

JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び 保管廃棄施設・L に保管されている 圧縮体に対する放射化学分析

Analysis of the Radioactivity Concentrations in Radioactive Waste Generated from
JRR-2 and JRR-3 and Stored at the Waste Storage Facility L as Compressed Packages

木名瀬 暁理 後藤 勝則 青野 竜士 今田 未来
佐藤 義行 原賀 智子 石森 健一郎 亀尾 裕

Akari KINASE, Katsunori GOTO, Ryuji AONO, Miki KONDA
Yoshiyuki SATO, Tomoko HARAGA, Ken-ichiro ISHIMORI and Yutaka KAMEO

原子力科学研究部門
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
Sector of Nuclear Science Research

July 2024

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び保管廃棄施設・L に 保管されている圧縮体に対する放射化学分析

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 原子力科学研究所 バックエンド技術部

木名瀬 暁理、後藤 勝則*、青野 竜士、今田 未来、
佐藤 義行、原賀 智子、石森 健一郎⁺、亀尾 裕

(2024 年 3 月 28 日受理)

日本原子力研究開発機構の研究施設等から発生する放射性廃棄物は、放射能レベルに応じて将来的にトレンチとピットに分けて浅地中処分される予定であり、埋設処分を開始するまでに、廃棄体の放射能濃度を評価する方法を構築する必要がある。そこで、原子力科学研究所バックエンド技術部では、研究施設等廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討に資するため、原子力科学研究所内に保管されている JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び保管廃棄施設・L に保管されている圧縮体より分析試料を採取し、放射化学分析を実施した。本報告書は、令和 4 年度に取得した 20 核種 (^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm) の放射能濃度データについて整理し、放射能濃度評価方法の検討のための基礎資料としてまとめたものである。

本報告書は、MHI 原子力研究開発株式会社が国立研究開発法人日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に基づくものである。

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4

+ 安全・核セキュリティ統括本部 安全管理部

* 株式会社ジック

Analysis of the Radioactivity Concentrations in Radioactive Waste Generated from JRR-2 and JRR-3 and Stored at the Waste Storage Facility L as Compressed Packages

Akari KINASE, Katsunori GOTO*, Ryuji AONO, Miki KONDA,
Yoshiyuki SATO, Tomoko HARAGA, Ken-ichiro ISHIMORI⁺ and Yutaka KAMEO

Department of Decommissioning and Waste Management
Nuclear Science Research Institute
Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 28, 2024)

Radioactive wastes generated from nuclear research facilities in Japan Atomic Energy Agency are planning to be buried in the near surface disposal field as trench and pit. Therefore, it is required to establish the method to evaluate the radioactivity concentrations of radioactive wastes until the beginning of disposal. In order to contribute to this work, we collected and analyzed the samples generated from JRR-2 and JRR-3 and stored at the waste storage facility L. In this report, we summarized the radioactivity concentrations of 20 radionuclides (^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm) which were obtained from radiochemical analysis of the samples in fiscal year 2022.

Keywords: Low-level Radioactive Waste, Radioactivity Concentration, Radiochemical Separation, Metal Samples, Concrete Samples, JRR-2, JRR-3, The Waste Storage Facility L

This work performed by MHI Nuclear Development Corporation under contract with Japan Atomic Energy Agency.

+ Safety Administration Department, Safety and Nuclear Security Administration Head Office

* Growth Industry Create Corporation

目 次

1. はじめに	1
2. 放射能分析	2
2.1 分析概要	2
2.2 分析試料の前処理	2
2.2.1 表面削り取り及び湿式除染	2
2.2.2 揮散回収処理	3
2.2.3 酸溶解処理	4
2.3 ^3H 及び ^{14}C 分析	4
2.4 ^{36}Cl 分析	4
2.5 ^{60}Co 分析	5
2.6 ^{63}Ni 分析	5
2.7 ^{90}Sr 分析	5
2.8 ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析	5
2.9 ^{99}Tc 分析	6
2.10 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析	6
2.11 ^{129}I 分析	6
2.12 ^{137}Cs 分析	7
2.13 α 線放出核種 (^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm) 分析	7
3. 分析結果	8
4. まとめ	8
謝辞	8
参考文献	9

Contents

1. Introduction	1
2. Radioactivity analysis	2
2.1 Overview of analysis	2
2.2 Preprocessing for analytical samples	2
2.2.1 Grinding the surface and wet decontamination	2
2.2.2 Processing for volatilization collection	3
2.2.3 Processing for dissolving with acid	4
2.3 Analysis of ^3H and ^{14}C	4
2.4 Analysis of ^{36}Cl	4
2.5 Analysis of ^{60}Co	5
2.6 Analysis of ^{63}Ni	5
2.7 Analysis of ^{90}Sr	5
2.8 Analysis of ^{94}Nb , ^{152}Eu and ^{154}Eu	5
2.9 Analysis of ^{99}Tc	6
2.10 Analysis of $^{108\text{m}}\text{Ag}$	6
2.11 Analysis of ^{129}I	6
2.12 Analysis of ^{137}Cs	7
2.13 Analysis of ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{244}Cm	7
3. Results	8
4. Conclusions	8
Acknowledgement	8
References	9

表リスト

表 1	分析試料リスト	11
表 2	分配グループの記録	18
表 3	放射能分析で使用した測定機器一覧	19
表 4	削り取り前後の外観写真	20
表 5	^3H の分析結果	25
表 6	^{14}C の分析結果	25
表 7	^{36}Cl の分析結果	25
表 8	^{60}Co の分析結果	26
表 9	^{63}Ni の分析結果	26
表 10	^{90}Sr の分析結果	26
表 11	^{94}Nb の分析結果	27
表 12	^{99}Tc の分析結果	27
表 13	$^{108\text{m}}\text{Ag}$ の分析結果	27
表 14	^{129}I の分析結果	28
表 15	^{137}Cs の分析結果	28
表 16	^{152}Eu の分析結果	28
表 17	^{154}Eu の分析結果	29
表 18	^{234}U の分析結果	29
表 19	^{238}U の分析結果	29
表 20	^{238}Pu の分析結果	30
表 21	$^{239+240}\text{Pu}$ の分析結果	30
表 22	^{241}Am の分析結果	30
表 23	^{244}Cm の分析結果	31

図リスト

図 1	分析概要フロー	32
図 2	金属試料の前処理及び試料区分の判別フロー	33
図 3	^{99}Tc 揮散回収装置の概略図	34
図 4	揮散回収処理フロー (NY-995-154)	35
図 5	揮散回収処理フロー (NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486)	37
図 6	揮散回収処理フロー (P-82Z-656)	39
図 7	揮散回収処理フロー (P-832-702)	41
図 8	^{63}Ni 、 α 線放出核種前処理フロー (金属試料)	43
図 9	^{63}Ni 、 α 線放出核種前処理フロー (塩化ビニル試料)	44
図 10	燃焼装置	45
図 11	^3H 及び ^{14}C 分析フロー	46
図 12	^{36}Cl 分析フロー	47
図 13	^{63}Ni 分析フロー	48
図 14	^{90}Sr 分析フロー	49
図 15	^{94}Nb 分析フロー (NY-995-154、NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486)	51
図 16	^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析フロー (P-82Z-656 及び P-832-702)	52
図 17	^{99}Tc 分析フロー	53
図 18	$^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析フロー	55
図 19	^{129}I 分析フロー	56
図 20	^{137}Cs 分析フロー	57
図 21	α 線放出核種分析フロー	58

1. はじめに

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年法律第166号）」においては、廃棄物埋設事業者は埋設対象となる放射性廃棄物が法令に定める基準を満たしていることについて、原子力規制委員会による確認を受けなければならないと定められている。埋設しようとする放射性廃棄物に係る技術上の基準は、「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（昭和63年総理府令第1号）」において定められており、このうち、放射能濃度に係る項目は、放射性物質の種類ごとに埋設事業許可申請書等に記載された最大放射能濃度を超えないこととされている。

埋設処分を先行して実施している原子力発電所では、運転保守に伴って発生する均質・均一固化体及び充填固化体の放射能濃度について、廃棄体一体ごとに、スクーリングファクタ法又は平均放射能濃度法のような簡便な評価方法により評価している¹⁾。日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）の研究施設から発生する放射性廃棄物（以下「研究施設等廃棄物」という。）についても、将来的に浅地中埋設処分の実施が予定されており、合理的な埋設処分を実施するためには、原子力発電所と同様に簡便に廃棄体の放射能濃度を評価する方法を構築する必要がある。

廃棄体の放射能濃度を評価する方法を構築する取り組みの一環として、これまでに原子力機構原子力科学研究所（以下「原科研」という。）で発生したアスファルト固化対象の濃縮廃液の放射化学分析を実施し²⁾、放射能濃度評価方法について検討した³⁾。また、原子炉施設から発生する放射性廃棄物を対象として、原科研内で保管廃棄されている動力試験炉（JPDR）、研究用試験炉（JRR-2、JRR-3及びJRR-4）及び照射後試験施設（ホットラボ）から発生した放射性廃棄物より採取した試料の放射化学分析を実施し⁴⁾⁻¹⁴⁾、実施した放射化学分析の結果を基に放射能濃度評価方法について検討した¹⁵⁾⁻¹⁸⁾。

本報告では、JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び保管廃棄施設・Lに保管されている圧縮体に対する放射能濃度評価方法を検討するための基礎データ拡充を目的として、保管廃棄した放射性廃棄物より採取した試料に対して分析を実施し、その放射化学分析の手法及び分析結果について記述した。放射化学分析を実施した核種は、JRR-2、JRR-3 において安全評価上重要な核種として予備評価された 20 核種 (^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm) である¹⁹⁾。ただし、エネルギー弁別のできない核種 (^{239}Pu 及び ^{240}Pu) は、合算値 ($^{239+240}\text{Pu}$) で表した。

2. 放射能分析

2.1 分析概要

JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び保管廃棄施設・L に保管されている圧縮体から採取した 5 試料 (NY-995-154、NY-83Z-1485、NY-83Z-1486、P-82Z-656、P-832-702) を本報告の対象とした。表 1 に分析試料の形状、材質、外観等を示す。分析試料は分析核種ごとに燃焼、揮散回収、酸溶解など異なる化学的な前処理を実施する。NY-995-154、NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486 は、より多くの分析対象核種の検出データを取得することができるよう、電子天秤による試料質量測定 (g)、GM 計数管式サーベイメータによる計数率測定 (kcpm) 及び NaI シンチレーション式サーベイメータによる表面線量当量率測定 ($\mu\text{Sv/h}$) の結果を基に推測される分析対象核種の検出性等を考慮し、分析試料を分配 (以下「分配グループ」という。) した。P-82Z-656 は、核種分析に供するために適切なサイズに切断して各分配グループに分配した。P-832-702 は、1 個の分析試料を複数の切断片として採取することが困難であったため、試料表面を全面削り取って回収した金属粉を分配グループに分配し、金属粉の質量から求めた分配割合から分析に供した試料質量を算出した。表 2 に分配グループの記録を、図 1 に金属、塩化ビニル試料それぞれの分析概要フローを示す。また、表 3 に使用した測定機器等の情報を示す。発生施設は、試料採取時に作成された「試料採取記録」に従って記載した。発生施設が「放射性廃棄物管理第 1 課」と表記されているのは、保管廃棄施設・I に保管されていた圧縮体から採取した試料のためである。原科研内で発生した放射性廃棄物のうち、放射性廃棄物管理第 1 課の所掌施設で圧縮処理されたものであり、処理後に発生施設が更新され、「放射性廃棄物管理第 1 課」と表記されている。また、各処理に分配した試料の放射能濃度の偏在がないことを確認するため、分配グループごとの ^{60}Co 及び ^{137}Cs の放射能濃度を測定した。

2.2 分析試料の前処理

前述したように、本分析では分析試料の材質等に応じて、異なる前処理方法を適用している。各工程で処理後の ^{60}Co 及び ^{137}Cs の放射能濃度を Ge 半導体検出器 (以下「Ge 検出器」という。) で測定した。

2.2.1 表面削り取り及び湿式除染

金属 (アルミニウム、普通鋼) 試料に対する前処理及び試料区分の判別フローを図 2 に示す。精密グラインダーで表面の削り取り処理を繰り返し行い、削り取った金属粉を回収し、放射能分析に供した。ただし、P-832-702 については、試料形状が複雑であったため、超音波又は酸溶解による湿式除染を適用した。金属試料は、原子炉施設の配管、機器等を解体して発生したものである。したがって、試料に含まれる放射性物質は原子炉施設の稼働に伴い冷却材等に含まれる放射性物質と接触したことによる表面汚染に加えて、金属材料自体やその中に含まれる不純物元素が中性子照射によって放射化された影響 (放射化汚染) も考慮する必要がある。そこで、放射化汚染の有無について判別するため、金属の表面を削り取る処理の前後で Ge 検出器

による ^{60}Co 及び ^{137}Cs の放射能測定を実施した。分析試料の初期放射能 (A_0) が既にバックグラウンド相当であったものは、「(1) 表面汚染 (初期の計数率が十分に低く、放射化による影響は判断できない)」と判断した。一方、分析試料の初期放射能 (A_0) と比較して、削り取り後の金属表面の放射能 (A_n) がバックグラウンド相当まで低減できたものは、「(2) 表面汚染 (放射化による影響なし)」と判断した。また、初期放射能 (A_0) と削り取り後の放射能 (A_n) に大きな変動がなかったものは、「(3) 表面汚染 (放射化による影響あり)」と判断し、それぞれの分析試料を区分した。削り取り前後の外観の変化及び上記 (1) ~ (3) の試料区分を表 4 に示す。

2.2.2 揮散回収処理

^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu に対する前処理として揮散回収処理を実施した。 ^{99}Tc で使用する揮散回収装置の概略図を図 3 に示す。なお、揮散回収させる核種に応じて、適切な回収容器に交換して使用した。

図 4~図 7 に分析試料の揮散回収処理フローを示す。分析試料を反応槽に入れ、担体としてコバルト、ストロンチウム、ニオブ、レニウム (テクネチウム担体の代替)、ヨウ素、セシウム及びユウロピウムを添加した。ヨウ素回収容器を揮散回収装置にセットし、硫酸酸性下で過酸化水素を加えた。ヨウ素をトラップし、 ^{129}I 分析用試料として回収した。次に、反応槽に銀担体を添加後テクネチウム (レニウム) 回収容器を揮散回収装置にセットし、ヨウ素を揮散させた後の反応槽に過酸化水素を加え、硫酸と過酸化水素の沸騰溶液中で有機物を分解するとともに ^{99}Tc とレニウムを過テクネチウム (レニウム) 酸として揮散回収した。この操作を繰り返し、凝集液を ^{99}Tc 分析用試料とした。残渣中の硫酸塩化した金属イオンを回収するため、それぞれの試料において次の操作を実施した。NY-995-154、NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486 は、残渣を加熱濃縮した後ろ過を行い、P-82Z-656 及び P-832-702 は、残渣を乾固させ、純水を添加した後にろ過を行った。ろ過で得られたろ液と沈殿それぞれの ^{60}Co 及び ^{137}Cs 、NY-995-154 のみ ^{60}Co 及び $^{108\text{m}}\text{Ag}$ の放射能濃度を、Ge 検出器で測定した。 ^{60}Co 及び ^{137}Cs (NY-995-154 は ^{60}Co 及び $^{108\text{m}}\text{Ag}$) の放射能濃度はろ液と沈殿を合算して回収率 100%とした。ろ液に塩酸を加えて加熱し、塩化銀の沈殿を生成させ、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析用試料として回収した。また、塩化銀沈殿をろ過した際のろ液は、アンモニアを加えた後、再度ろ過を行った。NY-995-154、NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486 の沈殿は、硝酸で加熱溶解して、 ^{94}Nb 分析用試料として回収した。 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu の放射能濃度は溶解液の一部を高周波誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (以下「ICP-AES」という。) で測定したユウロピウム濃度から求めた回収率で補正した。P-82Z-656 の沈殿は廃棄し、P-832-702 の沈殿は ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析用試料として回収した。また、アンモニア添加後にろ過した際のろ液は、水酸化ナトリウム及び炭酸ナトリウムを加えた後、再度ろ過を行った。ろ過して得られた沈殿は 8 M 硝酸で加熱溶解した後、Sr レジンに通液して Sr を吸着させた。その後、Sr レジンに 0.05 M 硝酸を加えて ^{90}Sr 分析用試料として回収した。Sr レジンによる分離精製処理で生じた排出液は廃棄した。P-82Z-656 のみ排出液に対してアンモニアを添加した後ろ過を行った。ろ過で得られた沈殿は ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析用試料として回収した。

2.2.3 酸溶解処理

図 8 に金属試料の ^{63}Ni 及び ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm (以下「 α 線放出核種」という。) 分析の前処理フローを示す。塩酸及び硝酸による溶解処理と二硫酸カリウムによる溶融処理によって溶液化し、回収した溶解液を ^{63}Ni 、 α 線放出核種分析用前処理液とした。なお、2.2.1 項に示したとおり、P-832-702 については湿式除染により回収した超音波除染液又は酸溶解除染液について、それぞれ塩酸及び硝酸による溶解処理と二硫酸カリウムによる溶融処理によって一部含有していた不溶解成分を溶液化し、混合して均一化した後に前述の溶解液に加えた。

次に、図 9 に塩化ビニル試料の ^{63}Ni 及び α 線放出核種前処理フローを示す。加熱溶解の試薬として硫酸及び過酸化水素を使用した。沈殿は二硫酸カリウムを加えて加熱溶解を行った後、ろ過してろ液を回収した。回収したろ液を ^{63}Ni 分析用試料及び α 線放出核種分析用試料とした。本分配グループにおける ^{60}Co 及び ^{137}Cs の放射能を、Ge 検出器で測定した。放射能はろ液と沈殿を合計して算出しているため、いずれも回収率を 100%とした。

2.3 ^3H 及び ^{14}C 分析

図 10 に燃焼操作に使用した装置を示す。また、図 11 に ^3H 及び ^{14}C 分析フローを示す。分析試料を燃焼装置にセットし、コバルト及びセシウム担体を追加したのち、空気中で 950°C まで昇温して燃焼処理を行った。試料中の炭素化合物は酸化触媒により CO_2 の化学形として ^{14}C 吸収剤に回収し、メスアップして ^{14}C 測定用試料とした。並行して、 ^3H はコールドトラップで HTO として回収し、凝縮水を ^3H 測定用試料とした。それぞれの測定試料は NaI 検出器で測定して妨害となる γ 線放出核種が混在していないことを確認した後、液体シンチレータと混合して ^3H は最大 18.6 keV 、 ^{14}C は最大 156 keV の β 線を液体シンチレーションカウンタ (以下「LSC」という。) で測定した。燃焼処理後の残渣を塩酸、硝酸、フッ化水素酸で溶解した後、ろ液と沈殿それぞれの ^{60}Co 及び ^{137}Cs の放射能濃度を Ge 検出器で測定した。 ^{60}Co の放射能濃度はろ液と沈殿を合算して回収率 100%とし、一方で ^{137}Cs の放射能濃度は溶解液の一部を ICP-MS で測定したセシウム濃度から求めた回収率で補正した。

2.4 ^{36}Cl 分析

図 12 に ^{36}Cl 分析フローを示す。分析試料を反応槽に入れ、揮散回収装置に塩素回収容器をセットした。担体として、塩素、コバルト、セシウムを加えた後、硫酸を加えて硫酸酸性にし、沸石及び酸化剤として過酸化水素を添加した。加熱し、 HCl として揮発した塩素成分を水酸化ナトリウムが充填されたトラップで回収した。回収液は放冷し、炭酸ナトリウムと硝酸を加え酸性 ($\text{pH} = 1$) とし、炭酸脱気した後に鉄共沈させ、デカンテーションにより上澄み液を回収した。上澄み液に妨害となる γ 線放出核種が存在しないことを NaI 検出器で確認し、硝酸銀溶液を加えて塩素を AgCl 沈殿として回収した。アンモニア水を加えて沈殿を再度溶解し、溶解液には硝酸銀溶液と硫化アンモニウムを加えてろ過し、硝酸を加えて酸性 ($\text{pH} = 1$) にした後、硝酸銀溶液を加え AgCl の沈殿を回収した。これらの操作をさらに 1 回繰り返して、 ^{36}Cl の精製を行った。沈殿の ^{36}Cl を β 崩壊に伴って放出される最大 709 keV の β 線を β 線スペクトロメ

