

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

Analysis of the Radioactivity Concentrations in Low-level Radioactive Waste Generated
from JPDR and JRR-4

青野 竜士 水飼 秋菜 原賀 智子 石森 健一郎
亀尾 裕

Ryuji AONO, Akina MITSUKAI, 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

August 2020

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

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 (<https://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方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
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, 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, 2020

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

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

青野 竜士、水飼 秋菜、原賀 智子、石森 健一郎、亀尾 裕

(2020 年 5 月 29 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廃棄物は、放射能レベルに応じて将来的に浅地中埋設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のため、原子力科学研究所内に保管されている JPDR 及び JRR-4 から発生した放射性廃棄物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、平成 30 年度に取得した 19 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 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{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、ニュークリア・デベロップメント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

Analysis of the Radioactivity Concentrations in Low-level Radioactive Waste Generated
from JPDR and JRR-4

Ryuji AONO, Akina MITSUKAI, 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 May 29, 2020)

Radioactive wastes which generated from research and testing reactors in Japan Atomic Energy Agency are planning to be buried at the near surface disposal field. Therefore, it is required to establish the method to evaluate the radioactivity concentrations of radioactive wastes by the time it starts disposal. In order to contribute to this work, we collected and analyzed the samples generated from JPDR and JRR-4. In this report, we summarized the radioactivity concentrations of 19 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 , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm) which were obtained from radiochemical analysis of those samples.

Keywords: Low-level Radioactive Waste, Radioactivity Concentration, Radiochemical Separation, Solid Phase Extraction, Metal Samples, JPDR, JRR-4

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

目 次

1. はじめに.....	1
2. 放射能分析方法.....	2
2.1 試料の概要.....	2
2.2 試料前処理(粉碎・ふるい分け、研磨、揮散回収処理).....	2
2.3 ³ H 及び ¹⁴ C 分析.....	3
2.4 ³⁶ Cl 分析.....	4
2.5 ⁶⁰ Co 分析.....	4
2.6 ⁶³ Ni 分析及び ²³⁴ U、 ²³⁸ U、 ²³⁸ Pu、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、 ²⁴¹ Am、 ²⁴⁴ Cm 分析の前処理.....	4
2.7 ⁶³ Ni 分析.....	4
2.8 ⁹⁰ Sr 分析.....	5
2.9 ⁹⁴ Nb、 ¹⁵² Eu 及び ¹⁵⁴ Eu 分析.....	5
2.10 ⁹⁹ Tc 分析.....	6
2.11 ^{108m} Ag 分析.....	6
2.12 ¹²⁹ I 分析.....	6
2.13 ¹³⁷ Cs 分析.....	6
2.14 α 線放出核種 (²³⁴ U、 ²³⁸ U、 ²³⁸ Pu、 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu、 ²⁴¹ Am 及び ²⁴⁴ Cm) 分析.....	7
3. 放射化学分析結果.....	8
4. まとめ.....	8
謝辞.....	8
参考文献.....	9

Contents

1. Introduction	1
2. Methods for radioactivity analysis.....	2
2.1 Overview of analysis sample.....	2
2.2 Preprocessing for analysis sample	2
2.3 Analysis of ^3H and ^{14}C	3
2.4 Analysis of ^{36}Cl	4
2.5 Analysis of ^{60}Co	4
2.6 Preprocessing for sample of ^{63}Ni and ^{234}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{244}Cm	4
2.7 Analysis of ^{63}Ni	4
2.8 Analysis of ^{90}Sr	5
2.9 Analysis of ^{94}Nb , ^{152}Eu and ^{154}Eu	5
2.10 Analysis of ^{99}Tc	6
2.11 Analysis of $^{108\text{m}}\text{Ag}$	6
2.12 Analysis of ^{129}I	6
2.13 Analysis of ^{137}Cs	6
2.14 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	核種分析でを使用した測定機器一覧	10
表 2	分析試料リスト	11
表 3	分析試料別の試料分配	31
表 4	粉碎・ふるい分け前後の外観写真	33
表 5	削り取り前後の外観写真	34
表 6	^3H の分析結果	39
表 7	^{14}C の分析結果	39
表 8	^{36}Cl の分析結果	40
表 9	^{60}Co の分析結果	40
表 10	^{63}Ni の分析結果	41
表 11	^{90}Sr の分析結果	41
表 12	^{94}Nb の分析結果	42
表 13	^{99}Tc の分析結果	42
表 14	$^{108\text{m}}\text{Ag}$ の分析結果	43
表 15	^{129}I の分析結果	43
表 16	^{137}Cs の分析結果	44
表 17	^{152}Eu の分析結果	44
表 18	^{154}Eu の分析結果	45
表 19	^{234}U の分析結果	45
表 20	^{238}U の分析結果	46
表 21	^{238}Pu の分析結果	46
表 22	$^{239+240}\text{Pu}$ の分析結果	47
表 23	^{241}Am の分析結果	47
表 24	^{244}Cm の分析結果	48

図リスト

図 1 分析概要フロー.....	49
図 2 分析試料(コンクリート)の粉砕・ふるい分け処理フロー.....	50
図 3 分析試料(金属)の削り取り処理フロー.....	51
図 4 分析試料(コンクリート)の揮散回収処理フロー.....	52
図 5 分析試料(金属及び塩ビ)の揮散回収処理フロー.....	54
図 6 ^3H 及び ^{14}C 分析フロー.....	56
図 7 ^{36}Cl 分析フロー.....	58
図 8 ^{63}Ni 分析用試料、 α 線放出核種分析用試料の前処理フロー.....	59
図 9 ^{63}Ni 分析フロー.....	60
図 10 ^{90}Sr 分析フロー.....	61
図 11 ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析フロー.....	63
図 12 ^{99}Tc 分析フロー.....	64
図 13 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析フロー.....	65
図 14 ^{129}I 分析フロー.....	66
図 15 ^{137}Cs 分析フロー.....	67
図 16 α 線放出核種 (^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm) 分析フロー.....	68

1. はじめに

廃棄物埋設事業者は、放射性廃棄物の埋設処分にあたり、処分対象となる廃棄体一体ごとに法令で定められている技術上の基準に適合していることについて規制当局による確認を受けなければならないことが「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」で規定されている。埋設処分を先行して実施している原子力発電所では、浅地中処分対象の廃棄体一体ごとに、廃棄体に含まれる放射性物質の濃度についてスケーリングファクタ法(以下、「SF法」という。)のような合理的な放射能濃度評価法により評価している。

日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)の研究施設等から発生した放射性廃棄物(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処分の実施が予定されており、原子力発電所同様に合理的な放射能濃度の評価方法を構築する必要がある。この取り組みの一環としてこれまでに、アスファルト固化対象の濃縮廃液¹⁾や動力試験炉(JPDR)²⁾⁻⁵⁾、研究用原子炉のJRR-2及びJRR-3^{6,7)}、ホットラボ⁸⁾から発生した廃棄物に対し放射化学分析を実施し、放射能濃度評価法について検討した⁹⁾⁻¹²⁾。

本報告では放射能濃度評価方法を検討するため、JPDR 及び研究用原子炉である JRR-4 から採取した放射性廃棄物を対象に実施した放射化学分析及び結果について記述する。放射化学分析を実施した核種は、JPDR において安全評価上重要核種であると予備評価された¹³⁾ 15 核種(³H、¹⁴C、³⁶Cl、⁶⁰Co、⁶³Ni、⁹⁰Sr、⁹⁴Nb、⁹⁹Tc、¹³⁷Cs、¹⁵²Eu、¹⁵⁴Eu、²³⁴U、²³⁸U、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、²⁴¹Am)である。JRR-4 においても同様に安全評価上重要核種として予備評価された¹³⁾ 19 核種(³H、¹⁴C、³⁶Cl、⁶⁰Co、⁶³Ni、⁹⁰Sr、⁹⁴Nb、⁹⁹Tc、^{108m}Tc、¹²⁹I、¹³⁷Cs、¹⁵²Eu、¹⁵⁴Eu、²³⁴U、²³⁸U、²³⁸Pu、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、²⁴¹Am、²⁴⁴Cm)である。このとき、²³⁹Pu と ²⁴⁰Pu はスペクトル上の分離が困難な核種であるため、²³⁹⁺²⁴⁰Pu として放射能濃度を算出した。

2. 放射能分析方法

2.1 試料の概要

JPDR 及び JRR-4 から採取した分析試料(11 試料)を本試験の対象とした。分析の概要を図 1 に示す。また、表 1 に使用した測定機器等の情報を、表 2 に分析試料の形状、材質、外観等を示す。

2.2 試料前処理（粉砕・ふるい分け、研磨、揮散回収処理）

分析対象核種別の試料配分を表 3 に示す。今回の核種分析では分析試料の材質に応じ、異なる前処理方法を適用した。分析試料のうち材質がコンクリートの前処理フローを図 2 に示す。粉砕とふるい分けをした後、混合して均一化したものを核種分析に供した。粉砕・ふるい分け前後の外観の変化を表 4 に示す。分析試料のうち材質が金属(アルミニウム、ステンレス、普通鋼)の前処理フローを図 3 に示す。精密グラインダーで表面削り取り処理を繰り返し 2 回行い、削り取った金属粉を回収し、核種分析に供した。材質が金属の分析試料は、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、分析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 半導体検出器による放射能測定(全計数率(cps))を実施した。金属の初期放射能(A_0)と繰り返し 2 回の表面削り取り処理後の放射能(A_2)を測定した結果、金属の初期放射能(A_0)と繰り返し 2 回の削り取り処理後の放射能(A_2)の変化は小さかったため、今回分析する金属は、いずれも表面汚染に加えて放射化汚染が考えられる。削り取り前後の外観の変化を表 5 に示す。材質が塩化ビニル(以下、「塩ビ」という。)のものについては、粉砕、研磨などの処理を行わずに核種分析に供した。

分析対象核種のうち、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu に対する分析の前処理として揮散回収処理を実施した。材質がコンクリートの分析対象核種は ^{60}Co 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu である。コンクリートの揮散回収処理のフローを図4に示す。粉砕後の分析試料を反応槽に入れて担体としてコバルト、ニオブ、レニウム(テクネチウム担体の代替)、セシウム及びユウロピウムを添加し、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 とレニウムを過レニウム(テクネチウム)酸として揮散回収した。この操作を5度繰り返し、凝集液を ^{99}Tc 分析用試料とした。 ^{99}Tc を揮散させた後の残渣には硫酸塩となった金属イオンが含まれている。そこで硝酸で加熱溶解し、金属イオンを回収した。硝酸溶解液をろ過した後、硝酸で溶け切らなかった沈殿は、フッ化水素酸による溶解、塩酸による溶解、塩酸及び硝酸による溶解を行い、得られた溶解液は硝酸溶解液のろ液に加えた。ろ液にはアンモニア水を加えて $\text{pH} = 10$ に調整した後、沈殿を加熱熟成して再度ろ過した。ろ液は ^{137}Cs 分析用試料とした。沈殿は溶解処理で溶け残った沈殿を合わせて ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析用試料とした。材質が金属及び塩ビの分析対象核種は ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、

^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu である。金属及び塩ビの揮散回収処理フローを図5に示す。分析試料を反応槽に入れて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）、銀、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。ヨウ素は I_2 の形態で揮散させて水酸化ナトリウムにトラップし、 ^{129}I 分析用試料として回収した。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、沸騰溶液中で有機物を分解するとともに ^{99}Tc とレニウムを過レニウム(テクネチウム)酸として揮散回収した。この操作を5度繰り返し、凝集液を ^{99}Tc 分析用試料とした。 ^{99}Tc を揮散させた後の残渣は、硝酸で加熱溶解し、金属イオンを回収した。硝酸溶解液をろ過した後、ろ液に塩酸を加え塩化銀沈殿を回収し、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析用試料とした。硝酸溶解液の沈殿は、王水による酸溶解をし、得られた溶解液を塩化銀沈殿を除いたろ液に加えた。その後アンモニア水を添加し、 $\text{pH} = 10$ に調整した後、沈殿を加熱熟成して再度ろ過し、ろ液は ^{137}Cs 分析用試料とした。得られた沈殿に発煙硝酸を加え、氷冷して沈殿熟成し、沈殿をろ過した。沈殿を除いたろ液には、アンモニア水を添加し、 $\text{pH} = 10$ に調整した後、沈殿を加熱熟成して再度ろ過した。王水で溶け残った沈殿は、炭酸ナトリウム水溶液を加えて加熱熟成し、得られた沈殿に硝酸を加えて溶解した。得られた溶解液は発煙硝酸を加えて得られた沈殿と合わせて ^{90}Sr 分析用試料とした。沈殿は、アンモニア水を加えて得られた水酸化物沈殿と合わせて ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析用試料とした。

2.3 ^3H 及び ^{14}C 分析

図6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、空気中で 950°C まで昇温し、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。同時に、 ^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18.6 keV、 ^{14}C は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。また、コンクリート試料については骨材中に放射化した ^{14}C が存在している可能性が考えられるため、燃焼処理後の試料についてアルカリ融解による追加処理を実施した。融解処理後の融解物を純水で溶解し、硝酸を加えて CO_2 の化学形として ^{14}C 吸収剤に回収し、前述と同じ手順で ^{14}C の β 線をLSCで測定した。 ^3H 放射エネルギー及び ^{14}C 放射エネルギーは、 950°C の燃焼処理で試料中の ^3H 及び ^{14}C は全てオフガスへ移行しているものと考えられ、オフガス回収系でリークがないことを確認しているため、いずれも回収率を100%として算出した。なお、 ^3H 及び ^{14}C 分析に配分した試料について、配分試料ごとの放射能濃度の変動を補正するため、 ^{60}Co の放射能濃度を用いて規格化を行うことを前提に、燃焼処理後又はアルカリ融解後試料の酸溶解液の ^{60}Co の放射エネルギーをGe検出器で測定した。 ^{60}Co 放射エネルギーは、Ge検出器による測定試料の一部を分取して誘導結合プラズマ発光分光分析装置(以下、「ICP-AES」という。)で測定したコバルト濃度から求めた回収率で補正した。

2.4 ^{36}Cl 分析

図 7 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。塩素担体と硫酸を加えて硫酸酸性にした後、酸化剤として過酸化水素、沸石を添加した。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た。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、上澄み液に硝酸銀を加えて塩素を 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、 AgCl の沈殿を回収した。これらの操作を 2 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 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 の放射能を補正した。なお、 ^{36}Cl 分析に配分した試料について ^{60}Co の放射能濃度を用いて規格化による補正を行うことを前提に、揮散回収処理後試料の ^{60}Co の放射エネルギーを Ge 検出器で測定した。 ^{60}Co 放射エネルギーは、 Ge 検出器による測定試料の一部を分取して ICP-AES で測定したコバルト濃度から求めた回収率で補正した。

2.5 ^{60}Co 分析

揮散回収処理で得た沈殿を酸溶解した溶解液について Ge 検出器で測定した。 ^{60}Co の放射エネルギーは、 Ge 検出器による測定試料の一部を分取して ICP-AES で測定したコバルト濃度から求めた回収率で補正した。

