



アスファルト固化体均質性確認試験
Homogeneity Confirmation Test of Bituminized Products

木下 淳一 遠藤 誠之 上坂 貴洋
Junichi KINOSHITA, Masayuki ENDO and Takahiro UESAKA

東海研究開発センター
原子力科学研究所
バックエンド技術部
Department of Decommissioning and Waste Management
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center

November 2012

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

アスファルト固化体均質性確認試験

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
原子力科学研究所 バックエンド技術部

木下 淳一、遠藤 誠之、上坂 貴洋

(2012年9月11日 受理)

第2 廃棄物処理棟のアスファルト固化装置では原子力科学研究所内から発生する比較的放射能濃度の高い放射性液体廃棄物をアスファルトと混練し、アスファルト固化体を作製しており、作製されたアスファルト固化体は、将来、均質固化体として浅地中埋設処分される予定である。

均質固化体の埋設処分に係る法令上の技術基準上においては固型化材料と放射性廃棄物を均質に練り混ぜることが要求されており、この要求に対応するためにはアスファルト固化装置が均質な練り混ぜ性能を有することの確認が必要である。

本稿は、第2 廃棄物処理棟のアスファルト固化装置で混練した混合物の密度及び放射能濃度測定を行い、練り混ぜ性能を確認して、将来の埋設処分の基礎データとして活用するものである。

Homogeneity Confirmation Test of Bituminized Products

Junichi KINOSHITA, Masayuki ENDO and Takahiro UESAKA

Department of Decommissioning and Waste Management

Nuclear Science Research Institute

Tokai Research and Development Center

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 11, 2012)

The comparatively high level liquid radioactive wastes generated from the nuclear facilities in the Nuclear Science Research Institute of JAEA have been treated by the bituminization system. In the future, bituminized products could be disposed of as homogeneously solidified products, if their qualities would meet with the technical standards of homogeneously solidified products which are stipulated in nuclear regulatory law.

In this report, we summarized the measurement results of the density and radioactivity of solidified products in order to get basic data for future disposal.

Keywords: Liquid Radioactive Waste, Bituminization, Bituminized Products, Disposal, Technical Standards, Homogeneity, Measurement, Density, Radioactivity

目 次

1	目的	1
2	アスファルト固化装置概要	2
3	試験方法	3
3.1	アスファルト固化処理に使用している固型化材料の性状	3
3.2	アスファルト固化した放射性液体廃棄物の性状	3
3.3	試験時の運転条件	3
3.4	測定用試料の採取方法	4
3.5	密度測定方法	4
3.6	放射能濃度測定方法	5
4	試験結果	5
4.1	密度測定	5
4.2	放射能濃度測定	5
4.3	運転条件が均質性に及ぼす影響	6
5	まとめ	6
	参考文献	7

Contents

1 Introduction	1
2 Summary of Bituminization System	2
3 Testing method	3
3.1 Characteristics of tested bitumen	3
3.2 Characteristics of radioactive wastes	3
3.3 Operating condition	3
3.4 Method of bituminization products sampling	4
3.5 Method of density measurement	4
3.6 Method of radioactivity measurement	5
4 Results	5
4.1 Results of radioactivity measurement	5
4.2 Results of density measurement	5
4.3 Affects of operating condition	6
5 Conclusion	6
References	7

図表一覧

表 1	アスファルト固化装置仕様	8
表 2	試験に使用したアスファルトの性状	8
表 3	試験に使用した濃縮液の性状	9
表 4	試験時の処理運転条件	10
表 5	試料一覧	11
表 6	ハバード比重瓶校正手順	12
表 7	密度測定手順	13
表 8	密度測定使用機材一覧	15
表 9	放射能濃度測定装置仕様	16
表 10	放射能測定装置主要構成機器一覧	16
表 11	密度測定結果	17
表 12	放射能濃度測定結果	18
表 13	均質性と運転諸条件の相関関係についての判定結果	19
図 1	アスファルト固化装置主要系統図	20
図 2	混和蒸発機概略図	21
図 3	プロダクト採取位置	22
図 4	プロダクト採取状態	22
図 5	採取プロダクト	23
図 6	密度測定用試料	23
図 7	放射能濃度測定用試料	24
図 8	平均密度と混合比	25
図 9	混合比と密度変動係数	26
図 10	混合比と ^{137}Cs 放射能濃度変動係数	26
図 11	廃液供給速度と密度変動係数	27
図 12	廃液供給速度と ^{137}Cs 放射能濃度変動係数	27
図 13	混練時間と密度変動係数	28
図 14	混練時間と ^{137}Cs 放射能濃度変動係数	28
図 15	混和蒸発機内温度と密度変動係数	29
図 16	混和蒸発機内温度と ^{137}Cs 放射能濃度変動係数	29

This is a blank page.

1 目的

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所内の研究施設から発生する比較的放射能濃度の高い放射性液体廃棄物は、第2廃棄物処理棟においてアスファルト固化装置により固型化処理を施され、アスファルト固化体として保管廃棄施設に保管廃棄されている。これらアスファルト固化体は、廃棄体（均質固化体）として近い将来浅地中埋設処分される予定である。

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」）及び「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」（以下「障防法」という。）において、廃棄体等の浅地中埋設処分にあたり、処分対象の廃棄体は、技術基準に適合していることについて規制当局の確認を受けなければならないことが定められている。これらの技術基準は、「原子炉等規制法」の「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」第8条及び「核燃料物質等の第2種廃棄物埋設に関する措置に係る技術細目を定める告示」（以下「埋設告示」という。）第4条、また、障防法施行規則第19条第1項第17号で定められている。これらの技術基準の内、埋設告示第4条の技術基準では、均質固化体について固型化材料と放射性廃棄物を均質に練り混ぜることが要求されている。このため、第2廃棄物処理棟で作成したアスファルト固化体を埋設処分する際には、本技術基準を満足していることを証明する必要がある。

本稿は、将来の埋設処分の際の基礎データとして用いるため、密度及び放射能濃度の測定を行い第2廃棄物処理棟アスファルト固化装置の練り混ぜ性能を確認したものである。

2 アスファルト固化装置概要

アスファルト固化処理の対象となる廃棄物は、蒸発処理により濃縮された濃縮廃液及びスラッジ類等（以下「濃縮廃液等」という。）であり、所定の系統よりアスファルト固化装置の濃縮廃液供給槽に受け入れる。受け入れた濃縮廃液等は、アスファルト混和蒸発機内で溶融アスファルト中に少量ずつ混合して水分を蒸発し、固形分をアスファルト相に分散固化する。

アスファルト固化装置は、処理能力 100L/日のアスファルト混和蒸発機（以下「混和蒸発機」という。）、廃液蒸気の復水系、蒸気に同伴するアスファルト中の軽質油分を分離する油水分離ユニット、熱媒ボイラ、アスファルト供給装置及び付属機器から構成される。主要な機器である混和蒸発機は 70cm 厚普通コンクリートの固化セル内床面に、廃液供給系機器はセル内上部に、ドラム詰関連機器は地下部のドラム詰室に配置されている。本設備の主要部である混和蒸発機は横置角槽型の容器で、内部中央に水平軸定速回転の中空攪拌筒を備え、軸シールはダブルメカニカルシール方式となっている。また、混和蒸発機本体及びアスファルトと廃液の固形分からなる混合物（以下「プロダクト」という。）を排出する配管等を加熱する熱源は、局部加熱を避けるため熱媒油（鉱物油）を使用し、ジャケットと中空攪拌筒の内部に熱媒ボイラで加熱した熱媒油を循環させる方式が採用されている。混合後のプロダクトは、所定量をコンクリート内張 200L ドラム缶に充填され、ドラム詰室内で放冷固化される。

アスファルト固化装置の仕様を表 1 に、主要系統図を図 1 に、混和蒸発機の概略図を図 2 に示す。

3 試験方法

均質性確認試験は、原子力科学研究所内から発生した放射性液体廃棄物のアスファルト固化処理を平成 22 年 1 月から平成 23 年 6 月にかけて行った際に、試料を採取し実施した。アスファルト固化処理運転は合計 7 バッチ実施し、各々の処理バッチ毎にコンクリート内張りドラム缶へ排出する時期別に 3 種類試料を採取した。採取した試料は密度及び廃棄物の主要核種である ^{137}Cs の放射能濃度の測定を行い、排出する時期別に採取した試料間の均質性の確認を行った。

3.1 アスファルト固化処理に使用している固型化材料の性状

埋設告示に定められている固型化材料は、JIS K 2207 に定める石油アスファルトで、針入度は 100 以下のもの又は、これと同等以上の品質を有するものと規定されている。アスファルト固化処理で使用している固型化材料は、JIS K 2207 に定めるストレートアスファルト 60/80 であり、この規定を満たしている。その性状を表 2 に示す。

3.2 アスファルト固化した放射性液体廃棄物の性状

アスファルト固化した放射性液体廃棄物は、原子力科学研究所内の各研究開発施設から発生した放射性液体廃棄物を単一もしくは混合したものをアスファルト固化装置の前段の設備である蒸発処理装置・II において蒸発濃縮した濃縮廃液である。濃縮廃液は濃縮廃液供給槽(図 1 参照)へ移送され、混和蒸発機へ供給される。濃縮廃液供給槽から採取した試験時の濃縮廃液の性状を表 3 に示すとともに、以下に概要を示す。

1) 廃液ロット No.

廃液毎に一意に付与した番号。ただし、同一性状の廃液を 2 分割して処理を行う場合があるため、同一性状の廃液に対し 2 つのロット No. が付く場合がある。

2) 発生施設等

本試験に使用した濃縮廃液の主な発生施設は実用燃料試験施設、再処理特別研究棟、第 2 廃棄物処理棟(自家発生廃液)である。

3) 固形分濃度

廃液を蒸発乾固させて残った残渣重量を蒸発前の廃液重量で除し重量パーセント換算としたものであり、本試験で使用した廃液の最大固形分濃度は約 5wt% である。

4) 放射能濃度

廃液を 100 倍希釈したものをゲルマニウム半導体検出器で定量分析を行ったものであり、主要な核種は ^{137}Cs で、濃度は $10^2 \sim 10^4 \text{Bq/cm}^3$ 程度である。

3.3 試験時の運転条件

廃棄物処理場運転手引に従いアスファルト固化処理を実施した。試験時の運転条件を表 4 に示すとともに、概要を以下に示す。

1) 処理バッチ No.