ータ（以下「ピコβ」という。）で測定した。AgCl 沈殿質量を測定して求めた回収率で ^{36}Cl の放射能濃度を補正した。本分配グループにおける ^{60}Co 及び ^{137}Cs の放射能濃度を、Ge 検出器で測定した。放射能濃度はろ液と沈殿を合計して算出しているため、いずれも回収率を 100%とした。

2.5 ^{60}Co 分析

2.2.2 項の揮散回収処理で回収した硝酸溶解液のろ液及び沈殿を Ge 検出器で測定し、 ^{60}Co の放射能濃度を算出した。 ^{60}Co は 1173 keV 及び 1333 keV の γ 線を Ge 検出器で測定した。ろ液及び沈殿の放射能濃度を合計して、 ^{60}Co の放射能濃度は回収率を 100%として算出した。各分配グループで ^{60}Co の分析を実施しており、放射エネルギーが最大となった結果を ^{60}Co の定量値とした。

2.6 ^{63}Ni 分析

図 13 に ^{63}Ni 分析フローを示す。2.2.3 項の前処理で回収した Ni 分析用試料にニッケル担体と 30%クエン酸アンモニウムを加え、攪拌した。水酸化ナトリウムで pH = 9.3 に調整した後、1%ジメチルグリオキシム-エタノール溶液を添加し、生成したニッケル-ジメチルグリオキシム錯体（以下「Ni-DMG 錯体」という。）をキシレンで抽出した。抽出した Ni-DMG 錯体を温イオン交換水で十分洗浄した。この操作を繰り返した後、NaI 検出器で測定して妨害となる γ 線放出核種が混在していないことを確認した。液体シンチレータと試料を混合し、一昼夜静置した後、 β 崩壊に伴って ^{63}Ni が放出する最大 66.9 keV の β 線を LSC で測定した。有機相の一部を分取し、分光光度計で測定した回収率で ^{63}Ni の放射能濃度を補正した。

2.7 ^{90}Sr 分析

図 14 に ^{90}Sr 分析フローを示す。2.2.2 項の Sr レジンにより分離精製した抽出液に対し、鉄担体を加えた後、加熱した。アンモニア水を加えて pH を調整し (pH=10)、鉄共沈させ、 ^{90}Sr の娘核種である ^{90}Y を除去した。ろ液を NaI 検出器で測定し、妨害となる γ 線放出核種が混在していないことを確認した。 ^{90}Sr と ^{90}Y との放射平衡を成立させるため約 2 週間静置した。ろ液に硝酸を加え酸性にし、イットリウム担体を加えた後、アンモニア水を加えて pH を調整 (pH = 10) し、沈殿を生成させた。ろ過した沈殿に硝酸とストロンチウム担体を加えた後、アンモニア水を加え pH を調整し (pH = 10)、再度ろ過した。この沈殿をさらに 3 M 塩酸で溶解し、純水を添加した後、シュウ酸アンモニウムで再度沈殿させた。ろ過したシュウ酸塩の沈殿中で ^{90}Y が放出する最大 2.2 MeV の β 線をピコβで測定した。 ^{90}Sr の放射能濃度は沈殿を溶解した溶液を ICP-AES で測定したイットリウム濃度と ^{90}Y を除去したろ液の一部を ICP-AES で測定したストロンチウム濃度から求めた回収率で補正した。

2.8 ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析

図 15 に NY-995-154、NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486 の ^{94}Nb 分析フロー、図 16 に P-82Z-656 及び P-832-702 の ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析フローを示す。2.2.2 項の金属試料の揮散回収処理

で回収した ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析用試料をフッ化水素酸で加熱溶解し、ろ過をした。ろ液にテトラフェニルアルソニウムクロリド（以下「TPAC」という。）を添加してニオブ沈殿を生成させ、妨害となる高エネルギーの γ 線放出核種を除去した。その後、 ^{94}Nb の β 崩壊に伴い放出される 871 keV の γ 線を Ge 検出器で測定した。測定後の沈殿に硫酸及び過酸化水素を加え再度溶解した。ニオブ濃度を ICP-AES で測定して求めた回収率で ^{94}Nb の放射能濃度を補正した。フッ化水素酸で加熱溶解後の沈殿は EuF_3 沈殿であり、 ^{152}Eu が放出する 1,408 keV の γ 線及び ^{154}Eu が放出する 1,274 keV の γ 線を Ge 検出器で測定した。塩酸でフッ化ユウロピウム沈殿の全量を溶解し、ユウロピウム濃度を ICP-AES で測定して求めた回収率で ^{152}Eu 及び ^{154}Eu の放射能濃度を補正した。

2.9 ^{99}Tc 分析

図 17 に ^{99}Tc 分析フローを示す。2.2.2 項の揮散回収処理で回収した ^{99}Tc 分析用試料に純水と過酸化水素を加えた後、加熱した。チオアセトアミドを加え、沈殿をろ過し、硝酸と過酸化水素を加えた後加熱し溶解した。溶解した液をろ過したろ液に硝酸酸性下で鉄担体を加えた後、アンモニア水で pH を調整し (pH=10)、共沈により不純物を分離した。ろ液は硝酸で pH を調整した後 (pH=1)、過酸化水素と TPAC を加え、氷冷して沈殿を熟成させてからろ過した。沈殿を NaI で測定し、妨害となる γ 線放出核種が存在しないことを確認し、ピコ β で β 線を測定した。 ^{99}Tc は安定同位体が存在しないため、テクネチウム担体の代替として同族元素であるレニウム担体を添加している。よって、沈殿を溶解した溶液のレニウム濃度を ICP-AES で測定して求めた回収率で ^{99}Tc の放射能濃度を補正した。

2.10 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析

図 18 に $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析フローを示す。2.2.2 項の揮散回収処理で回収した $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析用試料に対して $^{108\text{m}}\text{Ag}$ が放出する 434 keV、614 keV、723 keV の γ 線を Ge 検出器で測定した。 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ の放射能濃度は沈殿をアンモニア水で溶解した溶液の銀濃度を ICP-AES で測定して求めた回収率で補正した。

2.11 ^{129}I 分析

図 19 に ^{129}I 分析フローを示す。2.2.2 項の揮散回収処理で回収した ^{129}I 分析用試料に還元剤として亜硫酸水素ナトリウムを加え、さらに硝酸及び酸化剤として亜硝酸ナトリウムを加えて IO_3^- や I^- の形態のヨウ素を I_2 としてキシレンに抽出した。(1+9) 硝酸での洗浄操作を繰り返した後、亜硫酸水素ナトリウムで水相に逆抽出した。 ^{129}I の抽出液を NaI 検出器で測定し、妨害となる γ 線放出核種が混在していないことを確認した。その後、硝酸銀溶液を加え AgI 沈殿として回収し、 ^{129}I が β 崩壊に伴い放出する最大エネルギー 154 keV の β 線を 2π ガスフローカウンタ（以下「GFC」という。）で測定した。また、水相に逆抽出した抽出液の一部を分取して生成させた AgI 沈殿を加速器質量分析で高感度分析した。 ^{129}I の放射能濃度は AgI 沈殿の質量を測定して求めた回収率で補正した。

2.12 ^{137}Cs 分析

図 20 に ^{137}Cs 分析フローを示した。揮散回収処理で回収した ^{137}Cs 分析用試料に塩酸を加えて pH を調整した。さらに、りんモリブデン酸アンモニウムを添加して沈殿を生成することによって妨害となる他の γ 線放出核種と分離して ^{137}Cs の娘核種である $^{137\text{m}}\text{Ba}$ が放出する 662 keV の γ 線を Ge 検出器で測定した。 ^{137}Cs 放射能濃度は、沈殿の溶解液のセシウム濃度を ICP-AES で測定して求めた回収率で補正した。このほか、各分配グループで ^{137}Cs の放射能濃度を測定しており、放射エネルギーが最大となった結果を ^{137}Cs の定量値とした。

2.13 α 線放出核種 (^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm) 分析

図 21 に ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm 分析フローを示す。 α 線放出核種は 2.2.3 項で酸溶解した分析用試料を UTEVA レジンと TRU レジンの 2 種類の固相抽出樹脂を使用して、U、Pu、Am 及び Cm の各フラクションに分離した。試料の溶解液を一度乾固し、1 M の硝酸アルミニウムを含む 3 M 硝酸で再溶解した。0.6 M スルファミン酸鉄を加えた後、アスコルビン酸を加えて Pu を 3 価に調整して、硝酸でコンディショニングした UTEVA レジンに通液し、Pu、Am 及び Cm の溶出液を回収した。9 M 塩酸及び 0.05 M のシュウ酸を含む 5 M 塩酸で測定の妨害となる不純物 (Fe、Np、Th 等) を除去し、1 M 塩酸を通液して U を回収した。得られた Pu、Am 及び Cm の溶出液は硝酸でコンディショニングした TRU レジンに通液し、カラム上で亜硝酸ナトリウムにより Pu を 4 価に調整した。測定の妨害となる不純物を取り除いた後に 4 M 塩酸で Am 及び Cm を回収した。4 M 塩酸+0.1 M フッ化水素酸でカラムを洗浄した後、Pu は 0.1 M シュウ酸水素アンモニウムで回収した。 α 線測定は表面障壁型 Si 半導体検出器 (以下「SSB」という。) で核種ごとに行った。ただし、 ^{238}U は半減期が長いため、SSB による α 線測定より高感度に測定可能な ICP-MS を用いた質量分析を適用した。 ^{238}U 分析では、分離精製操作を行わないため、2.2.3 項で酸溶解した分析用試料の一部を分取し、希釈して測定した。なお、回収率は 100%として ^{238}U の放射能濃度を算出した。 ^{234}U 分析では、UTEVA レジンで分離精製した U の溶出液をステンレス板に電着し、SSB で測定した。 ^{234}U の放射能濃度は、試料自体に ^{238}U が含まれている塩化ビニル試料及び一部の金属試料では、 ^{238}U 標準溶液の添加はせず、分離精製前の酸溶解液を ICP-MS で測定した ^{238}U 放射能濃度と、UTEVA レジンで分離精製した溶出液をステンレス板に電着して SSB で測定した ^{238}U 放射能濃度から求めた回収率で補正した。 ^{238}U の濃度の低い金属試料では、UTEVA レジンによる分離精製時に試料溶解液を 2 分し、一方に ^{238}U 標準溶液を添加して、試料と同一の分離精製操作を実施した。その後、SSB で測定した ^{238}U の放射能濃度から求めた回収率で補正した。 ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 分析では、UTEVA レジン及び TRU レジンで分離精製した Pu の溶出液をステンレス板に電着し、SSB で測定した。通常、 ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度を補正する際は、分離精製操作前後の試料を ICP-MS で測定し、M/Z = 239 の信号強度の変化から分離精製時の Pu の回収率を算出するが、今回の試料では ^{239}Pu の放射能濃度が極めて低いため、過去の Pu 分離精製操作における平均回収率 (79.3%) で補正した。 ^{241}Am 及び ^{244}Cm 分析は、UTEVA レジン及び TRU レジンで分離精製した Am 及び Cm の溶出液をステンレス板に電着し、SSB で測定した。 ^{241}Am の放射能濃度は、試料溶解液を 2 分し、一方に ^{241}Am 標準溶液を添加した上で、試料と同一の分離精製操作

を行い、SSB で測定した ^{241}Am の放射能濃度から求めた回収率で補正した。また、 ^{244}Cm は今回の分離精製条件では ^{241}Am と同じ溶出液に回収されるため、 ^{244}Cm の放射能濃度は Am の回収率を用いて補正した。

3. 分析結果

令和4年度に20核種 (^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu 、 ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm) の放射化学分析を行い、95点の分析データを取得した。核種ごとの分析結果を表5から表23にまとめた。

4. まとめ

本報告では、研究施設等から発生する放射性廃棄物を対象とする放射能濃度評価方法検討のための基礎資料として、JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び保管廃棄施設・L に保管されている圧縮体について放射化学分析を実施し、得られた放射能濃度評価方法検討のためのデータが取得できた。今後も、研究施設等から発生した放射性廃棄物の分析を行い、放射能濃度データの蓄積を継続していく。

謝辞

本報告書作成にあたり JRR-2、JRR-3 から発生した放射性廃棄物及び保管廃棄施設・L に保管されている圧縮体から分析用試料を採取していただいたバックエンド技術部高減容処理技術課の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 原子力安全基盤機構規格基準部, 均質・均一固化体及び充填固化体の廃棄のための確認方法について (一部改正), JNES-SS-0801, 2008.
- 2) 星亜紀子, 亀尾裕, 片山淳他, 研究施設等から発生する均質・均一固化体に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2009-023, 2010, 84p.
- 3) 辻智之, 亀尾裕, 坂井章浩他, 研究施設等から発生する均質・均一固化体に対する放射能濃度評価方法の検討, JAEA-Technology 2011-028, 2011, 66p.
- 4) 星亜紀子, 辻智之, 田中究他, JPDR 保管廃棄物試料に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2011-011, 2011, 31p.
- 5) 田中究, 安田麻里, 渡辺幸一他, JPDR 保管廃棄物試料に対する放射化学分析 (2), JAEA-Data/Code 2013-008, 2013, 16p.
- 6) 安田麻里, 田中究, 渡辺幸一他, JPDR 保管廃棄物試料に対する放射化学分析 (3), JAEA-Data/Code 2014-011, 2014, 59p.
- 7) 大森弘幸, 根橋宏治, 島田亜佐子他, JPDR 保管廃棄物試料に対する放射化学分析 (4), JAEA-Data/Code 2014-029, 2015, 31p.
- 8) 原賀智子, 下村祐介, 水飼秋菜他, JRR-2 及び JRR-3 から発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2019-004, 2019, 48p.
- 9) 水飼秋菜, 原賀智子, 石森健一郎他, 照射後試験施設から発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2019-012, 2020, 70p.
- 10) 飛田実, 原賀智子, 佐々木誉幸他, JRR-2、JRR-3 及びホットラボから発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2019-016, 2020, 72p.
- 11) 青野竜士, 水飼秋菜, 原賀智子他, JPDR 及び JRR-4 から発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2020-006, 2020, 70p.
- 12) 土田大貴, 原賀智子, 飛田実他, JRR-3及びJPDRから発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2020-022, 2021, 34p.
- 13) 土田大貴, 水飼秋菜, 青野竜士他, JPDR、JRR-3及びJRR-4から発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2022-004, 2022, 87p.
- 14) 飛田実, 今田未来, 大森剛他, JRR-3、JRR-4及び再処理特別研究棟から発生した放射性廃棄物に対する放射化学分析, JAEA-Data/Code 2022-007, 2022, 40p.
- 15) 辻智之, 亀尾裕, 坂井章浩他, JPDR保管廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討 (1), JAEA-Technology 2012-045, 2013, 37p.
- 16) 辻智之, 坂井章浩, 出雲沙理他, JPDR 保管廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討 (2), JAEA-Technology 2015-009, 2015, 46p.
- 17) 林宏一, 出雲沙理, 仲田久和他, JRR-2 及び JRR-3 保管廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討, JAEA-Technology 2018-001, 2018, 66p.

- 18) 水飼秋菜, 原賀智子, 石森健一郎他, 照射後試験施設から発生した廃棄物に対する放射能濃度評価方法の検討, JAEA-Technology 2019-015, 2019, 52p.
- 19) 坂井章浩, 天澤弘也, 仲田久和他, 研究施設等廃棄物の埋設処分における安全評価上重要核種の選定 (その3) - RI・研究所等廃棄物に係る主要放射性廃棄物発生施設毎の重要核種の予備評価, JAEA-Technology 2010-021, 2010, 152p.

表 1 分析試料リスト (1/7)

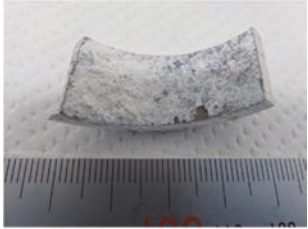
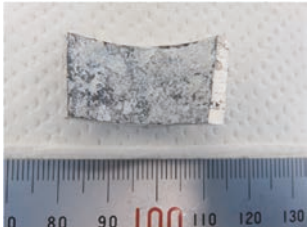
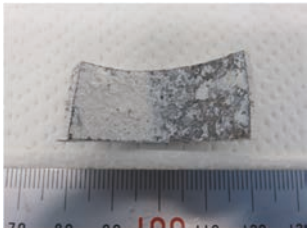
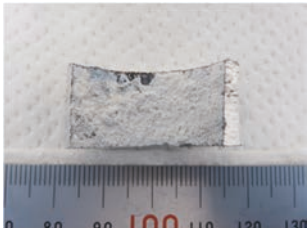
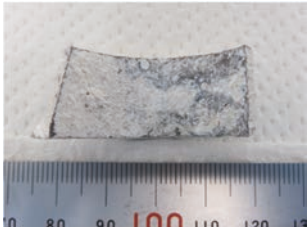
保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
NY-995-154	JRR-2	筒状	アルミニウム	1	
				2	
				3	
				4	
				5	

表 1 分析試料リスト (2/7)

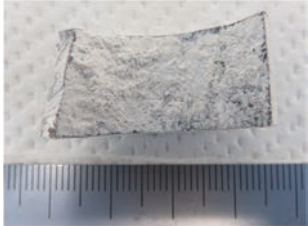
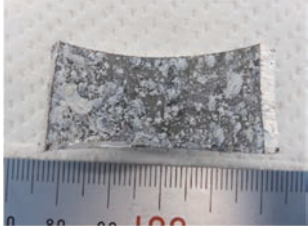
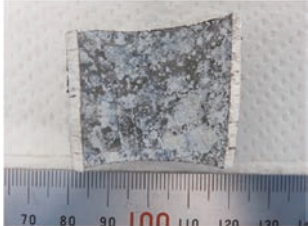
保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
NY-995-154	JRR-2	筒状	アルミニウム	6	
				7	
				8	
				9	
				10	

表 1 分析試料リスト (3/7)

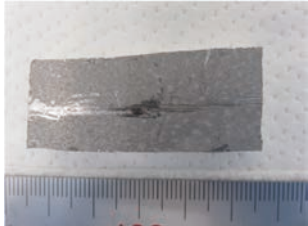

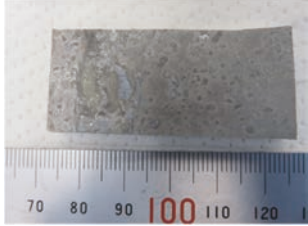
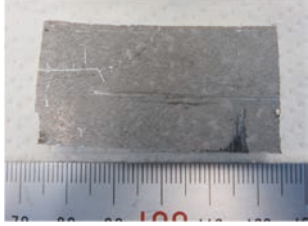
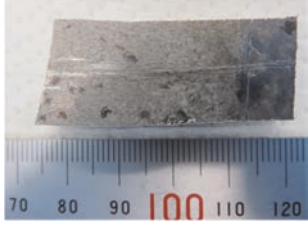
保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
NY-83Z-1485	JRR-3	筒状	アルミニウム	11	
				12	
				13	
				14	
				15	

表 1 分析試料リスト (4/7)

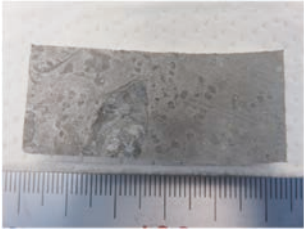
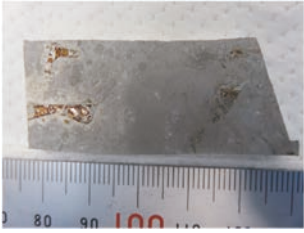
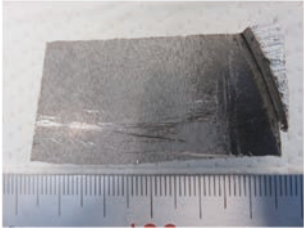
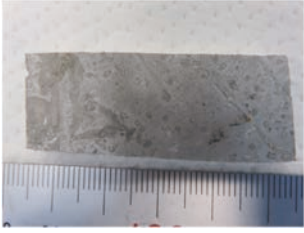
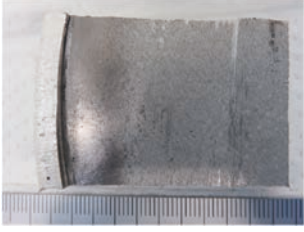
保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
NY-83Z-1485	JRR-3	筒状	アルミニウム	16	
				17	
				18	
				19	
				20	

表 1 分析試料リスト (5/7)

保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
NY-83Z-1486	JRR-3	筒状	アルミニウム	11	
				12	
				13	
				14	
				15	

