可搬型ゲルマニウム検出器を用いた 再処理施設内における器材及び作業環境 のγ線スペクトル測定

(技術報告)

2002年7月

核燃料サイクル開発機構 東海事業所 本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ ください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Cooperation Section, Technology Management Division, Japan Nuclear Cycle Development Institute 4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2002

JNC TN8410 2002-003

2002年7月

可搬型ゲルマニウム検出器を用いた 再処理施設内における器材及び作業環境の 線スペクトル測定

(技術報告)

眞田幸尚*,秋山聖光*,若山正喜**,吉崎裕一*,宮部賢次郎*

要 旨

可搬型ゲルマニウム検出器を使用した再処理施設における、 線スペクトルの測定を行った。 本検討の目的としては、(1)廃棄物などに含まれる放射性物質の簡便な定性および定量、また(2) 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手の2点である。具体的には、(1) を目的とし定常廃棄物容器、気送用容器(jug)、入気フィルター、鉛容器の 線スペクトルを測 定した。また、定量値の推定にはISOCS (In-situ Object Counting System) による自動効率校正 システムを使用した。また(2)を目的とし、プルトニウム転換技術開発施設のグローブボックス 周辺作業環境中の 線スペクトルを測定した。

放射性核種の定量については検出限界値、線源分布(点状線源の存在)低エネルギー 線 核種(²⁴¹Am 等)の自己吸収の影響などの問題点が抽出された。また、線量の評価においては作 業環境の線エネルギー情報について詳細なデータを採取した。

上記の検討結果から、今後、可搬型ゲルマニウム検出器によって 線スペクトルを測定す ることにより、管理区域内物品の汚染評価や作業環境測定等の現場放射線管理の高度化に活 用できる。

* 東海事業所 放射線安全部 放射線管理第二課

** 検査開発株式会社

Measurement of gamma spectrum of radioactive waste and working environment by portable germanium detecter. (Technical Document)

Yukihisa SANADA*, Kiyomitsu AKIYAMA*, Masaki Wakayama**, Yuichi Yoshizaki*, Kenjiro Miyabe*

Abstract

Practical application of portable Ge detector was examined in radiation control at the reprocessing plant. Main purposes of the examination are, (1) estimation of radionuclides inventory by in-situ object counting system (ISOCS), and (2) acquisition of the gamma ray energy information which is necessary for dose estimation. At first waste box, analytical jug, filter and lead container were measured. Then gamma spectrum was measured around glove box in Pu conversion development facility (PCDF).

As a result, some aspects concerned about detection limit, distribution of point source and self-absorption by low energy gamma ray were clarified. Information on the gamma ray energy were obtained.

Radiation control will become advanced by measuring a gamma ray spectrum by portable germanium detector.

* Reprocessing Radiation Control Section Radiation Protection Division Tokai Works ** Inspection Development Company Ltd.

目	次
---	---

1. はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
2. 測定機器及び効率校正プログラム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
2.1 可搬型 Ge 検出器	x
2.2 ISOCS (In-situ Object Counting System)*****	X
3. 検討項目	x
3.1 放射性物質の簡便な定性、定量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
3.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
3.1.2. 分析試料等の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
3.1.3. フィルターなどの測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
3.1.4. 天然放射性核種の確認・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
3.2. 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手・・・・・・・・・・・・・	x
3.2.1. Pu 転換施設におけるグローブボックス測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
3.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報	x
4. 測定条件、測定方法	х
4.1 放射性物質の簡便な定性、定量···································	x
4.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
4.1.2. 分析試料等の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
4.1.3. フィルターなどの測定	x
4.1.4. 天然放射性核種の確認・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
4.2. 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手	x
4.2.1. グローブボックス測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
4.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報 ************************************	x
5 結果と考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
5.1 放射性物質の簡便な定性。定量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
5.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x

5.1.2.	分析試料等の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
5.1.3.	フィルターなどの測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • •	• • •	x
5.1.4.	天然放射性核種の確認・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		•••	x
5.2. 作業	業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手・・・・・・	• • • • • •	• • •	x
5.2.1.	グローブボックス測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • •	• • •	x
5.2.2.	作業環境における 線エネルギー情報・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • •	• • •	x
6. まと	こめと今後の課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
6.1 放	射性物質の簡便な定性、定量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
6.1.1.	定常廃棄物中の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
6.1.2.	分析試料等の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• • • • • •	• • •	x
6.1.3.	フィルターなどの測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
6.1.4.	天然放射性核種の確認・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
6.2. 作業	業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手・・・・・	• • • • • •	• • •	x
6.2.1. な	ブローブボックス測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・			x
6.2.2. 作	乍業環境における 線エネルギー情報・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		• • •	x
7. おわり	ן ני			x
8. 参考3	文献 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	• • • • • •	•••	x

図 目 次

Fig.1	入気フィルター測定風景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.2	ISOCS 入力画面 ·······	x
Fig.3	プルトニウム転換技術開発施設における測定点・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.4	線源として使用した微量放射能付着試料の 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・	x
Fig.5	気送用 jug の測定状況の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.6	廃棄物容器の測定スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.7	気送用 jug (jug1)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.8	入気フィルターの 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.9	微量放射能試料を貼り付けた入気フィルターの 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・	x
Fig.10	鉛容器測定 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Fig.11	Pu 転換施設におけるグローブボックス 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・	x
Fig.12	Pu 転換施設 A128 におけるグローブボックス 線スペクトル測定結果・・・・・・・	x
Fig.13	Pu 転換施設 A324 におけるグローブボックス 線スペクトル測定結果・・・・・・・	x

表 目 次

Table 1 Ge 検出器の性能	x
Table 2 jug に対する ISOCS の解析条件(材質) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 3 廃棄物容器中の放射性核種の測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 4 廃棄物容器で検出された 線放出核種の例 (No.1193) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 5 廃棄物容器で検出された 線放出核種の例(No.1201)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 6 気送用 jug で検出された 線放出核種 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 7 気送用 jug における検出限界値の評価結果(ISOCS による) ・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 8 ISOCS により算出した入気フィルターに対する 線放出核種の検出限界値 ****	x
Table 9 フィルター内の汚染箇所の違いによる検出限界値の比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 10 鉛容器で検出された 線放出核種 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 11 鉛ドラム缶で検出された 線放出核種 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 12 Pu 転換施設 A126 におけるグローブボックスで検出された 線放出核種の	
例 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	x
Table 13 Pu 転換施設 A126 におけるグローブボックスで検出された 線放出核種の	
例·····	x
Table 14 Pu 転換施設作業環境におけるピークカウントの比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
Table 15 Pu 転換施設 A324 におけるグローブボックスで検出された 線放出核種の	
例 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	x
Table 16 Pu 転換施設 A324 におけるグローブボックスで検出された 線放出核種の	
例	x

