

クリプトン広帯域検出器による排気監視  
(技術報告)

2004年7月

核燃料サイクル開発機構  
東海事業所

本資料の全部又は一部を複写・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

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

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)

2004

クリプトン広帯域検出器による排気監視  
(技術報告)

森田 卓\*<sup>1</sup> 谷澤 輝明\*<sup>3</sup> 森藤 将之\*<sup>1</sup>  
高崎 浩司\*<sup>2</sup> 鈴木 秀樹\*<sup>4</sup>  
鈴木 一教\*<sup>1</sup> 小林 博英\*<sup>1</sup>

要 旨

高レベル放射性物質研究施設 (Chemical Processing Facility, 以下「CPF」という。)では, 施設設備の改造更新工事を終えて、平成 14 年 12 月から平成 16 年 3 月まで先進湿式再処理試験が実施された。試験では排気筒から  $^{85}\text{Kr}$  が放出され, クリプトン広帯域検出器を用いたガスモニタにより放出量の測定評価を実施した。

CPF 排気モニタのガスモニタは平成 6 年に GM 検出器からクリプトン広帯域検出器に更新され、今回の先進湿式再処理試験での排気監視が CPF のクリプトン広帯域検出器による更新後はじめての  $^{85}\text{Kr}$  の実測となった。今回、従来の GM 検出器も仮設ガスモニタとして設置し、測定値及びインベントリの比較を実施した。

本報告では、先進湿式再処理試験におけるクリプトン広帯域検出器による放出監視についてまとめた。GM 検出器との比較評価の結果、クリプトン広帯域検出器による排気監視結果は妥当であることを確認した。

---

\* 1 放射線管理第一課  
\* 3 常陽産業(株)

\* 2 線量計測課  
\* 4 日本放射線エンジニアリング(株)

## Discharge Monitoring by the Wide Counting Range $^{85}\text{Kr}$ Detector (Technical Document)

Suguru MORITA\*<sup>1</sup>, Teruaki TANIZAWA\*<sup>3</sup>, Masayuki MORIFUJI\*<sup>1</sup>  
Kouji TAKASAKI\*<sup>2</sup>, Hideki SUZUKI\*<sup>4</sup>  
Kazunori SUZUKI\*<sup>1</sup>, Hirohide KOBAYASHI\*<sup>1</sup>

### Abstract

This report summarizes the  $^{85}\text{Kr}$  discharge monitoring by the wide counting range  $^{85}\text{Kr}$  detector in the Chemical Processing Facility (CPF).

In CPF, the examination for advanced hydrometallurgy reprocessing was performed from December 2002 to March 2004 after the refurbishing for development of fast reactor reprocessing technologies. Discharge of  $^{85}\text{Kr}$  from the stack was measured during this examination.

In 1994, the wide counting range  $^{85}\text{Kr}$  detector replaced GM detector in the CPF stack monitor. This new detector detected  $^{85}\text{Kr}$  gas for the first time at this examination. And the wide counting range  $^{85}\text{Kr}$  detector was compared with the conventional GM detector installed temporary for the measurements and inventory of  $^{85}\text{Kr}$ . As a result of comparative evaluation, it was confirmed that the wide counting range  $^{85}\text{Kr}$  detector was appropriate for discharge monitoring.

---

\*<sup>1</sup> Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works, JNC

\*<sup>2</sup> Radiation Dosimetry and Instrumentation Section, Radiation Protection Division, Tokai Works, JNC

\*<sup>3</sup> Jyoyo Industrial Corporation, Ltd.

\*<sup>4</sup> Japan Radiation Engineering Corporation, Ltd.

目 次

1	はじめに	1
2	CPFにおける放出監視排気管理システム概要	2
2.1	排気管理システム概要	2
2.2	クリプトンモニタの概要	6
(1)	動作原理	6
(2)	構造及び仕様	8
(3)	性能	10
2.3	再処理試験計画	14
(1)	試験計画	14
(2)	作業概要	16
(3)	試験燃料インベントリ	24
2.4	放出管理実績	27
(1)	再処理試験における $^{85}\text{Kr}$ 濃度及び放出量	27
(2)	再処理試験における放出量実績／インベントリ	27
3	クリプトン広帯域検出器の試験及び評価	40
3.1	GM検出器との比較測定試験	40
(1)	試験方法	40
(2)	試験結果	40
3.2	従来のモニタとのインベントリ比の比較	45
(1)	比較結果	45
3.3	考察	47
4	おわりに	53
5	参考文献	54
付録 - 1	クリプトン広帯域検出器の導入及び開発の経緯	付 - 1 (1)

## 目 次

図 2-1	排気モニタリング系統図	5
図 2-2	システムブロック図	6
図 2-3	Gated P.M.T.の動作原理	7
図 2-4	クリプトンモニタの概略図	9
図 2-5 (1)	CFC 部直線性試験	11
図 2-5 (2)	テストパルス入出力試験	11
図 2-5 (3)	濃度換算係数算出方法	12
図 2-6	施設別濃度換算係数の推移	13
図 2-7-1 (1)	燃料ピンせん断位置 (H14 年度第 1 回再処理試験)	17
図 2-7-1 (2)	燃料ピンせん断位置 (H15 年度第 1 回再処理試験)	18
図 2-7-1 (3)	燃料ピンせん断位置 (H15 年度第 2 回再処理試験)	19
図 2-7-2	燃料の粗粉碎方法	20
図 2-7-3	直接抽出装置及び残渣処理装置概要	21
図 2-7-4	直接抽出試験概要	22
図 2-7-5	逆抽出概要	23
図 2-7-6	残渣処理概要	23
図 2-8	CPF における $^{85}\text{Kr}$ の放出実績 (月別)	29
図 2-9 (1)	H14 年度第 1 回再処理試験における $^{85}\text{Kr}$ の放出実績 (日別)	30
図 2-9 (2)	H15 年度第 1 回再処理試験における $^{85}\text{Kr}$ の放出実績 (日別)	31
図 2-9 (3)	H15 年度第 2 回再処理試験における $^{85}\text{Kr}$ の放出実績 (日別)	32
図 2-10 (1)	せん断試験に伴う $^{85}\text{Kr}$ 放出状況	33
図 2-10 (2)	せん断試験 (プレナム部) に伴う $^{85}\text{Kr}$ 放出状況	34
図 2-10 (3)	通常溶解試験 (RUN1) に伴う $^{85}\text{Kr}$ 放出状況	34
図 2-10 (4)	高濃度溶解試験 (RUN2) に伴う $^{85}\text{Kr}$ 放出状況	36
図 2-10 (5)	直接抽出試験に伴う $^{85}\text{Kr}$ 放出状況	37
図 3-1	比較測定実施時における希ガス (クリプトン) モニタサンプリング系統図	41
図 3-2	燃料せん断時における各モニタでの $^{85}\text{Kr}$ ガス濃度測定値の推移	44
図 3-3 (1)	検出器による濃度評価の比較 (広帯域検出器/GM 検出器)	48
図 3-3 (2)	検出器による濃度評価の比較 (広帯域検出器/GM 検出器)	49
図 3-4	燃料せん断時における $^{85}\text{Kr}$ ガス累積放出量 (検出器別評価値) の比較	50
図 3-5	広帯域検出器 (CPF) の濃度換算係数の推移及び変動範囲	51

## 表 目 次

表 2-1	排気モニタリング方法	3
表 2-2	排気モニタ仕様	4
表 2-3	クリプトンモニタの主な仕様	10
表 2-4	照射燃料の性状	25
表 2-5	主要核種組成	26
表 2-6	CPF における再処理試験実績	28
表 2-7 (1)	再処理試験における <sup>85</sup> Kr 放出実績と 計算値（インベントリ）の比較（試験日別）	38
表 2-7 (2)	再処理試験における <sup>85</sup> Kr 放出実績と 計算値（インベントリ）の比較（試験項目別）	39
表 3-1	性能比較に用いたガスモニタの仕様	42
表 3-2	燃料せん断時における <sup>85</sup> Kr ガス測定値（濃度）の比較	43
表 3-3	再処理試験におけるインベントリの比較	46
表 3-4	濃度換算係数の変動によりインベントリ比が取り得る値の比較	52

## 1. はじめに

使用済燃料の再処理（せん断、溶解等）工程においては、使用済燃料中の放射性希ガスのほぼ全量が開放され、換気系を通じて排気筒から環境に放出される。放出に際しては、排気筒や排気ダクト等に設置された排気サンプリングノズル及び配管を通じて排気のサンプリングを行い、排気モニタにより放射性物質濃度の測定を行っている。特に放射性希ガスの場合は、捕集が困難であることから通気式測定器を用いて濃度の推移を連続的に測定することとしている。一方、排気筒からの放出濃度あるいは放出量は、保安規定等に従い記録するとともに安全協定等に基づき外部報告される重要なデータともなっている。

東海事業所再処理施設では、使用済燃料の再処理で放出される希ガス濃度は、5～6 デカードもの広範囲の変動を示すため（CPF では 3～4 デカード）、これらの範囲を精度良く測定する測定器としてクリプトン広帯域検出器が開発された。クリプトン広帯域検出器は、再処理施設及び CPF に導入され、運用されている。（付録-1 に現在までのクリプトン広帯域検出器の開発経緯を示す。）

CPF では、平成 14 年度（2002 年度）に施設設備の改造更新工事（再処理プロセスの合理化、高度化、及び、マイナーアクチニドの分離技術等の先進再処理技術に移行するための工事）を完了し、再処理ホット試験を開始した。本試験により放射性希ガスが放出され、排気モニタ（クリプトン広帯域検出器）により放出状況が確認された。これは、再処理施設も含め施設工程運転によって放出された放射性希ガスの変動をクリプトン広帯域検出器で初めて測定したものであり、また、同検出器の性能が実際の排気監視に適用できうることを確認したのもでもあった。

本報告書は、クリプトン広帯域検出器による排気監視に関して、CPF で行った検出器の性能確認に係る試験及び CPF での放出監視実績についてまとめるとともに同検出器の開発経緯や基礎特性等に関するデータ並びに CPF における実用状況及び管理実績等を取りまとめたものである。



## 2. CPFにおける放出監視

CPFでは、昭和57年9月に、高速実験炉「常陽」MK-I燃料の使用済燃料を使用した再処理試験（第1回目試験）を開始した。その結果、PUREX法が高速炉燃料再処理にも適用できることが確認できたため、経済性や環境負荷低減等の観点から、この技術をより高度化した「先進湿式再処理法」の開発を行うことを目的に平成8年3月に試験設備の改造工事に着手し、平成14年3月に終了した。

一方、CPFの排気モニタについては、平成6年度に更新を行い、従来のGM管+NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたクリプトンモニタの検出器を、開発の結果実用化された広帯域のプラスチックシンチレーション検出器に変更した。（現在までのクリプトン広帯域検出器の開発の経緯は 付録-1 を参照）

設備改造後、平成14年12月より「先進湿式再処理試験」が開始され、CPFからの $^{85}\text{Kr}$ の放出状況が記録されるようになった。

### 2. 1 排気管理システム概要

CPFの排気モニタリングシステムは、排気モニタ、トリチウムサンプラ及び安全管理情報遠隔集中監視システム（以下「安全管理システム」という）から構成されている。

排気モニタは、CPF地下1階の排風機室に設置されており、排気筒に設けられたサンプリング口より排気の一部をサンプリングし、排気モニタで連続測定、記録している。排気モニタは、ダストモニタ（ $\alpha$ 線及び $\beta$ 線）、ヨウ素モニタ（ $^{129}\text{I}$ 及び $^{131}\text{I}$ ）及びクリプトンモニタから構成されている。

排気モニタリング方法を表2-1に、排気モニタに係る仕様を表2-2に示す。

排気モニタの各モニタ部からの測定信号は、放射線管理室に設置されている放射線監視パネル（RMパネル）内のデジタルレートメータ（DRM）で計数表示し、記録計に記録される。また、デジタルレートメータの計数値は、安全管理システムへ送られ、データの集計、処理等を行っている。

排気モニタリングシステムを図2-1に示す。

表 2-1 排気モニタリング方法

モニタ部	測定対象	サンプリング方法	サンプリング流量	検出器
α線ダストモニタ	4MeV以上のα線	ろ過捕集法	ろ紙 (HE-40T φ50 mm)	ZnS(Ag)シンチレーション検出器
	β線ダストモニタ			70 ℓ/min
クリプトンモニタ	<sup>85</sup> Kr	直接測定法	ガスサンブラ (鉛遮へい円筒状容器 有効体積約7ℓ)	プラスチックシンチレーション検出器
ヨウ素モニタ	<sup>129</sup> I	固体捕集法	チャコール含浸フィルタ (CP-20 φ60 mm) チャコールカートリッジ (CHC-50 φ60 mm)	NaI(Tl)シンチレーション検出器
	<sup>131</sup> I			30 ℓ/min
トリチウムサンブラ	<sup>3</sup> H	冷却凝縮法	排気中水分の捕集	液体シンチレーションカウンタ

表 2-2 排気モニタ仕様

モニタ 項目	α線ダストモニタ部 (α)	β線ダストモニタ部 (β)	ヨウ素モニタ部 ( <sup>129</sup> I)	ヨウ素モニタ部 ( <sup>131</sup> I)	クリプトンモニタ部 ( <sup>85</sup> Kr)
(1) 測定対象	4MeV以上のα線	0.3~3MeVのβ線	γ線 ( <sup>129</sup> I)	γ線 ( <sup>131</sup> I)	β線 ( <sup>85</sup> Kr)
(2) 検出器	ZnS(Ag)シンチレーション検出器	プラスチックシンチレーション検出器	NaI(Tl)シンチレーション検出器		
(3) サンプルング流量	70 ℓ / 分	30 ℓ / 分	70 ℓ / 分		
(4) 測定範囲	1~10 <sup>7</sup> cpm	1~10 <sup>5</sup> cpm	1~10 <sup>7</sup> cpm	1~10 <sup>7</sup> cpm	1~10 <sup>7</sup> cpm
(5) 検出効率	1.4×10 <sup>-3</sup> Bq/cm <sup>3</sup> /cpm (10%以上) ( <sup>U</sup> <sub>3</sub> O <sub>8</sub> α線源による) (実装状態)	7.4×10 <sup>-3</sup> Bq/cm <sup>3</sup> /cpm (15%以上) ( <sup>U</sup> <sub>3</sub> O <sub>8</sub> β線源による) (実装状態)	1.3×10 <sup>-2</sup> Bq/cm <sup>3</sup> /cpm (7%以上) ( <sup>129</sup> I エネルギー相当) (実装状態)	8.1×10 <sup>-1</sup> Bq/cm <sup>3</sup> /cpm (2%以上) ( <sup>131</sup> I エネルギー相当) (実装状態)	3.7×10 <sup>-3</sup> Bq/cm <sup>3</sup> /cpm  ( <sup>85</sup> Kr エネルギー相当) (実装状態)
(6) 集塵方式	固定ろ紙集塵方式				
	ろ紙：HE-40T φ50 (有効径 φ45)	固定吸引捕集方式  チャコールフィルタ：CP-20 チャコールカートリッジ：CHC-50 いずれも添着炭 TEDA10% φ60 (有効径 φ50)			
(7) 検出部遮へい	鉛 50 mm厚相当				
(8) 出力表示	デジタルレオメータ (RMパネル…α, β, <sup>129</sup> I, <sup>131</sup> I, クリプトン)				
	カウンタ 記録計	(RMパネル…α, β, <sup>129</sup> I, <sup>131</sup> I, クリプトン, サンプルング流量, 排風量)			



2. 2 クリプトンモニタの概要

現在 CPF で使用されているクリプトンモニタは、平成 6 年度に設置された後、 $^{85}\text{Kr}$  ガスの測定管理を行ってきた。このクリプトンモニタの測定部は、クリプトン広帯域検出器及びサンプラ、遮へい体から構成されている。以下にクリプトンモニタの動作原理構造、性能について述べる。

(1) 動作原理

クリプトンモニタの広帯域検出器では、プラスチックシンチレータにより主に  $^{85}\text{Kr}$  の  $\beta$  線を検出し、その信号を光電子増倍管から電流値として出力している。出力電流は C.F.C(Current-Frequency-Converter)回路により電流量に応じたパルス数に変換され、従来の測定システムと同様にデジタルレートメータに入力できるようにしている。(図 2-2 システムブロック図 参照)

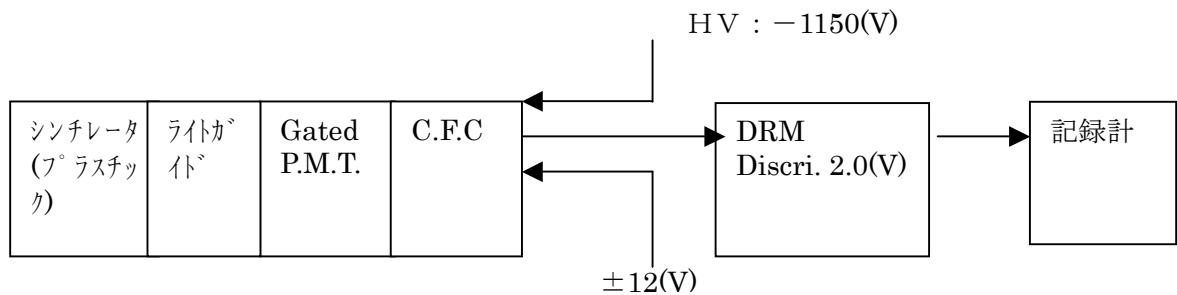


図 2-2 システムブロック図

本システムは、光電子増倍管（Photo-Multiplier-Tube）（以下 P.M.T という）からの電流値を計測することで高濃度までの広レンジの測定を可能とするのが特徴であるが、放射線をパルス出力として計測する場合と異なり、電流量を計測する場合、低濃度領域では暗電流の影響が問題となる。そこで、P.M.T の出力電流に対し、電流変化によりゲート信号を発生し、電流成分を選択することにより暗電流などの低い電流成分をカットする機能を有する Gated P.M.T.回路（図 2-3 参照）を採用している。このことにより、放射線によって出力された電流成分のみに応じた計数が得られることにより、低濃度領域での測定を可能とし、低い測定下限値を得る事ができた。

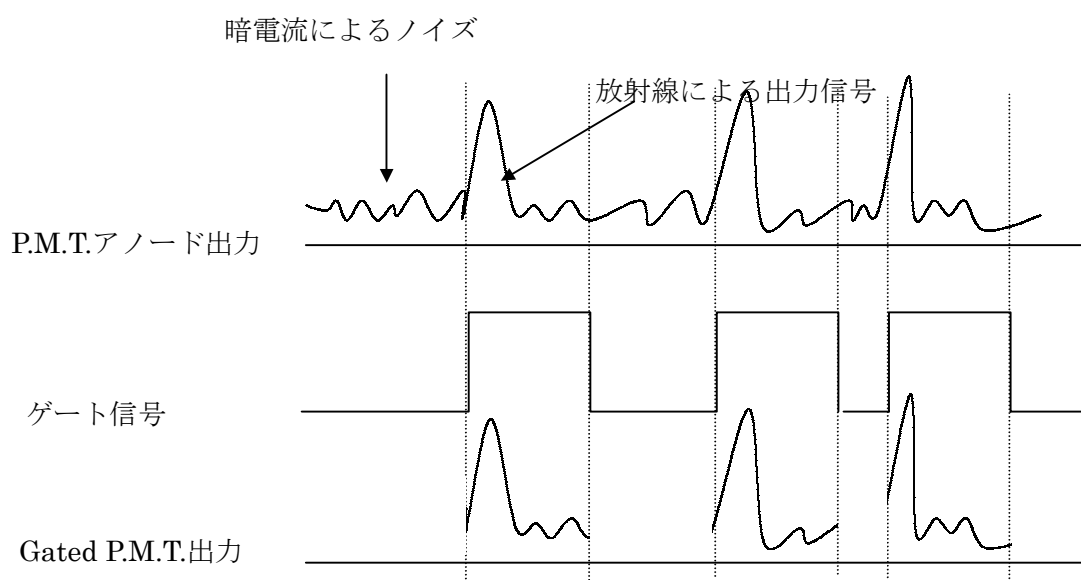


図 2-3 Gated P.M.T.の動作原理

ゲート信号を発生させ、放射線による電流成分を選択することにより、暗電流などの低い電流成分をカットする機能を有している。

## (2) 構造及び仕様

クリプトンモニタの広帯域検出器は、基本的にはプラスチックシンチレーション式検出器であるが、(1) 動作原理で示したように、低濃度まで精度良く測定するためにゲート付き光電子増倍管 (Gated P.M.T.) 回路及び光電子増倍管からの出力電流を電圧パルス数に変換する C.F.C 回路などを付加し、極力バックグラウンド計数を低減するとともに、高濃度の測定にも対応できるようにした検出器である。

以下にクリプトンモニタの各部の概要について示す。

### ① シンチレータ部

先端部のキャップにプラスチックシンチレータ (直径 2 インチ、0.5mm 厚) を内蔵し、ガス遮断用フィルム(バレックスシート)と光遮断用フィルム (アルミ蒸着マイラ) でプラスチックシンチレータ表面を保護している。

### ② Gated P.M.T 部

直径 2 インチの光電子増倍管 (7 6 9 6 相当) と回路基板 2 枚から成る入力信号部で、ゲート回路のディスクリレベルは可変 (0~0.5(V)) である。検出器本体の密閉を保つためにライトガイドに O リングを装着している。

### ③ C.F.C 部

電流・周波数変換部で、2 枚の回路基板から成る。C.F.C 回路では 1pA~100  $\mu$ A までの電流を 0.01Hz~1MHz の 8 デガードの周波数ロジックパルス信号に変換する。すなわち 1pA は 0.6cpm となる。

### ④ 光パルサ部及び発光ダイオード

感度校正用光源として、LED を組み込んでおり、外部パルスにより発光させるための 2 枚の回路基板が組み込まれている。

### ⑤ $\pm 6V$ 電源及びコネクタ部

内部回路用として 1 枚の  $\pm 6V$  電源回路基板を内蔵している。また、コネクタは外部供給の  $\pm 12V$  電源端子、高圧電源端子、複合コネクタのレセクタプル及び Gated P.M.T.部のディスクリ電圧のモニタ用端子がある。

### ⑥ サンプラ及び遮へい体

直径 250mm、高さ 185mm の円筒形 SUS 製。運搬及びメンテナンス性を考慮して、遮へい体は鉛ブロックの組み合わせによる構造としている。

図 2-4 にクリプトンモニタの概略図を示す。

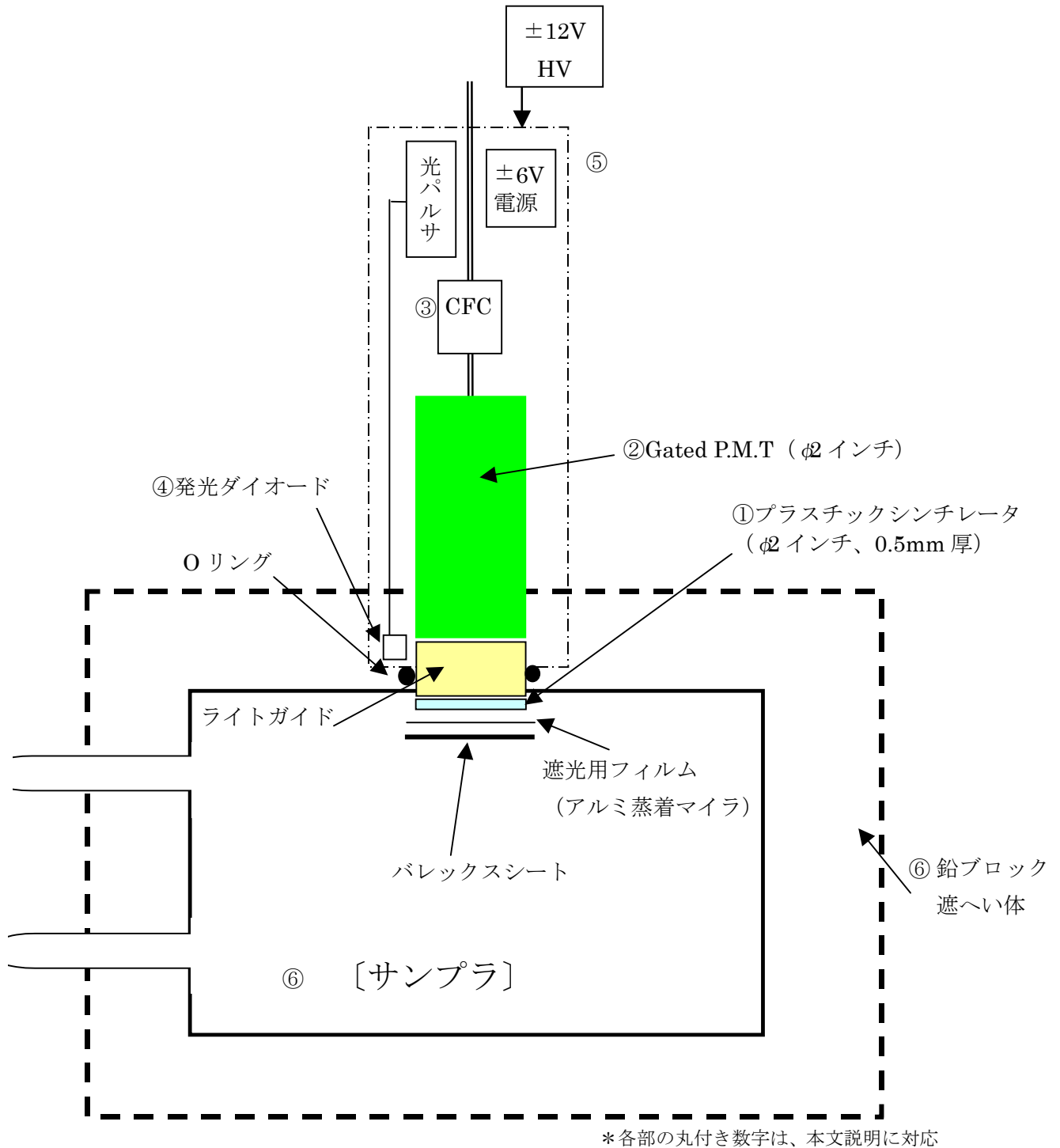


図 2-4 クリプトンモニタの概略図



表 2-3 にクリプトンモニタの主な仕様を示す。

表 2-3 クリプトンモニタの主な仕様

検出器	プラスチックシンチレータ (φ2 インチ、0.5mm 厚)
換算係数	$3.7 \times 10^{-3}$ Bq/cm <sup>3</sup> /cpm 以下
測定下限	$3.7 \times 10^{-3}$ Bq/cm <sup>3</sup>
測定範囲	～約 $3.7 \times 10^4$ Bq/cm <sup>3</sup>
サンプラ	直径 250mm, 高さ 185mm SUS 円筒形 製
遮へい	鉛ブロック 50mm 厚
外形寸法	80mm φ×432mm(コネクタ部含まず)
重量	約 2 kg(検出部のみ。サンプラ、遮へい体等は含まず。)

### (3) 性能

クリプトン広帯域検出器の性能は、定期的な点検・校正により確認・維持されている。ここでは、これまでの点検等の実績に基づく性能として、特に濃度換算係数に着目して示すことにする。

#### ① 性能検査

クリプトンモニタの性能検査は点検整備を含め半年に一度行っている。以下に主な検査内容を示す。

##### a. CFC 部直線性試験

微小電流発生器により、模擬電流を CFC 部に入力し、そのときの出力パルス計数率を測定し、基準値±15%以内であることを確認する。詳細を図 2-5(1)に示す。

##### b. テストパルス入出力試験

検出器に高圧を印加し、パルスジェネレータ出力を 1 (μsec), 5(V) で入力した時の出力パルス計数率を周波数カウンタにて測定し、基準値±15%以内であることを確認する。詳細を図 2-5(2)に示す。

