

廃棄物コンテナ非破壊測定装置 (WCAS) 2号機の
特性試験及び IAEA アクセプトランステスト
(技術報告)

2002年4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

廃棄物コンテナ非破壊測定装置 (WCAS) 2 号機の
特性試験及び IAEA アクセプトテスト

(技術報告)

舘野久夫, 小林茂*, 土居健二*, 青木勲, 柴田照夫, 浅妻新一郎

要 旨

プルトニウム燃料センターでは, 第 2 プルトニウム廃棄物貯蔵施設の新設に伴い, 貯蔵施設で貯蔵するコンテナ内の放射性固体廃棄物中に含まれる Pu 量を測定するために, 米国キャンベラ社で製作した WCAS2 号機を導入した。

本装置は, 2000 年 6 月から特性試験, 次いで 2001 年 3 月には文部科学省査察官立会いのもと IAEA がアクセプトテストを実施し, 2001 年 6 月から計量管理機器及び査察機器として運用を開始している。

ここで実施した特性試験は, 標準線源に PuO₂ 粉末を用い, 実廃棄物に近い状態となるように線源を配置するなど, WCAS1 号機の特性試験の知見を踏まえ実施した。

その結果, 測定誤差は約 9%(1)以下となり, 検出下限値は約 2mg(²⁴⁰Pu-eff) となった。

また, アクセプトテストにより, 査察時に必要な各パラメータを設定することができた。

プルトニウム燃料センター 環境保全部 環境管理課

* 原子力技術株式会社

JNC TN8410 2002-008

April, 2002

Characteristic Examination and IAEA Acceptance Test for Waste Container Assay System (WCAS) #2

(Technical Document)

Hisao TATENO Shigeru KOBAYASHI* Kenji DOI* Isao AOKI
Teruo SHIBATA Shinichiro ASAZUMA

Abstract

The Plutonium Fuel Center at Tokai Works has installed the Waste Container Assay System #2 made by Canberra Industries in US to assay the quantity of plutonium at 2nd PWSF. The Center had performed characteristic examination for WCAS#2 since June of 2000, and IAEA had performed the acceptance test for this equipment with MEXT JSGO inspectors in March of 2001. Therefore, WCAS#2 was available to use as an accountancy control device and a safeguards inspection device since June of 2001.

This characteristic examination was performed based on the experience of a similar examination of WCAS#1 using the PuO₂ powder of standard samples which were arranged to enter a state near real waste container. As a result, Assay error became about 9%(1 σ) or less and the lower limit of detection is about 2mg(²⁴⁰Pu-eff).

The safeguards inspection parameter was able to be set by this acceptance test.

Waste Management Division, Plutonium Fuel Center, Tokai Works

*Nuclear Technology & Engineering Co.,LTD

目 次

1. はじめに	1
2. 装置の概略構造	1
3. 試験スケジュール	5
4. 標準試料	6
4.1 Pu 線源	6
4.2 中性子線源	11
5. 供試体	11
5.1 模擬廃棄物コンテナ	11
5.2 試験治具	12
5.3 模擬廃棄物	12
6. 特性試験	13
6.1 高電圧プラトー特性	13
6.1.1 概要	13
6.1.2 試験方法	13
6.1.3 試験結果	13
6.2 ダイアウェイタイム及びゲート幅	16
6.2.1 概要	16
6.2.2 試験方法	18
6.2.3 試験結果	18
6.2.4 デミングソフトによるフィッティング結果	19
6.2.5 ダイアウェイタイム()の算出	19
6.2.6 ゲート幅の決定	19
6.3 中性子検出効率	21
6.3.1 概要	21
6.3.2 試験方法	21
6.3.3 試験結果	24

6.4	チェンバ内感度分布 (プロファイル)	29
6.4.1	概要	29
6.4.2	試験方法	29
6.4.3	試験結果	31
6.5	Pu キャリブレーション(検量線の作成)	41
6.5.1	概要	41
6.5.2	検量線及び ²⁴⁰ Pu - eff の定義	41
6.5.3	試験方法	42
6.5.4	試験結果	44
6.6	AAS キャリブレーション(中性子吸収曲線の作成)	47
6.6.1	概要	47
6.6.2	マトリックスの調整	47
6.6.3	試験方法	49
6.6.4	試験結果	49
6.7	測定誤差評価	58
6.7.1	概要	58
6.7.2	誤差(error)の定義	58
6.7.3	マトリックスの調整	58
6.7.4	試験方法	59
6.7.5	試験結果	61
6.8	検出下限値	74
6.8.1	概要	74
6.8.2	検出下限値の算出	74
6.8.3	マトリックスの調整	74
6.8.4	試験方法	76
6.8.5	試験結果	76
6.9	クロストーク	82
6.9.1	概要	82
6.9.2	試験方法	82
6.9.3	試験結果	82
6.9.4	検定の方法	86

7. IAEA アセプトテスト 88

8. おわりに 116

9. 参考文献 118

目 次

図 2.1 WCAS2 号機外観 2

図 4.1 Pu 線源 7

図 6.1 高電圧プラトー特性 15

図 6.2 1 ロッシアルファ分布 17

図 6.2 2 ダイアウェイタイムの決定 19

図 6.2 3 ゲート幅の決定 20

図 6.3 1 チェンバ中心中性子検出効率中性子線源位置 22

図 6.3 2 コンテナ体積平均中性子検出効率中性子線源位置 23

図 6.3 3 検出効率 (X 軸) 26

図 6.3 4 検出効率 (Y 軸) 27

図 6.3 5 検出効率 (Z 軸) 28

図 6.4 1 チェンバ内感度分布中性子線源位置 30

図 6.4 2 水平方向の応答性 (X 軸) 36

図 6.4 3 水平方向の応答性 (Y 軸) 36

図 6.4 4 水平方向の応答性 (軸) 37

図 6.4 5 水平方向の応答性 (軸) 37

図 6.4 6 垂直方向の応答性 (Z 軸) 38

図 6.4 7 WCAS チェンバ内における相対感度分布(Total Rate) 39

図 6.4 8 WCAS チェンバ内における相対感度分布(Real Rate) 40

図 6.5 1 Pu キャリブレーション Pu 線源位置 43

図 6.5 2 検量線 46

図 6.6 1 AAS キャリブレーション Pu 線源位置 50

図 6.6 2 中性子吸収曲線 57

図 6.7 1 測定誤差評価試験 Pu 線源位置 60

図 6.7 2 Pu 量と測定値 66

図 6.7 3 測定時間と誤差の相関 67

図 6.7 4 測定時間と系統誤差の相関 68

図 6.7	5	測定時間と偶然誤差の相関	69
図 6.7	6	AAS Pert. と系統誤差の相関	70
図 6.7	7	AAS Pert. と誤差の相関(1800 秒)	71
図 6.7	8	AAS Pert. と系統誤差の相関(1800 秒)	72
図 6.7	9	AAS Pert. と偶然誤差の相関(1800 秒)	73
図 6.8	1	計算上の検出下限値と測定時間の相関	78
図 6.8	2	計算上の検出下限値とリアルバックグラウンドの相関	80
図 6.8	3	計算上の検出下限値とトータルバックグラウンドの相関	81
図 6.9		第 2PWSF 測定エリア概略図	83
図 7.6 - 1		WCAS2 号機測定概念図	92
図 7.6 - 2		Efficiency & Profile Test 中性子線源位置	96
図 7.6 - 3		PROFILE(Bottom to Top) / center	102
図 7.6 - 4		PROFILE(Bottom to Top) / Ave.	103
図 7.6 - 5		PROFILE(Front to Back) / center	104
図 7.6 - 6		PROFILE(Front to Back) / Ave.	105
図 7.6 - 7		PROFILE(Left to Right) / center	106
図 7.6 - 8		PROFILE(Left to Right) / Ave.	107
図 7.6 - 9		検量線	108
図 7.6 - 10		Pu Calibration Pu 線源位置	109
図 7.6 - 11		Overall Performance Test Pu 線源位置	112

表 目 次

表 3.1		試験スケジュール	5
表 4.1	1	Pu 線源の秤量データ	8
表 4.1	2	PuO ₂ 分析データ	9
表 4.1	3	Pu 線源の PSMC 測定結果	10
表 6.1	1	高電圧プラトー特性試験条件	13
表 6.1	2	Total Rate 測定結果	14
表 6.2	1	ダイアウエイタイム及びゲート幅確認試験条件	18
表 6.2	2	Real Rate 測定結果	18
表 6.3	1	中性子検出効率試験条件	21
表 6.3	2	チェンバ中心検出効率	24
表 6.3	3	コンテナ体積平均検出効率	25

表 6.4	1	チェンバ内感度分布試験条件	29
表 6.4	2	プロファイル測定結果 (高さ a)	32
表 6.4	3	プロファイル測定結果 (高さ b)	32
表 6.4	4	プロファイル測定結果 (高さ c)	33
表 6.4	5	プロファイル測定結果 (高さ d)	33
表 6.4	6	プロファイル測定結果 (高さ e)	34
表 6.4	7	プロファイル測定結果 (高さ f)	34
表 6.4	8	プロファイル測定結果 (高さ g)	35
表 6.4	9	プロファイル測定結果 (全測定値)	35
表 6.5	1	Pu キャリブレーション試験条件	42
表 6.5	2	Pu キャリブレーション結果	45
表 6.6	1	模擬マトリックス(AAS キャリブレーション)	48
表 6.6	2	AAS キャリブレーション試験条件	49
表 6.6	3	AAS キャリブレーション測定データ(1)	51
表 6.6	4	AAS キャリブレーション測定データ(2)	51
表 6.6	5	AAS キャリブレーション測定データ(3)	52
表 6.6	6	AAS キャリブレーション測定データ(4)	52
表 6.6	7	AAS キャリブレーション測定データ(5)	53
表 6.6	8	AAS キャリブレーション測定データ(6)	53
表 6.6	9	AAS キャリブレーション測定データ(7)	54
表 6.6	10	AAS キャリブレーション測定データ(8)	54
表 6.6	11	AAS キャリブレーション測定データ(9)	55
表 6.6	12	AAS キャリブレーション測定データ(10)	55
表 6.6	13	AAS キャリブレーション結果	56
表 6.7	1	模擬マトリックス(測定誤差評価試験)	59
表 6.7	2	測定誤差評価試験条件	59
表 6.7	3	測定誤差評価試験結果(1)	63
表 6.7	4	測定誤差評価試験結果(2)	63
表 6.7	5	測定誤差評価試験結果(3)	64
表 6.7	6	測定誤差評価試験結果(4)	64
表 6.7	7	誤差及びその内訳	65
表 6.8	1	模擬マトリックス(検出下限値)	75
表 6.8	2	バックグラウンド測定条件	76
表 6.8	3	バックグラウンド測定結果	77
表 6.8	4	検出下限値の計算結果	77
表 6.9	1	クロストーク試験条件	82

表 6.9	2	“ クロストーク ” 無の測定結果	84
表 6.9	3	“ クロストーク ” 有の測定結果	85
表 6.9	4	F 検定及び t 検定の結果	87
表 7.4		アクセプタンステスト スケジュール	89
表 7.5		WCAS2 号機用測定パラメータ	90
表 7.6	1	バックグラウンド測定結果及びパラメータ	92
表 7.6	2	AAS 初期設定値及びパラメータ	94
表 7.6	3	Normalization 初期設定値及びパラメータ	94
表 7.6	4	Authentication 初期設定値	95
表 7.6	5	検出効率 (Efficiency) 試験結果	97
表 7.6	6	WDAS4 号機による Authentication 試験結果	99
表 7.6	7	Dead time 係数測定結果	99
表 7.6	8	Dead time 係数評価結果	99
表 7.6	9	Die away time 試験結果	100
表 7.6	10	PROFILE(Bottom to Top) 試験結果	100
表 7.6	11	PROFILE(Front to Back) 試験結果	101
表 7.6	12	PROFILE(Left to Right) 試験結果	101
表 7.6	13	Pu キャリブレーション測定結果	110
表 7.6	14	Overall Performance Test 結果	113
表 7.6	15	Overall Performance Test 補正結果	115

写 真 目 次

写真 2.1	WCAS2 号機外観	3
写真 2.2	コンテナ配置	3
写真 2.3	中性子計測器	4
写真 2.4	操作キャビネット	4
写真 5.1	模擬廃棄物コンテナ外観	11
写真 5.2	試験治具	12

1. はじめに

放射性固体廃棄物に含まれるプルトニウム量(以下, Pu 量)の測定は, 核物質の計量管理及び保障措置上必要であるうえに, 取扱い時の安全性及び処理・処分にかかわる安全評価の上でも重要である。

放射性固体廃棄物の収納容器としては, 200ℓドラム缶, ミニコンテナ及びコンテナに大別される。これらに収納した放射性固体廃棄物に含まれる Pu 量を測定する機器としては, 廃棄物ドラム非破壊測定装置(Waste Drum Assay System; 以下, WDAS)及び廃棄物コンテナ非破壊測定装置(Waste Container Assay System; 以下, WCAS)1号機があり, 既に実用化している。

東海事業所プルトニウム燃料センター(以下, プルセンター)では, WDASの使用実績及び WCAS1号機(以下, WCAS#1)の製作実績を踏まえ, 第2プルトニウム廃棄物貯蔵施設(以下, 第2PWSF)に貯蔵しているコンテナ内の放射性固体廃棄物に含まれる Pu 量を測定する機器として, WCAS2号機(以下, WCAS#2)を導入した。

WCAS#2は, 米国キャンベラ社で製作され, 1999年2月, 第2PWSFに搬入・設置した。

WCAS#2は, 2000年6月から特性試験を開始し, 2001年3月に文部科学省査察官立会いのもと実施されたIAEAのアクセプタンステスト(以下IAEAアクセプタンステスト)を経て, 2001年6月に計量管理機器及び査察機器として運用を開始している。

本報告書は, WCAS#2の概要, 特性試験の方法・結果及びIAEAアクセプタンステストについてまとめたものである。

2. 装置の概略構造

WCAS#2は, ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu が自発核分裂するときに発生する同時中性子を計測するパッシブ中性子同時計数法と, Pu同位体組成比を決定する高分解能ガンマ線スペクトル分析法(HRGS)を組み合わせることで, 廃棄物コンテナ内に存在するPuの質量を求めるものである。さらに, 廃棄物の母材(以下, マトリックス)による中性子散乱・吸収(以下, マトリックス効果)を補正する線源付加(Add-A-Source; 以下, AAS)法を組み込んでいる。

WCAS#1との主な仕様の相違点としては, 計数管の仕様の違いがある。具体的には, WCAS#1の計数管は, 4気圧充填した直径50.8mmの計数管を64本で構成しているのに対し, 検出効率をあげるため, WCAS#2の計数管は, 4.5気圧充填した直径25.4mm(1inch)の計数管を96本にしている。

WCAS#2は, 測定チェンバを有する本体, 中性子計測装置及びコンピュータ等を収納した操作キャビネットから構成されており, 外観は, 図2.1, 写真

2.1～2.4 のとおりである。

測定対象廃棄物コンテナの測定チェンバへの出し入れは，操作キャビネットのコンピュータ又は前面の制御スイッチの操作で行い，コンテナ積載用トローリの架台の足には，廃棄物コンテナの総重量を計るロードセルを組み込んでいる。

チェンバ内6面に設置された高密度ポリエチレンの中には，計数管96本が埋め込まれており，チェンバの内側には高密度ポリエチレンの損傷を抑えるため，アルミニウム板が内張されている。

機器本体左右の側面には，Pu 同位体の組成比を得るため，高純度ゲルマニウム検出器 4 台及び検出器を冷却するための 30ℓ液体窒素デュワー4 台を据付けている。

AAS の ^{252}Cf 線源は，テレフレックスケーブル先端に取付け，機器本体上部に設置した線源貯蔵箱からチューブを通してコンテナの側面位置及び底面位置にコンピュータ制御で配置する。

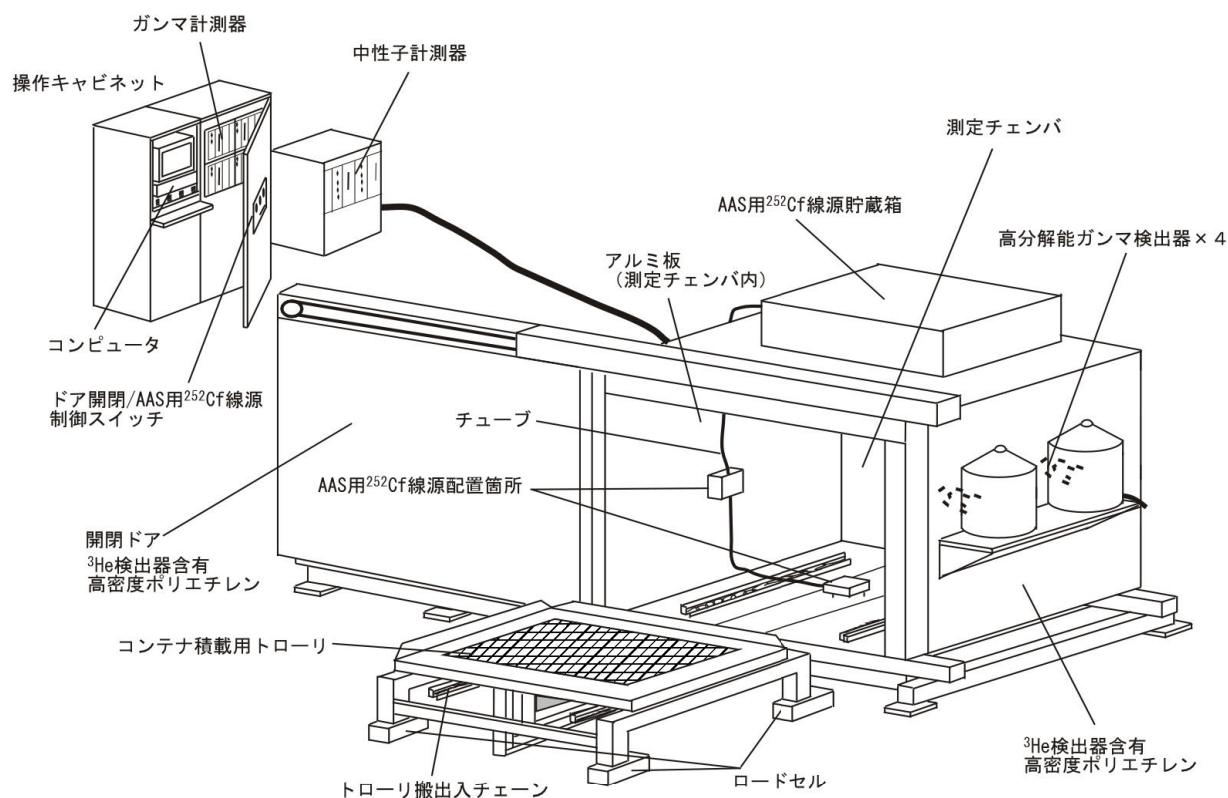


図 2.1 WCAS2 号機外観



写真 2.1 WCAS 2号機外観



写真 2.2 コンテナ配置



写真 2.3 中性子計測器



写真 2.4 操作キャビネット

3. 試験スケジュール

特性試験は 2000 年 6 月に開始し, 2001 年 2 月に終了した。

その後, IAEA のアクセプタンステストは, 2001 年 3 月 26 日 ~ 3 月 30 日に実施された。

試験スケジュールを表 3.1 に示す

表 3.1 試験スケジュール

項目	年 月	2000 (H12)						2001 (H13)				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
1	高電圧プラトー特性	■										
2	ダイアウェイタイム及びゲート幅		■									
3	中性子検出効率		■	■								
4	コンテナ内感度分布 (プロファイル)			■	■	■						
5	Pu キャリブレーション (検量線の作成)				■	■						
6	AAS キャリブレーション (中性子吸収曲線の作成)					■	■	■				
7	測定誤差評価試験							■	■	■		
8	検出下限値										■	
9	クロストーク試験										■	
10	IAEA アクセプタンステスト (3/26 ~ 3/30)											■

4. 標準試料

4.1 Pu 線源

特性評価試験に使用する Pu 線源は、プルトニウム燃料センター 環境保全部 技術開発室が所有している PuO₂ を用い、製造加工部 技術開発室において製作されたものである。

Pu 線源の内訳としては、PuO₂ 粉末 1g、3g 及び 8g をそれぞれ秤量し、樹脂製のサンプル瓶に入れ、バッグアウト後ステンレス製容器に封入した（図 4.1 参照）。各 Pu 線源を 2 個組み合わせて使用する場合は、図 4.1 に示すようにステンレス製容器収納用治具内に重ねて収納した。

本試験で使用した Pu 線源の秤量データ、分析データ及び PSMC(Plutonium Scrap Multiplicity Counter)による PuO₂ 中の Pu 量測定データを表 4.1-1、表 4.1-2 及び表 4.1-3 に示す。

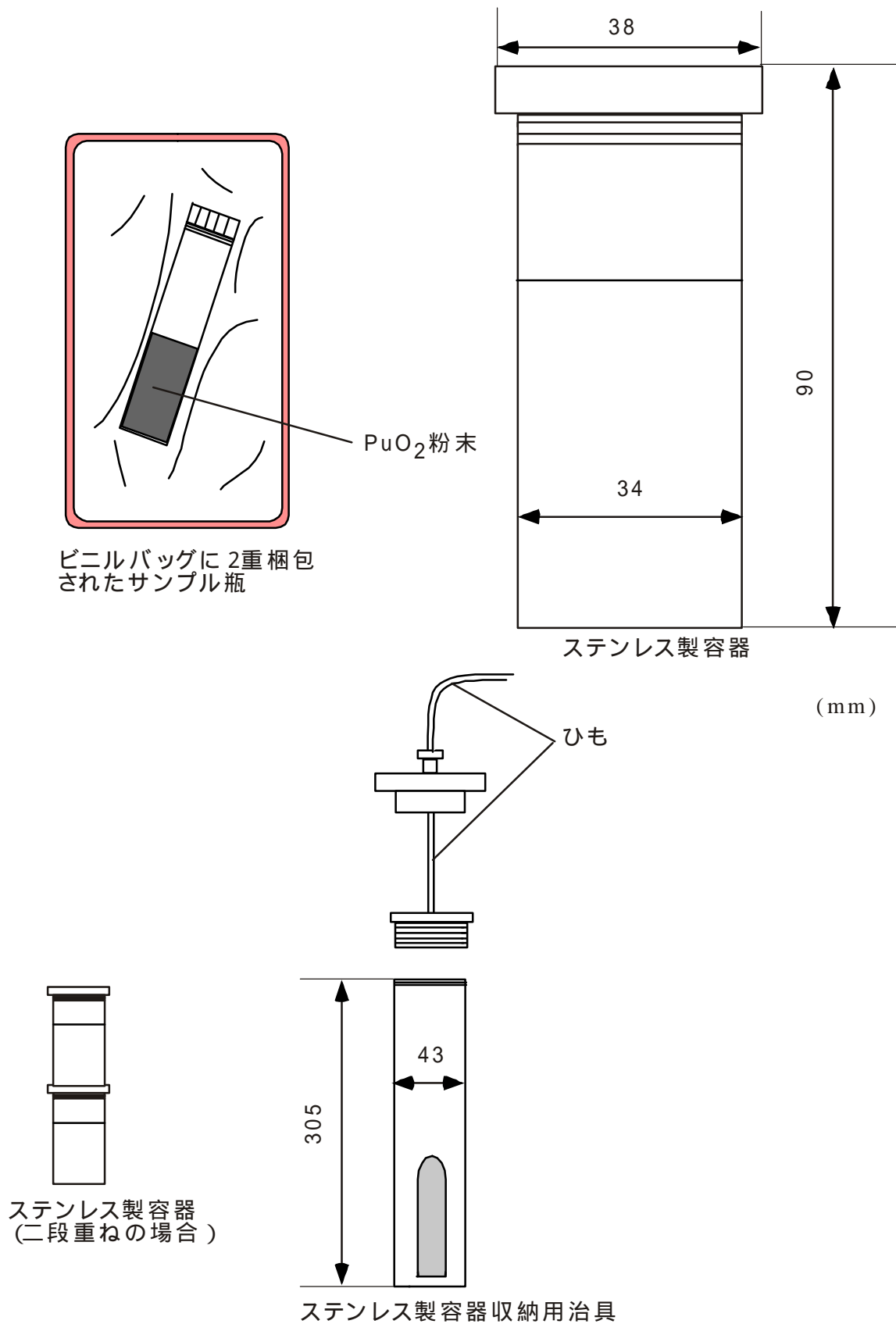


図 4.1 Pu 線源

表4.1-1 Pu線源の秤量データ

	試料番号	PuO ₂ 重量(g)	Pu-metal(g)
1g試料	NDA01 - 1G	1.17	0.973
	NDA02 - 1G	1.20	0.998
	NDA03 - 1G	1.20	0.998
	NDA04 - 1G	1.20	0.998
	NDA05 - 1G	1.20	0.998
	NDA06 - 1G	1.19	0.989
	NDA07 - 1G	1.20	0.998
	NDA08 - 1G	1.20	0.998
	NDA09 - 1G	1.20	0.998
	NDA10 - 1G	1.20	0.998
	NDA11 - 1G	1.20	0.998
	NDA12 - 1G	1.20	0.998
	NDA13 - 1G	1.20	0.998
	NDA14 - 1G	1.20	0.998
	NDA15 - 1G	1.20	0.998
	NDA16 - 1G	1.20	0.998
	NDA17 - 1G	1.20	0.998
	小 計	20.36	16.925
3g試料	NDA18 - 3 G	3.59	2.984
	NDA19 - 3 G	3.59	2.984
	NDA20 - 3 G	3.60	2.993
	NDA21 - 3 G	3.62	3.009
	NDA22 - 3 G	3.60	2.993
	NDA23 - 3 G	3.60	2.993
	NDA24 - 3 G	3.60	2.993
	NDA25 - 3 G	3.60	2.993
	NDA26 - 3 G	3.60	2.993
	NDA27 - 3 G	3.60	2.993
	NDA28 - 3 G	3.60	2.993
	NDA29 - 3 G	3.60	2.993
	NDA30 - 3 G	3.60	2.993
	NDA31 - 3 G	3.60	2.993
	NDA32 - 3 G	3.60	2.993
	NDA33 - 3 G	3.60	2.993
	小 計	57.60	47.883
8g試料	NDA34 - 8 G	9.63	8.005
	NDA35 - 8 G	9.60	7.980
	NDA36 - 8 G	9.60	7.980
	NDA37 - 8 G	9.61	7.989
		小 計	38.44
合 計		116.40	96.763

PuO₂秤量実施課 製造加工部 技術開発室
Pu-metal=PuO₂重量 × プルトニウム含有率 (83.13%)

表 4.1-2 PuO₂ 分析データ

試料番号		NDA0001	
核物質区分		PU000078302	
核燃料物質 ID No.		R063	
プルトニウム含有率		%	83.130
プルトニウム同位 体組成 (2000.07.07)	²³⁸ Pu	%	0.651
	²³⁹ Pu	%	70.681
	²⁴⁰ Pu	%	22.356
	²⁴¹ Pu	%	3.490
	²⁴² Pu	%	2.822
²⁴¹ Am (2000.05.18)		%	1.31
水分		ppm	5400
F		ppm	18
Cl		ppm	< 10
C		ppm	65
N		ppm	1000
Ag		ppm	20
Al		ppm	320
B		ppm	< 5
Cd		ppm	< 5
Cr		ppm	< 50
Cu		ppm	< 10
Fe		ppm	360
Mg		ppm	160
Mn		ppm	140
Ni		ppm	< 50
Si		ppm	< 100
V		ppm	< 50
Zn		ppm	< 100
Pb		ppm	< 30
Sn		ppm	< 30
Mo		ppm	< 50
Ca		ppm	270
Na		ppm	< 50

・PuO₂ 分析実施課: 技術部 分析課, 製造加工部 技術開発室

表 4.1-3 Pu 線源の PSMC 測定結果

試料番号	Pu 重量 申告値(g)	Multiplicity 法		Known alpha 法	
		測定値(g)	誤差 (%)	測定値(g)	誤差 (%)
NDA01 - 1 G	0.97	0.970	0	0.989	1.959
NDA18 - 3 G	2.98	2.978	0.067	3.097	3.926
NDA34 - 8 G	8.01	8.103	1.161	8.551	6.754

・PSMC 実施課: 技術部 核物質管理室, 測定日: 2000年7月17日

4.2 中性子線源

特性試験に使用する中性子線源の仕様を以下に示す。

(1) ^{252}Cf (No. SS-963)

- Contained Radioactivity : 1,840kBq
- 中性子発生率 : 213,400 n/s (2000.6.1)

(2) ^{252}Cf (No. TT-382)

- Contained Radioactivity : 1,736kBq
- 中性子発生率 : 201,300 n/s (2000.7.15)

5. 供試体

5.1 模擬廃棄物コンテナ

試験に使用した模擬廃棄物コンテナは、定型コンテナ(外寸：1280mm^L × 1280mm^W × 1056mm^H)で、プルトニウム燃料センターで発生するコンテナの大部分はこの形状である。外観を写真 5.1 に示す。



写真 5.1 模擬廃棄物コンテナ外観

5.2 試験治具

試験治具は、Pu 線源を指定された箇所に配置するためのものである。コンテナを上面方向から見て 16 分割し、その中心に Pu 標準試料が挿入できるパイプを配置したもので、今回の試験用に製作したものである。試験治具の外観を写真 5.2 に示す。

本報告で試験治具を使った試験は、「6.5 Pu キャリブレーション(検量線の作成)」、「6.6 AAS キャリブレーション試験(中性子吸収曲線の作成)」、「6.7 測定誤差評価試験」及び「6.9 クロストーク試験」である。

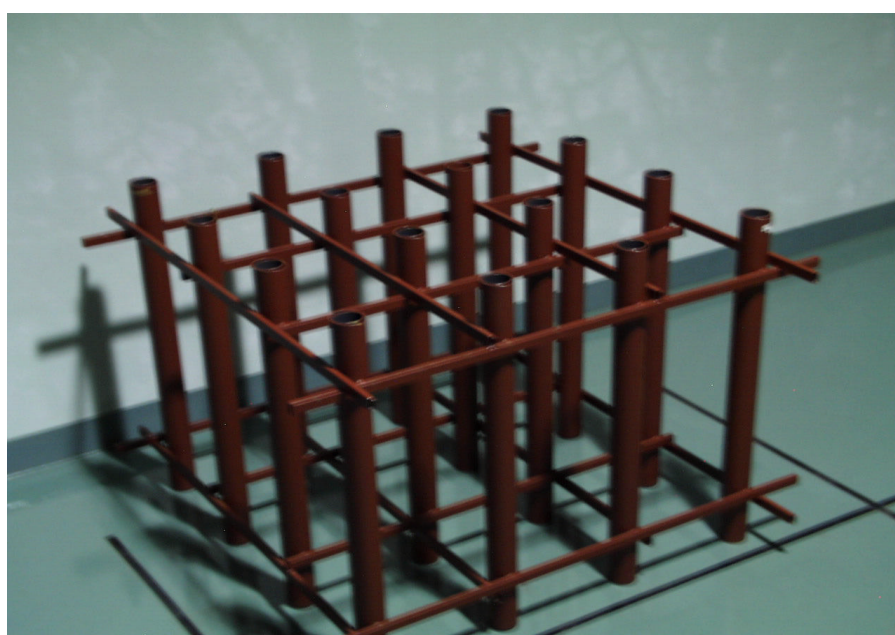


写真 5.2 試験治具

5.3 模擬廃棄物

実廃棄物コンテナに収納される放射性固体廃棄物は、木片類・プラスチック類・ポリ塩化ビニル(PVC)類及び金属類に分類される。

試験で使用した模擬マトリックスは、鉄・酢酸ビニル・ゴム・ポリウレタン及び高密度ポリエチレンを選択し、それらの混合体をコンテナ内に均一に分布するようにアレンジした。

本報告で模擬廃棄物を使った試験は、「6.5 AAS キャリブレーション試験(中性子吸収曲線の作成)」、「6.6 測定誤差評価試験」及び「6.9 クロストーク試験」である。

6. 特性試験

6.1 高電圧プラトー特性

6.1.1 概要

WCAS # 2 導入時に設定されている ^3He 比例計数管の作動高電圧 1720V が、プラトー領域内であることを確認する。

6.1.2 試験方法

中性子線源を装置チェンバ中心に配置し、 ^3He 比例計数管の印加電圧を 1560 V から 20 V 毎に 1820 V まで変化させ、全計数率（以下、Total Rate）を測定する。試験条件を表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 高電圧プラトー特性試験条件

中性子線源	^{252}Cf (No.SS 963)
線源位置	チェンバ中心
測定時間	各 300 秒(60 秒×5 回)
評価	計数率(Total Rate)

6.1.3 試験結果

^3He 比例計数管の印加電圧 20 V 毎の Total Rate 測定結果を表 6.1-2 に、高電圧プラトー特性を図 6.1 に示す。

図 6.1 から、プラトー領域は約 1660 ~ 1800V であり、WCAS#2 導入時に設定されている ^3He 比例計数管の印加電圧 1720V がプラトー領域内であることが確認された。これは、プラトーの下限値の約 60V 高い値であった。

^3He 比例計数管の印加電圧をより高い値に設定した場合、同時計数が高計数率となったり、高線量のレベルにおいてはガンマ線に対する感度が増加するといわれているため、WCAS#2 で実廃棄物コンテナ中の Pu 量を測定する場合、設定した電圧の保持は重要である。

表 6.1 -2 Total Rate 測定結果

印加電圧(V)	Total Rate(cps)
1560	15016.33
1580	16785.43
1600	18650.27
1620	19937.61
1640	21108.19
1660	21677.92
1680	21843.80
1700	21916.56
1720	21965.59
1740	22031.90
1760	22036.53
1780	22112.91
1800	22253.08
1820	22495.55