付表 目 次

付表	1	CBG110 バックグラウンド 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	2	廃棄物容器(No.1182)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	3	廃棄物容器(No.1201)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	4	廃棄物容器(No.1184)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	5	廃棄物容器(No.1193)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	6	廃棄物容器(No.1288)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	7	廃棄物容器(No.1196)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	8	廃棄物容器(No.1204)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	9	廃棄物容器(No.1185)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	10	廃棄物容器(No.1197)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	11	廃棄物容器(No.1194)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	12	廃棄物容器(No.1183)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	13	廃棄物容器(No.1192)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	14	廃棄物容器(No.1200)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	15	廃棄物容器(No.1187)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	16	廃棄物容器(No.1190)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	17	CBG322 バックグラウンド 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	18	気送用容器(jug1)の 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	19	気送用容器(jug2)の 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	20	気送用容器(jug2)の 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	21	AAFG402 バックグラウンド 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	22	入気フィルターの 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	23	CBG402 バックグラウンド 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	24	鉛ドラム缶の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	x
付表	25	鉛容器の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	х

1. **はじめに**

現在、我が国では原子力施設から出る廃棄物の処理が大きな問題となっており、原子 力発電所などのデコミッションを視野に入れたクリアランスレベルの考え方とその評価 方法については多方面で議論がなされている¹⁾。クリアランスレベルの算出について日 本では原子力安全委員会の専門部会である放射性廃棄物安全基準専門部会が中心に行っ ており、平成11年3月に報告書「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」 にまとめられている。この報告書は1996年1月に出された国際原子力機関(IAEA)技術 文書「IAEA-TECDOC-855 Clearance levels for radionuclides in solid materials」²⁾の考え方を 基にクリアランスレベルの数値が示されている。

廃棄物の処分の問題については再処理施設にとっても例外ではなく、管理区域から発 生する廃棄物を減らす必要がある。汚染レベルが十分に低い廃棄物は一般廃棄物として 処分することが理想的であるが、そのためにはクリアランスレベルのような判断基準が 必要になる。一方で現場サイドとしてはその検認方法を考えていかなければならない。 現状では管理区域から持ち出すことのできる物品は放射線管理担当者により定められた 表面密度を越えないことが確認された物品である。

その基準が担保されていることを証明する手段として、可搬型ゲルマニウム(以下 Ge) 検出器で 線を測定する方法が考えられる。可搬型 Ge 検出器の利点としては持ち運ぶ 事が出来るため現場で直接測定することができる。よって持ち運びが難しい大きな物品 などの測定が可能である。

可搬型 Ge 検出器は寺田³や Ibrahim⁴ら等の報告例のように、環境中で測定した例が多 いが、管理区域内でも様々な使用方法が考えられる。例えば、作業環境の被ばく線量評 価に必要な 線エネルギー情報の入手に使用できる。施設内放射線管理を行う上で最も 重要な目的として作業員の被ばく低減が挙げられるが、可搬型 Ge 検出器を用い作業場 所の 線スペクトルを評価することにより、被ばく対策に有用なエネルギー情報を得る ことが可能である。

また今回、ISOCS (In-situ Object Counting System; In-situ 線カウントシステム)とよばれ る Canberra 社製の効率曲線計算作成プログラムを用いて物品などの定量値の推定も試み た。ISOCS は Atrashkevich and Kolotov⁵により考案された計算アルゴリズムをもとに作 られた、線源などの測定なしに効率曲線を計算するプログラムであり、学会など様々な 場所で開発成果が報告されている⁶。しかしながら実際の測定に使用した例はほとんど ない。今回は実際に適用し操作性、妥当性などの観点についても評価した。

そこで今回(1)廃棄物などに含まれる放射性物質の簡便な定性と定量、 (2)作業環境の被ば く線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手の 2 点を目的とし、可搬型 Ge 検出器により 線スペクトルの測定を行った。本報告書ではその結果についてまとめた。

2. **測定機器**

2.1. 可搬型 Ge 検出器

今回、使用した検出器は CANBERRA 社製の Ge 検出器(型式: GC2018-7935-7F/RDC) であり、MCA (Multi channel Analyzer) には同社の Inspector2000 を使用した。検出 器は ⁶⁰Co に対し 20%の相対効率を有し、形状は直径 62.5mm、高さ 32.0mm の円柱で ある。検出器の詳細な性能を Table 1 に示す。また、検出器全体の写真を Fig. 1 に示す。

2.2. ISOCS (In-situ Object Counting System)

ISOCS は MS-DOS 上で動作するプログラムソフトである。本ソフトは、検出器によ る線源の測定データを基に、モンテカルロ計算コードにより得られた 線スペクトルか ら、検出効率曲線作成するソフトである。まず、Fig.2 のような入力画面に、10 種類の テンプレートから、試料に適切なものを選択する。次に、サンプルの詳細な大きさ、材 質を指定すると共に線源条件を入力する。これらの条件からプログラムが効率曲線を計 算する。また検出器のコリメートや温度、湿度などの付加的条件を加えることも可能で ある。

ISOCS による定量値の精度をある程度、評価するため点線源(²⁴¹Am: 4.15×10⁵ Bq, ¹³⁷Cs: 3.03×10⁵ Bq)を後述する 60 リットルカートンボックス、15 リットル廃棄物容器 の検出器から最も遠くなる位置に貼り付け測定を行った。線源の放射能(²⁴¹Am: 4.15× 10⁵ Bq、¹³⁷Cs: 3.03×10⁵ Bq)に対し、60 リットル カートンでは ²⁴¹Am が 6.61×10⁵ Bq、 ¹³⁷Cs が 2.30×10⁵ Bq となった。²⁴¹Am については 1.6 倍、¹³⁷Cs に関しては 0.76 倍とい う結果である。また 15 リットル 容器では ²⁴¹Am が 1.01×10⁶ Bq、¹³⁷Cs が 2.17×10⁵ Bq となった。²⁴¹Am については 2.4 倍、¹³⁷Cs に関しては 0.72 倍という結果である。この 結果より、実際の測定では ²⁴¹Am は過大評価されることを考慮に入れなければならない。 以上の結果から ISOCS による廃棄物容器における定量値の推定は、多少のずれが生じ るもののオーダーとしては評価可能であるといえる。

3. **検討項目**

3.1. 放射性物質の簡便な定性、定量

3.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定

再処理施設における廃棄物は可燃性廃棄物をカートンボックス、不燃性廃棄物は 15 リットルプラスチック容器に詰め焼却もしくは保管している。現状では工程内から発生 した廃棄物に含まれる放射性核種を詳細に特定することは難しいことから、Pu、U系(赤 カートン)、FP系(緑カートン)とだけ分別しているだけで核種の評価はされていない。そ こで再処理施設分析所から発生した定常廃棄物 14 個を対象とし可搬型 Ge 検出器による 線の測定を行った。

3.1.2. 分析試料等の放射能測定

再処理施設では分析試料を気送によって施設間を運搬している。その際に使用する気 送用の空容器(以下、jug)に付着したプルトニウムの量を把握することが核物質防護の 観点から必要となっている。しかし、プルトニウムを化学分析するのは時間と人手がか かることから、簡単な測定方法の開発が望まれてきた。

可搬型 Ge 検出器は前述したように持ち運びができ、使用方法も簡便である。また付属のソフトウエア(ISOCS)を使用すれば放射能量の推定を行うことができる。jug に付着したプルトニウムの量は、この装置を使用し²⁴¹Am を定量することによって工程内のPu/Am 比から推定できる。そこで気送用の容器に付着した放射性物質の特定および量の推定を可搬型 Ge 検出器で行った。最終的にはプルトニウム量の推定が目的であるが、ここでは²⁴¹Am の評価について報告する。

