

本資料は 2001. 6. 6. 日付で登録区分、
変更する。

[技術情報室]

分析廃液の処理に関する検討会報告書

1984年4月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

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

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

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

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



目 次

| | |
|---|----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 分析廃液の処理に関する検討会の実施内容 | 1 |
| 3. 検討会の日程 | 2 |
| 4. 検討会メンバー | 2 |
| 5. 分析に関する調査結果 | 3 |
| 5-1 分析廃液の現状調査-1 | 3 |
| 5-2 分析廃液の現状調査-2 | 18 |
| 5-3 分析廃液の現状調査-3 | 27 |
| 5-4 分析廃液の現状調査-4 | 36 |
| 6. 処理法の検討結果 | 42 |
| 6-1 ウラン・重金属廃液の同時処理法(フェライト化処理) | 42 |
| 6-2 プルトニウム廃液フェライト化処理法 | 50 |
| 6-3 フッ素含有ウラン廃液中の同時処理法(SUD-水酸化カルシウム沈殿法) | 52 |
| 6-4 プルトニウム・ウラン分析廃液中のプルトニウムの処理法(凝集沈殿法) | 60 |
| 6-5 フッ素塩素分析廃液処理法(凝集沈殿法) | 64 |
| 6-6 分析廃液マイクロ波加熱処理法 | 70 |
| 7. 廃液組成と処理法との関係 | 73 |
| 8. 廃液処理マニュアル | 76 |
| 8-1 分析済ウラン・重金属の処理法(フェライト法) | 76 |
| 8-2 分析済ウラン廃液の処理法(重ウラン酸ナトリウム沈殿法) | 79 |
| 8-3 フッ素含有廃液の処理法(水酸化カルシウム沈殿法) | 84 |
| 8-4 分析済ウラン廃液の処理法(水酸化カルシウム-リン酸沈殿法) | 86 |
| 8-5 分析済プルトニウム、濃縮ウラン系廃液の処理法(水酸化カルシウム-リン酸処理法) | 89 |
| 9. 結語 | 92 |
| 10. 参考資料 | 92 |
| 11. 参考文献 | 95 |

1 まえがき

動燃事業団の業務内容から考えて、発生する廃棄物と言えば、まず第一に放射性固体廃棄物が誰の頭にも浮かぶが、それと同じように化学実験室から発生する分析廃液も、量的には必ずしも多くはないが、多種類の分析試薬を含んだ化学形態及び種類が、かなり広範囲であり多種多様な危険性を含んでいる。プルトニウム・ウランを含む廃液にいたってはなおさらである。従って分析廃液の取扱いは放射性廃棄物と同様に注意が必要である。特に開発業務を主体とした施設からの依頼分析、試験研究分析は多元素、多種類の分析となるため使用する試薬も当然多くなり、引火性、爆発性及び毒性などに加えて放射性を持った非常に複雑で取扱が困難な分析廃液となる。

これらの分析廃液を排出する際には種々の法律によって規制を受ける。従って発生する分析廃液を廃液組成に応じて、安全かつ適切に処理、処分することが必要である。このために使用する試薬の量や、予想される廃液の種類と量などを系統的に把握し、廃液の処理についても、適当な廃液処理法を確立するなど十分な対策を講じておくため、実験計画の中に含めておく必要がある。

分析廃液の処理に関する検討会は、各施設から発生する分析廃液の処理法を検討するため、各施設の廃液の化学形態、含有物質と濃度などを調査し、適当な収集区分と保管法、廃液の処理法を検討し、より合理的な新しい処理法を考えるための基本資料とするため発足した。

2 分析廃液の処理に関する検討会の実施内容

- 1) 東海事業所分析施設（技術部A棟及びB棟、技術部CPR、プル燃部品質管理課、転換技術開発部運転課）の分析廃液の組成、廃液の濃度、発生量、収集区分の現状調査
- 2) 各分析施設における分析廃液の保管法、廃液処理法、処理上の問題点及び技術開発の現状調査
- 3) 国内及び海外での分析廃液処理法及び廃液処理装置の調査
- 4) 各分析施設での最も適当な廃液処理法の検討とそれに必要な開発項目のまとめ

3 検討会の内容

| 期 日 | | 内 容 |
|-------|--------------|----------------------------------|
| 第 1 回 | S 58. 8. 3 | ・検討会主旨説明、調査表の説明 |
| 第 2 回 | S 58. 8. 23 | ・廃液組成、保管法、処理法等の現状調査結果の説明 |
| 第 3 回 | S 58. 9. 6 | ・廃液処理法の問題点及び技術開発の現状報告等 |
| 第 4 回 | S 58. 10. 25 | ・廃液処理に関する検討結果の説明、廃液処理装置の調査結果の報告等 |
| 第 5 回 | S 58. 11. 28 | ・廃液処理に関する検討結果の説明、文献調査の報告等 |

4 検討会メンバー

実施責任者 大 西 紘 一 (前分析技術開発室長)

- | | | |
|------------|--------------|---------------------|
| 1) 技 術 部 | 分析技術開発室(事務局) | ～ 大内義房, 若狭喜一 |
| 2) 技 術 部 | 高レベル放射性物質試験室 | ～ 園部次男, 大内隆雄 |
| 3) プ ル 燃 部 | 品質管理課 | ～ 鈴木 猛, 桧山敏明 |
| 4) 転換技術開発部 | 運 転 課 | ～ 丸石芳宏, 大内与志郎, 竹田誠一 |

5 分析廃液に関する調査結果

5-1 分析廃液の現状調査-1

各施設の分析廃液の現状を把握するため、分析廃液名、発生場所、廃液組成、発生量及び収集区分について調査し、その結果を表-1に示した。調査票を要約すると次の通りであった。

(1) 要 約

- 1) 分析廃液の種類は核物質（ウラン、プルトニウム）、炉材料（Zry-2、SUS-316等）、ガラス等を分析した廃液に大別され、さらに分析方法による分析廃液に区分されその大部分は湿式分析による廃液で約30種類（5施設）になる。
- 2) 分析廃液の組成はウラン含有廃液、プルトニウム含有廃液、プルトニウム-ウラン混合廃液、重金属含有廃液、フッ酸含有廃液、酸-アルカリ含有廃液、数種類が混合した廃液及び有機溶媒含有廃液等に分類される。
- 3) 分析廃液の発生量を施設ごとに集計すると次の通りである。

○ A 棟

| | |
|--------|---------|
| ・ウラン系 | 2.5 ℥/月 |
| ・重金属系 | 150 ℥/月 |
| ・フッ酸系 | 10 ℥/月 |
| ・有機溶媒系 | 0.2 ℥/月 |

○ B 棟

| | |
|----------|---------|
| ・ウラン系 | 10 ℥/月 |
| ・プルトニウム系 | 0.2 ℥/月 |

○ C P R

| | |
|---------------|---------|
| ・ウラン系 | 9 ℥/月 |
| ・プルトニウム系 | 1 ℥/月 |
| ・プルトニウム-有機溶媒系 | 0.8 ℥/月 |

○ プル燃

| | |
|--------------|--------|
| ・プルトニウム-ウラン系 | 25 ℥/月 |
| ・有機物質系（プル汚染） | 16 ℥/月 |

○ 転換部

| | |
|--------------|--------|
| ・プルトニウム-ウラン系 | 15 ℥/月 |
| ・有機物質系（プル汚染） | 14 ℥/月 |
| ・有機溶媒系（〃） | 10 ℥/月 |

4) 貯留上の収集区分については次の様に区分されている。

- (1) 核物質を含有していない重金属含有廃液等については、貯留することなく、そのつ

ど大量の水で希釈し処理されている。

- (2) 核物質含有廃液、フッ素含有廃液及び有機溶媒含有廃液は分析方法ごとに収集区分したのち、処理または保管されている。
- (3) 核物質含有廃液で同一処理が可能な化合物ごとに収集区分後、処理または保管されている。

(2) 調査結果と問題点

- 1) 分析廃液の組成はウラン・プルトニウム等の他に多種類の分析試薬を含む非常に複雑な組成であり、保管時及び処理法については安全性を考慮した処理が必要である。
- 2) 分析廃液は重金属系廃液（核物質の汚染なし）が最も多い。次にプルトニウム-ウラン系の廃液は5施設で1ヶ月当たり55ℓが発生する。また核物質で汚染した有機物質系が1ヶ月当たり30ℓ、有機溶媒系は1ヶ月当たり11ℓ程度発生している。各施設の発生量は分析依頼元素、依頼件数及び分析方法によって異っている。また微量の核物質で汚染された有機物質系と有機溶媒系が比較的多く、処理法の検討と分析方法の改善が望まれる。

(3) 今後の問題点

- 1) 危険性はほとんどないが、重金属類の排出規制が今後一層厳しくなる事が予想されるため重金属類の処理法の確立が課題となる。
- 2) 廃液組成ごとの収集区分は組成を複雑にしないことを原則とし、保管時の化学反応による有毒ガスの発生、爆発等の危険性を少くしなければならない。また廃液組成ごとの集収区分は最適処理法を選択できる等の利点はあるが、一方収集区分が複雑になり、保管場所を多く必要とすること等の欠点もある。
- 3) 同一処理可能な化合物ごとに収集することは望ましいが、混合または保管によって発熱、有毒ガスの発生等の対策を十分に考慮して収集区分する必要があり、危険性のあるものは混合することはできない。

表-1 分析廃液の現状調査-1

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集成分 | | |
|------------------------|-----------------|---|-----------------------|---------------|-------|-----|-------|------------|------------------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 技術部 分析技術開発室 (A棟) | ① ウラン滴定廃液 | ・ウランを硝酸々性で $TiCl_3$ で還元したFe (II)を重クロム酸カリ ウムで逆滴定する。 | ・A棟 化学実験室 (A-8) | U(VI) | 0.1 | | | 1.5 ℓ/月 | 滴定廃液単独(他と 混合しない)保管 | | |
| | | | | Ti (IV) | 0.5 | | | | | | |
| | | | | Fe (III) | 0.5 | | | | | | |
| | ② TBP-ケロシン | ・微量のウランを含む溶 液をTBP-ケロシンで 抽出分離し、過酸化水 素吸光度法でウラン を分析する。 | ・A棟 化学実験室 | K | 0.2 | | | 0.2 ℓ/月 | TBP-ケロシン単独 (他と分離)保管 | | |
| | | | | Cr (III, VI) | 0.2 | | | | | | |
| | | | | H_2SO_4 | 3 | | | | | | |
| | | | | HNO_4 | 6 | | | | | | |
| | | | | Cl | 1 | | | | | | |
| | | | | $C_6H_5NHC_6$ | | | | | | | |
| | | | | - H_4SO_3Na | | | | | | | |
| | ③ H_2O_2 比色廃液 | ・硝酸ウラン溶液を Na_2CO_3 溶液で中和し $NaOH$ 及び H_2O_2 で発 色し吸光度を測定する。 | ・A棟 実験室 (A-8) | TBP | 30 | | | 1 ℓ/月 | H_2O_2 廃液単独(他 と混合しない)保管 | | |
| | | | | ケロシン | 70 | | | | | | |
| | | | | H_2O_2 | 0.6 | | | | | | |
| | | | | U | 0.04 | | | | | | |
| | | | | Na | 1 | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集成分 | | |
|------------------------|--|--|--|-----------------|-------|-----|-------|------------|-------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 技術部 分析技術開発室 (A棟) | ④ ガラス・浸出液等の分析廃液 イ) 原子吸光分析 廃液(Br, Cs, Na, K, Ca, etc) ロ) 発光分光分析 廃液(希土類元素全般) ハ) " (Ru, Ti の分析) 二) 化学分析廃液 (B) ホ) " (Si) | <p>試料を酸分解あるいは分取したのち塩酸系とし原子吸光々度を測定する。</p> <p>試料を酸分解あるいは分取したのち塩酸系としICP発光法により分析する。</p> <p>試料を炭酸カリウム、ナトリウムで溶融したのち塩酸酸性とし、ICP発光法で分析する。</p> <p>試料を半融し温水で浸出したのち中和滴定法で分析する。</p> <p>試料を溶融し、塩酸、フッ酸で浸出し、モリブデン酸アンモニウムで発色させ吸光々度法で分析する。</p> | <p>A棟, 化学実験室(A-9)</p> <p>A棟, 機器分析室(A-4, A-5)</p> <p>同 上</p> <p>A棟, 化学実験室(A-8)</p> <p>同 上</p> | HCl | 0.8 | | | 120 ℓ/月 | 希釈廃棄(A棟モニタリングピット) | | |
| | | | | HCl | 0.3 | | | 5 ℓ/月 | " | | |
| | | | | Na | 0.1 | | | 2 ℓ/月 | " | | |
| | | | | K | 0.1 | | | 2.5 ℓ/月 | " | | |
| | | | | Cl ⁻ | 3 | | | 12 ℓ/月 | " | | |
| | | | | Na | 0.7 | | | | | | |
| | | | | Zn | 0.9 | | | | | | |
| | | | | マンニット | 14 | | | | | | |
| | | | | Cl ⁻ | 1 | | | | | | |
| | | | | Na | 0.2 | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|------------------------|--|---|--|--------------------------------|-------|----------------------|-------|------------|---------------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 技術部 分析技術開発室 (A棟) | ⑤ 炉材料の分析廃棄 イ) B分析廃液 (Zry, SUS) | 試料を酸分解後、メタノールを加え蒸留分離し、クルクミンで呈色させ吸光度法で分析する。 ロ) Cd, Pb分析 廃液 (Zry) ハ) Ca, Mg分析 廃液 (Zry) 二) U分析廃液 (Zry) | A棟, 化学実験室(A-19) 同上(A-8) 同上 | H ₂ SO ₄ | 12 | CH ₃ COOH | 75 | 6.5 ℓ/月 | 希釈廃棄 (A棟モニタリングピット) | | |
| | | | | H ₃ PO ₄ | 2 | CH ₃ OH | 9 | | | | |
| | | | | Zr | 0.2 | | | | | | |
| | | | | Fe | 0.02 | | | | | | |
| | | | | Cr | - | | | | | | |
| | | 試料をフッ酸で分解し、DDTC錯塩を生成させたのちMIBKで抽出し原子吸光法で分析する。 | 同上(A-8) | Ni | - | | | | | | |
| | | | | HF | 3 | MIBK | 20 | 2.8 ℓ/月 | " | | |
| | | | | HNO ₃ | 2 | | | | | | |
| | | | | Zr | 0.4 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | 試料をフッ酸で分解後直接原子吸光法で分析する。 | 同上 | HF | 4 | | | 2.6 ℓ/月 | フッ素系廃液として保管(水酸化カルシウム沈殿処理) | | |
| | | | | K | 0.04 | | | | | | |
| | | | | Zr | 1.3 | | | | | | |
| | | | | Zr | 0.6 | | | 5 ℓ/月 | " | | |
| | | | | HF | 4 | | | | | | |
| | | | | HCl | 20 | | | 1.5 ℓ/月 | 希釈廃棄 (A棟モニタリングピット) | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|------------------------|----------------------|---|-----------------------|---------------------------|---------------------|-----|-------|------------|------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 技術部 分析技術開発室 (B棟) | ① ウラン分析廃液 | ウランを硝酸で溶解し同位体測定 | B棟 化学実験室 (実驗台上) | U(VI) | 0.1 | | | <0.01 ℓ/月 | 単独保管 | | |
| | ② プルトニウム、 ウラン分析廃液 | Pu, U, 混合試料を硝酸で溶解しイオン交換分離後, Pu, U の同位体測定 | B棟 (フード内) | U(VI) Pu(VI) Am | 0.1 0.1 0.1 | | | 0.2 ℓ/月 | 単独保管 | | |
| | ③ ウラン滴定廃液 | Uを硝酸酸性で硫酸第1鉄で還元し, バナジンと置換し重クロム酸カリウムで滴定する。 | B棟 化学実験室 (実驗台上) | U(VI) Fe(III) V(IV) | 0.1 0.01 0.01 | | | 2 ℓ/月 | 単独保管 | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 | 収集区分 | | |
|--------------|----------------------------------|---|----------------|---|-----------------|-------|--------|--------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度 | 成分名 | 濃度 | | | | |
| 技術部 C P F | ① ウラン・酸滴定 廃液 | 硫酸アンモを加えUの錯体を形成させ水酸化ナトリウムで滴定して遊離酸を求め、次にH ₂ O ₂ を加え硝酸U中の酸を遊離させ再び水酸化ナトリウムで滴定した酸量からUを定量する。 | CA 5 セル 分析室 | U | 10~500 g/l | | | セル 6 l ボックス 2 l | 水相廃液と混合 | | |
| | | | | NaOH | 0.1 N | | | | | | |
| | | | | (NH ₂) ₂ SO ₄ | 10 % | | | | | | |
| | ② TOPO錯酸エチル DBM吸光光度分析 廃液 | TOPO-U錯塩を形成させ酢酸エチル相に抽出この有機相の一定量をDBM溶液で発色し、波長410 nmでの吸光光度を測定 | | H ₂ O ₂ | 30 % | | | | 沪紙で水相、有機相をわけ 水相廃液と混合 有機相廃液と混合 | | |
| | | | | Pu | 0~28 g/l | | | | | | |
| | | | | HNO ₃ | 1.3 N | DBM | 0.2 % | セル 300 ml | | | |
| | ③ 過酸化銀酸化プルトニウム(VI)直接 吸光光度分析廃液 | 過硫酸アンモニウム・硝酸銀を加え過酸化銀を生成させ、Puを6価に酸化させスルファミン酸を加え過酸化銀を分解し波長800~860 nmを測定 | | HAN | 35 % | TOPO | 0.64 % | ボックス 200 ml | 水相廃液と混合 | | |
| | | | | ビリジン | 50 % | 酢酸エチル | | | | | |
| | | | | 硝酸マグネシウム | 6.4 % | | | | | | |
| | | | | EDTA | 12.5 % | | | | 水相廃液と混合 | | |
| | | | | U | 0.03~1.0 g/l | | | | | | |
| | | | | Pu | 0~0.05 g/l | | | | | | |
| | | | | HNO ₃ | 1.3 N | | | | 水相廃液と混合 | | |
| | | | | AgNO ₃ | 5 % | | | | | | |
| | | | | 過硫酸アンモニウム | 20 % | | | | | | |
| | | | | スルファミン酸 | 1 % | | | | | | |
| | | | | Pu | 0~28 g/l | | | | | | |
| | | | | U | 10~500 g/l | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 | 収集区分 | | |
|------------|-------------------------------|---|-----------|--|--|-------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度 | 成分名 | 濃度 | | | | |
| 技術部 CPF | ④ TTA-キシレン抽出 α -計測分析廃液 | Fe (NO ₃) ₃ ・HANを加えPu(III)に還元し亜硝酸ナトリウムを加え4箇に調整し、TTA-キシレンでPuを抽出し有機層を試料皿に焼付け、 α -計測によりPuを定量 | CA 5セル分析室 | Fe (NO ₃) ₃ 塩酸ヒドロキシルアミン NaNO ₂ HNO ₃ Pu | 3.5% 12% 10% 1.3 N 0.05~0.1 mg/l | TTA キシレン | 11.1% 89% | セル 200 ml ボックス 100 ml | 汎紙で水相・有機相をわけ 水相廃液と混合 有機相廃液と混合 | | |
| | | | | Pu 塩酸ヒドロキシルアミン ビドラジン NHO ₃ | 2~20 mg/l 25% 3.5% 1.3 N | | | セル 500 ml ボックス 250 ml | 水相廃液と混合 | | |
| | | | | | | トリスアミノメタン オキシン(8-ヒドロキシノリン) | 7.43% 0.5% | セル 300 ml | " | | |
| | ⑥ ヒドロキシルアミン分析廃液 | 水溶液又は希硝酸中のNH ₂ OHに混合発色試料を加え発色させたのち、波長700 nmの吸光光度を測定 | | 炭酸ナトリウム 塩酸ヒドロキシルアミン HNO ₃ NH ₂ OH Pu | 10.6% 35% 1.3 N | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|---------------------|--------------------------------|---|----------------|---|--------|-----------------------------------|--------|------------|--------------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| Pu部 品質管理課分析 係 | ① F分析廃液 (ALCランタン吸光光度法) | 試料を850℃に加熱してある電気炉中で湿潤酸素ガスを通しつつ反応させ、生成したフッ化水素を水酸化ナトリウム水溶液に捕集する。ALCランタン溶液の一定量を加えて青色複合錯体を作り発色させ、波長610nmにおける吸光度を測定し、フッ素を定量する。 | 第1開発室 R-131 | NaOH | 0.1% | CH ₃ COCH ₃ | 85mℓ/ℓ | 5 ℓ/月 | C1分析廃液と混合 (58.4月より単独) | | |
| | | | | La ₂ O ₃ | 0.8% | CH ₃ COOH | 5mℓ/ℓ | | | | |
| | ② C1分析廃液 (チオシアノ酸第二水銀に吸光光度法) | Fと同様の処理によって生成した塩化水素を水酸化ナトリウム溶液に捕集する。Fe(Ⅳ)溶液及びチオシアノ酸第二水銀溶液を加えて発色させ、波長460nmにおける吸光度を測定し、塩素を定量する。 | 第1開発室 R-131 | NaOH | 0.1% | CH ₃ CONH ₃ | 11% | 5 ℓ/月 | F分析廃液と混合 (58.4月より単独) | | |
| | | | | HClO ₄ | 30mℓ/ℓ | C ₂ H ₅ OH | 67mℓ/ℓ | | | | |
| | | | | Fe(NO ₃) ₃ · 9U ₂ O | 10% | | | | | | |
| | | | | Hg(SCN) ₂ | | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|------------------|--------------------------|---|----------------------------------|---|---------|-----|-------|------------|------------------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| Pu燃部 品質管理課分析係 | ③ N分析廃液 | 試料を塩酸、ホウフッ酸過酸化水素水で溶解し冷却後水酸化ナトリウムを加えて水蒸気蒸留し、留出液にネスラー試薬を加え、10分間放置後波長420 nmの吸光度を測定しらかじめ作成した検量線から窒素を定量する。 | 第1開発室 R-135 | HC1 (Conc換算) | 160 ℓ/l | | | 9.5 ℓ/月 | ネスラー試算と混合 (58年4月よりネスラーと別) | | |
| | | | | NaOH | 130 g/l | | | 1.8 ℓ/月 | | | |
| | | | | HBF ₄ | 15 ℓ/l | | | 4.5 ℓ/月 | | | |
| | ④ 蒸発性不純物分析装置水銀拡散ポンプ冷却用廃液 | | 第1開発室 R-135 | H ₂ O ₂ (30%) | 80 ℓ/l | | | | | | |
| | | | | Pu | | | | | | | |
| | | | | U | | | | | | | |
| | ⑤ Pu分析廃液 | 試料を硝酸とフッ酸で溶解し、硫酸を加え加熱濃縮し硫酸化合物に変換する。 硫酸銀過硫酸アンモニウムを加え、プルトニウムを定量する。 | 第1開発室 R-135 第2開発室 C-101 | [ネスラー試薬廃液] Hg ₂ Cl ₂ | 3 g/l | | | 12 ℓ/月 | | | |
| | | | | KI | 2 g/l | | | | | | |
| | | | | NaOH | 5 g/l | | | | | | |
| | | | | H ₂ O | | | | | | | |
| | | | | N ₂ NSO ₃ H (スルファミン酸) | 1.2 g/l | | | | | | |
| | | | | NH ₄ ClO ₄ | 1.8 g/l | | | | | | |
| | | | | Fe(SO ₄) ₂ SO ₄ | 2.8 g/l | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集場所 | | |
|------------------|----------|---|-------------------|---|--|-----|-------|------------|------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| Pu燃部 品質管理課分析係 | ⑥ U分析廃液 | ム(VI)に酸化する。プルトニウム量に対して過剰で即知量の Fe(II) 標準溶液を加え、過剰の Fe(II)を Ce(IV) 溶液で滴定し、プルトニウムを定量する。 | 第2開発室 R-135 | Ce(SO ₄) ₂ 2(NH ₄) ₂ SO ₄ , K ₂ Cr ₂ O ₇ Pu U | 2.3 g/ℓ 少 量 4~5 g/ℓ | | | 2 ℓ/月 | | | |
| | | | | H ₃ PO ₄ H ₂ NSO ₃ H FeSO ₄ H ₂ M·O ₄ K ₂ Cr ₂ O ₇ Pu U | | | | | | | |
| 転換部 運転課品質管理係 | ① 蒸留済み廃液 | 試料を硝酸・フッ酸で溶解し、スルファミン酸リン酸及び硫酸第1鉄を加え Fe(II) で U(VI) を U(IV) に還元する。過剰の Fe(II) はモリブデン酸アンモニウムを触媒として硝酸・スルファミン酸混合液で酸化し、重クロム酸カリウム標準溶液で滴定し、Uを定量する。 | A-230 P 61B 22 | HCl(塩酸) HBF ₄ NaOH(水酸化ナトリウム) U H ₂ O | 5 wt% 2 wt% 5 wt% 0.5 wt% 87.5 wt% | | | 2 ℓ/月 | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業室 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | | |
|-----------------|--|-------|-------------------|--|--------------|---------------|-------|------------|------------|--|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | | |
| 転換部運転課 品質管理係 | ② 測定後廃液 | | A-230 P 61B 22 | H ₂ SO ₄ (硫酸) | 微量 < 1wt% | | | 2 ℓ/月 | | | | |
| | | | | HgI ₂ (ヨウ化第2水銀) | 0.2 wt% | | | | | | | |
| | | | | KI (ヨウ化カリウム) | 0.1 wt% | | | | | | | |
| | ③ H ⁺ , OH ⁻ 分析廃液 | | A-230 | NaOH (水酸化ナトリウム) | 0.3 wt% | | | 1.5 ℓ/月 | 単体 | | | |
| | | | | H ₂ O (水) | 1.4 wt% | | | | | | | |
| | | | | H ₂ O | 98 wt% | | | | | | | |
| | ④ ウラン吸光廃液 | | A-230 | HNO ₃ | 1.5 wt% | | | 6 ℓ/月 | 吸光廃液 単独 | | | |
| | | | | NaOH | 6.7 wt% | | | | | | | |
| | | | | 純水 | 81 wt% | | | | | | | |
| | | | | U | 10 wt% | | | | | | | |
| | | | | U | 31.5 % | ジベンゾイル メタン | 3 % | | | | | |
| | | | | 硝酸マグネシウム | 5 % | ピリジン | 15 % | | | | | |
| | | | | | | エチルアルコール | 5 % | | | | | |
| | | | | | | メチルアルコール | 10 % | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|-----------------|-----------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|------------|------|-------|------------|------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 転換部運転課 品質管理係 | ⑤ ウラン滴定廃液 | <p>• UO₂粉にHNO₃(1+1)を加え溶解し、発色剤を添加し波長を決め測定する。</p> <p>リン酸酸性のUー試料を鉄(II)を用い、4価のUに還元し、過剰の鉄(II)をモリブデン酸を触媒とし硝酸で酸化し、重クロム酸カリウムで滴定を行う。</p> | A-230 A-230 ウラン滴定 グローブボックス | H ₃ PO ₄ (1+19) | 5 % | EDTA | 7 % | 3 ℓ/月 | 廃液単独 | | |
| | | | | NaOH (10%) | 5 % | | | | | | |
| | | | | Na ₂ CO ₃ (10%) | 5 % | | | | | | |
| | | | | H ₂ O ₂ | 3 % | | | | | | |
| | | | | HF | 0.5 % | | | | | | |
| | | | | HNO ₃ | 5 % | | | | | | |
| | | | | リン酸 | 2.36% | | | | | | |
| | | | | 硫酸第一鉄 | 54.15 | | | | | | |
| | | | | モリブデン酸 | 1.29 | | | | | | |
| | | | | アンモン | | | | | | | |
| | | | | スルファミン酸 | 24.17 | | | | | | |
| | | | | 硫酸バナジル | 1.81 | | | | | | |
| | | | | N/20重クロム酸カリウム | 3.80 | | | | | | |
| | | | | 分析済ウラン | 3.16 | | | | | | |
| | | | | 硝酸 | 0.19 | | | | | | |
| | | | | 硫酸 | 0.03 | | | | | | |
| | | | | 純水 (フッ酸、過酸化水素) | 9.03 微量 | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|---------------------|------------------|--------------------------------|---------------|---|-------------------|---------------------------|----------------|------------|---------------------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 転換技術開発部 運転課品質管理係 | ⑥ 滴定用重クロム酸カリウム廃液 | 滴定分析に用いるN/20重クロム酸カリウムを作成する。 | 転換施設 A-227 | 重クロム酸カリウム 純水 | wt 0.24% 99.76 | | | 0.5 ℓ/月 | 廃液単独 | | |
| | ⑦ F, Cl分析廃液 | F, Cl分析 | | KCl KNO ₃ NaOH | < 1% | フタル酸 | < 5% | 2 ℓ/月 | 単独 他のウラン廃液を混合しない | | |
| | ⑧ 不純物分析前処理廃液 | 不純物分析前処理 | | HNO ₃ | < 10% | CCl ₄ T.B.P | < 80% < 10% | 2 ℓ/月 | 単独 他の廃液と混合しない | | |
| | ⑨ ウラン蛍光X線分析廃液 | サンプルの蛍光X線を測定して、U検量線からUを定量する。 | | U HNO ₃ その他サンプル中の不純物 | | | | 1 ℓ/月 | | | |
| | ⑩ ウラン溶液中のFe分析廃液 | サンプルの蛍光X線を測定して、Fe検量線からFeを定量する。 | | U HNO ₃ Fe HNO ₃ | | | | 0.5 ℓ/月 | | | |
| | ⑪ 器具洗浄液 | | | C ₂ H ₅ OH | | | | | | | |

