JNC TN8400 2004-008

走行式放射線モニタの高度化に関する研究

（研究報告）

2004年5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
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

JNC TN8400 2004-008
２００４年５月

走行式放射線モニタの高度化に関する研究
（研　究　報　告）

根本　典雄*1　井﨑　賢二*1　石川　久*1　小林　博英*1
谷澤　輝明*2　金澤　吉人*2

要　旨

安全研究年次計画「走行式放射線モニタの高度化に関する研究」に基づき放射線モニタリング機能の強化を目的とした走行式放射線モニタの高度化として台車、データ伝送システムの設計、ハンドリング機能の調査及びモニタリング用機器の災害環境下を想定した耐久性試験を実施したので、その結果について報告する。

走行式放射線モニタの基本性能としては、小型・軽量化を念頭に施設内での平面走行、不整地面走行、階段昇降、扉の開閉等が可能な機能を有すること、操作方式は搭載したカメラによるPHS回線又はSS無線による遠隔操作とした。また、現場の災害状況をモニタリングできる機能として、計測機器（α線計測、γ線計測、中性子線計測を中心とした放射線計測機器）をモジュール化して搭載する設計とした。

搭載機器の耐久性試験では、臨界事故や火災・爆発事故等を想定した環境下での放射線状況等のモニタリングとして、走行式放射線モニタ搭載予定機器等の耐熱、耐湿度、耐放射線、耐エアロゾル（煙）試験を実施し、想定環境下での機器の健全性確認を行った。

耐久性試験では、耐熱試験の温度を 0℃～60℃、耐湿度試験の湿度を 60～90%とした。放射線試験では、1Gy のX線照射の耐久試験及び中性子線、X 線、γ線による特性試験を行った。耐エアロゾル試験では、ベントナイト（中位径 2μm）を用い、濃度 40 g/m^{3}で耐久性試験を実施した。

以上、試験の結果、半導体検出器を除く全ての機器が上記の条件下で正常に作動することを確認した。

*1　放射線管理第一課　　*2　常陽産業㈱

JNC TN8400 2004-008
May, 2004

Development of the Self Moving Survey System
(Research Document)

Norio NEMOTO*[1], Kenji IZAKI*[1], Hisashi ISHIKAWA*[1],
hirohide KOBAYASHI*[1], Teruaki TANIZAWA*[2], Yoshito KANAZAWA*[2]

Abstract

Authors modified the design of carrier unit and data communication system to improve self moving survey system. And some tests to confirm its handling performance and durability under conditions simulating accident circumstances were conducted.

The self moving system is required to be able to run on the bumpy road and staires. Also the system is required to be able to open and close doors.

Remote control by PHS line or SS wireless was selected to operate the system. The system was designed to be able to load measuring module for alpha ray, gamma ray and neutron to carry out radiation monitoring and around the accident field.

In consideration of the radiation monitoring under the environment that assumes the critical accident, the fire and the explosion, heat test, humidity test, radiation test, and aerosol (smoke) test for detectors were executed. As a result of the tests, it was confirmed that all equipments except for the semiconductor detector can work as usual.

*1 Plutonium Radiation Control Section, Radiation Protection Division, Tokai Works, JNC

*2 Jyoyo Industrial Corporation ,Ltd.

目　次

1. はじめに 1
2. 研究開発方針 2
2.1 研究開発の経緯 2
2.2 開発方針 5
2.3 実施計画 6
3. 基本設計 8
3.1 設計要件 8
3.1.1 設計方針 8
3.1.2 設計モニタリング環境の想定 8
3.1.3 モニタリング目的 8
3.1.4 走行式放射線モニタの機能 8
3.2　関連技術、機器等の調査 9
3.2.1 ロボット開発及びその機能 9
3.2.2 放射線モニタリング機能 11
3.2.3 情報通信機能 16
3.2.4 環境モニタリング機能 16
3.3　走行式放射線モニタの基本設計 17
3.3.1 基本構成 17
3.3.2 モニタリング機能 18
3.3.3 走行機能 23
3.3.4 情報通信機能 30
3.3.5 その他の機能 34
3.3.6 基本設計による走行式放射線モニタの基本仕様 39
4. 走行式放射線モニタ搭載機器の耐久性試験 52
4.1 耐久性試験の目的 52
4.2 試験規格の調査 52
4.3 試験条件 53
4.4 試験結果 61
4.4.1 耐熱性・耐湿性試験結果 63
4.4.2 耐エアロゾル性試験結果 67
4.4.3 耐放射線試験・放射能特性試験結果 72
5. まとめ 79