3.1.3. フィルターなどの測定

再処理施設では外気を取り込み施設内に給気している入気フィルター(32 個)を管理器 材(周辺区域に保管する管理区域から出た廃棄物で汚染のないもの)として処分するに あたり、フィルター内部に存在する放射性核種の定量方法について検討する必要があっ た。そこでフィルター内部を梱包状態のまま可搬型 Ge 検出器で測定し、フィルター内 部の放射能量の推定を行った。ISOCS で評価した検出下限値をクリアランスレベルと比 較した。

3.1.4 天然放射性核種の確認

再処理施設において分析所に保管されていた、使用履歴から考えて放射性核種に汚染 されている可能性のない鉛遮蔽ドラム缶(200 リットル)や鉛容器(130cm×60cm× 30cm)を、管理器材として処分するためサーベイを行った。この結果 ()線用サー ベイメータによる測定では検出限界値以下(0.2Bq/cm²)であったが。しかしながら 線シ ンチレーションサーベイメータによる測定を行ったところ、表面で 500cpm (0.5Bq/cm²) の有意値が検出された。容器表面のスミヤによる測定結果の結果は 線、 ()線と もに検出限界値以下であった。このことから鉛の天然核種の影響であると考えられるが、 管理器材として処理するにはその確認が必要である。そこで鉛容器に含まれる放射能の 測定評価を可搬型 Ge 検出器で行った。

3.2. 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手

3.2.1. Pu 転換施設におけるグローブボックス測定

プルトニウム同位体は低エネルギー 線を放出するが、その放出率が小さいため被ば くの寄与としては、²⁴¹Amの59.5 keVの 線が主であると考えられる。今回、被ばく線 量に寄与する 線のエネルギーを特定するという観点から、プルトニウム転換技術開発 施設(以下: Pu 転換施設)にグローブボックスの表面で可搬型 Ge 検出器による測定を 行った。Pu 転換施設の平面図および今回の測定ポイントについて Fig.3 に示す。

3.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報

グローブボックス内における放射線状況は、取り扱われる放射性物質の種類や遮蔽状況によって変化する。そのような放射線状況の変化に関する詳細な情報は、被ばく防護の観点から重要である。そこでグローブボックスにおける代表的な作業前後において可搬型 Ge 検出器により測定を行い、その 線スペクトルを比較した。分析室(A128)におけるグローブボックス内の廃棄物整理作業前後における測定、また真空ポンプ室(A324)において貯槽内(P12V11)液循環運転前後の測定を行った。

4. 测定条件、测定方法

4.1. 放射性物質の簡便な定性、定量

4.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定

測定対象は再処理施設内で使用される定常廃棄物容器 60 リットルカートンボックス5 個及び 15 リットル 容器 10 個である。15 リットル 容器は中身によって色分け(Pu 系 不燃:赤、難燃:緑、不燃:白)されている。廃棄物容器を検出器から 1m の距離に置い て 100 秒間、測定を行った。また ISOCS による定量も行った。

4.1.2. 分析試料等の放射能測定

測定は気送用の容器として使用されている jug (50mm×20mm 、容積 15.7cm³) 2 個 (jug1, jug2)を対象に、定性および ISOCS により定量を行った。なお容器の材質などの 詳細なデータについては核物質防護の関係から入手できないので、プラスチックに類似 した Table 2 に示した 6 パターンの条件で効率曲線を導き出し、そこから放射性核種の 量の推定を行った。

測定時間は 1500 秒としたが、さらに 10000 秒測定を行い、詳細な放射性核種の定性、 定量を行った。可搬型 Ge 検出器と試料との位置関係を Fig.4 に示す。

4.1.3. フィルターなどの測定

再処理施設では入気フィルターとしてグラスファイバーフイルターが使用されている。 今回、廃棄物処理場(AAF: Auxiliary Active Facility)で使用されているグラスファイバ ーフイルター(610cm×610cm×292cm、容積109m³、総重量23kg)について測定を行った。材質は外枠が鋼板、炉材がグラスファイバー、セパレータにアルミニウム、そして密封材はシリコンである。

測定はフィルターに対する検出限界値の評価を目的として次の3点について行った。 前測定:まずは機器が正常に測定できることを確かめるために測定時間を1000秒、 5000秒に設定し測定を行った。その後 ISOCS によりフィルター全体の²⁴¹Am、¹³⁷Cs の検出限界値を算出した。また測定場所のバックグラウンド測定も行った。 局部汚染 の評価:フィルター全体として汚染密度限度を担保していても局部的な汚染の場合は検 知できるかどうか、微量の放射能が付着したエアスニファろ紙(²⁴¹Am: 8.2Bq、¹³⁷Cs: 3.9Bq)をフィルターに貼付して測定を行った。Fig.5 に検出器から1mmの距離でろ紙を 測定したスペクトルを示す。 フィルターによる自己吸収の評価:²⁴¹Am の放出する 線は0.058MeV 程度であり、検出器の距離およびフィルターの自己吸収によってその検 出限界値は大きく影響を受ける。そこで²⁴¹Am の線源を用いて検出器からの距離および フィルターの自己吸収について調査した。

なお、これらの測定は再処理施設の AAF 入気室内(G402)で行った。検出器は対象物の側面から 1cm の距離に置き測定した。Fig.1 に測定時の写真を示す。

4.1.4. 天然放射性核種の確認

測定対象は分析所(CB)の試験セル保守区域(A240)に保管してある、前述した鉛遮蔽ド ラム缶及び鉛容器とした。測定は可搬型 Ge 検出器を容器の内部に置き、測定時間は鉛 遮蔽ドラム缶を 7200 秒、鉛容器を 3600 秒として行った。

4.2. 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手

4.2.1. グローブボックスの測定

Pu 転換施設に設置されているあらかじめ選定したグローブボックスを対象とした。測 定はグローブボックスから 1m の距離に Ge 検出器を置いて行った。また同場所におい て電離箱式サーベイメータによって線量率の測定も行った。測定時間は 100 秒に設定し た。Fig.3 に測定点を示す。

4.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報

A128 におけるグローブボックス内の廃棄物整理作業前後における測定は測定時間 100 秒で行った。また A324 における P12V11 液循環運転前後の測定を測定時間 100 秒 で行った。Fig.3 に測定ポイントを示す。

5. **結果と考察**

5.1. 放射性物質の簡便な定性、定量

5.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定

Table 3 に今回測定した廃棄物容器の結果を示す。カートンボックスについては電離箱 サーベイメータによる容器表面の線量率測定では検出限界値以下(0.5 µ Sv/h)であった が、Ge 検出器による測定では No.1182 を除き¹³⁷Cs や²⁴¹Am が検出された。15 リット ル 容器については No.1190、No.1193 の赤容器で Pu 同位体、²³⁷U などが検出された。

Fig. 6 に No.1193 の 線スペクトル、Table 4 に定性結果を示す。Pu 同位体が存在す る場合 線のピークが重なるため定量は難しい。No.1200(赤 15 リットル容器)では Pu 同位体は検出されず、FP(Fisson produst)核種が検出された。一方難燃物容器(緑 15 リ ットル容器)では全てに ¹³⁷Cs、²⁴¹Am が検出されたほか No.1201(緑 15 リットル容器) で¹³⁴Cs、¹⁵⁵Eu、¹⁵⁴Eu が検出された。Fig. 6 に No.1201 の 線スペクトル、Table 5 に 定性結果を示す。

