

JAERI-M

7 3 7 3

化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液の
ピチューメン固化

1977年11月

福田 勝男・西沢 市王・勝山 和夫

松元 章・阪田 貞弘*

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

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液のピチューメン固化

日本原子力研究所大洗研究所放射性廃棄物処理課

福田勝男・西沢市王・勝山和夫

松元 章・阪田貞弘*

(1 9 7 7 年 1 0 月 1 4 日受理)

化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液を処理するために、1973年に設置した回分方式のピチューメン固化装置を用いて、コールド試験およびホット試験を実施し、化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液の減容効果、装置の特性、ピチューメン固化体の物性について調べた。

化学処理スラッジ（固体物含量；約6wt%）および蒸発缶濃縮液（固体物含量；約10wt%）をピチューメン固化することに伴う減容比は、それぞれ1/1.1.4および1/2以上であった。

混和蒸発時に同伴した凝縮液中の放射性物質量は、スラッジケーキの放射性物質量に対して約1/10⁵、蒸発缶濃縮液に対して1/5×10⁴であった。また排ガス中に散逸した放射性物質量は化学処理スラッジのとき、固化した全放射能に対して約1/10⁷、蒸発缶濃縮液のとき約1/10⁶であった。

化学処理スラッジのピチューメン中への混入量は、流動性および分散性において40～45wt%が適当であった。

ピチューメン固化体からの放射性物質の約1年後の浸出量は、化学処理スラッジの固化体で約0.01%，蒸発缶濃縮液と化学処理スラッジの固化体で約0.1%であった。

+ ; 現在、日本原子力研究所東海研究所保健物理部

* ; 現在、日揮株式会社

Bituminization of chemical sludge and evaporation concentrate.

Katsuo FUKUDA, Ichio NISHIZAWA, Kazuo KATSUYAMA
Akira MATSUMOTO⁺ and Sadahiro SAKATA^{*}

Division of Administration, Oarai Research Establishment, JAERI

(Received October 14, 1977)

A batchwise bituminization system has been installed in 1973 to treat chemical sludge and evaporation concentrate.

Volume reduction efficiency of both the wastes and characteristics of the system, and properties of the bitumen blocks were studied in cold and hot runs.

Volume reduction ratios obtained for the sludge (about 6 wt% solid content) and the concentrate (about 10 wt% solid content) were 1/11.4 and more than 1/2, respectively.

Radioactivity in the condensate was about $1/10^5$ that in the sludge cake, and about $1/5 \times 10^4$ that in the concentrate.

Radioactivity entrained in the off-gas was about $1/10^7$ of that in the sludge and about $1/10^6$ that in the concentrate.

As the ratio of sludge to bitumen, 40~45 wt% was found to be appropriate both in liquidity and dispersibility of the bitumen, sludge mixture.

The leaching rate of radioactivity from bitumen blocks in distilled water for about a year was about 0.01 % for the bitumen block with the sludge and about 0.1 % for the bitumen block with the concentrate, sludge.

Keywords:

Bituminization, Chemical Sludge, Evaporation Concentrate, Volume Reduction Ratio, Decontamination Factor, Incorporation Ratio, Leaching Rate, Bituminization Pilot Unit, Radioactivity, Radioactive Wastes.

⁺; At present, Division of Health Physics, Tokai, JAERI.

^{*}; At present, JGC Corporation.

目 次

1.はじめに	1
2.装置の概要	1
3.運転操作法	2
4.運転実績とその経験	3
4.1 運転実績	3
4.2 装置各部の試験結果	4
4.3 操作経験	5
5.ピューメン固化体浸出試験	7
5.1 スラッジのピューメン固化体浸出試験	7
5.2 濃縮液のピューメン固化体浸出試験	8
6.結論	8
6.1 装置各部の特性	8
6.2 ピューメン固化体の物性	9
6.3 ピューメン固化体の浸出性	9
7.おわりに	10
8.参考文献	10

1. はじめに

ビチューメン固化法は二次廃棄物（主に化学処理スラッジ、蒸発缶濃縮液）をビチューメン（アスファルト）と混合し、廃棄物中の固体物、含有塩分をビチューメン中に分散させ、水分を蒸発させて固体物、含有塩分のみを放射性物質とともにアスファルトに固定させる方法である。

本方式は従来多く用いられてきた2次廃棄物のセメント固化法に比べ、高温操作と比較的複雑な機械操作を用いるため、操作が煩雑で施設費が高いという欠点があるが、減容比がセメント固化法の1/5~1/25と大きく、固化体の浸出率がセメント固化体の1/100~1/1000と小さい利点がある。このため、本方式は西欧諸国（ベルギー、西ドイツ、フランス等）で開発され、主に中低レベルの二次廃棄物の固化処理に適用されてきた。

また、処理方式には薄膜蒸発式、多軸エクストルーダ式、混和蒸発式、乳化アスファルト式がある。

日本原子力研究所大洗研究所放射性廃棄物処理課では、材料試験炉（JMT-R）およびその関連施設（ホットラボ等）から排出される放射性廃液を化学処理または蒸発処理することによって生じる二次廃棄物（化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液）の固化処理を目的としたビチューメン固化装置を1973年に設置した。

この装置は、ベルギーのモル研究所の混和蒸発式ビチューメン固化装置を参考にした回分式処理方式で、同装置の心臓部である混和蒸発器に国内で開発された特殊混合加熱方式の機械を取り入れたものである。

本報告書では、このビチューメン固化装置のコールド運転およびホット運転の結果得られた知見、装置各部の特性、ビチューメン固化体の物性および浸出性についてまとめたものである。

2. 装置の概要

ビチューメン固化装置は、処理容量100ℓ/バッチの回分式で、化学処理スラッジを前処理する凍結再融解槽、前処理したスラッジを濾過・脱水する真空濾過器、ケーキ状のスラッジまたは濃縮液を溶融したビチューメンと混ぜて、水分を蒸発させ、固体分をビチューメン相に分散させる混和蒸発器、混和蒸発器から発生する蒸気の復水系、蒸気に同伴するビチューメン中の軽質油分を処理する油精製系および関連の付属機器からなる。装置の主要部を構成する混和蒸発器は、横長浴槽型の容器で、内部中央部に低速回転（約60r.p.m.）の横型中空の主攪拌翼とその下部に軸方向攪拌を目的とした小型のスクリュー型攪拌翼を備えている。混和蒸発器およびバイブライン等要部を加熱する熱源は、局部加熱を避けるため、熱媒油を使用している。混和蒸発器の加熱には、シャケット加熱と中空攪拌翼の内部にも熱媒油を循環させて加熱して

1. はじめに

ビチューメン固化法は二次廃棄物（主に化学処理スラッジ、蒸発缶濃縮液）をビチューメン（アスファルト）と混合し、廃棄物中の固形物、含有塩分をビチューメン中に分散させ、水分を蒸発させて固形物、含有塩分のみを放射性物質とともにアスファルトに固定させる方法である。

本方式は従来多く用いられてきた2次廃棄物のセメント固化法に比べ、高温操作と比較的複雑な機械操作を用いるため、操作が煩雑で施設費が高いという欠点があるが、減容比がセメント固化法の $1/5 \sim 1/25$ と大きく、固化体の浸出率がセメント固化体の $1/100 \sim 1/1000$ と小さい利点がある。このため、本方式は西欧諸国（ベルギー、西ドイツ、フランス等）で開発され、主に中低レベルの二次廃棄物の固化処理に適用されてきた。

また、処理方式には薄膜蒸発式、多軸エクストルーダ式、混和蒸発式、乳化アスファルト式がある。

日本原子力研究所大洗研究所放射性廃棄物処理課では、材料試験炉（JMT-R）およびその関連施設（ホットラボ等）から排出される放射性廃液を化学処理または蒸発処理することによって生じる二次廃棄物（化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液）の固化処理を目的としたビチューメン固化装置を1973年に設置した。

この装置は、ベルギーのモル研究所の混和蒸発式ビチューメン固化装置を参考にした回分式処理方式で、同装置の心臓部である混和蒸発器に国内で開発された特殊混合加熱方式の機械を取り入れたものである。

本報告書では、このビチューメン固化装置のコールド運転およびホット運転の結果得られた知見、装置各部の特性、ビチューメン固化体の物性および浸出性についてまとめたものである。

2. 装置の概要

ビチューメン固化装置は、処理容量 $100\ell/\text{バッチ}$ の回分式で、化学処理スラッジを前処理する凍結再融解槽、前処理したスラッジを瀝過・脱水する真空瀝過器、ケーキ状のスラッジまたは濃縮液を溶融したビチューメンと混ぜて、水分を蒸発させ、固形分をビチューメン相に分散させる混和蒸発器、混和蒸発器から発生する蒸気の復水系、蒸気に同伴するビチューメン中の軽質油分を処理する油精製系および関連の付属機器からなる。装置の主要部を構成する混和蒸発器は、横長浴槽型の容器で、内部中央部に低速回転（約 60 rpm ）の横型中空の主攪拌翼とその下部に軸方向攪拌を目的とした小型のスクリュー型攪拌翼を備えている。混和蒸発器およびバイブライン等要部を加熱する熱源は、局部加熱を避けるため、熱媒油を使用している。混和蒸発器の加熱には、ジャケット加熱と中空攪拌翼の内部にも熱媒油を循環させて加熱して

いる。

処理対象物は、化学処理スラッジのほか、蒸発缶濃縮液も処理できる。Fig. 1 に装置全体の処理系統図、Fig. 2 に混和蒸発器の詳細、Fig. 3 に凍結再融解槽の詳細を示す。また、Table 1 に装置の主要機器の仕様を示す。

3. 運転操作法

装置は、化学処理スラッジを前処理する凍結再融解系と前処理したスラッジをピューメンと混和蒸発させ、ピューメン固化体をつくる混和蒸発系とに大別して操作される。

凍結再融解系では、混和蒸発系の1バッチ（ピューメン固化体として約100ℓ；スラッジの固形物量として約50～70kg）分のスラッジを混和蒸発系の運転に先だって処理する。このため、あらかじめスラッジピット（化学処理系から発生したスラッジを一旦貯留している貯槽）内のスラッジの固形物含量を測定して大体の処理量を把握しておく。冷凍機を作動し、所定量のスラッジを凍結再融解槽2基に導入し、凍結（深冷温度：-26℃、凍結時間：2.5～3.0時間）・融解（融解時間：2.0～3.0時間）する。2基の凍結再融解槽は、一方が凍結のときは他方が融解と交互に使用される。融解したスラッジはスラッジ受槽に受け、一旦貯留する。スラッジ受槽では、スラッジの固形物含量が5～10wt%になるように必要に応じて上澄液を排出し、濃度を調整する。

ピューメン固化系の運転では、あらかじめ真空瀘過機の瀘過面に瀘過助剤（ケイソウ土）を塗布しておき、これにスラッジ受槽からスラッジを供給し、瀘過脱水させる。脱水されたスラッジケーキは真空瀘過器スクレーバーで自動的にかきとり、スクリューフィーダーで連続的に混和蒸発器に供給する。他方、混和蒸発器内には、あらかじめ約85kgのピューメンを仕込み、熱媒加熱器で加熱された熱媒（熱媒加熱温度：Max. 300℃）を循環させることにより、混和蒸発器内のピューメン温度を200～230℃に調整する。また、スラッジケーキとピューメンとの混和蒸発時の発泡を抑制するため、消泡剤（高温用エマルジョン型シリコンオイル）200mlを添加する。

続いて、混和蒸発器内のピューメン温度が安定したところで前記のスラッジケーキの供給を開始する。

混和蒸発器内のスラッジ含量が重量測定器の監視によりピューメン量に対して約40～45wt%になった時点でスラッジ供給を停止し、混和蒸発器内のスラッジ・ピューメン混合物中の残留水分を蒸発させる。混和蒸発時に蒸発した蒸気は、蒸気凝縮系で復水され、蒸気と同伴したピューメン中の軽質油分、タール類は同凝縮系で除去される。