| 部課(室)名 | 分析廃液名 | 分析作業内容 | 発生場所 | 廃液組成 | | | | 発生量 ℓ/月 | 収集区分 | | |
|---------------------|----------|--|-------|---|--------------------------------|-----|-------|------------|------|--|--|
| | | | | 無機 | | 有機 | | | | | |
| | | | | 成分名 | 濃度(%) | 成分名 | 濃度(%) | | | | |
| 転換部 運転課品質管理 係 | ⑫ Pu分析廃液 | 試料を硝酸とフッ酸で溶解し硫酸を加え、過酸化銀によりプルトニウムを(VI)価に酸化する。プルトニウム量に対して既知量のFe(II)は標準溶液を加え、過剰のFe(II)を重クロム酸カリウム溶液で滴定し、プルトニウムを定量する。 | A-230 | K ₂ Cr ₂ O ₇ Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ ·6H ₂ O Pu U | 少量 " 5~10g/ℓ 20~30g/ℓ | | | 3 ℓ/月 | 廃液単独 | | |

5-2 分析廃液の現状調査-2

分析廃液の現状調査-1に続いて、廃液の保管法、保管上の問題点及び廃液処理法の現状について調査し、その結果を一覧表-2に示した。調査表を要約すると次の通りである。

(1) 要 約

- 1) 収納容器はポリ細口ビン(0.5~20ℓ)を用い、ビニール袋で2重養生して廃棄物一時保管室のフード内またはグローブボックス内に保管している。
- 2) 施設ごとの現在保管量は次の通りである。(S.58年12月現在)

◦ A棟

| | |
|-------|------|
| ウラン系 | 33 ℓ |
| 重金属系 | なし |
| フッ酸系 | 1 ℓ |
| 有機溶媒系 | なし |

◦ B棟

| | |
|---------|-------|
| ウラン系 | 30 ℓ |
| プルトニウム系 | 0.2 ℓ |

◦ CPR

| | |
|------------------|-------|
| ウラン-プルトニウム系 | 91 ℓ |
| ウラン-プルトニウム-有機溶媒系 | 8.5 ℓ |

◦ プル燃

| | |
|--------------|-------|
| プルトニウム-ウラン系 | 200 ℓ |
| プルトニウム-有機物質系 | 100 ℓ |

◦ 転換部

| | |
|------------------|-------|
| プルトニウム-ウラン系 | 50 ℓ |
| プルトニウム-ウラン-有機物質系 | 3 ℓ |
| プルトニウム-ウラン-有機溶媒系 | 0.5 ℓ |

3) 保管上の問題点としては

- (1) 保管場所の確保が難しい(フード、グローブボックス)。
- (2) 長時間の保管により、収納容器の劣化、腐食があり、液漏れの恐れがある。
- (3) 廃液組成によっては化学反応による内圧が上昇し、液漏れと破損の恐れ及び有毒ガスの発生、爆発等の可能性がある。

4) 廃液処理法については次のような方法で処理されている。

- (1) ウラン系廃液については重ウラン酸ナトリウム沈殿分離-乾燥廃棄法及び水酸化カルシウム沈殿分離-乾燥廃棄法を用いている。(A、B棟)
- (2) 重金属系廃液の処理法は、大量の水で希釈し廃液をしているが、水酸化物共沈法及

びフェライト法による処理ができる状態にある（A棟）。

(3) フッ酸系廃液については水酸化カルシウム沈殿分離－乾燥廃棄法で処理を行っている（A棟）。

(4) プルトニウム系及びプルトニウム－ウラン廃液系は水酸化カルシウム・リン酸沈殿法（B棟）及びアルカリ凝集沈殿分離－乾燥廃液法（プル燃品管）によって処理しているが、大部分の廃液は処理量が発生量に追いつかず保管しているのが現状である。

(5) 有機溶媒系廃液は核物質（ウランのみ）を完全に分離したのち大量の水で希釈し廃棄（A棟）しているが、プルトニウムを含有する廃液など大部分は長期間フード、グローブボックス内に保管している。

5) 今後開発すべき事項と現在検討中の内容は次のようなものがある。

(1) 水酸化カルシウム沈殿分離法及びアルカリ沈殿分離法での汎過効率を良くするため汎過方法の検討（検討中）

(2) 水酸化カルシウム法によりフッ酸系廃液とウラン系廃液の同時処理法の開発（検討中）

(3) マイクロ波加熱装置によるプルトニウム系廃液の減容処理法（検討中）

(4) 有機溶媒系廃液の処理法の検討

(5) アルカリ凝集沈殿法の検討と自動装置化（検討中）

(6) 新しい処理法に基づく、一括処理法の検討

(7) プルトニウム－ウラン系廃液を簡便で迅速性に優れた自動処理法の開発（グローブボックス及びセル用）

(2) 調査結果と問題点

1) 収納容器は全てポリビンを使用しているが、廃液組成によっては容器の劣化、腐食または破損も考えられ、特に有機溶媒の保管は例えばSUS製の収納容器等を検討すべきと思われる。

2) プル燃については約300ℓのプルトニウム－ウランを含む分析廃液が長期間核物質貯蔵庫内に保管されており、他の施設についても30～100ℓの分析廃液を保管していることがわかった。

3) 収納容器が破損、腐食等の恐れはないかの確認とその対策を事前に立てておく必要がある。また収容容器は腐食等のないもので、容器に必要事項の記入など保管上の注意が必要である。

4) 処理上の問題点としては沈殿物の乾燥に長時間を要すること。多種類の分析試薬が混合しているため1回だけの沈殿分離では不完全で数回くり返し分離していること。廃液の放射能が高く処理施設に制限があること。有機物が一部混入し、分離状態を悪くすること等が問題点となっている。

- 5) 施設によっては廃液の処理法が確立されておらず、検討中であること。また一応確立されいても迅速性、自動化及び適用性等で検討を要するが多く、早急に解決しなければならない問題である。
- 6) 分析廃液の大部分がウラン、プルトニウムを含んでいるので、グローブボックスあるいはセル内で廃液を処理する必要があり、操作性、自動化、小型化に優れた上に発熱、有毒ガスの発生及び爆発等の危険性がないなど特別に配慮した処理法の開発が強く望まれる。

表-2 分析廃液の現状調査

| 部課室名 | 分析廃液名 | 廃液保管法 | | | 保管上の問題点 | 廃液処理法 | | | | | 開発中の内容と開発すべきと思う事項(処理法) |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------|----------------|---|----------------------|--------------------------------|----------|-------|----------------------------|--------------------------------|
| | | 保管容器 | 保管場所 | 現在保管課 | | 方 法 | 主な装置名 | マニュアルの有無 | 処理の頻度 | 処理上の問題点 | |
| 技術部 分析技術 開発室 (A棟) | ① フッ素系分析 廃液 | ポリ細口ビン(20ℓ) | A棟実験室(A-8) | 1ℓ (15ℓで処理) | ○保管場所の確保 | ○水酸化カルシウム沈殿汎過法 | | 有 | 1回/3月 | ○乾燥に長時間を要する(自然乾燥) | ○一回目の汎過効率悪い |
| | ② ウラン分析 廃液 (塩酸系) | ポリ細口ビン(10ℓ) ビニル2重養生 | 廃棄物一時保管室(A-12)フード内 | 7ℓ | ○長時間になるとポリビンが変色し、ヒビ割れの可能性あり。 ○化学反応によりガスの発生、又は爆発の可能性あり。 ○保管場所の確保 | ○重ウラン酸ナトリウム沈殿分離-乾燥廃棄 | ○重金属は排液処理装置 | 有 | 1回/年 | ○分離不完全な時がある ○乾燥に長時間を要する | ○現在は汎布を使用しているが、汎過効率が悪いのでろ紙を検討中 |
| | ③ " (H ₂ O ₂ 系) | 同 上 | 同 上 | 5ℓ | 同 上 | 同 上 | 同 上 | 有 | 1回/年 | 同 上 | 同 上 |
| | ④ " (フッ素系) | 同 上 | 同 上 | 5ℓ | 同 上 | 同 上 | ○フッ素による装置の腐食を防止するため実験室でバッチ式で行う | 有 | 1回/年 | 同 上 | ○フッ素廃液とウラン廃液の同時処理法の開発 |

| 部課室名 | 分析廃液名 | 廃 液 保 管 法 | | | 保管上の問題点 | 廃 液 の 处 理 法 | | | | | 開発中の内容と 開発すべきと思 う事項(処理法) |
|----------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|------------|---|----------------|----------|--------------|------------|----------------|--------------------------------|
| | | 保管容器 | 保管場所 | 現 在 保管量 | | 方 法 | 主な装置名 | マニュアル の有無 | 処理の 頻 度 | 処理上の問題点 | |
| 技術部 分析技術 開発室 (A棟) | ⑤ ウラン分析 廃 液 (ピリジン系) | ポリ細口ビ ン(10 ℥) ビニル2重 養生 | 廃棄物一時 保管室(A -12)フー ド内 | 10 ℥ | ○長時間になると ポリビンが変色 し、ヒビ割れの 可能性あり ○化学反応により ガスの発生、又 は爆発の可能性 あり ○保管場所の確保 | | | | | | ○将来は重金属 処理装置を適 用する。 |
| | ⑥ " (K ₂ Cr ₂ O ₇ 系) | 同 上 | 同 上 | 6 ℥ | 同 上 | | | | | | |
| 技術部 分析技術 開発室 (B棟) | ① ウラン分析 廃 液 | ポリビン (250 ml) | B棟 R-115 | 0 | 保管場所の確保 | 水酸化カルシウム沈殿 | 廃液処理装置 | 有 | 1回／ 6ヶ月 | 乾燥に長時間を 要する | |
| | ② プルトニウム、ウラン 分析 廃 液 | ポリビン (250 ml) | B棟 R-116 (グローブボ ックス内) | 200 ml | " | 水酸化カルシウム、リン酸沈殿 | グローブボックス | 有 | 1回／ 6ヶ月 | " | |
| | ③ ウラン滴定 廃 液 | ポリビン (20 ℥) | B棟 R-108 | 30 ℥ | " | " | 廃液処理装置 | 有 | 1回／年 | " | |

| 部課室名 | 分析廃液名 | 廃 液 保 管 法 | | | 保管上の問題点 | 廃 液 の 处 理 法 | | | | | 開発中の内容と開発すべきと思う事項(処理法) |
|----------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------|--|--|------------------|-------|--------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| | | 保管容器 | 保管場所 | 現 在 保管量 | | 方 法 | 主な装置法 | マニュアル の有無 | 処理の頻度 | 処理上の問題点 | |
| 技術部 CPF | ① 分析廃液 | ベッセル ポリビン 2ℓポリビン 2ℓポリビン | CA 5 セル 実験室 B 分析室 | 水 75ℓ 有 5ℓ 水 15ℓ 有 1ℓ 水 1ℓ 有 0.5ℓ | ○一時保管容器 (ポリ製)の劣化 ○保管場所と廃液 処理スペースが ない | | | | | | ○分析廃液から Pu, Uを回収 する方法(廃 液よりPu, U を回収すれば 地下廃液貯槽 へ廃液移送が 可能となる) |
| プル燃部 品 質 管 理 課 | ① F分析廃液 ② Cl分析廃液 | ポリ細口ビ ン(3ℓ)を ビニール袋 で養生 | 核物質貯蔵 庫(第2開 発室) | | 長期保存により ポリ細口ビンの材 質が劣化しもれる 可能性がある。又 温度が上昇すると ポリ細口ビン内圧 が上昇し、もれる 可能性がある。 | アルカリによる 凝集沈殿法 | | 無 | アセトン, ALC 等の有機物を含 有する | F分析廃液と Cl " の同 時処理法の開発 | |

| 部課室名 | 分析廃液名 | 廃 液 保 管 量 | | | 保管上の問題点 | 廃 液 廃 液 法 | | | | | 開発中の内容と開発すべきと思う事項(処理法) |
|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------|---|-------------------------|-------|--------------|------------|-----------------|---------------------------|
| | | 保管容器 | 保管場所 | 現 在 保管量 | | 方 法 | 主な装置名 | マニュアル の有無 | 処理の 頻 度 | 処理上の問題点 | |
| プル燃部 品 質 管 理 課 | ③ 蒸発性不純 物分析装置、 水銀拡散ポン プ冷却用廃液 | ポリ細口ビ ン(3ℓ)を ビニール袋 で養生 | 核物質貯蔵 庫(第2開 発室) | | ①～③については $10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ 以下であればそのまま排出可能 ④ N分析廃液 ⑤ Pu, U分析 装 置 | | | | | | |
| | ④ N分析廃液 | ポリ細口ビ ン(3ℓ)を ビニール袋 で養生 | | | 廃液が強アルカ リであるため、長 期保存によりポリ 細口ビンの材質が 劣化し、もれる可 能性がある。 | 汎過による沈殿 分離-乾燥廃棄 法 | | 無 | | 汎液の放射能濃 度が高い | マイクロ波加熱 装置による汎液 の減容 |
| | ⑤ Pu, U分析 装 置 | ポリ細口ビ ン(3ℓ)を ビニール袋 で養生 | | | 長期保存により ポリ細口ビンの材 質が劣化しもれる 可能性がある。 | アルカリ凝集沈 殿法-乾燥廃棄 法 | | 無 | | | マイクロ波加熱 装置による汎液 の減容 |
| 転換部 運転課 | ① 蒸留済み廃 液 | 2ℓポリ容器 | グローブボ ックス内 | 2ℓ | 内圧上昇による破 損 | | | | | | |
| | ② 測定後廃液 | 2ℓポリ容器 | " | 2ℓ | " | | | | | | |

| 部課室名 | 分析廃液名 | 廃 液 保 管 法 | | | 保管上の問題点 | 廃 液 处 理 法 | | | | | 開発中の内容と開発すべきと思う事項(処理法) |
|------------|--|-------------------|------------------|------------|------------------------------------|---|--------|---------------|-------|---------|------------------------|
| | | 保管容器 | 保管場所 | 現 在 保管量 | | 方 法 | 主な装置名 | マニュアル の有 無 | 処理の頻度 | 処理上の問題点 | |
| 転換部 運転課 | ③ H ⁺ , OH ⁻ 分析廃液 | 1ℓポリビン | グローブボックス内 | 3ℓ | ポリビンの劣化, ひび割れ ポリビンの内圧上昇による破損 | | | | | | |
| | | ④ ウラン吸光 廃液 | ポリビン1ℓ ポリビン1ℓ | グローブボックス内 | 2ℓ | 保管場所が無くなる | | | | | |
| | | ⑤ ウラン滴定 分析廃液 | ポリビン1ℓ | グローブボックス内 | 13ℓ | ポリビン保管の為 内圧の上昇による 破損の危険がある グローブボックス 内保管の為その量 にも限度がある | | | | | |
| | | ⑥ 重クロム酸 カリウム廃液 | ポリビン1ℓ | 分析室 | 10ℓ | 内圧によるポリビンの破損 | | | | | |
| | | ⑦ F, Cl 分析 廃液 | ポリビン1ℓ | グローブボックス内 | 1ℓ | 特になし | 廃棄物処理係 | 無 | 1回/2週 | 特になし | |

| 部課室名 | 分析廃液名 | 廃 液 保 管 法 | | | 保管上の問題点 | 廃 液 处 理 法 | | | | | 開発中の内容と開発すべきと思う事項(処理法) |
|------------|--------------------------|---------------|-----------|------------|---------------------|----------------------------|-------|--------------|-------|-----------------------|--|
| | | 保管容器 | 保管場所 | 現 在 保管量 | | 方 法 | 主な装置名 | マニュアル の有無 | 処理の頻度 | 処理上の問題点 | |
| 転換部 運転課 | ⑧ 不純物分離 処理廃液 | ビーカー 1ℓ | フード内 | 0.5 ℓ | ポリ容器よりSUS 容器がベター | 逆抽出によるU の分離 (アルカリ洗浄) | 分液ロート | 無 検討中 | 適 宜 | 抽出法を行うことにより廃液が6倍位に増える | 分離後の有機溶媒処理をどうするか。 微量の有機溶媒を含め逆抽出水溶液の処理 |
| | ⑨ ウラン蛍光 X線分析廃液 | 500mℓ ポリびん | グローブボックス内 | 4 ℓ | 特になし | | | 無 | | | |
| | ⑩ ウラン溶液 中のFe分析 の廃液 | 1ℓポリビン | グローブボックス内 | 3 ℓ | 特になし | | | 無 | | | |

5-3 分析廃液の現状調査-3

分析廃液の処理法の調査として分析関係の研究所を中心にして、どんな処理法によって一般実験室廃液およびウラン廃液を処理しているか、また一般に市販されている廃水処理装置にはどんなものがあるかを調査し、一覧表-3~4にまとめた。その結果を要約すると次のようになる。

(1) 要 約

1) 各研究所で行っている処理法

- (1) 一般実験室廃液は組成別に貯留し、アルカリ、還元剤、酸化剤を添加した沈殿分離法及び消石灰中和沈殿法等によって、上澄液を分離し処理を行っている。
- (2) 施設全域の実験室廃液、手洗い水などすべての廃液を集め、アルカリ中和後、上澄液を希釀法によって規制値以下とし排水する混合廃液一括処理法を用いている。
- (3) ウラン含廃液については別途収集し、消石灰、水酸化ナトリウム等を添加して中和し、沈殿物を分離乾燥後固体放射性廃棄物として保管している。

2) 市販されている廃液処理装置

- (1) 無機系廃液の処理法としては凝集沈殿法、フェライト法、各種処理剤を添加する一括同時処理法、水酸化物共沈法及び蒸発乾固式処理法を利用した処理装置が市販されている。また水銀などにキレート樹脂吸着法の専用装置もある。
有機溶媒系廃液には噴霧焼却法が一般的である。

(2) 調査結果と問題点

- 1) 廃液組成ごとに収集し、水酸化物共沈法による分離が主体的であるが、専門業者に依頼する方法も多く取られている。
- 2) ウラン系廃液の処理法については情報収集できた研究所のウラン取扱量が極く微量であり、ビーカー規模の処理法で十分であり、あまり参考にならなかった。
- 3) 市販されている主な廃液処理装置は重金属系、カドミウム、水銀、ひ素など公害規制物質に関しては、ほとんどが装置化され一般に市販されている。また一括同時処理装置が市販されているが装置が大型になること、ウラン等核物質を含む処理法としては考慮されていない。従って市販品の適用性の検討及び装置の改造あるいは専用機の開発が必要となってくる。

表-3 分析廃液の現状調査-3（各研究所の情報収集）

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点、長所、欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|--------------------------|---|----------|-------------------------|----|------------------------------------|---|------------------|---------------|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 組成別処理法 (一般実験室廃液) | 廃液の組成ごとに20ℓボリビンに貯留し(フッ酸, NH_4 , 酸, アルカリ, Cr^{6+} , 油等)アルカリ, 還元剤, 酸化剤等を添加し, 沈殿物を生成させ分離後保管する。又は業者に引き渡す。 | 無機 有機 | 実験室廃液全般(酸, アルカリ, 重金属など) | | 不明 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 廃液組成および濃度によって所内処理又は業者引渡しを区別している。 ○ 廃液処理を専門に行っている(研究所2~3人) | | M社 (中央研究所) |
| 組成別処理法 (一般実験室廃液) | 廃液の組成ごとに貯留し, 各実験室ごとに組成に応じて個別処理をする。(所内処理又は業者依頼) | 無機 有機 | " | | 不明 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 各実験室毎に個別処理 ○ 業者依頼もある | | G社 (研究所) |
| 混合排液一括同時処理法 (一般実験室廃液) | 施設全域の実験室廃液, 手洗い水などすべての廃液をシックナー($4m \times 4m$)に貯留し, アルカリ中和後, 上澄液を排水する。沈殿物は工場内保管。 | 無機 | 施設内の全廃液 | | シックナー, 中和装置, 沈殿物取出し装置等を組み込んだ一括処理装置 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 沈殿処理後の排水は希釀法によって規制値以下とし放出 ○ 水銀, Cr^{6+}等特殊なものは個別処理を行なう(大部分が①) | | K社 |

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点、長所、欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|--------------------------|---|-------|----------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|----------------|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 消石灰中和沈殿物処理法 (一般実験室廃液) | 廃液タンクに貯留後、消石灰を添加、中和したのち(くり返す)沈殿物と上澄液を分離し、スラッジを保管する。 | 無 機 | 実験室廃液全般 | | 廃液タンク、中和槽、沈殿槽、滞留槽、脱水機 | ・フッ素除去用工程を追加できる | | S 社 (中央技研) |
| 中和沈殿処理法(ウラン廃液) | ウラン廃液をポリビン(20ℓ)に貯留し、NaOH溶液を加えて中和し、沈殿物を分離し保管する。又は濃縮保管する。 | 無 機 | ウランを含む廃液 | | 沈殿汎過装置など | | | M 社 (中央研究所) |
| 希釈処理法 (ウラン廃液) | 大量の水で希釈し排水する | 無 機 | ウランを含む廃液 | 極微量 ($\mu\text{g}\text{オーダー}$) | | | | S社, K社 |
| ウラン系一括処理法(ウラン廃液) | ウランを含む廃液はすべてホットタンクに一時貯留し、タンクロリーで廃液処理場に運び処理する。 | 無 機 | ウランを含む廃液 | 多～少 | 処理法不明 | | | G 社 |

表 - 4 分析廃液の現状調査 - 3 (市販の処理装置)

