとした。

## 2.1.1 運転操作条件

主たる運転ケースは次のとおりである。

## (1) ウランキャンペーン

## ①ウラン酸化物燃料の溶解

12%濃縮ウラン酸化物燃料（ペレット）と1.5%濃縮ウラン酸化物燃料（燃料ピン）を解体によって取り出されたペレットを、分取・秤量、硝酸により溶解し、10%および6%濃縮ウラン溶液を調製する。

## ②硝酸ウラニル溶液の蒸発濃縮・脱硝

STACYまたはTRACY臨界実験で使用したウラン溶液をウラン蒸発缶によりウラン溶液の蒸発濃縮と遊離硝酸濃度の低減を行う。

## ③FPを含む硝酸ウラニル溶液（TRACY臨界実験後）の精製・蒸発濃縮

TRACY臨界実験で使用したFPを多く含むウラン溶液を溶媒抽出によりウラン溶液からFPの除去とウラン溶液の蒸発濃縮を行う。

## ④中性子毒物（Gd等）含む硝酸ウラニル溶液の精製・蒸発濃縮

STACY臨界実験で使用した中性子毒物を含むウラン溶液を溶媒抽出によりウラン溶液から中性子毒物の除去とウラン溶液の蒸発濃縮を行う。

## ⑤廃液処理

蒸発濃縮、精製、洗浄等から生じる廃液を蒸発濃縮し、硝酸を回収する。回収水は、 $\beta\gamma$ 廃液として排出する。

## ⑥リワーク

ウランを比較的多く含む廃液を蒸発濃縮または精製および蒸発濃縮によりウランを回収する。

## (2) プルトニウムキャンペーン

### ①混合酸化物燃料 (MOX) の開梱

Pu 保管ピットから Pu 貯蔵容器を取出し、開梱してカートリッジ、Pu 粉末缶を取出す。

### ②混合酸化物燃料 (MOX) の溶解

Pu 粉末缶を開缶し、Pu 溶解槽に MOX 粉末、硝酸・銀混合溶液を入れ、電解酸化により MOX 粉末を溶解する。溶解液は、プルトニウムとウランに分離・精製、蒸発濃縮する。

### ③硝酸プルトニウム溶液の蒸発濃縮・脱硝

STACY 臨界実験で使用したプルトニウム溶液をプルトニウム蒸発缶によりプルトニウム溶液の蒸発濃縮と遊離硝酸濃度の低減を行う。

### ④硝酸プルトニウム・硝酸ウラニル混合溶液の分離・精製・蒸発濃縮

STACY 臨界実験で使用した硝酸プルトニウム・硝酸ウラニル混合溶液を溶媒抽出によりプルトニウム溶液とウラン溶液に分離し、蒸発濃縮を行う。

### ⑤中性子毒物 (Gd 等) 含む硝酸プルトニウム溶液の分離・精製・蒸発濃縮

STACY 臨界実験で使用した中性子毒物を含むプルトニウム溶液を溶媒抽出によりプルトニウム溶液から中性子毒物の除去とプルトニウム溶液の蒸発濃縮を行う。

### ⑥廃液処理

蒸発濃縮、精製、洗浄等から生じる廃液を蒸発濃縮し、硝酸と水を回収する。回収水の一部は、 $\alpha$  廃液処理設備で処理し一般排水として排出する。

### ⑦リワーク

プルトニウムを比較的多く含む廃液を蒸発濃縮または精製および蒸発濃縮によりプルトニウムを回収する。

## 2.1.2 取扱燃料

核燃料調製設備で使用する溶液燃料の種類と量を表-1に示す。

## 2.2 プロセス

核燃料調製設備の系統概略図を図-1に示す。本設備は、溶解系（調整附属設備）、調整系（調整設備）、精製系（精製設備）、溶媒回収系（精製附属設備）、溶液燃料貯蔵系（溶液燃料貯蔵設備）、オフガス処理系（槽バント設備）、試薬調整系（燃取補助設備-リサイクル試薬調整設備）から成る。各設備のプロセスフローダイヤグラムを図-2～図-14に示す。

### 2.2.1 溶解系

ウランについては、12%濃縮ウラン酸化物ペレットと1.5%濃縮ウラン酸化物ペレット10kg（金属ウラン換算）を秤取り、ウラン溶解槽に入れ、7N硝酸により液温を室温から100℃まで徐々に上げて突沸を起こさないように溶解し、10%または6%の濃縮ウラン溶液にする。溶解液は2基のろ過器を通して不溶性残渣等を除去し、溶解液計量槽経由で戻液受槽に移送する。

プルトニウムについては、MOX粉末をホッパーからプルトニウム溶解槽に入れ、約40℃の4N硝酸/0.05M硝酸銀溶液により電解酸化を行いながら溶解する。MOX溶解液はNO<sub>x</sub>ガスを通気して2価の銀イオンを1価に還元することにより払出し先のステンレス製機器での腐食を防ぐとともに溶媒抽出のために6価のプルトニウムイオンを4価に還元調整する。調整液は、溶解液計量槽に移送し、プルトニウム量を計量後戻液受槽に移送する。

### 2.2.2 調整系

蒸発濃縮系については、精製設備、溶液燃料貯蔵設備等から溶液燃料をU溶液受槽あるいはPu溶液受槽に受入れ、サンプリング・分析後、真空移送とポンプによりU濃縮缶あるいはPu濃縮缶に供給して蒸発濃縮する。なお、精製設備からのプルトニウム溶液には、ヒドロキシルアミン(HAN)、ヒドラジンが残存しているため、濃縮缶での突沸防止のため、NO<sub>x</sub>ガスを通気し分解を行うとともに、レッドオイル爆発の防止のため油分が約50ppm以下であることを分析で確認してから蒸発濃縮を行う。

### 2.2.3 精製系

溶液払出槽でウラン、プルトニウム、硝酸濃度を調整した後、一旦、調整液槽に移送し、

真空移送とポンプにより抽出器（16段）に供給し、30% TBP / ドデカンにより抽出を行い、FP、毒物等を除去する。抽出溶媒がプルトニウムあるいはプルトニウム・ウラン混合溶液の場合は、Pu 逆抽出器（16段）を通してヒドロキシルアミン（HAN）によりプルトニウムの還元・逆抽出を行うとともにプルトニウム / ウラン分離を行う。また、Pu 逆抽出器の後段は、プルトニウムバリヤとして低濃度のウラナスと接触させ、ウラン溶媒系へのプルトニウムリークを防止する。ウラン溶媒はU 逆抽出器（12段）を通し、回収水によりウランの逆抽出を行う。抽残液、逆抽出されたプルトニウム、ウラン溶液は、微量の油分除去のため希釈剤洗浄器（2段）を通す。なお、インライン分析として、中性子モニターによる抽出器、Pu 逆抽出器のプルトニウムホールドアップ、ウラン溶媒貯槽のプルトニウムリーク量のモニターとボルタンメトリーによる抽出器、Pu 逆抽出器後段でのウランおよびプルトニウム濃度の測定を行う。

#### 2.2.4 溶媒回収系

精製設備からの使用済抽出剤（30% TBP / ドデカン）、使用済希釈剤（ドデカン）を廃溶媒槽、廃希釈剤槽に受入れ、使用済抽出剤の溶媒洗浄器（4段）においての炭酸ソーダおよび苛性ソーダの洗浄または炭酸ヒドラジン洗浄、使用済希釈剤のシリカゲル吸着による再生を行う。また、ウランまたはプルトニウム等を含む混相（溶媒 / 水相）については、一旦、油水受槽に受け、油水分離槽において油分と水溶液に分離し、精製設備に戻してウランまたはプルトニウムの回収を行う。

#### 2.2.5 酸回収系

調整系の蒸発凝縮液、精製系の抽残液、洗浄塔の廃液等を蒸発缶給液槽に受入れ、サンプリング・分析により有意量のウランおよびプルトニウムが無いことを確認した後、蒸発缶に供給し、蒸発濃縮・精留を行い、廃液の濃縮とともに硝酸および水を回収する。蒸発缶には中性子モニターが備えられており、臨界質量制限値に近づくプルトニウムが混入した場合に蒸発缶への給液が自動的に停止される。

蒸発濃縮液のうちアメリシウム量が多いものについては、アメリシウム貯槽に移送し、その他の廃液は濃縮廃液貯槽に移送する。回収された硝酸および水は、試薬調整系に送り溶解系および精製系の試薬に再使用することにより廃液発生量の低減化を図っている。

### 2.2.6 溶液燃料貯蔵系

調整系で蒸発濃縮された約 400 gU/l の硝酸ウラニル溶液および約 250gPu/l の硝酸プルトニウム溶液を専用の貯槽において貯蔵する。燃料は、ウラン濃縮度およびプルトニウム別に管理される。

各貯槽は、保障措置の計量管理のために定期的な貯槽容積の再校正を行う必要性があり、校正液の廃液の発生を抑えるために、貯槽内の燃料溶液を用いて校正ポットにより再校正が可能としている。

### 2.2.7 オフガス処理系

溶解系で発生するNO<sub>x</sub>ガス、調整系でのプルトニウム原子価調整で使用するNO<sub>2</sub>ガス、各プルトニウム貯槽から発生するαミスト等を洗浄塔、デミスタおよび高性能フィルタで除去する。槽バント処理系は、溶解系およびプルトニウムを取扱う機器・貯槽の系統と溶液燃料貯蔵の系統から成る。

### 2.2.8 試薬調整系

溶解系、調整系、抽出系、溶媒回収系等で使用する硝酸、30% TBP/ドデカン、炭酸ソーダ、苛性ソーダ等の試薬は、予め調整された試薬を購入して、各試薬貯槽に供給する。硝酸と水については、酸回収系で回収された硝酸と水を調整して再使用する。

## 3. 装置の概要

## 3.1 調整附属設備（溶解系）

U溶解槽、Pu溶解槽、ろ過器（フィルタ）（3基）、溶解液計量槽等から成る。溶解槽の基本仕様は、以下のとおりである。

## ①U溶解槽

- 機器型式 縦型円筒槽
- 処理方式
  - ・溶解方法 硝酸溶解
  - ・溶解操作 回分方式
- 処理量
  - ・ウラン 10 kg U / バッチ（1 バッチ / 日）
  - 加熱方式 電気ヒータ（U溶解槽）
  - ・温度 室温～100℃

## ②Pu溶解槽

- 機器型式 縦型円筒槽
- 処理方式
  - ・銀電解酸化
  - ・溶解操作 回分方式
- 処理量
  - ・MOX 0.5 kg Pu / バッチ（2 バッチ / 日）
- 冷却方式 水冷
  - ・温度 約40℃

## 3.2 調整設備（調整系）

U濃縮缶、U溶液受槽（2基）、U濃縮液槽、Pu濃縮缶、Pu溶液受槽（2基）、Pu濃縮液槽、溶液払出槽、戻液受槽、混合槽、中間ポット、ポット、ポンプ等から成る。蒸発缶の基本仕様は、以下のとおりである。

## ①U濃縮缶、Pu濃縮缶

- 機器型式 サーモサイフォン型

- 処理方式 半連続方式
- 処理量
  - ・濃縮 25 l/時
- 濃縮条件
  - ・最大濃度 500 g U / l (U濃縮缶)
  - 300 g Pu / l (Pu濃縮缶)
- 加熱方式 蒸気
  - ・最大温度 130℃
- 材質 Ti製 (Pu濃縮缶)
- SUS-304L (U濃縮缶)

### 3.3 精製設備

抽出器、Pu逆抽出器、U逆抽出器、希釈剤洗浄器（3基）、調整液槽、U溶媒槽（3基）、抽残液槽（2基）から成る。抽出器等の基本仕様は、以下のとおりである。

- 機器型式 ポンプミックス型ミキサセトラ  
(希釈剤洗浄器は内部循環型)
- 処理量 抽出器：4 l / 時 (供給液)  
Pu逆抽出器、U逆抽出器：10 l / 時
- 容量
  - ・ミキサ部：0.68 l
  - ・セトラ部：2.86 l
- 段数
  - ・抽出器 (抽出部：9段 洗浄部：7段)
  - ・Pu逆抽出器 (U抽出部：4段 Pu還元部：8段 Puバリヤ：4段)
  - ・U逆抽出器 (12段)
  - ・希釈剤洗浄器 (2段)
- 界面制御・測定方式
  - ・減圧せき
  - ・電極方式 (2本 / 各段、4本 / 1段)、アドミッタンス方式 (2本 / 全段)
- 臨界液厚制御 非常用オーバーフロー管 (高さ86 mm)  
(通常液位：79 mm)





### 3.6 溶液燃料貯蔵設備

ウラン貯槽（6基）、プルトニウム貯槽（2基）、液移送用ポット等から成る。

#### ①ウラン貯槽

－型式 平板槽

・10%濃縮ウラン用	3801	1基
・6%濃縮ウラン用	4201	3基
・劣化ウラン用	3801	1基
・予備槽	4201	1基

#### ②プルトニウム貯槽

－型式 円環槽

・常用	2401	1基
・予備槽	2801	1基

### 3.7 槽ベント設備

洗浄塔、冷却器、ポンプ、デミスタ、高性能フィルタ、ブロワ（2基）等から成る。

洗浄塔の基本仕様は、以下のとおり。

#### ①槽ベント設備B－燃調（溶解系、Pu機器・貯槽系）

－機器型式	充填塔
－入口制御圧力	600mm水柱負圧
－洗浄液	水
－風量	60Nm <sup>3</sup> /時 (ブロワ)

#### ②槽ベント設備B－貯蔵（溶液燃料貯蔵系）

－機器型式	充填塔
－洗浄液	水
－風量	3.9Nm <sup>3</sup> /時 (気体廃棄物処理設備側ブロワ)

### 3.8 真空設備

真空ポンプ（2基）、封液循環ポンプ（2基）、エゼクター（2基）、気液分離器（4基）、バッファ槽（2基）等から成る。真空系の設計諸元は、以下のとおりである。

－系統および真空度

- ・水系 10 m水柱真空
- ・油系 10 m水柱真空
- ・水系 5 m水柱真空
- ・油系 5 m水柱真空

－排気量            最大 6 m<sup>3</sup>/分

## 4. 設備配置

核燃料調製設備は、NUCEF実験棟のA棟およびB棟に配置し、A棟は、燃料調製に関する設備、B棟は、廃液処理に関する設備が設置されている。A棟では地下階に厚さ約50～70 cmのコンクリートの貯槽室、中地下階にはグローブボックスに内装された液移送のためのポンプステーションの設備、1階にはグローブボックスに内装された燃料調製のための主要機器、2階には工学フードに内装された試薬調整設備、真空設備室、計装のトランスミッター室が設置されている。B棟では廃液受入れ用の貯槽、酸回収設備の貯槽、弁、ポンプ等が内装されたグローブボックス等が地下階、中地下階、1階に設置されている。

## 5. 運転監視・制御系

核燃料調製設備の運転監視・制御は、燃取室（VI）に設置されているDDCS（計算機監視制御システム）により行われる。インターロック等の安全系は、漏洩系を除いてDDCSと分離されたハードワイアリングで組まれた監視制御盤で行われる。

## 6. 換気空調系

換気空調系は、グローブボックスの排気系と建屋の給排気系から成り、実験棟Aと実験

棟Bは各々別系統としている。とくに、実験棟Aの核燃料調製設備のグローブボックス排気系は、プルトニウム粉末燃料を一部非密封で取扱うグローブボックスに接続されているグローブボックス第一排気系とその他のグローブボックスに接続されているグローブボックス第二排気系から成る。とくに、グローブボックス第一排気系は、商用電源の停止によりグローブボックスの負圧変動を起こさないように補助排気ブロアの電源に他のグローブボックスに使われている非常用発電機の電源と区別し無停電電源が使われている。核燃料調製設備に関係する建屋の給排気系は、実験棟Aでの燃料調製を行う系統と試薬調製、真空設備等の汚染レベルを扱う系統、実験棟Bの廃液処理（酸回収設備）を行う系統に分かれている。