水分の大部分を蒸発分離させ、微細な固形物を均等に含有したピューメンの混合体（以下「プロダクト」）は、200ℓの50mm厚のコンクリート内貼りドラム缶（実容積：約110ℓ）に排出し、放冷固化する。

蒸発缶濃縮液の処理の場合には、濃縮液槽から、あらかじめピューメンの温度が約130

いる。

処理対象物は、化学処理スラッジのほか、蒸発缶濃縮液も処理できる。Fig. 1 に装置全体の処理系統図、Fig. 2 に混和蒸発器の詳細、Fig. 3 に凍結再融解槽の詳細を示す。また、Table 1 に装置の主要機器の仕様を示す。

3. 運転操作法

装置は、化学処理スラッジを前処理する凍結再融解系と前処理したスラッジをピューメンと混和蒸発させ、ピューメン固化体をつくる混和蒸発系とに大別して操作される。

凍結再融解系では、混和蒸発系の1バッチ（ピューメン固化体として約100ℓ；スラッジの固形物量として約50～70kg）分のスラッジを混和蒸発系の運転に先だって処理する。このため、あらかじめスラッジピット（化学処理系から発生したスラッジを一旦貯留している貯槽）内のスラッジの固形物含量を測定して大体の処理量を把握しておく。冷凍機を作動し、所定量のスラッジを凍結再融解槽2基に導入し、凍結（深冷温度：-26℃、凍結時間：2.5～3.0時間）・融解（融解時間：2.0～3.0時間）する。2基の凍結再融解槽は、一方が凍結のときは他方が融解と交互に使用される。融解したスラッジはスラッジ受槽に受け、一旦貯留する。スラッジ受槽では、スラッジの固形物含量が5～10wt%になるように必要に応じて上澄液を排出し、濃度を調整する。

ピューメン固化系の運転では、あらかじめ真空瀘過機の瀘過面に瀘過助剤（ケイソウ土）を塗布しておき、これにスラッジ受槽からスラッジを供給し、瀘過脱水させる。脱水されたスラッジケーキは真空瀘過器スクレーパーで自動的にかきとり、スクリューフィーダーで連続的に混和蒸発器に供給する。他方、混和蒸発器内には、あらかじめ約8.5kgのピューメンを仕込み、熱媒加熱器で加熱された熱媒（熱媒加熱温度：Max. 300℃）を循環させることにより、混和蒸発器内のピューメン温度を200～230℃に調整する。また、スラッジケーキとピューメンとの混和蒸発時の発泡を抑制するため、消泡剤（高温用エマルジョン型シリコンオイル）200mlを添加する。

続いて、混和蒸発器内のピューメン温度が安定したところで前記のスラッジケーキの供給を開始する。

混和蒸発器内のスラッジ含量が重量測定器の監視によりピューメン量に対して約4.0～4.5wt%になった時点でスラッジ供給を停止し、混和蒸発器内のスラッジ・ピューメン混合物中の残留水分を蒸発させる。混和蒸発時に蒸発した蒸気は、蒸気凝縮系で復水され、蒸気と同伴したピューメン中の軽質油分、タール類は同凝縮系で除去される。

水分の大部分を蒸発分離させ、微細な固形物を均等に含有したピューメンの混合体（以下「プロダクト」）は、200ℓの5.0mm厚のコンクリート内貼りドラム缶（実容積：約110ℓ）に排出し、放冷固化する。

蒸発缶濃縮液の処理の場合には、濃縮液槽から、あらかじめピューメンの温度が約130

~180℃に調整された混和蒸発器内へ直接供給し、混和蒸発させる。

4. 運転実績とその経験

4.1 運転実績

1973年12月に実処理を開始し、1976年12月まで3年間ビチューメン固化装置を稼動し、化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液の固化処理を行ってきた。

その処理実績を処理量、放射能量および固化体発生量でまとめTable 2に示す。

化学処理スラッジを合計 $7\ 3.80\ m^3$ 、放射能量 $1\ 0\ 2.33\ mCi$ 処理し、また、蒸発缶濃縮液を $0.6\ 6\ m^3$ 、放射能量 $1\ 3.17\ mCi$ 処理した。発生した固化体（ $50\ mm$ 厚コンクリート内貼りドラム缶：実容積 $1\ 1.0\ l$ ）は56本となった。

^{60}Co , ^{137}Cs を主要核種とする化学処理スラッジの実処理運転に関する諸結果をまとめ、Table 3に示す。また、蒸発缶濃縮液（主要核種： ^{60}Co , ^{137}Cs ）の試験的処理に関する諸結果をTable 4に示す。

化学処理スラッジの処理結果は以下のように要約できる。

- ① 凍結再融解系で前処理したスラッジは、真空瀘過機で瀘過・脱水することにより、固形物含量 $4.0\ \text{wt}\%$ 以上に脱水された。② 瀴過・脱水時の瀴液の放射性物質濃度は約 $1 \times 10^{-6}\ \mu\text{Ci}/\text{ml}$ で凍結再融解後の上澄液の放射性物質濃度とほぼ同じであった。③ スラッジケーキと溶融ビチューメンとの混和蒸発（平均混和温度： $199\sim230\ ^\circ\text{C}$ ）による水分蒸発速度は $1.0\sim2.8\ \text{kg}/\text{hr}$ で、各Runにおいて多少バラツキがあるが設計条件通りの値であった。
- ④ 固化所要時間（混和蒸発開始から終了まで）は、運転初期には操作の不慣れのため比較的長く要したが、それ以後は $3.0\sim5.0$ 時間となった。⑤ 混和蒸発時に蒸発した水分（凝縮液）の放射性物質濃度は約 $1 \times 10^{-7}\ \mu\text{Ci}/\text{ml}$ でスラッジケーキの約 $1/10^5$ 倍であった。
- ⑥ 混和蒸発時に排気ガス中に散逸した放射性物質の空気中の放射能濃度は平均 $1.3 \times 10^{-12}\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ （排風量；平均 $4\ 5.8\ m^3/\text{hr}$ ）で、運転中散逸した放射性物質量は1運転あたり平均 $1.9 \times 10^{-4}\ \mu\text{Ci}$ であった。固化したスラッジの全放射性物質量（ $2.7\ mCi$ ）に対しては、放射性物質の散逸量は $1/1.4 \times 10^7$ であった。また、放射性核種別では、 ^{137}Cs については $1/6.8 \times 10^7$, ^{60}Co については $1/5 \times 10^7$ 倍の散逸量となった。⑦ 固化体の比重はビチューメン中へのスラッジ混入量が $2.5\ \text{wt}\%$ で、 1.32 となり、比重 1.2 は容易に確保できることがわかった。⑧ 放冷固化後のドラム缶各部の表面線量率は、スラッジの混入量が約 $3.5\ \text{wt}\%$ 以上ではビチューメンの種類をかえてもドラム缶の側面の中部および底部でほぼ同じ値を示した（上部が中部および底部に比べて低い値になっているのは、ドラム缶の実容積満杯にプロダクトが入っていないためである）。⑨ スラッジがビチューメン中にはほぼ均一に分散し、スラッジの沈降分離はほとんど認められなかった。⑩ コンクリートによるキャッピング前のプロダクト表面の線量率は最大 $2.3\text{mR}/\text{hr}$ であった。また、キャッピング後のドラム缶の表面線

~180°Cに調整された混和蒸発器内へ直接供給し、混和蒸発させる。

4. 運転実績とその経験

4.1 運転実績

1973年12月に実処理を開始し、1976年12月まで3年間ビチューメン固化装置を稼動し、化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液の固化処理を行ってきた。

その処理実績を処理量、放射能量および固化体発生量でまとめTable 2に示す。

化学処理スラッジを合計 $7\ 3.80\ m^3$ 、放射能量 $1\ 0\ 2.33\ mCi$ 処理し、また、蒸発缶濃縮液を $0.6\ 6\ m^3$ 、放射能量 $1\ 3.17\ mCi$ 処理した。発生した固化体(50mm厚コンクリート内貼りドラム缶: 実容積 $1\ 1.0\ l$)は56本となった。

^{60}Co , ^{137}Cs を主要核種とする化学処理スラッジの実処理運転に関する諸結果をまとめ、Table 3に示す。また、蒸発缶濃縮液(主要核種: ^{60}Co , ^{137}Cs)の試験的処理に関する諸結果をTable 4に示す。

化学処理スラッジの処理結果は以下のように要約できる。

- ① 凍結再融解系で前処理したスラッジは、真空瀘過機で瀘過・脱水することにより、固形物含量40wt%以上に脱水された。
- ② 瀴過・脱水時の瀴液の放射性物質濃度は約 $1 \times 10^{-6}\ \mu\text{Ci}/\text{ml}$ で凍結再融解後の上澄液の放射性物質濃度とほぼ同じであった。
- ③ スラッジケーキと溶融ビチューメンとの混和蒸発(平均混和温度: 199~230°C)による水分蒸発速度は $1.0 \sim 2.8\ \text{kg}/\text{hr}$ で、各Runにおいて多少バラツキがあるが設計条件通りの値であった。
- ④ 固化所要時間(混和蒸発開始から終了まで)は、運転初期には操作の不慣れのため比較的長く要したが、それ以後は3.0~5.0時間となった。
- ⑤ 混和蒸発時に蒸発した水分(凝縮液)の放射性物質濃度は約 $1 \times 10^{-7}\ \mu\text{Ci}/\text{ml}$ でスラッジケーキの約 $1 / 1.0^5$ 倍であった。
- ⑥ 混和蒸発時に排気ガス中に散逸した放射性物質の空気中の放射能濃度は平均 $1.3 \times 10^{-12}\ \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (排風量; 平均 $4\ 5.8\ m^3/\text{hr}$)で、運転中散逸した放射性物質量は1運転あたり平均 $1.9 \times 10^{-4}\ \mu\text{Ci}$ であった。固化したスラッジの全放射性物質量($2.7\ mCi$)に対しては、放射性物質の散逸量は $1 / 1.4 \times 10^7$ であった。また、放射性核種別では、 ^{137}Cs については $1 / 6.8 \times 10^7$, ^{60}Co については $1 / 5 \times 10^7$ 倍の散逸量となった。
- ⑦ 固化体の比重はビチューメン中へのスラッジ混入量が25wt%で、1.32となり、比重1.2は容易に確保できることがわかった。
- ⑧ 放冷固化後のドラム缶各部の表面線量率は、スラッジの混入量が約35wt%以上ではビチューメンの種類をかえてもドラム缶の側面の中部および低部でほぼ同じ値を示した(上部が中部および低部に比べて低い値になっているのは、ドラム缶の実容積満杯にプロダクトが入っていないためである)。
- ⑨ スラッジがビチューメン中にはほぼ均一に分散し、スラッジの沈降分離はほとんど認められなかった。
- ⑩ コンクリートによるキャッピング前のプロダクト表面の線量率は最大 $2.3\text{mR}/\text{hr}$ であった。また、キャッピング後のドラム缶の表面線

量率は最大 1.5 mR/hr であった。⑪ スラッジとビチューメンとの混和蒸発時に蒸気に同伴されるビチューメン中の軽質油分及びタール量は、蒸気精製系の油水分離フィルター前で 2000 ppm (全量では、使用したビチューメン量に対して 0.2 wt\%) となり、油水分離後で 5 ppm 以下になった。⑫ 混和蒸発に伴う混和蒸発器の総括伝熱係数は最大 $103 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ が得られた。約 60 Run の処理を行ったが総括伝熱係数の減少はおきていない。