2.6 ^{63}Ni 分析及び ^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm 分析の前処理

図 8 に ^{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。分析試料に塩酸を加えて加熱溶解した後にろ過し、ろ液を回収した。沈殿は王水加えて加熱溶解した後、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。なお、 ^{63}Ni 及び α 線放出核種分析に配分した試料について ^{60}Co の放射能濃度を用いて規格化による補正を行うことを前提に、酸溶解による溶解液を一部分取して ^{60}Co の放射エネルギーを Ge 検出器で測定した。 ^{60}Co 放射エネルギーは、 Ge 検出器による測定試料の一部を分取して ICP-AES で測定したコバルト濃度から求めた回収率で補正した。

2.7 ^{63}Ni 分析

図 9 に ^{63}Ni 分析フローを示す。前述の前処理で溶解した 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、5 分間攪拌した。水酸化ナトリウムで $\text{pH} = 9.3$ 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 錯体を洗浄液で 5 度洗浄した後、 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。

2.8 ^{90}Sr 分析

図10に ^{90}Sr 分析フローを示す。コンクリートの ^{90}Sr 分析では、粉碎後の試料にコバルト、ストロンチウム及びユウロピウムの担体を添加して酸溶解し、一部の試料の溶解液については、 ^{152}Eu が放出する1408 keVの γ 線及び ^{154}Eu が放出する1274 keVの γ 線をGe検出器で測定した。その後、炭酸ナトリウムを加えて生成する炭酸塩の沈殿を回収し、硝酸で溶解した後妨害となる β 線及び γ 線放出核種を除去するためにSrレジンをを用いて分離精製した。また、コンクリートの ^{90}Sr 分析に配分した試料について ^{60}Co の放射能濃度を用いて規格化による補正を行うことを前提に、酸溶解液の ^{60}Co の放射能量をGe検出器で測定した。 ^{60}Co 放射能量は、Ge検出器による測定試料の一部を分取してICP-AESで測定したコバルト濃度から求めた回収率で補正した。金属試料及び塩ビ試料の ^{90}Sr 分析では、揮散回収処理で回収した ^{90}Sr 分析用試料中の β 線測定に置いて妨害となる γ 線放出核種やその他の β 線放出核種を分離するため、発煙硝酸を加え、水冷して熟成させた沈殿を純水に溶解した。この操作は3度繰り返した。その後、沈殿を溶解させた液体に硝酸と鉄担体を加えた後、加熱沸騰させ放冷した。

コンクリート試料、金属試料及び塩ビ試料ともに、分離精製後の溶液にアンモニア水を加えてpHを調整(pH = 10)し鉄共沈させ、 ^{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週間放置した。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、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2.2 MeVの β 線をピコ β で測定した。一部分取したろ液と沈殿を溶解した溶液をICP-AESで測定し、 ^{90}Sr と ^{90}Y の放射能濃度を補正した。

2.9 ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析

図11に ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析フローを示す。揮散回収処理フローで回収した ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析用試料にアンモニア水を加えて五酸化ニオブ水和物の沈殿を生成させて回収した後、再度フッ化水素酸で溶解した。溶解液をろ過し、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。)を添加して沈殿を生成させた。妨害となる高エネルギーの γ 線放出核種を除去した後、 ^{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0.1 M塩酸を加え再度溶解した。ICP-AESで測定して求めた回収率で ^{94}Nb の放射能を補正した。 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu は、 ^{94}Nb の処理過程で得た EuF_3 沈殿を回収し、 ^{152}Eu が放出する1408 keVの γ 線及び ^{154}Eu が放出する1274 keVの γ 線をGe検出器で測定した。0.1 M塩酸で沈殿の全量を溶解した溶液を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。

2.10 ^{99}Tc 分析

図 12 に ^{99}Tc 分析フローを示す。揮散回収処理フローで回収した ^{99}Tc 分析用試料に純水と過酸化水素を加えた後、加熱沸騰させ放冷した。チオアセトアミドを加え、熟成させた沈殿をろ過し、硝酸と過酸化水素で溶解した。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 (pH = 10) し、共沈により不純物を分離した。ろ液は硝酸で pH を調整 (pH = 1) した後、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、 ^{99}Tc の放射能濃度は沈殿を溶解した液のレニウム濃度を ICP-AES で測定して求めた回収率で補正した。

2.11 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析

図 13 に $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析フローを示す。揮散回収処理フローで回収した $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 分析用試料に塩酸を添加して AgCl の沈殿を生成させた。 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ が放出する 433.9 keV、614.3 keV、722.9 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。

2.12 ^{129}I 分析

図 14 に ^{129}I 分析フローを示す。揮散回収処理フローで回収した ^{129}I 分析用試料をキシレンで抽出した後、(1+9)硝酸で 5 度洗浄し、さらに 10% 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 194 keV の β 線を 2π ガスフローカウンタ (以下、「 $2\pi\text{GFC}$ 」という。) で測定した。 ^{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。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 (以下、「AMS」という。) で高感度分析した。

2.13 ^{137}Cs 分析

図 15 に ^{137}Cs 分析フローを示す。揮散回収処理フローで回収した ^{137}Cs 分析用試料に塩酸を加えて pH を調整 (pH = 7) し、液量に対して 5% の塩酸を添加した。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原子吸光分析装置で測定して求めた回収率で補正した。

2.14 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 16 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 2.6 節で酸溶解した分析用試料を UTEVA レジンと TRU レジンの 2 種類の抽出クロマト樹脂を使用して、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、完全に溶解させた。その後、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。その後、0.05 M のシュウ酸を含む 5 M 塩酸で不純物を除去し、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 価に調製した。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により回収した。 α 線測定は表面障壁型 Si 半導体検出器(以下、「SSB」という。)で核種毎に行った。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誘導結合プラズマ質量分析装置(以下、「ICP-MS」という。)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、回収率を 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、コンクリート試料では、試料自体に ^{238}U が含まれているため、 ^{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。金属試料及び塩ビ試料では、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(67%)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. 放射化学分析結果

平成30年度内に19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 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)の放射化学分析を行い、209点の分析データを取得した。核種ごとの分析結果を表6から表24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、JPDR及びJRR-4から発生した放射性廃棄物について放射化学分析を実施し、得られた放射能濃度データについて取りまとめた。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

本報告を執筆するにあたり、JPDR及びJRR-4の保管廃棄物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。

参考文献

- 1) 星垂紀子, 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.
- 2) 星垂紀子, 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.
- 3) 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.
- 4) 安田麻里, 田中究, 亀尾裕他, 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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, 2019, 72p.
- 8) 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, 2019, 70p.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 水飼秋菜, 原賀智子, 石森健一郎, 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.
- 13) 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 核種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	測定核種または用途
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	ピコ 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
7	NaIシンチレーションカウンタ	NaI検出器	BICRON 3M3/3	γ 線妨害核種除去確認用
8	誘導結合プラズマ発光分光分析装置	ICP-AES	Agilent Technologies 5110	化学回収率確認用
9	加速器質量分析	AMS	東京大学 タンデム加速器研究施設	^{129}I (高感度分析用)

表 2 分析試料リスト(1/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-912-391	6	JPDR	コンクリート	コンクリート片	H23.5.25	
	7	JPDR	コンクリート	コンクリート片	H23.5.25	
	8	JPDR	コンクリート	コンクリート片	H23.5.25	
	9	JPDR	コンクリート	コンクリート片	H23.5.25	
	10	JPDR	コンクリート	コンクリート片	H23.5.25	

表 2 分析試料リスト(2/20)

保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	2	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	3	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	4	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	5	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	

表 2 分析試料リスト(3/20)





保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-917-115	6	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	7	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	8	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	9	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	
	10	JPDR	コンクリート	塊状	H28.6.7	

表2 分析試料リスト(4/20)

保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取 年月日	外観写真
NY-917-116	1	JPDR	コンクリ ート	コンクリ ート片	H28.7.4	

表 2 分析試料リスト(5/20)

保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-924-108	A-2	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	
	A-4	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	
	B-1	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	
	B-2	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	

表 2 分析試料リスト(6/20)

保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-924-108	B-3	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	
	B-4	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	
	C-1	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	
	C-2	JPDR	コンクリート	砂状	H30.2.13	

表 2 分析試料リスト(7/20)

保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-925-473	A-1	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	
	A-3	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	
	A-4	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	
	B-4	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	

表 2 分析試料リスト(8/20)

保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-925-473	C-1	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	
	C-4	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	
	D-1	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	
	D-4	JPDR	コンクリート	粒状	H30.2.15	

表 2 分析試料リスト(9/20)

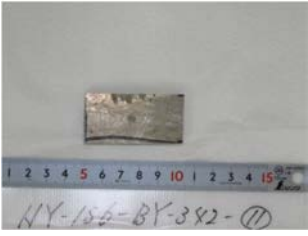




保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取 年月日	外観写真
NY-156-BY-342	11	JRR-4	アルミ ニウム	板状	H29.7.28	
	12	JRR-4	アルミ ニウム	板状	H29.7.28	
	13	JRR-4	アルミ ニウム	板状	H29.7.28	
	14	JRR-4	アルミ ニウム	板状	H29.7.28	
	15	JRR-4	アルミ ニウム	板状	H29.7.28	

表 2 分析試料リスト(10/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-156-BY-342	16	JRR-4	アルミニウム	板状	H29.7.28	
	17	JRR-4	アルミニウム	板状	H29.7.28	
	18	JRR-4	アルミニウム	板状	H29.7.28	
	19	JRR-4	アルミニウム	板状	H29.7.28	
	20	JRR-4	アルミニウム	板状	H29.7.28	

表 2 分析試料リスト(11/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-156-BY-342	21	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	22	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	23	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	24	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	25	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	

表 2 分析試料リスト(12/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取 年月日	外観写真
NY-156-BY-342	26	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	27	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	28	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	29	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	
	30	JRR-4	塩ビ	ホース (筒状)	H29.7.28	

表 2 分析試料リスト(13/20)



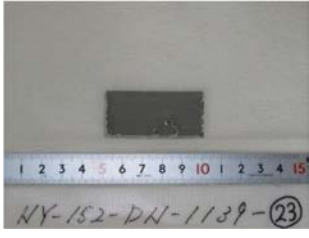


保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-152-DN-1139	21	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	22	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	23	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	24	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	25	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	

表 2 分析試料リスト(14/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取 年月日	外観写真
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	27	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	28	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	29	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	
	30	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.18	

表 2 分析試料リスト(15/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	22	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	23	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	24	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	25	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	

表 2 分析試料リスト(16/20)


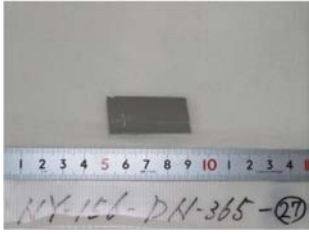



保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-156-DN-365	26	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	27	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	28	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	29	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	
	30	JRR-4	アルミニウム	筒状	H29.7.24	

表 2 分析試料リスト(17/20)






保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	12	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	13	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	14	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	15	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	

表 2 分析試料リスト(18/20)

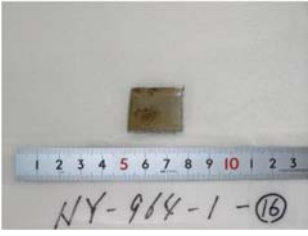




保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-964-1	16	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	17	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	18	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	19	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	
	20	JRR-4	ステンレス	板状	H29.12.11	

表 2 分析試料リスト(19/20)





保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-964-2	11	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	12	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	13	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	14	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	15	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	

表 2 分析試料リスト(20/20)


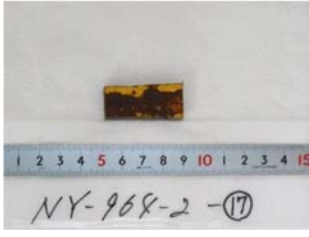



保管体番号	枝番	発生施設	材質	形状	採取年月日	外観写真
NY-964-2	16	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	17	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	18	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	19	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	
	20	JRR-4	普通鋼	アングル	H29.12.18	

表 3 分析試料別の試料分配 (1/2)

保管体番号	枝番	分析試料質量 (g)	配分グループ	分析核種※1
NY-912-391	7	1.0114	①	^3H , ^{14}C
		5.0295	②	^{36}Cl
		5.4002	③	^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{137}Cs
		5.0659	④	^{63}Ni , α 線放出核種(^{234}U , ^{238}U , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am)
	10	15.1829	⑤	^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{154}Eu
NY-917-115	1	1.3320	①	^3H , ^{14}C
		5.2558	②	^{36}Cl
		5.1256	③	^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{137}Cs
		5.3980	④	^{63}Ni , α 線放出核種(^{234}U , ^{238}U , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am)
		15.1904	⑤	^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{154}Eu
NY-917-116	1	2.0240	①	^3H , ^{14}C
		6.3208	②	^{36}Cl
		6.3867	③	^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{137}Cs
		6.6107	④	^{63}Ni , α 線放出核種(^{234}U , ^{238}U , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am)
		18.8408	⑤	^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{154}Eu
NY-924-108	A-4	1.0882	①	^3H , ^{14}C
		4.4450	②	^{36}Cl
		4.8347	③	^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu
		4.8728	④	^{63}Ni , α 線放出核種(^{234}U , ^{238}U , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am)
		15.0278	⑤	^{90}Sr
NY-925-473	C-4	1.0672	①	^3H , ^{14}C
		4.6655	②	^{36}Cl
		5.6673	③	^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{137}Cs
		5.3432	④	^{63}Ni , α 線放出核種(^{234}U , ^{238}U , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am)
		15.3289	⑤	^{90}Sr , ^{152}Eu , ^{154}Eu

※1 全ての配分グループで ^{60}Co の分析を実施

表 3 分析試料別の試料分配 (2/2)

保管体番号	枝番	分析試料質量 (g)	配分グループ	分析核種※1
NY-156-BY-342	11	19.2189	①	^3H 、 ^{14}C
	18	17.9412	②	^{36}Cl
	20	36.3075	③	^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu
	12	19.3312	④	^{63}Ni 、 α 線放出核種(^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)
NY-156-BY-342	28	1.3390	①	^3H 、 ^{14}C
	29	1.9595	②	^{36}Cl
	21、23、24 25、26、27	14.2225 ※2	③	^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu
	22	2.9571	④	^{63}Ni 、 α 線放出核種(^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)
NY-152-DN-1139	23	9.8371	①	^3H 、 ^{14}C
	21	9.3808	②	^{36}Cl
	30	26.8870	③	^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu
	26	9.3927	④	^{63}Ni 、 α 線放出核種(^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)
NY-156-DN-365	28	3.2608	①	^3H 、 ^{14}C
	22	3.6329	②	^{36}Cl
	30	139.1498	③	^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu
	21	3.7960	④	^{63}Ni 、 α 線放出核種(^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)
NY-964-1	19	18.2984	①	^3H 、 ^{14}C
	12	15.3482	②	^{36}Cl
	20	52.3015	③	^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu
	11	18.1361	④	^{63}Ni 、 α 線放出核種(^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)
NY-964-2	13	51.7128	①	^3H 、 ^{14}C
	11	51.4579	②	^{36}Cl
	12	56.8958	③	^{90}Sr 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{129}I 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{154}Eu
	20	76.9847	④	^{63}Ni 、 α 線放出核種(^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{244}Cm)

