

## 照射後試験施設から発生する廃棄物の 放射能評価方法の検討 (2)

Study on the Evaluation Method to Determine  
the Radioactivity Concentration in Radioactive Waste Generated  
from Post-irradiation Examination Facilities – Part 2 –

辻 智之 星野 譲 坂井 章浩 坂本 義昭  
鈴木 康夫 町田 博

Tomoyuki TSUJI, Yuzuru HOSHINO, Akihiro SAKAI, Yoshiaki SAKAMOTO  
Yasuo SUZUKI and Hiroshi MACHIDA

バックエンド研究開発部門  
廃棄物対策・埋設事業統括部

Radioactive Waste Management and Disposal Project Department  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

June 2017

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。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

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, 2017

照射後試験施設から発生する廃棄物の放射能評価方法の検討 (2)

日本原子力研究開発機構

バックエンド研究開発部門 廃棄物対策・埋設事業統括部

辻 智之、星野 譲、坂井 章浩、坂本 義昭、鈴木 康夫\*1、町田 博\*2

(2017年3月31日受理)

研究施設等廃棄物の埋設処分に向けた合理的な廃棄物確認手法確立のために、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能濃度評価手法を検討する必要がある。このため、ニュークリア・デベロップメント株式会社の照射後試験施設をモデルに理論計算を主体とする新たな放射能濃度評価手法の検討を行った。この結果、埋設処分の安全評価上重要と考えられる 17 核種 (H-3、C-14、Co-60、Ni-63、Sr-90、Tc-99、Cs-137、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244) のうち、Sr-90、Tc-99、Eu-154 等の 14 核種に対し、理論計算手法を適用できる可能性を得た。

---

本報告書は、公益財団法人原子力バックエンド推進センター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。

旧本部署所：〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-49

\*1：公益財団法人原子力バックエンド推進センター

\*2：ニュークリア・デベロップメント株式会社

Study on the Evaluation Method to Determine the Radioactivity Concentration in Radioactive  
Waste Generated from Post-irradiation Examination Facilities - Part 2 -

Tomoyuki TSUJI, Yuzuru HOSHINO, Akihiro SAKAI, Yoshiaki SAKAMOTO,  
Yasuo SUZUKI\*<sup>1</sup> and Hiroshi MACHIDA\*<sup>2</sup>

Radioactive Waste Management and Disposal Project Department  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 31, 2017)

It is necessary for reasonable disposal to be studied on evaluation methods to determine radioactivity concentrations in the radioactive wastes, which are generated from post-irradiation examination (PIE) facilities, for establishment of reasonable confirmation methods concerning radioactive wastes generated from research, industrial, and medical facilities. It has been chosen the PIE facilities of Nuclear Development Corporation as a model for this study. As a result, it has been confirmed that the theoretical methods are applied for the important nuclides (C-14, Ni-63, Sr-90, Tc-99, Eu-154, U-234, U-235, U-238, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241 and Cm-244).

Keywords: Disposal of Low-level Radioactive Wastes, Post-irradiation Examination Facilities, Theoretical Method

---

This work was based on the study performed by Radwaste and Decommissioning Center under contract with Japan Atomic Energy Agency.

\*1 : Radwaste and Decommissioning Center

\*2 : Nuclear Development Corporation

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 検討手順 .....	2
2.1 理論計算手法の概要 .....	2
2.2 検討手順 .....	2
2.3 試料採取方針 .....	4
3. 実廃棄物からの試料採取及び分析 .....	9
3.1 廃棄物試料の採取 .....	9
3.2 放射化学分析の実施 .....	9
3.3 放射化学分析の誤差評価 .....	11
4. 試料採取及び分析結果 .....	23
4.1 廃棄物試料の採取結果 .....	23
4.2 放射化学分析結果 .....	24
5. 放射能濃度評価手法の適用性検討 .....	57
5.1 分析データの確認 .....	57
5.2 放射能濃度評価の適用性検討 .....	58
6. まとめ .....	74
謝辞 .....	75
参考文献 .....	75

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Procedure .....	2
2.1 Outline of theoretical method .....	2
2.2 Procedure .....	2
2.3 Sampling policy .....	4
3. Sampling from radioactive wastes and radiochemical analysis .....	9
3.1 Sampling method .....	9
3.2 Radiochemical analysis .....	9
3.3 Error evaluation by radiochemical analysis .....	11
4. Result of sampling and radiochemical analysis .....	23
4.1 Result of sampling .....	23
4.2 Result of radiochemical analysis .....	24
5. Study on theoretical method .....	57
5.1 Review of radiochemical analysis data .....	57
5.2 Study on theoretical method .....	58
6. Conclusion .....	74
Acknowledgement .....	75
References .....	75

## 図表リスト

表 2.1	評価対象核種の分類と組み合わせ	5
表 2.2	NDC に搬入された燃料又は燃料集合体の概要	5
表 2.3	理論計算による評価対象核種ごとの核種組成比	6
表 3.1	分析対象核種の前処理方法と対象核種の検出方法	13
表 4.1	容器 D の表面線量率測定結果	27
表 4.2	容器 E の表面線量率測定結果	28
表 4.3	容器 F の表面線量率測定結果	29
表 4.4	容器 G の表面線量率測定結果	30
表 4.5	容器 H の表面線量率測定結果	31
表 4.6	容器 I の表面線量率測定結果	32
表 4.7	容器 D に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果	33
表 4.8	容器 E に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果	34
表 4.9	容器 F に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果	35
表 4.10	容器 G に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果	36
表 4.11	容器 H に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果	37
表 4.12	容器 I に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果	38
表 4.13	廃棄物試料（容器 D、試料 No.2）の基本情報	39
表 4.14	廃棄物試料（容器 E、試料 No.30）の基本情報	40
表 4.15	廃棄物試料（容器 F、試料 No.19）の基本情報	41
表 4.16	廃棄物試料（容器 G、試料 No.22）の基本情報	42
表 4.17	廃棄物試料（容器 H、試料 No.1）の基本情報	43
表 4.18	廃棄物試料（容器 I、試料 No.12）の基本情報	44
表 4.19	廃棄物試料（容器 D）の分析結果	45
表 4.20	廃棄物試料（容器 E）の分析結果	46
表 4.21	廃棄物試料（容器 F）の分析結果	47
表 4.22	廃棄物試料（容器 G）の分析結果	48
表 4.23	廃棄物試料（容器 H）の分析結果	49
表 4.24	廃棄物試料（容器 I）の分析結果	50
表 4.25	分析前処理の不確かさの評価結果	51
表 4.26	廃棄物試料、分析対象核種ごとの放射能測定の不確かさ	52
表 4.27	廃棄物試料、分析対象核種ごとの放射化学分析の不確かさ	53
表 5.1	廃棄物試料（容器 A）の分析結果	60
表 5.2	廃棄物試料（容器 B）の分析結果	61
表 5.3	廃棄物試料（容器 C）の分析結果	62
表 5.4	放射化学分析結果に基づく核種組成比	63
表 5.5	理論計算結果に基づく核種組成比	64

図 2.1	理論計算手法の概要 (イメージ)	7
図 2.2	代表的と考えられる燃焼度ごとの核種組成比	7
図 2.3	本検討の概要フロー	8
図 3.1	放射化学分析結果の規格化概念図	14
図 3.2	分析フロー図	15
図 3.3	H-3、C-14 の分析フロー	16
図 3.4	Ni-63 の分析フロー	17
図 3.5	ACT 核種の分析フロー	18
図 3.6	Sr-90 の分析フロー	19
図 3.7	Tc-99 の分析フロー	20
図 3.8	Eu-154 の分析フロー	21
図 3.9	放射化学分析の流れ	22
図 4.1	容器 D に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率	54
図 4.2	容器 E に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率	54
図 4.3	容器 F に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率	55
図 4.4	容器 G に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率	55
図 4.5	容器 H に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率	56
図 4.6	容器 I に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率	56
図 5.1	容器 A から容器 F の核種組成比の比較	65
図 5.2	容器 G から容器 I の核種組成比の比較	65
図 5.3	H-3 の放射能濃度と Co-60 の放射能濃度との関係	66
図 5.4	H-3 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	66
図 5.5	C-14 の放射能濃度と Co-60 の放射能濃度との関係	67
図 5.6	Ni-63 の放射能濃度と Co-60 の放射能濃度との関係	67
図 5.7	Sr-90 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	68
図 5.8	Tc-99 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	68
図 5.9	Eu-154 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	69
図 5.10	U-234 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	69
図 5.11	U-235 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	70
図 5.12	U-238 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	70
図 5.13	Pu-238 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	71
図 5.14	Pu-239+240 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	71
図 5.15	Pu-241 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	72
図 5.16	Am-241 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	72
図 5.17	Cm-244 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係	73



## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構が進めている研究施設等廃棄物の埋設事業の対象は、試験研究用原子炉、照射後試験施設、加工施設、放射性同位元素使用施設等、様々な施設から発生する放射性廃棄物である。これらは適用される法令や事業許可区分が多岐に亘っており、廃棄物に含まれる放射性核種の種類や量も多様なものとなっている。埋設事業を円滑に進めるためには、研究施設等廃棄物の発生施設ごとの特徴を踏まえ共通的な廃棄体確認手法を確立することが必要である。

原子力発電所から発生する廃棄物（以下「発電所廃棄物」という。）に対する廃棄体確認手法はすでに確立されており<sup>1)</sup>、ピット処分が行われている。また、試験研究用原子炉に対する放射能濃度評価手法についても、これまで JPDR の解体に伴って発生した金属廃棄物に対し、発電所廃棄物と同様にスケーリングファクタ法（以下「SF 法」という。）や平均放射能濃度法の適用性について検討が行われている<sup>2,3)</sup>。一方、照射後試験施設から発生する廃棄物（以下「照射後試験施設廃棄物」という。）に対しては、原子炉燃料または原子炉内で中性子照射された原子炉構成材料（以下「放射化材料」という。）に由来する汚染廃棄物であることから、発電所廃棄物と同様の合理的な放射能濃度評価手法の適用を目指し検討に着手したところである<sup>4)</sup>。

本報告は、これまでの検討<sup>4)</sup>に引き続きニュークリア・デベロップメント株式会社（以下「NDC」という。）の照射後試験施設に保管されていた照射後試験施設廃棄物に対し、埋設処分における安全評価上重要と考えられる 17 核種（H-3、C-14、Co-60、Ni-63、Sr-90、Tc-99、Cs-137、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244）の放射化学分析を実施し、新たに取得した放射能濃度データを含め、理論計算を主体とした放射能濃度評価手法の適用性について検討を行った。

## 2. 検討手順

照射後試験施設廃棄物は、主に遮へいセル内に設置された照射後試験装置、照射済燃料・材料、セル内の除染作業等で発生する放射性廃棄物であり、汚染源は原子炉燃料または放射化材料に由来する放射性核種である<sup>5)</sup>。照射後試験で取り扱われた照射済燃料・材料の種類は様々であるが、基本的には汚染源となる放射性核種が付着した汚染廃棄物であるため、照射済燃料・材料の放射性核種の組成を保ったまま廃棄物に移行すると考えられた。すなわち、発電所廃棄物に適用されている SF 法のように、廃棄体外部から測定した Co-60 または Cs-137 の放射能濃度から間接的に放射能濃度を評価する手法<sup>6)</sup>について適用性検討を行った。

### 2.1 理論計算手法の概要

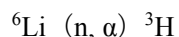
本検討における手法は、ORIGEN-2 計算コードによる放射化・燃焼計算により放射能濃度評価の対象とする核種（以下「評価対象核種」という。）の放射能濃度を求め、Co-60 または Cs-137 の放射能濃度に対する評価対象核種の放射能濃度比（以下「核種組成比」という。）をあらかじめ算出し、評価対象核種ごとの核種組成比に廃棄体外部から非破壊で測定した Co-60 または Cs-137 の放射能濃度を掛け合わせ、評価対象核種の放射能濃度を評価する手法（以下「理論計算手法」という。）とした。図 2.1 に理論計算手法の概要を示す。

### 2.2 検討手順

本検討では照射後試験施設廃棄物の埋設処分における安全評価上重要と考えられる 17 核種<sup>5)</sup>（H-3、C-14、Co-60、Ni-63、Sr-90、Tc-99、Cs-137、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244）を評価対象核種とした。以下に核種ごとの生成機構をまとめる<sup>7)</sup>。

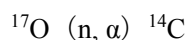
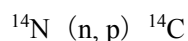
#### (1) H-3

H-3 の主要な生成機構は、原子炉燃料である U の三体核分裂または原子炉構成材料中の Li-6 の熱中性子捕獲であり以下に示す核反応によって生成する。H-3 はトリチウム水として水と同様の挙動を示すと考えられ、照射後試験に伴って固体廃棄物の表面に付着するものと考えた。



#### (2) C-14

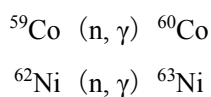
C-14 の主要な生成機構は、原子炉構成材料中の N-14 や O-17 の熱中性子捕獲であり以下に示す核反応によって生成する。



C-14 は特にハル、エンドピース、炉内構造物等、原子炉内で放射化された金属（以下「放射化金属」という。）に含有するものであり、既往の研究<sup>8)</sup>では放出される C-14 の大半が有機物であるとされている。このため、照射後試験に伴って固体廃棄物の表面に付着するものと考えた。

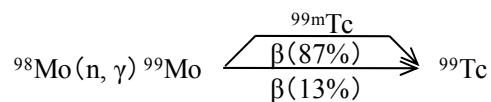
(3) Co-60、Ni-63

Co-60、Ni-63 の主要な生成機構は、原子炉構成材料に使用されている炭素鋼やステンレス鋼や原子炉燃料の被覆管などの中に含まれる Co-59 や Ni-62 の熱中性子捕獲により以下の核反応によって生成し、照射後試験に伴って固体廃棄物の表面に付着するものと考えた。



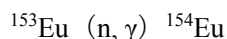
(4) Sr-90、Tc-99、Cs-137

Sr-90、Tc-99、Cs-137 の主要な生成機構は、原子炉燃料である U の核分裂であり、照射後試験に伴って固体廃棄物の表面に付着するものと考えた。なお、Tc-99 は原子炉構成材料中の Mo-98 の熱中性子捕獲により以下の核反応でも生成するが、照射後試験施設廃棄物に含まれる Tc-99 は核分裂により生成するものが主体的であると考えた。



(5) Eu-154

Eu-154 の主要な生成機構は、原子炉燃料である U の核分裂に起因する Eu-153、または原子炉構成材料中に含まれる不純物の Eu-153 の熱中性子捕獲により以下の核反応で生成し、照射後試験に伴って固体廃棄物の表面に付着するものと考えた。なお、照射後試験施設廃棄物に含まれる Eu-154 は原子炉燃料である U の核分裂に起因する Eu-153 の熱中性子捕獲が主体的であると考えた。



(6) U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Am-243、Cm-244

これらの核種の主要な生成機構は U の逐次的な熱中性子捕獲及びその壊変であり、照射後試験に伴って固体廃棄物の表面に付着するものと考えた。

核種ごとの生成機構から、評価対象核種を中性子照射により生成する核種（以下「AP核種」という。）、核分裂により生成する核種（以下「FP核種」という。）、ウランの逐次的な熱中性子捕獲及びその壊変で生成する核種（アクチノイド、以下「ACT核種」という。）に分類した。表 2.1 に生成機構から分類した結果を示す。

この結果から、本理論計算手法における核種組成比の組み合わせを、放射化材料に由来する AP 核種に対しては Co-60 と組み合わせ、原子炉燃料に由来する FP 核種及び ACT 核種に対しては Cs-137 と組み合わせることとした。なお、照射後試験施設廃棄物に含まれる Tc-99 及び Eu-154 は原子炉燃料である U の核分裂による生成が主体的であると考え、本検討においては Cs-137 と組み合わせることとした。

これまでの検討<sup>4)</sup>において、NDC の照射後試験施設に実際に搬入された照射済燃料のデータに基づき放射化・燃焼計算を実施しており、この計算結果に基づき表 2.1 の組み合わせから核種組成比を算出した。NDC の照射後試験施設に搬入された照射済燃料の概要データを表 2.2 に、放射化・燃焼計算により算出した評価対象核種ごとの核種組成比を表 2.3 にまとめる。また、表 2.2 及び表 2.3 から代表的と考えられる燃焼度ごとの核種組成比を図 2.2 に示す。

図 2.2 に示すように、U-235 は燃焼に伴って減少していくので、高燃焼度になるのに従い核種組成比は下がる傾向になる。また、Cm-244 は U-235 の燃焼に伴って増加するので、高燃焼度になるのに従い核種組成比は上がる傾向になる。その他の評価対象核種の核種組成比も燃焼度によって多少ばらつくことが確認された。以上のように照射済燃料の燃焼度に応じ評価対象核種ごとの核種組成比はよく似たふるまいを示すことから、照射後試験施設で取り扱われた照射済燃料のデータに基づき、照射後試験施設廃棄物に対し理論計算手法が適用できると考えられた。

従って、理論計算による核種組成比と、実際に NDC に保管されていた放射性廃棄物から採取した分析用試料（以下「廃棄物試料」という。）の放射化学分析結果による核種組成比を比較することで、本理論計算手法の適用性を確認した。図 2.3 に本検討の概要フローを示す。

### 2.3 試料採取方針

これまでの検討<sup>4)</sup>では複数の照射済燃料によって汚染された場合について検討することが課題として整理されている。このため、本検討では一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物から廃棄物試料を採取するとともに二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物からも廃棄物試料を採取することとし、NDC の廃棄物保管情報から検討対象となる廃棄物が封入されている廃棄物保管容器を選定することとした。

表 2.1 評価対象核種の分類と組み合わせ

分類	評価対象核種	
	AP 核種	H-3、C-14、Ni-63
FP 核種	Sr-90、Tc-99、Eu-154*	
ACT 核種	U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244	
	Cs-137	

\* Eu-154 は原子炉燃料である U の核分裂により生成した Eu-153 の熱中性子捕獲が主體的であると考えたため FP 核種に分類した。

表 2.2 NDC に搬入された燃料又は燃料集合体の概要<sup>4)</sup>

対象燃料	燃料集合体A UO <sub>2</sub>	燃料集合体B UO <sub>2</sub>	燃料棒A		燃料棒C		燃料棒B		燃料集合体D	
			MOX	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Gd入	UO <sub>2</sub>	Gd入	UO <sub>2</sub>	Gd入
燃料の種類 <sup>※1</sup>										
燃焼度 (GWd/t) <sup>※2</sup>	21.6	37.4	24.9	42.7	42.7	54.6	37.4	37.6	37.6	37.6
比出力 (MW/t)	17.7	31	23.5	37.6	37.6	41	28	44.9	44.9	44.9
濃縮度 (wt%)	3.2	3.4	4.2	4.1	2.6	4.5	2	4.8	3.2	3.2
冷却期間 (日) <sup>※3</sup>	9179	9035	8320	7671	7671	4581	4581	2212	2212	2212

対象燃料	燃料集合体E UO <sub>2</sub>	燃料集合体F UO <sub>2</sub>	燃料棒C		燃料棒D		燃料棒E		燃料棒F	
			UO <sub>2</sub>	Gd入	UO <sub>2</sub>	MOX	UO <sub>2</sub>	Gd入		
燃料の種類 <sup>※1</sup>										
燃焼度 (GWd/t) <sup>※2</sup>	30.5	9	34.3	23.9	46.7	22.6	33.7	23.1	23.1	23.1
比出力 (MW/t)	14	16.9	37	28	35	23.4	37	28	28	28
濃縮度 (wt%)	3.28	3.1	3.2	1.7	3.2	4.2	4.1	2.6	2.6	2.6
冷却期間 (日) <sup>※3</sup>	11693	10556	10089	10089	9778	8321	8139	8139	8139	8139

※1: 燃料集合体/燃料棒の輸送形態で区別  
 ※2: 燃料集合体で受入れている燃料は、燃料集合体平均の燃焼度  
 ※3: 平成26年10月1日時点

表 2.3 理論計算による評価対象核種ごとの核種組成比\*

燃料種類 核種		燃料 集合体A	燃料 集合体B	燃料 集合体C		燃料棒B		燃料 集合体D	
		UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Gd入	UO <sub>2</sub>	Gd入	UO <sub>2</sub>	Gd入
H-3	/Co-60	6.5E-02	6.5E-02	7.2E-02	6.2E-02	2.4E-01	1.9E-01	1.4E-01	1.2E-01
C-14		1.0E-05	1.1E-05	1.0E-05	1.1E-05	3.4E-05	3.5E-05	1.8E-05	1.9E-05
Ni-63		9.4E-02	9.3E-02	9.2E-02	9.3E-02	1.6E-02	1.7E-02	8.7E-02	8.7E-02
Sr-90	/Cs-137	7.5E-01	6.8E-01	7.1E-01	5.9E-01	6.8E-01	5.6E-01	7.7E-01	6.6E-01
Tc-99		1.3E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.3E-04	1.2E-04
Eu-154		6.9E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.4E-01	1.3E-01	1.4E-01	9.0E-02	1.2E-01
U-234		1.1E-06	1.9E-06	1.7E-06	2.0E-06	1.4E-06	1.3E-06	4.3E-07	5.5E-07
U-235		4.6E-07	1.5E-07	1.5E-07	6.0E-08	8.1E-08	5.7E-08	2.8E-07	1.3E-07
U-238		4.7E-06	2.7E-06	2.3E-06	2.3E-06	1.8E-06	2.7E-06	2.6E-06	2.6E-06
Pu-238		1.5E-02	2.9E-02	3.0E-02	3.5E-02	3.8E-02	3.4E-02	2.0E-02	2.8E-02
Pu-239+240		1.0E-02	7.6E-03	6.8E-03	7.3E-03	5.9E-03	8.0E-03	6.9E-03	7.6E-03
Pu-241		1.4E+00	1.4E+00	1.2E+00	1.4E+00	1.1E+00	1.6E+00	1.1E+00	1.4E+00
Am-241		3.6E-02	3.4E-02	2.8E-02	3.2E-02	1.8E-02	2.7E-02	1.0E-02	1.3E-02
Cm-244		4.2E-03	2.8E-02	2.8E-02	7.6E-02	5.3E-02	7.8E-02	9.9E-03	3.4E-02

燃料種類 核種		燃料 集合体E	燃料 集合体F	燃料棒C		燃料棒D	燃料棒F	
		UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Gd入	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Gd入
H-3	/Co-60	6.7E-02	5.3E-02	1.7E-01	1.4E-01	1.9E-01	2.0E-01	1.6E-01
C-14		1.1E-05	8.7E-06	3.0E-05	3.0E-05	3.3E-05	3.0E-05	2.9E-05
Ni-63		7.6E-02	8.0E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.7E-02	1.6E-02	1.6E-02
Sr-90	/Cs-137	7.1E-01	8.4E-01	6.8E-01	6.0E-01	6.3E-01	7.5E-01	6.9E-01
Tc-99		1.3E-04	1.3E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.3E-04	1.3E-04
Eu-154		9.7E-02	2.7E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.3E-01	9.1E-02	8.6E-02
U-234		1.8E-06	3.6E-07	1.9E-06	1.7E-06	2.7E-06	1.3E-06	1.1E-06
U-235		2.3E-07	1.7E-06	1.6E-07	1.4E-07	6.7E-08	2.7E-07	2.9E-07
U-238		3.3E-06	1.1E-05	2.9E-06	4.2E-06	2.1E-06	3.0E-06	4.4E-06
Pu-238		2.1E-02	3.7E-03	2.5E-02	2.3E-02	3.7E-02	2.1E-02	1.8E-02
Pu-239+240		8.5E-03	1.3E-02	8.0E-03	1.1E-02	6.8E-03	7.6E-03	1.0E-02
Pu-241		1.5E+00	7.8E-01	1.5E+00	2.1E+00	1.3E+00	1.3E+00	1.7E+00
Am-241		4.1E-02	2.0E-02	3.8E-02	5.5E-02	3.3E-02	2.9E-02	4.0E-02
Cm-244		1.5E-02	1.2E-04	2.4E-02	2.7E-02	6.9E-02	1.1E-02	1.0E-02

\* 核種組成比は、照射終了時点での放射化・燃焼計算による評価対象核種の放射能濃度 (Bq/t)を Co-60 または Cs-137 の放射能濃度比として算出した。

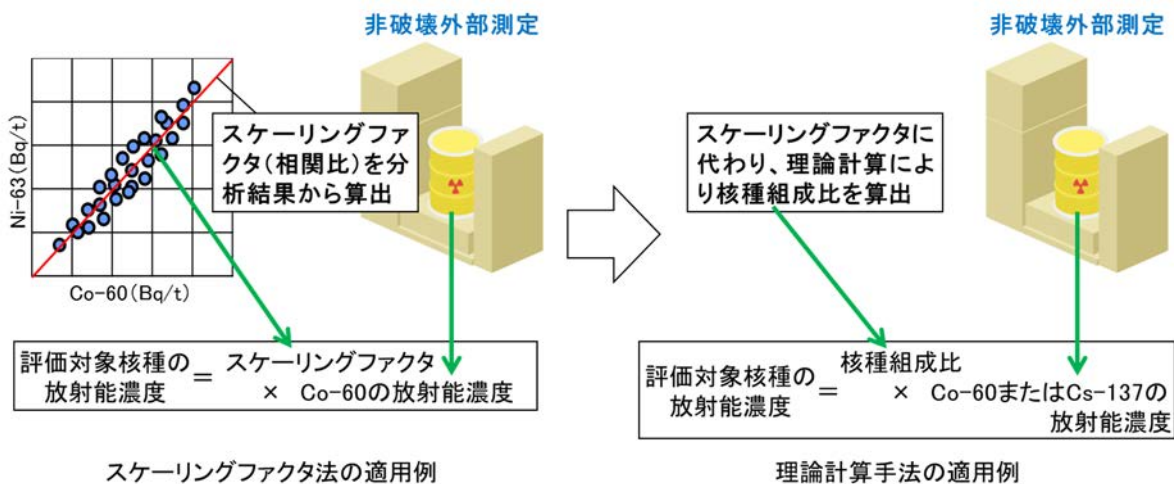


図 2.1 理論計算手法の概要 (イメージ)