蒸発缶濃縮液の処理の結果は以下のように要約できる。

① 水分蒸発速度は約 60 kg/hr が得られ、スラッジ処理の場合より大きくなつた。② 総括伝熱係数は最大 $122 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ が得られた。③ 濃縮液中の放射性物質濃度は約 $1 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$ で、濃縮液の放射性物質濃度の $1/10^4$ 倍になつた。また、濃縮液中に同伴した放射性核種を日立 505 型 1024 チャンネル Ge(Li) 波高分析器を用いて測定したところ、ほとんどが ^{137}Cs 及び ^{60}Co であった。その同伴量は、 ^{137}Cs の場合には濃縮液中の ^{137}Cs の放射能濃度に対して $1/5 \times 10^3$, ^{60}Co の場合には濃縮液中の ^{60}Co の放射能濃度に対して $1/10^4$ であった。④ 濃縮液中の pH および電導度は、濃縮液に比べ低くなつた。⑤ 混和蒸発時の排気ガス中に散逸した放射性物質の空気中の放射能濃度は平均 $2.8 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/cm}^3$ (排風量 ; 平均 $3.9 \text{ m}^3/\text{hr}$) で、運転中散逸した放射性物質量は $3.1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$ であった。固化した濃縮液の全放射性物質量 (3.2 mCi) に対しては放射性物質の散逸量は、1 運転あたり平均 $1/1 \times 10^6$ 程度であった。また、放射性核種別では、 ^{137}Cs については $1/7.6 \times 10^7$, ^{60}Co については $1/1.7 \times 10^7$ の散逸量となつた。⑥ プロダクトの比重は、濃縮液の組成に比重の大きな塩分が少ないため、濃縮液の固体物含量 (混合比) が 3.5 wt\% で比重は 1.15 しか得られなかつた。実処理では、これに更にスラッジを添加して固化体の比重が 1.2 以上得られるようにした。

4.2 装置各部の試験結果

1) 凍結再融解スラッジの性状

凍結再融解系で処理した化学処理スラッジ (組成 ; $\text{Fe(OH)}_3 : \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1 : 1$) の性状を観察した。

凍結再融解の操作条件は以下の通りであった。

- 凍結時間 ; $2.5 \sim 3.0$ 時間
- 深冷温度 ; -2.6°C
- 融解時間 ; $2.0 \sim 2.5$ 時間

この条件で処理したスラッジを顕微鏡撮影した結果、無定形スラッジは約 70μ の粒子状になつてゐた。これにより、沈降分離および濾過性能が向上された。Fig. 4 にスラッジの凍結再融解前後の沈降分離性の状態を示し、Fig. 5 に凍結再融解後の改質したスラッジの顕微鏡写真を示す。

2) 化学処理スラッジのビチューメン中への分散性

固化体中での固体物の分散状態を観察した。

試験片を採取したプロダクトに係る処理条件は以下の通りである。

- ・使用したビチューメン；ストレートアスファルト 60/80
- ・凍結再融解したスラッジの組成； $\text{Fe(OH)}_3 : \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1 : 1$
- ・混和温度；200~230°C
- ・スラッジの混入量；40 wt%

この条件で作成した固化体の断面を金属顕微鏡により観察した結果、約70 μのスラッジ粒子は溶融ビチューメンとの混和蒸発時に約30 μの粒子に破壊し、分散しているのがわかった。Fig. 6に顕微鏡写真の結果を示す。

また、250 mlポリエチレンシリンドラーに同条件で作成したプロダクトを採取し、放冷固化させた。シリンドラー内からプロダクトを取り出し、輪切りにして各部の比重測定を行った結果、高さ方向についての測定値の変動はほとんどなかった。

3) プロダクトの物性

コールド運転時にビチューメンの種類をかえて、スラッジ ($\text{Fe(OH)}_3 : \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1 : 1$) の混入量が約40 wt%のプロダクトを作成し、比重、軟化点、針入度、引火点を測定した。その結果を Table 5に示す。

比重は、スラッジ混入量約40 wt%で、1.35~1.41が得られた。軟化点は、同混入量でビチューメンのみの軟化点に比べて約2倍高くなかった。引火点は、スラッジを混入させることによってビチューメンのみの引火点より幾分高い値が得られた。

4.3 操作経験

(A) コールド試験時における知見

1) 混和蒸発器の排出バルブでのプロダクトのつまり

排出バルブ口径が排出ノズルの口径より小さかったため、排出ノズルのくびれ部にビチューメン・固形物の混合物が堆積し、また、一部炭化して混合物の排出時に障害となつた。このため、排出バルブを排出ノズルと同じ口径のものに交換した。この結果、ほとんど障害なく排出できた。

2) プロダクトの排出管での過熱

当初、プロダクトの排出管に電気ヒータを使用し、排出管を加熱していた。この際、電熱線の巻き込みの粗密があり、局部的に電熱線の密の部分に過熱現象が生じ、排出管に付着していた混合物が一部灰化した。管路には、熱電対を入れて温度を測定していたが、局部的な過熱を検出することはできなかつた。改善策として、加熱方式を熱媒油加熱（使用温度；最大300°C）に換えた。

3) 混和蒸発時の発泡

ストレートアスファルト 60/80 を使用し、混和温度 200~230°C でスラッジケーキ（含水率；50~60 wt%）を連続的に混和蒸発させていたところ急激に発泡し、混和蒸発を停止せざるを得なくなつた。

このため、消泡剤として、高温用のエマルジョン型シリコンオイルをビチューメン量に対しても 2000 ppm あらかじめ添加しておき、同含水率のスラッジケーキを連続的に混和蒸発させ

たところ発泡は完全に抑制できた。

4) 混和蒸発器内のピチューメンおよびスラッジ等固形物の重量測定機構の改良

混和蒸発器へのピチューメンの仕込量、混入したスラッジの量等を知るため、混和蒸発器の重量測定機構が装置に組み込まれている。

重量測定機構は重量測定器（ロードセル）上に混和蒸発器本体を載せ、混和蒸発器本体に接続した配管類の歪応力がロードセルへ作用しないようにして約2%の精度でピチューメン量等を測定できるようにしたものである。

当初は、この機構がうまく作動しなかった。しかし、混和蒸発器に連結した配管類の配置をかえたり、大口径管の一部に適用していたペロー部をバネ定数の小さいものにかえたりすることによって測定精度約5%で計測できるようになった。

5) 真空瀘過機の排出バルブ上でのスラッジのつまり

凍結再融解処理したスラッジは、沈降分離性が良いため、真空瀘過時ににおいて真空瀘過槽底部にスラッジが堆積し、排出する際につまりを生じた。

このため、充分に攪拌効果をあげたり、滞留部を必要としないバルブを使用したりする必要があった。

6) 混和蒸発時に蒸気に同伴したピチューメンの軽質油分量

化学処理スラッジおよび蒸発缶濃縮液の混和蒸発時に蒸気に同伴するピチューメンの軽質油分量は、使用したピチューメン量の0.2wt%（蒸気中で2000ppm）になった。これをセラミックフィルターを内装した油水分離器を通すことにより、油分量は5ppm以下になった。

7) 混和蒸発器攪拌翼の軸封部からのピチューメンのもれ。

混和蒸発器の攪拌翼の軸封部から混和蒸発時にピチューメンがもれ出し、一時運転の障害となつた。

しかし、パッキンの変更、グランドの締めを調節することおよびもれ出たピチューメンを受けるカートリッジ型受器を設けることにより、当面の処理作業に支障のないようにした。

8) 化学処理スラッジの処理において使用するピチューメンの種類

コールド運転時にピチューメンの種類をかえて、スラッジ($\text{Fe(OH)}_3/\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2=1/1$)混入量が約40wt%のプロダクトを作成し、200ℓドラム缶（コンクリートの内貼りなし）に排出し、放冷固化させた。

この結果、ブロンアスファルト20/30を用いた固化体では中央が大きく沈み、一部き裂がみられた。ストレートアスファルト40/60、ストレートアスファルト60/80およびストレートアスファルト40/60と60/80を同割合で混合して用いた固化体では、中央部の沈みおよびき裂は認められなかった。

ブロンアスファルトとストレートアスファルトでは、この現象のほかは特に優劣が認められなかつたので、スラッジ混入量が40wt%以上の固化体を作成する際には上記ストレートアスファルトを使用することにした。

(B) ホット運転時における知験

1) 混和蒸発器のスクリュー型攪拌機は、ピチューメンとスラッジ等の固形物の軸方向の混合を加速し、プロダクトの排出時の流れを良くする目的で設けたが、混合は主攪拌機（主攪拌機

は、半径方向の攪拌とともに軸方向の攪拌の動きもする)のみで充分であり、また、スクリューモータ型攪拌機を用いなくとも排出は支障なく行われた。

2) 混和蒸発器の熱媒温度と槽内のビチューメン温度を基準にした総括伝熱係数は、化学処理スラッジの処理のとき最大 $100 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr.}^\circ\text{C}$ 、蒸発缶濃縮液の処理のとき最大 $130 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr.}^\circ\text{C}$ になった。また、約3年(約60バッチ)の処理においても総括伝熱係数の低下はおきていない。

3) 単体機器各部からの漏洩線量率についてあらかじめ漏洩線量率が高くなると予想される単体機器(混和蒸発器、スラッジ受槽、プロダクト排出部、濃縮液受槽)には、鉄筋コンクリートおよび鉄板により遮蔽を施したため、漏洩線量率は低く抑えられた。

真空瀘過機およびスクリューフィーダーについては、スラッジの堆積量がスラッジの性状等に影響され、予想以上に多くなることがあり、これら機器まわりの漏洩線量率が比較的高くなかった。真空瀘過機の底部では、最大 7 mR/hr が測定された。

5. ビチューメン固化体浸出試験

前節の運転で得られた実廃棄物の固化体について、以下のような試験を行った。

5.1 スラッジのビチューメン固化体浸出試験

スラッジを封入したプロダクトの排出時に浸出試験用容器(ポリエチレン製、サイズ: 約 $45 \text{ mm} \phi \times 44 \text{ mmH}$)に試料を採取し、試験用固化体とした。試料はアスファルトの種類(ストレートアスファルト $60/80$ および $80/100$)、スラッジ組成およびスラッジとアスファルトの混合比のかわったものから採取した。Table 6 に試料の固化体データを示す。固化体を型枠から取り出し、台付 2ℓ ポリエチレン製瓶を用いて蒸留水 1ℓ に浸漬した。固化体 No.1 については、浸漬初期に毎日、10日後からは1週間ごとに浸漬水のサンプリングと放射能測定を行ったが、放射性物質の放出量が非常に少ないので、その後、頻度を1ヶ月にさらに、これを3ヶ月ごとに少なくした。No.2 から No.6 については、固化体 No.1 の結果より、1ヶ月、1ヶ月半、2ヶ月ごとに浸漬水のサンプリングと放射能測定を行った。サンプリングごとに浸漬水全量を交換した。放射性物質濃度は G・M 計数管で計測した。

試験の途中で一部試料に変形がみられたので、浸出率は積算浸出量で表わし、結果を浸漬時間と積算浸出量の関係で整理し、Fig. 7 に示す。

Fig. 7 より浸漬期間 350 日で固化体からの放射性物質の浸出量はビチューメンの種類、スラッジ組成および混合比をかえてもほとんどかわらず約 $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$ となった。この値を初期のサンプルの形状のままとして浸出率($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$)に換算すると約 $4 \times 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$ となる。

この値は多く報告されているビチューメン固化体の浸出率の値($10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$)

は、半径方向の攪拌とともに軸方向の攪拌の動きもする)のみで充分であり、また、スクリューモータ型攪拌機を用いなくとも排出は支障なく行われた。

2) 混和蒸発器の熱媒温度と槽内のビチューメン温度を基準にした総括伝熱係数は、化学処理スラッジの処理のとき最大 $100 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr.}^\circ\text{C}$ 、蒸発缶濃縮液の処理のとき最大 $130 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr.}^\circ\text{C}$ になった。また、約3年(約60バッチ)の処理においても総括伝熱係数の低下はおきていない。

3) 単体機器各部からの漏洩線量率についてあらかじめ漏洩線量率が高くなると予想される単体機器(混和蒸発器、スラッジ受槽、プロダクト排出部、濃縮液受槽)には、鉄筋コンクリートおよび鉄板により遮蔽を施したため、漏洩線量率は低く抑えられた。