## 7. 電源系

核燃料調製設備で使用する電源は、商用電源と非常用電源を使用している。非常用電源は、非常用発電機の電源（EAB系、EA系、EB系）とバッテリーの無停電電源（UA系、UB系）から成る。表-2に電源系の分類を示す。ポンプ類、攪拌機類、グローブボックスの照明等は、商用電源系だけである。現場計装盤、GB監視盤、DDCS等は、非常用発電機の電源で2系統併用（EAB系）である。槽ベント設備のブロア、洗浄液ポンプ等は、非常用発電機の電源で1系統（EA系、EB系）である。監視制御盤の表示灯、酸回収系の中性子モニター等は、無停電電源である。

## 8. 安全設計

### 8.1 臨界安全設計

核燃料調製設備は、比較的多量の低濃縮ウランおよびプルトニウムを取扱うため、主として、次のような考え方で厳しい臨界安全設計を行っている。

- ① Pu濃縮缶、抽出器、Pu溶液貯槽等のプルトニウム溶液を取扱う機器は、全濃度の硝酸プルトニウム-水系による臨界制限寸法以下の形状および機器間隔制限としている。
- ② Pu溶解槽については、MOXを取扱うため、PuO<sub>2</sub>-水による臨界安全制限寸法と二重装荷を考慮した質量制限値の組合わせとしている。

- ③ U濃縮缶、U逆抽出器、U溶液貯槽等の濃縮ウランを取扱う機器は、全濃度の硝酸ウラン-水系による臨界制限寸法以下の形状および機器間隔制限としている。
- ④ ろ過器は、MOXの溶解残査を取扱うため、PuO<sub>2</sub>-水系の形状および機器間隔制限としている。
- ⑤ U溶解槽は、濃縮ウラン酸化物を取扱うため、全濃度のUO<sub>2</sub>-水系の形状および機器間隔制限としている。
- ⑥ プルトニウム溶液を取扱う機器と低濃縮ウランを取扱う機器の系統を完全に区別し、プルトニウム溶液が濃縮ウランを取扱う機器への誤移送を防止している。
- ⑦ グローブボックス外および貯槽周りの溶液燃料が流れる配管は、硝酸プルトニウム-水、硝酸ウラン-水系による臨界制限寸法の配管径および配管間隔制限としている。
- ⑧ 溶液燃料を貯留する貯槽の溢流防止、Puポリマー生成防止、酸回収蒸発缶への質量管理制限値以上のPu混入防止等のインターロックを設けている。

臨界安全の評価は、旧西独および仏の臨界ハンドブックを参照にして作られた表-18に示す臨界安全制限値を適用する場合と臨界安全性評価コードシステムによる解析により評価する場合の二通りの方法で行われる。前者の方法は、機器形状が円筒、平板のような単純形状の場合に適用し、それ以外の適用出来ない機器については、後者の解析により未臨界計算を行い、体系の中性子実効増倍係数 ( $k_{eff}+3\sigma$ )が0.95であることを確認する。また、複数ユニットの評価において、次の条件に適合する場合は、核的隔離条件が成立するものとして、ユニット間の未臨界計算は行っていない。

- ・30 cm 厚以上の水または等価水素濃度を有するポリエチレン等で隔離されている
- ・30 cm 以上のコンクリートで隔離されている
- ・単一ユニットの最大寸法以上である
- ・単一ユニット間の最大立体角が0.005 ステラジアン以下である

図-15、表-3～表-11に臨界事故防止対策と主要機器の臨界安全設計を示す。

## 8.2 火災・爆発防止設計

### 8.2.1 有機溶媒火災防止

精製設備等においては、有機溶媒（30%TBP/ドデカン、ドデカン）を使用する。TBPの引火点は、146℃であり、ドデカンの引火点は、74℃であるため、これらの

火災防止のため、昇温運転を行う機器（P u 逆抽出器、U 逆抽出器、溶媒洗浄器）では、加熱供給する試薬の温度（P u 逆抽出器、U 逆抽出器）、温水ジャケットの温度（溶媒洗浄器）および有機溶媒の温度を監視し、異常時には、インターロックにより運転を自動停止する。図－16 に火災・爆発防止対策の系統図を示す。

### 8.2.2 水素爆発防止

硝酸プルトニウム溶液を貯留する機器では、溶液の放射線分解によって水素が発生するが、水素爆発の防止のため、次の防止対策を行っている。

- ① 十分な量の空気を貯槽の気相部に吹き込み、槽バント設備B、気体排気処理設備に排気することにより水素ガス濃度を爆発下限限界（4%）未満に保つ。
  - ・空気圧縮機および排風機には予備機があり、使用機器の故障時には、予備機が自動起動する。これらの給電は、商用電源の他に、非常用電源系に接続されている。
  - ・貯槽等の機器は、静電気による着火を防止するため、接地されている。

### 8.2.3 レッドオイル爆発防止

多量のTBPが硝酸等と共存状態で加熱されると、ニトロ化されレッドオイル等の爆発性の物質を生じる可能性がある。このため、本設備のU濃縮缶、P u濃縮缶および蒸発缶については、次の爆発防止策を行っている。

- ① 加熱用蒸気温度および缶内液温度を監視し、異常時には、インターロックにより蒸気の供給を停止する設計とし、缶内液の温度を135℃未満に保つ。
- ② U濃縮缶等に供給する溶液中のTBPを十分に除去するため、精製設備での溶媒抽出または精製附属設備での溶媒洗浄の後に、希釈剤洗浄器においてドデカン洗浄を行う。

図－65 に火災・爆発防止対策の系統図を示す。

## 8.3 耐震・耐圧強度設計

### 8.3.1 耐震強度設計

機器の耐震性は、臨界防止、放射性物質の閉じ込め、水素爆発防止に基づき耐震クラスを決めている。臨界質量管理制限値以上の溶液燃料を取扱う機器は、臨界防止のため耐震Aクラスとしている。また、耐震Aクラスの機器を設置するグローブボックスについても支持構造がAクラスに耐えることを確認している。放射性物質の閉じ込めに関しては、非

密封でのプルトニウム使用量が220gを超える場合は、耐震Aクラスとし、また、プルトニウム使用量が2g以上または放射性物質として1Ci以上を取扱う機器の場合は、耐震Bクラスとしている。水素爆発防止のための圧縮空気の配管についても耐震Aクラスとしている。それ以外の機器は、耐震Cクラスとしている。耐震設計は、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G - 4 6 0 1）に基づいて行っている。

### 8.3.2 耐圧強度設計

耐圧強度設計は、発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（通商産業省告示第501号）および圧力容器構造規格（労働省告示第11号）に基づいて行った。計算で用いた最高使用圧力は、大部分の機器について通常使用条件下の圧力の約9倍を最高使用圧力（ $0.9 \text{ kg/cm}^2$ ）としている。溶液燃料貯蔵設備のウラン貯槽（平板型）については、最高使用圧力を使用条件下に近い $0.4 \text{ kg/cm}^2$ としている。真空を使用する機器については、外圧を $1.03 \text{ kg/cm}^2$ としている。最高使用温度については、通常使用条件下の温度に $40^\circ\text{C}$ を加えた温度としており、非加熱機器は、 $60^\circ\text{C}$ としている。

### 8.4 遮へい設計

本設備の主要な機器は、グローブボックスに内装されている。このため、プルトニウムまたはFPを多く含むウランの調製時には、グローブボックス表面でのγ線、中性子はかなりの高線量当量率になるため、運転は、制御室（燃取室VI）で遠隔操作により行うことにしている。廊下等の常時立ち入る所では、 $60 \mu \text{ Sv/hr}$ 以下の線量当量率になるように遮へい計算に基づき建屋の壁の厚さが決められている。保守時にはグローブボックス内の燃料を貯槽室の貯槽に移した後に行うが、グローブボックス内の機器に燃料の一部が残留する場合もあるため、保守時の従事者の被ばく低減のため、グローブボックスに含鉛アクリルまたはステンレスの遮へい体を設けている。

## 9. おわりに

NUCEF核燃料調製設備の概要について述べた。本設備は、昭和63年に詳細設計を行い、平成元年から製作を始め、メーカー主体での各種作動試験および機能試験を経て平成6年3月に完成した。その後、施設側での習熟運転を行った後、臨界実験装置のための燃料を調製するため、ウラン酸化物の溶解運転およびウラン蒸発濃縮運転を順調に行うことが出来た。しかし、精製系に関しては、ウラン機能試験の結果を踏まえミキサセトラの運転性を向上させるため、他の型式の界面計、ウラン・プルトニウム濃度のインライン測定装置を整備中である。また、一部のプルトニウム系設備（粉末燃料貯蔵設備、粉末燃料取扱設備、Pu溶解設備）についても、現在、設計または製作中であり、平成12年に完成の予定である。

本設備の運転目的は、臨界実験装置の燃料調製であるが、再処理施設と同様の機器を使用しているため、本設備をモデルとした再処理施設の運転管理の向上を目的とする各種運転基礎データの取得および保障措置に関する試験等も予定している。

## 謝辞

本設備の設計、製作、試験において、設計・製作メーカー、各メーカーから原研に出向されて設計等に携わった方および許認可、工場検査等に関わったNUCEF試験室の方々に深く感謝します。また、本設備の計画、基本設計、予算等について担当したNUCEF試験室次長竹下功氏、本報告書を査読して頂いたプロセス安全工学研究室副主任研究員内山軍蔵氏に深く感謝します。

## 参考文献

- (1) NUCEF核燃料調製設備設計図書
- (2) 核燃料調製設備安全審査説明資料



表-1 燃料の種類と取扱量

溶液燃料	濃度	最大取扱量
10%濃縮ウラン溶液	180 ~ 500 gU/l	250 kgU
6%濃縮ウラン溶液	350 ~ 500 gU/l	500 kgU
6%濃縮ウラン・ガドリウム溶液	350 ~ 500 gU/l 0 ~ 0.2 gGd/l	500 kgU
プルトニウム溶液	10 ~ 300 gPu/l	60kgPu
プルトニウム・劣化ウラン混合溶液	20 ~ 300 g(Pu+U)/l	60kgPu 150kgU
プルトニウム・劣化ウランガドリウム溶液	20 ~ 300 g(Pu+U)/l 0 ~ 0.2 gGd/l	60kgPu 150kgU

表-2 核燃料調製設備の電源系の分類

系統	機 器	設 備
C系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポンプ類</li> <li>・攪拌機類</li> <li>・ヒータ</li> <li>・グローブボックス照明・コン セント</li> <li>・電磁弁</li> <li>・サンプリング現場操作盤 (酸回収系)</li> </ul>	全設備
E A B系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場計装盤</li> <li>・GB監視盤</li> <li>・サンプリング現場操作盤</li> <li>・DDCS</li> </ul>	槽ベント設備B、溶液燃料貯蔵設備 を除く設備
E A, E B系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブロワ</li> <li>・洗浄液ポンプ</li> <li>・監視制御盤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・槽ベント設備B-燃調</li> <li>・槽ベント設備B-貯蔵</li> <li>・溶液燃料貯蔵設備</li> </ul>
U A, U B系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・監視制御盤 (表示灯)</li> <li>・監視制御盤 (制御用電源) (溶液燃料貯蔵系)</li> <li>・中性子モニタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・監視制御盤の表示灯は全設備</li> <li>・酸回収設備他</li> </ul>

- C : 商用電源  
E A B : 非常用発電機A系、B系併用  
E A, E B : 非常用発電機A系またはB系  
U A, U B : 無停電電源A系またはB系

表-3 臨界安全制限値

パラメータ	安全係数	区分	粉末及びペレット		溶液			
			UO <sub>2</sub> -水系	PuO <sub>2</sub> -水系	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系	Pu-水系	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系	PuO <sub>2</sub> -水系
形状寸法管理	0.85	臨界値	UO <sub>2</sub> 濃縮度 : 13wt%	233Pu : 100wt%	235U濃縮度 : 13wt%	233Pu:100wt%	233Pu:100wt%	233Pu:100wt%
			全密度 含水率:5wt%以下	全密度 含水率:16wt%以下	全密度	全密度	全密度	全密度
円筒直径 (cm)	0.75	臨界値	—	—	24.2	—	16.2	7.4
		制限値	—	—	20.5	—	13.7	6.2
平板厚 (cm)	0.75	臨界値	—	—	11.0	—	6.2	—
		制限値	—	—	8.0	—	4.6	—
質量管理	0.43*1	臨界値	241kgU	10.5kgPu	—	0.51kgPu	—	—
		制限値	103kgU	4.5kgPu	—	0.21kgPu	—	—
体積管理	0.75	臨界値	—	—	—	—	8.3	—
		制限値	—	—	—	—	6.2	—

\*1 二重装荷を考慮したもの (二重装荷を考慮しない場合の安全係数は、0.7とする。)

主要機器の臨界安全設計

表-4

副周整設設備 (1/2)

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. 戻液受槽	1	ウラン硝酸水溶液、 プルトニウム硝酸水溶液 及び 混合溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	
2. U 溶液受槽	2	ウラン硝酸水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円環 (解析)		C、D、F	Puの取扱いを開始する前に、戻液受槽からの系統を遮断する。 寸法制限値は、Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系と同一としている。
3. U 濃縮缶	1	ウラン硝酸水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (2本) (解析)		D	送液元のU溶解槽での分析に誤操作を想定し、Puが混入しても臨界とならない。
U 濃縮液冷却器	1	ウラン硝酸水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 20.5cm)		D	同上  (二重管式であり、配管径は15A)
U 凝縮器	1	少量のウランを含む水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 20.5cm)		D	送液元のU溶解槽での分析に誤操作を想定し、Puが混入しても臨界とならない。
4. U 濃縮液槽	1	ウラン硝酸水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 平板 (s ≤ 8.0cm)		D、F	同上
5. U 凝縮液槽	1	少量のウランを含む水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 20.5cm)		D、F	同上

表-5

設備設計資料 (2/2)

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
6. Pu 溶液受槽	1	プルトニウム硝酸水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	
7. Pu 濃縮缶	1	プルトニウム硝酸水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (3本) (解析)		A	
Pu濃縮液冷却器	1	プルトニウム硝酸水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 13.7cm)		A	(二重管式であり、配管径は15A)
精留塔	1	少量のプルトニウムを含む水 溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 13.7cm)		B	Pu濃縮缶からの溢流による多量のPuの流入は、インターロックにより防止する。 Pu濃縮缶での突沸を想定してPu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系の設計とする。
Pu凝縮器	1	同上	同上		B	同上
8. Pu濃縮液槽	1	プルトニウム硝酸水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	
9. Pu凝縮液槽	1	少量のプルトニウムを含む水 溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 13.7cm)		B	同上
10. 混合槽	1	ウラン硝酸水溶液、 プルトニウム硝酸水溶液 及び混合溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 13.7cm)		A	
11. 溶液払出槽	1	同上	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	

表-6

精製装置の構成 (1/2)