表1 分析試料リスト (6/7)

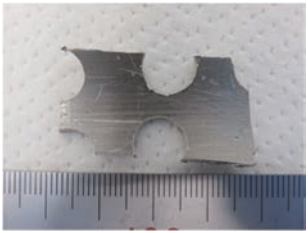
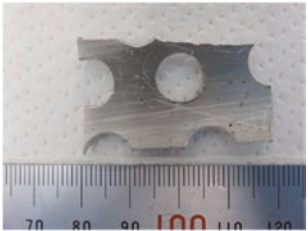
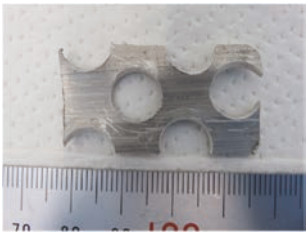
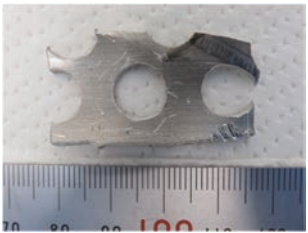
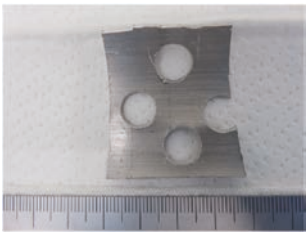
保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
NY-83Z-1486	JRR-3	筒状	アルミニウム	16	
				17	
				18	
				19	
				20	

表 1 分析試料リスト (7/7)

保管体番号	発生施設	形状	材質	枝番	外観写真
P-82Z-656	放射性廃棄物 管理第 1 課※	筒状	塩化ビニル	—	
P-832-702	放射性廃棄物 管理第 1 課※	板形状	普通鋼	—	

※ 原科研内から発生した放射性廃棄物のうち、放射性廃棄物管理第 1 課の所掌施設で圧縮処理され、第 1 保管廃棄施設に保管されていたものである。

表 2 分配グループの記録

保管体番号	発生施設	材質	枝番	分析核種 ※1
NY-995-154	JRR-2	アルミニウム	3	^3H , ^{14}C
			6	^{36}Cl
			4,5	^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{152}Eu , ^{154}Eu
			1	^{63}Ni , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm
NY-83Z-1485	JRR-3	アルミニウム	12	^3H , ^{14}C
			14	^{36}Cl
			20	^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{152}Eu , ^{154}Eu
			18	^{63}Ni , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm
NY-83Z-1486	JRR-3	アルミニウム	12	^3H , ^{14}C
			16,17	^{36}Cl
			14,19,20	^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{152}Eu , ^{154}Eu
			11,15	^{63}Ni , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm
P-82Z-656	放射性廃棄物 管理第1課	塩化ビニル	-	^3H , ^{14}C
			-	^{36}Cl
			-	^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{152}Eu , ^{154}Eu
			-	^{63}Ni , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm
P-832-702	放射性廃棄物 管理第1課	普通鋼	-	^3H , ^{14}C
			-	^{36}Cl
			-	^{90}Sr , ^{94}Nb , ^{99}Tc , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{152}Eu , ^{154}Eu
			-	^{63}Ni , ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm

※1：分配グループの全てで ^{60}Co 及び ^{137}Cs の分析を実施

表 3 放射能分析で使用した測定機器一覧

No.	測定器	略称	メーカー, 型式	測定核種又は用途
1	Ge半導体検出器	Ge検出器	ORTEC GEM-30P4	^{60}Co , ^{94}Nb , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu
	低エネルギーGe半導体検出器	LE-Ge検出器	ORTEC LOAX 51370/20	
2	液体シンチレーションカウンタ	LSC	PerkinElmer Tri-Carb 4910TR	^3H , ^{14}C , ^{63}Ni
3	β 線スペクトロメータ	pico β	Fuji Electric NDD10001	^{36}Cl , ^{90}Sr , ^{99}Tc
4	2π ガスフローカウンタ	GFC	HITACHI LBC-4612	^{129}I
5	表面障壁型Si半導体検出器	SSB	AMETEK BU-020-450-AS	^{234}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm
6	誘導結合プラズマ質量分析装置	ICP-MS	PerkinElmer ELAN DRC II	^{238}U 化学回収率確認測定
7	NaIシンチレーションカウンタ	NaI検出器	SCIONIX 76B76/3M-E2	γ 線妨害核種除去確認測定
8	誘導結合プラズマ発光分光分析装置	ICP-AES	Agilent 5110	化学回収率確認測定
9	分光光度計	—	SHIMADZU UV-1850	化学回収率確認測定
10	原子吸光分析装置	AAS	PerkinElmer AAnalyst400	化学回収率確認測定
11	加速器質量分析装置	AMS	東京大学 タンデム加速器研究施設	^{129}I (高感度同位体測定)
12	EDS搭載走査型電子顕微鏡	SEM-EDS	SEM:JEOL JSM-IT800 EDS: OXFORD UltimMAX170	析出物観察・測定

表4 削り取り前後の外観写真 (1/5)

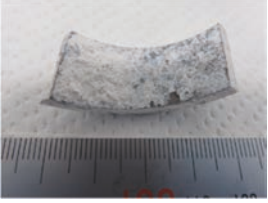
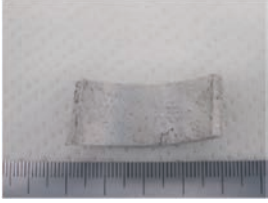
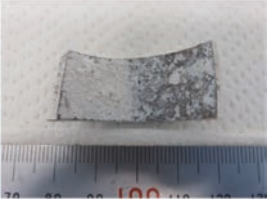
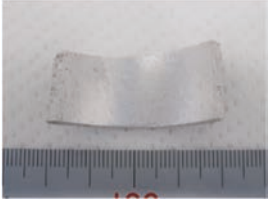
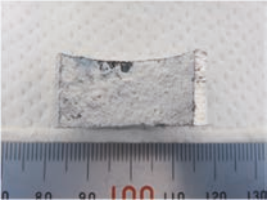
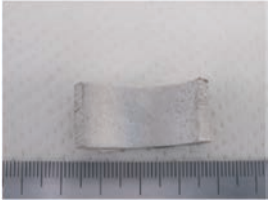
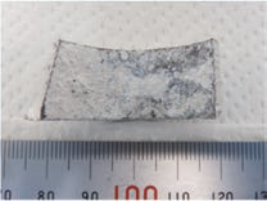
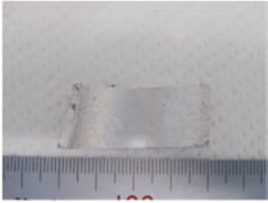
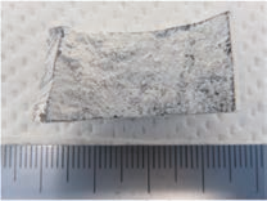
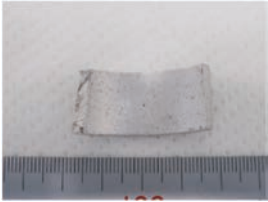
保管体番号	枝番	外観写真		試料区分
		削り取り前	削り取り後	
NY-995-154	1			(2) 表面汚染 (放射化による 影響なし)
	3			
	4			
	5			
	6			

表4 削り取り前後の外観写真 (2/5)


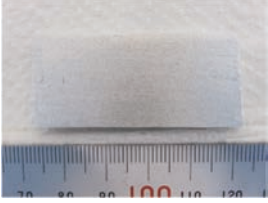
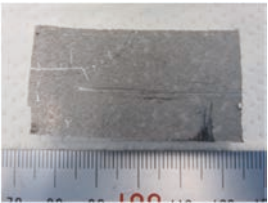
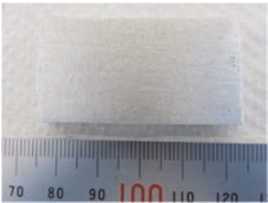
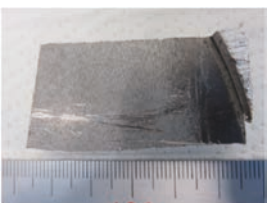


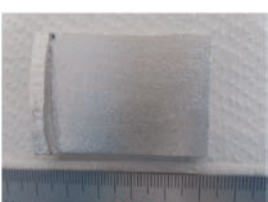
保管体番号	枝番	外観写真		試料区分
		削り取り前	削り取り後	
NY-83Z-1485	12			(3) 表面汚染 (放射化による 影響あり)
	14			
	18			
	20			

表4 削り取り前後の外観写真 (3/5)

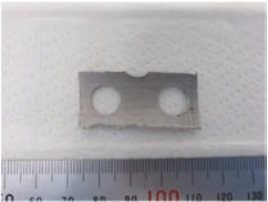
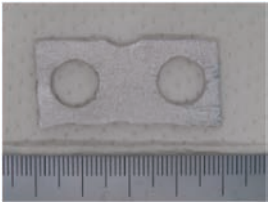
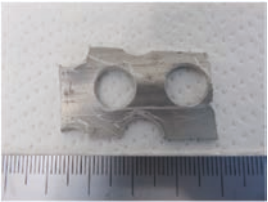
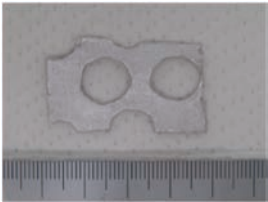
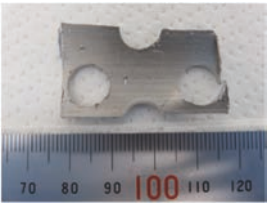
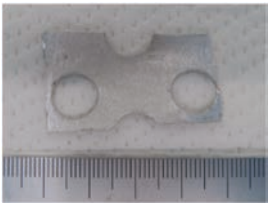
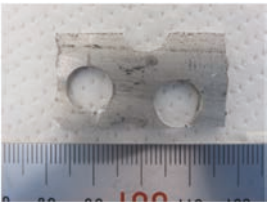
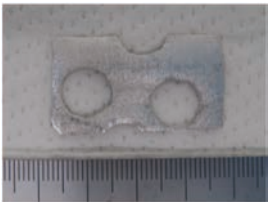
保管体番号	枝番	外観写真		試料区分
		削り取り前	削り取り後	
NY-83Z-1486	11			(3) 表面汚染 (放射化による 影響あり)
	12			
	14			
	15			

表 4 削り取り前後の外観写真 (4/5)

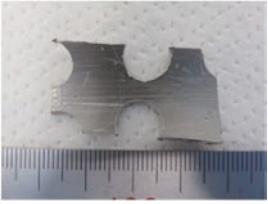
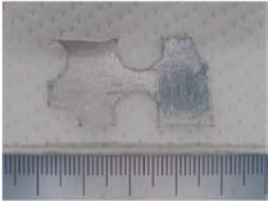
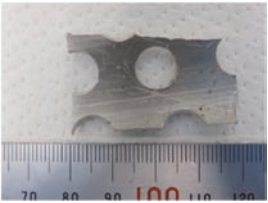
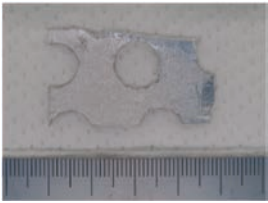
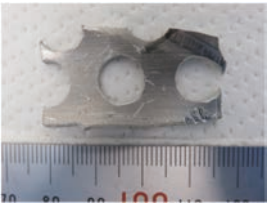

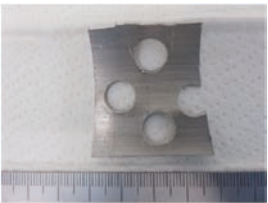
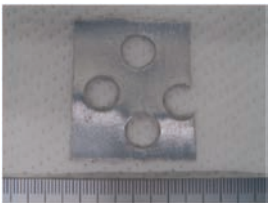
保管体番号	枝番	外観写真		試料区分
		削り取り前	削り取り後	
NY-83Z-1486	16			(3) 表面汚染 (放射化による 影響あり)
	17			
	19			
	20			

表4 削り取り前後の外観写真 (5/5)

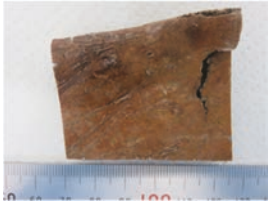
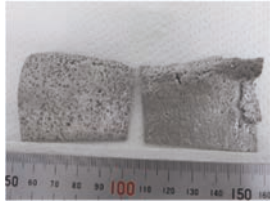
保管体番号	枝番	外観写真		試料区分
		削り取り前	削り取り後	
P-832-702	-			(2) 表面汚染 (放射化による 影響なし)

表 5 ³Hの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	3	JRR-2	アルミニウム	6.4581	100	2022/8/31	$(3.0 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	5×10^{-2}
NY-83Z-1485	12	JRR-3	アルミニウム	18.2512	100	2022/8/31	$(2.8 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
NY-83Z-1486	12	JRR-3	アルミニウム	2.2674	100	2022/8/31	$(2.4 \pm 0.1) \times 10^1$	2×10^{-1}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	0.3863	100	2022/9/26	ND	8×10^{-1}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.2991	100	2022/9/26	ND	3×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

ND:検出限界であることを示す。

表 6 ¹⁴Cの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	3	JRR-2	アルミニウム	6.4581	100	2022/8/30	$(4.4 \pm 0.1) \times 10^2$	4×10^{-2}
NY-83Z-1485	12	JRR-3	アルミニウム	18.2512	100	2022/8/30	$(4.3 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-2}
NY-83Z-1486	12	JRR-3	アルミニウム	2.2674	100	2022/8/30	$(1.4 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-1}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	0.3863	100	2022/9/26	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^1$	7×10^{-1}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.2991	100	2022/9/26	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	3×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

表 7 ³⁶Clの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	6	JRR-2	アルミニウム	5.8074	96.7	2022/8/19	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^2$	8×10^{-2}
NY-83Z-1485	14	JRR-3	アルミニウム	19.6273	79.9	2022/8/31	$(2.0 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	3×10^{-3}
NY-83Z-1486	16,17	JRR-3	アルミニウム	4.4757	94.4	2022/8/23	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^0$	1×10^{-2}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	0.9625	92.1	2022/9/18	ND	2×10^{-2}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	8.2277	96.6	2022/9/9	ND	6×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。

ND:検出限界であることを示す。

表 8 ⁶⁰Coの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	6	JRR-2	アルミニウム	5.8074	100	2022/8/9	$(5.5 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	2×10^{-1}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	100	2022/8/4	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	100	2022/8/4	$(4.3 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	7×10^{-2}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	100	2022/9/13	$(1.2 \pm 0.2) \times 10^1$	3×10^0
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	100	2022/9/2	$(7.0 \pm 0.1) \times 10^0$	7×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

表 9 ⁶³Niの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	95.7	2022/9/16	$(9.0 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-1}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	92.5	2022/9/16	$(4.7 \pm 0.1) \times 10^0$	9×10^{-2}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	100	2022/9/16	$(5.1 \pm 0.1) \times 10^0$	3×10^{-1}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	100	2022/9/16	$(1.6 \pm 0.1) \times 10^1$	7×10^{-1}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	89.1	2022/9/16	ND	6×10^1

※1 測定開始日を示す。

ND: 検出限界であることを示す。

表 10 ⁹⁰Srの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	81.1	2022/8/10	$(3.6 \pm 0.8) \times 10^{-3}$	2×10^{-3}
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	81.9	2022/9/2	$(7.6 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	7×10^{-4}
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	78.7	2022/8/29	$(6.8 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	89.9	2022/9/13	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^4$	2×10^1
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	86.9	2022/9/5	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^1$	8×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

表 11 ⁹⁴Nbの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	100	2022/8/26	ND	1 × 10 ⁻²
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	89.2	2022/9/3	ND	4 × 10 ⁻³
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	90.6	2022/9/3	ND	7 × 10 ⁻³
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	85.3	2022/9/15	ND	4 × 10 ⁻²
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	70.2	2022/9/5	(2.4 ± 0.2) × 10 ⁻¹	2 × 10 ⁻²

※1 測定開始日を示す。
ND:検出限界であることを示す。

表 12 ⁹⁹Tcの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	84.2	2022/9/14	ND	6 × 10 ⁻³
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	83.0	2022/9/14	ND	3 × 10 ⁻³
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	82.2	2022/9/6	ND	9 × 10 ⁻³
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	70.3	2022/9/21	(1.1 ± 0.1) × 10 ¹	4 × 10 ⁻²
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	80.9	2022/9/8	(3.2 ± 0.4) × 10 ⁻²	8 × 10 ⁻³

※1 測定開始日を示す。
ND:検出限界であることを示す。

表 13 ^{108m}Agの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	91.8	2022/8/8	(4.7 ± 0.2) × 10 ⁻¹	4 × 10 ⁻²
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	77.8	2022/9/2	(5.2 ± 0.7) × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻³
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	89.3	2022/8/27	(1.5 ± 0.4) × 10 ⁻²	9 × 10 ⁻³
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	85.0	2022/9/16	ND	3 × 10 ⁻²
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	75.0	2022/9/4	ND	2 × 10 ⁻²

※1 測定開始日を示す。
ND:検出限界であることを示す。

表 14 ^{129}I の分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	81.0	2022/11/4	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-6}$	2×10^{-7}
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	67.0	2022/11/4	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-7}$	5×10^{-8}
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	76.7	2022/11/4	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^{-7}$	2×10^{-7}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	46.4	2022/11/10	$(7.7 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	9×10^{-3}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	67.0	2022/11/4	$(7.8 \pm 0.3) \times 10^{-5}$	2×10^{-5}

※1 測定開始日を示す。

表 15 ^{137}Cs の分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	100	2022/8/3	$(6.0 \pm 0.7) \times 10^{-2}$	3×10^{-2}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	100	2022/8/4	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
NY-83Z-1486	12	JRR-3	アルミニウム	2.2674	97.1	2022/10/4	$(2.3 \pm 0.8) \times 10^{-1}$	3×10^{-1}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	100	2022/9/13	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^5$	4×10^1
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	100	2022/9/12	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^2$	3×10^{-1}

※1 測定開始日を示す。

表 16 ^{152}Eu の分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	99.7	2022/8/8	ND	5×10^{-2}
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	96.8	2022/9/1	$(1.2 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	100	2022/8/25	$(2.1 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	6×10^{-2}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	72.1	2022/9/14	$(5.1 \pm 0.8) \times 10^{-1}$	3×10^{-1}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	90.9	2022/9/5	$(1.0 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	7×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

ND: 検出限界であることを示す。

表 17 ¹⁵⁴Euの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日※1	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	4,5	JRR-2	アルミニウム	11.5717	99.7	2022/8/8	$(6.9 \pm 1.0) \times 10^{-2}$	3×10^{-2}
NY-83Z-1485	20	JRR-3	アルミニウム	31.6108	96.8	2022/9/1	ND	2×10^{-2}
NY-83Z-1486	14,19,20	JRR-3	アルミニウム	9.1597	100	2022/8/25	ND	4×10^{-2}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	2.8973	72.1	2022/9/14	$(9.8 \pm 0.1) \times 10^1$	3×10^{-1}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	10.0546	90.9	2022/9/5	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	4×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。
 ND:検出限界であることを示す。

表 18 ²³⁴Uの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日※1	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	100	2022/9/12	ND	2×10^{-3}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	100	2022/9/14	$(6.6 \pm 1.5) \times 10^{-4}$	5×10^{-4}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	100	2022/9/13	ND	2×10^{-3}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	100	2022/10/7	$(2.6 \pm 0.2) \times 10^0$	7×10^{-2}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	100	2022/9/30	$(4.5 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	1×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。
 ND:検出限界であることを示す。

表 19 ²³⁸Uの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日※1	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	100	2022/9/20	$(4.5 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	8×10^{-5}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	100	2022/9/20	$(8.8 \pm 0.2) \times 10^{-4}$	3×10^{-5}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	100	2022/9/20	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	2×10^{-4}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	100	2022/9/20	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^0$	4×10^{-2}
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	100	2022/9/20	$(4.0 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	2×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。

表 20 ²³⁸Puの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	79.3	2022/9/12	$(2.7 \pm 0.6) \times 10^{-3}$	2×10^{-3}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	79.3	2022/9/14	ND	4×10^{-4}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	79.3	2022/9/13	ND	2×10^{-3}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	79.3	2022/10/3	$(2.9 \pm 0.1) \times 10^3$	1×10^1
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	79.3	2022/10/3	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。
ND:検出限界であることを示す。