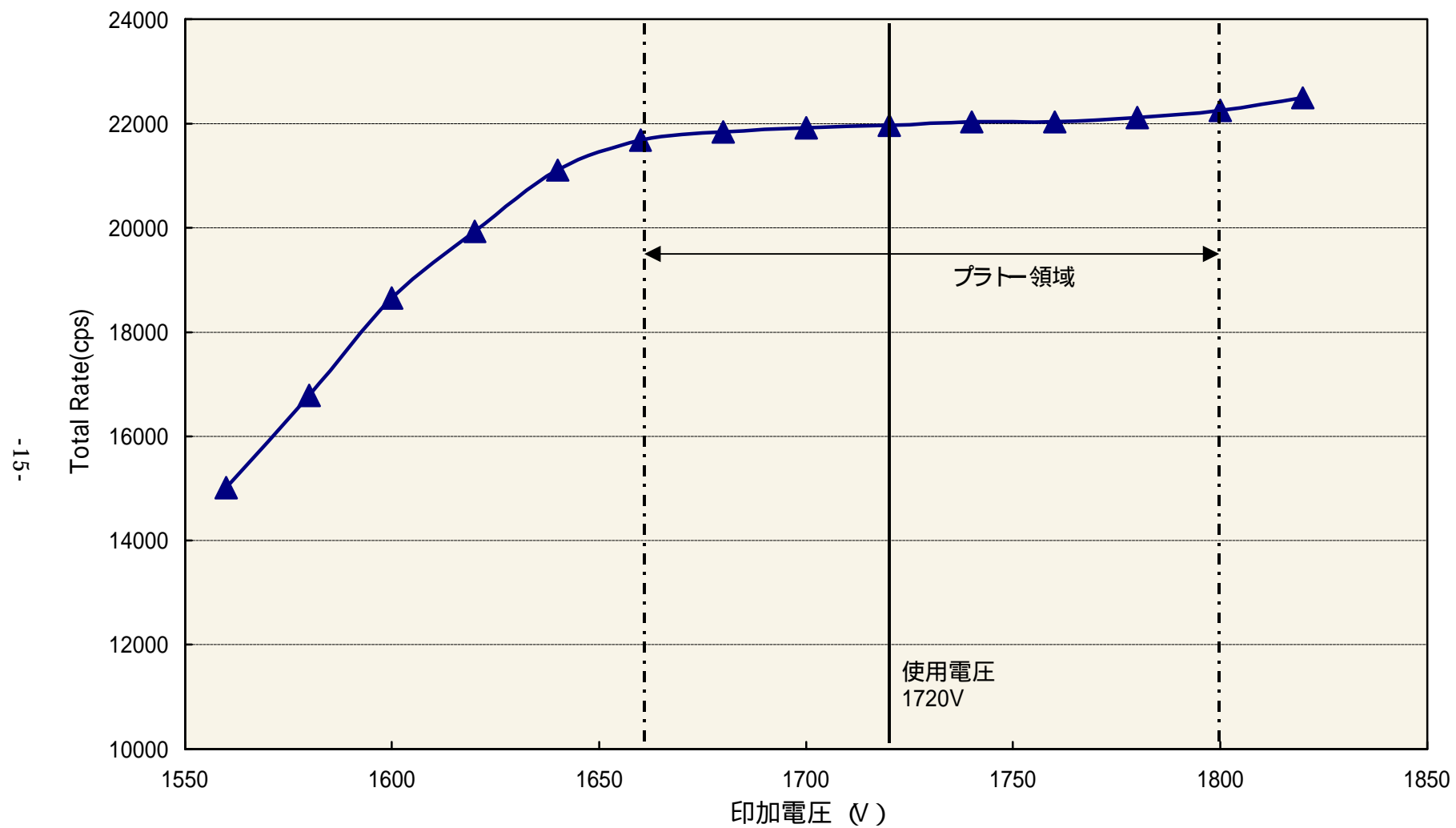


図 6.1 高電圧プラトー特性

6.2 ダイアウェイタイム及びゲート幅

6.2.1 概要

ある時間(t)における同時計数率 $N(t)$ は(6-1)式に従う¹⁾。

ダイアウェイタイム($\hat{\theta}$)は、系内で発生した中性子が熱中性子化して検出されるまでの平均時間と定義されており、この $\hat{\theta}$ は図 6.2-1 に示すロッシアルファ分布における Real Rate を求める際に必要なゲート幅 (GATE)の重要なファクターとなる。

$$N(t) = N_0 * e^{-t/\hat{\theta}} \quad (6-1)$$

ここで

N_0 : 時間 0 における中性子数

$N(t)$: 時間 t における中性子数

t : ダイアウェイタイム

(6-1)式を時間(0)からゲート幅の分だけ積分すると(6-2)式はゲート幅が tg の時に得られる Real Rate : $R(tg)$ を示す。

$$R(tg) = R_0 * (1 - e^{-tg/\hat{\theta}}) \quad (6-2)$$

ここで

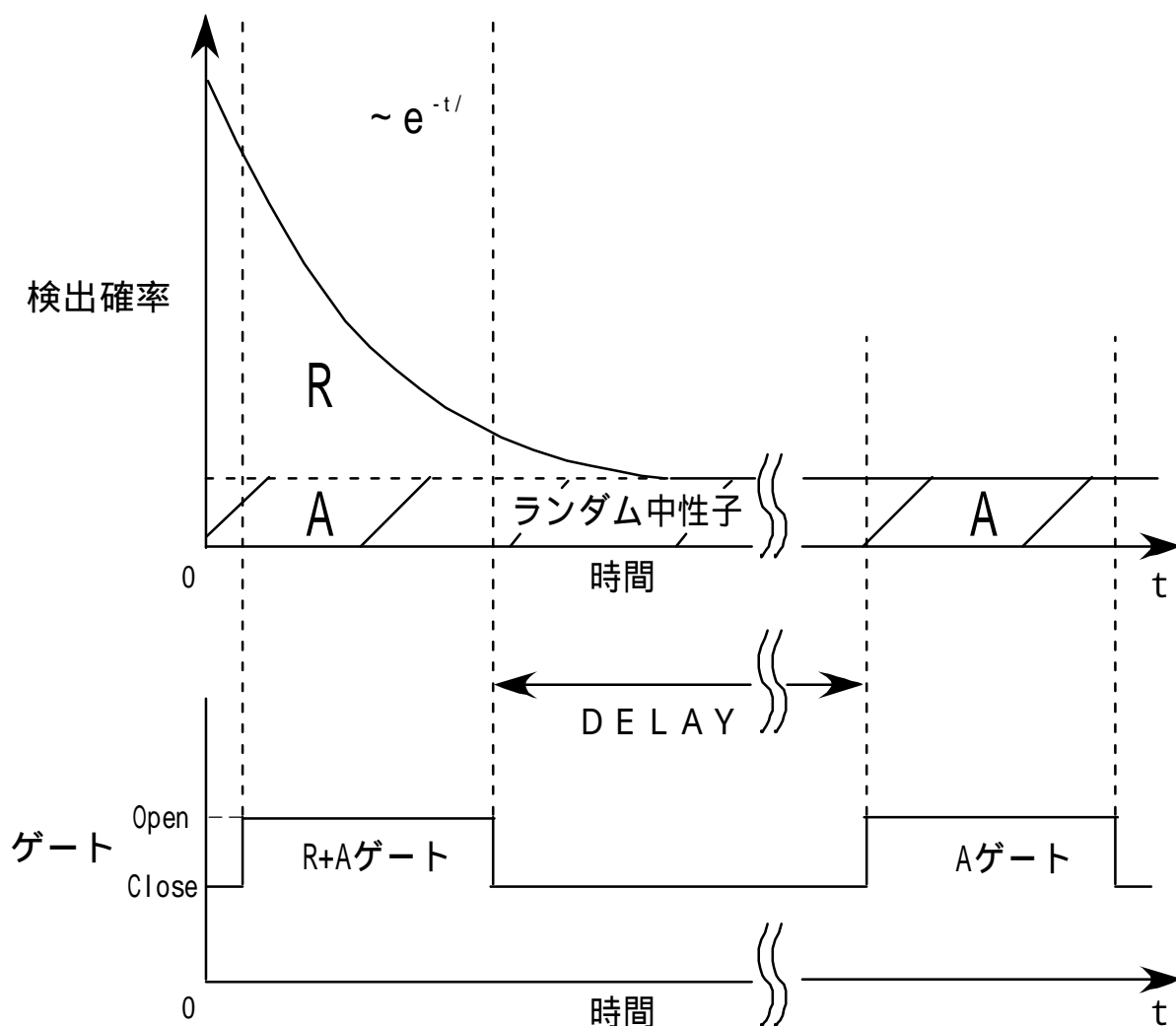
R_0 : ゲート幅が無限大の時得られるReal Rate

$R(tg)$: あるゲート幅で得られるReal Rate

tg : ゲート幅

t : ダイアウェイタイム

本試験は、ゲート幅のメーカ設定値(128 μ s)が適正な値であることを確認する。



t = 0 で自発核分裂が起こった場合の中性子検出確率を示す。
 (λ は検出器内での消滅定数であり、検出器固有の値)

同時計数回路は、検出器にゲートをかけて測定する。
 R+Aゲートでは、自発核分裂によって発生した中性子と時間相関のないランダムな中性子A(Accidental)の和を測定し、自発核分裂による影響が無視できる時間(Delay)後のAゲートでは、ランダムな中性子Aのみを測定する。
 自発核分裂によって発生した中性子の数 R(Real Rate)は $R=(R+A)-A$ で求まる。

図 6.2-1 ロッシアルファ分布

6.2.2 試験方法

チンバ中央に中性子線源を配置し，ゲート幅を変化させ Real Rate を計測する。得られた Real Rate をデミング法でフィッティングし R_0 と t_g を求める。試験条件を表 6.2-1 に示す。

表 6.2-1 ダイアウェイタイム及びゲート幅確認試験条件

中性子線源	^{252}Cf (No.TT 382)
線源位置	チンバ中心
HV	1720V
プリディレイ	4.5 μs
デッドタイム係数	$a = 0.3899\text{e-}6$, $b = 0$
ゲート幅	8,16,32,48,64,80,96,128,150,200,250 μs
測定時間	1800 秒(60 秒 \times 30 回)
評価	計数率(Real Rate)

6.2.3 試験結果

各ゲート幅で測定した Real Rate を表 6.2-2 に示す。なお，得られた Real Rate は，測定日が異なるため測定初日まで減衰補正(Real Rate corr.)した。

表 6.2-2 Real Rate 測定結果

ゲート幅 (μs)	Real Rate(cps)	補正 Real Rate (cps)		相対エラー (%)
8	498.55	496.05	2.76	0.55
16	941.81	937.09	4.89	0.52
32	1665.94	1657.59	7.15	0.43
48	2234.95	2223.75	7.78	0.35
64	2725.48	2711.83	9.49	0.35
80	3106.05	3112.74	12.51	0.40
96	3462.08	3444.74	12.94	0.37
128	3991.48	3982.90	14.69	0.37
150	4271.72	4262.54	16.50	0.39
200	4764.00	4753.76	18.70	0.39
250	5073.34	5073.34	19.70	0.39

相対エラー： /補正 Real Rate \times 100

6.2.4 デミングソフトによるフィッティング結果

ゲート幅を x 軸に，計測した Real Rate を y 軸にプロットし，デミングソフトにより $y = a \times (1 - \exp(-bx))$ の指数近似式でフィッティングした結果， $a=5150$ ， $b=0.012$ が得られた。デミングソフトによるフィッティング結果を図 6.2-2 に示す。

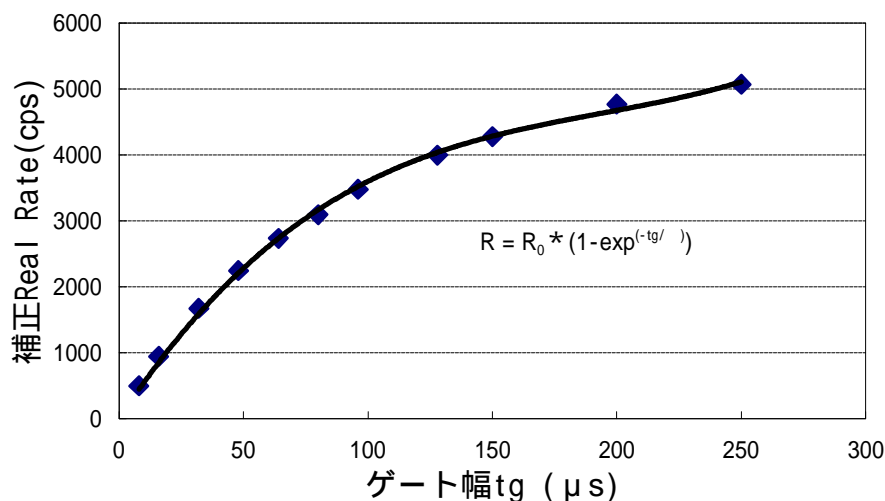


図 6.2-2 ダイアウエイタイムの決定

6.2.5 ダイアウエイタイム()の算出

上記結果から を計算する。

(6-2)式より

$$= tg / bx = tg / - 0.012x$$

$$\text{ここで } x = tg / 0.012tg$$

$$= 1 / 0.012 = 83.3 \mu s \text{ となり}$$

メーカー設定値(74.1 μs)とほぼ近い値となった。

6.2.6 ゲート幅の決定

一般的に Real Rate の傾きを示すダイアウエイタイムとゲート幅は，高計数率でおよそ 1.257 となる¹⁾。しかし，計数率の低い廃棄物測定などでは，Real Rate の統計的誤差が最小となる点，または，統計的誤差低減が達成できない点で選定する。

本試験の結果では、Real Rate の相対エラー $R/R(\%)$ (図 6.2-3 参照) は、48 ~ 64 μs 付近で一時的に減少を示したものの、80 μs では僅かながら上昇し 96 ~ 128 μs 付近では再度減少した。したがって WCAS#2 のゲート幅は、高計数率時の $t_g = 1.257$ (約 105 μs) を加味し、相対エラーの変動が少ない 128 μs を選択した。

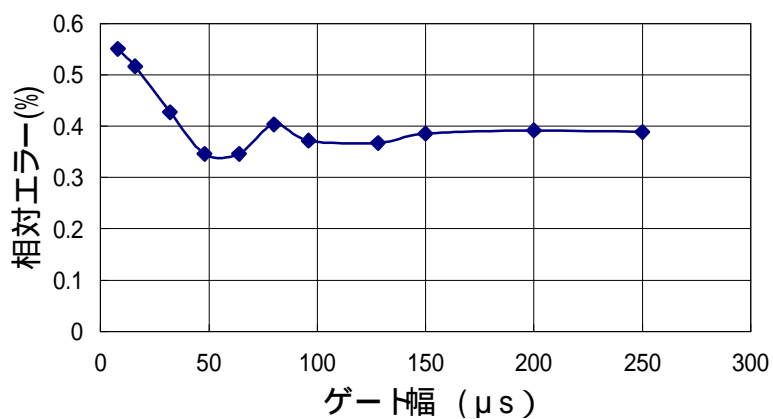


図 6.2-3 ゲート幅の決定

6.3 中性子検出効率

6.3.1 概要

本試験で求める検出効率は、空のチェンバ中心へ中性子線源を配置した(1)チェンバ中心検出効率とチェンバ内空コンテナの指定位置(水平及び垂直方向)へ中性子線源を配置した(2)コンテナ体積平均検出効率を測定する。

6.3.2 試験方法

中性子線源を装置チェンバ内の空コンテナ内指定箇所に配置し、Total Rate を測定する。試験条件を表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 中性子検出効率試験条件

中性子線源	^{252}Cf (No.TT-82)
線源位置	チェンバ中心検出効率 : 図 6.3-1 参照 コンテナ体積平均検出効率 : 図 6.3-2 参照
測定時間	1200 秒 (60 秒 × 20 回)/1 箇所
評価	検出効率 (%) = (Total Rate / ^{252}Cf 中性子発生率) × 100

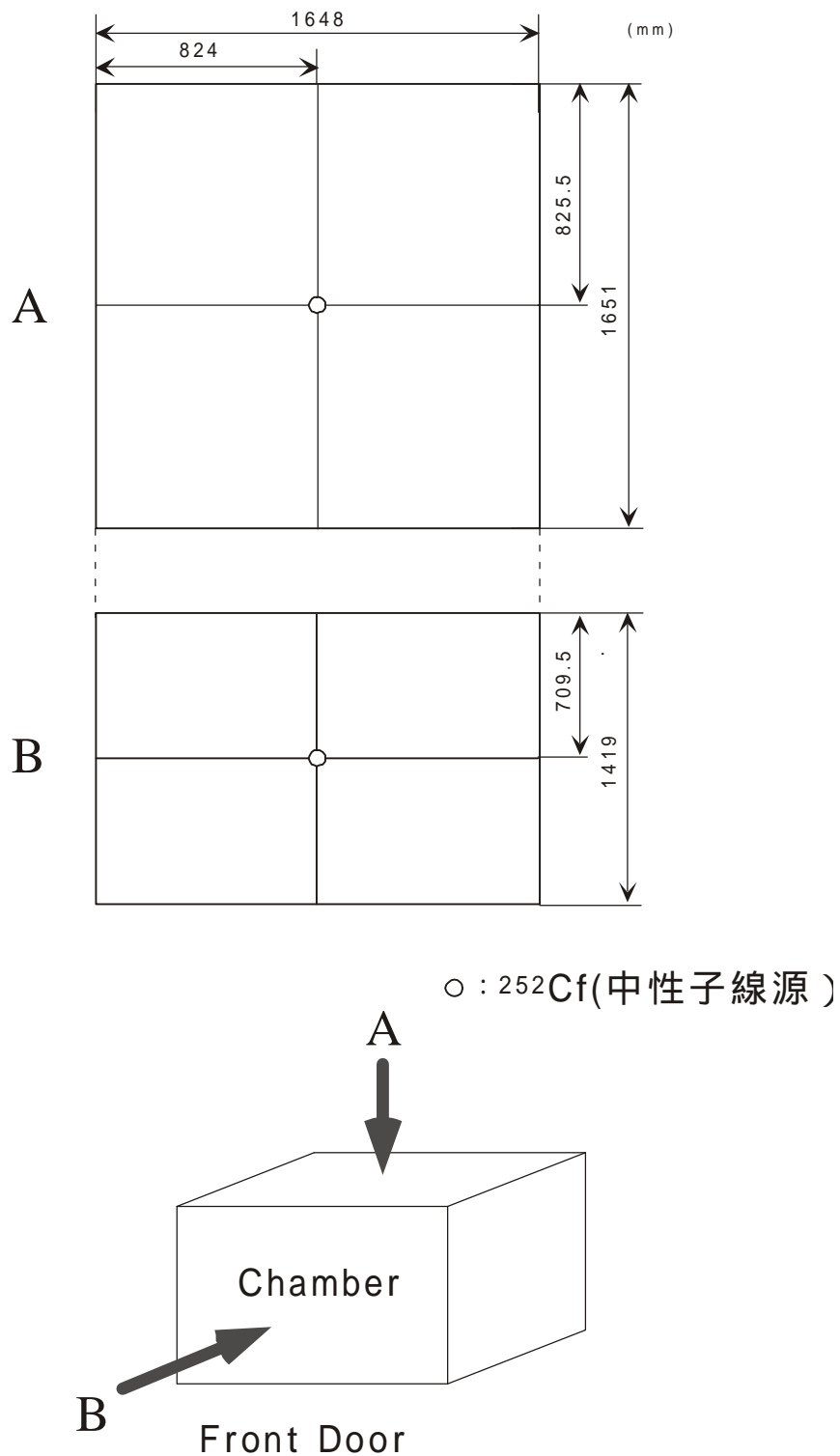


図 6.3-1 チェンバ中心中性子検出効率中性子線源位置

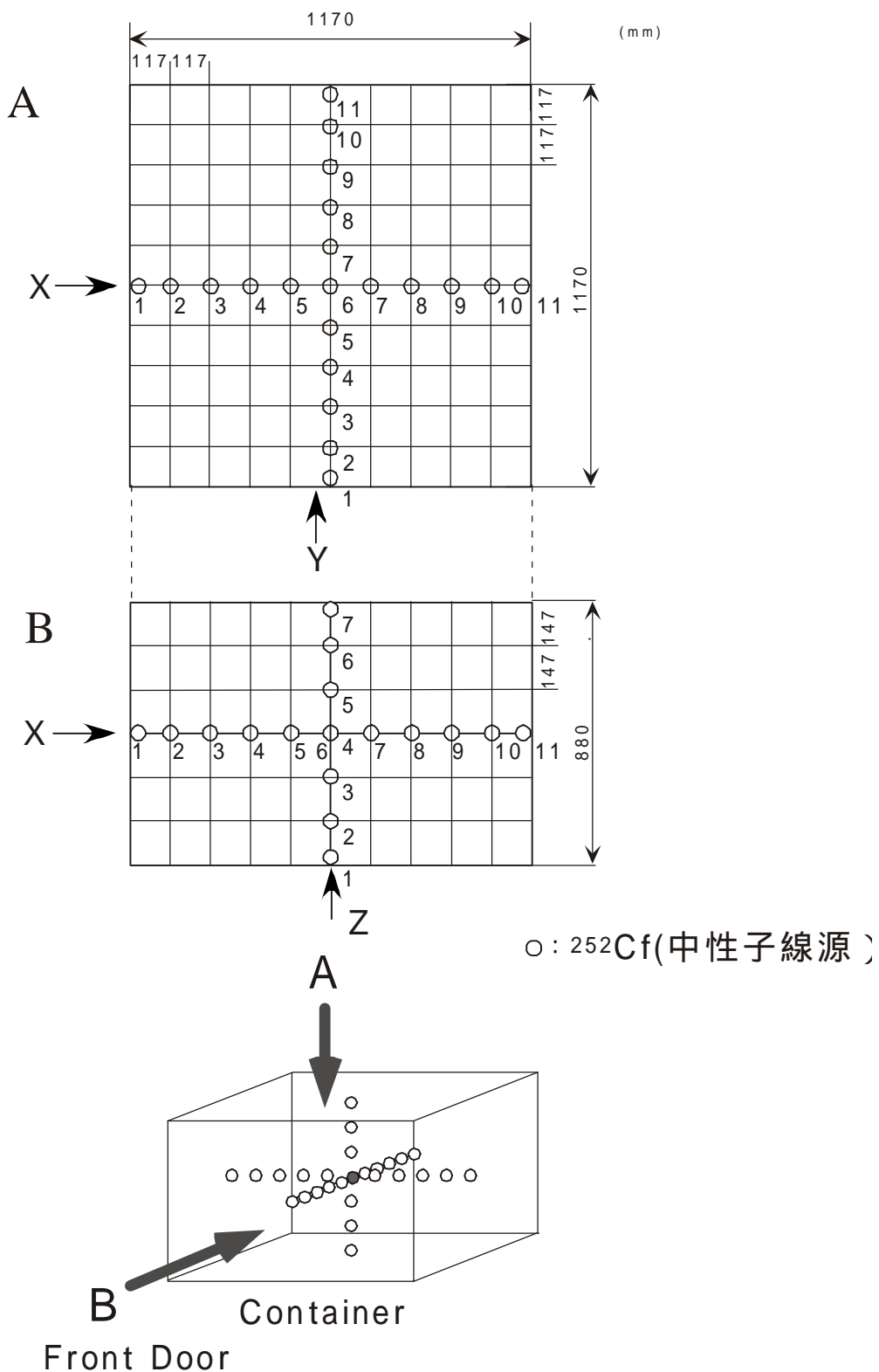


図 6.3-2 コンテナ体積平均中性子検出効率中性子線源位置

6.3.3 試験結果

(1)チェンバ中心検出効率

^{252}Cf 線源の測定結果及び減衰補正後の ^{252}Cf 中性子発生率を表6.3-2に示す。

WCAS#2 のチェンバ中心検出効率は 17.8%であり，WCAS#1 のチェンバ中心検出効率 13.6%(IAEA アクセプトテストで測定)に比べ，4.2%大きい。これは， ^3He 比例計数管の数量，仕様及び配置の違いによるものと考えられる。

表 6.3-2 チェンバ中心検出効率

	測定値 (cps)		^{252}Cf 中性子 発生率 (n/s)	検出効率 (%)
Total Rate	33326.66	8.06	187228.33	17.8
Real Rate	3969.87	24.30	————	————

(2)コンテナ体積平均検出効率

各測定箇所における測定結果及び減衰補正後の ^{252}Cf 中性子発生率を表6.3-3に示す。

検出効率は，図6.3-3，図6.3-4及び図6.3-5から水平方向及び垂直方向ともにコンテナ中心が小さく，コンテナ壁面が大きい。これは ^3He 比例計数管と中性子線源の距離の効果によるものと考えられる。

コンテナ内の最大効率はZ1の17.49%，最小効率はZ5の16.46%でコンテナ内平均は，16.76%である。Z5の測定箇所は，チェンバの中心にあたり，最小効率になるのは妥当といえる。

チェンバ中心検出効率17.8%(コンテナ無し)と同位置測定のコンテナ体積平均検出効率16.47%(コンテナ有り)では，検出効率に約1.3%の差が生じるが，これはコンテナ材等の影響によるものと考えられる。

WCAS#2 のコンテナ体積平均検出効率16.76%は，WCAS#1 特性試験で得たコンテナ内平均検出効率13.17%に比べ，3.59%大きい。

表 6.3-3 コンテナ体積平均検出効率

中性子 線源位置 (mm)	Total Rate (cps)		Real Rate (cps)		検出効率 (%)	²⁵² Cf中性子 発生率(n/s)	
X1	-585	32320.87	5.63	4523.66	16.15	17.26	187228
X2	-468	31626.63	8.17	4301.96	15.25	16.89	187228
X3	-351	31217.47	4.61	4185.79	15.68	16.67	187228
X4	-234	30963.59	7.09	4131.75	17.12	16.54	187228
X5	-117	30870.72	5.08	4108.52	17.70	16.49	187228
X6	0	30843.66	4.71	4096.59	17.81	16.47	187228
X7	117	30879.42	5.17	4093.72	13.81	16.49	187228
X8	234	31014.44	6.27	4118.04	15.55	16.57	187228
X9	351	31252.86	6.46	4195.32	17.61	16.69	187228
X10	468	31577.84	5.74	4287.72	20.46	16.87	187228
X11	585	32110.58	7.64	4458.17	20.47	17.15	187228
Y1	-585	32219.49	4.51	4448.28	15.57	17.22	187094
Y2	-468	31661.75	7.00	4310.31	21.18	16.92	187094
Y3	-351	31366.22	6.18	4241.82	19.17	16.76	187094
Y4	-234	31114.45	6.49	4172.42	13.46	16.63	187094
Y5	-117	30989.40	6.26	4139.84	16.95	16.56	187094
Y6	0	30843.66	4.71	4096.59	17.81	16.47	187228
Y7	117	30940.27	7.96	4116.40	17.89	16.54	187094
Y8	234	31004.12	6.30	4126.32	21.29	16.57	187094
Y9	351	31232.95	6.46	4196.96	19.64	16.69	187094
Y10	468	31602.92	8.08	4315.60	13.32	16.89	187094
Y11	585	32279.03	7.57	4472.34	13.86	17.25	187094
Z1	-441	32691.46	4.84	4617.10	21.81	17.49	186960
Z2	-294	31668.86	5.26	4344.85	19.16	16.94	186960
Z3	-147	31074.81	6.89	4205.94	15.18	16.62	186960
Z4	0	30843.66	4.71	4096.59	17.81	16.47	187228
Z5	147	30781.72	6.49	4086.46	12.55	16.46	186960
Z6	294	31014.11	5.36	4111.03	19.65	16.59	186960
Z7	441	31493.40	4.65	4232.57	17.43	16.85	186960

MAX

MIN

検出効率 (%)

AVE 16.76

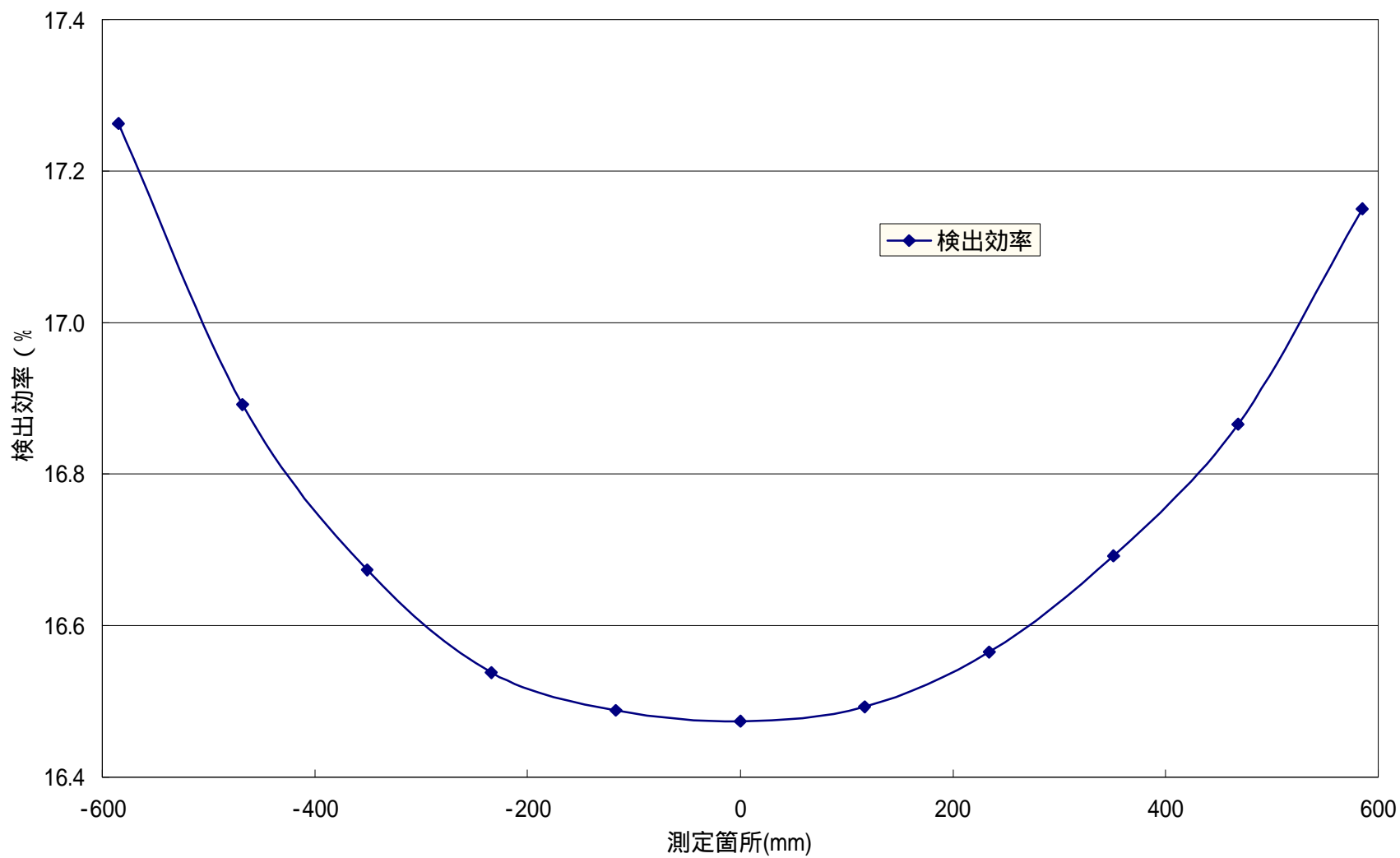


図 6.3-3 検出効率(X 軸)

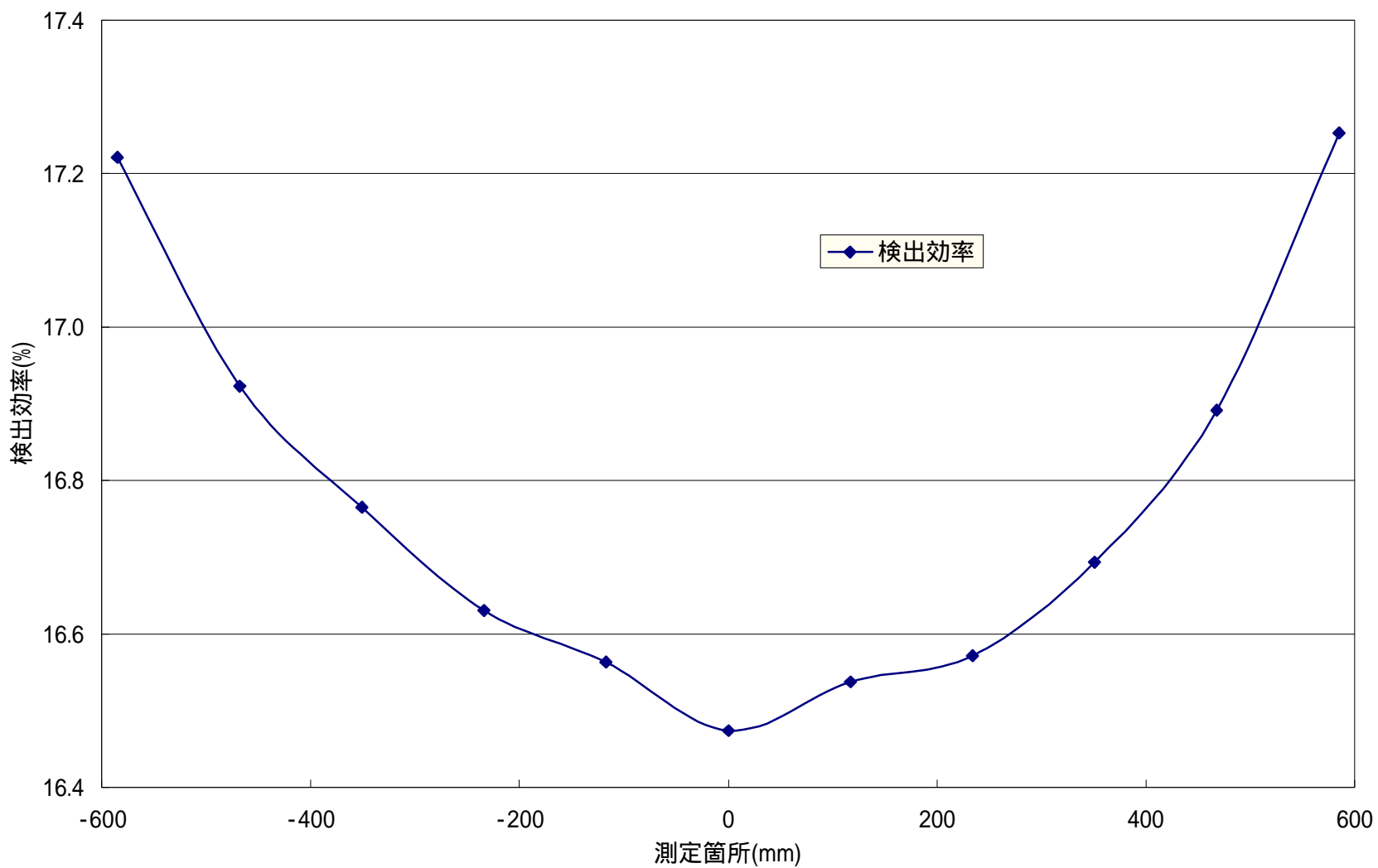


図 6.3-4 検出効率(Y 軸)

-28-

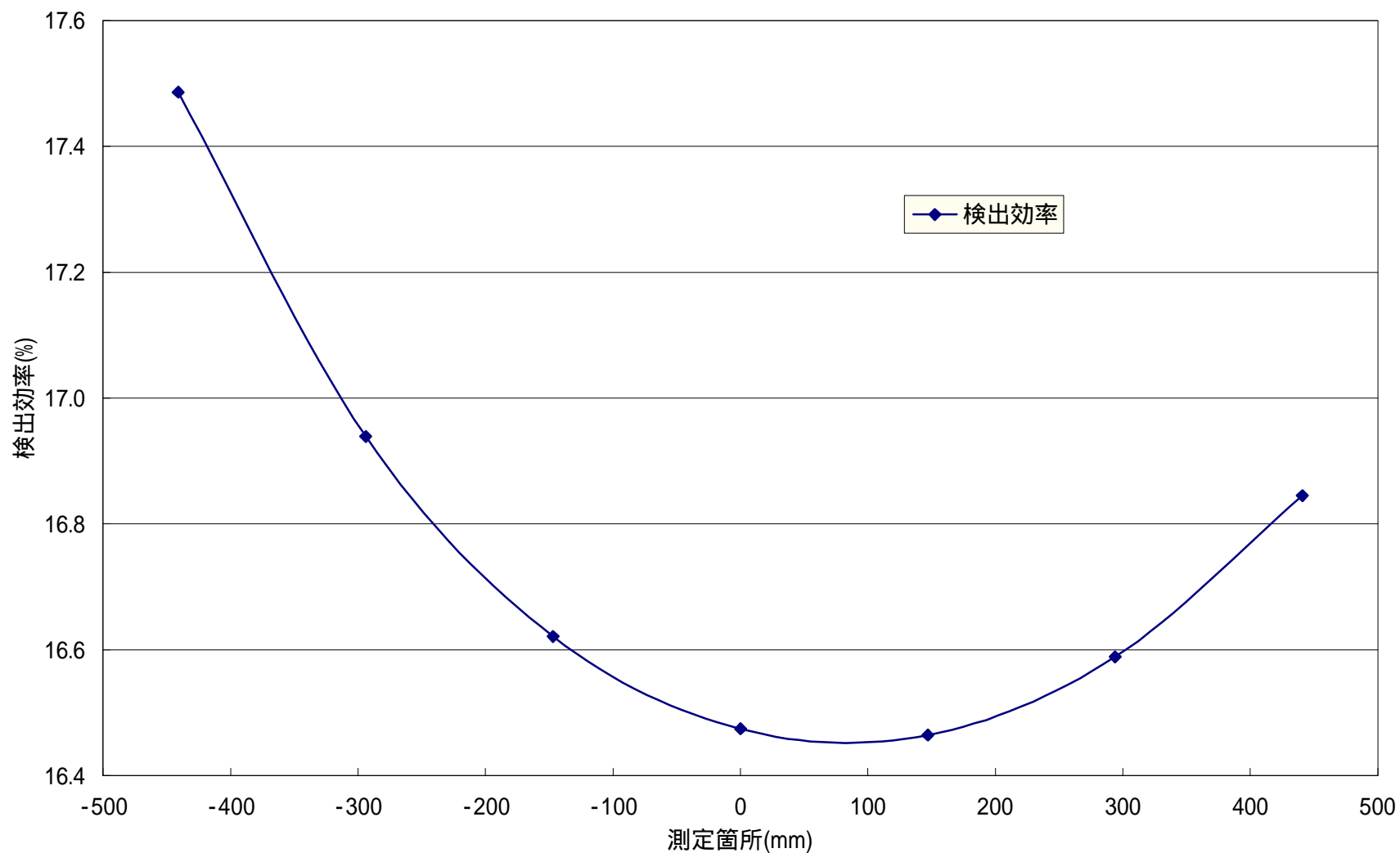


図 6.3-5 検出効率(Z 軸)

