# 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

### 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(<sup>241</sup>Am 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.

<sup>\*</sup> Reprocessing Radiation Control Section Radiation Protection Division Tokai Works

<sup>\*\*</sup> Inspection Development Company Ltd.

# 目 次

1.	19 00 1C	X
2.	測定機器及び効率校正プログラム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
2.1	可搬型 Ge 検出器 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
2.2	ISOCS (In-situ Object Counting System)·····	X
3.	検討項目・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3.1	放射性物質の簡便な定性、定量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
3.1.		
3.1.2		
3.1.3		
3.1.4		
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.	1-10-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11	
3.2.2	2. 作業環境における 線エネルギー情報・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	X
4. 涯	則定条件、測定方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
4.1	放射性物質の簡便な定性、定量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
4.1.		
4.1.2		
4.1.		
4.1.	V 1000 100 100 100 100 100 100 100 100 1	
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.	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
4.2.2	2. 作業環境における 線エネルギー情報・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	X
	結果と考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
5.1.3. フィルターなどの測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
5.1.4. 天然放射性核種の確認・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	X
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
6.1.2. 分析試料等の放射能測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
6.1.3. フィルターなどの測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
6.1.4. 天然放射性核種の確認・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	X
6.2.1. グローブボックス測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
6.2.2. 作業環境における 線エネルギー情報	X
7. おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	X
8. 参考文献 ************************************	X

# 図 目 次

0	入気フィルター測定風景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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	$\mathrm{Pu}$ 転換施設 $\mathrm{A128}$ 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)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	11	廃棄物容器(No.1194)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	15	廃棄物容器(No.1187)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	16	廃棄物容器(No.1190)の 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	17	CBG322 バックグラウンド 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	18	気送用容器(jug1)の 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	19	気送用容器(jug2)の 線スペクトル測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
付表	23	CBG402 バックグラウンド 線スペクトル測定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	X

#### 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 <sup>1)</sup>。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」 <sup>2)</sup>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 <sup>3)</sup>や Ibrahim <sup>4)</sup>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 Kolotov  $^5$ 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 Inspector 2000 を使用した。 検出器は  $^{60}$ Co 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( $^{241}$ Am:  $4.15 \times 10^5$  Bq,  $^{137}$ Cs:  $3.03 \times 10^5$  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( $^{241}$ Am:  $4.15 \times 10^5$  Bq、 $^{137}$ Cs:  $3.03 \times 10^5$  Bq)に対し、60 リットル カートンでは  $^{241}$ Am が  $6.61 \times 10^5$  Bq、 $^{137}$ Cs が  $2.30 \times 10^5$  Bq となった。 $^{241}$ Am については 1.6 倍、 $^{137}$ Cs 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  $^{241}$ Am が  $1.01 \times 10^6$  Bq、 $^{137}$ Cs が  $2.17 \times 10^5$  Bq となった。 $^{241}$ Am については 2.4 倍、 $^{137}$ Cs 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  $^{241}$ Am 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 <sup>241</sup>Am 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 <sup>241</sup>Am 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( $130 \,\mathrm{cm} \times 60 \,\mathrm{cm} \times 30 \,\mathrm{cm}$ )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 $(0.2 \,\mathrm{Bq/cm^2})$ 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  $500 \,\mathrm{cpm}$  ( $0.5 \,\mathrm{Bq/cm^2})$  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  $\mathrm{Ge}$  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. 測定条件、測定方法

#### 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  $(50 \,\mathrm{mm} \times 20 \,\mathrm{mm}$  、容積  $15.7 \,\mathrm{cm}^3)$  2 個  $(\mathrm{jug1}, \mathrm{jug2})$ 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 <sup>241</sup>Am、<sup>137</sup>Cs 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(<sup>241</sup>Am: 8.2Bq、 <sup>137</sup>Cs: 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:<sup>241</sup>Am 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 <sup>241</sup>Am 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  $(0.5 \,\mu\,\mathrm{Sv/h})$  であったが、 $\mathrm{Ge}$  検出器による測定では  $\mathrm{No}.1182$  を除き  $^{137}\mathrm{Cs}$  や  $^{241}\mathrm{Am}$  が検出された。15 リットル 容器については  $\mathrm{No}.1190$ 、 $\mathrm{No}.1193$  の赤容器で  $\mathrm{Pu}$  同位体、 $^{237}\mathrm{U}$  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  $^{137}$ Cs、 $^{241}$ Am が検出されたほか No.1201(緑 15 リットル容器)で  $^{134}$ Cs、 $^{155}$ Eu、 $^{154}$ Eu 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、 $^{137}$ Cs、 $^{241}$ Am の定量値は最も高い値(それぞれ  $5.6\times10^2$ Bq/g、 $2.7\times10^2$ Bq/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  $^{137}$ Cs、 $^{241}$ Am 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

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  $^{241}$ Am が  $3.5 \times 10^4 \sim 5.4 \times 10^4$ Bq となった。また jug2 では  $^{241}$ Am 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  $^{241}$ Am において  $3 \times 10^2$ Bq 程度、  $^{137}$ Cs において  $4 \times 10^1$ Bq である。なお、10000 秒測定における  $^{241}$ Am の検出限界値は  $2 \times 10^2$ Bq 程度、  $^{137}$ Cs において  $2 \times 10^1$ 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  $^{40}$ K 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  $^{137}$ Cs および  $^{241}$ Am 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。<sup>241</sup>Am 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。<sup>241</sup>Am 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  $^{137}Cs$  については検出できたものの  $^{241}Am$  については検出できなかった。  $^{241}Am$  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  $^{137}$ Cs で 0.012、 $^{241}$ Am で 0.005 になった。この検証はフィルター内部の  $^{241}$ Am 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。 $^{241}Am$  については長時間の測定が必要であること、また  $^{241}Am$  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 <sup>137</sup>Cs 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 <sup>137</sup>Cs 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 Table 12, 13 に示す。定性結果は  $^{241}$ Am から放出される 59 keV の 線によるピークのほかに鉛の特性 X 線や Pu 同位体( $^{238}$ Pu,  $^{239}$ Pu,  $^{240}$ Pu,  $^{241}$ Pu,  $^{242}$ Pu)、 $^{241}$ Am から生成する  $^{237}$ Np、 $^{237}$ U、 $^{233}$ Pa の 線が検出された。また Table 13 のように  $^{1274}$ keV の位置に  $^{22}$ Na と思われるピークが検出された例や  $^{661}$ keV にもピークが検出された例もあった。  $^{1274}$ keV のピークについては  $^{22}$ Na から放出される 線と考えられるが、工程内の  $^{22}$ Na 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 59 keV 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 207 keV の寄与が 59 keV 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 59 keV 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 59 keV と 207 keV 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 59 keV 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 59 keV と 207 keV のピーク面積を比較すると運転前後で59 keV 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 207 keV 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、 $^{60}$ Co、 $^{137}$ Cs、 $^{154}$ Eu 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。 $^{241}$ Am については  $^{100000}$  秒程度の長時間測定が必要となるが、 $^{180}$ CS 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  $^{180}$ CS 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

<sup>241</sup>Am 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  $1.5\sim2$  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  $6\times10^4,8\times10^4$ Bg 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  $^{241}Am$  に対して 適切な測定時間が必要であること、また  $^{241}Am$  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 <sup>214</sup>Bi、 <sup>208</sup>Tl 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 <sup>210</sup>Pb 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  $^{241}Am$ 、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  $^{22}Na$  起源と考えられる 1274keV の 線が検出された。 $^{22}Na$  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

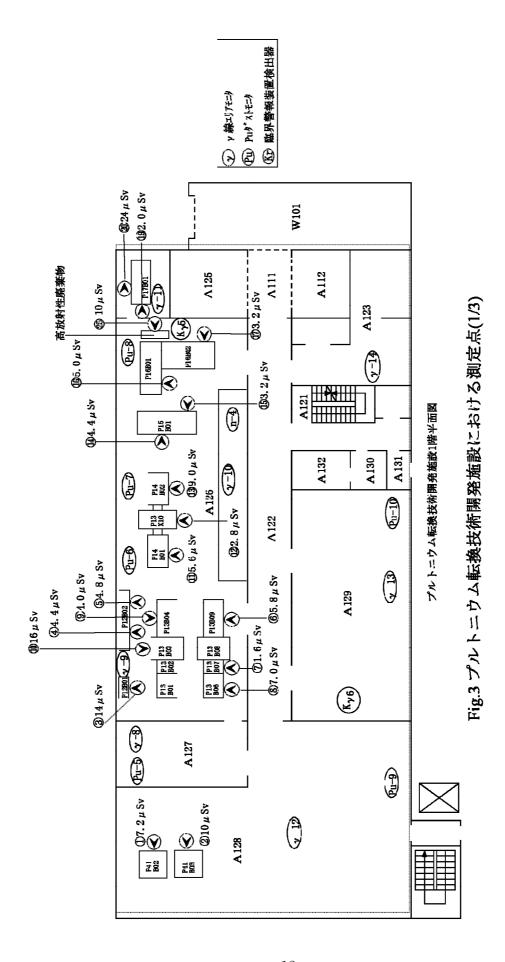
- 1) 大越実、高橋知之、木村英雄、関武雄、坂井章浩、吉森道郎、山本英明: "主な原子炉 施設におけるクリアランスレベルの算出について",保健物理.34,187-197(1999)
- 2) International Atomic Energy Agency: "Clearance levels for radionuclides in solid materials: Application of exemption principles –Interim report for comment-", IAEA-TECDOC-855 (1996)
- 3) 寺田博海: "可搬型 Ge 検出器を用いた 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)
- 5) 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 9<sup>th</sup> symposium on Radiation Measurements and Applications, Ann Arbor, MI, USA. (1998)



Fig. 1 入気フィルター測定状況



Fig. 2 ISOCS入力画面



-13-

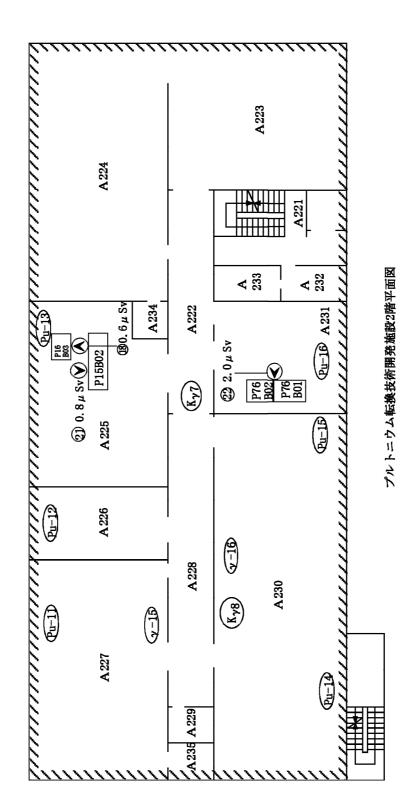


Fig.3 プルトニウム転換技術開発施設における測定点(2/3)