##### c. 出力波形の観測

検出器に高圧を印加した状態で、<sup>137</sup>Cs チェッキングソースにより、γ線を計数させ、そのときの出力パルスの波形をシンクロスコープにて観測する。(パルス波高：2 V以上 パルス幅：参考値約 500nsec)

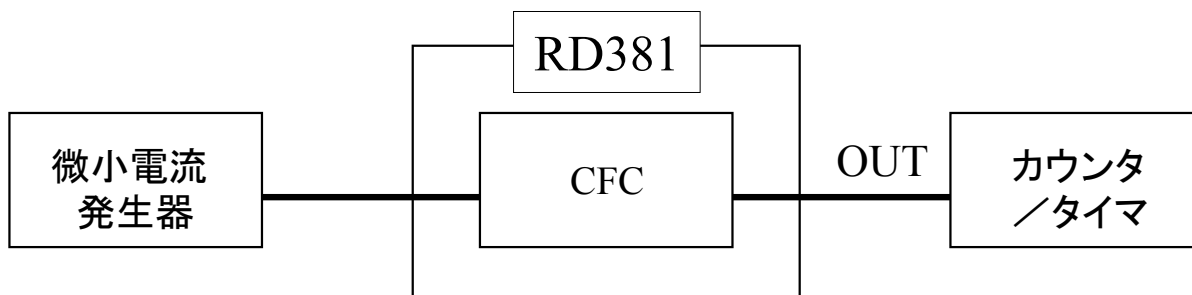
##### d. 濃度換算係数の算出

クリプトンガスの実流試験を行い、クリプトンガス濃度を順次下げていったときのガス濃度と計数値の関係から濃度換算係数を算出する。この濃度換算係数が、 $3.7 \times 10^{-3}$  (Bq/cm<sup>3</sup>/cpm) 以下であることを確認する。詳細を図 2-5(3)に示す。

#### ② 濃度換算係数の推移

CPF のクリプトンモニタの濃度換算係数は、 $8.3 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3}$  (Bq/cm<sup>3</sup>/cpm) の範囲で推移しており、安定した性能を示している。

各施設の広帯域検出器の性能検査時における濃度換算係数の推移を図 2-6 に示す。

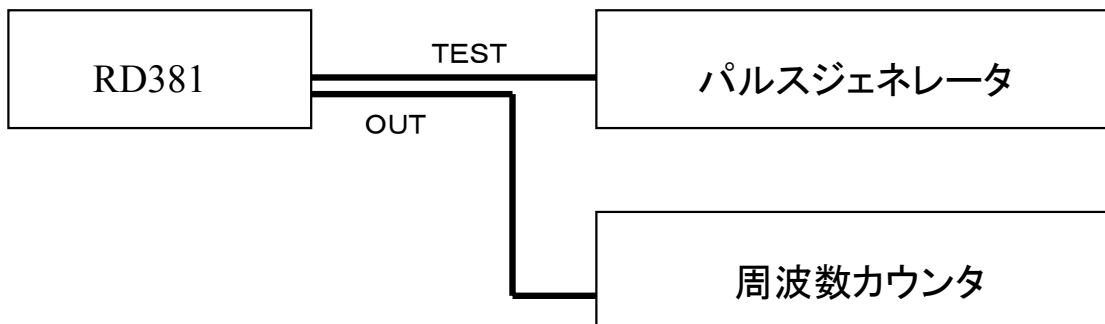


上記の接続で、微小電流発生器により、下記の模擬電流をCFC部に入力し、そのときの出力パルス計数率をカウンタ/タイマで測定する。

入力電流(A)	出力基準値(cps)	
$-1 \times 10^{-10}$	----	$1 \times 10^0$
$-1 \times 10^{-8}$	----	$1 \times 10^2$
$-1 \times 10^{-6}$	----	$1 \times 10^4$
$-1 \times 10^{-4}$	----	$1 \times 10^6$

\* 判定基準  
出力基準値±15%以内  
であること。

図 2-5 (1) CFC部直線性試験

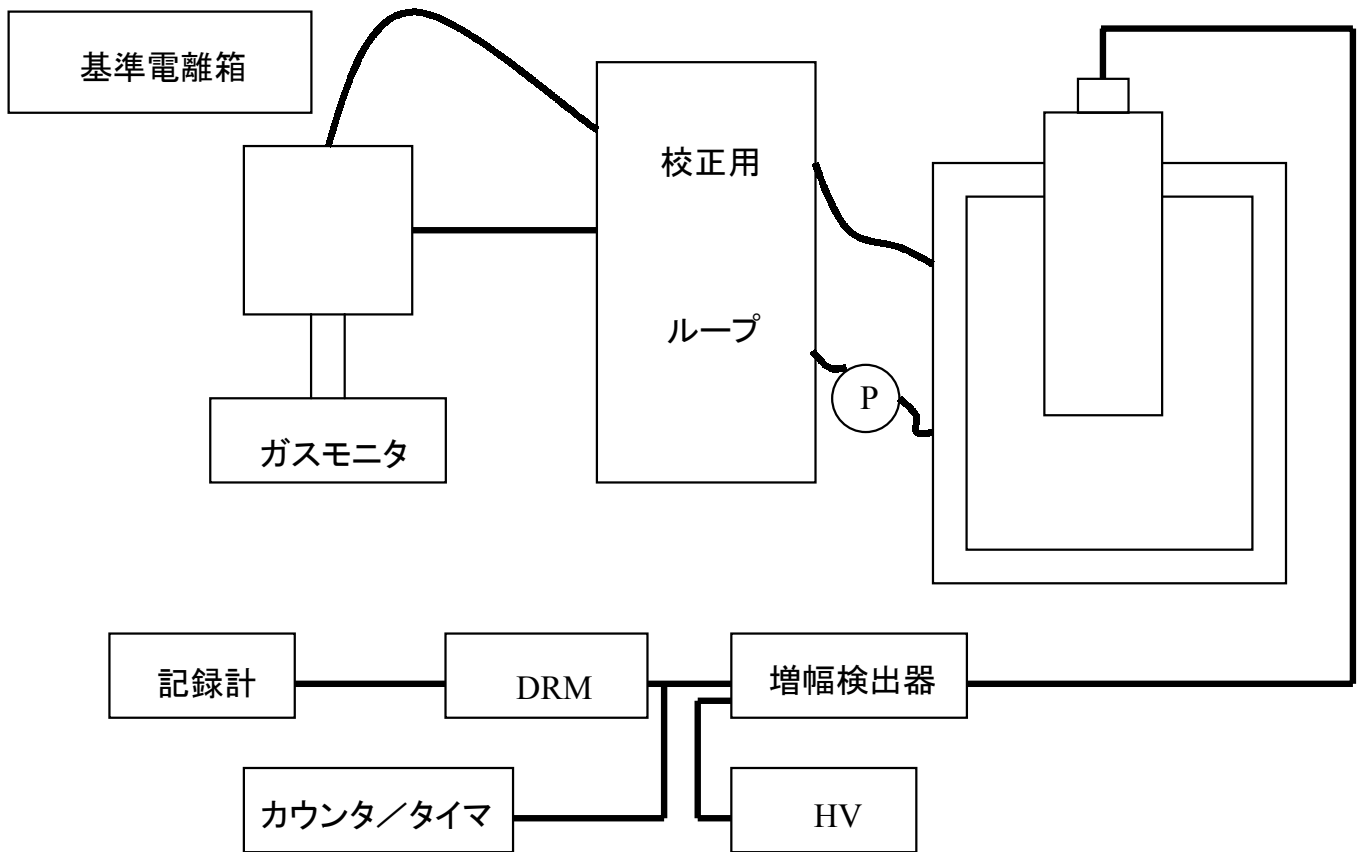


上記の接続にて高圧設定を-1000(V)としパルスジェネレータ出力を1(μsec), 5(V)として、周波数を下記の値で入力したときの出力パルス計数率を周波数カウンタにて測定する。

入力電流(A)	出力基準値(cps)	
$1 \times 10^1$	----	$1 \times 10^3$
$1 \times 10^2$	----	$1 \times 10^4$
$1 \times 10^3$	----	$1 \times 10^5$
$1 \times 10^4$	----	$1 \times 10^6$

\* 判定基準  
出力基準値±15%以内  
であること。

図 2-5 (2) テストパルス入出力試験



上記の接続において、Kr濃度を順次下げていった時の対数計数率計、記録計の指示値及びカウンターの指示値を測定する。(濃度 5~500Bq/cc程度にて実施)

$$\text{濃度換算係数} = \frac{\text{ガスモニタより求めた濃度 (Bq/cm}^3\text{)} - \text{ガスモニタのBG値 (Bq/cm}^3\text{)}}{\text{計数值 (cpm)} - \text{BG値 (cpm)}} \quad (\text{Bq/cm}^3\text{/cpm})$$

図 2-5 (3) 濃度換算係数算出方法

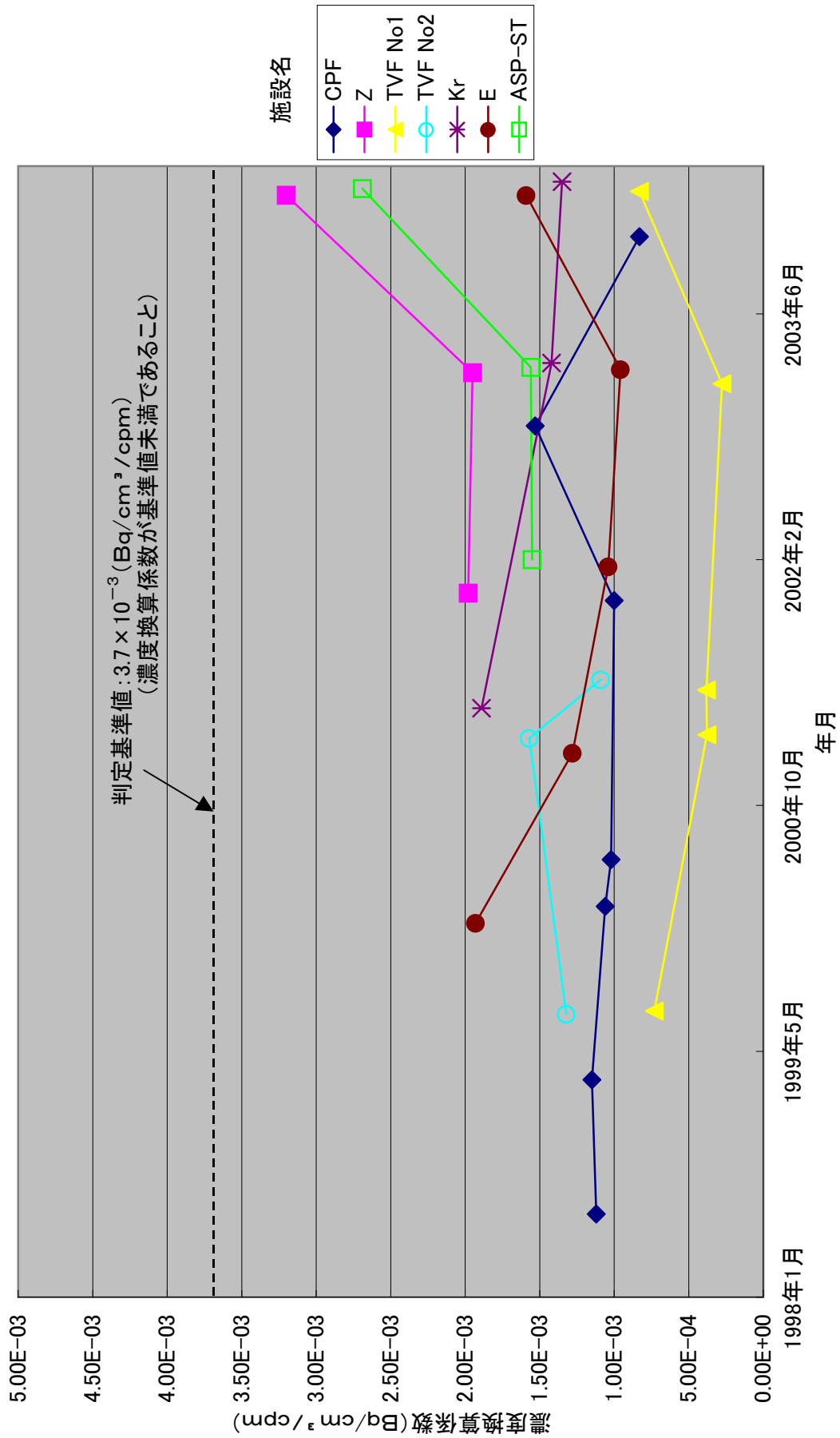


図 2-6 施設別濃度換算係数の推移

## 2. 3 再処理試験計画

CPF では、平成 14 年 3 月に試験設備の改造工事が終了した後、一連の試験準備が整ったため、平成 14 年 12 月 11 日より FBR サイクル実用化戦略調査研究の一環として、「先進湿式再処理試験」を開始した。

本項では、試験設備の改造後に行われた試験内容及び、作業の概要、試験に使用した燃料の仕様及びインベントリについて述べる。

### (1) 試験計画

平成 14 年 12 月から平成 16 年 3 月までに実施された先進湿式再処理試験の概要を以下に示す。

#### ① 平成 14 年度第 1 回再処理試験（平成 14 年 12 月～平成 15 年 1 月）

##### a. 簡素化 PUREX 試験（CA-2,3,5 セル）

###### ・ 高効率溶解試験

再処理プロセスへの晶析工程の導入に伴い、溶解工程における金属濃度の高濃度化が要求される。しかしながら、このような高濃度条件下における照射済み燃料の溶解挙動はこれまでに評価されていなかった。

本試験では、初期装荷燃料量をパラメータとした照射済み燃料溶解試験（通常濃度溶解（約 280g/L）及び高濃度溶解（約 560g/L））を実施し、初期燃料装荷量（最終 HM(U+Pu)濃度）が U 及び Pu の溶解挙動に及ぼす影響を評価する。

###### ・ 清澄試験

高濃度溶解試験により発生する溶解液及び溶解液洗浄硝酸を対象に遠心清澄機を用いて清澄を行う。

##### b. 直接抽出試験（CA-2,3,5 セル）

TBP 硝酸錯体を用い、照射済み燃料から直接 U、Pu を溶解・抽出する技術のホット基礎試験を行う。本試験では U 溶解速度、Pu 溶解速度、U/Pu 溶解濃度比、主要な FP 元素との除染係数等を確認し、溶解性能に与える主な因子（Pu 富化度、燃焼度、TBP-硝酸錯体中の硝酸濃度、固液比）の効果を調べる。

#### ② 平成 15 年度第 1 回再処理試験（平成 15 年 5 月～平成 15 年 6 月）

##### a. 直接抽出試験（CA-2,3,5 セル）

平成 14 年度第 1 回再処理試験の結果より、照射済み高速炉燃料からウラン及びプルトニウムが抽出可能であることが、示された。本試験では、燃料粉末の組成、温度、固／液比等をパラメータとして試験を行い、抽出及び除染性への影響を調査する。

③ 平成 15 年度第 2 回再処理試験（平成 15 年 10 月～平成 15 年 11 月）

a. 簡素化 PUREX 試験（CA-2,3,5 セル）

・ 高効率溶解試験（紛化溶解）

平成 14 年度第 1 回再処理試験の溶解試験の結果より、さらに溶解工程での効率を上げるため、燃料を紛化させて溶解する。これにより、高濃度化による負の影響を紛化による正の影響で低下させ、ひいては更に効率化することを狙っている。この負の影響を把握すべく、せん断片の溶解を通常濃度（約 280g/L）と高濃度（約 560g/L）で行う。

・ 晶析試験

使用済燃料の溶解液から溶媒抽出を行う前に、晶析法により U を粗分離するプロセスの開発が進められている。この晶析工程で、U の約 60% を分離することにより、U/Pu 比の粗調整を行うことで、分配工程の省略、溶媒抽出工程での処理量が低減化などの効果が期待されている。

本試験では、冷却速度をパラメータとした晶析試験を実施し、冷却速度が晶析挙動に与える影響について評価を行う。

(2) 作業概要

各試験に伴う作業の概要を以下に示す。

① せん断

せん断方法は、圧空駆動の押切法によるせん断方式を採用している。せん断する燃料ピンは、ラッピングワイヤを取り外し、1ピンずつ、以降の試験に適した寸法（1～3 cm）にせん断される。各再処理試験における燃料ピンせん断位置等の詳細を図 2-7-1(1)(2)(3)に示す。

② 溶解

溶解方法は、溶解液温度及び硝酸濃度をパラメータとして、せん断した燃料ピンをバスケットに納め、バッチ式の溶解槽（全容量 約 4 l）で必要な硝酸を供給後、空気の吹き込みによる攪拌を行いつつ所定温度に加熱する方法を採用している。

③ 直接抽出

a. 燃料取り出し

せん断した燃料を祖粉碎機で粉碎し燃料のみ取り出す。詳細を図 2-7-2 に示す。

b. 酸化熱処理

被覆管から取り出した燃料を電気炉内で 500℃で 10 時間加熱し、酸化処理を行う。

c. 直接抽出

粉末全量を直接抽出試験装置（丸底フラスコ）に投入し、予め硝酸を接触させて調整した TBP 硝酸錯体（抽出溶媒）を注入する。スターラにより攪拌を開始し、温度上昇が緩やかになってから溶液を所定温度に調整し、抽出を行う。装置の概要を図 2-7-3 に、作業の概要を図 2-7-4 に示す。

d. 逆抽出

U,Pu を含む溶媒をドデカンで希釈し、ビーカー内で希硝酸と接触させて酸及び金属元素を逆抽出し、廃液処理を行う。概要を図 2-7-5 に示す。

e. 抽出残渣溶解

抽出残渣を 10mol/l 硝酸で溶解する。装置の概要を図 2-7-3 に、作業の概要を図 2-7-6 に示す。

f. 残燃量処理

試験で使用しなかった少量の燃料及び、燃料を取り出した後の被覆管は、溶解槽に入れ 10mol/l 硝酸で溶解する。

MK-II 燃料ピン

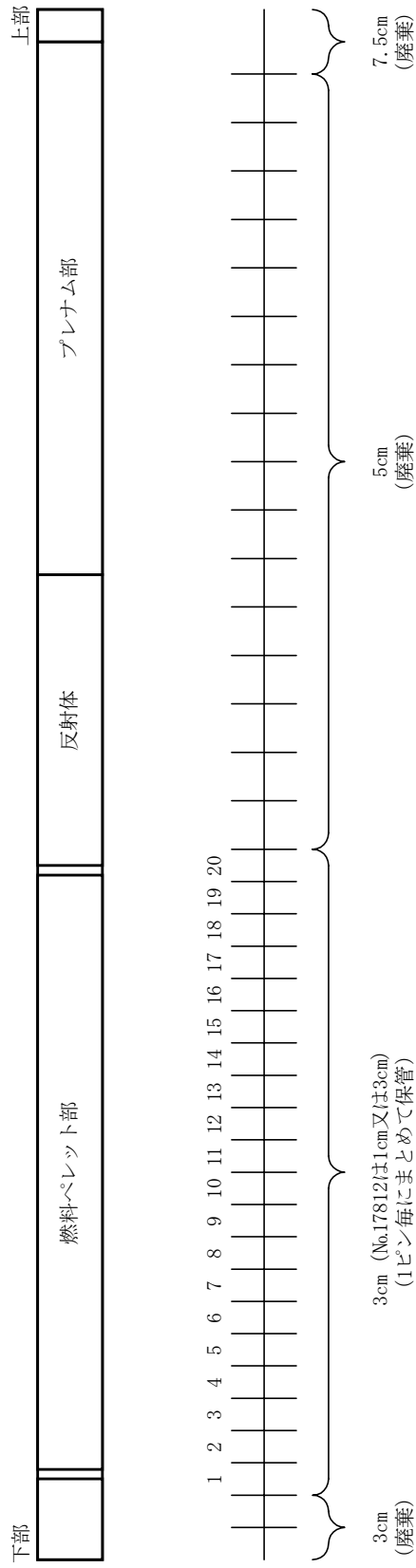
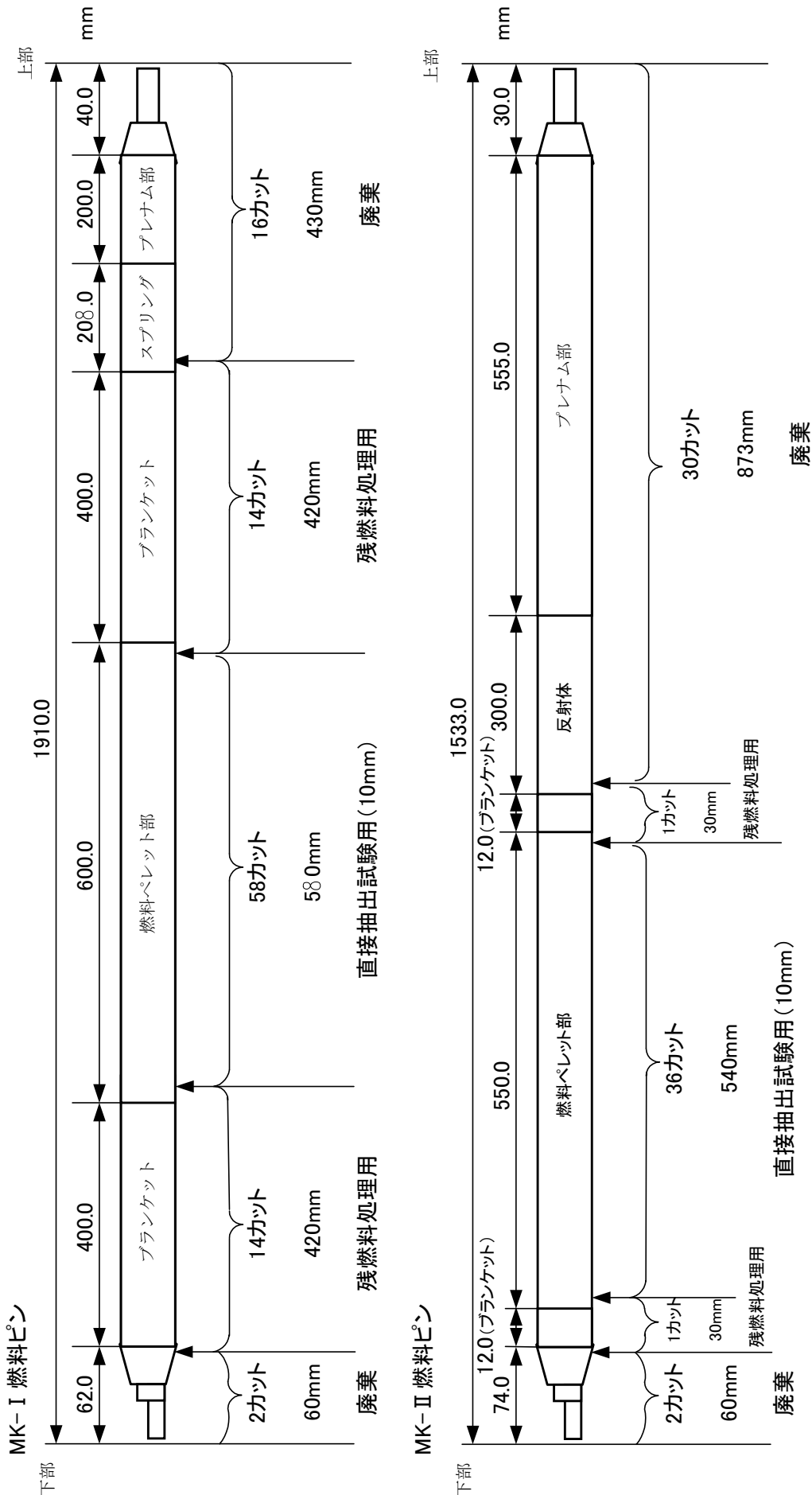


図2-7-1(1) 燃料ピンセンサー断位置 (H14年度第1回再処理試験)





\* 燃料ペレット部は10mmでせん断、その他は、30mmでせん断する。

図2-7-1(2) 燃料ピンせん断位置 (H15年度第1回再処理試験)

MK-II 燃料ピン

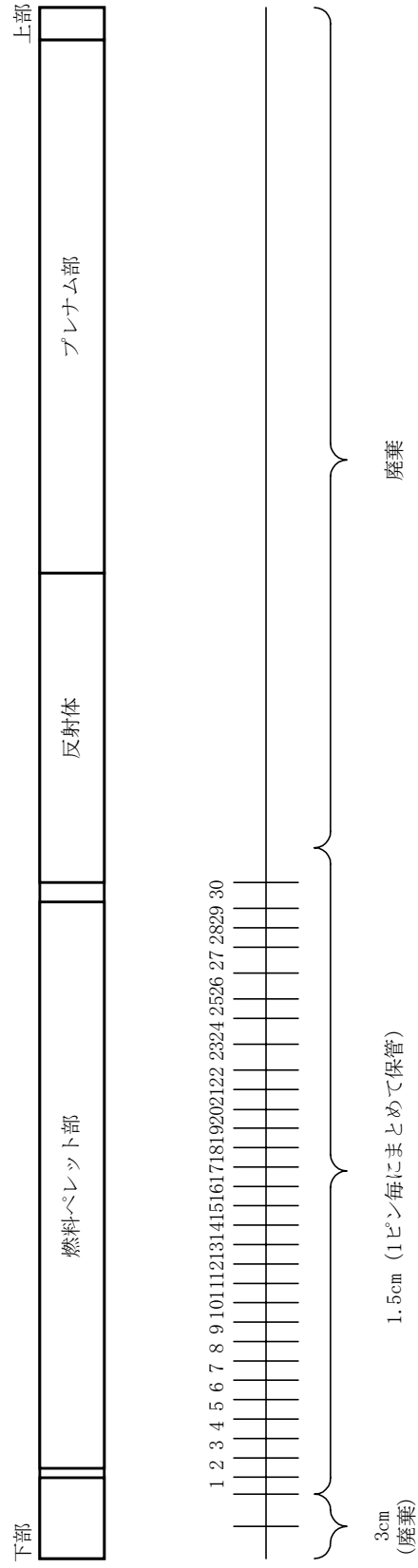


図2-7-1 (3) 燃料ピンせん断位置 (H15年度第2回再処理試験)