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な 装置器具等 | 特記事項 問題点、長所、 欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|-------------------|---|--------------|--|----|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 高速凝集沈殿装置 | 凝集剤添加と搅拌による電気、化学、物理的な力を総合した作用を一つの装置にまとめたもの | 無 機 | 一般実験室廃液 | | 反応槽、搅拌機 回転計、処理水槽 注入定置ポンプ等 | ○全自動化により 無人連続可能 | 60 ℓ/h | 朝日理化工業KK TEL 0426-42-7568 |
| 一括処理排水装置 | 反応沈殿槽に酸、酸化剤、凝集剤、還元剤、アルカリ等を加え、沈殿分離、沪過筒、活性炭吸着筒を組み込み全排水を一括処理する | 無 機 有機化合物 | Cd, CN, Pb Cr ⁶⁺ , As, Hg, PCB, 有機リン化合物 | | 薬品貯槽、反応沈殿槽、沪過筒、活性炭吸着筒、流量計、PH指示調節計など | ○混合排液を一括 処理でき分別収集必要なし ○錯体化合物も可 ○自動式 | 50 $\ell/\text{回}$ | 寿工業KK 03-271-4661 330万 |
| 排水処理装置 (サンケー式) | 排水中に含まれる有害物質の種類と濃度を推定し、処理方式を選定(中和・廃棄・還元・酸化・活性炭・沪過...)できる30種類以上の装置で処理する。 | 無 機 有機リン | Cd, Pb, As, Zn, Cu, Mn, Fe, Cr, CN Hg | | 反応沈殿槽(中和・凝集・酸化・還元)沪過筒、活性炭筒、陰イオン樹脂筒、キレット樹脂筒など | ○有害物質の種類 濃度等によって 機種を選ぶ ○自動式、自動バック式、手動式 | 30~1000 ℓ/h | 同 上 300~500万 |
| フェライト処理法 | 多種の重金属をフェライトの構成物質として一度に取り込んで沈殿分離する一括処理法 | 無 機 | Cu, Cd, Fe, Cr, Ni, Pb, Zn, As, Mn など | | 反応槽、空気スター搅拌装置、ヒーター、PH指示計、沪過装置など | ○多種の金属を一括処理 ○Cr ⁶⁺ も処理 | 40~50 $\ell/1\text{回} 3\text{ h}$ | ヤマト科学KK 0292-73-(勝田) 5651 180万 |

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点、長所、欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|----------|--|-------|---|----|---------------------------------|--|------------------------------------|---|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 沈殿沪過処理法 | 沈殿剤の種類、量を排液の条件に応じて選択し、重金属を沈殿させ、分離処理する。 | 無 機 | Cu, Fe, Ni, Zn, Mn, Cd Cr, Pb, As | | 反応槽、空気スター搅拌装置、ヒーター、PH指示計、沪過装置など | ○排水の発生源で簡単に処理ができる ○反応槽を廃液保管に使用できる | 5~10 $\ell/1\text{回}$ 2~5 hr | ヤマト科学KK TEL 0292-73-(勝田) 5651 98万 |
| 水銀排液処理装置 | 水銀だけを選択的に吸着するキレート樹脂を用いた水銀専用処理装置 | 無 機 | Hg | | 排液処理タンク、キレート樹脂筒、送入ポンプ等 | ○5 ppb 以下に処理可能 ○樹脂の寿命が長く経済的(100 ppb, Hg-50 ℓ を30回可) ○樹脂交換容易 | 50 $\ell/3\text{ h}$ | 同上 約35万 |
| 沈殿分離処理法 | 廃液を中和-沈殿一分離のフロー方式 | 無 機 | 一般実験室廃液 | | 反応槽、攪拌機、沪過器、PH調節計など | ○多様化した廃液処理を規格化した ○連続式、バッチ式あり ○メッキ工場、金属処理工場でも可能で産業廃棄物の処理に適す | 500~ 10000 ℓ/h | 株三英製作所 03-267-2111 500万~1200万 |

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点、長所、欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|--------------|--|----------|---|----|-------------------------------------|--|------------------|---|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| フェライト処理法 | 小規模多種類の重金属を含む廃水を一度に完全フェライト化し、沈殿物を分離する。 | 無機 | Cr, Hg, Ca, V, Fe, Mn, Ni, Co, Sn, Cu, Pb, As, Ti, Zn 他 | | 反応槽、搅拌機, PH指示計, 沖過器など | <ul style="list-style-type: none"> ○多種金属を一括処理可, Cr⁶⁺も可能 ○処理効率が高い ○操作簡単 | 60~150 ℓ | 佛宮本製作所 TEL 06-351-0412 150~400万 |
| 蒸発乾固式廃液処理装置 | 回転する加熱ドラムに廃液を付着させ瞬間蒸発乾固を連続的に乾燥一括取り一回収を行う。(組成別に) | 無機 有機 | 重金属, 無機 有機 | | 電熱又は蒸気加熱 回転ドラム | <ul style="list-style-type: none"> ○個別のグループ的に発生源で処理 ○すべての実験室廃液を処理可 | 2~4 ℓ/h | 佛明峰社製作所 03-861-1471 約270万 |
| 放射性有機廃液焼却装置 | 廃液(液廃液)をLPG等を補助熱源とし、ガスバーナーで焼却炉内で完全燃焼させる。排ガスは冷却、洗浄しダストによって排気する。 | 有機 | 液シン廃液 (キシレン、トリメチルベンゼン、界面活性剤、トルエン等) | | 廃液タンク、廃液定量ポンプ、ガスバーナー、空気ファン、燃焼安全制御装置 | <ul style="list-style-type: none"> ○科技庁の放射性有機廃液の焼却に関する安全指針に基づき製作 ○多種類の廃液の焼却に最適 ○完全燃焼で安全性が抜群 ○水分が含んでも可能 | 0.3~0.5 ℓ/h | 朝日ライフサイエンスKK 03-265-5031 580~800万 |
| RI用有機溶剤廃液焼却機 | 廃液(液シン廃液)を強制通風燃焼式による焼却炉内で | 有機 | 液シン廃液 (トルエン、 | | 廃液タンク、炉内加熱装置(カート) | <ul style="list-style-type: none"> ○安定な完全燃焼 ○細部にわたる完全機構 | 1.5 ℓ/h | ヤマト科学KK 0292-73-5651 |

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点、長所、欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|---------------|--|-------|--|----|--|---|------------------|---------------|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 有機溶剤廃液 焼却機 | 完全燃焼させる。燃焼ガスは多管式熱交換器で冷却し、ダストによって排気する。 有機溶剤や廃油を二次燃焼方式による燃焼室で完全燃焼させる。排煙浄化装置で酸性ガス等を除去する。 | 有機 | エタノールなど) 可燃性有機溶剤、シリコンオイル、真空ポンプ廃油、可燃性固体物 | | リッジヒーター) 送風機、排ガス冷却装置 強制送風自己二次燃焼装置 廃油供給ポンプ 安全装置 | ○逆火を遮断した構造 ○効率の良い二次燃焼方式（一次で発生した燃焼ガスを二次室で再燃焼） | 8 ℓ/h | 約 540 万 同上 |

表-5 分析廃液の現状調査-3(文献調査)

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点・長所・欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|---------|---|-------|-------|----|------------------------|---|------------------|---------------|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 凝集処理法 | Fe ³⁺ , Al ³⁺ などの金属水酸化物により凝集し除去する。対象となる粒子の大きさは1mm~1μmの範囲にある。金属の代わりに高分子有機凝集剤を使ったり、また併用すると効果がある場合がある。 | | (色) | | 反応槽, 沈殿分離槽, シックナー, 沔過器 | 凝集剤の極性, 不純物の種類, 表面の性質, 粒度, 濃度, 温度, PHなどについて注意を要する。 | | ○図説公害防止ハンドブック |
| 吸着処理法 | (a) イオン交換体:異極性及び同極性吸着により色素を吸着除去する。 (b) 活性炭:同極性吸着により色素を活性炭表面に吸着させることにより除去する。粉末活性炭を凝集剤と併用することもある。 | | (色) | | 吸着塔, 再生塔 | 被吸着物質の極性, 濃度, 粒度, PH, 温度及び吸着剤の極性, 粒度, 細孔分布, 吸着能力などを考慮し, 最適のものを選ぶ。 | | ○図説公害防止ハンドブック |
| アルカリ塩素法 | メッキ工場排水の処理に広く使用されているものでアルカリ性にして塩素を注入してシアンを酸化分解する方法 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftarrow \text{HClO} + \text{HCl}$ $\text{CN}^- + \text{HClO} \rightarrow \text{CNCI} + \text{OH}^-$ | | CN化合物 | | | | | ○公害防止の技術と法規 |

| 処理方法 | 処理法の概要 | 適用範囲 | | | 処理に必要な装置器具等 | 特記事項 問題点・長所、欠点等 | 処理能力 ℓ/h | 参考文献 |
|------------|--|-------|-------|--|---------------------|---|------------------|------------------------------|
| | | 無機・有機 | 対象物質 | 濃度 | | | | |
| 紺青法(凝聚沈殿法) | (全PH域) $CNCl + OH^- \rightarrow Cl^- + HOCl$ (> PH10) シアン排水中に Fe, Co, Ni が含まれると安定な錯塩を形成するので、このような排水に対してはこれらの錯塩を利用して難溶性塩を生成させ、凝聚沈殿法によって沈殿除去する。 | | CN化合物 | 原水 PH 10.7 T-CN 264 ppm CN 190 ppm T-Fe 21 ppm ↓ 処理水 PH 5.6 | | PHの調整とCNとの反応によるFe塩($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)の添加量の制御が重要。 | | ◦公害防止の技術と法規 |
| 酸化物凝聚沈殿法 | Na_2S と $FeSO_4$ を添加により生成した HgS の沈殿として除去する。 | | Hg | T-CN < 0.02 ppm T-Fe 1.0 ppm | 反応槽、沈殿分離槽、シックナー、汚過器 | 酸化剤的作用をもつものがあると、この影響をうけて溶出してくることがある。 | | ◦図説公害防止ハンドブック ◦公害防止の技術と法規 |

5-4 分析廃液の現状調査-4

分析廃液の現状調査-1～3について調査検討し、現状把握及び情報交換を行ない、各施設の廃液組成に応じて最も適当と思われる廃液処理法は何かを各施設ごとに検討し、表-6に示した。この内容及び開発状況を各施設ごとにまとめると次のようになる。

1) 技術部 ATD (A棟及びB棟)

- (1) ウラン系廃液については重ウラン酸ナトリウム沈殿分離-乾燥廃棄法が適当で、すでに作業マニュアルもあり定常化されている。
- (2) ガラス分析廃液などの重金属系廃液はフェライト法によってウランと同時処理法が可能ですべて検討を始め、ほぼ確立している。
- (3) フッ酸系廃液は水酸化カルシウム・リン酸沈殿法によって、ウラン、重金属も含めた同時処理法を検討中である。
- (4) プルトニウム-ウラン廃液は水酸化カルシウム・リン酸沈殿法によって処理しているが、今後はある程度自動化したグローブボックス用処理装置の検討が必要である。
- (5) 有機溶媒の処理法については希釈廃棄をしているのが現状であるが、取扱い量、公害規制等の動向を考慮すると、今後は焼却法等による処理法について検討する必要がある。

2) 技術部 ATD (CPR)

- (1) CPF施設A系列には高レベル廃液貯槽 $4.5 m^3$ 2基と中レベル廃液貯槽 $7.5 m^3$ 2基と低レベル廃液貯槽 $5 m^3$ 1基、廃溶媒貯槽 $5 m^3$ 2基があり、分析廃液より Pu, Uを回収すれば廃液貯槽への移送が可能となるため廃液より Pu, Uを回収する方法の検討が必要となる。また分析廃液の減容化を計るため現在実施しているエアー攪拌法による減容措置を継続するとともに、減容液に $Ca(OH)_2$ 等を添加し固化乾燥し固体として保管することも検討したい。

3) プル燃部品質管理課

- (1) F・Cl分析廃液中には有機物、過塩素酸等が含まれており処理が困難なため、現在は放射能レベル測定後希釈排出している。しかし今後、有機物、過塩素酸等危険因子を含む廃液を出さない事を前提として分析法を検討して行く必要があり、現在その作業を進めている。
- (2) N分析廃液は、強アルカリ性であるため、Pu・Uあるいは他の金属は、ある程度のレベルまで水酸化物の沈殿を形成している。しかしながら沪過後の沪液処理は、現在プル燃部廃棄物処理課で検討を行っているマイクロ波乾燥装置の稼動に依らざるを得ない。現在は、乾式分析法を開発し運転を行っているため廃液の発生はない。
- (3) Gas分析冷却水廃液は、水が溶けただけの溶液なので放射能レベルを測定後希釈排出している。
- (4) Pu・U分析廃液は、 Fe^{2+} 還元、凝集沈殿処理後、沪液を(2)で説明したマイクロ波乾燥

法により処理する方法が最も特策と考える。

上記(2), (4)に示した分析廃液処理については必ずしもマイクロ波乾燥法が確立した訳ではないので、今後自動化を考慮したグローブボックス用廃液処理装置の検討が必要である。（例えばドラムドライヤー法）

4) 転換技術開発部運転課

- (1) F・Cl分析廃液はイオン電極法での廃液であり、NaOHを含んだだけの廃液であるため、そのまま廃液処理工程に流している。
- (2) N分析廃液は塩酸、水銀等を含むために、工程廃液として流せないため BOX 内保管となっている。
- (3) X線分析廃液は完全な硝酸系ではあるが Pu-Uが高濃度のため中和沈殿処理後、沪液を廃液処理工程へ流している。
- (4) 電位差滴定廃液、吸光分析廃液は処理方法がまだ確立されていないため、廃液処理工程に流せる様に、中和沈殿、凝集沈殿処理を行っており、処理が追いつかないため廃液がたまる傾向にある。

転換部運転課としては分析工程の一部に廃液一次処理としてマイクロ波加熱装置が使用できるよう設計されているため、これを用いて分析廃液が処理できる様な方向で検討を行っていく。

表 - 6 分析廃液の現状調査 - 4

| 施設名 | 廃液名または廃液組成 | 適当と思われる処理方法 | 必要な装置等 | 処理能力 | 必要な開発項目 | 開発の進め方 |
|--------------------|---|---|---|--|--|---|
| 技術部分析技術開発室 (A棟) | 1. ウラン分析廃液 (滴定～U, Ti, Fe, K, Cr, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ ……) 2. ウラン分析廃液 (H ₂ O ₂ 系～U, NaH ₂ O ₂ …) 3. ウラン分析廃液 (フッ素系～U, HF …) 4. ウラン分析廃液 (TBP系～TBP, ケロシン, ドデカン四塩化炭素, クロロホルム …) 5. ガラス分析廃液 (HF, Cr, Ca, Fe, Cu, Mn, Mg …) Si, S, Na, Mo … 6. ジルコニウム合金分析廃液 (Cr, Fe, HF, …) Zr, Sn, Ni, Fe | 重ウラン酸ナトリウム沈殿分離－乾燥廃棄 " " " " " " " " " フェライト化分離－乾燥廃棄法 " | 重金属廃液処理装置 (ヤマト EF型) " " " " " " 有機溶剤廃液焼却機 重金属廃液処理装置 (ヤマト EF型) | 40～50ℓ/ 1回, 8 h " " " 8 ℓ/h 40～50 ℓ/1回, 8 h | <ul style="list-style-type: none"> ○ 各種有機溶媒（使用試薬）の燃焼試験～完全燃焼試験、安全性、排煙浄化等 ○ フェライト法によるウラン処理法の検討（重金属と同時処理） | 作業マニュアル作成済 " " " 装置の調査、購入試験 ピーカーテストによる諸条件の検討 (A棟) |

| 施設名 | 廃液名または廃液組成 | 適当と思われる処理方法 | 必要な装置等 | 処理能力 | 必要な開発項目 | 開発の進め方 |
|-------------------------|--|---|---|--|---|------------------------------|
| | 7. ステンレス鋼等分析廃液 (Fe, Cr, Mn, HN O, HCl, H ₂ SO ₄ ...) Ni, Co, Si, Mo ... 8. フッ素系分析廃液 (HF, ...) | フェライト化分離－ 乾燥廃棄法 水酸化カルシウム沈 殿分離－乾燥廃棄 | 重金属廃液処理装置 (ヤマトEF型) 処理装置(自家製－ 製作中) | 40～50 ℓ/1回, 8 h 20 ℓ /1回, 6 h | ◦ フェライト法によるウラン 処理法の検討(重金属と同時 処理) ◦ 水酸化カルシウム・リン酸 沈殿法による重金属の処理法 の検討(U, F, 重金属の同 時処理法) | ビーカーテストに よる諸条件の検討 (A棟) |
| 技術部分析技 術開発室 (B棟) | 1. ウラン分析廃液 (同位体組成～U, HNO ₃) 2. プルトニウム・ウラ ン分析廃液 (同位組組成～Pu, U, Am...) 3. ウラン分析廃液 (滴定～U, Fe, V, Mo, H ₃ PO ₄ , K ₂ Cr ₂ C ₇ ...) | 重ウラン酸ナトリウ ム沈殿分離－乾燥廃棄 水酸化カルシウム、 リン酸沈殿－乾燥廃棄 " | 重金属廃液処理装置 (ヤマトEF型) 特になし(バット等) 廃液処理装置(サン ケー式, ALS-10型) | 40～50 ℓ /1回, 8 h 1 ℓ/1回, 4 h 20 ℓ /1回, 8 h | ◦ 処理条件の再検討とG•B用 処理装置の製作 | 処理装置の設計、 製作, 条件検討 |
| 技術部分析技 術開発室 (CPF) | 分析廃液 | (1) 廃液よりPu, Uを 回収後既設廃液貯槽 へ移送する (2) エア－搅拌による 減容 | 沪過処理器具 グローブボックス (エアーポンプ) セル(なし) | 未検討 ~5 ℓ/週 | ◦ Pu, U回収方法の選択 ◦ 減容後の固化法 | |

| 施設名 | 廃液名または廃液組成 | 適当と思われる処理方法 | 必要な装置等 | 処理能力 | 必要な開発項目 | 開発の進め方 |
|-----------------|--|---|---|------|--|---------------------|
| Pu燃品部品 管理分析係 | 1. F, Cl 分析廃液 $(\text{CH}_3\text{COO})_4\text{NH}_4\text{OH}$ HCl HClO_4 $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ CH_3COONa $\text{PH} = 1.2$) | アルカリ凝集沈殿法 (NaOHによる方法) | 凝集沈殿槽 | | | イオンクロマトグラ フィーの検討 |
| | 2. N 分析廃液 | 沈殿分離（汎過） \downarrow 酸性 \downarrow Fe^{3+} 添加 \downarrow アルカリ凝集 \downarrow 沈殿分離（汎過） \downarrow 活性炭吸着 希釈放流 $(10^{-7} \mu\text{Ci/cm}^3$ 以下の 場合) | 汎過器 [プレスフィルター] [ドラムフィルター] PH調製槽 吸着塔 | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 活性炭の吸着条件 除染係数がどのくらい高められるか ◦ マイクロ波乾燥法の検討 | 乾式法に移行 |
| | 3. GaS分析冷却用廃液 | | | | | |
| | 4. Pu分析廃液 | Fe^{2+} 添加凝集沈殿、 活性炭吸着法 | PH調製槽 汎過器 活性炭吸着塔 | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 活性炭吸着による除染効率の検討 ◦ 活性炭吸着の条件検討 | |

| 施設名 | 廃液名または廃液組成 | 適当と思われる処理方法 | 必要な装置等 | 処理能力 | 必要な開発項目 | 開発の進め方 |
|-----------------|--|---------------------|--------------|------|---|---|
| 転換部運転課 品質管理係 | 1. U分析廃液 | 重ウラン酸ナトリウム沈殿分離－乾燥廃棄 | | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ Fe^{2+} 添加量の検討 ◦ マイクロ波乾燥法の検討 | |
| 転換施設 | 1. デービスグレイ法廃液 2. N分析廃液 3. U吸光分析廃液 4. F, Cl分析廃液 5. X線分析廃液 | マイクロ波加熱処理 | マイクロ波(電子レンジ) | | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 安全性 ◦ 廃液の減容、固化後の処理 ◦ ヒュームの処理法 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ コールドで安全性、処理能力の検討を行なう。 |

6-1 ウラン・重金属廃液同時処理法 (フェライト化処理)

6-1-1 実験期間

昭和 58 年 9 月 27 日～昭和 58 年 11 月 1 日

6-1-2 目的

分析技術開発室で発生する分析済ウラン含有重金属廃液中のウランおよび重金属の同時処理法の確立を目的とする。

6-1-3 要旨

分析済廃液（ウラン重金属含有廃液）中のウランと重金属の同時処理を行うためにヤマト化学社製のフェライト化処理法による重金属排液処理装置を購入し指定の処理法に従って処理を行った結果ウランの処理効率が非常に悪かった。そこでウランと重金属の処理について最適処理剂量、最適 pH 値、最適処理濃度および同時処理可能な元素の確認等について検討しウラン、重金属同時処理法を確立した。

6-1-4 解決すべき検討項目

- 1) 硫酸第 1 鉄の添加量による影響
- 2) PH 値によるフェライト化の影響
- 3) 溶液の温度変化による影響
- 4) フェライト処理可能な金属の選定
- 5) 他金属元素の同時処理
- 6) ウラン濃度による影響
- 7) 錯イオン等による影響

6-1-5 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム (50 %)
- 2) 硫酸第 1 鉄
- 3) 塩酸 (1 + 1, 1 + 4)
- 4) 凝集硬化剤 (ヤマト化学 K・K 社製)
- 5) 沂紙 (18 cm 5 B)
- 6) ロート (ガラス製)
- 7) マグネットスター (ホットプレート付)

6-1-6 検討結果

(1) 処理剤(硫酸第1鉄)の添加量による影響

ウラン(8000 PPM)を含有する廃液をコニカルビーカー(500 ml)に採取し、処理剤(硫酸第1鉄)を10~40%添加し、その時の電位を測定し、電位と酸化時間の関係から、処理剤の最適添加量を検討し、図-1に示した。

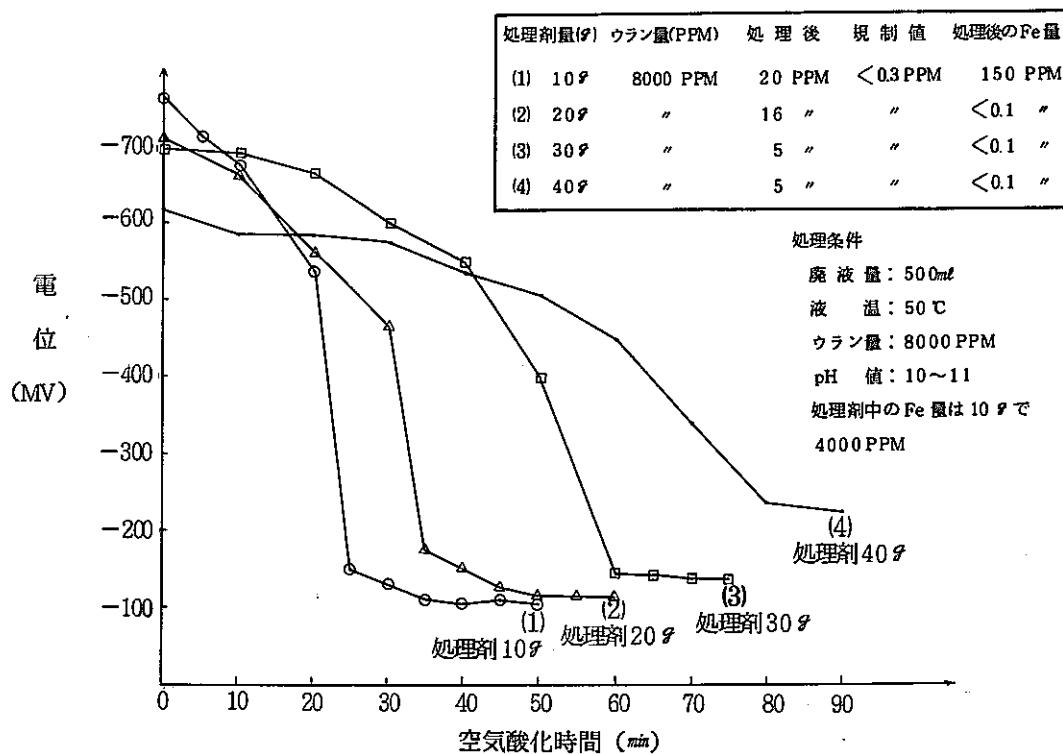


図-1 処理剤の添加量による影響

図-1に示すように処理剤量が多くなると酸化時間も長くなり、フェライトの沈殿量も多く発生する。またウラン量との関係もあるが、処理剤が少ないとウランの処理効率も悪くなるので、処理効率と沈殿物の発生量から、ウラン約800 PPMの時は処理剤20%が適当である。

(2) pH値によるフェライト化の影響

ウラン(5000 PPM)を含有する廃液をコニカルビーカー(500 ml)に採取し、処理剤20%を添加後、pH 7~12に変化させpHによるウラン及び鉄のフェライト化を検討し、図-2及び3に示した。