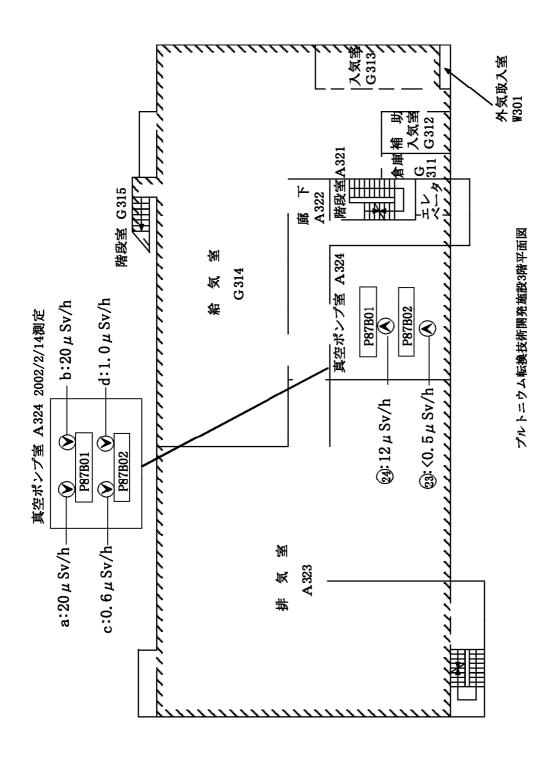


Fig.3 プルトニウム転換技術開発施設における測定点(3/3)

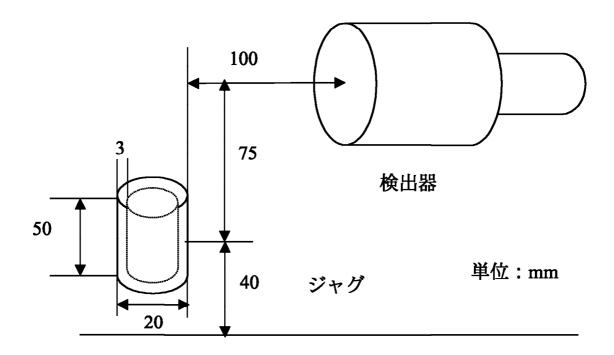


Fig. 4 気送用jagの測定状況の概要

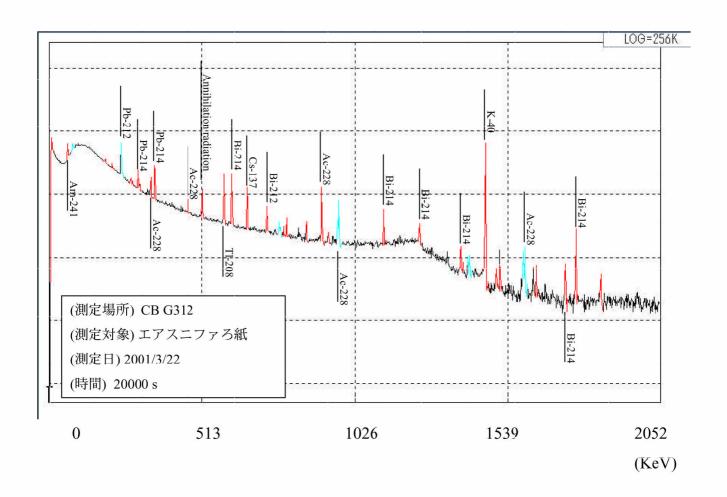
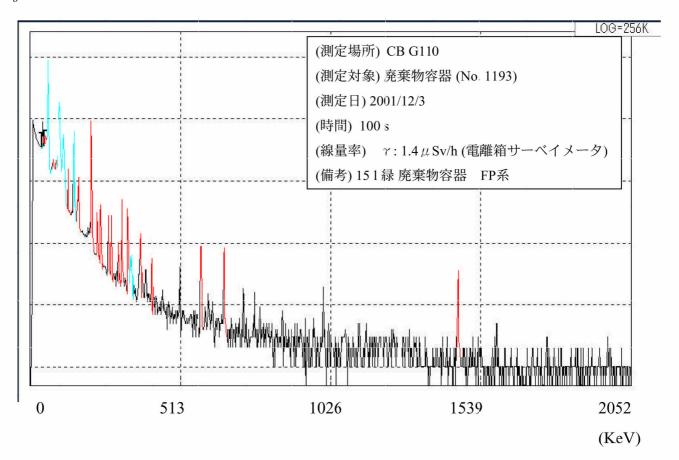


Fig. 5 線源として使用した微量放射能付着試料の γ線スペクトル測定結果



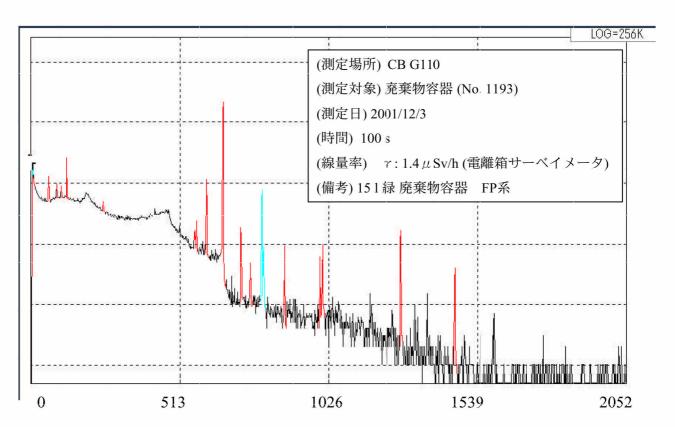


Fig. 6廃棄物容器 の γ 線スペクトル 測定結果(15l, 100秒)

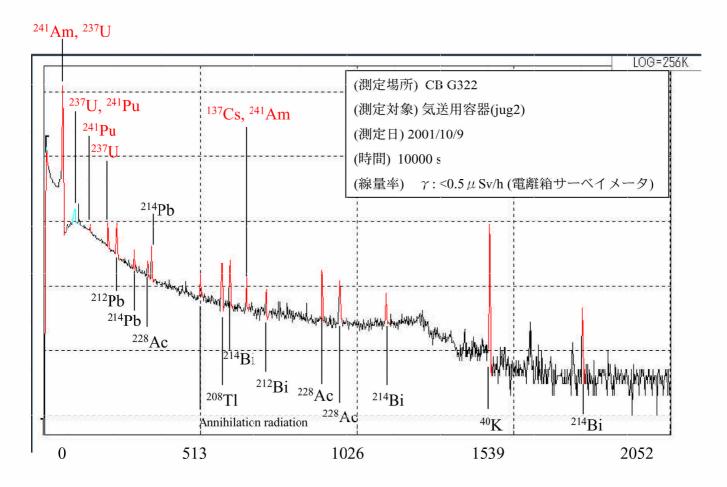


Fig. 7 気送用ジャグ (jug1) の  $\gamma$  線スペクトル 測定結果(10000秒)

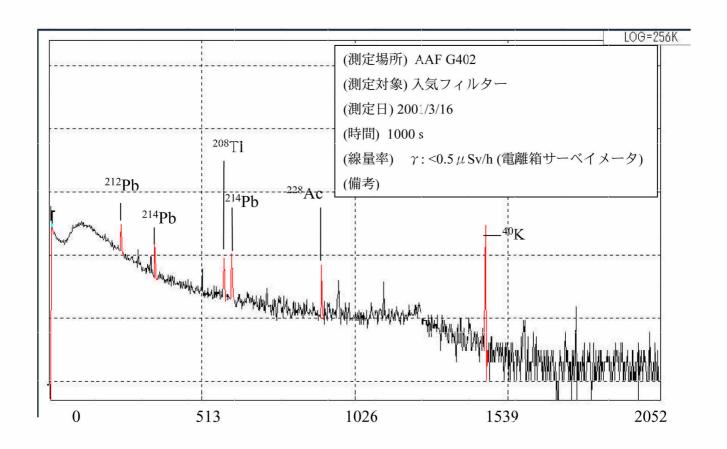


Fig. 8 入気フイルターの  $\gamma$  線スペクトル 測定結果(1000秒)

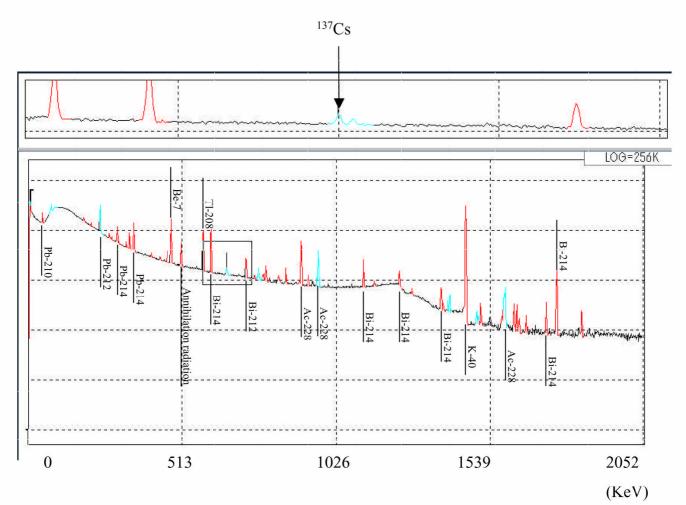
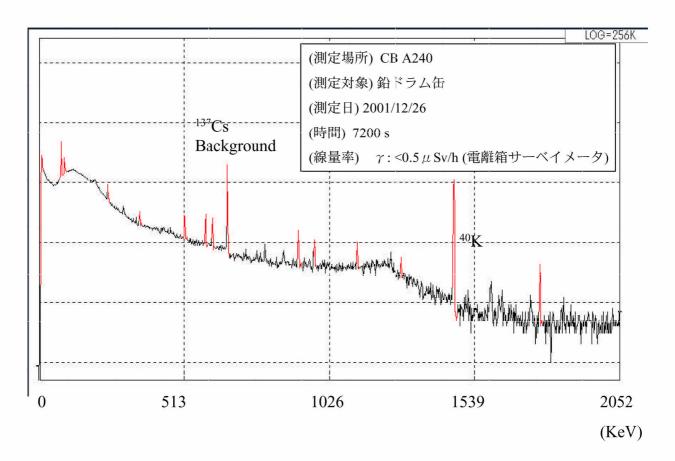
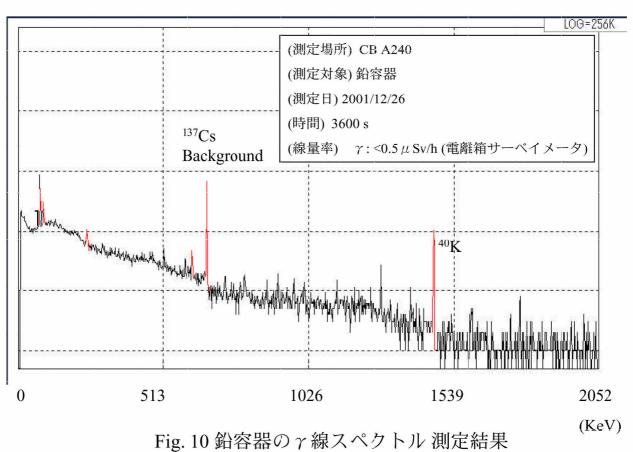
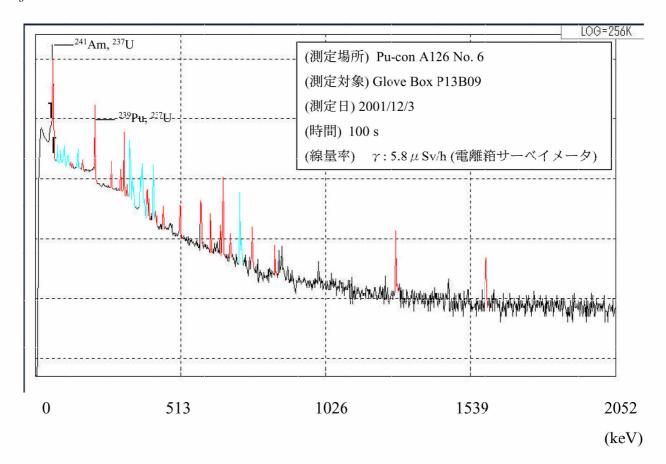