6. おわりに 80

参考文献 83

別添-1 耐熱試験前後のα線用サーベイメータ点検整備記録（試験前・後）... 104
別添-2 耐熱試験前後のγ線用サーベイメータ点検整備記録（試験前・後）... 106
別添-3 耐熱試験前後の中性子線用サーベイメータ点検整備記録（試験前・後）
..... 108
別添-4 エアロゾル試験前後のα線用サーベイメータ点検整備記録（試験前・後）
..... 110
別添-5 エアロゾル試験前後のγ線用サーベイメータ点検整備記録（試験前・後）
..... 112
別添-6 エアロゾル試験前後の中性子線用サーベイメータ点検整備記録
（試験前・後） 114

表 目 次

表-2.1 初代走行式放射線モニタの主な仕様 3
表-2.2 ２代目走行式放射線モニタの主な仕様 4
表-2.3 実施計画 6
表-3.1 各ロボットの仕様の概要 12
表-3.2 線量率（γ線）モニタリング機器類の種類と主な仕様 14
表-3.3 線量率（中性子線）モニタリング機器類の種類と主な仕様 15
表-3.4 空気中放射性物質濃度モニタリング機器類の種類と主な仕様 15
表-3.5 表面密度モニタリング機器類の種類と主な仕様 16
表-3.6 作業環境測定機器類の種類と主な仕様 17
表-3.7 試験用機器の仕様 20
表-3.8 バッテリー種類比較 23
表-3.9 走行式放射線モニタ電力量の概算 25
表-3.10 画像伝送装置の比較 32
表-3.11 各種危険作業ロボットの概要 38
表-3.12 走行式放射線モニタの基本仕様 39
表-4.1 調査したJIS規格 52
表-4.2 JIS Z4329抜粋 53
表-4.3 試験条件（サーベイメータ類及びPC） 56
表-4.4 試験条件（その他の機器） 57

表-4.5　耐エアロゾル性試験の判定基準 58
表-4.6　エアロゾル試験に用いたベントナイトの物性値 60
表-4.7　α線用サーベイメータの耐熱性試験結果 63
表-4.8　α線用サーベイメータの耐湿性試験結果 64
表-4.9　α線用サーベイメータ検出部の耐熱性試験結果 64
表-4.10　半導体検出器の耐熱性試験結果 64
表-4.11　γ線用サーベイメータの耐熱性試験結果 65
表-4.12　バッテリーの耐熱性・耐湿性試験結果 67
表-4.13　耐エアロゾル性試験結果 68
表-4.14　試験前のバッテリーの放電状況 71
表-4.15　α線用サーベイメータの試験前後の健全性確認 72
表-4.16　α線用サーベイメータのX線特性試験結果 73
表-4.17　α線用サーベイメータのγ線（^{137}Cs）特性試験結果 73
表-4.18　α線用サーベイメータのγ線（^{241}Am）特性試験結果 73
表-4.19　α線用サーベイメータの中性子線（^{241}Am-Be）特性試験結果 74
表-4.20　α線用サーベイメータの中性子線（^{252}Cf）特性試験結果 74
表-4.21　γ線用サーベイメータの試験前後の健全性確認 74
表-4.22　γ線用サーベイメータの中性子線（^{241}Am-Be）特性試験結果 75
表-4.23　γ線用サーベイメータの中性子線（^{252}Cf）特性試験結果 75
表-4.24　中性子線用サーベイメータのX線特性試験 76
表-4.25　中性子線用サーベイメータのγ線（^{137}Cs）特性試験結果 76
表-4.26　半導体検出器の試験前後の健全性確認 77
表-4.27　半導体検出器のX線特性試験結果 77
表-4.28　半導体検出器のγ線（^{137}Cs）特性試験結果 77
表-4.29　半導体検出器の中性子線（^{252}Cf）特性試験結果 78
表-6.1　走行式放射線モニタに関する実施計画及び成果 81

図　目　次

図-2.1　初代走行式放射線モニタ（モニ太郎） 2
図-2.2　２代目走行式放射線モニタ（モニ次郎） 2
図-3.1　走行式放射線モニタのシステム全体図 41
図-3.2　走行式放射線モニタの外観図 42
図-3.3　運搬台車外形図 43
図-3.4　運搬台車搭載時の状況 44
図-3.5　走行式放射線モニタの階段走行想定図 45