図-2及び3に示すようにpH 11以上になると処理後のウラン残量が少くなり、また鉄量も同様に少くなる。従ってpHの調整はpH 11~12にすることにした。

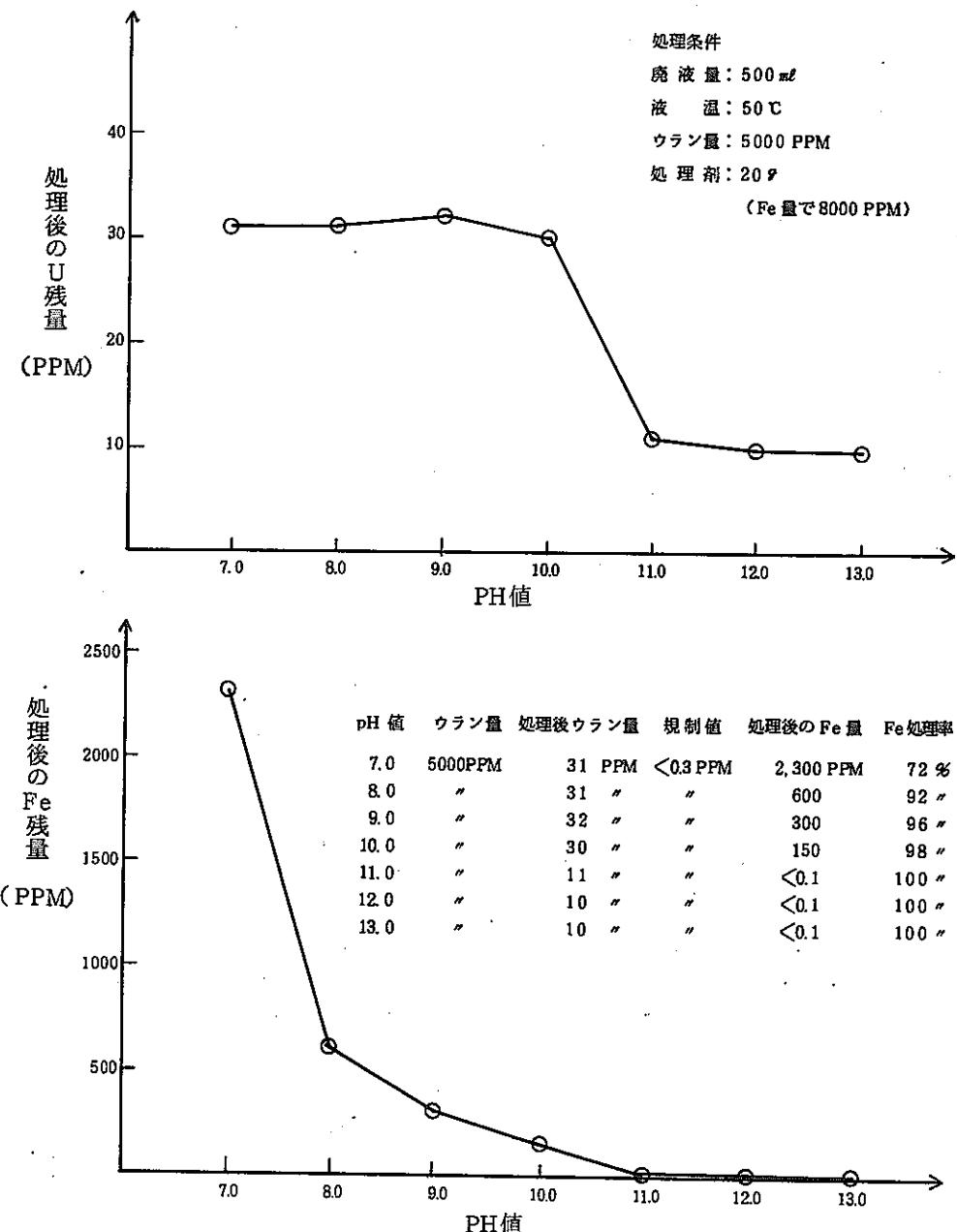


図-3 pH 値によるフェライト化の影響（鉄）

(3) 溶液の温度変化による影響

ウラン含有量 5,000 PPMにおいて、処理剤 20 g, pH 11 ~ 12 に調整し、この時の液温を 30 °C ~ 60 °C に変化させ、液温によるウラン及び鉄の処理効率を検討した。この結果を表-1 に示したが、液温は 30 °C 以上でフェライト生成は良好であるが、処理剤の溶解や酸化状態を考慮して、処理時の液温を 50 °C ~ 60 °C にすることにした。

表-1 溶液の温度変化による影響

| 液温 | ウラン量(PPM) | 処理後U量(PPM) | 規制値 | 処理後Fe量(PPM) |
|------|-----------|------------|----------|-------------|
| 30 ℃ | 5000 PPM | 2.5 PPM | <0.3 PPM | <0.1 PPM |
| 40 ℃ | " | <0.3 " | " | " |
| 50 ℃ | " | 4.3 " | " | " |
| 60 ℃ | " | 2.3 " | " | " |

。pH 11～12。。処理剤 20 ‰。

(4) 他金属の同時処理

表-2 に示すように模擬廃液を調製し、前述の検討結果からの条件において、他金属元素の処理の可能性について検討した。表-2 から判断して、アルカリ金属及びモリブデンアルミニウムなど一部が処理できないが、大部分の金属元素はウランと一緒に処理できることがわかった。

表-2 他金属の同時処理

| 元素名 | 規制値 | 添加濃度 | 処理後の濃度 |
|------------------|----------|----------|--------|
| U | <0.3 PPM | 5000 PPM | PPM |
| Fe | <10 " | 2000 " | 0.1 " |
| Co | | 350 " | 0.1 " |
| Li | | 700 " | 687 " |
| Zn | < 3 " | 350 " | 0.3 " |
| Pd | | 350 " | 1.5 " |
| Ni | < 1 " | 500 " | 0.5 " |
| K | | 50 " | 5.0 " |
| Cu | < 3 " | 500 " | 0.05 " |
| Cr | < 2 " | 1000 " | 0.02 " |
| Cr ⁶⁺ | <0.5 " | 500 " | 0.02 " |
| Mn | <10 " | 500 " | 0.06 " |
| Cd | <0.1 " | 500 " | 0.08 " |
| Pb | < 1 " | 400 " | 0.07 " |
| Mo | | 500 " | 514 " |
| Mg | | 500 " | 0.07 " |
| Sn | | 500 " | 4.2 " |
| Ti | | 500 " | 0.07 " |
| Zr | | 500 " | — |
| Al | | 500 " | 112 " |

他金属の同時処理について、更に詳しく、検討するため、ウランを常に 2000 PPM とし、排出規制の対象になっている 8 元素について、濃度を変化させ同一条件のもとで処理し、処理状況を確認した。表-3 に示すように、Zn, Cu, Ni は 2000 PPM 以下で、Cr, Cd, Pb は 1000 PPM 以上で、Fe, Mn は 3000 PPM 以下の溶液で処理したほうが処理効率が良くなり、これら 8 元素すべてがウランと同時処理できる。

表-3 他元素の同時処理

| 元素名 | 添加濃度 | 処理後の濃度 | 処理率 | 規制値 |
|-----|----------|----------|-------|-----------|
| Zn | 1000 PPM | 0.03 PPM | 100 % | < 3 PPM |
| | 2000 " | 0.03 " | 100 " | " |
| | 3000 " | 21.7 " | 99 " | " |
| | 4000 " | 62.7 " | 98 " | " |
| Cr | 500 " | 0.02 " | 100 % | < 2 PPM |
| | 1000 " | 0.10 " | 100 " | " |
| | 2000 " | 31.1 " | 98 " | " |
| Fe | 1000 " | <0.1 " | 100 % | < 10 PPM |
| | 2000 " | <0.1 " | 100 " | " |
| | 3000 " | <0.1 " | 100 " | " |
| | 4000 " | 58.4 " | 98 " | " |
| Cd | 500 " | 0.08 " | 100 % | < 0.1 PPM |
| | 1000 " | 13.1 " | 99 " | " |
| Pb | 500 " | 0.7 " | 100 % | < 1.0 PPM |
| | 1000 " | 79.1 " | 92 " | " |
| Cu | 500 " | 0.05 " | 100 % | < 3 PPM |
| | 1000 " | 0.11 " | 100 " | " |
| | 2000 " | 0.15 " | 100 " | " |
| | 2500 " | 25.4 " | 99 " | " |
| | 3000 " | 63.7 " | 97 " | " |
| Ni | 1000 " | 0.2 " | 100 % | < 1 PPM |
| | 2000 " | 0.6 " | 100 " | " |
| | 3000 " | 1.3 " | 100 " | " |
| Mn | 1000 " | 0.05 " | 100 % | < 10 PPM |
| | 2000 " | 0.21 " | 100 " | " |
| | 3000 " | 1.56 " | 100 " | " |

○ウランは 2000 PPM 常に含む。

(5) ウラン濃度による影響

他金属の同時処理と同様にしてウラン含有量を1,000～8,000PPMについて変化させ、ウラン濃度と処理量の関係を検討し、その結果を表-4に示した。ウラン濃度が8,000PPMでも99%以上の処理効率があるが、他金属の含有量を考慮するとウラン濃度は、2,000以下が良好であると判断している。また繰り返し処理したときのウランの処理効率について検討し表-5に示した。

表-4 ウラン濃度による影響

| U 添加濃度 | 処理後の濃度 | 規制値 | 処理率 |
|----------|----------|----------|-------|
| 1000 PPM | 0.21 PPM | <0.3 PPM | 100 % |
| 2000 " | 0.25 | " | " |
| 3000 " | 3.5 | " | " |
| 4000 " | 7.8 | " | 99 |
| 5000 " | 9.6 | " | " |
| 6000 " | 11.0 | " | " |
| 8000 " | 8.7 | " | " |

表-5 繰り返し処理による影響

| 処理回数 | U 濃度 | 処理後の濃度 | 処理率 | 規制値 |
|------|----------|---------|------|----------|
| 1 | 5000 PPM | 8.3 PPM | 99 % | <0.3 PPM |
| 2 | 8.3 " | 0.8 " | 91 " | " |
| 3 | 0.8 " | <0.2 " | 73 " | " |
| 1 | 8000 PPM | 20 PPM | 99 % | <0.3 PPM |
| 2 | 20 " | 3.2 " | 84 " | " |
| 3 | 3.2 " | 0.6 " | 80 " | " |
| 4 | 0.6 " | 0.2 " | 69 " | " |

(6) 錯イオン等の影響

実験室廃液にはマスキング剤等として酒石酸、クエン酸ナトリウム、チオシアノ酸アンモニウムあるいはリン酸等を使用するため、廃液にはこれらの錯イオンを含んでおり、フェライト化処理に影響を与える可能性があるので、表-6に示す試薬を添加し、ウラン1,000PPMの処理率に影響があるかを検討した。その結果、リン酸による影響はなかった

が、他の試薬が共存すると処理効率が悪くなることがわかった。

表-6 錯イオン等による影響

| ウラン濃度 | 添加試薬 | 処理後のU濃度 | 処理率 | 処理後Fe量 |
|----------|---------------------|---------|------|---------|
| 1000 PPM | 酒石酸(20%) 50 ml | 104 PPM | 90 % | 762 PPM |
| " | クエン酸ナトリウム(30%) 10ml | 498 " | 65 " | 3041 " |
| " | チオシアノ酸アンモニウム 10ml | 231 " | 77 " | 565 " |
| " | リ ン 酸 10 ml | 1.56 " | 99 " | 0.3 " |

6-1-7 結 語

フェライト化処理法によるとウランと重金属の同時処理法が可能であり、公害規制物質であるクロム、マンガンなど8元素ウランと同時に99%以上の処理効率で処理できる。またフェライト化法は、自動処理装置として市販されており、迅速性、汎用性等にも優れている。しかし、錯イオン等を生成する試薬が混入すると処理効率が悪くなるので、収集区分などに注意が必要である。

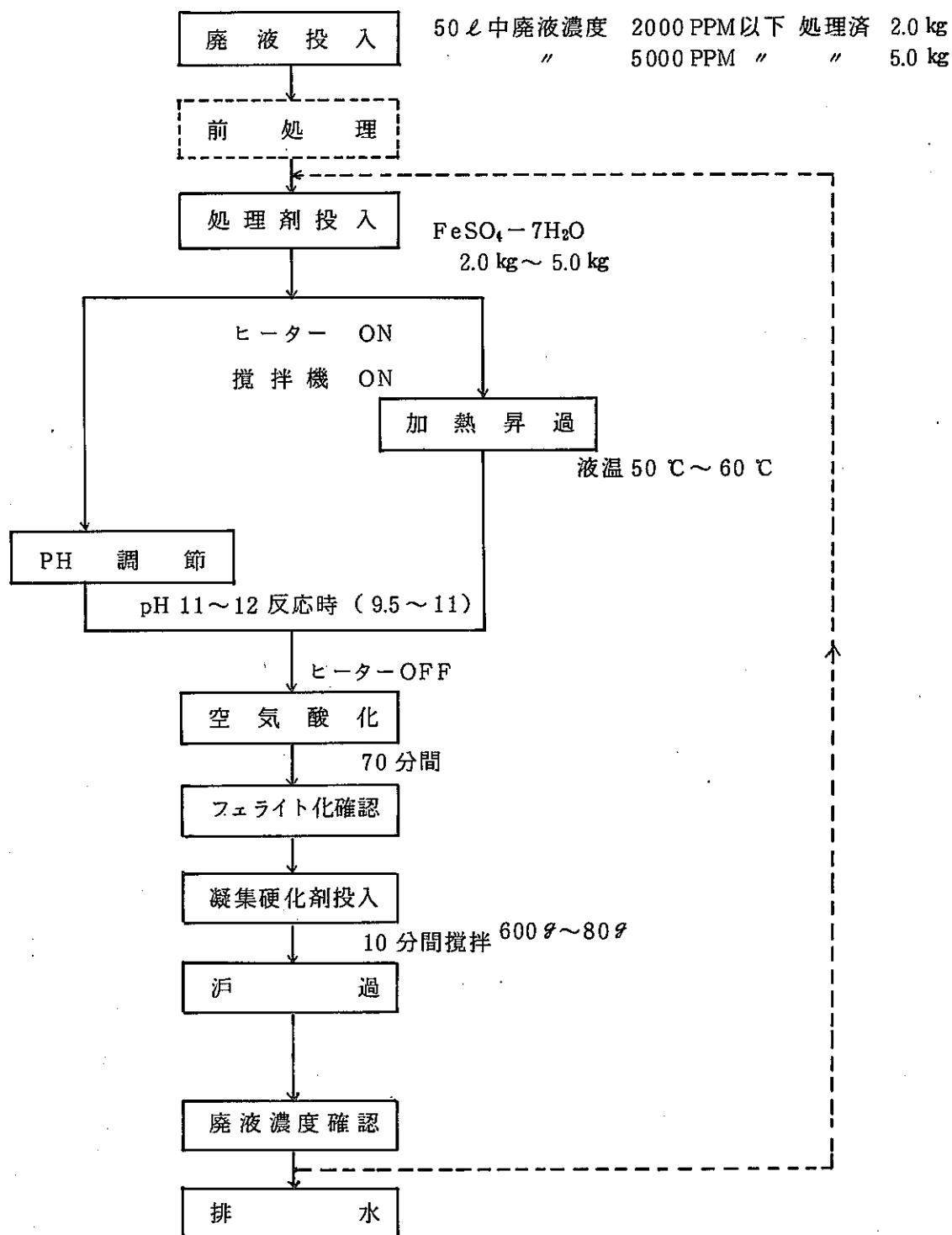
6-1-8 参考文献

- 1) 日本化学会編「化学便覧」
- 2) 岩波書店「理化学辞典」
- 3) 日本分析化学会編「分析化学便覧」
- 4) 化学技術開発センター「試験研究施設排水の処理と事例集」
- 5) 第一法規「環境法ハンドブック」

6-1-9 今後の検討項目と評価

- キレート試薬混入廃液の処理効率を上げることを今後検討する必要がある。
その方法として活性炭吸着による処理を検討する。一般に活性炭は吸着力が強く、工業用として液体中の不純物を除くのに使用されており、特に錯体の吸着力が強いので良好な成果が得られると思われる。

○ フェライト処理法フローシート



フェライト化に失敗した排液は、反応槽に戻し、失敗の原因を取り除いてから再処理する。

6-2 プルトニウム廃液フェライト化処理法

6-2-1 実験期間

昭和 59 年 12 月 1 日～昭和 59 年 2 月 29 日

6-2-2 目的

プルトニウム廃液フェライト化処理を行った場合の除染効率を求める。

6-2-3 要旨

フェライト化処理法は、6-1 項でウラン、重金属の処理について、処理能力、条件等が検討されたので本項では、6-1 項で求められた基本条件をもとに、硝酸プルトニウム分析廃液を使用してプルトニウム除染効率を求めた。

処理前の Pu 濃度を X 線分析により測定し、処理後の濃度は $T-\alpha$ 分析値から比放射能を計算して求めた。

6-2-4 検討項目

- フェライト化による Pu の処理

6-2-5 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム (50 %)
- 2) 硫酸第 1 鉄
- 3) 凝集硬化剤
- 4) ろ紙 (No. 5 A)
- 5) 真空炉過器
- 6) マグネチックスター

6-2-6 検討結果

Pu を含有する廃液 500 ml に処理剤 50 g を加え pH 11～12 に調整して、フェライト化処理を行い以下の結果を得た。

| | 処理前 | 処理後 | % | DF |
|---|----------|-----------|-------|-------------------|
| 1 | 0.95 g/l | 0.34 mg/l | 99.96 | 1.4×10^3 |
| 2 | 0.85 g/l | 0.34 mg/l | 99.96 | 1.3×10^3 |
| 3 | 0.48 g/l | 0.19 mg/l | 99.96 | 1.3×10^3 |

この事よりフェライト化処理では、Uや他重金属と同様に、Puも高効率で処理することが可能である。

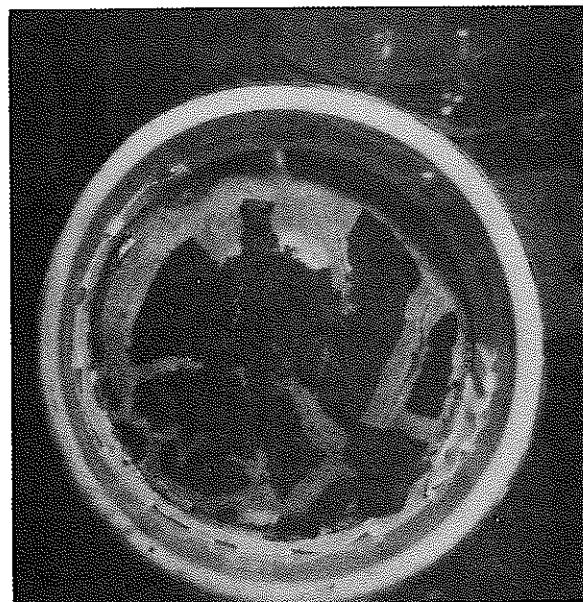
今回は、Box内でビーカ実験レベルで行ったため、真空沪過を用いたが、約3時間程度で1ℓ量の処理液を沪過することができた。

沈殿物は、Fig-1に示す様に、良好な乾燥物の状態となる事がわかった。

6-2-7

フェライト化処理法は、6-1項に加えて、Puの処理が高効率で処理出来る事がわかった。

Puの処理はBoxインラインで行わなければならないため、本法を分析廃液の処理に適用すると考えた場合、単なる装置の改造よりも、1つの分析廃液処理工程としての凝集沈殿処理を考える事が必要である。



6-3 フッ素含有ウラン廃液中の同時処理法 (SDU-水酸化カルシウム沈殿法)

6-3-1 実験期間

昭和 58 年 11 月 2 日～12 月 10 日

6-3-2 目的

分析技術開発室で発生する分析済フッ素含有ウラン廃液中のフッ素、ウランを同時に処理する方法を確立する。

6-3-3 要旨

分析済廃液でフッ素を含有するウラン廃液は、現状では適当な処理法も無く保管するだけである。そこで水酸化カルシウムによるウラン、フッ素の同時処理法を考えたが、水酸化カルシウムの添加量が多く沈殿の発生量も多いなど欠点があった。そこで水酸化ナトリウムでウランを沈殿させ、つぎに水酸化カルシウムを加えて、フッ素を処理する方法についての諸条件を設定するため検討を行い、水酸化ナトリウム-水酸化カルシウム沈殿法によるウラン、フッ素の同時処理法を確立した。

6-3-4 解決すべき検討項目

- 1) pH 値による処理効率の影響
- 2) 水酸化カルシウム添加量による影響
- 3) ウラン濃度による影響
- 4) フッ素濃度による影響
- 5) リン酸共存量による影響
- 6) 重金属の処理効率について

6-3-5 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム (50 %)
- 2) 水酸化カルシウム (試薬一級)
- 3) フッ酸 (1 + 24)
- 4) ウラン (10 g/ℓ)
- 5) リン酸 (85 %)
- 6) マグネチックスター
- 7) 沢紙 (18 cm 5 B)

- 8) ロート（ポリエチレン製）
9) ビーカー（500 mlポリエチレン製）

6-3-6 検討結果

(1) pH 値による処理効率の影響

ウラン（5,000 PPM），フッ素（1,000 PPM）を含有する溶液 200 mlをビーカーにとり，水酸化ナトリウム溶液及び塩酸で pH を 1 ~ 13 の間に調製したのち，水酸化カルシウム 2.5 g を各ビーカーに加え，10 分間攪拌し，ウラン及びフッ素を沈殿させ，沪過する。次に沪液中の，ウラン及びフッ素を測定し，pH 値によるウラン，フッ素の処理効率を求めた。図-1 及び図-2 に示すように，pH 5 以下ではフッ素及びウランの処理効率は悪くなる。pH 5 ~ 10 の間では，ウラン及びフッ素の処理効率は，ほぼ 100 % であるが，フッ素については，pH 10 以上になると処理効率が急激に低下する。この原因は沈殿したフッ化カルシウムの一部が溶解するためと考えられる。この結果から pH は 6 ~ 7 に調整して処理を行うことにした。

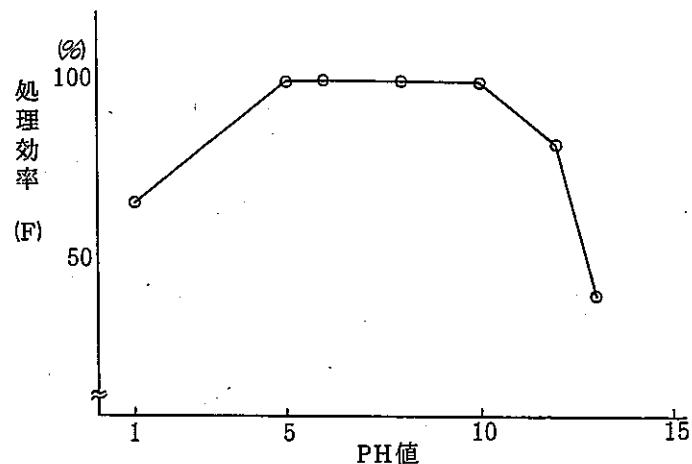


図-1 pH 値による処理効率の影響（フッ素）

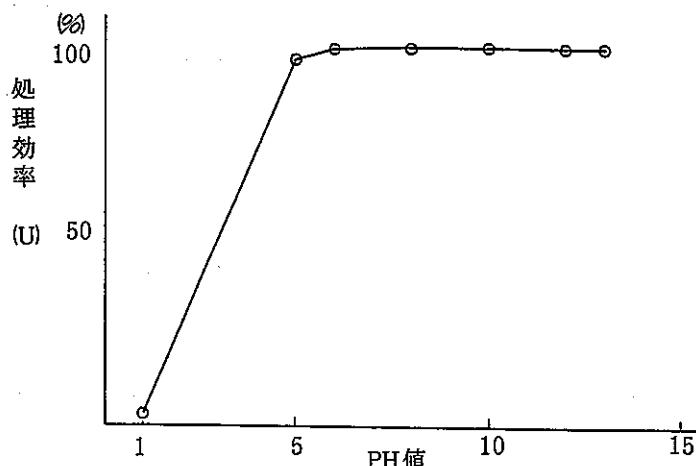


図-2 pH 値による処理効率の影響（ウラン）

(2) 水酸化カルシウム添加量による影響

ウラン(2,000 PPM)及びフッ素(1,000 PPM)を含有する溶液のpHを6~7に調整し、水酸化カルシウム0.1 g~5.0 gを階段的に添加し、10分間攪拌したのち、沈殿物を分離し、汎液中のウラン及びフッ素を測定し、水酸化カルシウムの添加量による処理効率を求めた。図-3及び4に示すように、フッ素については水酸化カルシウム量が2.0 g以上必要である。ウランについては、水酸化カルシウムを添加する前にpHを6~7に調整すると、重ウラン酸ナトリウムの沈殿が生成するため処理できる。しかし、フッ素及びウランを同時に処理するためには、この溶液濃度では、水酸化カルシウムが2 g以上必要である。実際の作業では、溶液の推定濃度とそれに必要なカルシウム量を計算し、理論値の5倍以上を添加することにした。

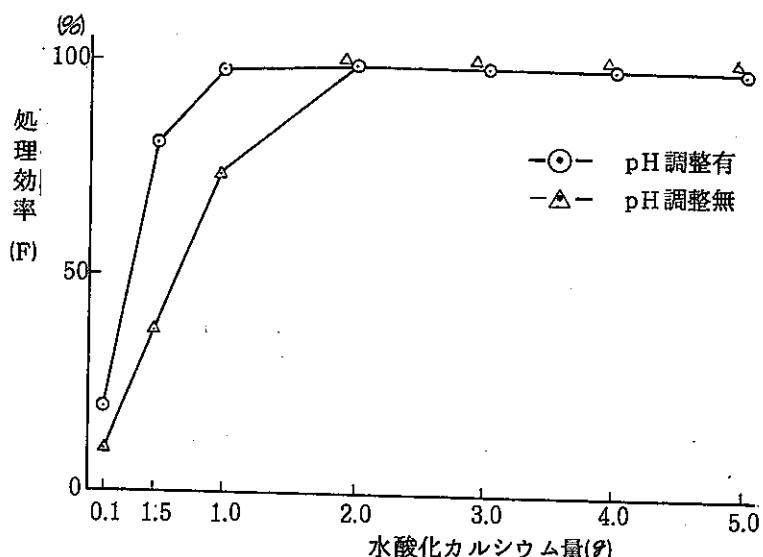


図-3 水酸化カルシウム量による影響(フッ素)