固化処理 1 バッチ毎に一意に付与した番号。

2) 廃液供給量

固化処理時に混和蒸発機内に供給した濃縮廃液の量(L)。1 バッチあたり約 200～300L を、約 3～4 時間かけて供給した。

3) プロダクト量

処理 1 バッチ毎に固化容器に排出したプロダクトをドラム缶重量計で計量した重量(kg)であり、約 90kg 前後である。

4) 固形分量、混合率

固化処理 1 バッチ中に供給した廃液量と廃液の固形分濃度を乗じて求めた固形分の重量(kg)、及びプロダクト中の固型分の重量パーセント。最も固形分を多く含んだプロダクトは 22-03 バッチのもので、91.6kg のプロダクト中に 14.5kg の固形分を含み、その混合率は 15.8wt%であった。

5) 廃液供給速度

廃液供給量(L)を廃液供給開始時刻から終了時刻までの廃液供給時間で除した、平均供給速度(L/h)であり、約 70～80L/h であった。

6) 混和蒸発機内温度

廃液供給中における混和蒸発機底部の混和蒸発機内温度(1)と混和蒸発機内温度(2) (図 2 参照) の平均温度であり、約 156～162℃の範囲であった。

7) 混練速度

混和蒸発機内のアスファルトを加熱・混練する中空攪拌円筒 (図 2 参照) の回転速度(rpm)であり、可変減速機を約 40rpm の一定値とした。

8) 混練時間

混和蒸発機起動開始から終了時刻までの合計混練時間。廃液供給中も含め約 5～7 時間アスファルトと混練した。

3.4 測定用試料の採取方法

放射能濃度測定に供する試料は、ドラム詰室内でアスファルト混和蒸発機の排出管から排出されるプロダクトをプロダクト採取装置によりガラス製シャーレに採取した。試料は、排出開始直後 (プロダクト A)、排出工程中盤 (プロダクト B)、排出終了直前 (プロダクト C) のタイミングでそれぞれ約 200g 採取した。プロダクトの採取位置、採取状況、採取後のプロダクトを図 3～図 5 にそれぞれ示す。また、採取した試料の一覧を表 5 に示す。

3.5 密度測定方法

プロダクトの密度測定はハバード比重瓶を用い、JIS K 2249「原油及び石油製品—密度の求め方—第 3 部：ピクノメータ法」に準拠して行った。ハバード比重瓶の校正方法及び密度測定方法を表 6 と表 7 に、測定に使用した機材を表 8 に示す。また、密度測定用試料の例を図 6 に示す。

なお、ハバード比重瓶にプロダクトを満たす際に気泡が混入した測定試料は、電気炉及び真空ポンプにて 90℃程度で融解した状態で気泡が出なくなるまで脱泡を行った。

3.6 放射能濃度測定方法

採取したプロダクトを第 2 廃棄物処理棟のフード内においてホットプレートを用いて再溶解し、直径 60mm のプラスチック容器に取り分け、測定用試料とした。測定用試料の例を図 7 に示す。

プロダクトの放射能濃度測定は、第 2 廃棄物処理棟の測定室の放射能測定装置を用いて実施し、濃縮廃液中の主要核種である ^{137}Cs の定量分析を行った。放射能測定装置の仕様を表 9 に、装置の構成を表 10 に示す。

4 試験結果

プロダクトの均質性の確認方法は、各固化処理運転バッチ内の密度及び放射能濃度の測定値について標準偏差を平均値で除した変動係数（百分率に換算）を算出し、確認することで行った。

4.1 密度測定

密度測定の結果を表 11 にまとめる。固型化材料であるストレートアスファルト 60/80 の密度は 1.0344g/cm^3 であり、プロダクトの平均密度は 1.0498g/cm^3 から 1.1141g/cm^3 であった。また、処理バッチ内の変動係数は最大で 0.30% であり非常に高い均質性を示した。

混合比と密度の関係を図 8 に示す。これより混合比と密度は下に示す直線関係にあり、その相関係数 R は 0.9981 で高い相関性を示した。

$$y=0.004985x+1.0352$$

ここに、y : プロダクトの密度(g/cm^3)

x : 混合比(%)

過去に実施された試験においても、アスファルトと廃棄物の混合比に対して密度は直線的に増加する傾向がみられており¹⁾、本試験も同様の結果となった。

硫酸ナトリウムを用いた模擬試験では混合比 20wt% 時に密度約 1.2g/cm^3 であり¹⁾、蒸発濃縮液をアスファルト固化したものの密度は混合比 19wt% 時に 1.1g/cm^3 であった²⁾。一方、本試験結果では混合比 15.8wt% 時に 1.1141g/cm^3 であり、これらの結果の中間程度であった。これは廃液に含まれる固形分の組成が違ったことに起因すると考えられる。

4.2 放射能濃度測定

採取したプロダクトの ^{137}Cs の放射能濃度の測定結果を表 12 にまとめる。 ^{137}Cs の放射能濃度はバッチ毎の平均値で $6.07 \times 10^2 \sim 2.95 \times 10^4 \text{Bq/g}$ であり、処理バッチ内の変動係数は 0.96 ~ 4.82% であった。

4.3 運転条件が均質性に及ぼす影響

プロダクトの均質性に及ぼす影響としては、混合比、混練速度、廃液供給速度、混練時間、運転温度等が考えられる。混練速度については本試験では可変減速機を固定としたため、混練速度を除く運転諸条件が変動係数に与える影響についてまとめた。

密度及び放射能濃度の変動係数と運転諸条件の関係について、混合比との関係を図 9 及び図 10、廃液供給速度との関係を図 11 及び図 12、混練時間との関係を図 13 及び図 14、混和蒸発機内温度との関係を図 15 及び図 16 にそれぞれ示す。また各々の相関係数 R を表 13 にまとめる。

これらの図からは、運転諸条件と均質性の間には相関関係があるとは認められず、また、相関係数 R も相関関係があると見做される 0.7 より低いため、運転諸条件と変動係数の間に相関関係はないと判断できる。

5 まとめ

第 2 廃棄物処理棟のアスファルト固化装置よりアスファルト固化体プロダクトの試料採取を実施し、得られた試料を用いて密度及び放射能濃度の測定を実施した。その結果、密度は固形分の混合比に比例して密度は上昇し、処理バッチ内での変動係数は最大で 0.30%であった。また、 ^{137}Cs の放射能濃度の処理バッチ内の変動係数は最大で 4.82%であった。廃棄物処理場運転手引に定められた運転条件範囲内であれば、密度及び ^{137}Cs 放射能濃度の変動係数は運転条件の影響を受けず、固型化材料と廃棄物を均質に練り混ぜる能力を有していると判断された。

参考文献

- 1) 小野達雄ほか, 放射性廃棄物のアスファルト固化 (その 1) - 模擬廃棄物とアスファルトの混合特性 -, 電力中央研究所技術第一研究所報告, 73111, 1974, pp.10-11.
- 2) 福田勝男ほか, 化学スラッジおよび蒸発缶濃縮液のピチューメン固化, JAERI-M 7373, 1977, 25p.

表 1 アスファルト固化装置仕様

項目	仕様
型式	横型攪拌蒸発式
処理能力	固化能力：アスファルト 100L/バッチ 蒸発能力：濃縮廃液等 80L/h
運転温度	混和蒸発機内温度 150℃以上で廃液供給開始 混和蒸発機内最高温度 200℃
廃液供給速度	プロダクト温度が 160~170℃となるように流量制御 (60~100L/h)
外形寸法	1.6mW × 1.5mL × 1.0mH
混練速度	18~70rpm (通常運転時 40rpm)
主要材質	SUS316L

表 2 試験に使用したアスファルトの性状

項目	性状*	試験法
規格	ストレートアスファルト 60/80	—
針入度 (25℃, 100g, 5 秒)	67	JIS K 2207
軟化点 °C	48.5	JIS K 2207
伸度 (15℃) cm	150 以上	JIS K 2207
蒸発 質量の変化率 %	0.01	JIS K 2207
後の針入度比 %	100	JIS K 2207
トルエン可溶分 wt%	99.95	JIS K 2207
引火点 °C	356	JIS K 2265
動粘度 (120℃) mm ² /s	850.0	JIS K 2207
(150℃) mm ² /s	200.0	JIS K 2207
(180℃) mm ² /s	66.5	JIS K 2207
薄膜加熱 質量変化率 %	0.10	JIS K 2207
薄膜加熱 針入度残留率 %	64	JIS K 2207

*:生産月の代表性状であり、実測値ではない。

表 3 試験に使用した濃縮液の性状

廃液ロット No.	発生施設等	固型分*濃度 (wt%)	¹³⁷ Cs 放射能濃度 (Bq/cm ³)
09-L-10	・ 第 2 廃棄物処理棟	1.7	2.74×10 ²
10-L-01	・ 第 2 廃棄物処理棟 ・ 実用燃料試験施設	1.0	1.02×10 ³
10-L-02	・ 第 2 廃棄物処理棟 ・ 実用燃料試験施設	1.0	1.02×10 ³
10-L-03	・ 第 2 廃棄物処理棟	5.4	6.38×10 ²
11-L-02	・ 第 2 廃棄物処理棟 ・ 再処理特別研究棟 (廃液運搬車洗浄水を含む)	2.2	9.34×10 ³
11-L-03	・ 再処理特別研究棟 (廃液運搬車洗浄水を含む)	1.5	8.93×10 ³
11-L-04	・ 再処理特別研究棟 (廃液運搬車洗浄水を含む)	1.5	8.93×10 ³