図-3.6　走行式放射線モニタの段差走行想定図 46
図-3.7　運搬台車の最小回転半径 47
図-3.8　運搬台車の走行駆動部 48
図-3.9　大倉電気社製 VCP1000 画像伝送装置の構成例 49
図-3.10　無線 LAN 回線を使用した場合の画像伝送システムの構成 50
図-3.11　RS232C を用いたデータ伝送システム 51
図-4.1　α線用、γ線用サーベイメータ及び半導体検出器試験概要 54
図-4.2　制御用 PC の試験概要 55
図-4.3　耐熱性・耐湿性試験状況（恒温槽内のセット状況） 55
図-4.4　制御用 PC の試験状態の詳細 56
図-4.5　耐エアロゾル性試験設備の構成概要 58
図-4.6　試験機器の設置位置の概要 59
図-4.7　耐放射線試験の概要 62
図-4.8　照射試験室の概要 62
図-4.9　機器設置の状況 62
図-4.10　α線用サーベイメータの耐熱性試験結果（変化率） 84
図-4.11　α線用サーベイメータの耐湿性試験結果（変化率） 85
図-4.12　α線用サーベイメータ検出部の耐熱性試験結果（変化率） 86
図-4.13　半導体検出器の耐熱性試験（変化率） 87
図-4.14　γ線用サーベイメータの耐熱性・耐湿性試験結果（変化率） 88
図-4.15　制御用 PC の耐熱性・耐湿性試験結果（基盤温度） 89
図-4.16　バッテリーの耐熱性・耐湿性試験結果 90
図-4.17　耐エアロゾル性試験状況 67
図-4.18　α線用サーベイメータ（試験後） 69
図-4.19　α線用サーベイメータの耐エアロゾル性試験結果 91
図-4.20　γ線用サーベイメータ（試験後） 69
図-4.21　γ線用サーベイメータの耐エアロゾル性試験結果 92
図-4.22　中性子線用サーベイメータ（試験後） 70
図-4.23　制御用 PC（試験後） 70
図-4.24　制御用 PC の耐エアロゾル性試験結果（基盤温度） 93
図-4.25　バッテリー（試験後） 71
図-4.26　バッテリーのエアロゾル試験結果 94
図-4.27　カメラ（試験後） 71
図-4.28　α線用サーベイメータの放射線特性試験結果（X線） 95
図-4.29　α線用サーベイメータの放射線特性試験結果（γ線） 96
図-4.30　α線用サーベイメータの放射線特性試験結果（γ線） 97

図-4.31　α線用サーベイメータの放射線特性試験結果（中性子線）.....98
図-4.32　γ線用サーベイメータの放射線特性試験（γ線）.....99
図-4.33　中性子線用サーベイメータの放射線特性試験（X線）.....100
図-4.34　中性子線用サーベイメータの放射線特性試験（γ線）.....101
図-4.35　半導体検出器の放射線特性試験（X線）.....102
図-4.36　半導体検出器の放射線特性試験（中性子線）.....103

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構　東海事業所　放射線安全部では、昭和62年から管理区域内の放射線管理業務の省力化・自動化を目的とした走行式放射線モニタの開発・試験運転を実施してきており、現在は、施設の健全性確認として施設内の廊下等の表面密度の管理に活用している。

しかし、JCOにおける臨界事故以降、原子力施設での災害時における遠隔での放射線モニタリング機能及び支援システム強化の必要性が増してきた。これらの要求を踏まえ、本件は、平成13年からの安全研究基本計画（5ヵ年）の1テーマとして、研究開発を進めることとした。

本研究（「走行式放射線モニタの高度化に関する研究」）では、従来平常時に使用している走行式放射線モニタを高度化し、臨界や火災・爆発等の事故後における放射線状況等を効率的に把握するとともに現場復旧作業員の被ばくを低減することを目的として、走行式放射線モニタの基本設計及び主要搭載機器の耐久性試験を実施した。基本設計では、国内外のモニタリングロボットの動向を調査するとともに、核燃料物質取り扱い施設での適用を考慮し、走行性能、遠隔操作性、情報通信機能、モニタリング機能の設計を実施した。

また、15年度は、上記の調査等で情報が乏しかった異常時の劣悪な環境下でのモニタリング機器の健全性について、事故後の現場状況を考慮した放射線測定機器の耐久性試験（耐温度特性、耐湿度特性、耐エアロゾル特性、耐放射線特性）を実施し、上記の基本設計結果とともに走行式放射線モニタの高度化に資することとした。

2. 研究開発方針

2.1 研究開発の経緯

昭和62年よりプルトニウム燃料第三開発室では、管理区域内の定常的な放射線管理業務の省力化・自動化を目的とした走行式放射線モニタの開発・試験運転を実施してきた。

昭和62年には、初代走行式放射線モニタ（モニ太郎）の運用が始まり、プルトニウム燃料第三開発室外周廊下の放射線管理に寄与してきた。初代は、あらかじめ定められたコースを移動する移動台車と、γ線検出器、中性子線検出器、およびα線検出器を有する放射線測定装置から構成され、各測定点において線量率測定と床面の表面密度測定を実施してきた。

後継機種である2代目走行式放射線モニタ（モニ次郎）の開発は、平成8年から走行試験、試験運転を実施してきた。走行式放射線モニタは、走行性能を高度化させ、レーザーセンサー、超音波センサー等を有し、走行経路上にある障害物を検知し自動回避する能力を持ったモニタである。また、表面密度測定用検出器として ZnS シンチレーション検出器を有し、記憶された走行経路を自動走行し、任意の測定点において表面密度測定を実施し測定データは内蔵されているノート型パソコンに記録され、自動測定終了後、オフライン処理される機能を搭載した。