Pu 系が検出された No. 1190、 1193 以外の廃棄物容器について推定された定量値を 比較すると最も線量率が高い値を示した No. 1200 で、¹³⁷Cs、²⁴¹Am の定量値は最も高 い値(それぞれ 5.6×10²Bq/g、2.7×10²Bq/g)を示した(Table 3)。また電離箱サーベイメ ータにより線量率が有意値を示さなかった廃棄物容器からも、クリアランスレベルを超 える ¹³⁷Cs、²⁴¹Am が検出されるものもあった。

5.1.2. 分析試料等の放射能測定

可搬型 Ge 検出器により jug を 10000 秒測定したスペクトルを Fig.7 に示す。また定 性されたエネルギーと核種を Table 6 に示す。定性された核種は ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs であり、 その他のピークは天然核種によるものである。

ISOCS により推定した jug の放射性物質の量を Table 7 に示す。jug1 では ²⁴¹Am が $3.5 \times 10^4 \sim 5.4 \times 10^4$ Bq となった。また jug2 では ²⁴¹Am が $4.9 \times 10^4 \sim 7.5 \times 10^4$ Bq と なった。なお、検出限界は 1500 秒測定でそれぞれの条件によって差があるものの ²⁴¹Am において 3×10^2 Bq 程度、 ¹³⁷Cs において 4×10^1 Bq である。なお、10000 秒測定におけ る ²⁴¹Am の検出限界値は 2×10^2 Bq 程度、 ¹³⁷Cs において 2×10^1 Bq 程度であった。

5.1.3. フィルターなどの測定

前述した測定条件でフィルターを 1000 秒および 5000 秒で測定を行ったところ天然 放射性核種である ⁴⁰K および Rn-Tn の娘核種が検出された。測定対象とした入気フィル ターは汚染の可能性はないと考えられるが測定結果においても ¹³⁷Cs および ²⁴¹Am など の人為起源放射性核種についてはすべて検出限界以下であった。 線スペクトルの例と して 1000 秒測定したスペクトルを Fig. 8 に示す。

また ISOCS により作成した効率曲線ピークが確証された主要 線放出核種の検出限

界値を算出したところ Table 8 のような結果となった。²⁴¹Am 以外の核種については全 ての測定条件においてクリアランスレベルより低い検出下限値を示した。²⁴¹Am につい ては 1000 秒、5000 秒測定において検出下限値はクリアランスレベルを上回った。95458 秒の測定時ではクリアランスレベルを大きく下回った。

実際にフィルターに数 Bq 程度の点状の放射性核種が存在した場合を想定した微量の 放射能強度の線源を貼りつけて測定を行った結果を Fig. 9 に示す。95458 秒測定を行い、 Fig.9 に示す様に¹³⁷Cs については検出できたものの²⁴¹Am については検出できなかった。

²⁴¹Am については 線のエネルギーが小さいため距離や自己吸収による効果が検出下 限値に影響すると考えられる。そこで ISOCS により、フィルター内に次のような線源 が存在する場合を仮定し、検出効率を作成した後、検出限界値を算出した。

フィルター表面(検出器からの距離 1cm)に厚さ 1cm の線源が存在する場合。

中間(検出器からの距離14cm)に厚さ1cmの線源が存在する場合。

裏面(検出器からの距離 28cm)に厚さ 1cm の線源が存在する場合。

その結果、Table 9 に示すように 1cm における検出限界値を 28cm における検出限界 値で割った値は ¹³⁷Cs で 0.012、²⁴¹Am で 0.005 になった。この検証はフィルター内部の ²⁴¹Am による汚染は、フィルターの自己吸収によって表面からの測定では検出が難しい ことを示している。

これらの結果により可搬型 Ge 検出器と ISOCS を組み合わせることによって、主要 線放出核種についてクリアランスレベルの検認が可能であることがわかった。²⁴¹Am に ついては長時間の測定が必要であること、また ²⁴¹Am の数 Bq 程度の放射能は検知され ないこと等について考慮すべきである。

5.1.4. 天然放射性核種の確認

鉛容器の測定に先立ち、分析所 A240 内測定場のバックグラウンド測定を行った。定性された核種は天然放射性核種と¹³⁷Cs であった。

Fig.10 に鉛遮蔽ドラム缶のスペクトルを示す。また定性核種及びエネルギーを Table 10 に示す。この結果により 線用サーベイメータの測定で有意値を示したのは鉛、ビス マスの天然核種が原因であると考えられる。また ¹³⁷Cs は測定場のバックグラウンドの 影響である。

Fig.10 に鉛容器のスペクトルを示す。また定性核種及びエネルギーを Table 11 に示す。 この結果からも 線用サーベイメータの測定で有意値を示したのは鉛、ビスマスの天然 核種が原因であると考えられる。

5.2. 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手 5.2.1. グローブボックス測定

測定の結果得られた代表的なスペクトルを Fig.11 に、得られたピークの定性結果を Table12, 13 に示す。定性結果は²⁴¹Am から放出される 59 k eV の 線によるピークのほ かに鉛の特性 X 線や Pu 同位体 (²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴²Pu)、²⁴¹Am から生成する ²³⁷Np、²³⁷U、²³³Pa の 線が検出された。また Table 13 のように 1274keV の位置に ²²Na と思われるピークが検出された例や 661keV にもピークが検出された例もあった。 1274keV のピークについては ²²Na から放出される 線と考えられるが、工程内の ²²Na 生成等について更に検討の必要がある。

エネルギー毎に比較すると 59keV のピークカウントに対し他のエネルギーのカウン トは多くて 10%程度であった。しかし例外として A126 の P17B01(No.19, 20)では 207keV の寄与が 59keV を上回った。この原因としてはグローブボックスに取り付けら れた鉛パネルが 59keV の 線を遮蔽した結果であると考えられる。

5.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報

A128 におけるグローブボックス内廃棄物整理前後における測定結果のスペクトルを Fig. 12 に示す。前後においてエネルギースペクトルは顕著に変化しなかった。スペクト ルから 59keV と 207keV のピーク面積を比較すると Table 14 のように廃棄物整理前に 対し廃棄物整理後で 59keV の面積は 25%増加した。

A324 における P12V11 液循環運転前後の測定結果を Fig.13、定性結果を Table 15, 16 に示す。両スペクトルの比較からは運転前後の顕著な違いは見られなかった。また前述 のように、スペクトルから 59keV と 207keV のピーク面積を比較すると運転前後で 59keV の面積は b 地点で 37%増加、d 地点で 43%増加し、有意な値を示した(Table 14)。 また同地点で 207keV のピーク面積も同程度の上昇が観察された。このことから液循環 運転前後で 線エネルギー分布は多少変化していることが分かった。

6. まとめと今後の課題

6.1. 放射性物質の簡便な定性、定量

6.1.1. 定常廃棄物中の放射能測定

線源測定の結果、⁶⁰Co、¹³⁷Cs、¹⁵⁴Eu など放射性核種のおおまかな定量評価ができる ことがわかった。²⁴¹Am については 100000 秒程度の長時間測定が必要となるが、ISOCS はクリアランスレベル導入時の検認方法として使用できるだろう。今後の課題として ISOCS の条件を細かくし、定量値の正確性を高めることなどがあげられる。