Fig. 9 微量放射能試料を貼り付けた入気フイルターの γ線スペクトル 測定結果(95458秒)







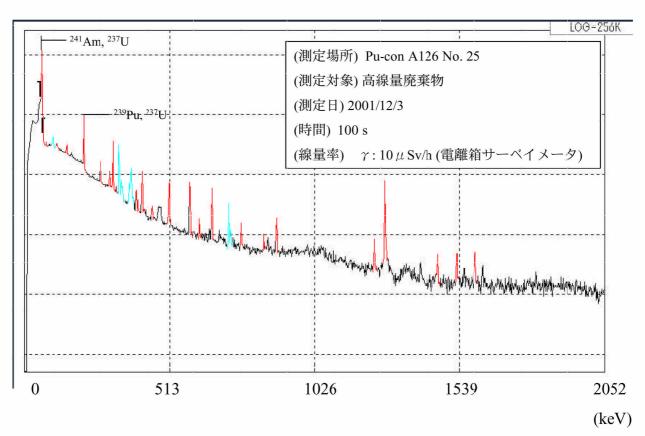


Fig. 11 Pu-conにおけるグローブボックス $\gamma$ 線スペクトル 測定結果

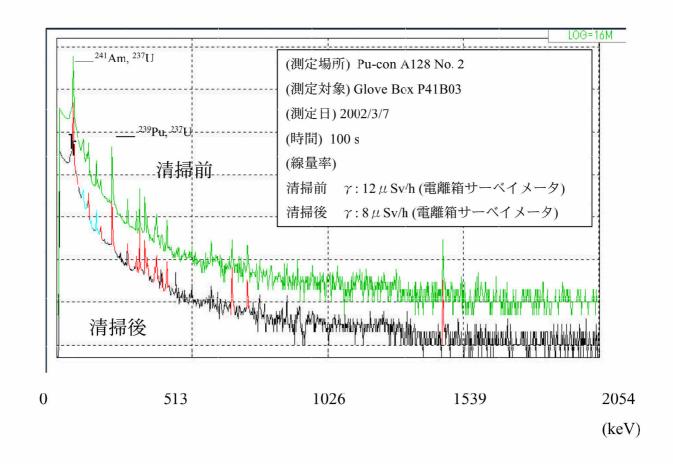
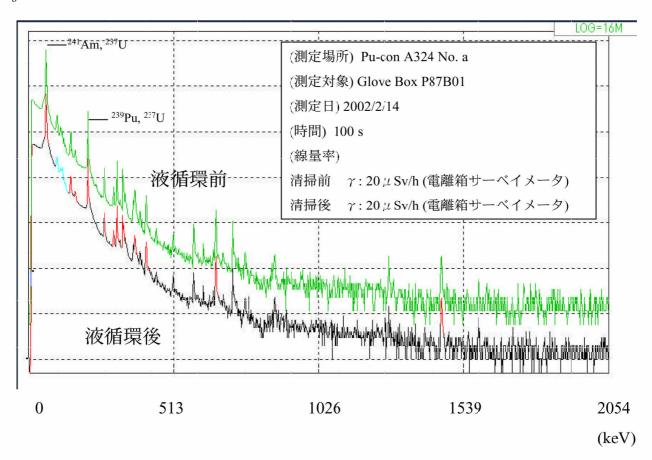


Fig. 12 Pu-con A128におけるグローブボックス  $\gamma$  線スペクトル 測定結果



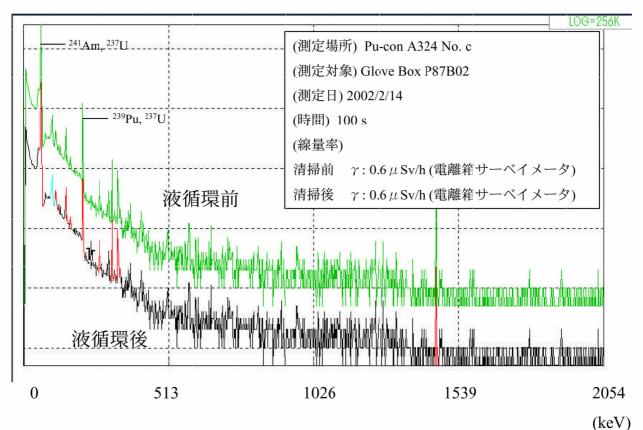


Fig. 13 Pu-con A324におけるグローブボックス  $\gamma$  線スペクトル 測定結果

Table 1 Ge検出器の性能

検出器型名	GC2018-7935-7F/RDC
プリアンプ型名	2002C
MCA型名	Inspector2000
オペレーティング電圧	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

<sup>\*:</sup> 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	$\mathrm{C_2H_4}$	0.92	内部の空気中に放射性物質が含まれる場合
2	L POLYETH	$\mathrm{C_2H_4}$	0.92	l.底から1mmに放射性物質が含まれる場合
3	L POLYETH	$\mathrm{C_2H_4}$	0.92	ド底から1mmに放射性物質が含まれる場合
4	н рогуетн	$\mathrm{C_2H_4}$	0.95	l.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 <sub>2</sub> O+15CaO	2.6	上底から1mmに放射性物質が含まれる場合

Table 3 廃棄物容器中の放射性核種の測定結果(1/2)

sample NOc	learance leve	1182	1194	1183	1192
sample	(Bq/g)	カートンポックス	カートンポックス	カートンポックス	15L green
dose( $\mu$ Sv)		<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
<sup>60</sup> Co	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>134</sup> Cs	5.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>137</sup> Cs	1.0E+00	N.D	1.6E+01	9.2E-01	5.8E-01
<sup>154</sup> Eu	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>155</sup> Eu	-	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>237</sup> Np	-	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>237</sup> U	-	N.D	2.9E+01	N.D	N.D
<sup>238</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>239</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>240</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>241</sup> Am	2.0E-01	N.D	1.6E+01	N.D	N.D
Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
		-: 重要放射性核種以	以外 >: 検出限界値	直以上 N.D: Not det	ected
sample NOc	learance leve	1200	1187	1190	1201
sample	(Bq/g)	15L red	15L red	15L red	15L green
dose( µ Sv)		12	<0.5	1.2	9.5
<sup>60</sup> Co	4.0E-01	1.9E-01	N.D	N.D	N.D
<sup>134</sup> Cs	5.0E-01	1.9E+01	3.2E-01	1.6E+00	4.8E+00
<sup>137</sup> Cs	1.0E+00	5.6E+02	8.4E+00	5.1E+01	1.2E+02
<sup>154</sup> Eu	4.0E-01	1.1E+01	N.D	1.1E+00	3.7E+00
<sup>155</sup> Eu	-	7.2E+00	N.D	N.D	2.7E+00
<sup>237</sup> Np	-	N.D	N.D	>	N.D
$^{237}U$	-	N.D	5.6E-01	>	N.D
<sup>238</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	>	N.D
<sup>239</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	>	N.D
<sup>240</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>241</sup> Am	2.0E-01	2.7E+02	1.2E+02	N.D	1.9E+01
<sup>241</sup> Pu	2.0E-01	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)

	I				
-	learance level	1193	1288	1196	1204
sample	(Bq/g)	15L red	15L green	カー トンボックス	15L white
dose( $\mu$ Sv)		1.4	<0.5	<0.5	<0.5
<sup>60</sup> Co	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>134</sup> Cs	5.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>137</sup> Cs	1.0E+00	>	6.9E-01	1.2E+00	7.2E-01
<sup>154</sup> Eu	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>155</sup> Eu	-	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>237</sup> Np	-	>	N.D	N.D	N.D
<sup>237</sup> U	-	>	N.D	N.D	4.55
<sup>238</sup> Pu	2.0E-01	>	N.D	N.D	N.D
<sup>239</sup> Pu	2.0E-01	>	N.D	N.D	N.D
<sup>240</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>241</sup> Am	2.0E-01	>	18.1	N.D	N.D
<sup>241</sup> Pu	2.0E-01	>	N.D	N.D	N.D
		- : 重要放射性核種	以外 >: 検出限界値	直以上 N.D: Not det	ected
ample NOc	learance leve	1185	1197	std1	std2
sample	(Bq/g)	15L white	カー トンボックス	60L	15L
dose(μ Sv)		<0.5	<0.5		
<sup>60</sup> Co	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>134</sup> Cs	5.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>137</sup> Cs	1.0E+00	4.2E-01	1.1 <b>E+00</b>	2.3E+01	2.2E+01
<sup>154</sup> Eu	4.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>155</sup> Eu	-	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>237</sup> Np	-	N.D	N.D	N.D	N.D
$^{237}U$	-	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>238</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>239</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>240</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D
<sup>241</sup> Am	2.0E-01	N.D	N.D	6.6E+01	1.0E+02
<sup>241</sup> Pu	2.0E-01	N.D	N.D	N.D	N.D