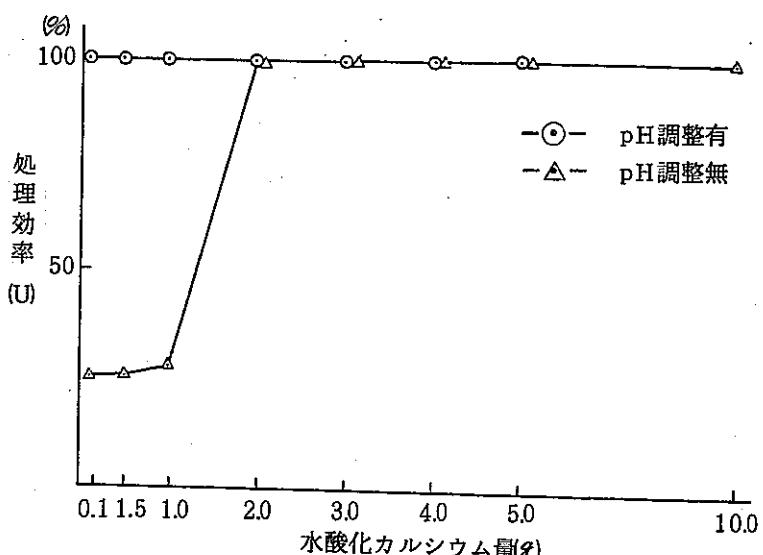


図-4 水酸化カルシウム量による影響(ウラン)

(3) ウラン濃度による影響

溶液中のフッ素を 1,000 PPM と一定にし、ウラン濃度を 1,000～10,000 PPM と変化させ、水酸化カルシウム添加量 2.0 g のときの、ウランの処理可能量を求めた。この結果を図-5 に示す。水酸化カルシウム 2 g でウラン 10,000 PPM まで完全に処理できることがわかった。またこの時、フッ素 1,000 PPM も同時に処理された。

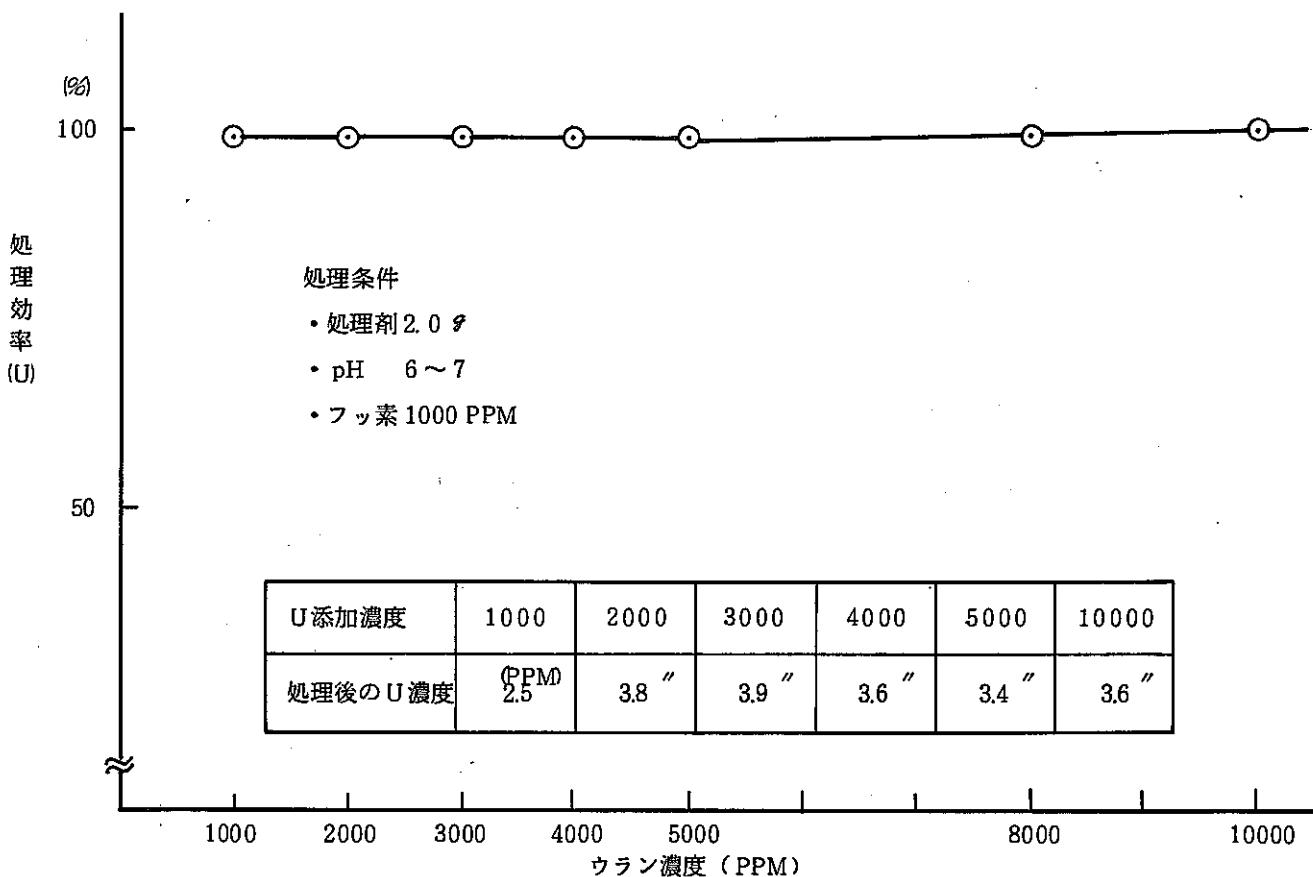


図-5 ウラン濃度による影響

(4) フッ素濃度による影響

ウラン濃度による影響の検討と同様に、ウラン濃度を2,000 PPMと一定にし、フッ素濃度を1,000～10,000 PPMの間で変化させ、水酸化カルシウム2.0 g添加したときのフッ素の処理効率を検討した。図-6に示すようにフッ素4,000 PPMまでは、ほぼ100%処理できる。しかし、それ以上になるとカルシウムが不足するため、処理効率が低下することがわかった。この時のウラン2,000 PPMは同時に処理された。

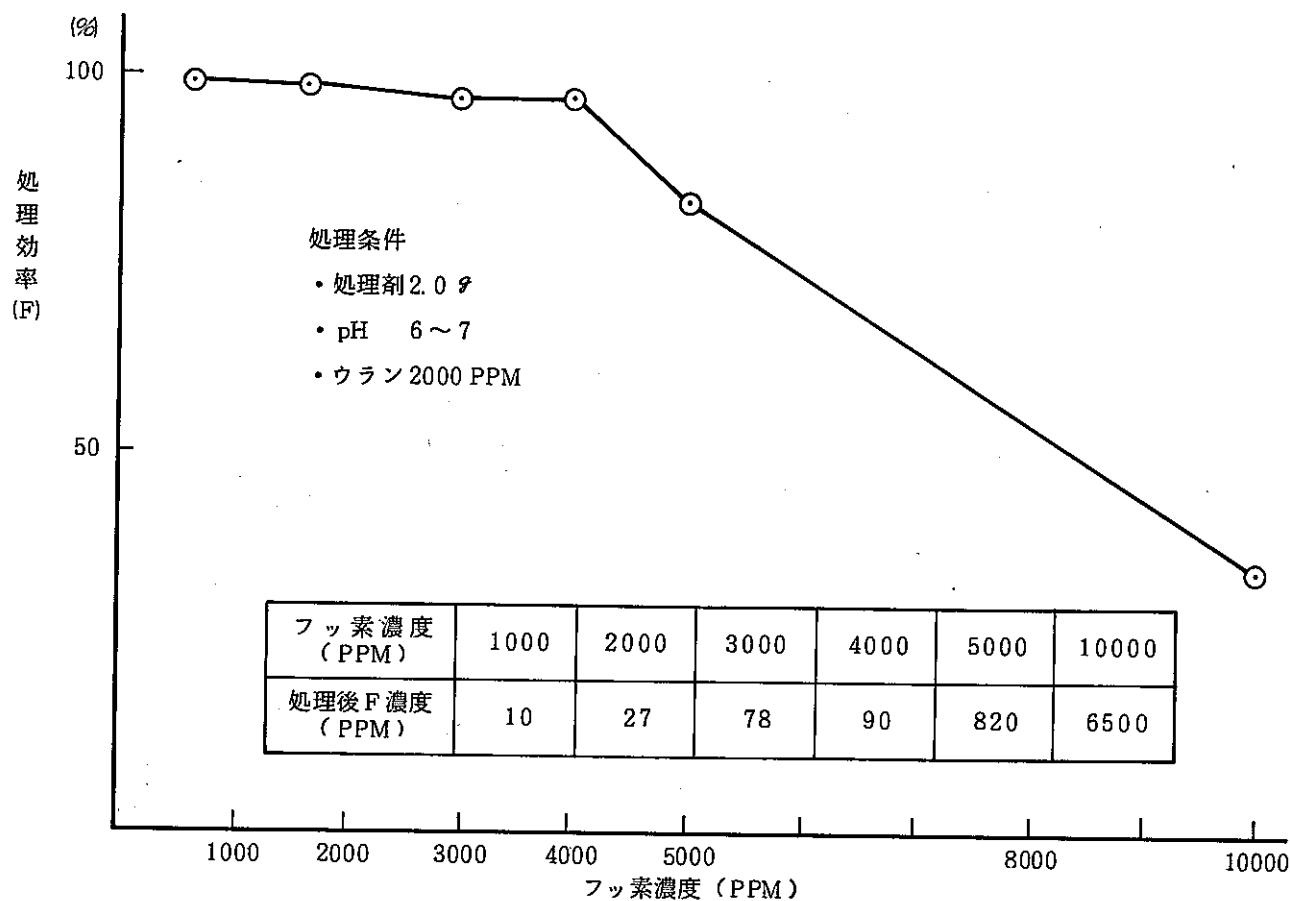


図-6 フッ素濃度による影響

(5) リン酸共存量による影響

分析廃液の中にはウラン滴定分析のとき使用したリン酸が共存していることが多い。従って、水酸化カルシウム沈殿法において、リン酸が共存すると、ウラン、フッ素の処理にどのような影響を与えるかを検討した。図-7及び8に示すように、溶液200mL中にリン酸5mL以上が共存すると、1,000PPMのフッ素の処理効率は約70%に低下する。また、ウラン2,000PPMについては、処理効率が若干低下するが、リン酸15mL共存しても95%以上のウランは処理できることがわかった。フッ素の処理効率の低下はリン酸がリン酸カルシウムとして沈殿するため、水酸化カルシウム量の不足も原因の一つと考えられる。

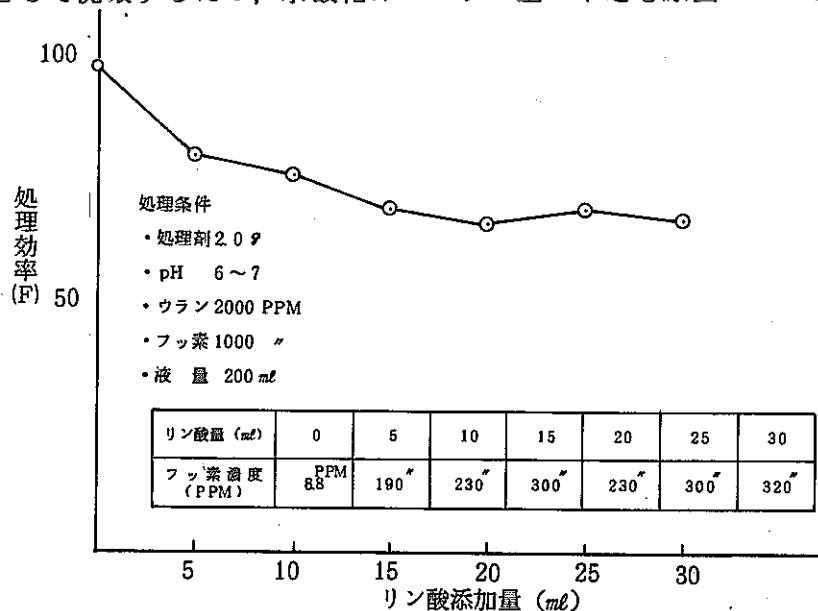


図-7 リン酸共存時のフッ素の影響

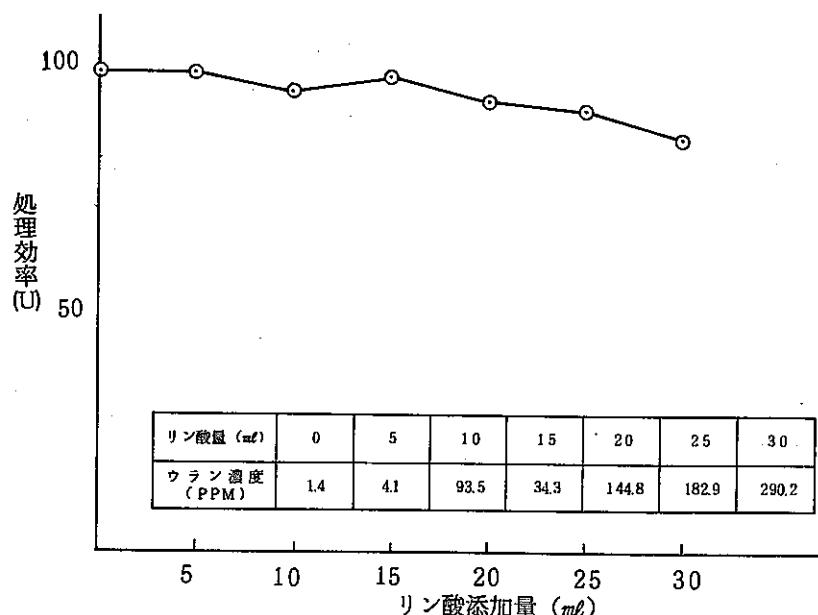


図-8 リン酸共存時のウランの影響

(6) 重金属の処理効率について

分析廃液の中にはウラン及びフッ素以外に重金属が含まれることが多い。従ってこれらの重金属も同時に処理できるかどうかを検討した。ウラン(2,000PPM)及びフッ素(1,000PPM)溶液に水質汚濁防止法で定められているFe, Cr, Mn, Zn等をそれぞれ1,000PPM添加し処理した。つぎに汎液中のウラン、フッ素及び重金属を定量し、処理量を求め確認した。その結果を表-7に示した。全元素とも95%以上の処理効率であり、再沈殿や処理後の希釈等を併用することによって、ウラン、フッ素及び重金属が同時に処理できることがわかった。

表-1 重金属の処理効率について

| 添加元素 | 添加濃度(PPM) | 処理後の濃度(PPM) | 規制値(PPM) | 処理効率(%) |
|------|-----------|-------------|----------|---------|
| Fe | 1000 | 0.2 | <10 | 99.9 |
| Zn | " | 19.1 | <5 | 98.1 |
| Mn | " | 0.1 | <10 | 99.9 |
| Sn | " | 26.5 | - | 97.4 |
| Cr | " | 0.37 | <2.0 | 99.9 |
| Pb | " | 52.2 | <1 | 94.7 |
| Cd | " | 0.01 | <0.1 | 99.9 |
| Ni | " | <0.01 | <1 | 100.0 |
| Cu | " | <0.01 | <3 | 100.0 |
| F | " | 80 | <8 | 96.0 |
| U | 2000 | 17.0 | <0.2 | 99.1 |

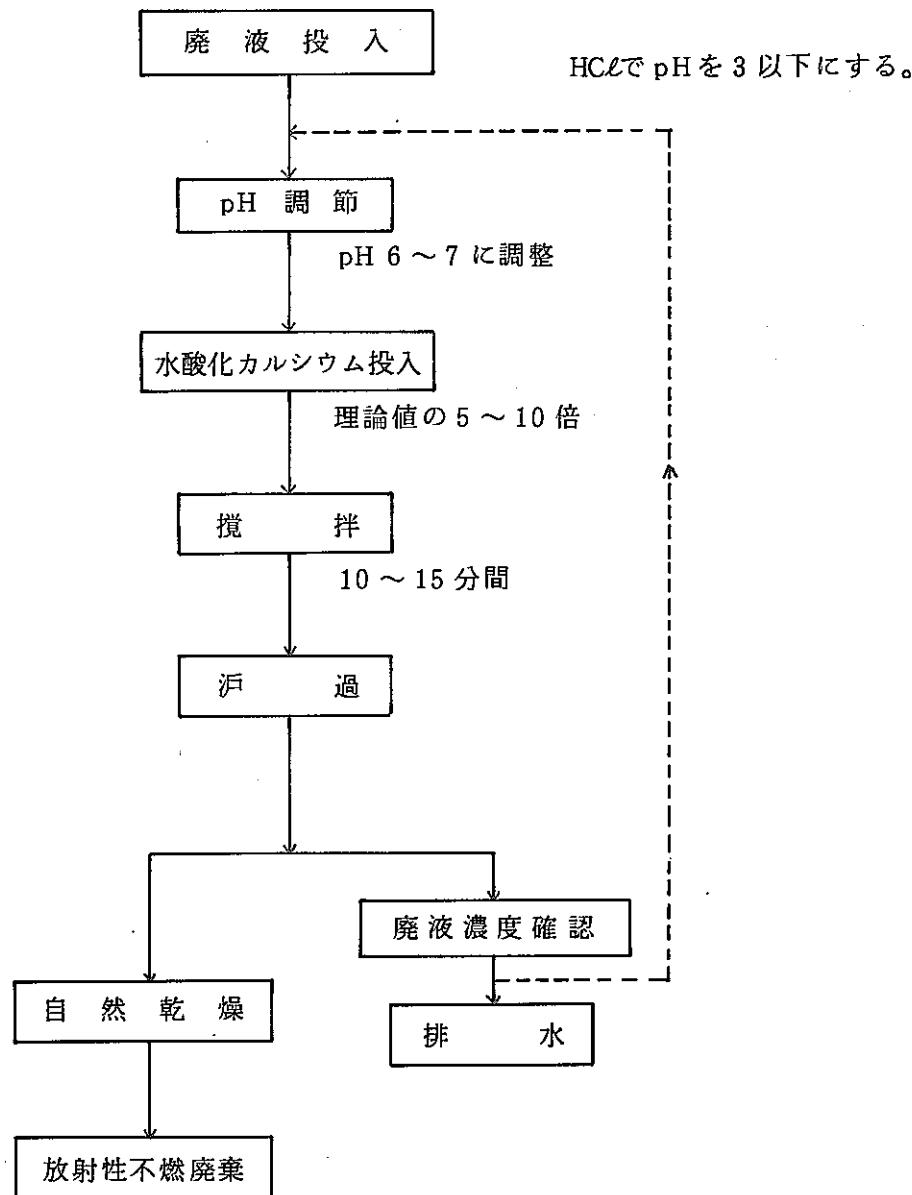
6-3-7 結語

SUD-水酸化カルシウム沈殿法によって、ウラン、フッ素及び重金属を含む分析廃液の同時処理が可能である。しかし、フッ素の濃度によって水酸化カルシウム添加量を増加させる必要があり、あらかじめ廃液中のフッ素を測定したのち処理しなければならない。また廃液中に共存するリン酸によっても水酸化カルシウム添加量が変化するので注意が必要である。

6-3-8 参考文献

- 1) N 841-78-10 排水中のフッ素処理及び分析法
- 2) 日刊工業新聞社：公害防止ハンドブック
- 3) N 852-83-21 標準分析作業法

SDU-水酸化カルシウム沈殿法のフロー シート



処理に失敗した廃液は pH 3 以下にした後、再処理する。

6-4 プルトニウム・ウラン分析廃液中のプルトニウムの処理法 (凝集沈殿法)

6-4-1 実験期間

昭和58年3月7日～昭和58年3月14日

6-4-2 目的

プルトニウム燃料部品質管理課分析係で発生する分析済プルトニウム・ウラン分析廃液中のプルトニウムの処理法の確立を目的とする。

6-4-3 要旨

分析済廃液(プルトニウム・ウラン含有廃液)中には、分析時に添加する酸化剤・還元剤等種々の試薬が含まれている。そこで一般に水処理等にも広く用いられている、凝集沈殿法を応用し、プルトニウム及び含有金属を効率よく除去するための、最適凝集剤添加量及び最適pH値の検討を行った。

6-4-4 解決すべき検討項目

- 1) 硫酸第1鉄の添加量による影響
- 2) pH値による凝集効果の影響

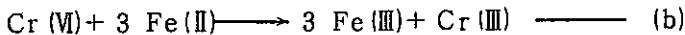
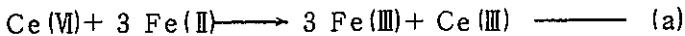
6-4-5 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム(10%)
- 2) 硫酸第1鉄(0.05M)
- 3) 硫酸
- 4) 沢紙(No.5 B 18cm)
- 5) ロート(ガラス製)
- 6) トールビーカー(50mℓ)
- 7) pHメーター(SHIBATA製)
- 8) ガラス電極(〃)
- 9) マグネットックスターラー
- 10) α線測定装置(AROKA製)

6-4-6 検討結果

- (1) 硫酸第1鉄の添加量による影響

プルトニウム・ウラン分析廃液中には、Ce(VI)、Cr(VI)等の酸化剤が存在するため、単にpH値を変えるだけでは凝集効率が良くならない。従ってFe(II)を添加し、下記の反応により、Ce(VI)、Cr(VI)等を還元したのち、凝集沈殿を行うための最適添加量の検討を試みた。



プルトニウム(240 μg/ml)を含有する廃液をトールビーカー(50 ml)に20 mlを採取し、凝集剤(硫酸第1鉄)を0~5 ml添加し、その時の上澄液の放射能量(プルトニウム含有量)を測定し、Fe(II)添加量と放射能量の関係から、最適添加量の検討を行った。結果を表-1に示した。

表-1 Fe(II)添加量の影響

| pH 値 | Fe(II)添加量(ml) | 放射能(μCi/ml) | Pu 含有量(μg/ml) |
|------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 9 | 0 | 3.42×10^{-3} | 2.76×10^{-2} |
| 9 | 2 | 1.28×10^{-4} | 1.03×10^{-3} |
| 9 | 5 | 7.22×10^{-4} | 5.82×10^{-3} |

表-1の結果から、Fe(II)(0.05 M)の添加量は、2 mlが最適であることがわかった。又Fe(II)の添加量を多くすると反応式(a), (b)に示す反応において未反応のFe(II)が、処理液中に存在するために、凝集効率が低下すると考えられる。

(2) pH値による凝集効果の影響

凝集沈殿法において、共存イオンの及ぼす影響は非常に大きく、それに伴い最適pH値の条件も異なる。そこで、pH値を6.9~11.1まで変化させたときの最適pH値の検討を行った。

プルトニウム(240 ml)を含有する廃液20 mlをトールビーカー(50 ml)に採取し、凝集剤(硫酸第1鉄)2 mlを添加後、水酸化ナトリウム(90%)及び硫酸でpH値を調製し、その時の上澄液の放射能量(プルトニウム含有量)を測定し、pH値と放射能量の関係から、最適pH値の検討を行った。結果を表-2に示した。

表-2 pH値の影響

| pH 値 | Fe(II)添加量(ml) | 放射能(μCi/ml) | Pu 含有量(μg/ml) |
|------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 6.9 | 2 | 1.15 | 9.29 |
| 7.9 | 2 | 4.87×10^{-3} | 3.92×10^{-2} |
| 8.5 | 2 | 1.28×10^{-4} | 1.03×10^{-3} |
| 9.0 | 2 | 1.28×10^{-4} | 1.03×10^{-3} |
| 9.5 | 2 | 3.25×10^{-4} | 2.61×10^{-3} |
| 10.0 | 2 | 2.90×10^{-4} | 2.33×10^{-3} |
| 11.1 | 2 | 2.43×10^{-4} | 1.96×10^{-3} |

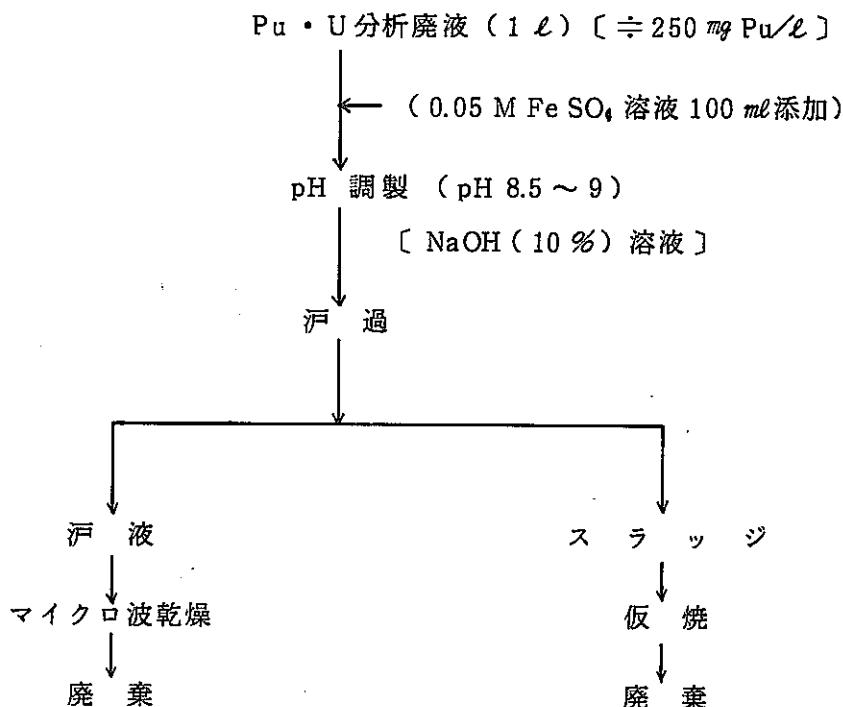
表-2の結果から、最適pH値は8.5～9.0の範囲であることが解った。又、pH値が9.0以上であっても比較的安定した除染効率が得られることが解った。