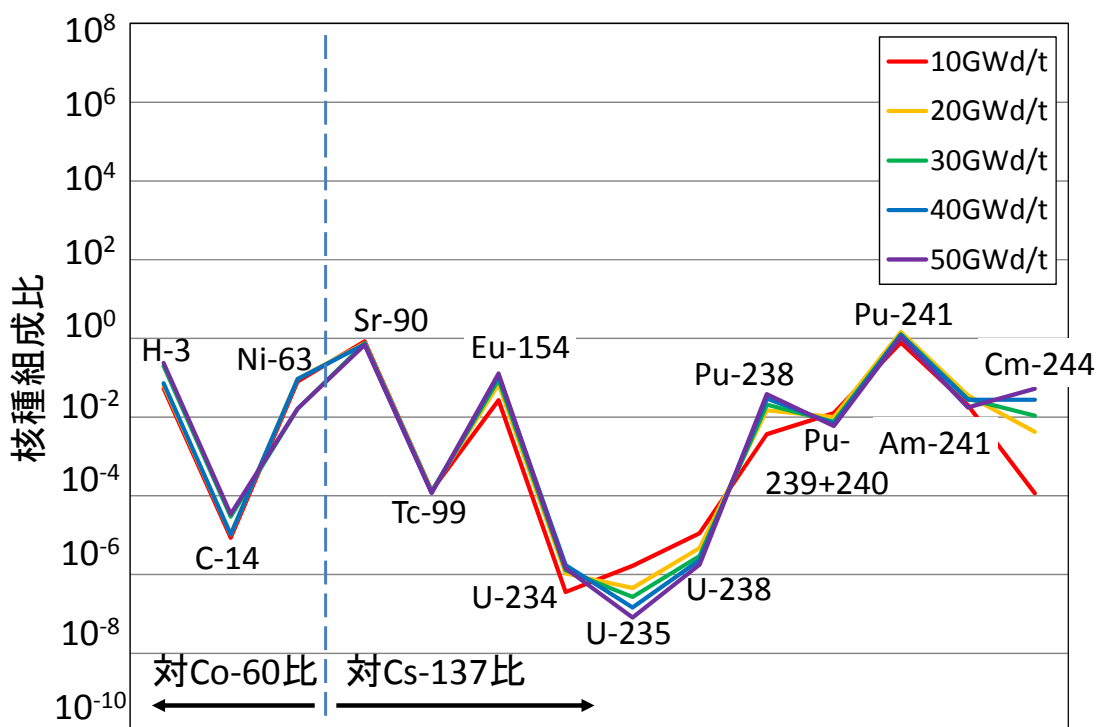


図 2.2 代表的と考えられる燃焼度ごとの核種組成比\*

(\* 核種組成比は、照射終了時点での放射化・燃焼計算による評価対象核種の放射能濃度 (Bq/t)を Co-60 または Cs-137 の放射能濃度比として算出した。)

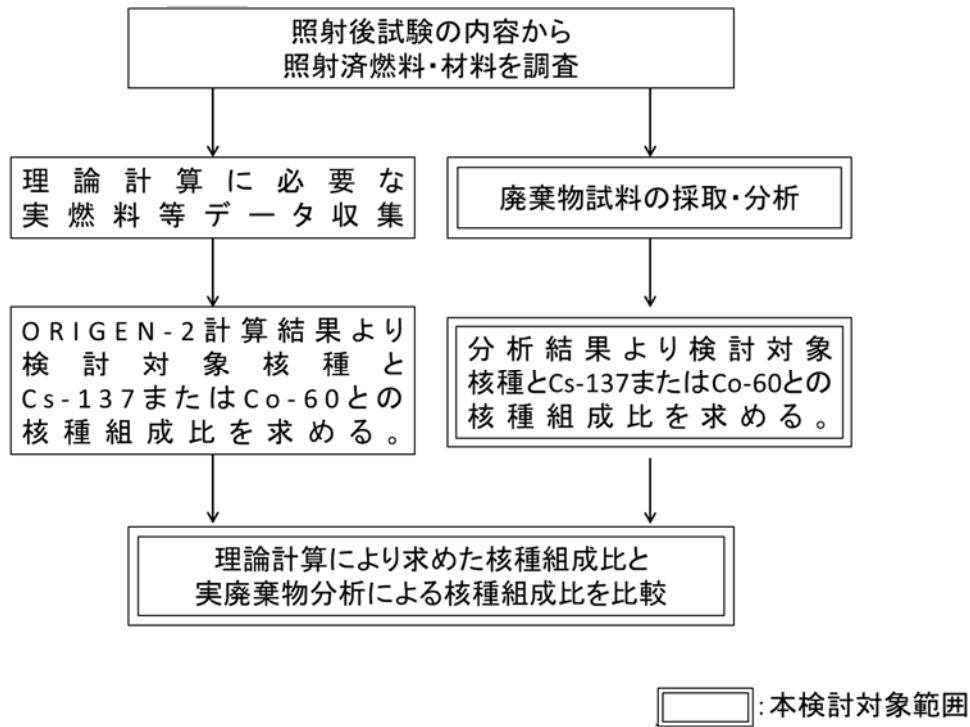


図 2.3 本検討の概要フロー



### 3. 実廃棄物からの試料採取及び分析

#### 3.1 廃棄物試料の採取

本検討では、2章の検討手順に示すように、理論計算による核種組成比と放射化学分析結果による核種組成比を比較することで適用性を確認する。このため、NDCの照射後試験施設に搬入された照射済燃料と実際の照射後試験が一致しなければならない。すなわち、照射後試験の内容から一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物か、二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物かという汚染の履歴が特定でき、確実に放射能濃度データが取得できることに主眼を置いた。NDCの廃棄物保管情報<sup>4)</sup>から、以下の観点で廃棄物保管容器を選定し、封入されている放射性廃棄物から廃棄物試料を採取した。

- ①封入されている廃棄物の汚染履歴が特定できること
- ②廃棄物保管容器の表面で100  $\mu\text{Sv/h}$ 程度であること
- ③放射化学分析の前処理が容易な可燃性廃棄物が封入されていること

なお、廃棄物試料の採取に当たっては、分析作業の前処理としてあらかじめ廃棄物試料を分割した（以下「分割試料」という。）。

#### 3.2 放射化学分析の実施

発電所廃棄物は、原子炉冷却材中に含まれる放射性核種が配管・弁等に付着した汚染廃棄物であり、汚染源となる放射性核種が均一に付着しているものと考えられた。一方、照射後試験施設廃棄物も基本的には汚染源となる放射性核種が表面に付着した汚染廃棄物であるが、照射後試験で発生すること、セル内の除染作業で発生すること等、廃棄物への移行挙動を考慮すると、汚染源となる放射性核種は廃棄物の表面に不均一に付着しているものと考えられた。

放射化学分析を実施するに当たり、廃棄物試料は分析対象核種ごとに、燃焼法用（H-3、C-14）、湿式灰化用（Ni-63及びACT核種）、酸性蒸留用試料（Sr-90、Tc-99、Eu-154）に分割し、分割試料ごとにCo-60とCs-137を測定し、各々のCo-60またはCs-137の放射能濃度比に基づいて規格化することとした。すなわち、放射性核種が廃棄物の表面に不均一に付着していれば分割試料ごとのCo-60とCs-137の放射能濃度は各々異なると考えられることから、最も供試料量を多く割り当てた分割試料のCo-60またはCs-137の放射能濃度を基準に、各々の分割試料のCo-60またはCs-137の放射能濃度との比を補正係数として、他の分割試料の放射能濃度を補正することとした。図3.1に放射化学分析結果の規格化の概念を示す。規格化に際しては、AP核種はCo-60の補正係数を、FP核種、ACT核種はCs-137の補正係数を掛け合わせた。また、放射化学分析は、分析対象核種ごとに表3.1に示す前処理・分析方法、またはそれらに準ずる方法を用いた。本検討における分析フローを図3.2に示す。

なお、分析対象核種の測定に当たっては、前処理によって測定における妨害因子を除去し、測定に影響がないことを十分確認した上で測定した。

### 3.2.1 H-3、C-14 の分析

H-3 及び C-14 は比較的エネルギーの低い  $\beta$  線を放出する核種で、廃棄物試料を空气中で燃焼し、各々 HTO 及び CO<sub>2</sub> の形で回収した後に液体シンチレーションカウンタで測定し定量する燃焼法を採用した。燃焼法により回収した H-3 測定用試料または C-14 測定用試料から、H-3、C-14 以外の放射性核種が検出された場合は、回収液を更に蒸留し、妨害核種を除去した上で測定し定量した。図 3.3 に H-3、C-14 の分析フローを示す。

また、Co-60 及び Cs-137 は、燃焼後の残渣を回収し、塩酸及びフッ化水素酸により溶液化した試料をゲルマニウム半導体検出器で測定した。

### 3.2.2 Ni-63 の分析

Ni-63 は  $\beta$  崩壊に伴って 66.9keV の  $\beta$  線を放出する核種で、Ni-DMG 錯体をキシレンに抽出し、妨害因子となる  $\gamma$  線放出核種等から分離する溶媒抽出法を採用した。廃棄物試料を硫酸により溶解した後、過酸化水素を酸化剤として添加することで湿式灰化することで溶液化した。溶液化した試料から溶媒抽出した Ni-DMG 錯体を洗浄した後に、 $\gamma$  線放出核種の混入が無いことを確認し、液体シンチレータと混合して液体シンチレーションカウンタの効率トレーサ法で定量した。図 3.4 に Ni-63 の分析フローを示す。

### 3.2.3 ACT 核種の分析

U-234、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Am-241、Am-243、Cm-244 は、Ni-63 と同様に湿式灰化することで溶液化した試料を 2 種類のキレート樹脂カラムを使用して、ウラン、プルトニウム、アメリシウム（キュリウム含む）の各フラクションに分離した後、表面障壁型半導体検出器を備えた  $\alpha$  線スペクトロメータで核種ごとに測定し定量した。但し、Pu-239 と Pu-240 は放出する  $\alpha$  線のエネルギーが近接していることから両核種の合計値として定量した。Pu-241 は、ウランの同位体を除去した後に液体シンチレーションカウンタで測定し定量した。U-235 は、試料溶解液を誘導結合プラズマ質量分析装置で測定し検量線法により定量した。なお、試料中のウラン濃度が低い場合は、U-238 についても U-235 と同様に定量した。図 3.5 に ACT 核種の分析フローを示す。

### 3.2.4 Sr-90 の分析

Sr-90 は、娘核種の Y-90 との放射平衡後に Y-90 を回収し、Y-90 が放出する 2.2MeV の  $\beta$  線を  $\beta$  線スペクトロメータまたはガスフローカウンタで測定し定量した。ストロンチウムは廃棄物試料を硫酸酸化性雰囲気中で加熱・蒸留しテクネチウムを分離した後の残液から沈殿分離法により精製・

回収した。図 3.6 に Sr-90 の分析フローを示す。

### 3.2.5 Tc-99 の分析

Tc-99 は、 $\beta$  崩壊に伴い放出される 294keV の  $\beta$  線を  $\beta$  線スペクトロメータで測定し定量した。テクネチウムは酸性酸化性雰囲気中で揮発性を示す化学的特性があり、試料を硫酸酸化性雰囲気中で加熱・蒸留し妨害因子となる  $\gamma$  線放出核種から分離・回収した。回収した Tc-99 は、 $\gamma$  線放出核種と完全に分離されていることを確認した後に  $\beta$  線スペクトロメータまたはガスフローカウンタで測定し定量した。図 3.7 に Tc-99 の分析フローを示す。

### 3.2.6 Eu-154 の分析

Eu-154 は、テクネチウムを分離した後の残液から沈殿分離法により精製・回収した溶液をゲルマニウム半導体検出器で測定し定量した。なお、検出されなかった場合は溶解試料から水酸化物沈殿としてユーロピウムを回収し、回収した水酸化物沈殿をフッ化水素酸中でフッ化ユーロピウムとしてからゲルマニウム半導体検出器で測定し定量した。図 3.8 に Eu-154 の分析フローを示す。

### 3.2.7 Co-60、Cs-137 の分析

Co-60、Cs-137 は、各々の分割試料を酸溶解などにより溶液化した後にゲルマニウム半導体検出器で測定し定量した。Cs-137 が検出されなかった場合は、Co-60 を除去した上で測定した。

## 3.3 放射化学分析の誤差評価

図 3.9 のように放射能濃度は、廃棄物試料の採取から、分割、溶解、分離精製等の前処理、放射能測定等の一連の過程を経て求めた。分析結果の不確かさは、一連の過程で発生しうる全ての誤差を二乗和の平方根により合成して、分析対象核種ごとに分析の不確かさを算出した。なお、不確かさは複数の要因を合成した結果を意味し、真の値が存在する範囲を示す推定値であるのに対し、誤差は、測定値と真の値とのずれを表す意味であることから不確かさと区別した。

#### i) 廃棄物試料採取の不確かさ

溶解した分割試料の計量、溶解後の定容体積、分注器による分取の不確かさ等を合成して評価した。

#### ii)、ii)' 化学回収率補正の不確かさ

キャリア添加量と化学回収率を求める際に測定したキャリア回収量の不確かさを合成し、化学回収率補正の不確かさを評価した。回収率の補正方法（同位体を用いた補正、標準添加、平均回収率）により、回収率補正の不確かさは変化する。

#### iii) 放射線測定器校正の不確かさ

放射線測定器の効率校正に使用した標準 RI 及び効率校正曲線で最も校正差が大きい値の合

成で評価した。

iv) 放射線測定の影響

分析対象核種の放射線測定時における正味計数値の計数誤差を放射線測定時の誤差として評価した。

表 3.1 分析対象核種の前処理方法と対象核種の検出方法

核種	前処理法	測定法
H-3	燃焼法	LSCによるβ線測定
C-14	燃焼法	LSCによるβ線測定
Co-60	溶解・均質化	Geによるγ線測定
Ni-63	DMG 溶媒抽出法	LSCによるβ線測定
Sr-90	沈殿分離法	pico-β、又はGFCによるβ線測定
Tc-99	揮散回収法	
Cs-137*1	沈殿分離法	Geによるγ線測定
Eu-154*1	沈殿分離法	
U-234	必要に応じて抽出クロマトグラフィー用樹脂分離	SSBによるα線測定
U-235		ICP-MSによる質量分析
U-238		α線測定、または質量分析*3
Pu-238	抽出クロマトグラフィー用樹脂分離	SSBによるα線測定
Pu-239		SSBによるα線測定 (スペクトル分離が困難なため、 2核種の合算値として評価する)
Pu-240		
Pu-241		LSCによるβ線測定
Am-241		SSBによるα線測定 またはLEGeによるγ線測定
Am-243*2		SSBによるα線測定
Cm-244		

\*1 : γ線スペクトル分析上有意な妨害核種が存在しない場合は分離精製を省略する。

\*2 : Am-243 は、Am-241 分析時、検出された場合に報告する。

\*3 : 対象試料中のウラン濃度に応じて、ICP-MS または SSB の何れかを選定する。また、α線スペクトル測定の際には、抽出クロマトグラフィー用樹脂を用いた分離生成を実施する。

略称

DMG : ジメチルグリオキシム

LSC : 液体シンチレーションカウンタ  
 GFC : 2π ガスフローカウンタ  
 Ge : ゲルマニウム半導体検出器  
 LEGe : 低エネルギーγ線用ゲルマニウム半導体検出器  
 pico-β : β線スペクトロメータ  
 SSB : 表面障壁型シリコン半導体検出器