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. 調整液槽	1	ウラン硝酸水溶液、 プルトニウム硝酸水溶液 及び混合溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	
2. 抽出器	1	ウラン硝酸水溶液、 プルトニウム硝酸水溶液 及び混合溶液 並びに有機溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 直方体 (解析)		A	
3. 抽残液洗浄器	1	少量のウラン・プルトニウム を含む水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 直方体 (解析)		B	抽出器での有機溶媒流量の異常等を想定し てPu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系の設計とする。
4. 抽残液槽	2	同上	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		B	同上
5. Pu逆抽出器	1	ウラン硝酸水溶液 プルトニウム硝酸水溶液 及び混合溶液 並びに有機溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 直方体 (解析)		A	
6. Pu溶液洗浄器	1	プルトニウム硝酸水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 直方体 (解析)		A	
7. U溶媒槽	3	ウランを含む有機溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		B	Pu逆抽出器でのPu逆抽出液流量の異常等を 想定してPu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系の設計とする。

表-7

液体燃料取扱設備 (2/2)

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
8. U 逆抽出器	1	ウラン硝酸水溶液、 及び有機溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 直方体 (解析)		D、F	送液元のU溶媒槽での分析に器操作を想定し、Puが約30kg混入しても臨界とならない。精製設備の処理量は1日当たり1kgPu以下なのでPu逆抽出器でPuが全く逆抽出されないことが30日間続いても臨界とならない。
9. U 溶液洗浄器	1	ウラン硝酸水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 直方体 (解析)		D、F	

粉末燃料取扱設備

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. 払出エリクルーン等	1式	ウラン・プルトニウム混合酸 化物の粉末又はペレット		PuO <sub>2</sub> -水系 (粉末) (Pu ≤ 4.5kg)	Pu収納溶液の 個数を制限	

表-8  
 高濃度ウラン溶解装置の主要機器

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. U 溶解槽	1	ウラン酸化物の粉末及び ペレット	UO <sub>2</sub> -水系 円筒 (解析)		C	Puの取扱を開始する前に、U溶解槽からの 排出系統を遮断する。
U溶解オフガス 凝縮器	1	少量のウランを含む水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 20.5cm)		C	同上 異常時にUO <sub>2</sub> が混入したとしても臨界とな らない。
U溶解オフガス 分離器	1	同上	同上		C	同上
2. Pu 溶解槽	1	ウラン・プルトニウム混合酸 化物の粉末		PuO <sub>2</sub> -水系 (粉末) (Pu ≤ 2.33kg)	A'	
3. ろ過器	1	ウラン酸化物及びウラン・プ ルトニウム混合酸化物の粉末 又はペレット (未溶解物)	PuO <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 6.2cm)		A	
4. 溶解計量槽	1	ウラン硝酸水溶液、ウラン硝 酸水溶液とプルトニウム硝 酸水溶液の混合溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 13.7cm)		A	



表-9

核燃料施設付属装置 (1/2)

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. 廃溶媒槽	1	少量のウラン・プルトニウム を含む有機溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円環 (解析)		D、F	寸法制限値は、Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系と同じとして いる。 送液元のU溶媒槽での分析に誤操作を想定 し、Puが混入しても臨界とならない。
2. 溶媒洗浄器	1	少量のウラン・プルトニウム を含む有機溶液及び水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 直方体 (解析)		D、F	送液元のU溶媒槽での分析に誤操作を想定 し、Puが約30kg混入しても臨界とならない
3. 溶媒槽	1	少量のウラン・プルトニウム を含む有機溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円環 (解析)		D、F	1. 廃溶媒槽と同じ
4. 溶媒洗浄液 洗浄器	1	少量のウラン・プルトニウム を含む水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 直方体 (解析)		D、F	2. 溶媒洗浄器と同じ
5. 洗浄廃液槽	2	同上	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 20.5cm)		D、F	送液元のU溶媒槽での分析に誤操作を想定 し、Puが混入しても臨界とならない。
6. 廃希釈剤槽	2	少量のウラン・プルトニウム を含む有機溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (解析)		B	Pu溶液洗浄器での希釈剤流量の異常等を想 定してPu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系の設計とする。
7. TBP吸着塔	3	同上	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 20.5cm)		D	送液元の廃希釈剤槽での分析に誤操作を想 定し、Puが混入しても臨界とならない。
8. 希釈剤槽	1	同上	同上		D、F	同上

表-10

精製附属設備 (2/2)

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
9. 油水受槽 (I)	1	ウラン・プルトニウムを含む 有機溶液と水溶液の混合溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	
10. 油水受槽 (II)	1	同上	同上		A	
11. 油水分離槽	1	同上	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円筒 (φ ≤ 13.7cm)		A	

燃取補助設備

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. 蒸発缶給液槽	2	少量のウラン・プルトニウム を含む水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		B	抽出器での有機溶媒流量の異常等を想定し て、Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系の設計とする。
2. 蒸発缶	1	同上		Pu-水系 (溶液) (Pu ≤ 210kg)	E	送液元の蒸発缶給液槽での分析に誤操作を 想定しても、中性子モニタによるインター ロックで送液できない設計とする。
3. 精留塔	1	汚染レベルのウラン・プルト ニウムを含む水溶液			F	汚染レベルの核燃料物質しか取扱わないた め、臨界管理は行わない。臨界事故が想定 される起因事象は溢流のみである。
4. 回収酸槽	2	同上			F	
5. 回収水槽	2	同上			F	

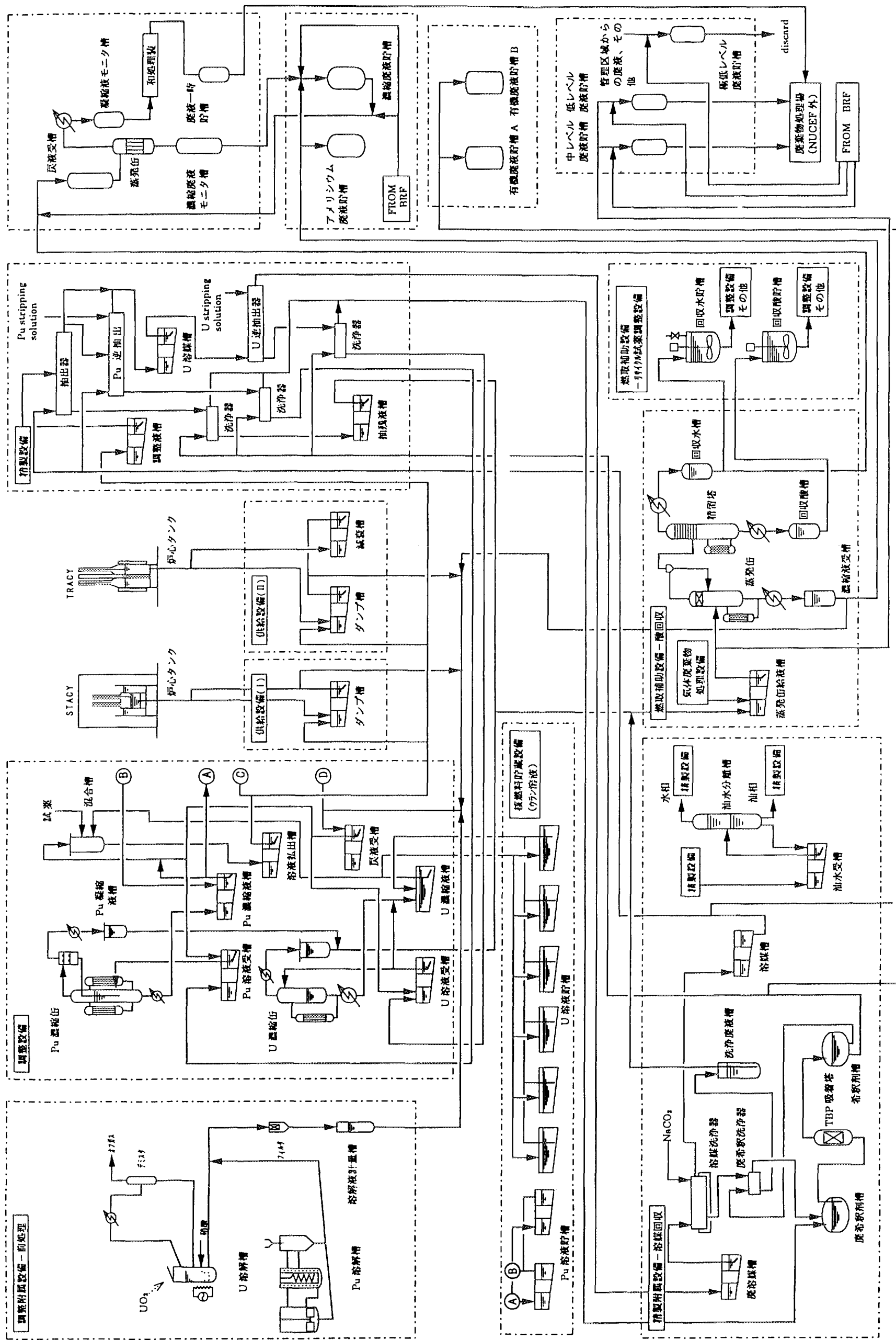
表-11

溶解燃料貯蔵設備

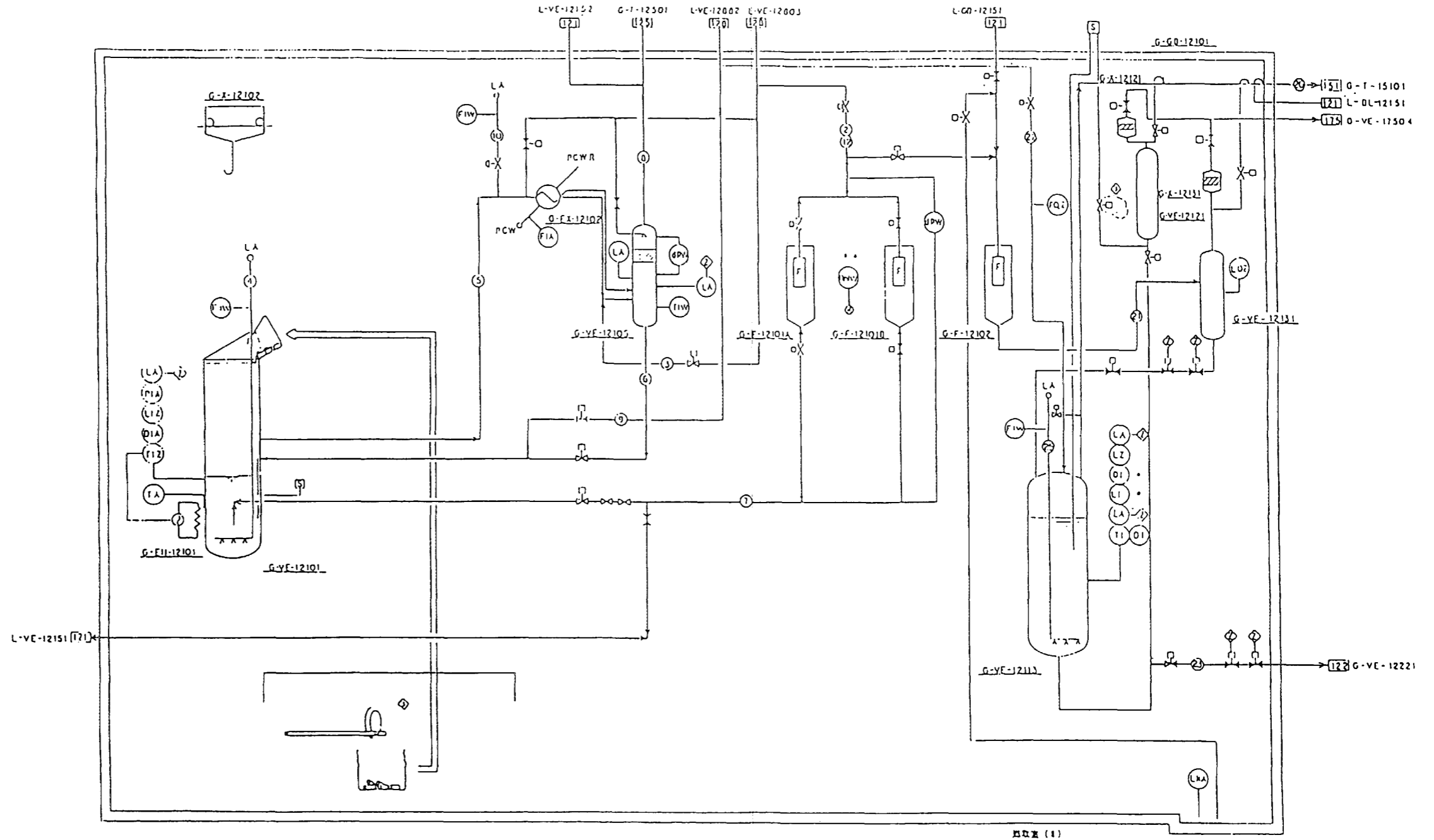
主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. U 溶液貯槽	8	ウラン硝酸水溶液	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -水系 平板 (s ≤ 8.0cm)		D、F	送液元のU溶解槽での分析に誤操作を想定し、Puが混入しても臨界とならない。
2. Pu 溶液貯槽	4	プルトニウム硝酸水溶液	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> -水系 円環 (解析)		A	

粉末燃料貯蔵設備

主要機器	基数	取扱う核燃料物質の種類、 化学的性状	臨界管理方法		臨界事故 防止対策	備考
			形状寸法管理	質量管理		
1. Pu保管ピット	1	ウラン・プルトニウム混合酸化物の粉末又はベレット	収納容器の配列 (解析)		構造設計	



図一1 核燃料調製設備系統概略図



- |                             |                                 |                                 |                                |                                     |                             |                                   |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| <u>G-X-12102</u><br>ホイス (1) | <u>G-FX-12102</u><br>調整用ナフガス抽出器 | <u>G-YF-12105</u><br>調整用ナフガス抽出器 | <u>G-F-12101A</u><br>ろ過器 (1) A | <u>G-F-12101B</u><br>ろ過器 (1) B      | <u>G-F-12102</u><br>ろ過器 (8) | <u>G-GQ-12101</u><br>調整用蒸気発生器 (1) |
| <u>G-FH-12101</u><br>調整用ヒート | <u>G-YF-12101</u><br>調整用ヒート     | <u>G-X-12121</u><br>ホイス (1)     | <u>G-X-12131</u><br>ホイス (8)    | <u>G-V(12121)</u><br>調整用ナフガス抽出器 (1) | <u>G-VE-12133</u><br>調整用ヒート | <u>G-YF-12111</u><br>調整用ヒート       |