○ MOX燃料ペレットを粗粉碎機で粉碎し、ふるいで分級する。

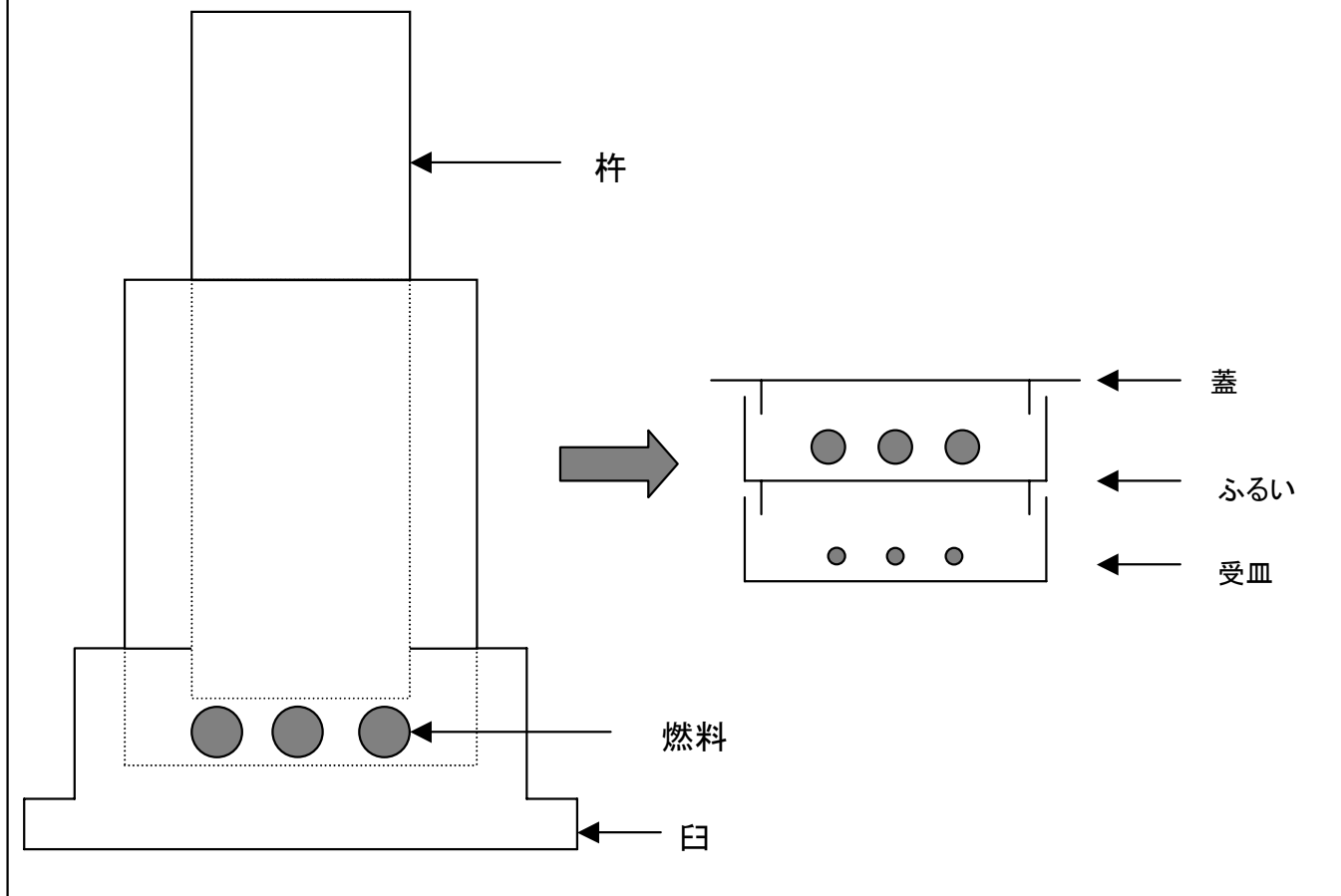


図 2-7-2 燃料の粗粉碎方法

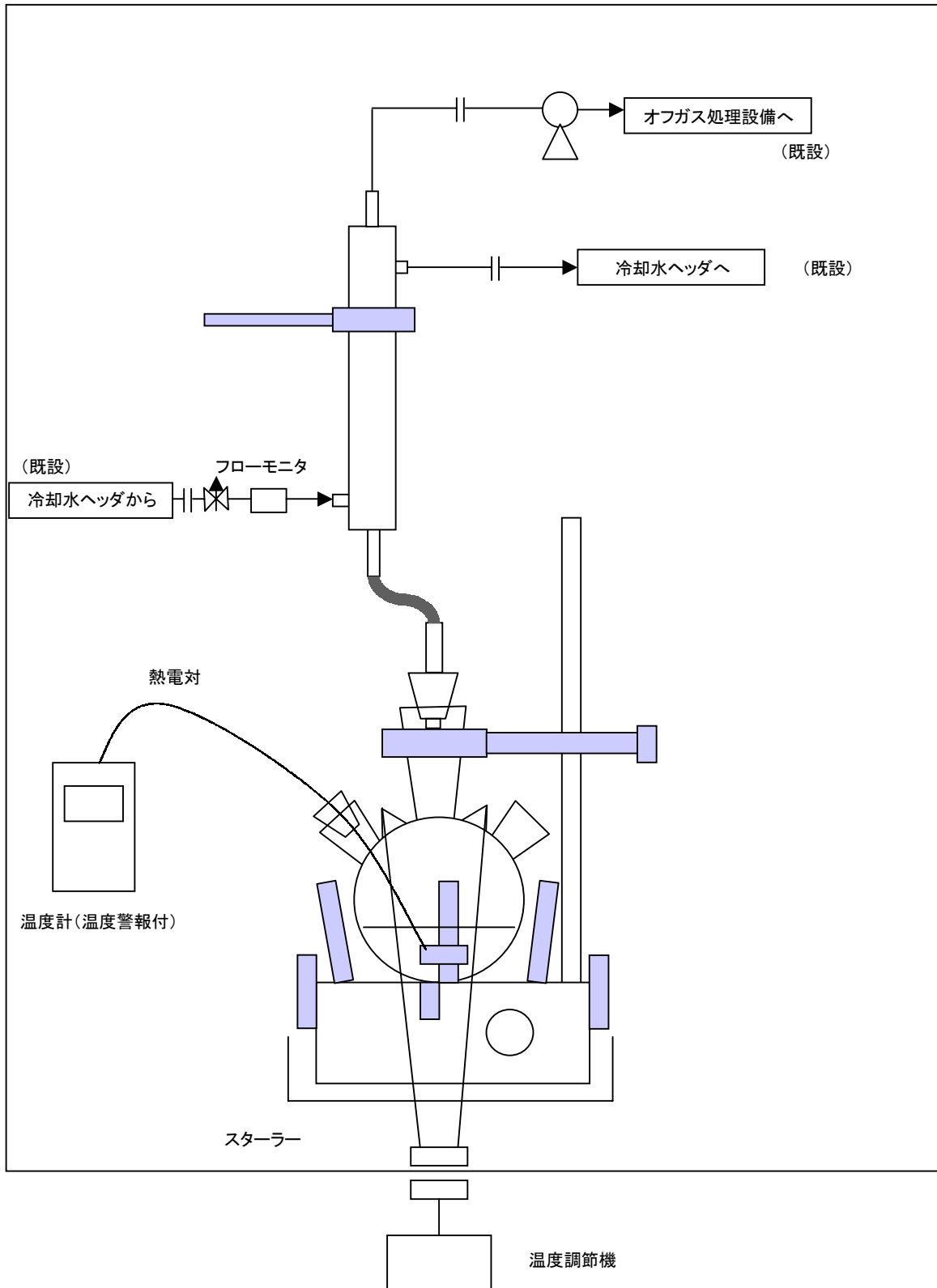


図 2-7-3 直接抽出装置及び残渣処理装置概要

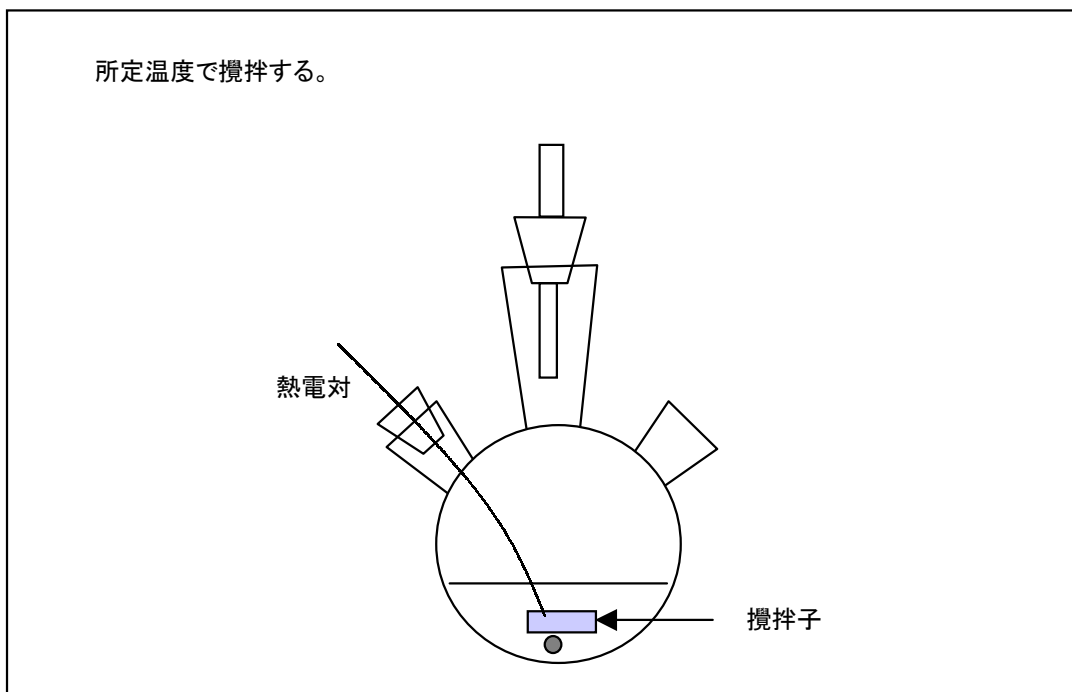
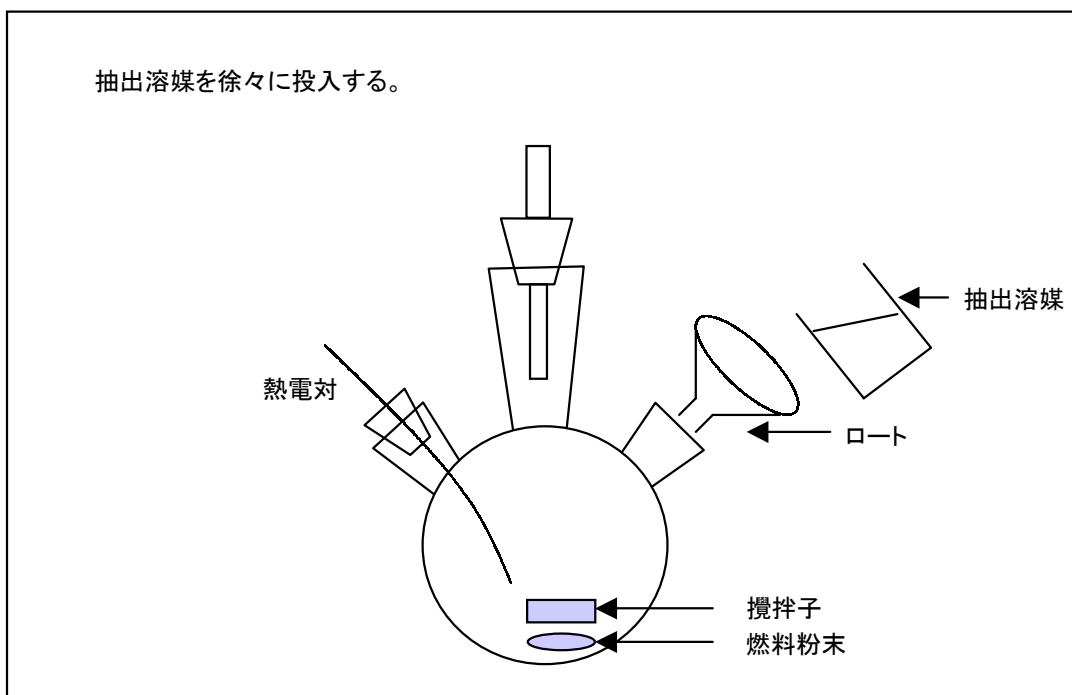


図 2-7-4 直接抽出試験概要

〇U、Puを含む溶媒を必要に応じて、ドデカンで希釈し、  
ビーカー内で希硝酸と接触する。

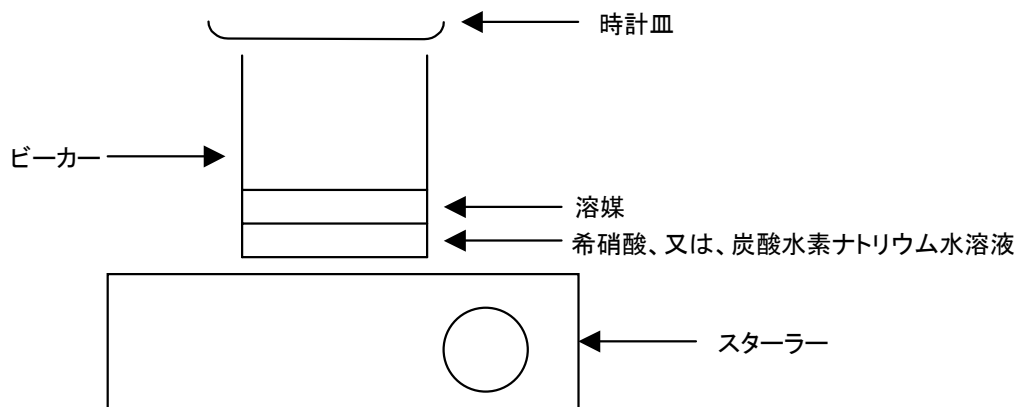


図 2-7-5 逆抽出概要

抽出残渣を硝酸で溶解する。

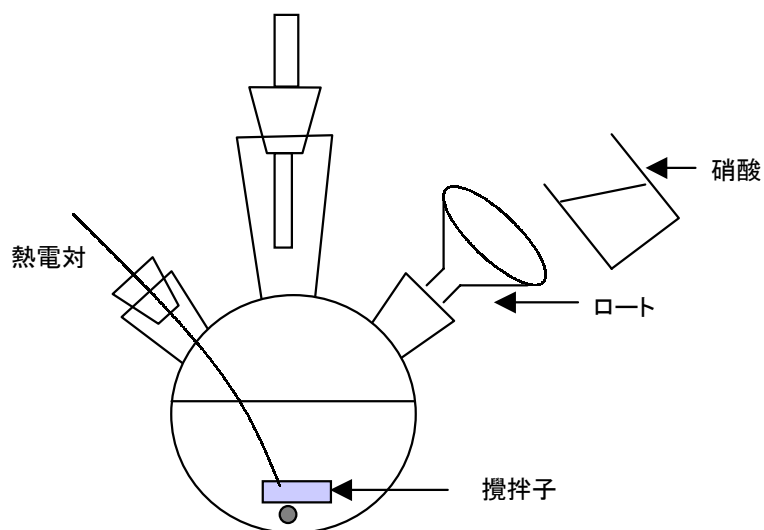


図 2-7-6 残渣処理概要

(3) 試験燃料インベントリ

各再処理試験においては、「常陽」MK-II 炉心燃料（燃焼度 63700MWD/t）を使用した。さらに、平成 15 年度第 1 回再処理試験では、直接抽出試験における、燃料溶解性能に燃焼度等の因子が与える影響を評価する目的で、「常陽」MK-I 炉心燃料（燃焼度 31700MWD/t）を使用した。

各再処理試験に用いた試験用燃料ピンの性状を表 2-4 に、主要核種の組成を表 2-5 に示す。（燃料製造時における分析値及び ORIGEN2.1 による冷却後の計算値を使用した。）

表 2-4 照射燃料の性状

試 験 燃 料 種 類	平成 14 年度第 1 回再処理試験		平成 15 年度第 1 回再処理試験		平成 15 年度第 2 回再処理試験
	「常陽」 Mk-II 炉心燃料 (PFD153) 3PIN	U - Pu 混合酸化物使用済燃料	「常陽」 Mk-I 炉心燃料 (PPJD2U) 2PIN	U - Pu 混合酸化物使用済燃料	「常陽」 Mk-II 炉心燃料 (PFD153) 3PIN
量・初期値					
プルトニウム(g)	約 75	約 75	約 45	約 25	約 75
濃縮ウラン(g)	約 180	約 180	約 210	約 60	約 180
劣化ウラン(g)	約 10	約 10	約 335	約 5	約 10
天然ウラン(g)	—	—	—	—	—
*1 同位体組成・初期値					
Pu (%)	0.7 (0.6)	0.7 (0.6)	0 (0)	0.7 (0.6)	0.7 (0.6)
	68.7 (67.5)	68.7 (67.5)	79.0 (76.7)	68.7 (67.5)	68.7 (67.5)
	21.5 (26.1)	21.5 (26.1)	19.3 (19.4)	21.5 (26.1)	21.5 (26.1)
	6.7 (3.0)	6.7 (3.0)	1.0 (3.3)	6.7 (3.0)	6.7 (3.0)
	2.4 (2.8)	2.4 (2.8)	0.6 (0.6)	2.4 (2.8)	2.4 (2.8)
U (%)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	—	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
	11.7 (9.4)	11.7 (9.4)	7.7 (8.9)	11.7 (9.4)	11.7 (9.4)
	0.0 (0.7)	0.0 (0.7)	—	0.0 (0.7)	0.0 (0.7)
	88.3 (89.9)	88.3 (89.9)	92.3 (91.1)	88.3 (89.9)	88.3 (89.9)
濃縮ウラン濃度—初期値—(コア部, w/o)	12.5	12.5	23	12.5	12.5
プルトニウム富化度—初期値—(w/o)	30	30	18	30	30
燃焼度 (MWd/t)	Ave.63,700	Ave.63,700	Ave.31,700	Ave.63,700	Ave.63,700
冷却日数 (日)	5,634(平成 14 年 12 月 11 日現在)	5,634(平成 14 年 12 月 11 日現在)	7,826(平成 15 年 5 月 1 日現在)	5,634(平成 14 年 12 月 11 日現在)	5,634(平成 14 年 12 月 11 日現在)
内蔵放射能量 (TBq)	12.5	12.5	5.40	4.17	12.5

\* 1 燃料製造時における分析値。( ) 内の値は ORIGEN2.1 による冷却後の計算値



表 2-5 主要核種組成

核種	平成 14 年度第 1 回 再処理試験	平成 15 年度第 1 回再処理試験		平成 15 年度第 2 回 再処理試験
	63,700MWd/t 5634 日冷却 (Bq/3pin)	31,700MWd/t 5634 日冷却 (Bq/2pin)	63,700MWd/t 5634 日冷却 (Bq/1pin)	63,700MWd/t 5634 日冷却 (Bq/3pin)
H-3	$5.71 \times 10^9$	$3.57 \times 10^9$	$1.90 \times 10^9$	$5.71 \times 10^9$
Kr-85	$5.25 \times 10^{10}$	$3.61 \times 10^{10}$	$1.75 \times 10^{10}$	$5.25 \times 10^{10}$
Sr-90	$6.60 \times 10^{11}$	$6.01 \times 10^{11}$	$2.20 \times 10^{11}$	$6.60 \times 10^{11}$
Y-90	$6.60 \times 10^{11}$	$6.01 \times 10^{11}$	$2.20 \times 10^{11}$	$6.60 \times 10^{11}$
Zr-95	-	-	-	-
Tc-99	$2.54 \times 10^8$	$2.07 \times 10^8$	$8.47 \times 10^7$	$2.54 \times 10^8$
Ru-106	$4.85 \times 10^8$	$5.66 \times 10^6$	$1.62 \times 10^8$	$4.85 \times 10^8$
Rh-106	$4.85 \times 10^8$	$5.66 \times 10^6$	$1.62 \times 10^8$	$4.85 \times 10^8$
Sb-125	$1.07 \times 10^{10}$	$2.32 \times 10^9$	$3.57 \times 10^9$	$1.07 \times 10^{10}$
I-129	$7.93 \times 10^5$	$6.24 \times 10^5$	$2.64 \times 10^5$	$7.93 \times 10^5$
Cs-137	$1.35 \times 10^{12}$	$9.45 \times 10^{11}$	$4.50 \times 10^{11}$	$1.35 \times 10^{12}$
Ce-144	$2.75 \times 10^7$	$1.58 \times 10^5$	$9.17 \times 10^6$	$2.75 \times 10^7$
Pr-144	$2.76 \times 10^7$	$1.58 \times 10^5$	$9.20 \times 10^6$	$2.76 \times 10^7$
Pm-147	$9.49 \times 10^{10}$	$1.89 \times 10^{10}$	$3.16 \times 10^{10}$	$9.49 \times 10^{10}$
Sm-151	$6.11 \times 10^{10}$	$4.35 \times 10^{10}$	$2.04 \times 10^{10}$	$6.11 \times 10^{10}$
Eu-154	$1.22 \times 10^{10}$	$3.65 \times 10^9$	$4.07 \times 10^9$	$1.22 \times 10^{10}$
Eu-155	$3.09 \times 10^{10}$	$8.94 \times 10^9$	$1.03 \times 10^{10}$	$3.09 \times 10^{10}$

## 2. 4 放出管理実績

設備改造後の再処理試験（先進再処理試験）における $^{85}\text{Kr}$ ガスの測定管理は、平成6年度に更新されたクリプトンモニタ（クリプトン広帯域検出器）により行っている。本項では、「先進再処理試験」の各試験期間における $^{85}\text{Kr}$ ガス放出量及びガス濃度の評価を行った。また、 $^{85}\text{Kr}$ ガスの測定実績と、ORIGEN2.1により求めた冷却後の計算値（燃料インベントリ）との比を求めた。

### (1) 再処理試験における $^{85}\text{Kr}$ 濃度及び放出量

各再処理試験期間において、既設のクリプトンモニタにより $^{85}\text{Kr}$ ガス濃度、放出量を測定した結果を以下に示す。

#### ① 平成14年度第1回再処理試験（平成14年12月～平成15年1月）

簡素化PUREX試験及び、直接抽出試験に伴う作業が行われたが、試験期間における $^{85}\text{Kr}$ 放出量は、 $5.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ （内訳は、燃料せん断時：47%、溶解時：53%（通常溶解：29.1% 高濃度溶解：約23.9%））であった。また、最大濃度はMK-II燃料部せん断時で、 $1.0 \times 10^{-1} \text{Bq}/\text{cm}^3$ であった。

#### ② 平成15年度第1回再処理試験（平成15年5月～平成15年6月）

直接抽出試験に伴う作業が行われたが、試験期間における $^{85}\text{Kr}$ 放出量は、 $4.30 \times 10^{10} \text{Bq}$ （内訳は、燃料せん断時：60.5%、燃料粉碎作業時：0.6%、通常溶解時：0.2%、燃料加熱処理時：3.9%、直接抽出試験時：10.4%、残渣溶解作業時：24.7%）であった。また、最大濃度はMK-II燃料部せん断時で、 $1.2 \times 10^{-1} \text{Bq}/\text{cm}^3$ であった。

#### ③ 平成15年度第2回再処理試験（平成15年10月～平成15年11月）

簡素化PUREX試験に伴う作業が行われたが、試験期間における $^{85}\text{Kr}$ 放出量は、 $6.68 \times 10^{10} \text{Bq}$ （内訳は、燃料せん断時：46.4%、燃料粉碎作業時：2.7%、通常溶解時：50.8%）であった。また、最大濃度はMK-II燃料部せん断時で、 $1.2 \times 10^{-1} \text{Bq}/\text{cm}^3$ であった。

以上の結果より、 $^{85}\text{Kr}$ の総放出量は、溶解試験時が一番大きく、濃度は燃料部せん断時に最大となる傾向が見られた。

14年度、15年度のCPFにおける試験の実績を表2-6に、既設のクリプトンモニタによって測定された $^{85}\text{Kr}$ の月別放出実績を図2-8、日別放出実績と累積放出量を図2-9(1)(2)(3)、作業内容別放出状況を図2-10(1)～(5)に示す。

### (2) 再処理試験における放出量実績とインベントリ（計算値）の比較

各試験における放出量実績と計算上の $^{85}\text{Kr}$ 放出量（インベントリ）を試験日別に比較した結果を表2-7(1)に、試験項目別に比較した結果を表2-7(2)に示す。

表 2-6 CPF における再処理試験実績

年月	H14 12月	H15 1月	2 月	3 月	4 月	5月	6月	7 月	8 月	9 月	10月	11月	12月	H16 1月	2 月	3 月
せん断	■					■					■					
通常溶解試験	■					■					■					
清澄試験	■										■					
高濃度溶解試験		■														
直接抽出試験		■				■■■	■■■									
残渣燃料溶解作業		■				■■■	■■■									
燃料粉砕作業						■					■					
燃料加熱処理							■									
晶析作業												■				
抽出試験												■				
<p>平成 14 年度第 1 回再処理試験 (簡素化 PUREX 試験、直接抽出試験) 使用燃料:「常陽」Mk-II 炉心燃料 (PFD153) 3pin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断 12月11日 (Mk-II 3pin) 、12月12日 (プレナム部)</li> <li>・通常溶解試験 12月16日</li> <li>・清澄試験 12月18日~19日、1月10日</li> <li>・高濃度溶解試験 1月8日、9日</li> <li>・直接抽出試験 1月16日</li> <li>・残渣燃料溶解 1月21日~22日</li> </ul> <p>平成 15 年度第 1 回再処理試験 (直接抽出試験) 使用燃料:「常陽」Mk-I 炉心燃料 (PPJD2U) 2pin, Mk-II 炉心燃料 (PFD153) 1pin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断 5月9日 (Mk-I 2pin) 、5月12日 (Mk-II 1pin)</li> <li>・燃料粉砕作業 5月13日</li> <li>・通常溶解試験 5月19日、20日</li> <li>・燃料加熱処理 6月2日、3日</li> <li>・直接抽出試験 5月21日、26日、28日、6月6日、10日、13日、19日</li> <li>・残渣燃料溶解 5月23日、27日、30日、6月9日、12日、20日、23日~27日</li> </ul> <p>平成 15 年度第 2 回再処理試験 (簡素化 PUREX 試験) 使用燃料:「常陽」Mk-II 炉心燃料 (PFD153) 3pin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断 10月17日 (Mk-II 1pin)、10月23日 (Mk-II 2pin)</li> <li>・燃料粉砕作業 10月24日</li> <li>・通常溶解試験 10月28日、</li> <li>・高濃度溶解試験 10月30日</li> <li>・晶析作業 11月12日</li> <li>・抽出試験 11月19日</li> </ul>																