真空瀘過機およびスクリューフィーダーについては、スラッジの堆積量がスラッジの性状等に影響され、予想以上に多くなることがあり、これら機器まわりの漏洩線量率が比較的高くなかった。真空瀘過機の底部では、最大 7 mR/hr が測定された。

5. ビチューメン固化体浸出試験

前節の運転で得られた実廃棄物の固化体について、以下のような試験を行った。

5.1 スラッジのビチューメン固化体浸出試験

スラッジを封入したプロダクトの排出時に浸出試験用容器(ポリエチレン製、サイズ: 約 $45 \text{ mm} \phi \times 44 \text{ mmH}$)に試料を採取し、試験用固化体とした。試料はアスファルトの種類(ストレートアスファルト $60/80$ および $80/100$)、スラッジ組成およびスラッジとアスファルトの混合比のかわったものから採取した。Table 6 に試料の固化体データを示す。固化体を型枠から取り出し、台付 2ℓ ポリエチレン製瓶を用いて蒸留水 1ℓ に浸漬した。固化体 M.1 については、浸漬初期に毎日、10日後からは1週間ごとに浸漬水のサンプリングと放射能測定を行ったが、放射性物質の浸出量が非常に少ないので、その後、頻度を1ヶ月にさらに、これを3ヶ月ごとに少なくした。M.2 から M.6 については、固化体 M.1 の結果より、1ヶ月、1ヶ月半、2ヶ月ごとに浸漬水のサンプリングと放射能測定を行った。サンプリングごとに浸漬水全量を交換した。放射性物質濃度は G・M 計数管で計測した。

試験の途中で一部試料に変形がみられたので、浸出率は積算浸出量で表わし、結果を浸漬時間と積算浸出量の関係で整理し、Fig. 7 に示す。

Fig. 7 より浸漬期間 350 日で固化体からの放射性物質の浸出量はビチューメンの種類、スラッジ組成および混合比をかえてもほとんどかわらず約 $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$ となった。この値を初期のサンプルの形状のままとして浸出率($\text{g/cm}^2 \cdot \text{day}$)に換算すると約 $4 \times 10^{-7} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day}$ となる。

この値は多く報告されているビチューメン固化体の浸出率の値($10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{day}$)

より低い。

したがって、本ビチューメン固化装置によるスラッジのビチューメン固化体は固化条件が良いと判断した。

5.2 濃縮液のビチューメン固化体浸出試験

スラッジの場合と同様に濃縮液をビチューメンと混和させたプロダクトから試料を採取した。Table 7 に供試体のサイズ、重量、濃縮液の混合比等を示す。なお、この試験では、模擬濃縮液（20%硝酸ストロンチウム溶液）を固化したコールド試験片についても試験した。

浸漬は常温で2ℓの台付ポリエチレン製瓶を用いて、蒸留水1ℓに浸漬した。サンプリングごとに浸漬水全量を交換し、浸漬水中に浸出した放射性物質をG・M計数管により計測した。試料M7の模擬濃縮液を固化した固化体については、浸漬水中に浸出したストロンチウムを原子吸光分析装置を用いて測定した。

浸出率は $a / A \times 100\% (a : \text{固化体から浸出した放射性物質量またはストロンチウム量}, A : \text{固化体中の放射性物質量またはストロンチウム量})$ で表わし、Fig. 8 に示した。

約340日間の浸漬の結果、浸出率は試料M7については0.23%，試料M8では0.17%，試料M9では0.07%となった。

試料M7については、固化体中の固形物含量が少ない割には大きな浸出率になった。これは模擬濃縮液として測定対象の固形物をマクロ量固化体中に封入したことによると思われる。

試料M8およびM9では、実際の蒸発缶濃縮液を固化したものであるが、M8の固化体は固化体中の固形物の混入量がM9より少ないが、浸出量はM9の固化体より大きくなつた。これは固化体中への固形物の混入量が少ないので浸漬期間中に変形し、固化体の表面積が増大したことによると思われる。

6. 結論

1973年12月にホット運転に入り、約3年間ビチューメン固化装置を運転し、化学処理スラッジを73.8m³、蒸発缶濃縮液を0.66m³処理した。この間、特に運転において支障を及ぼすような問題もなく、全処理対象物を固化した。

6.1 装置各部の特性

1) 濃縮液中の放射性物質濃度は、化学処理スラッジの処理のとき約1/10⁵倍、蒸発缶濃縮液の処理のとき約1/5×10⁴倍低くなつた。

2) 濃縮液中に同伴した軽質油分量は2000 ppm（使用したビチューメン量に対して0.2wt%）となつたが、セラミックフィルターを内蔵した油水分離器でその大部分を除去(5 ppm)

より低い。

したがって、本ビチューメン固化装置によるスラッジのビチューメン固化体は固化条件が良いと判断した。

5.2 濃縮液のビチューメン固化体浸出試験

スラッジの場合と同様に濃縮液をビチューメンと混和させたプロダクトから試料を採取した。

Table 7 に供試体のサイズ、重量、濃縮液の混合比等を示す。なお、この試験では、模擬濃縮液（20%硝酸ストロンチウム溶液）を固化したコールド試験片についても試験した。

浸漬は常温で2ℓの台付ポリエチレン製瓶を用いて、蒸留水1ℓに浸漬した。サンプリングごとに浸漬水全量を交換し、浸漬水中に浸出した放射性物質をG・M計数管により計測した。試料M7の模擬濃縮液を固化した固化体については、浸漬水中に浸出したストロンチウムを原子吸光分析装置を用いて測定した。

浸出率は $a/A \times 100\% (a: \text{固化体から浸出した放射性物質量またはストロンチウム量}, A: \text{固化体中の放射性物質量またはストロンチウム量})$ で表わし、Fig. 8 に示した。

約340日間の浸漬の結果、浸出率は試料M7については0.23%，試料M8では0.17%，試料M9では0.07%となった。

試料M7については、固化体中の固形物含量が少ない割には大きな浸出率になった。これは模擬濃縮液として測定対象の固形物をマクロ量固化体中に封入したことによると思われる。

試料M8およびM9では、実際の蒸発缶濃縮液を固化したものであるが、M8の固化体は固化体中の固形物の混入量がM9より少ないが、浸出量はM9の固化体より大きくなつた。これは固化体中への固形物の混入量が少ないので浸漬期間中に変形し、固化体の表面積が増大したことによると思われる。

6. 結論

1973年12月にホット運転に入り、約3年間ビチューメン固化装置を運転し、化学処理スラッジを73.8m³、蒸発缶濃縮液を0.66m³処理した。この間、特に運転において支障を及ぼすような問題もなく、全処理対象物を固化した。

6.1 装置各部の特性

1) 濃縮液中の放射性物質濃度は、化学処理スラッジの処理のとき約 $1/10^5$ 倍、蒸発缶濃縮液の処理のとき約 $1/5 \times 10^4$ 倍低くなつた。

2) 濃縮液中に同伴した軽質油分量は2000ppm（使用したビチューメン量に対して0.2wt%）となつたが、セラミックフィルターを内蔵した油水分離器でその大部分を除去(5ppm)

できた。

3) 排気ガス中に同伴した放射性物質濃度は高性能エアーフィルター前で化学処理スラッジの処理のとき平均 $1.3 \times 10^{-12} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (排風量; 平均 $4.5.8 \text{ m}^3/\text{hr}$)、蒸発缶濃縮液の処理のとき平均 $2.8 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (排風量; 平均 $3.9 \text{ m}^3/\text{hr}$)となつた。また、同伴した放射性物質量は固化した全放射性物質量に対して化学処理スラッジのとき $1 / 1.4 \times 10^7$ 、蒸発缶濃縮液のとき $1 / 1 \times 10^6$ の割合であった。

4) ビチューメン固化による減容比は化学処理スラッジ(固体物含量; 約 $6\text{wt}\%$)について $1 / 1.4$ 、蒸発缶濃縮液(固体物含量; 約 $10\text{wt}\%$)について $1 / 2$ 以上が得られた。

6.2 ビチューメン固化体の物性

1) 比重は、化学処理スラッジのときスラッジ混入量が $25\text{wt}\%$ で 1.32 となり、混入量が $40\text{wt}\%$ では 1.42 となり、 1.2 以上の比重は容易に確保できた。また、不溶性固体物を $2/3$ ~ $3/4$ 、可溶性固体物を $1/3$ ~ $1/4$ を含む蒸発缶濃縮液では、固体物混入量が $35\text{wt}\%$ で比重は 1.15 となり、濃縮液成分だけで 1.2 以上の比重を確保するのは困難であった。

2) 引火点は、ビチューメンのみのときより化学処理スラッジを含有することによりわずかに上昇した。

3) 軟化点は、化学処理スラッジの混入量が約 $40\text{wt}\%$ でビチューメンのみの値より約 2 倍高くなつた。

4) 化学処理スラッジの混入量が約 $35\text{wt}\%$ 以上では、スラッジの沈降分離が生じなかつたが、約 $30\text{wt}\%$ 以下では沈降分離が認められた。

5) 約 70μ の塊状スラッジは、混合温度 $200\sim230^\circ\text{C}$ の溶融ビチューメンと混合すると約 30μ の粒子に破壊し、ビチューメン中に分散された。

6) ビチューメン中への化学処理スラッジの混入量は $40\text{wt}\% \sim 45\text{wt}\%$ が適当と認められた。

6.3 ビチューメン固化体の浸出性

1) ^{60}Co を主要核種とする化学処理スラッジのビチューメン固化体の浸出率は、浸漬期間が 350 日で約 0.01% であった。

2) 蒸発缶濃縮液のビチューメン固化体の浸出率は、模擬濃縮液のストロンチウムを固化した固化体について浸漬期間が 350 日で約 0.2% 、また、 ^{137}Cs , ^{60}Co を主要核種とする蒸発缶濃縮液と化学処理スラッジを固化した固化体については、浸漬期間が 350 日で約 0.1% であった。

7. おわりに

放射性廃棄物の最終処分を控え、最近、減容効果が高く、浸出率の少ない固化体を得ることができるビチューメン固化方式が注目を受けている。我国でも数ヶ所の原子力発電施設で同固化方式を導入する動きにある。

大洗研究所の放射性廃棄物処理施設に設置されたビチューメン固化装置は、国内で稼動している唯一のビチューメン固化設備であり、この経験がこれから同種設備の導入を計画している機関等の参考になればと考えて、運転実績、各種操作経験等の詳細を含めてとりまとめたものである。

なお、この装置は、装置の心臓部である混和蒸発器が構造上非常に異物に強く、ある程度の粒度をもった異物に対しても機能上障害なく運転できるとの特性を生かして、今後、下記の廃棄物についても処理試験を実施する計画である。

(1) イオン交換樹脂の処理試験

(2) 焼却炉灰の処理試験

8. 参考文献

- 1) IAEA Technical report series No. 116 "Bituminization of Radioactive Wastes."
- 2) W. Hild, E. Detilleux, H. Eschrich : Development work on the homogeneous incorporation into bitumen of intermediate-level waste from the Eurochemic Processing Plant.
- 3) W. Hild, H. Eschrich, R. Galan, R. Gulbrandsen, K. Tallberg : The homogeneous incorporation of Eurochemic medium level waste and high enriched waste concentrate into bitumen. 1970
- 4) 固体廃棄物処理専門委員会：放射性廃棄物の固形化試験、財団法人、原子力安全研究協会
- 5) Burns. R. H. : Solidification of low and intermediate-level wastes. At. Energy Rev., 9 547~599 (1971)
- 6) Intermediate-level radioactive waste : Anonym. Chemical Technol. Div. Aum. Prog. Report. May 31. 1969.
- 7) W. Kluger, H. Krause, O. Nentwich: Fixing of radioactive residues in bitumen. 1969.