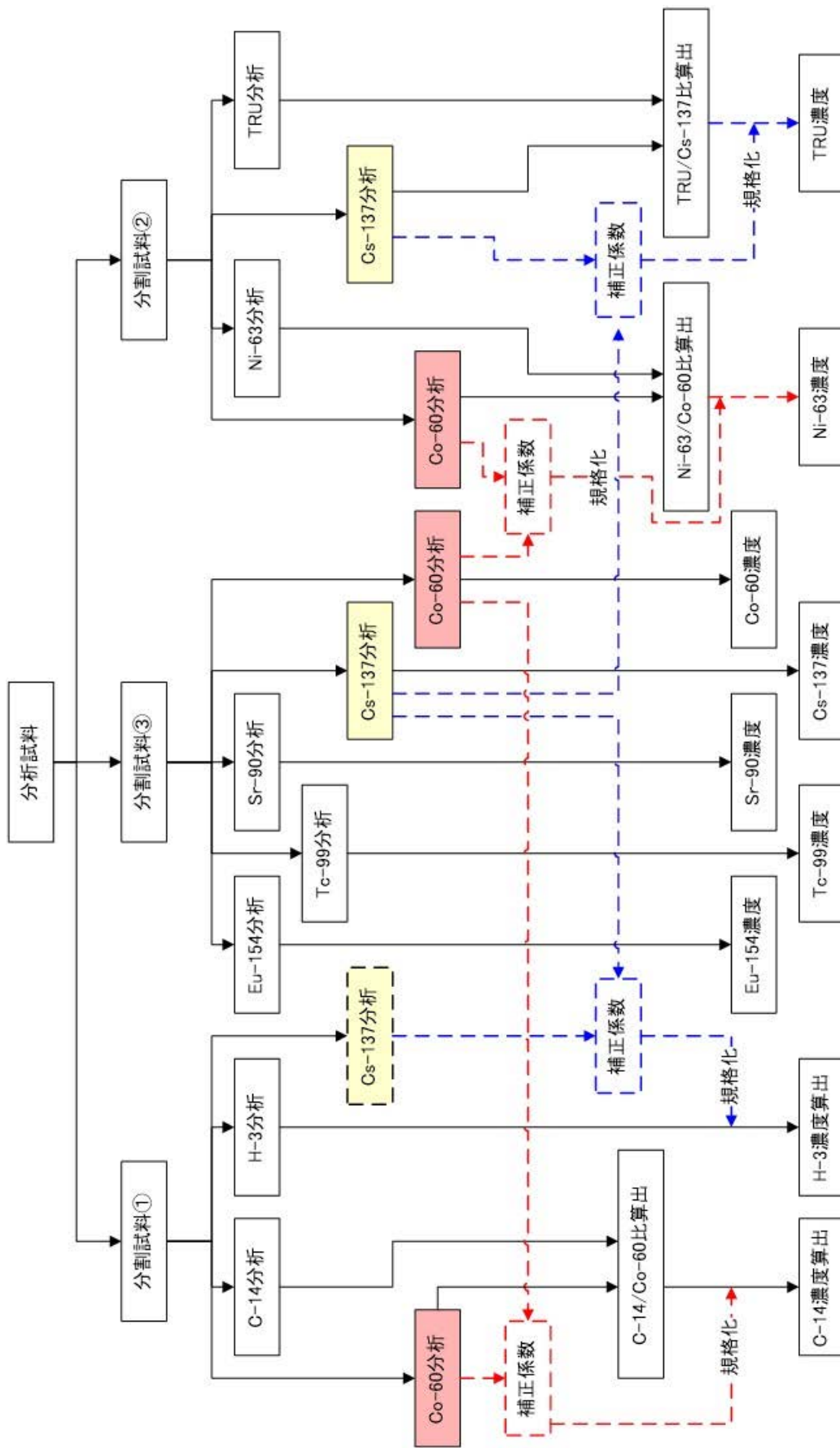


図 3.1 放射化学分析結果の規格化概念図

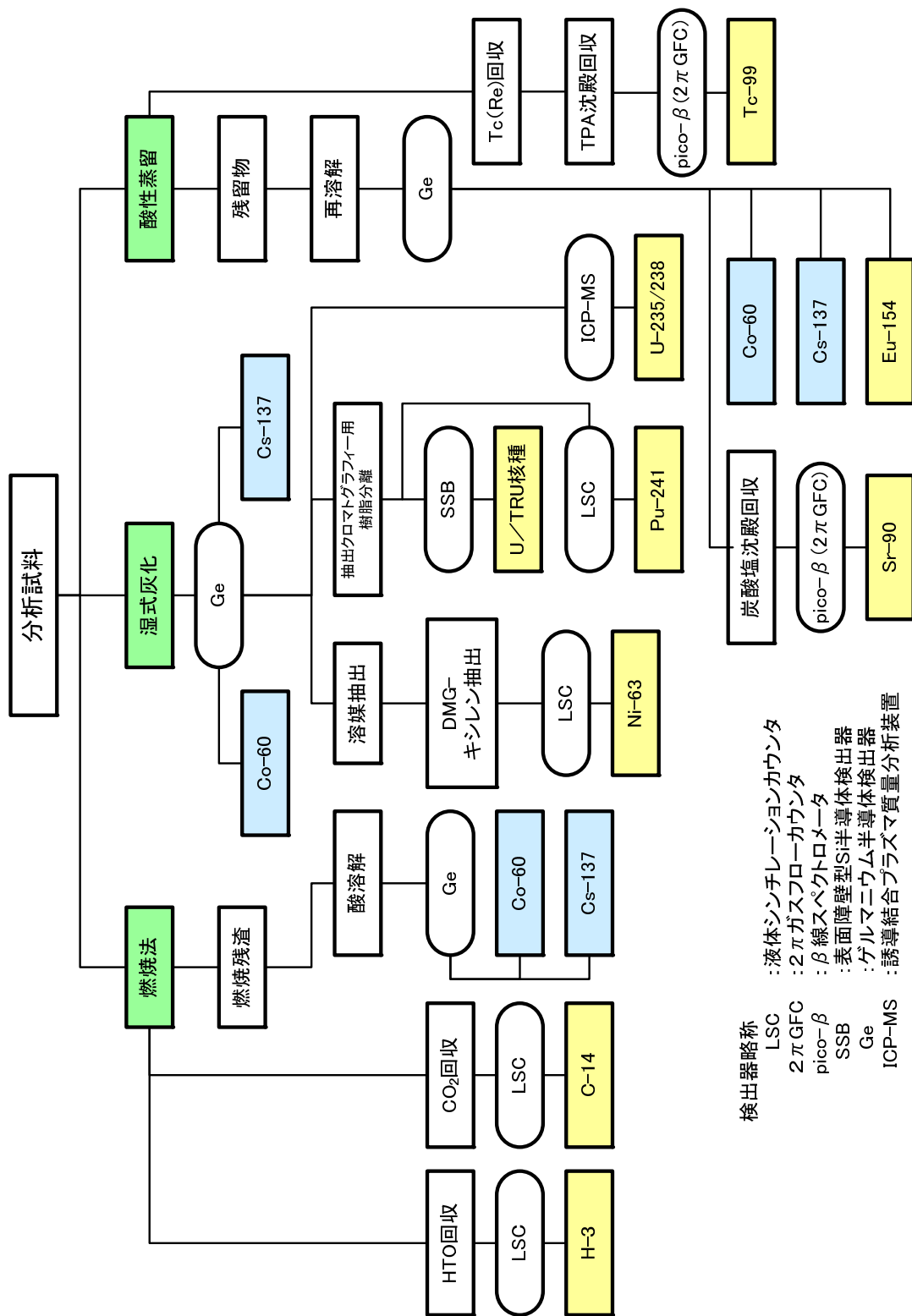


図 3.2 分析フロー図

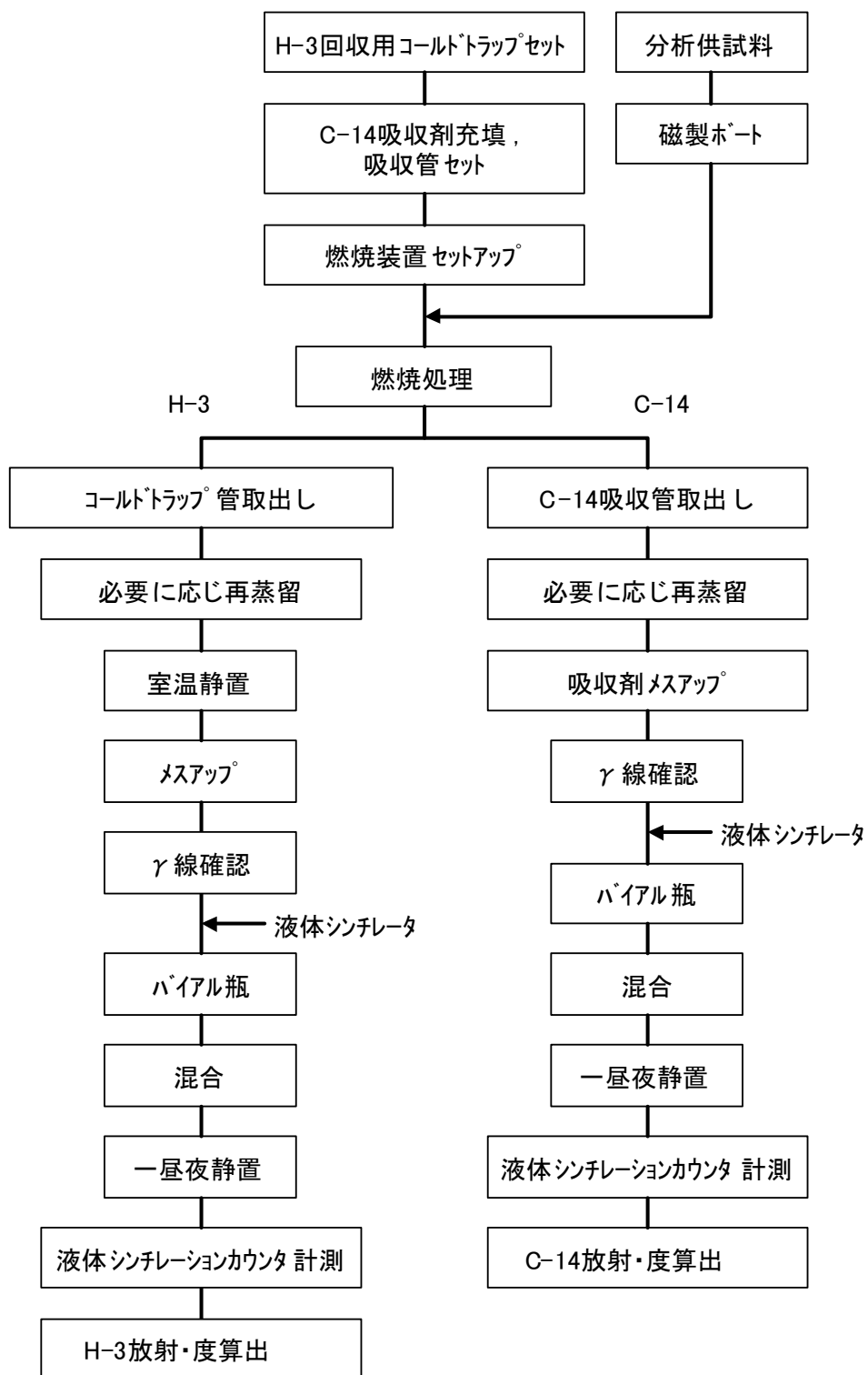


図 3.3 H-3、C-14 の分析フロー



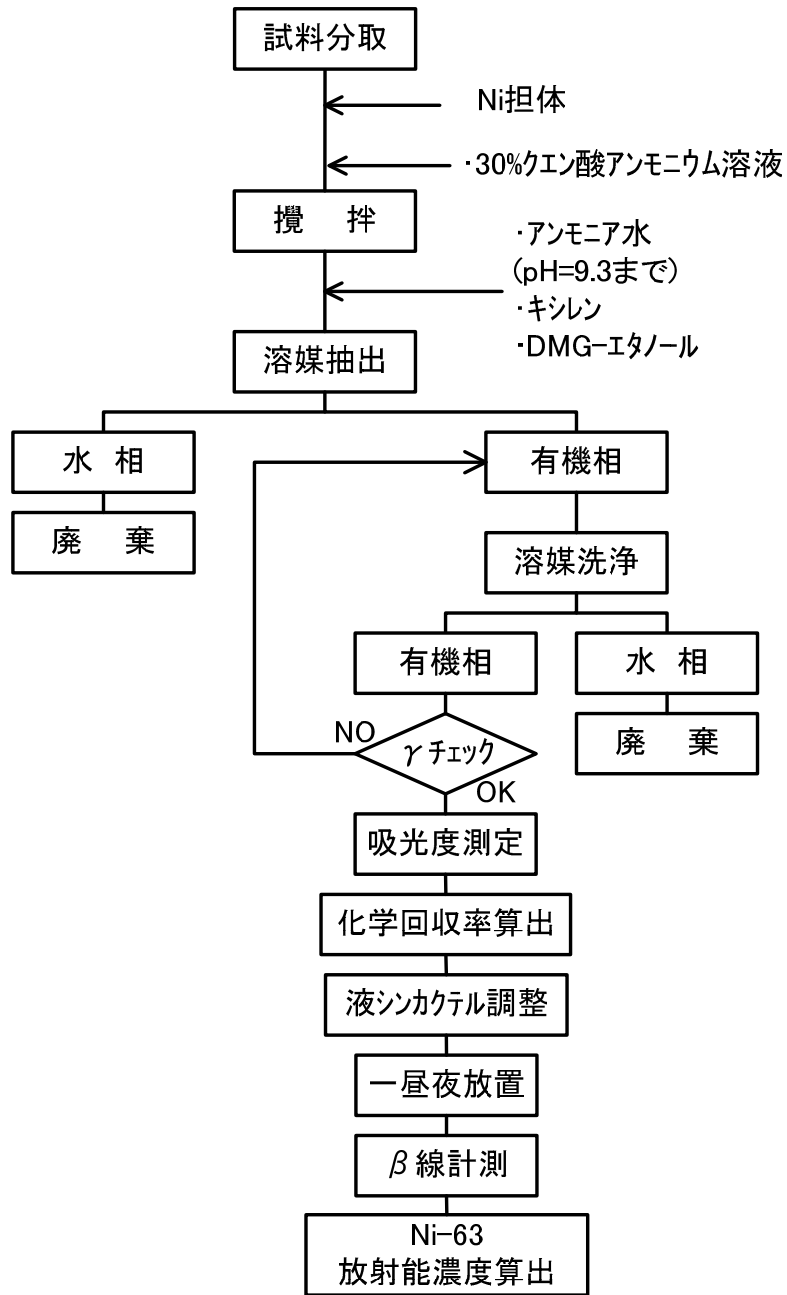
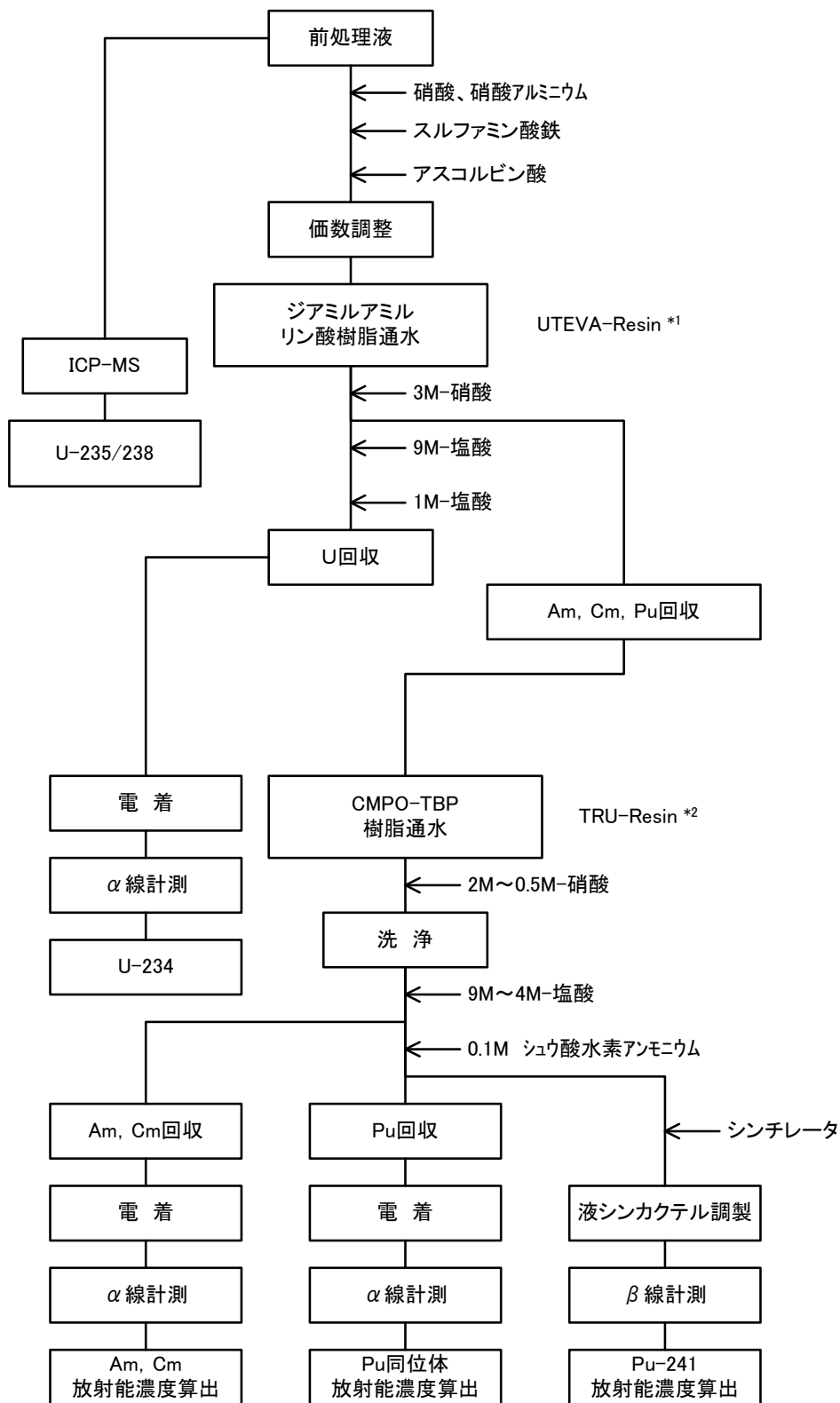


図 3.4 Ni-63 の分析フロー



\*1) UTEVA/TRU Resin: Eichrom Technologies社製 抽出クロマトグラフィー用レジソ

\*2) CMPO : octylphenyl-N,N-di-isobutylcarbamoymethylphosphineoxide

図 3.5 ACT 核種の分析フロー

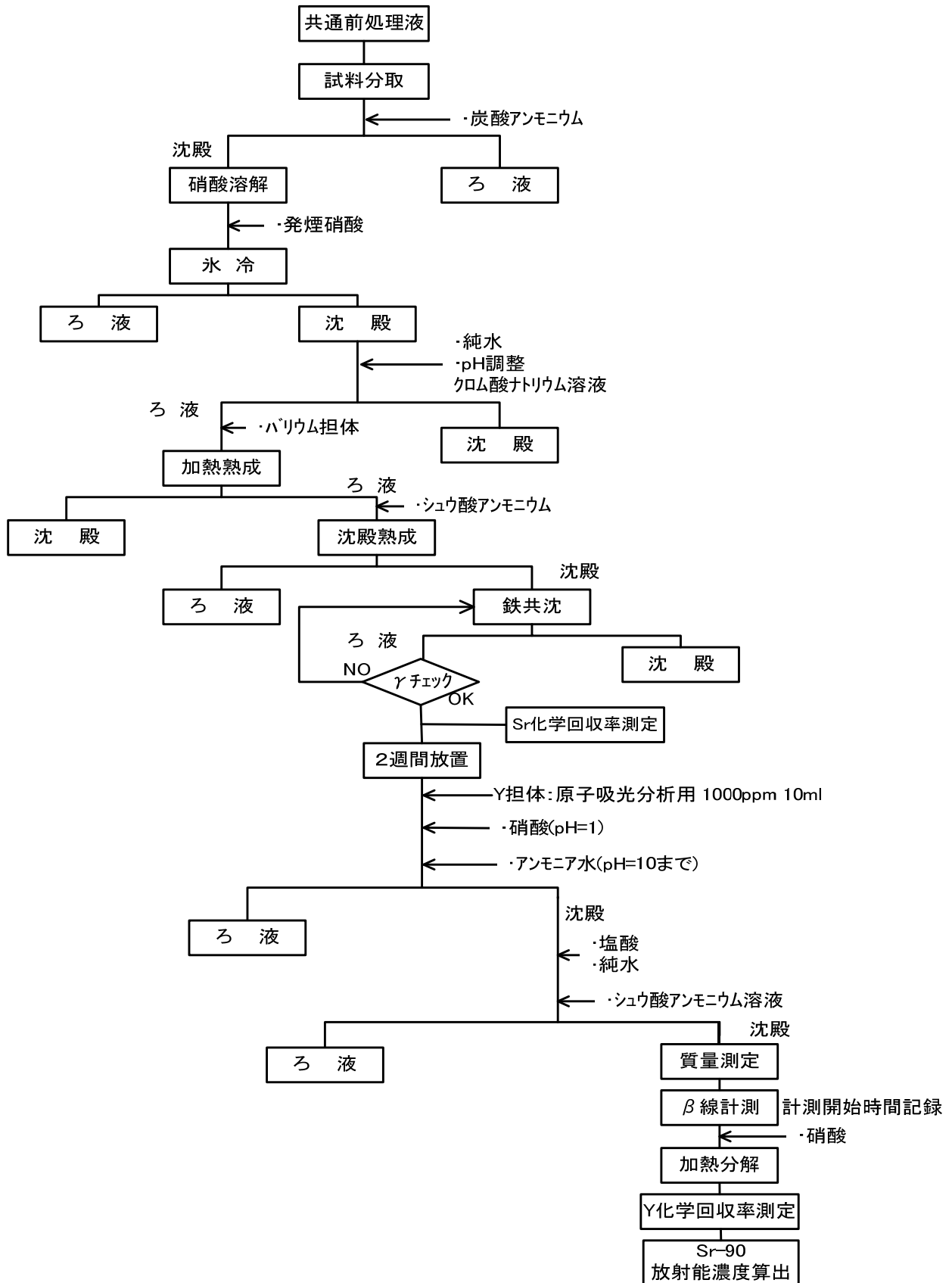


図 3.6 Sr-90 の分析フロー

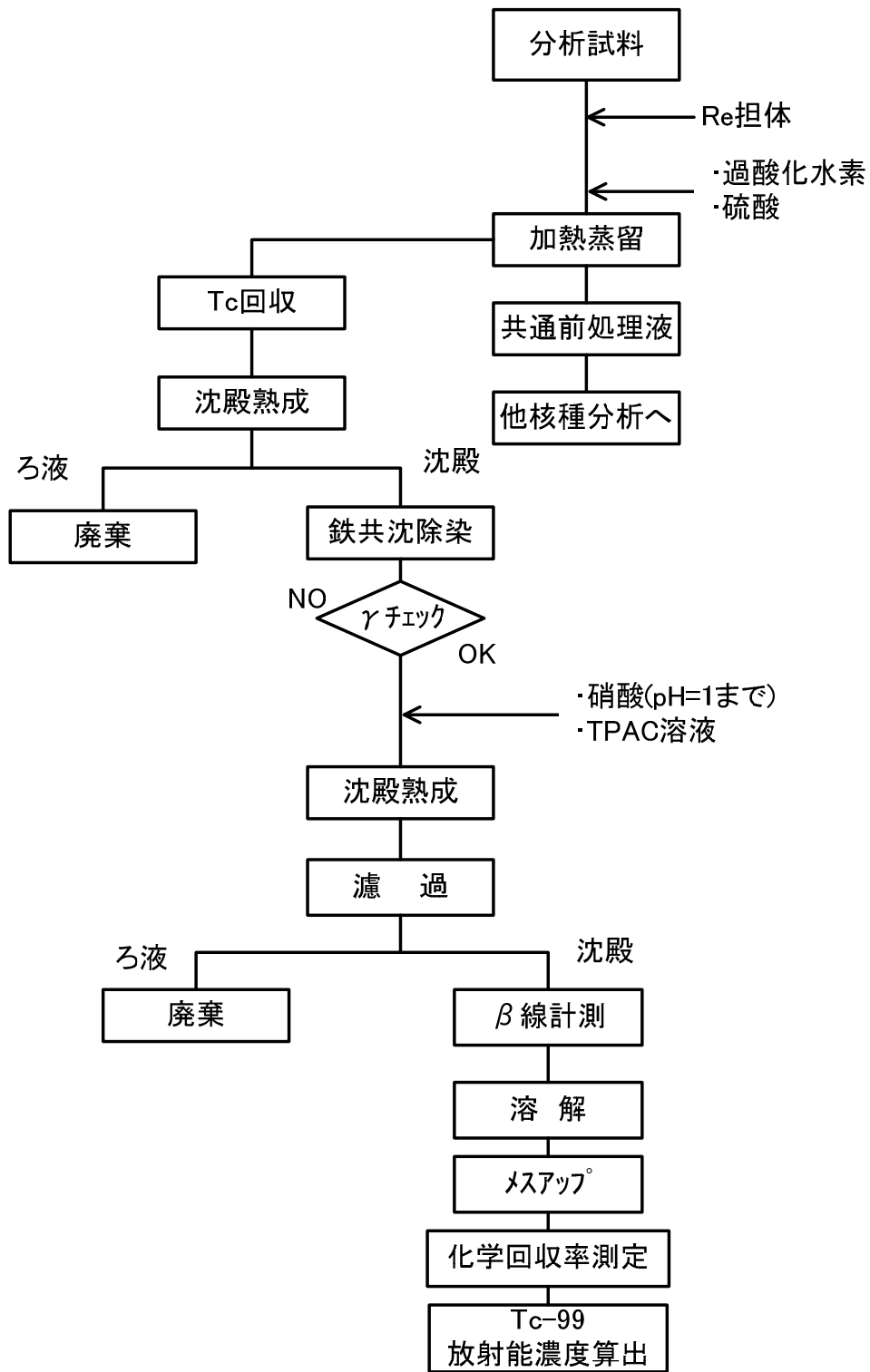


図 3.7 Tc-99 の分析フロー

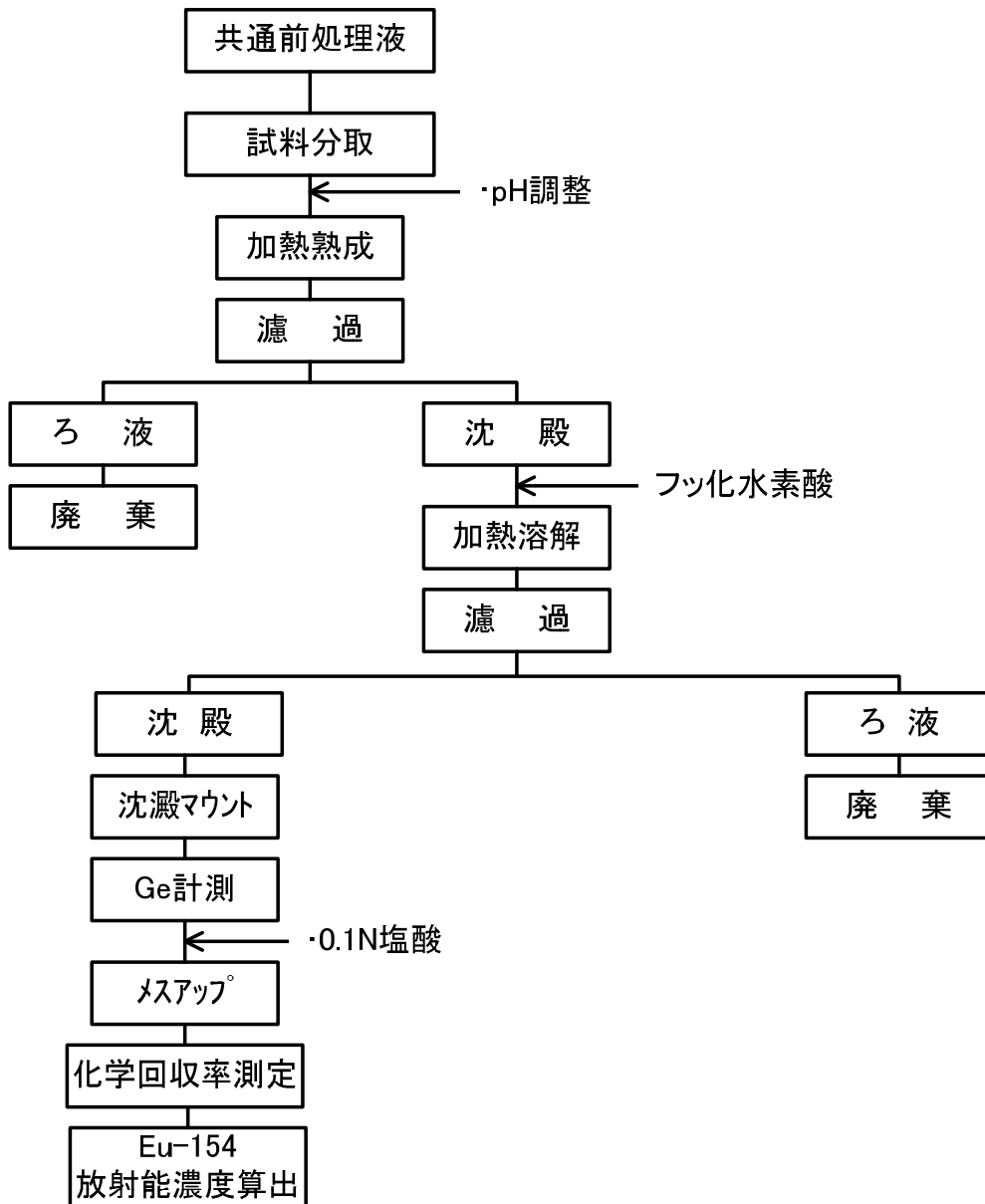


図 3.8 Eu-154 の分析フロー

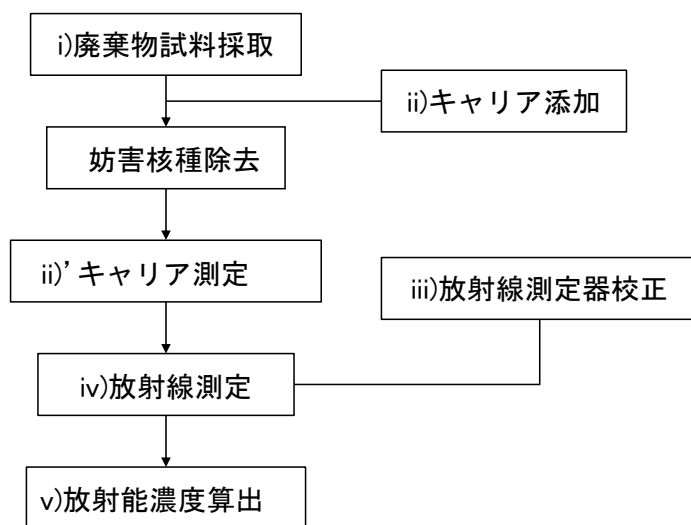


図 3.9 放射化学分析の流れ

## 4. 試料採取及び分析結果

### 4.1 廃棄物試料の採取結果

廃棄物保管容器を開缶する前に、電離箱式サーベイメータを用いて容器表面の線量率を測定した。この結果を表 4.1 から表 4.6 にまとめる。表面線量率は測定場所によってばらつきが見られ、廃棄物保管容器中に種々の汚染廃棄物が不均一に混在していることが推測された。

続いて廃棄物保管容器を開缶し封入されている放射性廃棄物の状態を調査したところ、放射性廃棄物はポリ袋に封入され 20 から 30 個程度が圧縮された状態で廃棄物保管容器に封入されていた。これらのポリ袋を廃棄物保管容器から取り出し、袋ごとに重量及び表面線量率を測定した。この結果を表 4.7 から表 4.12 にまとめた。なお、ポリ袋には通し番号を付して試料 No. とした。

また、ポリ袋ごとに単位重量あたりの表面線量率を算出し比較したところ、ポリ袋間で表面線量率が大きく異なるものもあったが、表面線量率が高い放射性廃棄物は一部の袋に限定された。図 4.1 から図 4.6 にポリ袋ごとに算出した単位重量あたりの表面線量率を示す。本検討においては、確実に放射能濃度データを取得するため放射能レベルの高い放射性廃棄物を廃棄物試料として選定することとした。すなわち、図 4.1 から図 4.6 中に実線丸で示すポリ袋から廃棄物試料を採取した。なお、容器 H について図 4.5 に示す破線丸の小袋に封入されていた放射性廃棄物は、表面線量率が高いものの、微量の粉体が付着したウェスであり廃棄物試料として採取が困難であった。このことから実線丸で示すポリ袋から廃棄物試料を採取した。廃棄物試料の採取結果を表 4.13 から表 4.18 にまとめる。なお、廃棄物試料の名称には、表 4.13 から表 4.18 で示す基本情報のシーケンシャルナンバーに記載のある廃棄物保管容器の名称を付した。

#### (a) 容器 D 試料

容器 D 試料は、汚染源となる放射性核種が付着した紙ウェスであり試料重量は 44.4 g であった。当該試料を電離箱式サーベイメータで測定したところ、密着した状態で表面線量が最大 22  $\mu\text{Sv/h}$  であった。また、当該試料の外観は部分的に着色が観察され、汚染状況は不均一であった。当該廃棄物は廃棄物保管情報<sup>4)</sup>によると一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

#### (b) 容器 E 試料

容器 E 試料は、汚染源となる放射性核種が付着した紙ウェスであり試料重量は 31.8 g であった。当該試料を電離箱式サーベイメータで測定したところ、密着した状態で表面線量が最大 83  $\mu\text{Sv/h}$  であった。また、当該試料の外観は汚れを拭き取った着色が全体に広がっており、着色斑も観察され、汚染状況は不均一であった。当該廃棄物は廃棄物保管情報<sup>4)</sup>によると一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

(c) 容器 F 試料

容器 F 試料は、汚染源となる放射性核種が付着したビニール袋であり試料重量は 27.6 g であった。当該試料を電離箱式サーベイメータで測定したところ、密着した状態で表面線量が最大 58  $\mu\text{Sv/h}$  であった。当該廃棄物は廃棄物保管情報<sup>4)</sup>によると一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

(d) 容器 G 試料

容器 G 試料は、汚染源となる放射性核種が付着した紙ウェスであり試料重量は 41.3 g であった。当該試料を電離箱式サーベイメータで測定したところ、密着した状態で表面線量が最大 166  $\mu\text{Sv/h}$  であった。また、当該試料の外観は部分的に着色が観察され、汚染状況は不均一であった。当該廃棄物は廃棄物保管情報<sup>4)</sup>によると二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

(e) 容器 H 試料

容器 H 試料は、汚染源となる放射性核種が付着した紙ウェスであり試料重量は 68.0 g であった。当該試料を電離箱式サーベイメータで測定したところ、密着した状態で表面線量が最大 182  $\mu\text{Sv/h}$  であった。また、当該試料の外観は部分的に着色が観察され、汚染状況は不均一であった。当該廃棄物は廃棄物保管情報<sup>4)</sup>によると二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

(f) 容器 I 試料

容器 I 試料は、汚染源となる放射性核種が付着したゴム手袋であり試料重量は 6.8 g であった。当該試料を電離箱式サーベイメータで測定したところ、密着した状態で表面線量が最大 660  $\mu\text{Sv/h}$  であった。また、当該試料は指先部分と手のひら部分に汚染が確認され、汚染状況は不均一であった。当該廃棄物は廃棄物保管情報<sup>4)</sup>によると二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

## 4.2 放射化学分析結果

### 4.2.1 廃棄物試料の前処理

分析施設に搬入した廃棄物試料は、分析対象核種の分析方法に合わせて必要な量を切断し分析に供した。また、切断した残りの廃棄物試料は予備として保管した。



(a) 容器 D 試料

容器 D 試料を以下の通り切断し分析に供した。

分割試料① (含水率, H-3, C-14 分析用)	: 0.5156 g
分割試料② (Ni, ACT 分析用)	: 10.1101 g
分割試料③ (Tc, Sr, Eu 分析用)	: 10.6268 g

(b) 容器 E 試料

容器 E 試料を以下の通り切断し分析に供した。

分割試料① (含水率, H-3, C-14 分析用)	: 0.4198 g
分割試料② (Ni, ACT 分析用)	: 8.4250 g
分割試料③ (Tc, Sr, Eu 分析用)	: 8.8607 g