※1 全ての配分グループで ^{60}Co の分析を実施

※2 複数の枝番を供するものは合計質量を分析試料質量とした

表 4 粉砕・ふるい分け前後の外観写真





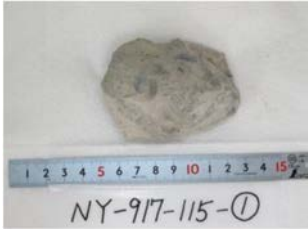




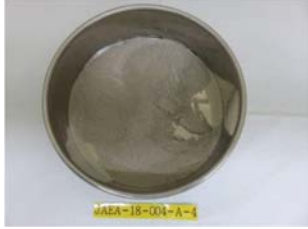


保管体番号	枝番	外観写真	
		粉砕前	粉砕・ふるい分け後
NY-912-391	7		
	10		
NY-917-115	1		
NY-917-116	1		
NY-924-108	A-4		
NY-925-473	C-4		

表 5 削り取り前後の外観写真 (1/5)

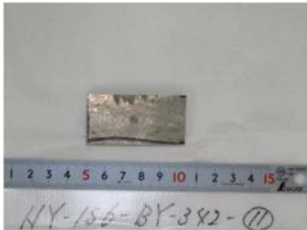
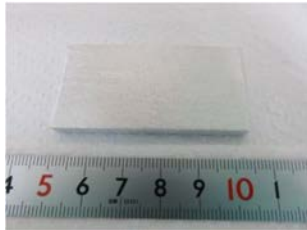



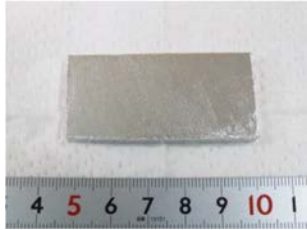
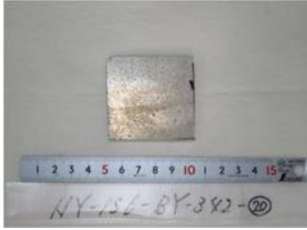

保管体番号	枝番	外観写真	
		削り取り前	削り取り後
NY-156-BY-342	11		
	12		
	18		
	20		

表 5 削り取り前後の外観写真 (2/5)

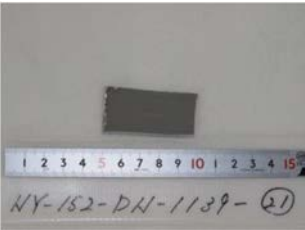

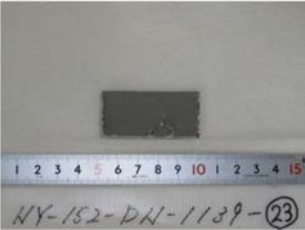
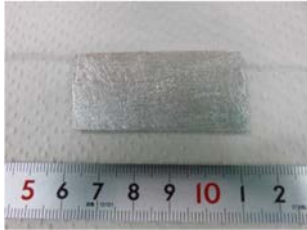
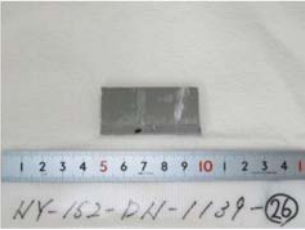


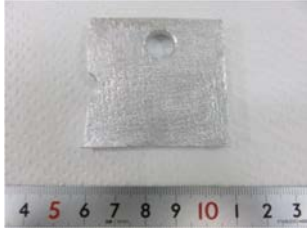
保管体番号	枝番	外観写真	
		削り取り前	削り取り後
NY-152-DN-1139	21		
	23		
	26		
	30		

表 5 削り取り前後の外観写真 (3/5)


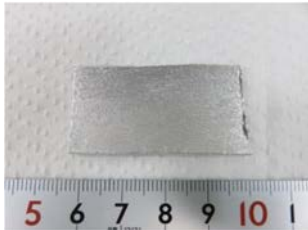

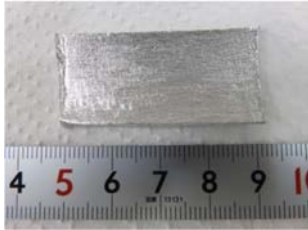

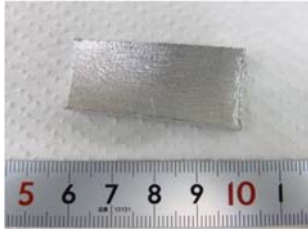


保管体番号	枝番	外観写真	
		削り取り前	削り取り後
NY-156-DN-365	21		
	22		
	28		
	30		

表 5 削り取り前後の外観写真 (4/5)

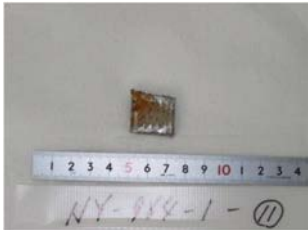
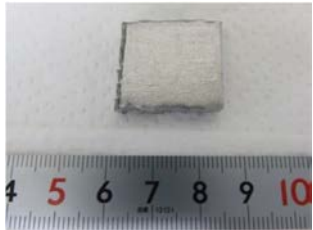

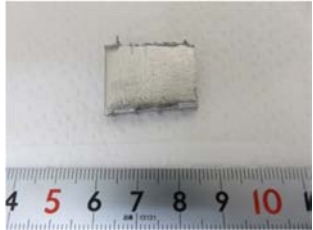

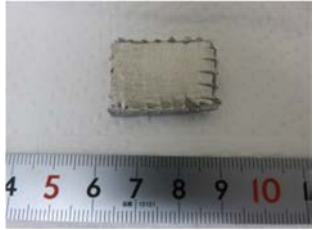

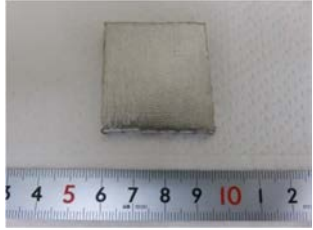
保管体番号	枝番	外観写真	
		削り取り前	削り取り後
NY-964-1	11		
	12		
	19		
	20		

表 5 削り取り前後の外観写真 (5/5)




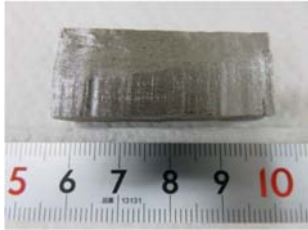


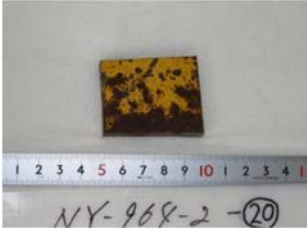

保管体番号	枝番	外観写真	
		削り取り前	削り取り後
NY-964-2	11		
	12		
	13		
	20		

表 6 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	1.0114	100	2018/10/24	$(9.6 \pm 1.0) \times 10^{-1}$	3×10^{-1}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	1.3320	100	2018/10/24	$(2.0 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-1}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	2.0240	100	2018/10/24	ND	2×10^{-1}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	1.0882	100	2018/10/24	ND	3×10^{-1}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	1.0672	100	2018/10/24	$(8.3 \pm 0.2) \times 10^0$	3×10^{-1}
NY-156-BY-342	11	JRR-4	アルミニウム	19.2189	100	2018/11/2	$(4.1 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
NY-156-BY-342	28	JRR-4	塩ビ	1.3390	100	2018/11/2	$(9.3 \pm 0.8) \times 10^{-1}$	2×10^{-1}
NY-152-DN-1139	23	JRR-4	アルミニウム	9.8371	100	2018/11/2	ND	3×10^{-2}
NY-156-DN-365	28	JRR-4	アルミニウム	3.2608	100	2018/11/2	ND	9×10^{-2}
NY-964-1	19	JRR-4	ステンレス	18.2984	100	2018/11/2	ND	2×10^{-2}
NY-964-2	13	JRR-4	普通鋼	51.7128	100	2018/11/2	ND	6×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 7 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	1.0114	100	2018/10/23	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^1$	2×10^{-1}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	1.3320	100	2018/10/23	$(2.5 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-1}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	2.0240	100	2018/10/23	$(1.9 \pm 0.1) \times 10^0$	9×10^{-2}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	1.0882	100	2018/10/23	ND	2×10^{-1}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	1.0672	100	2018/10/23	$(3.2 \pm 0.6) \times 10^{-1}$	2×10^{-1}
NY-156-BY-342	11	JRR-4	アルミニウム	19.2189	100	2018/10/17	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	1×10^{-2}
NY-156-BY-342	28	JRR-4	塩ビ	1.3390	100	2019/1/25	$(6.9 \pm 0.1) \times 10^1$	4×10^{-1}
NY-152-DN-1139	23	JRR-4	アルミニウム	9.8371	100	2018/10/25	$(2.1 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	2×10^{-2}
NY-156-DN-365	28	JRR-4	アルミニウム	3.2608	100	2018/10/25	$(3.7 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	6×10^{-2}
NY-964-1	19	JRR-4	ステンレス	18.2984	100	2018/10/25	$(3.3 \pm 0.4) \times 10^{-2}$	1×10^{-2}
NY-964-2	13	JRR-4	普通鋼	51.7128	100	2018/10/18	$(2.2 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	4×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 8 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.0295	90	2018/10/25	$(3.6 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	9×10^{-3}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.2558	56	2018/10/4	ND	1×10^{-2}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.3208	94	2018/10/25	ND	7×10^{-3}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.4450	78	2018/10/5	ND	1×10^{-2}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	4.6655	74	2018/10/4	ND	1×10^{-2}
NY-156-BY-342	18	JRR-4	アルミニウム	17.9412	95	2018/11/13	ND	3×10^{-3}
NY-156-BY-342	29	JRR-4	塩ビ	1.9595	97	2018/11/12	$(3.3 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	3×10^{-2}
NY-152-DN-1139	21	JRR-4	アルミニウム	9.3808	98	2018/11/11	ND	5×10^{-3}
NY-156-DN-365	22	JRR-4	アルミニウム	3.6329	77	2018/11/14	$(3.5 \pm 0.6) \times 10^{-2}$	2×10^{-2}
NY-964-1	12	JRR-4	ステンレス	15.3482	82	2018/11/12	ND	3×10^{-3}
NY-964-2	11	JRR-4	普通鋼	51.4579	99	2018/11/13	$(4.9 \pm 0.5) \times 10^{-3}$	9×10^{-4}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 9 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-912-391	10	JPDR	コンクリート	15.1829	98	2018/10/11	$(2.9 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	3×10^{-2}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.1256	82	2018/10/1	$(1.4 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	7×10^{-2}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.3208	100	2018/10/7	$(1.0 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	5×10^{-2}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.4450	93	2018/9/8	$(3.1 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	7×10^{-2}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	4.6655	98	2018/10/7	$(2.6 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	7×10^{-2}
NY-156-BY-342	18	JRR-4	アルミニウム	17.9412	100	2018/11/19	$(6.0 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	7×10^{-2}
NY-156-BY-342	28	JRR-4	塩ビ	1.3390	100	2018/11/10	$(2.5 \pm 0.1) \times 10^2$	2×10^0
NY-152-DN-1139	21	JRR-4	アルミニウム	9.3808	100	2018/11/1	$(2.6 \pm 0.1) \times 10^1$	2×10^{-1}
NY-156-DN-365	22	JRR-4	アルミニウム	3.6329	100	2018/10/31	$(5.4 \pm 0.1) \times 10^1$	5×10^{-1}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	100	2018/10/23	$(3.2 \pm 0.1) \times 10^0$	2×10^{-2}
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	93	2018/10/27	$(4.3 \pm 0.1) \times 10^0$	3×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。

表 10 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.0659	82	2018/11/12	ND	4 × 10 ⁻¹
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.3980	97	2018/11/12	ND	4 × 10 ⁻¹
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.6107	93	2018/11/12	ND	3 × 10 ⁰
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8728	96	2018/11/12	(8.3 ± 0.2) × 10 ⁰	5 × 10 ⁻¹
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.3432	98	2018/11/12	ND	4 × 10 ⁻¹
NY-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	99	2018/11/12	ND	2 × 10 ⁻¹
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	98	2018/11/12	(7.1 ± 0.1) × 10 ¹	2 × 10 ⁰
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	96	2018/11/12	(1.2 ± 0.2) × 10 ⁰	4 × 10 ⁻¹
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	96	2018/11/12	(3.8 ± 0.4) × 10 ⁰	9 × 10 ⁻¹
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	99	2018/11/12	(4.3 ± 0.8) × 10 ⁰	3 × 10 ⁰
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	94	2018/11/12	(1.1 ± 0.2) × 10 ⁰	4 × 10 ⁻¹

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 11 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-912-391	10	JPDR	コンクリート	15.1829	53	2018/10/23	ND	3 × 10 ⁻³
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	15.1904	77	2018/10/23	ND	2 × 10 ⁻³
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	18.8408	69	2018/10/23	ND	2 × 10 ⁻³
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	15.0278	60	2018/10/23	ND	2 × 10 ⁻³
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	15.3289	65	2018/10/23	ND	2 × 10 ⁻³
NY-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	57	2018/11/2	(4.5 ± 0.6) × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	78	2018/11/6	(4.2 ± 0.1) × 10 ⁻¹	3 × 10 ⁻³
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	60	2018/11/6	(7.9 ± 0.9) × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻³
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	67	2018/11/2	(7.5 ± 1.2) × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	65	2018/11/1	ND	8 × 10 ⁻⁴
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	68	2018/11/1	ND	7 × 10 ⁻⁴

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 12 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.4002	96	2018/10/18	ND	9 × 10 ⁻³
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.1256	82	2018/10/17	ND	1 × 10 ⁻²
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.3867	84	2018/10/24	ND	2 × 10 ⁻²
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8347	82	2018/10/21	ND	1 × 10 ⁻²
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.6673	91	2018/10/21	ND	9 × 10 ⁻³
NY-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	79	2018/11/3	ND	4 × 10 ⁻³
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	86	2018/11/6	ND	2 × 10 ⁻²
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	75	2018/11/6	ND	1 × 10 ⁻²
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	76	2018/11/3	ND	1 × 10 ⁻³
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	81	2018/11/6	ND	4 × 10 ⁻³
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	84	2018/11/4	ND	3 × 10 ⁻³

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 13 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.4002	92	2018/11/21	ND	7 × 10 ⁻³
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.1256	95	2018/11/24	ND	7 × 10 ⁻³
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.3867	89	2018/11/25	ND	6 × 10 ⁻³
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8347	95	2018/11/26	ND	8 × 10 ⁻³
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.6673	94	2018/11/27	ND	7 × 10 ⁻³
NY-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	89	2018/11/21	ND	3 × 10 ⁻³
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	64	2018/11/21	ND	9 × 10 ⁻³
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	94	2018/11/22	ND	4 × 10 ⁻³
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	94	2018/11/22	ND	7 × 10 ⁻⁴
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	99	2018/11/25	ND	2 × 10 ⁻³
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	94	2018/11/25	ND	2 × 10 ⁻³

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 14 ^{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-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	87	2018/10/31	ND	4×10^{-3}
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	94	2018/11/5	ND	2×10^{-2}
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	94	2018/11/1	ND	5×10^{-3}
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	80	2018/10/31	ND	1×10^{-3}
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	91	2018/10/30	ND	3×10^{-3}
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	99	2018/10/31	ND	2×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 15 ^{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-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	75	2019/1/18	$(1.3 \pm 0.1) \times 10^{-8}$	1×10^{-9}
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	54	2019/1/18	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^{-6}$	3×10^{-9}
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	86	2019/1/18	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^{-8}$	2×10^{-9}
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	77	2019/1/18	$(2.0 \pm 0.1) \times 10^{-8}$	3×10^{-10}
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	57	2019/1/18	$(4.2 \pm 0.1) \times 10^{-8}$	8×10^{-10}
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	52	2019/1/18	$(4.3 \pm 0.1) \times 10^{-8}$	7×10^{-10}