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	<sup>242</sup> Pu	
	44.91	0.036	<sup>240</sup> Pu	
51.42	51.01	0.34	<sup>237</sup> U	
59.35	59.54	35	<sup>237</sup> U	
	59.54	36	<sup>241</sup> Am	
64.55	64.83	1.3	<sup>237</sup> U	
76.85	77.59	0.00041	<sup>239</sup> Pu	
86.31	86.47	12	<sup>237</sup> Np	
	86.81	2.0	<sup>233</sup> Pa	
94.44	94.64	0.60	<sup>237</sup> Np	
98.27	98.78	0.0012	<sup>239</sup> Pu	
100.72	99.85	0.010	<sup>238</sup> Pu	
103.63	103.68	0.00010	<sup>241</sup> Pu	
	103.50	0.0078	<sup>242</sup> Pu	
	103.06	0.00023	<sup>239</sup> Pu	
	104.23	0.0070	<sup>240</sup> Pu	
114.06	116.26	0.00060	<sup>237</sup> U	
117.39	117.70	0.16	<sup>237</sup> Np	
129.01	129.29	0.0063	<sup>239</sup> Pu	
148.32	148.57	0.00019	<sup>241</sup> Pu	
159.79	158.80	0.00045	<sup>242</sup> Pu	
164.32	164.61	1.85	<sup>237</sup> U	
207.66	208.00	21.14	<sup>237</sup> U	
267.23	267.54	0.71	<sup>237</sup> U	
299.81	300.34	6.62	<sup>233</sup> Pa	
311.5	312.17	38.6	<sup>233</sup> Pa	
332.05	332.36	1.2	<sup>237</sup> U	
	332.85	0.00049	<sup>239</sup> Pu	
340.09	340.81	4.47	<sup>233</sup> Pa	
344.57	345.01	0.00056	<sup>239</sup> Pu	
374.64	375.05	0.00016	<sup>239</sup> Pu	
413.33	413.71	0.0015	<sup>239</sup> Pu	
661.23	661.66	85.1	<sup>241</sup> Am	
1461.18	1460.83	10.67	<sup>40</sup> 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)		
45.05	45.24	0.045	<sup>242</sup> Pu	
	44.91	0.036	<sup>240</sup> Pu	
51.42	51.01	0.34	<sup>237</sup> U	
59.35	59.54	35	<sup>237</sup> U	
	59.54	36	<sup>241</sup> Am	
64.55	64.83	1.3	<sup>237</sup> U	
76.85	77.59	0.00041	<sup>239</sup> Pu	
86.31	86.47	12	<sup>237</sup> Np	
	86.81	2.0	<sup>233</sup> Pa	
94.44	94.64	0.60	<sup>237</sup> Np	
98.27	98.78	0.0012	<sup>239</sup> Pu	
100.72	99.85	0.010	<sup>238</sup> Pu	
103.63	103.68	0.00010	<sup>241</sup> Pu	
	103.50	0.0078	<sup>242</sup> Pu	
	103.06	0.00023	<sup>239</sup> Pu	
	104.23	0.0070	<sup>240</sup> Pu	
114.06	116.26	0.00060	<sup>237</sup> U	
117.39	11 <b>7.70</b>	0.16	<sup>237</sup> Np	
129.01	129.29	0.0063	<sup>239</sup> Pu	
148.32	148.57	0.00019	<sup>241</sup> Pu	
159.79	158.80	0.00045	<sup>242</sup> Pu	
164.32	164.61	1.85	<sup>237</sup> U	
207.66	208.00	21.14	<sup>237</sup> U	
267.23	267.54	0.71	<sup>237</sup> U	
299.81	300.34	6.62	<sup>233</sup> Pa	
311.5	312.17	38.6	<sup>233</sup> Pa	
332.05	332.36	1.2	<sup>237</sup> U	
	332.85	0.00049	<sup>239</sup> Pu	
340.09	340.81	4.47	<sup>233</sup> Pa	
344.57	345.01	0.00056	<sup>239</sup> Pu	
374.64	375.05	0.00016	<sup>239</sup> Pu	
413.33	413.71	0.0015	<sup>239</sup> Pu	
661.23	661.66	85.1	<sup>241</sup> Am	
1461.18	1460.83	10.67	<sup>40</sup> K	

Table 6 気送用ジャグ (jag1)で検出されたγ線放出核種

Observed energy (KeV)	Expected energy (KeV)	Branching ratio (% per decay)	Suspected origin
59.54	59.54	36.30	<sup>241</sup> Am
53.5	59.54	34.50	<sup>237</sup> U
94.64	93.35	3.20	<sup>228</sup> Ac
98.62	99.50	1.28	<sup>228</sup> Ac
	97.08	15.70	<sup>237</sup> U
	97.08	22.00	<sup>235</sup> Pu
101.1	103.06	0.00	<sup>239</sup> Pu
	103.68	0.0001	<sup>241</sup> Pu
148.6	148.57	0.0002	<sup>241</sup> Pu
208.04	209.25	3.88	<sup>228</sup> Ac
238.56	238.62	44.60	<sup>212</sup> Pb
295.19	295.21	19.20	<sup>214</sup> Pb
338.27	338.32	11.30	<sup>228</sup> Ac
351.89	351.92	37.20	<sup>214</sup> Pb
510.71	511.00		Annihilation radiation
583.17	583.19	84.50	<sup>208</sup> T1
609.28	609.31	46.30	<sup>214</sup> Bi
661.65	661.65	85.12	<sup>137</sup> Cs
727.39	727.17	11.80	<sup>212</sup> Bi
911.38	911.21	26.60	<sup>228</sup> Ac
969.31	968.97	16.20	<sup>228</sup> Ac
1120.79	1,120.29	15.10	<sup>214</sup> Bi
1461.92	1,460.81	10.67	<sup>40</sup> K
1766.27	1764.49	15.8	Bi

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	<sup>241</sup> Am	$4.1\times10^4$	3.5×10 <sup>4</sup>	5.4×10 <sup>4</sup>	3.5×10 <sup>4</sup>	3.6×10 <sup>4</sup>	4.6×10 <sup>4</sup>
	<sup>137</sup> Cs	5.5×10 <sup>1</sup>	4.8×10 <sup>1</sup>	6.7×10 <sup>1</sup>	4.8×10 <sup>1</sup>	4.8×10 <sup>1</sup>	5.1×10 <sup>1</sup>
jag2	<sup>241</sup> Am	5.8×10 <sup>4</sup>	4.9×10 <sup>4</sup>	7.5×10 <sup>4</sup>	4.9×10 <sup>4</sup>	5.0×10 <sup>4</sup>	6.4×10 <sup>4</sup>
	<sup>137</sup> Cs	7.7×10 <sup>1</sup>	6.6×10 <sup>1</sup>	9.4×10 <sup>1</sup>	6.7×10 <sup>1</sup>	6.7×10 <sup>1</sup>	7.1×10 <sup>1</sup>

\*: 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  $\gamma$  線放出核種の検出下限値

	*クリアラン		ISO	CSにより算出	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
<sup>54</sup> Mn	1.0E+00	9.52E+02	4.14E-02	3.65E+02	1.59E-02	4.17E+01	1.81E-03
<sup>60</sup> Co	4.0E-01	6.44E+02	2.80E-02	2.52E+02	1.10E-02	4.88E+01	2.12E-03
<sup>65</sup> Zn	1.0E+00	2.15E+03	9.35E-02	7.67E+02	3.33E-02	1.38E+02	6.00E-03
<sup>94</sup> Nb	2.0E-01	8.97E+02	3.90E-02	3.35E+02	1.46E-02	4.81E+01	2.09E-03
<sup>133</sup> Ba	2.0E+00	2.59E+03	1.13E-01	9.65E+02	4.20E-02	6.33E+01	2.75E-03
$^{134}\mathrm{Cs}$	5.0E-01	1.15E+03	5.00E-02	4.43E+02	1.93E-02	5.98E+01	2.60E-03
$^{137}\mathrm{Cs}$	1.0E+00	1.24E+03	5.39E-02	4.91E+02	2.13E-02	5.75E+01	2.50E-03
<sup>152</sup> Eu	4.0E-01	6.38E+03	2.77E-01	2.49E+03	1.08E-01	7.76E+02	3.37E-02
<sup>154</sup> Eu	4.0E-01	2.28E+03	9.91E-02	8.89E+02	3.87E-02	1.06E+02	4.61E-03
<sup>241</sup> Am	2.0E-01	2.37E+04	1.03E+00	8.15E+03	3.54E-01	1.29E+02	5.61E-03

<sup>\*</sup> 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	<sup>137</sup> Cs	<sup>241</sup> Am
(cm)	(Bq/sample)	(Bq/sample)
1	8.0×10 <sup>0</sup>	2.6×10 <sup>1</sup>
14	1.1×10 <sup>2</sup>	1.9×10 <sup>3</sup>
28	6.6×10 <sup>2</sup>	4.8×10 <sup>3</sup>
* (1) / (28)	0.012	0.005

<sup>\* 1</sup>cmにおける検出下限値 / 28cmにおける検出下限値

Table 10 鉛ドラム缶で検出されたγ線放出核種

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin
(KeV)	(KeV)	(% per decay)	
72.8	72.90		Tl-K $lpha$
74.93	75.00		Pb-K $lpha$
84.79	84.90		Pb−K β
87.33	87.20	3.70	<sup>214</sup> Pb
238.56	238.62	44.60	<sup>212</sup> Pb
351.89	351.92	37.20	<sup>214</sup> Pb
510.71	511.00		Annihilation radiation
583.17	583.19	84.50	<sup>208</sup> T1
609.28	609.31	46.30	<sup>214</sup> Bi
661.65	661.65	85.12	<sup>137</sup> Cs
911.38	911.21	26.60	<sup>228</sup> Ac
969.31	968.97	16.20	<sup>228</sup> Ac
1120.79	1,120.29	15.10	<sup>214</sup> Bi
1461.92	1,460.81	10.67	<sup>40</sup> K
1766.27	1764.49	15.8	<sup>214</sup> Bi

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-Kα
75.64	75.00		Pb-K $lpha$
85.32	84.90		Pb−K β
609.41	609.31	46.30	<sup>214</sup> Bi
661.55	661.65	85.12	<sup>137</sup> Cs
1460.91	1,460.81	10.67	<sup>40</sup> K

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

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

## JNC TN**Table 19-**003**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.25 廃棄物)

Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin	
(KeV)	(KeV)	(% per decay)		
59.23	59.54	35	<sup>237</sup> U	
	59.54	36	<sup>241</sup> Am	
74.61	75.00	-	Pb-K $lpha$	
98.18	98.78	0.00122	<sup>239</sup> Pu	
	98.97	0.0203	<sup>241</sup> Am	
100.47	99.85	0.00735	<sup>238</sup> Pu	
102.82	102.98	0.0195	<sup>241</sup> Am	
	103.06	0.00023	<sup>239</sup> Pu	
	103.50	0.00781	<sup>242</sup> Pu	
	103.68	0.000102	<sup>241</sup> Pu	
148.11	148.57	0.000185	<sup>241</sup> Pu	
207.62	208.00	21.14	<sup>237</sup> U	
	208.01	0.000791	<sup>241</sup> Am	
<b>267</b> .11	267.54	0.71	<sup>237</sup> U	
299.64	300.34	6.62	<sup>233</sup> Pa	
311.43	312.17	38.6	<sup>233</sup> Pa	
331.99	332.36	1.20	<sup>237</sup> U	
	332.85	0.000494	<sup>239</sup> Pu	
340.05	340.81	4.47	<sup>233</sup> Pa	
344.54	345.01	0.000556	<sup>239</sup> Pu	
370.44	370.94	0.107	<sup>237</sup> U	
374.7	375.05	0.00155	<sup>239</sup> Pu	
392.43	393.14	0.000348	<sup>239</sup> Pu	
397.95	398.62	1.39	<sup>233</sup> Pa	
413.2	413.713	0.001466	<sup>239</sup> Pu	
450.84	478.40	-	$^{11}$ B(n, $\alpha \gamma$ )or $^{7}$ Li(n,n' $\gamma$	
510.45	511.00	-	Annihilation radiation	
582.58	583.14	85.8	<sup>208</sup> T1	
618.51	619.01	0.000059	<sup>241</sup> Am	
661.95	662.4	0.000364	<sup>241</sup> Am	
721.52	722.01	0.000196	<sup>241</sup> Am	
726.85	727.25	6.66	<sup>212</sup> Bi	
765.98	766.39	0.000022	<sup>238</sup> Pu	
846.47	846.75	-	<sup>56</sup> Fe(n,n'γ)	
890.42			?	
1236.01			?	
1274.68	1274.54	99.93	<sup>22</sup> Na	
1461.31	1460.83	10.67	<sup>40</sup> K	
1528.69			?	
1593.26	1592.35	double escape	<sup>208</sup> T1	