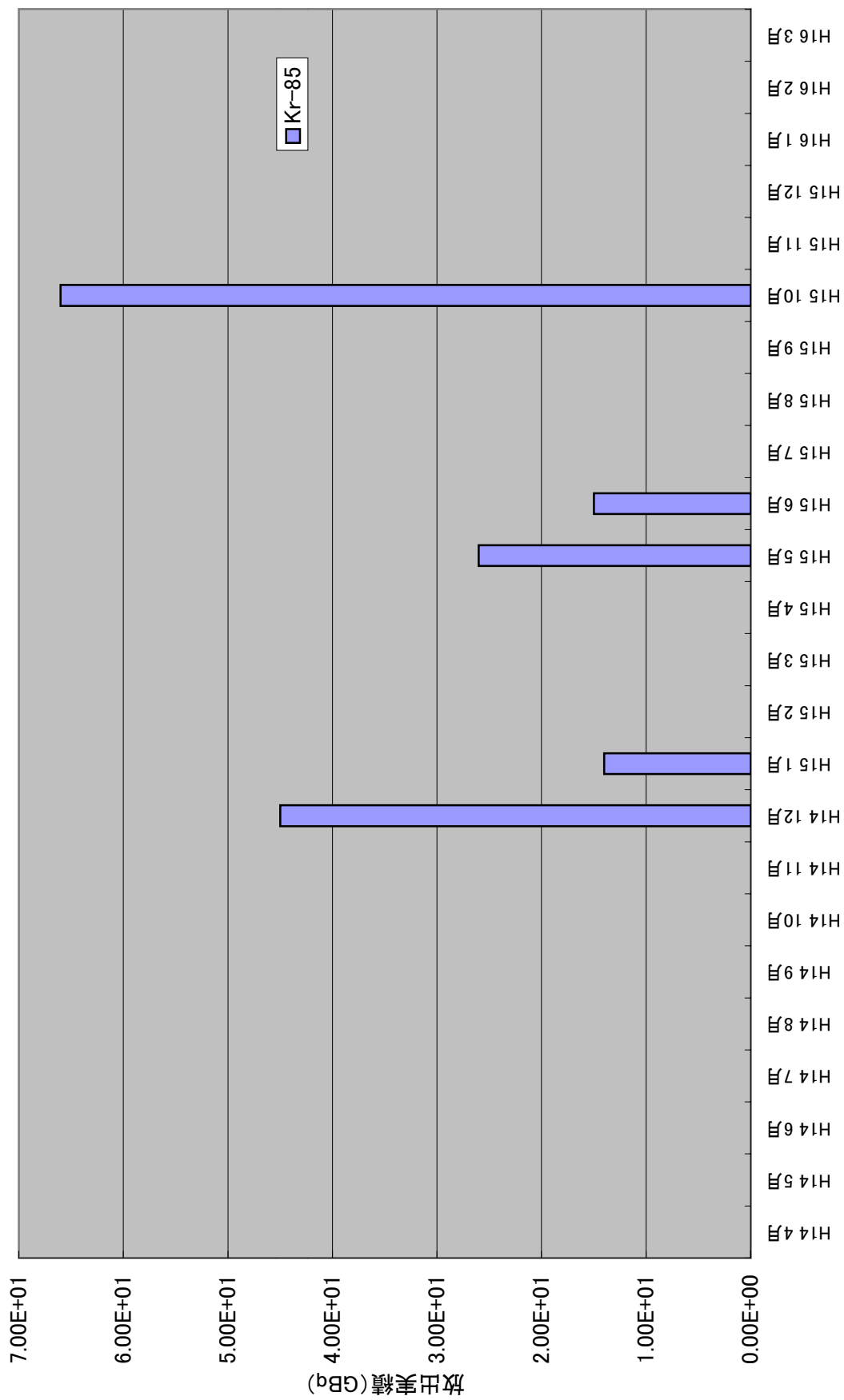


図2-8 CPFにおける<sup>85</sup>Krの放出実績(月別)

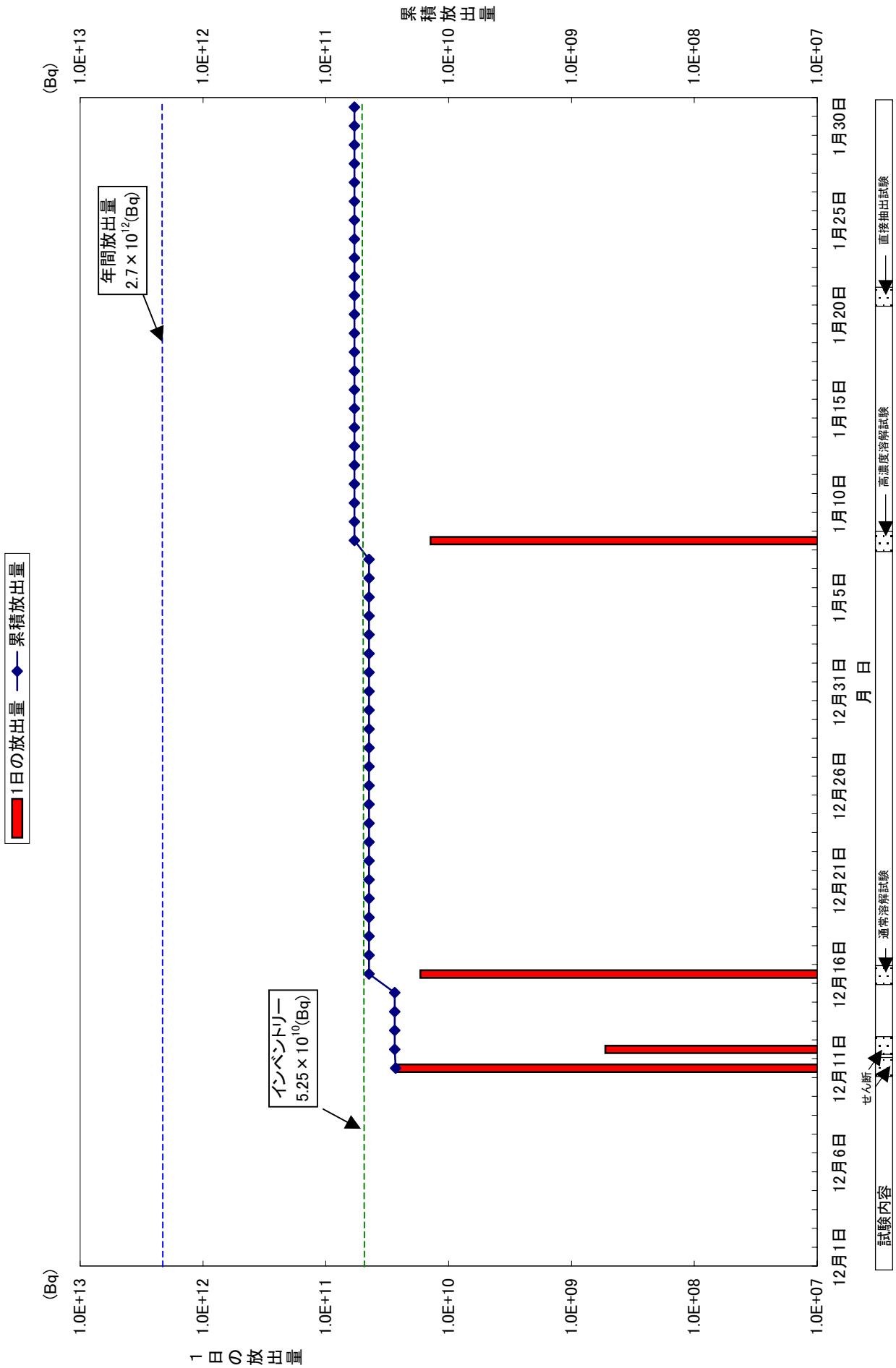


図2-9(1) H14年度第1回再処理試験における<sup>85</sup>Krの放出実績(日別)  
(2002年12月~2003年1月)

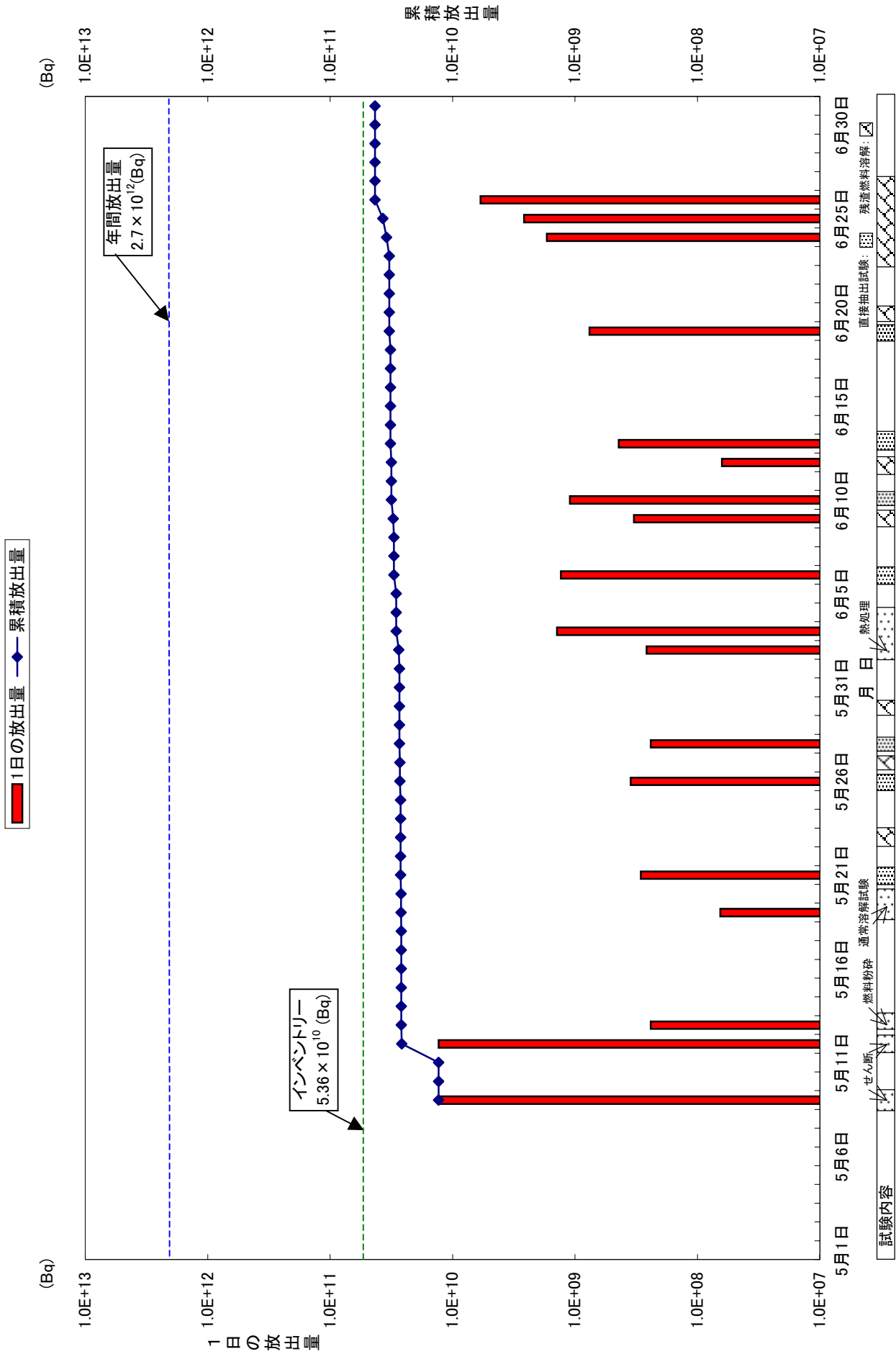


図2-9(2) H15年度第1回再処理試験における<sup>85</sup>Krの放出実績(日別)  
(2003年5月~2003年6月)

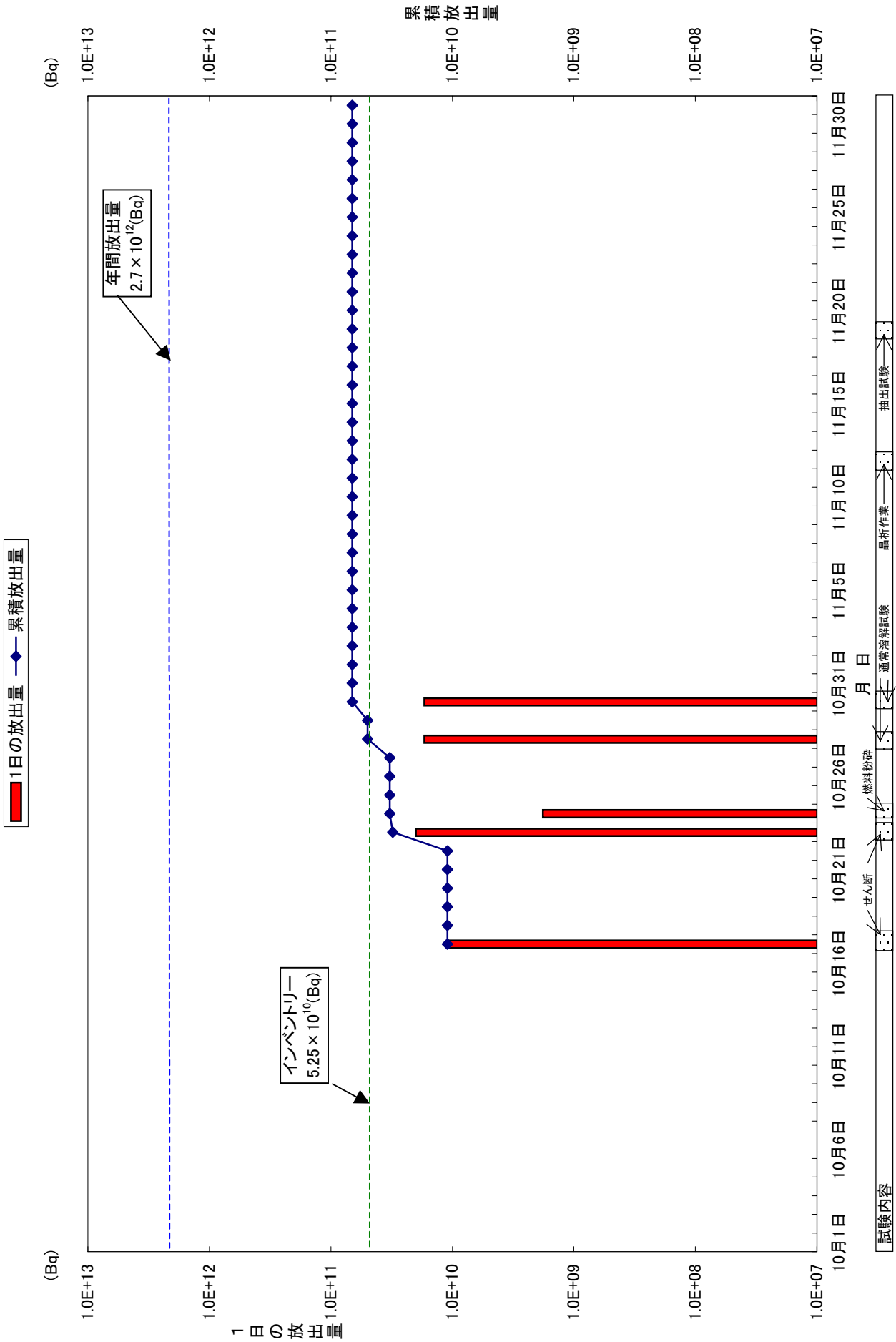


図2-9(3) H15年度第2回再処理試験における<sup>85</sup>Krの放出実績(日別)  
(2003年10月~2003年11月)