2代目走行式放射線モニタは、初代走行式放射線モニタに比べ小型・軽量で走行時間も向上しており、走行コースに障害物があった場合、各種センサーにより回避することが可能であり、走行性能の大幅な向上を図り現在に至っている。

初代目、2代目の走行式放射線モニタの外観写真を図-2.1、2.2に、主な仕様を表-2.1及び2.2に示す。

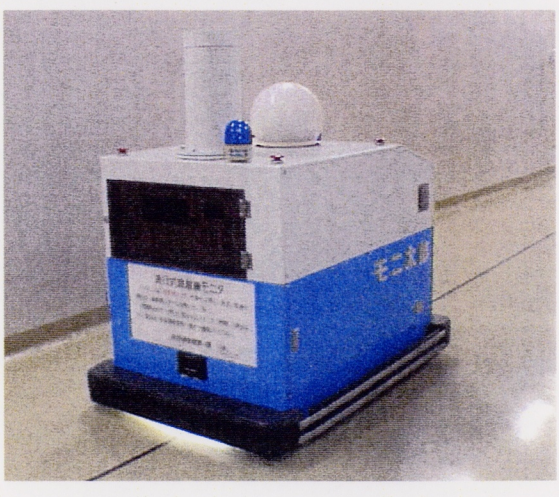


図-2.1 初代走行式放射線モニタ（モニ太郎）

図-2.2 2代目走行式放射線モニタ（モニ次郎）

表-2.1　初代走行式放射線モニタ（モニ太郎）の主な仕様

γ線検出器	GM計数管　　フィリップス社　ZP1400 測定範囲　　10^{-3}～10^{1}　mSv／h
中性子線検出器	He比例計数管 検出感度　　約3000cps／mSv／h 測定エネルギー範囲　　0.025eV～15MeV
α線検出器	ZnS（Ag）シンチレータ 測定範囲　　1～10^{5}cpm 検出感度　　約1.85×10^{-3} Bq／cm^{2}／cpm 有効面積　　120cm^{2}
測定装置	警報設定　　γ線、中性子線　　0.0～99.999mSv／h α線　　0～99999　counts
測定点	最大　70ポイント
バブルカセット装置	FBM－C128GA　　128kbyte
外　寸	縦　1000　×横　700×高　865　mm
センサー	超音波センサー　1個 圧力センサー（バンパー）1個
走行方式	光学起動方式（テープ誘導）
重　量	300　kg
連続稼動時間	3　時間
電　源	24V65Ah×2　充電式

表-2.2　2代目走行式放射線モニタ（モニ次郎）の主な仕様

本体仕様	外形寸法	600mm（W）×940mm（L）×1300mm（H）
	重量	200kｇ（バッテリー含む）
	使用環境	屋内
	周囲温度	0～40℃（運転時）
	電源	専用バッテリーパック使用（DC24V　110AH）
走行仕様	走行方式	壁ガイド走行
	駆動方式	2輪速度差方式
	走行速度	最大600mm/s
	回転半径	550mm
	登坂能力	勾配10%
	乗り越し可能段差	最大10mm（路面状況による）
	稼働時間	連続8時間
機能	走行経路教示	走行経路地図を専用ソフトにて作成
	測定点数	最大300箇所（1フロア）
	移動方式	（自動）登録した測定点間を自動走行 （手動）ハンドル上の手動スイッチにて移動可能
	自動動作モード 片道・往復・巡回	操作時に経路入力 予め巡回経路登録
	自動運転一時停止機能	操作パネル上のSTOPボタンによりー時停止、GOボタンにより動作再開
	基本安全対策	JISD6802（無人搬送車システムの安全通則）準拠
	障害物検出	本体上の環境認識センサーにて障害物を検出し、停止、あるいは回避動作を行う。 超音波センサー　：28個 レーザーセンサー：1個 圧力センサー　　：（バンパー）　1カ所 赤外線センサー　：（前面）1個、（天井）2個
	自己診断機能	起動時自己診断（システム診断、バッテリー電圧チェック等）
	非常停止	非常停止スイッチによる運転停止 自己診断の異常検出による運転停止 速度異常検出による運転停止
	動作表示	発進時等に音声で警告
	ライト表示	旋回、障害物回避時に点灯

	侵入不可領域設定	天井テープ設置による設定、プログラムによる設定
	惰性走行防止	ダイナミックブレーキ
検出部	検　出　器	ＺｎＳ（Ａｇ）シンチレータ　光電子増倍管５インチ径×１本
	有　効　面　積	113 cm^2　　（有効径　120mm）