図-2  
核燃料調整設備  
調整附属設備プロセスフローダイヤグラム

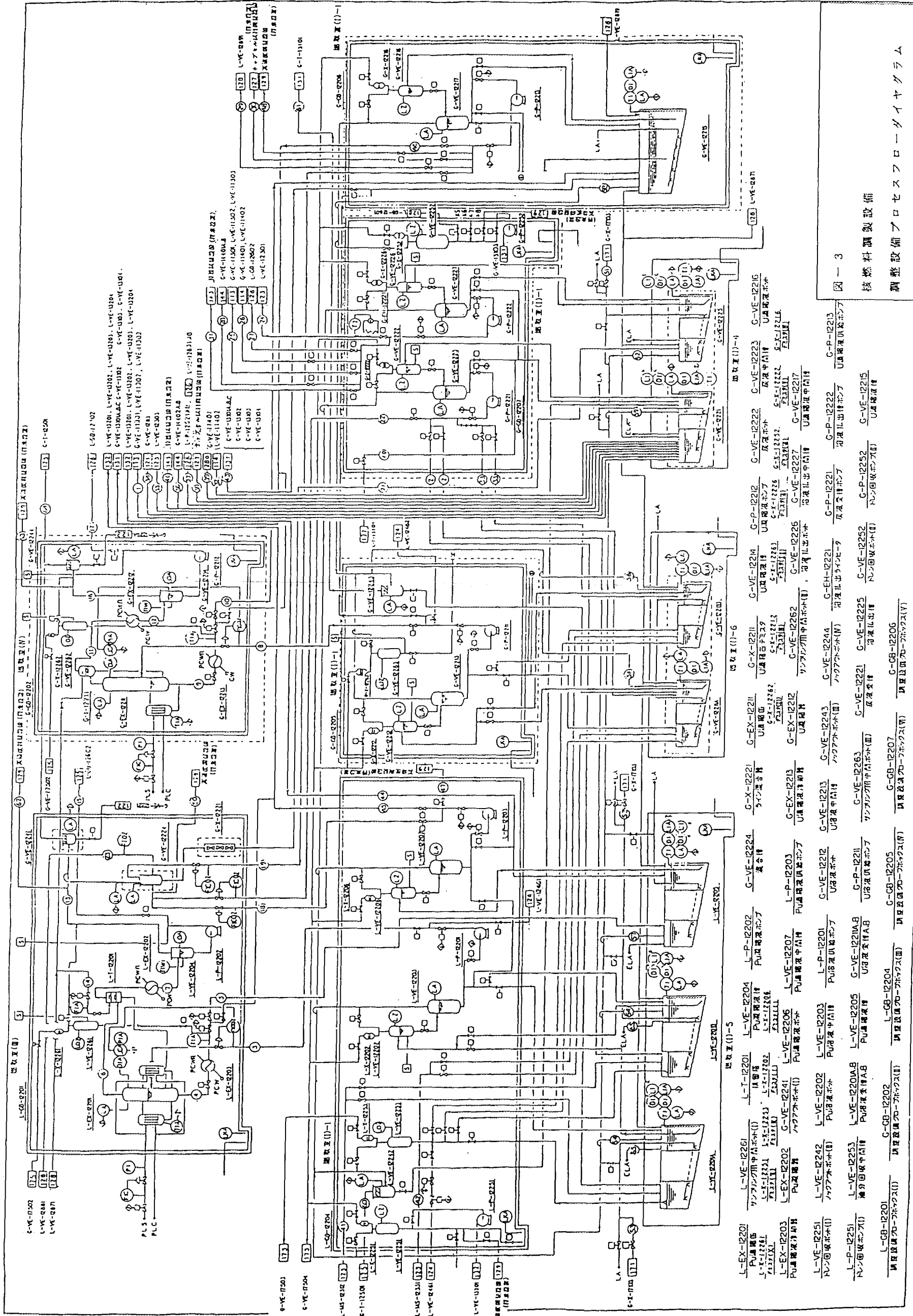


図-3  
核燃料調整設備  
調整設備プロセスフローダイヤグラム

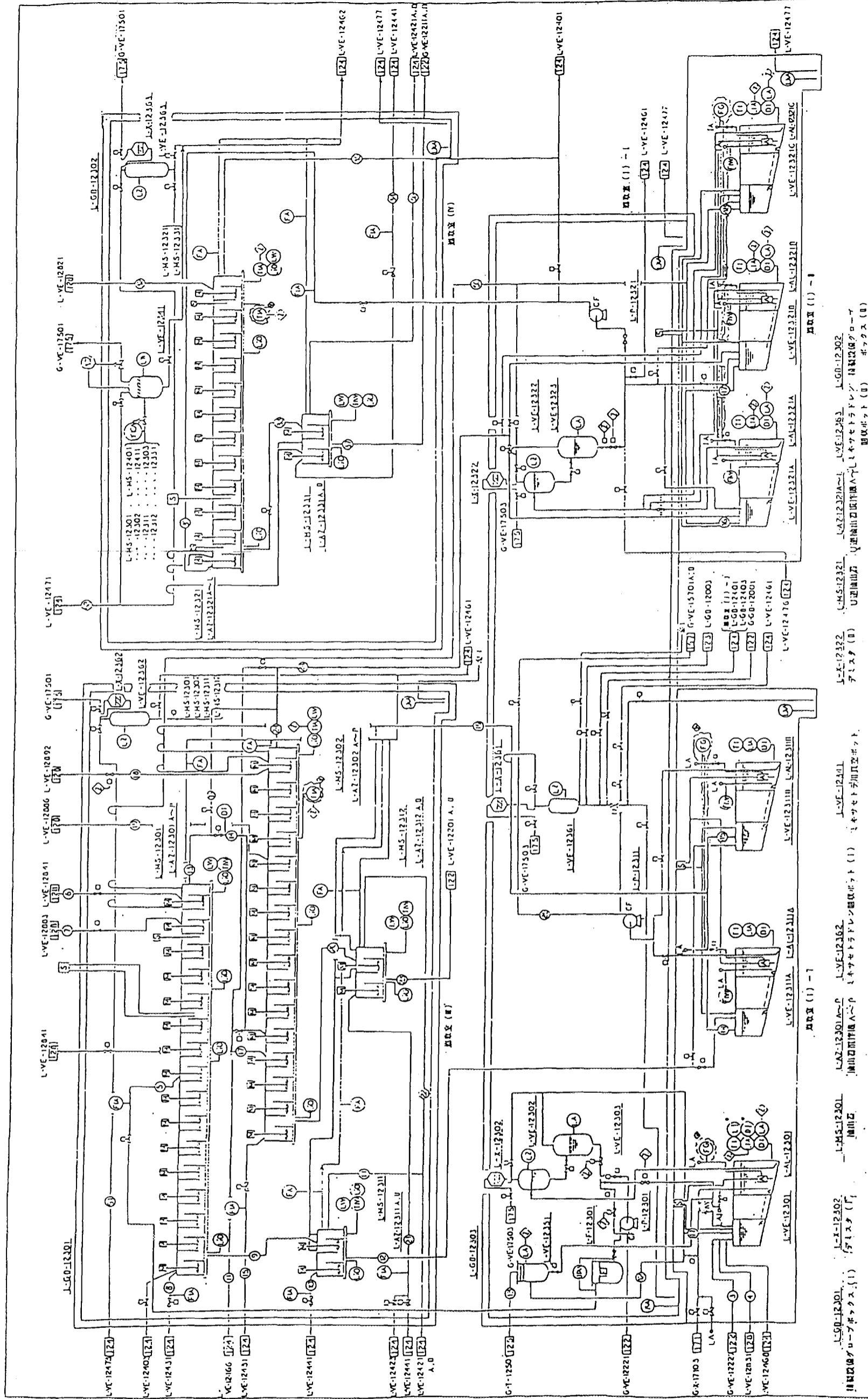


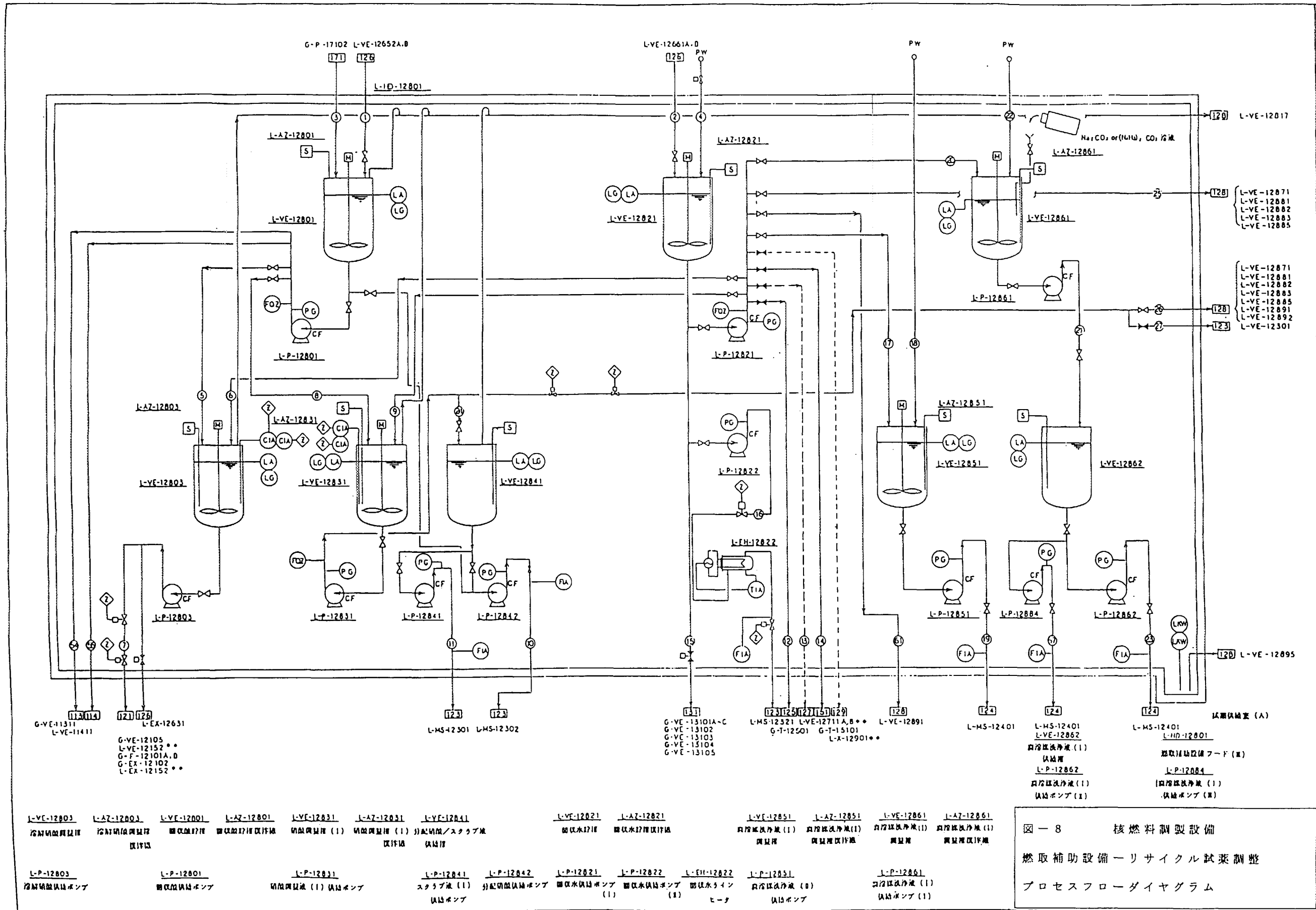
図-4  
核燃料調製設備  
精製設備プロセスフローダイアグラム











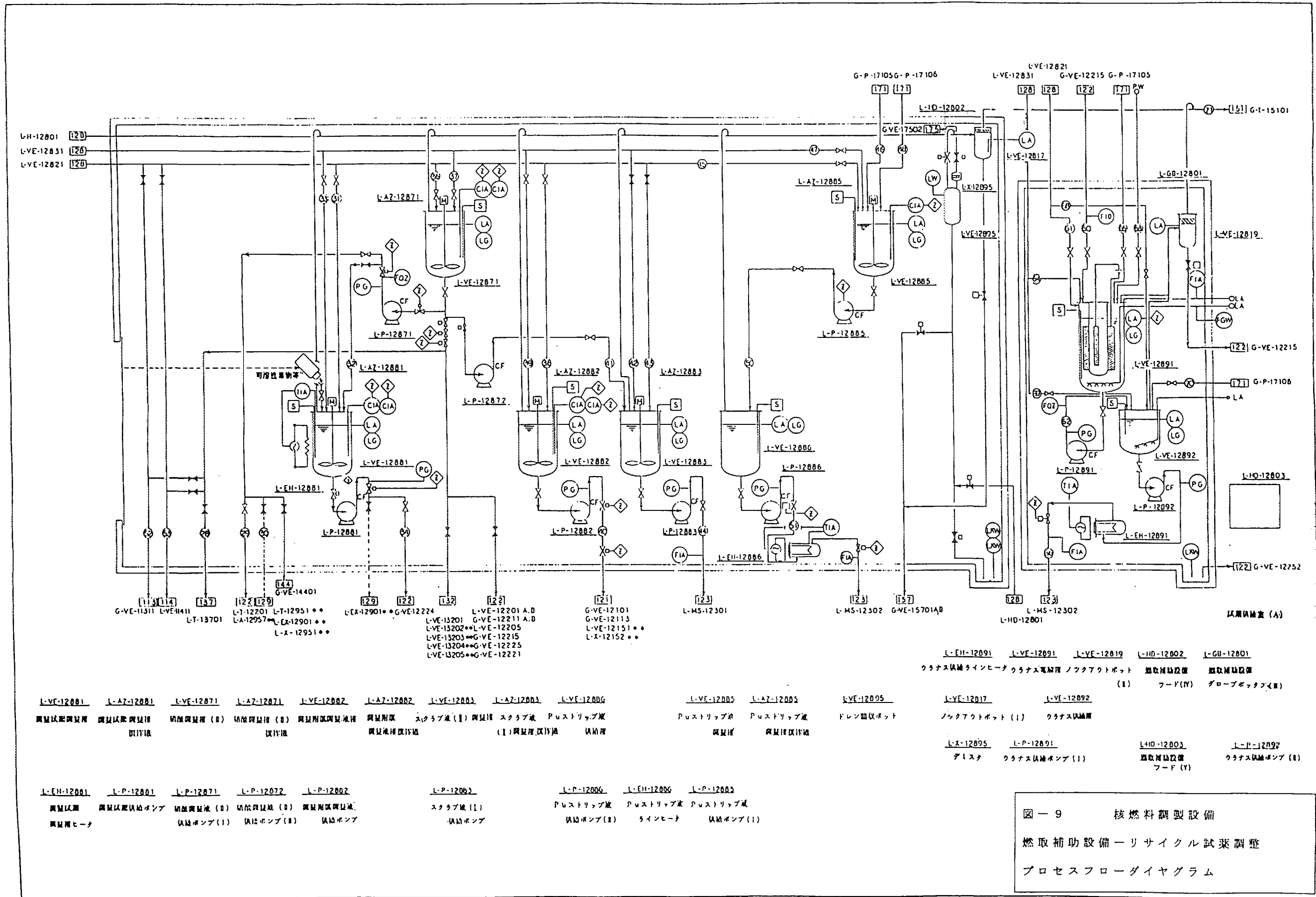
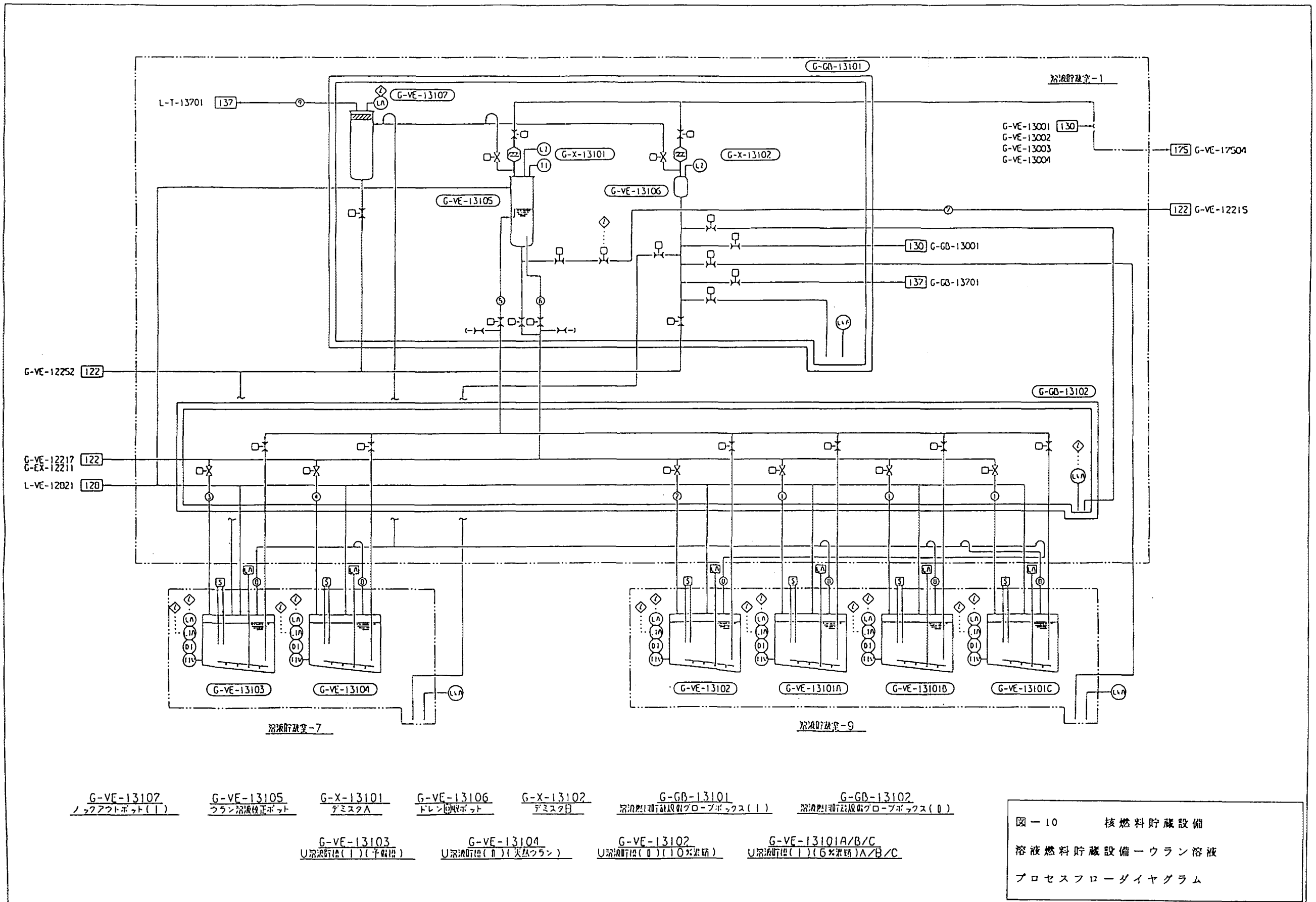