※1 測定開始日を示す。

表 16 ¹³⁷Cs 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.4002	70	2018/10/13	ND	5×10^{-2}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.1256	80	2018/10/14	ND	5×10^{-2}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.3867	71	2018/10/14	ND	4×10^{-2}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8347	75	2018/10/16	$(3.9 \pm 1.1) \times 10^{-2}$	4×10^{-2}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.6673	64	2018/10/16	ND	4×10^{-2}
NY-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	69	2018/11/16	ND	8×10^{-3}
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	86	2018/11/16	$(6.9 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	1×10^{-2}
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	68	2018/11/16	$(9.5 \pm 2.2) \times 10^{-3}$	7×10^{-3}
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	73	2018/11/28	$(8.2 \pm 1.5) \times 10^{-4}$	5×10^{-4}
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	74	2018/11/17	ND	5×10^{-3}
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	70	2018/11/26	$(2.2 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	2×10^{-3}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 17 ¹⁵²Eu 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-912-391	10	JPDR	コンクリート	15.1829	85	2018/10/11	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^1$	2×10^{-1}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	15.1904	90	2018/10/10	$(5.4 \pm 0.2) \times 10^0$	2×10^{-1}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	18.8408	84	2018/10/15	$(4.1 \pm 0.1) \times 10^0$	9×10^{-2}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	15.0278	75	2018/10/27	ND	7×10^{-2}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	15.3289	81	2018/10/13	$(1.6 \pm 0.1) \times 10^1$	2×10^{-1}
NY-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	87	2018/11/3	$(1.7 \pm 0.6) \times 10^{-2}$	2×10^{-2}
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	75	2018/11/6	$(8.7 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	8×10^{-2}
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	84	2018/11/4	$(4.6 \pm 1.1) \times 10^{-2}$	3×10^{-2}
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	68	2018/11/3	$(5.6 \pm 0.5) \times 10^{-2}$	7×10^{-3}
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	91	2018/11/4	ND	2×10^{-2}
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	77	2018/11/6	ND	4×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 18 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-912-391	10	JPDR	コンクリート	15.1829	85	2018/10/11	$(4.3 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	9×10^{-2}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	15.1904	90	2018/10/10	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	8×10^{-2}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	18.8408	84	2018/10/15	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	6×10^{-2}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	15.0278	75	2018/10/27	ND	4×10^{-2}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	15.3289	81	2018/10/13	$(3.3 \pm 0.3) \times 10^{-1}$	1×10^{-1}
NY-156-BY-342	20	JRR-4	アルミニウム	36.3075	87	2018/11/3	ND	2×10^{-2}
NY-156-BY-342	21,23,24, 25,26,27	JRR-4	塩ビ	14.2225	75	2018/11/6	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^0$	5×10^{-2}
NY-152-DN-1139	30	JRR-4	アルミニウム	26.8870	84	2018/11/4	ND	2×10^{-2}
NY-156-DN-365	30	JRR-4	アルミニウム	139.1498	68	2018/11/3	$(4.4 \pm 1.0) \times 10^{-3}$	5×10^{-3}
NY-964-1	20	JRR-4	ステンレス	52.3015	91	2018/11/4	ND	8×10^{-3}
NY-964-2	12	JRR-4	普通鋼	56.8958	77	2018/11/6	ND	3×10^{-2}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 19 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.0659	94	2018/12/15	$(1.5 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.3980	82	2018/11/3	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.6107	100	2018/11/5	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	2×10^{-3}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8728	100	2018/12/15	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.3432	92	2018/12/17	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
NY-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	94	2018/11/21	ND	6×10^{-4}
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	84	2018/11/22	ND	5×10^{-3}
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	100	2018/11/17	ND	2×10^{-3}
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	100	2018/11/19	ND	3×10^{-3}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	92	2018/11/15	ND	7×10^{-4}
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	79	2018/11/16	ND	2×10^{-4}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 20 ^{238}U 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.0659	100	2018/10/2	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.3980	100	2018/10/2	$(8.9 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	2×10^{-3}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.6107	100	2018/10/2	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	2×10^{-3}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8728	100	2018/10/2	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	2×10^{-3}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.3432	100	2018/10/2	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^{-2}$	3×10^{-3}
NY-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	100	2018/10/30	$(4.3 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	2×10^{-4}
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	100	2018/10/30	$(3.3 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	2×10^{-4}
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	100	2018/10/30	$(2.6 \pm 0.1) \times 10^{-4}$	6×10^{-5}
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	100	2018/10/30	$(9.3 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	7×10^{-5}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	100	2018/10/30	ND	2×10^{-5}
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	100	2018/10/30	$(2.9 \pm 0.1) \times 10^{-5}$	2×10^{-5}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 21 ^{238}Pu 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-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	67	2018/11/21	ND	8×10^{-4}
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	67	2018/11/22	$(1.1 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	5×10^{-3}
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	67	2018/11/16	ND	5×10^{-4}
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	67	2018/11/19	ND	4×10^{-3}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	67	2018/11/15	ND	8×10^{-4}
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	67	2018/11/16	ND	2×10^{-4}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 22 $^{239+240}\text{Pu}$ 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.0659	67	2018/11/3	ND	3×10^{-3}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.3980	67	2018/11/3	ND	3×10^{-3}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.6107	67	2018/11/5	ND	3×10^{-3}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8728	67	2018/11/6	ND	4×10^{-3}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.3432	67	2018/11/6	ND	3×10^{-3}
NY-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	67	2018/11/21	ND	7×10^{-4}
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	67	2018/11/22	$(4.3 \pm 0.4) \times 10^{-2}$	5×10^{-3}
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	67	2018/11/16	$(8.8 \pm 1.5) \times 10^{-4}$	4×10^{-4}
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	67	2018/11/19	ND	4×10^{-3}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	67	2018/11/15	ND	7×10^{-4}
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	67	2018/11/16	ND	2×10^{-4}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 23 ^{241}Am 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-912-391	7	JPDR	コンクリート	5.0659	67	2018/11/3	ND	4×10^{-3}
NY-917-115	1	JPDR	コンクリート	5.3980	87	2018/11/3	ND	3×10^{-3}
NY-917-116	1	JPDR	コンクリート	6.6107	64	2018/11/5	ND	3×10^{-3}
NY-924-108	A-4	JPDR	コンクリート	4.8728	100	2018/11/6	ND	3×10^{-3}
NY-925-473	C-4	JPDR	コンクリート	5.3432	100	2018/11/6	ND	3×10^{-3}
NY-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	61	2018/11/21	ND	9×10^{-4}
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	77	2018/11/22	$(1.6 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	5×10^{-3}
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	71	2018/11/17	ND	2×10^{-3}
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	52	2018/11/19	ND	5×10^{-3}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	73	2018/11/15	ND	8×10^{-4}
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	54	2018/11/16	ND	3×10^{-4}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

表 24 ^{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-156-BY-342	12	JRR-4	アルミニウム	19.3312	61	2018/11/21	ND	8×10^{-4}
NY-156-BY-342	22	JRR-4	塩ビ	2.9571	77	2018/11/22	ND	4×10^{-3}
NY-152-DN-1139	26	JRR-4	アルミニウム	9.3927	71	2018/11/17	ND	2×10^{-3}
NY-156-DN-365	21	JRR-4	アルミニウム	3.7960	52	2018/11/19	ND	5×10^{-3}
NY-964-1	11	JRR-4	ステンレス	18.1361	73	2018/11/15	ND	7×10^{-4}
NY-964-2	20	JRR-4	普通鋼	76.9847	54	2018/11/16	ND	2×10^{-4}

※1 測定開始日を示す。ND:検出限界値以下であることを示す。

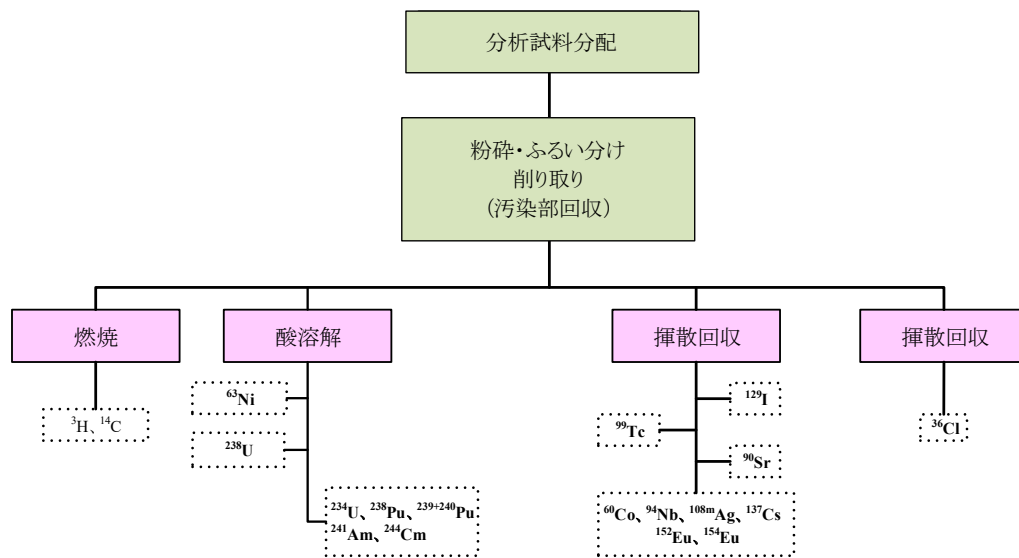


図1 分析概要フロー

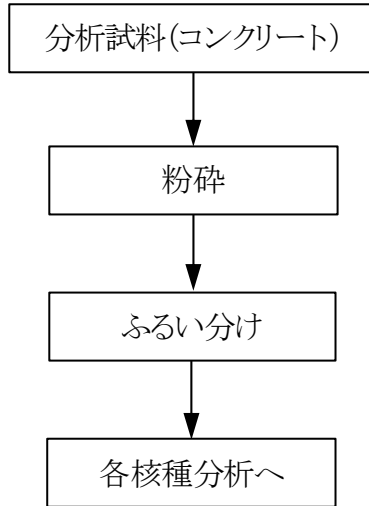


図2 分析試料(コンクリート)の粉砕・ふるい分け処理フロー

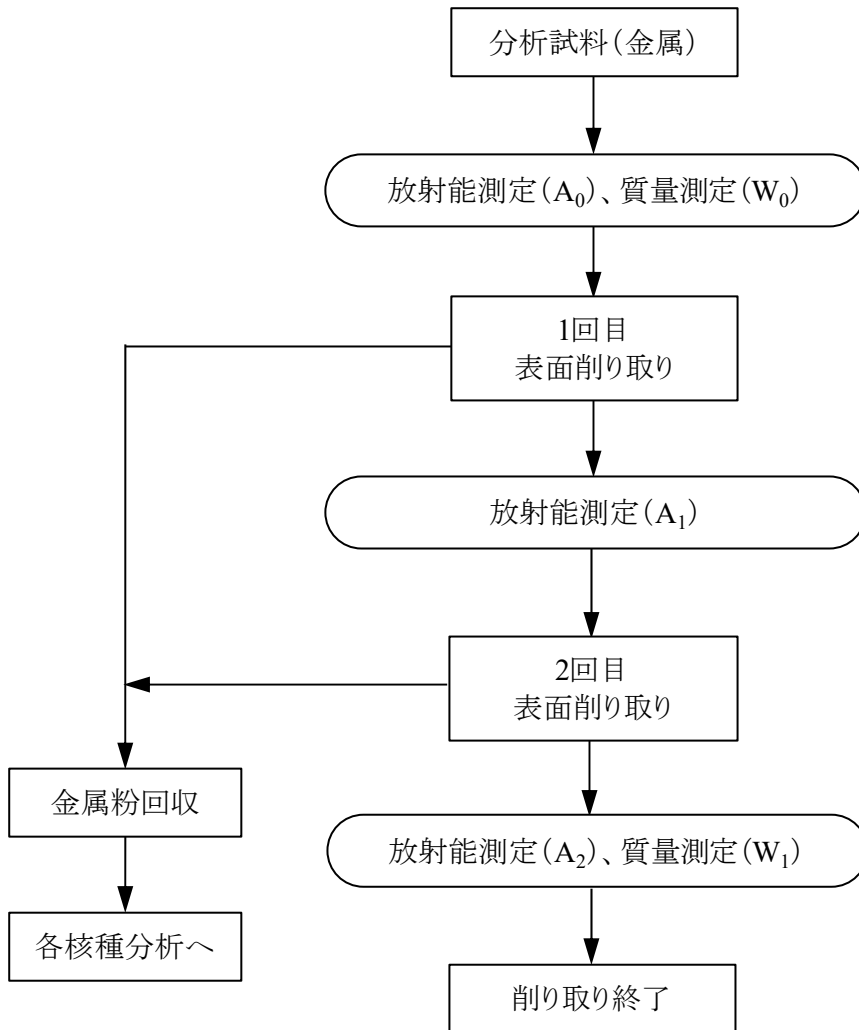


図3 分析試料(金属)の削り取り処理フロー

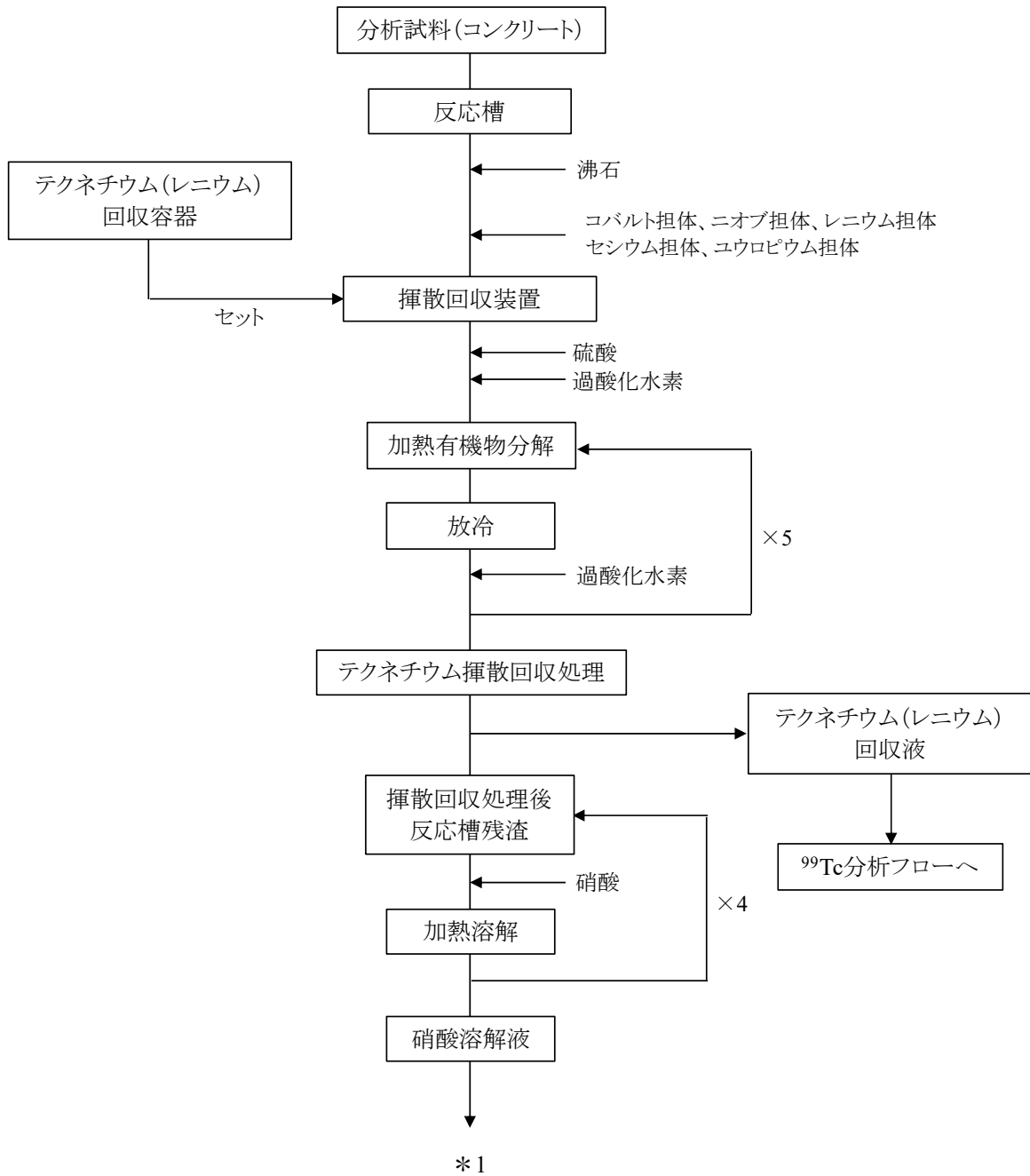


図 4 分析試料(コンクリート)の揮散回収処理フロー(1/2)