2.2　開発方針

原子力施設で重大な事故（臨界、火災・爆発）発生後の応急措置、復旧措置等の事故対応を行う上で施設及び周辺における放射線状況を把握することは重要である。JCO 臨界事故の教訓においても現場の放射線状況が不明な中で作業を行う際は、作業と並行して線量率測定及び被ばく管理が行われた。これらの高線量率・高汚染区域における放射線情報収集活動の課題からも、無人・遠隔による放射線状況及び現場状況の確認が必要となる。そのため、これまで平常時用として開発してきた走行式放射線モニタを高度化し、核燃料物質取扱施設での臨界事故や火災・爆発事故を想定した、異常な放射線状況及び作業環境状況下でのモニタリング用ロボット（以下「走行式放射線モニタ」）を研究・開発することとした。

本研究における研究課題を以下に示す。

(1)　走行式放射線モニタの走行台車の高度化

建屋図面を入力することで走行ルートが平坦な場所についてのみ走行が可能な現在の台車を、入力図面や段差、階段、エレベータ等の有無に係わらず走行可能とする。

(2)　情報伝送システムの開発

モニタリング情報の伝送システムを、走行中に蓄積されモニタリング終了後に回収されるバッチ方式から、リアルタイム方式にする。特に事故現場等の放射線状況に関する情報をより迅速かつ的確に把握するため、映像、放射線測定データ伝送システムについて開発を行う。

(3)　ハンドリング装置の開発

走行ルート上の障害物に対する自己回避機能を持つ走行台車について走行範囲拡大を図るため、障害物を遠隔作業により排除（扉の開放、物品の移動等）するハンドリング装置の開発を行う。

2.3 実施計画

開発方針に基づく実施計画を表-2.3 に示す。

表-2.3 実施計画

年度	実施計画	
	実施内容	達成目標
平成13年度	イ. 原子力施設内の作業環境下（階段・不整面も考慮した）での走行が可能な走行台車（試作機）の設計	イ. 走行台車（試作機）の設計完了
	ロ. モニタリング情報の伝達方法に係る既存技術の事前調査	ロ. 動向調査結果のまとめ
	ハ. 走行台車の障害物等（物、扉等）を除去又はハンドリングを行う装置製作のための既存技術の事前調査	ハ. 動向調査結果のまとめ
平成14年度	イ. 不整面の走行可能な台車の製作（試作機）	イ. 走行台車（試作機）の製作完了
	ロ. リアルタイム情報伝送システムの設計	ロ. 情報伝送システムの設計完了
	ハ. 障害物除去機能を有した装置（ハンドリング装置）の設計	ハ. ハンドリング装置の設計完了
平成15年度	イ. 走行台車（試作機）の改良型の設計、制御方法は遠隔制御形式	イ. 走行台車（試作機）の改良型の設計を完了
	ロ. リアルタイム情報伝送システムの試作機製作	ロ. 情報伝送システムの試作機製作完了
	ハ. 障害物除去機能を有した装置（ハンドリング装置）の試作機製作	ハ. ハンドリング装置の試作機製作完了
	ニ. 事故時対応型の放射線測定装置の製作	ニ. 放射線測定装置の製作完了
平成16年度	イ. 走行台車の改良型試作機を製作し、走行性能試験をプルトニウムセンター内で行う。	イ. 走行台車の改良型試作機を製作及び走行性能試験完了
	ロ. リアルタイム情報伝送システムについて、プルトニウムセンター内の既設PHS 設備を用い、走行台車の遠隔操作、データ、映像伝送試験を行う。	ロ. 走行台車の遠隔操作、データ、映像伝送試験の完了
	ハ. ハンドリング装置の性能試験	ハ. ハンドリング装置の性能試験

	ニ. 放射線測定装置の性能試験	完了 ニ. 放射線測定装置の性能試験完了
平成 17年度	イ. 前年度までの研究結果で製作した各種試作機を組み合わせ、走行式放射線モニタとしての総合的な試験を行うとともに、運用機製作に向けた概念設計を行う。	イ. 各種成果物を組み合わせ、走行式放射線モニタ試作機を完成する。

3. 基本設計

3.1 設計要件

3.1.1 設計方針

原子力施設において放射線事故が発生した場合、当該施設内に入ってモニタリングを行うことができる走行式放射線モニタを設計する。

3.1.2 モニタリング環境の想定

(1) 事故想定

本研究では、原子力施設での重大事故として、臨界、火災・爆発を想定した環境下を想定する。

(2) モニタリング時の事故現場状況の想定

①臨界事故：臨界継続中又は収束後

②爆発事故：爆発により、粉じん、セル又はグローブボックス内等の放射性物質が工程室内に飛散している状態。ただし、爆発は沈静化。

③火災事故：火災により、灰及びセル又はグローブボックス内等の放射性物質が工程室内に飛散している状態。ただし、火災は鎮火。

3.1.3 モニタリング目的

事故の収束及び現場復旧作業にあたる作業者の被ばく防護計画作成（作業条件、被ばく評価、防護具の選定等）のための放射線情報等の収集を行うことを目的とする。

3.1.4 走行式放射線モニタの機能

(1) 基本構成

本走行式放射線モニタは、走行式モニタ（本体）及び運搬台車から構成される。運搬台車は、操舵機能があり遠隔操作により走行する。走行式モニタ（本体）は、操縦用のカメラ、コントローラ及びバッテリーを装備するとともに、放射線モニタリング機器及び作業環境モニタリング機器等を搭載し、現場復旧作業員の入域の可否判断及び防護装備の選定基準となるデータを取得する。また、走行式モニタの動力及び各種モニタリング機器等の電源は搭載したバッテリーから供給されるシステムとする。