(c) 容器 F 試料

容器 F 試料を以下の通り切断し分析に供した。

分割試料① (含水率, H-3, C-14 分析用)	: 0.3589 g
分割試料② (Ni, ACT 分析用)	: 5.8993 g
分割試料③ (Tc, Sr, Eu 分析用)	: 6.9413 g

(d) 容器 G 試料

容器 G 試料を以下の通り切断し分析に供した。

分割試料① (含水率, H-3, C-14 分析用)	: 0.2968 g
分割試料② (Ni, ACT 分析用)	: 9.9213 g
分割試料③ (Tc, Sr, Eu 分析用)	: 9.9791 g

(e) 容器 H 試料

容器 H 試料を以下の通り切断し分析に供した。

分割試料① (含水率, H-3, C-14 分析用)	: 0.4692 g
分割試料② (Ni, ACT 分析用)	: 10.7536 g
分割試料③ (Tc, Sr, Eu 分析用)	: 19.6447 g

(f) 容器 I 試料

容器 I 試料を以下の通り切断し分析に供した。

分割試料① (含水率, H-3, C-14 分析用)	: 0.2888 g
分割試料② (Ni, ACT 分析用)	: 1.5674 g
分割試料③ (Tc, Sr, Eu 分析用)	: 1.1726 g

#### 4.2.2 放射化学分析結果

放射化学分析については、評価対象核種とした 17 核種 (H-3、C-14、Co-60、Ni-63、Sr-90、Tc-99、Cs-137、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244) を分析対象とし、3.2 項に示す分析方法に従って分析を実施した。

分割試料①は、燃焼法により H-3 及び C-14 の分析を実施し、燃焼後の残渣を溶液化して Co-60 と Cs-137 についてゲルマニウム半導体検出器で測定した。分割試料②は、硫酸により溶解した後、過酸化水素を酸化剤として添加することで湿式灰化することで溶液化し、不揮発性の Ni-63 及び ACT 核種について定量した。また、Co-60 と Cs-137 について、この溶解液をゲルマニウム半導体検出器で測定した。分割試料③は、硫酸酸化性雰囲気中で加熱・蒸留し Tc-99 を分離・回収し定量した。また、この残液から Sr-90 及び Eu-154 を沈殿分離法により精製・回収し定量した。また、Co-60 と Cs-137 について、この溶解液をゲルマニウム半導体検出器で測定した。

放射化学分析の結果を表 4.19 から表 4.24 に示す。分析を実施した廃棄物試料からは、Am-243 と容器 G 試料の C-14 を除き分析対象とした全ての評価対象核種が検出された。放射化学分析結果は、分割試料③の Co-60 または Cs-137 の放射能濃度を基準に、各々の分割試料の Co-60 または Cs-137 の放射能濃度との比を補正係数として他の分割試料の放射能濃度を補正した。

#### 4.2.3 放射化学分析の誤差評価

図 3.9 のうち、廃棄物試料の採取から、分割、溶解、分離精製等の前処理の各過程で発生しうる分析前処理の不確かさを表 4.25 に示す。また、表 4.26 及び表 4.27 に廃棄物試料、分析対象核種ごとの放射能測定の不確かさ及び放射化学分析の不確かさを示す。個々の分析の不確かさ及び誤差は  $1\sigma$  として求められた誤差を記載していることから、68.3 %の信頼区間を意味している。

なお、分離精製を必要とせず、評価上化学回収率を 100 %としている核種については、これまでの検証試験の実績などを考慮して分析誤差を 10 %とした。効率トレーサ法により理論上  $\beta$  線の計数効率を 100 %として測定を実施している Ni-63 についても、検証試験の実績を踏まえて分析誤差を 10 %とした。

また、プルトニウムの分析においては、これまでの分析実績から求めた回収率による補正を実施し、回収率の変動を元に誤差を評価した。すなわち、NDC では、過去の実績として誘導結合プラズマ質量分析装置の粗分離/濃縮を行うカラム分離前後の信号の変化から回収率を求めた実績があるため、この値を採用した。

表 4.1 容器 D の表面線量率測定結果

測定場所	表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	at1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	備考
上面	7	-	上面と下面は参考値のため除く。 Aを正面に見て左に45°、下
A-上	12	1.5	
A-中	14		
A-下	20		
B-上	9	2	
B-中	12		
B-下	30		
C-上	8	1.5	
C-中	10		
C-下	12		
D-上	10	1.5	
D-中	12		
D-下	10		
下面	20	-	
平均A	13.3	-	
スポット箇所 B	37	-	
B/A	2.79	-	

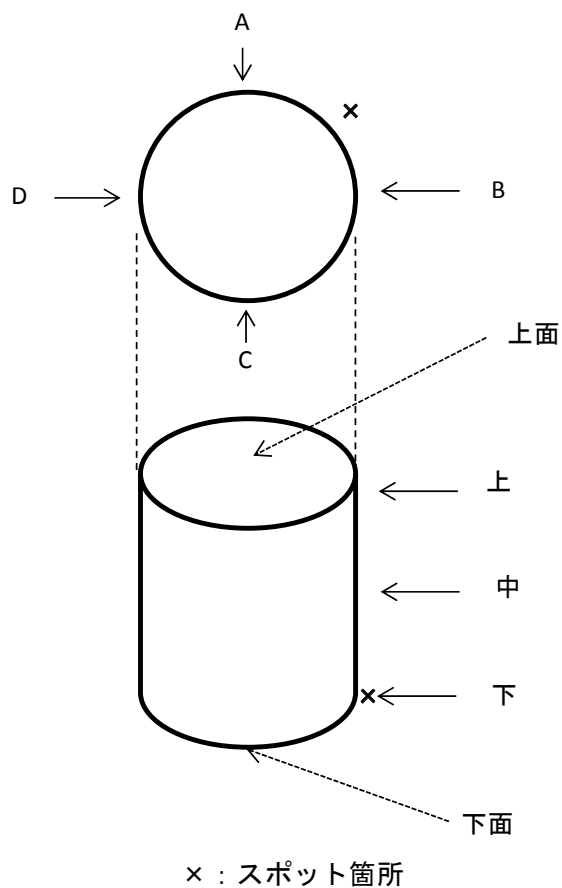
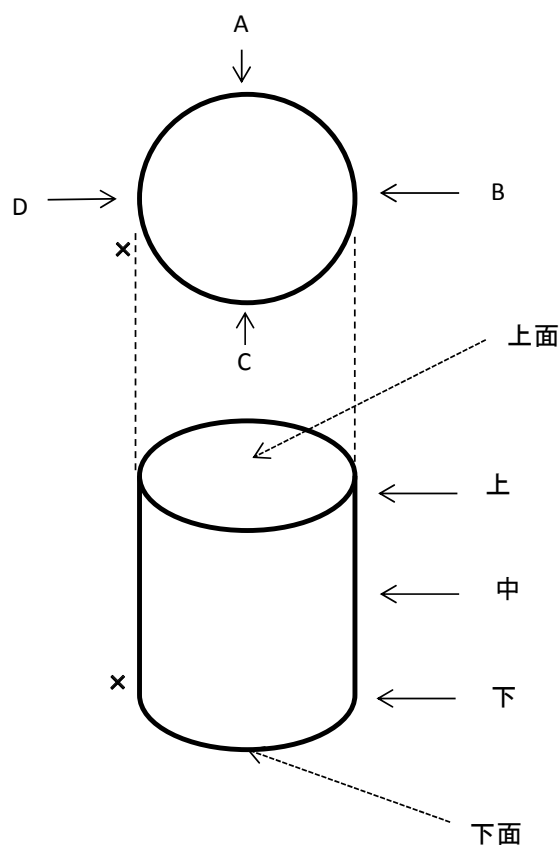


表 4.2 容器 E の表面線量率測定結果

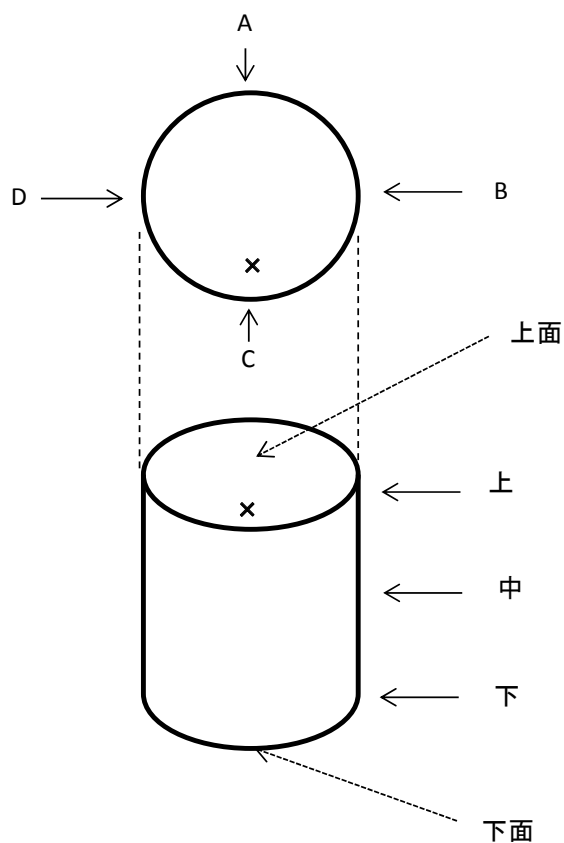
測定場所	表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	at1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	備考
上面	8	-	上面と下面は参考値のため除く。 Aを正面に見て右に100°、下
A-上	10	2	
A-中	20		
A-下	20		
B-上	13	2	
B-中	20		
B-下	50		
C-上	18	2	
C-中	28		
C-下	40		
D-上	20	2	
D-中	42		
D-下	50		
下面	30	-	
平均A	27.6	-	
スポット箇所 B	80	-	
B/A	2.90	-	



× : スポット箇所

表 4.3 容器 F の表面線量率測定結果

測定場所	表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	at1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	備考
上面	100	-	上面と下面は参考値のため除く。 上面の中央とC面側の間
A-上	30	3.5	
A-中	30		
A-下	20		
B-上	40	4	
B-中	46		
B-下	35		
C-上	80	5	
C-中	65		
C-下	52		
D-上	58	4.5	
D-中	35		
D-下	20		
下面	20	-	
平均A	42.6	-	
スポット箇所 B	100	-	
B/A	2.35	-	



× : スポット箇所

表 4.4 容器 G の表面線量率測定結果

測定場所	表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	at1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	備考
上面	23	-	上面と下面は参考値のため除く。 C面下の少し上
A-上	35	6	
A-中	80		
A-下	90		
B-上	25	5.5	
B-中	60		
B-下	70		
C-上	25	6	
C-中	65		
C-下	180		
D-上	30	6	
D-中	80		
D-下	100		
下面	100	-	
平均A	70.0	-	
スポット箇所 B	200	-	
B/A	2.86	-	

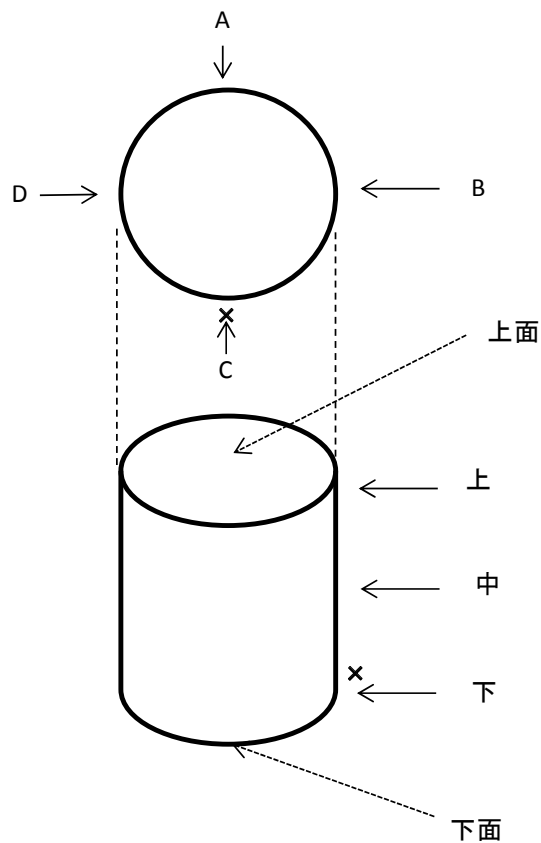
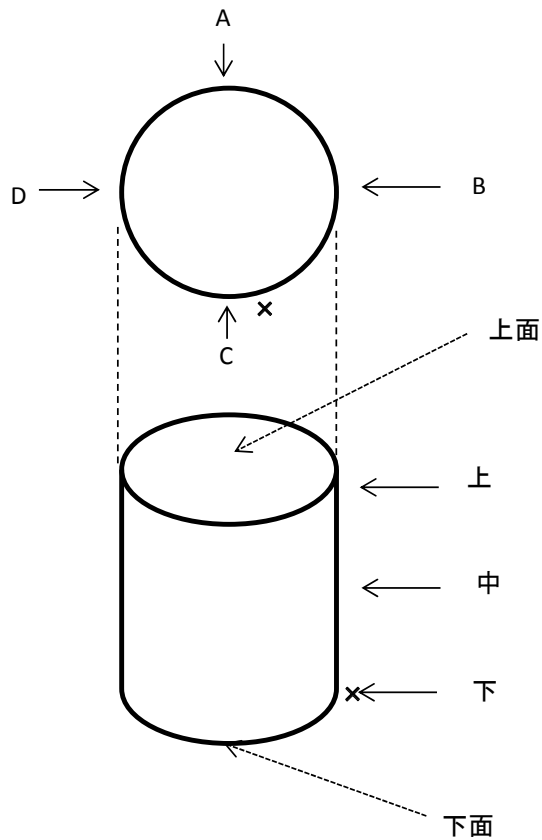


表 4.5 容器 H の表面線量率測定結果

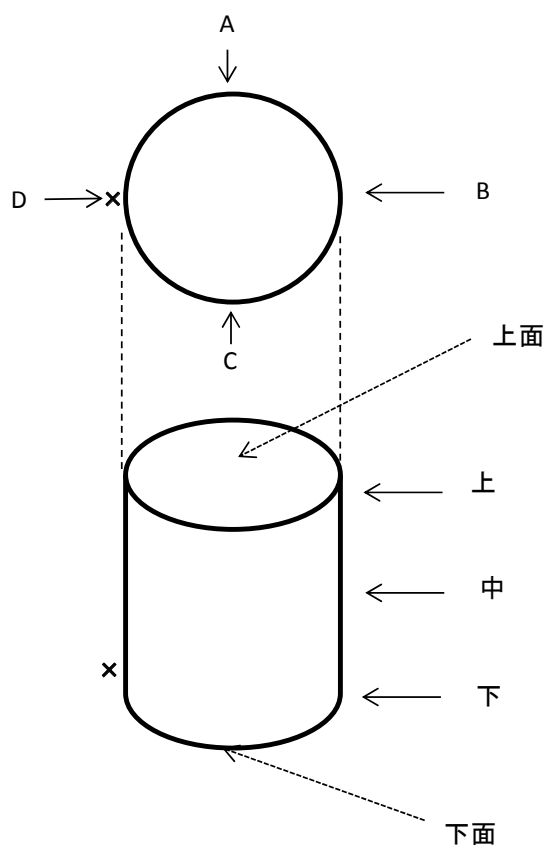
測定場所	表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	at1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	備考
上面	20	-	上面と下面は参考値のため除く。 Aを正面に見て左に170°、下
A-上	50	5.5	
A-中	53		
A-下	55		
B-上	25	6.5	
B-中	53		
B-下	100		
C-上	30	7	
C-中	85		
C-下	160		
D-上	40	6	
D-中	55		
D-下	60		
下面	120	-	
平均A	63.8	-	
スポット箇所 B	210	-	
B/A	3.29	-	



× : スポット箇所

表 4.6 容器 I の表面線量率測定結果

測定場所	表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	at1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	備考
上面	130	-	上面と下面は参考値のため除く。 D面下の少し上
A-上	150	14	
A-中	190		
A-下	150		
B-上	120	14	
B-中	200		
B-下	170		
C-上	120	14	
C-中	220		
C-下	170		
D-上	120	14	
D-中	180		
D-下	300		
下面	120	-	
平均A	174.2	-	
スポット箇所 B	320	-	
B/A	1.84	-	



× : スポット箇所



表 4.7 容器 D に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果

試料No.	グロス重量 M(kg)	表面線量率 R1( $\mu$ Sv/h)	単位重量当たり の線量率R1/M
1	1.7	<0.5	-
2	1.5	75	50
3	1.6	30	18.8
4	1.3	<0.5	-
5	1.5	<0.5	-
6	0.8	<0.5	-
7	1.8	<0.5	-
8	0.6	30	-
9	1.7	<0.5	-
10	1.9	<0.5	-
11	1.3	<0.5	-
12	2	<0.5	-
13	1.8	<0.5	-
14	0.8	<0.5	-
15	2.9	<0.5	-
16	2.3	55	23.9
17	3	<0.5	-
18	0.9	<0.5	-
19	2.2	<0.5	-
20	2	60	30.0
21	1.9	<0.5	-
22	0.9	<0.5	-
23	1.1	<0.5	-
24	2.3	30	-
25	1	<0.5	-

表 4.8 容器 E に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果

試料No.	グロス重量 M(kg)	表面線量率 R1( $\mu$ Sv/h)	単位重量当たり の線量率R1/M
1	1.5	<0.5	-
2	1.7	<0.5	-
3	1.2	<0.5	-
4	1.5	<0.5	-
5	1.6	<0.5	-
6	2.3	<0.5	-
7	1.7	<0.5	-
8	1.3	<0.5	-
9	1.3	<0.5	-
10	1.6	<0.5	-
11	2.4	<0.5	-
12	2.1	<0.5	-
13	1.6	<0.5	-
14	2.3	<0.5	-
15	1.4	<0.5	-
16	1.5	<0.5	-
17	1.8	<0.5	-
18	1.3	<0.5	-
19	1.4	<0.5	-
20	2	<0.5	-
21	2.1	110	52
22	1.8	<0.5	-
23	2.1	<0.5	-
24	1.1	21	19.1
25	1.9	<0.5	-
26	2.2	<0.5	-
27	2.2	<0.5	-
28	1.4	17	12.1
29	1.7	<0.5	-
30	2.2	220	100.0
31	1.4	<0.5	-
32	2.1	<0.5	-

表 4.9 容器 F に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果

試料No.	グロス重量 M(kg)	表面線量率 R1( $\mu$ Sv/h)	単位重量当たり の線量率R1/M
1	1.7	1	1
2	1.8	4.5	2.5
3	1.6	200	125.0
4	1.5	190	126.7
5	1.6	<0.5	-
6	1.5	<0.5	-
7	1	<0.5	-
8	2.6	<0.5	-
9	1.5	<0.5	-
10	1.6	<0.5	-
11	1.7	<0.5	-
12	1.3	<0.5	-
13	1.8	38	21.1
14	1.3	<0.5	-
15	1.7	<0.5	-
16	0.7	52	74.3
17	1.7	<0.5	-
18	2.2	<0.5	0.0
19	0.7	145	207.1
20	1.2	<0.5	-
21	2.4	<0.5	-
22	1.9	<0.5	-
23	1.5	<0.5	-
24	1.7	<0.5	-
25	1.6	<0.5	-
26	1.2	80	66.7
27	1.3	220	169.2
28	1.7	<0.5	-
29	1.6	<0.5	-

表 4.10 容器 G に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果

試料No.	グロス重量 M(kg)	表面線量率 R1( $\mu$ Sv/h)	単位重量当たり の線量率R1/M
1	1.6	<0.5	-
2	1.9	340	178.9
3	1.4	55	39.3
4	2	35	17.5
5	2.1	200	95
6	1.2	<0.5	-
7	2.3	<0.5	-
8	2.3	<0.5	-
9	1.2	<0.5	-
10	3.2	<0.5	-
11	1.9	55	-
12	2.4	50	21
13	2.3	<0.5	-
14	1.2	270	225.0
15	2	<0.5	-
16	1.9	310	163.2
17	1.9	<0.5	-
18	1.9	<0.5	-
19	2.9	<0.5	-
20	2.5	70	28.0
21	2.4	<0.5	-
22	1.5	360	240.0
23	2.3	<0.5	-
24	1.4	<0.5	-
25	1.2	<0.5	-
26	1.8	<0.5	-
27	3	<0.5	-
28	2	130	65.0
29	1.7	30	17.6

表 4.11 容器 H に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果

試料No.	グロス重量 M(kg)	表面線量率 R1( $\mu$ Sv/h)	単位重量当たり の線量率R1/M
1	2.8	290	104
2	3.3	35	10.6
3	2.4	<0.5	-
4	2.4	25	10.4
5	2.1	95	45
6	1.6	40	25.0
7	2.6	30	11.5
8	2.4	55	22.9
9	1.9	<0.5	-
10	1.7	<0.5	-
11	2	60	30
12	1.3	<0.5	-
13	2.2	<0.5	-
14	2.4	<0.5	-
15	2.4	<0.5	-
16	1.6	<0.5	-
17	3.5	<0.5	-
18	1.5	340	226.7
19	1.3	270	207.7
20	1.4	<0.5	-
21	4	<0.5	-

表 4.12 容器 I に封入されていたポリ袋の重量及び表面線量率測定結果

試料No.	グロス重量 M(kg)	表面線量率 R1( $\mu$ Sv/h)	単位重量当たり の線量率R1/M
1	1.8	250	139
2	2.2	220	100
3	1.8	80	44.4
4	2.7	35	13.0
5	2	50	25
6	2.1	260	123.8
7	1.5	140	93.3
8	1.3	100	76.9
9	2.9	460	158.6
10	1.6	320	200
11	2.4	<0.5	-
12	2.2	780	355
13	2.5	470	188.0
14	3.1	50	16.1
15	2.2	<0.5	-
16	3.1	250	80.6
17	1.7	165	97.1
18	0.8	<0.5	-

表 4.13 廃棄物試料（容器 D、試料 No.2）の基本情報

記録項目	記録内容	備考														
<p>1.選定試料データの記入</p> <p>2.選定試料の重量測定</p> <p>3.表面線量当量測定 試料外観の観察記録</p> <p>4.汚染箇所採取方法の選定</p> <table border="1" data-bbox="742 1624 1077 1892"> <thead> <tr> <th>選定試料</th> <th>汚染状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汚染レベル (<math>&lt;1\text{Kcpm}</math>)</td> <td><math>&lt;1\text{Kcpm}</math></td> </tr> <tr> <td>汚染箇所</td> <td>局部</td> </tr> <tr> <td>汚染範囲</td> <td>不均一</td> </tr> <tr> <td>面積測定</td> <td>不可</td> </tr> <tr> <td>重量測定</td> <td>不可</td> </tr> <tr> <td>化学除染</td> <td>不可</td> </tr> </tbody> </table> <p>採取方法○で囲む                      ①全量使用                      ②重量比                      ③表面積比                      ④化学除染</p>	選定試料	汚染状況	汚染レベル ( $<1\text{Kcpm}$ )	$<1\text{Kcpm}$	汚染箇所	局部	汚染範囲	不均一	面積測定	不可	重量測定	不可	化学除染	不可	<p>外観記録</p> <p>シーグマンシヤルソハン：容器D 内容物記載事項：— 試料発生日：2014年10月1日</p> <p>発電所名称：NDCホストズボ 分析対象核種：—</p> <p>空容器重量+採取重量 (—)g 空容器重量 (—)g 選定試料重量(W%) = (44.4000)g</p> <p>使用測定器 機器No 1. GM管(cpm) : — 2. 電離箱(<math>\mu\text{Sv/h}</math>) : ICS-323 3. NaI(<math>\mu\text{Sv/h}</math>) : —</p> <p>表面線量率 1. — (at cm) 2. 22 <math>\mu\text{Sv/h}</math> (at 0 cm) 3. — (at cm)</p> <p>添付資料-写真-( — ) 材質の推定(紙ウエス)</p> <p>選定試料からの採取操作 実施しない 実施する</p> <p>記録紙下段に進む</p> <p>コメント                      ・No.2の袋より比較的線量の高い4枚のキムタワルを採取した。                      ・表面線量率値は最大値を記載。</p> <p>:汚染箇所 寸法記入のこと(単位:cm)</p> <p>表面積算出</p>	<p>寸法、形状測定 小数点1位、単位cm。</p> <p>重量測定 有効数4桁</p> <p>表面線量当量測定 記録紙上に図示。2点以上実施 NET COUNTで表示。</p> <p>外観写真 画面いっぱい試料を入れる。 基準寸法を入れる。 *試料全体を写真撮影すること *焼却灰はアラシチェットに乗せて 撮影すること</p> <p>材質推定 添付資料-4 電事連報告シート記入 要領に従う。</p> <p>採取方法の選定 優先順位 全量使用 重量比 表面積比 化学除染</p> <p>コメント 外観、汚染部位等について特徴的なことを記入。</p>
選定試料	汚染状況															
汚染レベル ( $<1\text{Kcpm}$ )	$<1\text{Kcpm}$															
汚染箇所	局部															
汚染範囲	不均一															
面積測定	不可															
重量測定	不可															
化学除染	不可															