6-4-7 分析廃液処理操作

分析廃液は常に一定した性状（共存イオン量など）ではないため、Fe(II)の添加量は経験的領域を脱し得ない部分があるが、Fe(II)を過剰量添加し、エアレーションを行えばFe(II)→Fe(III)なる反応により、Fe(II)の添加量に関しては、大きな問題とにならない。又最適pH値も比較的広いため調製が簡単である。

以下にプルトニウム・ウラン分析廃液処理フローシート（案）を示した。

図-1 Pu・U分析廃液処理フローシート（案）



6-4-8 結語

本検討は、ビーカースケールで行ったものであるが、 α 線量で $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ まで放射能を低減することができた。これは、グローブボックス内のバックグラウンドを考慮すれば線量測定上ほぼ限界である。

凝集処理法を行う場合、次の点に特に注意を要する。

- (1) 凝集の最適pH ……凝集処理の最適pH値は、水中のコロイド物質の種類や凝集剤の種類によって異なるのはもちろんであるが、それらの量的な関係、共存イオンなどによっても変化する。

凝集という現象を一つの化学反応と考えれば、凝集の第1段階は金属イオン、OH⁻イオン、凝集をうける物質、及び加えた金属イオン結合しやすい共存イオンなどからなる一つの錯体が生成することである。この錯体を構成するそれぞれのイオンの量的な関係が適切であれば、電荷を持たない錯体が生成するので、凝集が起きることになる。

(2) 水温の影響……… 20℃から0℃になれば水の粘度は約1.8倍となる。従って微粒子の沈降速度が小さくなり沈降分離は困難になる。

低温で凝集処理が困難になった場合には、活性ケイ酸その他の凝集助剤を添加することにより問題をある程度解決できる。

(3) 搅拌の影響………搅拌が強ければ大きなフロックはこわれてしまう。このため、凝集処理においては急速搅拌を行ったあと、緩和搅拌を続け、大きなフロックを生成させことが多い。

(4) 凝集剤の添加量………適量加えたときには凝集剤として作用するが、添加量が大きくなりすぎると電荷を逆転させてしまう結果、コロイド粒子は再び安定化してしまうことがあるので注意しなければならない。

6-4-9 参考文献

- 1) 日刊工業新聞社「工業用水と廃水処理」
- 2) 通産省立地公害局「公害防止の技術と法規」

6-4-10 今後の検討項目と評価

ウランについての処理効果の検討を行っていないので、今後上澄液中のウランについても的確に濃度を把握する必要がある。また、凝集沈殿法の共通課題として処理後の上澄液をどのように、処理し廃棄するかが課題となろう。

6-5 フッ素・塩素分析廃液処理法 (凝集沈殿法)

6-5-1 実験期間

昭和58年3月7日～昭和58年3月14日

6-5-2 目的

プルトニウム燃料部品質管理課分析係で発生する分析済フッ素・塩素分析廃液の処理法の確立を目的とする。

6-5-3 要旨

フッ素・塩素の分析は吸光光度法で行うため、分析済廃液中には、発色試薬を始めとして多くの有機試薬、酸等が含まれており廃液の処理を困難なものとしている。そこで、分析廃液の一次処理法として凝集沈殿法を応用し、発色試薬・重金属類の除去を試みた。

6-5-4 解決すべき検討項目

- 1) pH値による凝集効果の影響

6-5-5 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム (10%)
- 2) 沔紙 (No.5 B 18cm)
- 3) ロート (ガラス製)
- 4) トールビーカー (50mℓ)
- 5) pHメーター (電気化学計器製)
- 6) ガラス電極 (〃)
- 7) マグネチックスターラー
- 8) 自記分光光度計 (日立製)

6-5-6 検討結果

- (1) pH値による凝集効果の影響

分析廃液中には Fe(Ⅲ) [1.5×10^{-3} M] が含まれるので、これが凝集剤として働く為特に凝集剤の添加をしないで検討を行った。

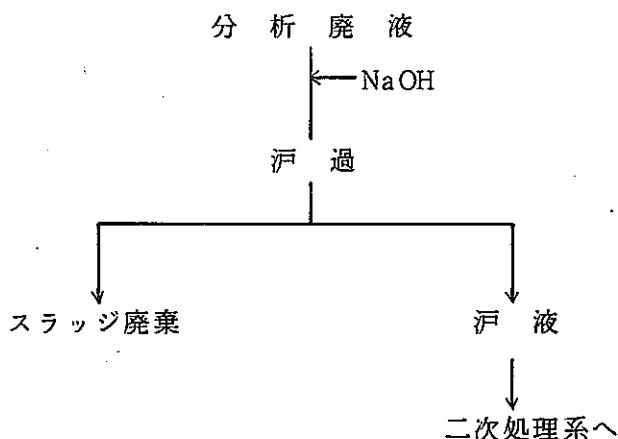
分析廃液をトールビーカー (50mℓ) に 20mℓを採取し、水酸化ナトリウム (10%) で pH 値を 7.3 ~ 11.0 に調製し、涙過分離後、涙液の吸収スペクトルを測定し吸収ピークの

消失を観察した。処理前、処理後の吸収スペクトルを図-1、図-2 (pH: 9.0)に示した。図-1の455nmは、フッ素分析廃液に塩素分析廃液を混合することにより、ALC-Laの最大吸収ピーク (540nm) がシフトしたものである。又、310nm付近の吸収ピークはHg²⁺(SCN)₂の吸収によるものである。

図-1、図-2よりALC-Laは、Fe(OH)₃と共に沈したことがわかった。(pH 7.3~11.0で処理効率は安定している)しかし、図-2、図-3の比較からHg²⁺(SCN)₂は水溶液中ではほとんど電離しないが[Hg(SCN)₃]⁻、[Hg(SCN)₄]²⁻型の錯イオン状態で存在するため、わずかに処理液中に溶存しているものと思われる。従って、Hg²⁺(SCN)₂は、ALC-Laに比して処理効率が悪いので、次の処理ステップを考える必要があることが解った。さらに、処理液中の放射能量は排出基準以下のレベルであるが、アセトン、過塩素酸等の危険物が共存するため、これらの処理についても検討が必要であろう。

以下に、フッ素・塩素分析廃液一次処理フローシート(案)を示した。

図-4 フッ素・塩素分析廃液一次処理フローシート(案)



6-5-7 結語

フッ素・塩素分析廃液は、アセトン、エチルアルコール、過塩素酸等の危険物を多く含んでいるため、廃液としては非常に扱いにくいものである。しかし、凝集沈殿法を1次処理として位置づけた場合、共存の重金属類及びALC-Laなどが除去できるため有効な方法であると考える。

6-5-8 参考文献

- 1) 日刊工業新聞社「工業用水と廃水処理」
- 2) 通産省立地公害局「公害防止の技術と法規」

図-1 フッ素・塩素分析廃液吸収スペクトル

- 66 -

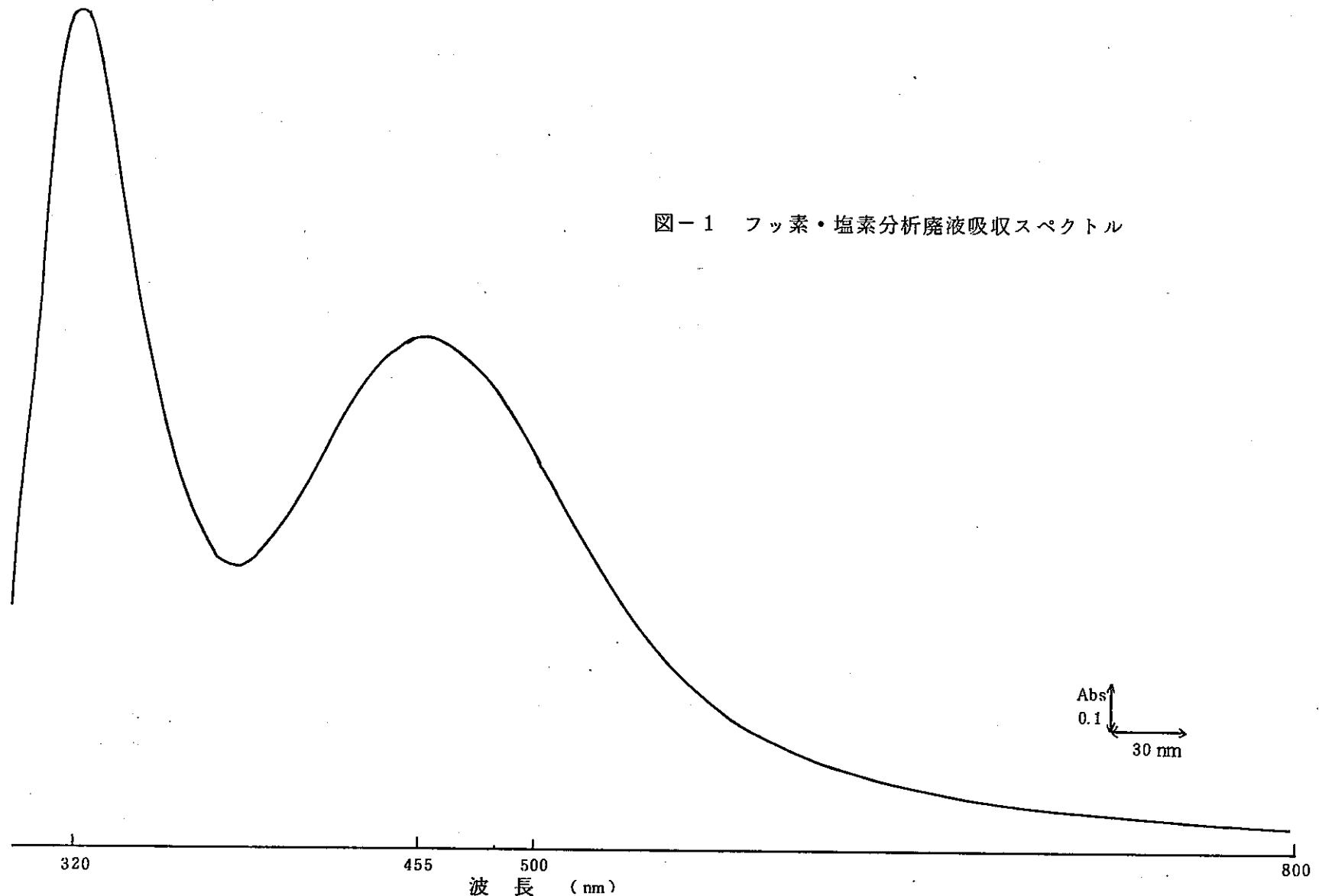


図-2 フッ素・塩素分析廃液処理済吸収スペクトル
pH : 9.0

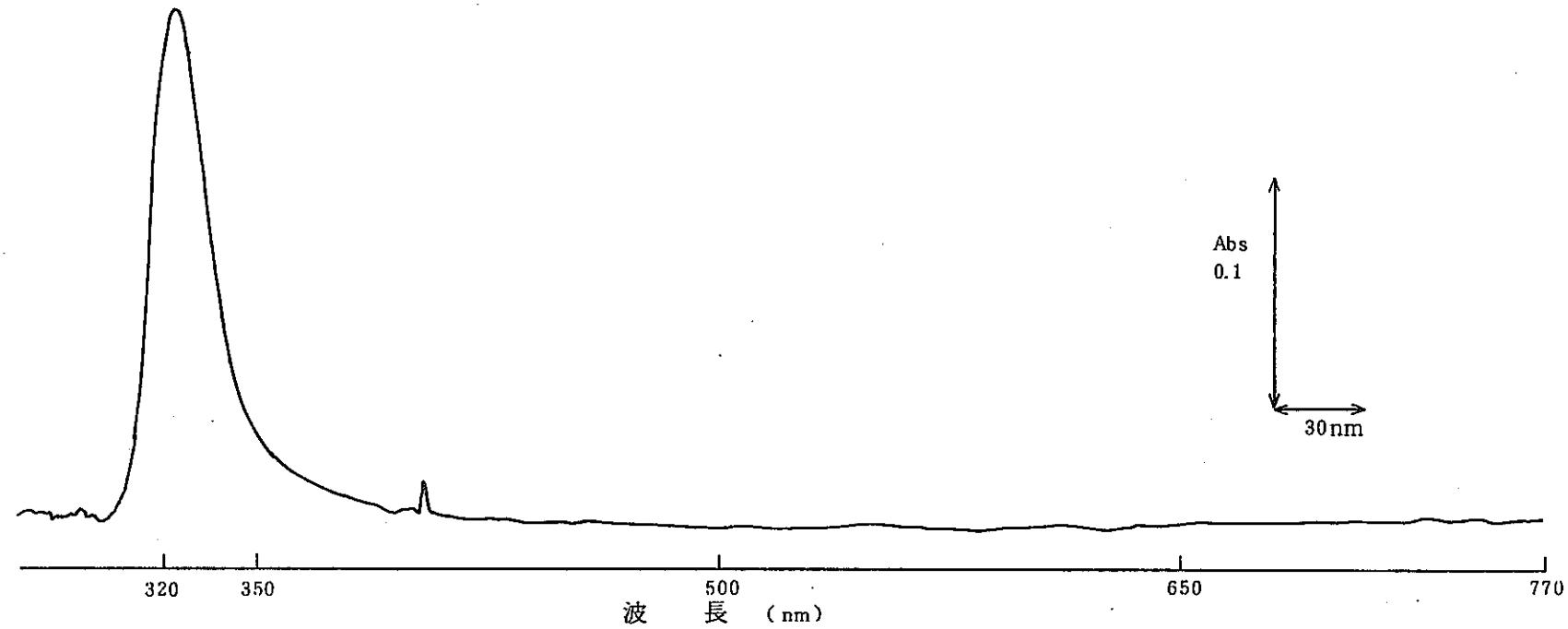
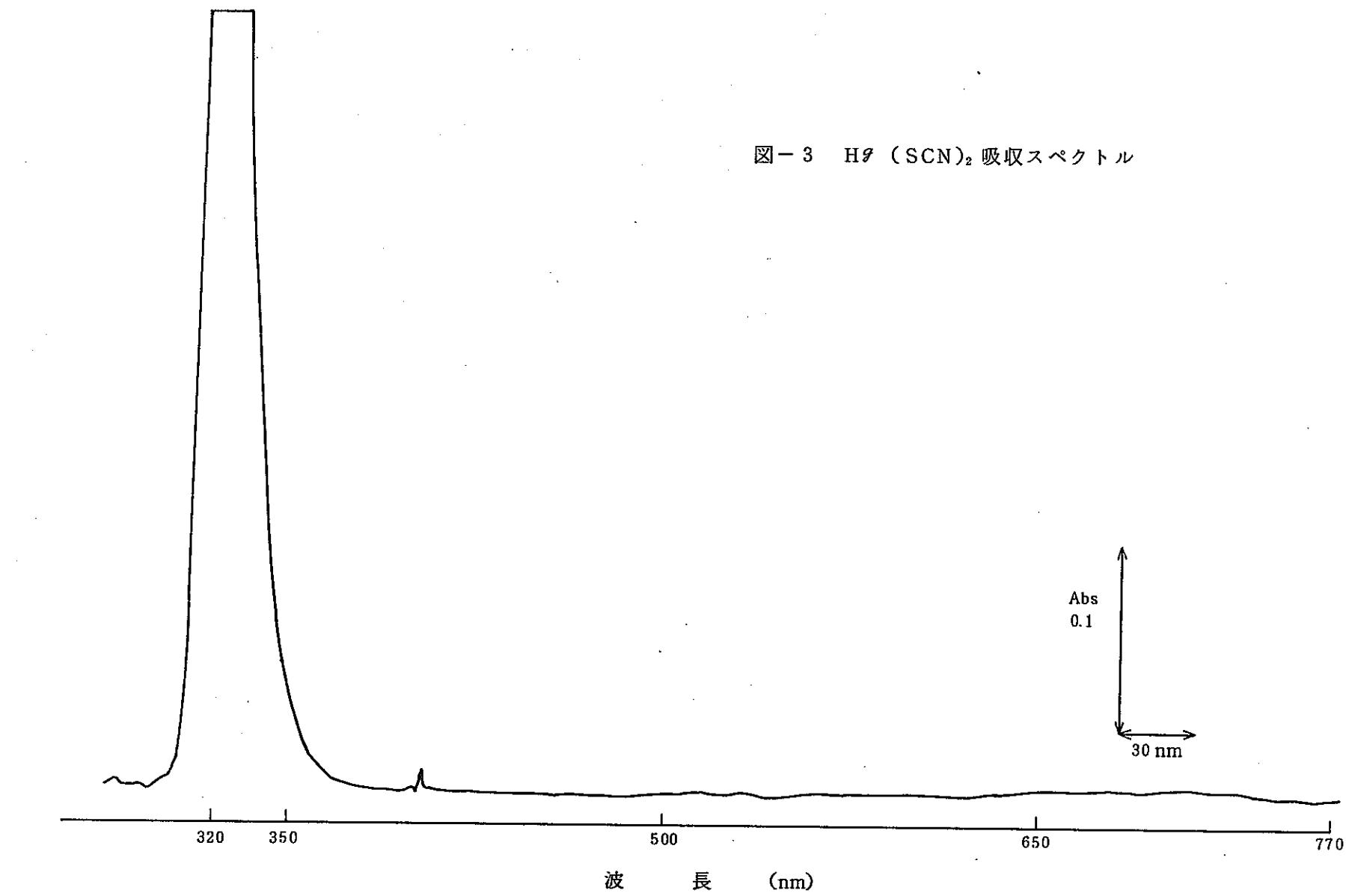


図-3 Hg (SCN)₂ 吸収スペクトル



3) 岩波書店「理化学辞典」

6-5-9 今後の検討項目と評価

$Hg(SCN)_2$, アセトン, エチルアルコール, 過塩素酸等を処理するための2次処理系を今後検討しなければならない。

グローブボックス外での処理法としては、ドラムドライヤー法は、有効な方法であると云われるが、さらに詳細を調査検討して行く必要があろう。

6-6 分析廃液マイクロ波加熱処理法

6-6-1 実験期間

昭和 58 年 11 月 28 日～昭和 59 年 2 月 29 日

6-6-2 目的

分析廃液の処理をマイクロ波加熱装置で処理するため、各種分析の模擬廃液を使用し、安全性を実証する。

6-6-3 要旨

分析廃液は、各分析手法により、種々な試薬が混入しており、これを直接マイクロ波処理を行った場合、火災爆発等の危険性があるため、いきなり実廃液の処理を行うのは適切ではない。

そのため、マイクロ波処理で Pu, U を含んだ実廃液を処理する前に、模擬廃液を使用して、安全性を実証しなければならない。

従って、各分析法で発生する模擬廃液を調製し、種々な加熱容器を用いて、安全に加熱処理できる事を確認する。

6-6-4 確認すべき項目

- 廃液のマイクロ波加熱処理時の安全性
- 容器による処理能力の差
- 廃液が乾固した場合の残査のかきとり方法

6-6-5 装置及び材料

- マイクロ波加熱器（出力 500W）
- SUS 304 容器
- セラミック容器
- ガラスビーカー 100 mL
- テフロンビーカー 100 mL
- 陶磁器（グラタン用の皿）
- U 電位差滴定模擬廃液（デービスグレイ法）
- N 分析廃液（ケールダール法）
- Pu 電位差滴定模擬廃液
- U 吸光分析廃液（過酸化水素法）

6-6-6 検討結果

1) 廃液処理状態の調査

模擬廃液を使用して、マイクロ波処理を行い、乾固できる廃液と乾固できない廃液にわけることが出来た。

(イ) 乾固可能な廃液

- N分析廃液（ケールダール法）
- P_μ電位差滴定分析廃液
- 吸光分析廃液（過酸化水素法）

(ロ) 乾固不可能な廃液

U電位差滴定分析廃液（デービスグレイ法）

以上の廃液についてのマイクロ波処理は、安全性に問題となる事象は見られなかった。N分析廃液（ケール・ダール法）、吸光分析廃液（過酸化水素法）については乾固後わずかな放電が見られたが、問題とはならなかった。しかし、乾固した後の残査は、完全にかき取ることは出来なかった。

2) 処理容器についての検討

乾固不可能だったU電位差滴定廃液の減容処理について検討を行うため、各処理容器を使用し、液温の上昇を調査した。（図-1参照）

図-1より、マイクロ波誘導体であるセラミック、テフロンビーカ、陶磁器（グラタン皿）は温度上昇が著しく300℃以上になる事が確認された。この間温度上昇に伴い、酸ヒュームが激しく発生し、これを回収しなければならない。減容率は約1/5となった後は、マイクロ波を照射し続けても液量に変化はない。液温はかなりの高温となるため、テフロンビーカは穴があき、陶磁器はもろくなり、少しのショックでわれてしまうので、処理容器は、耐熱性と強度が要求される。また、マイクロ波反射体であるSUS容器は、温度上昇がゆるやかであり、酸ヒュームの発生も目だつほど激しくはないが、1/5に減容するのに長時間を要する。SUS容器の場合も液量が1/5に減容後、マイクロ波を照射し続けても液量に変化はない。従って、U電位差滴定廃液（デービスグレイ法）はマイクロ波処理を行った場合、1/5までしか減容できない。さらに、減容して容器に残った残査は、水あめのような状態で粘性が強く、容器から取り去る事がかなり困難であった。

6-6-7 結語

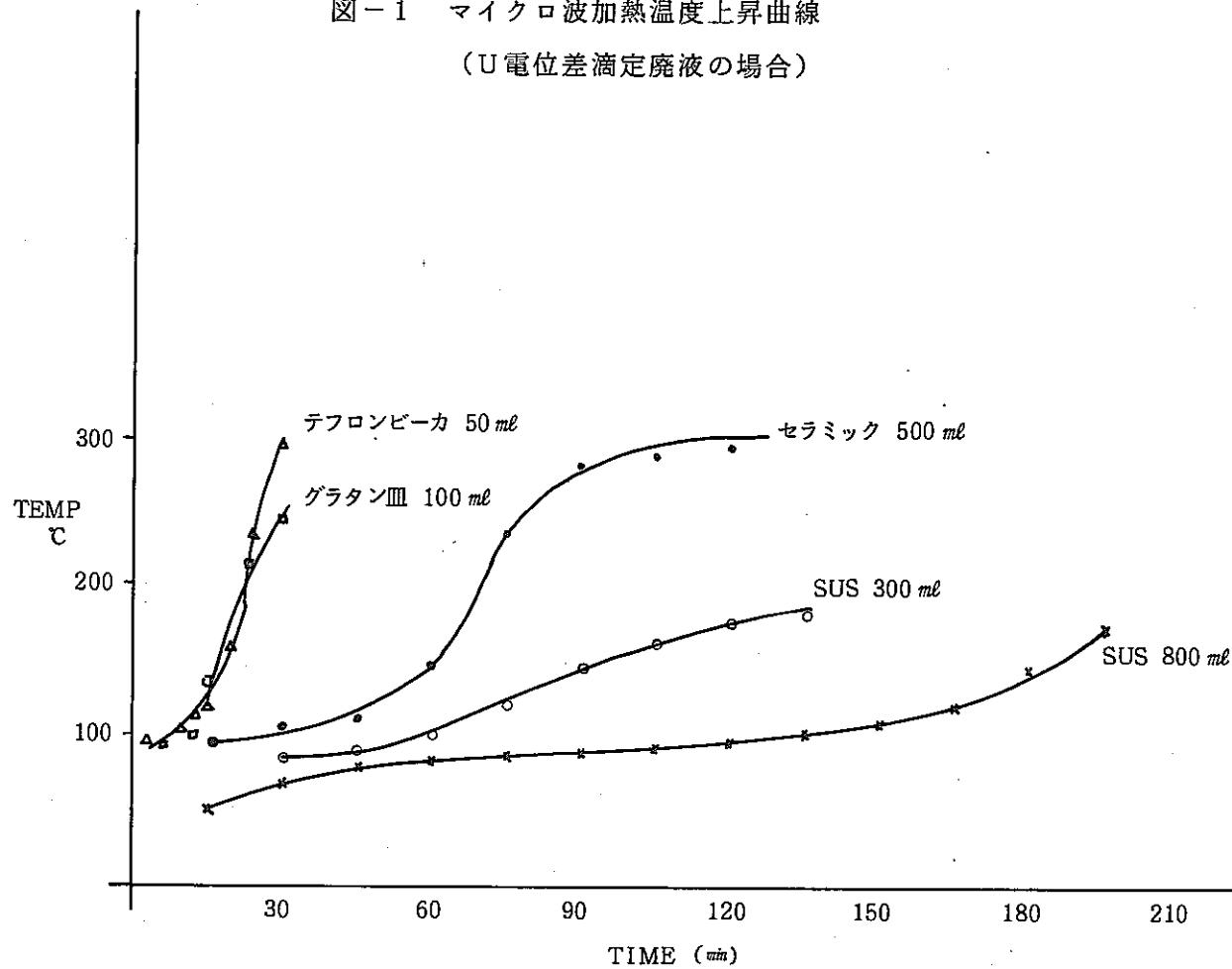
マイクロ波処理は、模擬廃液を使用しての実験で安全に行える事が明らかとなつたが、乾固残査のかき取りが困難であり、減容物の除去も困難であるため、その要因となるものを除き、容易に処理を行うためには、前処理操作が必要となる。また同時に酸ヒュームの回収も行わ