6.1.2. 分析試料等の放射能測定

²⁴¹Am の放出する 線はエネルギーが小さいこと(59.5keV)から自己吸収の影響があると考えられる。材質の設定を誤ると自己吸収の影響を過小評価してしまう。今回のjug

は外見上プラスチックと思われるが、結果をみると条件 3 以外で推定値に差異はみられ ないことから材質はポリエチレンと評価しても誤差は小さいと考えられる。また条件 3 のように jug の底に放射性物質が存在するとした条件では推定値が $1.5 \sim 2$ 倍程度大きく なった。このことから放射性物質の存在箇所によっては自己吸収の影響を大きく受ける と考えられる。以上のことから条件 3 が安全側に見て最も適当であり、 241 Am の量は jug1,2 それぞれ 6×10^4 , 8×10^4 Bq と評価される。

6.1.3. フィルターなどの測定

今回の検討の結果、可搬型 Ge 検出器と ISOCS の組み合わせにより入気フィルターの クリアランスレベルの検認は可能であることが示された。しかしながら²⁴¹Am に対して 適切な測定時間が必要であること、また²⁴¹Am の数 Bq 程度の汚染を検知できないこと など考慮すべき課題が挙げられた。この方法によってクリアランスレベルで検認を行う 際には事前の詳細な検討が必要である。

6.1.4. 天然放射性核種の確認

今回の測定結果を見ると²¹⁴Bi、²⁰⁸Tlが共通して定性された。このことよりウラン系 列、トリウム系列の壊変生成核種が線用シンチレーションサーベイメータにより有意 値を示した原因と考えられる。また線が検出されていることから原因核種は鉛容器の 表面に存在すると考えられる。しかし鉛の特性X線が検出されていることから表面に放 射性核種が存在している可能性は小さい。鉛中には²¹⁰Pb などの天然放射性核種が存在 する。これらのことを考慮に入れると、今回の場合も人為核種の汚染はなく、もともと 鉛に含まれていたものか周辺からの影響であると考えられる。以上のことから今回測定 した容器は人工核種の汚染はないと判断される。

6.2. 作業環境の被ばく線量評価に必要な 線エネルギー情報の入手

6.2.1. グローブボックス測定

測定の結果、Pu 転換施設のグローブボックスにおいては ²⁴¹Am、Pu 同位体などから 様々な 線エネルギーが放出されていることがわかった。場所によっては ²²Na 起源と考 えられる 1274keV の 線が検出された。²²Na の生成過程として、フッ素との(, , n) 反応が考えられるが、今後も詳細な調査が必要である。

6.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報

可搬型 Ge により得られたスペクトルを詳しく解析することにより、作業による 線 エネルギー分布の変化を観察することが出来た。今後、被ばく線量の計算などに必要な データになり得る。 7. おわりに

本技術資料作成にあたり、安全研究グループ岡努氏に貴重なご意見をいただいた。また、プルトニウム転換技術開発施設で測定する際に、転換技術課の田中泉氏、中村仁宣 氏に貴重なご意見をいただくと共に、様々な便宜を図っていただいた。ここに厚く御礼 申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 大越実、高橋知之、木村英雄、関武雄、坂井章浩、吉森道郎、山本英明:"主な原子炉 施設におけるクリアランスレベルの算出について",保健物理.34,187-197 (1999)
- International Atomic Energy Agency: "Clearance levels for radionuclides in solid materials: Application of exemption principles –Interim report for comment-", IAEA-TECDOC-855 (1996)
- 3) 寺田博海: "可搬型Ge検出器を用いたin-situ測定法に関する研究", JAERI-M 85-095 (1985)
- 4) S. A. Ibrahim, M. J. Schierman, S. E. Hulse and F. W. Whicker: "A gamma monitoring technique for estimating plutonium contamination around nuclear weapons facilities". J. Radioanal. Nucl. Chem. 197, 115-131 (1995)
- V. V. Atrashkevich and V. P. Kolotov: "Correction coefficient computation for determination of voluminous source absolute radioactivity." J. Radioanal. Nucl. Chem. 169, 397-408 (1993)
- 6) R. Venkatareman, F. Bronson, V. Atrashkevich, B. M. Young and M. Field: "Validation of in-situ object dounting system (ISOCS) mathematical efficiency calibration software." The 9th symposium on Radiation Measurements and Applications, Ann Arbor, MI, USA. (1998)



Fig.1入気フィルター測定状況

					SI	IPLE BC	X		<u>.</u>	8	31
# Descri	ptio	n	d.1	d.	2 d	.3 d	.4	d.5	Material	Density	Activ/g
1 Box											
2 Top La	yer										
3 Bottom	1 Lay	er			E.						2
4 absorb	per 1										
5 absorb	per 2										
6 Source	-Det	ector									
1			s								
LENGTH T	EMP	DENSITY	RH	PRESS	TEMPL	ATE NAM	E		DETECTO	DR CO	LLIMATOR
cm C	Ce 1s	g/cu.c	12	mm.Hg	SIMPL	E BOX					
HELP STRING											
<enter>I</enter>	NPUT	MATER	AL,	<f2>TE</f2>	MPLATE	UIEW,	<esc></esc>	EXIT			

Fig. 2 ISOCS入力画面



-13-







Fig.3 プルトニウム転換技術開発施設における測定点(3/3)



Fig.4気送用jagの測定状況の概要



Fig. 5 線源として使用した微量放射能付着試料の γ線スペクトル測定結果





Fig. 6廃棄物容器のγ線スペクトル測定結果(151, 100秒)



Fig. 7 気送用ジャグ (jug1) の γ 線スペクトル 測定結果(10000秒)



Fig. 8 入気フイルターの γ 線スペクトル 測定結果(1000秒)



Fig. 9 微量放射能試料を貼り付けた入気フイルターの γ線スペクトル 測定結果(95458秒)





Fig. 10 鉛容器のγ線スペクトル 測定結果





Fig. 11 Pu-conにおけるグローブボックスγ線スペクトル 測定結果



Fig. 12 Pu-con A128におけるグローブボックス γ線スペクトル 測定結果





(keV)



検出器型名	GC2018-7935-7F/RDC
プリアンプ型名	2002C
MCA型名	Inspector2000
<u>オペレーティング電圧</u>	0
*P/C測定	
コンプトン領域	4159-4383 ch
コンプトン平均カウント	183 cts/ch
ピークカウント	10002 cts
P/C	55 (スペック >50)
*分解能測定	
1チャンネルあたりのエネルギー	0.25 keV/ch
分解能 (FWHM)	1.69 keV
FWTM	3.36 keV

Table 1 Ge検出器の性能

*: 納入時東陽テクニカによって測定

Table 2 jugに対するISOCSの解析条件(材質)