6.4 チェンバ内感度分布（プロファイル）

6.4.1 概要

装置チェンバ内の位置依存性を確認するため、中性子線源を空のチェンバ内指定位置へ配置し、水平方向及び垂直方向の感度分布を確認する。

6.4.2 試験方法

中性子線源を装置チェンバ内の指定箇所に配置し、Total Rate と同時計数率（以下、Real Rate）を測定する。

試験条件を表 6.4-1 に示す。

表 6.4-1 チェンバ内感度分布試験条件

中性子線源	^{252}Cf (No.TT 382)
線源位置	図 6.4-1 参照
測定時間	600 秒 (60 秒 × 10 回)/1 箇所
感度分布 評価	チェンバ内の中心部(25d)を 1.0 としたときの各測定点における相対比

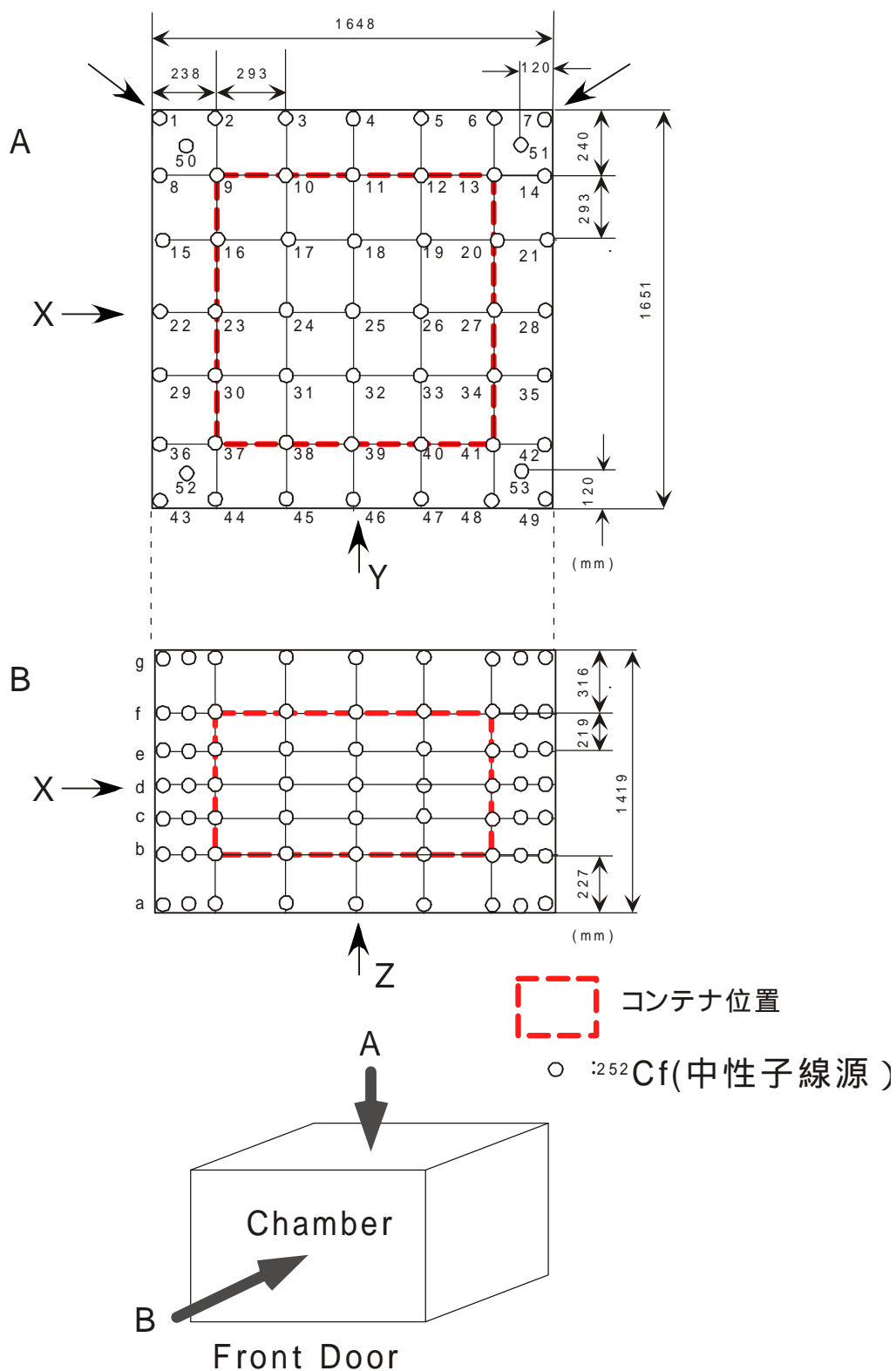


図 6.4-1 チェンバ内感度分布中性子線源位置

6.4.3 試験結果

チェンバ内感度分布試験の測定結果及びチェンバ内の中心部(25d)を 1.0 としたときの各測定点における相対比を表 6.4-2～表 6.4-9 に示す。また、水平方向及び垂直方向の応答性を図 6.4-2～図 6.4-6 に、チェンバ内における相対感度分布を図 6.4-7～図 6.4-8 に示す。なお感度分布データの取得は日数を要したため、減衰補正したものをを用いた。

表 6.4-2～表 6.4-9 から、チェンバ内相対感度の最大点は Total Rate において 1.14(中心底部 25a), Real Rate においては 1.30(中心底部 25a)であった。また、最小点は Total Rate において 0.56(左奥底部 1a), Real Rate においては 0.28(左奥底部 1a)であった。これによる感度分布の幅は、Total Rate で $\pm 29\%$ 以内、Real Rate で $\pm 51\%$ 以内である。

測定のためチェンバ内に廃棄物コンテナが設置される箇所での相対感度の最大点は、Total Rate において 1.05(中心底部 25bを含む 14点), Real Rate においては 1.10(中心底部 25bを含む 5点)であった。また、最小点は Total Rate において 0.98(左奥底部 9b), Real Rate においては 0.95(左奥底部 9b)であった。これによる感度分布の幅は、Total Rate で $\pm 4\%$ 以内、Real Rate で $\pm 8\%$ 以内である。なお、Real Rate の感度分布幅が Total Rate よりも大きくなっているが、これは Real Rate は検出効率の 2 乗に比例し、Total Rate は検出効率に比例するためである²⁾。

図 6.4-4～図 6.4-5 及び図 6.4-7～図 6.4-8 に示されるように、チェンバ内の隅の部分(上下計 8箇所)において、相対感度が著しく低くなっている。これは検出器の配置上、検出器が埋め込まれていない部分が隅に生じ、そのため中性子が検出されない壁面積が多くなっていることが原因として挙げられる。また、チェンバ内中心付近における相対感度が、その周辺より低くなっているのは、検出器までの距離が最も遠いためと考えられる。

本試験ではチェンバ内の場合、感度分布幅は $\pm 51\%$ 以内 (Real Rate) と大きな値になったが、測定範囲であるコンテナが設置される箇所における感度分布幅は $\pm 8\%$ 以内 (Real Rate) に収まることを確認した。

表 6.4-2 プロファイル測定結果
(高さ a)

表 6.4-3 プロファイル測定結果
(高さ b)

表 6.4-4 プロファイル測定結果
(高さ c)

Measurement time 600s(60s×10time)

Position	Total Rate (cps)	相対比	Real Rate (cps)	相対比
1	25118.43	0.83	2170.82	0.61
2	31936.50	1.05	3863.86	1.09
3	32758.72	1.08	4094.23	1.15
4	33120.79	1.09	4237.36	1.19
5	33213.08	1.10	4227.71	1.19
6	33063.48	1.09	4180.58	1.18
7	28476.89	0.94	2967.96	0.84
8	31570.98	1.04	3753.11	1.06
9	30474.09	1.01	3551.54	1.00
10	31148.92	1.03	3705.52	1.04
11	31449.44	1.04	3836.80	1.08
12	31486.55	1.04	3853.80	1.09
13	31342.31	1.03	3851.32	1.09
14	33152.29	1.09	4282.76	1.21
15	33322.76	1.10	4254.39	1.20
16	31052.87	1.03	3751.57	1.06
17	30631.09	1.01	3662.45	1.03
18	30782.22	1.02	3677.84	1.04
19	30860.99	1.02	3741.20	1.05
20	31371.69	1.04	3792.43	1.07
21	33044.35	1.09	4225.08	1.19
22	33195.91	1.10	4286.08	1.21
23	31317.83	1.03	3842.70	1.08
24	30719.25	1.01	3629.30	1.02
25	30713.89	1.01	3678.13	1.04
26	30792.21	1.02	3708.72	1.05
27	31349.63	1.03	3820.07	1.08
28	33254.57	1.10	4283.37	1.21
29	33312.47	1.10	4226.64	1.19
30	31424.97	1.04	3850.88	1.09
31	30779.42	1.02	3679.14	1.04
32	30815.77	1.02	3658.25	1.03
33	30806.92	1.02	3668.71	1.03
34	31300.17	1.03	3807.07	1.07
35	33114.83	1.09	4248.02	1.20
36	33043.09	1.09	4261.18	1.20
37	31237.32	1.03	3796.86	1.07
38	31224.34	1.03	3764.94	1.06
39	31334.70	1.03	3811.04	1.07
40	31298.26	1.03	3806.59	1.07
41	31223.13	1.03	3776.50	1.06
42	32993.84	1.09	4184.98	1.18
43	28844.30	0.95	3106.90	0.88
44	32758.14	1.08	4143.76	1.17
45	33029.94	1.09	4291.90	1.21
46	32941.27	1.09	4148.64	1.17
47	33049.46	1.09	4229.40	1.19
48	32859.55	1.08	4124.04	1.16
49	30196.25	1.00	3452.60	0.97
50	29731.09	0.98	3284.52	0.93
51	31516.77	1.04	3866.26	1.09
52	31470.22	1.04	3801.54	1.07
53	31400.73	1.04	3834.08	1.08
Ave.	31555.26	1.04	3844.44	1.08
σ	1475.53	0.05	381.28	0.11
CV (%)	4.68		9.92	

相対比:各Rate/center (=25d) CV: 変動係数 (=σ/Ave.×100)

表 6.4-5 プロファイル測定結果
(高さ d)

Measurement time 600s(60s×10time)

Position	Total Rate (cps)	相対比	Real Rate (cps)	相対比
1	25703.81	0.85	2252.69	0.63
2	32197.93	1.06	3905.53	1.10
3	32795.75	1.08	4095.56	1.15
4	32984.67	1.09	4162.70	1.17
5	33298.21	1.10	4206.05	1.19
6	33332.35	1.10	4242.41	1.20
7	28469.03	0.94	2984.45	0.84
8	31478.27	1.04	3698.82	1.04
9	30826.00	1.02	3620.55	1.02
10	31409.62	1.04	3792.59	1.07
11	31489.21	1.04	3836.26	1.08
12	31673.32	1.05	3882.53	1.09
13	31759.81	1.05	3881.07	1.09
14	33382.99	1.10	4256.79	1.20
15	32535.93	1.07	4189.95	1.18
16	31169.63	1.03	3756.77	1.06
17	30499.18	1.01	3607.61	1.02
18	30477.50	1.01	3613.13	1.02
19	30660.23	1.01	3633.87	1.02
20	31427.03	1.04	3841.23	1.08
21	32314.80	1.07	4084.02	1.15
22	32655.84	1.08	4139.72	1.17
23	31527.02	1.04	3842.99	1.08
24	30442.99	1.01	3595.04	1.01
25	30290.89	1.00	3548.67	1.00
26	30460.73	1.01	3587.06	1.01
27	31425.16	1.04	3825.07	1.08
28	33208.27	1.10	4247.19	1.20
29	32426.11	1.07	4126.39	1.16
30	31489.74	1.04	3818.57	1.08
31	30611.20	1.01	3553.64	1.00
32	30524.15	1.01	3606.71	1.02
33	30679.24	1.01	3676.65	1.04
34	31366.57	1.04	3810.77	1.07
35	32295.67	1.07	4108.02	1.16
36	33361.03	1.10	4351.48	1.23
37	31660.40	1.05	3896.07	1.10
38	31377.43	1.04	3811.26	1.07
39	31446.55	1.04	3788.33	1.07
40	31425.24	1.04	3844.21	1.08
41	31585.47	1.04	3864.36	1.09
42	33263.35	1.10	4234.67	1.19
43	29795.52	0.98	3382.84	0.95
44	33115.03	1.09	4219.02	1.19
45	33242.74	1.10	4234.64	1.19
46	33006.77	1.09	4149.24	1.17
47	33149.16	1.09	4243.03	1.20
48	33152.70	1.09	4243.74	1.20
49	29956.68	0.99	3387.31	0.95
50	30103.08	0.99	3367.99	0.95
51	32037.54	1.06	3970.98	1.12
52	31892.96	1.05	3915.07	1.10
53	31975.97	1.06	3922.70	1.11
Ave.	31600.31	1.04	3846.38	1.08
σ	1398.29	0.05	364.22	0.10
CV (%)	4.42		9.47	

相対比:各Rate/center (=25d) CV: 変動係数 (=σ/Ave.×100)

表 6.4-6 プロファイル測定結果
(高さ e)

Measurement time 600s(60s×10time)

Position	Total Rate (cps)	相対比	Real Rate (cps)	相対比
1	25619.11	0.85	2251.69	0.63
2	32109.06	1.06	3911.15	1.10
3	32843.90	1.08	4123.15	1.16
4	33030.32	1.09	4234.20	1.19
5	33312.23	1.10	4235.50	1.19
6	33382.22	1.10	4278.21	1.21
7	29087.94	0.96	3094.85	0.87
8	32072.77	1.06	3885.40	1.09
9	30729.63	1.01	3546.41	1.00
10	31356.45	1.04	3793.40	1.07
11	31644.25	1.04	3818.94	1.08
12	31752.06	1.05	3846.15	1.08
13	31442.65	1.04	3791.80	1.07
14	33477.72	1.11	4321.62	1.22
15	33229.14	1.10	4280.18	1.21
16	31203.94	1.03	3753.34	1.06
17	30671.20	1.01	3630.11	1.02
18	30626.62	1.01	3638.42	1.03
19	30774.53	1.02	3684.88	1.04
20	31506.47	1.04	3810.55	1.07
21	33197.88	1.10	4288.61	1.21
22	33592.68	1.11	4340.36	1.22
23	31563.12	1.04	3769.01	1.06
24	31577.46	1.04	3801.25	1.07
25	30429.85	1.00	3567.29	1.01
26	30596.68	1.01	3575.18	1.01
27	31481.79	1.04	3808.55	1.07
28	33318.45	1.10	4227.37	1.19
29	33197.54	1.10	4230.12	1.19
30	31572.67	1.04	3829.92	1.08
31	30717.82	1.01	3649.10	1.03
32	30658.31	1.01	3606.34	1.02
33	30803.64	1.02	3661.56	1.03
34	31525.24	1.04	3852.73	1.09
35	33102.58	1.09	4220.57	1.19
36	33531.42	1.11	4325.11	1.22
37	31770.46	1.05	3887.44	1.10
38	31443.68	1.04	3790.88	1.07
39	31493.87	1.04	3810.65	1.07
40	31504.64	1.04	3824.49	1.08
41	31683.21	1.05	3846.48	1.08
42	33431.10	1.10	4228.59	1.19
43	28974.24	0.96	3105.16	0.88
44	33158.34	1.09	4224.98	1.19
45	33215.04	1.10	4235.17	1.19
46	33025.26	1.09	4218.14	1.19
47	33185.84	1.10	4235.22	1.19
48	33195.71	1.10	4271.55	1.20
49	30434.36	1.00	3451.86	0.97
50	30155.50	1.00	3371.06	0.95
51	32149.76	1.06	3956.86	1.12
52	32042.31	1.06	3930.95	1.11
53	31968.30	1.06	3951.71	1.11
Ave.	31765.49	1.05	3868.38	1.09
σ	1452.91	0.05	381.32	0.11
CV (%)	4.57		9.86	

相対比:各Rate/center (=25d) CV: 変動係数 (=σ/Ave.×100)

表 6.4-7 プロファイル測定結果
(高さ f)

Measurement time 600s(60s×10time)

Position	Total Rate (cps)	相対比	Real Rate (cps)	相対比
1	25354.85	0.84	2191.11	0.62
2	32053.14	1.06	3823.83	1.08
3	32928.54	1.09	4174.51	1.18
4	33145.66	1.09	4212.64	1.19
5	33322.23	1.10	4210.88	1.19
6	33213.05	1.10	4208.39	1.19
7	28480.46	0.94	2991.58	0.84
8	31362.15	1.04	3650.53	1.03
9	30446.19	1.01	3511.75	0.99
10	31352.68	1.04	3750.63	1.06
11	31746.17	1.05	3830.93	1.08
12	31706.44	1.05	3817.54	1.08
13	31557.91	1.04	3766.05	1.06
14	33094.56	1.09	4246.95	1.20
15	33352.46	1.10	4243.63	1.20
16	31231.38	1.03	3768.05	1.06
17	31620.32	1.04	3692.88	1.04
18	31205.89	1.03	3720.36	1.05
19	31312.77	1.03	3769.50	1.06
20	31509.01	1.04	3795.54	1.07
21	33269.13	1.10	4230.88	1.19
22	33281.78	1.10	4223.71	1.19
23	31596.58	1.04	3826.79	1.08
24	31171.51	1.03	3718.27	1.05
25	31162.81	1.03	3780.51	1.07
26	31245.69	1.03	3808.74	1.07
27	31589.23	1.04	3817.66	1.08
28	33283.94	1.10	4236.83	1.19
29	33355.33	1.10	4247.59	1.20
30	31593.76	1.04	3835.06	1.08
31	31297.06	1.03	3765.18	1.06
32	31279.21	1.03	3781.30	1.07
33	31326.11	1.03	3789.01	1.07
34	31574.72	1.04	2813.15	0.79
35	33196.98	1.10	4206.54	1.19
36	33146.89	1.09	4219.86	1.19
37	31300.51	1.03	3766.32	1.06
38	31601.05	1.04	3831.58	1.08
39	31631.50	1.04	3870.45	1.09
40	31532.33	1.04	3824.76	1.08
41	31368.26	1.04	3785.88	1.07
42	33143.37	1.09	4181.47	1.18
43	28320.45	0.93	2945.31	0.83
44	32612.54	1.08	4083.62	1.15
45	33174.37	1.10	4285.68	1.21
46	33119.68	1.09	4211.75	1.19
47	33195.89	1.10	4293.68	1.21
48	32883.67	1.09	4164.85	1.17
49	29868.69	0.99	3336.28	0.94
50	29561.43	0.98	3220.33	0.91
51	31560.66	1.04	3777.34	1.06
52	31364.68	1.04	3748.58	1.06
53	31383.10	1.04	3807.94	1.07
Ave.	31716.77	1.05	3826.68	1.08
σ	1473.52	0.05	410.47	0.12
CV (%)	4.65		10.73	

相対比:各Rate/center (=25d) CV: 変動係数 (=σ/Ave.×100)

表 6.4-8 プロファイル測定結果
(高さ g)

Measurement time 600s(60s×10time)

Position	Total Rate (cps)	相対比	Real Rate (cps)	相対比
1	20003.68	0.66	1301.01	0.37
2	26667.77	0.88	2590.76	0.73
3	27844.10	0.92	2893.65	0.82
4	27390.01	0.90	2772.10	0.78
5	27949.37	0.92	2849.13	0.80
6	28438.20	0.94	3044.98	0.86
7	21456.61	0.71	1586.66	0.45
8	25491.35	0.84	2235.61	0.63
9	32119.88	1.06	3842.45	1.08
10	33061.02	1.09	4144.53	1.17
11	33235.46	1.10	4251.09	1.20
12	33283.03	1.10	4264.34	1.20
13	32866.78	1.09	4091.53	1.15
14	26842.76	0.89	2580.59	0.73
15	27076.97	0.89	2607.78	0.73
16	33075.29	1.09	4103.25	1.16
17	33206.38	1.10	4186.10	1.18
18	33112.00	1.09	4165.87	1.17
19	33291.18	1.10	4250.03	1.20
20	33004.78	1.09	4119.96	1.16
21	26921.41	0.89	2556.16	0.72
22	27743.42	0.92	2780.69	0.78
23	33365.25	1.10	4255.40	1.20
24	33207.95	1.10	4224.08	1.19
25	33139.83	1.09	4200.98	1.18
26	33170.56	1.10	4196.51	1.18
27	33192.02	1.10	4170.60	1.18
28	27725.38	0.92	2717.29	0.77
29	27127.25	0.90	2629.44	0.74
30	33256.26	1.10	4206.83	1.19
31	33388.19	1.10	4231.52	1.19
32	33248.89	1.10	4279.42	1.21
33	33358.05	1.10	4270.48	1.20
34	33286.30	1.10	4212.02	1.19
35	27073.59	0.89	2605.80	0.73
36	27259.67	0.90	2680.54	0.76
37	32383.34	1.07	4000.55	1.13
38	33352.84	1.10	4277.39	1.21
39	33386.30	1.10	4278.86	1.21
40	33363.32	1.10	4235.78	1.19
41	32794.51	1.08	4108.96	1.16
42	27082.06	0.89	2619.29	0.74
43	22707.65	0.75	1826.61	0.51
44	28352.15	0.94	3054.07	0.86
45	28591.41	0.94	3084.47	0.87
46	27848.79	0.92	2902.68	0.82
47	27565.14	0.91	2844.24	0.80
48	27347.33	0.90	2788.36	0.79
49	21376.64	0.71	1615.47	0.46
50	28813.49	0.95	3009.84	0.85
51	30578.90	1.01	3524.74	0.99
52	29979.68	0.99	3374.13	0.95
53	30166.72	1.00	3469.32	0.98
Ave.	29840.96	0.99	3379.51	0.95
σ	3643.66	0.12	860.62	0.24
CV (%)	12.21		25.47	

相対比:各Rate/center (=25d) CV:変動係数 (=σ/Ave.×100)

表 6.4-9 プロファイル測定結果
(全測定値)

ALL	Total Rate (cps)	Real Rate (cps)
Ave.(cps)	30990.29	3694.94
σ	2654.94	623.14
CV (%)	8.57	16.86

CV:変動係数 (=σ/Ave.×100)

感度分布の幅=(|最大点-1| + |最小点-1|)/2

チェンバ内における感度分布の幅

Total ±29%

Real ±51%

コンテナ内における感度分布の幅

Total ±4%

Real ±8%

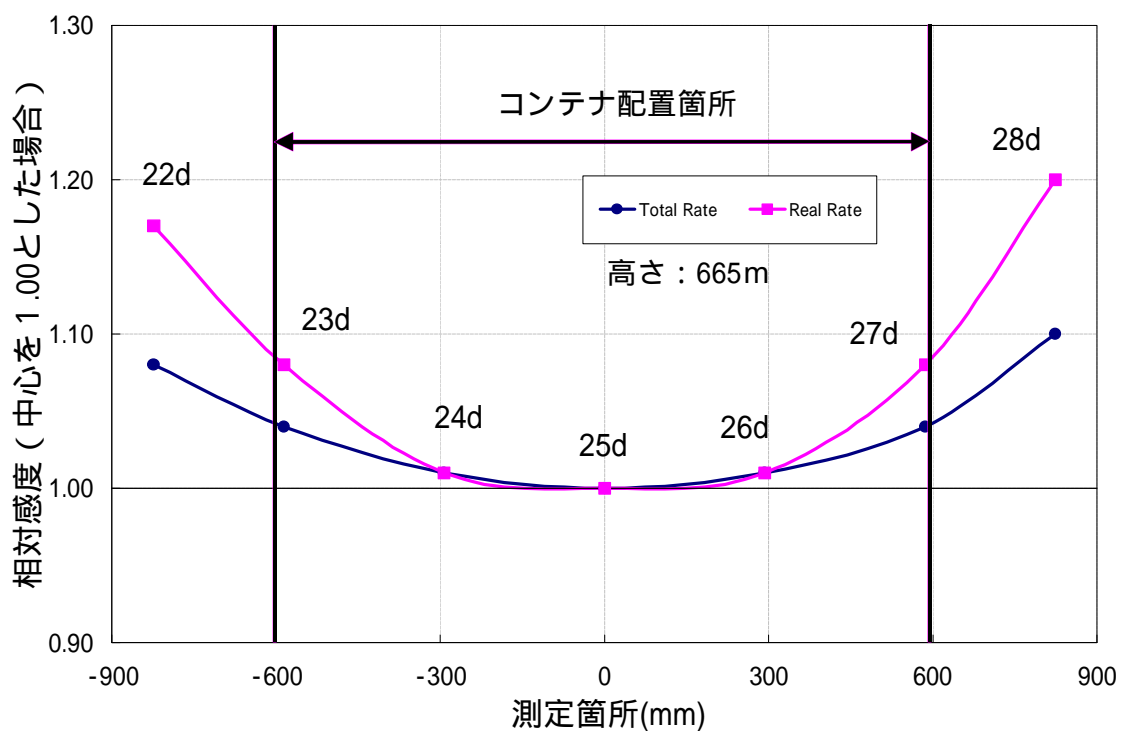


図 6.4-2 水平方向の応答性(X 軸)

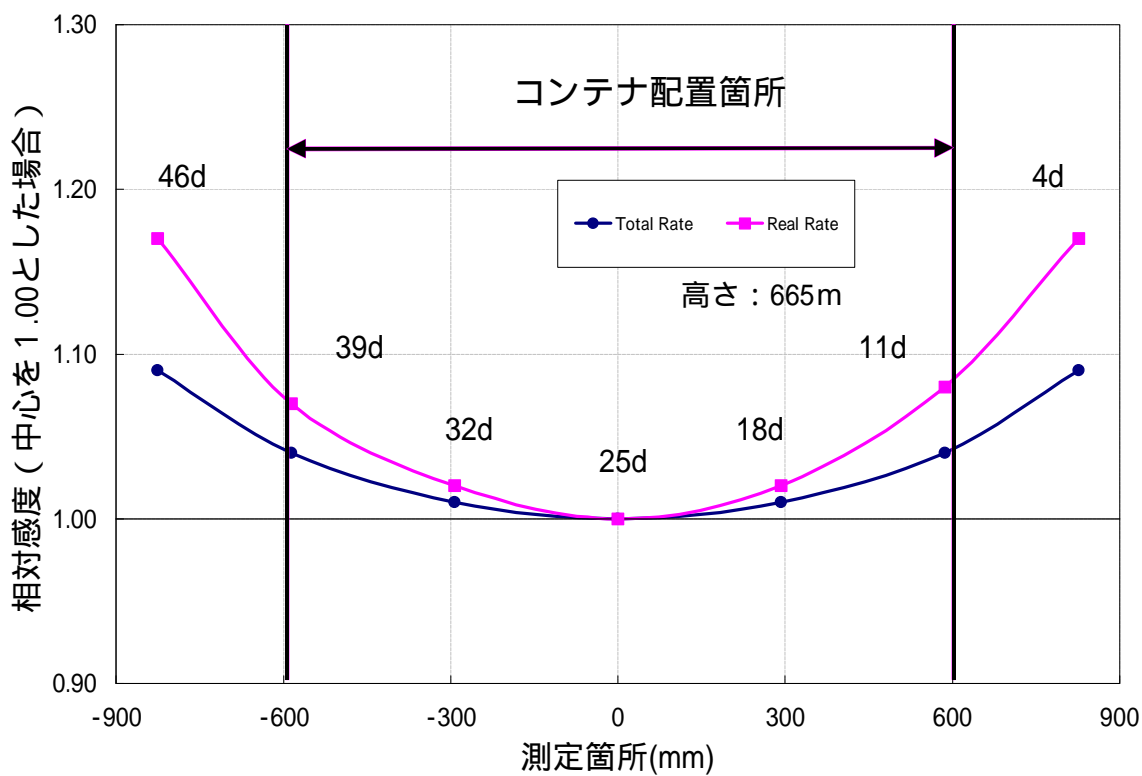


図 6.4-3 水平方向の応答性(Y 軸)

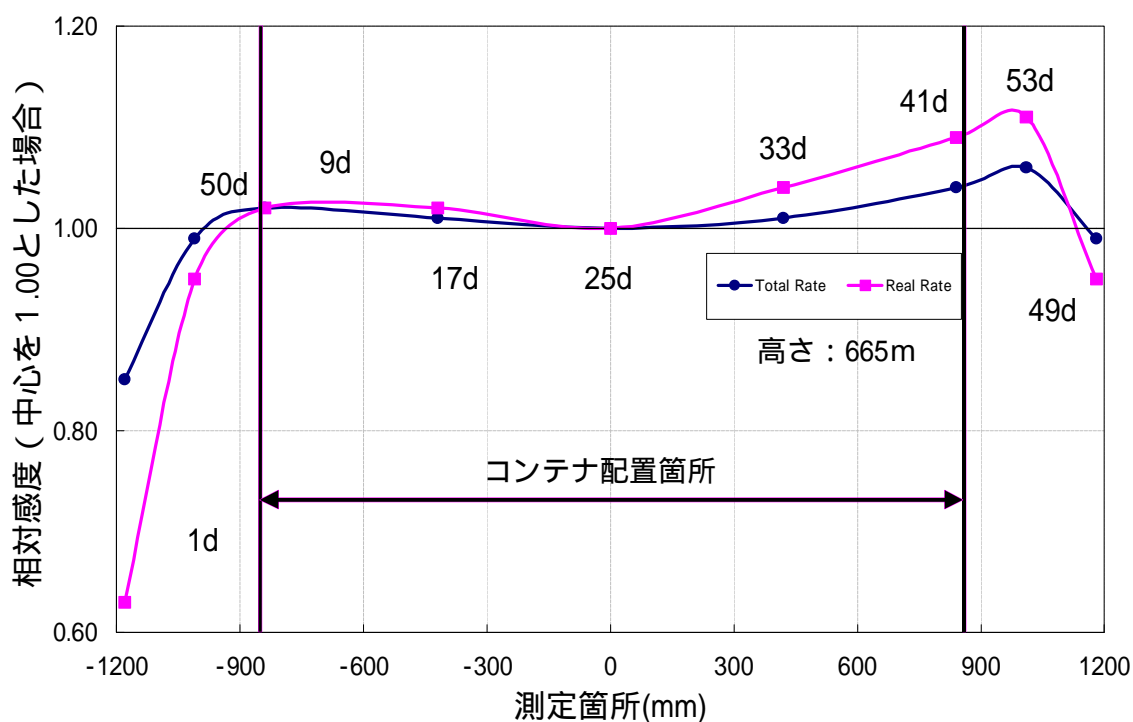


図 6.4-4 水平方向の応答性(軸)

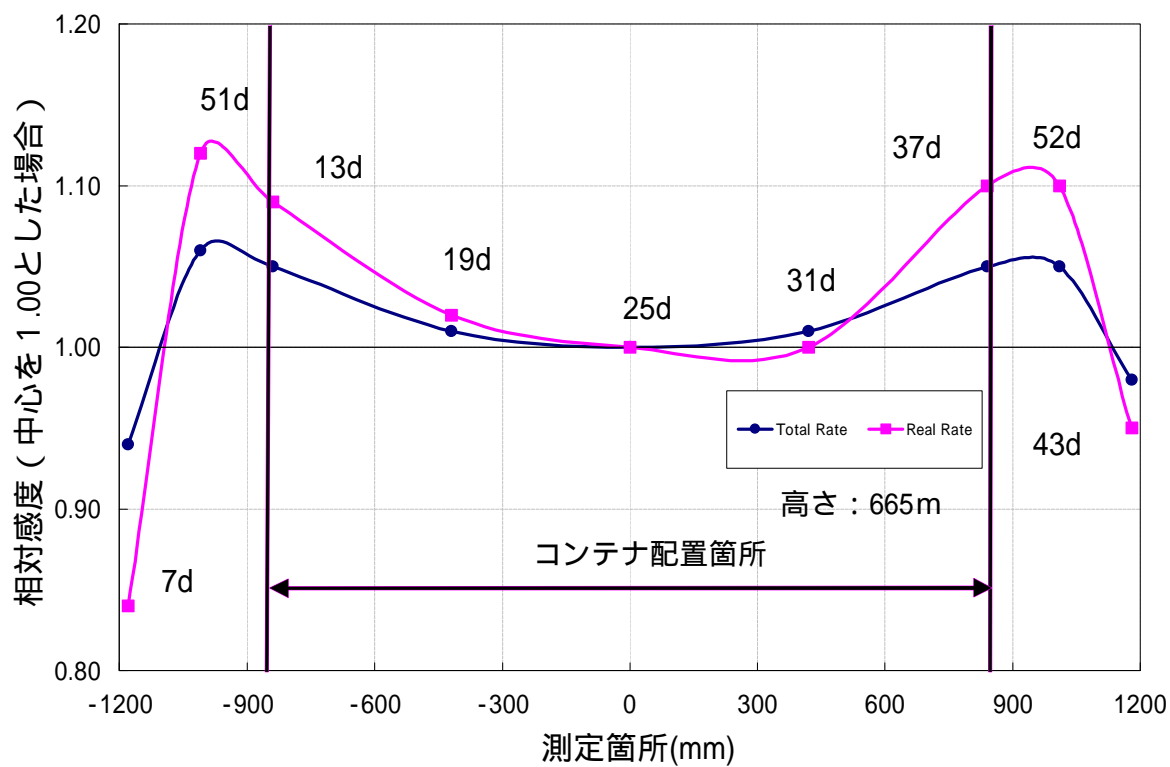


図 6.4-5 水平方向の応答性(軸)

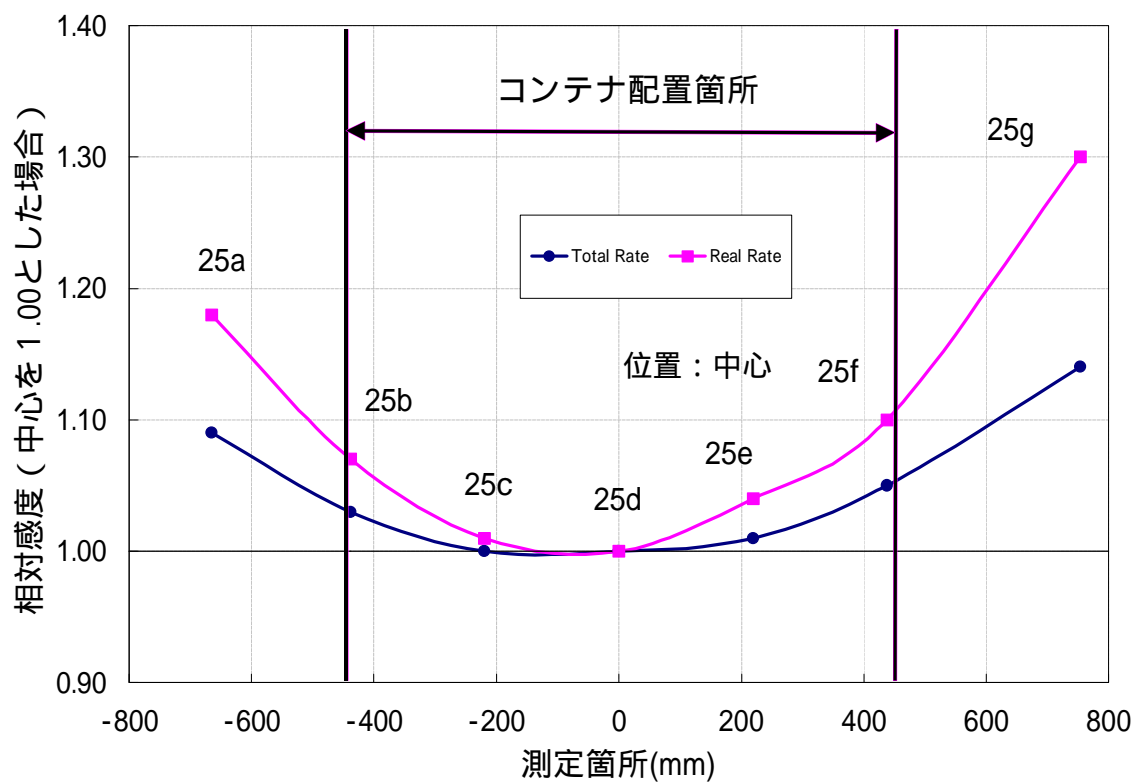


図 6.4-6 垂直方向の応答性(Z 軸)