7. おわりに

放射性廃棄物の最終処分を控え、最近、減容効果が高く、浸出率の少ない固化体を得ることができるビチューメン固化方式が注目を受けている。我国でも数ヶ所の原子力発電施設で同固化方式を導入する動きにある。

大洗研究所の放射性廃棄物処理施設に設置されたビチューメン固化装置は、国内で稼動している唯一のビチューメン固化設備であり、この経験がこれから同種設備の導入を計画している機関等の参考になればと考えて、運転実績、各種操作経験等の詳細を含めてとりまとめたものである。

なお、この装置は、装置の心臓部である混和蒸発器が構造上非常に異物に強く、ある程度の粒度をもった異物に対しても機能上障害なく運転できるとの特性を生かして、今後、下記の廃棄物についても処理試験を実施する計画である。

(1) イオン交換樹脂の処理試験

(2) 焼却炉灰の処理試験

8. 参考文献

- 1) IAEA Technical report series No. 116 "Bituminization of Radioactive Wastes."
- 2) W. Hild, E. Detilleux, H. Eschrich : Development work on the homogeneous incorporation into bitumen of intermediate-level waste from the Eurochemic Processing Plant.
- 3) W. Hild, H. Eschrich, R. Galan, R. Gulbrandsen, K. Tallberg : The homogeneous incorporation of Eurochemic medium level waste and high enriched waste concentrate into bitumen. 1970
- 4) 固体廃棄物処理処分専門委員会：放射性廃棄物の固形化試験、財団法人、原子力安全研究協会
- 5) Burns, R. H. : Solidification of low and intermediate-level wastes. At. Energy Rev., 9 547~599 (1971)
- 6) Intermediate-level radioactive waste : Anonym. Chemical Technol. Div. Aum. Prog. Report. May 31. 1969.
- 7) W. Kluger, H. Krause, O. Nentwich: Fixing of radioactive residues in bitumen. 1969.

(continued)

Table 1. 主要機器仕様一覧

名 称	基 数	形 式	機 能	主要概略寸法 (cm)	設 計 温 度	設 計 壓 力	主 要 材 質	備 考
凍結再融解槽	2	堅型円筒, 下部コーン槽 内部コイル, 下部シャッテント	容量 : 250 ℥ / 基 凍結・融解各 3 時間以内	88Φ×90H(側部) ×35H(コーン部) ^{×1.2t}	常温 ～ -20°C	常 壓	缶体 : SLA33A+TECコート コイル : SUS304+TECコート	TECコート : 特殊合成樹脂 塗料
スラッシュ槽	1	堅型円筒槽	容量 : 1500 ℥	130Φ×150H×0.6t	常温	常 壓	SS41+ゴムライニング	アジテータ付
真空濾過機	1	ブレコート型ドラム式	濾過面積 : 0.25 m ²	機器外形 ×100H×0.3t	常温	常 壓	接液部 : SUS304 濾布 : ポリプロピレン	アクリル板フード付
ブレコートタンク	1	堅型円筒槽	容量 : 150 ℥	47.5Φ×90H×0.45t	常温	常 壓	SS41	アジテータ付
濾液槽		堅型円筒槽	容量 : 110 ℥	34.5Φ×120H×0.4 t	常温	外压 1kg/cm ² G	SUS304	
スクリューフィーダ	1	スクリューア式	含水率約 70 % の濾滓 移送量 30 kg/hr ~ 60 kg/hr	10Φ×150L×0.3t	常温	常 壓	本体 : SUS304 上面 : アクリル板	
混和蒸発器	1	特殊ニーダー型攪拌槽 熱媒加熱方式	バッチ容量 : 100 ℥ 蒸発容量 : 水 20 kg/hr 以上 伝面 : 2.4 m ²	攪拌槽本体 0.6t (側部) 50×100×100H _X (下部半円) 0.3t (側板)	～300°C	常 壓	本体 : SUS304 ジャケット : SS41	変速攪拌駆動機 (主副 2 系統) ジャケット付
コンデンサー	1	シェルアンドチューブ	伝面 : 12.9 m ²	0.2t (チューク側) 3.5Φ×220L(外形)× 0.3t (シェル側)	～110°C	2kg/cm ² G 1kg/cm ² G	チューブ側 : SUS304 シェル : SS41	
ヒュームフィルター	2	N ₂ -N ₂ 型	濾過面 : 3.40 cm ²	外形 2.4×2.4×3.0×0.2t	常温	常 壓	ケース : SS41エボコーティング 濾材 : フィレット	
油水分離器	1	濾過分離式	60 ℥/hr	16.5Φ×100H×0.5t	常温	常 壓	SUS : 304	
濃縮液槽	1	堅型円筒槽	容量 : 50 ℥	35Φ×70H×0.3t	常温	常 壓	SUS316L	アジテータ付
ビニール貯槽	1	堅型円筒槽	容量 : 1000 ℥	110Φ×120H×1.2t	常温～ 170°C	常 壓	SS41	スチール加熱ジャケット付
冷凍ユニット	1	融熱回収, プライント循環 方式 コントローラー・高速多気筒型	冷凍能力 : 30,000 kcal/ hr (at -10°C) 以上 コントローラー : 30 kW 1次コンデンサー・シェルア 2次コンデンサー・シェルア 蒸発器 : シェルアンドチュー ブ	ユニット外形寸法 240×180×240H 1次コンデンサー伝面 : 1.86 m ² 2次コンデンサー伝面 : 3.0 m ² 蒸発器伝面 : 17.4 m ²	-20°C ～ +50°C	冷凍保安規則 に基く	他に温 プライントンタック 600 ℥, 冷 プライントンタック 600 ℥, 温 プライントンタック 250 ℥/min (3.7 kW) 冷 プライントンタック (3.7 kW) 等を付属	冷凍保安規則に基く

Table 1. 主要機器仕様一覧(継)

名 称	基 数	形 式	機 能	主 要 規 格 尺 寸 (cm)	設 計 温 度	主 要 材 質	備 考
熱媒ユニット	1	プロパンガス燃焼式 熱媒加熱器	加熱容量： 100,000 kcal/hr 熱媒循環ポンプ： 1.4m ³ /hr 熱媒抜出手槽：900ℓ サージタンク：180ℓ	熱媒最高温度 300℃	ボイラーアンブレル及び圧力容器全規則、ボイラーコンストラクション規格に基く	ボイラーアンブレル及び圧力容器全規則、ボイラーコンストラクション規格に基く	
スラッシュフィードポンプ	1	堅型スラッシュポンプ	100ℓ/min×15m× 3.7kW	常温	ケーシング：FC20, ターブルエンド		
スラッシュポンプ	1	流量可変式モノスクリ式	120ℓ/hr～500ℓ/hr ×1.5kW	常温	軸部：SUS420JI		
濾液ポンプ	1	渦巻型	100ℓ/min×15m× 1.5kW	常温	SUS304		
真空ポンプ	1	水封式ポンプ	1.3m ³ /min×3.7kW	常温	FC20		
ビチューメンポンプ	1	ギアポンプ	6ℓ/min×2.0m×1.5kW	~170℃	FC20	スチームジャケット付	

Table 2 Chemical sludge and evaporator concentrate treated in past four years.

Year	1973			1974			1975			1976			Total					
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV						
Volume (m^3)	S	—	—	1.41	11.39	9.03	3.50	6.60	8.40	8.40	0	4.55	6.86	11.04	0	0	2.62	7.380
	C	—	—	0	0	0	0	0.19	0.10	0	0	0	0	0	0	0.37	0.66	
Radioactivity (mCi)	S	—	—	1.56	11.93	14.67	2.80	5.50	12.13	8.10	0	8.33	11.73	15.77	0	0	3.81	10.233
	C	—	—	0	0	0	0	7.10	3.81	0	0	0	0	0	0	0	2.26	13.17
Amounts of 200ℓ drum* produced	—	—	—	1	8	8	2	4	6	5	0	4	7	11	0	0	3	59

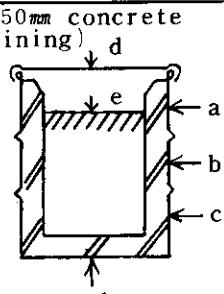
S : Chemical sludge

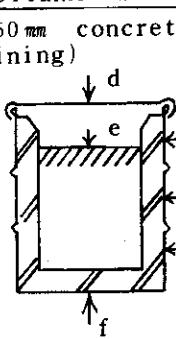
C : Evaporator concentrate

* : 50mm reinforced concrete lining drum (real volume : 110l).

Table 3 Bituminization of chemical sludge

		Run	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Bitumen used	Type	Straight asphalt 60/80											
	Weight (kg)	8.50	8.56	8.70	8.65	8.60	8.30	7.9.8	8.0.0	8.0.0	8.0.0	8.0.0	
Sludge	Component ($\text{Fe(OH)}_3/\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	—	—	43/57	40/60	21/79	24/76	24/76	—	26/74	26/74		
	pH	8.42	8.39	8.80	8.80	9.02	—	—	—	—	—		
	Electric conductivity ($\mu\text{V}/\text{cm}$)	556	610	610	610	709	—	—	—	—	—		
	Solid content (wt%)	34.4	36.3	36.2	5.30	5.36	—	—	—	—	—		
	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)	111×10^{-3}	305×10^{-3}	—	126×10^{-3}	106×10^{-3}	—	—	—	—	—		
	Solid content (wt%)	50.9	51.6	44.9	50.6	42.8	42.0	40.4	38.9	38.4	39.2		
Sludge cake	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci}/\text{g}$)	283×10^{-2}	711×10^{-2}	642×10^{-2}	443×10^{-2}	296×10^{-2}	222×10^{-2}	204×10^{-2}	185×10^{-2}	180×10^{-2}	200×10^{-2}		
	pH	7.88	7.43	7.66	—	8.42	—	—	—	—	—		
	Electric conductivity ($\mu\text{V}/\text{cm}$)	388	393	460	—	518	—	—	—	—	—		
	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)	131×10^{-6}	372×10^{-6}	233×10^{-6}	—	223×10^{-6}	—	—	—	—	—		
	Water evaporation rate (kg/hr)	11.6	8.58	9.04	10.9	20.8	—	15.3	17.9	22.7	26.0		
	Mean temperature (°C)	232	218	218	207	199	—	213	210	201	200		
Filtrate	Temperature of heating medium (°C)	274	270	264	270	284	—	268	283	267	275		
	Mixing time (hr)	4.75	6.5	7.0	5.2	4.3	—	6.75	6.75	4.5	4.0		
	pH	9.38	9.72	9.52	—	9.69	—	—	—	—	—		
	Electric conductivity ($\mu\text{V}/\text{cm}$)	1183	1563	1603	—	1048	—	—	—	—	—		
	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)	333×10^{-7}	815×10^{-8}	912×10^{-8}	—	5.0×10^{-8}	—	—	—	—	—		
	Specific gravity	1.40	1.44	1.34	1.45	1.48	1.43	1.54	1.55	1.50	1.42		
Product	Total radioactivity*1 (mCi)	1.56	4.79	3.31	2.59	1.98	1.26	1.43	1.42	1.15	1.34		
	Incorporation ratio (Bitumen/Sludge)	61/39	59/41	63/37	60/40	56/44	59/41	53/47	51/49	56/44	54/46		
	(50 mm concrete lining) ↓ d	a	2.5	5.5	6.0	5.0	3.5	2.0	2.5	2.5	2.0	1.5	
		b	3.2	11.5	11.0	9.0	4.5	3.5	4.0	3.5	3.0	2.5	
		c	4.0	8.5	10.5	8.0	5.0	3.0	3.5	3.0	2.5	1.5	
		d	2.0	7.0	6.0	6.0	5.0	2.5	3.5	4.5	2.0	2.5	
		e	5.0	19.0	23.0	22.0	16.0	13.5	15.0	16.5	7.5	16.0	
		f	5.0	10.5	9.5	7.5	5.5	3.0	3.5	3.5	2.0	1.5	
Condition of freezing & thawing process: freezing time; 2.5~3.0 hrs lowest temperature in freezing; -26°C thawing time; 2.0~2.5 hrs.													
Over-all heat-transfer coefficient of mixing evaporator: Max. 103 kcal/m²·hr. °C Oil entrained with vapor at mixing evaporation: before oil separator; 2000 ppm after oil separator; <5 ppm													