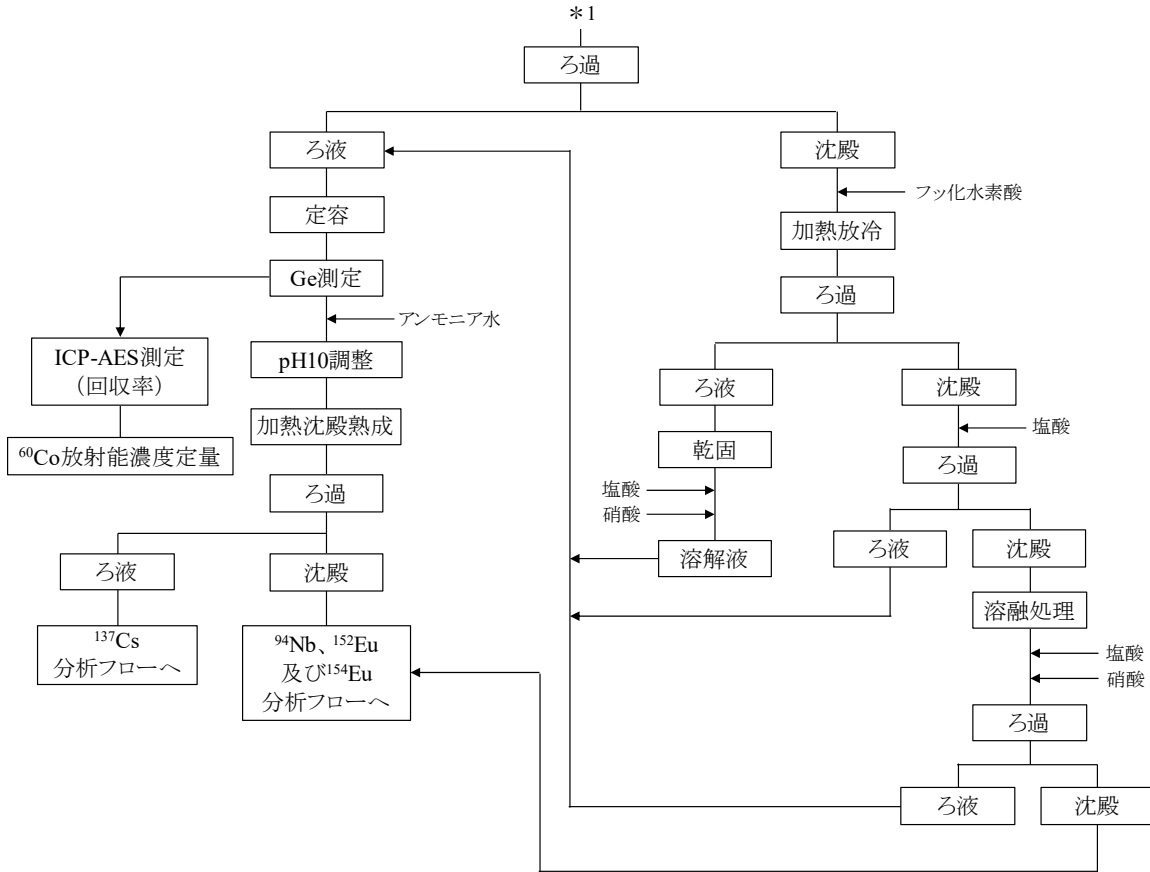


図4 分析試料(コンクリート)の揮散回収処理フロー(2/2)

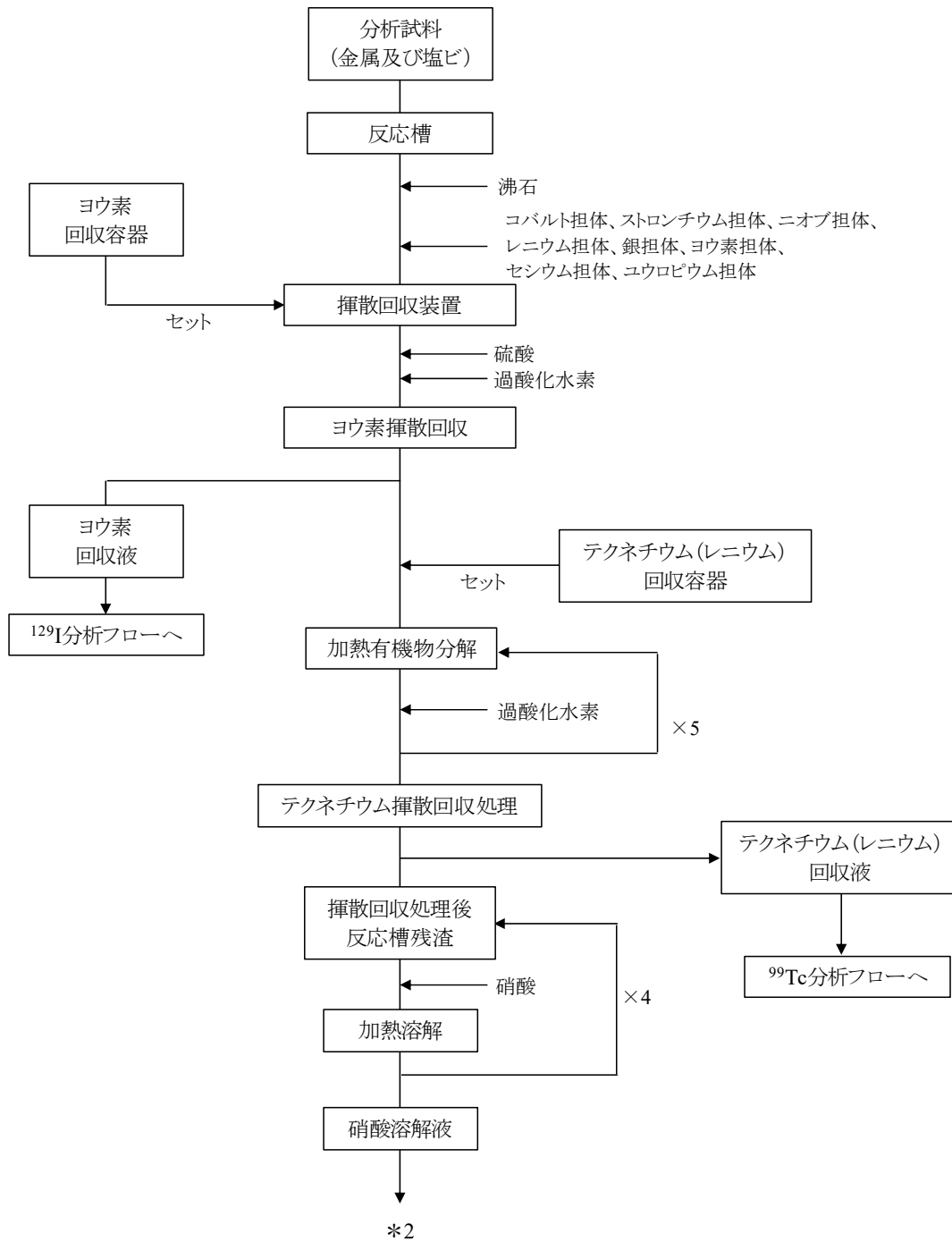


図5 分析試料(金属及び塩ビ)の揮散回収処理フロー(1/2)

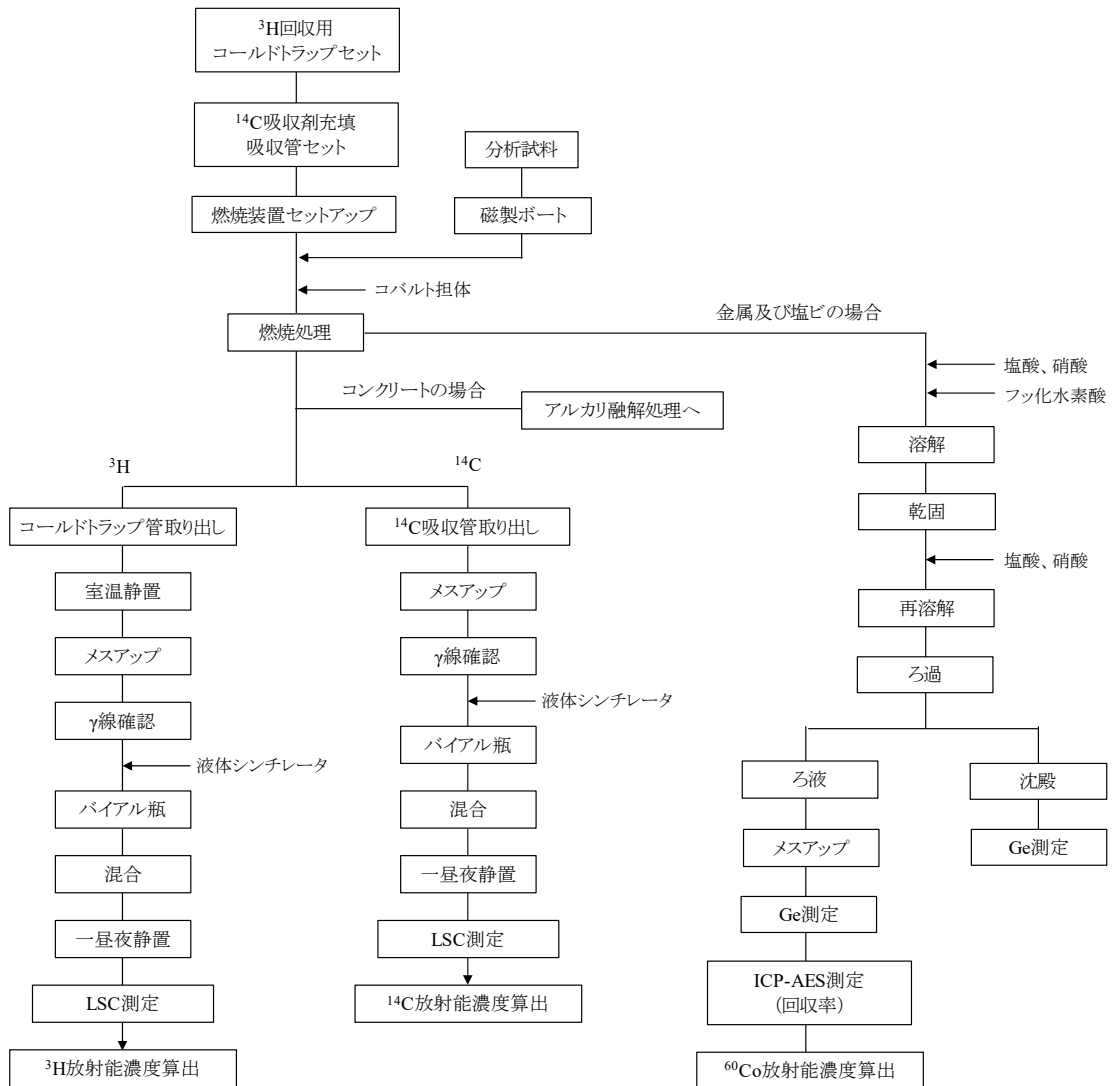


図 6 ^3H 及び ^{14}C 分析フロー(1/2)

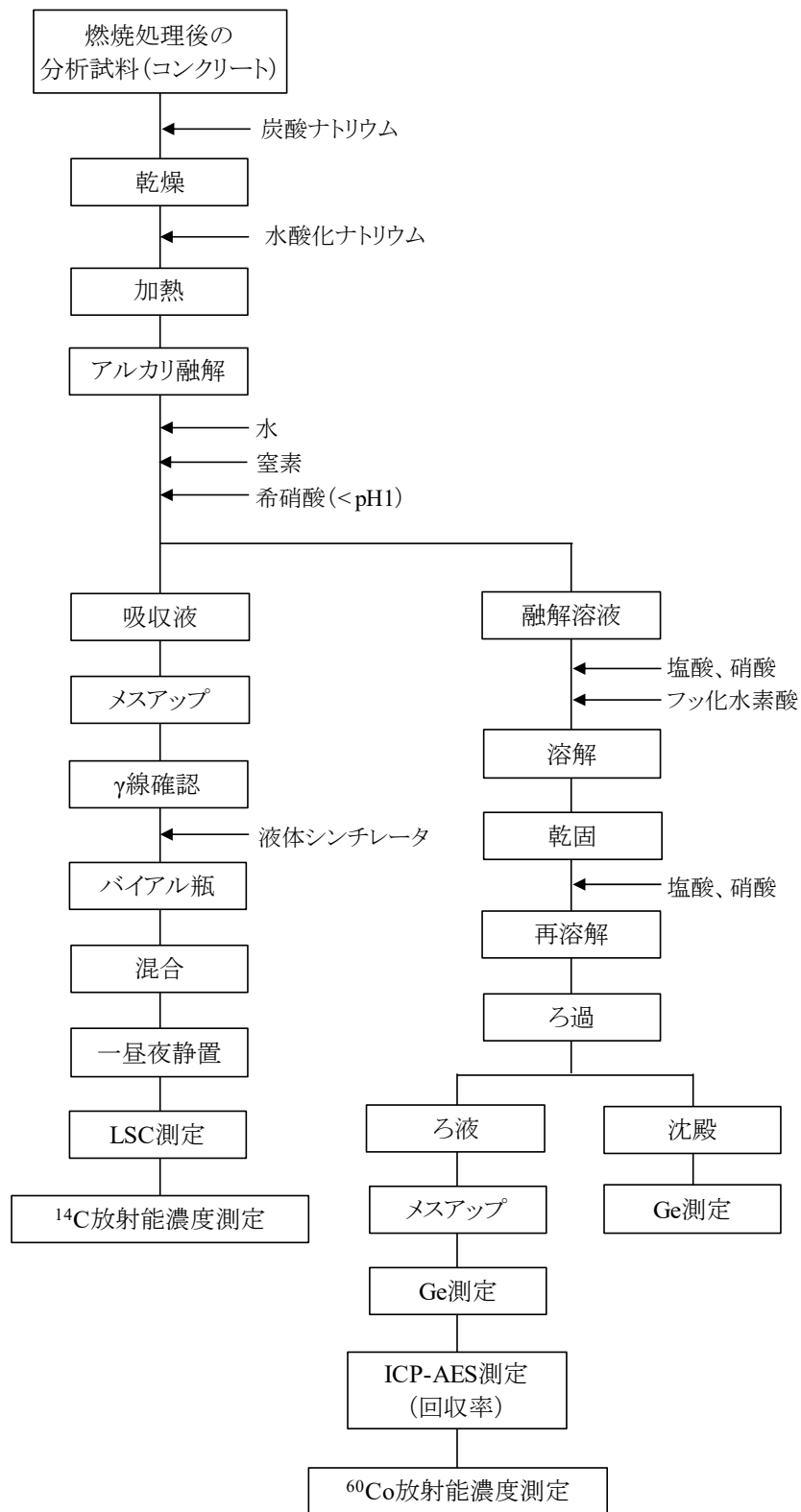


図6 ^3H 及び ^{14}C 分析フロー(2/2)