* : 廃液を蒸発乾固させた時に残る残渣

表 4 試験時の処理運転条件

固化処理 年月日	処理 バッチ No.	廃液 ロット No.	廃液供給量 (L)	固形分量 (kg)	プロダクト量 (kg)	混合比 (wt%)	廃液供給速度 (L/h)	混和蒸発機 内温度(°C)	混練時間 (hh:mm)
H22.1.20 ~H22.1.21	21-07	09-L-10	273	4.7	99.8	4.7	69.1	156.5	6:57
H22.4.12 ~H22.4.13	22-01	10-L-01	252	2.5	83.9	3.0	70.3	155.8	6:12
H22.4.19 ~H22.4.20	22-02	10-L-02	267	2.7	95.1	2.8	78.9	160.3	6:02
H22.5.24 ~H22.5.25	22-03	10-L-03	268	14.5	91.6	15.8	72.4	162.0	5:45
H23.5.25 ~H23.5.26	23-01	11-L-02	200	4.4	89.1	4.9	80.0	161.8	4:47
H23.6.6 ~H23.6.7	23-02	11-L-03	271	4.1	94.9	4.3	69.5	158.8	6:20
H23.6.13 ~H23.6.14	23-03	11-L-04	271	4.1	94.3	4.3	69.8	159.0	6:23

表 5 試料一覧

固化処理 バッチ No.	試料番号			試料採取日
	排出開始直後 (プロダクト A)	排出工程中盤 (プロダクト B)	排出終了直前 (プロダクト C)	
21-07	P-09-001	P-09-002	P-09-003	H22.1.21
22-01	P-10-001	P-10-002	P-10-003	H22.4.13
22-02	P-10-004	P-10-005	P-10-006	H22.4.20
22-03	P-10-007	P-10-008	P-10-009	H22.5.25
23-01	P-11-001	P-11-002	P-11-003	H23.5.26
23-02	P-11-004	P-11-005	P-11-006	H23.6.7
23-03	P-11-007	P-11-008	P-11-009	H23.6.14

表 6 ハバード比重瓶校正手順

No.	手順
1.	比重瓶を中性合成洗剤で十分に洗浄した後、純水ですすぐ。次いでアセトンを用いてすすぎ、清浄な乾燥空気を吹き付けて乾燥させる。
2.	1.に従って洗浄・乾燥した比重瓶及び栓を化学はかりの近くに置き、室温になるまで放置した後、その見かけ質量 m_0 を 0.1mg のけたまで量る。
3.	新たに煮沸し、校正温度よりわずかに低い温度まで冷却した純水を比重瓶に満たす。次いで、栓を気泡が入らないように注意しながら比重瓶に堅く差し込む。
4.	比重瓶を校正温度 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ に保った恒温水槽中にその首部まで浸漬し、比重瓶の水の温度と恒温水槽の温度とを平衡させるため、1時間以上保持する。
5.	比重瓶内の水の温度が恒温水槽の温度と平衡になったら、栓の標線の上の余分な水を吸い取って水面を標線に合わせる。恒温水槽から比重瓶を取り出し、その外側を水、アセトン、トルエンの順ですすぎ、わずかに湿気を持たせた清浄で毛羽立ちの少ない布で拭いて乾かす。
6.	5.の比重瓶の見掛け質量 m_c を 0.1mg のけたまで量る。
7.	<p>校正温度における比重瓶の水当量を次の式によって算出する。</p> $M_t = m_c - m_0$ <p>ここに、</p> <p>M_t : 校正温度における比重瓶の水当量(g)</p> <p>m_c : 校正温度において水をみたした及び栓の見掛け質量</p> <p>m_0 : 空の比重瓶及び栓の見掛け質量</p>
8.	比重瓶内の水を排出し、比重瓶及び栓をアセトンですすいだ後、清浄な乾燥空気を吹き付けて乾燥させる。

表 7 密度測定手順

No.	手順
1.	<p>試料を蒸発損失のないようになるべく低い温度で加熱溶解し、温めた比重瓶のほぼ半ばまで入れる。この際気泡を伴わないように注意し、また、試料の表面から上方の器壁にできるだけ試料が付着しないようにする。</p>
2.	<p>試料の入った比重瓶をデシケーター中で室温になるまで放冷した後、栓と共に見掛け質量m_Mを 0.1mg のけたまで量る。</p>
3.	<p>新たに煮沸し、試験温度以下に冷却した水を気泡が生じないように注意しながら、2.の比重瓶に満たす。</p>
4.	<p>試験温度$\pm 0.05^\circ\text{C}$に保った恒温水槽中に、比重瓶をその首部まで浸せきし、20分間保持して内容物の温度を安定させるとともに、気泡を比重瓶中の水面まで上昇させ、取り除く。</p>
5.	<p>比重瓶内の内容物の温度が安定したら、内容物中に気泡がないことを確かめた後、あらかじめ試験温度にした栓を比重瓶に堅く差し込む。この際、比重瓶内の水に気泡を生じさせないように注意する。</p> <p>比重瓶内の試料の表面に気泡が付着している場合は、栓を差し込む前に、清浄な針金を用いて取り除く。</p>
6.	<p>栓に付着した余分の水分をぬぐい取り、栓の毛管内の水のメニスカスを栓の標線に一致させる。</p>
7.	<p>栓をはめた比重瓶を恒温水槽から取り出して、その外側を水、アセトン、トルエンの順にすすぎ、わずかに湿り気を持たせた清浄で毛羽立ちの少ない布でぬぐって乾かす。</p> <p>6.の比重瓶の見掛け質量m_Fを 0.1mg のけたまで量る。</p>
8.	<p>試料の密度を、試験温度及び試験に用いた比重瓶の校正温度により、次の式にて算出し、JIS Z 8401 の規定によって丸めの幅 0.0001 に丸める。</p> $\rho_t = \left[\frac{(m_M - m_o) \times D_w^t}{M_t - m_F + m_M} + C \right] \times G_7$ $G_7 = \frac{1}{1 - \alpha_p \times (t_c - t_t)}$ <p>ここに、</p> <p>ρ_t : 試料の密度 (g/cm³)</p> <p>m_M : 試料の入った比重瓶の見掛け質量(g)</p>

m_0 : 空の比重瓶の見掛け質量(g)

D_w^t : 比重瓶の校正温度における水の密度(g/cm³)

M_t : 校正温度における比重瓶の水当量(g)

m_F : 試料及び水の入った比重瓶の見掛け質量(g)

C : 空気の浮力に対する補正值(g/cm³)

$$C = d_a \times \left[1 - \left(\frac{m_M - m_0}{M_t - m_F + m_M} \right) \right]$$

$$d_a = 0.001293 \times \left[\frac{273.15P}{(273.15 + t) \times P_s} \right]$$

G_7 : 比重瓶の熱膨張に対する補正值

(校正時と試験時との比重瓶の体積の違いを補正するための係数。本試験では校正時と試験時は同一温度で実施したためゼロである。)

t : 比重瓶の見掛け質量測定時の室温(°C)

P : 比重瓶の見掛け質量測定時の大気圧(kPa)。本試験では標準大気圧とした。

P_s : 標準大気圧(101.32kPa)

表 8 密度測定使用機材一覧

品名	JIS K 2249 要求仕様	使用機材
ピクノメータ	JIS R 3503 (付図 62)	ハバード比重瓶 (JIS R 3503 準拠)
温度計	JIS B 7410 温度計番号 44(SG)	東亜計器製作所 SG-44
恒温水槽	15°C及び任意の試験温度±0.05°C に調節できるもの	日伸理化 NT-505DS (精度±0.02°C)
はかり	0.1mg のけたが量れること。	島津製作所 AUX220 (最小表示 0.1mg)
水	蒸留水	蒸留水
洗剤	中性合成洗剤	台所用中性合成洗剤
溶剤	アセトン等の水溶性のもの	和光純薬 アセトン (特級)
溶剤	トルエン	和光純薬 トルエン (特級)
布	清浄で毛羽立ちの少ないもの	株式会社アトックス DK-1 ワイブ
針金	清浄なもの	直径 0.2mm 程度の針金をアセトンで洗 浄したもの

表 9 放射能濃度測定装置仕様

項目	仕様
検出器種類	ゲルマニウム半導体検出器
結晶構造	クローズドエンド同軸型
結晶材料	P型高純度ゲルマニウム
25cm 相対効率	35%
エネルギー分解能	1333keV において F.W.H.M 1.90keV
ピークコンプトン比	60:1
しゃへい体	鉄 115mm+銅 5mm+アクリル 5mm
冷却方式	液体窒素冷却 (30L デュワー瓶)
定量分析方法	「文部科学省 ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー 平成 4 年改定」に準拠

表 10 放射能測定装置主要構成機器一覧

品名	メーカー	形式
Ge 半導体検出器	AMETEK, Inc.	ORTEC GEM-35190-P
多重波高分析器	セイコー・イージーアンドジー株式会社	7700-010
主増幅器	セイコー・イージーアンドジー株式会社	7700-400
高圧電源	セイコー・イージーアンドジー株式会社	7700-500
核種分析プログラム	セイコー・イージーアンドジー株式会社	Gamma Studio

表 11 密度測定結果

固化処理 バッチ No.	密度(g/cm ³)			平均密度 (g/cm ³)	変動係数 (%)
	排出開始直後 (プロダクト A)	排出工程中盤 (プロダクト B)	排出終了直前 (プロダクト C)		
21-07	1.0565	1.0554	1.0558	1.0559	0.05
22-01	1.0525	1.0494	1.0544	1.0521	0.24
22-02	1.0506	1.0498	1.0491	1.0498	0.07
22-03	1.1129	1.1167	1.1127	1.1141	0.20
23-01	1.0568	1.0568	1.0617	1.0584	0.27
23-02	1.0558	1.0588	1.0571	1.0572	0.14
23-03	1.0615	1.0561	1.0558	1.0578	0.30
ストレートアス ファルト 60/80	1.0344			1.0344	—