図-9 核燃料調製設備  
燃取補助設備ーリサイクル試薬調整  
プロセスフローダイアグラム



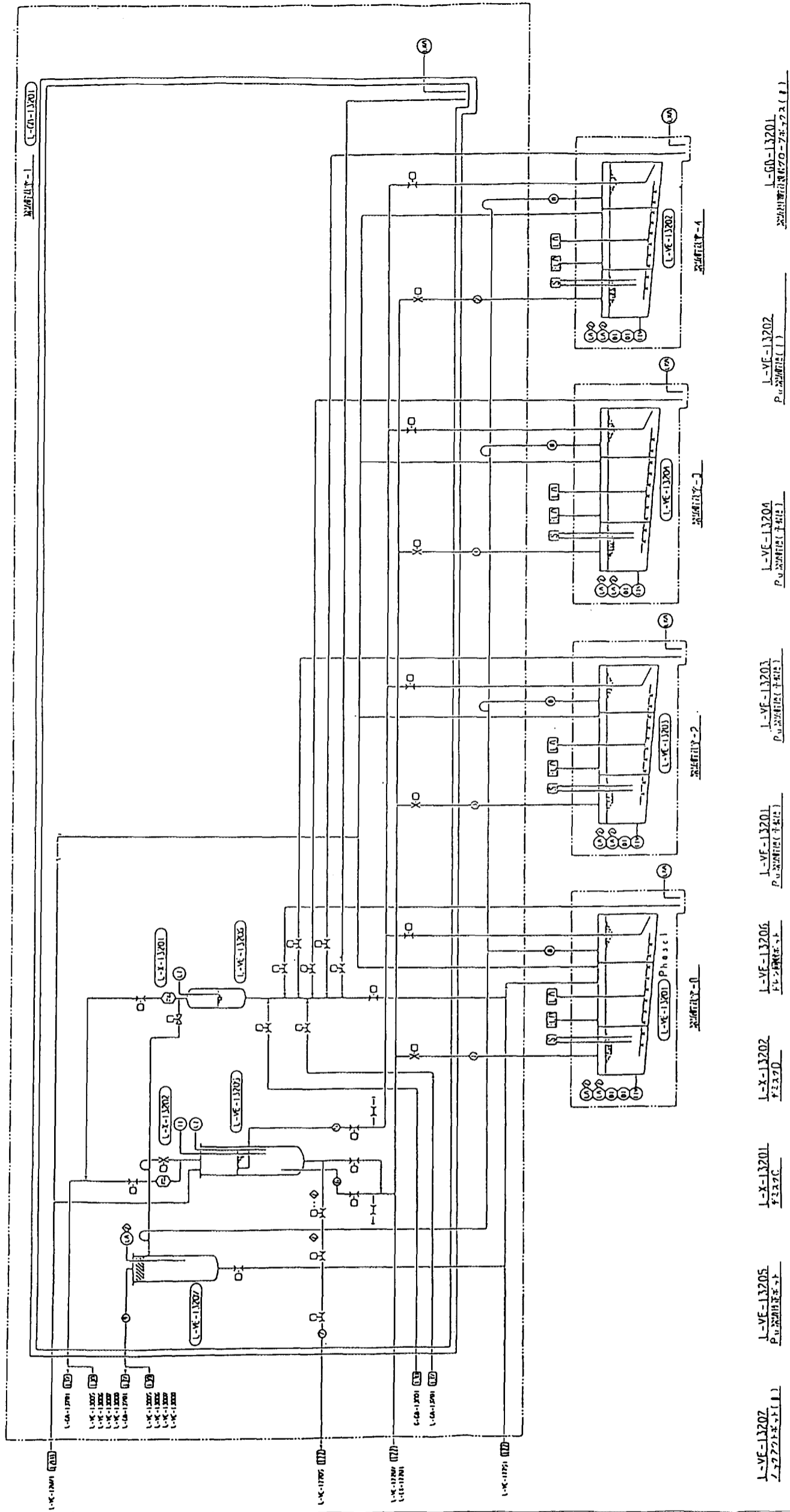


図-11 核燃料貯蔵設備  
 溶解燃料貯蔵設備—プルトニウム溶液  
 プロセスフローダイヤグラム

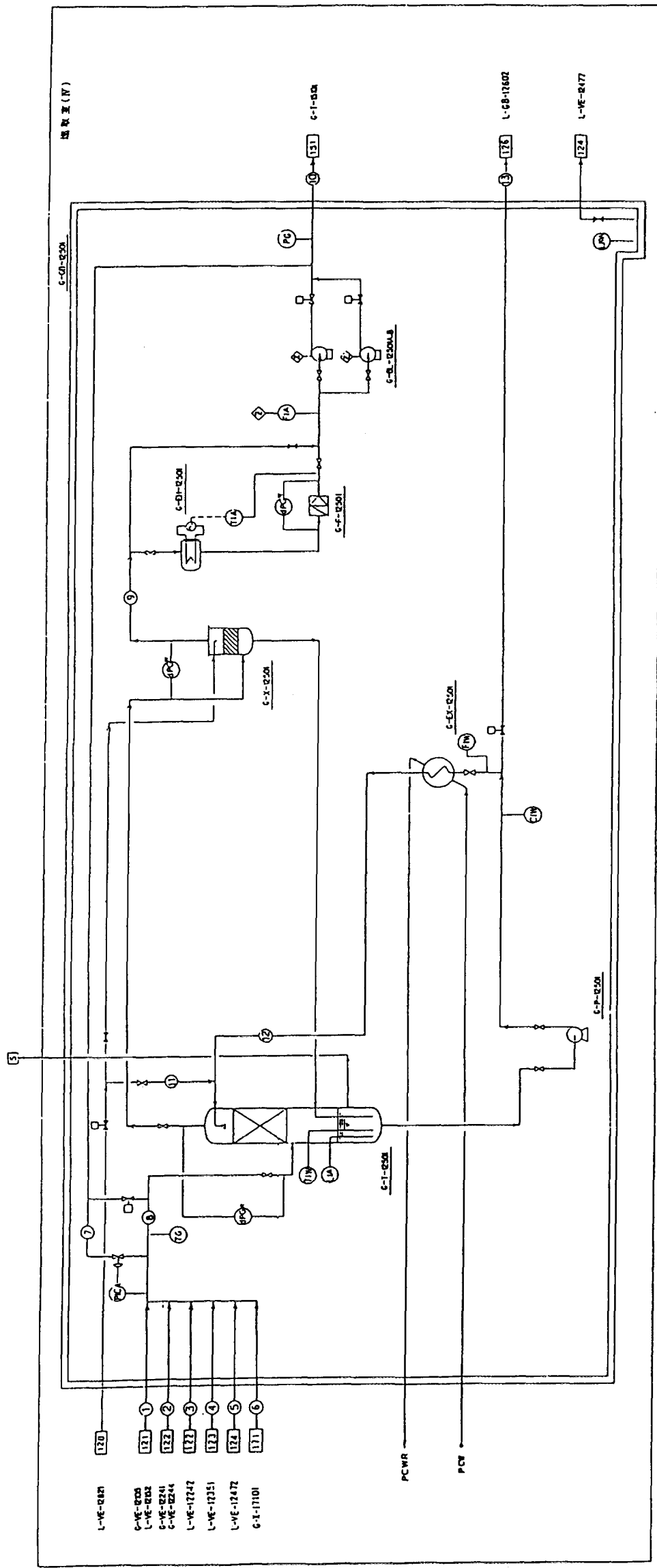
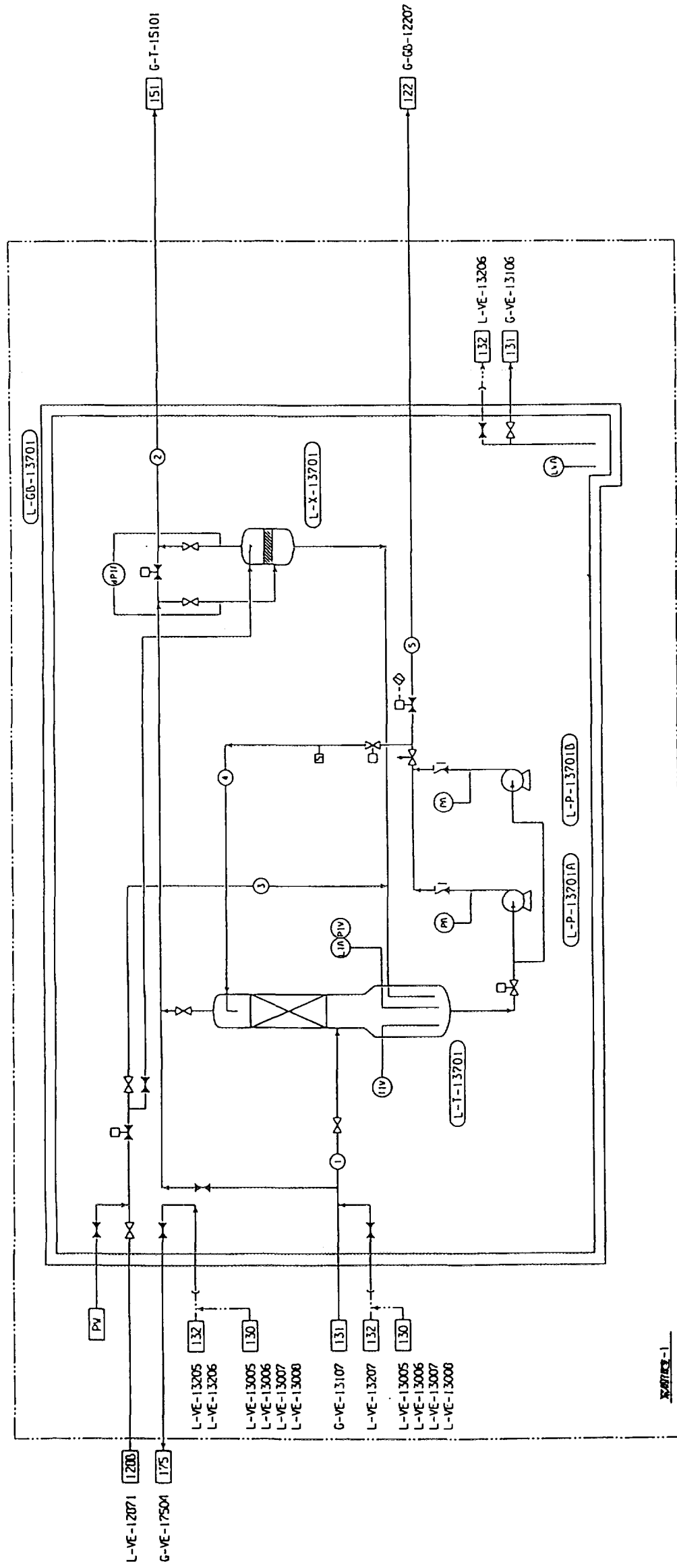


図-12 核燃料調製設備  
 槽ベント設備 B-1 燃調  
 プロセスフローダイアグラム



L-I-13701  
イ77724477  
Phase I

L-P-13701A/B  
イ77724477  
Phase I

L-X-13701  
イ77724477  
Phase I

L-G-13701  
イ77724477  
Phase I

図-13 核燃料貯蔵設備  
機ハント設備 B-貯蔵  
プロセスフローダイヤグラム



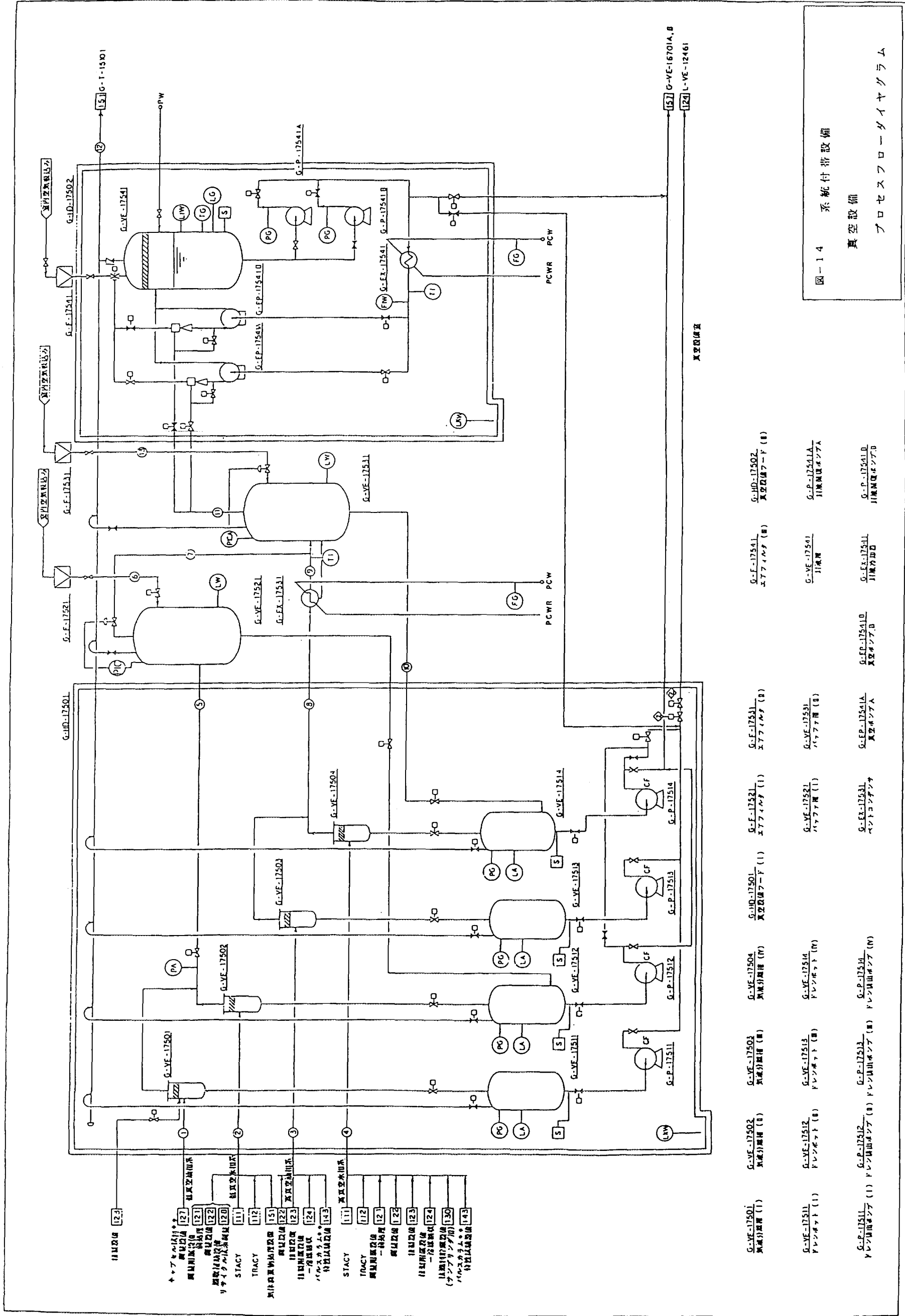


図-14 系統付帯設備  
真空設備  
プロセフロンダイグラム

( 図 - 15 説 明 資 料 )