表 21 ²³⁹⁺²⁴⁰Puの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	79.3	2022/9/12	$(3.7 \pm 0.7) \times 10^{-3}$	10×10^{-4}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	79.3	2022/9/14	$(4.1 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	4×10^{-4}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	79.3	2022/9/13	$(3.6 \pm 0.8) \times 10^{-3}$	2×10^{-3}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	79.3	2022/10/3	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^3$	1×10^1
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	79.3	2022/10/3	$(4.6 \pm 0.2) \times 10^0$	2×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

表 22 ²⁴¹Amの分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	71.6	2022/9/12	$(1.0 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	1×10^{-3}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	97.8	2022/9/14	ND	3×10^{-4}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	91.2	2022/9/13	ND	2×10^{-3}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	69.6	2022/10/3	$(8.3 \pm 0.2) \times 10^3$	2×10^1
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	81.7	2022/10/6	$(9.3 \pm 0.2) \times 10^0$	2×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。
ND:検出限界であることを示す。

表 23 ^{244}Cm の分析結果

試料番号		発生施設	材質	試料量 (g)	回収率 (%)	測定日 ^{※1}	放射能濃度 (Bq/g)	検出限界 (Bq/g)
保管体番号	枝番							
NY-995-154	1	JRR-2	アルミニウム	6.5963	71.6	2022/9/12	ND	2×10^{-3}
NY-83Z-1485	18	JRR-3	アルミニウム	19.7285	97.8	2022/9/14	ND	3×10^{-4}
NY-83Z-1486	11,15	JRR-3	アルミニウム	4.4187	91.2	2022/9/13	ND	2×10^{-3}
P-82Z-656	-	放射性廃棄物管理第1課	塩化ビニル	1.5273	69.6	2022/10/3	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^3$	2×10^1
P-832-702	-	放射性廃棄物管理第1課	普通鋼	9.8995	81.7	2022/10/6	$(2.4 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。

ND:検出限界であることを示す。

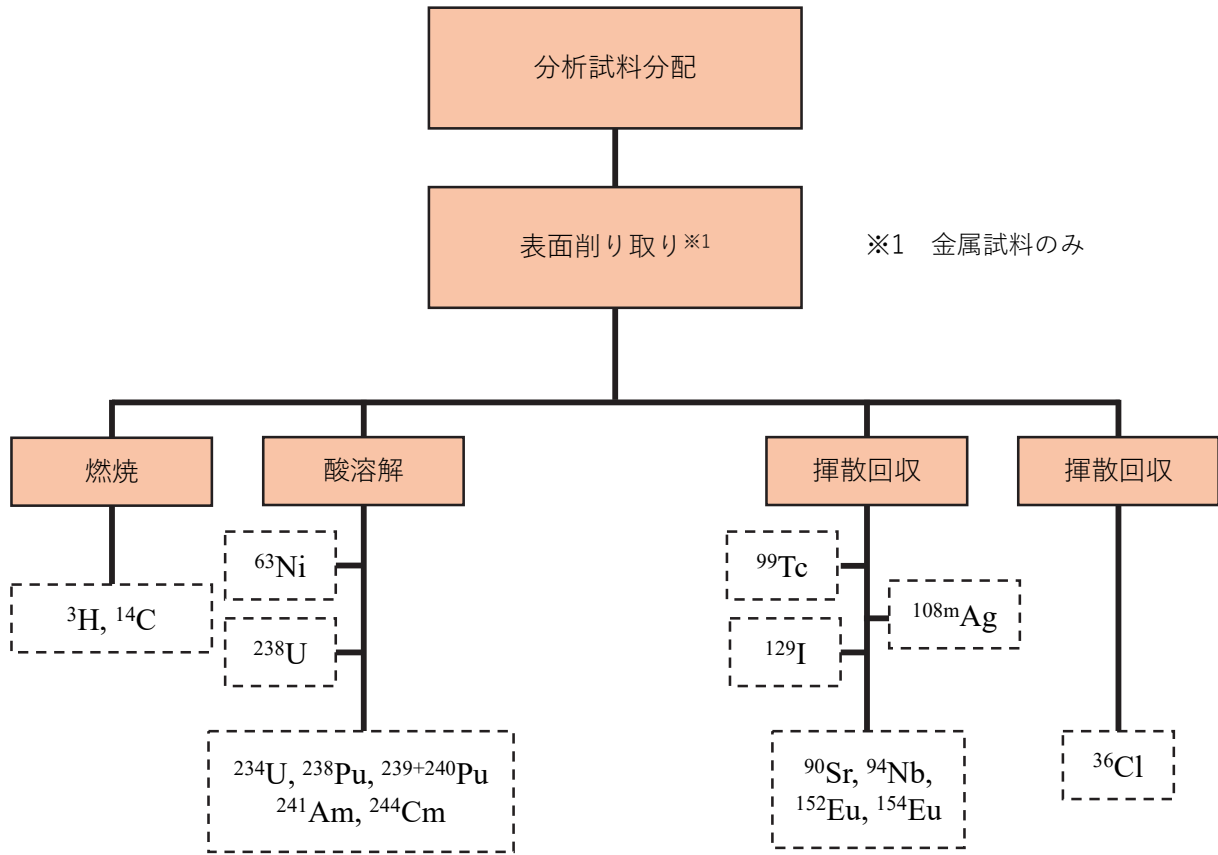


図1 分析概要フロー

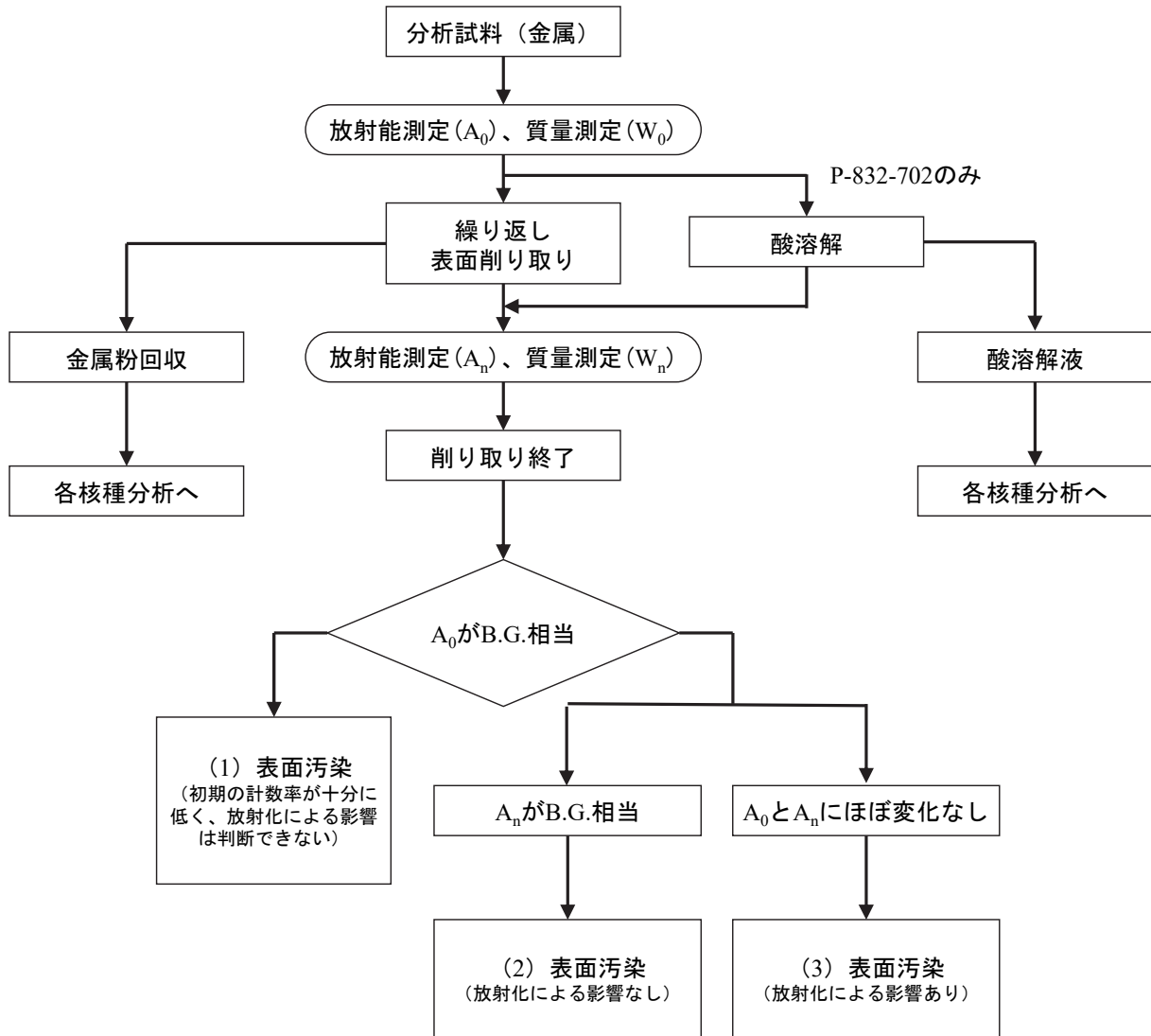


図2 金属試料の前処理及び試料区分の判別フロー

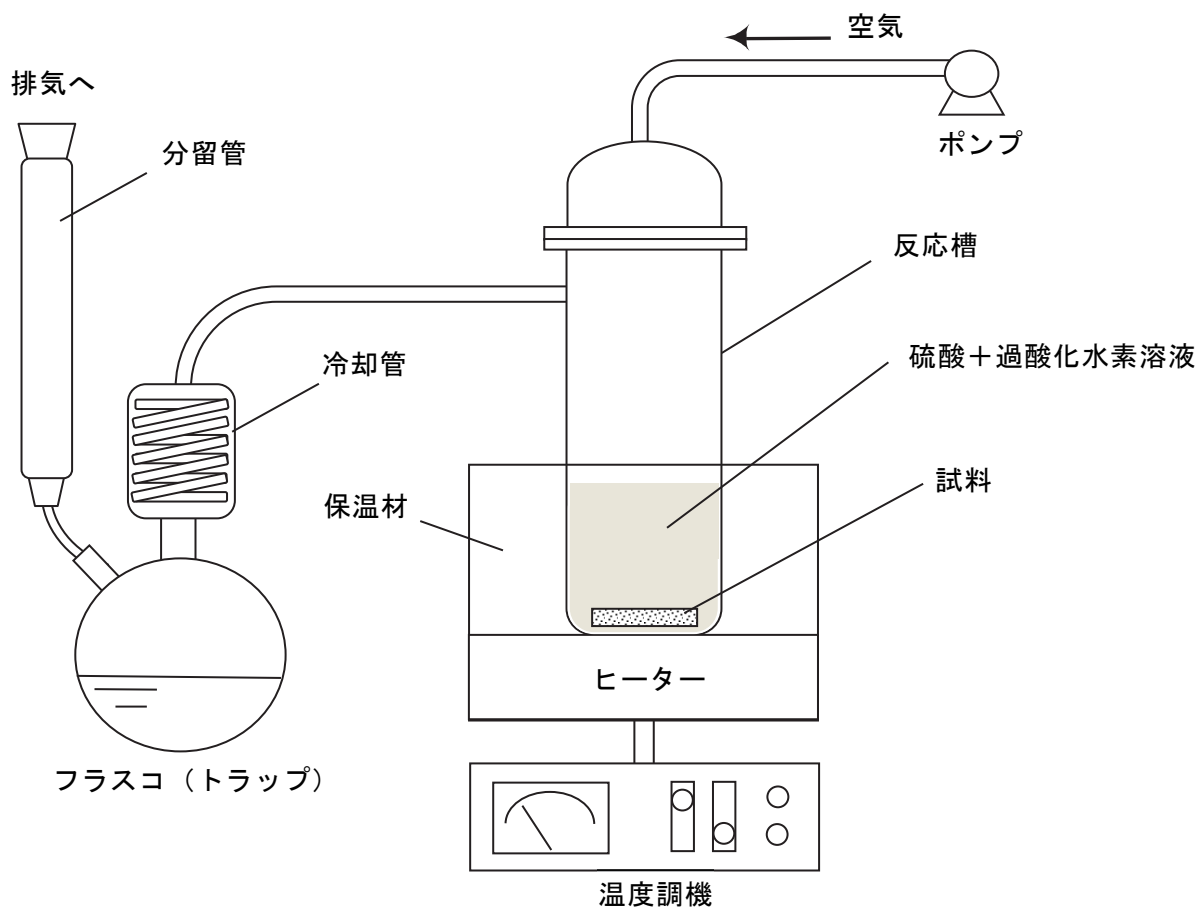


図3 ^{99}Tc 揮散回収装置の概略図

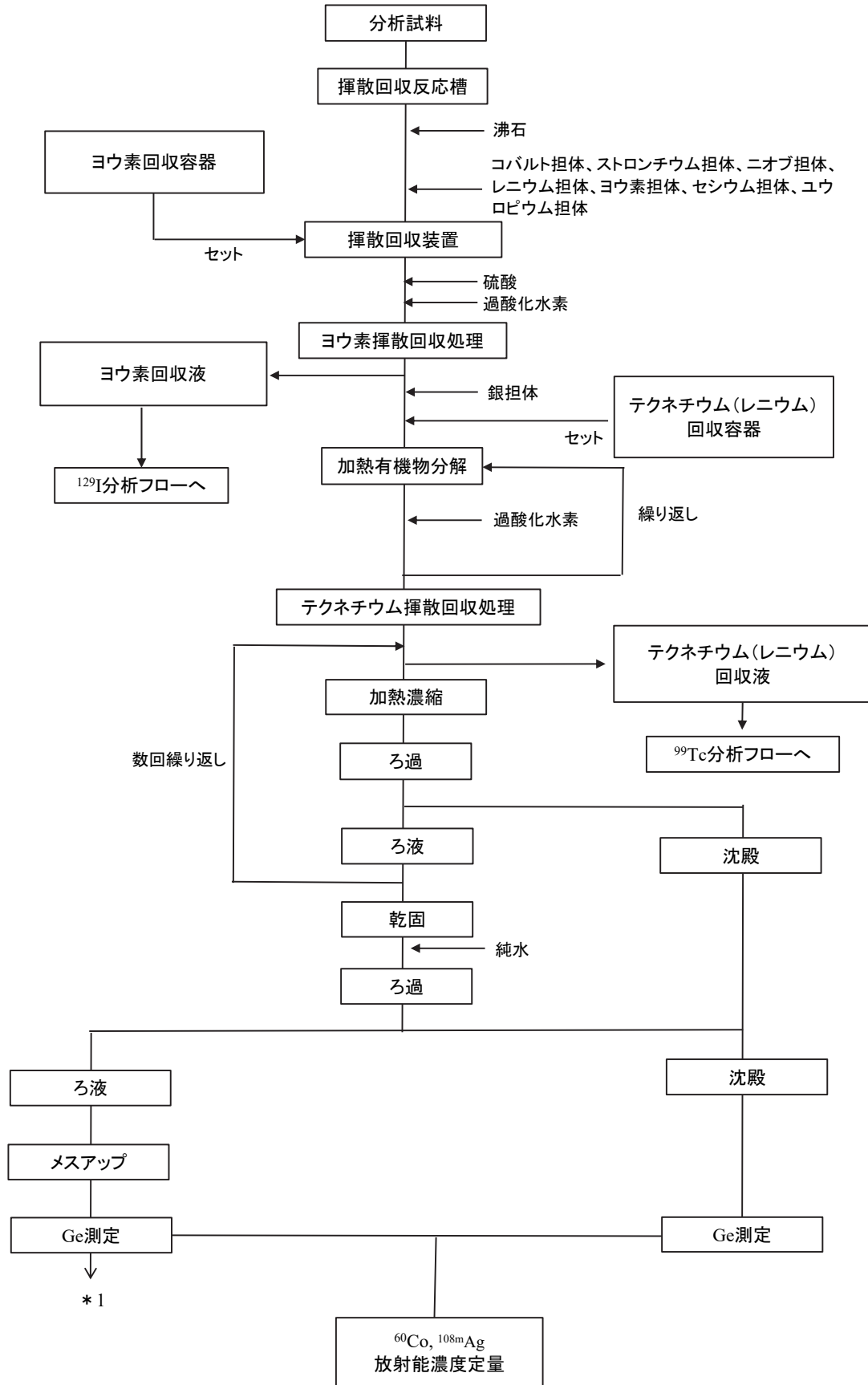


図 4 揮散回収処理フロー (NY-995-154) (1/2)

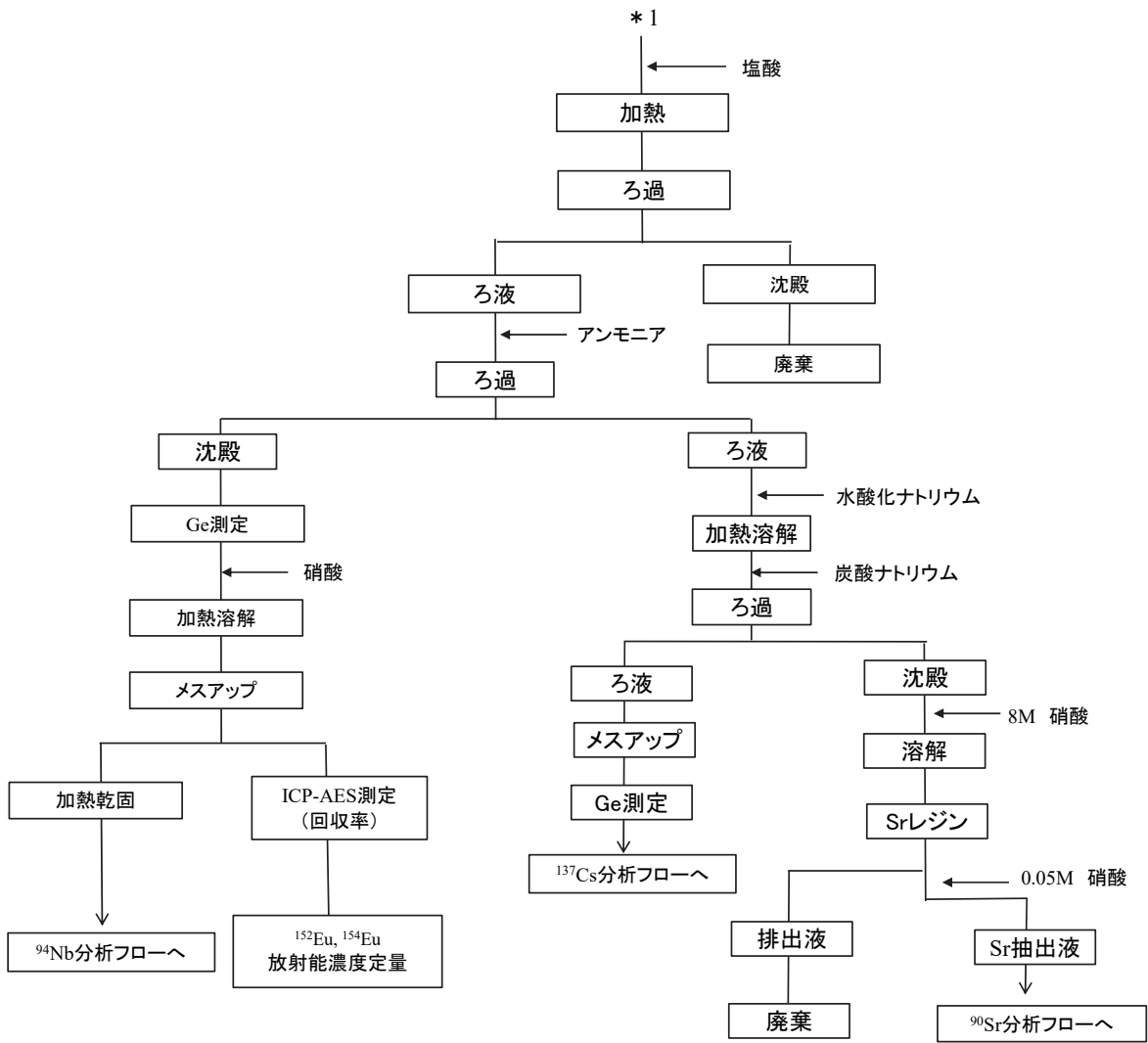


図 4 揮散回収処理フロー (NY-995-154) (2/2)