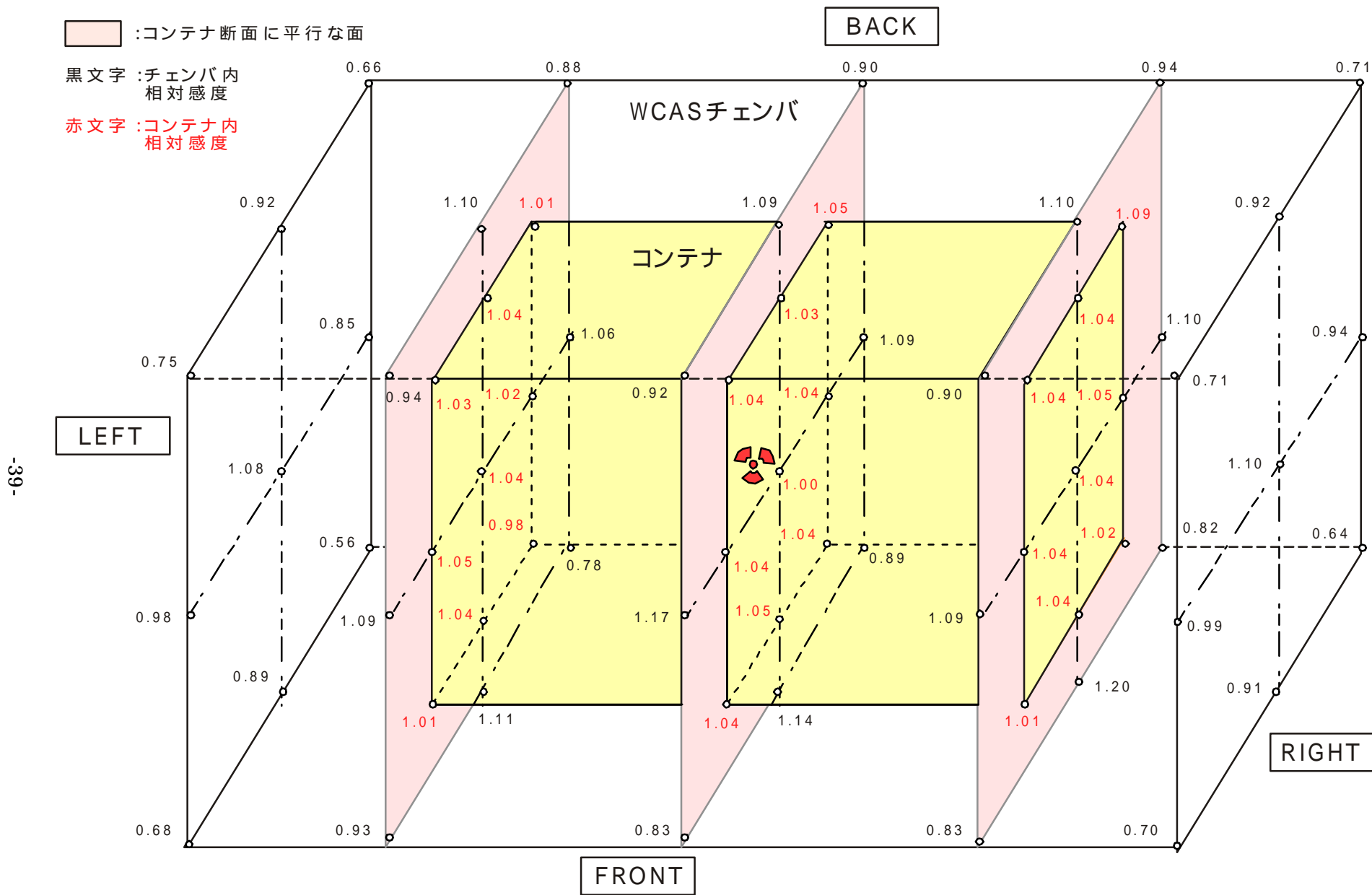


図 6.4-7 WCAS チェンバ内における相対感度分布(Total Rate)

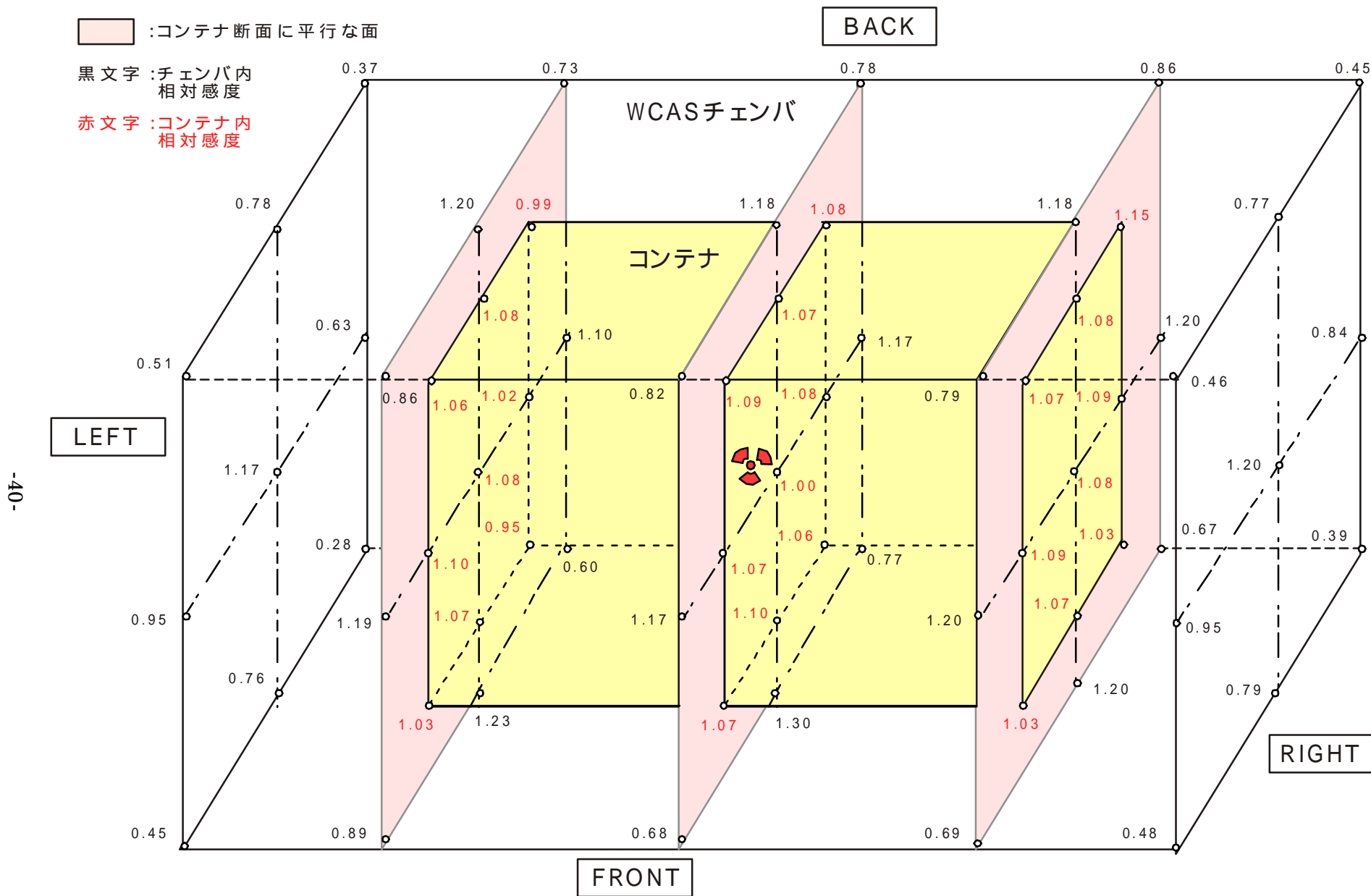


図 6.4-8 WCAS チェンバ内における相対感度分布(Real Rate)

6.5 Pu キャリブレーション(検量線の作成)

6.5.1 概要

同時計数法によって計測した Real Rate を, ^{240}Pu 実効質量 (以下, $g^{240}\text{Pu-eff}$) へ変換するために必要な検量線を作成する。

一般的に検量線は, マトリックスがない容器に Pu 線源を配置した Pu キャリブレーションで取得する。また, 実廃棄物マトリックスは種々雑多であるため, それらによるマトリックス効果補正は「6.6 AAS キャリブレーション」の結果を用いる。

6.5.2 検量線及び $^{240}\text{Pu-eff}$ の定義(1) 検量線 ($y = ax$)

検量線は同時計数法によって計測した Real Rate を $g^{240}\text{Pu-eff}$ へ変換するために必要な式であり, (6-3)式で表される。

$$\text{検量線} \quad R = a \times m \quad (6-3)$$

R : Real Rate(cps)

a : 比例定数($R/g^{240}\text{Pu-eff}$)

m : $g^{240}\text{Pu-eff}$

(2) $^{240}\text{Pu-eff}$

$^{240}\text{Pu-eff}$ は, 中性子発生割合から ^{240}Pu 以外の核種 (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , ^{238}U , ^{241}Am 等)を ^{240}Pu 量に換算するもので, ^{240}Pu に対する自発核分裂中性子発生数の比が ^{238}Pu と ^{242}Pu 以外は極めて小さいことから, (6-4)式で定義される。¹⁾

$$^{240}\text{Pu-eff} = 2.52 \times ^{238}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu} + 1.68 \times ^{242}\text{Pu} \quad (6-4)$$

2.52 : ^{240}Pu に対する ^{238}Pu の自発核分裂中性子発生数の比

1.68 : ^{240}Pu に対する ^{242}Pu の自発核分裂中性子発生数の比

Pu 同位体を(6-4)式へ代入して算出された $^{240}\text{Pu-eff}$ は, 検量線で得られた $g^{240}\text{Pu-eff}$ を Pu 重量へ変換するために用いる。Pu 重量の算出方法を(6-5)式に示す

$$\text{Pu mass} = m / ^{240}\text{Pu-eff}(\%) \times 100 \quad (6-5)$$

Pu mass : Pu 重量(g)

6.5.3 試験方法

本試験では空コンテナを使用し，Pu 線源をコンテナ水平方向については 16 分割及び 4 分割の 2 種類における各中心位置へ，またコンテナ垂直方向については，3 分割したその中心位置へ配置し，Real Rate を測定する。垂直方向は，TOP，CENTER 及び BOTTOM 3 箇所の Real Rate を平均する。なお，Pu 線源を均等配置するのは，廃棄物中の Pu を模擬し，コンテナ内に均一に分布していると仮定したためである。試験条件を表 6.5-1 に示す。

表 6.5-1 Pu キャリブレーション試験条件

Pu 線源の内訳 (Pu 重量)	1gPu × 16 個 (16g) 3gPu × 16 個 (48g) 1gPu × 16 個 + 3gPu × 16 個 (64g) 1gPu × 16 個 + 3gPu × 16 個 + 8gPu × 4 個(96g)
線源位置	図 6.5-1 参照
測定時間	1200 秒 (60 秒 × 20 回)
評価	²⁴⁰ Pu-eff と計数率(Real Rate)

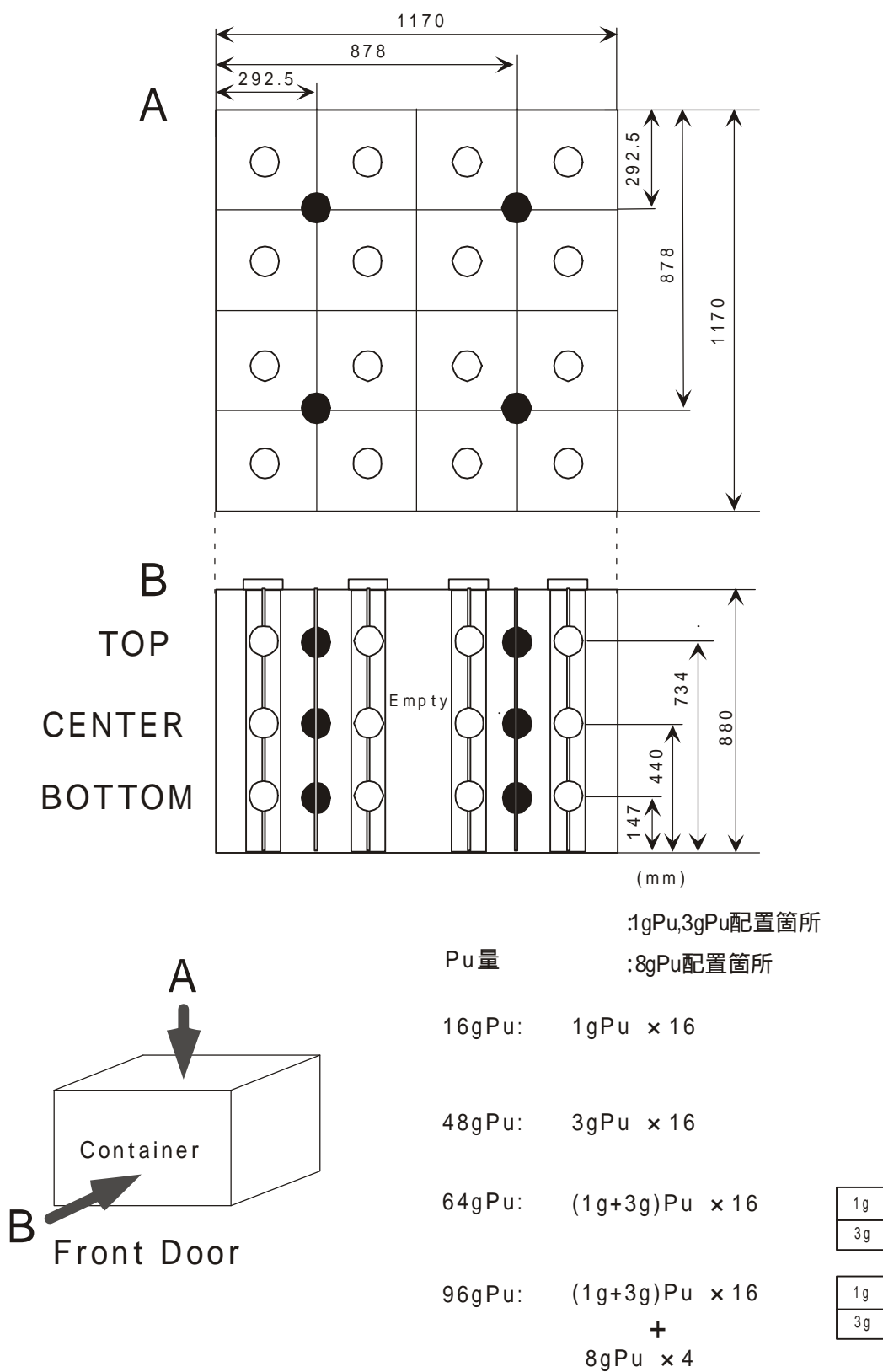


図6.5-1 PuキャリブレーションPu線源位置

6.5.4 試験結果

Pu キャリブレーションの結果を表 6.5-2, 検量線を図 6.5-2 に示す。

図 6.5-2 から検量線の比例定数 $a = 14.424$ が得られた。

検量線は線形性を示しており, 近似の精度を示す決定係数 R^2 値は 0.9999 であった。このため, 近似の精度は良好であり, また Pu 標準線源の中性子増倍の影響もなく, 線源配置等の測定条件は妥当なものであると考えられる。

なお, 実際の測定では「6.6 AAS キャリブレーション試験(中性子吸収曲線の作成)」の結果を用いて, 補正した Real Rate を検量線へ代入する。

表 6.5-2 Pu キャリブレーション結果

Pu線源(g)			線源位置	Real Rate(cps)	
試料名	核減衰補正後	²⁴⁰ Pu-eff		測定値	平均
16gPu	15.95	4.59	TOP	63.05	63.95
			CENTER	62.35	
			BOTTOM	66.46	
48gPu	47.81	13.75	TOP	195.63	200.59
			CENTER	197.52	
			BOTTOM	208.63	
64gPu	63.76	18.33	TOP	258.80	263.31
			CENTER	261.46	
			BOTTOM	269.67	
96gPu	95.7	27.51	TOP	389.97	396.79
			CENTER	396.84	
			BOTTOM	403.56	

-46-

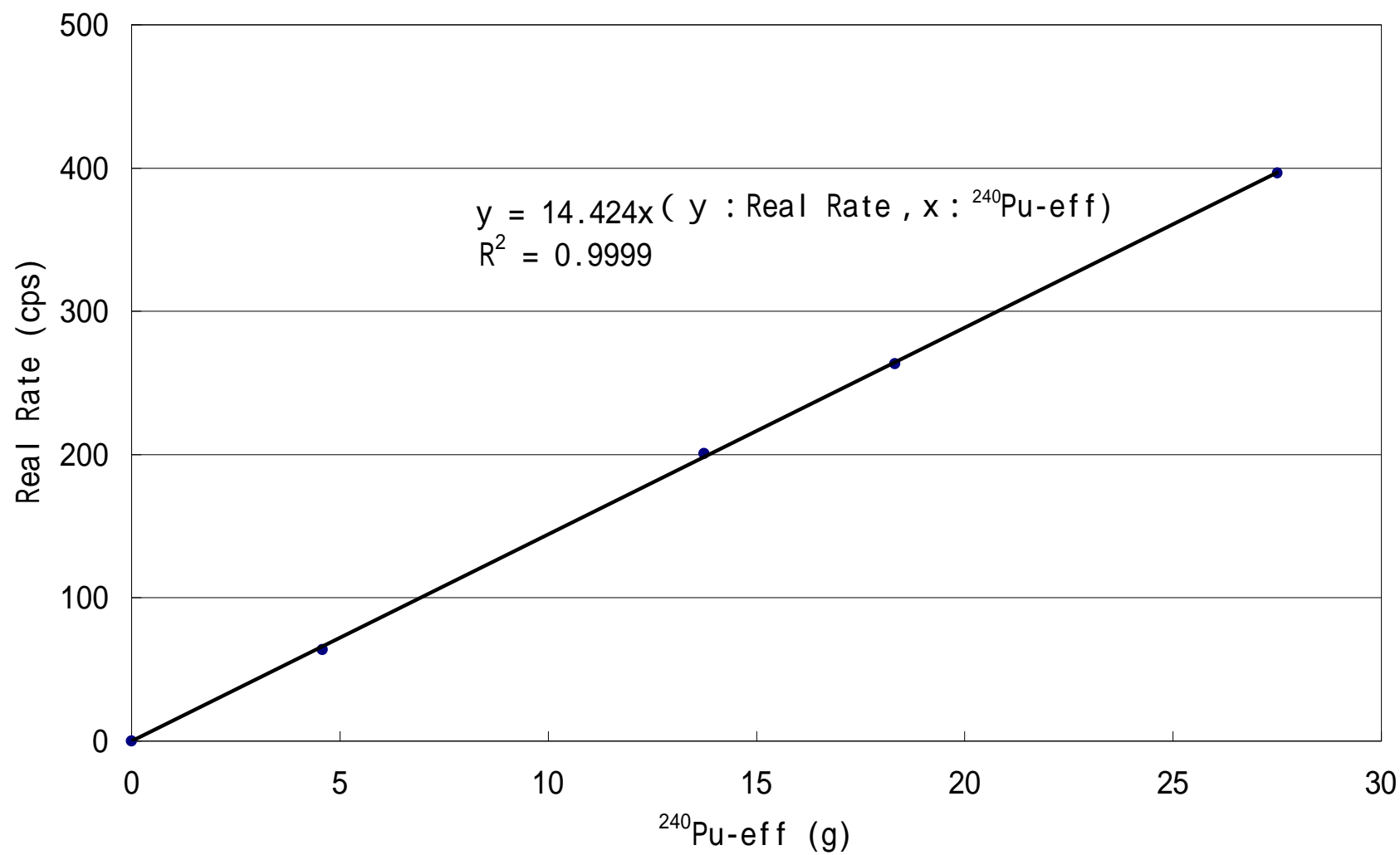


図 6.5-2 検量線

6.6 AAS キャリブレーション(中性子吸収曲線の作成)

6.6.1 概要

WCAS の測定対象物である廃棄物コンテナは、容量がドラム缶の約 5 倍、収納する廃棄物の重量も約 20 倍と多くそのマトリックスは種々雑多である。

廃棄物コンテナ内で発生する中性子の中には、マトリックスに含まれる水素等による散乱・吸収で計数されないものがある。このマトリックス効果の度合いが、マトリックスの種類・密度等に依存することから模擬廃棄物を使って、これらマトリックス効果の補正式を求める。

6.6.2 マトリックスの調整

マトリックスをパラメータに 10 基のコンテナ(空を含む)を作製した。模擬マトリックス種類及び重量を表 6.6-1 へ示す。

サンプルは、主に鉄、ポリウレタン、ポリ酢酸ビニル及び高密度ポリエチレンといったマトリックスで構成されており、均一分布になるようにアレンジした。

表 6.6-1 の AAS Pert.(: 線源付加法中性子吸収率)は、AAS²⁵²Cf 線源の既知の計数率及びマトリックス効果の影響を受けた計数率から算出され、値が大きいほどマトリックス効果に影響があることを示す。

表 6.6-1 模擬マトリックス(AAS キャリブレーション)

コンテナ	鉄製試験 治具(kg)	マトリックス (kg)						AAS Pert.
		鉄	ポリ酢酸ビニル 梱包鉄	ゴム	ポリ酢酸 ビニル	ポリウレタン	高密度 ポリエチレン	
A	83.8	無	無	無	無	無	無	0.00
B	83.8	501.2	923.1	無	24.9	無	無	0.10
C	83.8	380.9	1096.4	無	24.3	13.5	無	0.21
D	83.8	299.2	842.7	無	43.8	29.9	無	0.33
E	83.8	299.2	296.4	無	39.2	28.5	19.5	0.40
F	83.8	299.2	261.3	3.8	24.4	33.1	53.8	0.48
G	83.8	無	無	無	48.1	65.3	35.8	0.57
H	83.8	無	無	無	71.5	65.3	35.9	0.58
I	83.8	無	無	無	48.1	62.8	60.6	0.63
J	83.8	無	無	無	54.7	60.1	78.9	0.70

6.6.3 試験方法

Pu 線源をコンテナ水平方向については 16 分割及び 4 分割の 2 種類における各中心位置へ，またコンテナ垂直方向については，3 分割したその中心位置へ配置し，Real Rate を測定する。試験条件を表 6.6-2 に示す。

表 6.6-2 AAS キャリブレーション試験条件

線源の種類 (Pu 重量)	16gPu(1gPu × 16 個)
線源位置	図 6.6-1 参照
測定時間	計 2400 秒 Pu 線源: 1200 秒(60 秒 × 20 回) AAS : 600 秒(60 秒 × 10 回) × 2 Position
繰り返し測定回数	5 回
評価	Pu 線源及び AAS の計数率(Real Rate)

6.6.4 試験結果

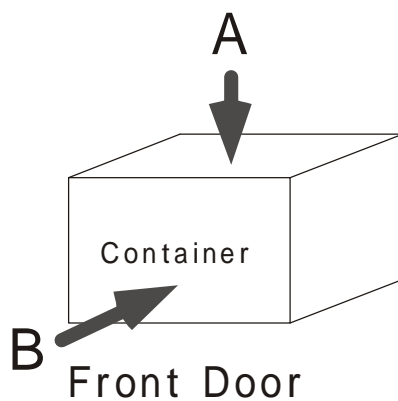
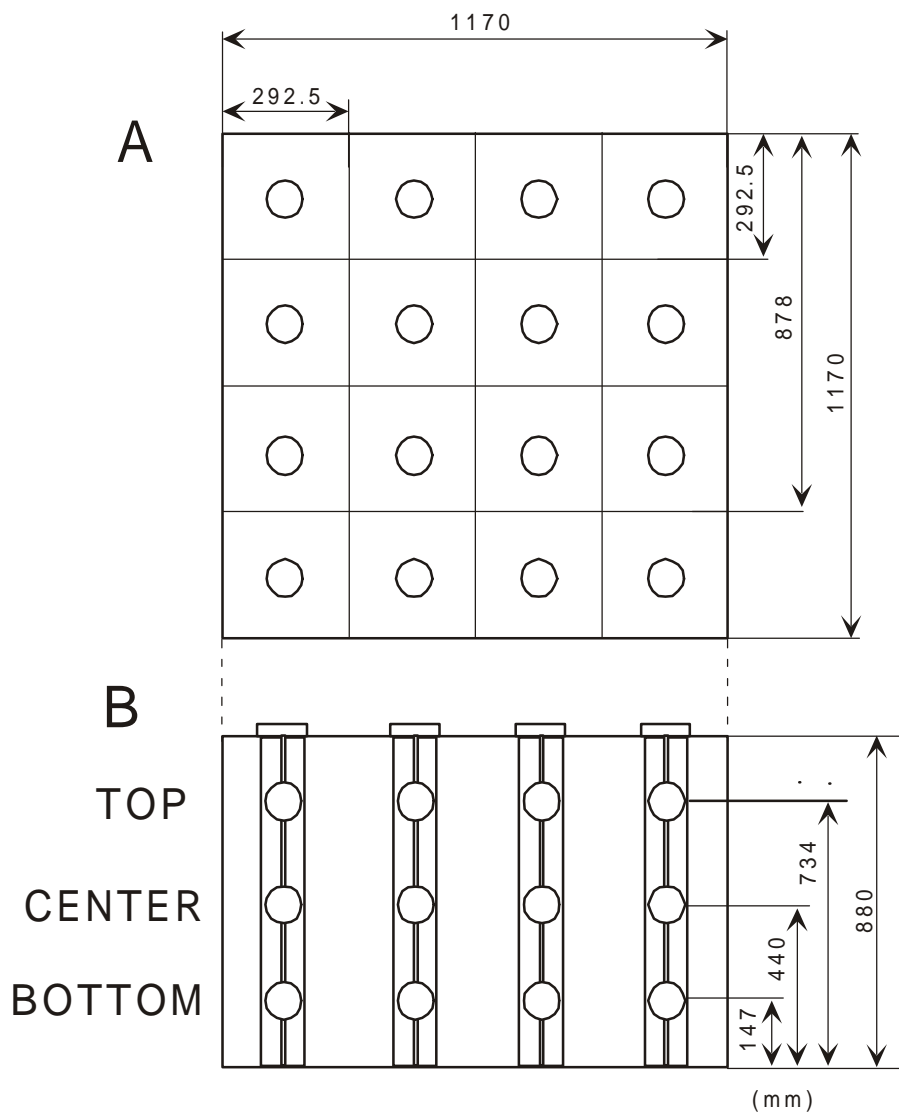
10 基のコンテナを用いて測定したデータを表 6.6-3 ~ 表 6.6-12 に，それをもとに算出した AAS pert. x と Vol. Ave. pert. y を表 6.6-13 に示す。

表 6.6-13 のデータに対し，デミングコードを使用してプロットしたところ，図 6.6-2 及び(6-6)式の中性子吸収曲線(マトリックス効果補正式)が得られた。

$$y = 0.1942x + 3.7850x^2 - 2.9960 x^3 \quad (6-6)$$

x : 線源付加法中性子吸収率 (AAS Perturbation)

y : コンテナ内中性子吸収率 (Volume Average Perturbation)



:1gPu配置箇所

Pu量 16gPu: 1gPu × 16

図 6.6-1 AASキャリブレーション Pu 線源位置

表 6.6-3 AAS キャリブレーション測定データ(1)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)					サンプル計数率		
	Pu重量(g)	配置		Posi1(NET)		Posi2(NET)		AVERAGE	AVG.補正	(cps)	
A (EMPTY)	16	TOP	1	3110.15	19.77	3254.62	20.22	3182.39	3184.67	63.97	0.97
			2	3127.23	19.79	3265.08	20.23	3196.16	3198.45	63.15	0.97
			3	3154.82	19.83	3228.21	20.18	3191.52	3193.81	64.23	0.97
			4	3107.74	19.76	3270.74	20.23	3180.58	3182.86	64.53	0.97
			5	3130.84	19.78	3230.69	20.18	3180.75	3183.03	64.06	0.97
		CENTER	1	3093.15	19.76	3178.88	20.12	3136.02	3136.02	65.09	0.97
			2	3074.25	19.72	3198.08	20.15	3136.17	3136.17	64.96	0.97
			3	3109.82	19.78	3244.11	20.21	3176.97	3176.97	63.72	0.97
			4	3110.65	19.78	3250.51	20.23	3180.58	3180.58	65.26	0.96
			5	3124.27	19.80	3237.22	20.20	3180.75	3180.75	64.32	0.97
		BOTTOM	1	3133.83	19.82	3260.15	20.26	3196.99	3196.99	66.35	0.98
			2	3102.98	19.79	3285.37	20.30	3194.18	3194.18	66.59	0.98
			3	3125.36	19.81	3251.40	20.24	3188.38	3188.38	67.32	0.98
			4	3073.59	19.74	3241.59	20.23	3157.59	3157.59	65.49	0.98
			5	3078.56	19.75	3228.98	20.21	3153.77	3153.77	67.00	0.98
AVERAGE								3170.14	65.61		
								22.71	1.18		

表 6.6-4 AAS キャリブレーション測定データ(2)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)					サンプル計数率		
	Pu重量(g)	配置		Posi1(NET)		Posi2(NET)		AVERAGE	AVG.補正	(cps)	
B	16	TOP	1	2847.83	18.23	2971.31	18.34	2909.57	2922.12	62.01	0.93
			2	2836.85	18.21	2930.49	18.28	2883.67	2896.11	63.78	0.93
			3	2833.45	18.19	2914.79	18.27	2874.12	2886.52	62.73	0.93
			4	2855.64	18.23	2921.91	18.27	2888.78	2901.24	62.95	0.93
			5	2857.89	18.23	2939.21	18.29	2898.55	2911.06	61.70	0.93
		CENTER	1	2848.73	18.22	2916.95	18.26	2882.84	2893.20	61.26	0.91
			2	2858.18	18.23	2950.73	18.31	2904.46	2914.89	60.91	0.91
			3	2872.26	18.25	2941.83	18.28	2907.05	2917.49	60.24	0.91
			4	2857.30	18.22	2910.51	18.24	2883.91	2896.35	60.29	0.96
			5	2863.44	18.24	2934.62	18.27	2899.03	2911.54	61.47	0.92
		BOTTOM	1	2872.47	18.24	2898.32	18.21	2885.40	2897.84	61.60	0.92
			2	2855.24	18.23	2891.43	18.21	2873.34	2885.73	62.38	0.92
			3	2879.20	18.26	2935.63	18.26	2907.42	2919.96	63.42	0.92
			4	2867.21	18.24	2945.55	18.28	2906.38	2918.92	63.85	0.92
			5	2863.65	18.23	2940.01	18.27	2901.83	2914.35	62.33	0.92
AVERAGE								2905.05	61.73		
								11.90	1.16		

表 6.6-5 AAS キャリブレーション測定データ(3)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)					サンプル計数率		
	Pu重量(g)	配置		Pos i1(NET)		Pos i2(NET)		AVERAGE	AVG.補正	(cps)	
C	16	TOP	1	2670.00	17.57	2532.79	16.85	2601.40	2627.66	60.13	0.90
			2	2684.66	17.59	2515.23	16.83	2599.95	2626.19	57.61	0.90
			3	2691.77	17.60	2547.40	16.87	2619.59	2646.03	58.92	0.90
			4	2710.48	17.63	2536.08	16.85	2623.28	2649.76	57.80	0.90
			5	2669.27	17.57	2546.79	16.87	2608.03	2634.36	57.70	0.90
		CENTER	1	2706.97	17.61	2535.58	16.82	2621.28	2645.84	52.89	0.85
			2	2697.15	17.59	2507.84	16.78	2602.50	2626.88	53.07	0.85
			3	2705.29	17.60	2512.70	16.79	2609.00	2633.44	53.74	0.85
			4	2671.93	17.54	2511.27	16.78	2591.60	2615.89	52.51	0.85
			5	2700.43	17.59	2511.48	16.77	2605.96	2630.38	52.80	0.85
		BOTTOM	1	2704.70	17.60	2529.10	16.81	2616.90	2641.42	55.65	0.86
			2	2682.97	17.57	2535.28	16.81	2609.13	2633.58	55.51	0.87
			3	2680.48	17.56	2521.53	16.78	2601.01	2627.26	54.41	0.86
			4	2691.02	17.57	2524.37	16.79	2607.70	2634.02	54.90	0.86
			5	2681.17	17.55	2511.30	16.78	2596.24	2622.45	55.06	0.87
AVERAGE								2633.64	55.72		
								10.68	2.97		

表 6.6-6 AAS キャリブレーション測定データ(4)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)					サンプル計数率		
	Pu重量(g)	配置		Pos i1(NET)		Pos i2(NET)		AVERAGE	AVG.補正	(cps)	
D	16	TOP	1	2394.20	16.52	2304.92	16.07	2349.56	2369.88	50.13	0.83
			2	2416.76	16.57	2350.30	16.15	2383.53	2404.14	48.90	0.83
			3	2399.45	16.53	2325.30	16.11	2362.38	2382.80	48.99	0.83
			4	2411.90	16.56	2323.15	16.11	2367.53	2388.00	49.56	0.83
			5	2402.85	16.54	2334.66	16.12	2368.76	2389.24	48.38	0.85
		CENTER	1	2404.65	16.55	2350.20	16.11	2377.43	2392.83	42.17	0.78
			2	2406.99	16.55	2342.59	16.10	2374.79	2390.17	42.76	0.78
			3	2401.85	16.50	2339.40	16.07	2370.63	2391.12	43.62	0.78
			4	2434.69	16.54	2335.16	16.07	2384.93	2405.55	44.56	0.78
			5	2379.76	16.46	2308.96	16.02	2344.36	2364.63	42.68	0.78
		BOTTOM	1	2421.72	16.63	2346.42	16.16	2384.07	2399.51	48.86	0.82
			2	2436.28	16.65	2329.24	16.13	2382.76	2398.20	49.56	0.82
			3	2442.85	16.66	2346.75	16.16	2394.80	2410.31	48.61	0.82
			4	2405.52	16.60	2353.46	16.17	2379.49	2394.91	48.59	0.85
			5	2437.93	16.65	2359.84	16.18	2398.89	2414.43	50.06	0.82
AVERAGE								2387.84	46.18		
								12.95	3.27		