表 12 放射能濃度測定結果

固化処理 バッチ No.	¹³⁷ Cs 放射能濃度(Bq/g)			¹³⁷ Cs 平均放射能 濃度(Bq/g)	変動係数 (%)
	排出開始直後 (プロダクト A)	排出工程中盤 (プロダクト B)	排出終了直前 (プロダクト C)		
21-07	6.11×10 ²	6.07×10 ²	6.03×10 ²	6.07×10 ²	0.66
22-01	3.19×10 ³	3.43×10 ³	3.50×10 ³	3.37×10 ³	4.82
22-02	2.98×10 ³	3.02×10 ³	3.04×10 ³	3.01×10 ³	1.01
22-03	1.60×10 ³	1.58×10 ³	1.57×10 ³	1.58×10 ³	0.96
23-01	2.60×10 ⁴	2.57×10 ⁴	2.55×10 ⁴	2.57×10 ⁴	0.98
23-02	2.84×10 ⁴	3.03×10 ⁴	3.98×10 ⁴	2.95×10 ⁴	3.34
23-03	2.93×10 ⁴	3.01×10 ⁴	2.91×10 ⁴	2.95×10 ⁴	1.79

表 13 均質性と運転諸条件の相関関係についての判定結果

均質性の指標	運転条件	相関係数 R	相関関係の有無*
密度	混合比	0.1243	無
	廃液供給速度	0.0110	無
	混練時間	-0.4094	無
	混和蒸発機内温度	0.2150	無
¹³⁷ Cs 放射能濃度	混合比	-0.3445	無
	廃液供給速度	-0.4330	無
	混練時間	0.0788	無
	混和蒸発機内温度	-0.5804	無