## 核燃料調製設備 臨界事故防止対策

- ( A ) : 通常時 Pu を取扱う機器  
( Pu 系の全濃度の形状寸法管理 )
- ( A ' ) : 通常時 Pu を取扱う機器  
( Pu 系の全濃度の形状寸法管理及び質量管理 )
- ( B ) : 単一故障等で Pu が混入しても臨界とならない機器  
( Pu 系の全濃度の形状寸法管理 )
- ( C ) : 系統遮断
- ( D ) : 更に誤操作を想定した場合に Pu が混入しても臨界とならない機器
- ( E ) : 中性子モニタによるインターロック
- ( F ) : 溢流防止

- ※ 1 : 液位計による二重のインターロック
- ※ 2 : 突沸による Pu 混入
- ※ 3 : 溶液払出槽での分析の誤操作による Pu 混入
- ※ 4 : 有機溶媒流量異常による Pu 混入
- ※ 5 : Pu 逆抽出液流量異常等による Pu 混入
- ※ 6 : U 溶媒槽での分析の誤操作による Pu 混入
- ※ 7 : 希釈剤流量異常による Pu 混入
- ※ 8 : 廃希釈剤槽での分析の誤操作による Pu 混入
- ※ 9 : 蒸発缶給液槽での分析の誤操作による Pu 混入
- ※ 10 : 中性子モニタによるインターロック

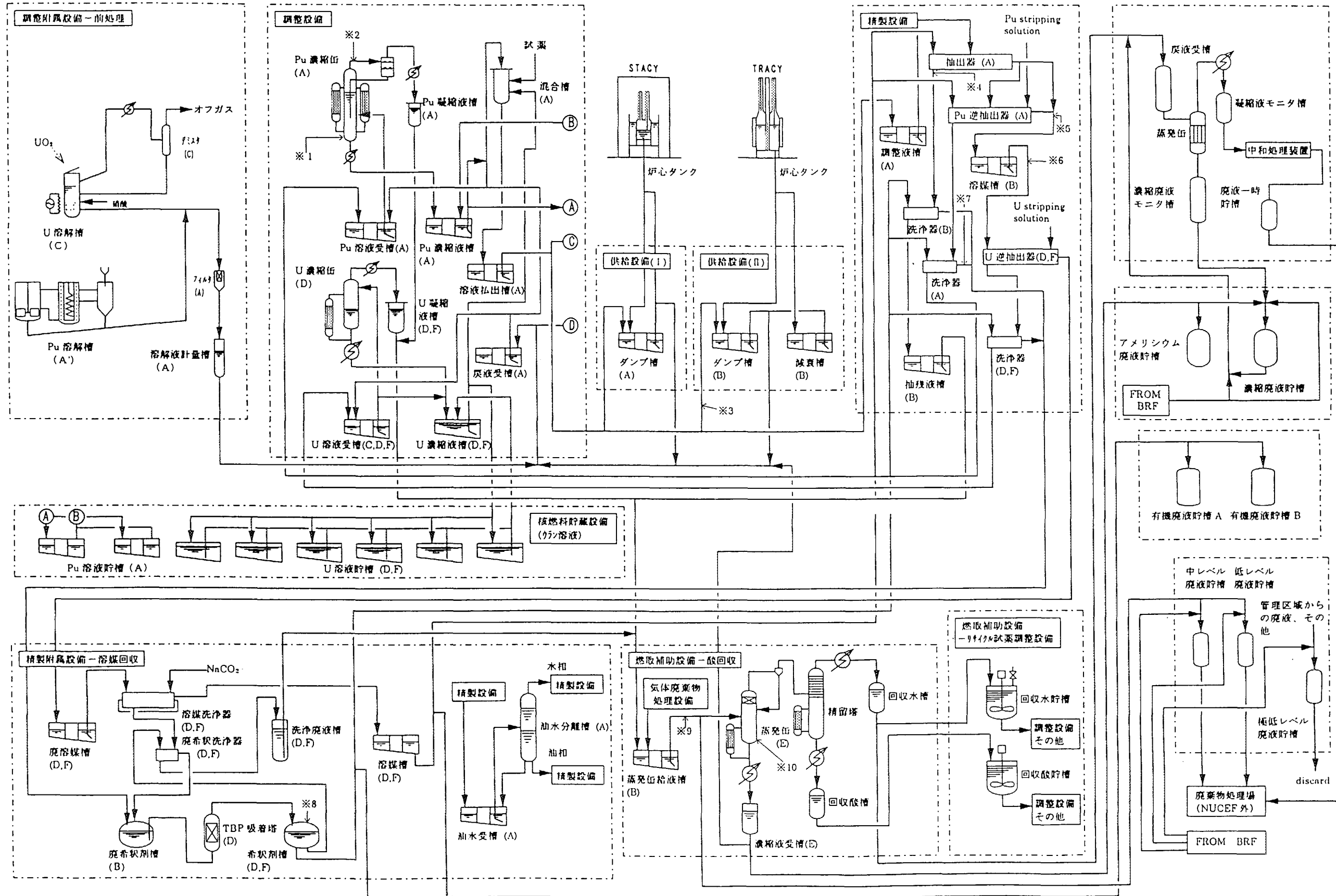


図-15 核燃料調製設備 臨界事故防止対策

( 図 - 16 説 明 資 料 )

核燃料調製設備 火災・爆発防止対策

※ 1 : 缶内液の温度異常高によるインターロック

※ 2 : 有機溶媒の温度の異常高によるインターロック

※ 3 : 希釈剤による洗浄

( 火 災 ) : 有 機 溶 媒 火 災 防 止

( 爆 発 ) : レ ッ ド オ イ ル 爆 発 防 止

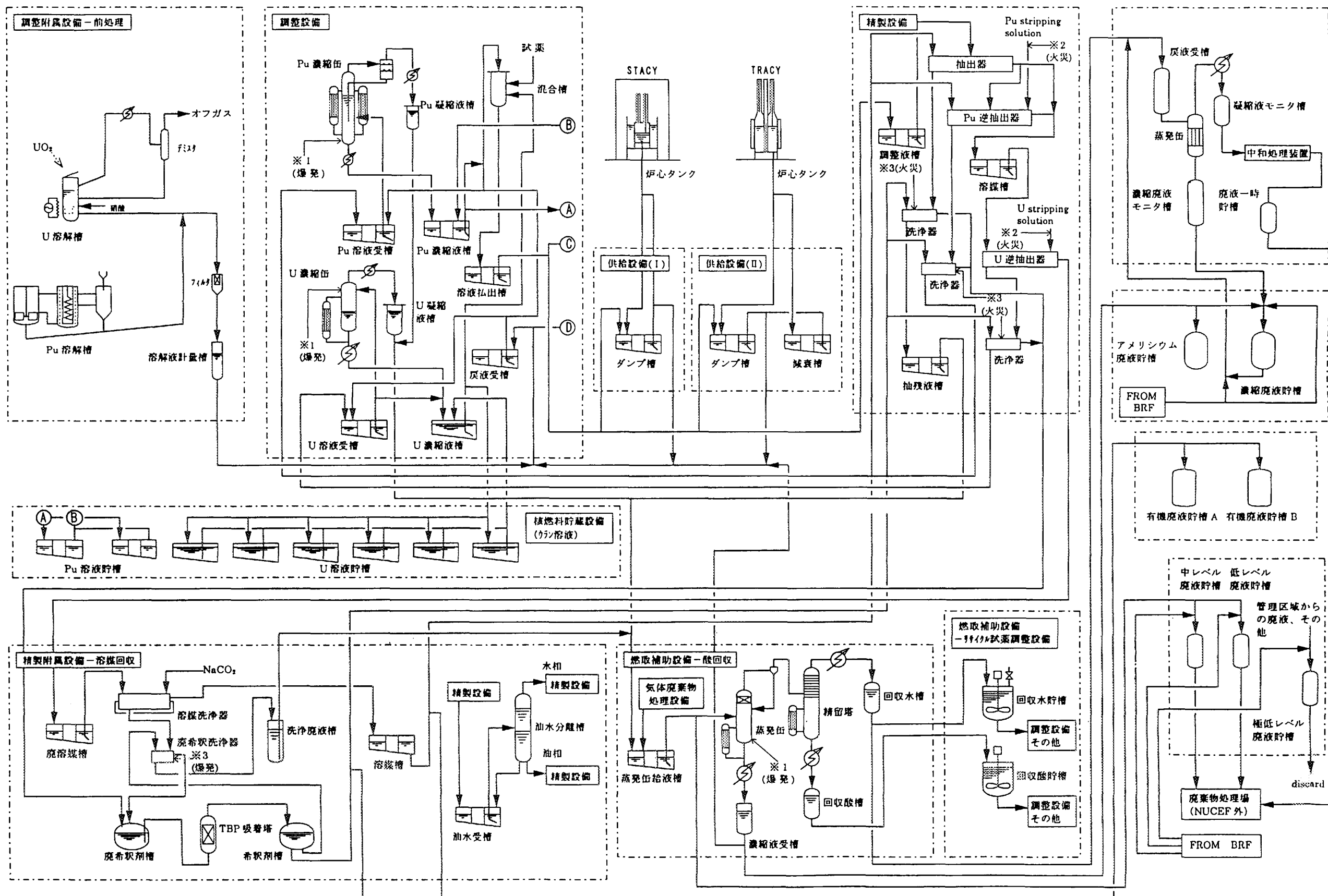


図-16 核燃料調製設備 火災・爆発防止対策

付録1 主要機器リスト

機器リスト

表-12

#12100 核燃料調製設備/調整附属設備-前処理

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室 (II) (G-GB-12101)	G-VE-12101	U溶解槽	1	縦型円筒槽 (電気加熱) 25/ 125A×2480H	SUS304L	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-500 mmHg	125	110	

機器リスト

表-13

#12200 核燃料調製設備/調整設備

塔 槽 類

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室(I)-6	G-VE-12211 A, B	U溶液受槽 A, B	2	円環槽 容量: 851/基 788/698D×1170H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	直径は外胴内 径/内胴外径 を示す。
燃取室(I)-1 (G-GB-12206)	G-VE-12215	U濃縮液槽	1	平板槽 容量: 1001 50W×1500L×1750H	SUS304L	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	
燃取室(I)-4	G-VE-12221	戻液受槽	1	円環槽 容量: 1201 988/898D×1280D	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	
燃取室(I)-4	G-VE-12225	溶液払出槽	1	円環槽 容量: 1201 988/898D×1280H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	

機器リスト

表-14

#12200 核燃料調製設備/調整設備

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室(I)-5	G-VE-12201 A, B	Pu溶液受槽 A, B	2	円環槽 容量: 1201/基 988/898D×1280H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	65	直径は外胴内 径/内胴外径 を示す。
燃取室(I)-5 (G-GB-12205)	G-VE-12205	Pu濃縮液槽	1	円環槽 容量: 721 688/598D×1150H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	30~65	



機器リスト

表-15

#12200 核燃料調製設備/調整設備

熱交換器類

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様		材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考	
							設計	使用	設計	使用		
燃取室(IV) (G-GB-12202)	G-EX-12211	U濃縮缶	1	サモサイフォン型蒸発缶 本体：150A×2500H リボイ：150A×1550H 伝熱面積：1.9m <sup>2</sup>	リボイ	胴側	SUS304L	2.2	1.75	135	130	PLS
					リボイ	管側	SUS304L	0.9/0.1	-500mmAq	120	105	硝酸ウラン
					カラム		SUS304L	0.9/0.1	-500mmAq	120	105	硝酸ウラン
燃取室(IV) (G-GB-12202)	G-EX-12212	U凝縮器	1	横型多管式 125A×1543L×2 伝熱面積：1.0m <sup>2</sup>	胴側	SUS304L	3.4	2.5	60	15/18 (入口/出口)	PCW	
					管側	SUS304L	0.9/0.1	-500mmAq	120	105/30 (入口/出口)	蒸発蒸気	
燃取室(IV) (G-GB-12202)	G-EX-12221	U濃縮液 冷却器	1	二重管式 15A/32A×1731×6段 伝熱面積：0.7m <sup>2</sup>	胴側	SUS304L	3.4	2.5	60	15/20 (入口/出口)	PCW	
					管側	SUS304L	0.9/0.1	0.3	120	105/30 (入口/出口)	硝酸ウラン	

機器リスト

表-16

#12200 核燃料調製設備/調整設備

熱交換器類

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様		材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 ℃		備考	
							設計	使用	設計	使用		
燃取室(Ⅲ) (L-GB-12201)	L-EX-12201	Pu濃縮缶	1	サモソイフン型蒸発缶 本体：100A×3310H リボイラ：100A×2500H ×2基 伝熱面積：3.0m <sup>2</sup> /2基	リボイラ	胴側	Ti(TP35)	2.2	1.75	135	130	PLS
						管側	Ti(TTH35)	0.9/0.1	-500mmAq	135	120	硝酸プルトニウム
						カラム	Ti(TP35)	0.9/0.1	-500mmAq	135	120	硝酸プルトニウム
燃取室(Ⅲ) (L-GB-12201)	L-EX-12202	Pu凝縮器	1	横型多管式 125A×1543L×2 伝熱面積：1.0m <sup>2</sup>		胴側	SUS304L	3.4	2.5	60	15/18 (入/出)	PCW
						管側	SUS304L	0.9/0.1	-500mmAq	135	120/30 (入/出)	蒸発蒸気
燃取室(Ⅳ) (L-GB-12201)	G-EX-12203	Pu濃縮液 冷却器	1	二重管式 15A/32A×1731×6段 伝熱面積：0.7m <sup>2</sup>		胴側	Ti(TTP35)	3.4	2.5	60	15/20 (入/出)	PCW
						管側	Ti(TTP35)	0.9/0.1	0.3	135	120/30 (入/出)	硝酸プルトニウム