		Run	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Bitumen used	Type	Straight asphalt 60/80						straight asphalt 80/100			Straight asphalt 60/80		
	Weight(kg)	79.0	84.0	79.4	78.6	92.5	75.0	105.8	104.0	100.0	87.7		
Sludge	Component $(Fe(OH)_3/Ca_3(PO_4)_2)$	26/74	27/73	33/67	30/70	29/71	31/69	43/57	40/60	56/44	55/45		
	pH	—	—	—	—	—	—	—	—	8.69	—		
	Electric conductivity ($\mu\text{V/cm}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	700	—		
	Solid content (wt%)	—	—	—	—	—	—	—	—	8.04	—		
Sludge cake	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci/ml}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	2.94×10^{-3}	—		
	Solid content (wt%)	40.7	42.2	40.7	39.9	41.7	39.2	42.3	45.5	40.0	45.7		
	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci/g}$)	2.06×10^{-2}	2.06×10^{-2}	2.52×10^{-2}	2.50×10^{-2}	2.47×10^{-2}	2.53×10^{-2}	2.51×10^{-2}	2.36×10^{-2}	2.27×10^{-2}	2.77×10^{-2}		
	pH	—	—	—	—	—	8.11	7.75	—	—	—		
Filtrate	Electric conductivity ($\mu\text{V/cm}$)	—	—	—	—	—	408	393	—	—	—		
	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci/ml}$)	—	—	—	—	—	6.76×10^{-7}	—	—	—	—		
	Water evaporation rate (kg/hr)	28.7	20.5	22.5	28.5	21.6	23.2	31.3	23.3	14.7	13.4		
	Mean temperature (°C)	200	212	205	200	211	195	202	203	216	208		
Mixing evaporation	Temperature of heating medium (°C)	281	273	280	282	273	275	283	276	255	250		
	Mixing time (hr)	3.5	4.75	4.0	3.67	4.5	4.0	3.67	4.0	5.0	5.33		
	pH	—	—	—	—	—	9.57	9.46	—	—	—		
	Electric conductivity ($\mu\text{V/ml}$)	—	—	—	—	—	697	877	—	—	—		
Condensate	Radioactive concentration*1 ($\mu\text{Ci/ml}$)	—	—	—	—	—	5.0×10^{-8}	5.0×10^{-8}	—	—	—		
	Specific gravity	1.53	1.40	1.38	1.43	1.41	1.47	1.45	1.39	1.42	1.44		
	Total radioactivity*1 (mCi)	1.32	1.33	1.55	1.74	1.72	14.9	2.11	1.84	11.1	1.67		
	Incorporation ratio (Bitumen/Sludge)	53/47	54/46	56/44	53/47	57/43	56/44	56/44	57/43	67/33	59/41		
Product	(50mm concrete lining) d 	a	3.0	2.0	3.0	2.4	2.0	1.5	3.0	1.5	2.3	2.0	
		b	3.5	2.5	5.0	4.4	3.5	4.0	4.0	4.0	3.8	4.0	
		c	2.5	2.0	5.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.5	4.6	3.5	
		d	2.5	2.5	3.5	3.6	2.5	2.0	4.0	2.5	2.8	3.0	
		e	10.0	8.5	14.0	12.0	10.0	13.5	10.5	9.5	5.0	13.0	
		f	2.0	2.0	3.5	4.4	3.0	4.0	2.5	3.5	3.0	2.5	
Radioactive concentration entrained in off-gas; $12.5 \times 10^{-12} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$.													
Total radioactivity entrained in off-gas; $1.9 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$.													
Total radioactivity incorporated in bitumen/Total radioactivity entrained in off-gas; 1.4×10^{-7} (for ^{137}Cs ; 6.8×10^{-7} , for ^{60}Co ; 5.0×10^{-7}).													
*1; measured by scintillation counter.													

	Run	23	24	25	26	27	28	30	58	59	60
Bitumen used	Type	Straight asphalt 60/80									
	Weight(kg)	82.0	89.5	85.5	85.0	86.5	90.0	85.2	86.0	86.5	85.2
Sludge	Component ($\text{Fe(OH)}_3/\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	64/36	56/44	—	—	—	—	—	—	—	—
	pH	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Electric conductivity($\mu\text{V/cm}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Solid content(wt%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Radioactive concentration*1($\mu\text{Ci/ml}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Solid content(wt%)	47.1	47.0	54.8	52.4	52.4	50.8	54.1	43.3	43.3	46.0
Sludge cake	Radioactive concentration*1($\mu\text{Ci/g}$)	2.68×10^{-2}	2.46×10^{-2}	2.64×10^{-2}	2.02×10^{-2}	4.33×10^{-2}	4.98×10^{-2}	3.32×10^{-2}	2.08×10^{-2}	2.08×10^{-2}	2.35×10^{-2}
	pH	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Electric conductivity($\mu\text{V/cm}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Radioactive concentration*1($\mu\text{Ci/ml}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Water evaporation rate (kg/hr)	16.1	15.1	3.0	8.5	12.3	15.3	—	21.5	18.4	16.6
	Mean temperature (°C)	204	208	217	209	200	204	—	211	205	210
Mixing evaporation	Temperature of heating medium (°C)	260	261	237	261	271	279	—	255	247	244
	Mixing time (hr)	4.67	5.5	6.0	3.0	3.67	4.5	—	4.75	3.67	2.75
	pH	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Electric conductivity ($\mu\text{V/cm}$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Radioactive concentration*1($\mu\text{Ci/ml}$)	—	—	—	—	—	—	1.78×10^{-7}	—	—	—
	Specific gravity	1.53	1.59	*2 12.0	1.32	*2 1.47	1.41	1.45	1.47	*2 1.40	*2 1.45
Product	Total radioactivity*1(mCi)	1.79	18.1	*2 7.64	0.57	*2 5.97	3.54	1.95	1.62	*2 1.52	*2 2.93
	Incorporation ratio (Bitumen/Sludge)	55/45	55/45	*2 70/30	75/25	*2 60/40	56/44	59/41	52/48	*2 55/45	*2 50/50
	(50 mm concrete lining) 	a	4.0	4.5	*2 1.4	0.5	*2 2.5	3.0	1.0	3.0	*2 2.8
		b	6.5	5.5	*2 2.8	1.5	*2 7.0	7.5	2.3	3.0	*2 3.5
		c	4.5	4.5	*2 3.8	3.0	*2 7.0	7.0	3.0	2.5	*2 2.3
		d	6.5	7.0	*2 1.8	1.0	*2 5.0	5.0	2.0	4.5	*2 4.0
		e	12.0	12.0	*2 6.5	4.5	*2 20.0	21.0	10.5	9.0	*2 9.0
		f	4.5	4.0	*2 4.0	3.5	*2 6.5	7.0	3.2	2.0	*2 1.8

*2: value incorporated both chemical sludge and evaporation concentrate.

Table 4 Bituminization of evaporator concentrate.

	Run	1	2	3	4
Bitumen used	Type	Straight asphalt 60/80			
	Weight (kg)	8.5.5	8.6.5	8.6.5	8.5.2
	Component	* 2	* 2	* 3	* 4
	pH Main radionuclides	11.5 ¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	11.5 ¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	10.7 ¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	10.7 ¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co
Evaporator concentrate	Electric conductivity ($\mu\text{V/cm}$)	5.5.0	5.5.0	7.9.0	7.9.0
	Solid content (wt%)	7.7.2	7.7.2	10.0	2.6.5
	Radioactive concentration *1 ($\mu\text{Ci/ml}$)	6.35×10^{-2}	6.35×10^{-2}	2.42×10^{-3}	1.19×10^{-2}
	Volume treated (l)	1.8.5	1.0.0	2.0.0	1.7.0
Mixing evaporation	Water evaporation rate (kg/hr)	5.6.9	6.2.5	5.7.1	5.4.8
	Mean temperature (°C)	1.5.3	1.2.8	1.5.6	1.7.9
	Temperature of heating medium (°C)	2.7.8	2.6.7	2.6.2	2.6.2
	Mixing time (hr)	3.0	1.6	3.5	3.1
condensate	pH	9.5.4	9.1.0	8.0.5	8.1.0
	Electric conductivity ($\mu\text{V/cm}$)	2.4.5	3.4.5	5.1.0	5.7.0
	Radioactive concentration *1 ($\mu\text{Ci/ml}$)	1.14×10^{-6}	3.28×10^{-6}	5.88×10^{-8}	3.39×10^{-7}
Product	Specific gravity	1.0.4	—	1.1.0	1.1.5
	Total radioactivity *1 (mCi)	7.0.5	3.8.1	0.4.8	2.0.3
	Incorporation ratio (Bitumen/Solid)	8.6/14	9.2/8	8.1/19	6.5/35

Over-all heat-transfer coefficient of mixing evaporator: Max. 122 kcal/m² hr. °C

*1: measured by scintillation counter.

*2: NO₃⁻; 0.5%, Cl⁻; 0.3%, SO₄²⁻; 1.6% Fe; 0.16% etc.*3: NO₃⁻; 0.1%, Cl⁻; 0.39%, SO₄²⁻; 0.44% Fe; 0.27% Ca; 0.06% Mg; 0.05% etc.*4: NO₃⁻; 0.3%, Cl⁻; 1.0% SO₄²⁻; 1.2% Fe; 0.7% Ca; 0.16% Mg; 0.14% etc.Radioactive concentration entrained in off-gas: $28 \times 10^{-11} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$.Total radioactivity entrained in off-gas: $3.1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$.Total radioactivity incorporated in bitumen/Total radioactivity entrained in off-gas: 1×10^{-6} (for ¹³⁷Cs; 7.6×10^{-7} , for ⁶⁰Co; 1.7×10^{-7}).

Table 5 Characteristics of product in cold test.

Bitumen used (B)	Chemical sludge (S)	Incorporation ratio (B/S)	Mixing time (hr.)	Physical properties of product			
				Specific gravity	Softening point (°C) (R&B)	Penetration	Flash point (°C)
Blown asphalt 20/30	Fe(OH) ₃ / Ca ₃ (PO ₄) ₂ =1/1	about 60/40	7~8	1.35	139.6	9	280
Straight asphalt 40/60	Fe(OH) ₃ / Ca ₃ (PO ₄) ₂ =1/1	about 60/40	7~8	1.03*	85.0*	—	284*
Straight asphalt 60/80	Fe(OH) ₃ / Ca ₃ (PO ₄) ₂ =1/1	about 60/40	7~8	1.40	111.2	9	320
Straight asphalt 40/60/ Straight asphalt 60/80 =1/1	Fe(OH) ₃ / Ca ₃ (PO ₄) ₂ =1/1	about 60/40	7~8	1.03*	52.6*	—	308*
				1.41	107.2	10	300
				1.03*	47.0*	—	317*
				1.41	115.3	12	280
				1.03*	50.0*	50~56*	310*

*: value of bitumen only.

Table 6 Data of bitumen blocks to be tested (chemical sludge).

Sample No.	1	2	3	4	5	6
Run No.	2	1 4	1 5	1 6	1 7	1 3
Type of bitumen	Straight asphalt 60/80					
Sludge composition $\text{Fe(OH)}_3 : \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	34:66	30:70	29:71	31:69	43:57	33:67
Size (mm)	45φx44H	45φx44H	43φx44H	45φx43H	48φx36H	44φx41H
Weight (g)	9.64	9.67	9.46	9.87	9.81	9.81
Incorporation ratio (B:S)	59:41	53:47	57:43	56:44	56:44	56:44
Total radioactivity (μCi)	3.2	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1
Main radionuclide	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co

Table 7 Data of bitumen blocks to be tested (evaporator concentrate)

Sample No.	7	8	9
Run No.	Cold *1	25	27
Type of bitumen	Blown asphalt 20/30	Straight asphalt 60/80	Straight asphalt 60/80
Incorporated solid component	20%Sr(NO_3) ₂	Real waste (concentrate and sludge)	Real waste (concentrate and sludge)
Size (mm)	45φ×4H	45φ×45H	45φ×46H
Weight (g)	8.9	8.85	11.46
B : C	82:18	86:14	92:8
B : S	—	79:21	64:36
Incorporation ratio (wt%)	B : SS 82:18	70:30	60:40
Total radioactivity	16 (g)	5.54 (μCi)	4.74 (μCi)
Main radionuclide	— ¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co

C: Solid components from concentrate. S:Solid component from chemical sludge.