なければならず、オフガス処理についての検討が必要である。廃液を組成別に処理するには処理容器もまた、組成単位で準備しなければならないため、グローブボックス内作業では、Box内が手狭になり、好ましくない。従って、廃液を混合し、処理できるものはなるべくまとめて処理するのが望ましく、そのためには、今後、混合廃液について検討を行わなければならない。

今回の実験は家庭用電子レンジ（出力 500W）を使用しての小規模な実験であるため、出力を増加させた場合について安全性の検討がなされていない。又、廃液の処理を定常的にマイクロ波で行う場合出力を増加させて、処理能力を上げる事も必要となる。従って、マイクロ波加熱による分析廃液の処理は今後さらに検討を継続して行く必要がある。

図-1 マイクロ波加熱温度上昇曲線

(U電位差滴定廃液の場合)



7. 廃液組成と処理法との関係

分析廃液の処理に関する検討会を通して検討した処理法について、廃液の組成と処理法の関係を、実験または文献等より確認し、表-8及び9に示した。この表を参考にして、廃液組成に応じた処理法の選択、同一処理可能な場合の収集方法、処理不可能物質に対する対策などに利用できるが、処理法を決定するには施設上の問題、操作性、核物質による汚染の有無、廃棄物の発生量なども考慮する必要がある。

表-8 廃液組成と処理法との関係

○印～分離可（100%）
 △印～一部分離可（50～80%）
 ×印～分離可（50%以下）

| 廃液名 | 物質名 | 処理法名 | | | 備考 |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------|-----------|--|
| | | 重ウラン酸ナトリウム法 | フェライト法 | 水酸化カルシウム法 | |
| ウラン滴定廃液 ($K_2Cr_2O_7$ 廃液) | U (VI) | ○ | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ○他と混合せず単独で保管。 △保管には、ガスの発生やポリビンの変色・ヒビに注意する。 ×フェライト法の以外はCr (VI)を$NaHSO_4$などでCr (III)に還元した後処理する。 |
| | Fe (III) | ○ | ○ | ○ | |
| | Cr (VI) | ○ | ○ | ○ | |
| | Ti (IV) | ○ | ○ | ○ | |
| | K | × | × | × | |
| | H_2SO_4 | × | × | × | |
| | Cl^- | × | × | × | |
| | $C_6H_5NHC_6 - H_4SO_3Na$ | × | × | × | |
| TBP-ケロシン廃液 | TBP | × | × | × | <ul style="list-style-type: none"> ○現在は希釈廃棄。 |
| | ケロシン | × | × | × | |
| H ₂ O ₂ 比色廃液 | U | ○ | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ○他と混合せず単独で保管。 |
| | H ₂ O ₂ | × | × | × | |
| | Na ₂ CO ₃ | × | × | × | |
| U同位体分析廃液 | U (VI) | ○ | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ○発生量が少ないので、そのつど自然乾燥し廃棄してもよい。 |
| U,Pu同位体分析廃液 | U (VI) | ○ | ○ | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ○グローブボックス内で処理を行う。 |
| | Pu (VI) | - | - | ○ | |
| | Am | - | - | ○ | |
| ガラス、浸出液等の廃液 | Sr | × | × | × | <ul style="list-style-type: none"> ○現在は希釈廃棄。 ○将来はフェライト法を適用する予定。 |
| | Si | × | × | × | |
| | B | × | × | × | |
| | Al | × | × | × | |

| 廃 液 名 | 物 質 名 | 処 理 法 名 | | | 備 考 |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------|--------|---------------|----------------------|
| | | 重ウラン酸 ナトリウム法 | フェライト法 | 水酸化 カルシウム法 | |
| ガラス、浸出液等の 廃 液 | Na | × | × | × | |
| | K | × | × | × | |
| | Fe | ○ | ○ | ○ | |
| | Zn | ○ | ○ | ○ | |
| | Mn | ○ | ○ | ○ | |
| | Mg | ○ | ○ | ○ | |
| | Mo | × | × | × | |
| | Ba | ○ | ○ | ○ | |
| | Ti | ○ | ○ | ○ | |
| | Pb | ○ | ○ | ○ | |
| | Pd | ○ | ○ | ○ | |
| | Ni | ○ | ○ | ○ | |
| | Cr | ○ | ○ | ○ | |
| | Ca | × | × | × | |
| | Co | ○ | ○ | ○ | |
| | Sn | ○ | ○ | ○ | |
| | HCl | × | × | × | |
| 炉材料分析廃液 (Zry. SUS) | Zr | ○ | ○ | ○ | ◦現在は希釈廃棄。 |
| | Fe | ○ | ○ | ○ | ◦フッ素系廃液として 保管。 |
| | Cr | ○ | ○ | ○ | ◦MIBK以下は他と混 合しない。 |
| | Ni | ○ | ○ | ○ | |
| | K | × | × | × | |
| | H ₂ SO ₄ | × | × | × | |
| | H ₃ PO ₄ | × | × | △ | |
| | HNO ₃ | × | × | × | |
| | H F | ○ | × | ○ | |
| | MIBK | × | × | × | |
| | CH ₃ COOH | × | × | × | |
| | CH ₃ OH | × | × | × | |

表-9 廃液組成と処理法との関係

| 廃 液 名 | 物 質 名 | 処 理 法 名 | |
|-----------------------|----------------------------------|---------|----------|
| | | 凝集沈殿法 | 硫化物凝集沈殿法 |
| Pu 分析廃液 | Pu | ○ | × |
| | U | △ | × |
| | NO ₃ ⁻ | × | × |
| | A _g ⁺ | △ | ○ |
| | Ce ³⁺ | ○ | × |
| | Fe ³⁺ | ○ | ○ |
| | SO ₄ ²⁻ | × | × |
| | NH ₄ ⁺ | × | × |
| | Cr ³⁺ | ○ | × |
| F・C _l 分析廃液 | CH ₃ COO ⁻ | × | × |
| | NH ₄ ⁺ | × | × |
| | Hg ²⁺ | × | ○ |
| | SCN ⁻ | × | × |
| | Fe ³⁺ | ○ | ○ |
| | NO ₃ ⁻ | × | × |
| | Na ⁺ | × | × |
| | ALC-La | ○ | × |
| N 分析廃液 | Pu | ○ | × |
| | U | △ | × |
| | Na ⁺ | × | × |
| | C _l ⁻ | × | × |
| | Hg ²⁺ | × | ○ |
| | I ⁻ | × | × |
| | K ⁺ | × | × |
| U 分析廃液 | PO ₄ ³⁻ | △ | × |
| | SO ₄ ⁻ | × | × |
| | Fe ²⁺ | ○ | ○ |
| | MoO ₄ ²⁻ | ? | × |
| | Cr ⁶⁺ | ○ | × |
| | K ⁺ | × | × |
| | Pu | ○ | × |
| | U | △ | × |

8 廃液処理マニュアル

8-1 分析済ウラン、重金属廃液の処理法 (フェライト法-A棟)

8-1-1 要旨

分析済ウラン、重金属含有廃液を処理装置の反応槽に入れ液量を50ℓにする。つぎに、処理剤2.0～5.0kg入れpHを11～12に調整する。液温を50℃にしたのち、空気酸化を70分間行いフェライト化を確認後凝集硬化剤60gを加え10分間攪拌後、沪過し、沪液が基準値以下であることを確認して排水する。

8-1-2 適用範囲

本法は、A棟において発生する分析済ウラン、重金属含有廃液の処理に適用する。

8-1-3 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム(50%)
- 2) 硫酸第1鉄
- 3) 塩酸(1+1, 1+4)
- 4) 沪布(ポリオレフィン系合成繊維)
- 5) 蒸発皿(陶器製2ℓ容器)
- 6) 凝集硬化剤(ヤマト化学K・K社製)
- 7) ホットプレート(温度調節付)
- 8) 重金属廃液処理装置(ヤマト化学K・K社製EF-60型)

8-1-4 安全

- 1) 本操作はゴム手袋を着用して行うこと。
- 2) 作業の際は所定の場所で靴にはきかえること。
- 3) 作業場所はビニールシートを敷き、他の人がみだりに立入らない様にする。
- 4) 作業終了後はサーベイメータで身体及び床面等をサーベイすること。

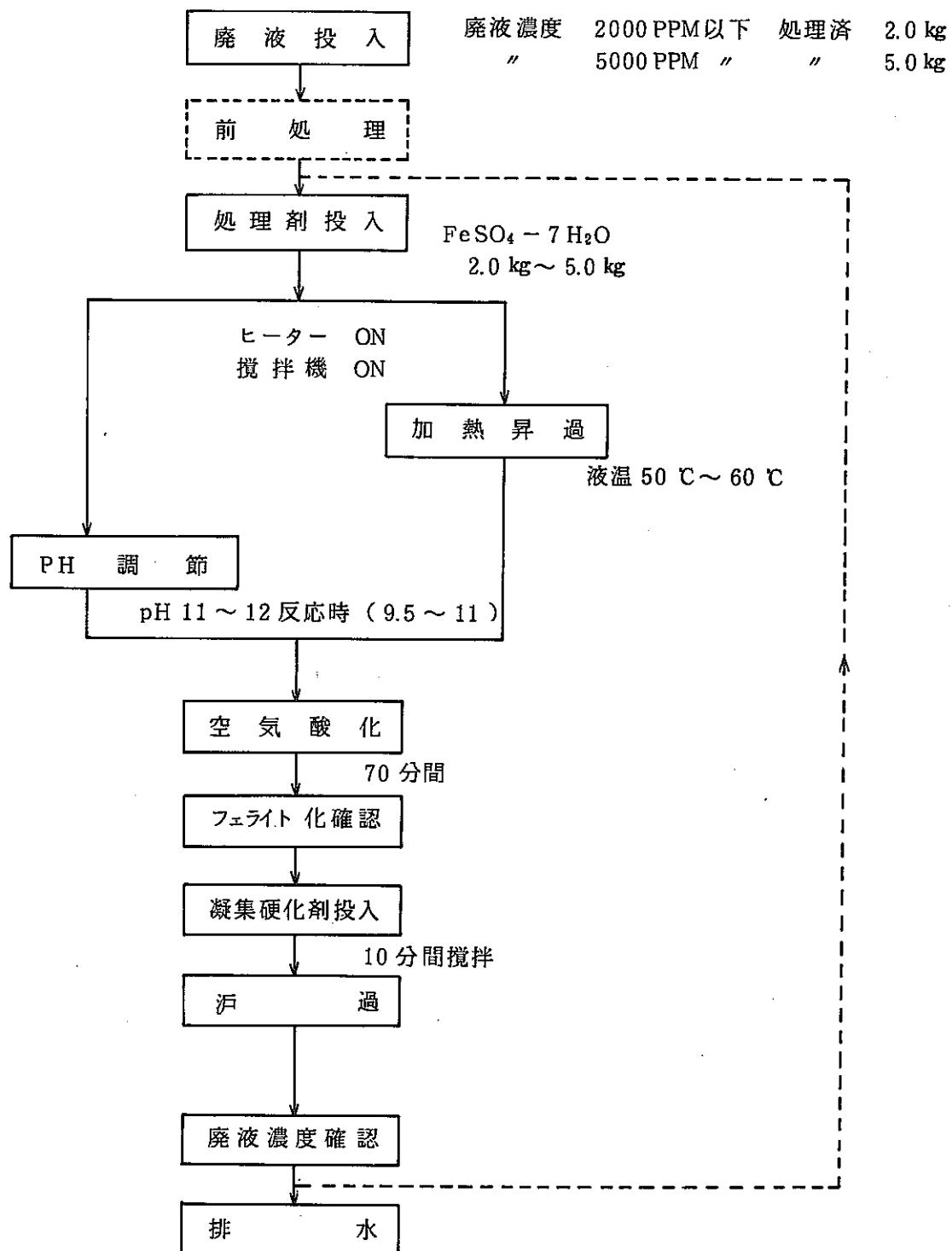
8-1-5 処理操作

| 操 作 | 備 考 |
|---|---|
| <p>1) 反応槽タンクに廃液を入れ水で約50ℓにする。</p> <p>2) 加熱ヒータ、攪拌機のスイッチをONにする。</p> <p>3) 硫酸第1鉄を2.0～5.0kg加えpH計のスイッチをONにする。</p> <p>4) 液温が約50℃になったら水酸化ナトリウムを加えpH11～12に調整する。</p> <p>5) 加熱ヒータをOFFにして、空気プロワスイッチをONにし空気酸化を約70分間行う。</p> <p>6) プロワスイッチをOFFにし、フェライト生成状態を確認後、凝集硬化剤60gを加え10分間攪拌する。</p> <p>7) フェライト化確認後沪過槽に処理液を流し、沈殿物を沪過する。</p> <p>8) 沪過後の沪液はウラン濃度を確認後、排水する。沈殿物は沪過槽よりスプーンで蒸発皿に移し、ホットプレート上でゆっくり乾燥する。</p> <p>9) 乾燥が終了したら放冷後ビニール袋に移し、放射性固体廃棄物として廃棄する。</p> | <p>1) ウラン量として5000PPM以下に希釈する。</p> <p>3) 硫酸第1鉄はウラン2000PPM以下の時2.0kg 5000PPM以下の時5.0kg加える。</p> <p>6) フェライト生成の確認はビーカー(100ml)に処理液を採取し磁石をビーカーに付け沈殿物が磁石に付くか調べる。</p> <p>8) ホットプレートは100℃以下で使用すること。</p> |

8-1-6 解説及び文献

- 1) キレート試薬等が混入すると処理効率が低下するので保管の際にはキレート試薬等を混入させない。
- 2) 沈殿物を生成している廃液はまえもって沪過し沈殿と廃液を分離して処理する。
- 3) 日本化学会編「化学便覧」参考
- 4) 岩波書店「理化学辞典」参考
- 5) 化学技術開発センター「試験研究施設排水の処理と事例集」
- 6) 第一法規「環境法ハンドブック」参考

フェライト法フローシート



フェライト化に失敗した排液は、反応槽に戻し、失敗の原因を取り除いてから再処理する。

8-2 分析ウラン廃液の処理法 (重ウラン酸ナトリウム沈殿法-A棟)

8-2-1 要 旨

分析済みのウラン廃液は、分析方法ごとに区分けしポリビンに保存する。ウランの濃度や組成に応じて直接排水ピットに流す方法、バッチ式で重ウラン酸ナトリウム（以下SDUという）の沈殿物を作る方法、それに重金属排液処理装置を使う方法に分けてウラン廃液を処理する。

8-2-2 適用範囲

本法はA棟におけるウラン分析廃液の処理法について適用する。

8-2-3 試薬及び装置

- 1) 水酸化ナトリウム溶液 (50 %)
- 2) 水酸化カルシウム粉末
- 3) 塩化第2鉄溶液 (20 %)
- 4) pH計
- 5) 搅拌機
- 6) 中和槽タンク (ホーロー製 10 ℥)
- 7) ブナーロート ($\phi 30\text{ cm}$)
- 8) ハンディアスピレーター
- 9) 沂過びん (10 ~ 20 ℥)
- 10) 蒸発皿 (2 ℥)
- 11) ホットプレート (温度調節付)
- 12) 重金属排液処理装置 (ヤマト科学K・K NELIX-F型式 EF-60)

8-2-4 安 全

- 1) 本作業はゴム手袋を着用して行なうこと。
- 2) 作業の際は所定の場所で所定の靴にはきかえること。
- 3) 作業の場所はビニールシートを敷き、他の人がみだりに立入らない様にすること。
- 4) 作業終了後はサーベイメータで身体及び床面等をサーベイすること。

8-2-5 分析操作

分析済み廃液は次のように分類し、それぞれの方法で処分する。尚、5-1以外は3~10

ℓのポリビンに貯蔵したのち処理する。

8-2-5-1 直接A棟モニタリングピットに流す廃液ウラン濃度の薄い溶液（アルセナゾⅢ法、ネオトリン法などウラン含有量が μg の単位まで）は、そのまま流しから多量の水（10倍以上）とともに流してよい。

8-2-5-2 バッチ式でSDUを作る廃液

フッ素を含むウラン廃液やDBM法（多量のピリジンを含む）での廃液はpH電極を侵かしたり、塩ビを軟化させたりするために、排液処理装置を使うことができない。よってこれらは各々ポリビンに貯蔵したのち、次の操作手順に従って操作し、放流する。

| 操 作 | 備 考 |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) 中和槽タンクに廃液の3~5 ℓをはかりとる。 2) 搅拌機で溶液を搅拌しながら、塩化第2鉄溶液100 mlを加える。 3) pH計の電極を浸し、水酸化ナトリウム溶液（50%）を除々に加えてpHを9~10に調整する。 4) 約10分間溶液を搅拌したのち静置し、沈殿を沈降させる。 5) 殿物をブナーロートを用いてハンディアスピレータで吸引汎過する。 6) 沈殿物をブナーロートよりスプーンで蒸発皿に移しホットプレート上でゆっくり乾燥する。 7) 乾燥が終了したらビニール袋に移し、ドラム缶に廃棄する。 | <ol style="list-style-type: none"> 2) 鉄が混入している溶液は加えなくともよい。 3) フッ素含有廃液はpH試験紙を使用する。 5) 汎過後の汎液から10 mlを採取し、TBP-ケロシン抽出・過酸化水素光度法で分析し、ウランが検出限界以下であることを確認後モニタリングピットに排水する。 6) ホットプレートの温度は100℃以下とする。 |

8-2-5-3 重金属排液処理装置を使って処理する方法、有機溶媒の廃液は炭酸ナトリウム（10%）で2~3回逆抽出したのち溶媒は廃棄する。逆抽出した炭酸ナトリウムの廃液や重クロム酸カリウム滴定を使った廃液はポリビンに貯蔵したのち排液処理装置を使って処理する。

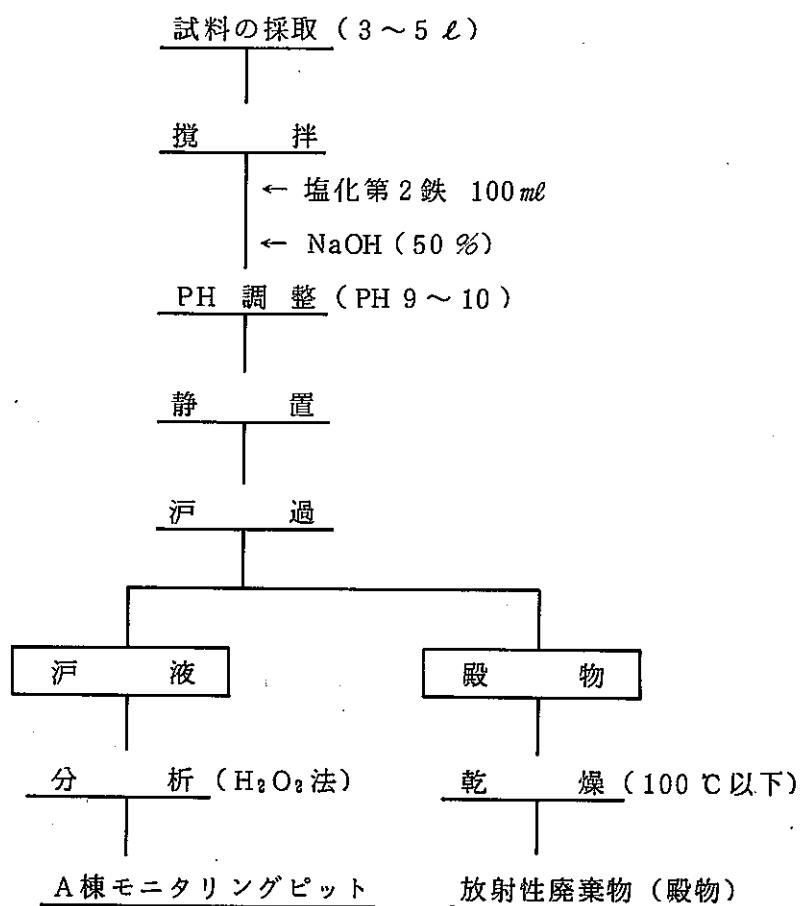
| 操 作 | 備 考 |
|--|---|
| <p>1) 反応槽に廃液 20 ~ 30 ℥を入れ、水で約40 ℥とする。</p> <p>2) 搅拌機と加熱ヒータのスイッチを入れる。</p> <p>3) pH計のスイッチを入れ、液温が約 50 ℃になったら水酸化カルシウムの粉末を 10 ~ 30 gづつ除々に反応槽に入れ、過剰のアルカリ性(pH 10 ~ 11)にする。</p> <p>4) 加熱ヒータと pH計のスイッチを切り、約 10 分間溶液を搅拌する。</p> <p>5) 沔布の入った済過かごに沈殿物を落とし済過する。</p> <p>6) 沈殿物を済布よりスプーンで蒸発皿に移し、ホットプレート上でゆっくり乾燥する。</p> <p>7) 乾燥が終了したらビニール袋に移し、ドラム缶に廃棄する。</p> | <p>1) pHを 1 以上とする。</p> <p>3) 重ウラン酸カルシウムとして沈殿させる。</p> <p>5) 済過後の済液から 10 ml を採取し、TBP-ケロシン抽出・過酸化水素光度法で分析し、ウランが検出限界以下であることを確認して、モニタリングピットに排水する。</p> <p>6) ホットプレートの温度は 100 ℃以下とする。</p> |

8-2-6 解説及び文献

本法は溶液の濃度および組成に応じてその処理法を区分した。ゆえに本廃液を処理するまでは所定の場所にポリビンで保管し、表面に内容物について明記しておくことが必要である。重金属排液処理装置は塩ビ製でガラス電極を使用しているため、フッ素や高温度での使用は避ける。又、詳しい取扱いは取扱い説明書を参考にすること。

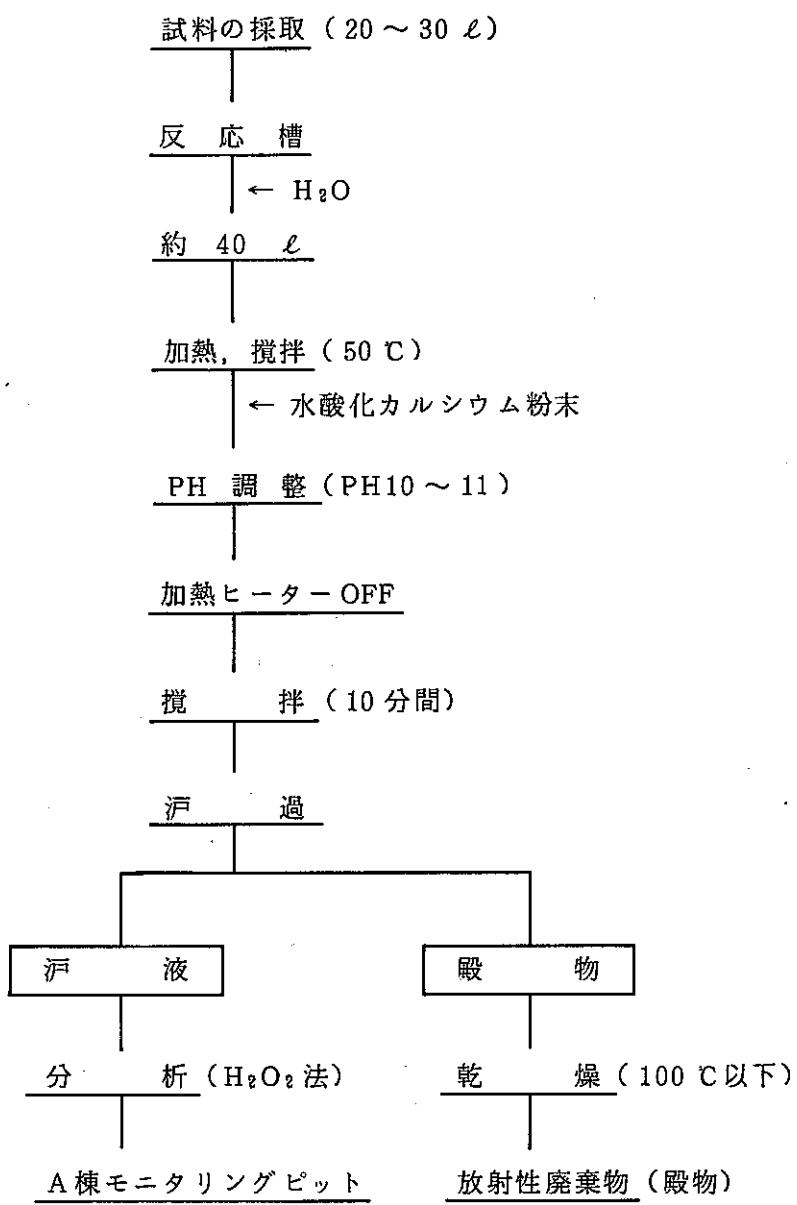
8-2-7 工程図

ウランの廃液処理法



8-2-8 工程図

ウランの廃液処理法



8-3 フッ素含有廃液の処理法 (水酸化カルシウム沈殿法-A棟)

8-3-1 要旨

分析に使用したフッ素含有廃液で、濃度が非常に薄い溶液と有機物が含まれている廃液は排水ピットに流し、その他の廃液についてはポリビンに一時貯蔵する。一時貯蔵した廃液は水酸化カルシウムで中和沈殿させ沈殿物を乾燥させたのち廃棄する。

8-3-2 適用範囲

本法はA棟におけるフッ素含有廃液で濃度が0.1M以上で有機物を含まない廃液の処理に適用する。

8-3-3 試薬及び装置

- 1) 水酸化カルシウム粉末
- 2) ポリエチレン製ビーカー(3ℓ)
- 3) 沔過装置；沢紙(No 5B 60×60cm)を四角に折り、洗い籠の内側にセットする。