表 6.6-7 AAS キャリブレーション測定データ(5)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)						サンプル計数率 (cps)	
	Pu重量(g)	配置		Pos.i1(NET)		Pos.i2(NET)		AVERAGE	AVG.補正		
E	16	TOP	1	2274.64	15.98	2202.71	15.55	2238.68	2272.66	43.23	0.79
			2	2215.00	15.89	2226.22	15.59	2220.61	2254.32	42.46	0.79
			3	2263.44	15.97	2184.46	15.52	2223.95	2257.71	42.88	0.79
			4	2248.34	15.94	2182.37	15.51	2215.36	2248.99	42.60	0.79
			5	2258.29	15.96	2198.76	15.54	2228.53	2262.36	41.97	0.79
		CENTER	1	2274.50	15.95	2212.01	15.50	2243.26	2275.68	37.28	0.73
			2	2239.05	15.90	2190.94	15.47	2215.00	2247.01	37.50	0.73
			3	2285.44	15.96	2191.44	15.47	2238.44	2270.79	37.74	0.73
			4	2271.36	15.95	2170.22	15.44	2220.79	2252.89	37.15	0.73
			5	2288.91	15.97	2195.25	15.47	2242.08	2274.49	38.52	0.73
		BOTTOM	1	2252.26	16.01	2198.24	15.56	2225.25	2257.41	47.85	0.80
			2	2275.28	16.04	2208.95	15.59	2242.12	2274.52	47.25	0.80
			3	2276.83	16.04	2215.07	15.60	2245.95	2278.41	48.38	0.81
			4	2324.31	16.10	2210.58	15.59	2267.45	2300.22	47.40	0.80
			5	2292.22	16.06	2212.86	15.59	2252.54	2285.10	46.88	0.80
AVERAGE								2261.69	40.13		
								10.99	2.67		

表 6.6-8 AAS キャリブレーション測定データ(6)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)						サンプル計数率 (cps)	
	Pu重量(g)	配置		Pos.i1(NET)		Pos.i2(NET)		AVERAGE	AVG.補正		
F	16	TOP	1	2272.24	16.18	1990.05	14.88	2131.15	2134.21	41.59	0.77
			2	2271.47	16.14	1981.77	14.86	2126.62	2134.26	41.75	0.77
			3	2287.82	16.16	1998.72	14.87	2143.27	2150.97	41.02	0.77
			4	2293.77	16.16	2000.67	14.87	2147.22	2154.94	41.19	0.77
			5	2256.21	16.11	1996.67	14.87	2126.44	2134.08	42.18	0.77
		CENTER	1	2285.62	16.12	1986.38	14.77	2136.00	2139.07	34.11	0.69
			2	2272.83	16.10	1975.81	14.75	2124.32	2127.37	33.78	0.69
			3	2300.45	16.14	1985.37	14.77	2142.91	2145.99	31.67	0.68
			4	2266.65	16.10	1996.83	14.78	2131.74	2134.80	33.28	0.69
			5	2249.53	16.07	1991.66	14.77	2120.60	2123.64	33.14	0.69
		BOTTOM	1	2298.61	16.23	1973.32	14.84	2135.97	2137.50	41.09	0.76
			2	2319.95	16.27	1992.95	14.86	2156.45	2158.00	42.90	0.77
			3	2269.62	16.20	1990.14	14.86	2129.88	2131.41	41.97	0.76
			4	2292.34	16.22	1995.62	14.88	2143.98	2145.52	40.92	0.76
			5	2321.49	16.27	1996.67	14.88	2159.08	2160.63	42.29	0.76
AVERAGE								2137.93	37.37		
								9.96	4.46		

表 6.6-9 AAS キャリブレーション測定データ(7)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)						サンプル計数率 (cps)	
	Pu重量(g)	配置		Posi1(NET)		Posi2(NET)		AVERAGE	AVG.補正		
G	16	TOP	1	2183.36	16.17	1864.23	14.73	2023.80	2051.57	42.64	0.81
			2	2164.87	16.15	1891.72	14.77	2028.30	2056.14	42.23	0.81
			3	2142.00	16.13	1866.43	14.73	2004.22	2031.72	42.11	0.81
			4	2146.15	16.13	1852.63	14.71	1999.39	2026.83	42.36	0.81
			5	2138.25	16.11	1864.23	14.72	2001.24	2028.71	42.28	0.81
		CENTER	1	2146.94	16.07	1882.71	14.70	2014.83	2035.17	32.46	0.71
			2	2174.52	16.10	1827.70	14.62	2001.11	2021.31	32.92	0.71
			3	2170.46	16.09	1870.21	14.69	2020.34	2040.73	32.11	0.71
			4	2122.60	15.94	1875.76	14.65	1999.18	2022.26	33.24	0.71
			5	2133.26	15.98	1871.29	14.64	2002.28	2025.39	31.29	0.71
		BOTTOM	1	2117.37	16.00	1837.81	14.63	1977.59	2000.42	39.41	0.77
			2	2118.45	16.01	1879.14	14.70	1998.80	2021.87	39.88	0.77
			3	2121.39	16.00	1869.78	14.67	1995.59	2018.63	39.52	0.77
			4	2120.60	15.99	1849.92	14.67	1985.26	2008.18	39.67	0.76
			5	2143.24	16.03	1866.22	14.67	2004.73	2027.88	38.83	0.76
AVERAGE								2033.98	37.36		
								12.03	5.25		

表 6.6-10 AAS キャリブレーション測定データ(8)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)						サンプル計数率 (cps)	
	Pu重量(g)	配置		Posi1(NET)		Posi2(NET)		AVERAGE	AVG.補正		
H	16	TOP	1	2118.68	15.99	1814.85	14.46	1966.77	2015.33	40.92	0.82
			2	2121.77	15.98	1810.03	14.45	1965.90	2014.45	41.36	0.82
			3	2150.08	16.02	1827.40	14.46	1988.74	2037.85	41.07	0.82
			4	2141.34	16.01	1829.13	14.47	1985.24	2034.26	40.78	0.82
			5	2131.31	16.00	1855.38	14.51	1993.35	2042.57	43.12	0.82
		CENTER	1	2109.76	15.90	1794.27	14.30	1952.02	2001.66	33.14	0.73
			2	2101.82	15.88	1791.18	14.28	1946.50	1996.00	32.12	0.73
			3	2109.36	15.89	1803.21	14.31	1956.29	2006.03	33.21	0.73
			4	2107.70	15.87	1791.40	14.30	1949.55	1999.13	33.47	0.73
			5	2114.00	15.89	1779.39	14.28	1946.70	1996.20	32.90	0.73
		BOTTOM	1	2129.66	15.98	1805.88	14.36	1967.77	2016.36	40.95	0.77
			2	2122.73	15.96	1796.92	14.34	1959.83	2008.22	38.61	0.79
			3	2168.00	16.03	1797.77	14.34	1982.89	2031.85	40.79	0.77
			4	2111.21	15.95	1803.75	14.35	1957.48	2005.82	39.43	0.77
			5	2117.64	15.94	1819.27	14.36	1968.46	2018.51	40.82	0.77
AVERAGE								2014.35	37.21		
								17.87	4.53		

表 6.6-11 AAS キャリブレーション測定データ(9)

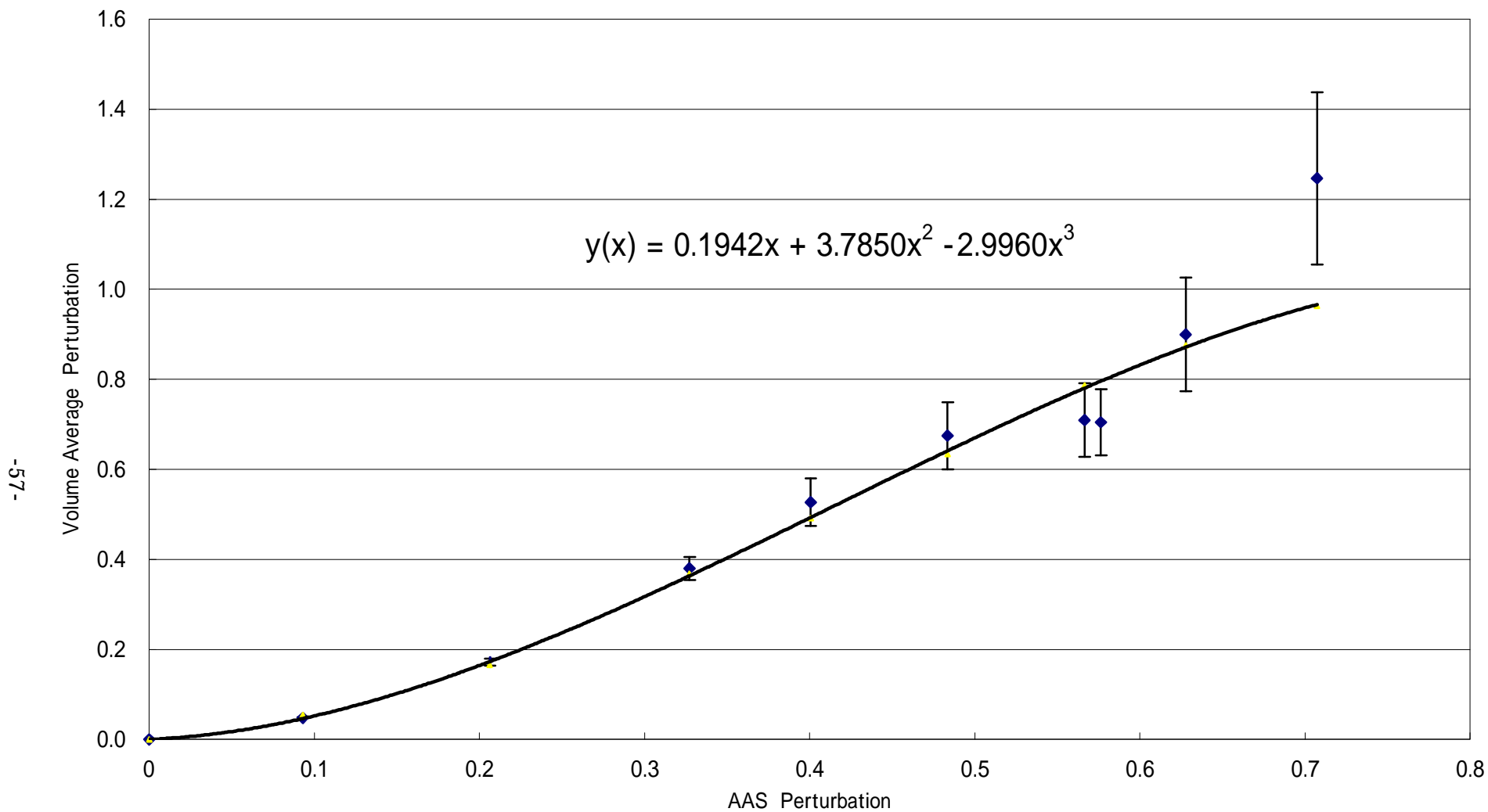
コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)						サンプル計数率 (cps)	
	Pu重量(g)	配置		Posi1(NET)		Posi2(NET)		AVERAGE	AVG.補正		
I	16	TOP	1	2126.59	15.97	1757.63	14.28	1942.11	1953.29	37.41	0.78
			2	2127.05	15.98	1748.47	14.27	1937.76	1948.91	37.99	0.77
			3	2123.65	15.97	1726.02	14.24	1924.84	1935.92	38.41	0.78
			4	2116.91	15.96	1773.66	14.31	1945.29	1956.48	38.72	0.77
			5	2137.41	15.99	1756.97	14.28	1947.19	1958.40	38.96	0.78
		CENTER	1	2145.60	15.90	1738.10	14.12	1941.85	1951.63	29.59	0.66
			2	2112.78	15.86	1743.62	14.11	1928.20	1939.30	27.73	0.66
			3	2127.98	15.87	1759.32	14.15	1943.65	1954.84	27.42	0.66
			4	2145.94	15.90	1751.05	14.12	1948.50	1959.71	27.20	0.66
			5	2116.79	15.85	1761.74	14.14	1939.27	1950.43	27.67	0.66
		BOTTOM	1	2139.79	15.98	1760.23	14.22	1950.01	1959.83	35.54	0.73
			2	2133.79	15.96	1731.39	14.17	1932.59	1942.32	36.26	0.73
			3	2128.97	15.96	1760.17	14.22	1944.57	1954.36	36.74	0.74
			4	2130.00	15.96	1744.43	14.19	1937.22	1946.97	37.47	0.74
			5	2137.44	15.97	1752.25	14.20	1944.85	1954.64	36.74	0.74
AVERAGE								1950.89	33.11		
								7.82	5.52		

表 6.6-12 AAS キャリブレーション測定データ(10)

コンテナ	サンプル		測定回数	AAS計数率(cps)						サンプル計数率 (cps)	
	Pu重量(g)	配置		Posi1(NET)		Posi2(NET)		AVERAGE	AVG.補正		
J	16	TOP	1	1963.85	15.19	1682.05	13.73	1822.95	1853.28	28.36	0.67
			2	1963.05	15.20	1695.61	13.76	1829.33	1859.77	26.38	0.67
			3	1932.35	15.00	1673.87	13.69	1803.11	1839.70	28.40	0.66
			4	1902.31	14.95	1657.27	13.66	1779.79	1815.91	28.09	0.66
			5	1927.00	14.99	1681.04	13.69	1804.02	1840.63	27.85	0.66
		CENTER	1	1955.16	15.14	1687.20	13.68	1821.18	1851.48	23.89	0.61
			2	1979.48	15.17	1693.50	13.69	1836.49	1867.05	24.85	0.61
			3	1992.91	15.20	1687.20	13.68	1840.06	1870.67	24.83	0.61
			4	1981.98	15.18	1698.00	13.69	1839.99	1870.61	24.14	0.61
			5	1966.19	15.16	1679.74	13.66	1822.97	1853.30	24.70	0.61
		BOTTOM	1	1987.99	15.32	1697.61	13.83	1842.80	1872.12	35.79	0.73
			2	1971.95	15.31	1691.27	13.81	1831.61	1860.75	33.93	0.72
			3	1996.59	15.34	1708.74	13.84	1852.67	1882.14	35.43	0.73
			4	2009.74	15.36	1719.36	13.86	1864.55	1894.22	34.28	0.72
			5	1984.31	15.31	1704.20	13.82	1844.26	1874.94	33.56	0.72
AVERAGE								1852.24	26.15		
								16.89	1.87		

表 6.6-13 AAS キャリブレーション結果

コンテナ	AAS Perturbation(x)	Volume Average Perturbation(y)
A	0	0
B	0.0931	0.0485
C	0.2063	0.1721
D	0.3273	0.3797
E	0.4008	0.5272
F	0.4837	0.6745
G	0.5664	0.7095
H	0.5764	0.7043
I	0.6279	0.8995
J	0.7073	1.2465



-57-

图 6.6-2 中性子吸收曲线

6.7 測定誤差評価

6.7.1 概要

「6.5 Pu キャリブレーション」で作成された検量線及び「6.6 AAS キャリブレーション」で作成された中性子吸収曲線を用いることで測定されたカウント値から Pu 量の算出が可能となる。よって、WCAS# 2 における Pu 量の測定精度を確認するため、模擬マトリックスを入れたコンテナへ Pu 線源を配置し、繰り返し測定を行う。

なお、WCAS# 2 における Pu 量の測定精度は、Pu 線源 (Pu 量既知) の測定誤差を統計的に評価することで求める。また、測定誤差評価試験に供する Pu 線源の Pu 同位体組成比は、分析結果(表 4.1-2 参照)を使用する。

6.7.2 誤差(error)の定義

測定誤差は、(6-7)式で定義する。

誤差の体系については、JNC 技術資料「廃棄物コンテナ非破壊測定装置(WCAS)1号機の開発」(JNC TN8410 2002-002)参照。

$$\text{測定誤差 } s_T = \sqrt{\text{系統誤差 } s_S^2 + \text{偶然誤差 } s_R^2} \quad (6-7)$$

6.7.3 マトリックスの調整

マトリックスをパラメータに 4 基のコンテナ(空を含む)を作製した。模擬マトリックス種類及び重量を表 6.7-1 へ示す。

サンプルは、主に鉄、ポリウレタン、ポリ酢酸ビニル及び高密度ポリエチレンといったマトリックスで構成されおり、均一分布になるようにアレンジした。

表 6.7-1 模擬マトリックス(測定誤差評価試験)

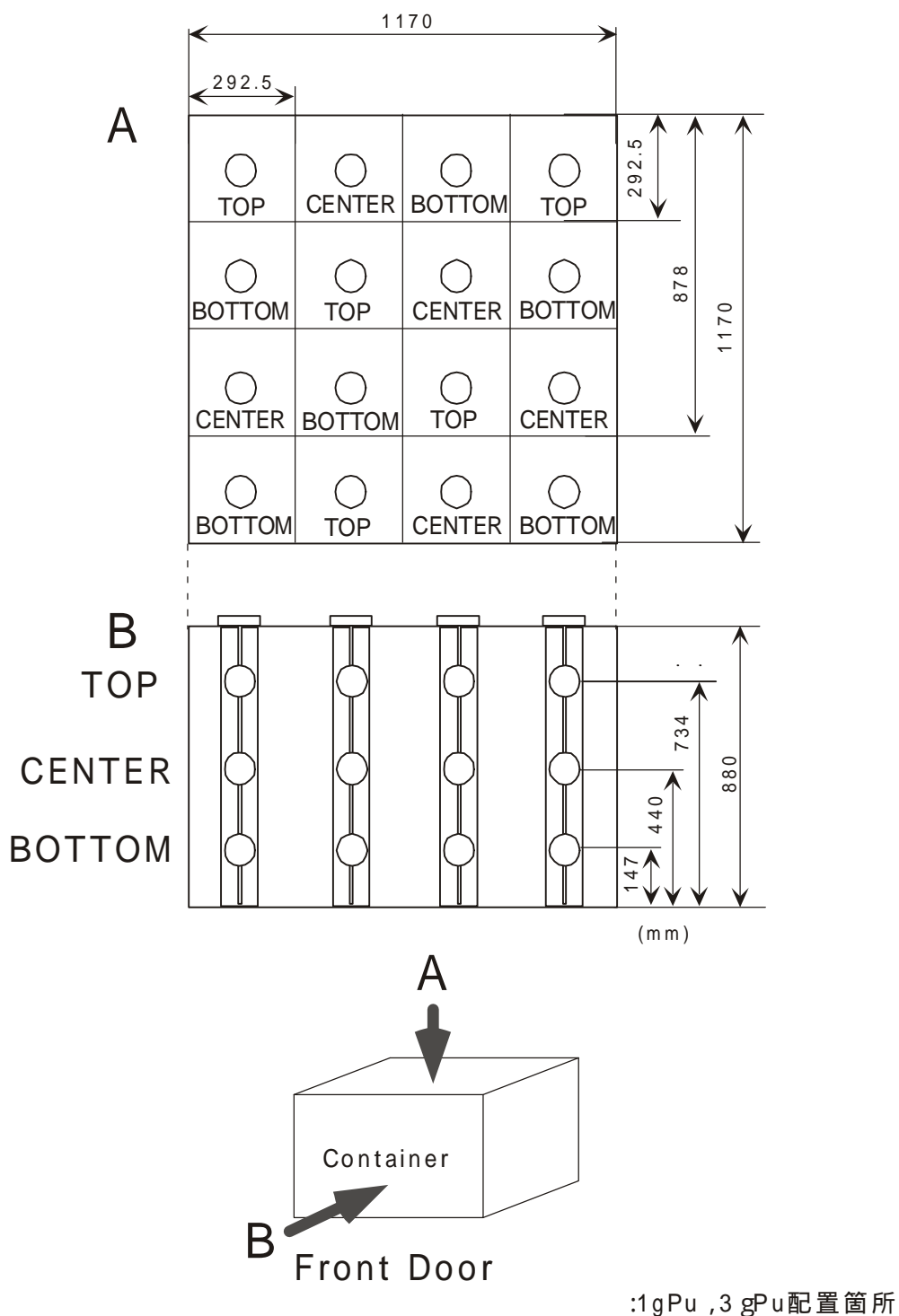
コンテナ	鉄製試験 治具(kg)	マトリックス (kg)				AAS Pert.
		鉄	ポリ酢酸 ビニル梱包鉄	ポリ酢酸 ビニル	ポリウレタン	
A	83.8	無	無	無	無	0.00
B	83.8	544.0	590.0	26.7	10.2	0.20
C	83.8	328.7	308.4	19.1	45.3	0.35
D	83.8	61.2	無	96.3	69.8	0.54

6.7.4 試験方法

試験条件を表 6.7-2 に示す。

表 6.7-2 測定誤差評価試験条件

線源の種類 (Pu 重量)	16gPu(1gPu × 16 個) 48gPu(3gPu × 16 個) 64gPu(1gPu × 16 個+3gPu × 16 個)		
線源位置	図 6.7-1 参照		
AASPert.	AAS Pert. 0 AAS Pert. 約 0.20 AAS Pert. 約 0.35 AAS Pert. 約 0.54		
測定時間		Pu 線源	
		AAS(× 2 Position)	
		600 秒(60 秒 × 10 回)	300 秒(60 秒 × 5 回)
		1200 秒(60 秒 × 20 回)	600 秒(60 秒 × 10 回)
		1800 秒(60 秒 × 30 回)	900 秒(60 秒 × 15 回)
	2400 秒(60 秒 × 40 回)	1200 秒(60 秒 × 20 回)	
繰り返し測定回数	各測定時間 × 5 回		
評価	Pu 量		



Pu量	16gPu	1gPu × 16
	48gPu	3gPu × 16
	64gPu	1gPu × 16 + 3gPu × 16

図 6.7-1 測定誤差評価試験 Pu 線源位置

6.7.5 試験結果

繰り返し測定試験結果をコンテナ別に表 6.7-3～表 6.7-6 に、各試験条件における誤差 T 及びその内訳(系統誤差 S 及び偶然誤差 R)を表 6.7-7 に示す。

本試験で測定した Pu 線源の Pu 量と全測定値を図 6.7-2 に示す。測定値は図 6.7-2 からわかるようにほぼ線形性を示している。

測定時間と誤差の相関を図 6.7-3 に示す。図 6.7-3 から誤差は、全体的に測定時間との相関はあまり変化がなく、最大は 8.95%であった。しかし、AAS pert.の 0.54 グループ以外を見ると、誤差は測定時間が長くなるに伴い若干ではあるが小さくなる傾向にある。

測定時間が誤差に与える影響をその成分から評価するため、「測定時間と系統誤差」及び「測定時間と偶然誤差」の各相関を図 6.7-4 及び図 6.7-5 に示す。図 6.7-4 から、系統誤差は測定時間との相関はないものの、AAS pert.の 0.54 グループとそれ以外のグループの二つに分けられる。図 6.7-5 から、偶然誤差は測定時間が長くなるに伴い小さくなる傾向が顕著にあることがわかる。このことから誤差の測定時間による影響は、偶然誤差によって生じるものと考えられる。図 6.7-4 に示した、AAS pert.の違いによる二つのグループ存在の確認のため、AAS pert.と系統誤差の相関を図 6.7-6 に示す。それによると明らかに AAS pert.0.54 のグループは、プラス側に“かたより(bias)”をもっていることがわかる。この“かたより”の確認のため、実廃棄物コンテナ測定時間である 1800 秒(60 秒×30 回)の「AAS pert.と誤差」、「AAS pert.と系統誤差」及び「AAS pert.と偶然誤差」の各相関を図 6.7-7～図 6.7-9 に示す。図 6.7-7 から AAS pert.0.54 のグループが他のグループより約+6%の“かたより”をもっていることがわかる。この“かたより”は、図 6.7-8 及び図 6.7-9 から、系統誤差の AAS pert.0.54 グループの“かたより”約+6%に起因するものと考えられる。

これらの結果から、WCAS#2 で実廃棄物コンテナ中の Pu 量を測定した場合、コンテナマトリックスが AAS pert.0.54 以上については、AAS pert.0.35 以下のコンテナより約+6%の測定誤差が生じると考えられる。

今回の試験の結果から、WCAS#2 の測定誤差は、実廃棄物コンテナ測定時間“1800 秒(60 秒×30 回)+AAS 測定時間：900 秒(60 秒×15 回)

× 2 Position ”では, 約 9%(1)以下である。この値は, 前記“ かつより ”を補正することにより 1/3 ~ 1/2 にすることが可能と考えられる。

表 6.7-3 測定誤差評価試験結果(1)

コンテナA(AAS Pert. 0)

σ_S :系統誤差 σ_R :偶然誤差 σ_T :誤差 ※ Real/CF

Table with 4 main columns for duration (600, 1200, 1800, 2400 sec) and 10 sub-columns for Assay Pu, Diff%, Total Rate, Real Rate, Real% (Rate/cps), and AAS Pert. Includes sample data for 16g, 48g, 64g and summary statistics for GRAND TOTAL.

JNC-TN8410-2002-008

表 6.7-4 測定誤差評価試験結果(2)

コンテナB(AAS Pert. 0.2)

σ_S :系統誤差 σ_R :偶然誤差 σ_T :誤差 ※ Real/CF

Table with 4 main columns for duration (600, 1200, 1800, 2400 sec) and 10 sub-columns for Assay Pu, Diff%, Total Rate, Real Rate, Real% (Rate/cps), and AAS Pert. Includes sample data for 16g, 48g, 64g and summary statistics for GRAND TOTAL.

-63-

表 6.7-7 誤差及びその内訳

(%)

コンテナ	AAS Pert.	Pu量	測定時間											
			600s			1200s			1800s			2400s		
			S	R	T	S	R	T	S	R	T	S	R	T
A	0	16 g	-1.93	2.70	3.32	-2.86	0.54	2.91	-1.92	1.34	2.34	-2.10	0.85	2.27
		48g	0.33	1.31	1.35	0.51	1.26	1.36	1.79	1.58	2.39	1.15	1.19	1.65
		64g	-1.36	1.86	2.30	0.18	2.05	2.06	0.00	1.02	1.02	-0.55	1.16	1.28
B	0.20	16 g	-2.96	3.74	4.77	-1.04	2.11	2.35	-1.80	1.98	2.68	-0.78	0.95	1.23
		48g	1.22	3.83	4.02	-0.38	1.36	1.41	0.90	2.14	2.32	2.23	1.28	2.57
		64g	0.26	1.67	1.69	1.22	0.56	1.34	1.32	1.66	2.12	1.14	1.17	1.63
C	0.35	16 g	-4.27	3.40	5.46	-1.57	1.03	1.88	-0.93	1.42	1.70	-0.96	0.91	1.32
		48g	1.57	5.05	5.29	4.17	2.03	4.64	2.25	0.73	2.37	3.18	1.05	3.35
		64g	2.59	2.68	3.73	2.06	1.85	2.77	1.52	1.43	2.09	0.90	1.46	1.72
D	0.54	16 g	4.68	1.46	4.90	5.53	1.99	5.88	4.79	1.74	5.10	3.03	1.46	3.36
		48g	8.19	3.30	8.83	8.12	2.23	8.42	8.48	2.16	8.75	6.50	1.81	6.75
		64g	6.30	2.82	6.90	8.11	3.78	8.95	8.65	1.33	8.75	6.93	1.32	7.05