Table 14 Pu-con 作業環境におけるピークカウントの比較

No	Room No	G/B No	energy (keV)	測定条件	Dose (μ Sv/h) sarvey	net(count)
	A324	P41B03	59	清掃前	20	1.27E+06
2			208			7.95E+03
2	A128	P41B03	59	清掃後	20	1.61E+06
			208			7.43E+03
	A324	P87B01	59	液循環前	20	2.25E+06
а			208			4.05E+04
	A324	P87B01	59	液循環後	20	2.53E+06
			208			4.31E+04
	A324	P87B01	59	液循環前	20	1.63E+06
ь			208			7.19E+04
U	A324	P87B01	59	液循環後	20	2.24E+06
			208			8.39E+04
	A324	P87B02	59	液循環前	0.6	6.86E+04
_			208			2.77E+03
С	A324	P87B02	59	液循環後	0.6	7.12E+04
			208			2.72E+03
	A324	P87B02	59	液循環前	1	7.37E+04
d			208			1.18E+03
a	A324	P87B02	59	液循環後	1	1.06E+05
			208			1.55E+03

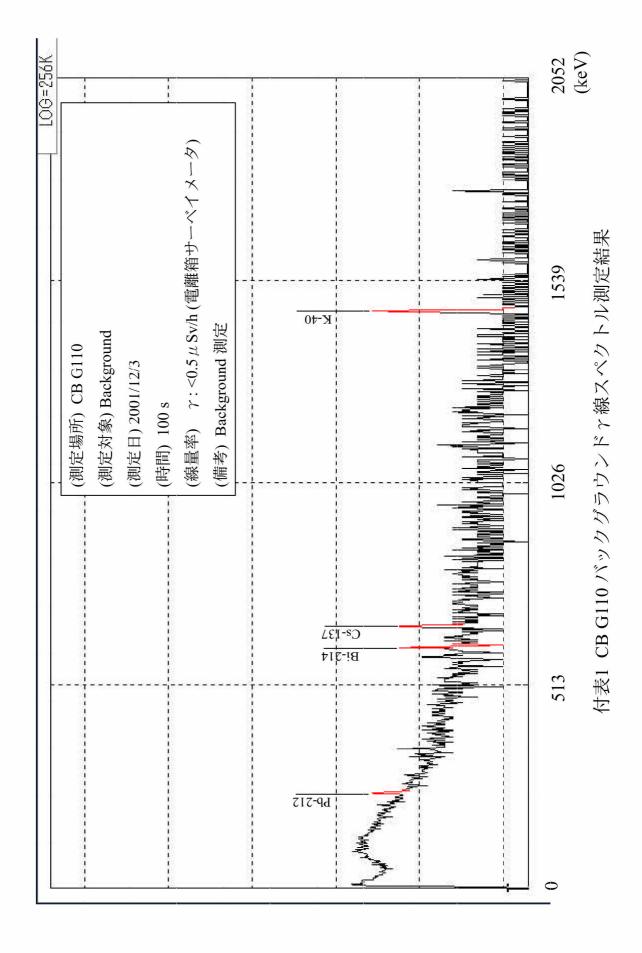
\*: Fig.3 参照

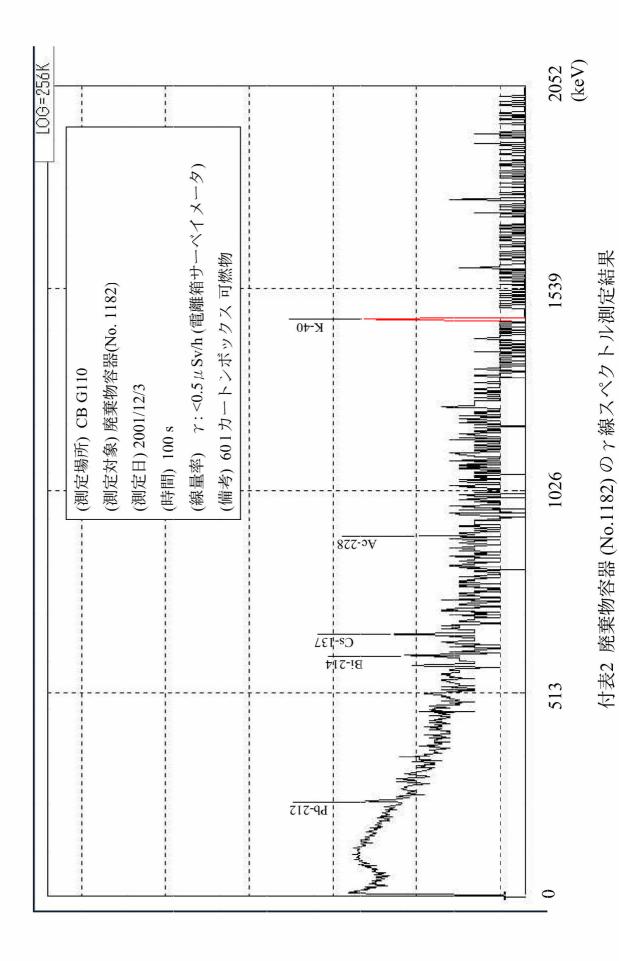
Table 15 Pu-con A324におけるグローブボックスで検出された  $\gamma$  線放出核種の例(No.a P87B01)

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

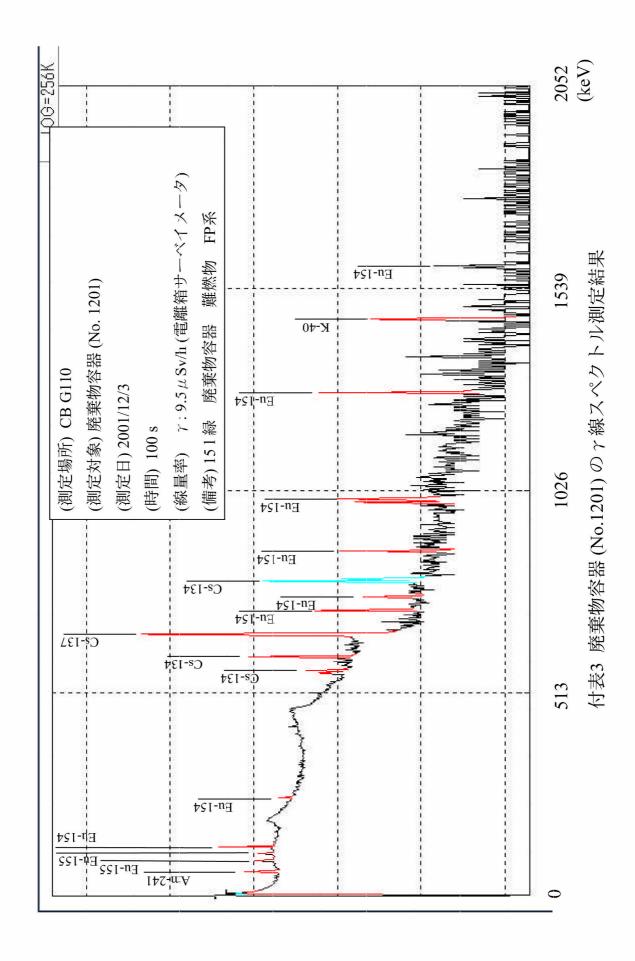
Table 16 Pu-con A324におけるグローブボックスで検出された  $\gamma$  線放出核種の例(No.c P87B02)

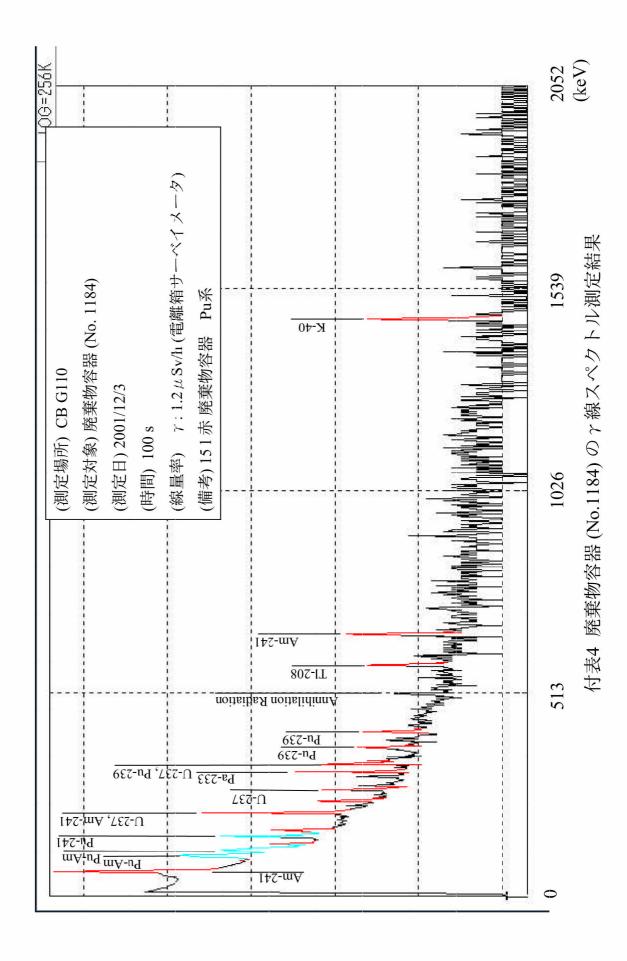
Observed energy	Expected energy	Branching ratio	Suspected origin	
(KeV)	(KeV)	(% per decay)		
59.33	59.54	35	<sup>237</sup> U	
	59.54	36	<sup>241</sup> Am	
94.44	94.64	0.60	<sup>237</sup> Np	
98.44	98.78	0.0012	<sup>239</sup> Pu	
100.70	99.85	0.010	<sup>238</sup> Pu	
103.04	103.68	0.00010	<sup>241</sup> Pu	
	103.50	0.0078	<sup>242</sup> Pu	
	103.06	0.00023	<sup>239</sup> Pu	
	104.23	0.0070	<sup>240</sup> Pu	
113.77	116.26	0.00060	<sup>237</sup> U	
148.28	148.57	0.00019	<sup>241</sup> Pu	
164.39	164.61	1.85	<sup>237</sup> U	
207.65	208.00	21.14	<sup>237</sup> U	
	203.55	0.00057	<sup>239</sup> Pu	
267.20	267.54	0.71	<sup>237</sup> U	
267.20	312.17	38.6	<sup>233</sup> Pa	
331.68	332.36	1.2	<sup>237</sup> U	
331.98	332.85	0.00049	<sup>239</sup> Pu	
661.4	661.66	85.1	<sup>241</sup> Am	