SS: Sum of solid components.

*₁: Bitumen block made in cold operation.

*₂: Quantities of inactive strontium.

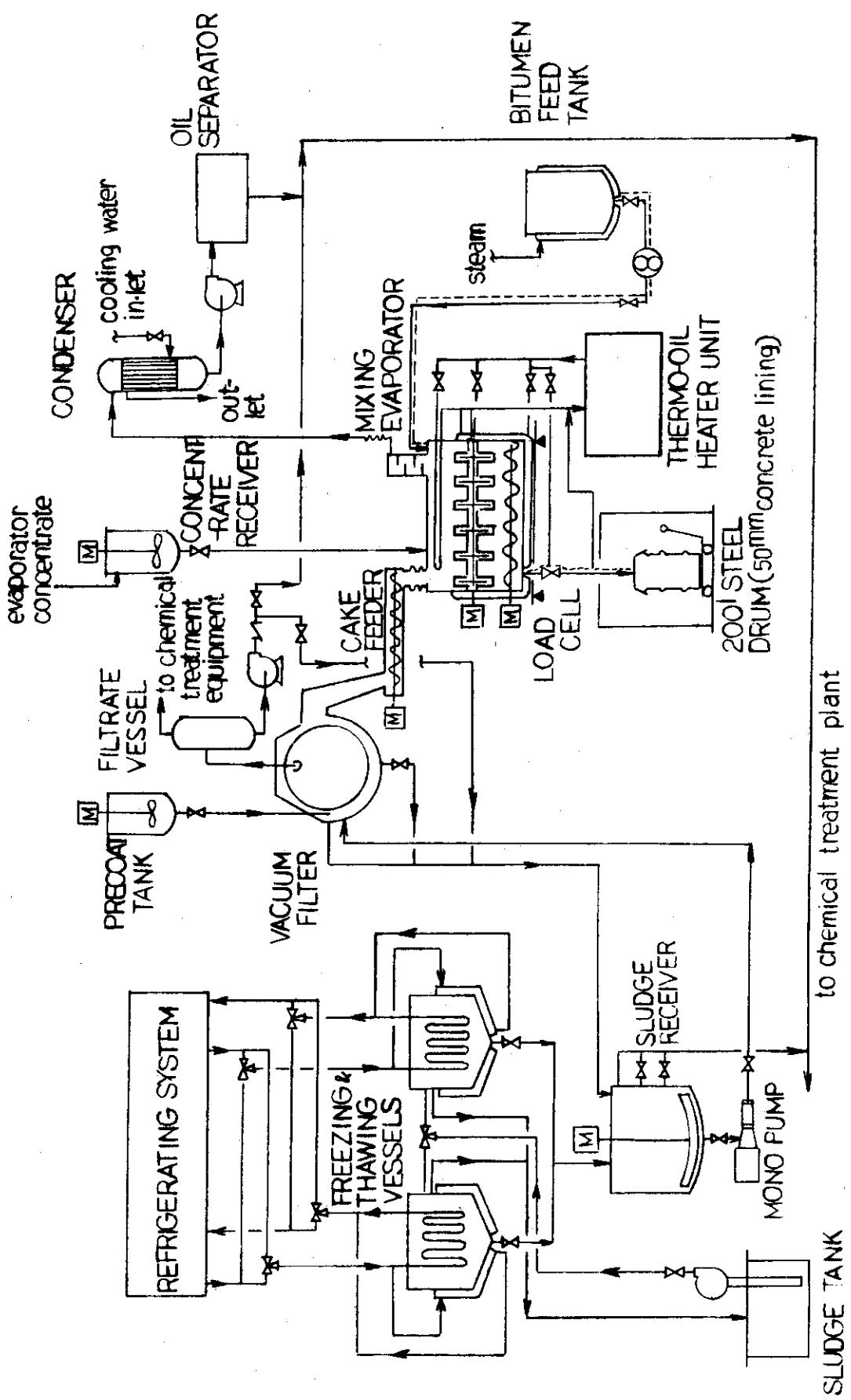


Fig. 1 Flow diagram of the bituminization unit.