*: 相関関係が認められる（相関係数の絶対値 0.7 以上）：有
 相関関係が認められない（相関係数の絶対値 0.7 未満）：無

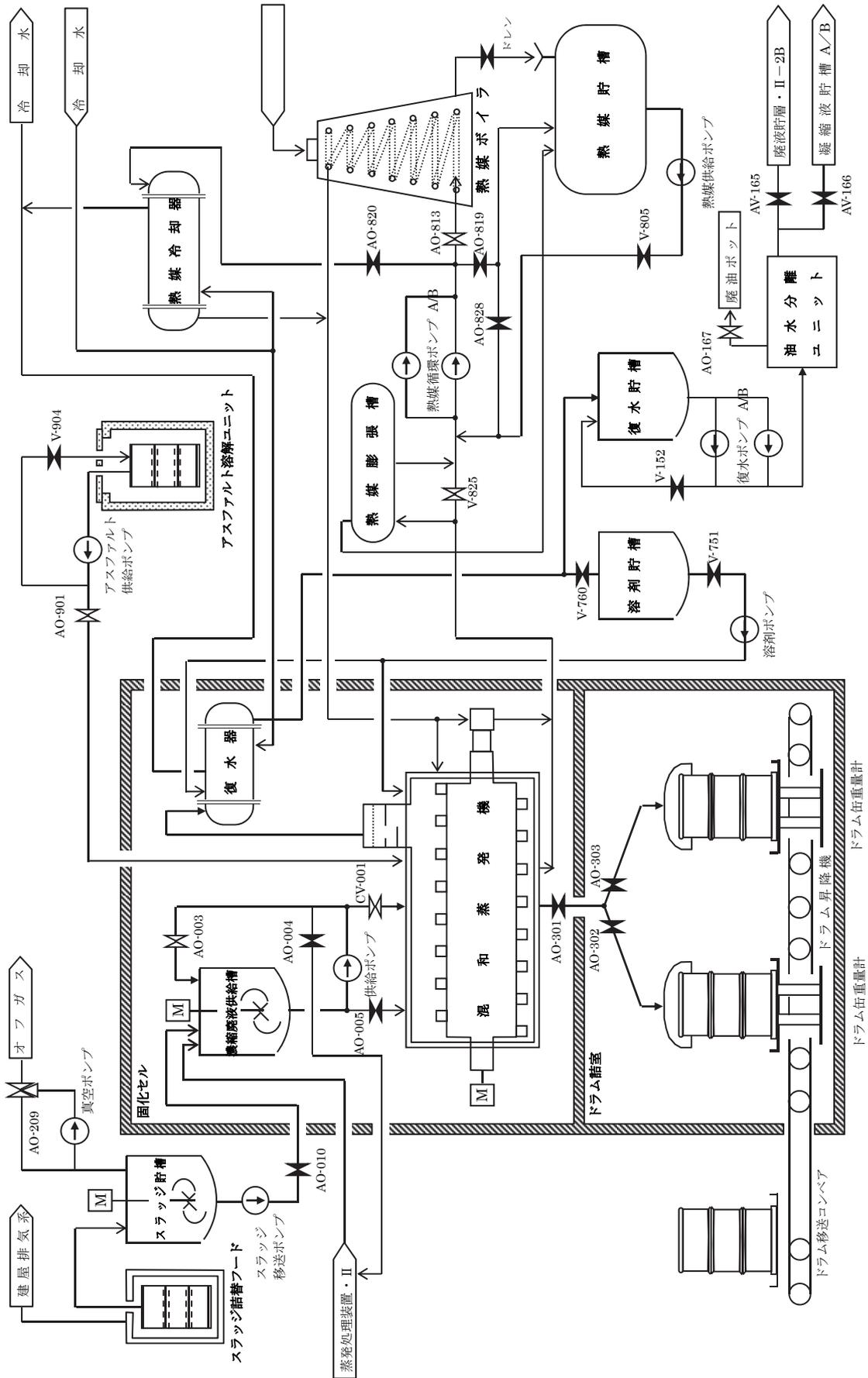


図1 アスファルト固化装置主要系統図

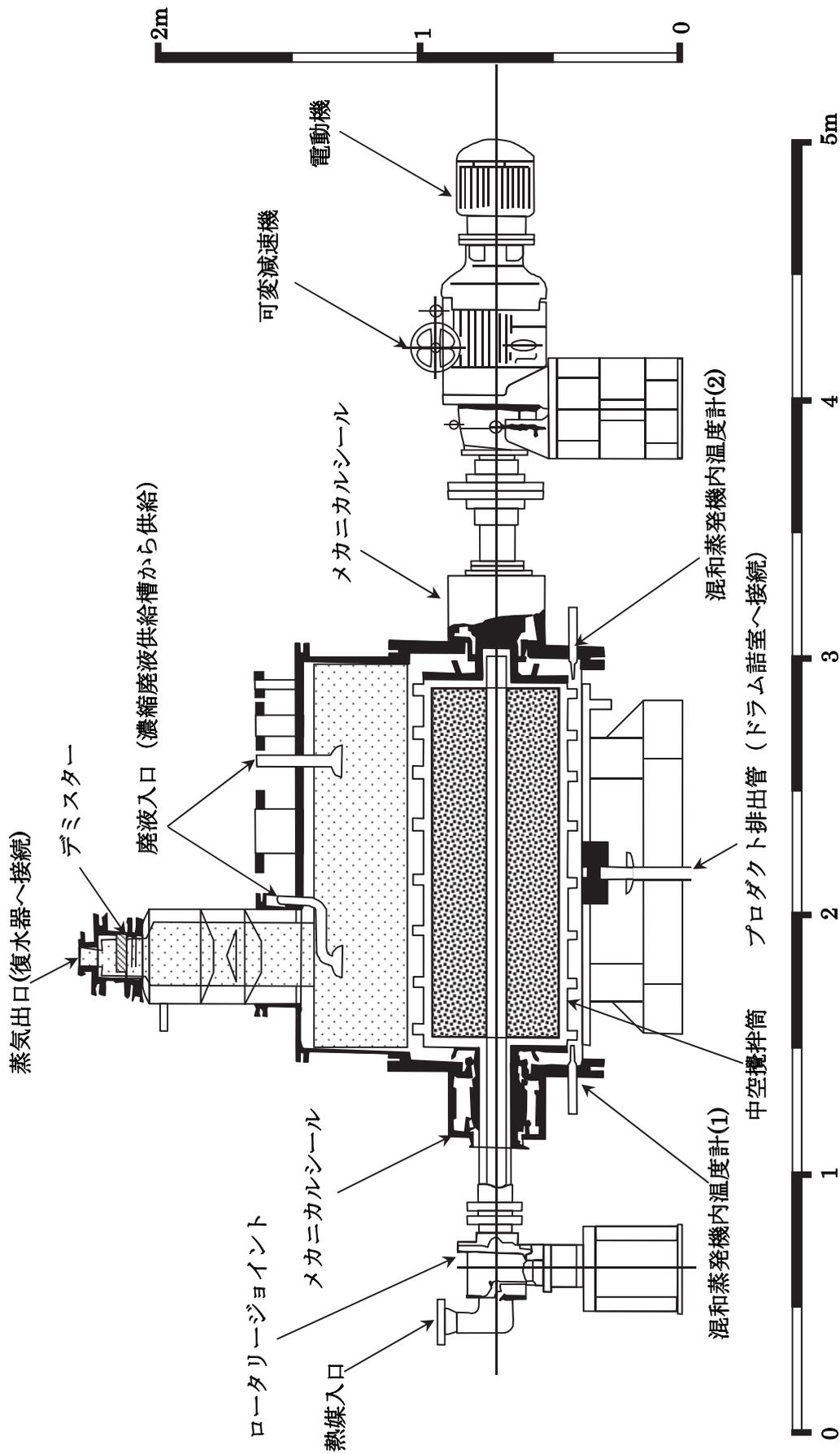


図 2 混和蒸発機概略図

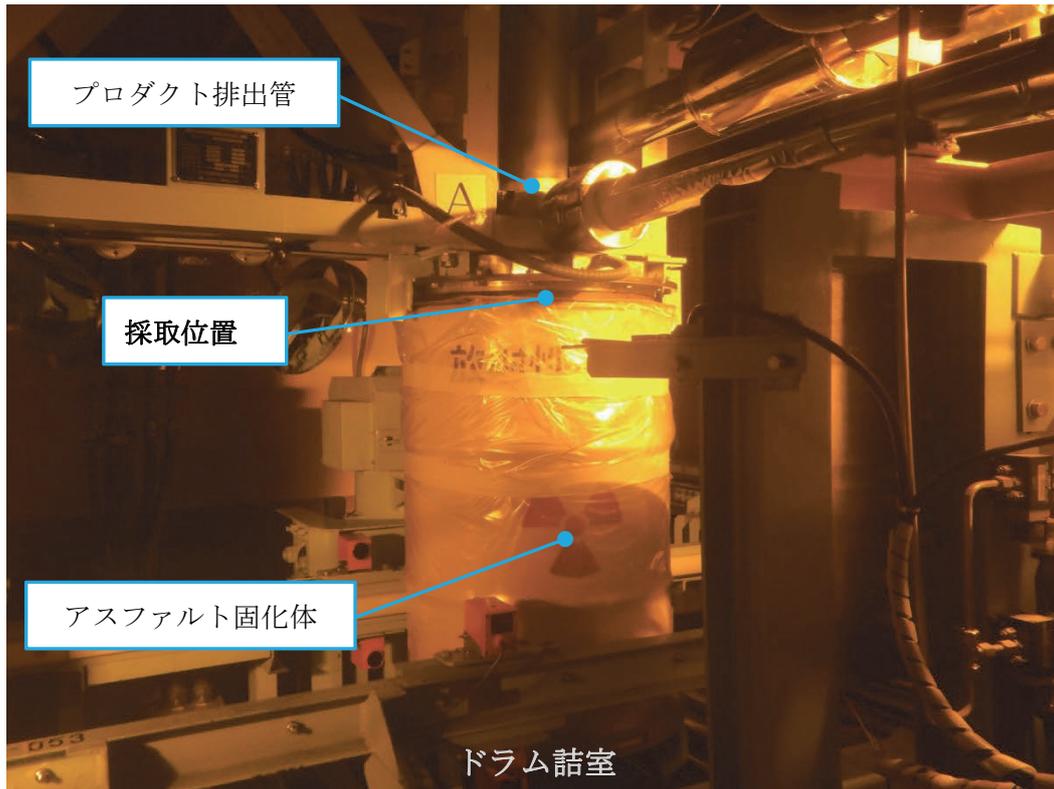


図3 プロダクト採取位置

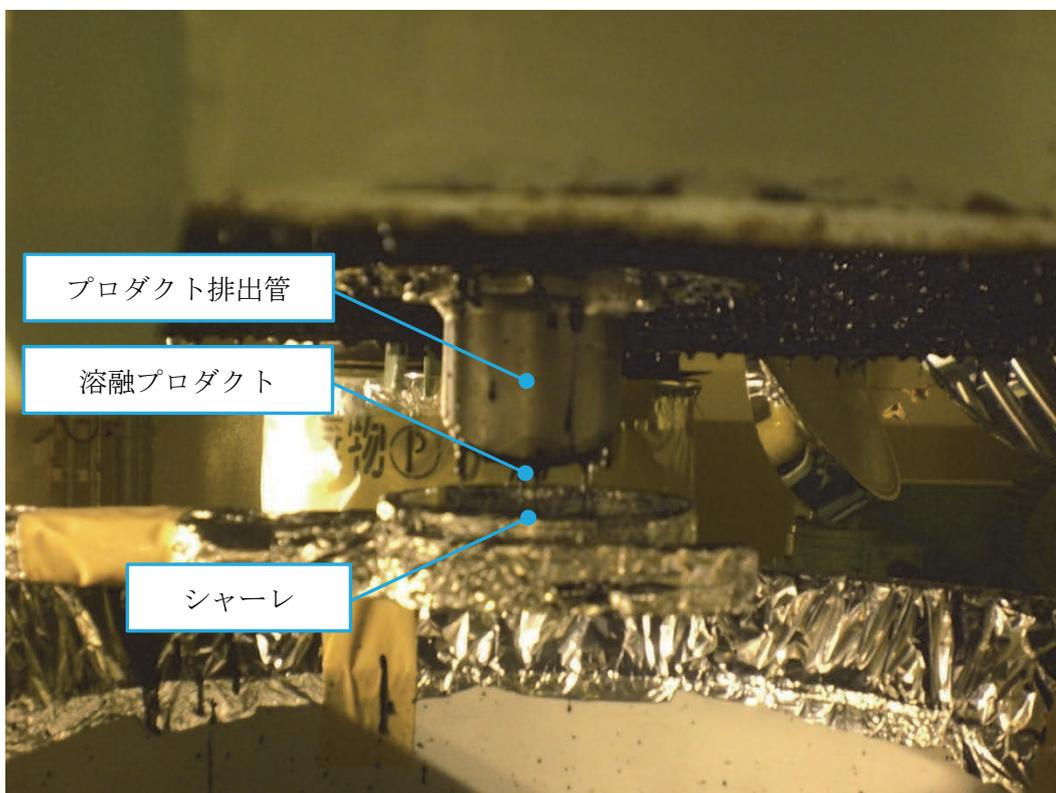


図4 プロダクト採取状態

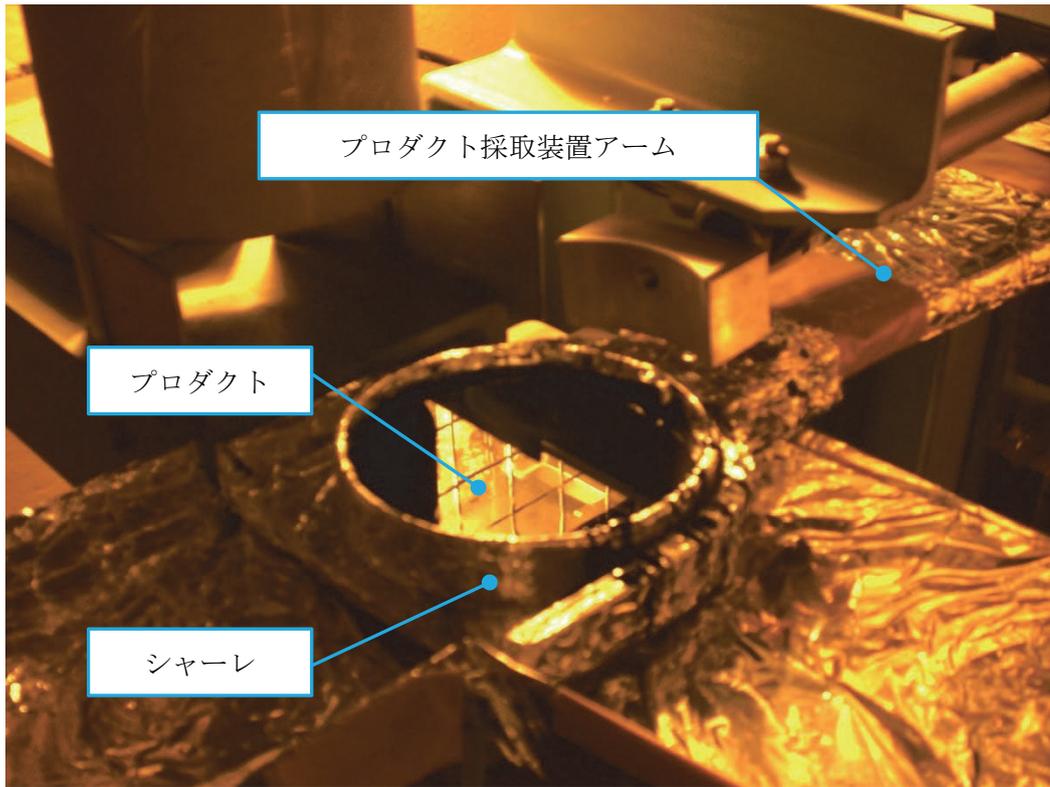


図5 採取プロダクト



図6 密度測定用試料

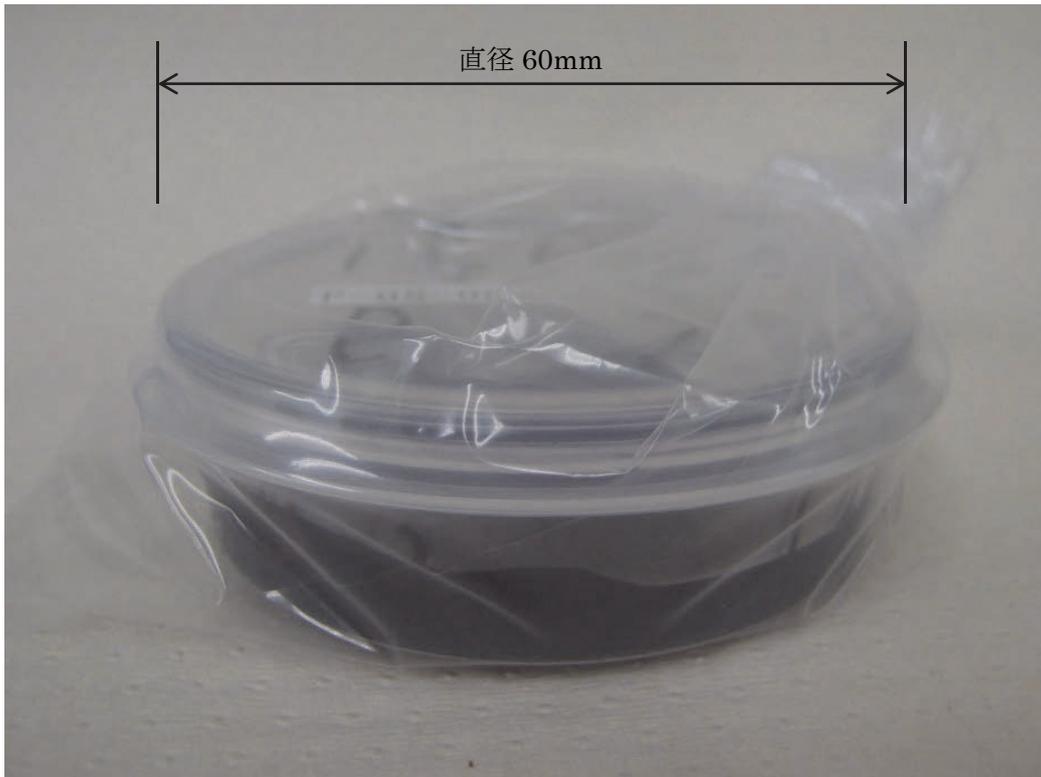


图 7 放射能濃度測定用試料

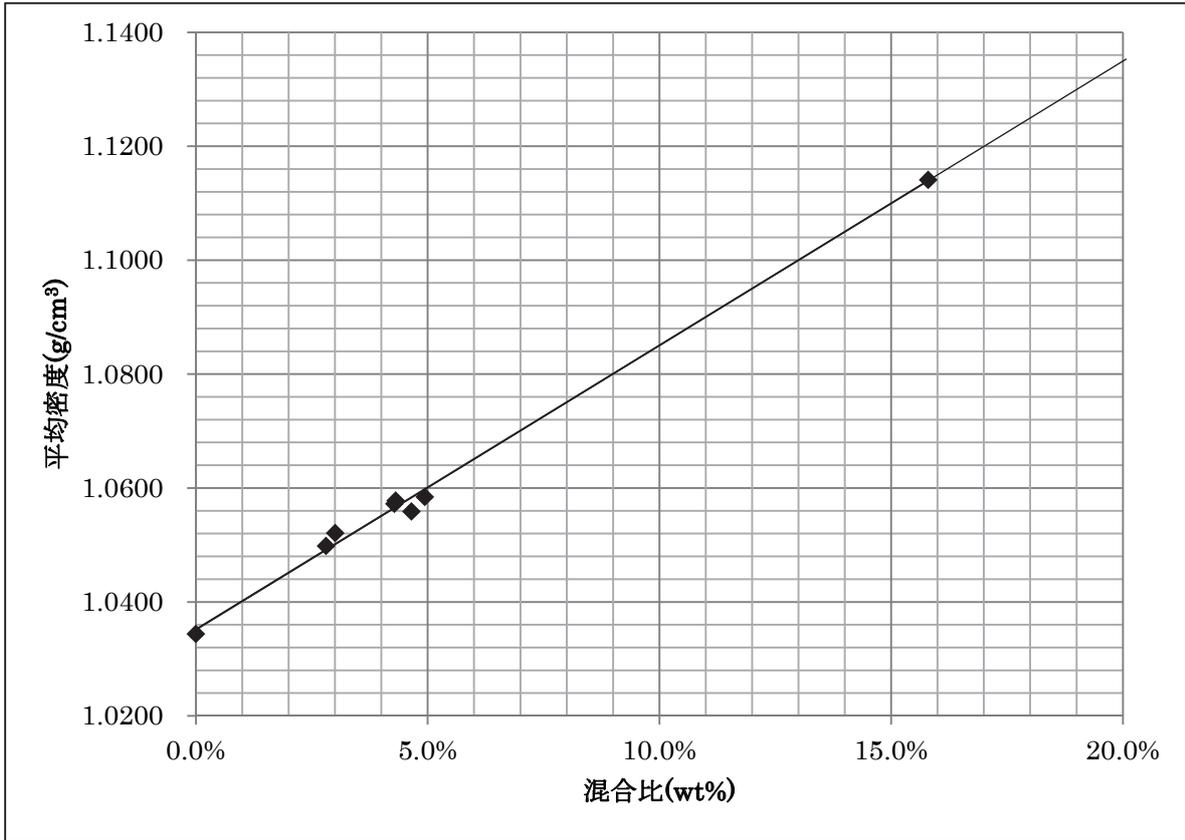