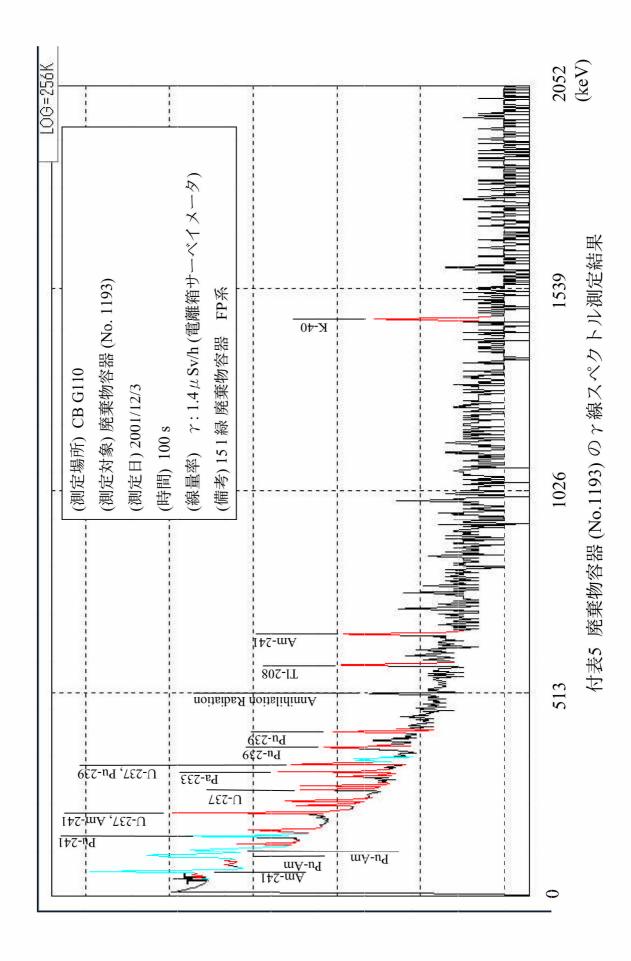


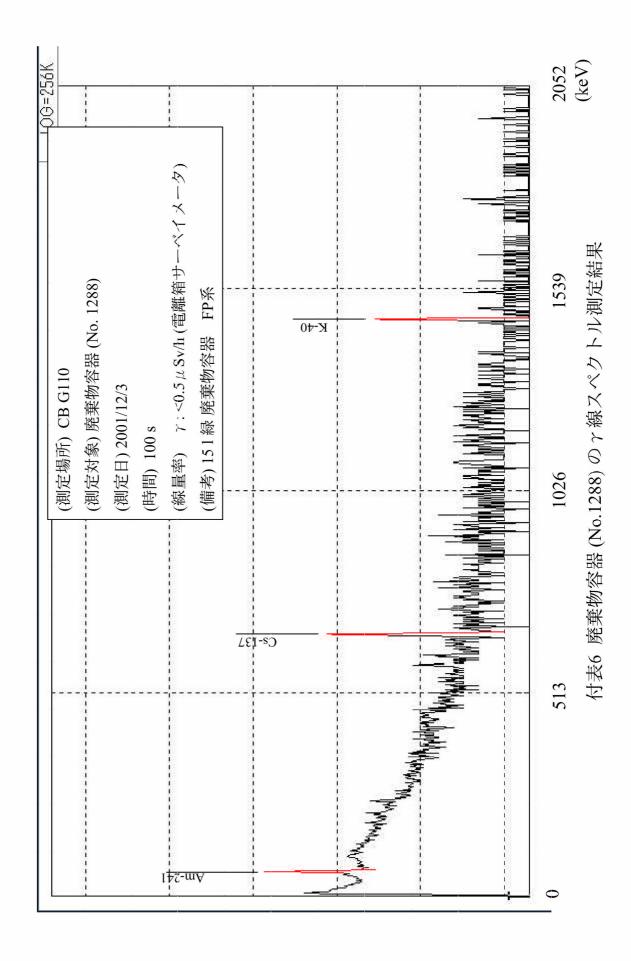


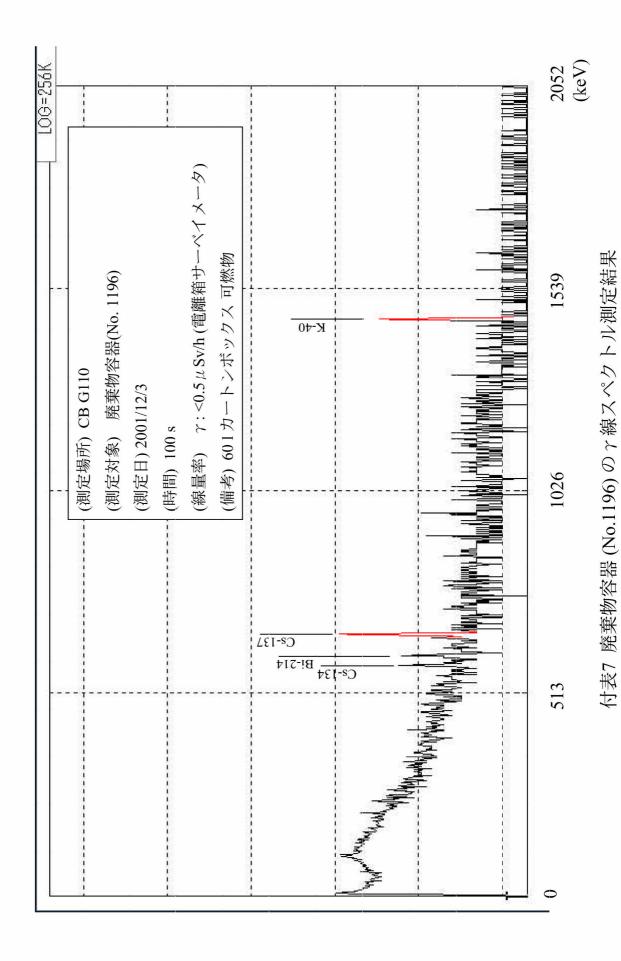
-43-



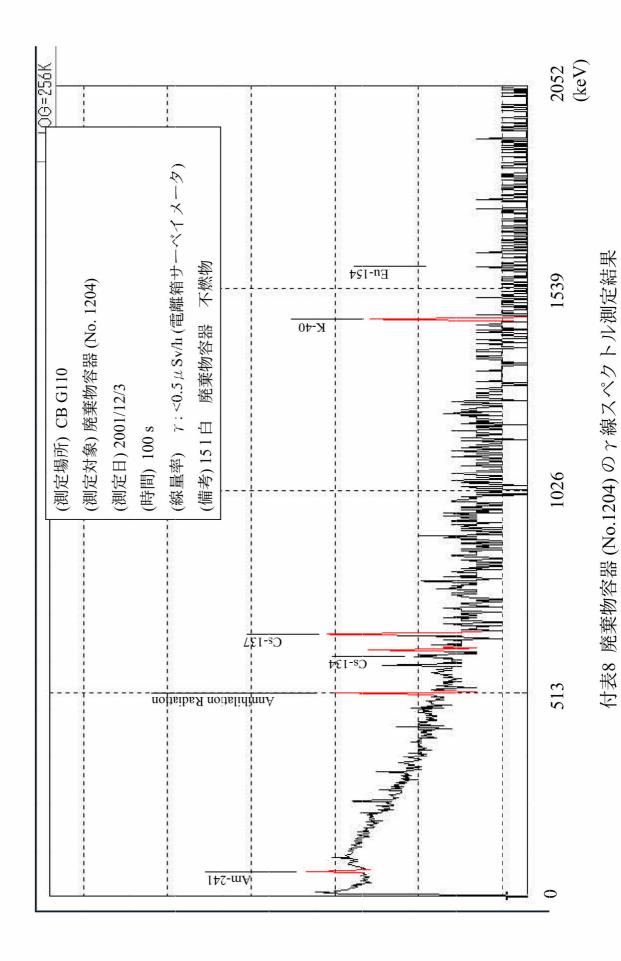




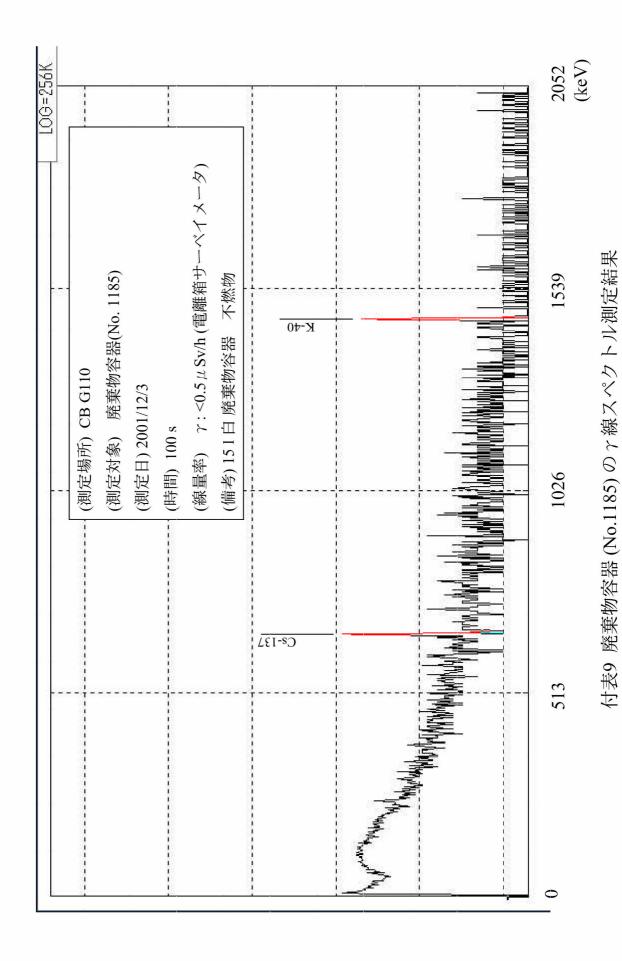




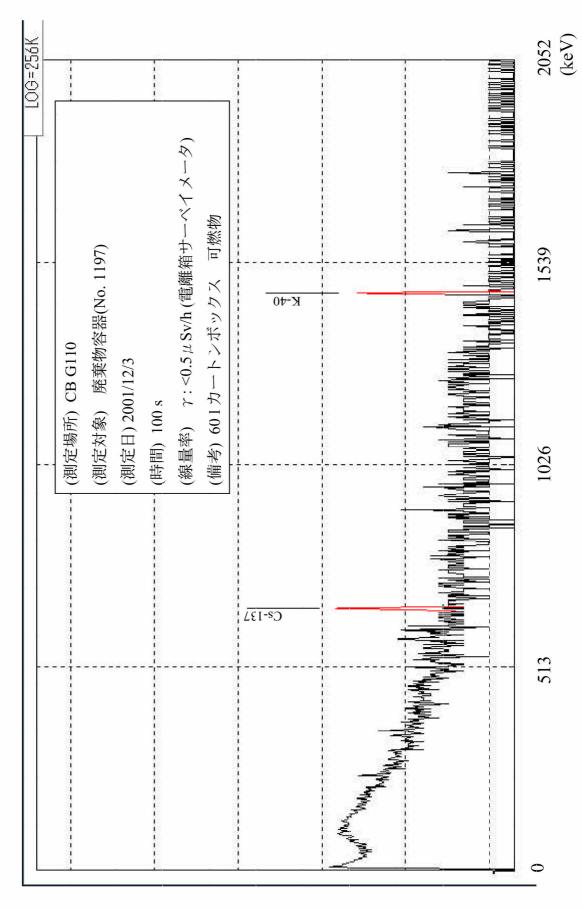
-48-