表 4.14 廃棄物試料（容器 E、試料 No.30）の基本情報


記録項目	記録内容	備考
1. 選定試料データの記入  2. 選定試料の重量測定  3. 表面線量当量測定 試料外観の観察記録  4. 汚染箇所採取方法の選定	<p>外観記録</p> <p>シーグマンシヤルナハン容器E 内容物記載事項: _____ 試料発生日: 2014年10月1日</p> <p>空容器重量+採取重量 ( )g      空容器重量 ( )g      選定試料重量(Wc) ( 31.8000 )g</p> <p>分析対象核種: _____</p> <p>使用測定器 機器No 1 GM管(cpm) : - 2 電離箱(μSv/h) : ICS-323 3 NaI(μSv/h) : -</p> <p>表面線量率 1 - (at cm) 2 83 μSv/h (at 0 cm) 3 - (at cm) 添付資料-写真-( - ) 材質の推定(紙フェス)</p>  <p>選定試料からの採取操作 実施しない (紙フェス) <b>実施する</b></p> <p>記録紙下段に進む</p> <p>コメント ・No.30の袋より比較的線量の高い塊のフェスを採取した。 ・表面線量率値は最大値を記載。</p> <p>: 汚染箇所 寸法記入のこと(単位:cm)</p> <p>表面積算出</p>	<p>寸法、形状測定 小数点1位、単位cm。</p> <p>重量測定 有効数4桁</p> <p>表面線量当量測定 記録紙上に図示。2点以上実施 NET COUNTで表示。</p> <p>外観写真 画面いっぱい試料を入れる。 基準寸法を入れる。 *試料全体を写真撮影すること *焼却灰はフランチェントに乗せて 撮影すること</p> <p>材質推定 添付資料-4 電事連報告シート記入 要領に従う。</p> <p>採取方法の選定 優先順位 全量使用 重量比 表面積比 化学除染</p> <p>コメント 外観、汚染部位等について特徴的なことを記入。</p>
採取方法○で囲む 全量使用 2 重量比 3 表面積比 4 化学除染		



表 4.15 廃棄物試料（容器 F、試料 No.19）の基本情報

記録項目	記録内容	備考														
<p>1. 選定試料データの記入</p> <p>2. 選定試料の重量測定</p> <p>3. 表面線量当量測定 試料外観の観察記録</p> <p>4. 汚染箇所採取方法の選定</p> <table border="1" data-bbox="751 1617 1078 1886"> <thead> <tr> <th>選定試料</th> <th>汚染状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汚染レベル</td> <td>&lt;1Kcpm</td> </tr> <tr> <td>汚染箇所</td> <td>全面</td> </tr> <tr> <td>汚染範囲</td> <td>均一</td> </tr> <tr> <td>面積測定</td> <td>可</td> </tr> <tr> <td>重量測定</td> <td>可</td> </tr> <tr> <td>化学除染</td> <td>可</td> </tr> </tbody> </table> <p>採取方法○で囲む</p> <p>全量使用</p> <p>2 重量比</p> <p>3 表面積比</p> <p>4 化学除染</p>	選定試料	汚染状況	汚染レベル	<1Kcpm	汚染箇所	全面	汚染範囲	均一	面積測定	可	重量測定	可	化学除染	可	<p>外観記録</p> <p>シーゲンシャルハンパー: 容器F 内容物記載事項: — 試料発生年月日: 2014年10月1日</p> <p>登電所名称: NDCホスト 分析対象核種: —</p> <p>空容器重量+採取重量 ( ) g      空容器重量 ( ) g      =      選定試料重量(W<sub>0</sub>) ( 27.6000 )g</p> <p>使用測定器      機器No 1 GM管(cpm)      : — 2 電離箱(μSv/h)      : ICS-323 3 NaI(μSv/h)      : —</p> <p>表面線量率 1 — (at cm) 2 58 μSv/h (at 0 cm) 3 — (at cm)</p> <p>添付資料-写真-( ) 材質の推定(ビニール袋)</p> <p>選定試料からの採取操作 実施しない 実施する</p> <p>記録紙下段に進む</p> <p>コメント ・No.19の袋より比較的線量の高い4枚のビニール袋を採取した。 ・表面線量率値は最大値を記載。</p> <p>: 汚染箇所 寸法記入のこと(単位:cm)</p> <p>表面積算出</p>	<p>寸法、形状測定 小数点1位、単位cm。</p> <p>重量測定 有効数4桁</p> <p>表面線量当量測定 記録紙上に図示。2点以上実施 NET COUNTで表示。</p> <p>外観写真 画面いっぱい試料を入れる。 基準寸法を入れる。 *試料全体を写真撮影すること *乾拭灰はプランケットに乗せて 撮影すること</p> <p>材質推定 添付資料-4 電事連報告シート記入 要領に従う。</p> <p>採取方法の選定 優先順位 全量使用 重量比 表面積比 化学除染</p> <p>コメント 外観、汚染部位等について特徴 的なことを記入。</p>
選定試料	汚染状況															
汚染レベル	<1Kcpm															
汚染箇所	全面															
汚染範囲	均一															
面積測定	可															
重量測定	可															
化学除染	可															

表 4.16 廃棄物試料（容器 G、試料 No.22）の基本情報

記録項目	記録内容	備考														
1.選定試料データの記入	外観記録															
2.選定試料の重量測定	<p>シーケンシャルナンバー: 容器G                      内容物記載事項: _____                      試料発生年月日: 2014年10月1日</p> <p>空容器重量+採取重量 ( )g      空容器重量 ( )g      =      選定試料重量(W<sub>0</sub>) ( 41.3000 )g</p> <p>分析対象核種: _____</p>	<p>寸法、形状測定                      小数点1位、単位cm。</p> <p>重量測定                      有効数4桁</p>														
3.表面線量当量測定 試料外観の観察記録	<p>使用測定器      機器No                      1 GM管(cpm)      : -                      2 電離箱(<math>\mu</math>Sv/h)      : ICS-323                      3 NaI(<math>\mu</math>Sv/h)      : -</p> <p>表面線量率                      1 - (at cm)                      2 166 <math>\mu</math>Sv/h (at 0 cm)                      3 - (at cm)</p> <p>添付資料-写真-( - )                      材質の推定(紙ワエス)</p>	<p>表面線量当量測定                      記録紙上に図示。2点以上実施                      NET COUNTで表示。</p> <p>外観写真                      画面いっぱい試料を入れる。                      基準寸法を入れる。                      *試料全体を写真撮影すること                      *焼却灰はプランチェンに乗せて                      撮影すること</p>														
4.汚染箇所採取方法の選定	<p>選定試料からの採取操作                      実施しない <b>実施する</b></p> <p>記録紙下段に進む</p> <p>コメント                      ・No.22の袋より比較的線量の高い3枚のワエスを採取した。                      ・表面線量率値は最大値を記載。</p> <p>: 汚染箇所      寸法記入のこと(単位:cm)</p>	<p>材質推定                      添付資料-4電事連報告シート記入                      要領に従う。</p> <p>採取方法の選定                      優先順位                      全量使用                      重量比                      表面積比                      化学除染</p>														
採与方法○で囲む	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選定試料</th> <th>汚染状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汚染レベル</td> <td>&gt;1Kcpm</td> </tr> <tr> <td>汚染箇所</td> <td>全面</td> </tr> <tr> <td>汚染範囲</td> <td>均一</td> </tr> <tr> <td>面積測定</td> <td>可</td> </tr> <tr> <td>重量測定</td> <td>可</td> </tr> <tr> <td>化学除染</td> <td>可</td> </tr> </tbody> </table> <p>全量使用                      2 重量比                      3 表面積比                      4 化学除染</p>	選定試料	汚染状況	汚染レベル	>1Kcpm	汚染箇所	全面	汚染範囲	均一	面積測定	可	重量測定	可	化学除染	可	<p>コメント                      外観、汚染部位等について特徴的なことを記入。</p>
選定試料	汚染状況															
汚染レベル	>1Kcpm															
汚染箇所	全面															
汚染範囲	均一															
面積測定	可															
重量測定	可															
化学除染	可															
表面種算出																

表 4.17 廃棄物試料（容器 H、試料 No.1）の基本情報


記録項目	記録内容	備考														
1.選定試料データの記入	<p>外観記録</p> <p>シーケンシャルナンバー: 容器H 内容物記載事項: _____ 試料発生日: 2014年10月1日</p> <p>空容器重量+採取重量 ( ) g      空容器重量 ( ) g      =</p> <p>選定試料重量(W<sub>0</sub>) ( 68.0000 ) g</p> <p>使用測定器 機器No 1 GM管(cpm) : - 2 電離箱(μSv/h) : ICS-323 3 NaI(μSv/h) : -</p> <p>表面線量率 1 (at. cm) 2 182 μSv/h (at. 0 cm) 3 (at. cm)</p> <p>添付資料→写真( - - ) 材質の推定(紙ウエス)</p> <p>選定試料からの採取操作 実施しない 実施する</p> <p>記録紙下段に進む</p> <p>コメント ・No.1の袋より比較的線量の高い3枚のウエスを採取した ・表面線量率値は最大値を記載。</p>	<p>寸法、形状測定 小数点1位、単位cm。</p> <p>重量測定 有効数4桁</p> <p>表面線量当量測定 記録紙上に図示。2点以上実施 NET COUNTで表示。</p> <p>外観写真 画面いっぱい試料を入れる。 基準寸法を入れる。 *試料全体を写真撮影すること *雄却灰はプラチネットに乗せて 撮影すること</p> <p>材質推定 添付資料-4電事連報告シート記入 要領に従う。</p> <p>採取方法の選定 優先順位 全量使用 重量比 表面積比 化学除染</p>														
2.選定試料の重量測定	<p>空容器重量+採取重量 ( ) g</p>															
3.表面線量当量測定 試料外観の観察記録																
4.汚染箇所採取方法の選定	<table border="1" data-bbox="753 1624 1082 1892"> <thead> <tr> <th>選定試料</th> <th>汚染状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汚染レベル</td> <td>&lt;1Kcpm</td> </tr> <tr> <td>汚染箇所</td> <td>局部</td> </tr> <tr> <td>汚染範囲</td> <td>不均一</td> </tr> <tr> <td>面積測定</td> <td>可</td> </tr> <tr> <td>重量測定</td> <td>不可</td> </tr> <tr> <td>化学除染</td> <td>不可</td> </tr> </tbody> </table> <p>採取方法○で囲む</p> <p>全量使用 2 重量比 3 表面積比 4 化学除染</p>	選定試料	汚染状況	汚染レベル	<1Kcpm	汚染箇所	局部	汚染範囲	不均一	面積測定	可	重量測定	不可	化学除染	不可	
選定試料	汚染状況															
汚染レベル	<1Kcpm															
汚染箇所	局部															
汚染範囲	不均一															
面積測定	可															
重量測定	不可															
化学除染	不可															
	<p>: 汚染箇所 寸法記入のこと(単位:cm)</p>															
	<p>表面種算出</p>															

表 4.18 廃棄物試料（容器 1、試料 No.12）の基本情報

記録項目	記録内容	備考														
1.選定試料データの記入  2.選定試料の重量測定  3.表面線量当量測定 試料外観の観察記録  4.汚染箇所採取方法の選定	外観記録 シーケンシャルナンバー:容器1 内容物記載事項: _____ 試料発生日:2014年10月1日  発重所名称:NDCホストラボ 分析対象核種: _____  空容器重量+採取重量 ( )g      空容器重量 ( )g      選定試料重量(W <sub>0</sub> ) ( 6.8000 )g  使用測定器 機器No 1 GM管(cpm) : - 2 電離箱( $\mu\text{Sv/h}$ ): ICS-323 3 NaI( $\mu\text{Sv/h}$ ) : -  表面線量率 (at cm) 1 - (at cm) 2 660 $\mu\text{Sv/h}$ (at 0 cm) 3 - (at cm) 添付資料-写真( ) ( ) 材質の推定(ゴム手) 実施する 選定試料からの採取操作 実施しない 記録紙下段に進む コメント ・No.12の袋より比較的線量の高いゴム手を採取した。 ・表面線量率値は最大値を記載。  :汚染箇所 寸法記入のこと(単位:cm)	寸法、形状測定 小数点1位、単位cm。  重量測定 有効数4桁  表面線量当量測定 記録紙上に図示。2点以上実施 NET COUNTで表示。  外観写真 画面いっぱい試料を入れる。 基準寸法を入れる。 *試料全体を写真撮影すること *雑刈灰はファンジェットに乗せて 撮影すること  材質推定 添付資料-4 電事連報告シート記入 要領に従う。  採取方法の選定 優先順位 全量使用 重量比 表面積比 化学除染  コメント 外観、汚染部位等について特徴的なことを記入。														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>選定試料</th> <th>汚染状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汚染レベル</td> <td>&lt;1Kcpm</td> </tr> <tr> <td>汚染箇所</td> <td>局部</td> </tr> <tr> <td>汚染範囲</td> <td>不均一</td> </tr> <tr> <td>面積測定</td> <td>不可</td> </tr> <tr> <td>重量測定</td> <td>可</td> </tr> <tr> <td>化学除染</td> <td>不可</td> </tr> </tbody> </table> 採取方法○で囲む 全量使用 2 重量比 3 表面積比 4 化学除染	選定試料	汚染状況	汚染レベル	<1Kcpm	汚染箇所	局部	汚染範囲	不均一	面積測定	不可	重量測定	可	化学除染	不可	表面積算出	
選定試料	汚染状況															
汚染レベル	<1Kcpm															
汚染箇所	局部															
汚染範囲	不均一															
面積測定	不可															
重量測定	可															
化学除染	不可															

表 4.19 廃棄物試料（容器 D）の分析結果

容器D		減衰補正日		2014/10/1		Bq/g		
核種	放射能濃度	誤差	検出限界	規格化係数	核種	規格化後濃度	誤差	検出限界
H-3	1.04E+01	6.32E-01	1.75E+00	1.234	H-3	1.28E+01	7.80E-01	2.16E+00
C-14	1.44E+00	2.20E-01	6.43E-01	1.234	C-14	1.78E+00	2.72E-01	7.93E-01
Co-60	1.42E+01	2.90E-01	9.88E-01	1.234	Co-60	1.75E+01	3.58E-01	1.22E+00
Cs-137	9.45E+03	2.99E+01	4.12E+00	1.234	Ni-63	1.57E+00	5.85E-02	1.53E-01
Sr-90	1.01E+04	7.41E+01	5.70E+00	1.000	Sr-90	1.01E+04	7.41E+01	5.70E+00
Tc-99	2.55E-01	1.01E-02	9.46E-03	1.000	Tc-99	2.55E-01	1.01E-02	9.46E-03
Eu-154	6.87E+01	9.17E+00	4.11E+01	1.000	Cs-137	1.17E+04	3.94E+01	2.62E+01
Co-60	ND	-	2.06E+01	-	Eu-154	6.87E+01	9.17E+00	4.11E+01
Cs-137	1.17E+04	3.94E+01	2.62E+01	1.000	U-234	2.16E-02	1.33E-03	7.11E-04
Ni-63	1.50E+00	5.56E-02	1.45E-01	1.052	U-235	7.62E-05	1.25E-06	1.03E-05
U-234	2.05E-02	1.26E-03	6.75E-04	1.052	U-238	2.90E-03	4.28E-06	1.28E-05
U-235	7.24E-05	1.19E-06	9.81E-06	1.052	Pu-238	5.55E+01	7.16E-01	1.93E-02
U-238	2.76E-03	4.06E-06	1.21E-05	1.052	Pu-239+240	6.15E+00	1.01E-01	1.92E-02
Pu-238	5.27E+01	6.80E-01	1.84E-02	1.052	Pu-241	7.41E+02	2.33E+00	1.62E+00
Pu-239+240	5.84E+00	9.63E-02	1.82E-02	1.052	Am-241	2.87E+01	9.77E-01	3.90E-01
Pu-241	7.04E+02	2.22E+00	1.54E+00	1.052	Cm-244	4.49E+01	1.27E+00	2.74E-01
Am-241	2.73E+01	9.28E-01	3.71E-01	1.052				
Cm-244	4.27E+01	1.21E+00	2.60E-01	1.052				
Co-60	ND	-	4.40E+01	-				
Cs-137	1.11E+04	6.51E+01	5.07E+01	1.052				

減衰補正日：2014/10/1

試料略称：容器D

表 4.20 廃棄物試料 (容器 E) の分析結果

容器 E		減衰補正日		2014/10/1		試料略称: 容器 E		減衰補正日: 2014/10/1	
核種	放射能濃度	誤差	検出限界	規格化係数	Bq/g	核種	規格化後濃度	誤差	検出限界
H-3	1.40E+02	1.30E+00	2.15E+00	0.560		H-3	7.87E+01	7.27E-01	1.21E+00
C-14	6.11E+00	3.00E-01	7.88E-01	0.560		C-14	3.42E+00	1.68E-01	4.41E-01
Co-60	2.04E+03	7.17E+01	1.58E+02	0.560		Co-60	1.14E+03	7.79E+00	2.34E+01
Cs-137	6.00E+04	1.22E+02	2.12E+02	0.677		Ni-63	1.99E+03	1.22E+00	1.97E-01
Sr-90	2.66E+04	1.92E+02	1.46E+01	1.000		Sr-90	2.66E+04	1.92E+02	1.46E+01
Tc-99	5.55E+00	1.12E-01	2.90E-02	1.000		Tc-99	5.55E+00	1.12E-01	2.90E-02
Eu-154	6.39E+02	1.84E+01	6.41E+01	1.000		Cs-137	4.06E+04	1.01E+02	5.03E+01
Co-60	1.14E+03	7.79E+00	2.34E+01	1.000		Eu-154	6.39E+02	1.84E+01	6.41E+01
Cs-137	4.06E+04	1.01E+02	5.03E+01	1.000		U-234	8.03E-01	2.04E-02	3.73E-03
Ni-63	2.25E+03	1.38E+00	2.23E-01	0.884		U-235	1.06E-02	1.54E-05	6.39E-06
U-234	1.12E+00	2.84E-02	5.19E-03	0.719		U-238	2.06E-01	9.55E-03	6.22E-03
U-235	1.47E-02	2.14E-05	8.88E-06	0.719		Pu-238	3.07E+03	3.63E+01	1.05E-01
U-238	2.86E-01	1.33E-02	8.64E-03	0.719		Pu-239+240	4.14E+02	5.03E+00	1.04E-01
Pu-238	4.27E+03	5.04E+01	1.46E-01	0.719		Pu-241	3.11E+04	3.44E+01	8.79E+00
Pu-239+240	5.76E+02	6.99E+00	1.45E-01	0.719		Am-241	2.27E+03	3.10E+01	1.80E+00
Pu-241	4.32E+04	4.78E+01	1.22E+01	0.719		Cm-244	1.23E+03	1.91E+01	1.27E+00
Am-241	3.16E+03	4.32E+01	2.51E+00	0.719					
Cm-244	1.71E+03	2.65E+01	1.76E+00	0.719					
Co-60	1.29E+03	4.95E+01	5.99E+01	0.884					
Cs-137	5.65E+04	1.27E+02	1.11E+02	0.719					

表 4.21 廃棄物試料（容器 F）の分析結果

容器 F		減衰補正日		2014/10/1		Bq/g	
核種	放射能濃度	誤差	検出限界	規格化係数	核種	規格化後濃度	検出限界
H-3	1.01E+01	8.84E-01	2.52E+00	1.393	H-3	1.41E+01	3.51E+00
C-14	3.37E+00	3.18E-01	9.00E-01	1.393	C-14	4.70E+00	1.25E+00
Co-60	4.18E+02	4.50E+00	3.34E+00	1.393	Co-60	5.82E+02	2.66E+01
Cs-137	4.38E+04	2.87E+02	1.78E+01	0.863	Ni-63	1.24E+03	3.64E-01
Sr-90	2.19E+04	1.45E+02	1.00E+01	1.000	Sr-90	2.19E+04	1.00E+01
Tc-99	3.00E+00	8.87E-02	3.35E-02	1.000	Tc-99	3.00E+00	3.35E-02
Eu-154	9.18E+02	2.32E+01	7.79E+01	1.000	Cs-137	3.78E+04	5.63E+01
Co-60	5.82E+02	1.42E+01	2.66E+01	1.000	Eu-154	9.18E+02	7.79E+01
Cs-137	3.78E+04	1.24E+02	5.63E+01	1.000	U-234	2.45E-01	1.39E-03
Ni-63	9.36E+02	9.96E-01	2.76E-01	1.322	U-235	2.59E-03	1.53E-05
U-234	2.03E-01	5.61E-03	1.16E-03	1.205	U-238	7.18E-02	2.32E-03
U-235	2.15E-03	1.56E-05	1.27E-05	1.205	Pu-238	2.20E+03	4.47E-02
U-238	5.95E-02	2.86E-03	1.93E-03	1.205	Pu-239+240	2.20E+02	4.43E-02
Pu-238	1.83E+03	2.15E+01	3.71E-02	1.205	Pu-241	2.84E+04	3.75E+00
Pu-239+240	1.82E+02	2.20E+00	3.68E-02	1.205	Am-241	8.40E+02	7.03E-01
Pu-241	2.35E+04	1.78E+01	3.11E+00	1.205	Cm-244	1.07E+03	4.93E-01
Am-241	6.97E+02	9.61E+00	5.83E-01	1.205			
Cm-244	8.88E+02	1.18E+01	4.09E-01	1.205			
Co-60	4.41E+02	4.64E+01	7.97E+01	1.322			
Cs-137	3.14E+04	1.43E+02	1.11E+02	1.205			

減衰補正日: 2014/10/1

試料略称: 容器 F

表 4.22 廃棄物試料 (容器 G) の分析結果

容器 G		減衰補正日		2014/10/1		試料略称: 容器 G		減衰補正日: 2014/10/1	
核種	放射能濃度	誤差	検出限界	規格化係数	核種	規格化後濃度	誤差	検出限界	
Bq/g									
H-3	1.84E+02	1.79E+00	3.05E+00	8.576	H-3	1.58E+03	1.53E+01	2.61E+01	
C-14	ND	—	1.10E+00	8.576	C-14	ND	—	9.45E+00	
Co-60	3.61E+02	3.15E+00	3.59E+00	8.576	Co-60	3.09E+03	4.59E+01	5.96E+01	
Cs-137	1.36E+04	4.01E+01	1.02E+01	26.655	Ni-63	5.27E+03	2.14E+00	2.28E-01	
Sr-90	2.75E+05	8.80E+02	2.96E+01	1.000	Sr-90	2.75E+05	8.80E+02	2.96E+01	
Tc-99	2.80E+01	2.34E-01	2.51E-02	1.000	Tc-99	2.80E+01	2.34E-01	2.51E-02	
Eu-154	1.06E+04	1.67E+02	1.75E+02	1.000	Cs-137	3.62E+05	1.21E+03	1.99E+02	
Co-60	3.09E+03	4.59E+01	5.96E+01	1.000	Eu-154	1.06E+04	1.67E+02	1.75E+02	
Cs-137	3.62E+05	1.21E+03	1.99E+02	1.000	U-234	4.82E+00	1.18E-01	3.91E-02	
Ni-63	1.20E+04	4.89E+00	5.21E-01	0.438	U-235	5.78E-02	4.20E-04	1.21E-04	
U-234	3.01E+00	7.35E-02	2.44E-02	1.602	U-238	1.08E+00	5.07E-02	2.01E-02	
U-235	3.61E-02	2.62E-04	7.54E-05	1.602	Pu-238	2.41E+04	2.84E+02	6.62E-01	
U-238	6.73E-01	3.16E-02	1.26E-02	1.602	Pu-239+240	3.13E+03	3.77E+01	6.56E-01	
Pu-238	1.51E+04	1.77E+02	4.13E-01	1.602	Pu-241	3.28E+05	2.80E+02	5.54E+01	
Pu-239+240	1.95E+03	2.35E+01	4.09E-01	1.602	Am-241	1.44E+04	1.95E+02	1.08E+01	
Pu-241	2.05E+05	1.75E+02	3.46E+01	1.602	Cm-244	9.16E+03	1.35E+02	7.54E+00	
Am-241	8.99E+03	1.22E+02	6.71E+00	1.602					
Cm-244	5.72E+03	8.44E+01	4.71E+00	1.602					
Co-60	7.07E+03	6.62E+01	7.87E+01	0.438					
Cs-137	2.26E+05	7.63E+02	2.06E+02	1.602					



表 4.23 廃棄物試料 (容器 H) の分析結果

容器H		減衰補正日		2014/10/1		減衰補正日: 2014/10/1		試料略称: 容器H	
核種	放射能濃度	誤差	検出限界	規格化係数	Bq/g	規格化後濃度	誤差	検出限界	Bq/g
H-3	7.52E+01	9.83E-01	1.92E+00	7.069		5.32E+02	6.95E+00	1.36E+01	
C-14	2.14E+00	2.40E-01	6.88E-01	7.069		1.51E+01	1.70E+00	4.87E+00	
Co-60	7.17E+01	1.73E+00	1.90E+00	7.069		5.07E+02	6.46E+00	1.19E+01	
Cs-137	1.51E+04	5.78E+01	8.33E+00	5.285		6.57E+02	1.15E+00	5.20E-01	
Sr-90	5.10E+04	2.27E+02	1.06E+01	1.000		5.10E+04	2.27E+02	1.06E+01	
Tc-99	8.54E+00	9.19E-02	1.27E-02	1.000		8.54E+00	9.19E-02	1.27E-02	
Eu-154	2.03E+03	3.63E+01	3.70E+01	1.000		7.97E+04	2.44E+02	4.42E+01	
Co-60	5.07E+02	6.46E+00	1.19E+01	1.000		2.03E+03	3.63E+01	3.70E+01	
Cs-137	7.97E+04	2.44E+02	4.42E+01	1.000		8.72E-01	2.49E-02	1.04E-02	
Ni-63	1.72E+02	3.03E-01	1.37E-01	3.810		1.24E-02	5.49E-05	3.21E-05	
U-234	1.89E-01	5.40E-03	2.25E-03	4.611		2.50E-01	1.25E-02	5.34E-03	
U-235	2.69E-03	1.19E-05	6.96E-06	4.611		4.83E+03	5.71E+01	1.73E-01	
U-238	5.41E-02	2.71E-03	1.16E-03	4.611		5.77E+02	7.05E+00	1.71E-01	
Pu-238	1.05E+03	1.24E+01	3.75E-02	4.611		7.08E+04	6.66E+01	1.45E+01	
Pu-239+240	1.25E+02	1.53E+00	3.72E-02	4.611		2.94E+03	4.33E+01	3.51E+00	
Pu-241	1.54E+04	1.44E+01	3.14E+00	4.611		2.63E+03	3.99E+01	2.46E+00	
Am-241	6.38E+02	9.39E+00	7.61E-01	4.611					
Cm-244	5.70E+02	8.66E+00	5.34E-01	4.611					
Co-60	1.33E+02	1.31E+01	3.36E+01	3.810					
Cs-137	1.73E+04	1.52E+02	6.17E+01	4.611					