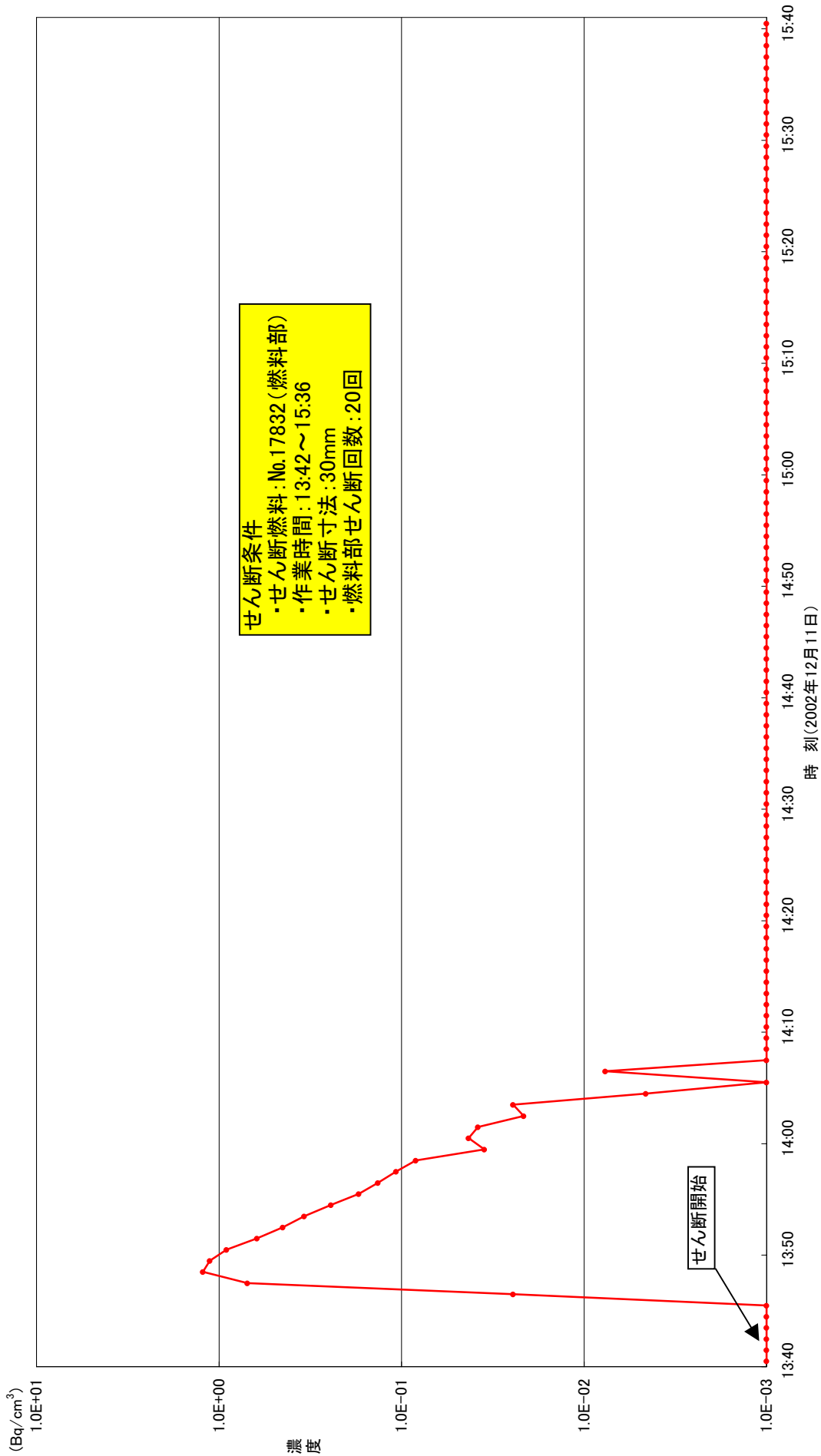


図2-10 (1) せん断試験に伴う<sup>85</sup>Krの放出状況



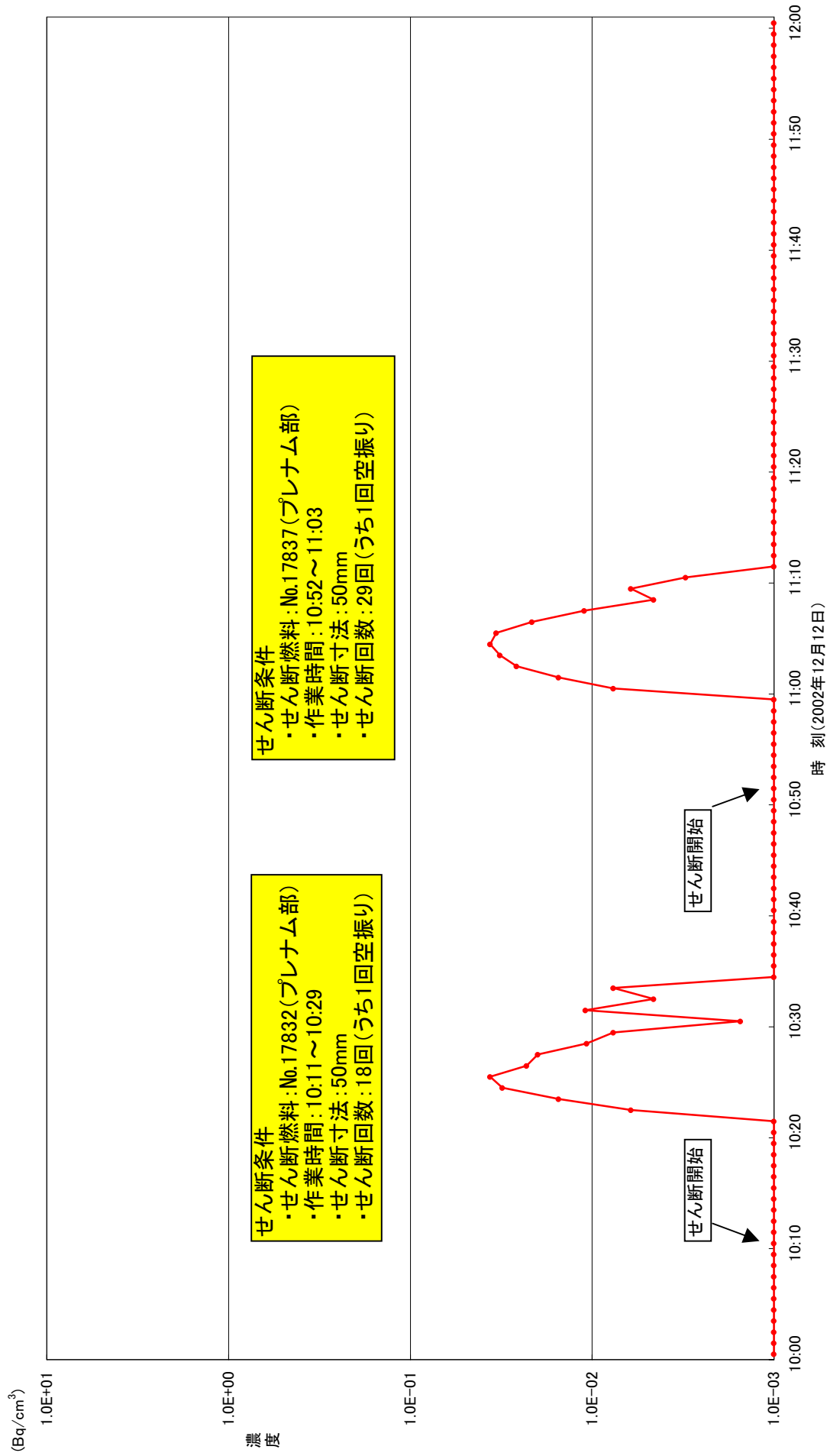


図2-10 (2) せん断試験 (プレナム部) に伴う<sup>85</sup>Krの放出状況

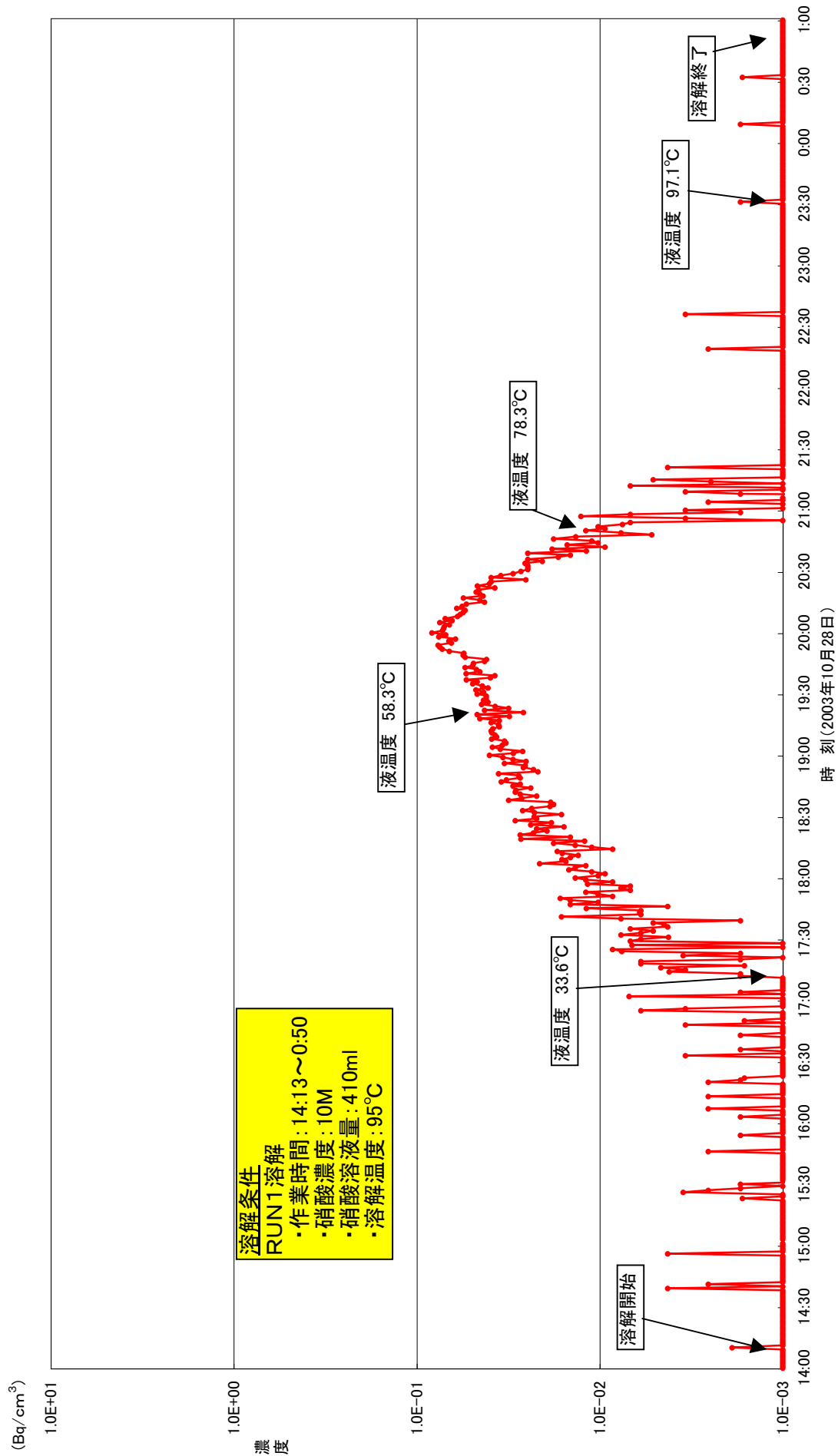


図2-10 (3) 通常溶解試験 (RUN1) に伴う<sup>85</sup>Krの放出状況

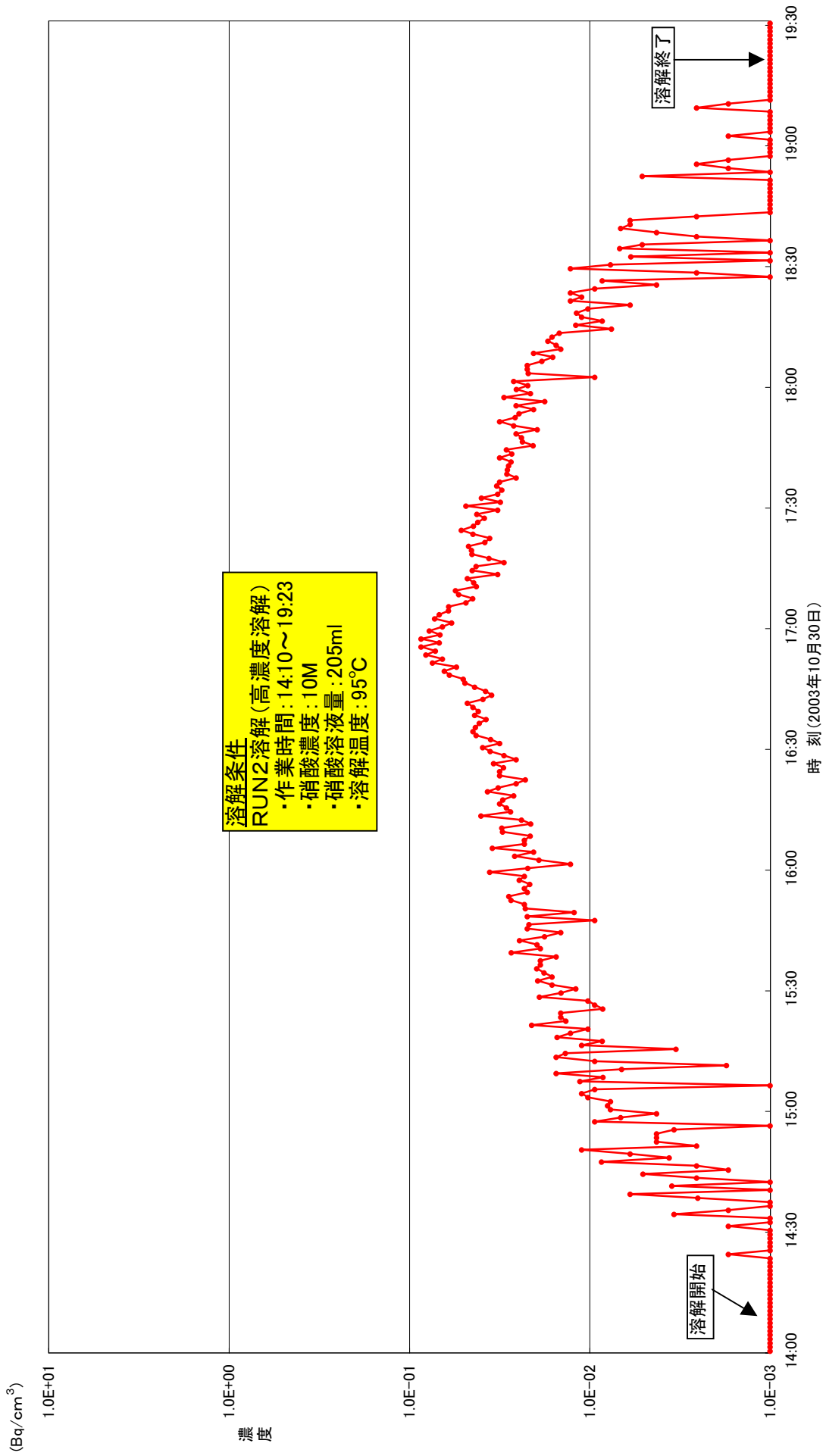


図2-10 (4) 高濃度溶解試験 (RUN2) に伴う<sup>85</sup>Krの放出状況

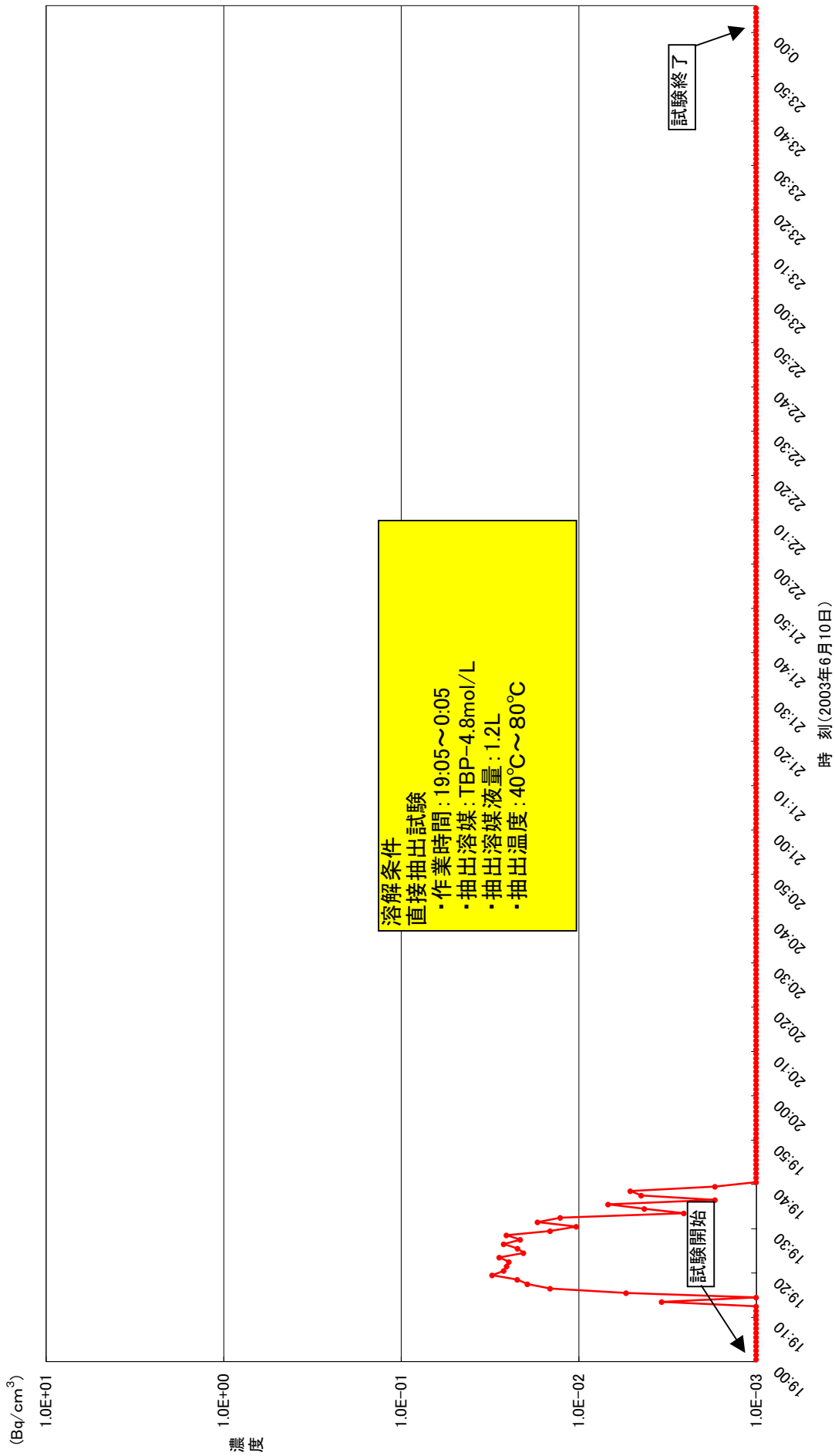


図2-10 (5) 直接抽出試験に伴う<sup>85</sup>Krの放出状況

表 2-7 (1) 再処理試験における  $^{85}\text{Kr}$  放出実績と計算値 (インベントリ) の比較 (試験日別)

再処理試験	インベントリ	試験日	試験内容	放出実績	最大濃度	累積放出量に対する割合	累積放出量	累積放出量/インベントリ
14年度第1回	$5.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ (Mk-II 3pin)	12月11日	せん断 (Mk-II 3pin 燃料部)	$2.70 \times 10^{10} \text{Bq}$	$1.0 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^3$	46.1%	$5.85 \times 10^{10} \text{Bq}$	111.4%
		12月12日	せん断 (プレナム部)	$5.30 \times 10^8 \text{Bq}$	$2.9 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.91%		
		12月16日	通常溶解試験	$1.70 \times 10^{10} \text{Bq}$	$2.9 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	29.1%		
		1月8日	高濃度溶解試験	$1.40 \times 10^{10} \text{Bq}$	$9.2 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	23.9%		
		5月9日	せん断 (Mk-I 2pin 燃料部)	$1.30 \times 10^{10} \text{Bq}$	$6.1 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	30.2%		
		5月12日	せん断 (Mk-II 1pin 燃料部)	$1.30 \times 10^{10} \text{Bq}$	$1.2 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^3$	30.2%		
		5月13日	燃料粉砕作業	$2.40 \times 10^8 \text{Bq}$	$2.6 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.56%		
		5月19日	通常溶解試験	$6.50 \times 10^7 \text{Bq}$	$7.1 \times 10^{-4} \text{Bq/cm}^3$	0.15%		
		5月21日	直接抽出試験	$2.90 \times 10^8 \text{Bq}$	$3.2 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.67%		
		5月26日	直接抽出試験	$3.50 \times 10^8 \text{Bq}$	$3.4 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.81%		
15年度第1回	$5.36 \times 10^{10} \text{Bq}$ (Mk-I 2pin : $3.61 \times 10^{10} \text{Bq}$ (Mk-II 1pin : $1.75 \times 10^{10} \text{Bq}$ )	5月28日	直接抽出試験	$2.40 \times 10^8 \text{Bq}$	$2.8 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.56%	$4.30 \times 10^{10} \text{Bq}$	80.2%
		6月2日	燃料加熱処理	$2.60 \times 10^8 \text{Bq}$	$2.3 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.60%		
		6月3日	燃料加熱処理	$1.40 \times 10^9 \text{Bq}$	$1.6 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	3.26%		
		6月6日	直接抽出試験	$1.30 \times 10^9 \text{Bq}$	$1.4 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	3.02%		
		6月9日	残渣燃料溶解	$3.30 \times 10^8 \text{Bq}$	$3.3 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	0.77%		
		6月10日	直接抽出試験	$1.10 \times 10^9 \text{Bq}$	$1.2 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	2.56%		
		6月12日	残渣燃料溶解	$6.30 \times 10^7 \text{Bq}$	$6.9 \times 10^{-4} \text{Bq/cm}^3$	0.15%		
		6月13日	直接抽出試験	$4.40 \times 10^8 \text{Bq}$	$4.8 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	1.02%		
		6月19日	直接抽出試験	$7.60 \times 10^8 \text{Bq}$	$8.7 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	1.77%		
		6月24日	残渣燃料溶解	$1.70 \times 10^9 \text{Bq}$	$1.9 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	3.95%		
15年度第2回	$5.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ (Mk-II 3pin)	6月25日	残渣燃料溶解	$2.60 \times 10^9 \text{Bq}$	$1.6 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	6.05%	$6.68 \times 10^{10} \text{Bq}$	127.2%
		6月26日	残渣燃料溶解	$5.90 \times 10^9 \text{Bq}$	$4.0 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	13.7%		
		10月17日	せん断 (Mk-II 1pin 燃料部)	$1.10 \times 10^{10} \text{Bq}$	$1.2 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^3$	16.5%		
		10月23日	せん断 (Mk-II 2pin 燃料部)	$2.00 \times 10^{10} \text{Bq}$	$1.0 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^3$	29.9%		
		10月24日	燃料粉砕作業	$1.80 \times 10^9 \text{Bq}$	$4.4 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$	2.69%		
		10月28日	通常溶解試験	$1.70 \times 10^{10} \text{Bq}$	$8.3 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	25.4%		
		10月30日	通常溶解試験	$1.70 \times 10^{10} \text{Bq}$	$7.4 \times 10^{-2} \text{Bq/cm}^3$	25.4%		

表 2-7 (2) 再処理試験における<sup>85</sup>Kr 放出実績と計算値 (インベントリ) の比較 (試験項目別)

再処理 試験	インベントリ	試験内容	放出実績	累積放出量に 対する割合	累積放出量	累積放出量 ／インベン トリ
14 年度 第 1 回	5.25×10 <sup>10</sup> Bq (Mk-II 3pin)	せん断	2.75×10 <sup>10</sup> Bq	47.0%	5.85×10 <sup>10</sup> Bq	111.4%
		通常溶解試験	1.70×10 <sup>10</sup> Bq	29.1%		
		高濃度溶解試験	1.40×10 <sup>10</sup> Bq	23.9%		
15 年度 第 1 回	5.36×10 <sup>10</sup> Bq (Mk-I 2pin : 3.61×10 <sup>10</sup> Bq) (Mk-II 1pin : 1.75×10 <sup>10</sup> Bq)	せん断	2.60×10 <sup>10</sup> Bq	60.5%	4.30×10 <sup>10</sup> Bq	80.2%
		燃料粉碎作業	2.40×10 <sup>8</sup> Bq	0.6%		
		通常溶解試験	6.50×10 <sup>7</sup> Bq	0.2%		
		燃料加熱処理	1.66×10 <sup>9</sup> Bq	3.9%		
		直接抽出試験	4.48×10 <sup>9</sup> Bq	10.4%		
		残渣残燃料溶解	1.06×10 <sup>10</sup> Bq	24.7%		
15 年度 第 2 回	5.25×10 <sup>10</sup> Bq (Mk-II 3pin)	せん断	3.10×10 <sup>10</sup> Bq	46.4%	6.68×10 <sup>10</sup> Bq	127.2%
		燃料粉碎作業	1.80×10 <sup>9</sup> Bq	2.7%		
		通常溶解試験	3.40×10 <sup>10</sup> Bq	50.8%		

### 3. クリプトン広帯域検出器の試験及び評価

本章では、クリプトン広帯域検出器と、GM 検出器の性能比較試験について記す。また、比較試験の結果及び、前章で求めた、 $^{85}\text{Kr}$  ガスの測定実績と、燃料インベントリ（計算値）との比から、クリプトン実ガス測定時におけるクリプトン広帯域検出器の測定値の正当性について考察した。

#### 3. 1 GM 検出器との比較測定試験

設備改造後の再処理試験（先進再処理試験）において、クリプトン広帯域検出器を使用したクリプトンモニタと従来の GM 検出器を使用したクリプトンモニタを並行運転し、 $^{85}\text{Kr}$  ガスの比較測定を実施した。

##### (1) 試験方法

CPF 施設における平成 15 年度第 2 回再処理試験において、クリプトン広帯域検出器を用いた既設のクリプトンモニタ及び仮設のクリプトンモニタ（GM 検出器を用いた従来のクリプトンモニタのサンプリングラインに吸引ポンプ等を設置し、一時的に構築した物。）を並行運転し、燃料せん断に伴い放出された $^{85}\text{Kr}$  ガスの同時測定を行い、ガス検出性能を比較した。この、比較測定実施時における両希ガスモニタのサンプリング系統を図 3-1 に、ガスモニタの基本性能及び仕様を表 3-1 に示す。

##### (2) 試験結果

同時測定を行った結果、測定期間中における GM 検出器の測定範囲（ $8.23 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3 \sim 7.13 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^3$ ）に対しクリプトン広帯域検出器では（ $9.37 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3 \sim 7.04 \times 10^{-1} \text{Bq/cm}^3$ ）と、ほぼ同じ濃度が得られ、各時間での測定値の比も測定開始直後及び、低指示値の時を除き、1 に近い値が得られた。

また、クリプトン広帯域検出器の測定下限濃度を調査したところ、 $1.25 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$  程度の感度が得られており、県との安全協定に基づき決定した、 $^{85}\text{Kr}$  の測定下限濃度  $2.4 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$  を十分満たしていることが確認できた。

試験における、各検出器での測定の結果についての比較を 表 3-2、図 3-2 に示す。

Kr 広帯域検出器の測定下限濃度は以下の式により求めた。<sup>\*3</sup>

$$q = K \cdot 3S_b = K \cdot 3 \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

q: 測定下限濃度 (Bq/cm<sup>3</sup>)

K: 濃度換算計数  $8.52 \times 10^{-4}$  (Bq/cm<sup>3</sup>/min)

S<sub>b</sub>: 60 個の BG 計数率の測定値の標準偏差 0.49 (cpm)

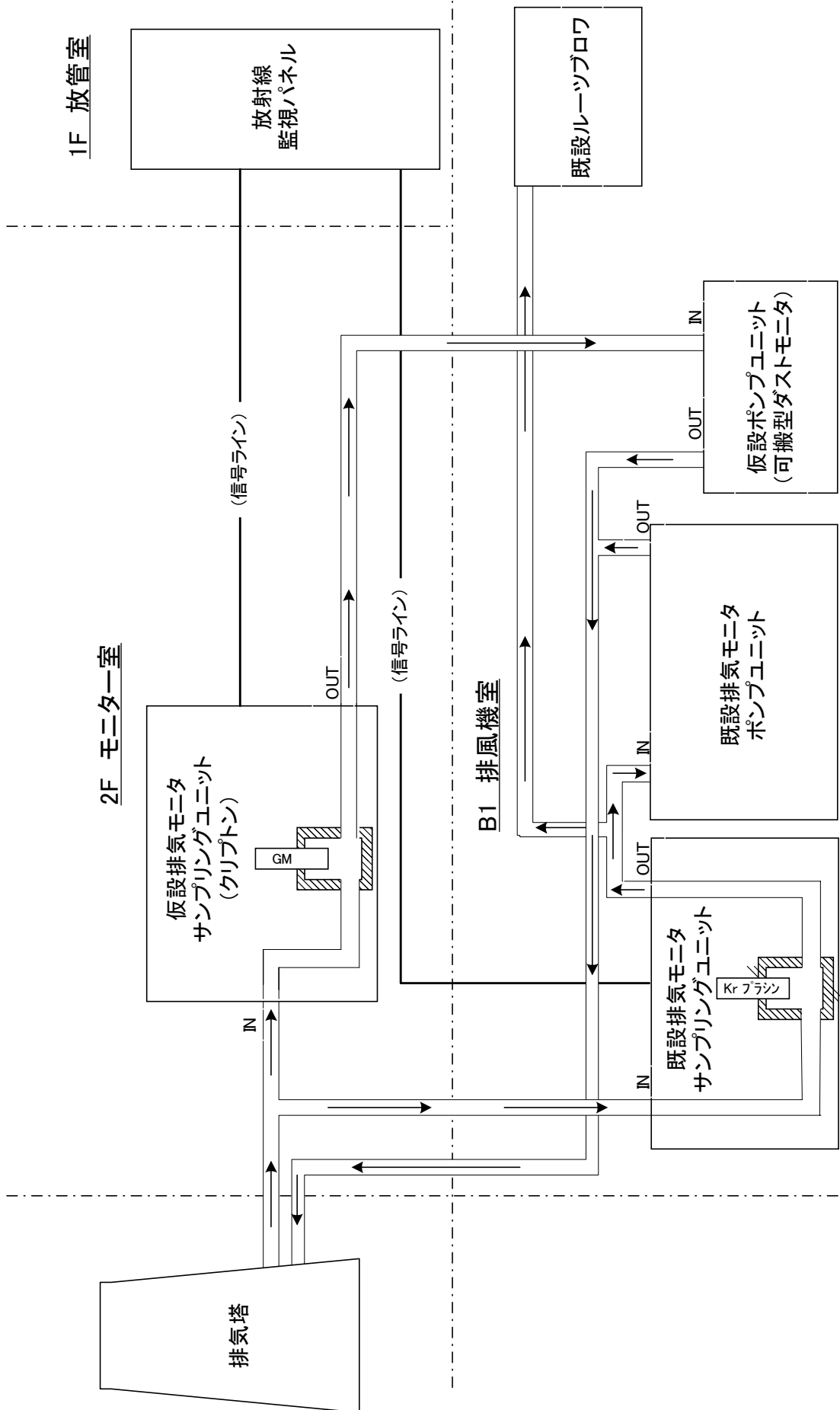


図3-1 比較測定実施時における希ガス(クリプトン)モニタサンプリング系統図



表 3-1 性能比較に用いたガスモニタの仕様

	仮設ガスモニタ	既設ガスモニタ
検出器	GM 検出器	プラスチックシンチレーション検出器
サンプリング方法	直接測定法	直接測定法
有効体積	約 14 l	約 7 l
サンプリング流量	50 l / 分	70 l / 分
測定対象	$\beta$ 線	$\beta$ 線
測定範囲	$3.7 \times 10^{-4} \text{Bq/cm}^3$ ～ $3.7 \text{Bq/cm}^3$	$3.7 \times 10^{-3} \text{Bq/cm}^3$ ～ $3.7 \times 10^4 \text{Bq/cm}^3$
濃度換算係数	$3.43 \times 10^{-4} \text{Bq/cm}^3/\text{cpm}$	$8.52 \times 10^{-4} \text{Bq/cm}^3/\text{cpm}$
自然計数率	20 cpm	10 cpm
集塵方式	連続流入方式	連続流入方式
検出部遮へい	鉛 50 mm厚相当	鉛 50 mm厚相当

表3-2 燃料せん断時における各モニタ(検出器)での<sup>85</sup>Krガス測定値(濃度)の比較

時刻	既設Krガスモニタ(広帯域検出器)	仮設Krガスモニタ(GM検出器)	測定値の比 (広帯域検出器/GM検出器)
	濃度(Bq/cm <sup>3</sup> )	濃度(Bq/cm <sup>3</sup> )	
23:20	0.00.E+00	0.00.E+00	-
23:21	1.19.E-02	1.85.E-01	0.06
23:22	3.83.E-01	6.62.E-01	0.58
23:23	7.04.E-01	7.13.E-01	0.99
23:24	6.35.E-01	5.93.E-01	1.07
23:25	5.32.E-01	4.73.E-01	1.12
23:26	3.91.E-01	3.70.E-01	1.06
23:27	3.04.E-01	2.68.E-01	1.14
23:28	2.02.E-01	1.65.E-01	1.23
23:29	1.51.E-01	1.27.E-01	1.19
23:30	9.97.E-02	7.03.E-02	1.42
23:31	5.24.E-02	5.49.E-02	0.95
23:32	3.58.E-02	2.92.E-02	1.23
23:33	2.79.E-02	1.78.E-02	1.56
23:34	1.11.E-02	1.41.E-02	0.79
23:35	9.37.E-03	1.20.E-02	0.78
23:36	8.52.E-03	8.23.E-03	1.03
23:37	1.45.E-02	1.13.E-02	1.28
23:38	3.41.E-03	1.10.E-02	0.31
23:39	1.19.E-02	2.06.E-02	0.58
23:40	1.05.E-02	1.92.E-02	0.55
23:41	1.35.E-02	2.57.E-02	0.52
23:42	2.47.E-02	2.64.E-02	0.94
23:43	2.64.E-02	2.50.E-02	1.05
23:44	1.53.E-02	1.65.E-02	0.93
23:45	1.70.E-02	1.20.E-02	1.42
23:46	1.70.E-03	8.58.E-03	0.20
23:47	2.51.E-03	4.12.E-03	0.61
23:48	5.11.E-03	5.15.E-03	0.99
23:49	5.11.E-03	2.47.E-02	0.21
23:50	3.15.E-02	3.09.E-02	1.02
23:51	3.10.E-02	3.09.E-02	1.00
23:52	3.24.E-02	2.20.E-02	1.47
23:53	1.56.E-02	1.41.E-02	1.11
23:54	1.60.E-02	1.92.E-02	0.83
23:55	2.39.E-02	3.77.E-02	0.63
23:56	2.90.E-02	2.26.E-02	1.28
23:57	1.11.E-02	1.89.E-02	0.59
23:58	1.44.E-02	1.27.E-02	1.13
23:59	1.02.E-02	7.89.E-03	1.30
0:00	1.20.E-02	1.17.E-02	1.03
0:01	1.28.E-02	5.83.E-03	2.19
0:02	4.26.E-03	3.43.E-03	1.24
0:03	8.52.E-03	5.49.E-03	1.55
0:04	6.61.E-03	5.15.E-03	1.29
0:05	5.96.E-03	5.83.E-03	1.02
0:06	9.46.E-04	0.00.E+00	-
0:07	1.70.E-03	2.74.E-03	0.62
0:08	5.84.E-03	5.15.E-03	1.14
0:09	4.26.E-03	2.74.E-03	1.55
0:10	8.52.E-04	0.00.E+00	-
0:11	0.00.E+00	0.00.E+00	-
0:12	0.00.E+00	0.00.E+00	-
0:13	2.56.E-03	0.00.E+00	-
0:14	0.00.E+00	0.00.E+00	-
0:15	0.00.E+00	0.00.E+00	-
0:16	8.52.E-04	0.00.E+00	-

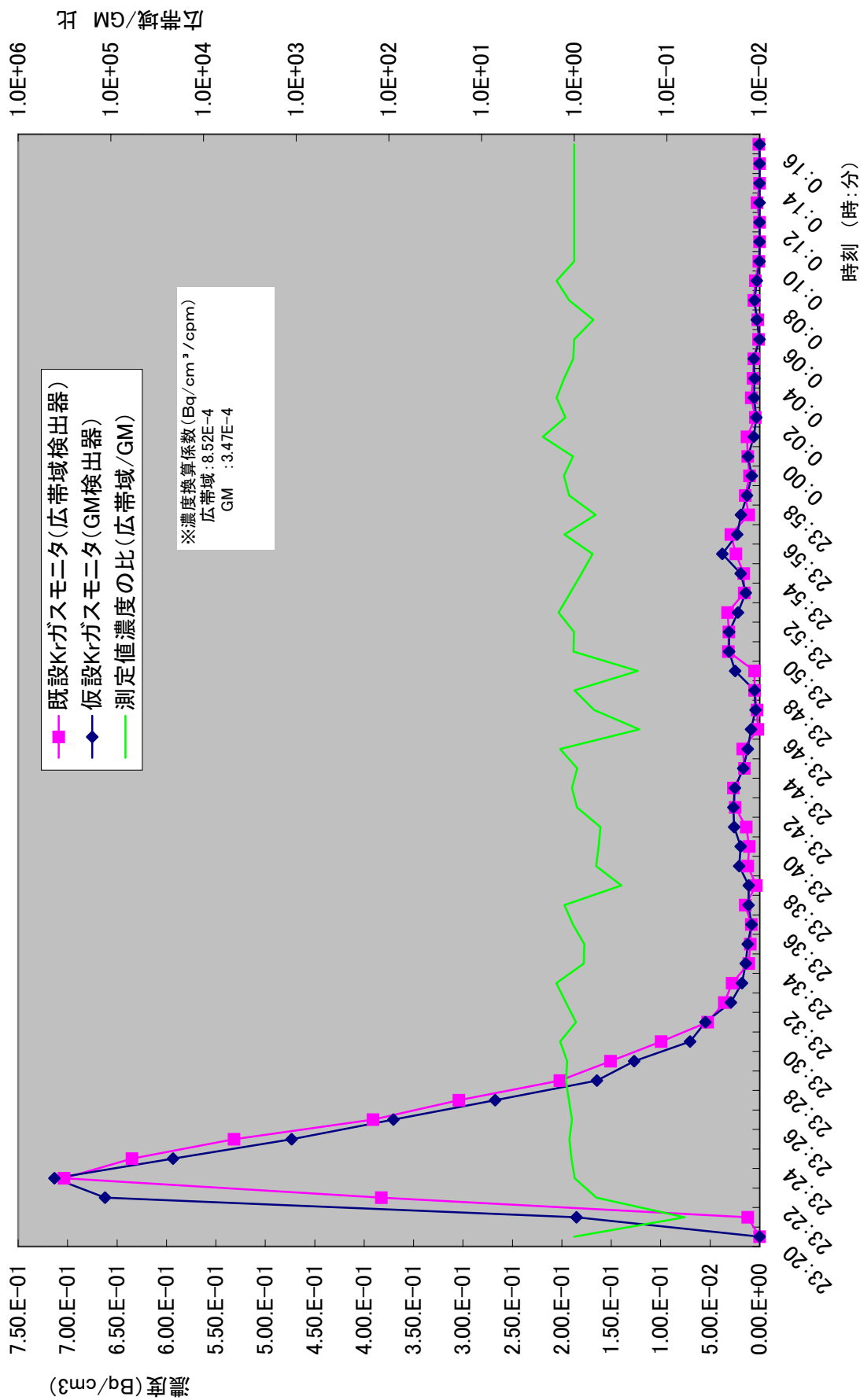


図3-2 燃料せん断時における各モニタでの85Krガス濃度測定値の推移

### 3. 2 従来のモニタとのインベントリ比の比較

東海再処理施設と同じく、CPFでも、平成6年度に排気モニタ更新を行う前までは、クリプトンモニタの検出器に2系統の測定器（GM管式検出器、NaI(Tl)シンチレーション検出器）を用いていた。本項では、検出器の更新の前（GM管式検出器、NaI(Tl)シンチレーション検出器）と後（広帯域検出器）で、再処理試験時におけるインベントリ比（測定実績/燃料インベントリ\*<sup>1</sup>）を求め、クリプトンモニタの性能比較を行った。

#### (1) 比較結果

従来のモニタが稼動中に行われた再処理試験（昭和60年度～平成1年度）におけるインベントリ比が、約78%~90%\*<sup>1</sup>なのに対し、現行のモニタ稼動中に行われた再処理試験（平成14年度～平成15年度）におけるインベントリ比は約80%~127%となった。試験毎のインベントリ比を比較した結果を表3-3に示す。