条件	容器の材質	化学式	密度(g/cu.c)	内部の物質及び線源	
1	L POLYETH	C_2H_4	0.92	内部の空気中に放射性物質が含まれる場合	
2	L POLYETH	C_2H_4	0.92	上底から1mmに放射性物質が含まれる場合	
3	L POLYETH	C_2H_4	0.92	ド底から1mmに放射性物質が含まれる場合	
4	H POLYETH	C_2H_4	0.95	上底から1mmに放射性物質が含まれる場合	
5	ACRYLIC	$C_4H_6O_2$	1.17	上底から1mmに放射性物質が含まれる場合	
6	GLASS	7SiO2+15Na ₂ O+15CaO	2.6	上底から1mmに放射性物質が含まれる場合	
sample NOc	learance leve	1182	1194	1183	11 92
-------------------	---------------	----------	------------	------------------	--------------
sample	(Bq/g)	カートンボックス	カートンボックス	カートンボックス	15L green
dose(µ Sv)		<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
⁶⁰ Co	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹³⁴ Cs	5.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹³⁷ Cs	1.0E+00	N.D	1.6E+01	9.2E-01	5.8E-01
¹⁵⁴ Eu	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹⁵⁵ Eu	-	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁷ Np	-	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁷ U	-	N.D	2.9E+01	N.D	N.D
²³⁸ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁹ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²⁴⁰ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²⁴¹ Am	2.0E-01	N.D	1.6E+01	N.D	N.D
²⁴¹ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
		-:	以外 > 模田限外(直以上 N.D: Not del	ected
sample NOci	learance leve	1200	1187	11 90	1201
sample	(Bq/g)	15L red	15L red	15L red	15L green
dose(µ Sv)		12	<0.5	1.2	9.5
⁶⁰ Co	4.0E-01	1.9E-01	N.D	N.D	N.D
¹³⁴ Cs	5.0E-01	1.9E+01	3.2E-01	1.6E+00	4.8E+00
¹³⁷ Cs	1.0E+00	5.6E+02	8.4E+00	5.1E+01	1.2E+02
¹⁵⁴ Eu	4.0E-01	1.1E+01	N.D	1.1 E+00	3.7E+00
¹⁵⁵ Eu	-	7.2E+00	N.D	N.D	2.7E+00
²³⁷ Np	-	N.D	N.D	>	N.D
²³⁷ U	-	N.D	5.6E-01	>	N.D
²³⁸ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	>	N.D
²³⁹ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	>	N.D
²⁴⁰ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²⁴¹ Am	2.0E-01	2.7E+02	1.2E+02	N.D	1.9E+01
²⁴¹ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	>	N.D

			No
Table 3 磨	棄物容器中の	放射性核種の)測定結果(1/2)

sample NOc	learance leve	1193	1288	1196	1204
sample	(Bq/g)	15L red	15L green	カー トンボックス	15L white
dose(µ Sv)		1.4	<0.5	<0.5	<0.5
⁶⁰ Co	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹³⁴ Cs	5.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹³⁷ Cs	1.0E+00	>	6.9E-01	1.2E+00	7.2E-01
¹⁵⁴ Eu	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹⁵⁵ Eu	-	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁷ Np	-	>	N.D	N.D	N.D
²³⁷ U	-	>	N.D	N.D	4.55
²³⁸ Pu	2.0E-01	>	N.D	N.D	N.D
²³⁹ Pu	2.0E-01	>	N.D	N.D	N.D
²⁴⁰ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²⁴¹ Am	2.0E-01	>	18.1	N.D	N.D
²⁴¹ Pu	2.0E-01		N.D	N.D	N.D
		-:	外 >: 稧田限界(直以上 N.D: Not de	tected
sample NOc	learance leve	1185	11 9 7	std 1	std2
sample	(Bq/g)	15L white	カー トンボックス	60L	15L
dose(μ Sv)		<0.5	<0.5		
⁶⁰ Co	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹³⁴ Cs	5.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹³⁷ Cs	1.0E+00	4.2E-01	1.1 E+00	2.3E+01	2.2E+01
¹⁵⁴ Eu	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
¹⁵⁵ Eu	-	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁷ Np	-	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁷ U	-	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁸ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²³⁹ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²⁴⁰ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
²⁴¹ Am	2.0E-01	N.D	N.D	6.6E+01	1.0E+02
²⁴¹ Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D

Table 3 廃棄物容器中の放射性核種の測定結果(2/2)

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
45.05	45.24	0.045	²⁴² Pu
	44.91	0.036	²⁴⁰ Pu
51.42	51.01	0.34	²³⁷ U
59.35	59.54	35	²³⁷ U
	59.54	36	²⁴¹ Am
64.55	64.83	1.3	²³⁷ U
76.85	77.59	0.00041	²³⁹ Pu
86.31	86.47	12	²³⁷ Np
	86.81	2.0	²³³ Pa
94.44	94.64	0.60	²³⁷ Np
98.27	98.78	0.0012	²³⁹ Pu
100.72	99.85	0.010	²³⁸ Pu
103.63	103.68	0.00010	²⁴¹ Pu
	103.50	0.0078	²⁴² Pu
	103.06	0.00023	²³⁹ Pu
	104.23	0.0070	²⁴⁰ Pu
114.06	116.26	0.00060	²³⁷ U
117.39	1 17.70	0.16	²³⁷ Np
129.01	129.29	0.0063	²³⁹ Pu
148.32	148.57	0.00019	²⁴¹ Pu
159.79	158.80	0.00045	²⁴² Pu
164.32	164.61	1.85	²³⁷ U
207.66	208.00	21.14	²³⁷ U
267.23	267.54	0.71	²³⁷ U
299.81	300.34	6.62	²³³ Pa
311.5	312.17	38.6	²³³ Pa
332.05	332.36	1.2	²³⁷ U
	332.85	0.00049	²³⁹ Pu
340.09	340.81	4.47	²³³ Pa
344.57	345.01	0.00056	²³⁹ Pu
374.64	375.05	0.00016	²³⁹ Pu
413.33	413.71	0.0015	²³⁹ Pu
661.23	661.66	85.1	²⁴¹ Am
1461.18	1460.83	10.67	⁴⁰ K

Table 4 廃棄物容器(15L)で検出された γ 線放出核種の例(No. 1193)

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
45.05	45.24	0.045	²⁴² Pu
	44.91	0.036	²⁴⁰ Pu
51.42	51.01	0.34	²³⁷ U
59.35	59.54	35	²³⁷ U
	59.54	36	²⁴¹ Am
64.55	64.83	1.3	²³⁷ U
76.85	77.59	0.00041	²³⁹ Pu
86.31	86.47	12	²³⁷ Np
	86.81	2.0	²³³ Pa
94.44	94.64	0.60	²³⁷ Np
98.27	98.78	0.0012	²³⁹ Pu
100.72	99.85	0.010	²³⁸ Pu
103.63	103.68	0.00010	²⁴¹ Pu
	103.50	0.0078	²⁴² Pu
	103.06	0.00023	²³⁹ Pu
	104.23	0.0070	²⁴⁰ Pu
114.06	116.26	0.00060	²³⁷ U
117.39	11 7.70	0.16	²³⁷ Np
129.01	129.29	0.0063	²³⁹ Pu
148.32	148.57	0.00019	²⁴¹ Pu
159.79	158.80	0.00045	²⁴² Pu
164.32	164.61	1.85	²³⁷ U
207.66	208.00	21.14	²³⁷ U
267.23	267.54	0.71	²³⁷ U
299.81	300.34	6.62	²³³ Pa
311.5	312.17	38.6	²³³ Pa
332.05	332.36	1.2	²³⁷ U
	332.85	0.00049	²³⁹ Pu
340.09	340.81	4.47	²³³ Pa
344.57	345.01	0.00056	²³⁹ Pu
374.64	375.05	0.00016	²³⁹ Pu
413.33	413.71	0.0015	²³⁹ Pu
661.23	661.66	85.1	²⁴¹ Am
1461.18	1460.83	10.67	⁴⁰ K