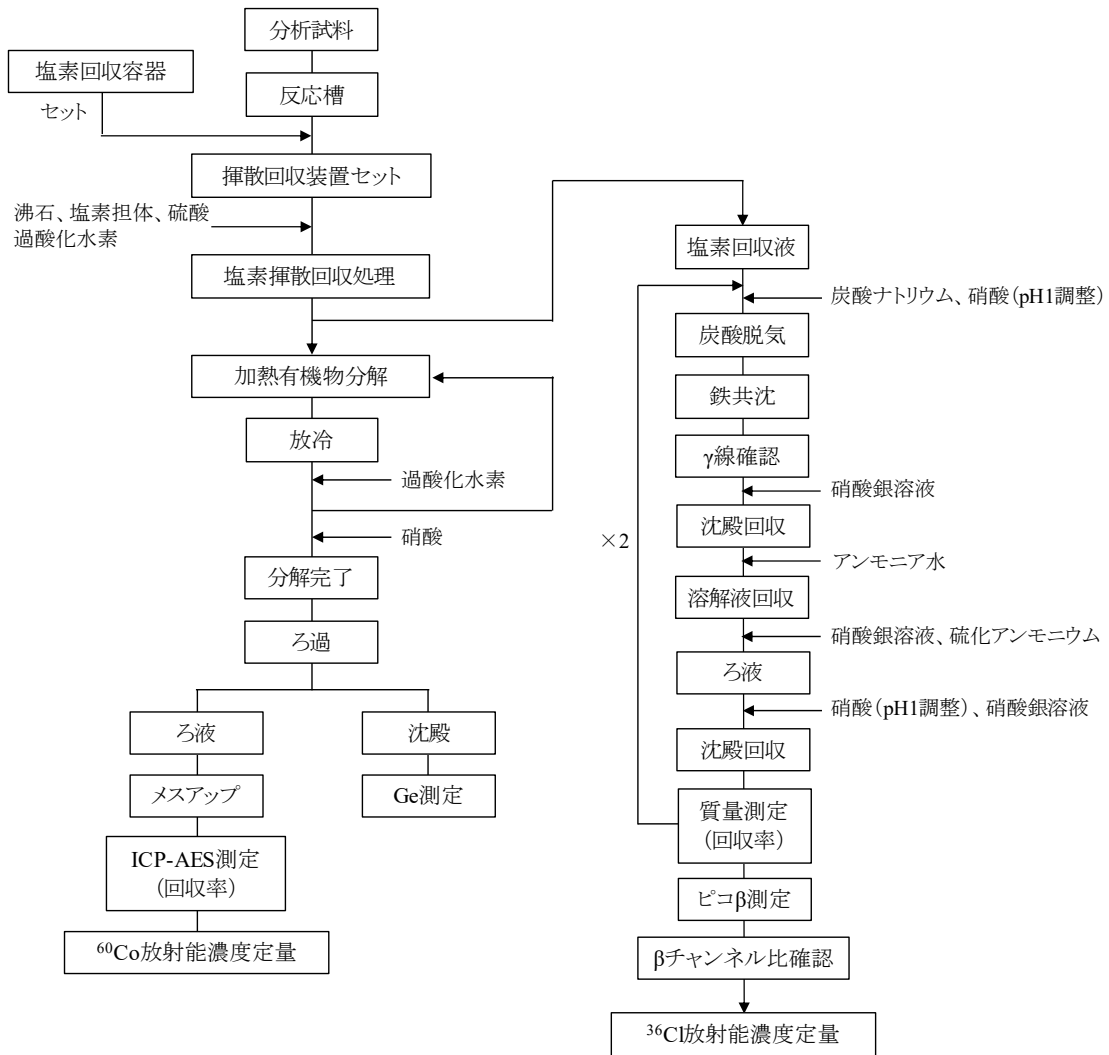


図7 ³⁶Cl分析フロー

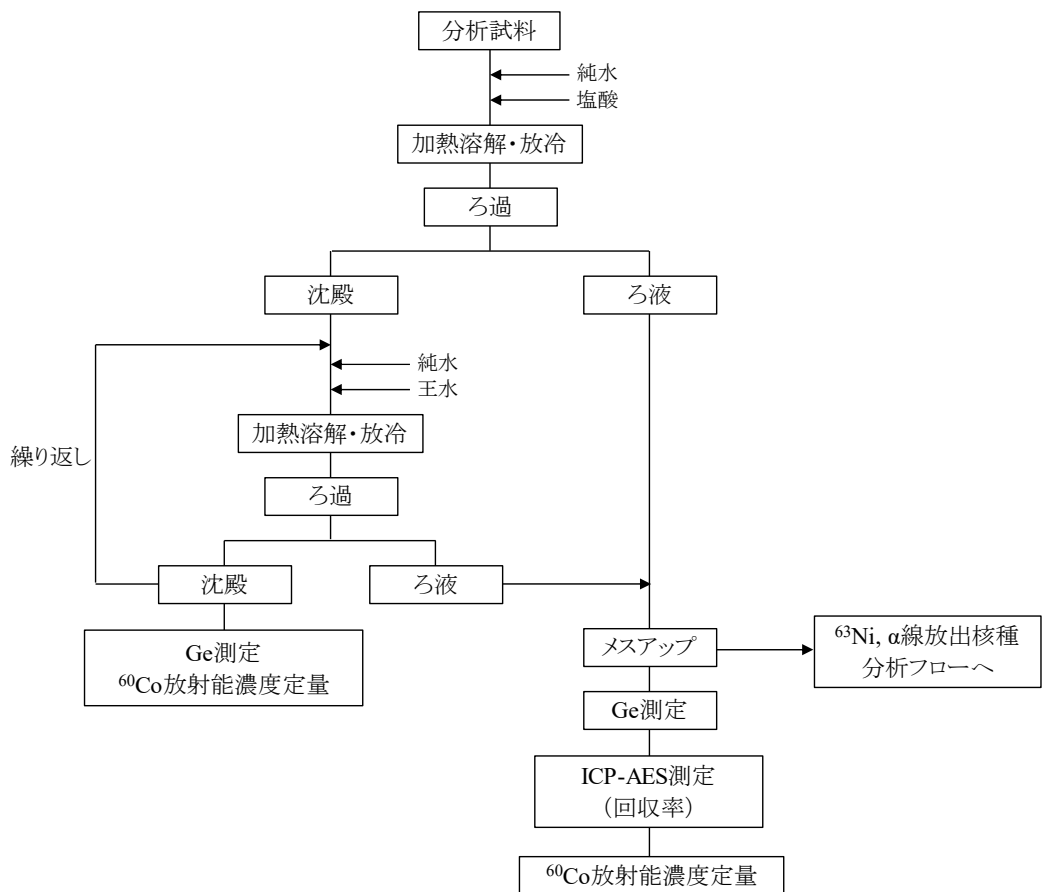


図 8 ^{63}Ni 分析用試料、 α 線放出核種分析用試料の前処理フロー

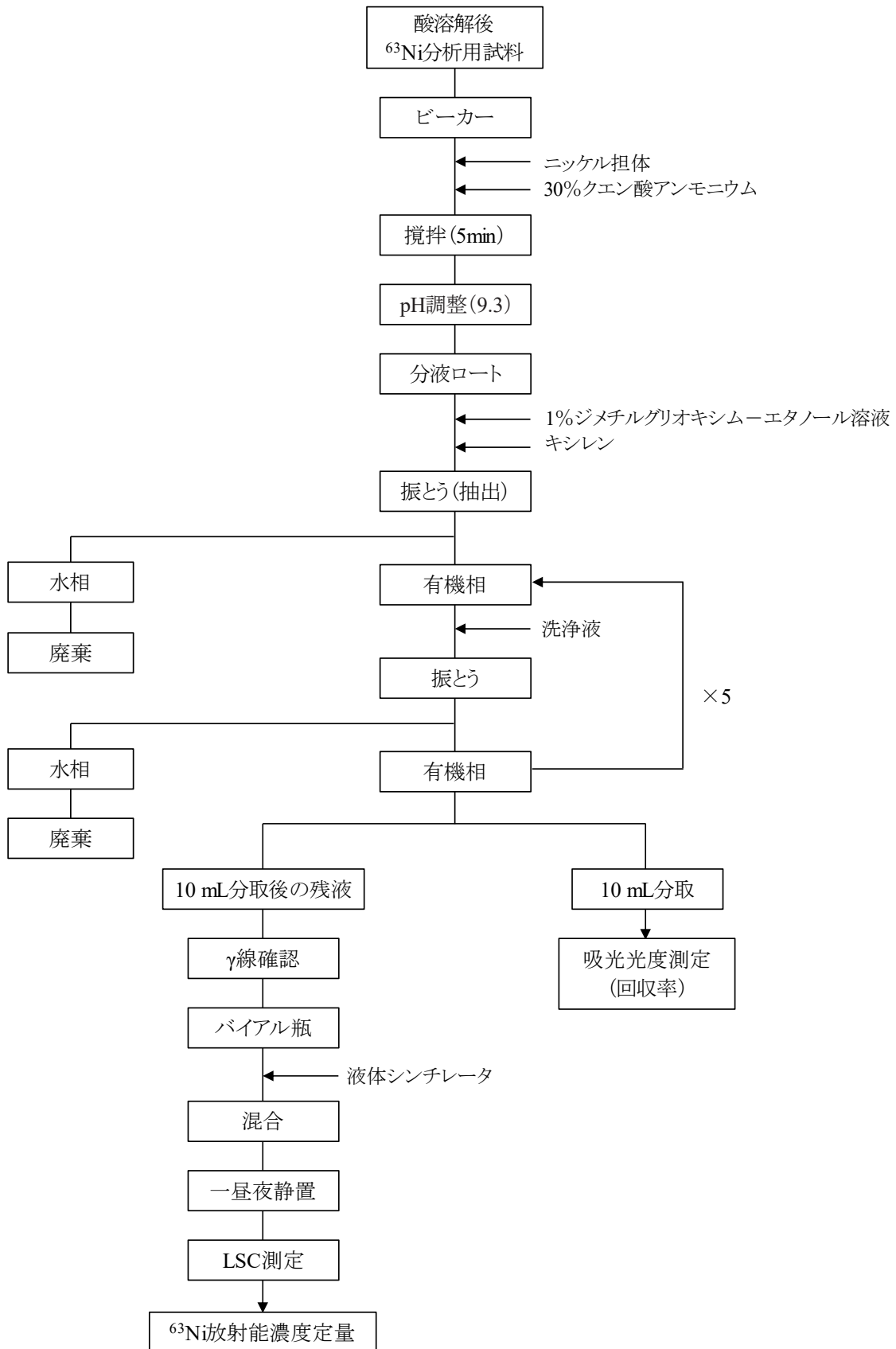


図9 ^{63}Ni 分析フロー

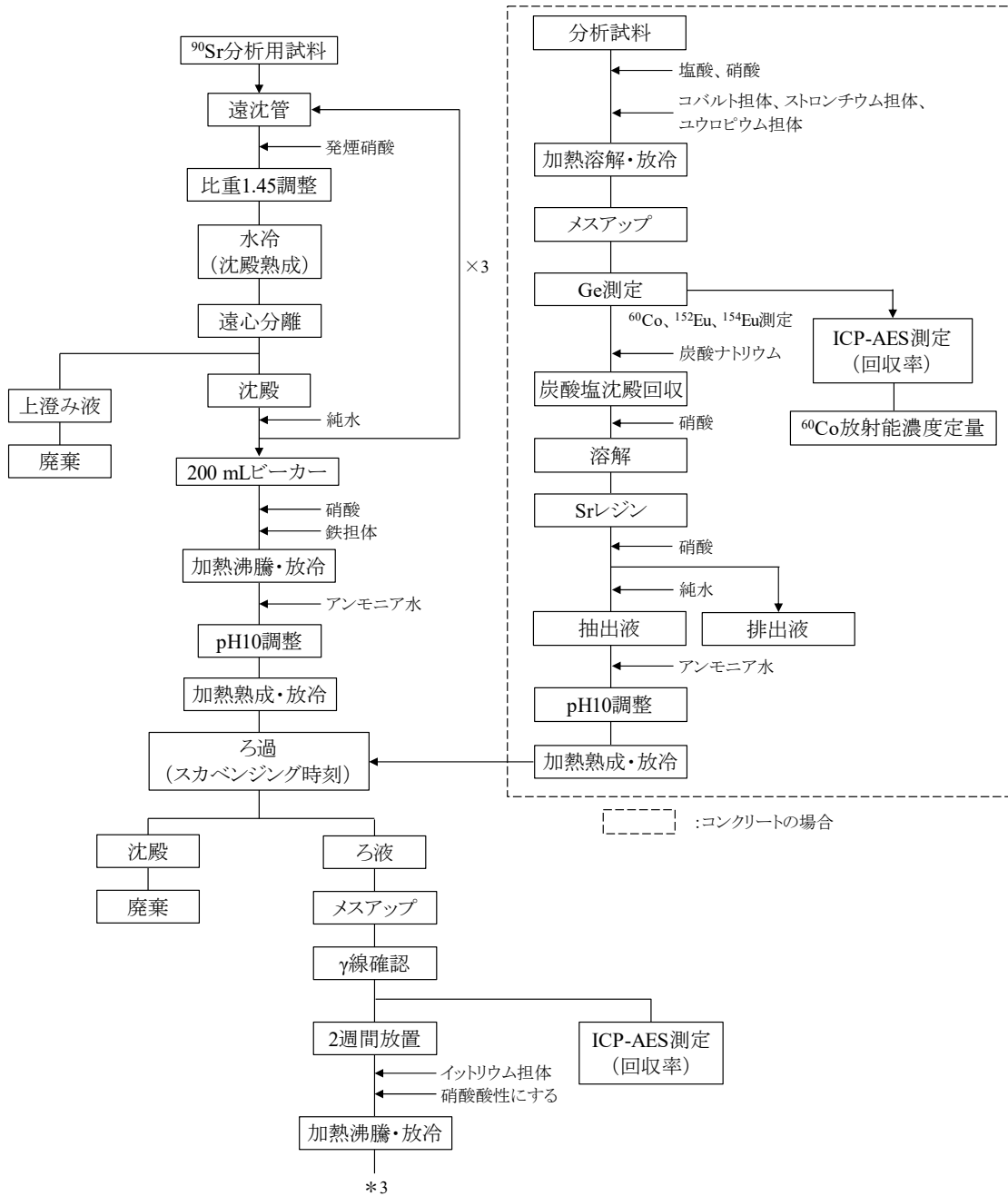


図 10 ^{90}Sr 分析フロー (1/2)