機器リスト

表-17

# 12300 核燃料調製設備/精製設備

槽 類

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室(I)-7	G-VE-12301	調整液槽	1	円環槽 87/ D. 688/598×1300H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	
燃取室(I)-7	L-VE-12311 A, B	抽残液槽 A, B	2	円環槽 1101/基 D. 563/473×1850H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	
燃取室(I)-8	L-VE-12321 A~C	U溶媒槽 A~C	3	円環槽 591/基 D. 322/232×1820H	SUS304L カドミウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	60	

機器リスト

表-18

#12300 核燃料調製設備/精製設備

特殊機器										
設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室 (III) (L-GB-12301)	L-MS-12301	抽出器	1	多段ミキサセトラ (攪拌機付) 16段 (1バンク16段×1バンク) 56.6l	SUS304L カドミウム ホリチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	
燃取室 (III) (L-GB-12301)	L-MS-12311	抽液洗浄器	1	多段ミキサセトラ (攪拌機付) 2段 (1バンク2段×1バンク) 7.08l	SUS304L カドミウム	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	
燃取室 (IV) (L-GB-12302)	L-MS-12321	U逆抽出器	1	多段ミキサセトラ (攪拌機付) 12段 (1バンク12段×1バンク) 42.5l	SUS304L カドミウム ホリチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	60	
燃取室 (IV) (L-GB-12302)	L-MS-12331	U溶液洗浄器	1	多段ミキサセトラ (攪拌機付) 2段 (1バンク2段×1バンク) 7.08l	SUS304L カドミウム	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	60	

機器リスト

表-19

#12400 核燃料調製設備/精製附属設備-溶媒回収

槽 類

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室(1)-1 (L-GB-12404)	L-VE-12431	溶媒槽	1	円環槽 175/ D. 563/473×2740H	SUS304L ホリウム ポリエチレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	室温	

機器リスト

表-20

#12400 核燃料調製設備/精製附属設備-溶媒回収

特殊機器										
設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室 (IV) (L-GB-12401)	L-MS-12401	溶媒洗淨器	1	多段ミキサセトラ (攪拌機及び温水ジャケット付) 4段 (1バンク4段×1バンク) 14.16l	SUS304L サチミカ ホリエレン	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	60	
燃取室 (IV) (L-GB-12401)	L-MS-12411	溶媒洗淨 廢液洗淨器	1	多段ミキサセトラ (攪拌機付) 2段 (1バンク2段×1バンク) 7.08l	SUS304L サチミカ	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	80	60	

機器リスト

表-21

#12500 核燃料調製設備/槽ベント設備B-燃調

塔 槽 類

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取室 (IV) (L-GB-12501)	G-T-12501	NO <sub>x</sub> 洗浄塔	1	充填塔 400A×3154H 充填物 (ラシヒリング)	SUS304L	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-600 mmAq	60	室温	

機器リスト

表-22

#12600 核燃料調製設備/燃取補助設備-酸回収

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取附属室(Ⅲ)	L-T-12631	精留塔	1	バブルキャップトレイ リボイラ ID.400×2100H カラム部 ID.700×6300H トレイ 11段、 伝熱面積 10.7m <sup>2</sup> バブルキャップ 3個/段	SUS310Nb	2.2	1.75	135	130	
						0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	0.3	135	118	
						0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-0.08 /0.3	135	118	
				リボイラ 胴側						
				管側						
				カラム						



機器リスト

表-23

#12600 核燃料調製設備/燃取補助設備-酸回収

塔 類										
設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
燃取附属室(Ⅲ)	L-VE-12631 A, B	濃縮液槽 A, B	2	堅型円筒槽 (冷却ジャケット付) 513/基 ID. 1000×770H 冷却 ジャケット	SUS304L	0.9/0.1	-100	110/30		
						(内圧/ 外圧)	mmAq	(入口/ 出口)		
					SUS304L	3.4	2.5	15/20		

機器リスト

表-24

#12600 核燃料調製設備／燃取補助設備－酸回収

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考	
						設計	使用	設計	使用		
燃取附属室(Ⅲ)	L-EX-12631	蒸発缶	1	サーモサイフォン型蒸発缶 リボイラ 300A×2130H カラム部 0. D 630×2500H 伝熱面積 8.68m <sup>2</sup>	リボイラ 胴側	SUS310Nb	2.2	1.75	135	130	
						SUS310Nb	0.9/0.3 (内圧/ 外圧)	-0.03	125	40/110 (入口/ 出口)	
						SUS310Nb	0.9/0.3 (内圧/ 外圧)	-0.03	125	110	
					カラム						

機器リスト

表-25

#13700 核燃料貯蔵設備/槽ベント設備B-貯蔵

設置室名		機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
							設計	使用	設計	使用	
溶液貯蔵室-1 (L-GB-13701)		L-T-13701	オフガス 洗浄塔	1	ラシヒリング充填塔 充填層部/液部 (ID65.9/102.3)×約1600 <sup>H</sup>	SUS304L	0.9/0.1 (内圧/ 外圧)	-100 mmAq	60	40	

機器リスト

表-26

# 13100 核燃料貯蔵設備 / 溶液燃料貯蔵設備 - ウラン溶液

設置室名	機器番号	機器名称	基数	概略仕様	材質	圧力 kg/cm <sup>2</sup>		温度 °C		備考
						設計	使用	設計	使用	
溶液貯蔵室 - 9	G-VE-13101 A/B/C	U 溶液貯槽 (I) (6%濃縮) A/B/C	3	平板槽 容積: 約420/基 (空 約490l) 3340 <sup>L</sup> × 160 <sup>W</sup> × 2597 <sup>H</sup>	SUS304L オーステナイト系ステンレス	0.4/0.1 (内圧/ 外圧)	0.25	60	30	
溶液貯蔵室 - 9	G-VE-13102	U 溶液貯槽 (II) (10%濃縮)	1	平板槽 容積: 約380/基 (空 約450l) 3340 <sup>L</sup> × 160 <sup>W</sup> × 2407 <sup>H</sup>	SUS304L オーステナイト系ステンレス	0.4/0.1 (内圧/ 外圧)	0.25	60	30	
溶液貯蔵室 - 7	G-VE-13103	U 溶液貯槽 (I) (予備槽)	1	平板槽 容積: 約420/基 (空 約490l) 3340 <sup>L</sup> × 160 <sup>W</sup> × 2597 <sup>H</sup>	SUS304L オーステナイト系ステンレス	0.4/0.1 (内圧/ 外圧)	0.25	60	30	
溶液貯蔵室 - 7	G-VE-13104	U 溶液貯槽 (II) (天然ウラン)	1	平板槽 容積: 約380/基 (空 約450l) 3340 <sup>L</sup> × 160 <sup>W</sup> × 2407 <sup>H</sup>	SUS304L オーステナイト系ステンレス	0.4/0.1 (内圧/ 外圧)	0.25	60	30	

付録2 機器の写真

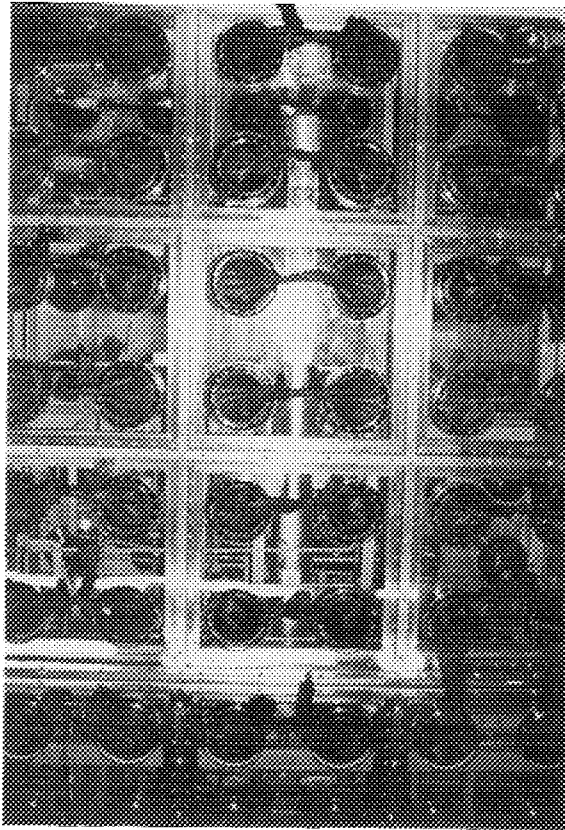


写真 - 1      溶解系  
(ウラン溶解槽)

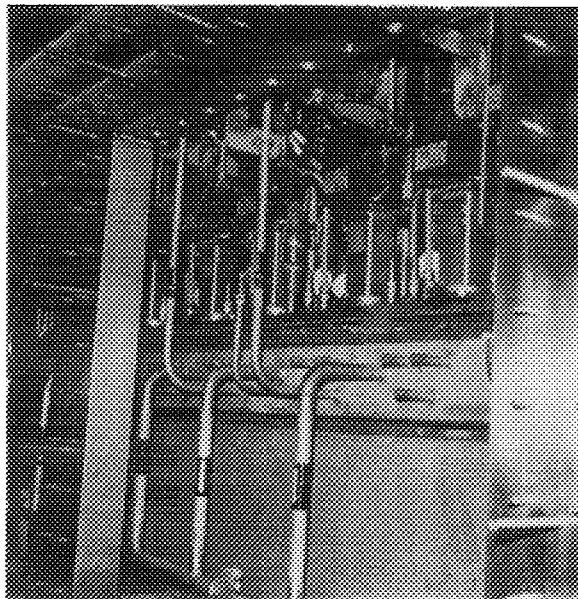


写真 - 2      精製系  
(ミキサセトラ)

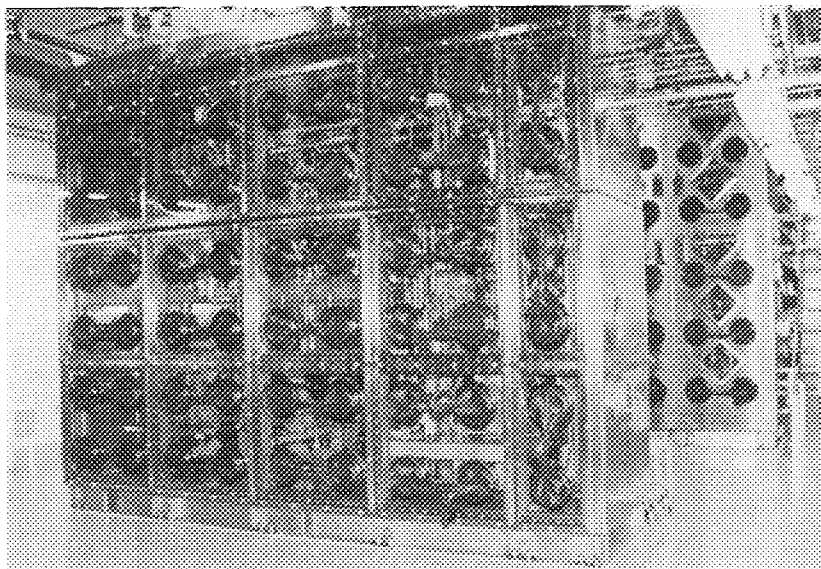


写真 - 3 精製系  
(ミキサセトラ)