Table 5 廃棄物容器(15L)で検出されたγ線放出核種の例(No. 1201)

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
59.54	59.54	36.30	²⁴¹ Am
	59.54	34.50	²³⁷ U
94.64	93.35	3.20	²²⁸ Ac
98.62	99.50	1.28	²²⁸ Ac
	97.08	15.70	²³⁷ U
	97.08	22.00	²³⁵ Pu
101.1	103.06	0.00	²³⁹ Pu
	103.68	0.0001	²⁴¹ Pu
148.6	148.57	0.0002	²⁴¹ Pu
208.04	209.25	3.88	²²⁸ Ac
238.56	238.62	44.60	²¹² Pb
295.19	295.21	19.20	²¹⁴ Pb
338.27	338.32	11.30	²²⁸ Ac
351.89	351.92	37.20	²¹⁴ Pb
510.71	511.00		Annihilation radiation
583.17	583.19	84.50	²⁰⁸ Tl
609.28	609.31	46.30	²¹⁴ Bi
661.65	661.65	85.12	¹³⁷ Cs
727.39	727.17	11.80	²¹² Bi
911.38	911.21	26.60	²²⁸ Ac
969.3 1	968.97	16.20	²²⁸ Ac
1120.79	1,120.29	15.10	²¹⁴ Bi
1461.92	1,460.81	10.67	⁴⁰ K
1766.27	1764.49	15.8	²¹⁴ Bi

Table 6 気送用ジャグ (jag1)で検出された γ 線放出核種

Table 7 気送用jugにおける検出下限値の評価結果(ISOCSによる)

	評価条件*	1	2	3	4	5	6
jag1	²⁴¹ Am	4.1×10^{4}	3.5×10 ⁴	5.4×10 ⁴	3.5×10 ⁴	3.6×10 ⁴	4.6×10 ⁴
	¹³⁷ Cs	5.5×10 ¹	4.8×10 ¹	6.7×10 ¹	4.8×10 ¹	4.8×10 ¹	5.1×10 ¹
jag2	²⁴¹ Am	5.8×10 ⁴	4.9×10 ⁴	7.5×10 ⁴	4.9×10 ⁴	5.0×10 ⁴	6.4×10 ⁴
	¹³⁷ Cs	7.7×10 ¹	6.6×10 ¹	9.4×10 ¹	6.7×10 ¹	6.7×10 ¹	7.1×10 ¹

*:Table 2の評価条件参照

Table 8 ISOCSにより算出した入気フィルターに対する γ線放出核種の検出下限値

*クリアラン			ISOCSにより算出した検出下限値				
放射性核種	スレベル 算出結果	1000s		5000s		95458s	
	(Bq/g)	Bq	Bq/g	Bq	Bq/g	Bq	Bq/g
⁵⁴ Mn	1.0E+00	9.52E+02	4.14E-02	3.65E+02	1.59E-02	4.17E+01	1.81E-03
⁶⁰ Co	4.0E-01	6.44E+02	2.80E-02	2.52E+02	1.10E-02	4.88E+01	2.12E-03
⁶⁵ Zn	1.0E+00	2.15E+03	9.35E-02	7.67E+02	3.33E-02	1.38E+02	6.00E-03
⁹⁴ Nb	2.0E-01	8.97E+02	3.90E-02	3.35E+02	1.46E-02	4.81E+01	2.09E-03
¹³³ Ba	2.0E+00	2.59E+03	1.1 3E-0 1	9.65E+02	4.20E-02	6.33E+01	2.75E-03
¹³⁴ Cs	5.0E-01	1.15E+03	5.00E-02	4.43E+02	1.93E-02	5.98E+01	2.60E-03
¹³⁷ Cs	1.0E+00	1.24E+03	5.39E-02	4.91E+02	2.13E-02	5.75E+01	2.50E-03
¹⁵² Eu	4.0E-01	6.38E+03	2.77E-01	2.49E+03	1.08E-01	7.76E+02	3.37E-02
¹⁵⁴ Eu	4.0E-01	2.28E+03	9.91E-02	8.89E+02	3.87E-02	1.06E+02	4.61E-03
²⁴¹ Am	2.0E-01	2.37E+04	1.03E+00	8.15E+03	3.54E-01	1.29E+02	5.61E-03

* 大越ら(1999)

Table 9 フィルター内の線源位置の違いによる検出下限値の比較 (ISOCSによる)

距離	¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am
(cm)	(Bq/sample)	(Bq/sample)
1	8.0×10 ⁰	2.6×10 ¹
14	1.1×10 ²	1.9×10 ³
28	6.6×10 ²	4.8×10^{3}
* (1) / (28)	0.012	0.005

* 1cmにおける検出下限値 / 28cmにおける検出下限値

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
72.8	72.90		Tl-K α
74.93	75.00		Pb-K α
84.79	84.90		Pb-Kβ
87.33	87.20	3.70	²¹⁴ Pb
238.56	238.62	44.60	²¹² Pb
351.89	351.92	37.20	²¹⁴ Pb
510.71	511.00		Annihilation radiation
583.17	583.19	84.50	²⁰⁸ Tl
609.28	609.31	46.30	²¹⁴ Bi
661.65	661.65	85.12	¹³⁷ Cs
911.38	911.21	26.60	²²⁸ Ac
969.31	968.97	16.20	²²⁸ Ac
1120.79	1,120.29	15.10	²¹⁴ Bi
1461.92	1,460.81	10.67	⁴⁰ K
1766.27	1764.49	15.8	²¹⁴ Bi

Table 10 鉛ドラム缶で検出されたγ線放出核種

Table 11 鉛容器で検出されたγ線放出核種

Observed energy (KeV)	Expected energy (KeV)	Branching ratio (% per decay)	Suspected origin
73.26	72.90		Tl-K α
75.64	75.00		Pb-K α
85.32	84.90		Ρb-K <i>β</i>
609.41	609.31	46.30	²¹⁴ Bi
661.55	661.65	85.12	¹³⁷ Cs
1460.91	1 ,460.8 1	10.67	⁴⁰ K

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
45.05	45.24	0.045	²⁴² Pu
	44.91	0.036	²⁴⁰ Pu
51.42	51.01	0.34	²³⁷ U
59.35	59.54	35	²³⁷ U
	59.54	36	²⁴¹ Am
64.55	64.83	1.3	²³⁷ U
76.85	77.59	0.00041	²³⁹ Pu
86.31	86.47	12	²³⁷ Np
	86.81	2.0	²³³ Pa
94.44	94.64	0.60	²³⁷ Np
98.27	98.78	0.0012	²³⁹ Pu
100.72	99.85	0.010	²³⁸ Pu
103.63	103.68	0.00010	²⁴¹ Pu
	103.50	0.0078	²⁴² Pu
	103.06	0.00023	²³⁹ Pu
	104.23	0.0070	²⁴⁰ Pu
114.06	116.26	0.00060	²³⁷ U
117.39	117.70	0.16	²³⁷ Np
129.01	129.29	0.0063	²³⁹ Pu
148.32	148.57	0.00019	²⁴¹ Pu
159.79	158.80	0.00045	²⁴² Pu
164.32	164.61	1.85	²³⁷ U
207.66	208.00	21.14	²³⁷ U
267.23	267.54	0.71	²³⁷ U
299.81	300.34	6.62	²³³ Pa
311.5	312.17	38.6	²³³ Pa
332.05	332.36	1.2	²³⁷ U
	332.85	0.00049	²³⁹ Pu
340.09	340.81	4.47	²³³ Pa
344.57	345.01	0.00056	²³⁹ Pu
374.64	375.05	0.00016	²³⁹ Pu
413.33	413.71	0.0015	²³⁹ Pu
661.23	661.66	0.000364	²⁴¹ Am
1461.18	1460.83	10.67	⁴⁰ K