図 8 平均密度と混合比

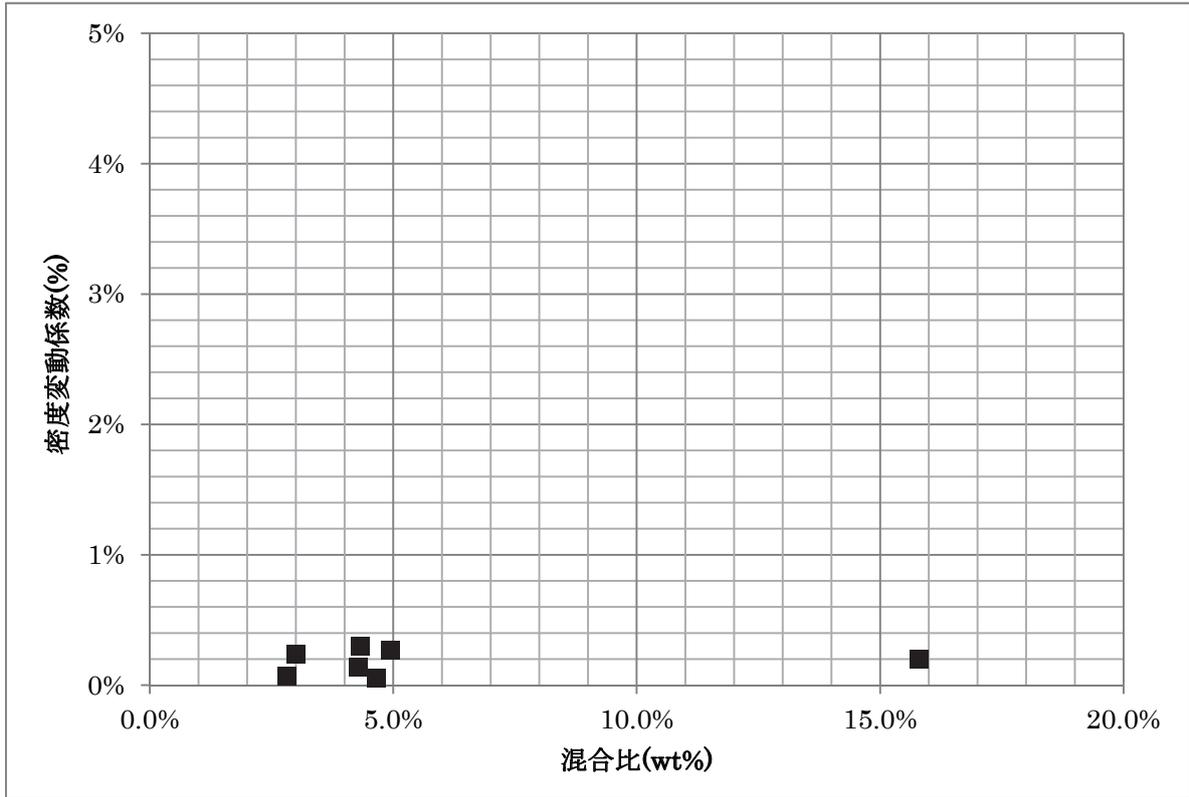


図 9 混合比と密度変動係数

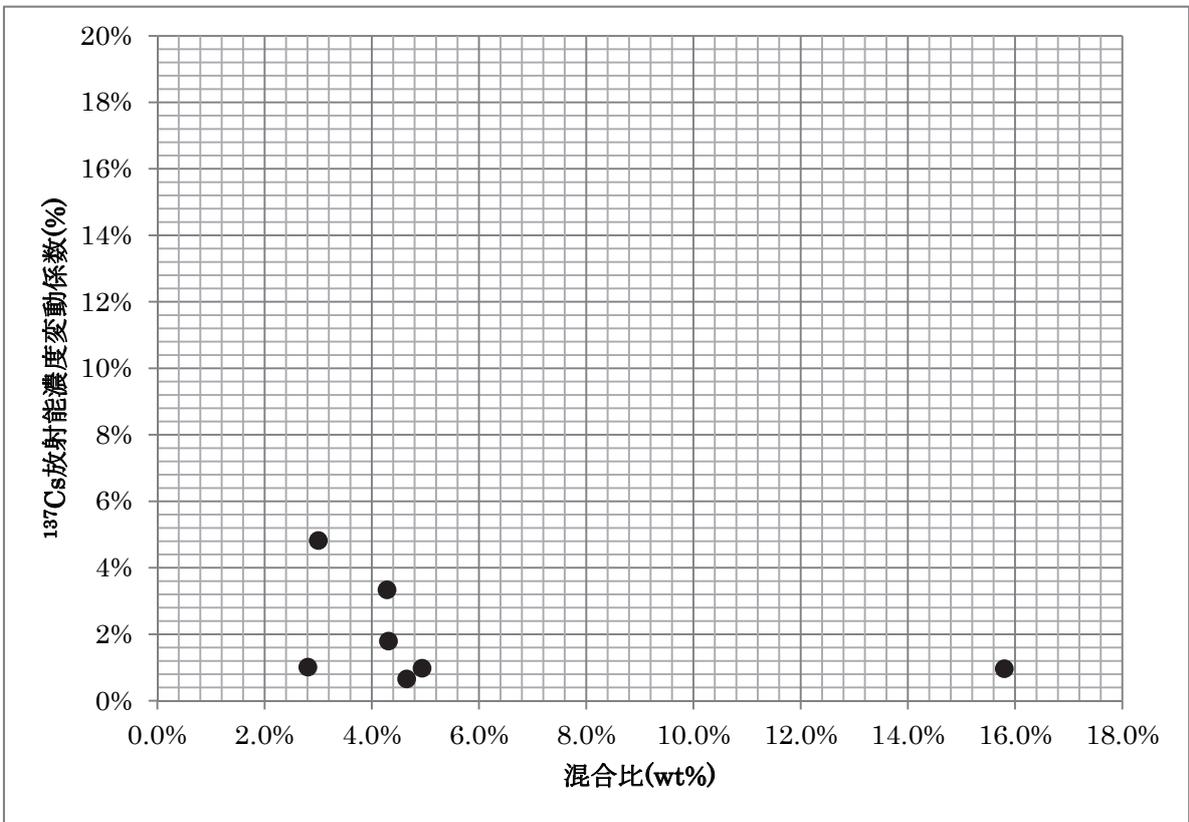


図 10 混合比と ¹³⁷Cs 放射能濃度変動係数

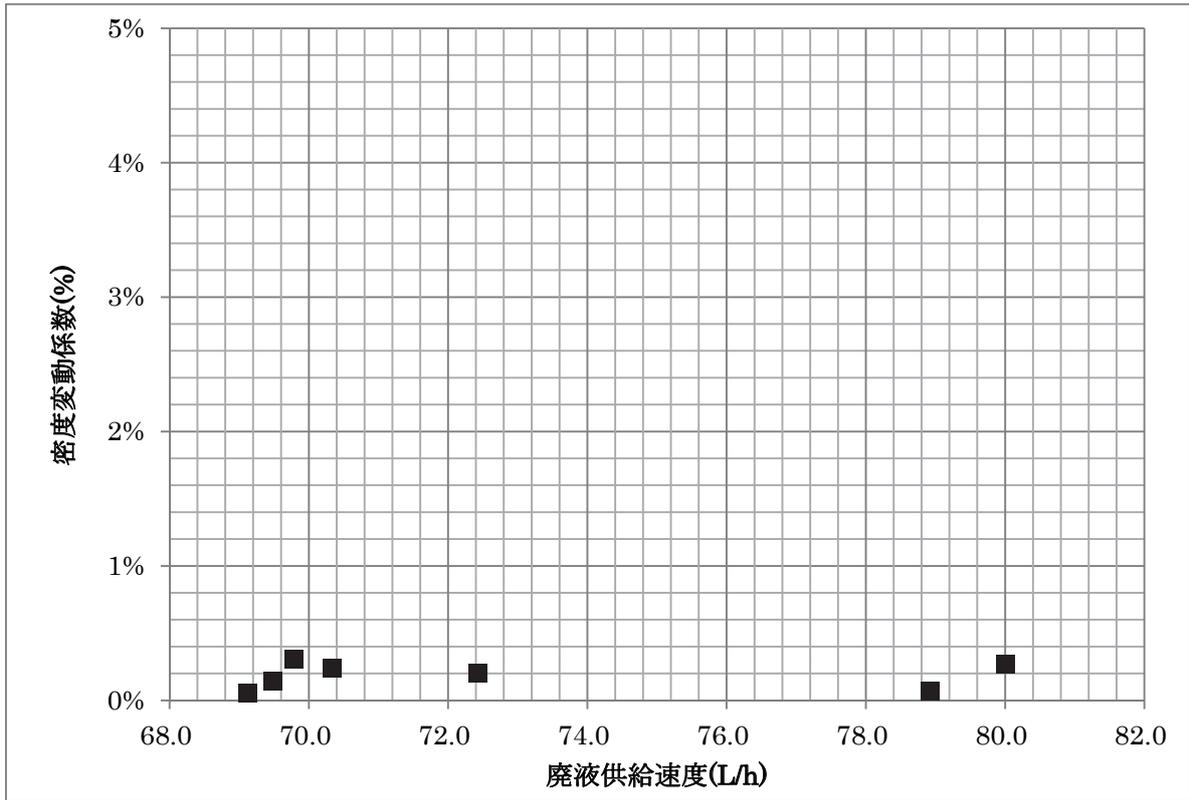


図 11 廃液供給速度と密度変動係数

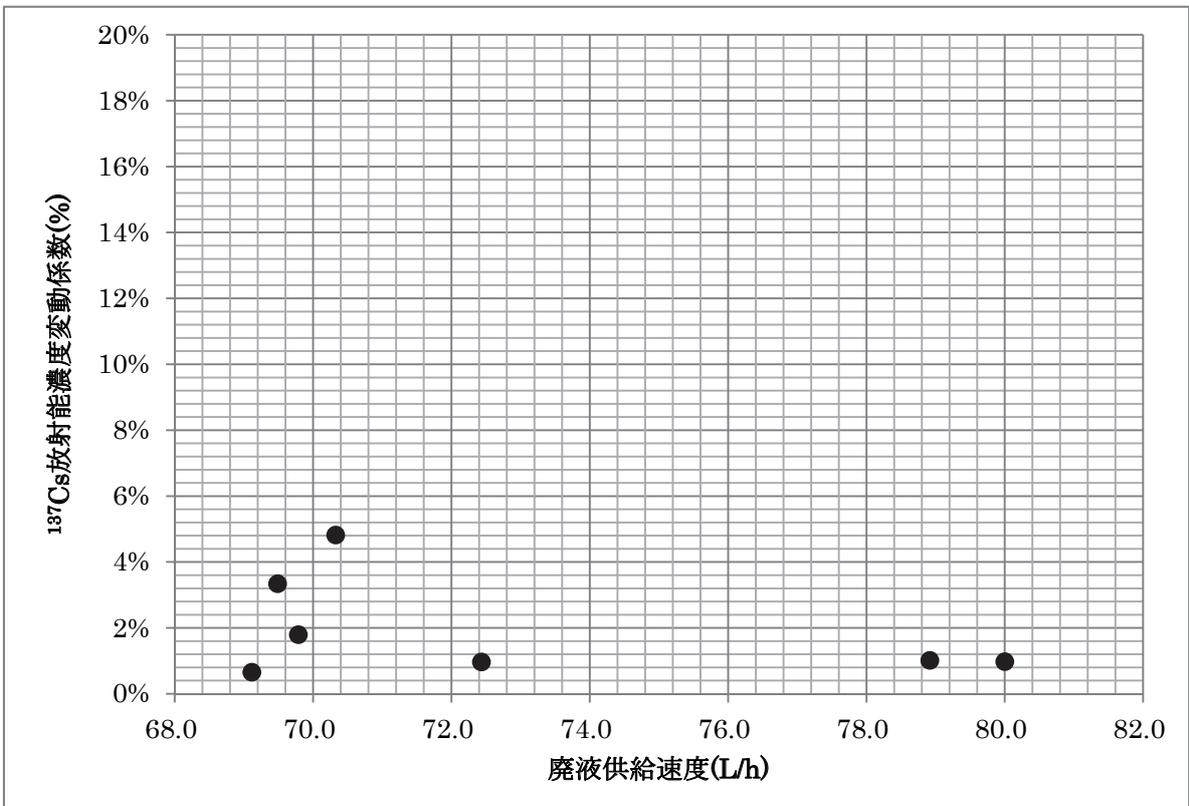


図 12 廃液供給速度と ¹³⁷Cs 放射能濃度変動係数

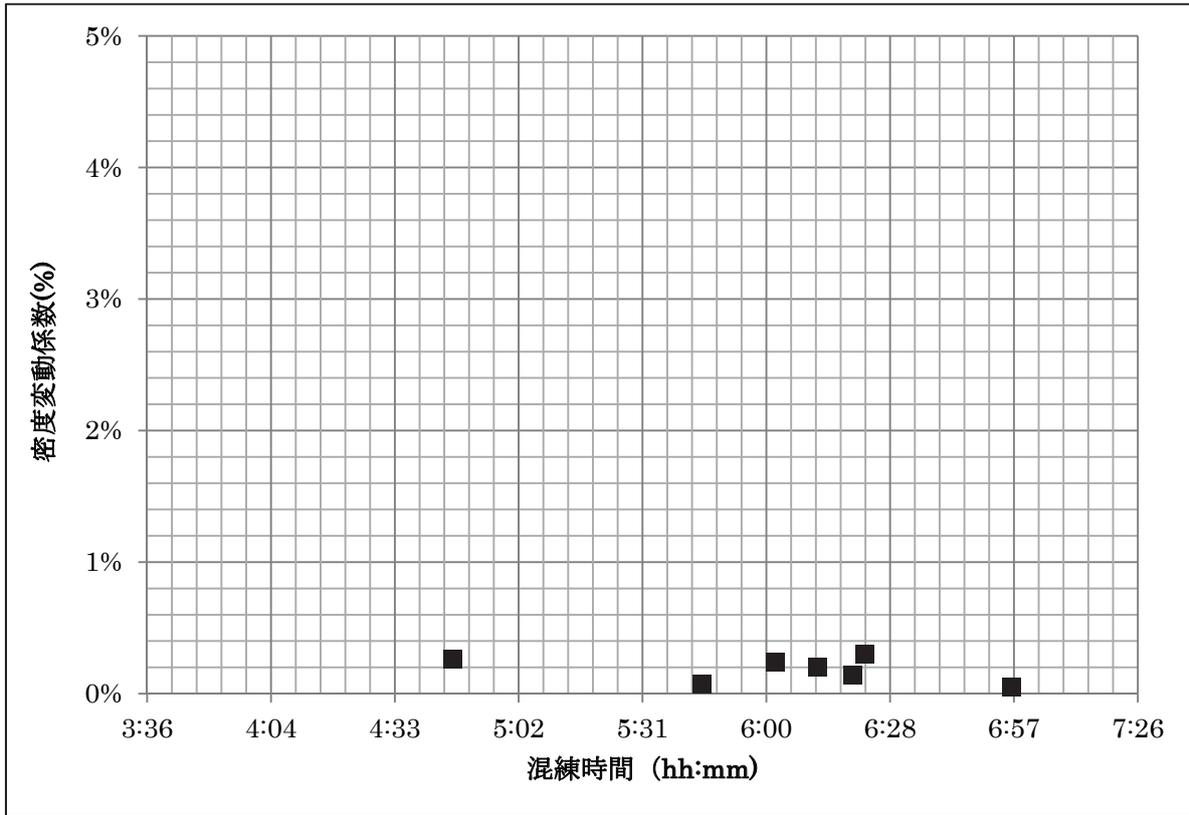


図 13 混練時間と密度変動係数

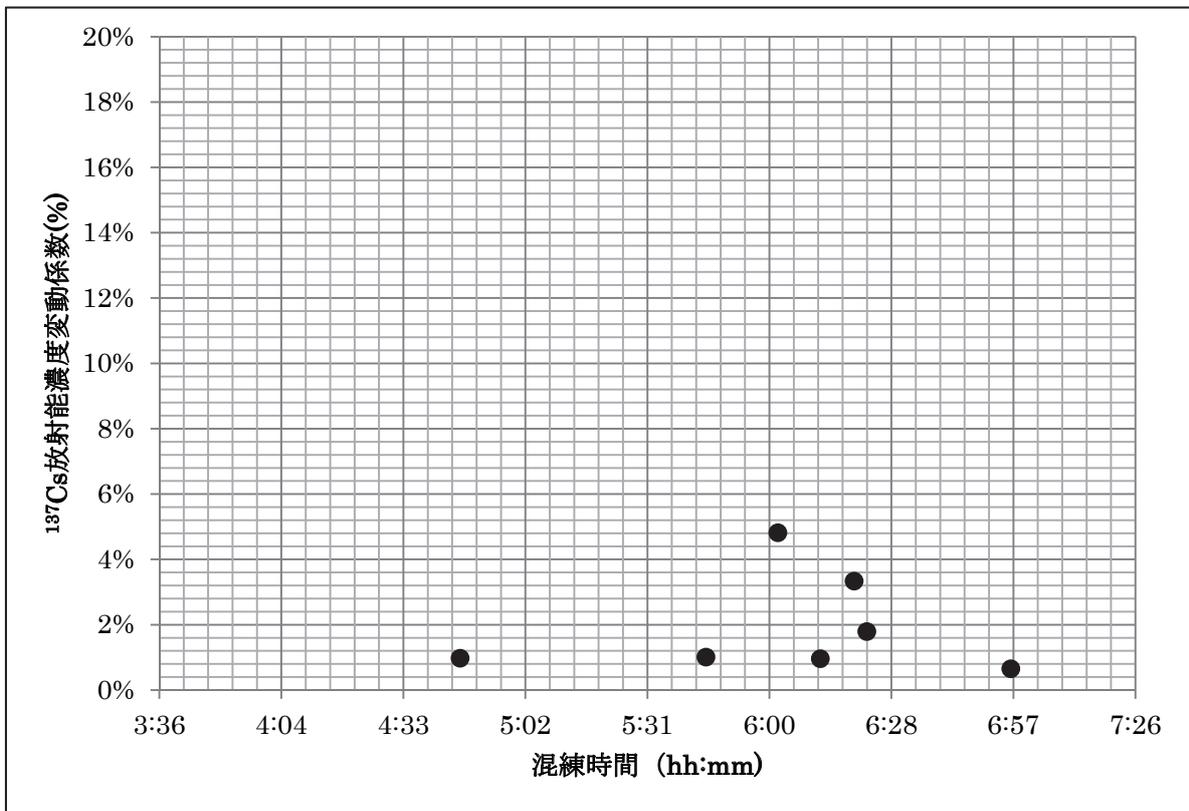


図 14 混練時間と ¹³⁷Cs 放射能濃度変動係数

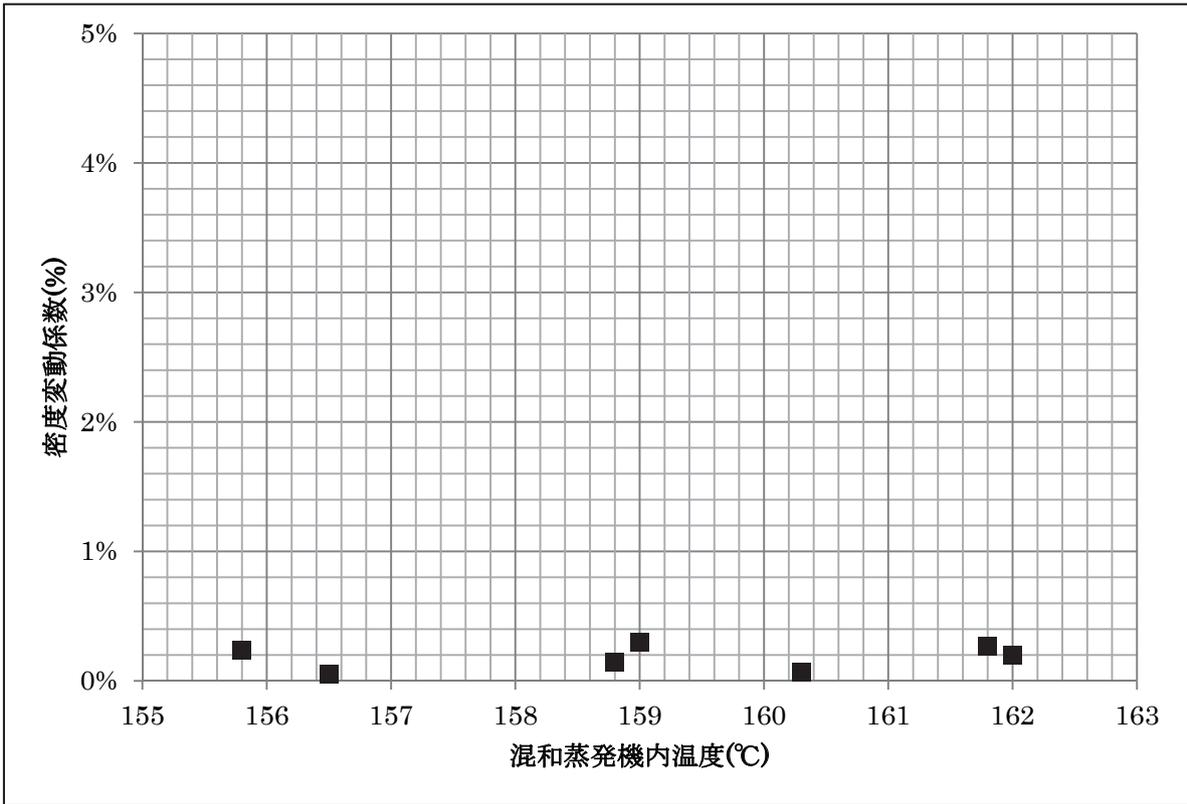


図 15 混和蒸発機内温度と密度変動係数