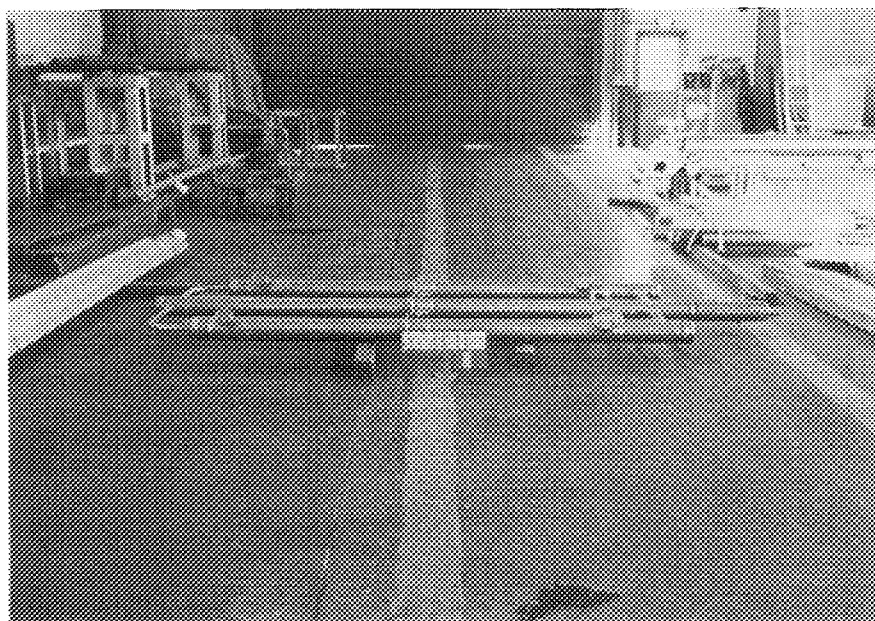


写真 - 4 プルトニウム蒸発缶

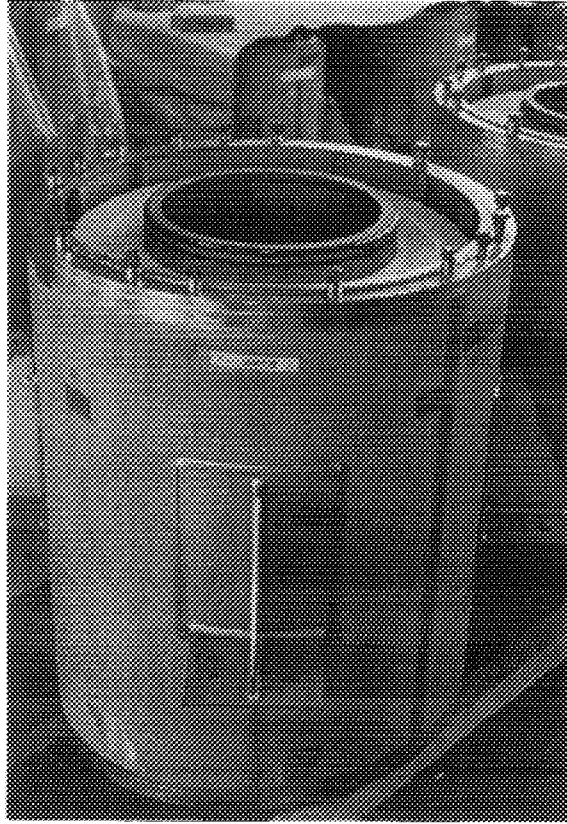


写真 - 5 円環型貯槽

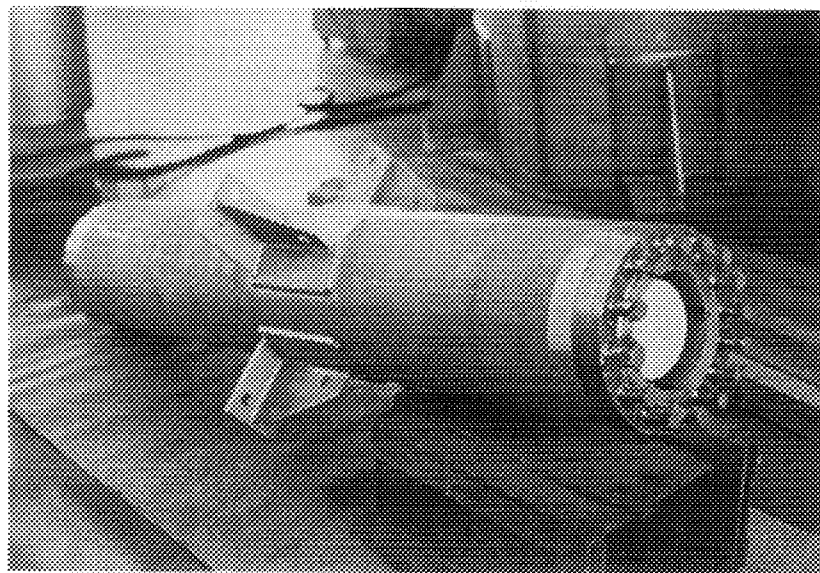


写真 - 6 小型円環型貯槽

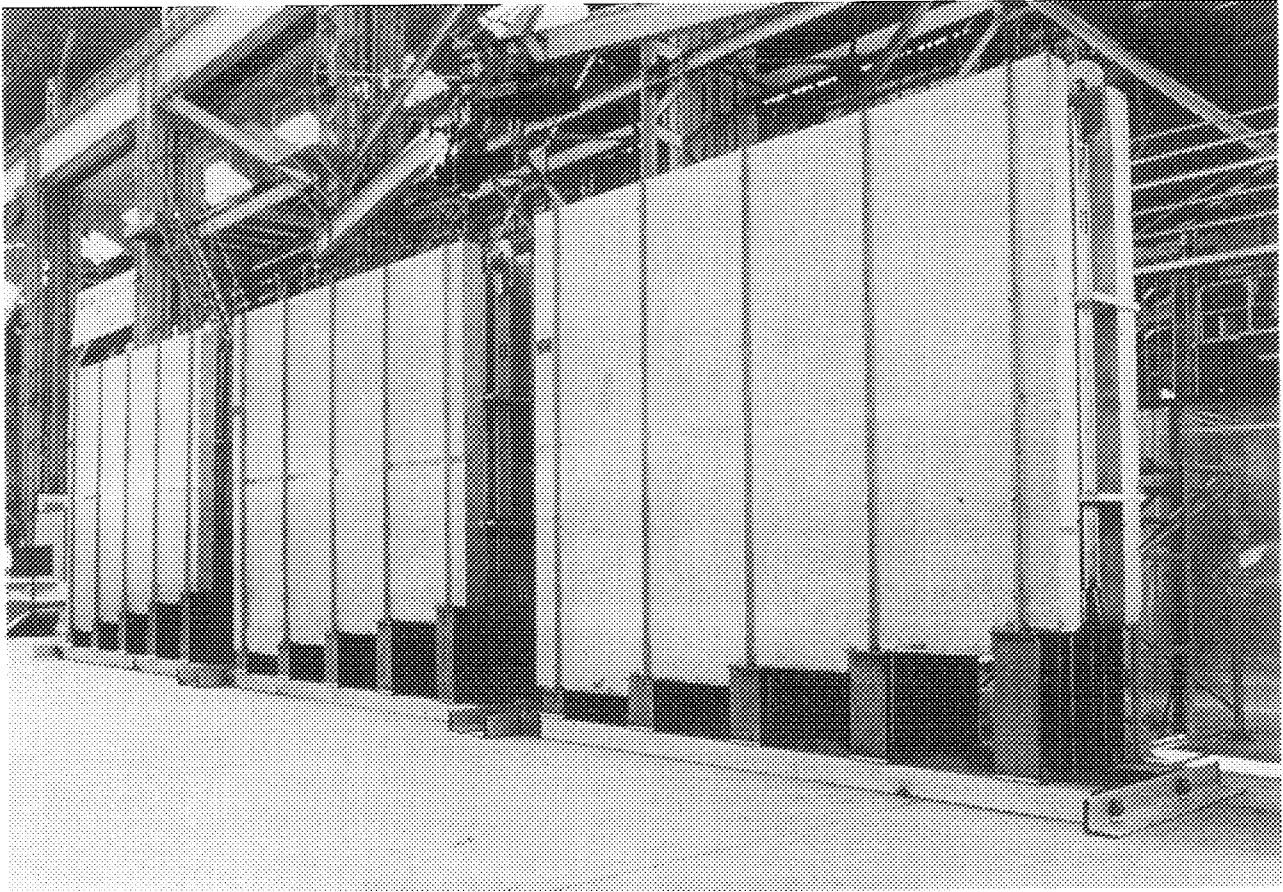


写真 - 7      溶液燃料貯蔵系  
                  (ウラン溶液貯槽)

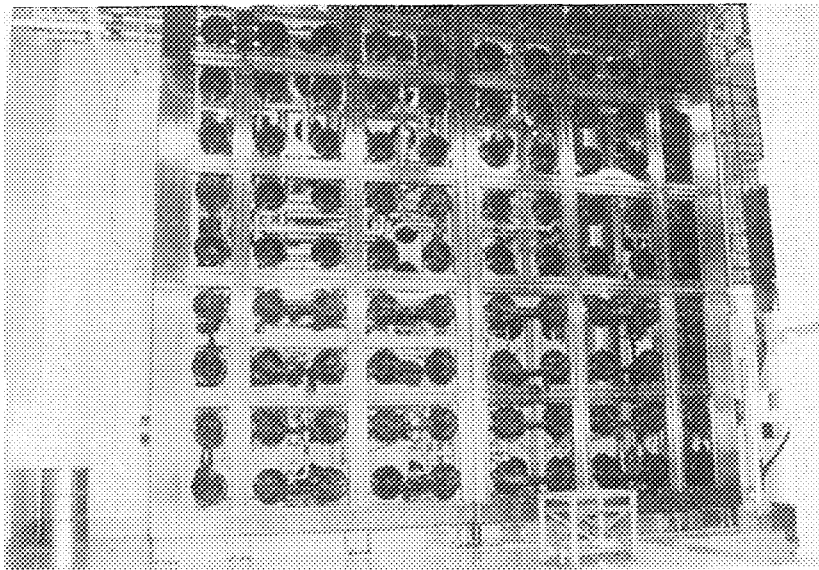


写真 - 8      オフガス処理系  
                  (洗浄塔他)



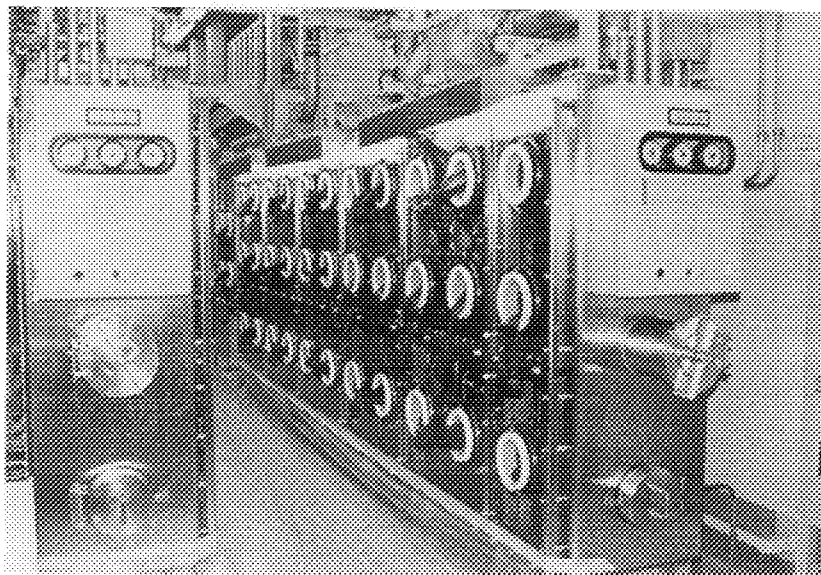


写真 - 9 サンプルングジャグ機器

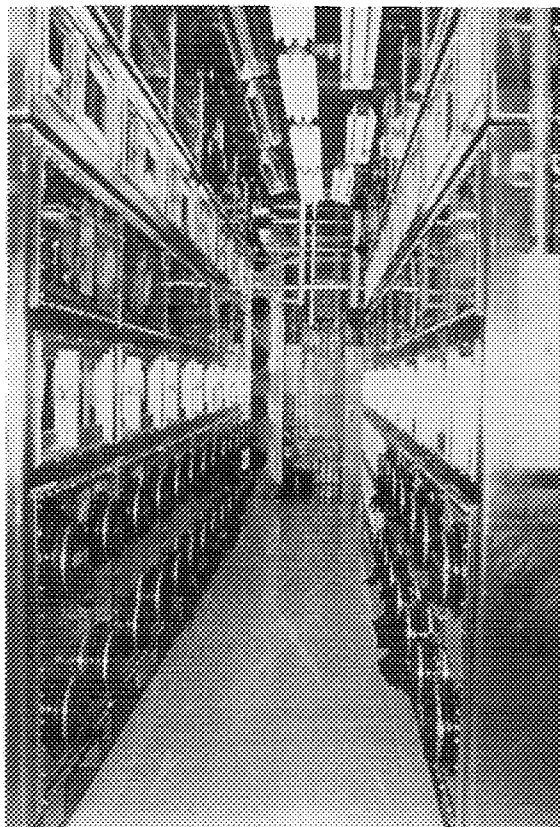


写真 - 10 試薬調整系

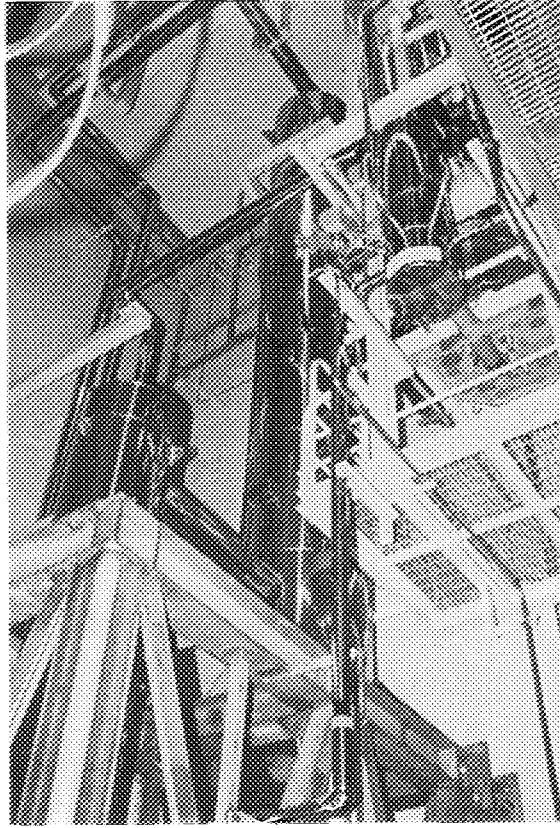


写真 - 11 酸回収蒸発缶・精留塔

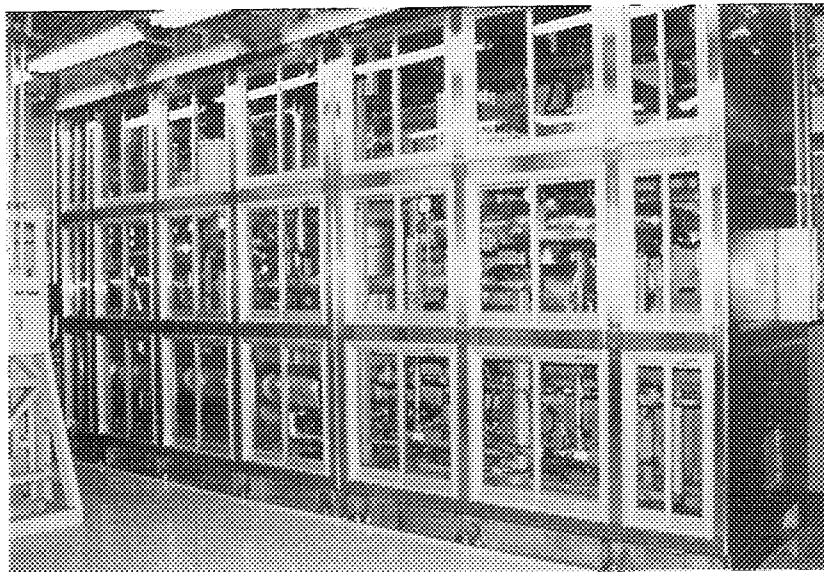


写真 - 12 真空系

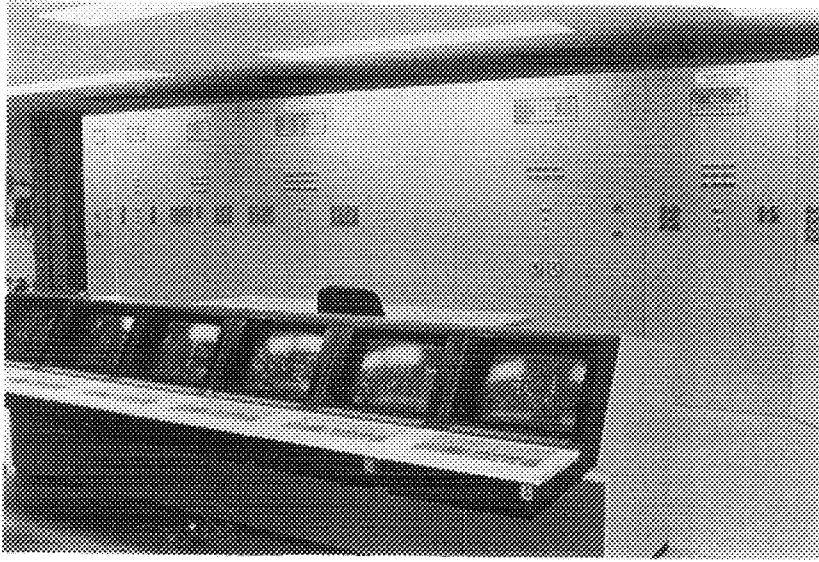


写真 - 13 運転・監視制御系

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
仕事、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	シーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光照射度	ルーメン	lm	cd·sr
照射線量	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10<sup>-19</sup> J  
1 u = 1.66054 × 10<sup>-27</sup> kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オンクストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガール	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10<sup>-10</sup> m  
1 b = 100 fm<sup>2</sup> = 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>  
1 bar = 0.1 MPa = 10<sup>5</sup> Pa  
1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> m/s<sup>2</sup>  
1 Ci = 3.7 × 10<sup>10</sup> Bq  
1 R = 2.58 × 10<sup>-4</sup> C/kg  
1 rad = 1 cGy = 10<sup>-2</sup> Gy  
1 rem = 1 cSv = 10<sup>-2</sup> Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、「国際度量衡局」1985年刊行による。ただし、1 eV および1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリに入れていない。

換算表

力	N(=10 <sup>3</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘 度 1 Pa·s(N·s/m<sup>2</sup>) = 10 P(ポアズ)(g/(cm·s))  
動粘度 1 m<sup>2</sup>/s = 10<sup>6</sup>St(ストークス)(cm<sup>2</sup>/s)

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-4</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>	4.18605 J(計量法)
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-4</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-4</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>18</sup>	4.1855 J(15°C)
	3.6 × 10 <sup>7</sup>	3.67098 × 10 <sup>3</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>3</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>20</sup>	4.1868 J(国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>18</sup>	仕事率 1 PS(仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>	75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>	735.499 W
	1.60218 × 10 <sup>19</sup>	1.63377 × 10 <sup>20</sup>	4.45050 × 10 <sup>16</sup>	3.82743 × 10 <sup>20</sup>	1.51857 × 10 <sup>22</sup>	1.18171 × 10 <sup>18</sup>	1	

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>		1	100		1	3876		1	100
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1		0.01	1		2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1		0.01	1