Table 12 Pu-con A126におけるグローブボックスで検出された *γ*線放出核種の例(No.6 P13B09)

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
59.23	59.54	35	²³⁷ U
	59.54	36	²⁴¹ Am
74.61	75.00	-	Рb-К а
98.18	98.78	0.00122	²³⁹ Pu
	98.97	0.0203	²⁴¹ Am
100.47	99.85	0.00735	²³⁸ Pu
102.82	102.98	0.0195	²⁴¹ Am
	103.06	0.00023	²³⁹ Pu
	103.50	0.00781	²⁴² Pu
	103.68	0.000102	²⁴¹ Pu
148.11	148.57	0.000185	²⁴¹ Pu
207.62	208.00	21.14	²³⁷ U
	208.01	0.000791	²⁴¹ Am
26 7.11	267.54	0.71	²³⁷ U
299.64	300.34	6.62	²³³ Pa
311.43	312.17	38.6	²³³ Pa
331.99	332.36	1.20	²³⁷ U
	332.85	0.000494	²³⁹ Pu
340.05	340.81	4.47	²³³ Pa
344.54	345.01	0.000556	²³⁹ Pu
370.44	370.94	0.107	²³⁷ U
374.7	375.05	0.00155	²³⁹ Pu
392.43	393.14	0.000348	²³⁹ Pu
397.95	398.62	1.39	²³³ Pa
413.2	413.713	0.001466	²³⁹ Pu
450.84	478.40	_	¹¹ B(n, $\alpha \gamma$)or ⁷ Li(n,n' γ)
510.45	511.00	_	Annihilation radiation
582.58	583.14	85.8	²⁰⁸ T1
618.51	619.01	0.000059	²⁴¹ Am
661.95	662.4	0.000364	²⁴¹ Am
721.52	722.01	0.000196	²⁴¹ Am
726.85	727.25	6.66	²¹² Bi
765.98	766.39	0.000022	²³⁸ Pu
846.47	846.75	-	56 Fe(n,n' γ)
890.42			?
1236.01			?
1274.68	1274.54	99.93	²² Na
1461.31	1460.83	10.67	⁴⁰ K
1528.69		-	?
1593.26	1592 35	double escape	²⁰⁸ T1

JNC TNTableの13-003Pu-con A126におけるグローブボックスで検出された γ線放出核種の例(No.25 廃棄物)

No	Room No	G/B No	energy (keV)	測定条件	Dose (μSv/h) sarvey	net(count)
	A 37/	D/1803	59	泽扫钟	20	1.27E+06
2	A324 P41B05	F4ID05	208		20	7.95E+03
2 A128	P41B03	59	法信讼	20	1.61E+06	
		208	信师夜		7.43E+03	
	4224	007001	59	冰年四步	20	2.25E+06
-	A324	P8/B01	208	被煝采則	20	4.05E+04
a	4224	007001	59	冰蕉理丝	20	2.53E+06
A324	P8/B01	208	假循尿夜	20	4.31E+04	
	4224	007001	59	液循環前	20	1.63E+06
L	A324 P87	P8/BUI	208			7.19E+04
D	b A324 P	P87B01	59	液循環後	20	2.24E+06
			208			8.39E+04
	4224	007000	59	冰年四步	0.0	6.86E+04
_	A324	P8/B02	208	被循環則	【循項則 0.6	2.77E+03
с	4 2 2 4	007000	59	》七年1四公4	0.6	7.12E+04
	A324	P8/B02	208	────────────────────────────────────	0.6	2.72E+03
	4224	007000	59	冰狂理会	1	7.37E+04
٤	A524	P8/B02	208	似循尿削	I	1.18E+03
a	4224	P87B02	59		1	1.06E+05
	A324		208	被偏束使		1.55E+03

Table 14 Pu-con 作業環境におけるピークカウントの比較

*:Fig.3 参照

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
58.88	59.54	35	²³⁷ U
	59.54	36	²⁴¹ Am
93.9	94.64	0.60	²³⁷ Np
97.93	98.78	0.0012	²³⁹ Pu
100.25	99.85	0.010	²³⁸ Pu
102.84	103.68	0.00010	²⁴¹ Pu
	103.50	0.0078	²⁴² Pu
	103.06	0.00023	²³⁹ Pu
	104.23	0.0070	²⁴⁰ Pu
113.46	116.26	0.00060	²³⁷ U
118.41	117.70	0.16	²³⁷ Np
128.81	129.29	0.0063	²³⁹ Pu
147.92	148.57	0.00019	²⁴¹ Pu
163.94	164.61	1.85	²³⁷ U
207.30	208.00	21.14	²³⁷ U
	203.55	0.00057	²³⁹ Pu
266.80	267.54	0.71	²³⁷ U
299.54	300.34	6.62	²³³ Pa
311.09	312.17	38.6	²³³ Pa
331.68	332.36	1.2	²³⁷ U
	332.85	0.00049	²³⁹ Pu
344.13	345.01	0.00056	²³⁹ Pu
370.26	375.05	0.00016	²³⁹ Pu
412.86	413.71	0.0015	²³⁹ Pu
661.4	661.66	85.1	²⁴¹ Am

Table 15 Pu-con A324におけるグローブボックスで検出された γ線放出核種の例(No.a P87B01)

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin	
(KeV)	(KeV)	(% per decay)		
59.33	59.54	35	²³⁷ U	
	59.54	36	²⁴¹ Am	
94.44	94.64	0.60	²³⁷ Np	
98.44	98.78	0.0012	²³⁹ Pu	
100.70	99.85	0.010	²³⁸ Pu	
103.04	103.68	0.00010	²⁴¹ Pu	
	103.50	0.0078	²⁴² Pu	
	103.06	0.00023	²³⁹ Pu	
	104.23	0.0070	²⁴⁰ Pu	
113.77	116.26	0.00060	²³⁷ U	
1 48.28	148.57	0.00019	²⁴¹ Pu	
1 64.39	164.61	1.85	²³⁷ U	
207.65	208.00	21.14	²³⁷ U	
	203.55	0.00057	²³⁹ Pu	
267.20	267.54	0.71	²³⁷ U	
267.20	312.17	38.6	²³³ Pa	
331.68	332.36	1.2	²³⁷ U	
331.98	332.85	0.00049	²³⁹ Pu	
661.4	661.66	85.1	²⁴¹ Am	

Table 16 Pu-con A324におけるグローブボックスで検出された γ線放出核種の例(No.c P87B02)









JNC TN8410 2002-003



-46-



-47-























-58-









-62-





-63-


-64-