表 3-3 再処理試験におけるインベントリの比較

モニタ	再処理試験	期間	インベントリ	累積放出量	累積放出量／インベントリ
旧モニタ (検出器： GM+ NAI)	F 再試験第 6 回	S60.1 ~S60.3	$1.04 \times 10^{10}$ Bq/pin	$9.33 \times 10^9$ Bq/pin	90.04%
	F 再試験第 7 回	S60.4 ~S60.6	$1.03 \times 10^{10}$ Bq/pin	$9.27 \times 10^9$ Bq/pin	90.19%
	F 再試験第 8 回	S60.9 ~S61.3	$2.46 \times 10^{10}$ Bq/pin	$1.97 \times 10^{10}$ Bq/pin	80.15%
	F 再試験第 10 回	S61.5 ~S61.9	$2.34 \times 10^{10}$ Bq/pin	$1.84 \times 10^{10}$ Bq/pin	78.48%
	F 再試験第 13 回	S63.8 ~H1.1	$4.13 \times 10^{10}$ Bq/pin	$3.45 \times 10^{10}$ Bq/pin	83.87%
現行モニタ (検出器： クリプトン広 帯域検出器)	平成 14 年度第 1 回 再処理試験	H14.12 ~H15.1	$5.25 \times 10^{10}$ Bq (Mk-II 3pin)	$5.85 \times 10^{10}$ Bq	111.4%
	平成 15 年度第 1 回 再処理試験	H15.5 ~H15.6	$5.36 \times 10^{10}$ Bq (Mk-I 2pin : $3.61 \times 10^{10}$ Bq) (Mk-II 1pin : $1.75 \times 10^{10}$ Bq)	$4.30 \times 10^{10}$ Bq	80.2%
	平成 15 年度第 2 回 再処理試験	H15.10 ~H15.11	$5.25 \times 10^{10}$ Bq (Mk-II 3pin)	$6.68 \times 10^{10}$ Bq	127.2%

### 3. 3 考察

試験結果及び測定実績により、濃度及び、放出量、放出比等の評価を行ったが、以下のような考察から、クリプトン広帯域検出器の正当性を確認した。

#### ① GM 検出器との比較測定試験

##### a. 検出器による濃度評価の比較（広帯域検出器/GM 検出器）

GM 検出器を用いた仮設のクリプトンモニタの測定値と、広帯域プラスチックシンチレーション検出器を用いた既設のクリプトンモニタの測定値の比較を行ったが、双方の測定値は統計誤差及び、指示誤差のとり得る範囲にほぼ収まっていた。ただ、高濃度になるに従い、両検出器による測定値に若干の開きが生じた。この原因としては、広帯域検出器の測定値をデジタル表示から読み取ったのに対し、GM 検出器の測定値は、対数記録紙から目視で読んだものであり、濃度が高くなるほど、対数グラフの読み取り誤差が大きくなったためと考えられる。

また、比較測定データの近似曲線を引いたところ、上記の誤差を考慮しても、広帯域検出器と GM 検出器の測定値が一致する直線 ( $y=x$ ) によくフィットした方程式 ( $y=1.0522x+0.0005$ ) が得られ、 $R^2 \approx 1$  より、データ間にも強い相関があることなどから、両検出器で、同等の濃度評価がなされていると言える。

両検出器による高濃度測定時の相関の比較を図 3 - 3(1)に、低濃度測定時の相関の比較を図 3 - 3(2)に示す。

##### b. 燃料せん断時における Kr ガス累積放出量(検出器別評価値)の比較

測定期間における累積放出量を比較した結果、クリプトン広帯域検出器による評価値/GM 検出器による評価値が、ほぼ 1 となったことから、両検出器による放出量評価は一致していると言える。

2 つの検出器による試験期間中の累積放出量の比較を図 3 - 4 に示す。

#### ② 従来のモニタとのインベントリ比の比較

従来のモニタのインベントリ比が、約 78%~90%なのに対し、現行のモニタでは、約 80%~127%となり、多少ばらつきのある結果となった。しかし、図 3 - 5 より、CPF の広帯域検出器の濃度換算係数は、正常な状態で  $5.03 \times 10^{-4}$  Bq/cm<sup>3</sup>/cpm~ $1.70 \times 10^{-3}$  Bq/cm<sup>3</sup>/cpm の範囲で変動する事から、インベントリ比がとり得る値も変化する事が考えられた。

表 3 - 4 より、実際に濃度換算係数を変更してインベントリ比の変動範囲を算出したところ、現行モニタに更新した後に行った 3 回の再処理試験に共通するインベントリ比の範囲は、約 42%~90%となり、従来のモニタのインベントリ比もほぼ、この範囲に含まれる事が判明した。よって、従来のモニタと現行のモニタでは、同等の評価がなされていると言える。

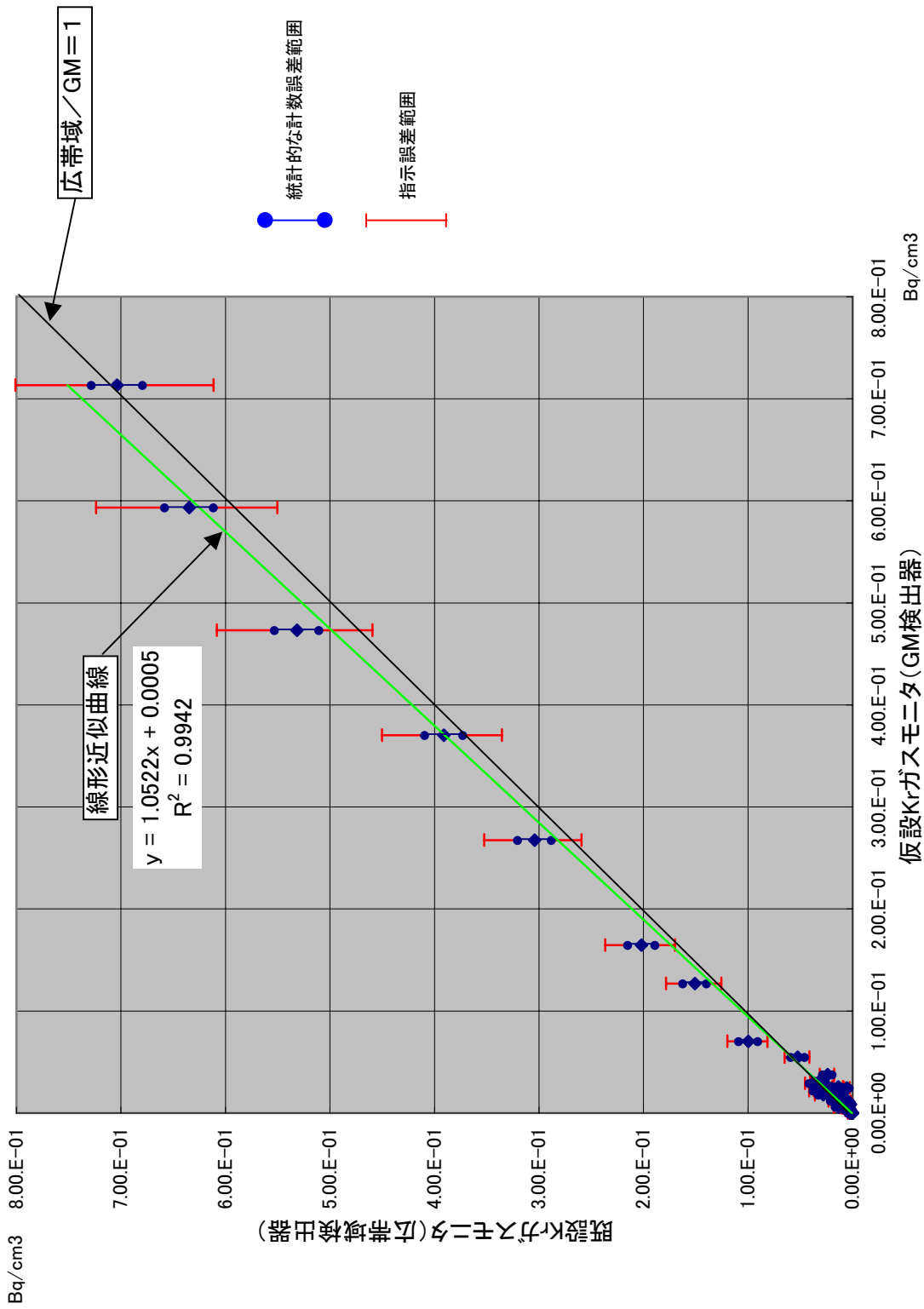


図3-3 (1) 検出器による濃度評価の比較 (広帯域検出器/GM検出器)





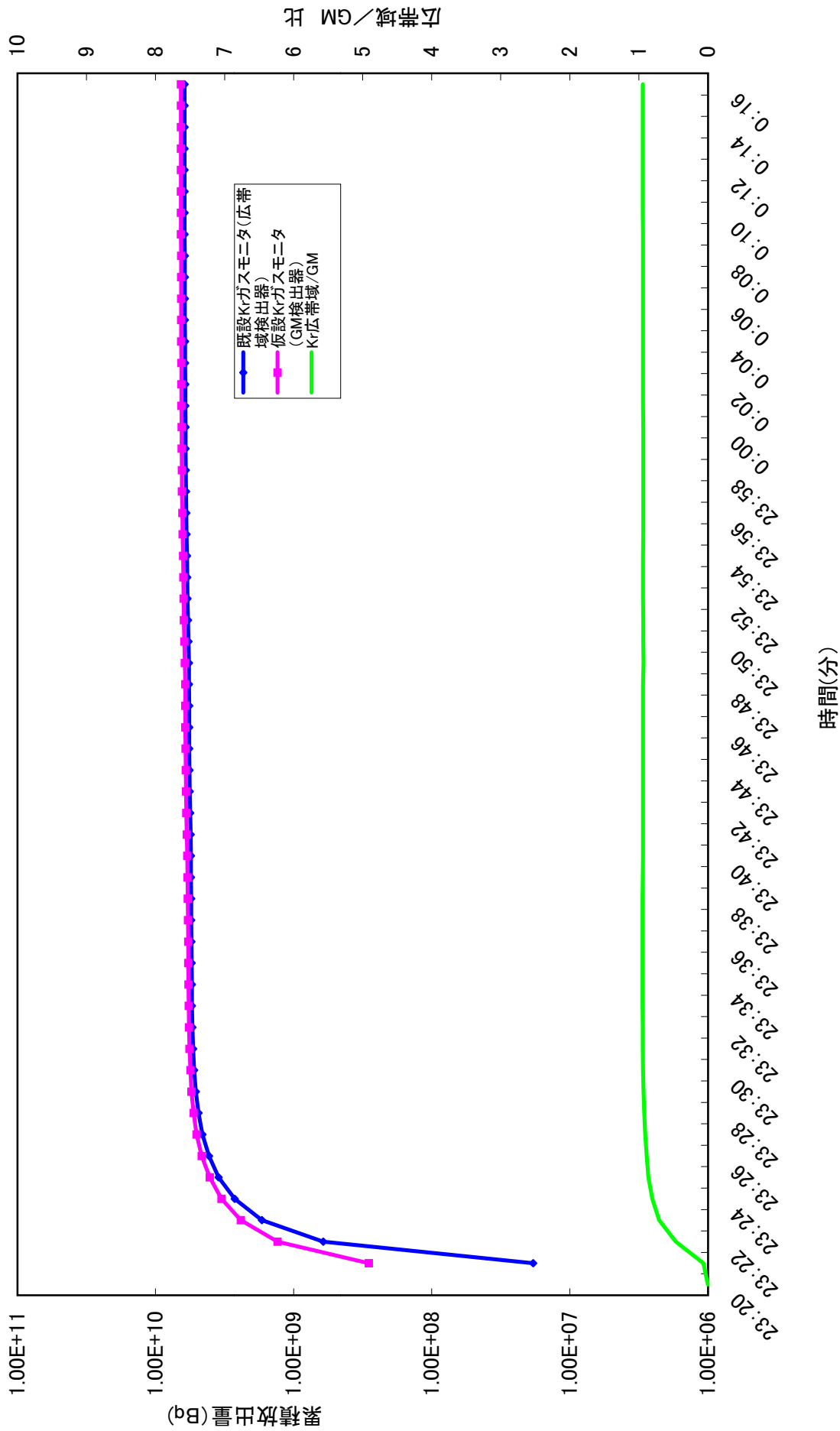


図 3-4 燃料せん断時におけるKrガス累積放出量(検出器別評価値)の比較

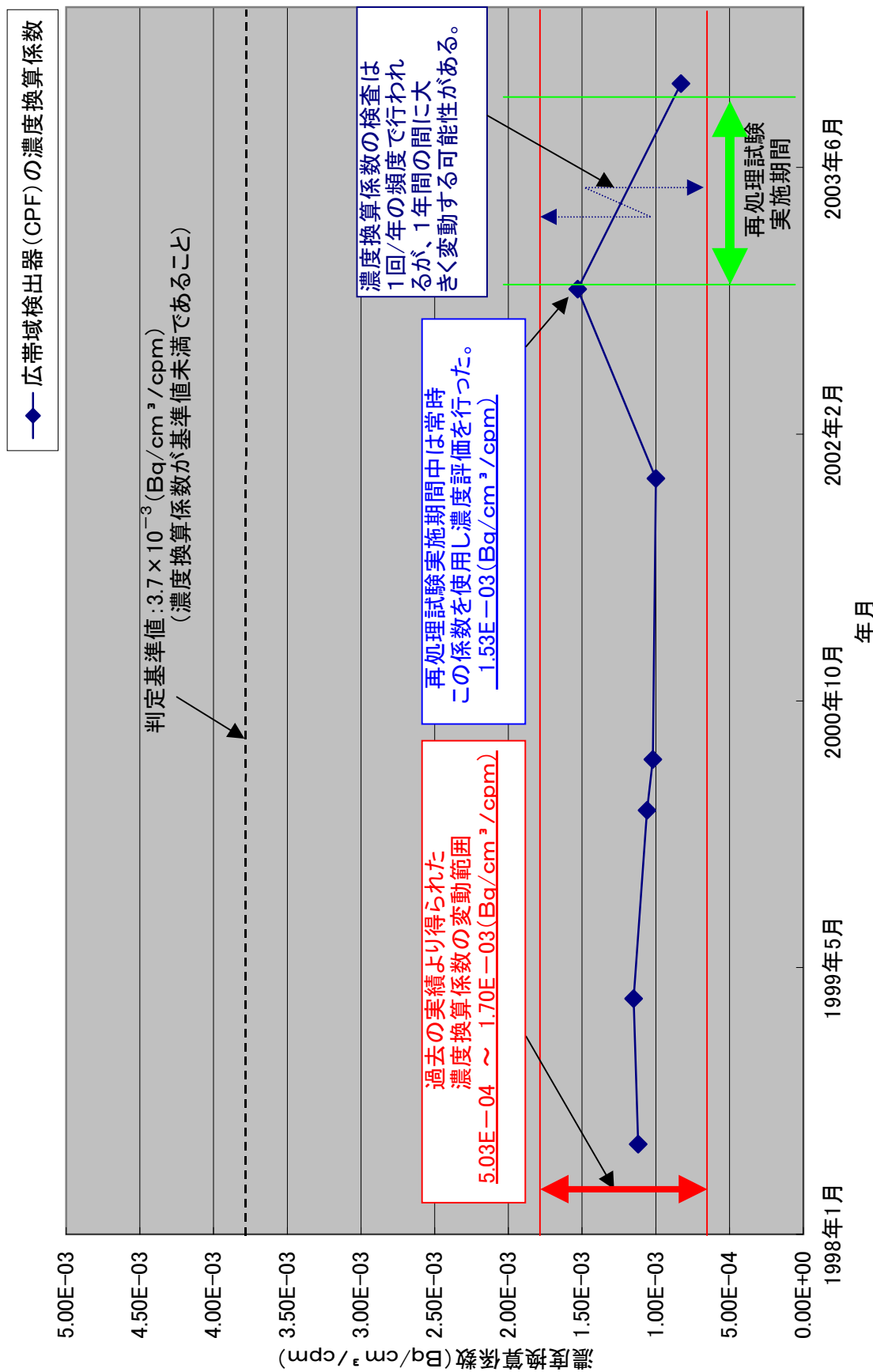


図 3-5 広帯域検出器 (CPF) の濃度換算係数の推移及び変動範囲

表 3-4 濃度換算係数の変動によりインベントリ比が取り得るの値の比較

モニタ	濃度換算係数 (Bq/cm <sup>3</sup> /cpm) の変動範囲	再処理工験	期間	インベントリ	累積放出量評価 値の変動範囲	インベントリ比 (累積放出量/インベントリ) の変動範囲	3回の試験に共通 するインベントリ比の 範囲
現行モニタ (検出器:クリプト ン広帯域検出器)	$5.03 \times 10^{-4}$ ~ $1.70 \times 10^{-3}$	平成 14 年度 第 1 回再処 理工験	H14.12 ~H15.1	$5.25 \times 10^{10}$ Bq (Mk- II 3pin)	$1.92 \times 10^{10}$ Bq ~ $6.50 \times 10^{10}$ Bq	36.6% ~123.8%	41.9% ~ 89.1%
		平成 15 年度 第 1 回再処 理工験	H15.5 ~H15.6	$5.36 \times 10^{10}$ Bq (Mk- I 2pin : $3.61 \times 10^{10}$ Bq) (Mk- II 1pin : $1.75 \times 10^{10}$ Bq)	$1.41 \times 10^{10}$ Bq ~ $4.78 \times 10^{10}$ Bq	26.3% ~89.1%	
		平成 15 年度 第 2 回再処 理工験	H15.10 ~H15.11	$5.25 \times 10^{10}$ Bq (Mk- II 3pin)	$2.20 \times 10^{10}$ Bq ~ $7.42 \times 10^{10}$ Bq	41.9% ~141.3%	

#### 4. おわりに

CPF の先進湿式再処理試験において、クリプトン広帯域検出器を用いたガスモニタによる放出量の測定を実施し、測定結果を評価した。

クリプトン広帯域検出器は、従来 2 系統の検出器により測定していた広範囲に変動する  $^{85}\text{Kr}$  ガスを 1 つの検出器で測定可能とする測定器として開発されたものである。

今回の試験において、従来の GM 検出器の測定結果及び燃料インベントリとの比較結果により、クリプトン広帯域検出器の測定結果が妥当であることを確認した。

クリプトン広帯域検出器の開発及び実用化の過程において、多くの課題を解決し、改良が進められ、今回の試験によりようやく測定性能を実証することができた。今後の排気モニタの更新等において利用が期待される。また、今後は使いやすい測定器として保守性の改善を継続的に進めていくことが必要である。

5. 参考文献

- \* 1) 都所昭雄 , 他 : “高レベル放射性物質研究施設に係る放射線管理 (Ⅱ) -F 再試験に伴う希ガス放出管理-” PNC-ZN8440 90-012 (1990)
- \* 2) 高崎浩司 , 他 : “クリプトン 85 用広帯域放射線測定器の開発”  
保健物理学会 , 第 23 回研究発表会 (1988)
- \* 3) 日本規格協会 : “JIS ハンドブック 放射線 (能)”、 JIS Z4317 放射性希ガスモニタ

## 付録－１ クリプトン広帯域検出器の導入及び開発の経緯

現在に至るまで放管一課、放管二課及び線量計測課により行ってきたクリプトン広帯域検出器（以下広帯域と言う）の導入及び開発経緯、また、今後の開発方針について以下にまとめる。

### 1. 開発の経緯

使用済燃料中には放射性希ガスである $^{85}\text{Kr}$ が含まれており、再処理施設のせん断及び溶解工程で使用済燃料中のほぼ全量が、換気系を通じて主排気筒から環境中に放出される。放出に際しては排気筒モニタでモニタリングしながら放出しているが、 $^{85}\text{Kr}$ の測定は、通気式検出器を用いているため再測定は不可能であるという特徴もありリアルタイムに高い精度、安定性を持った測定器による監視・測定が要求される。東海再処理施設での $^{85}\text{Kr}$ の濃度範囲は $10^{-3}\sim 10^2\text{ Bq/cm}^3$ であり、約5桁もの計数率の変動がある。また、事故等による高濃度放出時にも適確に測定することが要求される。このため東海再処理施設主排気筒モニタのクリプトンモニタは、低濃度領域の測定用にGM管検出器、高濃度領域の測定用にNaI(Tl)シンチレーション検出器の2系統の測定器を用いて測定し、計算機により検出器からのデータを切り替えて放射性物質の濃度及び放出量の評価を行っている。

一方、2系統の検出器を使用し、計算機でデータを切り替えて評価するシステムは複雑であり、排気モニタの構造、メンテナンス及びコストの観点から、1つの検出器によるシンプルな測定システムが望まれていた。このことから、プラスチックシンチレータとGatedPhoto-Multiplier-Tube（以下GatedP.M.T.）及びCFC(Current-Frequency Converter)回路を組み合わせた広範囲な測定レンジを持つ測定システムを開発した。

開発の目標は、従来の2系統の検出器による排気モニタと同等の性能を1つの検出器で実現し、測定下限の $2.4\times 10^{-3}\text{ Bq/cm}^3$ を測定できることとした。

開発は、

昭和60年度：2インチタイプの機器の試作

基礎試験及び実流校正

昭和61年度から：従来の排気モニタとの比較試験

昭和62年度：測定感度の向上を目指した3インチタイプの機器の試作

等を実施し、いくつかの改良を加えて、第二低放射性廃液蒸発処理（E）施設の局所排気モニタ、クリプトン回収技術開発（Kr）施設の間排気モニタに適用し、フィールド試験を実施した。その後、再処理施設第一付属排気筒及び高レベル放射性物質研究施設の排気モニタとして設置し実用化が図られてきた。

### 2. 試作器の製作及び試験

試作された検出器は、プラスチックシンチレーションを用いた検出器で、広範囲を測定できるようにGated P.M.TとCFC回路を用いた。この検出器を用いて実流試験を行ったところ、濃度換算係数はある程度満足できたが、実流試験後のBG値が下がらないという問題が発生した。原因は検出器表面に実流試験で使用しているKrガスが吸着してしまい、この影響でBG値が下がらない事が確認された。この問題を解決するため検出器表面にバレックスシートを装着し、検出器表面にKrガスが吸着しないようにした。この結果、実流試験後でもBG値が低下する事を確認した。この検出器のBG値は約30(cpm)、濃度換算係数は約 $7.4\times 10^{-4}\text{ (Bq/cm}^3\text{/cpm)}$ であった。（GM管のBG値は広帯域と同程度の30(cpm)、濃度換算係数は約 $4.4\times 10^{-4}\text{ (Bq/cm}^3\text{/cpm)}$ であった。）

検出器については、有効径の異なる2本の検出器を試作し、試験を行った。有効径はφ2”型とφ3”型である。

2. 1 試作器

試作器として製作した検出器の仕様は以下の通りである。

検出器仕様

1) シンチレータ

材質：プラスチックシンチレータ

形状：2" × 0.5mmt

3" × 0.5mmt

2) Gated P.M.T 部

(1) 光電子増倍管：7696相当 (φ2" 型)

R594相当 (φ3" 型)

(2) Gated P.M.T. 基板

・感度校正用光源： LEDパルサによる方式

・ゲート回路： ディスクリレベル0~0.5(V)  
(放射線エネルギー弁別用)

3) CFC

入力特性： $10^{-12}A \sim 10^{-4}A$  に対して  $10^{-2} \sim 10^6 cps$

出力：TTL レベル正論理パルス(75Ω 終端可能)

波高+2(V)以上、パルス幅 50nsec

4) LED 駆動部

光パルサ発光周期： $10 \sim 10^4 cps$  まで

外部テストパルスにより設定

5) 入出力仕様

・最大許容印可電圧： -1400(v) (負極性)

・取合コネクタ： 複合コネクタ

・消費電流： +12(v) 200(mA) 以下

-12(v) 100(mA) 以下

高圧 0.53(mA) / -1400(V) (ブリーダ電流)

・テスト入力：パルス幅 1 μ sec 以上

パルス波高 +3.5(Vp-p) ~ 5(Vp-p)

周波数 10Hz ~  $10^4 Hz$

6) その他

・使用温度範囲： 0~50°C

・外形寸法： 80mm φ × 432mm (コネクタ部含まず)

・塗装色： 黒色(黒色アルマイト処理)

・重量： 約 2Kg

Φ2”型とΦ3”型の広帯域検出器の比較を以下に示す。

		φ2”型	φ3”型
検出器	プラスチックシンチレータ	φ2” × 0.5mm	φ3” × 0.5mm
	光電子増倍管	76965	R594
前置増幅器		Gated-PMT ディスクリレベル 0～3V 出力パルス幅 400nsec	Gated-PMT(検出器と一体形) ディスクリレベル 0～3V 出力パルス幅 400nsec
		CFC回路	CFC回路
サンプル	サンプル寸法	φ250×150(H)	φ250×150(H)
	材質	SUS 304	SUS 304

## 2. 2 試作器の実流試験

各検出器の実流試験の結果を以下に示す。

φ2”型の濃度換算係数の測定結果は

試験日	換算係数 (Bq/cm <sup>3</sup> /cpm)	BG 値(実流前) (cpm)	BG 値(実流後) (cpm)
1985年12月23日	7.35×10 <sup>-4</sup>	74	—
1985年12月28日	7.59×10 <sup>-4</sup>	78	—
1987年2月17日	9.15×10 <sup>-4</sup>	85	—
1987年11月2日	7.44×10 <sup>-4</sup>	78	—
1988年5月18日	5.92×10 <sup>-4</sup>	100	125
1988年5月19日	6.36×10 <sup>-4</sup>	100	125