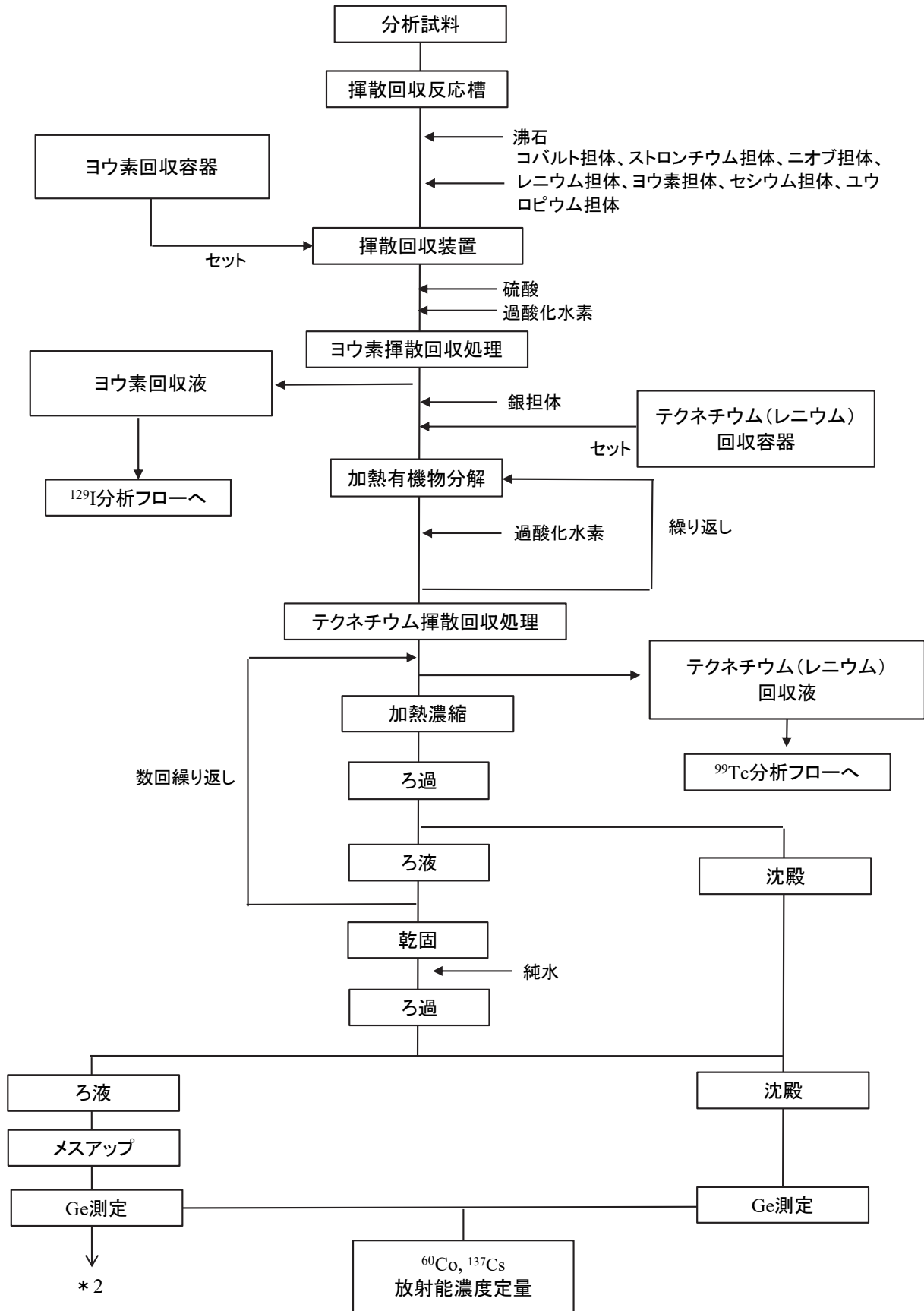


図5 揮散回収処理フロー (NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486) (1/2)

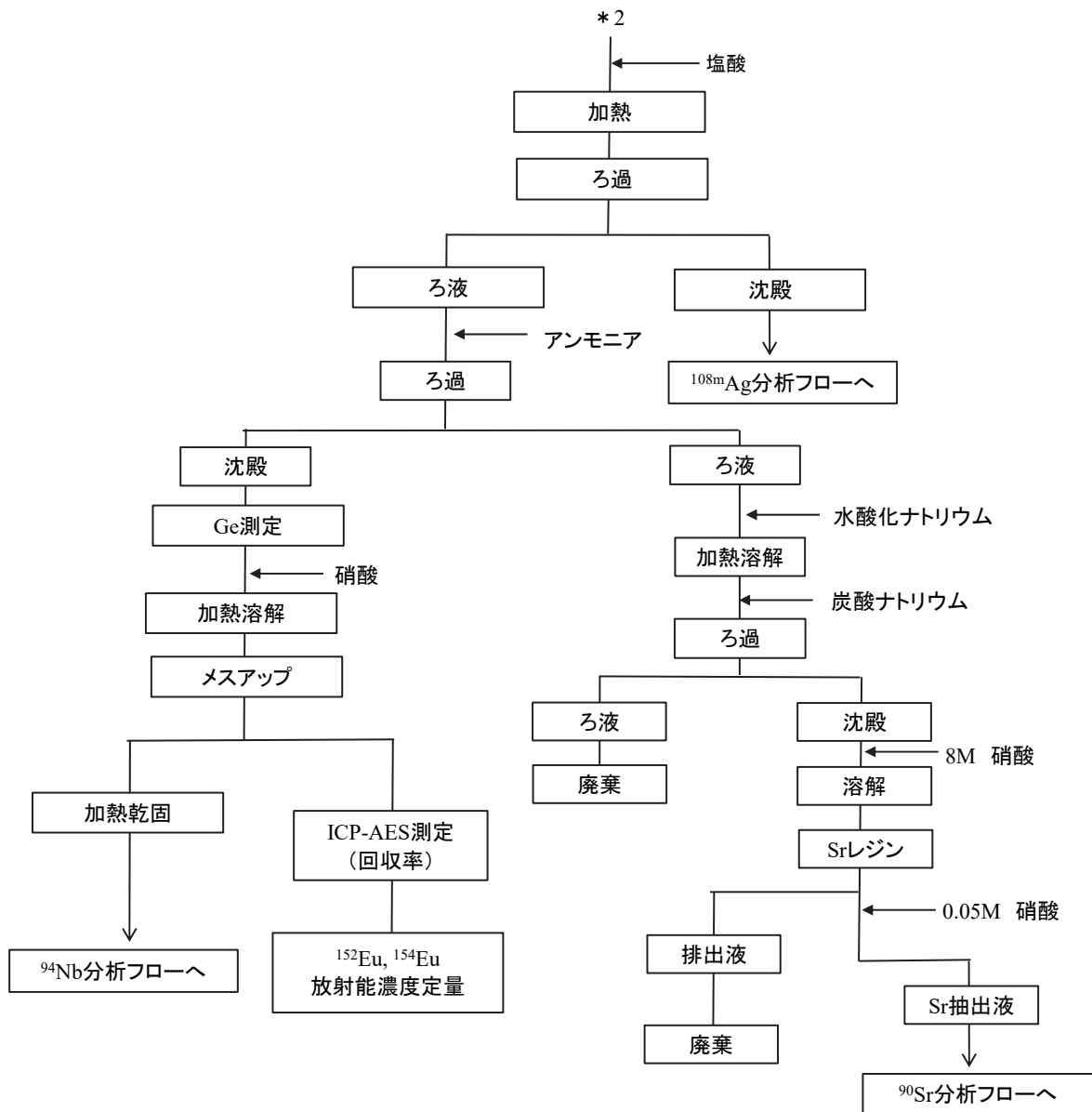


図5 揮散回収処理フロー (NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486) (2/2)

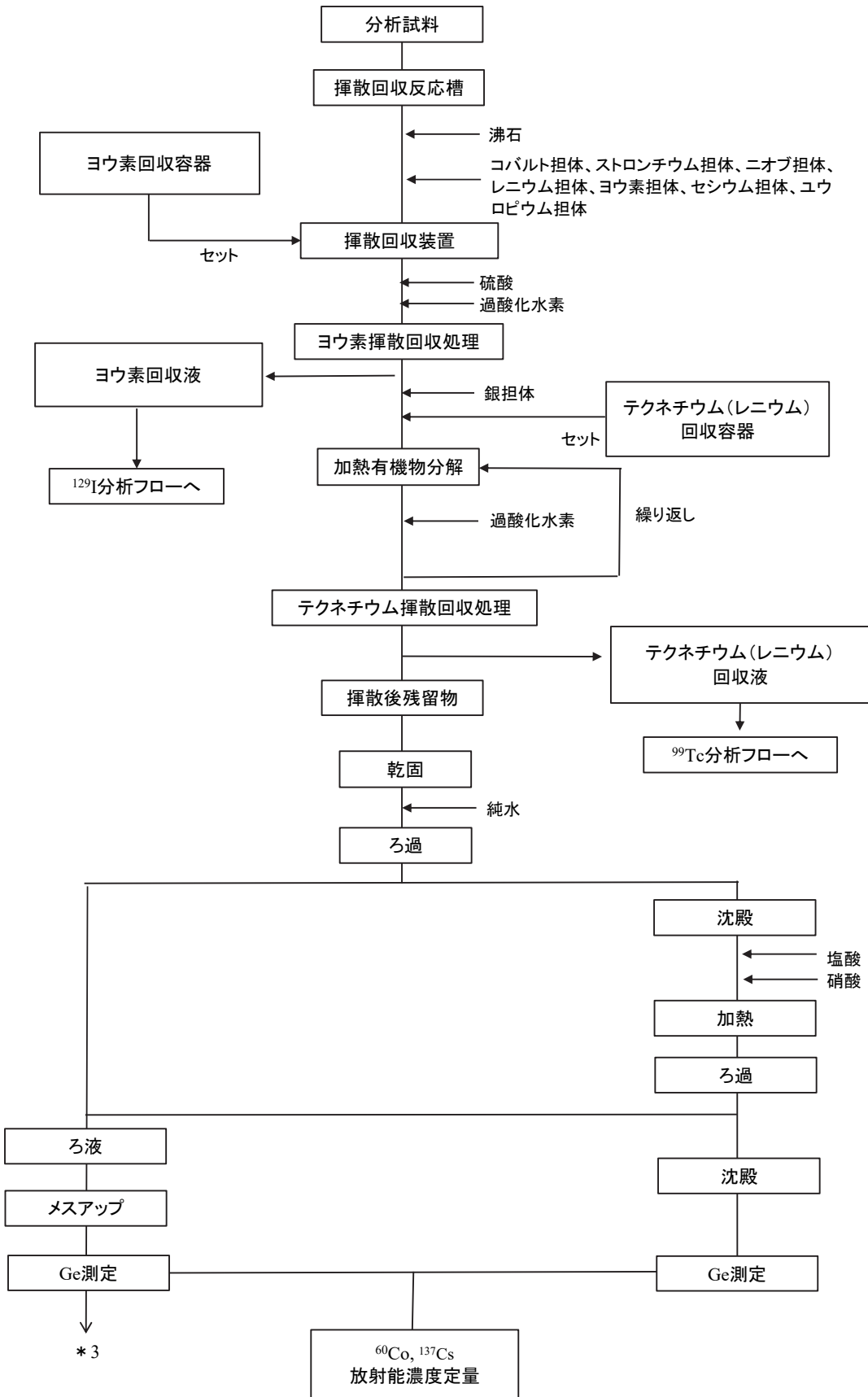


図 6 揮散回収処理フロー (P-82Z-656) (1/2)

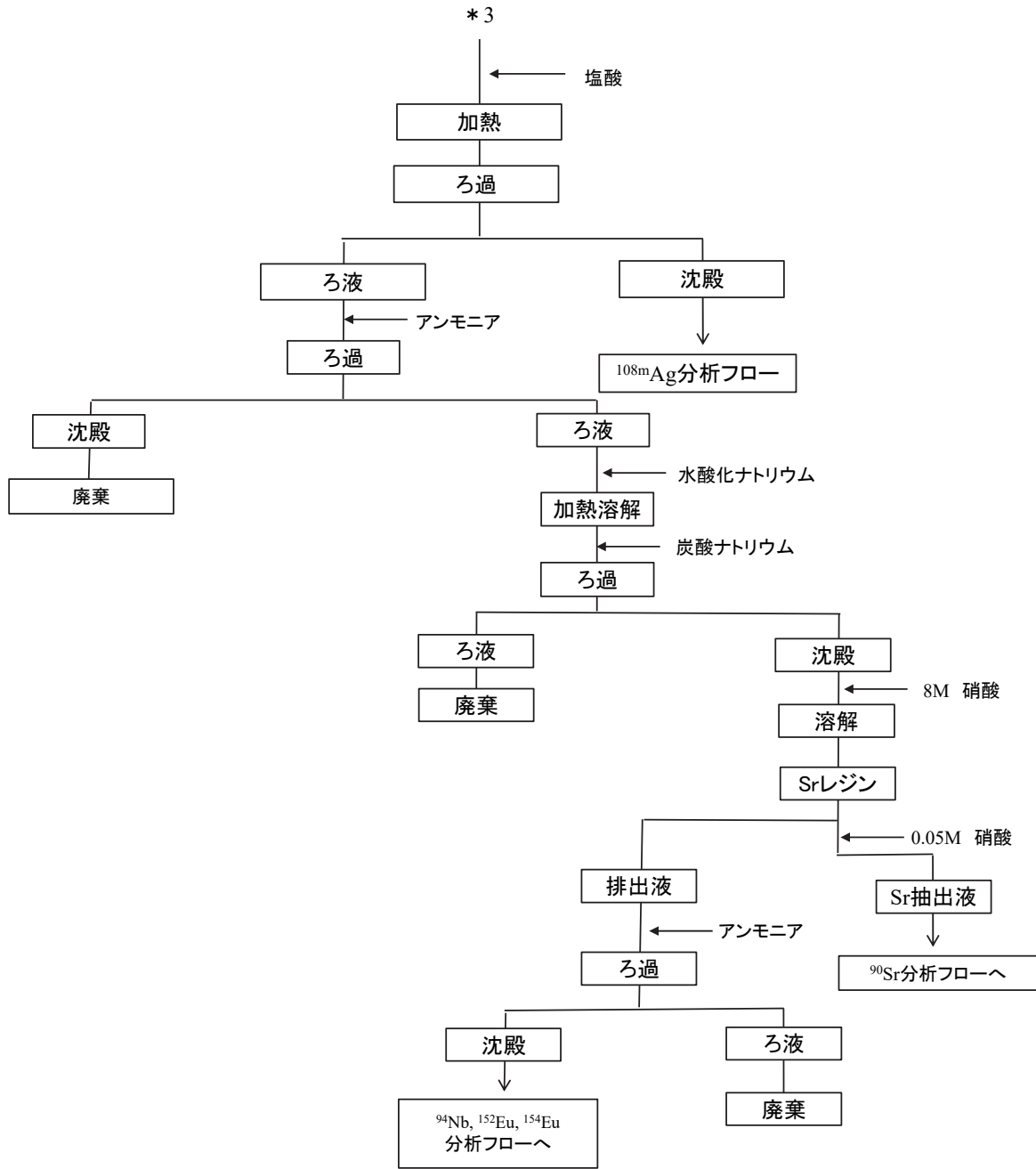


図 6 揮散回収処理フロー (P-82Z-656) (2/2)

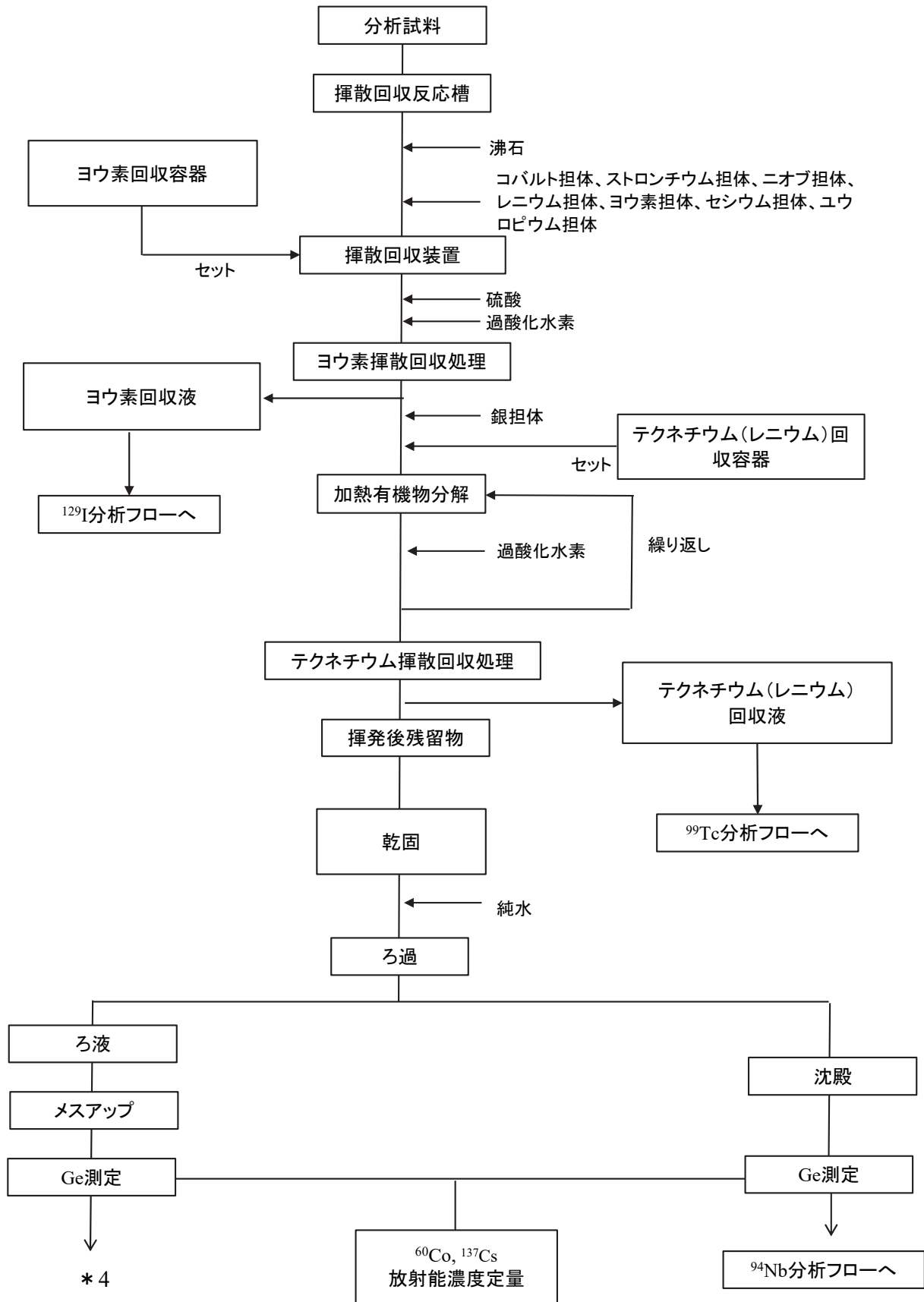


図7 揮散回収処理フロー (P-832-702) (1/2)