表 4.24 廃棄物試料（容器1）の分析結果

容器1		減衰補正日		2014/10/1		Bq/g		
核種	放射能濃度	誤差	検出限界	規格化係数	核種	規格化後濃度	誤差	検出限界
H-3	4.44E+01	1.25E+00	3.07E+00	1.664	H-3	7.39E+01	2.08E+00	5.10E+00
C-14	8.95E+00	4.38E-01	1.15E+00	1.664	C-14	1.49E+01	7.30E-01	1.92E+00
Co-60	3.08E+02	9.60E+01	2.58E+02	1.664	Co-60	5.13E+02	3.24E+01	8.36E+01
Cs-137	8.82E+05	3.47E+03	7.69E+02	1.606	Ni-63	9.30E+02	2.76E+00	2.03E+00
Sr-90	8.98E+05	4.10E+03	1.96E+02	1.000	Sr-90	8.98E+05	4.10E+03	1.96E+02
Tc-99	2.17E+02	1.89E+00	2.11E-01	1.000	Tc-99	2.17E+02	1.89E+00	2.11E-01
Eu-154	3.88E+04	3.34E+02	2.51E+02	1.000	Cs-137	1.42E+06	4.29E+03	3.28E+02
Co-60	5.13E+02	3.24E+01	8.36E+01	1.000	Eu-154	3.88E+04	3.34E+02	2.51E+02
Cs-137	1.42E+06	4.29E+03	3.28E+02	1.000	U-234	2.14E+01	4.97E-01	1.52E-01
Ni-63	5.46E+02	1.62E+00	1.19E+00	1.702	U-235	2.28E-01	1.65E-03	9.37E-04
U-234	1.09E+01	2.53E-01	7.73E-02	1.964	U-238	4.39E+00	2.02E-01	7.81E-02
U-235	1.16E-01	8.42E-04	4.77E-04	1.964	Pu-238	1.06E+05	1.25E+03	2.46E+00
U-238	2.24E+00	1.03E-01	3.98E-02	1.964	Pu-239+240	1.13E+04	1.36E+02	2.44E+00
Pu-238	5.39E+04	6.35E+02	1.26E+00	1.964	Pu-241	1.36E+06	1.10E+03	2.06E+02
Pu-239+240	5.75E+03	6.95E+01	1.24E+00	1.964	Am-241	4.49E+04	6.34E+02	4.32E+01
Pu-241	6.91E+05	5.60E+02	1.05E+02	1.964	Cm-244	4.82E+04	6.75E+02	3.03E+01
Am-241	2.29E+04	3.23E+02	2.20E+01	1.964				
Cm-244	2.45E+04	3.44E+02	1.54E+01	1.964				
Co-60	3.01E+02	1.66E+01	5.37E+01	1.702				
Cs-137	7.21E+05	2.09E+03	2.05E+02	1.964				

減衰補正日: 2014/10/1

試料略称: 容器1

表 4.25 分析前処理の不確かさの評価結果

誤差要因	分析対象核種	H-3	C-14	Co-60	Cs-137	Sr-90	Tc-99	Eu-154	Co-60	Cs-137	Ni-63
分析試料採取 (計量) (希釈分取)	化学回収率補正	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
		1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	-	-	1.0%	1.0%	1.0%	3.0%
放射線測定器校正	分析前処理の不確かさ	10%	10%	10%	10%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
		10%	10%	10%	10%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	10%
		14%	14%	14%	14%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%	12%

誤差要因	分析対象核種	U-234	U-235	U-238	Pu-238	Pu-239 +240	Pu-241	Am-241	Cm-244	Co-60	Cs-137
分析試料採取 (計量) (希釈分取)	化学回収率補正	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
		1.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	3.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
放射線測定器校正	分析前処理の不確かさ	5.0%	10%	10%	30%	30%	30%	5.0%	5.0%	10%	10%
		15%	15%	5%	15%	15%	10%	15%	15%	10%	10%
		16%	18%	11%	34%	34%	32%	16%	16%	14%	14%

\* 本表に整理した分析前処理の不確かさは、これまでの実績を考慮した最大値として評価した値であり、全てBタイプ\*の不確かさに分類される。

\* 不確かさの評価方法には、Aタイプ評価とBタイプ評価の2つがあり、Aタイプ評価は様々な不確かさの成分を、観測値の統計解析つまり標準偏差によって評価することである。Bタイプ評価はAタイプ評価以外の方法による評価である。

表 4.26 廃棄物試料、分析対象核種ごとの放射能測定の不確かさ

廃棄物試料 分析対象核種	容器D	容器E	容器F	容器G	容器H	容器I
H-3	6.1%	0.92%	8.7%	0.97%	1.3%	2.8%
C-14	15%	4.9%	9.4%	—	11%	4.9%
Co-60	2.1%	3.5%	1.1%	0.87%	2.4%	31%
Cs-137	0.32%	0.20%	0.66%	0.30%	0.38%	0.39%
Sr-90	0.73%	0.72%	0.66%	0.32%	0.44%	0.46%
Tc-99	4.0%	2.0%	3.0%	0.84%	1.1%	0.87%
Eu-154	13%	2.9%	2.5%	1.6%	1.8%	0.86%
Co-60	—	0.68%	2.4%	1.5%	1.3%	6.3%
Cs-137	0.34%	0.25%	0.33%	0.33%	0.31%	0.30%
Ni-63	3.7%	0.062%	0.11%	0.04%	0.18%	0.30%
U-234	6.2%	2.5%	2.8%	2.4%	2.9%	2.3%
U-235	1.6%	0.15%	0.73%	0.73%	0.44%	0.73%
U-238	0.15%	4.6%	4.8%	4.7%	5.0%	4.6%
Pu-238	1.3%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%
Pu-239+240	1.6%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%
Pu-241	0.31%	0.11%	0.076%	0.085%	0.094%	0.081%
Am-241	3.4%	1.4%	1.4%	1.4%	1.5%	1.4%
Cm-244	2.8%	1.6%	1.3%	1.5%	1.5%	1.4%
Co-60	—	3.8%	11%	0.94%	9.9%	5.5%
Cs-137	0.59%	0.22%	0.46%	0.34%	0.88%	0.29%

表 4.27 廃棄物試料、分析対象核種ごとの放射化学分析の不確かさ

廃棄物試料 分析対象核種	容器D	容器E	容器F	容器G	容器H	容器I
H-3	15%	14%	17%	14%	14%	14%
C-14	21%	15%	17%	—	18%	15%
Co-60	14%	15%	14%	14%	14%	34%
Cs-137	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Sr-90	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%
Tc-99	8.1%	7.4%	7.7%	7.1%	7.2%	7.1%
Eu-154	15%	7.7%	7.6%	7.3%	7.4%	7.2%
Co-60	—	7.2%	7.5%	7.3%	7.3%	9.5%
Cs-137	7.2%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%
Ni-63	12%	12%	12%	12%	12%	12%
U-234	17%	16%	16%	16%	16%	16%
U-235	18%	18%	18%	18%	18%	18%
U-238	11%	12%	12%	12%	12%	12%
Pu-238	34%	34%	34%	34%	34%	34%
Pu-239+240	34%	34%	34%	34%	34%	34%
Pu-241	32%	32%	32%	32%	32%	32%
Am-241	16%	16%	16%	16%	16%	16%
Cm-244	16%	16%	16%	16%	16%	16%
Co-60	—	15%	18%	14%	17%	15%
Cs-137	14%	14%	14%	14%	14%	14%

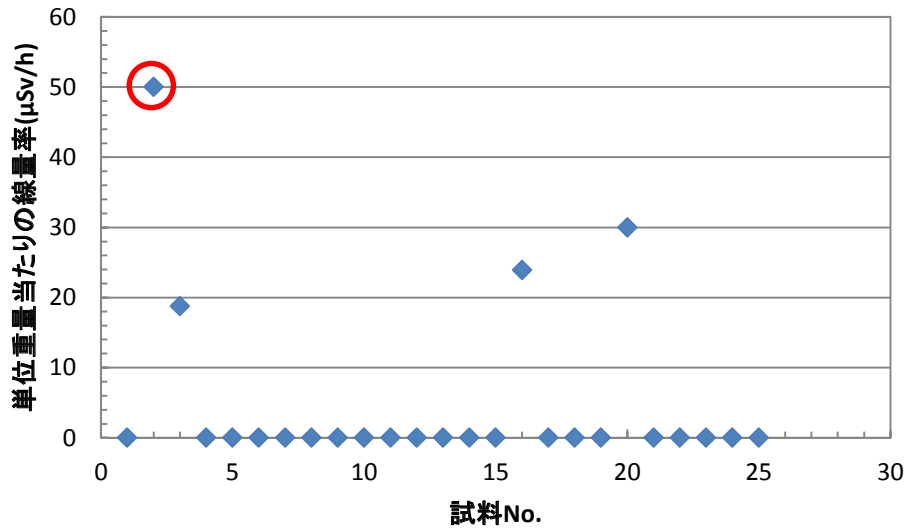


図 4.1 容器 D に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率

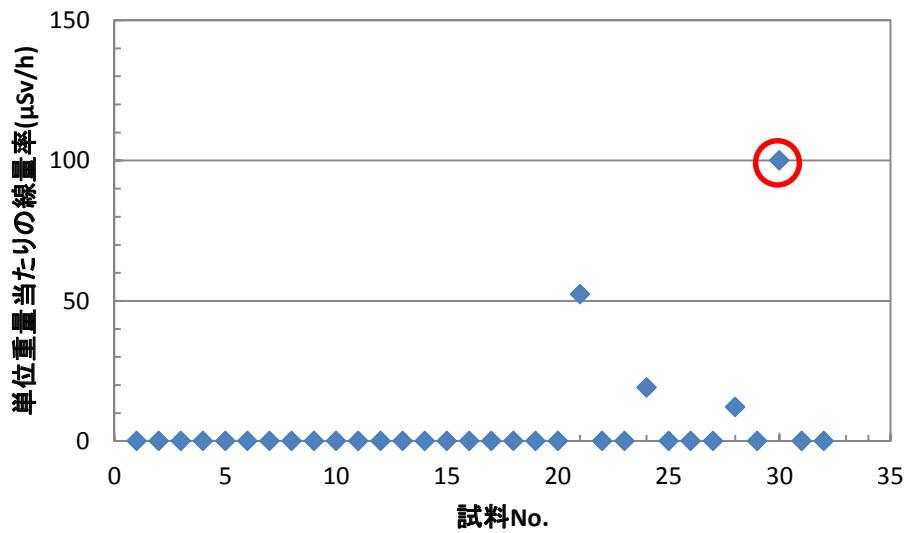


図 4.2 容器 E に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率

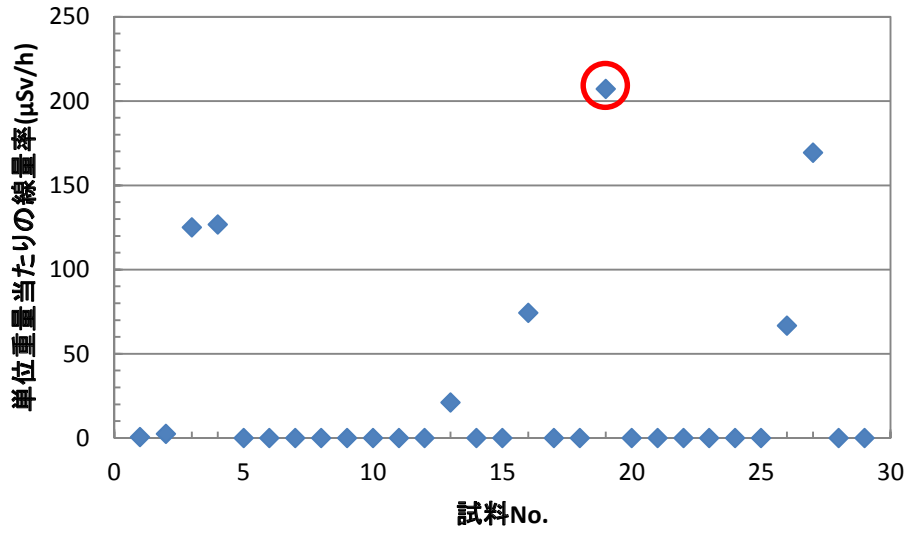


図 4.3 容器 F に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率

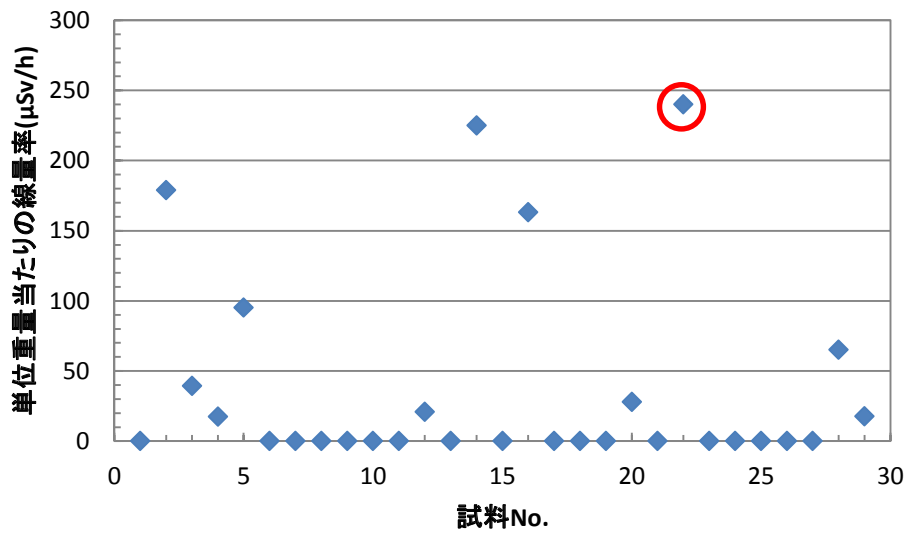


図 4.4 容器 G に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率

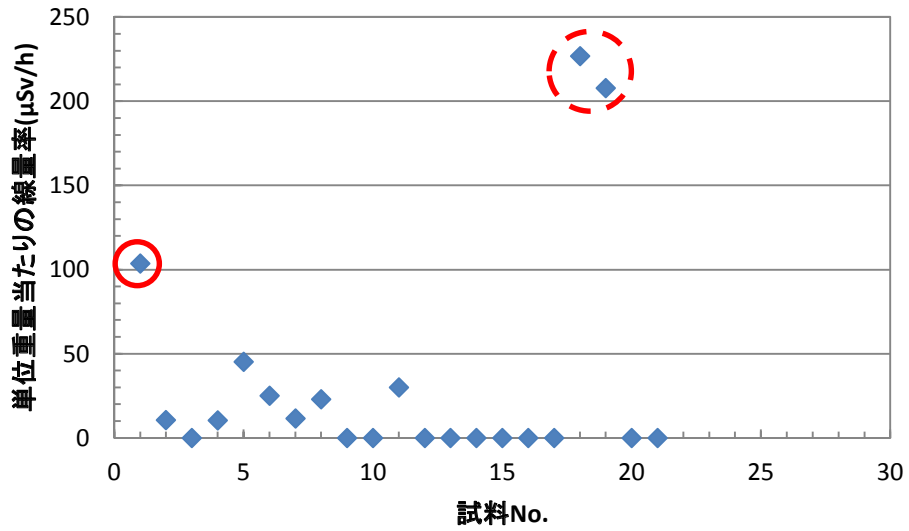


図 4.5 容器 H に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率

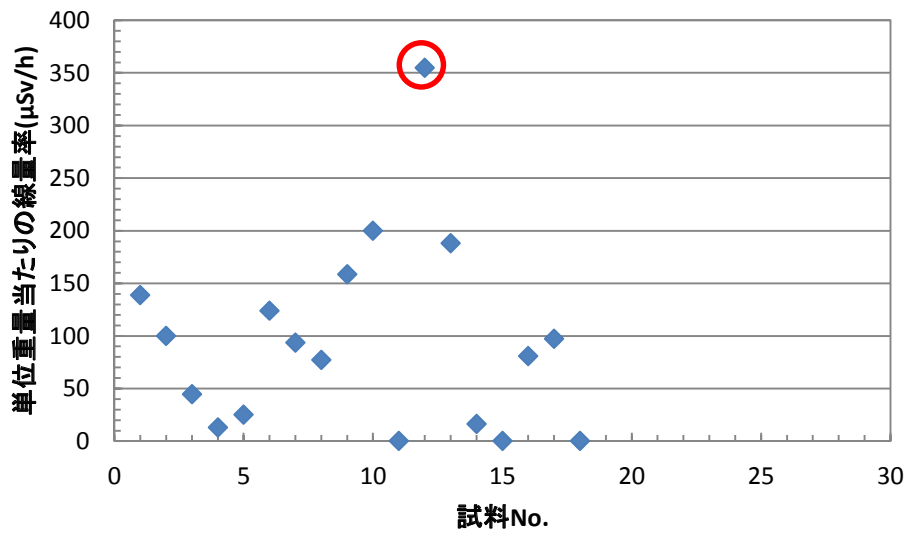


図 4.6 容器 I に封入されていたポリ袋の単位重量あたりの表面線量率



## 5. 放射能濃度評価手法の適用性検討

2章の検討手順に示すように、照射済燃料の燃焼度に応じ評価対象核種ごとの核種組成比はよく似たふるまいを示すことに基づき、照射後試験施設廃棄物に対しては、理論計算手法を主体とする放射能評価手法を適用することとした。すなわち、あらかじめ ORIGEN-2 計算コードによる放射化・燃焼計算より算出した評価対象核種の Co-60 または Cs-137 に対する核種組成比と NDC に保管されていた放射性廃棄物から採取した廃棄物試料の放射化学分析結果を比較することで本理論計算手法の適用性を確認した。

本検討に際し新たに 6 つの廃棄物試料の放射化学分析を実施したことから、この分析結果と既存報告書<sup>4)</sup>で取りまとめていた 3 つの廃棄物試料の分析結果を合わせて検討した。既存の分析結果を表 5.1 から表 5.3 に示す。なお、分析を実施した廃棄物試料からは、Am-243 は検出されなかった。本検討では、表 5.1 から表 5.3 で試料略称を容器-66-8、容器-73-11、容器-61-10 とされているものをそれぞれ容器 A、容器 B、容器 C と称する。また容器 A、容器 B、容器 C の廃棄物は一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物であった。

### 5.1 分析データの確認

まず、容器 A から容器 I の放射化学分析結果に基づく放射能濃度データから核種組成比をそれぞれ求めた。この結果を表 5.4 に示す。放射性核種の組み合わせは、放射化材料に由来する AP 核種に対しては Co-60 と組み合わせ、原子炉燃料に由来する FP 核種及び ACT 核種に対しては Cs-137 と組み合わせた。

NDC の廃棄物保管情報<sup>4)</sup>から、本検討において採取した廃棄物試料は、容器 A から容器 F は表 2.3 に示す燃料棒 B (UO<sub>2</sub>) 一種類の照射済燃料によって汚染された放射性廃棄物、一方容器 G から容器 I は表 2.3 に示す燃料棒 B (UO<sub>2</sub>) 及び燃料集合体 D (Gd 入り) の二種類の照射済燃料によって汚染された放射性廃棄物と確認された。このことから、理論計算による核種組成比について、一種類の照射済燃料は表 2.3 に示す燃料棒 B (UO<sub>2</sub>) の評価対象核種ごとの核種組成比を平成 26 年 10 月 1 日時点で減衰補正した核種組成比とした。一方、二種類の照射済燃料に汚染された放射性廃棄物の核種組成比については、表 2.3 に示す燃料棒 B (UO<sub>2</sub>) 及び燃料集合体 D (Gd 入り) の評価対象核種ごとの放射能濃度を平成 26 年 10 月 1 日時点で減衰補正した上で、照射後試験での取扱量で重みづけを行った放射能濃度を算出し、核種組成比を評価した。理論計算による核種組成比を表 5.5 に示す。また、1 種類の照射済燃料に汚染された容器 A から容器 F の核種組成比の比較を図 5.1 に、2 種類の照射済燃料に汚染された容器 G から容器 I の核種組成比の比較を図 5.2 に示す。

これらの結果を比較すると、図 5.1 及び図 5.2 に示すように評価対象核種によって容器ごとに多少ばらつくものの同様の傾向を示すことが確認された。ただし、H-3、C-14、Ni-63 については、

一種類の照射済燃料に汚染された容器 A から容器 F、二種類の照射済燃料に汚染された容器 G から容器 I のいずれも、理論計算結果が放射化学分析結果と合わない、または容器ごとのばらつきが大きい結果となった。なお、参考のために放射化学分析の結果に基づく放射能濃度データを図 5.3 から図 5.17 に示す。

## 5.2 放射能濃度評価手法の適用性検討

図 5.1 及び図 5.2 に示すように、Sr-90、Tc-99、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Pu-241、Am-241、Cm-244 については、一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物も二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物も理論計算結果が放射化学分析結果とよく一致する結果となった。FP 核種及び ACT 核種は照射済燃料に由来する放射性核種であり、それらの核種組成比は、図 2.2 に示すように、燃焼度によらずほぼ同様である。高次の反応で生成する Cm-244 や燃焼度に寄与する U-235 については、燃焼度に依存して組成比のばらつきが大きい、20GWd/t 以上ではばらつきは小さい。本検討における二種類の燃料として想定した燃料棒 B と燃料集合体 D (Gd 入り) の燃焼度は、54.6GWd/t と 37.6GWd/t であり、表 2.3 より、理論計算における FP と ACT 核種の核種組成比の差は大きくても 3 倍以内である。したがって、複数の照射済燃料が汚染源となる場合、それぞれの照射済燃料の核種組成比を理論計算で評価し、本報告で採用したそれぞれの燃料からの寄与を按分して核種組成比を設定する方法、または、ばらつきを把握した上で保守性のある代表的な核種組成比を設定する方法等を検討することにより、理論計算手法を適用できると考えられる。

一方、図 5.1 及び図 5.2 に示すように C-14、Ni-63 については、容器ごとにばらつき、かつ理論計算結果が放射化学分析結果よりも低くなる結果となっており、過小評価している可能性が示唆された。この理由として、C-14 については、C-14 は原子炉構成材料中の O-17 の熱中性子捕獲によっても生成すること、また、既往の研究<sup>8)</sup>で放射化金属から放出される C-14 は、酢酸、ギ酸、ホルムアルデヒド等の有機化学形態をとるとされており、放射性廃棄物への移行挙動が Co-60 と異なる可能性があることが考えられた。

Ni-63 については、既往の報告書<sup>4)</sup>でも放射化材料の他に、一次冷却材中の放射性クラッドに由来する放射性核種が燃料被覆管表面に付着していることが原因と推測されている。本検討で新たに分析した二種類の燃料によって汚染された廃棄物の放射化学分析結果も前述の原因により同様の傾向を示したものと推定された。また、厳密には照射済燃料の構造材料の元素組成によって AP 核種の Co-60 に対する核種組成比は異なると考えられた。すなわち、燃料ペレットに由来するか被覆管に由来するか等、構造材料の元素組成によって核種組成比に差異が生じることが考えられた。

C-14、Ni-63 のいずれの評価対象核種についても、今後はクラッドに由来する影響、構造材料の違いによる影響等を考慮し理論計算結果の改善を図る、あるいは理論計算結果に対し適切に裕度を加味した核種組成比を設定する等の検討する必要がある。

なお、H-3 については、図 5.3 及び図 5.4 に示すように Co-60 及び Cs-137 のいずれの放射性核種とも相関関係が確認されなかったが、放射能濃度データが 2 桁程度の範囲に分布する結果となっている。発電所廃棄物の放射能濃度決定方法<sup>6)</sup>でも、他に相関関係を有する放射性核種がなく、放射能濃度データが一定範囲にある場合には、放射化学分析結果の平均値によって放射能濃度が決定されていることから、H-3 については平均放射能濃度法の適用が示唆された。

表 5.1 廃棄物試料（容器 A）の分析結果<sup>4)</sup>

減衰補正日 2014/10/1  
減衰補正日 : 2014/10/1  
容器-66-8 分割試料毎の分析結果

容器-66-8	目的核種	計測誤差	検出限界	規格化係数
H-3	5.66E+02	1.38E+00	8.42E-01	1.251
C-14	6.07E+00	2.33E-01	5.77E-01	1.251
Co-60	2.19E+03	1.02E+02	9.89E+01	1.251
Cs-137	2.47E+05	6.01E+02	3.08E+02	0.704
Sr-90	1.16E+05	5.49E+02	2.70E+01	1.000
Tc-99	2.89E+01	4.40E-01	7.06E-02	1.000
Eu-154	4.58E+03	9.71E+01	1.22E+02	1.000
Co-60	2.74E+03	2.10E+01	3.29E+01	1.000
Cs-137	1.74E+05	4.41E+02	9.99E+01	1.000
Ni-63	8.00E+03	4.99E+01	6.15E+01	0.690
U-234	4.10E+00	2.12E-01	1.56E-01	0.558
U-235	2.44E-02	8.95E-05	1.18E-05	0.558
U-238	6.57E-01	4.30E-03	3.98E-04	0.558
Pu-238	2.58E+04	3.12E+02	3.21E+00	0.558
Pu-239+240	2.84E+03	3.88E+01	3.03E+00	0.558
Pu-241	2.89E+05	3.36E+02	9.91E+01	0.558
Am-241	6.16E+03	7.84E+01	1.01E+00	0.558
Cm-244	8.02E+03	1.01E+02	8.30E-01	0.558
Co-60	3.97E+03	2.02E+01	1.40E+01	0.690
Cs-137	3.11E+05	1.01E+03	6.18E+01	0.558