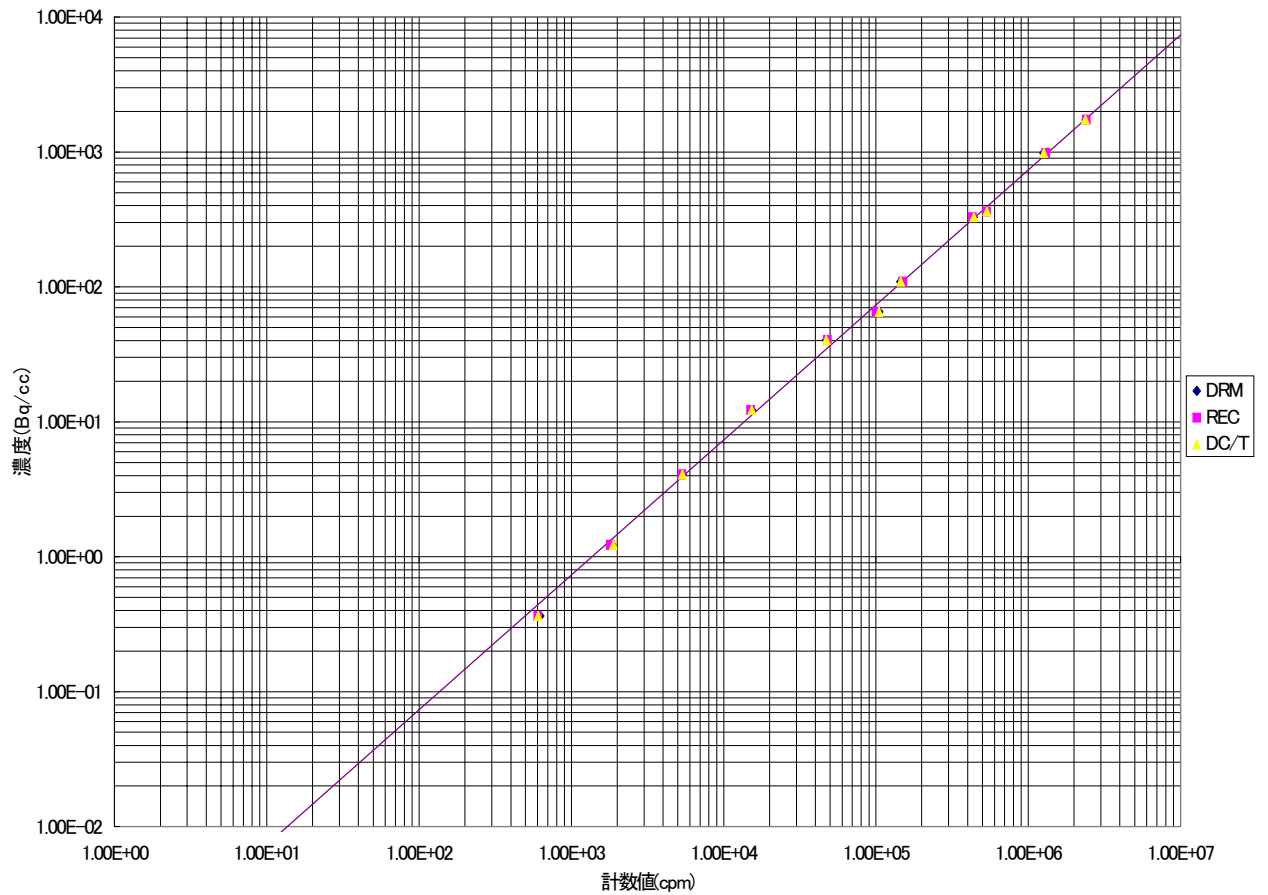
平均 7.30×10<sup>-4</sup> 86 125

φ2”型の検出器の濃度換算係数は GM 管に比較して約半分程度の値を示しているが BG 値が高いのが問題であった。

以下に昭和60年12月23日、昭和62年2月7日に実施した実流試験の結果を示す。



回数	電流値	濃度	計数値 (cpm)			濃度換算係数 (Bq/cm <sup>3</sup> /cpm)		
	(A)	(Bq)	DRM	REC	DC/T	DRM	REC	DC/T
1	3.62E-10	1.74E+03	2.38E+06	2.4E+06	2.378E+06	7.31E-04	7.25E-04	7.32E-04
2	2.05E-10	9.85E+02	1.26E+06	1.3E+06	1.265E+06	7.82E-04	7.58E-04	7.79E-04
3	7.55E-11	3.63E+02	5.32E+05	5.3E+05	5.343E+05	6.82E-04	6.85E-04	6.79E-04
4	1.36E-11	6.54E+01	1.05E+05	1.0E+05	1.045E+05	6.23E-04	6.54E-04	6.26E-04
5	8.40E-12	4.04E+01	4.70E+04	4.8E+04	4.729E+04	8.60E-04	8.42E-04	8.55E-04
6	2.55E-12	1.23E+01	1.53E+04	1.5E+04	1.528E+04	8.04E-04	8.20E-04	8.05E-04
7	8.50E-13	4.08E+00	5.37E+03	5.3E+03	5.356E+03	7.69E-04	7.80E-04	7.71E-04
8	2.55E-13	1.23E+00	1.86E+03	1.8E+03	1.886E+03	6.80E-04	7.04E-04	6.70E-04
9	7.60E-14	3.65E-01	6.24E+02	6.0E+02	6.050E+02	6.43E-04	6.74E-04	6.67E-04
BG	2.8E-15	3.64E-07	7.7E+01	7.8E+01	7.8E+01			
				平均		7.35E-04	7.40E-04	7.35E-04

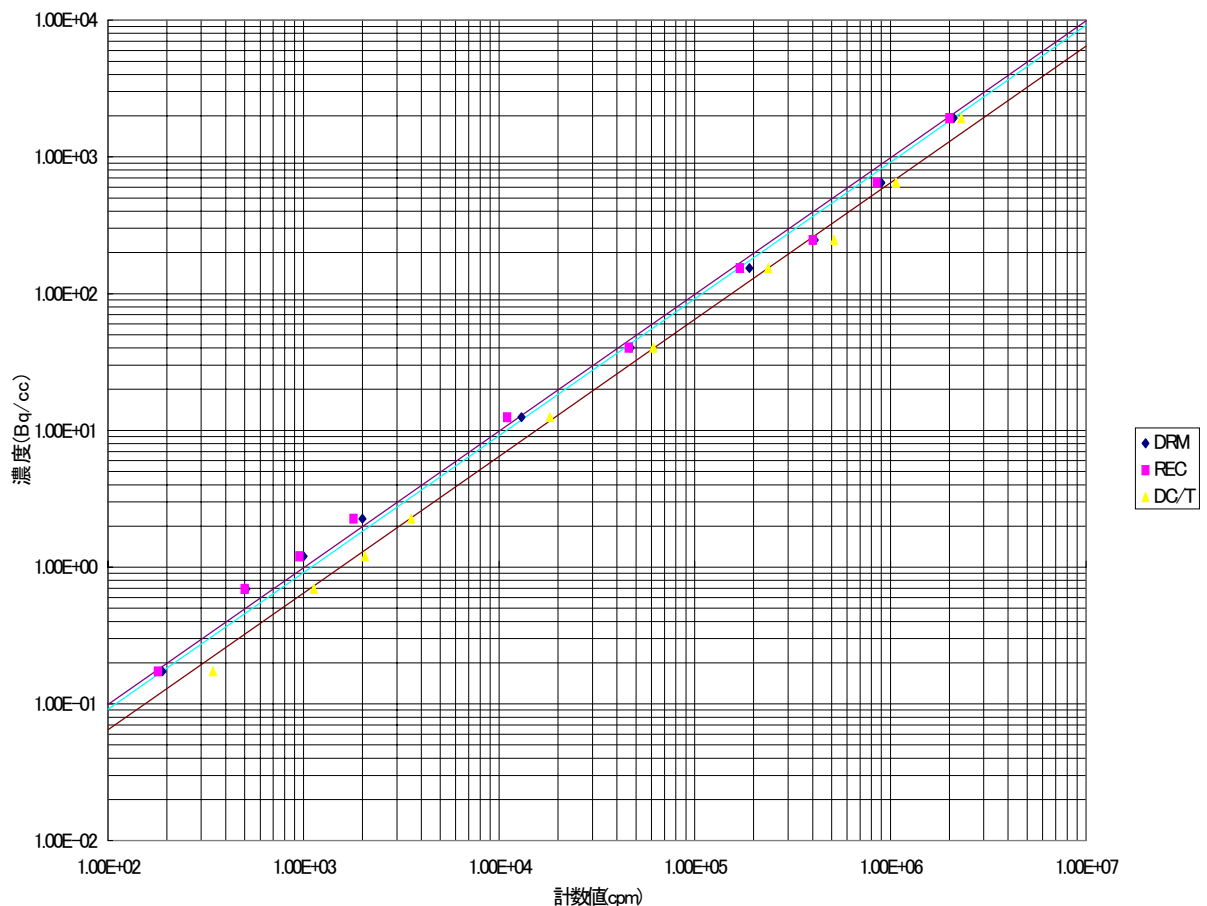


昭和60年12月23日のクリプトン広帯域検出器の実流試験

回数	電流値 (A)	濃度 ( $\mu\text{Ci}$ )	計数値 (cpm)			濃度換算係数 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3/\text{cpm}$ )		
			DRM	REC	DC/T	DRM	REC	DC/T
1	4.00E-10	1.92E+03	2.10E+06	2.0E+06	2297366	9.15E-04	9.61E-04	8.37E-04
2	1.35E-10	6.49E+02	9.00E+05	8.5E+05	1068390	7.21E-04	7.63E-04	6.07E-04
3	5.15E-11	2.47E+02	4.10E+05	4.0E+05	514853	6.04E-04	6.19E-04	4.81E-04
4	3.20E-11	1.54E+02	1.90E+05	1.7E+05	237167	8.10E-04	9.05E-04	6.49E-04
5	8.40E-12	4.04E+04	4.70E+04	4.6E+04	61441	8.60E-04	8.79E-04	6.58E-04
6	2.60E-12	1.25E+01	1.30E+04	1.1E+04	18155	9.65E-04	1.14E-03	6.91E-04
7	4.70E-13	2.26E+00	2.00E+03	1.8E+03	3549	1.16E-03	1.30E-03	6.49E-04
8	2.50E-13	1.20E+00	1.00E+03	9.5E+02	2063	1.28E-03	1.35E-03	6.01E-04
9	1.44E-13	6.92E+01	5.10E+02	5.0E+02	1127	1.55E-03	1.58E-03	6.53E-04
10	3.60E-14	1.73E-01	1.90E+02	1.8E+02	345	1.34E-03	1.45E-03	6.19E-04
BG	2.5E-15		7.0E+01	6.9E+01	85			
平均						9.15E-04	9.89E-04	6.46E-04

平均は9, 10回目を除き計算した。

DRMは、1回目から5回目まではレンジ×100、以降は×1の測定値を使用



昭和62年2月27日のクリプトン広帯域検出器実用試験

φ3”型の検出器を製作し実流試験を行った。得られた濃度換算係数を以下に示す。

試験日	濃度換算係数 (Bq/cm <sup>3</sup> /cpm)	BG 値(実流前) (cpm)	BG 値(実流後) (cpm)
1987年4月28日	$2.15 \times 10^{-3}$	0.5	—
1987年5月18日	$1.96 \times 10^{-3}$	16	—
1987年5月19日	$2.04 \times 10^{-3}$	39	—

径の大きさφ2”型とφ3”型の実流試験結果から、φ2”型のほうがφ3”型の濃度換算係数は3倍程度良い。BG値については、φ3”型のほうが低かったが、検出下限濃度はφ2”型のほうが良い結果となった。

これらの結果から採用された検出器は有効径φ2”型の検出器である。予想では、φ3”型の検出器の方が径が大きいため、多くの信号を捕らえ、そのために濃度換算係数、BG値ともに上昇すると考えていたが予想に反した結果となった。この時点での各検出器の濃度換算係数は以下の通りであった。

検出器	濃度換算係数(Bq/cm <sup>3</sup> /cpm)	備考
GM管式	$3.96 \times 10^{-4}$	
NaI	$4.88 \times 10^{-4}$	
φ2”型プラシン	$6.03 \times 10^{-4}$	
φ3”型プラシン	$1.89 \times 10^{-4}$	

## 2. 3 試作器の実流試験時に摘出された問題等

φ2”型、φ3”型のプラスチックシンチレーション検出器の実流試験を実施した結果、以下の問題点が発生した。

### 1) 非直線性の問題

低濃度のクリプトンに対しても非直線性を確認できたが、 $3.7 \times 10^{-2}$  (Bq/cm<sup>3</sup>/cpm)以下でBGが0 (cpm)となる事象が確認された。この原因を究明する必要がある。

### 2) 検出器の安定性についての問題

φ2”型の検出器では2日間で得られたデータは、ほぼ同一直線状にあるが、φ3”型は指示値のばらつきが大きい。

### 3) 検出器の感度について

φ2”型、φ3”型の濃度換算係数について、当初の予定ではφ3”型の効率が良く、BGも高いと思われていたが、実際にはφ2”型よりも効率が悪く、BGも低かった。φ3”型のメリットはなかった。

### 4) BGの問題

BG値の測定では、実流試験前後ではBGの値が異なってしまう。BG値は測定後のほうが高めになるが、原因はサンプラ内にクリプトンガスが残留しているために高いのか、他の原因であるのか(例えばバレットとプラシン間にクリプトンガスが混入する)調査する必要がある。また、高濃度ではあまり影響はしないと思われるが、それぞれの濃度においてBGが異なる値になるかどうかである。これはNET計算により濃度換算係数を算出す場合に問題となる。

## 5) プラスチックシンチレータの感度の算出

## φ 3" 型

HV-1150(V)、BG 値 27.5(cpm)、換算係数  $1.79 \times 10^{-3}$  (Bq/cc/cpm)

$$C_M = 3 \cdot (2 \times 27.5/60)^{1/2} \times 1.79 \times 10^{-3} = 1.71 \times 10^{-3}$$

HV-1250(V)、BG 値 89(cpm)、換算係数  $7.40 \times 10^{-4}$  (Bq/cc/cpm)

$$C_M = 3 \cdot (2 \times 89/60)^{1/2} \times 7.40 \times 10^{-4} = 1.27 \times 10^{-3}$$

## φ 2" 型

HV-1150(V)、BG 値 125(cpm)、換算計数  $6.14 \times 10^{-4}$  (Bq/cc/cpm)

$$C_M = 3 \cdot (2 \times 125/60)^{1/2} \times 6.14 \times 10^{-4} = 1.25 \times 10^{-3}$$

HV-900(V)、BG 値 7(cpm)、換算計数  $3.38 \times 10^{-4}$  (Bq/cc/cpm)

$$C_M = 3 \cdot (2 \times 7/60)^{1/2} \times 3.38 \times 10^{-4} = 1.63 \times 10^{-4}$$

## 6) 測定下限濃度について

測定下限濃度は以下の式により求めることができる。

$$q = K \cdot 3S_b = K \cdot 3 \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

ここで q:測定下限濃度(Bq/cm<sup>3</sup>)

K:濃度換算計数(Bq/cm<sup>3</sup>/s)

又は(Bq/cm<sup>3</sup>/pA)

S<sub>b</sub>:n個のBG計数率の測定値又はBG電流の測定値(x<sub>i</sub>)の標準偏差の推定値(cps 又は pA)、n ≥ 20 とする。

## 7) 測定下限濃度の算出

広帯域とGMで測定下限濃度を算出した。計数値についてはcpmで計算した。また、広帯域については、鉛による遮蔽は行っていない。

- ① 濃度換算係数 K
- |       |   |
|-------|---|
| ・ 広帯域 | $7.30 \times 10^{-4}$ (Bq/cm <sup>3</sup> /cpm) |
| ・ GM  | $4.29 \times 10^{-4}$ (Bq/cm <sup>3</sup> /cpm) |

## ② BG

データは10分間20回測定をcpmに変更した。

回数	広帯域	G	M	備考
1	77.1		22.5	
2	79.8		22.8	
3	77.5		20.7	
4	79.7		20.6	
5	76.9		19.9	
6	75.9		22.9	
7	77.3		23.6	
8	77.9		23.0	
9	77.0		23.2	
10	79.3		24.0	
11	76.5		21.7	
12	78.7		22.6	
13	77.7		23.0	
14	78.6		23.3	
15	78.5		24.3	
16	79.1		23.9	
17	81.6		21.6	
18	78.8		22.6	
19	80.6		22.6	
20	81.8		22.7	

## ③ 計算

BGのデータから $S_b$ を求めると

・広帯域は $S_b=1.556$

・GMは $S_b=1.160$

よって

広帯域  $q=K \cdot 3 \cdot S_b=7.30 \times 10^{-4} \times 3 \times 1.556=3.41 \times 10^{-3} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$

GM  $q=K \cdot 3 \cdot S_b=4.29 \times 10^{-4} \times 3 \times 1.160=1.49 \times 10^{-3} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$

測定下限濃度は

広帯域  $3.41 \times 10^{-3} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$

GM  $1.49 \times 10^{-3} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$

となった。

## ④ その他

以上は日本工業規格放射性希ガスモニタによるものである。この測定下限濃度の規格は $1.85 \times 10^{-2} \text{ (Bq/cc)}$ 以下となっており、広帯域、GMともに満足している。

## ⑤ 検出感度

検出感度を求める式は、 $K \cdot 3 (2 \cdot BG/T)^{1/2}$ である。

BG : バッググラウンド

T : BG測定時間

K : 濃度換算係数

この式から広帯域、GMについて求めると、

$$\text{広帯域} : 3.41 \times 10^{-3} \times 11.88 = 4.05 \times 10^{-2} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

$$\text{GM} : 1.49 \times 10^{-3} \times 6.37 = 9.49 \times 10^{-3} \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$$

となった。

以上の結果から、広帯域の検出感度をGMの検出感度まで上げるためには、BGをどこまで下げる必要があるか計算する。

GMの検出感度は10分間測定で  $2.73 \times 10^{-3}$  (Bq/cm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} 2.73 \times 10^{-3} &= K \cdot 3 (2 \cdot \text{BG}/T)^{1/2} = 7.32 \times 10^{-4} \times 3 \times (2 \cdot \text{BG}/T)^{1/2} = \\ &= 7.32 \times 10^{-4} (\text{BG})^{1/2} = 9.84 \times 10^{-4} \times (\text{BG})^{1/2} \end{aligned}$$

この式からBGを求めると  $(2.73 \times 10^{-3} / 9.84 \times 10^{-4})^{1/2} = 7.72$  約8(cpm)となる。

以上の結果から、広帯域のBGは鉛遮蔽体を使用しても約55(cpm)有り、8(cpm)まで下げるのは無理である。

そこで限界計数率は変更せず、濃度換算係数を変更した場合にはどのようになるかを計算する。

$2.73 \times 10^{-3} = K \cdot 3 (2 \cdot \text{BG}/T)^{1/2} = K \cdot 11.8$  から  $K = 2.30 \times 10^{-4}$  (Bq/cm<sup>3</sup>/cpm)となる。

この値はGMよりも良い値であり実現することは無理である。

これらの結果から、タンク容量の変更、高圧の変更、プラスチックシンチレータの拡大、BG値の低下等が考えられる。

今までの試験結果より、BG値の最低は約30(cpm)である。これから濃度換算係数を求めると  $= 3.7 \times 10^{-4}$  (Bq/cm<sup>3</sup>/cpm)が得られる。この値はGMと同じである。

また、検出感度の式から濃度換算係数を下げるよりBGを下げた方が検出感度は上げられると考えられる。

基本的な作動確認後、主排気筒モニタからのKrガスの連続測定を実施した。試作器では2つの桶を製作したが、この時に使用したものは、内容積が大きいものを使用した。

連続通電試験を行った結果、良好なデータが得られたが、検出器からの出力パルスが時々ダブルパルスになることがあった。

### 3. 試作器のフィールド試験

今回開発した広帯域検出器が、実ガスでどのような挙動を示すか確認する必要性があった。このため主排気筒排気モニタのクリプトン検出器と比較測定を行うことが必要であった。主排気筒排気モニタには、サンプリング入口と出口に予備の配管が用意してあり、これを利用して広帯域検出器の実ガス試験を行うことにした。比較についてはクリプトン低として使用しているGM検出器で行う。比較は検出器の1分値をグラフ化し、GM検出器と広帯域検出器の1分値の比について記録することにした。広帯域検出器の接続については、現場にサンプリング桶を設置し、信号についてはOMラインを使用して(CB)G220まで信号を送り、仮設のDRMへ入力した。DRMには、GP-IBを利用した計算機が接続され、1分値の確認が可能ないようにした。この計算機には、主排気筒モニタのクリプトン低の信号も入力されたおり、計算機による比較が可能であった。

この結果から検出器としての実ガスの応答性、高濃度における非直線性の作動等に

優れていることが確認できた。

#### 4. 検出器の改良

試作器では、検出部 (Gated P. M. T.) と C F C回路部を分離した形状となっており、万一検出部のみが破損した場合には容易に修理が可能であると判断した。ところが、同時期に開発を進めていたβ線ダストモニタ (プラスチックシンチレーション) 検出器では、広帯域と同様に検出部と前置増幅器を分離し、検出部の故障時に容易に交換を行えるように考えたが、検出部だけ交換しても前置増幅器の再設定が必要になり、修理時には検出部と前置増幅器両方の交換が必要になる事が確認された。この事から、広帯域の検出器も同様に、検出部と C F C回路を分離する必要性が無いため、一本化する事にした。

検出器を一本化した後に実流試験を実施したが、高濃度での実流試験では問題は無かったが、低濃度になった時突然計数がゼロになった。この濃度では約 70 (cpm) を計数するはずであった。原因を調査した結果、C F C回路では電流を周波数に変換する回路で、入力する電流のディスクリレベルを高めに設定したため、70 (cpm) よりも低い値で指示値がカットされたためであった。

#### 5. 広帯域検出器実用化後の特性試験

広帯域検出器は、広帯域を測定するために電流 1pA で約 1 パルス (0.6 パルス) を出力させている。このため、外部からの影響を受け易く、指示値が、温度や湿度、電流等により変化する事象が以前から確認されていた。今回、恒温槽を用いて広帯域検出器の温度、湿度の特性試験を実施した。また、外乱 (ノイズ等) による影響も評価した。

##### 5. 1 温湿度特性試験

以前から広帯域検出器の指示値が変動する事象が発生しており、この原因の一つに温湿度の変化が影響していることが確認されていた。このため、実際に広帯域検出器が温湿度によりどの程度変化するかを試験した。

試験に使用した広帯域検出器は線量計測課所有の保守用部材である。この検出器は一部の施設で使用したところ、実装状態にて指示値が低下する事象が発生するものである。線量計測課での点検や連続通電による測定結果では、指示値の低下は発生していない。この指示値の低下について原因は究明されていない。

この検出器による温度、湿度試験は、基本の温度、湿度を 25 (°C)、50 (%) とし、この温度、湿度を基本に変化させ指示値の変動を確認する。

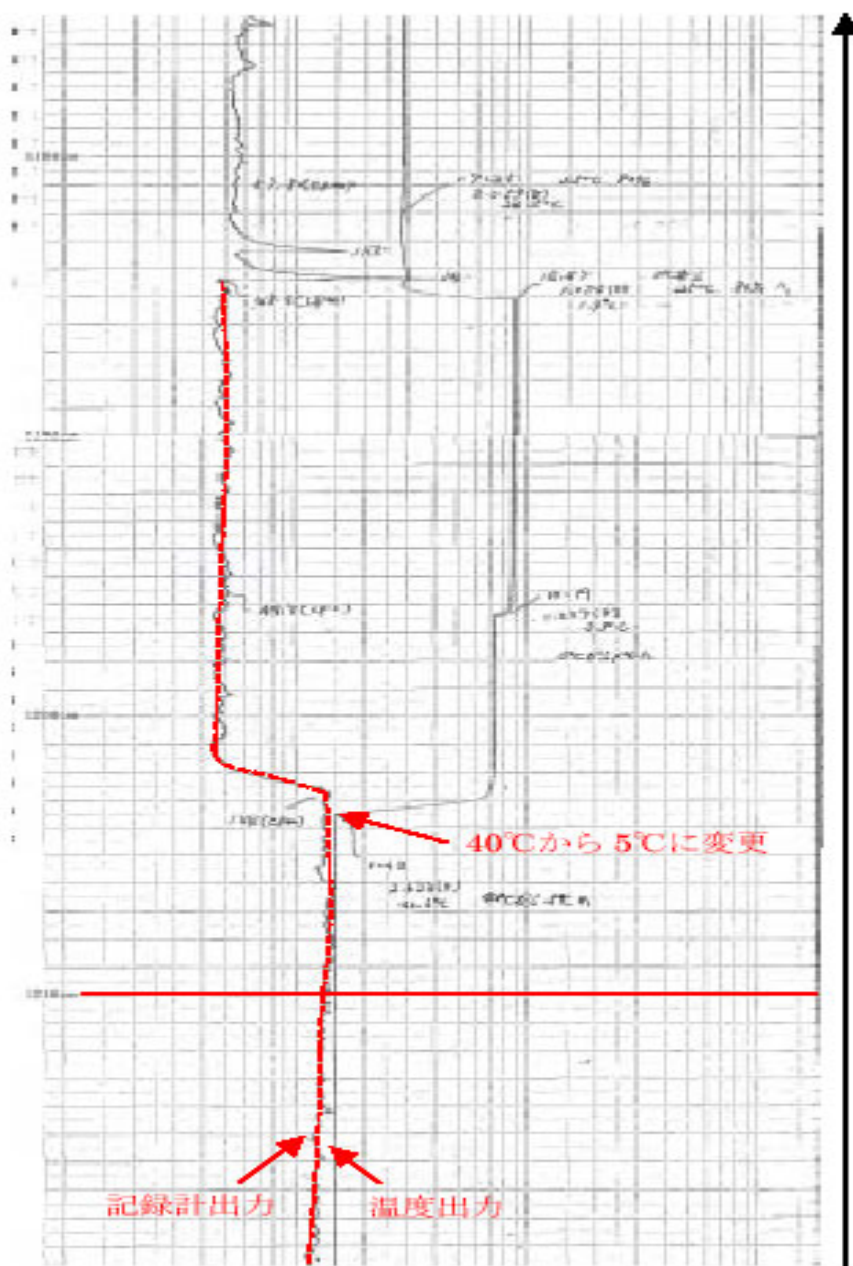
今までの経験や放射線管理第二課での調査結果から、広帯域の変動は、温度、湿度共に、高い場合は指示値が上昇する。以上のように温度、湿度に対して指示値は比例関係にあることが確認されている。以上を基本として試験を実施した。

##### 1) 広帯域検出器の温度、湿度の変化による指示値の変動

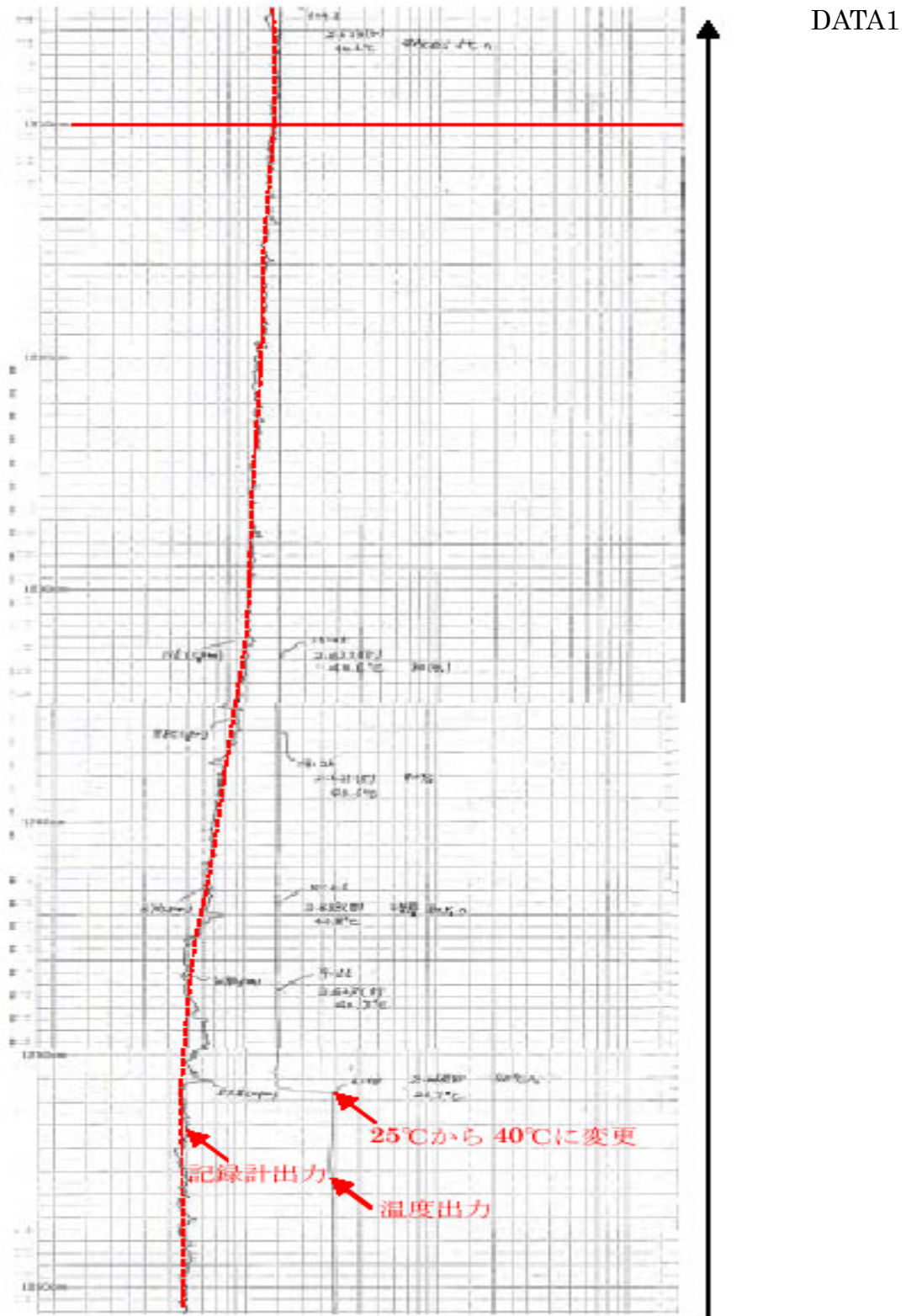
温度、湿度による指示値の変化を、記録計出力「広帯域検出器の温・湿度試験記録計出力 1、2」に示す。