(2) モニタリング機能

事故現場周辺の線量率、空気中放射性物質濃度、表面密度等の放射線状況のモニタリング機能及び酸素濃度、温度・湿度等の環境のモニタリング機能を有するものとする。

また、得られたデータの送信及び保存の機能を有するものとする。

①線量率の測定

γ線及び中性子線の線量率状況のデータを取得する。

②空気中放射性物質濃度

試料採取機能を付加し、連続サンプリング測定による濃度変動状況のデータを取得する。

③表面密度のモニタリング

測定器により床面等の表面密度を直接測定し、データを取得する。

④環境モニタリング

現場復旧作業員の入域の可否判断を行うために、必要に応じて現場周辺の酸素濃度、温度・湿度、有害ガス濃度等を測定する。

(3) 自動走行機能

目的地までの移動は、基本的に施設外からの入域とし、平地走行では走行式モニタ（本体）の車輪で走行するが、階段昇降及び不整地面等の走行は、ドア開閉ツールを付加した運搬台車に走行式モニタ（本体）を搭載し、移動する。

走行は遠隔操作とし、走行式モニタ（本体）及び運搬台車に取り付けられたセンサー、カメラの映像等により操作する。

(4) 情報通信機能

放射線モニタリングデータ、環境モニタリングデータ及びカメラの映像データ等を無線通信し、走行中に通信機能に障害が発生した場合には、取得したデータを走行式モニタ（本体）に保存できる機能を有する。

(5) その他

走行式放射線モニタは、施設内の狭い箇所を移動し機動力を発揮できるように小型化を指向し、作業員 1～2 名で運搬できる重量とする。運搬台車においては、階段や狭い廊下での旋回等を考慮する。また、想定される汚染状況に合わせ、走行式モニタ本体及び搭載機器には除染性を持たせる。

3.2 関連技術、機器等の調査

設計にあたり、関連する技術や機器等に関する市場調査を実施したところ、JCO 臨界事故以降、原子力施設での災害時における遠隔での放射線モニタリング機能及び支援システム強化の必要性から、原子力発電所における放射線事故に対応した各種防災ロボットが他事業者等により開発されていることを確認した。

以下に関連する技術開発状況等の市場調査結果を示す。

3.2.1 ロボット開発及びその機能

(1) 原子力防災支援システム[*1) *2) *3)]

JCO の臨界事故を契機に、国は「原子力防災支援システム」としてロボットの開発を行った。これらのロボットは、その要求される仕様等に応じて「作業監視支援ロボット」、「小型軽作業ロボット」、「作業ロボット」、「耐高放射線対応ロボット」の 4 機が開発されている。

「作業監視支援ロボット」*4)は、事故現場に迅速に到着し、現場状況を把握することを目的とする。

構成としては、有線又は無線による遠隔操作で、小型軽量（約 26kg）で狭い場所まで進入可能なロボットと中型で走行機能及び搭載機能を有するロボット（250kg）の 2 機の組み合わせで現場状況の把握を行う。放射線測定機器（γ、中性子)、温度・湿度測定機器、カメラ等を搭載し、ドア開閉及び階段昇降機能を有する。

「小型軽作業ロボット」*5)は、重量は 331kg のロボットで、遠隔操作により階段昇降、ドア開閉を行い事故現場に移動し、搭載されているカメラ及び専用の作業ツールにてバルブ操作、サンプリング、制御盤の操作等の軽作業を行う。なお、作業ツールは作業に応じて取り替えることで各種の軽作業に対応する。

「作業ロボット」*6)は、事故収束作業を行うロボットと遮へい体等を運搬するロボットの 2 機が遠隔操作により階段昇降、ドア開閉を行い事故現場に移動し、搭載されているマニュプレータや専用ツールによりバルブ操作や散水除染、ふき取り除染等を実施し、事故収束、復旧作業支援、作業時の被ばく低減を行う。重量はそれぞれ 440kg、390kg であり、作業環境温度最大 50℃、10Sv/h で数時間の作業が可能である。

「耐高放射線対応ロボット」*7)は、有線又は無線による遠隔操作により高放射線環境下（100Gy/h、10^4Gy（集積））でのドア開閉、配管切断、スミヤ採取作業が可能である。重量は最大 1200kg で、双腕アームにより重量物の吊り上げ運搬作業も行うことができる機能を有している。