S :系統誤差

R :偶然誤差

T :誤差

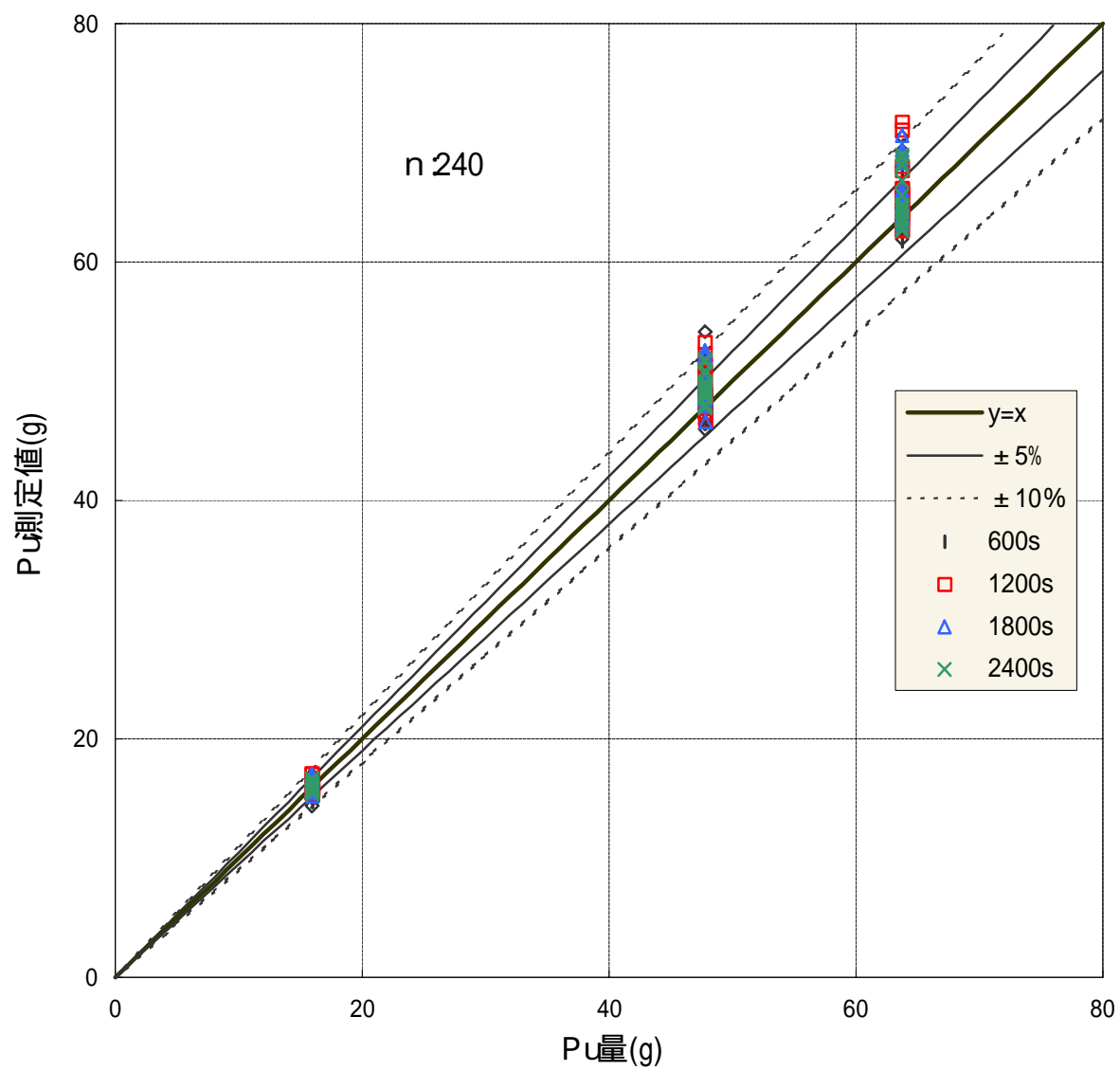


図 6.7-2 Pu 量と測定値

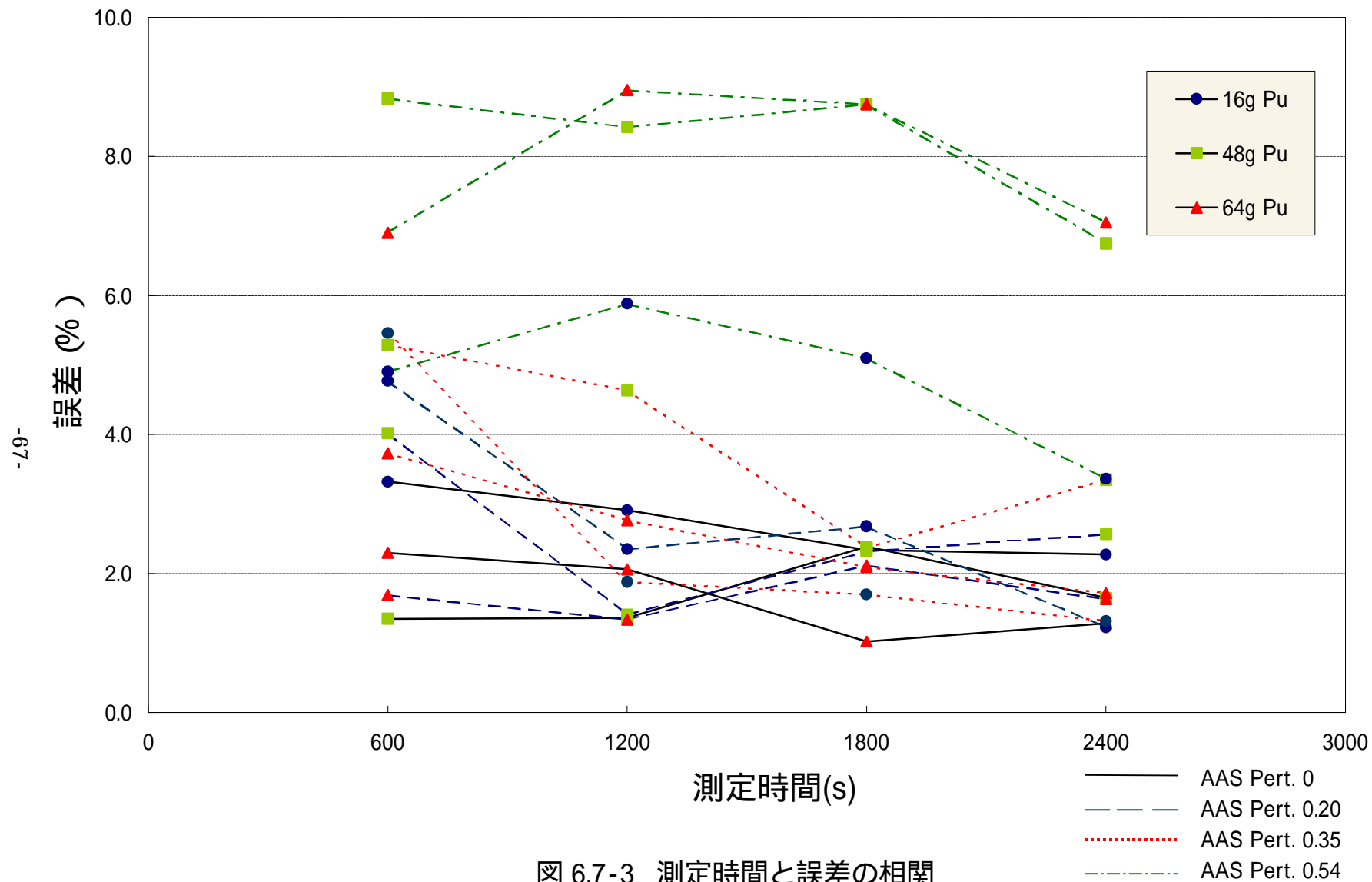


図 6.7-3 測定時間と誤差の相関

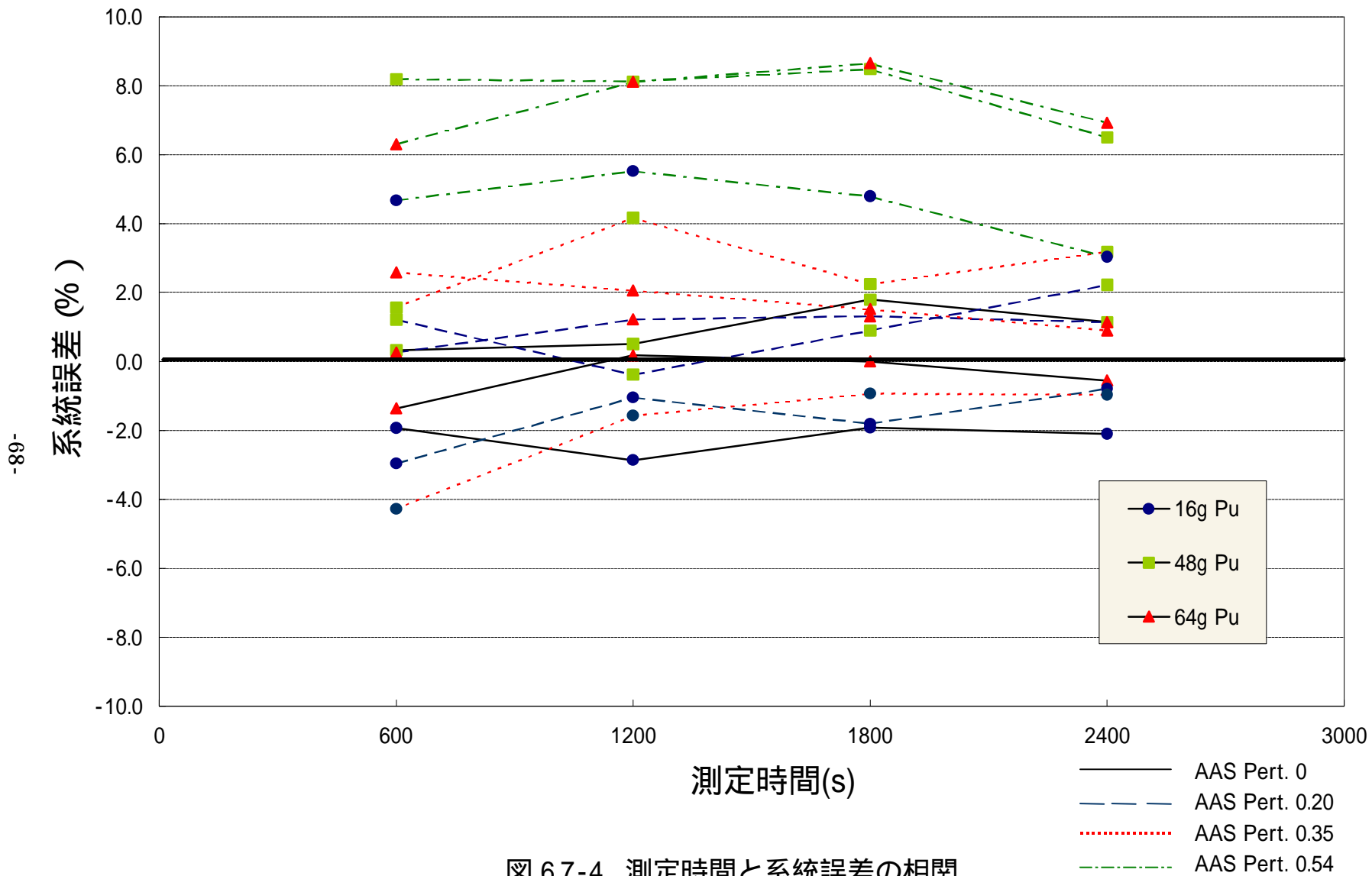


図 6.7-4 測定時間と系統誤差の相関

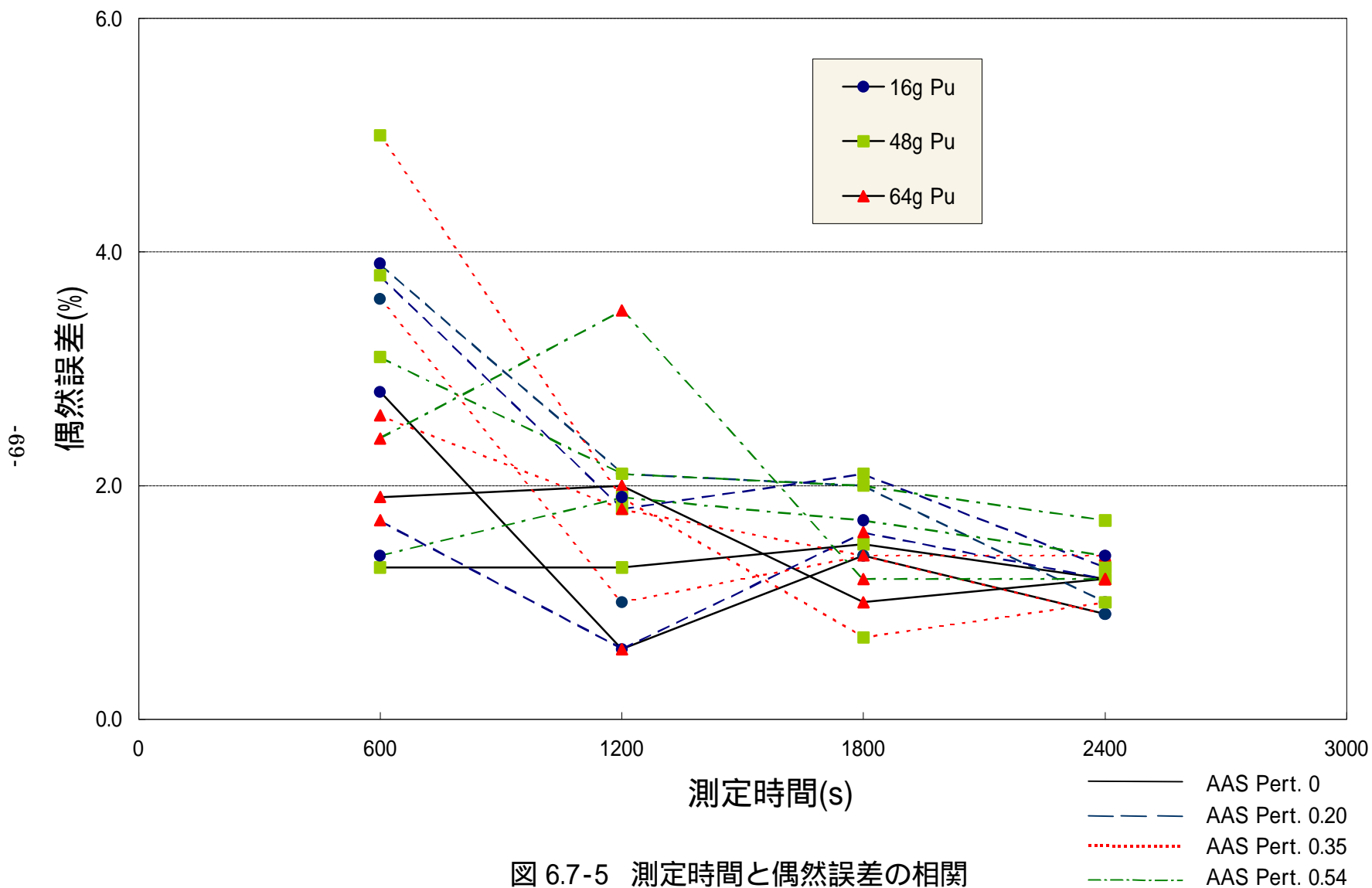


図 6.7-5 測定時間と偶然誤差の相関

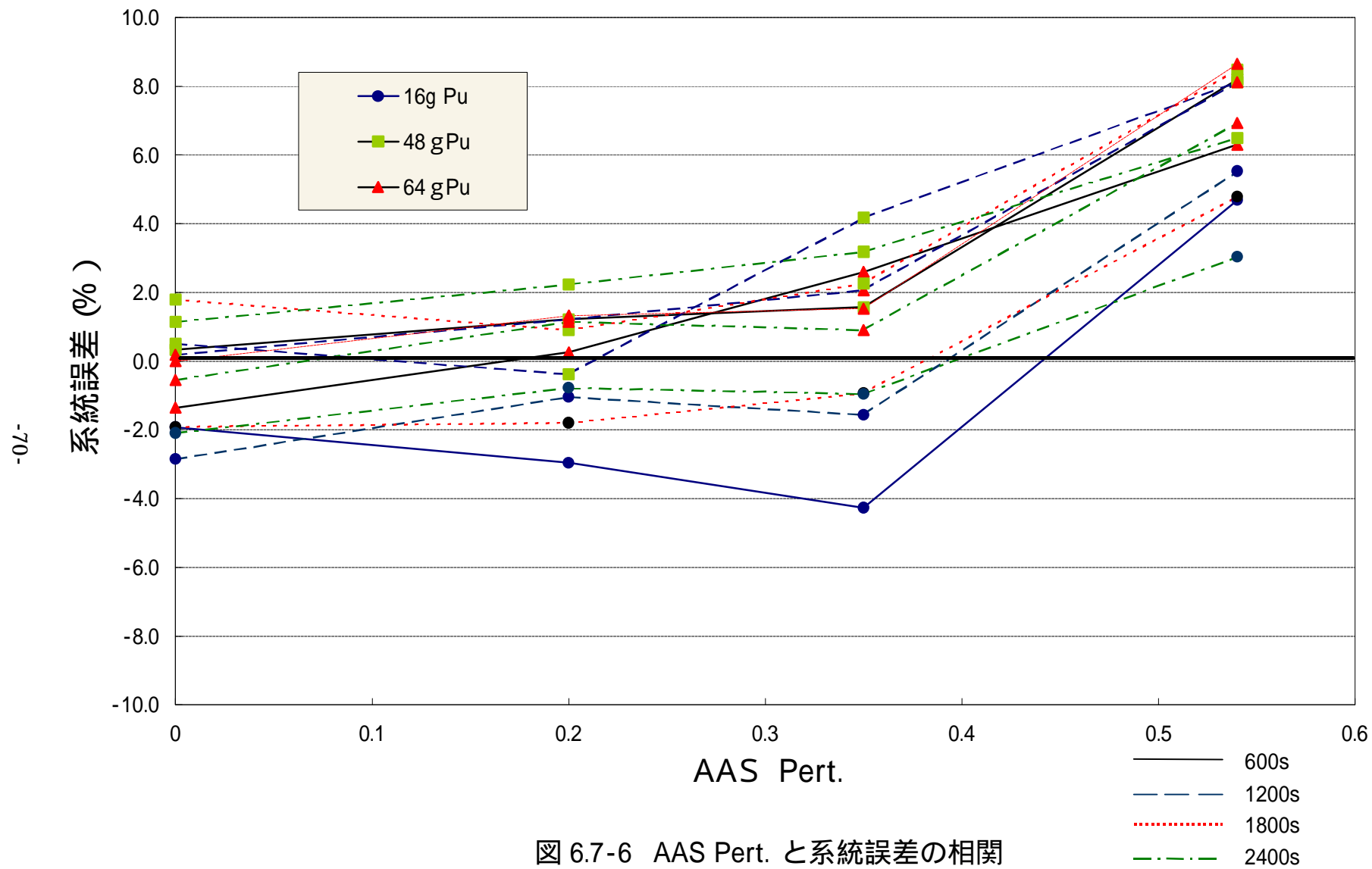


図 6.7-6 AAS Pert. と系統誤差の相関

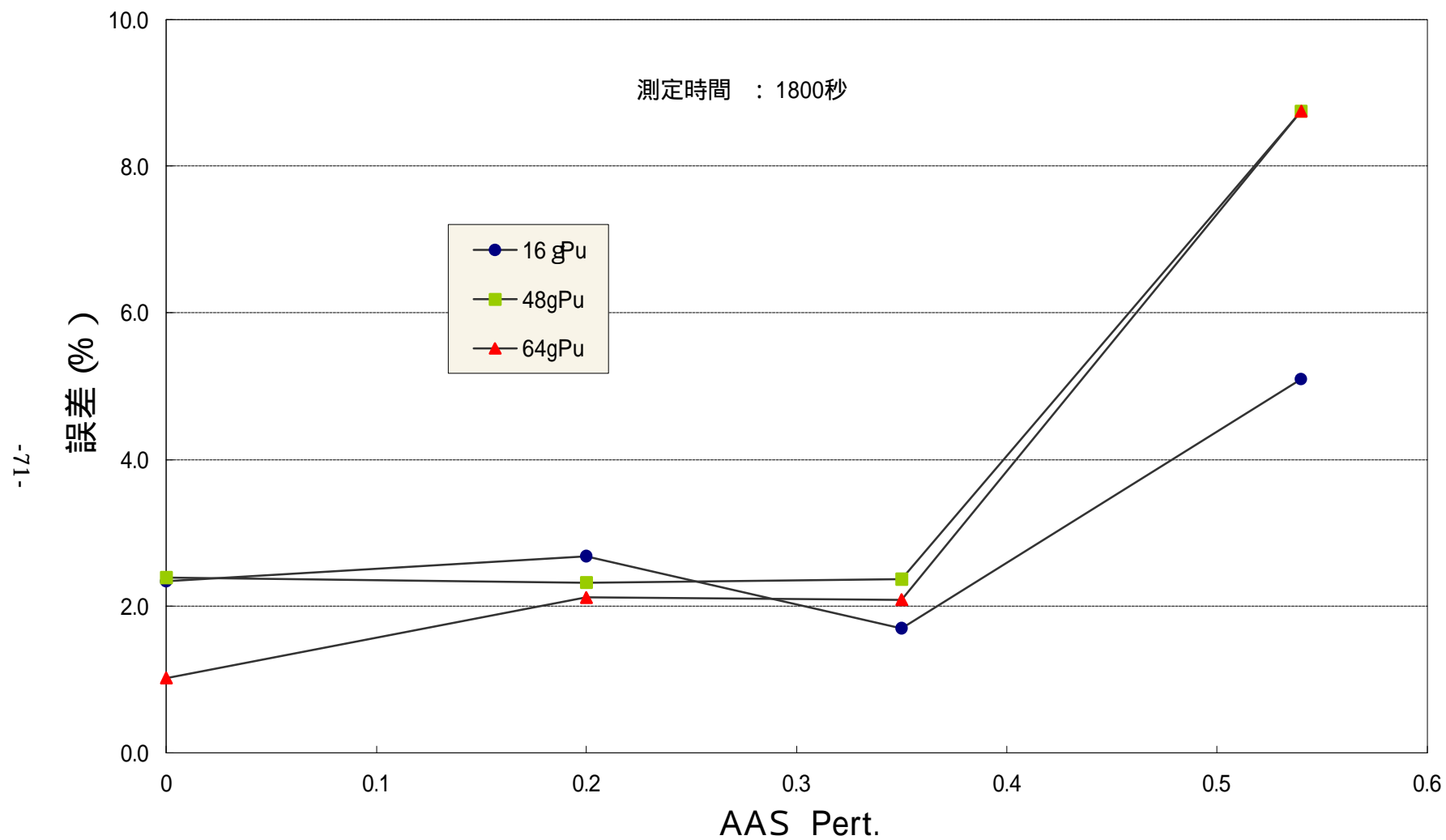


図 6.7-7 AAS Pert. と誤差の相関(1800 秒)

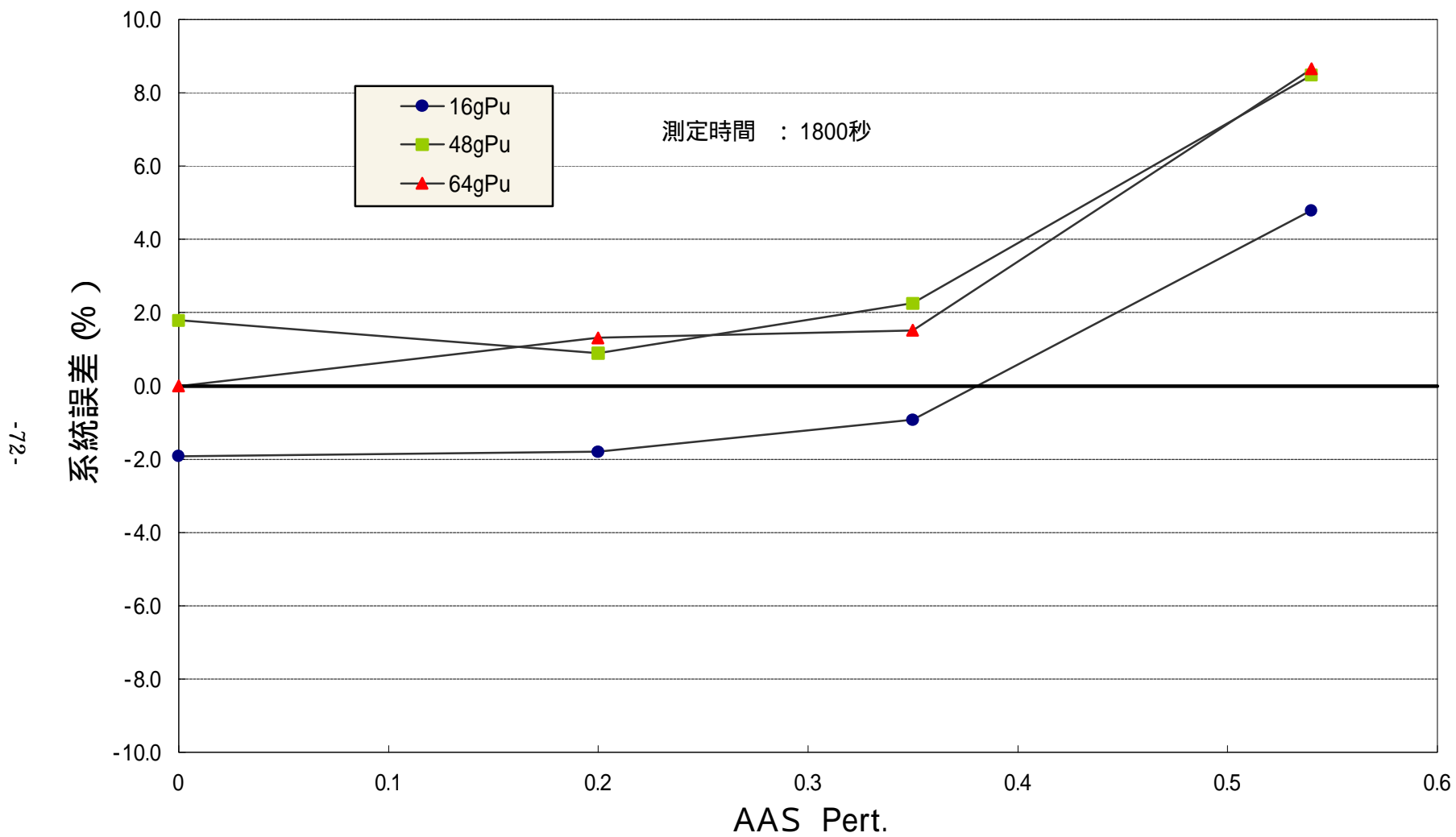


図 6.7-8 AAS Pert. と系統誤差の相関(1800 秒)

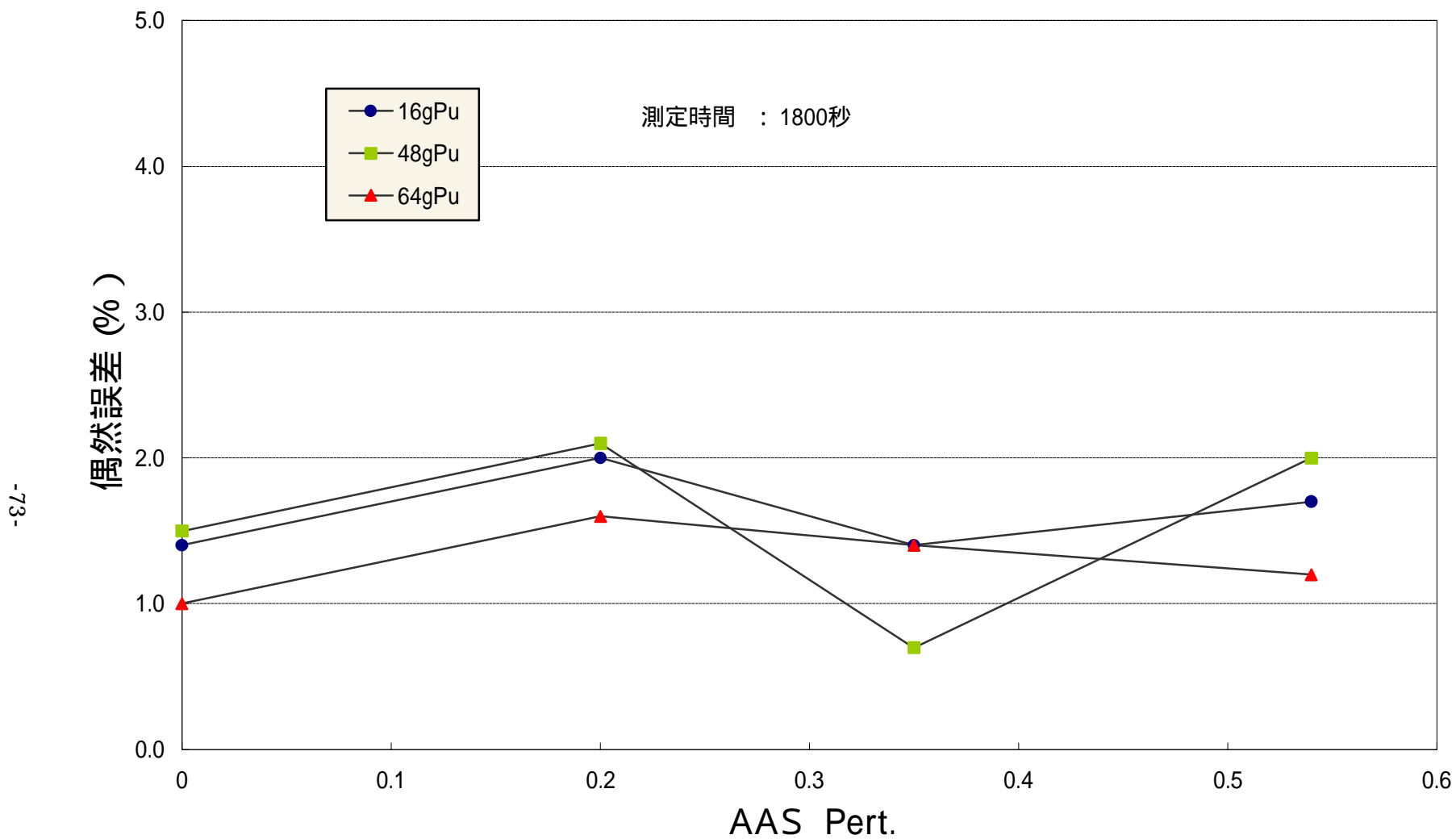


図 6.7-9 AAS Pert. と偶然誤差の相関(1800 秒)

6.8 検出下限値

6.8.1 概要

バックグラウンドは、通常測定において測定対象物がない場合、計測系の電気ノイズ、自然界からの放射線や施設内に存在する放射性廃棄物等から計測され、ばらつきはあるもののほぼ一定の値である。

このバックグラウンドに比較して、放射性廃棄物中の Pu からのカウントが少ない場合、バックグラウンドからのカウントを区別して測定できる限界(検出下限値)を統計的に求める。

6.8.2 検出下限値の算出

計算上の検出下限値は、(6-8)式で計算する。

検出下限値の定義については、JNC 技術資料「廃棄物コンテナ非破壊測定装置(WCAS)1号機の開発」(JNC TN8410 2002-002)参照。

$$d \equiv \frac{3}{a} \times \left(\frac{B + a d}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6-8)$$

d : 検出下限値 (g²⁴⁰Pu-eff)

a : 比例定数(検量線傾き)(cps / g²⁴⁰Pu-eff)

B : 室内バックグラウンド (B の測定時間は t よりも相当長い時間で計測)

$$B = B_c + A$$

B_c : 宇宙線バックグラウンド = リアルバックグラウンド計数率 (cps)

A : 室内アクシデンタル計数率 = T²G

T : トータルバックグラウンド計数率 (cps)

G : ゲート幅(s)

t : サンプル測定時間 (s)

6.8.3 マトリックスの調整

マトリックスをパラメータに 4 基のコンテナ(空を含む)を作製した。模擬マトリックス種類及び重量を表 6.8-1 へ示す。

サンプルは、主に鉄、ポリ酢酸ビニル及びポリウレタンといったマトリックスで構成されおり、均一分布になるようにアレンジした。

表 6.8-1 模擬マトリックス(検出下限値)

コンテナ	AAS Pert.	マトリックス(kg)						
		鉄				水素含有物		
		コンテナ	試験器具	ポリ酢酸 ビニル梱包鉄	合 計	ポリ酢酸 ビニル	ポリウレタン	合 計
A	0	400	無	無	400.0	無	無	0
B	0.21	400	83.8	590	1073.8	26.7	10.2	36.9
C	0.36	400	83.8	308.4	792.2	19.1	45.3	64.4
D	0.54	400	83.8	無	483.8	96.3	69.8	166.1

6.8.4 試験方法

チンバ内にコンテナ無，空コンテナ及び AAS Pert. が異なる 3 基のコンテナを配置し，バックグラウンドを測定する。測定条件を表 6.8-2 に示す。

表 6.8-2 バックグラウンド測定条件

チンバ内 配置対象物	コンテナ無(AAS Pert . 0) コンテナ A(AAS Pert . 0) コンテナ B(AAS Pert . 0.21) コンテナ C(AAS Pert . 0.36) コンテナ D(AAS Pert . 0.54)
測定時間	各 24 時間 (60 秒 × 1440 回)
評価	計数率(Real Rate 及び Total Rate)

6.8.5 試験結果

バックグラウンド測定結果を表 6.8-3 に，検出下限値の計算結果及び検出下限値とサンプル測定時間の相関を表 6.8-4 及び図 6.8-1 に示す。

バックグラウンドの測定時間については，計測系の電気ノイズ，自然界及び施設に存在する線源等からの計数値の影響を抑え，室内バックグラウンドの真値へより近づけるため，24 時間とサンプル測定時間より相当長い時間で測定を行った。

バックグラウンド測定で求まる計算上の検出下限値は，図 6.8-1 からわかるように測定時間が増加すると小さくなる傾向にある。これは約 3000 秒まで顕著に続き，その後は飽和する傾向にある。

今回の試験の結果から，WCAS # 2 で通常測定する時間 1800 秒では，1.45 ~ 2.01mg(²⁴⁰Pu-eff) という結果が得られた。

参考例として，表 4.1-2 に示す WCAS#2 特性試験に使用した Pu 標準試料の Pu 同位体組成分析結果から検出下限値の Pu 量を(6-10)式で算出すると 5.05 ~ 6.99mg(Pu)となる。

$$d = \frac{{}^{240}\text{Pu} - \text{eff}}{(2.52 \times {}^{238}\text{Pu} + {}^{240}\text{Pu} + 1.68 \times {}^{242}\text{Pu})} \quad (6-10)$$

表 6.8-3 バックグラウンド測定結果

チェンバ内	AAS Pert.	鉄重量 (kg)	Total Rate(cps)	Real Rate(cps)	T ² G(cps)
コンテナ無		0	21.02	0.01	0.0566
コンテナA	0	400.0	20.29	0.03	0.0527
コンテナB	0.21	1617.8	19.61	0.09	0.0492
コンテナC	0.36	1120.9	19.21	0.05	0.0472
コンテナD	0.54	545.0	19.10	0.03	0.0467

表 6.8-4 検出下限値の計算結果

サンプル 測定時間 (s)	(mg ²⁴⁰ Pu-eff)				
	コンテナ無	コンテナA AAS Pert. 0	コンテナB AAS Pert. 0.21	コンテナC AAS Pert. 0.36	コンテナD AAS Pert. 0.54
600	2.77	3.02	3.73	3.22	2.93
1200	1.83	2.01	2.52	2.15	1.94
1800	1.45	1.59	2.01	1.71	1.54
2400	1.23	1.36	1.72	1.46	1.31
3000	1.09	1.20	1.52	1.29	1.16
3600	0.99	1.09	1.38	1.17	1.05
4200	0.91	1.00	1.27	1.08	0.97
4800	0.84	0.93	1.19	1.00	0.90
5400	0.79	0.87	1.12	0.94	0.84
6000	0.75	0.83	1.06	0.89	0.80
6600	0.71	0.79	1.00	0.85	0.76
7200	0.68	0.75	0.96	0.81	0.72
7800	0.65	0.72	0.92	0.78	0.69
8400	0.62	0.69	0.88	0.75	0.67
9000	0.60	0.67	0.85	0.72	0.64
9600	0.58	0.64	0.83	0.70	0.62
10200	0.56	0.62	0.80	0.67	0.60
10800	0.55	0.61	0.78	0.65	0.58
11400	0.53	0.59	0.75	0.64	0.57
12000	0.52	0.57	0.73	0.62	0.55

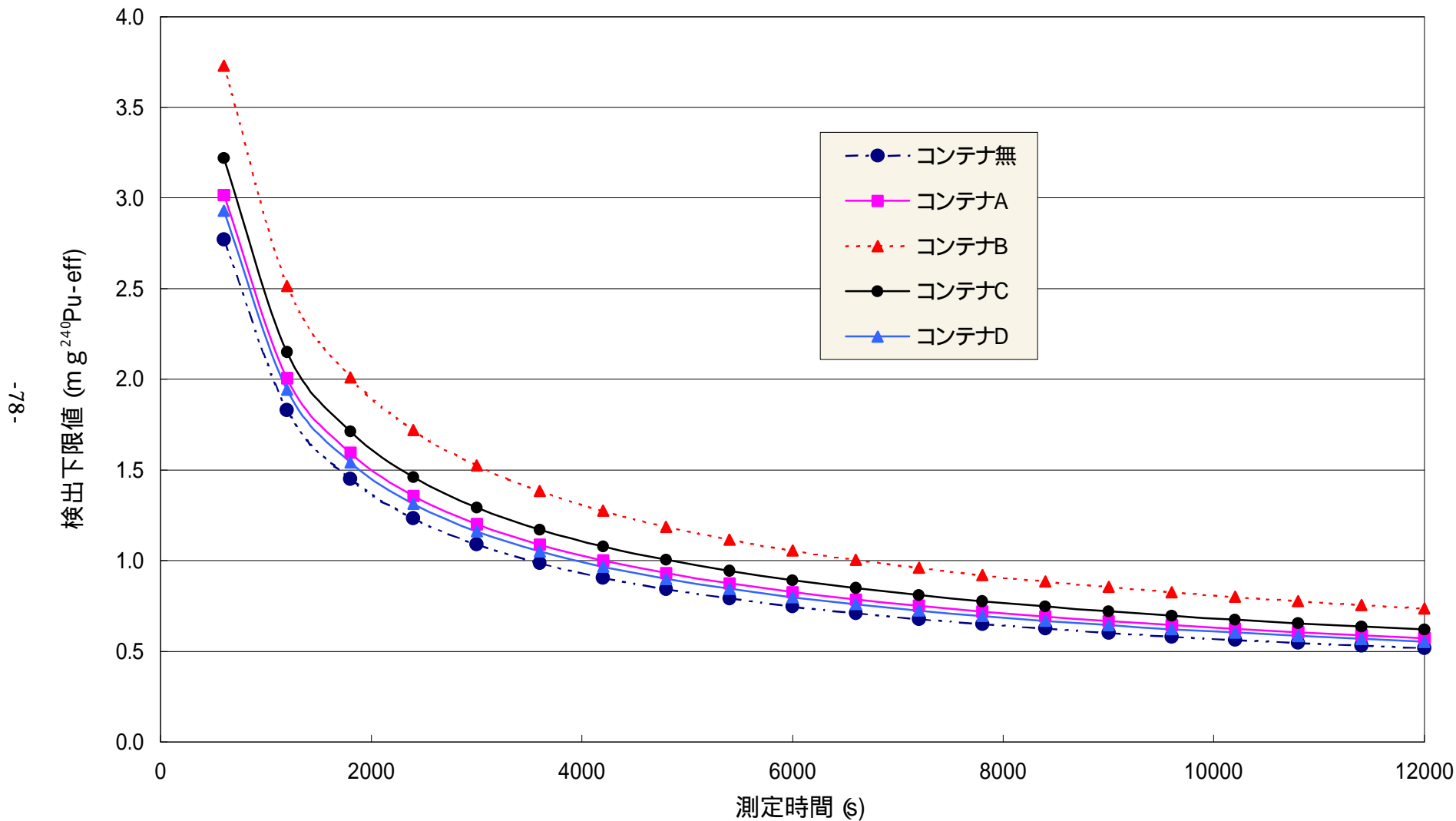


図 6.8-1 計算上の検出下限値と測定時間の相関

また、検出下限値は、コンテナ内のマトリックスの量によって若干の差(幅)が生じる。この差(幅)は、測定時間 1800 秒においては最大 0.56 mg (^{240}Pu -eff)である。

この理由として、中性子バックグラウンドには、検出器近傍に貯蔵されている廃棄物中の核物質からの中性子と宇宙線の破砕反応に伴う中性子とがある。そのうちリアルバックグラウンド計数率に影響を及ぼすのは、鉄などの高密度マトリックスと宇宙線の破砕反応に伴う中性子である。この反応は、ポリエチレン等の水素含有量の多いマトリックスでは少ない。よって、検出下限値が最も大きいのは鉄のマトリックス重量が最大の“コンテナ B”で、最小は“コンテナ無”である。なお、“コンテナ A”は“コンテナ D”よりも鉄のマトリックス重量が少ないにもかかわらず検出下限値が高い。これは、“コンテナ D”が水素含有量の多い低密度マトリックスで構成されており、マトリックス効果が大きいためである。

測定時間が 1800 秒の検出下限値とリアルバックグラウンド及びトータルバックグラウンドの相関を図 6.8-2 及び図 6.8-3 に示す。検出下限値は、図からわかるようにリアルバックグラウンド及びトータルバックグラウンドの増加とともに大きくなる傾向にある。

今回の試験の結果から、検出下限値は宇宙線と室内のバックグラウンドに依存するものであり、廃棄物を構成するマトリックスの種類・密度にも影響されやすいことが分かる。したがって検出下限値の向上には宇宙線と室内のバックグラウンドを除去することによりある程度達成できるものの、マトリックスの種類・密度等の影響も考慮する必要があると考えられる。