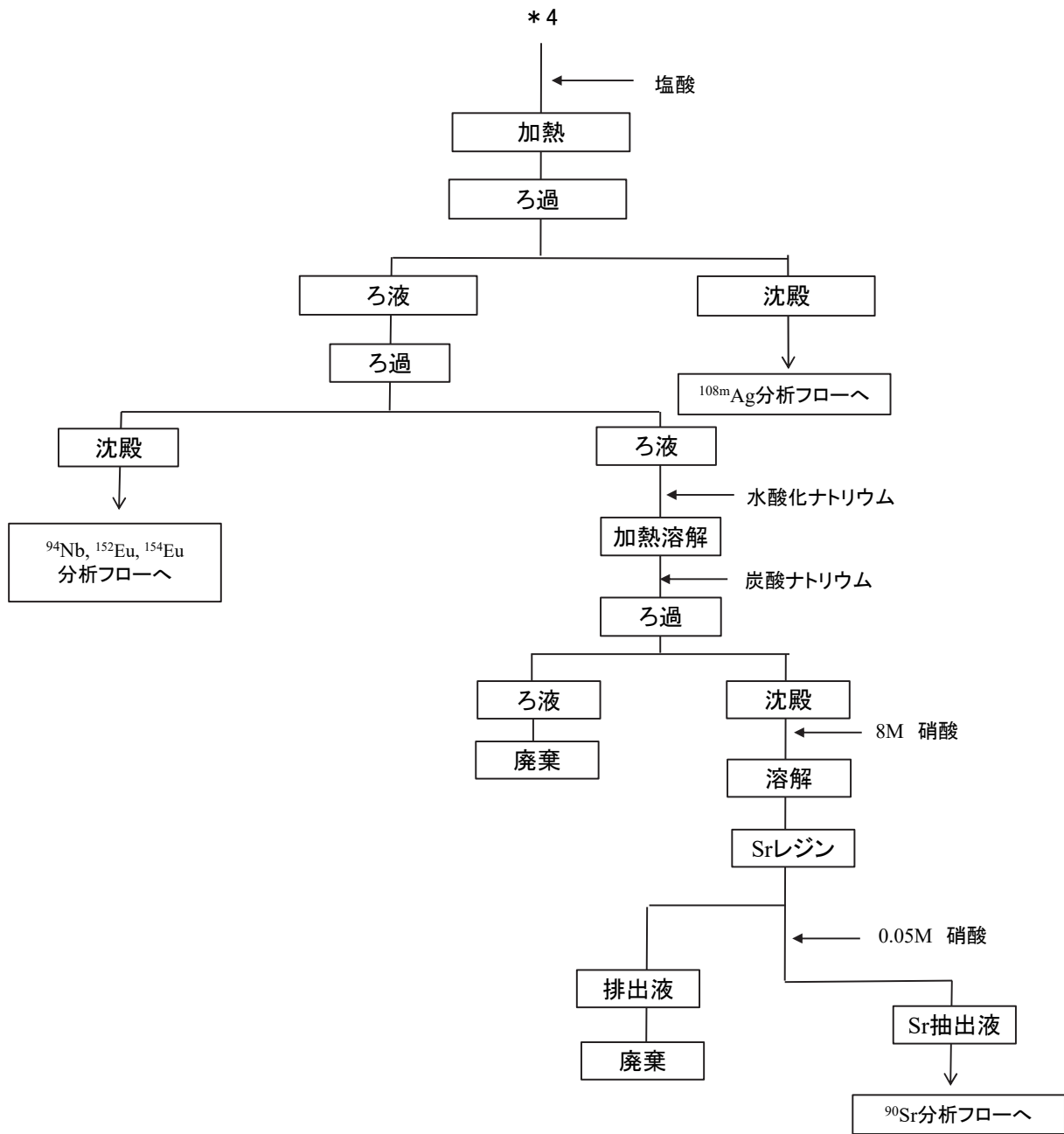


図 7 揮散回収処理フロー (P-832-702) (2/2)