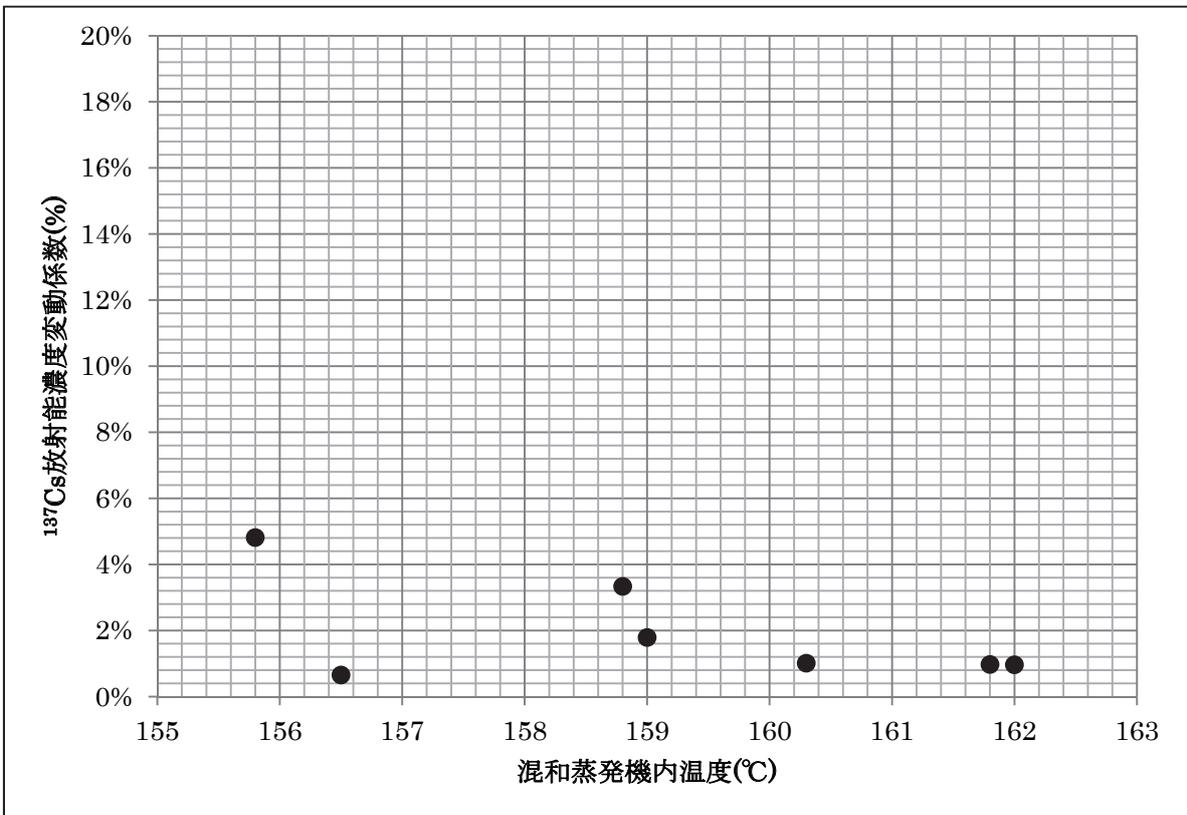


図 16 混和蒸発機内温度と ¹³⁷Cs 放射能濃度変動係数

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	数メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束密度	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm		cd sr ^(c)
放射線核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみに使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CF-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘着力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エントロピー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電表面積電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ³ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベ	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
ストルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm ² =10 ⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4π)A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≡」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