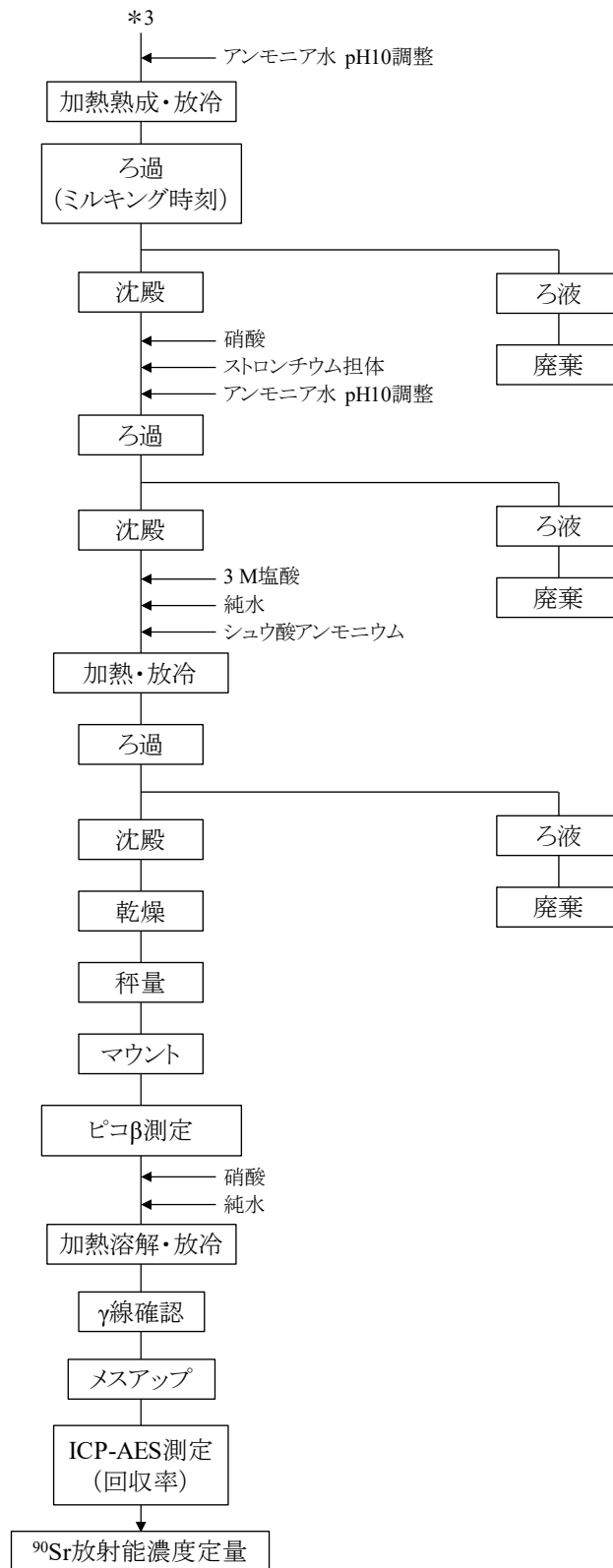


図 10 ⁹⁰Sr 分析フロー (2/2)