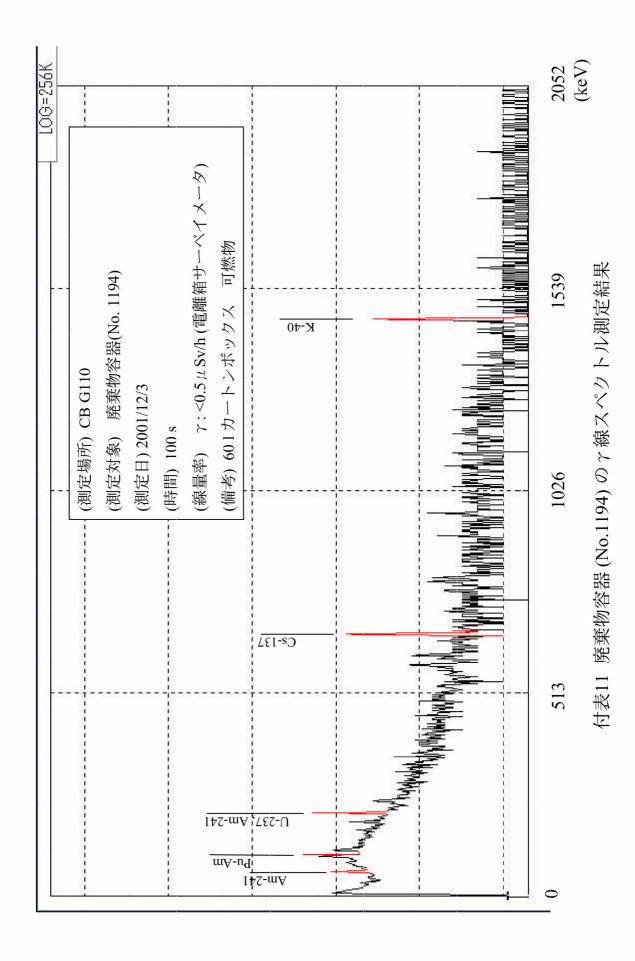
-49-

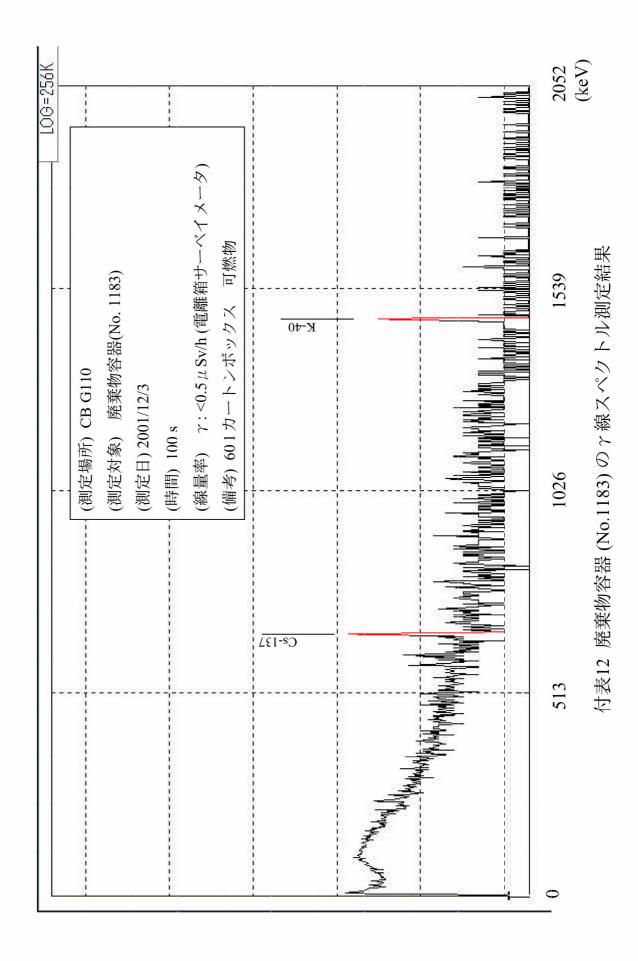


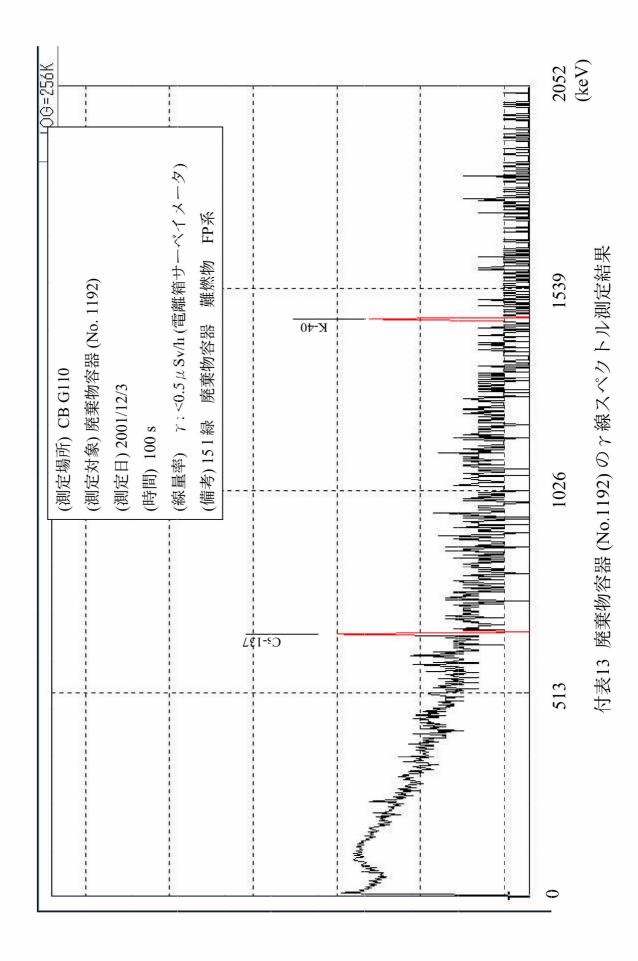
-50-

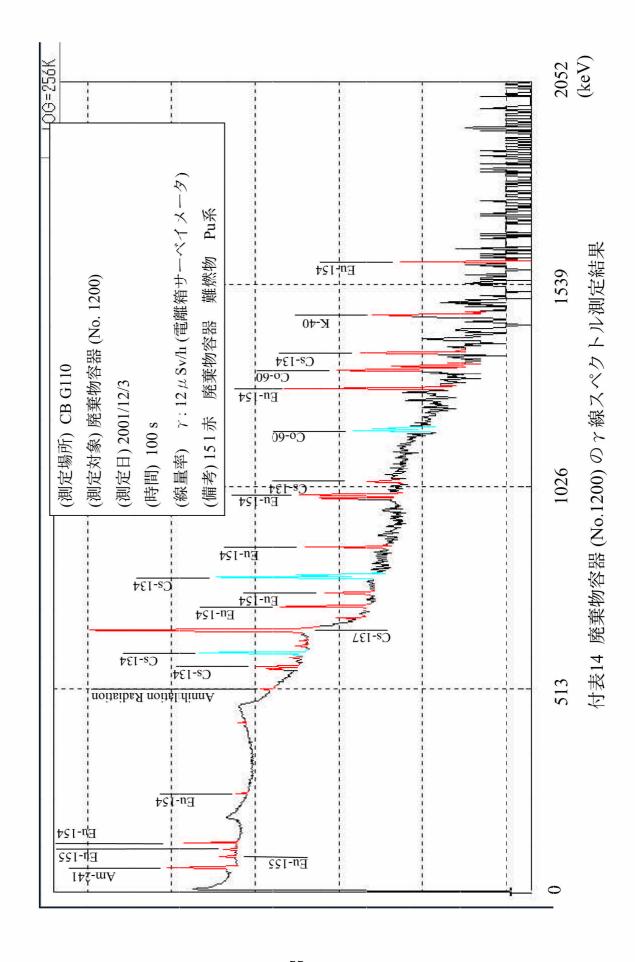


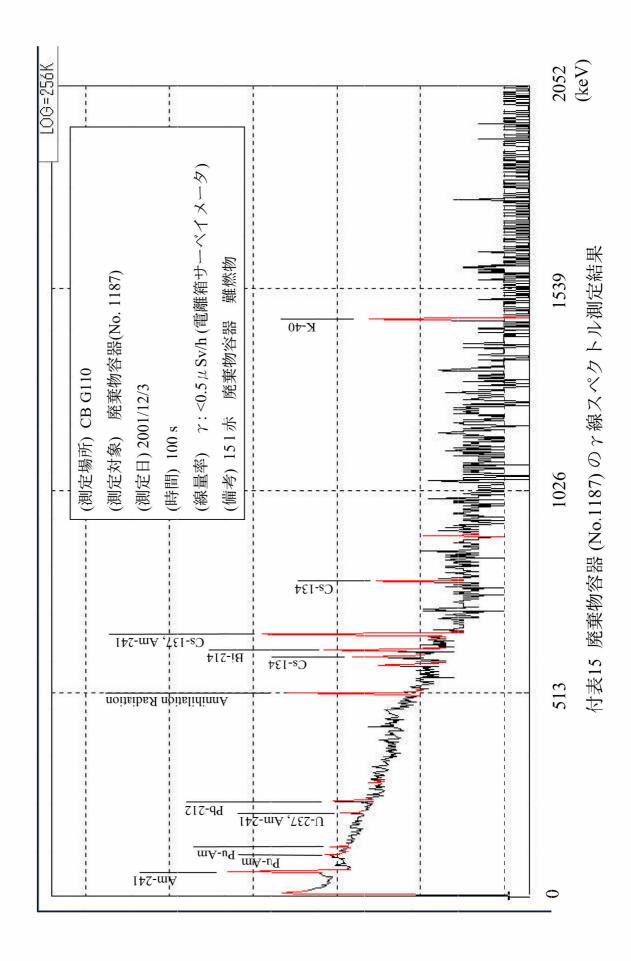
付表10 廃棄物容器 (No.1197) のァ線スペクトル測定結果

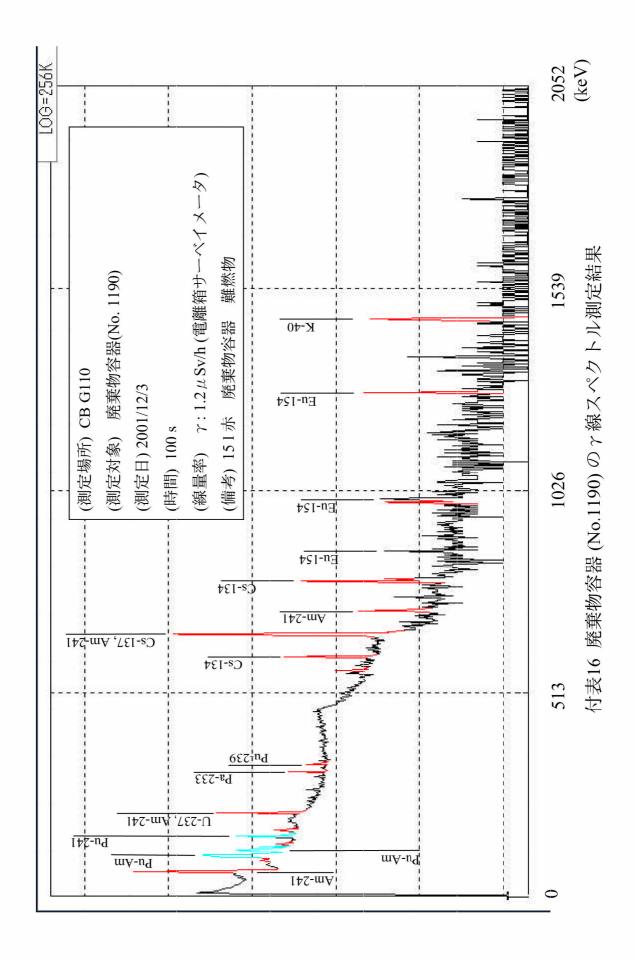