8-3-4 安全

- 1) 酸類、アルカリ類の皮ふ、眼への飛散および濃厚ガスの吸入等のないように注意すること。
- 2) フッ素含有廃液の取扱いは、ゴム手袋を着用して行なうこと。

8-3-5 分析操作

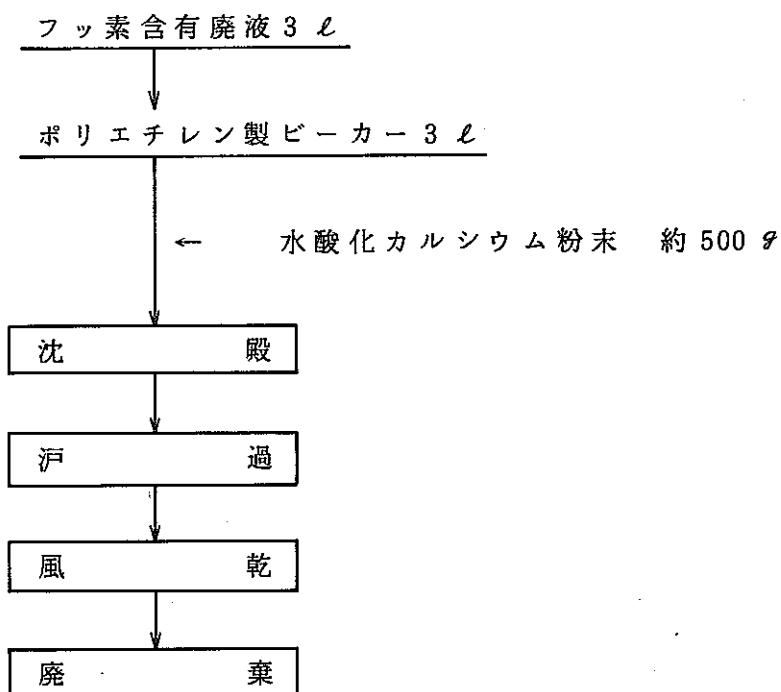
| 操 作 | 備 考 |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) フッ素含有廃液3ℓをポリエチレンビーカー(3ℓ)に入れ、スターラーで攪拌する。 ここに水酸化カルシウム粉末約500gを加え良く攪拌したのち、しばらく静置する。 2) あらかじめ準備した沢過装置に沈殿した廃液をあけ、沢過する。 3) ドラフト内で沈殿物を風乾したのち、ビニール袋に入れ一般不燃物として廃棄する。 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 水酸化カルシウム粉末を加えた時pHがアルカリ性になっていることをpH試験紙で確かめる。 |

8-3-6 解説および文献

- 1) N841-78-10 排水中のフッ素の処理および分析法

8-3-7 工程図

フッ素廃液処理法



8 - 4 分析済ウラン廃液の処理法 (水酸化カルシウム-リン酸沈殿法-B棟)

8 - 4 - 1 要 旨

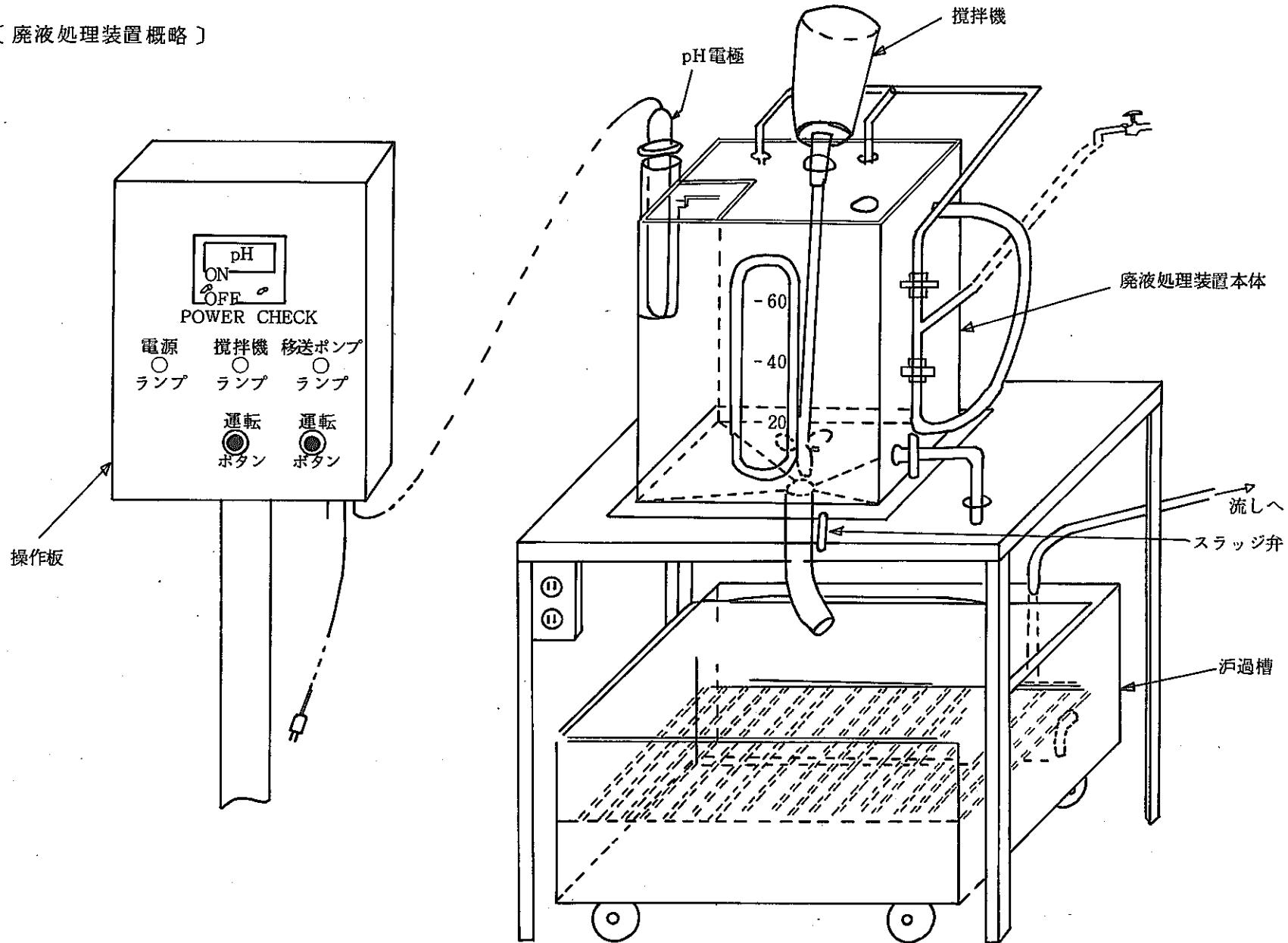
滴定等に使用したウラン廃液（硝酸、リン酸を含む）を廃液処理装置に入れ、水酸化カルシウム（消石灰）を加える事により、リン酸カルシウムと共にウランを共沈させる。充分反応させた後、上澄液中のウラン濃度が充分低下した事を確認し、戻過して、沈殿と上澄液を分離させる。

8 - 4 - 2 操 作

| 手 順 | 備 考 |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. ウラン廃液 20 ℓを廃液処理装置に入れる。 2. 水道水を加え 2 倍に希釈する。 3. 廃液を攪拌しながら水酸化カルシウム（消石灰）を加える。 4. 充分反応させた後、攪拌を止め、沈殿を沈降させる。 5. 上澄液中のウラン濃度を確認する。 6. pH を 5.8 ~ 8.6 に調整する。 7. 廃液処理装置下部にある戻過槽に戻布を準備する。 | <ul style="list-style-type: none"> ◦攪拌機のプロペラが 2箇所に付いており、廃液を攪拌し易くさせ、又、上部へ飛散させないため希釈する。 ◦水酸化カルシウムは、充分に反応させるように、又、塊状にならないように徐々に加える。 ◦加える量は、装置に装着している pH 計の pH が、反応で徐々に上昇し、pH 7 を越えるまでとする。 ◦上澄液 (2 ~ 3 cc) を採取し、A 棟に分析を依頼する。 ◦ウラン濃度が高い時は、水酸化カルシウム及びリン酸を適度に加え、3, 4 の操作を繰り返す。 ◦pH 7 以下では、水酸化ナトリウム、pH 7 以上では、硝酸等を加える。 |

| 手 順 | 備 考 |
|--|---|
| 8. 廃液を攪拌しながら装置下部のスラッジ弁を開き汎過槽へ流し、沈殿物と水相を分離する。 | |
| 9. 水相は、極低廃液の流しから排水する。 | |
| 10. 沈殿物はバットに取り、フード内で乾燥させる。 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 汎過槽の移送ポンプを利用し、ビニールホースを流し返のばして排水する。 ◦ 乾燥は、バット底部の沈殿物の水分がなくなる迄行う。 |
| 11. 乾燥した沈殿物は、ウラン系不燃物として廃棄する。 | |

〔廃液処理装置概略〕



8-5 分析済プルトニウム、濃縮ウラン系廃液の処理法 (水酸化カルシウム-リン酸沈殿法-B棟)

8-5-1 要旨

分析済みのプル系廃液は、ポリビン（200～250 ml）に保存する。5～6本（1～1.5 l）になったら、グローブボックスにバックインし、ポリ製バットに移す。水酸化カルシウム（消石灰）とリン酸を加え充分反応させた後、一週間程放置する。沈殿物をビニール袋に移し、バックアウト後プル系廃棄物としてドラム缶に廃棄する。

8-5-2 適用範囲

本法は、B棟におけるプル系分析廃液の処理法について適用する。

8-5-3 試薬及び装置

- 1) 水酸化カルシウム粉末（一級）
- 2) リン酸
- 3) 蒸発皿（2 l）
- 4) はさみ
- 5) 金のこ
- 6) ビニールシール機

8-5-4 安全

- 1) 本作業は、ゴム手袋を着用し、グローブボックス内で行う。
- 2) 作業終了後は、サーベイメータで身体及び床面等をサーベイすること。
- 3) 搬入（バックイン）するときは、ポート（金具）等に引っかけやぶらないよう十分注意して行う。
- 4) 電離箱式サーベイメータを用いて線量率を測定し、高線量のときは時間を定め、短時間に行う。
- 5) ポリビンを金のこで切るときは、グローブ等にきずをつけないよう十分注意して行う。

8-5-5 分析操作

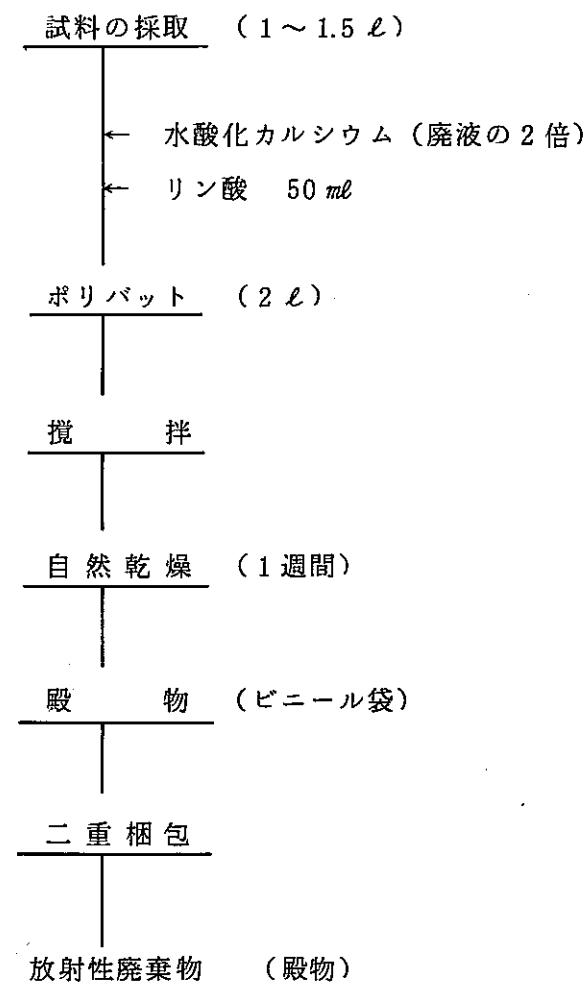
| 操 作 | 備 考 |
|---|--|
| 1) 廃液ポリビンをビニール袋に入れ、シーラーでシールする。 | 1) シール部が冷えてから操作する。 |
| 2) 廃液及び必要な物品をグローブボックス内へ搬入（バックイン）する。 | 2) グローブボックスへの搬入は、B棟安全作業基準グローブボックス作業一般を参照。 |
| 3) はさみを用いて廃液及び物品を取り出す。 | 3) はさみで取り出す際は、シール部の外側をやぶらないよう注意する。 |
| 4) 廃液をプラスチック製バット（2ℓ）にあけ、水酸化カルシウムを廃液の約2倍及びリン酸50mℓを加え、攪拌し、リン酸カルシウムと共にウラン及びプルトニウムを共沈させる。 | |
| 5) グローブボックス内で自然乾燥させる。 | 5) 約1週間放置する。 |
| 6) 残物をビニール袋に入れ、不燃性固体廃棄物としてグローブボックスより搬出（バックアウト）する。 | 6) グローブボックスからの搬出は、B棟安全作業基準グローブボックス作業一般を参照。 |
| 7) ビニールバックにより、二重梱包とし、プル系不燃固体廃棄物として廃棄する。 | |
| 8) 廃液ポリビンをグローブボックス内で金のこを用いて小さく切る。 | 8) グローブに傷をつけないよう注意して行う。 |
| 9) 小さく切ったポリをカートンに詰め、難燃性廃棄物としてグローブボックスより搬出する。 | 9) グローブボックスからの搬出は、B棟安全作業基準グローブボックス作業一般を参照。 |
| 10) ビニールバックにより二重梱包とし、プル系難燃廃棄物として廃棄する。 | |

8-5-6 解説及び文献

本廃液を処理するまでは、所定の場所にポリビンで保管し、あまり溜めない（1～1.5ℓ）で処理するのが好ましい。グローブボックスへの搬入（バックイン）や搬出（バックアウト）については、B棟安全作業基準を参照すること。

8-5-7 工程図

廃棄物処理法



9. 結語

1. 4施設とも分析試薬を含んだ複雑で多種類の廃液が発生し、その廃液組成は、重金属系、フッ酸系、ウラン系、ウラン-プルトニウム系及び有機溶媒系の廃液に分類される。特に廃液処理がむずかしいウラン-プルトニウム廃液は4施設で50ℓ/月発生し、各施設での処理能力が少いため、現在約400ℓの廃液が保管されている。廃液は組成ごとに、すぐに処理することが望ましく、安全性、操作性及び効率の良い処理法の検討が他の何よりも優先して実施する必要がある。
2. 発生した廃液は組成ごとに分類保管されており、発熱、有毒ガスの発生及び爆発等の対策も良く考慮して保管されているが、保管中の内容物の表示、収納容器の観察など日常点検を確実に励行する必要がある。
3. 分析廃液の処理法については、まだ確立されていないものがあり、早急に各組成に対する処理法の開発が必要である。先ほど述べたように、特にウラン-プルトニウム系の廃液処理法については、グローブボックス内処理法の開発として、操作性、安全性、自動化、2次廃棄物発生量の減容化及び装置の小型化等を考慮した新しい処理法の開発が望まれる。それには定常業務や他の開発業務と同様に時間的、予算的な措置を講じ分析廃液の処理を一つのプロセスとして考え、取り組まなければ解決できないように思われる。
また、すでに確立されている方法でも操作性、自動化などから、見直し改良をはかって行く必要がある。

10 参考資料

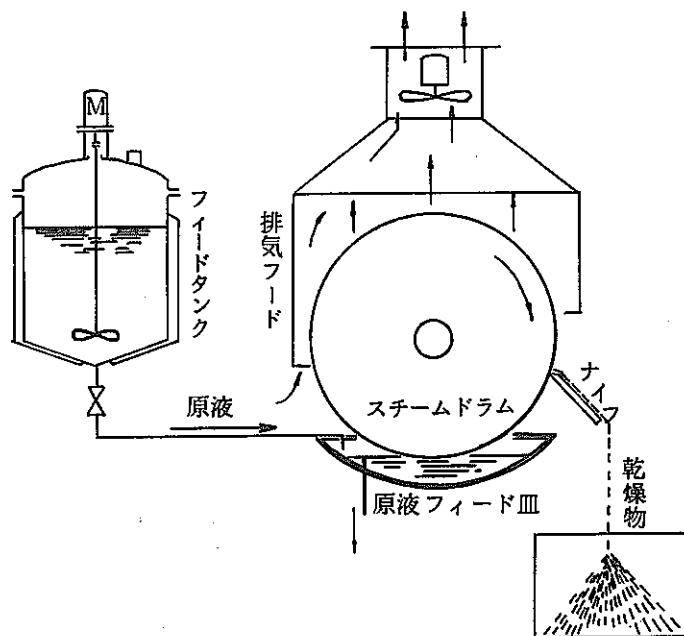
分析廃液の処理法及び処理装置を検討調査した中で、特に放射性物質を含む廃液の処理はフードあるいはグローブボックス内で処理する必要がある。従って操作性、安全性、自動化及び装置の小型化が重要となる。これらの条件に適応できる可能性がある廃液処理法として、加熱された回転ドラムに廃液を捲き上げ、蒸発・乾燥させる「ドラムドライヤー法」が有効ではないかとの意見が多くかった。この処理法はすでに装置化されており、廃液の組成による適用性、フードまたはグローブボックス用に改造するなど早急に調査検討する必要があるので、本章の概要を参考資料として記載した。

- 1) 装置名：ドラムドライヤー（寸法 巾810×奥行560×高さ1300mm）
- 2) 濃縮乾燥機構：本機の濃縮、乾燥機構は、スチームにより表面が加熱された回転ドラムが下部に設けられた原液フィード皿の原液を連続的にフィルム状でドラム表面に捲き上げ、このフィルム状原液の水分を瞬間蒸発し、濃縮又は乾燥させ、搔きとりブレードで搔きとり、自由に所期水分の濃縮液又は乾燥粉末、フレーク状製品が連続的に得られる。

この「原液捲き上げ→乾燥・濃縮→搔きとり」の工程は連続的に行なわれ、原液のオートフィード機構を附設することにより無人運転が可能である。

尚、ドラム回転速度の調整により回収試料の含水量を容易にコントロールすることができる。

本機の乾燥機構は、加熱ドラム表面のフィルム状原液中水分を瞬間蒸発する。このとき原液の自由表面は高い蒸気圧が得られ、且つ、この蒸気はドラムの回転による表面移動と排気送風により移動拡散がし易いため、意外の蒸発量が得られる。そのため熱効率高く、運転コストも経済的である。



3) 構造

本機は、回転ドラム、同駆動機構、同加熱スチームライン、原液フィード皿、乾燥試料搔きとり機構、及び排気フード等から成る。

1. 回転ドラム

原液を濃縮、乾燥するための加熱ドラムで、ドラム内にスチームを通し、ドラム表面は加熱される構造で、フィルム状に捲き上げた原液を瞬間濃縮、乾燥する。

ドラムは、ステンレス（SUS-304）製で、通常、スチーム圧力常用 3 kg/cm^2 で、表面温度は $\approx 140^\circ\text{C}$ で濃縮乾燥を行なう。

2. ドラム駆動機構

ドラムを回転させる無段変速駆動機構で、ドラム回転速度が自由に選べるので、原液の性状に従った濃縮、乾燥条件がコントロールできる。

3. 原液フィード皿

ドラムに捲きとる原液を一定レベルに保つための原液受皿で、原液の受入、及びオーバーフロー管を備えたステンレス（SUS-304）製容器で、原液に回転ドラムが接触する度合を調整することができる。

尚、原液の性状によっては、攪拌機構を附し、原液中の懸濁物の沈殿を防止すると共に、更に原液巻き上げロールを附し、回転ドラムに原液を間接的にフィードして安定した運転条件を得ることもできる。

4. 乾燥試料搔きとり機構

回転ドラム面で濃縮又は乾燥したものを搔きとるための機構で、搔きとりにはステンレス（SUS-304）製等の搔きとりブレードを用いている。

搔きとり状態は、搔きとりブレード締め付け調整機構等により調整することができる。

5. 排気フード

蒸発した蒸気を排出するための排気フードで、ドラム上部に設置した排気ファンにより蒸気を系外に導く。

尚、装置設置場所の排気の条件等を考慮してダクト等工事を行なう。

6. 原液フィード機構

標準仕様は、オーバーフローパイプ（レベル調整用）付平皿型容器であるが、必要によりオートフィード機構により無人運転を行なうことができる。

原液タンクより装置の原液フィード皿に原液を送るラインにも電磁弁を備え、原液フィード皿のレベル検出器により原液フィード電磁弁を制御して、処理量に応じた原液をオートフィードすることができる。

4) 使用例

| 原 液 | 性 状・成 分 | 処理量 kg/H | 回 収 試 料 |
|------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| 洗 剤 廃 水 处 理 廃 液 | 乳 白 色 水 分 ≒ 95 % | 55.4 | 乾 燥 帯 状 |
| ニ ッ ケ ル 廃 液 | 濃 緑 色 溶 液 | 59.4 | ウ エ ッ ト 固 型 |
| メ ッ キ 廃 液 | Ni, Cr, Ag, Au, ナトリウム塩 | 62.8 | 乾 燥 粉 末 |
| " | " | 56.2 | " |
| 浮 遊 塵 埃 湿 式 处 理 廃 液 | 水 (含。炭酸カル) | 47.8 | " |
| ペ プ ト ン 炉 過 残 池 | | 25.6 | ウ エ ッ ト 固 型 |
| ペ プ ト ン 炉 過 液 | 30 % 水 溶 液 | 24.1 | " |
| ア ミ ン 系 合 成 廃 液 | | 64.8 | 乾 燥 |
| ニ ッ ケ ル メ ッ キ 廃 液 | pH 7 | 56.6 | ウ エ ッ ト 固 型 |
| 廢 油 | | 16.2 | 脱 水 |
| 塗 料 を 含 ん だ 廃 液 | | 46.9 | 乾 燥 |
| 重 金 属 处 理 廃 液 | 上 澄 無 色 溶 液 | 60.3 | 乾 燥 粉 末 |
| " | 下 層 濁 緑 液 | 63.4 | " |
| エ マ ル ジ オ ン 反 応 機 内 洗 净 廃 液 (+凝集剤) | 白 濁 液 | 44.4 | " |
| 中 和 廃 液 硫 酸 ア ン モ ン | 透 明 溶 液 | 34.5 | ウ エ ッ ト 粉 末 |
| " | " | 32.9 | " |

| 原液 | 性状・成分 | 処理量 kg/H | 回収試料 |
|-----------------|----------|-------------|--------|
| 植物抽出液廃液 | 茶褐色溶液 | 66.1 | ウエット粉末 |
| " | " | 45.7 | " |
| 重金属処理廃液 | 濁緑溶液 | 38.8 | " |
| 植物抽出液廃液 | 茶褐色溶液 | 34.8 | " |
| 米とぎ汁 | | 45.7 | 乾燥粉末 |
| ワクチン溶液 | 水溶液 | 32.9 | ウエット粉末 |
| 植物抽出液(+水) | | 53.7 | " |
| ステンレス酸洗廃液中和スラリー | 水分 94.2% | 70.6 | 乾燥粉末 |
| メツキ廃液 | 色・ライトブルー | 36.4 | " |
| オイレルメチルタウライド水溶液 | | 7.7 | ウエット固型 |
| 植物皮根抽出液 | 茶褐色 | 45.0 | ウエット粉末 |
| 変質油(+水) | 水分 90%以上 | 19.1 | 乾燥スラッジ |
| 洗剤溶液 | 0.002% | 75.0 | 乾燥粉末 |
| 廃棄物処理スラッジ | 水分 88.5% | 77.4 | " |
| 燃酸カルシウム懸濁液 | | 77.4 | " |

※蒸気圧 3 kg/cm² 蒸気温度 = 140 °C

11. 参考文献

- 1) 猪狩：COD除去対策としての物理化学的排水処理技術，
- 2) 吉田，他：活性炭による重金属イオンの吸着（第5報），水処理技術，19（1978）
- 3) 吉田，他：活性炭による重金属イオンの吸着（第7報），水処理技術，21（1980）
- 4) 木村：活性炭による微量元素の分離濃縮法，ぶんせき，5（1981）
- 5) 白樺，他：活性炭への重金属イオンの吸着におよぼす有機配位子の影響，日本化学会誌，No. 7 (1983)
- 6) 吉田，他：活性炭による6価クロムの吸着および還元，日本化学会誌，No. 3 (1977)
- 7) 亀川，他：活性炭によるヒ素(III)およびヒ素(V)の吸着，日本化学会誌，No. 10 (1979)
- 8) 浦野，他：活性炭に対する強酸，強塩基およびそれらの塩の吸着機構と活性懸濁液のpH 日本化学会誌，No. 11 (1976)
- 9) EMELITY, et al, "LIQUID-WASTE MANAGEMENT SYSTEMS IMPROVEMENT PROGRAMMES AT LOS ALAMOS SCIENTIFIC LABORATORY" IAEA-SM-246/33。
- 10) CHRISTENSEN, E.L. CHRISTENSEN, "PLUTONIUM RECOVERY AT THE LOS ALAMOS SCIENTIFIC LABORATORY" IAEA-SM-246/32.
- 11) 通産省立地公害局編：公害防止の技術と法規（1976）
- 12) 日刊工業新聞社：公害防止ハンドブック，

- 13) 海外技術資料研究所：分析法早見総覧（公害法規別、規制物質別）（1977）
- 14) 日刊工業新聞社：工業用水と廃水処理（1974）
- 15) 技術庁原子力安全局放射線安全課：放射性有機廃液の焼却に関する安全指針，（1980）
- 16) 化学同人編集部：実験を安全に行うために，（1981）