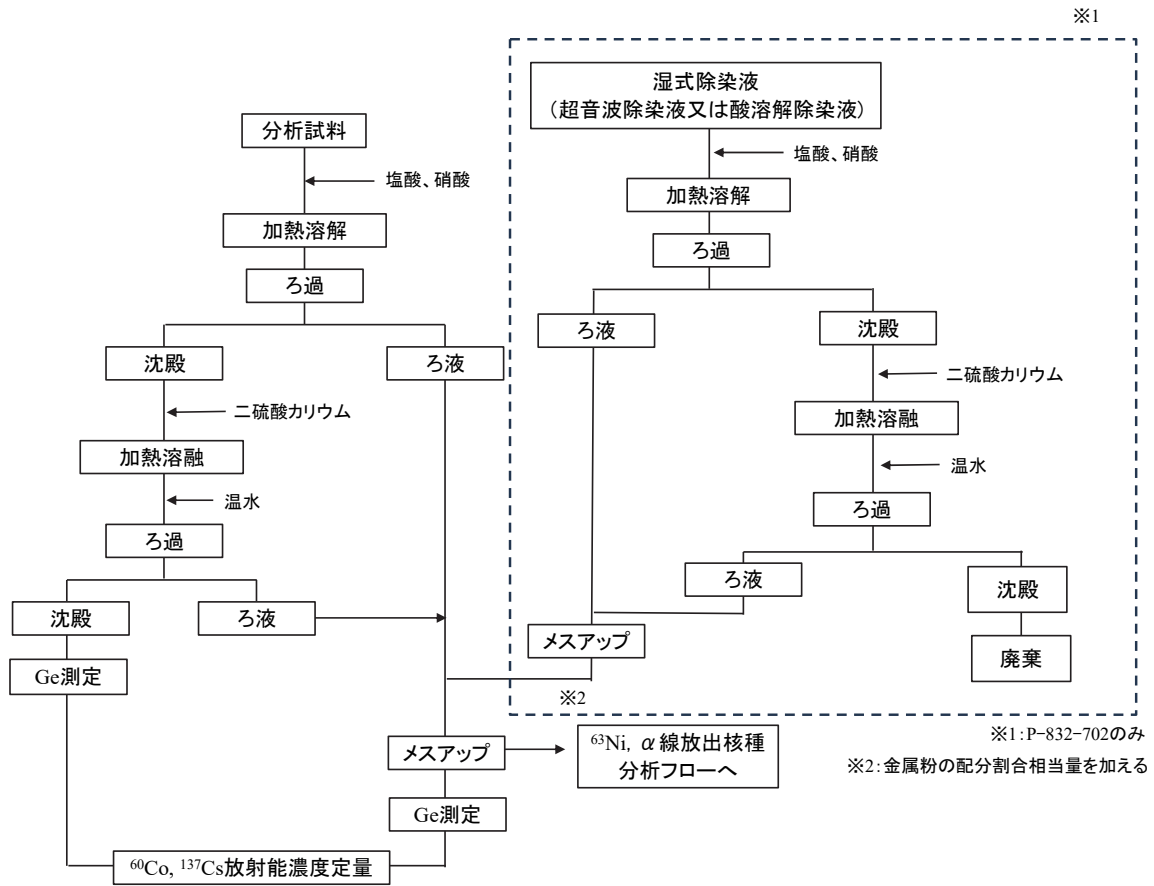


図 8 ^{63}Ni 、 α 線放出核種前処理フロー（金属試料）

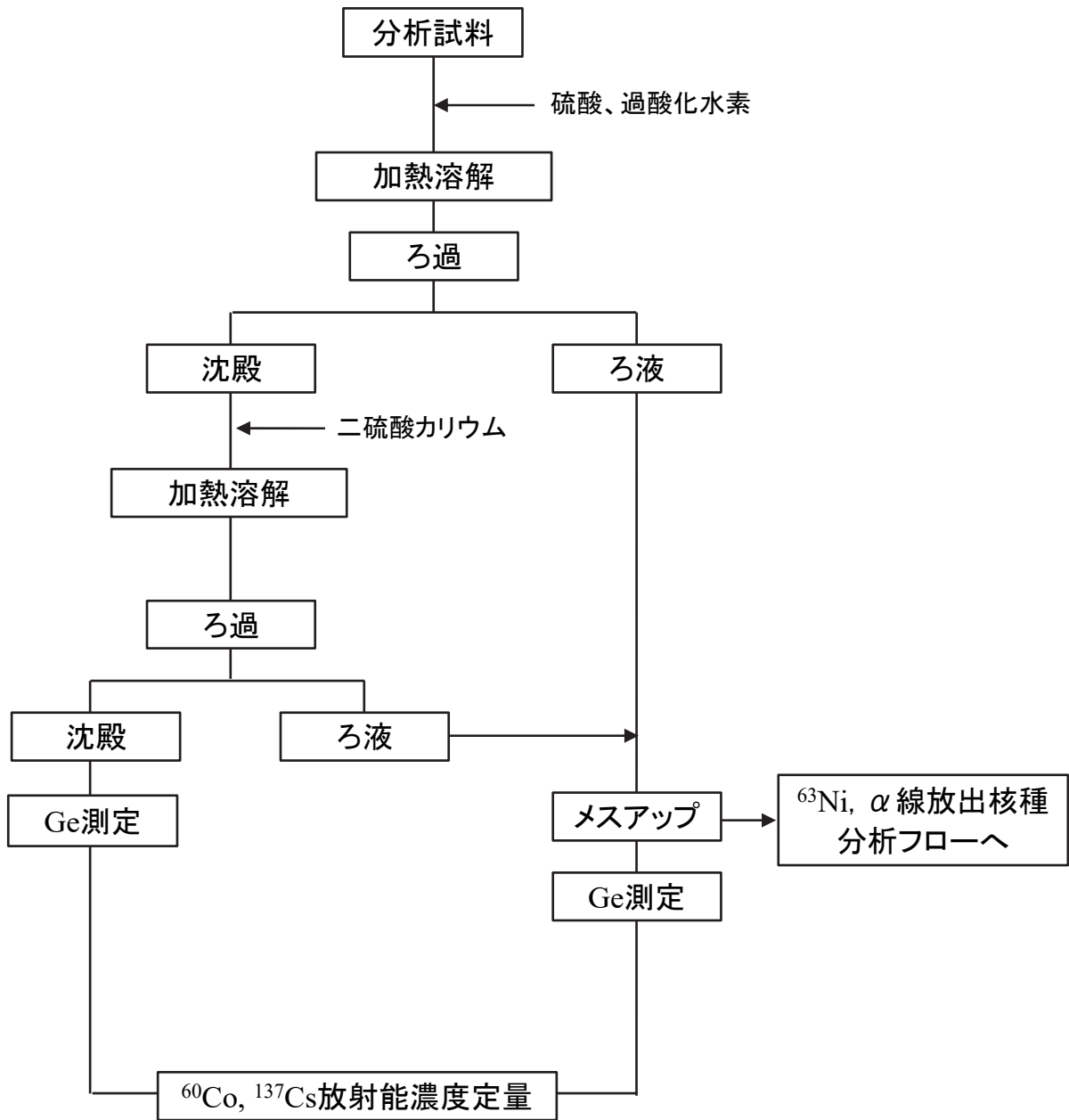


図9 ^{63}Ni 、 α 線放出核種前処理フロー（塩化ビニル試料）

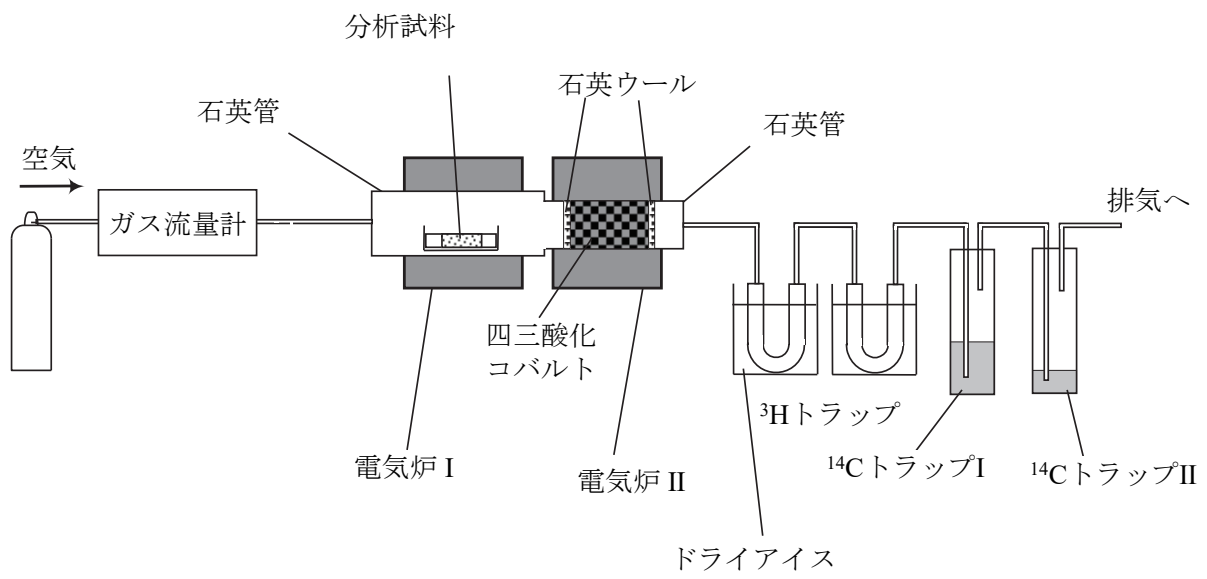


図 10 燃焼装置

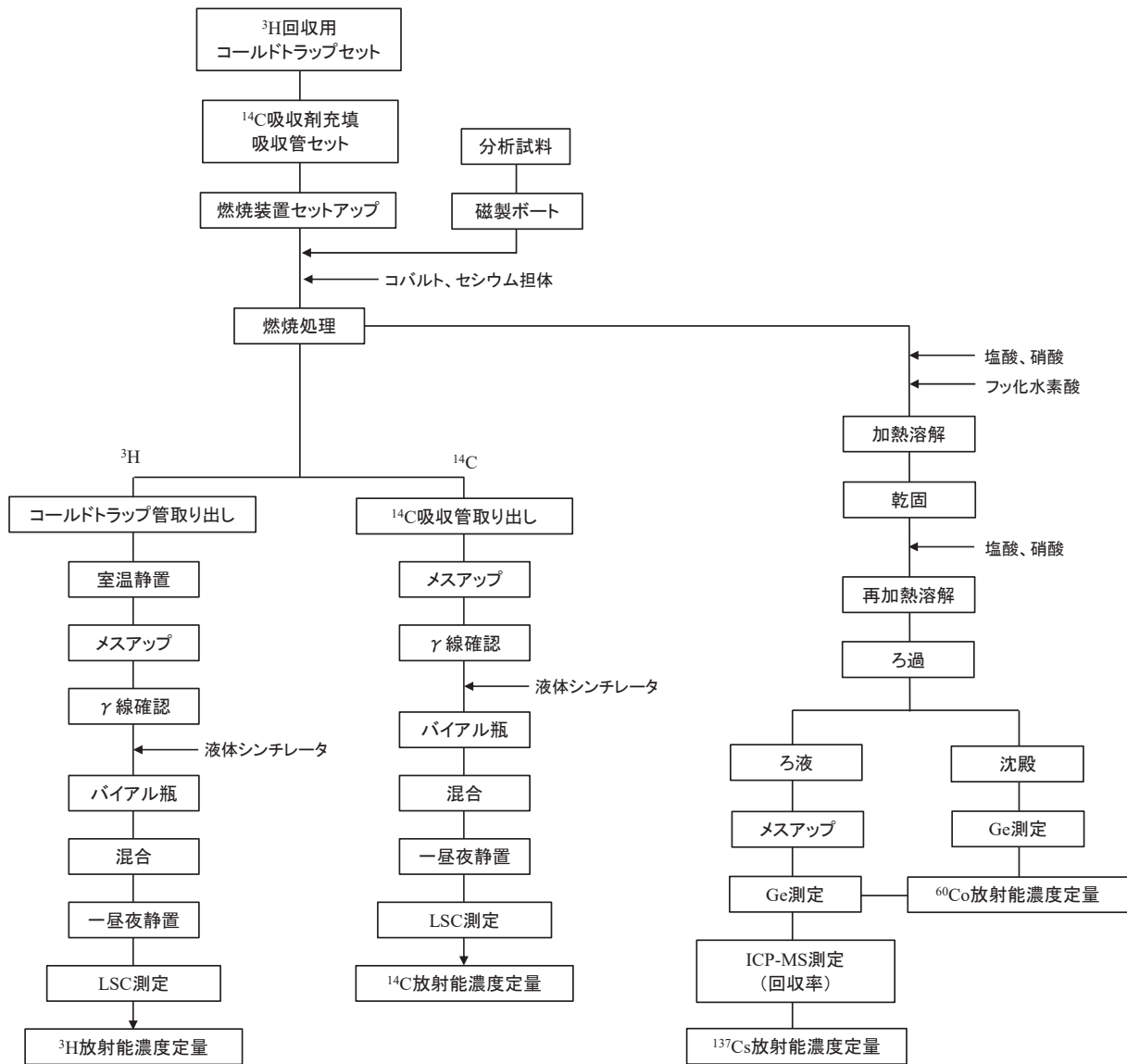


図 11 ^3H 及び ^{14}C 分析フロー

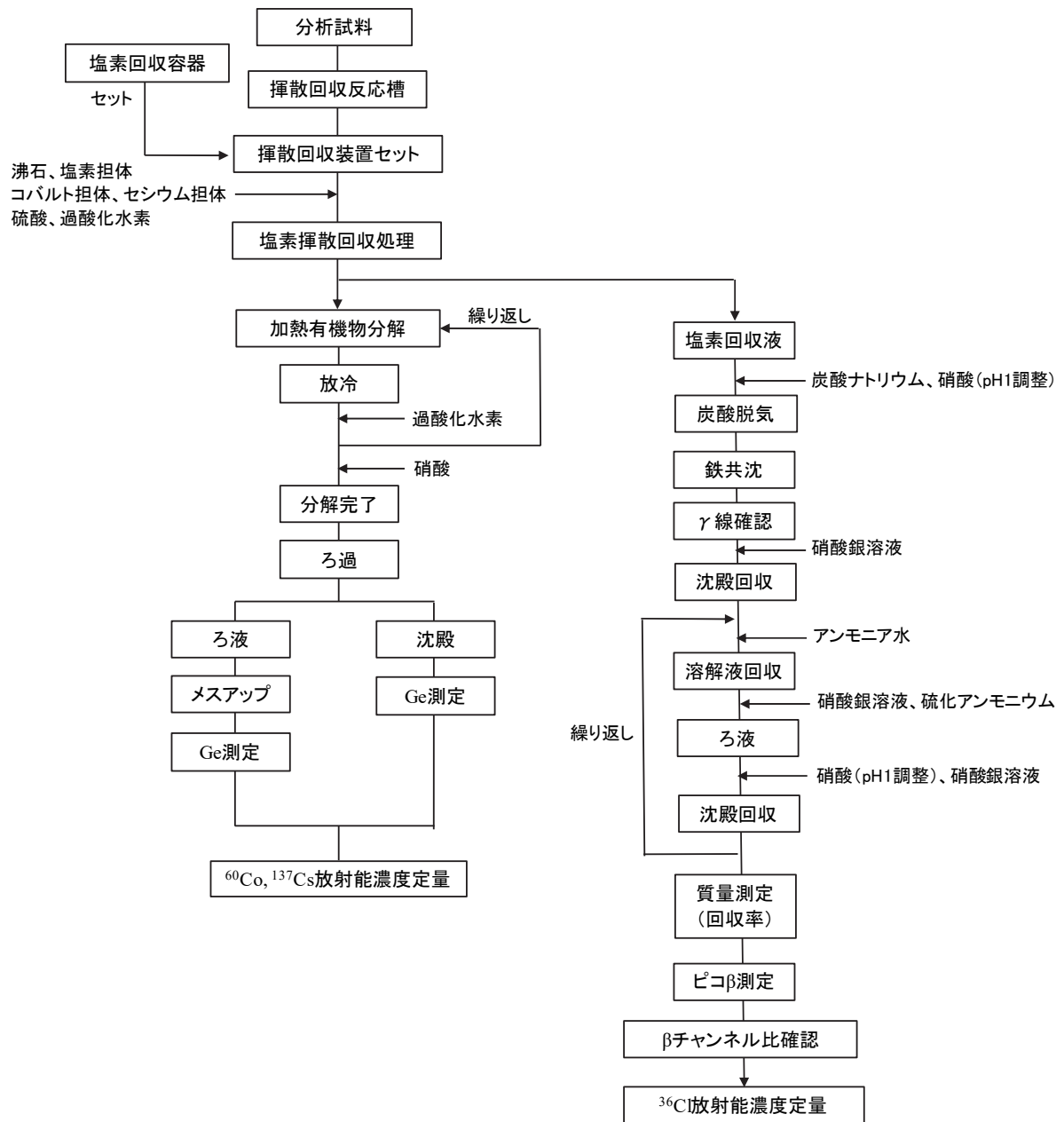


図 12 ^{36}Cl 分析フロー

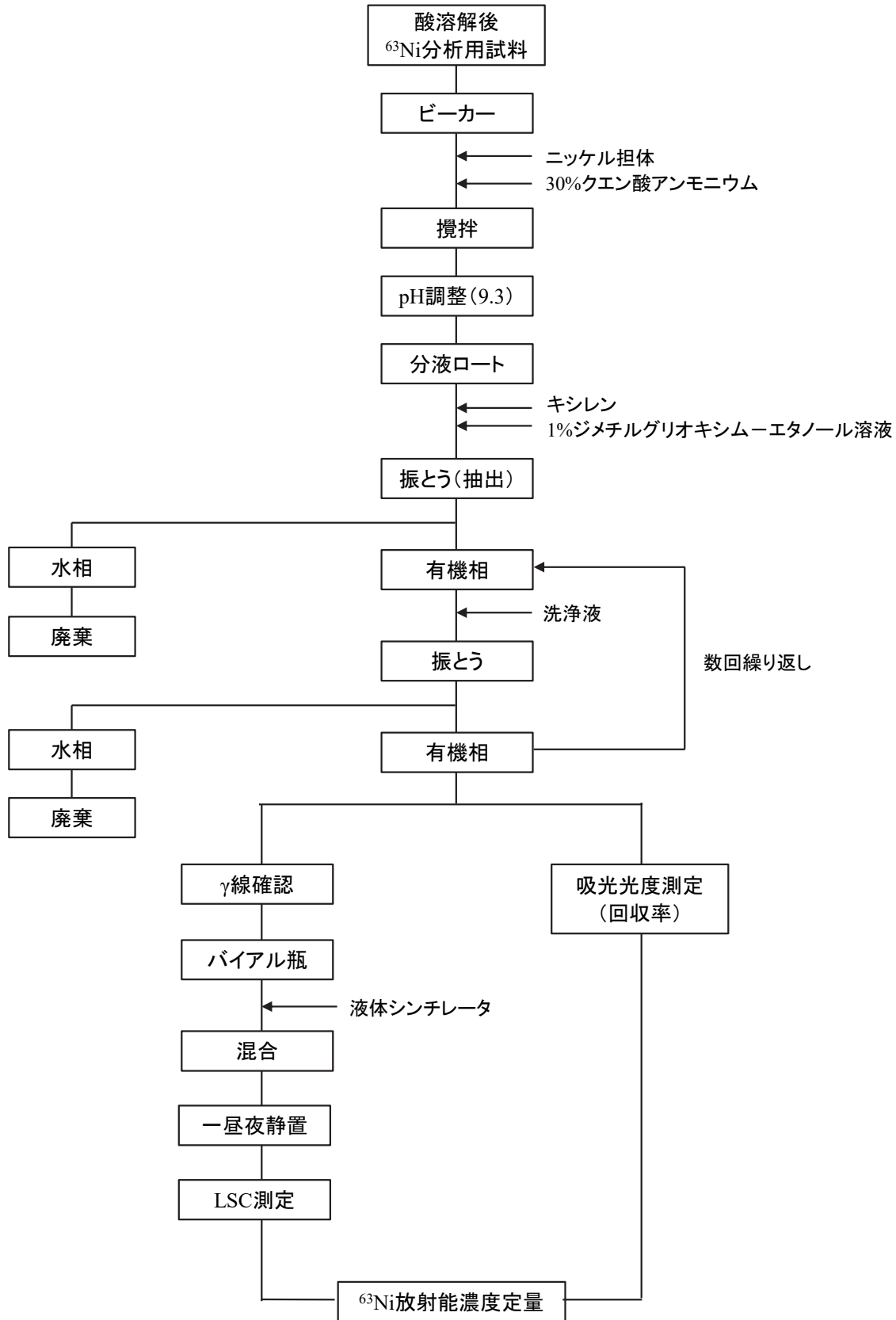


図 13 ^{63}Ni 分析フロー

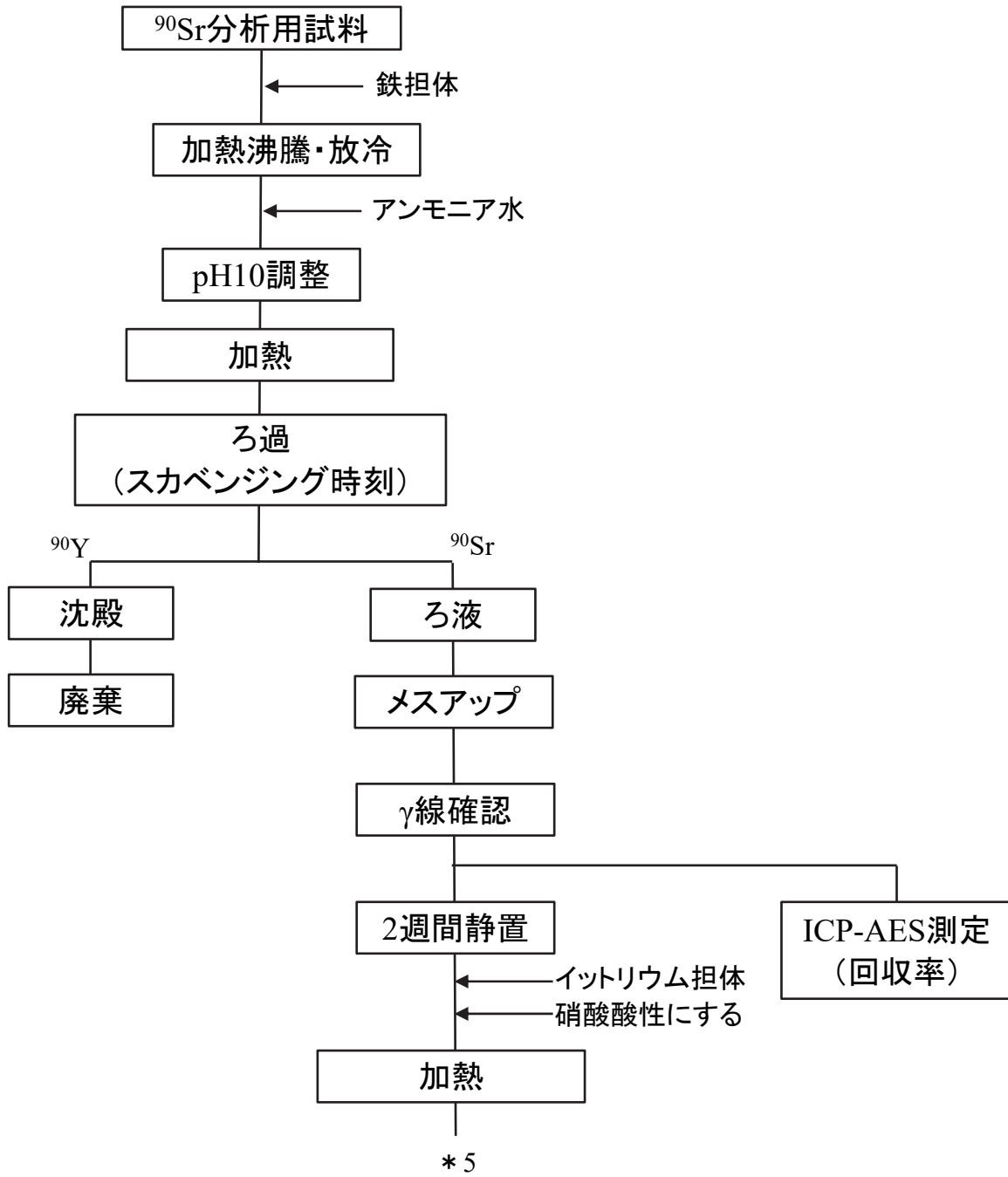


図 14 ^{90}Sr 分析フロー (1/2)

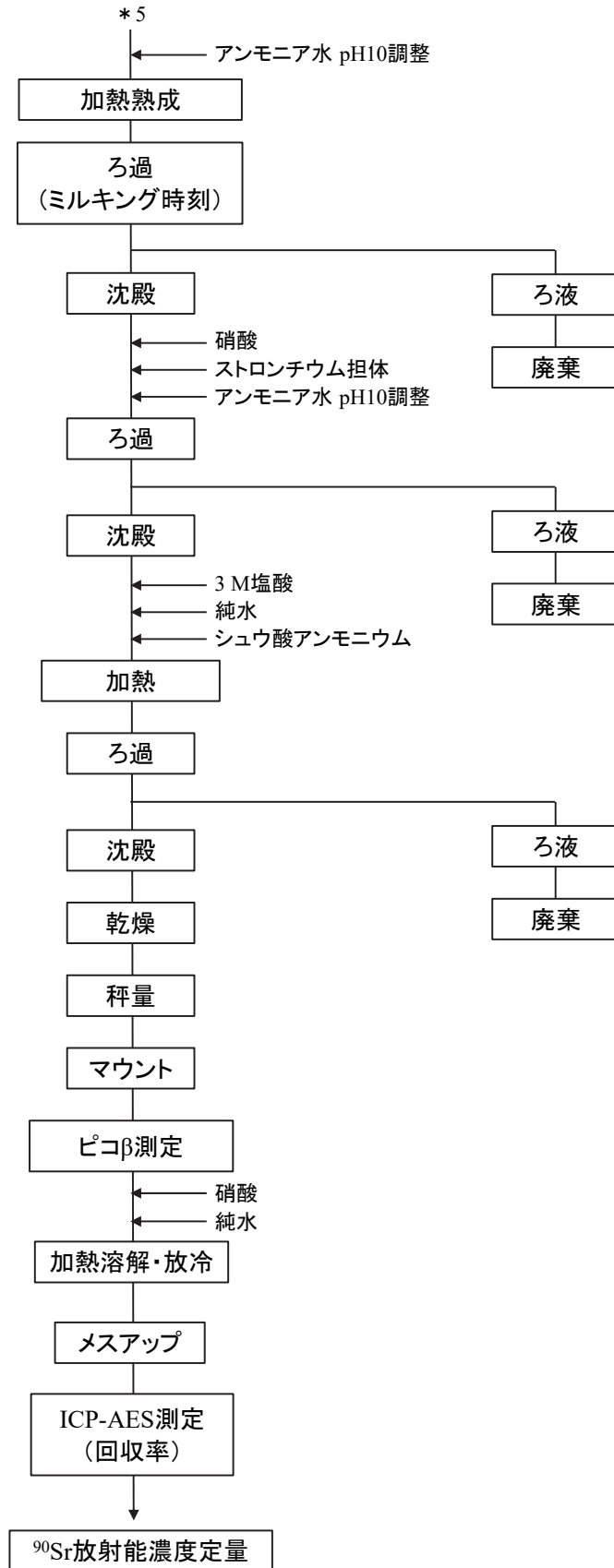


図 14 ^{90}Sr 分析フロー (2/2)

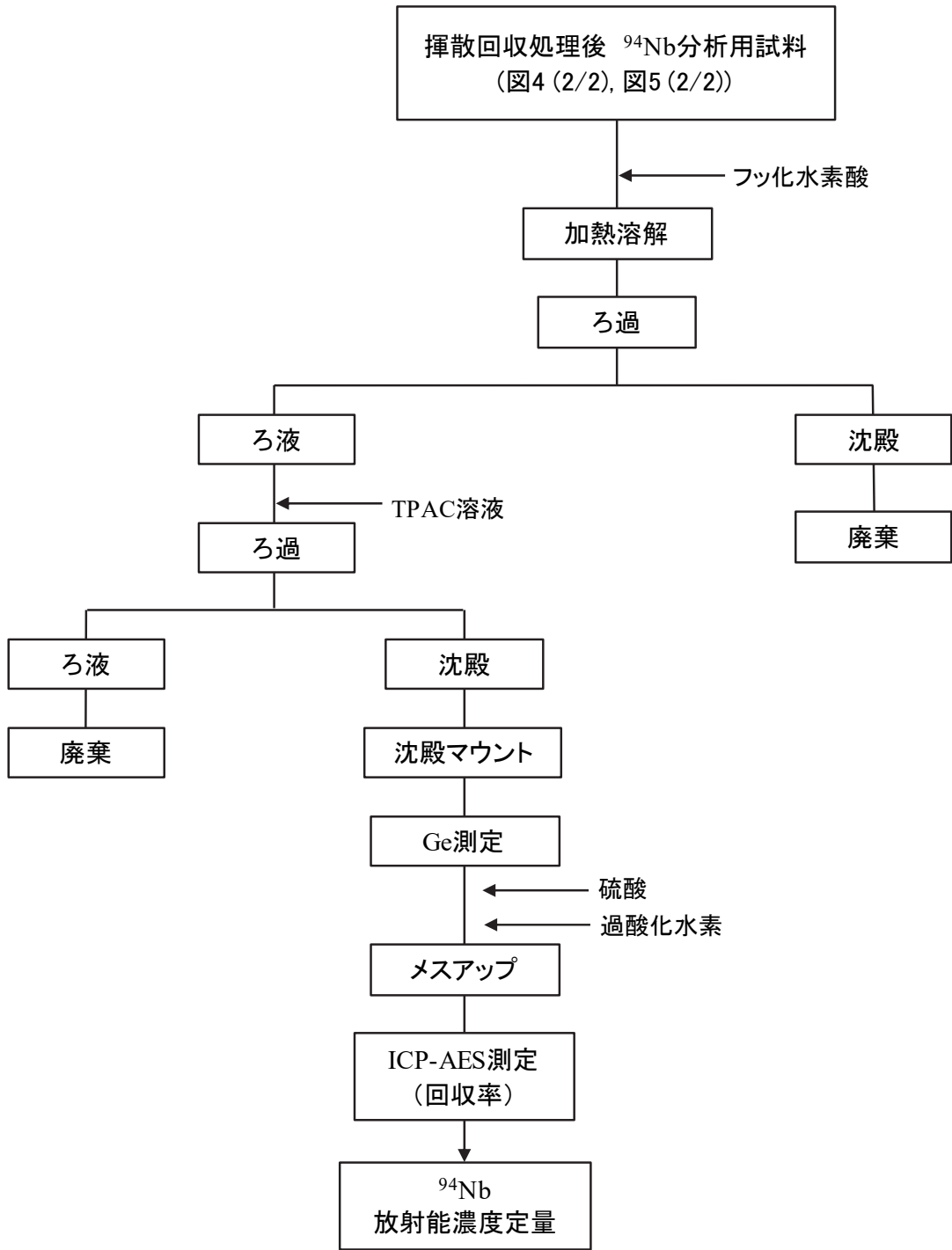


図 15 ⁹⁴Nb 分析フロー (NY-995-154、NY-83Z-1485 及び NY-83Z-1486)

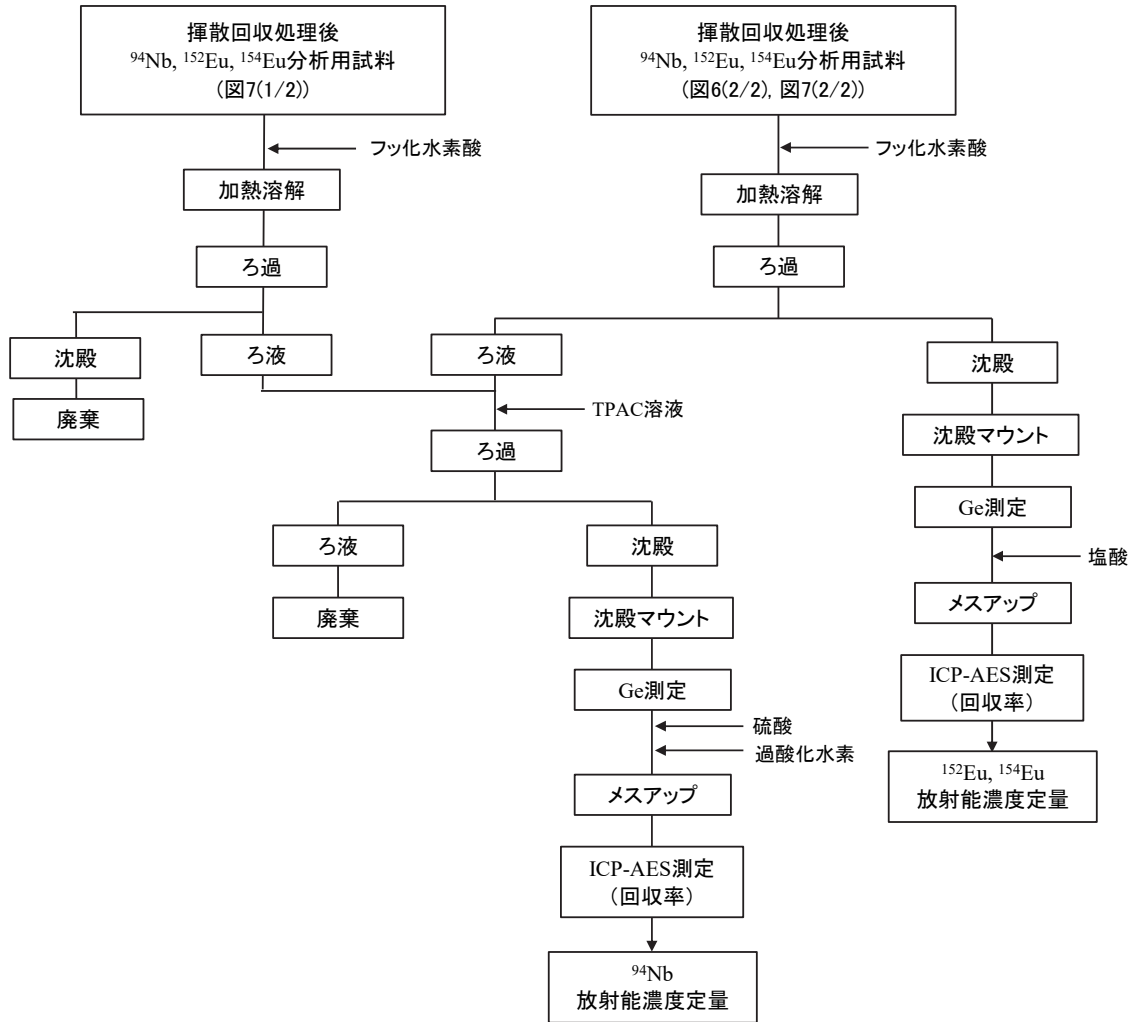


図 16 ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析フロー (P-82Z-656 及び P-832-702)

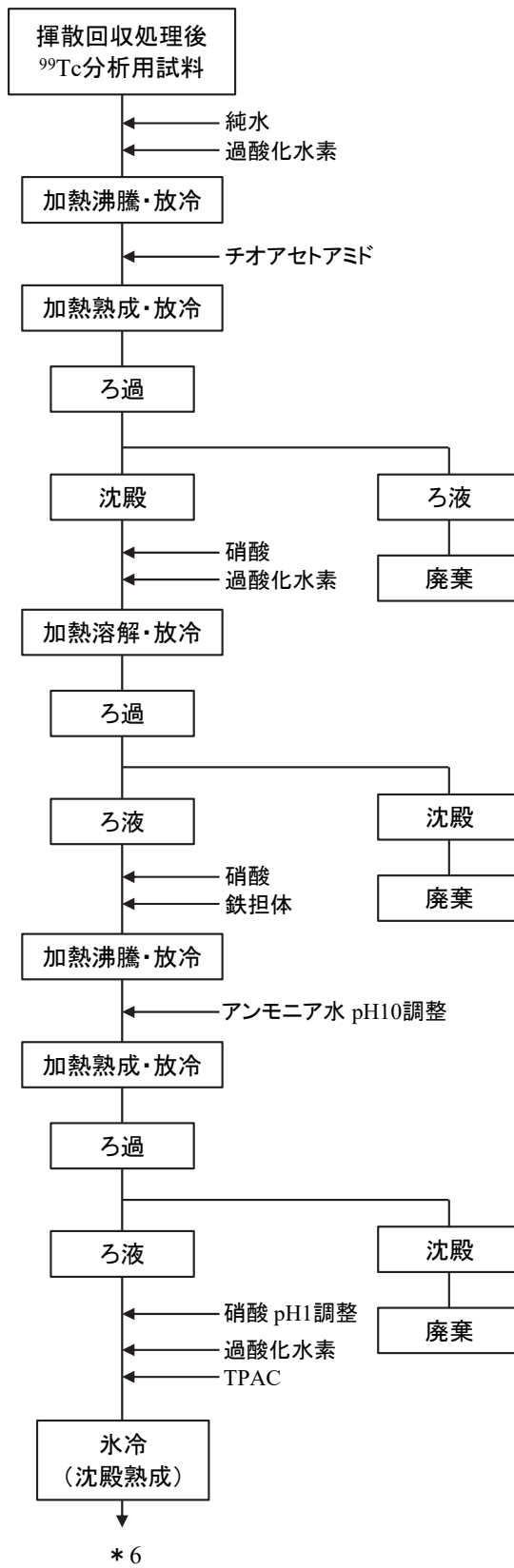


図 17 ^{99}Tc 分析フロー (1/2)