また、原子力災害施設周辺においても人が接近して情報収集を行うことが困難な場合に、遠隔操作で情報収集を迅速、的確かつ安全に行うためのγ線計測器、赤外線カメラ、可燃性ガス測定器を搭載した防災モニタリングロボットが整備されている*8)。

(2) 情報収集ロボット*9) *10) *11)

日本原子力研究所においても、事故時情報収集用ロボットの開発が行われている。

原子力施設での事故時に、事故現場の情報収集や復旧作業を行うため、単体のロボットに全ての機能を集約するとその機動性を喪失することから、仕様に応じたロボット「初期情報収集ロボット」、「詳細情報収集ロボット」、「試料等情報収集ロボット」の 3 台を開発している。

「初期情報収集ロボット」は、事故発生後、早期に事故現場の状況を把握するため、人間が持ち運べる小型軽量（50kg）の遠隔自走式ロボットであり、現場の映像、線量率、機器の温度情報収集を目的としている。

「詳細情報収集ロボット」は、事故発生後、事故発生現場に接近し、より詳細な状況を把握するためにマニュプレータ 1 台を装備し、遠隔自走式で扉の開閉、階段の昇降が可能で、現場の映像、線量率、室内の温度等の情報が収集できる。

「試料等情報収集ロボット」は、試料採取等を行うため、マニュプレータ 2 台を装備した遠隔自走式のロボットであり、扉の開閉、階段の昇降が可能であり、事故現場に接近し、映像、試料収集を行う。

また、高放射線環境下での作業を行うために、「耐環境型ロボット」の開発も行っている。このロボットは、防災上あまり考慮されていない耐放射線性 10^5Gy 程度を目標（電子部品等は交換する）として開発されている。

各ロボットの仕様の概要を表-3.1 に示す。

3.2.2 放射線モニタリング機能

放射線モニタリング機器を市場調査したところ、耐水性を考慮した機器が多く見受けられた他、一部ではあるが、耐熱性や小型・軽量を考慮したものが市販されていることを確認した。

放射線モニタリング機器の種類と主な特性を表-3.2～3.5 に示す。

表-3.1 各ロボットの仕様の概要(1)

	作業監視支援ロボット(M、K) (東芝)		小型軽作業ロボット (日立)	作業ロボット(A、T) (三菱重工)		耐高放射線対応ロボット (サイバネティクス/日商)
重量(kg)及び寸法(mm)	(SMERT-M) W600×L760×H1370 250kg(台車部)	(SMERT-K) W420×H590 26kg(最小質量)	(SWAN) W620×L960×H1700 331kg	(MARS-A) W700×L1300×H1400 440kg	(MARS-T) W700×L1300×H1200 390kg	(MENHIR) W750×L950×H1900 1200kg
動力	バッテリー又は有線 供給		有線及びUPSによるバックアップ	バッテリー又は有線 供給		バッテリー又は有線 供給
制御方法	有線又は無線		有線遠隔操作	有線又は無線		無線及び有線
走行機能	平地走行2km/h 階段走行0.3km/h 登坂傾斜40° 以下 段差通過0.2m以下	平地走行 6km/h	平地走行1.0km/h 階段走行0.4km/h 登坂傾斜40° 以下 段差通過0.2m以下	平地走行2km/h 階段走行0.5km/h 登坂傾斜40° 以下 段差通過0.2m以下		1.5km/h 登坂傾斜45° 以下 段差通過0.2m以下
作業環境	放射線10Sv/h 最大温度 40℃ 最大湿度 100%(RH)	放射線10Sv/h 最大温度 50℃ 最大湿度 100%(RH)	放射線10Sv/h 最大温度 40℃ 最大湿度 75%(RH)	最大温度50℃ 最大湿度100%RH 放射線10Sv/h		最大温度55℃(通信部以外) 最大湿度100%RH 約10^4Gy (100Gy/h)
搭載機器	・γ線、中性子線測定機器 ・温度、湿度測定機器 ・酸素、水素濃度測定機器 ・CCD、赤外線カメラ ・テレビカメラ ・ドア開閉ツール	・γ線測定機器 ・湿度測定機器 ・酸素、水素濃度測定機器 ・テレビカメラ	・カメラ ・専用作業ツール(ドア開閉ツール他) ・マニピュレータ ・温度、湿度測定機器	・マニピュレータ ・カメラ ・ツール(ハンド)	・カメラ ・運搬台車	・マニュプレータ ・耐放射線性カメラ
機能	・ドアの開閉 ・放射線等のモニタリング ・階段昇降	・放射線等のモニタリング	・ドアの開閉 ・バルブの開閉 ・サンプリング(ガス、炉水) ・汎用ハンドによる掴み ・現場盤スイッチ操作 ・制御盤操作 ・防水性	・ドア開閉 ・バルブ開閉 ・ふき取り除染 ・機器配管等の開孔	・遮へい体、ホース、 作業ツールの搭載	・扉開閉 ・バルブ操作 ・スミヤ採取 ・重量物吊り上げ運搬 ・配管切断
特徴	小型軽量で狭い場所まで進入可能なロボット(K型)と中型で移動及び積載能力のあるロボット(M型)の組み合わせで作業支援を行う。		専用の作業ツールを装着することによりドア開閉、ガスの採取、制御盤の操作等を可能にした。	災害現場でバルブの開閉、ふき取り除染等の作業を行う。	遮へい体や重量物の運搬、散水除染等MARS-Aを支援する。	高精度電動マニプレータ等2台で汎用工具を取り扱える。 高線量下で作業を行える。