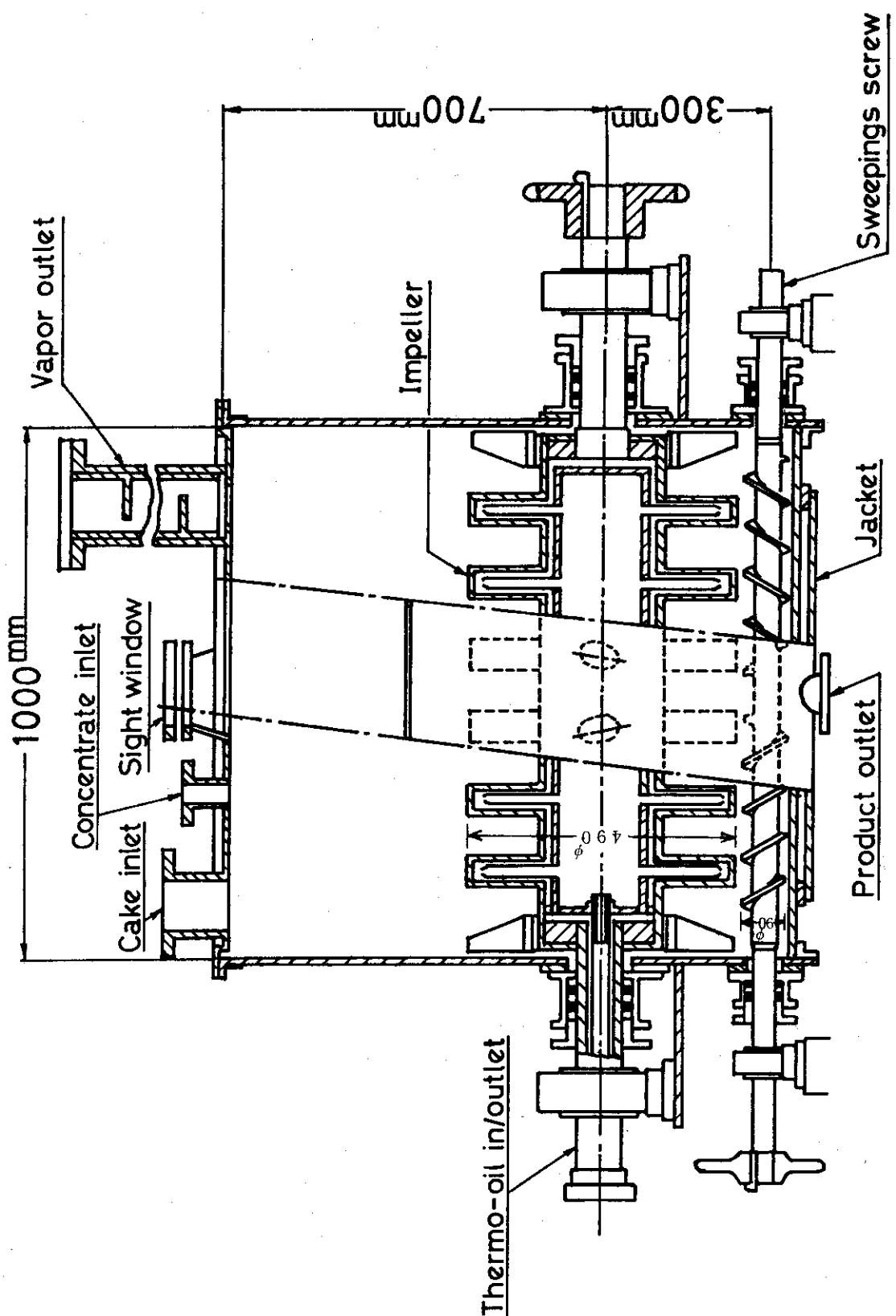


FIG. 2 Batch Wise Bituminizing Unit

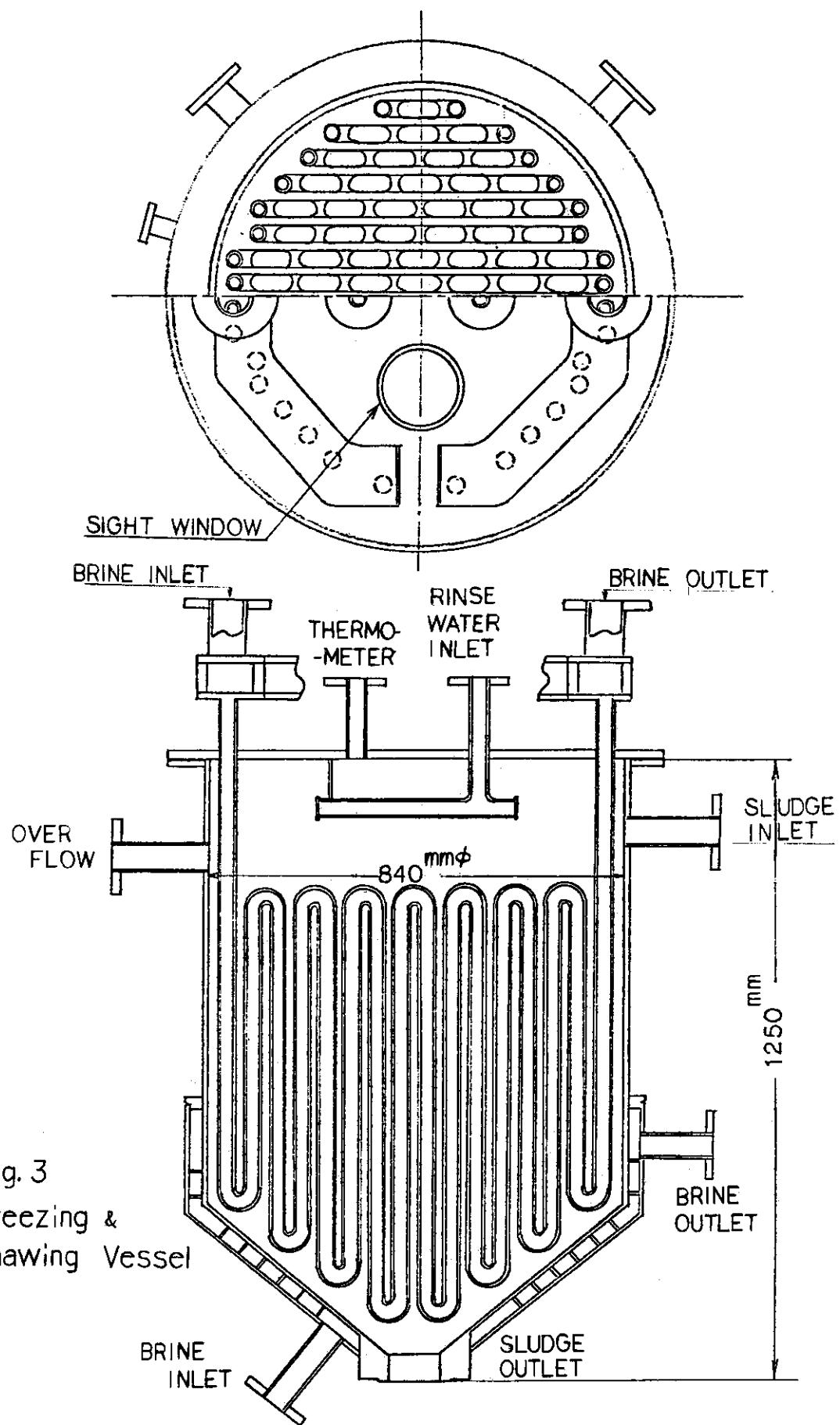


Fig. 3
Freezing &
Thawing Vessel

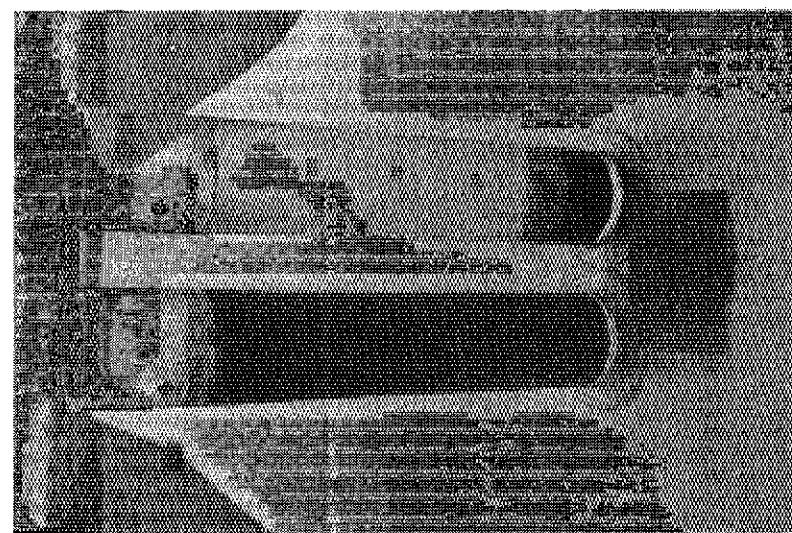


Fig.4 Sludge sedimentation difference
between before and after freezing
thawing pretreatment.
(Sedimentation time : 2 hrs)

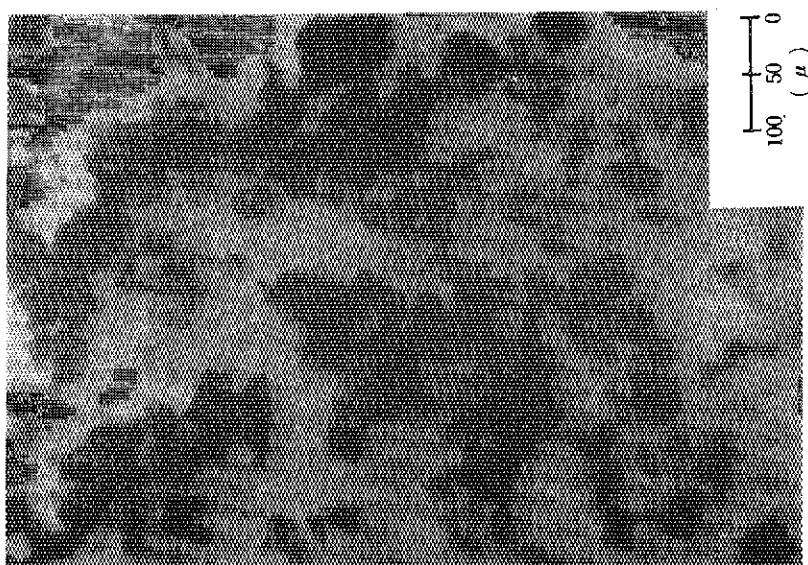


Fig.5 Microphotograph of pretreated
sludge (200 magnifications).
Component; $\text{Fe(OH)}_3 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
=1:1

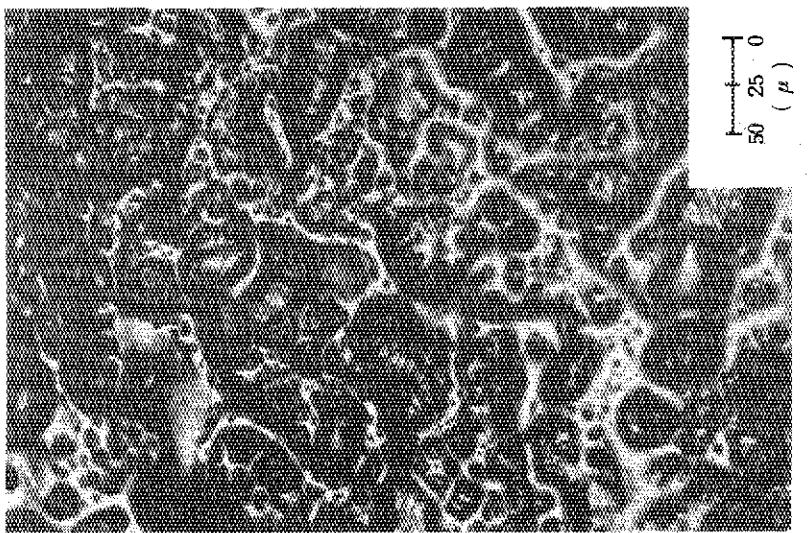


Fig.6 Microphotograph of asphalt
product (340 magnifications).
asphalt/sludge;6/4
Sludge particles are
homogeneously dispersed in
asphalt matrix.

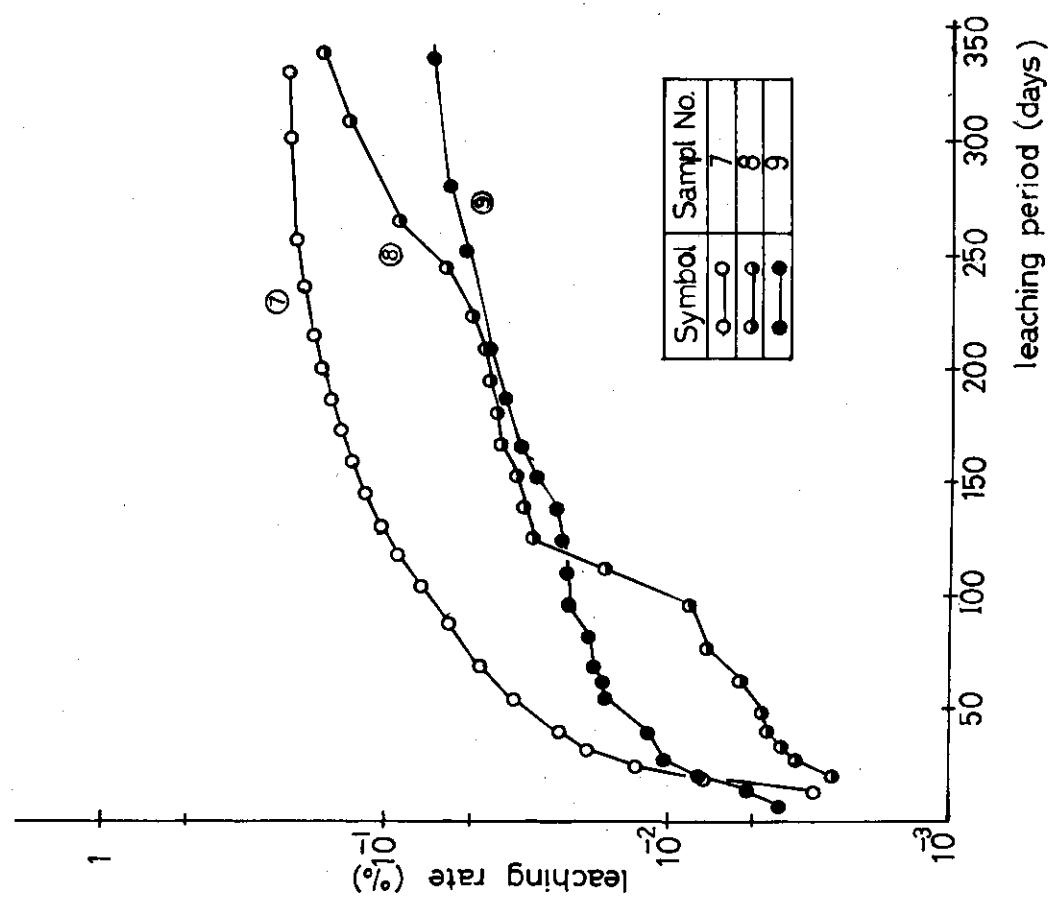


Fig. 8 Leaching of bitumen blocks incorporating evaporator concentrate as well as chemical sludge

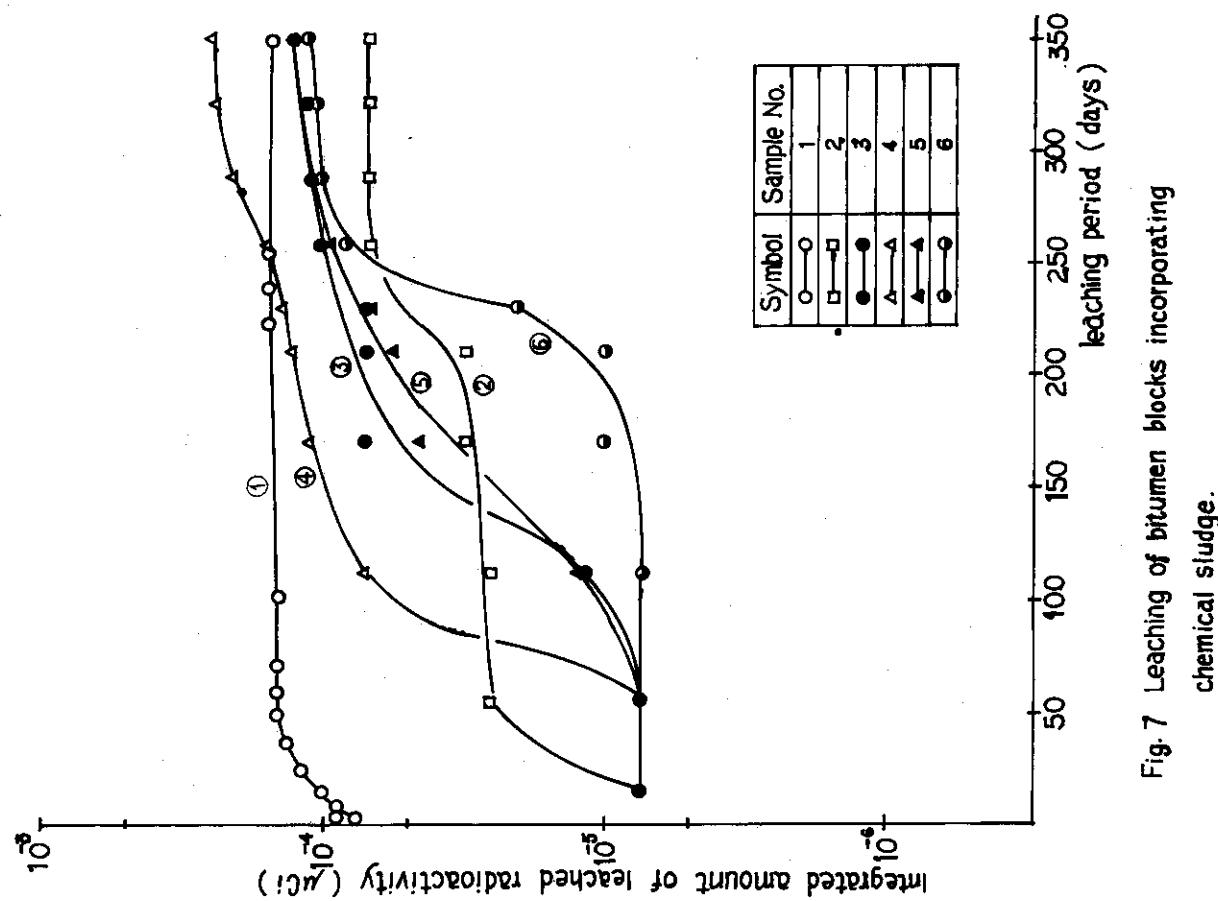


Fig. 7 Leaching of bitumen blocks incorporating chemical sludge.