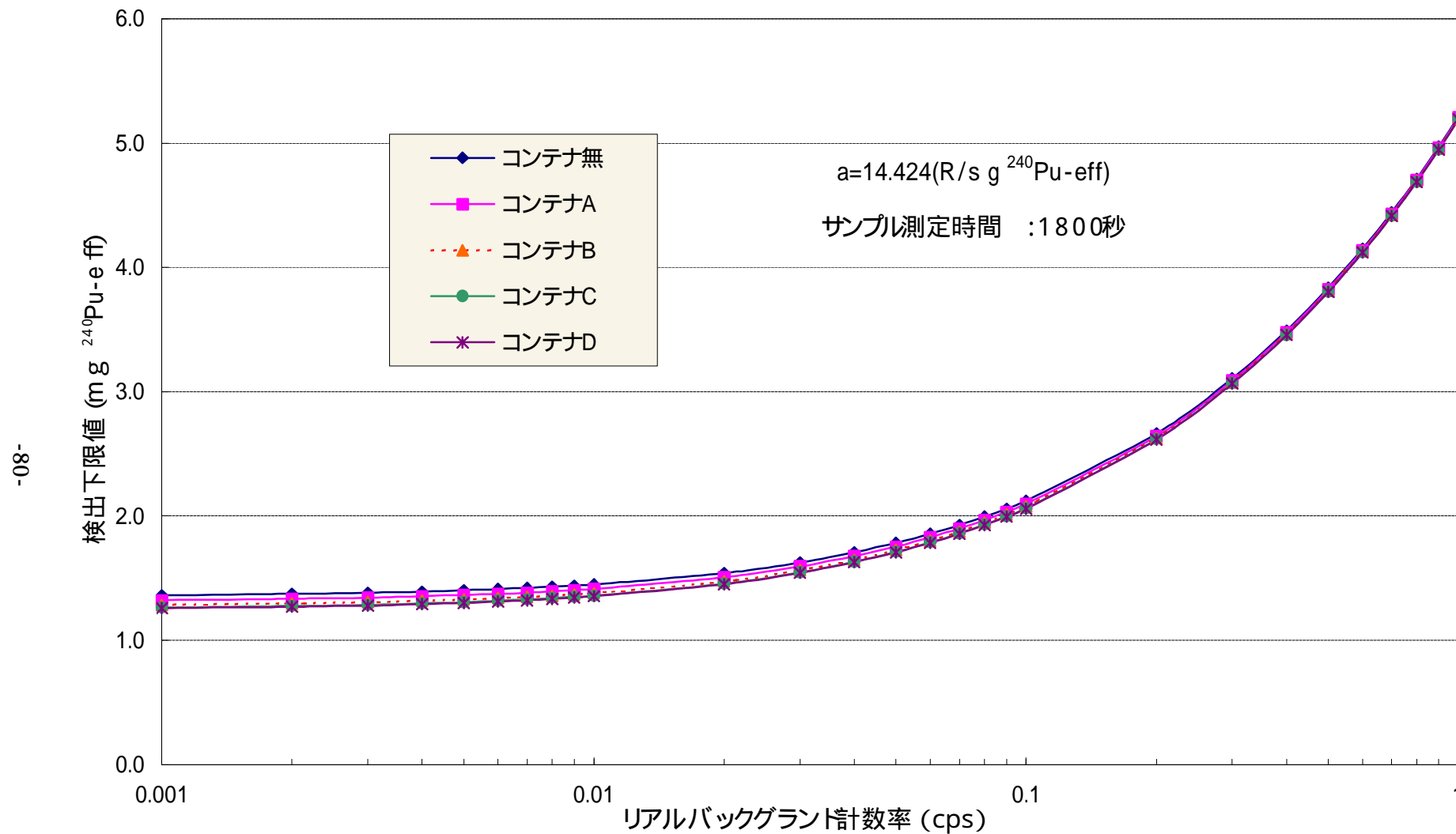


図 6.8-2 計算上の検出下限値とリアルバックグラウンドの相関

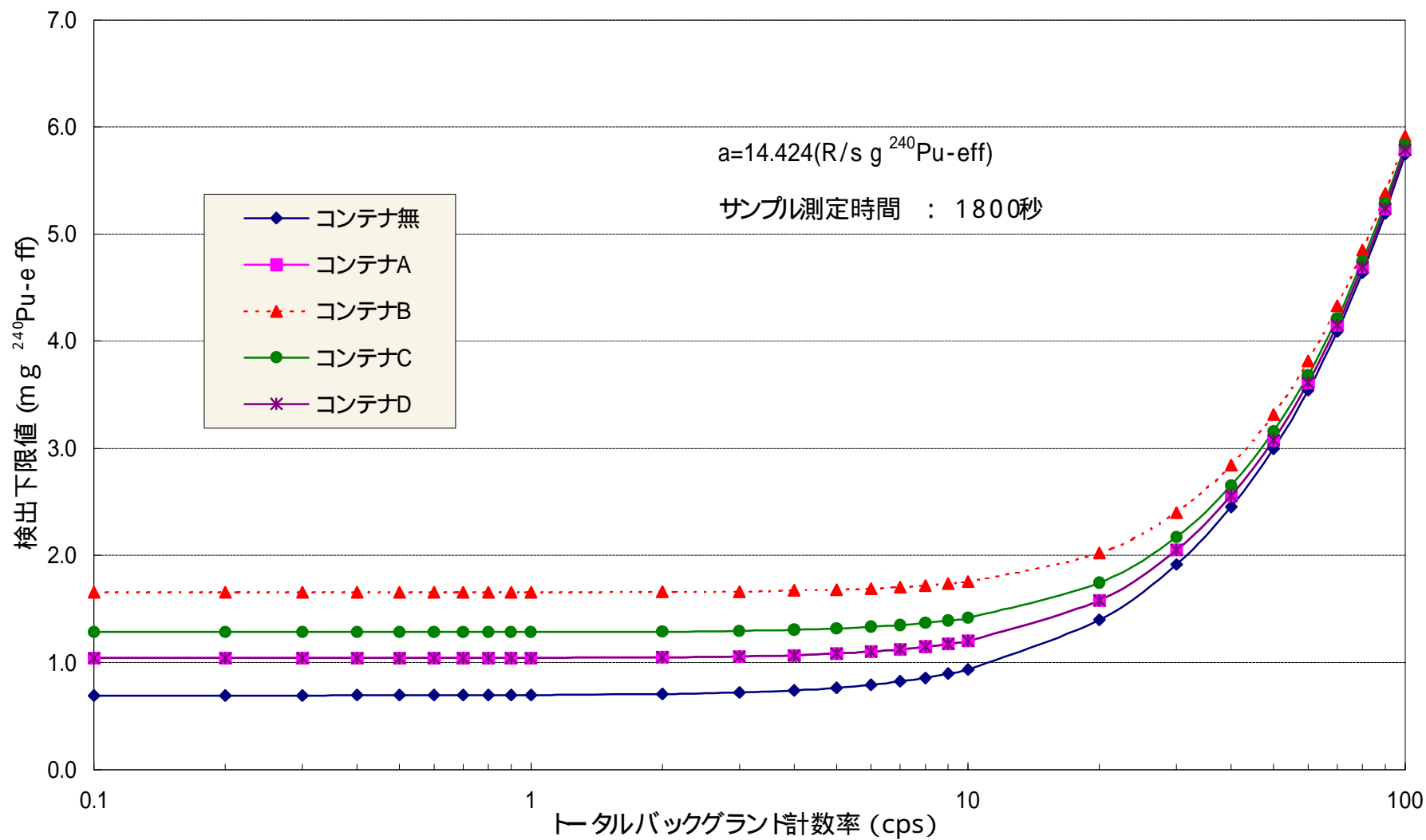


図 6.8-3 計算上の検出下限値とトータルバックグラウンドの相関

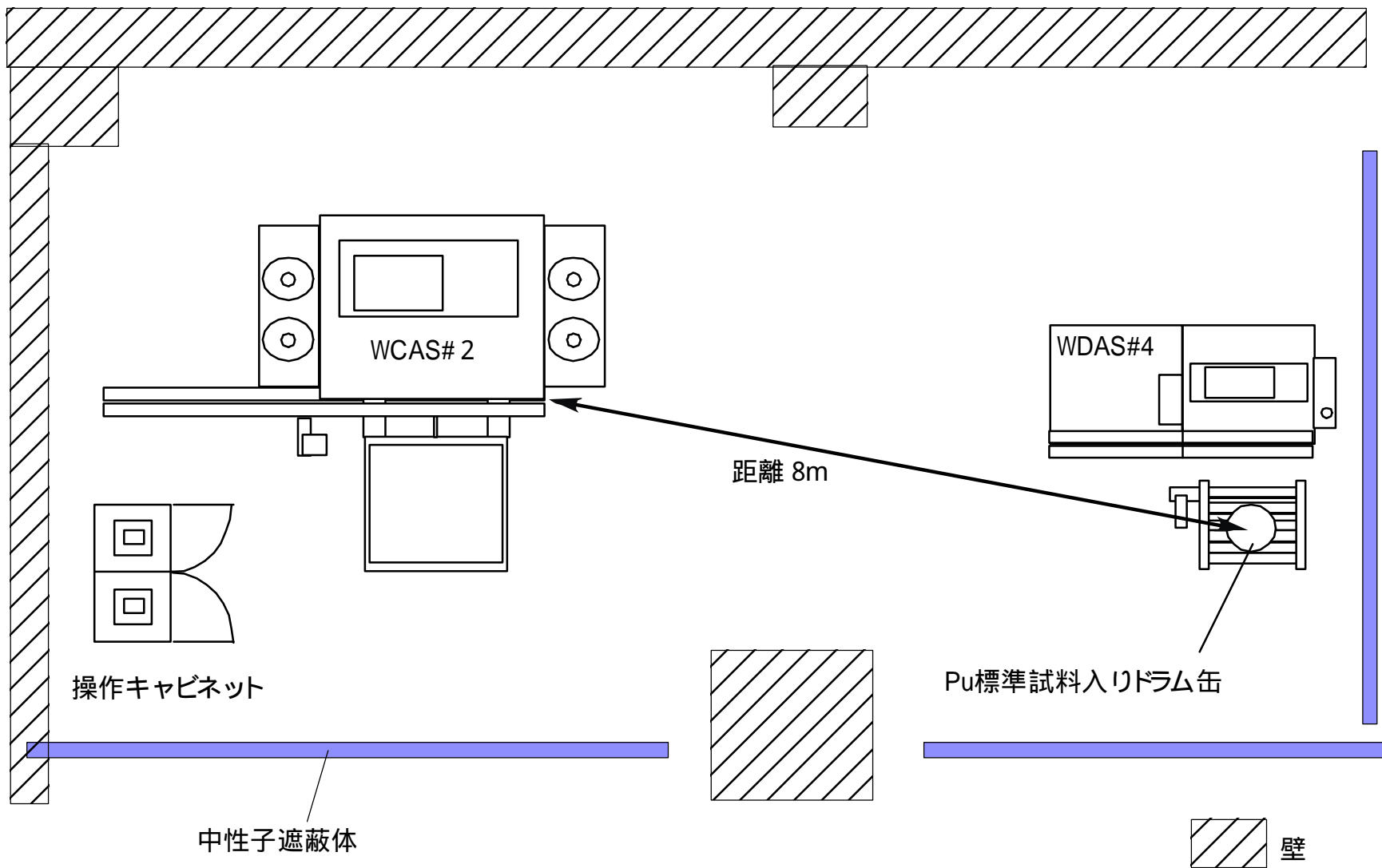


図 6.9 第 2PWSF 測定エリア概略図

表 6.9-2 “クロストーク”無の測定結果

n	Total Rate (cps)		Real Rate (cps)		A	AAS Pert .		Pu mass(g)
1	93.38	0.35	3.47	0.10	1.73	0.179	0.008	0.836
2	92.55	0.29	3.67	0.11	1.62	0.176	0.006	0.884
3	93.79	0.37	3.44	0.08	1.68	0.182	0.007	0.829
4	92.76	0.40	3.43	0.05	1.63	0.168	0.006	0.826
5	93.30	0.25	3.68	0.07	1.67	0.186	0.006	0.888
6	93.75	0.32	3.52	0.09	1.69	0.188	0.006	0.848
7	93.39	0.27	3.38	0.08	1.66	0.180	0.006	0.815
8	92.95	0.35	3.53	0.11	1.74	0.177	0.007	0.850
9	93.87	0.36	3.44	0.10	1.75	0.184	0.006	0.828
10	93.79	0.34	3.61	0.09	1.71	0.192	0.006	0.870
平均	93.35		3.52		1.69	0.18		0.847
	0.468		0.105		0.045	0.007		0.026
cv	0.5%		3.0%		2.6%	3.7%		3.0%

表 6.9-3 “クロストーク” 有の測定結果

n	Total Rate (cps)		Real Rate (cps)		A	AAS Pert .		Pu mass(g)
1	110.40	0.42	3.43	0.13	2.29	0.190	0.006	0.826
2	110.37	0.37	3.43	0.10	2.27	0.174	0.007	0.828
3	109.44	0.4	3.36	0.12	2.20	0.184	0.005	0.809
4	109.76	0.33	3.59	0.12	2.16	0.191	0.006	0.865
5	109.35	0.38	3.48	0.10	2.15	0.181	0.007	0.839
6	109.49	0.37	3.45	0.10	2.16	0.189	0.006	0.831
7	106.92	0.27	3.51	0.08	2.10	0.189	0.008	0.846
8	106.96	0.3	3.53	0.11	2.12	0.189	0.007	0.850
9	107.32	0.38	3.31	0.10	2.06	0.182	0.006	0.797
10	107.79	0.37	3.60	0.11	2.07	0.184	0.008	0.867
平均	108.78		3.47		2.16	0.19		0.836
	1.385		0.093		0.077	0.005		0.022
cv	1.3%		2.7%		3.6%	2.9%		2.7%

6.9.4 検定の方法

分散の等価性を F 検定(JISZ9057 二つの母分散の違いの検定)し, その結果をもとに平均値の差に対する t 検定(JISZ9047, JISZ9049 二つの平均値の差の検定)を実施した。F 及び t 検定の結果を表 6.9-4 へ, 検定結果の概要を以下に示す。

Total Rate (cps)は統計的に有意な上昇(約 16.5%)を示した。
 統計的にみて Real Rate (cps)の平均値に有意な変動は見られなかった。
 アクシデンタル(A)は統計的に有意な上昇(約 28%)を示した。
 統計的にみて AAS Pert.の平均値に有意な変動は見られなかった。
 統計的にみて測定値 Pu 量の平均値に有意な変動は見られなかった。

上記検定結果の概要の 及び について, Total Rate 及びアクシデンタル(A)計数率間には, 以下の関係式(6-11)が成り立つ。

$$T = \sqrt{\frac{A}{G}} \quad (6-11)$$

G : Gate幅

よって, 中性子線源のクロストークにより Total Rate 及びアクシデンタル(A)の増加率は妥当なものである。

また, 統計的にみてクロストークによる測定値 Pu 量への影響はなかった。なお, Total Rate の増加は, 検出下限値に影響を与えるため両機器運用時には中性子遮蔽体を使用することとした。

表 6.9-4 F検定及びt検定の結果

項目	F 検 定		F検定 結果	t 検 定		t検定 結果
	F 値	F(9,9,0.05)		t 値	t(11,0.05)	
Total Rate	F 値	F(9,9,0.05)	有意	t 値	t(11,0.05)	有意
	8.7	3.18		33.37	2.2	
Real Rate	F 値	F(9,9,0.05)	等価	t 値	t(18,0.05)	等価
	1.27	3.18		1.08	2.1	
アクシデンタル (A)	F 値	F(9,9,0.05)	等価	t 値	t(18,0.05)	有意
	3.00	3.18		16.6	2.1	
AAS Pert.	F 値	F(9,9,0.05)	等価	t 値	t(9,0.05)	等価
	1.63	3.18		1.08	2.1	
Pu mass(g)	F 値	F(9,9,0.05)	等価	t 値	t(9,0.05)	等価
	1.29	3.18		1.08	2.1	

有意 = 等分散ではない / 平均値の差がある, 等価 = 等分散である / 平均値の差はない

7. IAEA アクセプタンステスト

7.1 概要

文部科学省査察官立会いのもと IAEA による WCAS#2 のアクセプタンステストが平成 13 年 3 月に実施された。本テストにおいて,IAEA は測定パラメータを作成するとともに測定精度及び操作安全性を検証し,平成 13 年 6 月から査察機器として WCAS#2 の運用を開始した。

7.2 アクセプタンステスト実施期間

平成 13 年 3 月 26 日～平成 13 年 3 月 30 日

7.3 対応

文部科学省(JSGOA)

核管センター

IAEA

JNC : Pu)環境管理課,核物質管理室

7.4 アクセプタンステストスケジュール

本テストのスケジュールを表 7.4 に示す。

7.5 アクセプタンステスト手順の提案

本テストの手順及び方法(別添参照)については,ミーティングにおいて概ね了承された。表 7.5 に本テストで使用された WCAS2 号機用測定パラメータを示す。

7.6 アクセプタンステストの実施内容及び結果

7.6.1 Documentation Check

本テストを実施するにあたり JNC が提出した以下の図書を検証した。

Functional Specifications

Design specification

Safety evaluation

Operating manual

Maintenance manual

Software documentation

³He acceptance test record

表 7.4 アクセプタンステスト スケジュール

<i>Date</i> <i>Test Items</i>	3/26 (Mon)	3/27 (Tue)	3/28 (Wed)	3/29 (Thu)	3/30 (Fri)
1. Documentation Check	Meeting Documentation Check				Final Meeting
2. Visual & Dimension Check		Visual&Dimension Check			
3. Functional Test		(1) B.G (2) Initial (3) Normalization (4) Neutron Efficiency (5) Dead Time & Die-away Time (6) Axial & Radial Profiles			
4. Pu Calibration (With Empty Container)				(1) B.G (2) 16, 48, 96gPu (3) Slope Check by 48gPu	
5. Overall Performance Test (With Matrix Container)				(1) B.G (2) 16&48gPu in 0.2 Pert. Matrix (3) 16&48gPu in 0.35 Pert. Matrix	
6. Verification of STD Samples			(1) IC, ID of STD Samples		

表 7.5 WCAS2 号機用測定パラメータ

AS OF '01/01/19

		TO BE DETERMINED	FOR JNC
Detector Parameters			
	Serial port	COM1	
	Predelay	4.5 μ s	4.5 μ s
	Gate Length	128 μ s	128 μ s
	High Voltage	1720V	1720V
	Die-away Time		74.1 μ s
	Efficiency		17.58% with ²⁵² Cf
	Dead Time Coefficient A		3.8990E-07
	Dead Time Coefficient B		0.00E+00
For Multiplicity	Dead Time Parameter		87.65nsec
	Dead Time Coefficient C		9.0600E-08
	Dead Time Coefficient D		1.7700E-08
	Doubles Gate Fraction		0.5125
	Triples Gate Fraction		0.2936
Known Alpha Calibration Parameters			
	Alpha Weight	1	1
	Rho Zero	0.0749	0.0749
	k	2.157	2.157
	a		
	b		
	Var. a		
	Var. b		
Multiplicity Calibration Parameters			
	Spontaneous Fission Rate		
	1st Factorial Moment of SF		
	2nd Factorial Moment of SF		
	3rd Factorial Moment of SF		
	1st Factorial Moment of IF		
	2nd Factorial Moment of IF		
	3rd Factorial Moment of IF		
Add-a-source & Calib Curve Parameters			
	Number of runs		15 \times 2
$y = a+bx+cx^2+dx^3$	a	0	0
	b	1.9420E-01	1.9420E-01
	c	3.7848E+00	3.7850E+00
	d	-2.9957E+00	-2.9960E+00
	R ₀ Reference Date		2000/9/19
	R ₀ Average		3229.95
	R ₀ Position 1		3165.56
	R ₀ Position 2		3293.36
	R ₀ Position 3		
	R ₀ Position 4		
$y = a+bx$	a		0
	b		14.424
	Var. a		
	Var. b		

7.6.2 Visual & Dimension Check

(1) AAS の位置

WCAS#2 操作盤にある AAS 位置表示と AAS の位置が同等であることを目視で確認した。

(2) AAS の ID の確認

AAS 用 ^{252}Cf ID が SS-963 であることを目視で確認した。

(3) 寸法検査

測定チェンバ内寸法を測り提出図面と相違ないことを確認した。

7.6.3 Functional Test

IAEA ジャンクションボックスの SUM から査察側シフトレジスタ (JSR-12) ヘシグナルケーブルを接続し Functional Test を実施した。WCAS#2 の測定概念を図 7.6 1 に示す。

(1) B.G Measurement

JNC が提案した測定パラメータにおいてバックグラウンドを測定した。測定結果及び JNC が提案した測定パラメータを表 7.6 1 に示す。

(2) AAS 初期値設定

AAS の初期値(R_0)を得るため、ポジション 1 (サイド)及び 2 (ボトム)における AAS のリアルカウントを空コンテナ有で測定した。AAS 法におけるマトリックス補正の概念を以下の式で示す。

$$\left(\frac{R_0 e^{-\lambda t}}{R_{\text{net}}} \right) - 1 = x \quad (7-1)$$

$R_0 e^{-\lambda t}$ = AAS の初期値を測定日まで崩壊計算した値

R_{net} = AAS の測定値

$$\text{CF} = 1 + (f(x) = y = a + bx + cx^2 + dx^3) \quad (7-2)$$

a, b, c, d = AAS パラメータ

$$R_{\text{corrected}} = R_{\text{measured}} \cdot \text{CF} \quad (7-3)$$

$R_{\text{corrected}}$ = マトリックス補正後の Real Rate

R_{measured} = マトリックス補正前の Real Rate

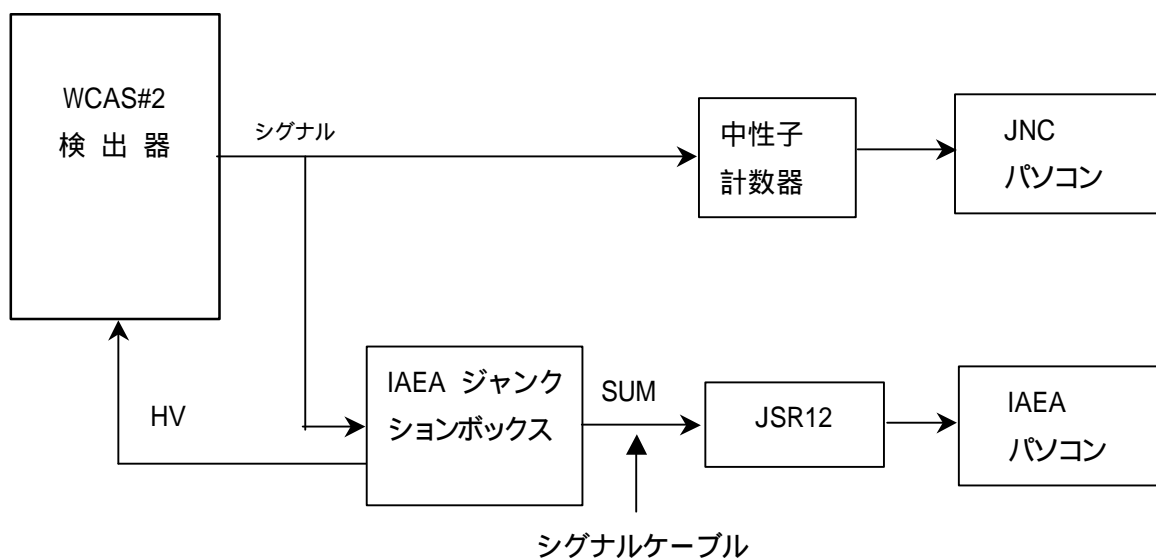


図 7.6-1 WCAS2 号機測定概念図

表 7.6-1 バックグラウンド測定結果及びパラメータ

(平成 13 年 3 月 26 日)

Total Rate: 12.330 ± 0.117cps		Real Rate: 0.019 ± 0.008cps	
Total Rate: 11.909 ± 0.116cps		Real Rate: 0.051 ± 0.009cps	
(with empty container)			
測定時間	60s × 15		
Predelay	4.5 μs		
Gate length	128 μs		
HV	1720V		
Dead time Coefficient A	3.889E-07		
Dead time Coefficient B	0		

また，AAS 初期設定値(R_0) 及び測定パラメータを表 7.6 2 に示す。

(3) Normalization & Authentication 測定

(a) Normalization

Normalization は， ^{252}Cf 中性子線源の期待値（初期設定値を減衰補正した値）と実測定値に有意差のないことを確認することで主に ^3He 比例計数管,増幅器等検出部の不具合の検知を目的に実施されるものである。Normalization における初期値設定のため,IAEA 所有の中性子線源(X-946)を専用治具に取付け,チェンバ中心で測定した。Normalization の初期設定値及び測定パラメータを表 7.6 3 に示す。

(b) Authentication 初期値設定

AAS は，封印などの封じ込め手法が不可能なため，Authentication（不正なアクセス検知）が困難である。AAS の Authentication は IAEA の監視下に保管されている IAEA Source と IAEA Source +AAS の各 Real Rate を取得し，時系列的に変化のない Real Rate 比を確認することにより AAS の健全性を確認する手法である。そのため IAEA ^{252}Cf 中性子線源 (X-946)及び X-946 +AAS(SIDE , BOTTOM)の Real Rate を取得した。Authentication 初期設定値を表 7.6 4 に示す。

なお，実査察の測定ポジション(SIDE , BOTTOM)については，その都度査察官が任意に選択することになっている。

(4) 検出効率(Efficiency)試験

検出効率は，測定機器の機能を把握するうえで基本となるものであり，また測定パラメータを決定するうえで重要である。本試験は， ^{252}Cf 中性子線源の Certificate の問題から JNC 所有の TT-382 を使用し，チェンバ中心において Total Rate を取得した。測定位置を図 7.6 2 に示す。

検出効率(e)は以下の式で定義され，試験結果を表 7.6 5 に示す。

$$e(\%) = \frac{\text{記録されたパルスの数}}{\text{線源より放出された放射線量子の数}} \times 100 \quad (7-4)$$

また，JNC が所有する ^{252}Cf 中性子線源(TT-382)を検出効率試験に使用したため 既に IAEA に容認されている WDAS#4 において TT-382 の Certificate 試験測定が行われた。

表 7.6-2 AAS 初期設定値及びパラメータ

(平成 13 年 3 月 29 日)

R_0 position1	2672.066 ± 9.685cps
R_0 position2	2778.833 ± 9.899cps
(with empty container)	
測定時間	60s × 30
Predelay	4.5 μs
Gate length	128 μs
HV	1720V
Dead time Coefficient A	3.899E-07
Dead time Coefficient B	0

表 7.6-3 Normalization 初期設定値及びパラメータ

(平成 13 年 3 月 26 日)

Source No.	X-946 (IAEA Source)
Total Rate	3139.409 ± 1.319cps
Real Rate	360.801 ± 1.415cps
測定時間	60s × 40
Predelay	4.5 μs
Gate length	128 μs
HV	1720V
Dead time Coefficient A	3.899E-06
Dead time Coefficient B	0

表 7.6-4 Authentication 初期設定値
(平成 13 年 3 月 26 日)

Source No.	X-946 (Center) + AAS pos.1
Total Rate(Position1)	23748.841 ± 5.145cps
Real Rate(Position1)	3011.733 ± 14.503cps
測定時間(Position1)	60s × 20
X-946 単独との比	360.801/3011.733=0.120
Total Rate(Position2)	24182.198 ± 5.196cps
Real Rate(Position2)	3087.842 ± 14.503cps
測定時間(Position2)	60s × 20
X-946 単独との比	360.801/3087.842=0.117

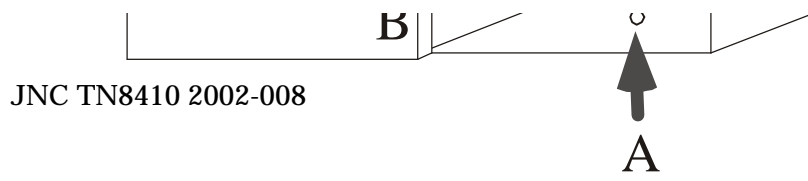


図7.6-2 Efficiency & Profile Test 中性子線源位置

図 7.6-2 Efficiency & Profile Test 中性子線源位置

表 7.6-5 検出効率(Efficiency)試験結果

(平成 13 年 3 月 26 日)

検出効率	17.74%
Source No.	TT-382(JNC 所有)
Total Rate	29757.183cps
測定時間	60s × 20
Certified n-emission	201300 (00.07.15 現在) 201300 × e ^{-t} 167763 (01.03.26 現在)

WDAS#4 における検出効率の期待値(18.3%)と TT-382 の測定結果(18.11%)の差は約 0.2%と小さく,その結果 TT-382 の Certificate が確認された。WDAS#4 による Certificate 試験結果を表 7.6 6 に示す。

(5) Dead time & Dieaway time 試験

(a) Dead time 係数試験

不感時間の補正(Dead time 係数)に関する評価試験を実施した。本係数 A, B については既に JNC から提案済みであり,本試験は JNC が提案した値の信頼性を確認するために実施されたものである。

試験には強(Strong), 弱(Weak)の 2 線源を使用した。測定結果を表 7.6 7 に示す。なお,IAEA が使用する Dead time 補正式は以下の通りである。

$$T_{corr.} = T \cdot \exp^{dt/4} \quad (7-5)$$

$$R_{corr.} = R \cdot \exp^{dt} \quad (7-6)$$

$$d = (A + BT \times 10^{-6})$$

$$T = TOTAL(cps)$$

$$R = REAL(cps)$$

IAEA の評価では JNC が提案した値とほぼ同じ結果となったため, JNC 値を使用することとなった。JNC 値と IAEA が算出した値を表 7.6 8 に示す。

(b) Die away time 試験

Die away time は中性子同時計数法におけるゲート幅を決定するうえで重要な値である。JNC は Die away time として 74.1 μs を提案しており,本試験は JNC が提案した値の信頼性を確認するために実施された。広義の Die away time ()は以下の式に従う。

$$R = (1 + e^{-G/\tau})^{-1}, \quad G = (e^{G/\tau} - 1)/2 \cdot 1.257 \quad (7-7)$$

$$= -G / 64 \mu s / \ln(R_2 / R_1 - 1) \quad (7-8)$$

ここで

G = ゲ - ト幅

R₁ = ゲ - ト幅 64 μs における Real Rate

R₂ = ゲ - ト幅 128 μs における Real Rate

表 7.6-6 WDAS4 号機による Authentication 試験結果

Source No.	TT-382 (JNC 所有)
検出効率の期待値	18.3%
検出効率の測定値	18.11%
差	0.2%

表 7.6-7 Dead time 係数測定結果

(平成 13 年 3 月 27 日)

Strong Source No.	TT-382 (JNC 所有)
Total Rate(Position1)	29575.522 ± 1.519cps
Real Rate(Position1)	3390.559 ± 14.331cps
測定時間	60s × 20
Weak Source No.	X-946 (Center)
Total Rate(Position2)	3131.967 ± 1.519cps
Real Rate(Position2)	363.159 ± 1.633cps
測定時間	60s × 20

(いずれも Dead time 補正無で測定)

表 7.6-8 Dead time 係数評価結果

(平成 13 年 3 月 27 日)

メーカーが推奨した Dead time 係数	
A:	3.899 E-07
B:	0
IAEA が算出した Dead time 係数	
A:	5.7 E-07
B:	1.849E-13

Die away time の測定結果を表 7.6 9 に示す。それを式(7-8)に代入すると $\tau = 76.21$ となり JNC 値 $\tau = 74.1$ とほぼ一致した。よってゲート幅 $G = 1.257 \times 76.21 = 96 \mu s$ となり,廃棄物などの低計数率測定でのゲート幅は長めに設定することが一般的であるから WCAS#2 のゲート幅は $128 \mu s$ が妥当であることが確認された。

(6) チェンバ内プロファイル試験

JNC が所有する ^{252}Cf 中性子線源(TT-382)を使用しプロファイル試験が測定チェンバ内 Bottom to Top 7 箇所, Front to Back, Left to Right 各 11 箇所で行われた。Total Rate の変動幅は,最大で Bottom to Top の 4.7% (1), 全体の平均では 4.1% (1) であり, 比較的良好な結果を示した。プロファイル試験位置については図 7.6 2, 試験結果については表 7.6 10~表 7.6 12 及び図 7.6 3~図 7.6 8 に示す。

表 7.6-9 Die away time 試験結果

(平成 13 年 3 月 27 日)

Source No.	: X-946 (Center)
測定時間	: 60s × 20
1) $64 \mu s$ における Real Rate	
	$R_1 = 251.515 \pm 1.339$
2) $128 \mu s$ における Real Rate	
	$R_2 = 360.119 \pm 1.997$

表 7.6-10 PROFILE (Bottom to Top)試験結果

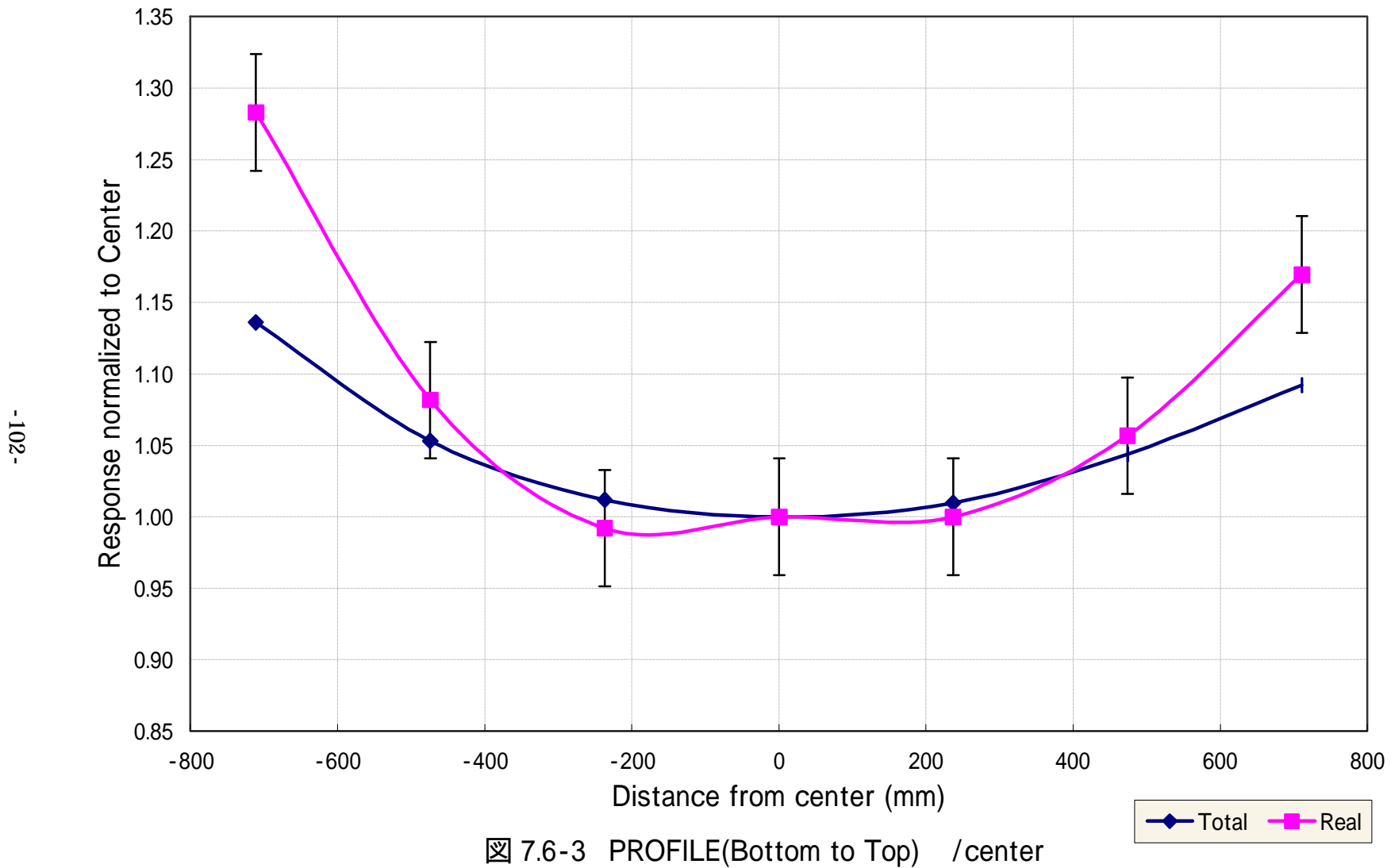
Position rel. to Center(cm)	Total Rate (cps)	Real Rate (cps)	Total Rate / Ave	Real Rate / Ave	Total Rate / Center	Real Rate /Center
+70.95	32565.96	3995.37	1.04	1.08	1.09	1.17
+47.25	31117.79	3610.02	0.99	0.98	1.04	1.06
+23.55	30106.27	3416.33	0.96	0.92	1.01	1.00
0	29816.17	3416.31	0.95	0.92	1.00	1.00
-23.55	30170.95	3389.07	0.96	0.92	1.01	0.99
-47.25	31396.21	3695.37	1.00	1.00	1.05	1.08
-70.95	33872.26	4382.74	1.08	1.18	1.14	1.28
Ave.	31292.23	3700.74	1.00	1.00	1.05	1.08
STDEV	1481.14	369.49	0.05	0.10	0.05	0.11
CV (%)	4.73	9.98	4.73	9.98	4.73	9.98