試料略称: 容器-66-8

	放射能濃度	誤差	検出限界
H-3	7.08E+02	1.72E+00	1.05E+00
C-14	7.59E+00	2.92E-01	7.22E-01
Co-60	2.74E+03	2.10E+01	3.29E+01
Ni-63	5.52E+03	3.45E+01	4.24E+01
Sr-90	1.16E+05	5.49E+02	2.70E+01
Tc-99	2.89E+01	4.40E-01	7.06E-02
Cs-137	1.74E+05	4.41E+02	9.99E+01
Eu-154	4.58E+03	9.71E+01	1.22E+02
U-234	2.29E+00	1.18E-01	8.72E-02
U-235	1.36E-02	5.00E-05	6.59E-06
U-238	3.67E-01	2.40E-03	2.22E-04
Pu-238	1.44E+04	1.74E+02	1.79E+00
Pu-239+240	1.59E+03	2.17E+01	1.69E+00
Pu-241	1.61E+05	1.88E+02	5.53E+01
Am-241	3.44E+03	4.38E+01	5.67E-01
Cm-244	4.48E+03	5.63E+01	4.63E-01

表 5.2 廃棄物試料（容器 B）の分析結果<sup>4)</sup>

容器-73-11	分割試料毎の分析結果	減衰補正日	2014/10/1	減衰補正日: 2014/10/1	試料略称: 容器-73-11	Bq/g	
	目的核種	計測誤差	検出限界	規格化係数	放射能濃度	誤差	検出限界
			Bq/g				Bq/g
H-3	1.66E+03	6.44E+00	5.71E+00	2.012	3.34E+03	1.30E+01	1.15E+01
C-14	3.73E+01	1.61E+00	4.08E+00	2.012	7.51E+01	3.25E+00	8.21E+00
Co-60	1.78E+04	2.82E+02	4.64E+02	2.012	3.59E+04	1.43E+03	5.45E+02
Cs-137	7.53E+04	3.19E+02	5.49E+02	8.125	6.25E+05	1.39E+03	7.08E+02
Sr-90	3.29E+05	1.32E+03	5.48E+01	1.000	3.29E+05	1.32E+03	5.48E+01
Tc-99	9.93E+01	1.53E+00	3.89E-01	1.000	9.93E+01	1.53E+00	3.89E-01
Eu-154	1.48E+04	9.07E+02	1.63E+03	1.000	6.12E+05	1.23E+03	1.48E+03
Co-60	3.59E+04	1.43E+03	5.45E+02	1.000	1.48E+04	9.07E+02	1.63E+03
Cs-137	6.12E+05	1.23E+03	1.48E+03	1.000	4.97E+00	1.54E-01	7.29E-02
Ni-63	4.48E+05	9.97E+02	5.08E+02	1.395	5.69E-02	2.47E-04	1.04E-04
U-234	4.77E+00	1.48E-01	7.00E-02	1.042	1.49E+00	8.07E-04	3.50E-03
U-235	5.46E-02	2.37E-04	9.97E-05	1.042	2.66E+04	4.04E+02	2.82E+01
U-238	1.43E+00	7.75E-04	3.36E-03	1.042	3.04E+03	7.15E+01	2.66E+01
Pu-238	2.55E+04	3.88E+02	2.71E+01	1.042	2.73E+05	1.01E+03	8.71E+02
Pu-239+240	2.92E+03	6.87E+01	2.56E+01	1.042	2.30E+04	3.19E+02	1.16E+01
Pu-241	2.62E+05	9.66E+02	8.37E+02	1.042	2.58E+04	3.53E+02	9.46E+00
Am-241	2.20E+04	3.06E+02	1.11E+01	1.042			
Cm-244	2.48E+04	3.39E+02	9.09E+00	1.042			
Co-60	2.58E+04	1.32E+02	1.06E+02	1.395			
Cs-137	5.88E+05	1.35E+03	2.56E+02	1.042			

表 5.3 廃棄物試料（容器 C）の分析結果<sup>4)</sup>

減衰補正日：2014/10/1

**試料略称：容器-61-10**

	放射能濃度	誤差	検出限界
H-3	7.57E+01	5.03E-01	6.74E-01
C-14	4.57E+01	3.83E-01	4.82E-01
Co-60	1.71E+04	5.62E+01	3.66E+01
Ni-63	9.96E+03	5.13E+01	5.47E+01
Sr-90	1.45E+02	9.18E-01	7.71E-02
Tc-99	9.92E-02	2.14E-03	1.12E-03
Cs-137	2.68E+02	1.30E+01	4.12E+01
Eu-154	6.25E+00	8.78E-02	1.71E-01
U-234	3.32E-03	3.98E-04	6.91E-04
U-235	1.08E-05	3.19E-07	1.09E-06
U-238	7.58E-04	1.70E-06	3.69E-06
Pu-238	2.03E+01	6.19E-01	2.06E-01
Pu-239+240	3.21E+00	1.65E-01	1.88E-01
Pu-241	3.16E+02	7.68E+00	1.84E+01
Am-241	1.87E+01	4.72E-01	1.15E-01
Cm-244	1.71E+01	4.44E-01	8.17E-02

Bq/g

減衰補正日 2014/10/1

**容器-61-10 分割試料毎の分析結果**

	目的核種	計測誤差	検出限界	規格化係数
H-3	1.23E+02	8.21E-01	1.10E+00	0.613
C-14	7.45E+01	6.25E-01	7.86E-01	0.613
Co-60	2.79E+04	1.81E+02	1.64E+02	0.613
Cs-137	8.94E+03	7.73E+01	1.90E+02	-
Sr-90	6.69E+02	4.24E+00	3.56E-01	0.216
Eu-154	2.89E+01	4.06E-01	7.91E-01	0.216
Co-60	9.45E+04	4.31E+02	1.94E+02	0.181
Cs-137	1.24E+03	5.85E+01	2.33E+02	0.216
Tc-99	2.59E+00	5.58E-02	2.92E-02	0.038
Co-60	3.08E+04	1.97E+02	1.15E+02	0.556
Cs-137	6.99E+03	5.34E+01	1.33E+02	0.038
Ni-63	9.96E+03	5.13E+01	5.47E+01	1.000
U-234	3.32E-03	3.98E-04	6.91E-04	1.000
U-235	1.08E-05	3.19E-07	1.09E-06	1.000
U-238	7.58E-04	1.70E-06	3.69E-06	1.000
Pu-238	2.03E+01	6.19E-01	2.06E-01	1.000
Pu-239+240	3.21E+00	1.65E-01	1.88E-01	1.000
Pu-241	3.16E+02	7.68E+00	1.84E+01	1.000
Am-241	1.87E+01	4.72E-01	1.15E-01	1.000
Cm-244	1.71E+01	4.44E-01	8.17E-02	1.000
Co-60	1.71E+04	5.62E+01	3.66E+01	1.000
Cs-137	2.68E+02	1.30E+01	4.12E+01	1.000

Bq/g

表 5.4 放射化学分析結果に基づく核種組成比

核種	1種類の燃料による汚染						2種類の燃料による汚染					
	容器A	容器B	容器C	容器D	容器E	容器F	容器G	容器H	容器I	容器J	容器K	
H-3	2.6E-01	9.3E-02	4.4E-03	7.3E-01	6.9E-02	2.4E-02	5.1E-01	1.0E+00	1.4E-01			
C-14	2.8E-03	2.1E-03	2.7E-03	1.0E-01	3.0E-03	8.1E-03	N.D.	3.0E-02	2.9E-02			
Ni-63	2.0E+00	1.7E+01	5.8E-01	9.0E-02	1.7E+00	2.1E+00	1.7E+00	1.3E+00	1.8E+00			
Sr-90	6.7E-01	5.4E-01	5.4E-01	8.7E-01	6.6E-01	5.8E-01	7.6E-01	6.4E-01	6.3E-01			
Tc-99	1.7E-04	1.6E-04	3.7E-04	2.2E-05	1.4E-04	7.9E-05	7.8E-05	1.1E-04	1.5E-04			
Eu-154	2.6E-02	2.4E-02	2.3E-02	5.9E-03	1.6E-02	2.4E-02	2.9E-02	2.5E-02	2.7E-02			
U-234	1.3E-05	8.1E-06	1.2E-05	1.9E-06	2.0E-05	6.5E-06	1.3E-05	1.1E-05	1.5E-05			
U-235	7.8E-08	9.3E-08	4.0E-08	6.5E-09	2.6E-07	6.8E-08	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07			
U-238	2.1E-06	2.4E-06	2.8E-06	2.5E-07	5.1E-06	1.9E-06	3.0E-06	3.1E-06	3.1E-06			
Pu-238	8.3E-02	4.3E-02	7.6E-02	4.8E-03	7.6E-02	5.8E-02	6.7E-02	6.1E-02	7.5E-02			
Pu-239+240	9.1E-03	5.0E-03	1.2E-02	5.3E-04	1.0E-02	5.8E-03	8.6E-03	7.2E-03	8.0E-03			
Pu-241	9.3E-01	4.5E-01	1.2E+00	6.4E-02	7.6E-01	7.5E-01	9.1E-01	8.9E-01	9.6E-01			
Am-241	2.0E-02	3.8E-02	7.0E-02	2.5E-03	5.6E-02	2.2E-02	4.0E-02	3.7E-02	3.2E-02			
Cm-244	2.6E-02	4.2E-02	6.4E-02	3.9E-03	3.0E-02	2.8E-02	2.5E-02	3.3E-02	3.4E-02			

表 5.5 理論計算結果に基づく核種組成比\*

核種	1種類の燃料による汚染 (燃料棒B)	2種類の燃料による汚染 (燃料棒B+燃料集合体D)
H-3	6.1E-01	3.7E-01
C-14	1.8E-04	1.0E-04
Ni-63	7.8E-02	1.4E-01
Sr-90	6.7E-01	6.7E-01
Tc-99	1.6E-04	1.5E-04
Eu-154	6.3E-02	6.7E-02
U-234	1.9E-06	1.6E-06
U-235	1.1E-07	1.2E-07
U-238	2.4E-06	2.6E-06
Pu-238	4.6E-02	4.2E-02
Pu-239+240	7.9E-03	8.1E-03
Pu-241	7.8E-01	8.9E-01
Am-241	2.3E-02	2.1E-02
Cm-244	4.3E-02	4.0E-02

\* 核種組成比は、表 2.3 に示す理論計算による評価対象核種ごとの核種組成比を平成 26 年 10 月 1 日時点に減衰補正した。また、二種類の燃料による汚染の核種組成比はそれぞれの燃料の放射能濃度の計算結果に照射後試験での燃料取扱量によって重みづけを行って合計し、核種組成比を評価した。