広帯域検出器の温・湿度試験記録計出力 1

DATA2







上記記録計出力は、広帯域検出器の指示値と温度の出力を示している。記録計出力はDATA1からDATA2へ進み、左から右に指示値が上昇するように記録されている。記録範囲は $10^1 \sim 10^5$  (cpm)の4(dec)である。

温度については記録紙の中心を $0^\circ\text{C}$ とし、左側で $100^\circ\text{C}$ に温度が上昇するように記録されており、電圧出力は $1 \sim 5$  (V)が $0 \sim 100$  ( $^\circ\text{C}$ )に対応している。

また、今回は恒温槽内に遮蔽体を設置することができないため、通常よりもBGが高い状態となっている。

今回の試験では恒温槽を使用した温度、湿度試験を行ったが、結論としては高温多湿での指示値の上昇が著しいことが確認された。特に40℃から5℃へ温度を下げた時の変化は容易に確認できる。

記録紙から温度設定を25℃から40℃へ変更した時には、指示値の上昇は緩やかに上昇している。これに対して40℃から5℃まで低下させた時には指示値は急激に下降した。25℃から40℃の指示値の値は50 (cpm) から144 (cpm) に指示値が上昇した。40℃から5℃へ下げた時には144 (cpm) から49.7 (cpm) まで指示値が低下した。

45℃にて湿度90%で試験を行ったところ、指示値は520 (cpm) まで上昇した。通常では考えられない温度、湿度ではあるが、温度、湿度の影響が大きいことが確認された。

温度を一定に保ち湿度を変化させたときの指示値について確認した。確認した湿度は45℃で90%、70%、50%、30%、10% (16%設置時の表示) である。この時の指示値について調査することが必要である。

排気モニタが設置されている場所の環境は、温度や湿度を考慮したものではなく、広帯域検出器に大きく影響する状態である。この状態でBGの指示値を一定に保つ事は今回の試験結果からは困難であると思われる。

試験で問題になるのは、値に対して再現がない場合である。実際に温度と湿度を同条件にしたにもかかわらず、指示値が同じにならない場合がある。下に得られた結果の表を示す。湿度を一定にし温度を変化させたときの指示値を確認した。また、この表のグラフについても示した。

#### 温度(湿度)の変化と指示値の関係

(指示値の単位は cpm)

温度(℃)	湿度 30(%)	湿度 50(%)	湿度 70(%)	湿度 90(%)
15	33	48.5	46.7	49.3
20	31.3	47.2	54.5	44.5
25	33	50	52	53
30	35	51.7	60	70
35	39.2	56	75	114
40	46.4	71	105	190
45	71	97	176	387

この表とグラフから明らかなように、温度、湿度が上昇すれば指示値も上昇することが一目瞭然である。特に温度が25℃以上で湿度を上昇させた場合に指示値の変動が大きい。

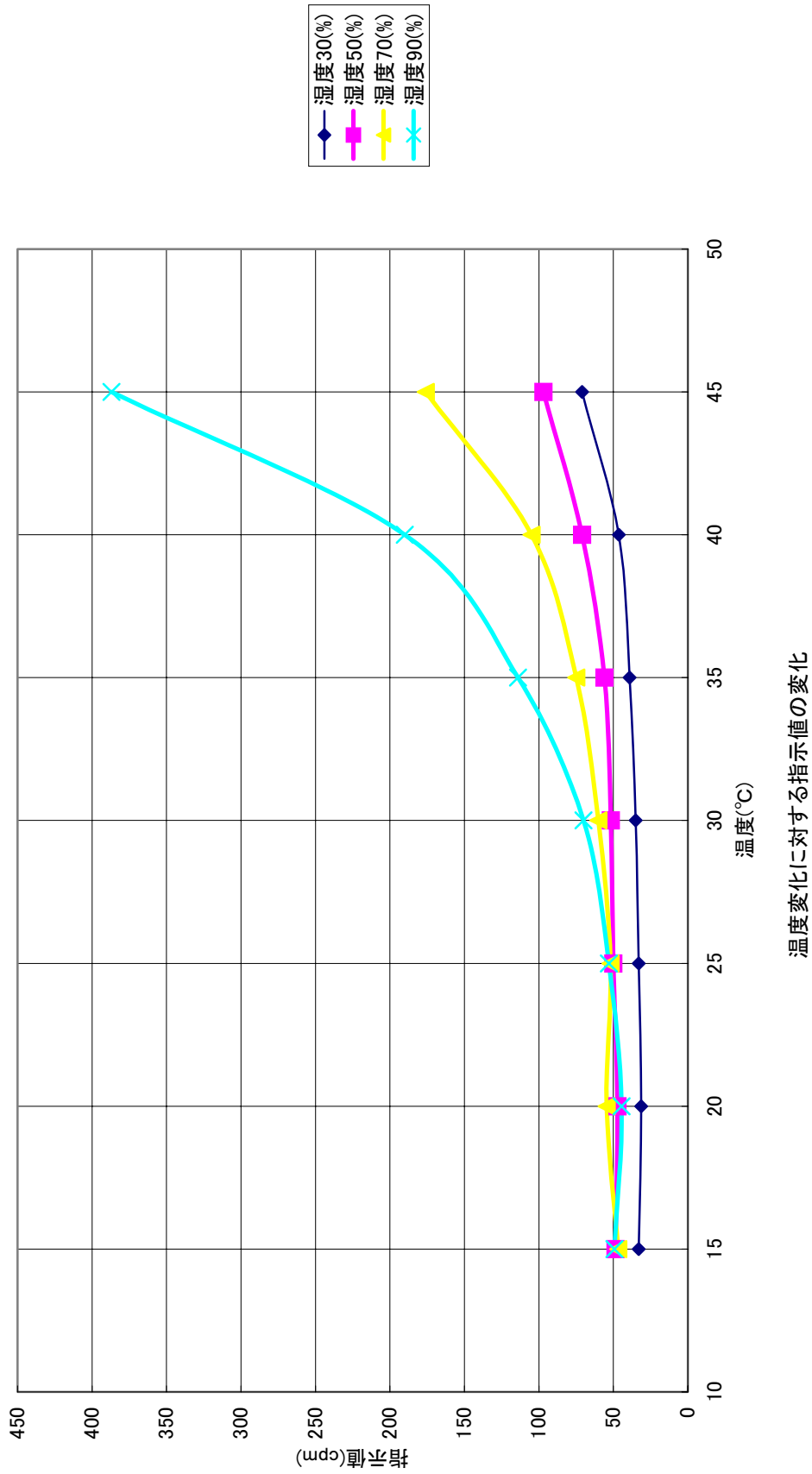
25℃、50%を標準状態とすると、45℃、90%の時には指示値は約7.7倍にも上昇した。検出器が遮蔽体に挿入されていないため、実際のBGよりも高い値を示しているが、変動が大きいことが確認された。この結果は検出器1本の結果であるため全てが同じになるかは今後の検出器の確認によって明確になる。

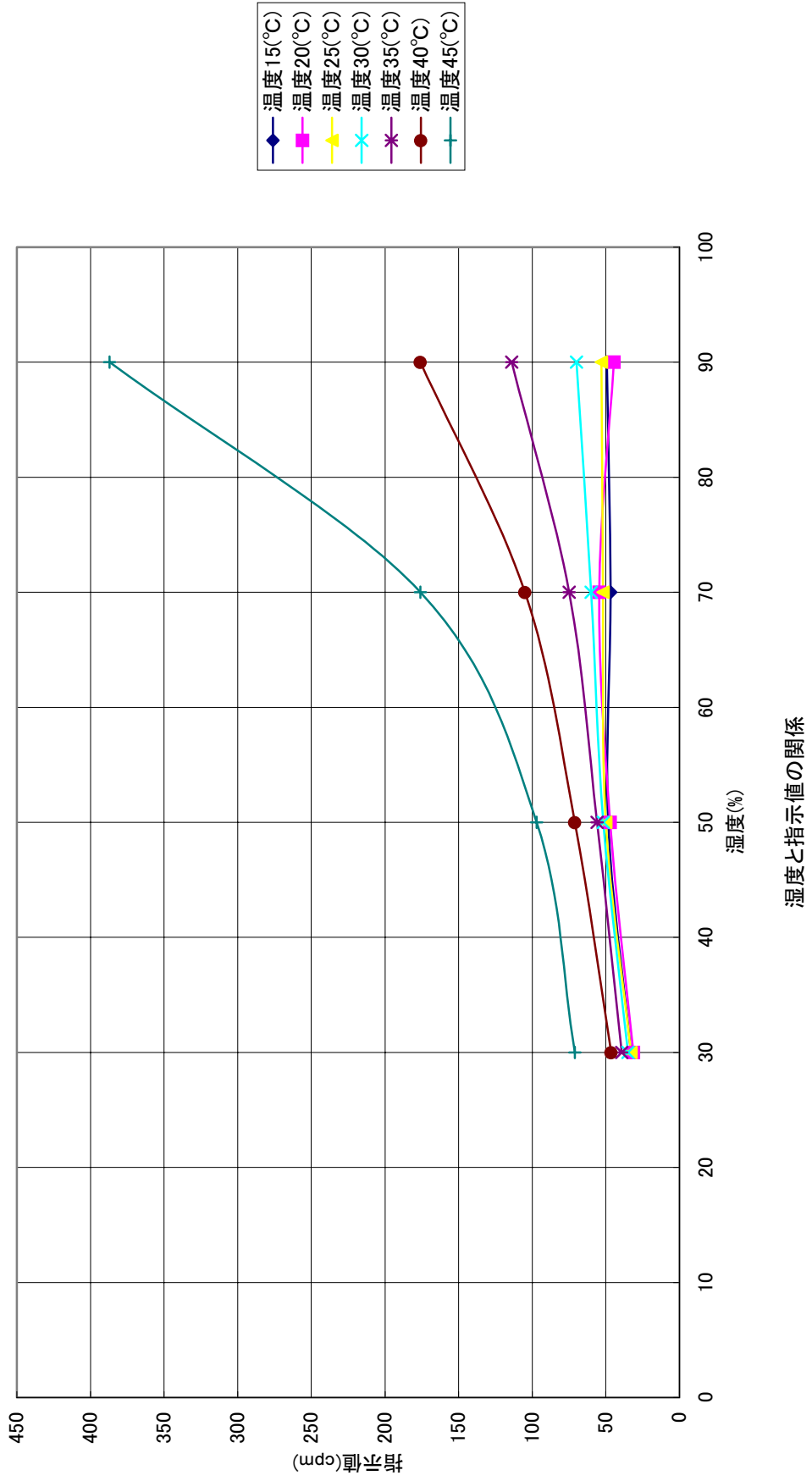
湿度30%とそれ以上の湿度でのBG値の違いについて再確認を実施した。その結果BG値の違いが確認された。BG値が違う理由は分からない。繰り返した場合にBGが変動している可能性があるが、同湿度でBG値が全体に比べ低いのは分からない。

#### 2) 温湿度試験結果から

## JNC TN8410 2004-011

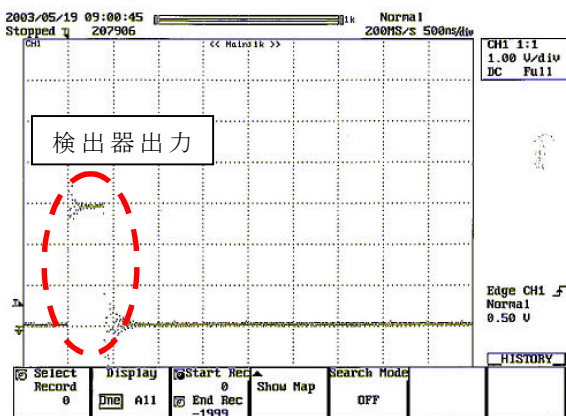
今回の試験結果から、広帯域検出器の温湿度による影響があることが確認された。このため広帯域検出器の指示値を確認する場合には、現場での温湿度の影響を考慮した管理を行う必要がある。特に広帯域検出器が設置されている場所によっては、温湿度の管理を行っていない場合に、指示値の変動が大きいこともある。今後の対応として、検出器の設置場所や温湿度管理を行うことが必要である。



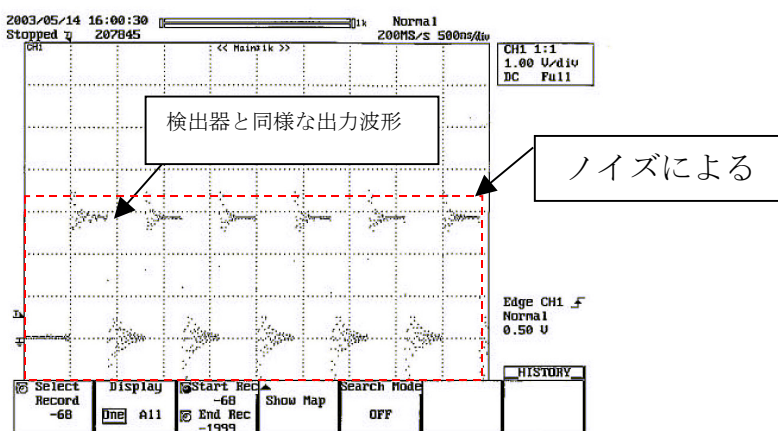


5. 2 外乱の影響

広帯域検出器は、監視盤に供給されているAC電源でノイズが発生した場合、影響を受け易い。通常の検出器信号であれば検出器信号とノイズ信号が区別できることが多いが、広帯域の場合はノイズ信号が検出器信号として出力される(検出器信号もノイズ信号も同一パルスとして出力されてしまう)ため、ノイズの種類や大きさが分かり難い。修理対応時には検出器不良であるのか、外乱の影響なのかを検出器Jの出力から判断することが難しいと思われる。但し、計数値の違いが明らかなことが多いため、一部の特殊な例である。この波形が同じであることはノイズに対する指示値の影響を考える必要がある。下記の図は、広帯域検出器の出力波形を示す。



正常な検出器からの出力波形



ノイズの出力波形

定置式モニタで使用されている検出器では、検出器からの信号波形と外乱の信号波形がはっきり区別できることが多いが、広帯域検出器は上図のようにノイズ(外乱)の影響による指示値であっても、出力波形は 全て通常の検出器波形と同じになってしまう。これは信号がGatedPMTの前で電流が影響している為であると考えられる。上記のように電流からパルス出力を得ているため、ノイズの電流もパルスとして出力されてしまう。ノイズ源やノイズ発生時間が確認できれば原因は明確になるが、その他では指示値上昇の原因を確認するには分かり難い回路である。

また、広帯域検出器の調整で難しい点は、上記で説明したノイズの電流分をカットするためのしきい値の設定である。設定が低い場合にはノイズまでもパルスとして出力されてしまう。高く設定した場合には実際の放射線で得られたパルスを計数できない可能性も有る。メーカーによる設定方法について確認する必要がある。

## 6. 広帯域検出器に係る問題点

広帯域検出器を実用化する過程及び実用化された後に、色々な試験を行ってきたが、この中で判明した以後の課題となる問題点を以下に示す。

### 1) 実流試験の問題点

広帯域検出器を使用する際、濃度換算係数を求めるために実流試験を実施する。実流試験の方法は、別添「放射性ガス校正装置系統」により行われるが、広帯域検出器では光による影響と、出力電流の小ささが問題となる。電流出力は1カウント当たり、1pA程度であることからノイズレベルよりも小さい電流である。また、濃度換算係数を求めるために行っている実流試験では、広帯域検出器内部にガスが吸引されないように、負圧の影響を押さえるように実施する必要がある。

### 2) 改良型サンプラの問題点

改良型サンプラは、広帯域検出器の負圧の影響及びクリプトンガスの直接の影響を防止するため、サンプラ側にバレックスシートを取付け、検出器表面に直接クリプトンガスが吸着しないサンプラである。このサンプラで実流試験を行ったところ、問題点が発生した。

最初に発生したのは、ガスの漏れがないはずであったサンプラで、実流試験時に漏れてしまった。

漏れの原因は、バレックスシートを押さえるために使用している金具が原因であった。この金具を使用して何回か締めつけをすると、この金具に付いている格子状の金具によってバレックスシートが変形し、バレックスシートに溝が出来てしまう。この溝の隙間から漏れる事が確認された。この金具については改造を行う事にした。

次の問題として、検出器面とクリプトンガスとの距離がサンプラ側にバレックスシートを入れた構造になったため、検出器面とクリプトンガスの間にバレックスシート、パッキン、バレックスシート押さえ金具等が追加され、以前よりも検出器面とクリプトンガス間が遠くなった。これにより検出感度も低下が見られた。

検出感度の低下については、ガスからの距離が問題であり、距離を近づける事で解決できる。このため検出器のガスと触れる部分の厚みを薄くし、プラスチックシンチレータとの距離を近づける事により感度の向上を考えた。





6) 温湿度特性

広帯域検出器は、温度、湿度による指示値の影響が大きいことが確認された。実際に一部の現場に取付けてある広帯域検出器では、夏の日差しが強く室温の上昇時、指示値の上昇が確認されている。広帯域検出器は、感度のばらつきも大きいため、取付けてある検出器より温度、湿度による影響も異なることから指示値の上昇割合も異なると考えられる。広帯域検出器の温度、湿度特性を十分理解し指示値の変動の原因を確認しなければならない。

7) ノイズ対策

検出器のノイズは CFC 回路、プローブ部の光漏れが主たる原因であると考えられる。これらを解決するには幾つかの方法が考えられる。

- ・ 検出器の改造
- ・ 新型検出器の導入
- ・ 検出器の分離

である。

7. 今後の開発について

1) 検出器の改造

検出器の改造については、広帯域検出器の1カウントが1pAと微小電流で作動しており、検出器筐体の傷等(導体部)からノイズ電流が入力される事で指示値の上昇に繋がる可能性がある。このため、1カウントの電流値を1nA程度まで上げる事により、影響を少なくする方法を考えたが、現在の検出器を改造することは難しい事が確認された。

2) 新型検出器の導入

次に新たな検出器の導入であるが、新規に製作するのではなく $\beta(\gamma)$ 線ダストモニタ用プラスチックシンチレーション検出器(以下プラシン)が使用可能であると考えている。この検出器の実流試験の結果によっては、広帯域検出器の代りに使用可能である。実際には広帯域検出器の開発については、主排気筒モニタのクリプトン検出器が低濃度用検出器、広濃度用検出器の2種類で測定していた。ところが、ある濃度で検出器の測定切り替えを行った場合に、濃度の計算でずれが生じていた。これを一つの検出器で低濃度から高濃度まで測定できる検出器を開発したものである。実際には主排気筒排気モニタのクリプトンで使用すべきものである。他の排気モニタにおけるガスについてはこの様な広範囲を測定できる検出器の必要性は無い。以上から検出器をプラシンに変更する事を現在検討している。

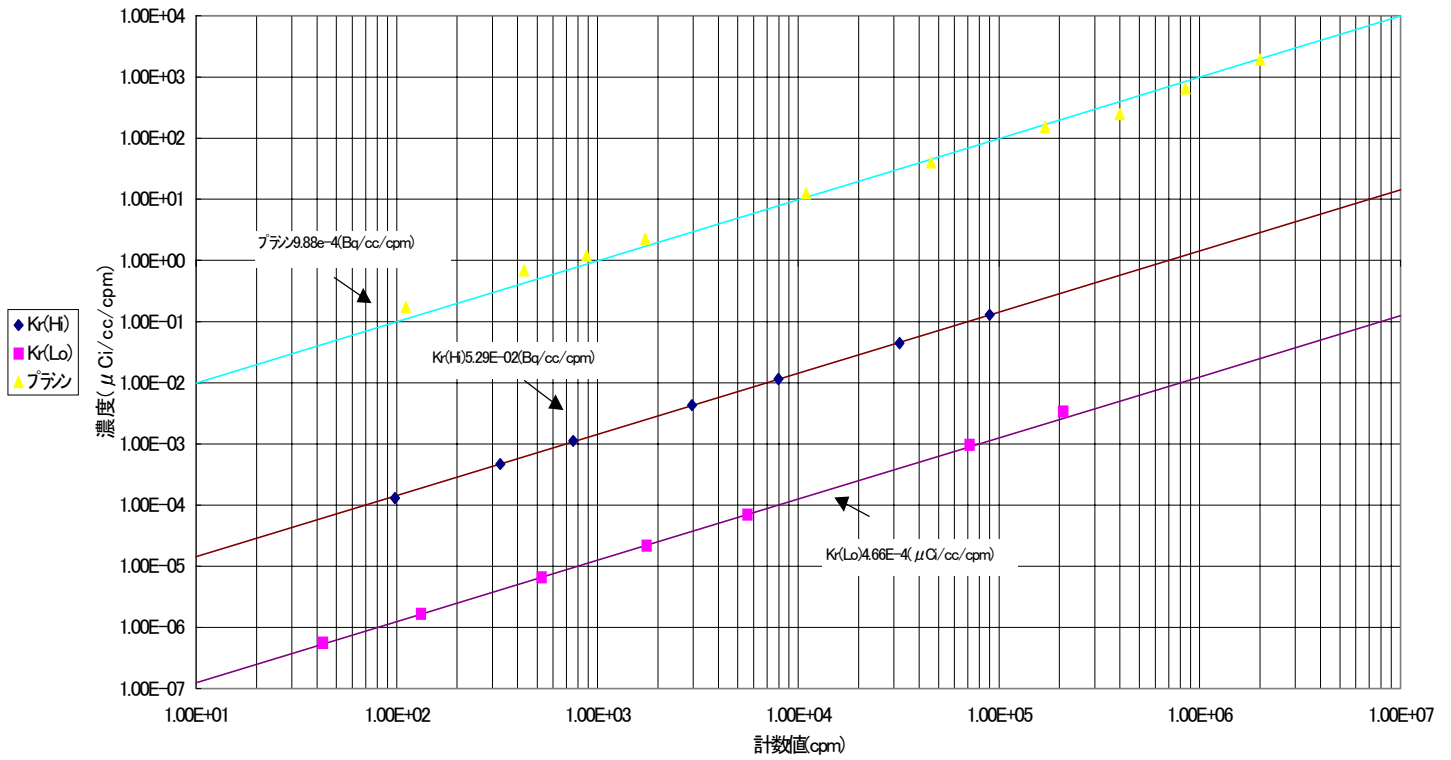
3) 検出器の分離

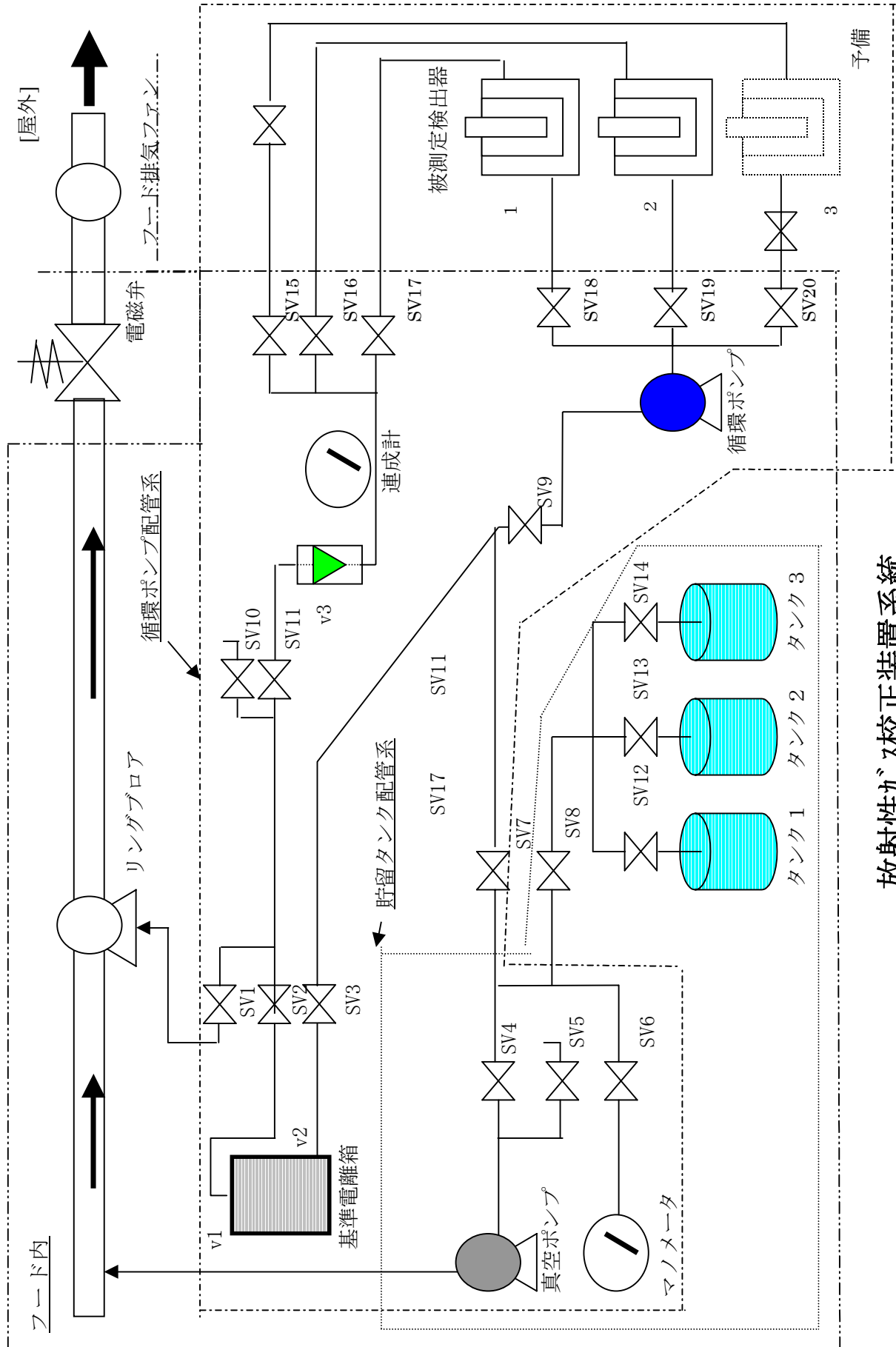
最後に検出器の分離であるが、何度も繰り返し述べているようにプローブ部とCFC部を分離する方法である。プローブ部については、光漏れを防止し、実流試験の負圧に耐えられる構造に変更する。CFC部については対ノイズ性を強化するとともに、CFCの感度を低下させる方法が必要である。また、CFC部の設置場所についても検討する必要がある。

以上の様にある程度の対策内容は確認されている。これらを試験的に実行する事が重要である。

各クリプトン検出器の比較を行うため、参考までに Kr (Lo)、Kr (Hi)、広帯域検出器の実流試験における測定結果を以下に示す。

クリプトン検出器と濃度の関係





放射性カス校正装置系統