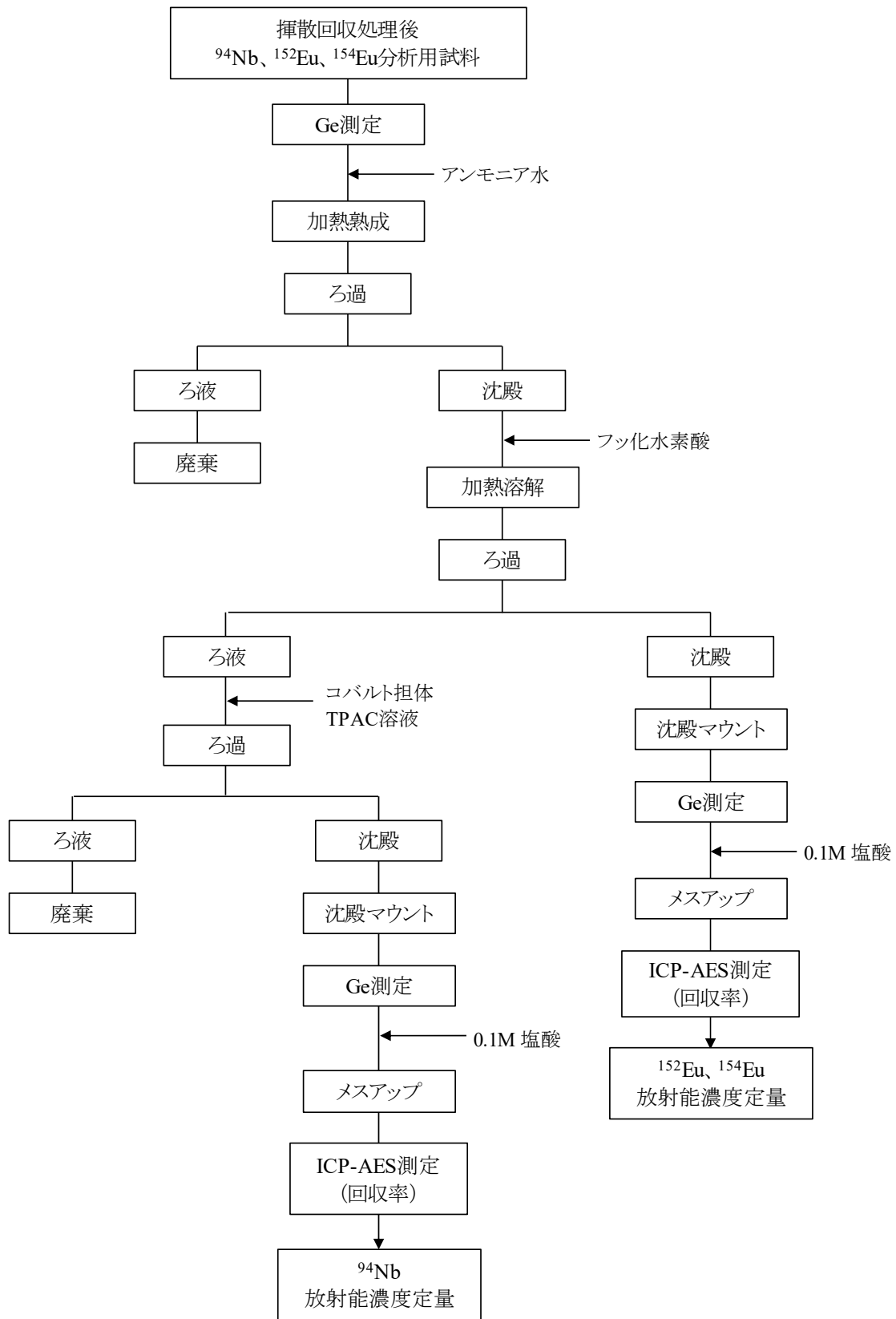


図 11 ^{94}Nb 、 ^{152}Eu 及び ^{154}Eu 分析フロー

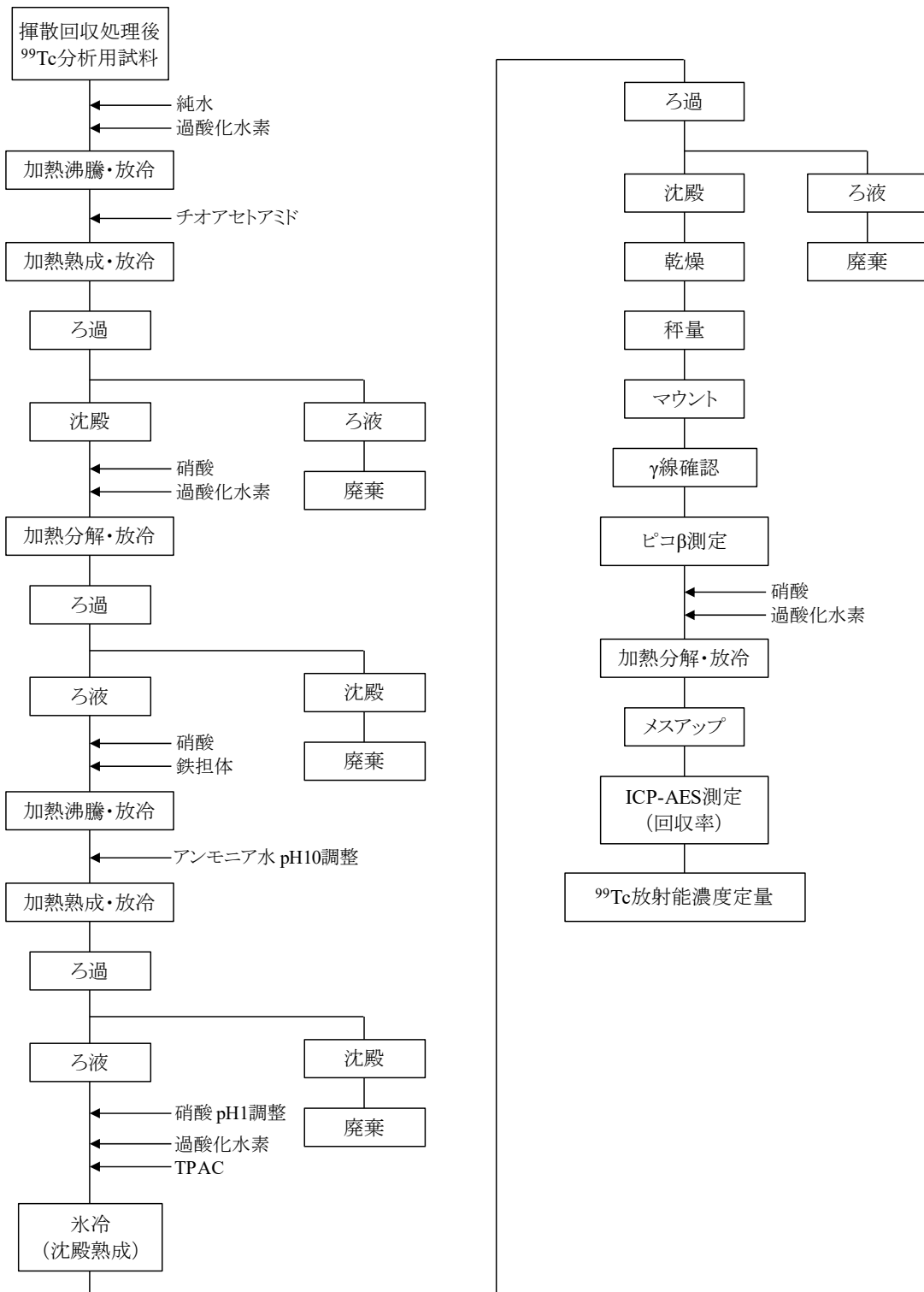


図 12 ⁹⁹Tc 分析フロー

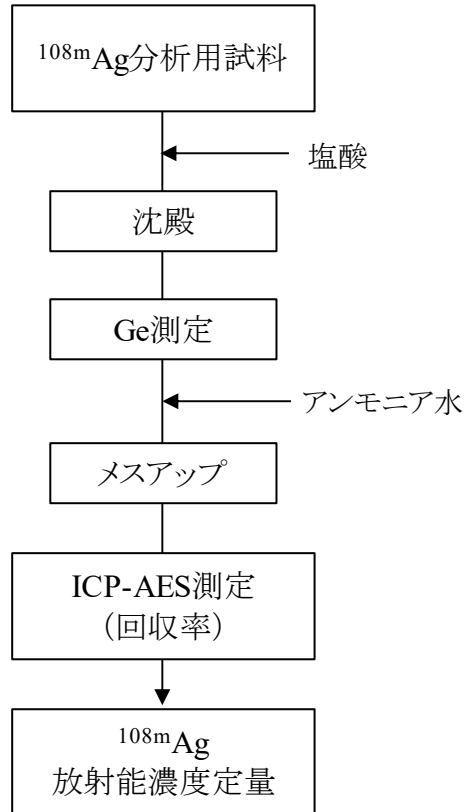


図 13 ^{108m}Ag 分析フロー

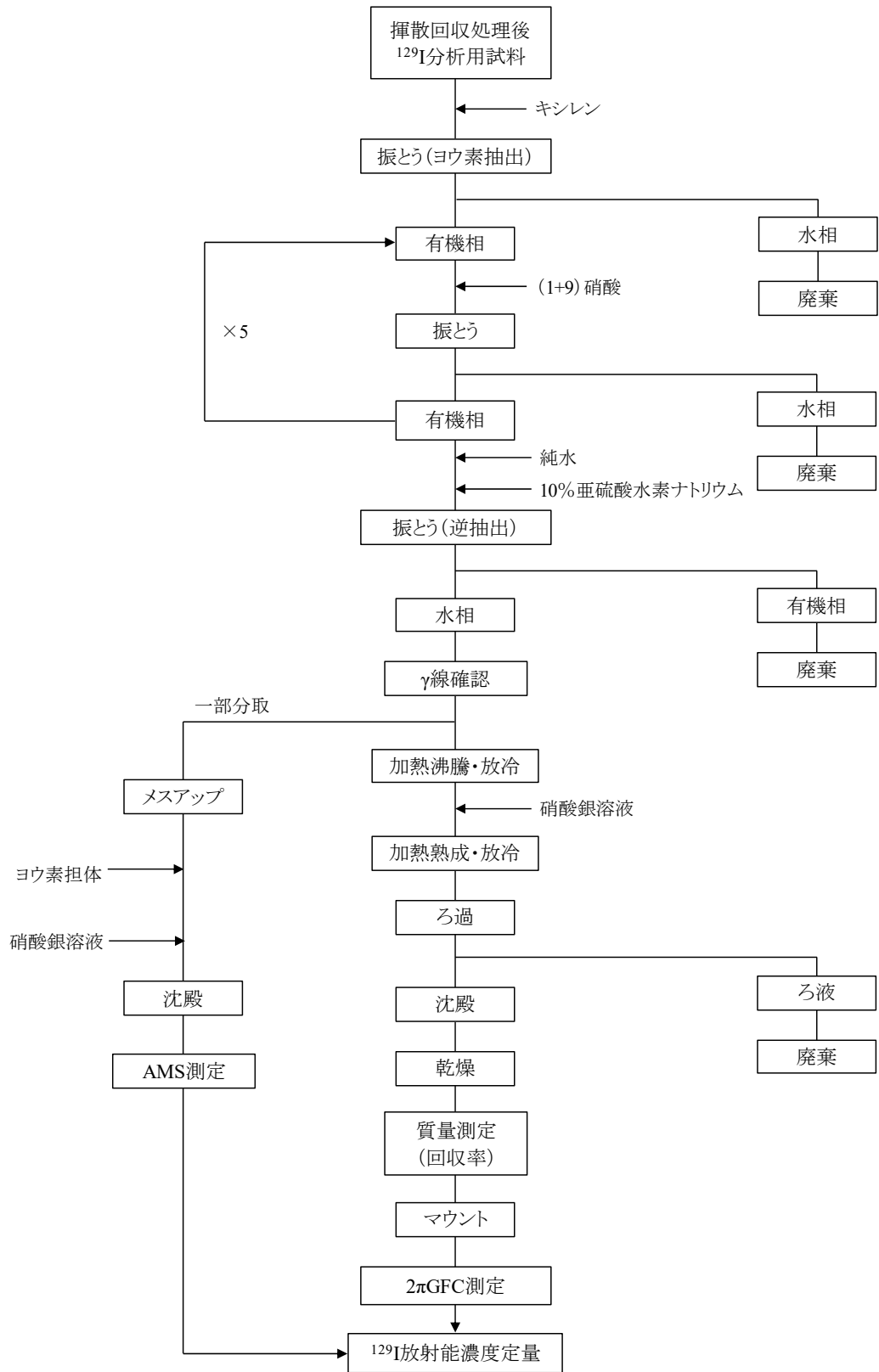


図 14 ^{129}I 分析フロー

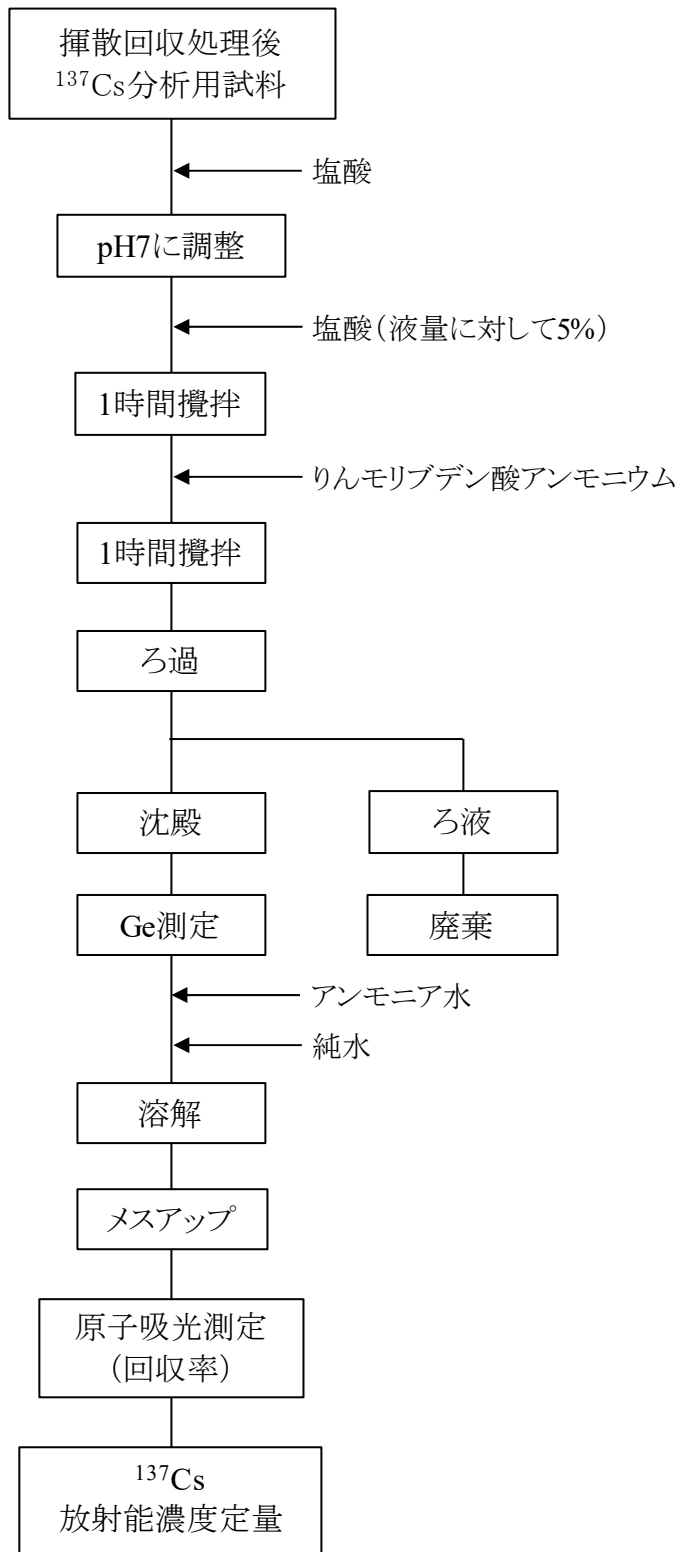


図 15 ^{137}Cs 分析フロー

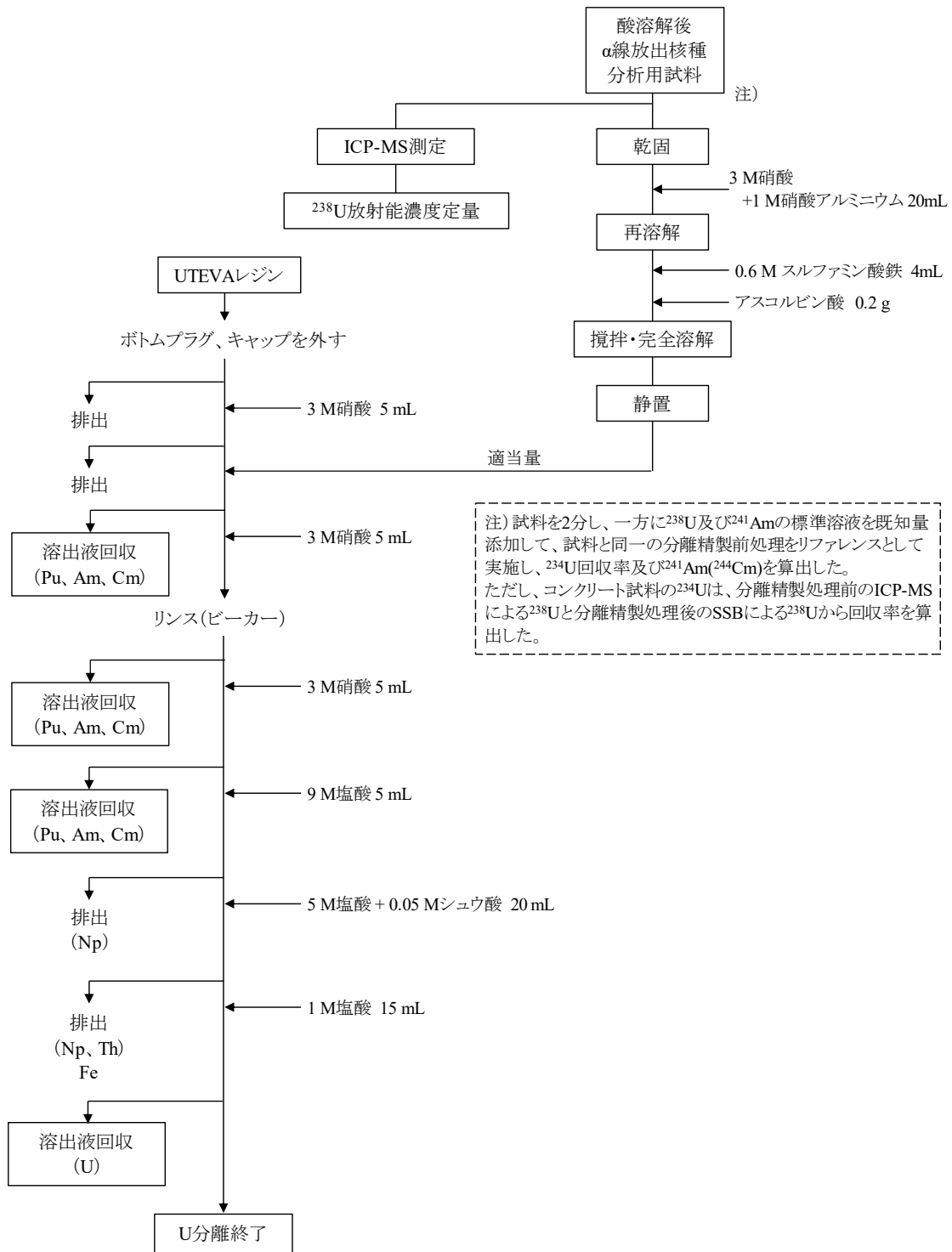


図 16 α線放出核種 (²³⁴U、²³⁸U、²³⁸Pu、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、²⁴¹Am 及び ²⁴⁴Cm) 分析フロー (1/3)

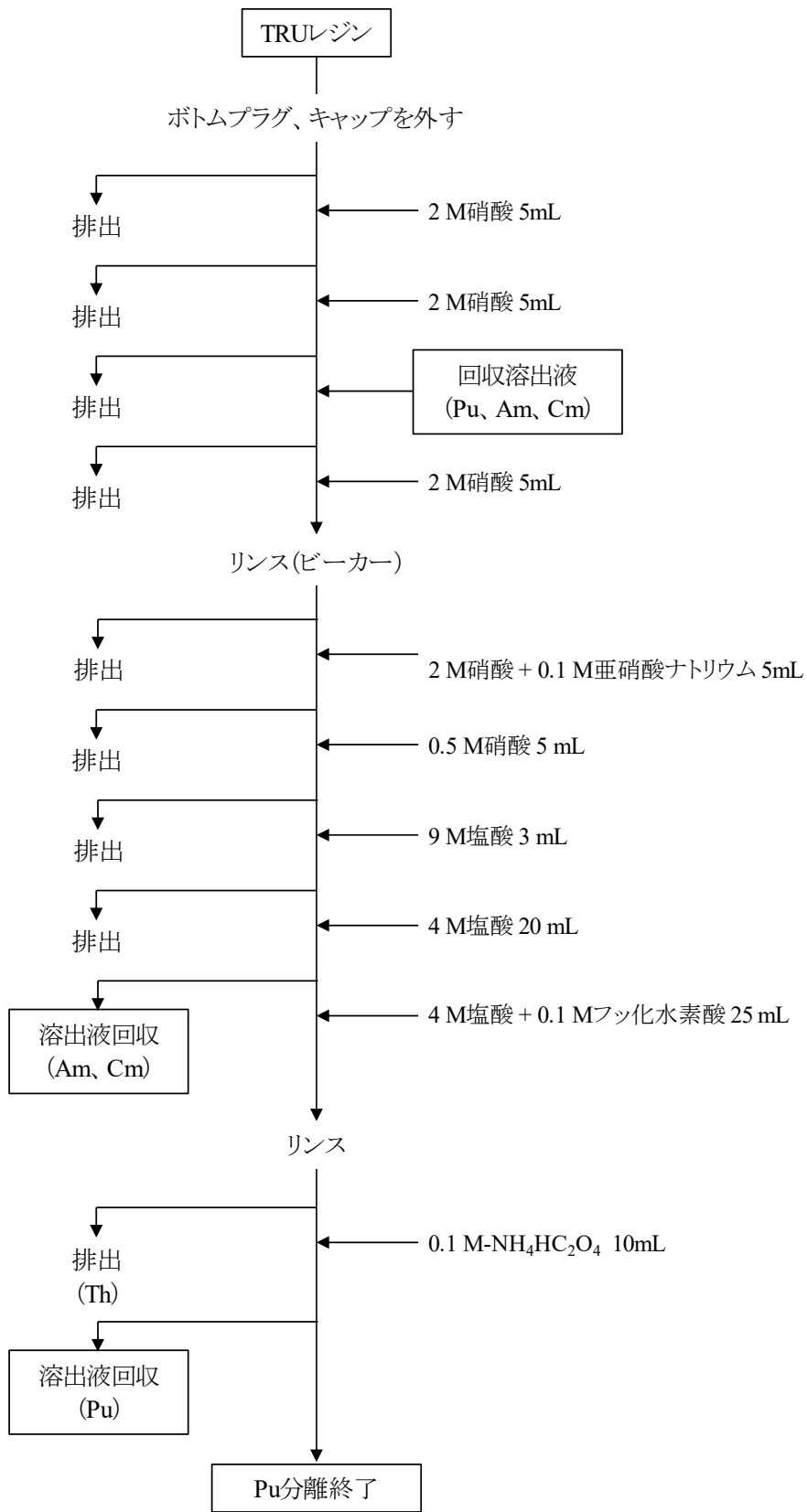


図 16 α線放出核種 (^{234}U 、 ^{238}U 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm) 分析フロー (2/3)

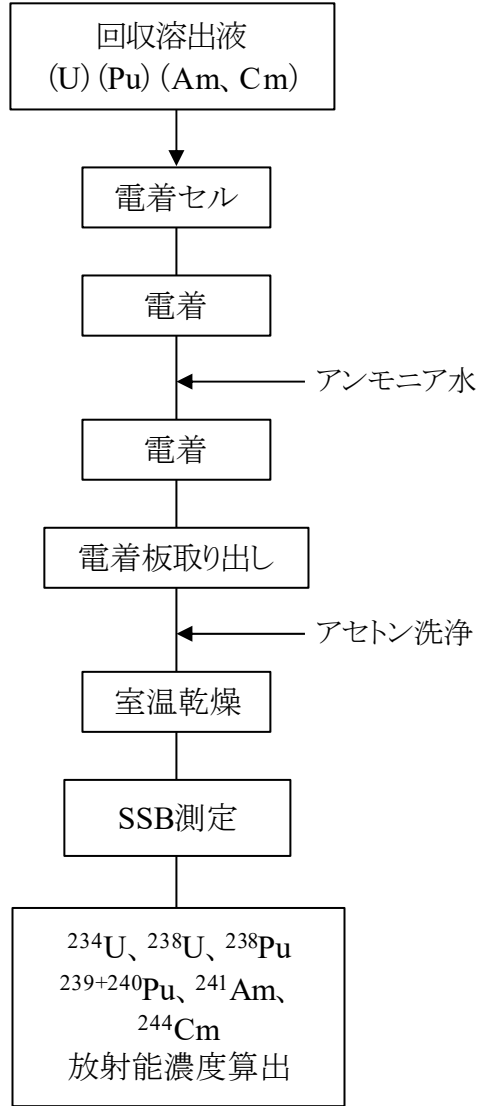


図 16 α 線放出核種 (²³⁴U、²³⁸U、²³⁸Pu、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、²⁴¹Am 及び ²⁴⁴Cm) 分析フロー (3/3)

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량	モル	mol
光度	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組立単位	
	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	毎メートル	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	キログラム毎立方メートル	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
比透磁率 ^(b)	(数字の)	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 ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		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	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	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
光路長	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射性核種の放射能 ^(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
酸素活性化	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 (CI-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
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ 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	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
放射線強度	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
放射線輝度	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
酵素活性濃度	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹

表5. SI接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	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=60 s
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/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=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	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=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=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=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) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	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
エルグ	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
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	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=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 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=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=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	1 cal=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