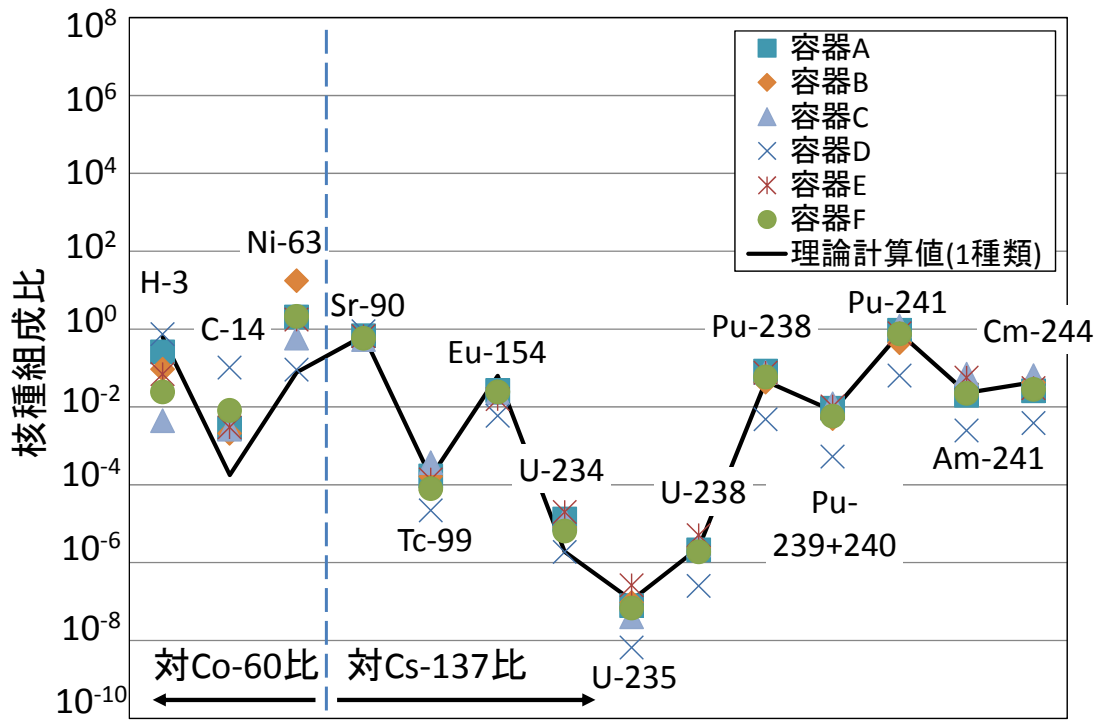


図 5.1 容器 A から容器 F の核種組成比の比較

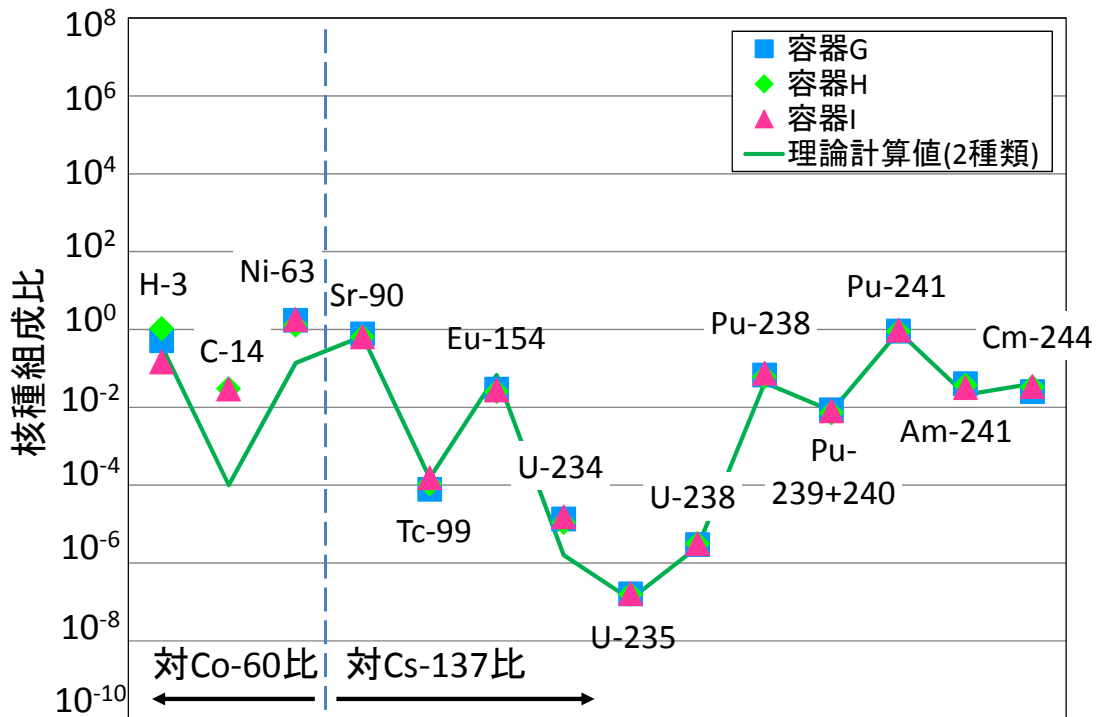


図 5.2 容器 G から容器 I の核種組成比の比較

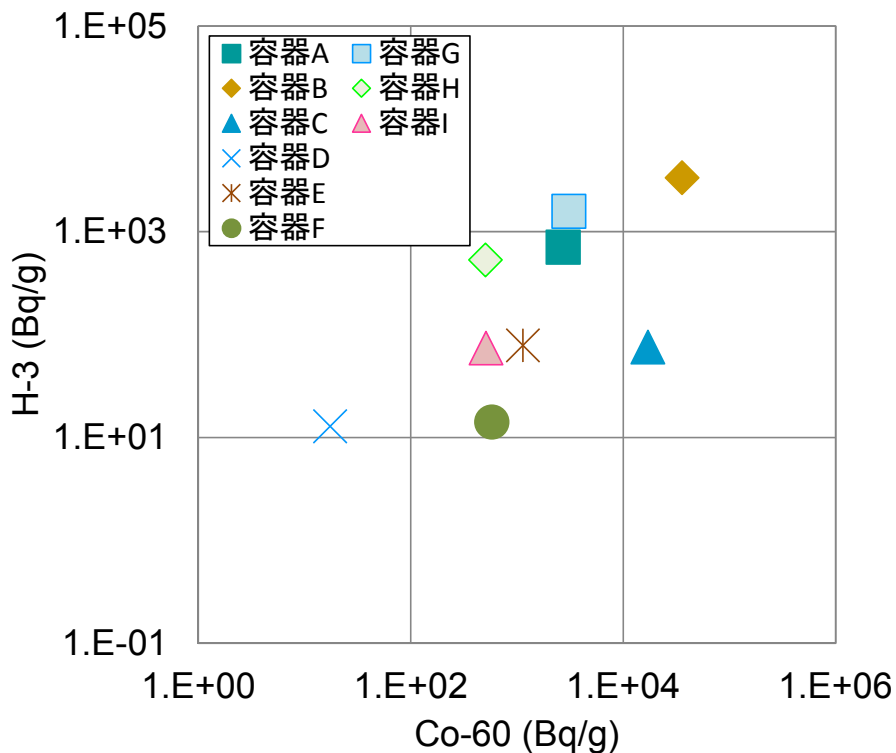


図 5.3 H-3 の放射能濃度と Co-60 の放射能濃度との関係

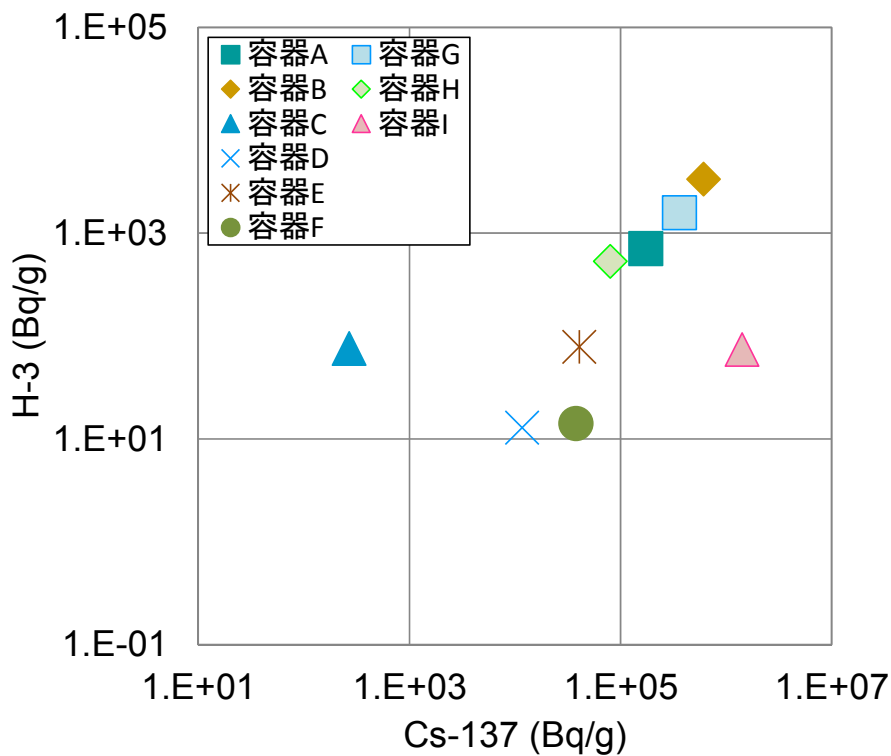


図 5.4 H-3 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

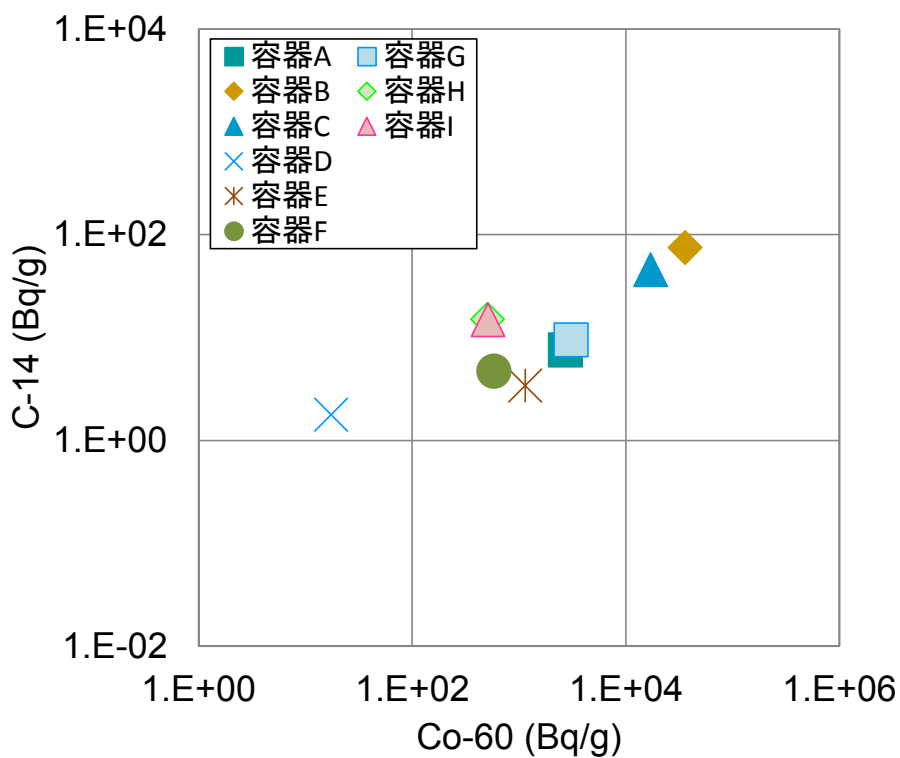


図 5.5 C-14 の放射能濃度と Co-60 の放射能濃度との関係

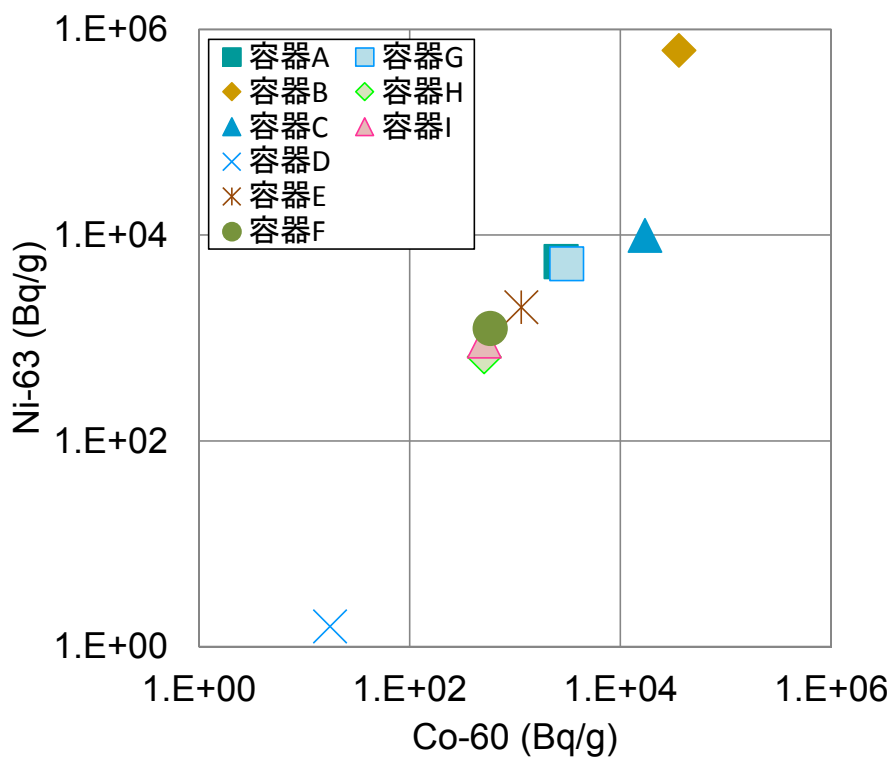


図 5.6 Ni-63 の放射能濃度と Co-60 の放射能濃度との関係

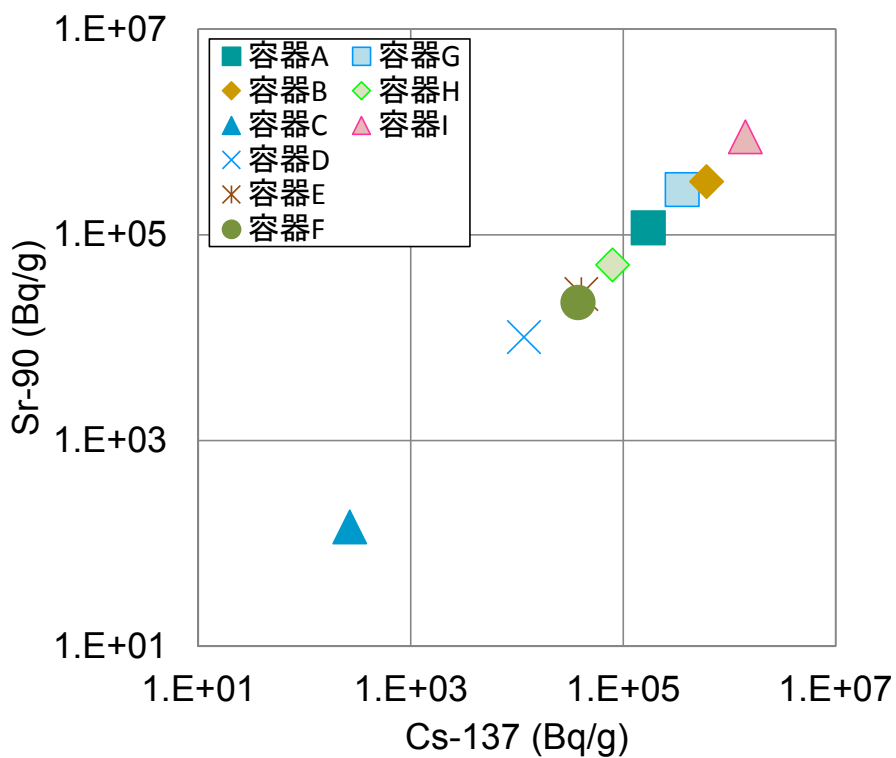


図 5.7 Sr-90 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

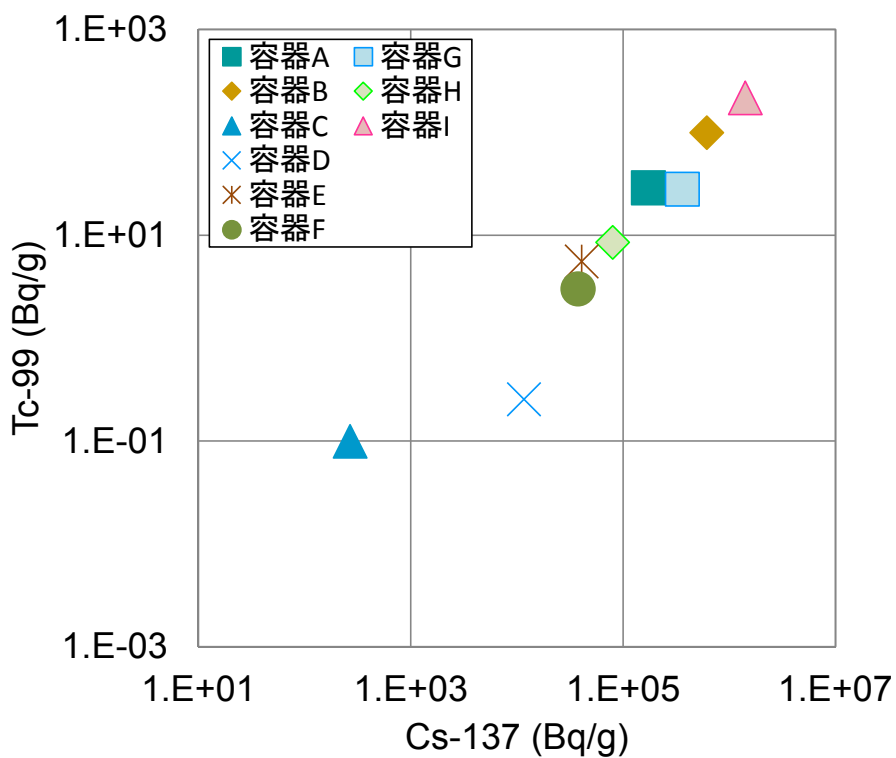


図 5.8 Tc-99 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

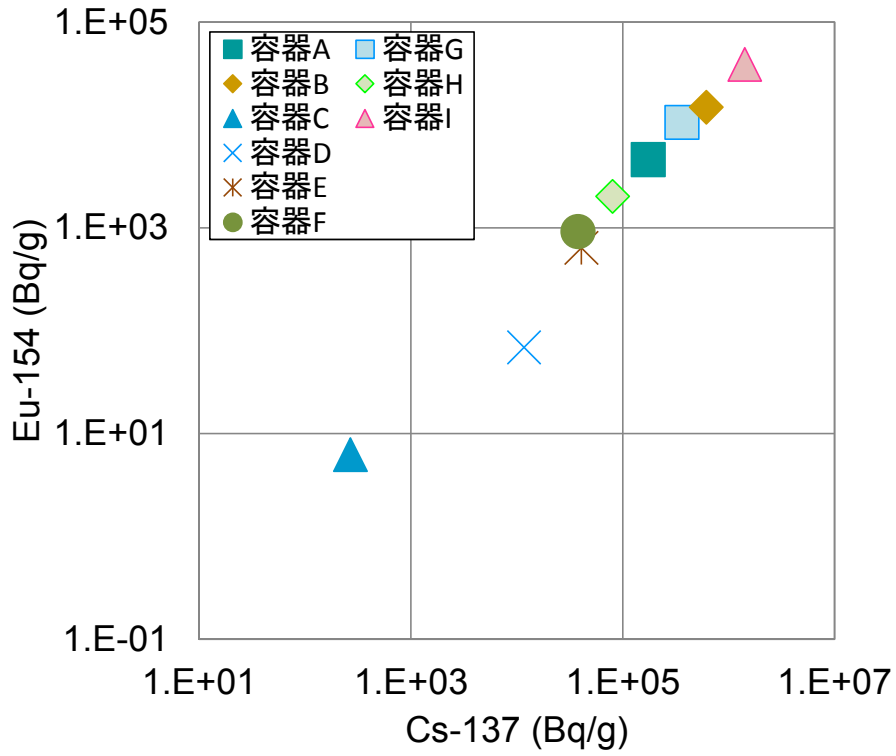


図 5.9 Eu-154 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

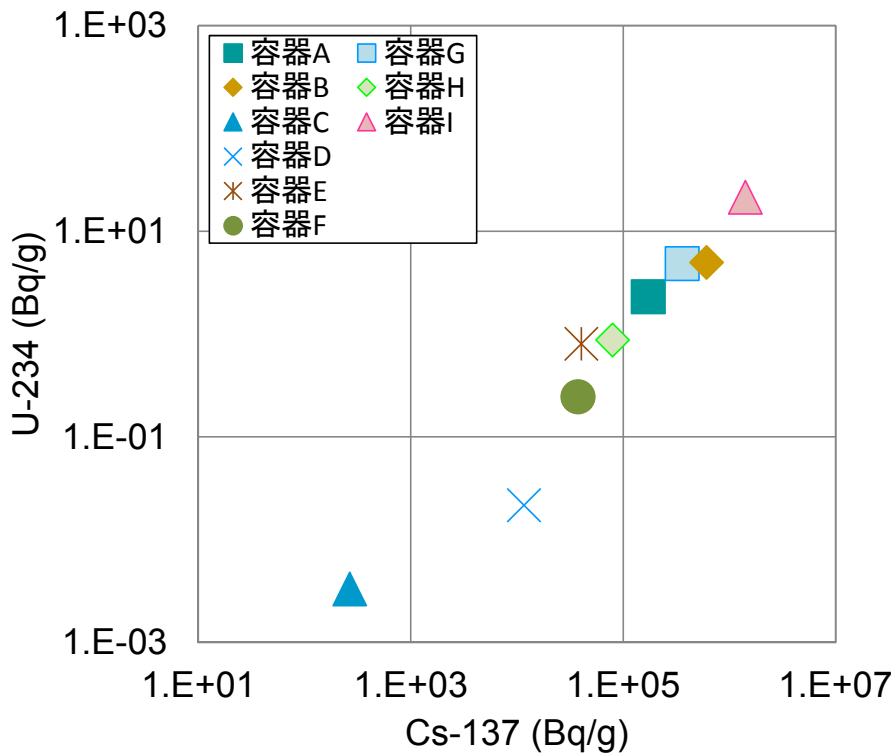


図 5.10 U-234 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

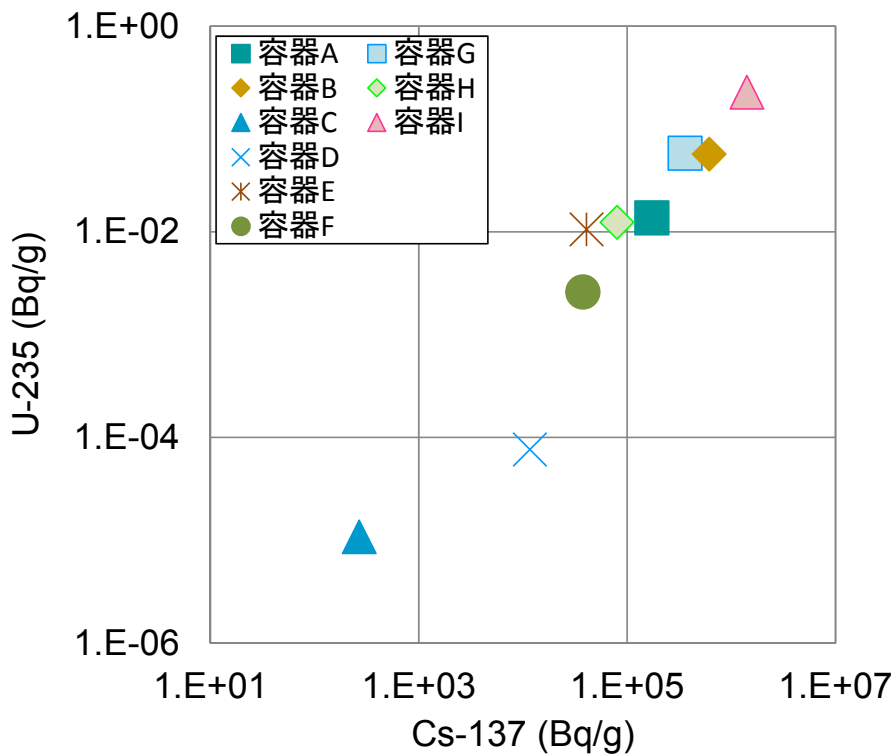


図 5.11 U-235 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

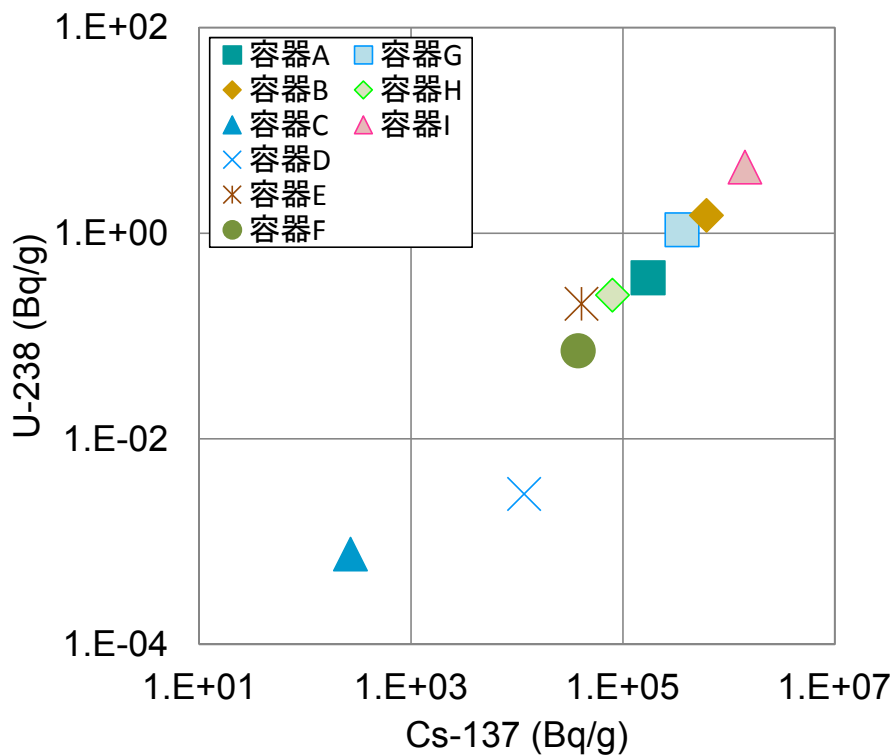


図 5.12 U-238 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

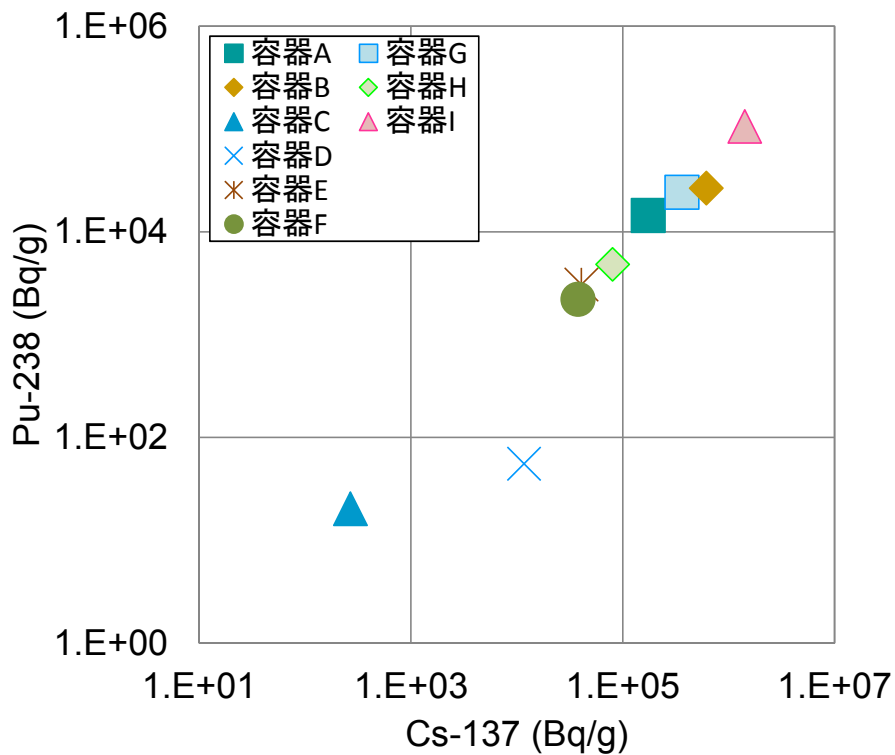


図 5.13 Pu-238 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

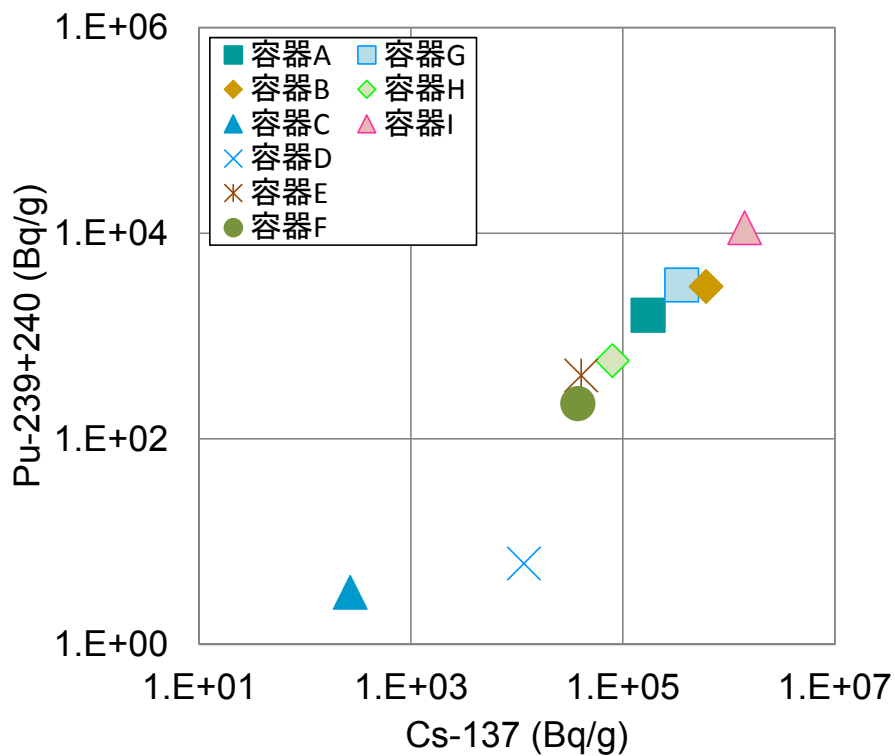


図 5.14 Pu-239+240 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

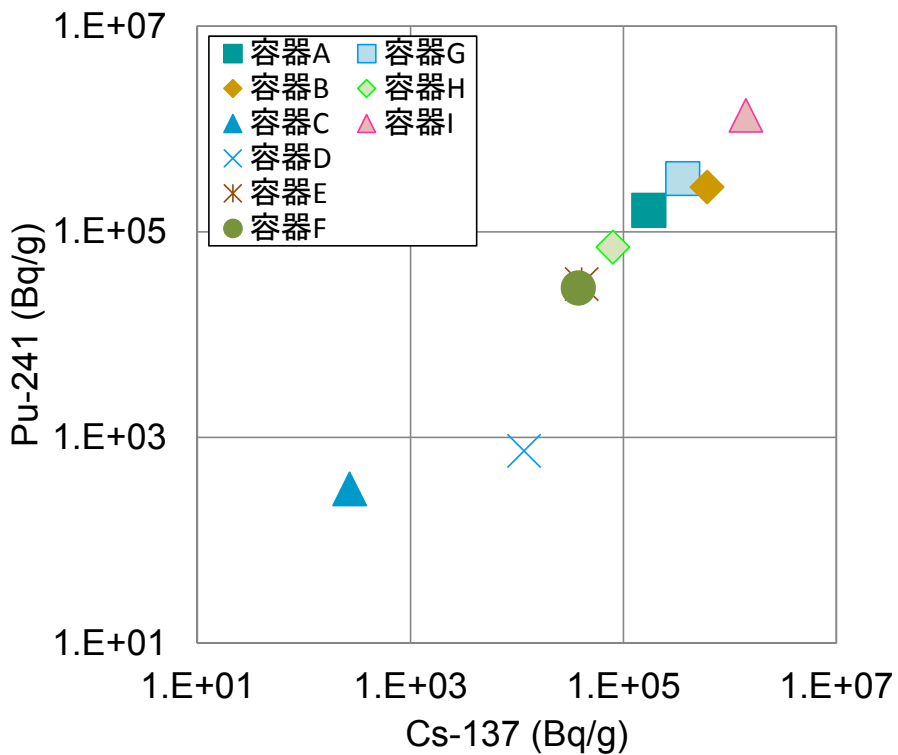


図 5.15 Pu-241 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

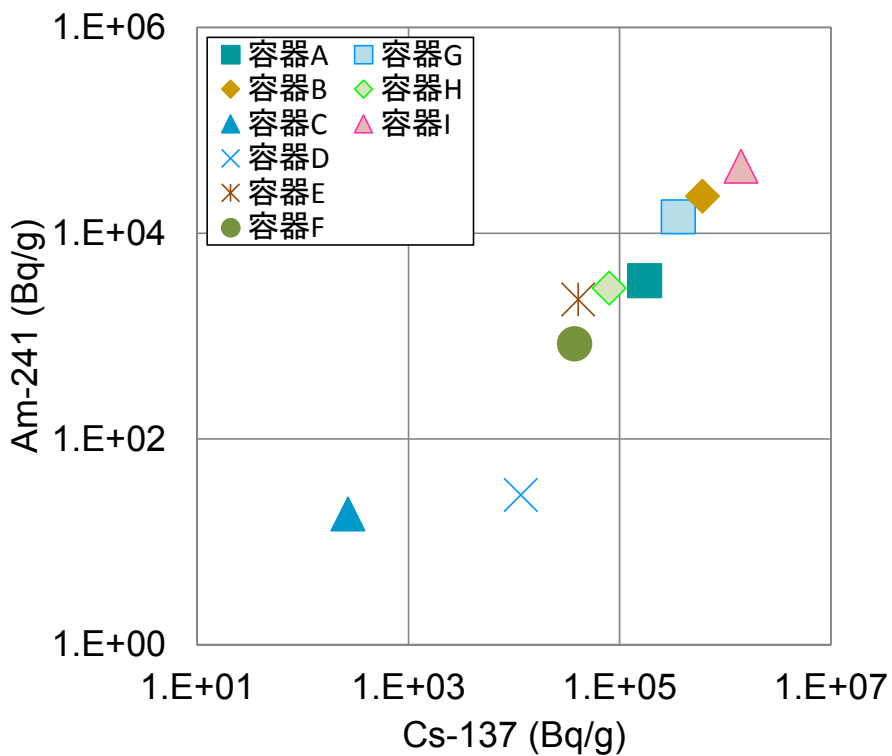


図 5.16 Am-241 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係



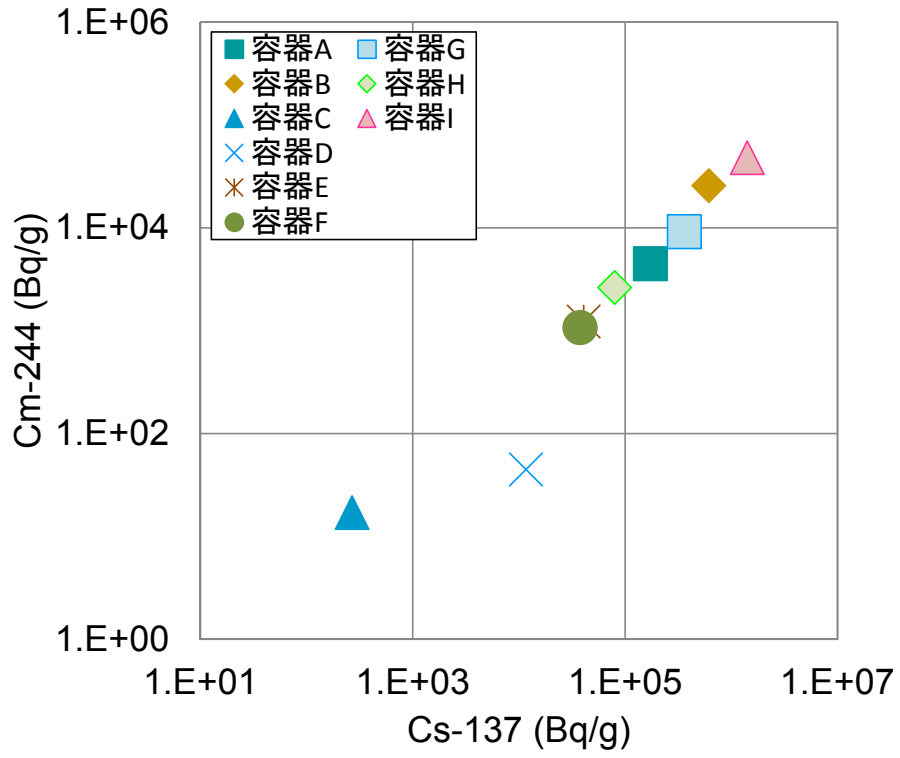


図 5.17 Cm-244 の放射能濃度と Cs-137 の放射能濃度との関係

## 6. まとめ

本報告では、研究施設等廃棄物の埋設処分に向けた取り組みの一環として、照射後試験施設廃棄物に対し、理論計算手法の適用性について検討を行った。本検討では、照射後試験施設廃棄物の埋設処分における安全評価上重要と考えられる 17 核種（H-3、C-14、Co-60、Ni-63、Sr-90、Tc-99、Cs-137、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-244）を検討対象とした。

これまでの検討で、NDC の照射後試験施設に実際に搬入された照射済燃料のデータに基づき、ORIGEN-2 計算コードによる放射化・燃焼計算を実施しており、この計算結果に基づき Co-60 または Cs-137 に対する核種組成比を算出した。本検討では、照射済燃料の燃焼度に応じ評価対象核種ごとの核種組成比はよく似たふるまいを示すことに基づき、理論計算による核種組成比と NDC の照射後試験施設廃棄物から採取した廃棄物試料の放射化学分析結果による核種組成比を比較することで適用性を確認することとした。すなわち、NDC で行われた照射後試験の内容から取り扱われた照射済燃料を特定し、かつ確実に放射能濃度データが取得できることに主眼を置き NDC に保管されていた放射性廃棄物から比較的放射能レベルの高い廃棄物試料を採取した。本件に際し、新たに 6 つの廃棄物試料の放射化学分析を実施したことから、この分析結果と既存報告書で取りまとめていた 3 つの廃棄物試料の分析結果を合わせ、理論計算手法の適用性について検討した。

この結果、Sr-90、Tc-99、Eu-154、U-234、U-235、U-238、Pu-238、Pu-239+240、Pu-241、Am-241、Cm-244 については、 $\text{UO}_2$  燃料が汚染源の場合、FP と ACT 核種の核種組成比はほぼ同様であり、一種類の照射済燃料に汚染された廃棄物も二種類の照射済燃料に汚染された廃棄物も理論計算結果が放射化学分析結果とよく一致し、本理論計算手法が適用できる見通しを得た。しかしながら、理論計算結果が放射化学分析結果と合わない結果となった H-3、C-14、Ni-63 のうち、C-14、Ni-63 については、一次冷却材中の放射性クラッドに由来する放射性核種が燃料被覆管表面に付着していることを考慮し核種組成比を設定する必要性や構造材料の元素組成によって核種組成比に差異が生じることによる影響を考慮する必要性が示唆された。また、H-3 については、他に相関関係を有する放射性核種がなく、放射能濃度データが 2 桁程度の範囲に分布する結果となっており、平均放射能濃度法の適用が示唆された。

## 謝辞

本報告書を取りまとめるにあたり、貴重なご意見をいただいた林宏一主査（廃棄物対策・埋設事業統括部設計技術課）に感謝いたします。また、報告書の作成にご協力いただいた菅谷敏克技術副主幹（廃棄物対策・埋設事業統括部廃棄物処分計画課）に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 原子力規制庁, 廃棄物確認に関する運用要領（平成 26 年 3 月）, 2014.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 星野 譲, 坂本 義昭, 室井 正行他, 照射後試験施設から発生する廃棄物の放射能評価方法の検討, JAEA- Technology 2015-015, 2015, 96p.
- 5) 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の発生施設毎の重要核種の予備評価－, JAEA-Technology 2010-021, 2010, 152p.
- 6) 日本原子力学会, 日本原子力学会標準 ピット処分及びトレンチ処分対象廃棄物の放射能濃度決定に関する基本手順 : 2011, AESJ-SC-F022 : 2011, 2012.
- 7) 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, 66p.
- 8) 千田 太詩, 杉山 大輔, 透過型拡散実験によるセメント硬化体中における有機炭素の拡散挙動検討, 電力中央研究所研究報告, L05012, 2006.

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質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 <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(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 <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(e)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
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 <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照射量	ルーメン	lm	cd sr <sup>(e)</sup>	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
放射性核種の放射能	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
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 <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> 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 <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> = s <sup>-1</sup>
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> = s <sup>-2</sup>
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
電表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	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 <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> 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 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> 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 <sup>11</sup> 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 <sup>5</sup> 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 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>12</sup> cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
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 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(a)</sup>	Oe	1 Oe <sub>e</sub> =(10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

(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 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> 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 <sup>-4</sup> 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	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