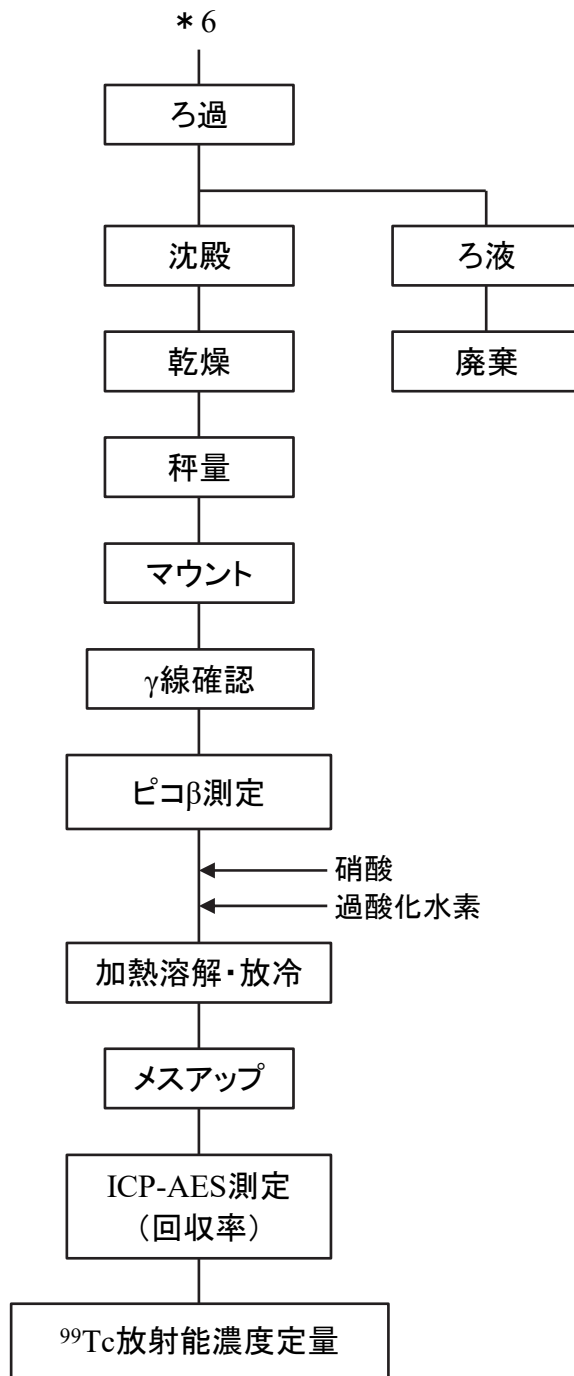


図 17 ⁹⁹Tc 分析フロー (2/2)

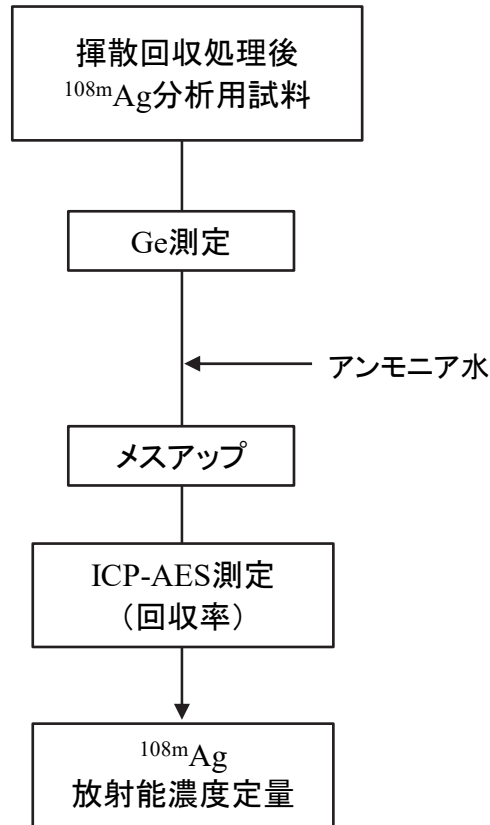


図 18 ^{108m}Ag 分析フロー

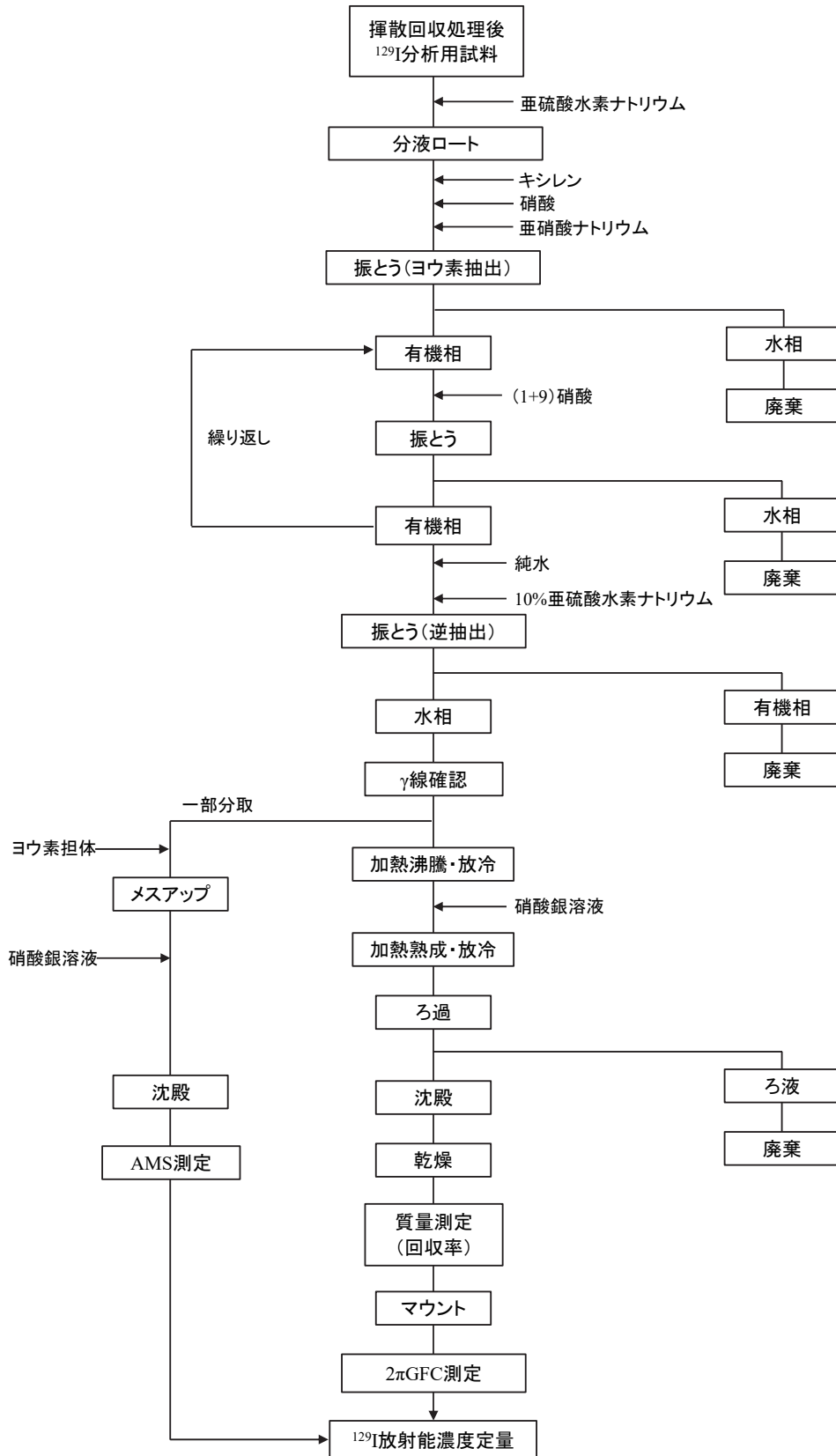


図 19 ^{129}I 分析フロー

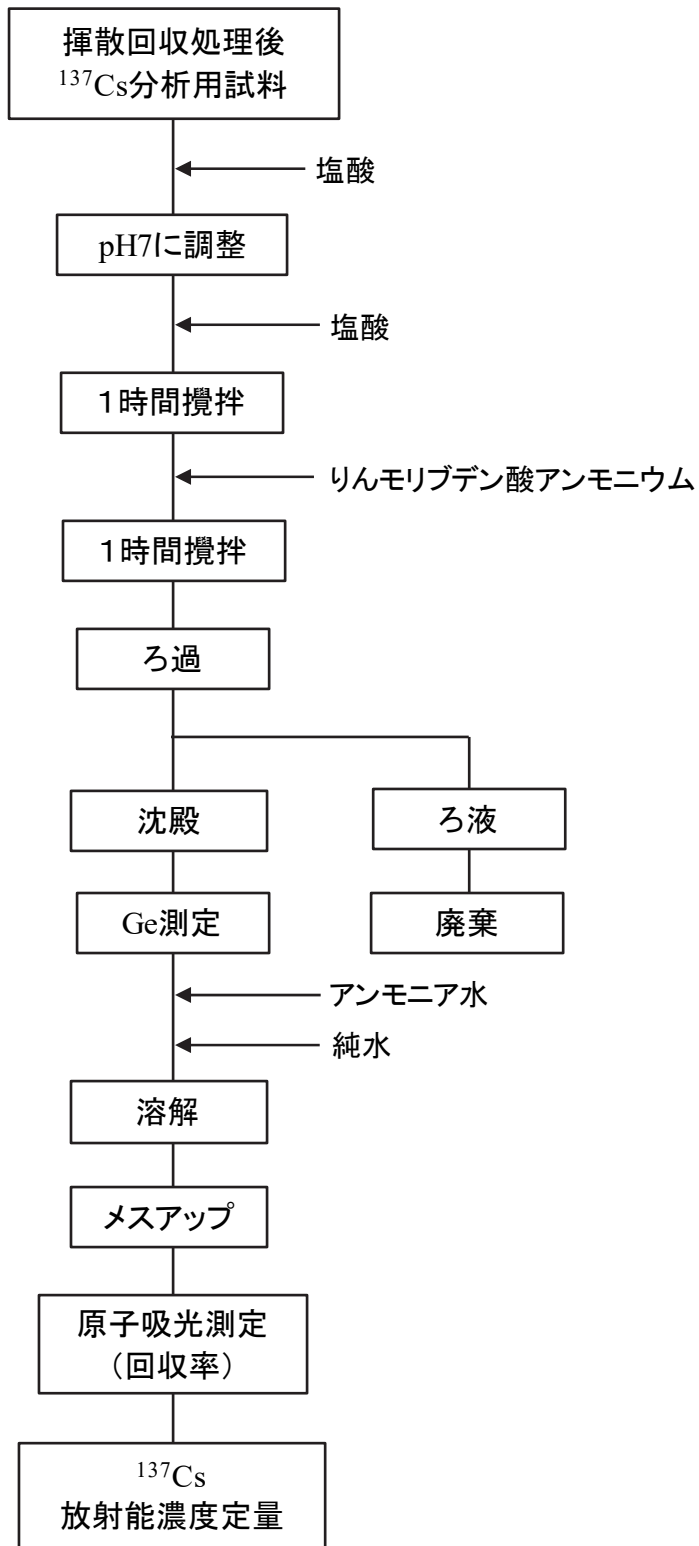


図 20 ^{137}Cs 分析フロー

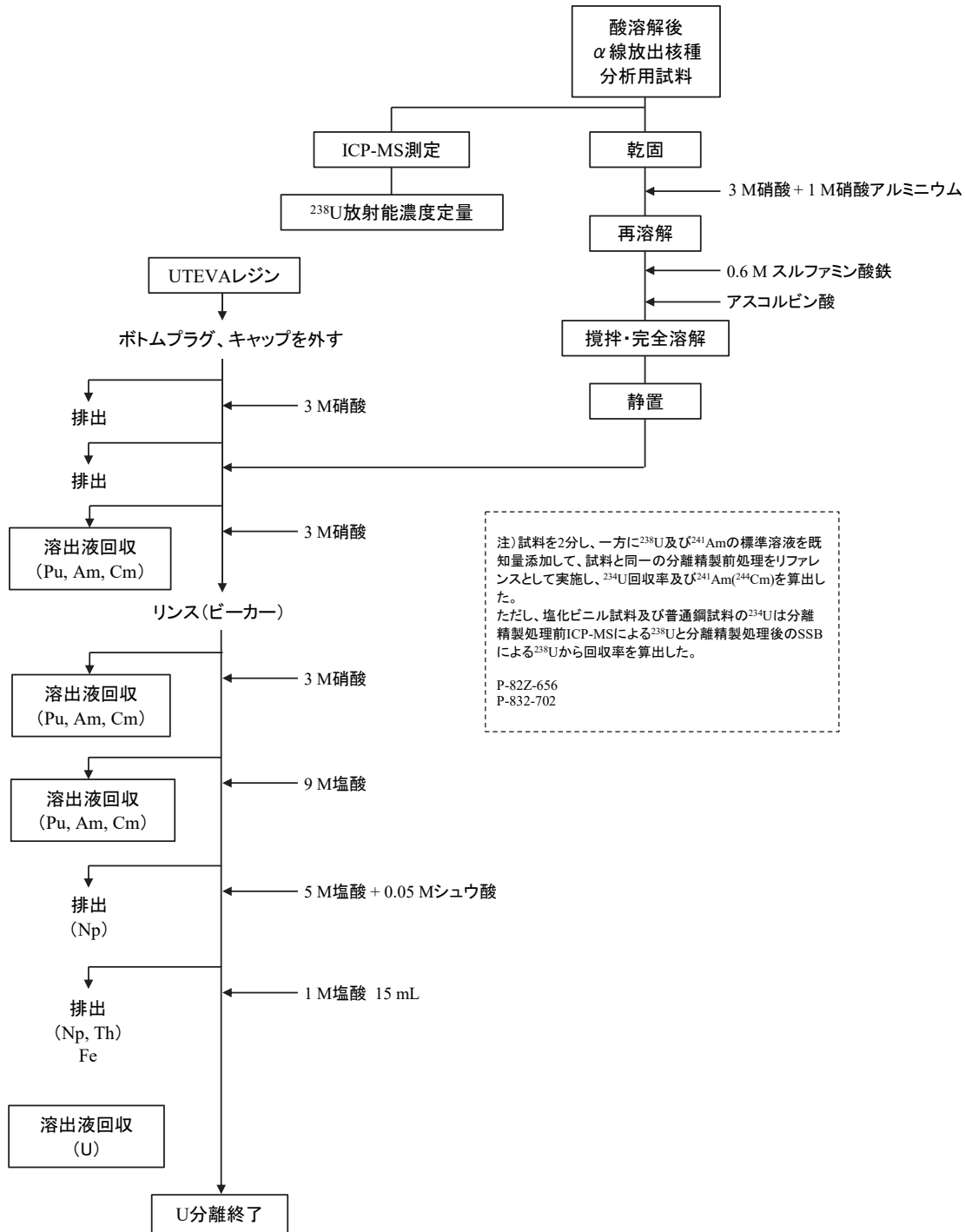


図 21 α線放出核種分析フロー (1/3)

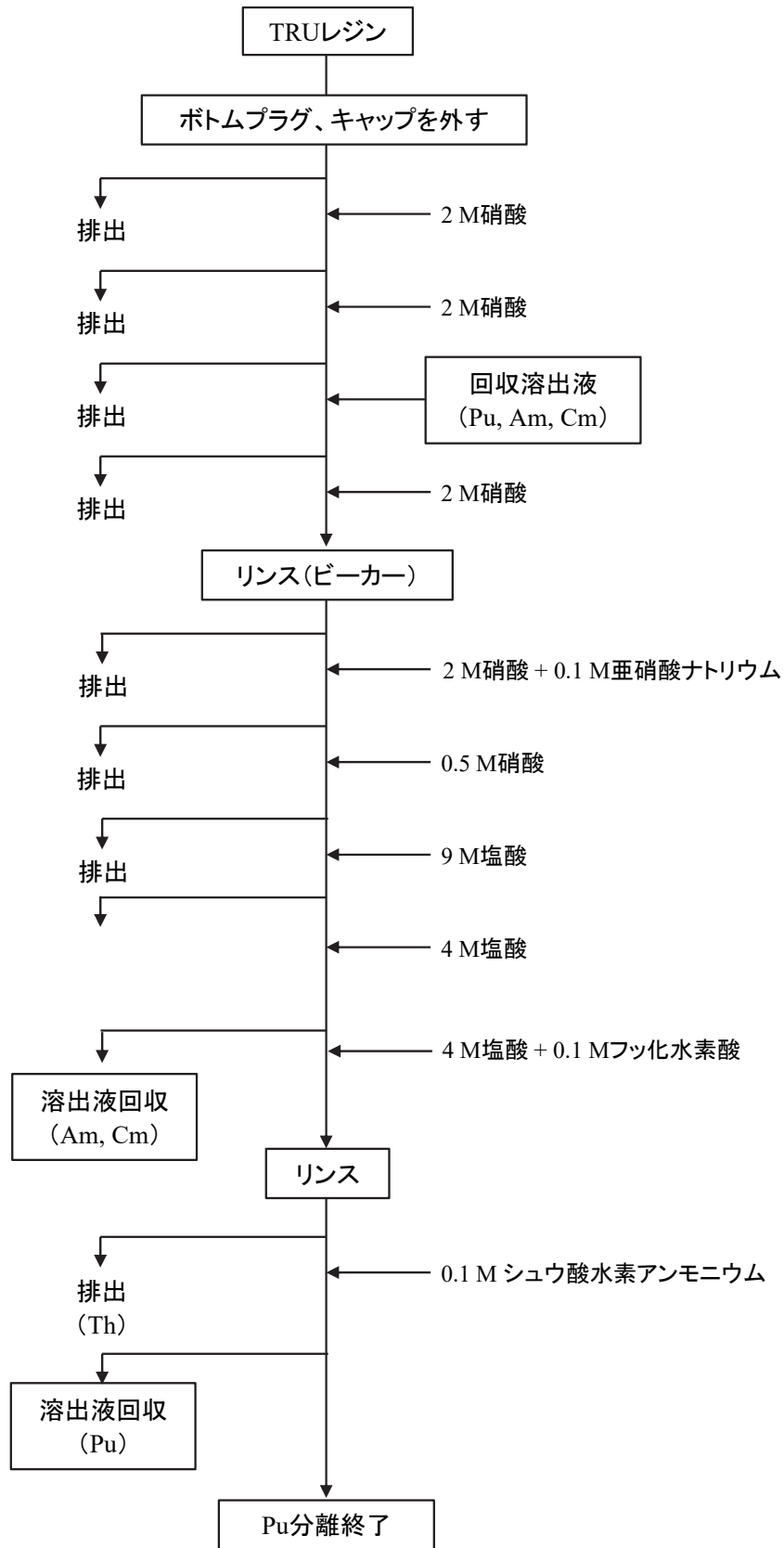


図 21 α線放出核種分析フロー (2/3)

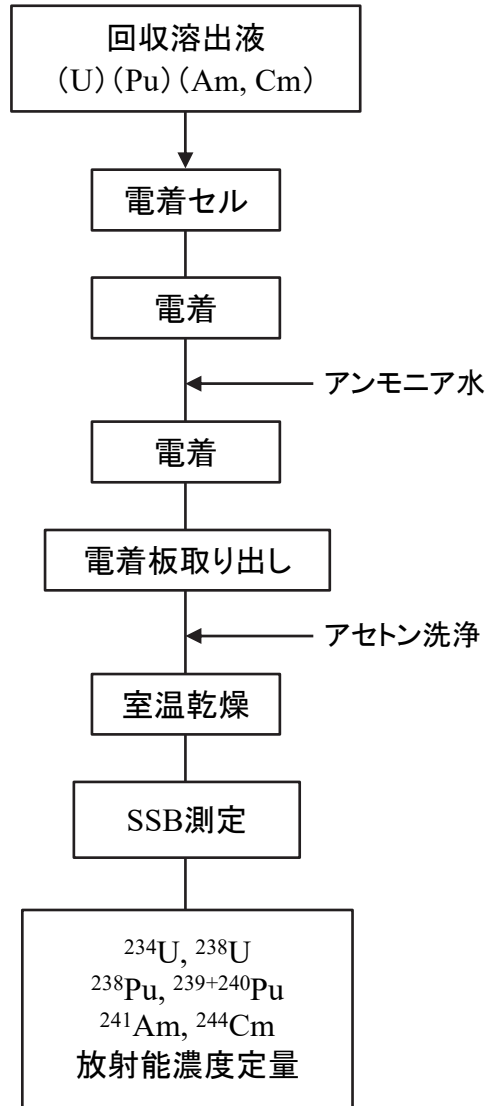


図 21 α 線放出核種分析フロー (3/3)