表 7.6-11 PROFILE (Front to Back)試驗結果

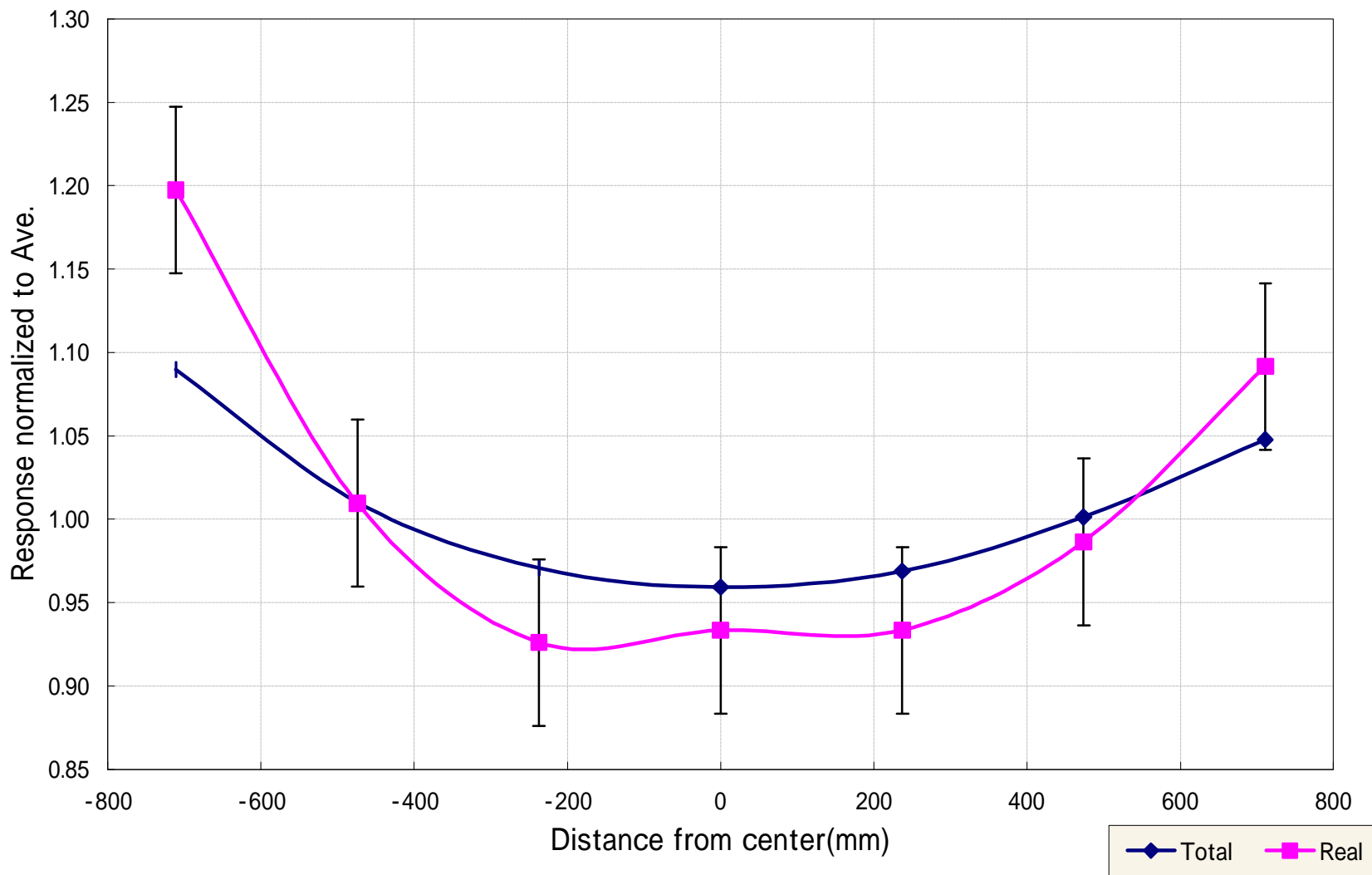
Position rel. to Center(cm)	Total Rate (cps)	Real Rate (cps)	Total Rate /Ave	Real Rate /Ave	Total Rate / Center	Real Rate /Center
+82.55	32607.75	3933.29	1.06	1.09	1.09	1.15
+66.04	31562.40	3763.42	1.02	1.05	1.06	1.10
+49.53	30631.71	3614.95	0.99	1.00	1.03	1.06
+33.02	30118.94	3424.93	0.98	0.95	1.01	1.00
+16.51	29875.15	3384.37	0.97	0.94	1.00	0.99
0	29816.17	3416.31	0.97	0.95	1.00	1.00
-16.51	29882.09	3374.86	0.97	0.94	1.00	0.99
-33.02	30111.71	3418.53	0.98	0.95	1.01	1.00
-49.53	30590.09	3577.47	0.99	0.99	1.03	1.05
-66.04	31473.04	3760.68	1.02	1.05	1.06	1.10
-82.55	32381.23	3915.47	1.05	1.09	1.09	1.15
Ave.	30822.75	3598.57	1.00	1.00	1.03	1.05
STDEV	1023.36	214.09	0.03	0.06	0.03	0.06
CV (%)	3.32	5.95	3.32	5.95	3.32	5.95

表 7.6-12 PROFILE (Left to Right)試驗結果

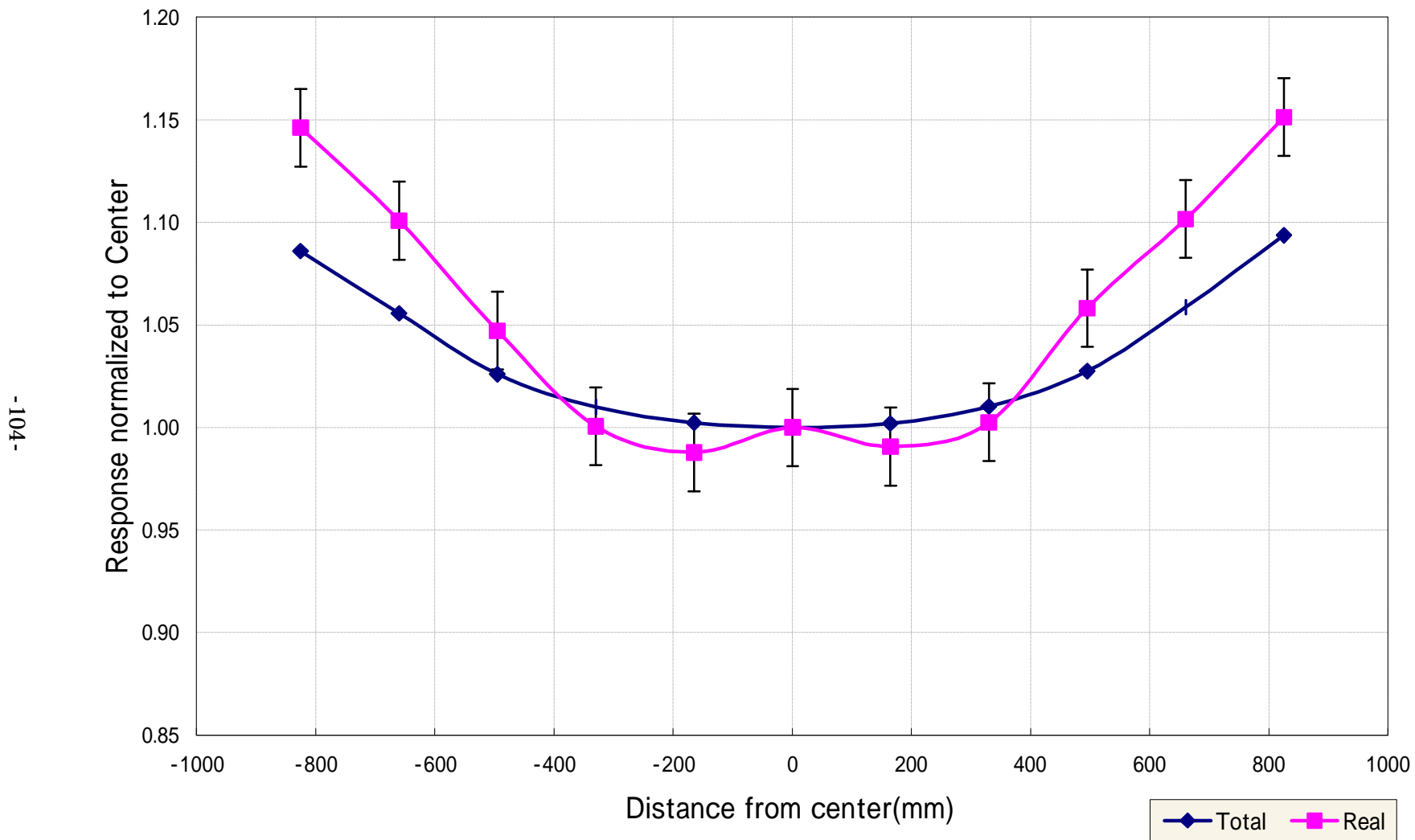
Position rel. to Center(cm)	Total Rate (cps)	Real Rate (cps)	Total Rate /Ave	Real Rate /Ave	Total Rate / Center	Real Rate /Center
+5C	32721.27	4021.64	1.06	1.12	1.10	1.18
+4C	31442.87	3777.88	1.02	1.05	1.05	1.11
+3C	30576.39	3531.50	0.99	0.98	1.03	1.03
+2C	30094.57	3401.88	0.98	0.95	1.01	1.00
+1C	29921.48	3447.47	0.97	0.96	1.00	1.01
0	29816.17	3416.31	0.97	0.95	1.00	1.00
-1C	29896.97	3344.58	0.97	0.93	1.00	0.98
-2C	30055.68	3451.81	0.98	0.96	1.01	1.01
-3C	30613.44	3617.85	0.99	1.01	1.03	1.06
-4C	31752.86	3815.05	1.03	1.06	1.06	1.12
-5C	33775.78	4334.11	1.10	1.20	1.13	1.27
Ave.	30969.77	3650.92	1.00	1.01	1.04	1.07
STDEV	1313.10	308.96	0.04	0.09	0.04	0.09
CV (%)	4.24	8.46	4.24	8.46	4.24	8.46



-103-



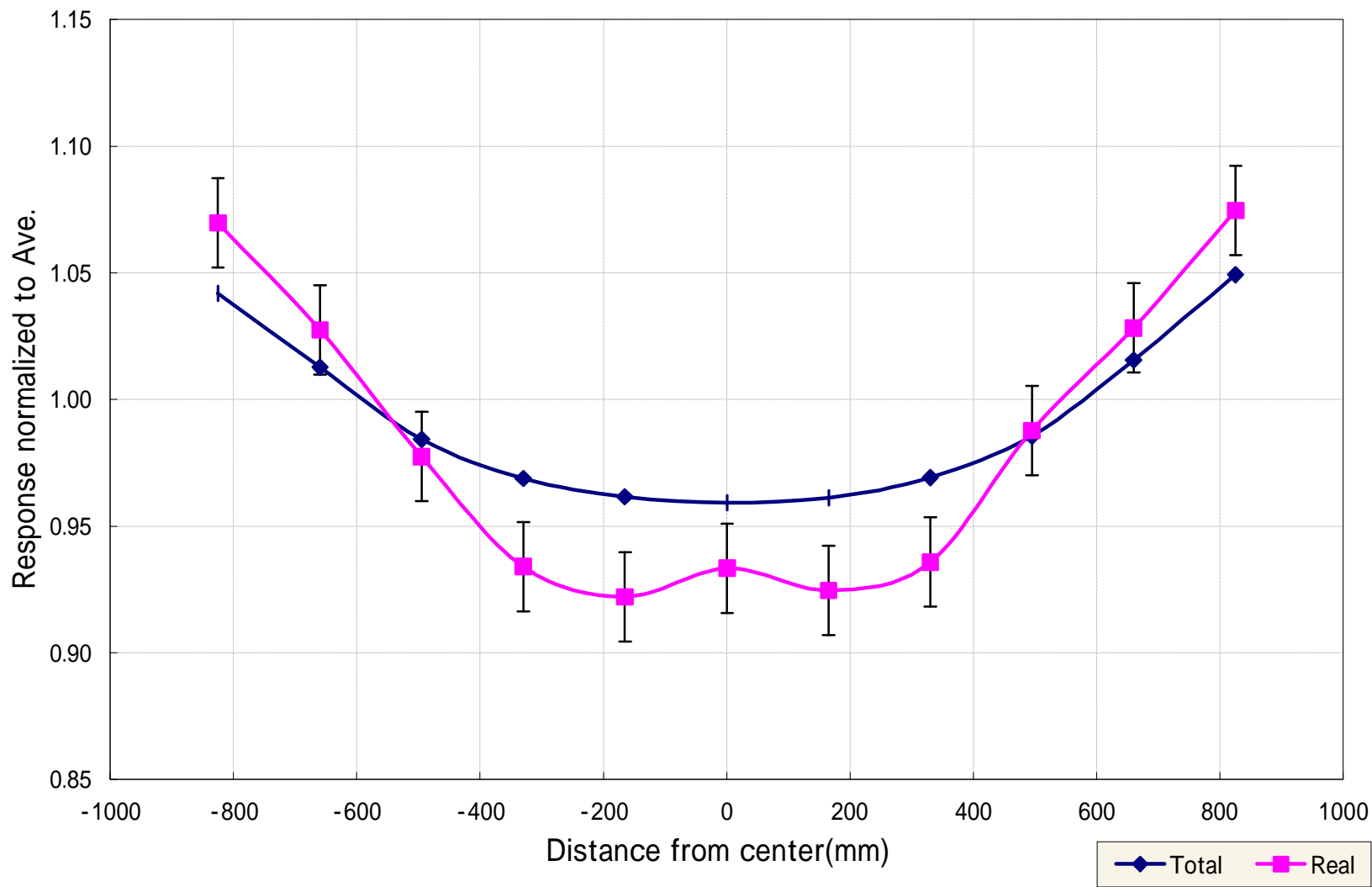
7.6-4 PROFILE(Bottom to Top) /Ave.



-104-

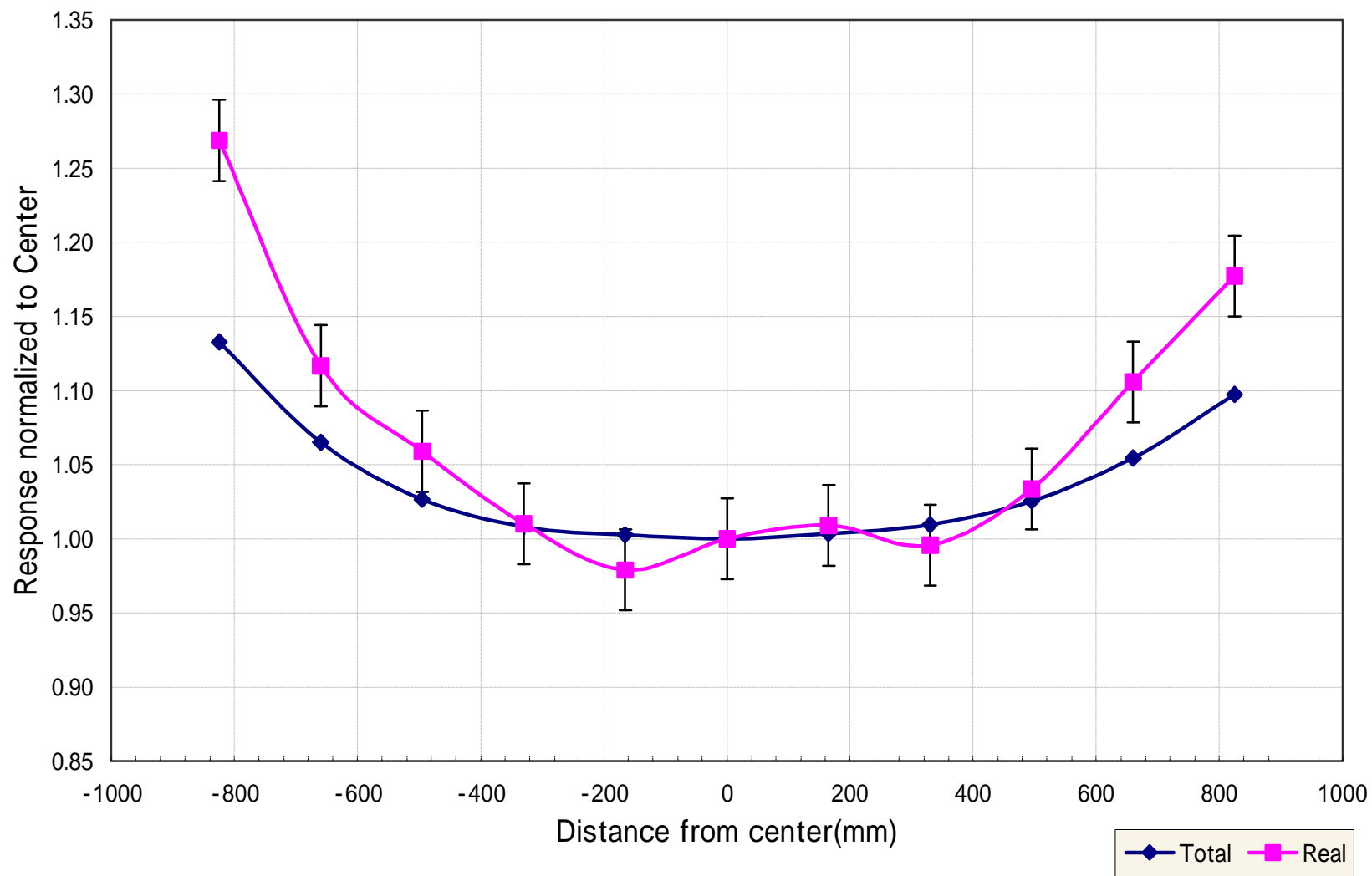
7.6-5 PROFILE(Front to Back) /center

-105-



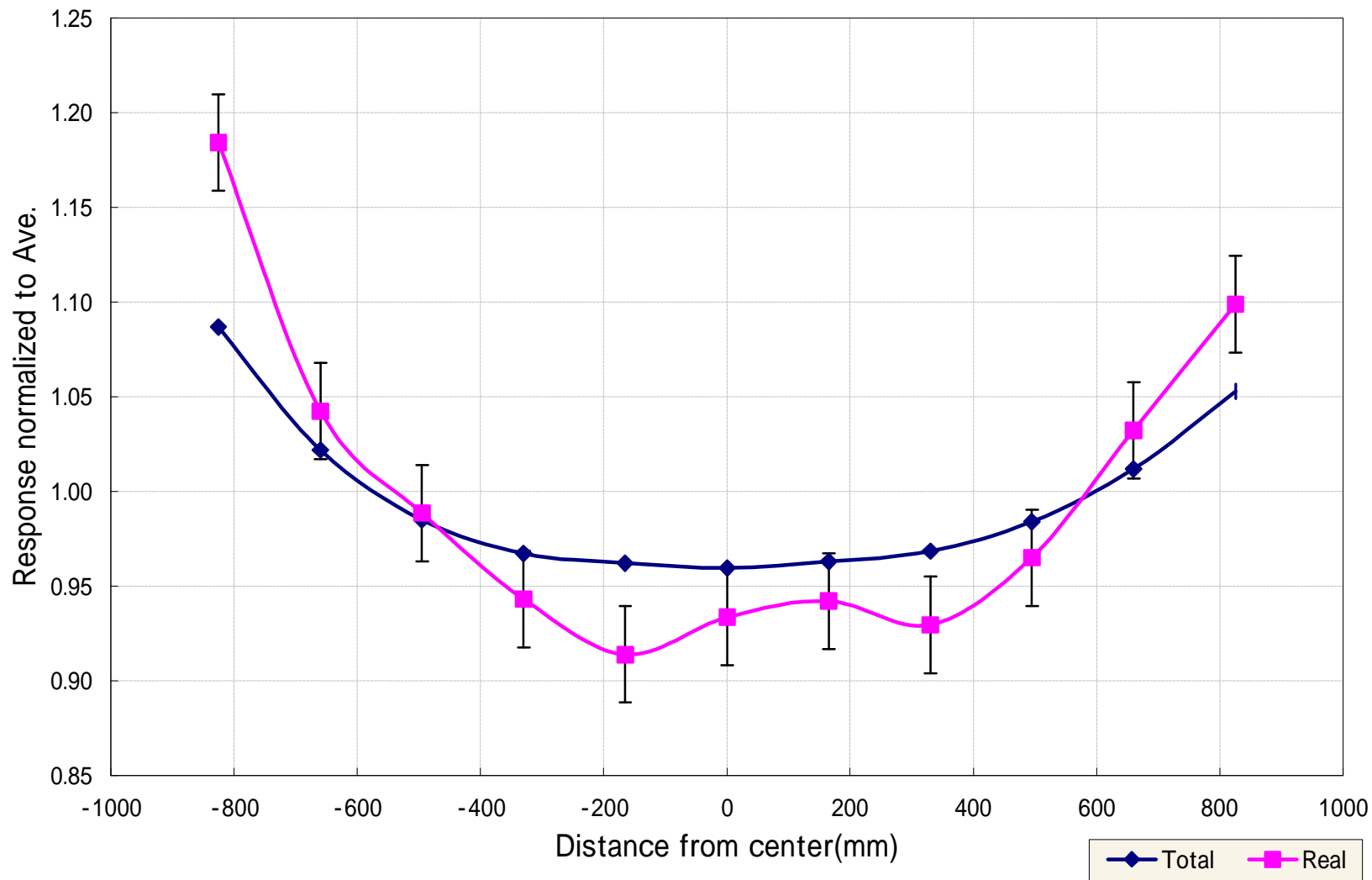
7.6-6 PROFILE(Front to Back) /Ave.

-106-



7.6-7 PROFILE(Left to Right) /center

-107-



7.6-8 PROFILE (Left to Right) / Ave.

7.6.4 Pu キャリブレーション

Pu キャリブレーションが、空テナ内において 16g-Pu(1g×16), 48g-Pu (3g×16), 96g-Pu (+ +8g×4) , のPu 線源を使用して行われ、デミングソフトにより $y=14.1x$ (y =Real Rate, x =g²⁴⁰Pueff)の校正式が得られた (図 7.6 9, 表 7.6 13 参照)。 Pu 線源配置を図 7.6 10 に示す。

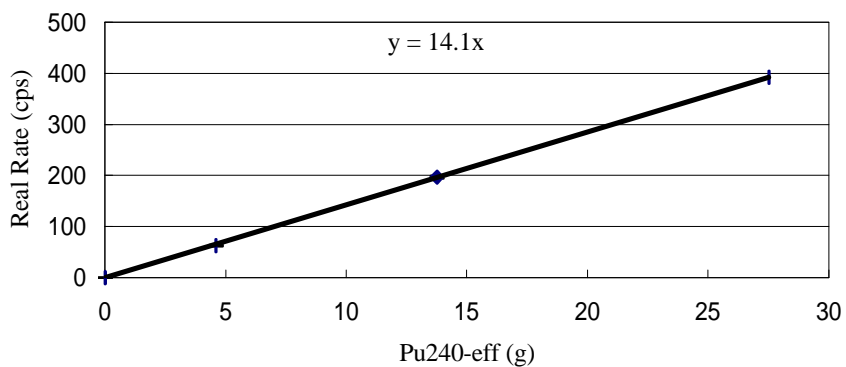
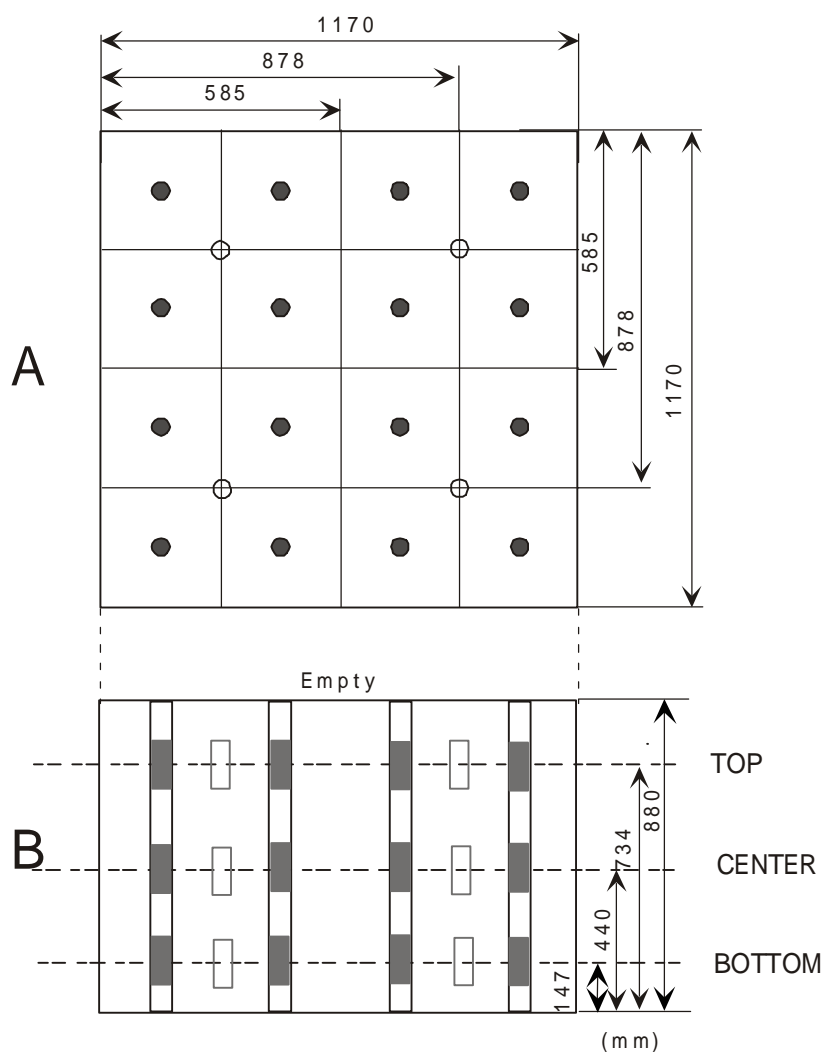


図 7.6-9 検量線



● 1,3g STDs Points

○ 8gSTDs Points

Sample Mass 16g-Pu 1g-Pu × 16

48g-Pu 3g-Pu × 16

96g-Pu + +8g-Pu × 4

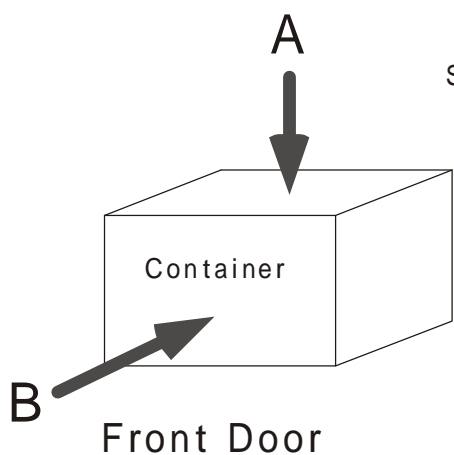


图 7.6-10 Pu Calibration Pu 線源位置

表 7.6-13 Pu キャリブレーション測定結果

Decl. Pu (g)	Decl. Pu240 eff (g)	Positions	Real Rate (cps)
15.96	4.58	Top	60.798 ± 0.97
		Center	61.822 ± 0.97
		Bottom	64.962 ± 0.98
		AVG.	62.527 ± 0.56
47.84	13.74	Top	190.012 ± 2.99
		Center	197.462 ± 2.99
		Bottom	200.895 ± 3.03
		AVG.	196.123 ± 1.73
79.80	27.51	Top	383.728 ± 5.90
		Center	390.383 ± 2.92
		Bottom	404.490 ± 5.95
		AVG.	392.867 ± 2.96

また、本校正式の妥当性を確認するため、本校正式を使用して Pu 線源 (48g-Pu) を入れた空コンテナを WCAS#2 で測定した結果、真値(分析値) とほぼ近い値を示した。

7.6.5 Overall Performance Test (総合誤差評価試験)

WCAS#2 の誤差を総合的に評価するため 2 種類の模擬マトリックスコンテナ内に Pu 線源を配置し測定した。その結果、申告値と測定値間に最大約 8%、平均約 5% の誤差 { Diff (%) } が生じた。当該誤差を懸念した IAEA は JNC が提案した AAS パラメータを以下のように補正した。本試験における Pu 線源の配置を図 7.6 11 に示し、測定結果を表 7.6 14 に示す。また、JNC が提案した AAS パラメータを以下に示す。

$$y = a + bx + cx^2 + cx^3 \quad (7 - 9)$$
$$a = 0 \quad b = 0.1942 \quad c = 3.785 \quad d = -2.996$$

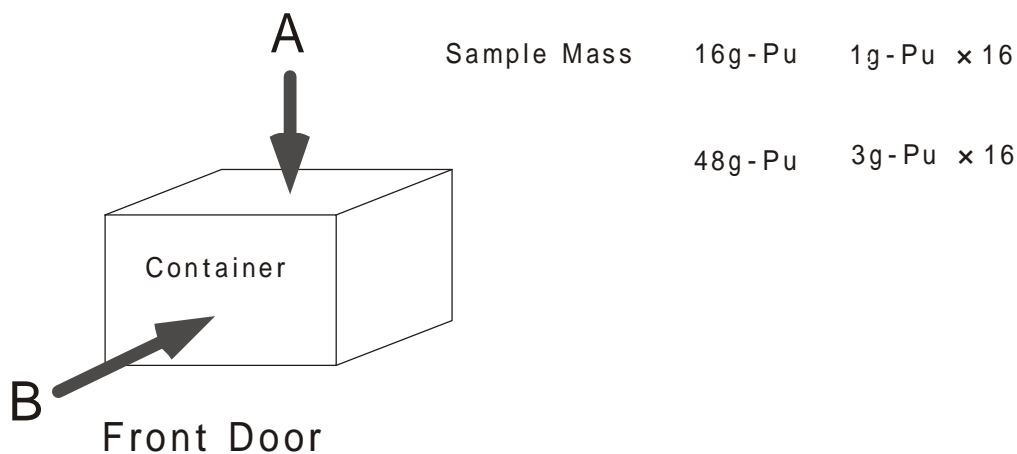
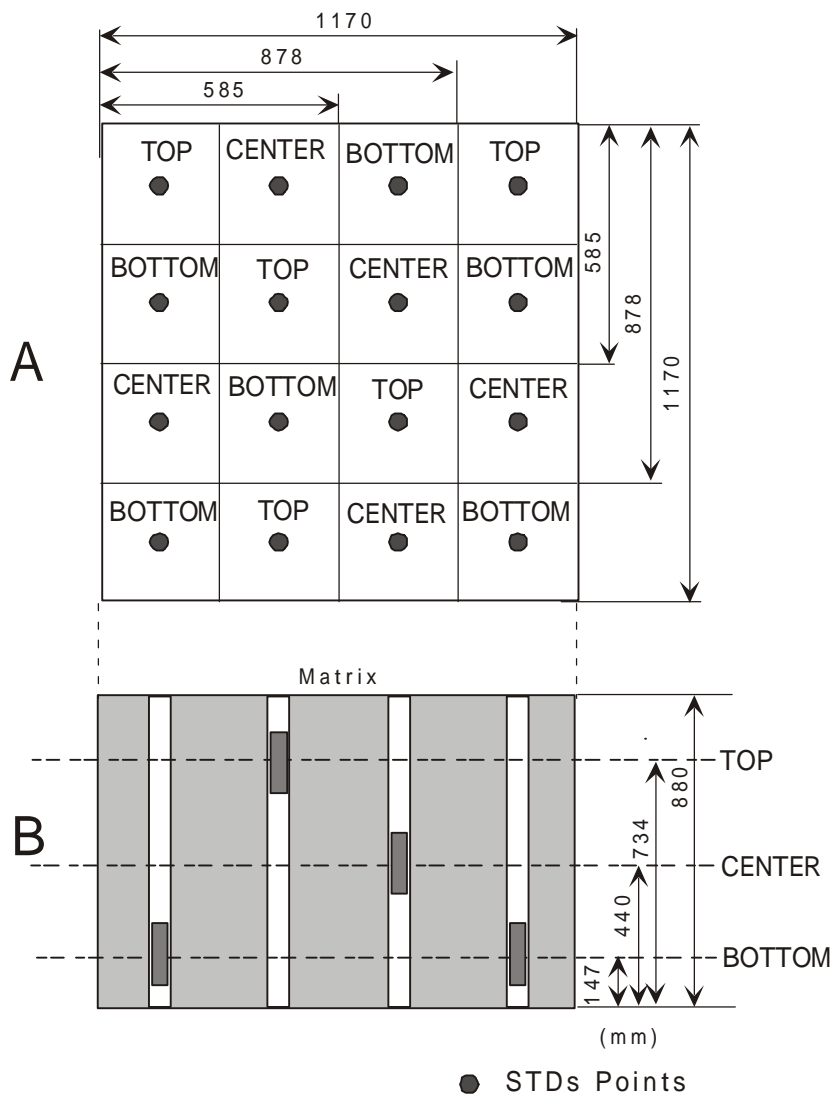


图 7.6-11 Overall Performance Test Pu 線源位置

表 7.6-14 Overall Performance Test 結果

マトリックス種類	サンプル	AAS Perturbation	Diff (%)	CF
金属類 (AAS Pert.0.16)	16g-Pu	0.164	7.8	1.120
	32g-Pu	0.161	4.2	1.117
ポリ類 (AAS Pert.0.31)	16g-Pu	0.313	4.6	1.340
	32g-Pu	0.381	4.6	1.335
			AVG 5.3%	
			STD 1.7%	

IAEA が補正した AAS パラメータを以下に示す。

$$a = 0 \quad b = 0.25479 \quad c = 4.96582 \quad d = -3.93067$$

IAEA の AAS パラメータにより Overall Performance Test の測定値を再計算したところ表 7.6 15 に示す通り誤差は多少減少した。

7.6.6 Verification of STD Samples (Pu 線源の検認)

本テストで使用した Pu 線源の検認のため High-Level Neutron Coincidence Counter(HLNCC)により全 Pu 線源の非破壊測定が行われた。また, Pu 線源 No.NDA12-1G が破壊分析 (DA) により検認された。

以 上

表 7.6-15 Overall Performance Test 補正結果

マトリクス 種類	サンプル	AAS Perturbation	Diff (%)	CF
金属類 (AAS Pert.0.16)	16g-Pu	0.164	4.7	1.158
	32g-Pu	0.161	1.1	1.153
ポリ類 (AAS Pert.0.31)	16g-Pu	0.313	-2.9	1.446
	32g-Pu	0.381	-2.9	1.439
			AVG	0.0%
			STD	3.7%

8. おわりに

WCAS#2 の特性試験を実施し，主な結果は以下のとおりである。

- (1) 高圧プラトー特性は，約 1680 V からプラトー領域となり³He 比例計数管の印加電圧 1720V が最適なプラトー領域であることを確認した。
- (2) ダイアウェイタイム()は，約 82.6 μ s となり，Canberra Industries 社の設定値 74.1 μ s とほぼ同値となった。
ゲート幅(tg) は，Real Rate の統計的誤差を評価するとともに，高計数率時の tg = 1.257 も加味して，128 μ s が妥当であることを確認した。
- (3) 中性子検出効率は，コンテナ無と空コンテナ内で行った。
コンテナ無しのチェンバ中心検出効率は 17.8%であった。
コンテナ内の最大は 17.49%，最小は 16.46%，コンテナ体積平均は 16.76%であり，コンテナによる中性子遮蔽効果があるものと考えられる。
- (4) コンテナ内感度分布の幅は，水平方向で Total で $\pm 5.25\%$ ・Real で $\pm 12.6\%$ ，垂直方向で，Total で $\pm 2.9\%$ ・Real で $\pm 6.4\%$ となり，コンテナ中心が最小，上下端が最大の傾向にある。
- (5) Pu キャリブレーションにより， $y = 14.424x$ の検量線を得た。
- (6) AAS キャリブレーションにより， $y = 0.1942x + 3.7850x^2 - 2.9960 x^3$ の中性子吸収曲線を得た。
- (7) 測定誤差は，測定時間が多くなるに伴い若干ではあるが小さくなる傾向にあり，実廃棄物コンテナ測定時間“ 1800 秒(60 秒 \times 30 回) + AAS 測定時間：900 秒 (60 秒 \times 15 回) \times 2 Position ”では 9%(1)以下であった。
マトリックス効果が大きい AAS pert.0.54 のグループは，約 +6%の“ かたより ”がある。測定誤差は，この“ かたより ”を補正するにより 1 / 3 ~ 1 / 2 にすることが可能と考えられる。
- (8) 実廃棄物コンテナ測定時間 1,800 秒の検出下限値は，コンテナの有無及びコンテナ内のマトリックスの量によって若干の差(幅)が生じ，1.45 ~ 2.01mg(²⁴⁰Pu-eff)である。

(9) 距離約 8 m 離れた WDAS#4 とのクロストーク試験の結果，統計的にみてクロストークによる測定値”Pu mass”への影響はなかった。しかし， Total Rate の増加は，検出下限値に影響を与えるため運用時には中性子遮蔽体を使用する必要がある。

9. 参考文献

- 1) N.Ensslin :“ Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials ” ,
Chapter 16: Principles of Neutron Coincidence Counting,
NUREG/CR-5550,
LA-UR-90-732,
(1991)

- 2) J.E.Stewart :“ Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials ” ,
Chapter 14: Principles of Total Neutron Counting,
NUREG/CR-5550,
LA-UR-90-732,
(1991)

- 3) H.O.Menlove, J.Baca, et.al ,:“ WDAS Operation Manual Including the Add-A-Source
Function ” , LA-12292-M , (1992)