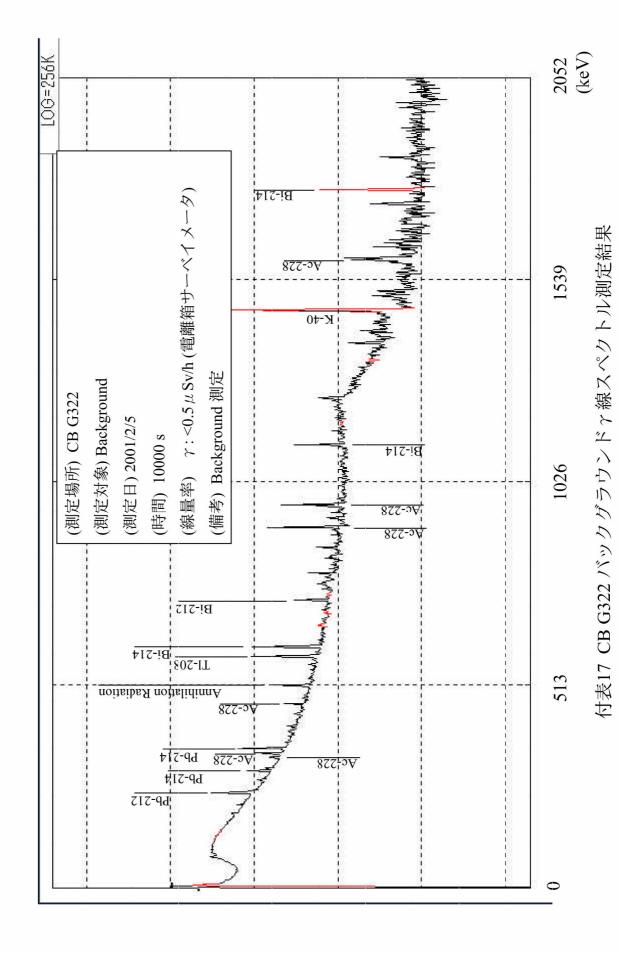




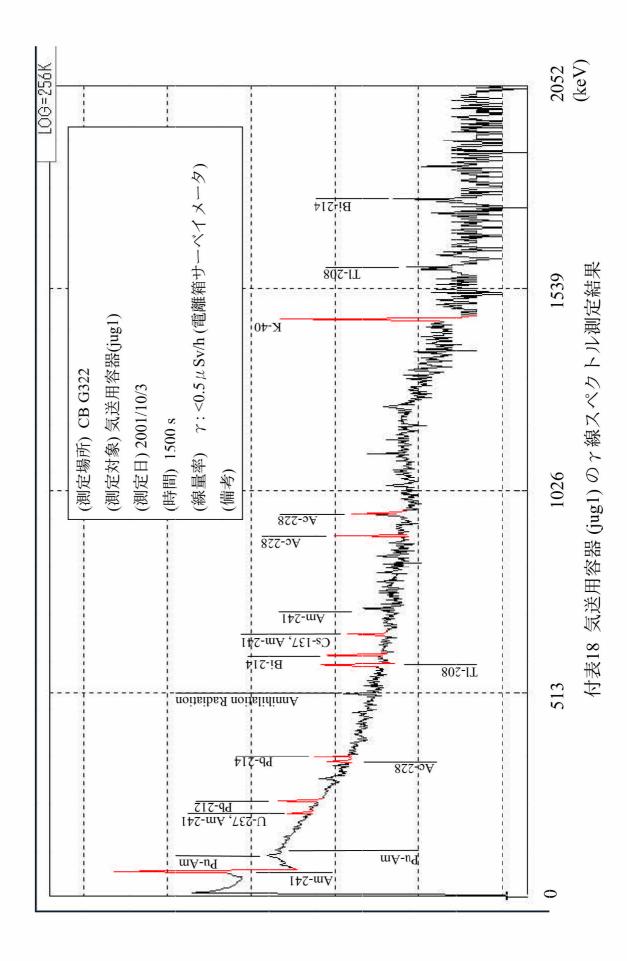


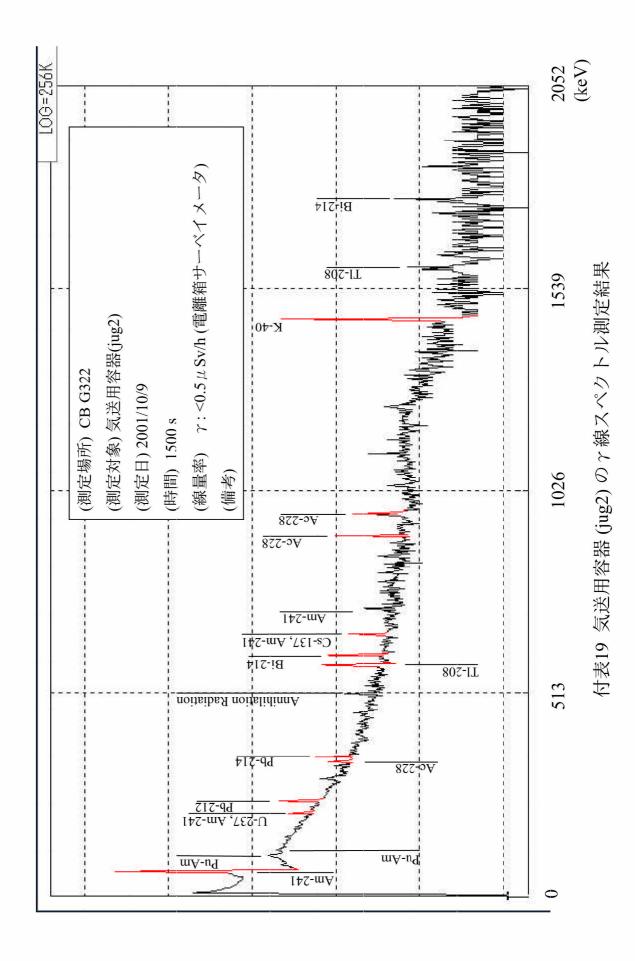


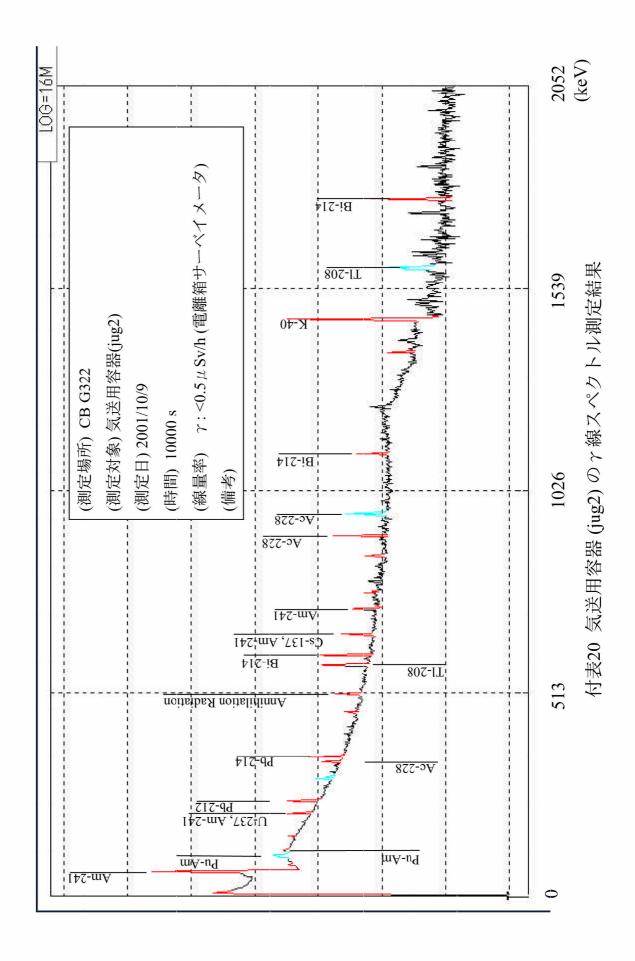


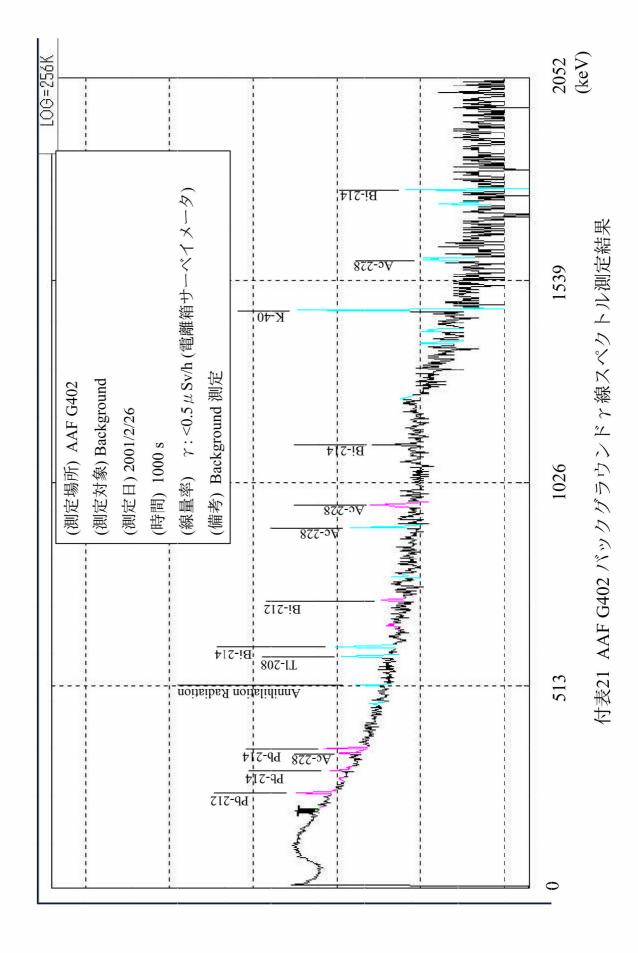


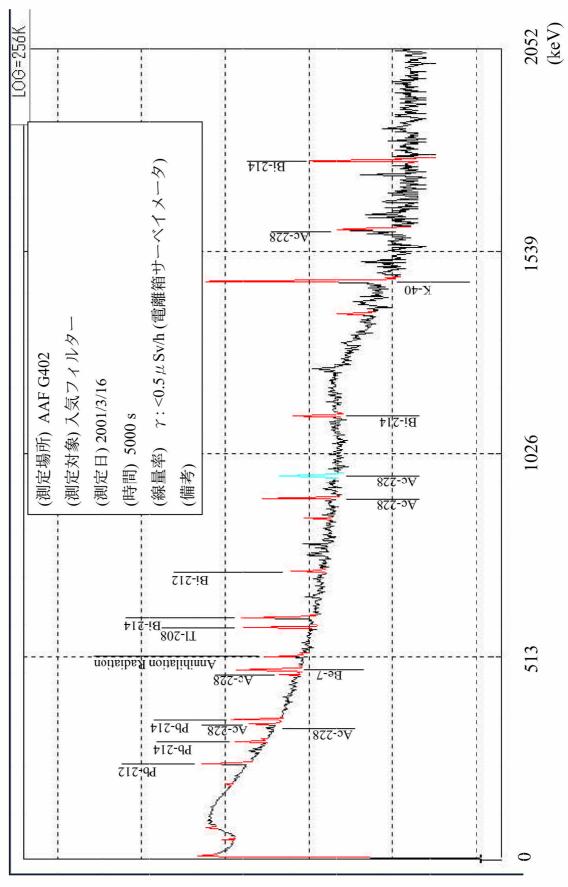
-58-











付表22 入気フイルターのγ線スペクトル測定結果