表-3.1 各ロボットの仕様の概要(2)

	初期情報収集ロボット (日本原子力研究所)	詳細情報収集ロボット (日本原子力研究所)	試料等収集ロボット (日本原子力研究所)	耐環境型ロボット (日本原子力研究所)
重量(kg)及び寸法(mm)	W400×L580×H550 50kg (カメラ等は除く)	W660×L1500×H950 540kg (カメラ、マニュプレータ等は除く)	W700×L1300×H1200 650kg (カメラ、マニュプレータ等は除く)	W700×L1200×H1300 430kg (カメラ、マニュプレータ等は除く)
動力	商用電源及びバッテリー (1時間連続運転可能)			商用電源 及びバッテリー (2時間連続運転可能)
制御方法	無線・有線(操作盤からの遠隔操作)			コンテナ内操作車 からの遠隔操作
走行速度	約2.0km/h	約2.0km/h(階段昇降時は0.2km/h)		約2.0km/h
作業環境	10^2Gy			・約10^5Gy ・温度 ～40℃ ・湿度 ～90%
搭載機器	・放射線測定機器 ・カメラ	・マニピュレータ(1台) ・カメラ ・放射線測定機器	・マニピュレータ(2台) ・カメラ	・ロボットアーム ・カメラ
機能	・放射線計測(γ線、n線) ・画像 ・機器温度	・放射線計測(γ線、n線) ・画像 ・機器温度 ・雰囲気(温度、湿度等) ・扉開閉	・立体画像 ・スミヤ採取 ・試料採取(気体、液体、固体) ・扉開閉	・画像 ・試料採取 ・扉開閉 ・釦操作

表-3.2 線量率（γ線）モニタリング機器類の種類と主な仕様

測定器の型式	形状 (mm)	主な性能	耐久性に対する考慮	特徴	製造（取扱）メーカ
fieldSPEC	230×90×70 890g	内蔵検出器 ・1"×2"NaI(Tl)検出器 ・高線量用 GM ﾁｭｰﾌﾞ 感度（Cs-137）：＞500cps/μSv/h 線量率：10nSv/h～1Sv/h 線量：100nSv/h～1Sv/h ｴﾈﾙｷﾞ範囲 NaI：25kev～25Mev GM：60kev～20Mev	耐水性 耐ほこり 温度範囲 -10～55℃	メモリあり 核種同定可 ｽﾍﾟｸﾄﾙ測定可 PC 接続可	Target 社 東洋ﾒﾃﾞｨｯｸ（取扱）
SND201	206×200×84 2kg	内蔵検出器 ・NaI(Tl)検出器 測定精度：±3%以下（Full Scale） 検出γ線：50keV 以上	防滴構造	—	応用光研
ICS-321	96×96×172 約 620g	内蔵検出器 ・電離箱型 線量率：1μSv/h～10mSv/h 指示精度：±10%±1digit 以内 使用温度範囲：0～40℃	防滴構造	・3000 件のﾃﾞｰﾀ記録 ・赤外線通信（オプション）	アロカ
AE-1931	電離箱部 100Φ×175 約 2.1kg 本体表示部 120 × 200 × 230 約 2.2kg 取付金具：650g	内蔵検出器 ・1"×2"NaI(Tl)検出器 ・高線量用 GM ﾁｭｰﾌﾞ 線量率：0.1～999.9μSv/h 線量：100nSv/h～1Sv/h ｴﾈﾙｷﾞ範囲 NaI：25kev～25Mev GM：60kev～20Mev	防水式 使用温度電離箱部 20～80℃ 本体表示部 0～50℃	遠距離測定 ～200 m 以上可能	応用技研

表-3.3　線量率（中性子線）モニタリング機器類の種類と主な仕様

測定器の型式	形状 (mm)	主な性能	耐久性	特徴	製造（取扱）メーカ
REM500	300×114×114 2.3kg	中性子ｴﾈﾙｷﾞ範囲：70keV～20MeV 感度：48 ｶｳﾝﾄ/μSv 線量率表示範囲 0.01μSv/h～9.99 Sv/h 積算線量表示範囲 0.01μSv～9.99 Sv		^{244}Cm 線源内蔵 256 チャンネル ＭＣＡ装備 小型、軽量	米国 HPI 社 （東洋ﾒﾃﾞｨｯｸ）
NSN21001	210Φ×320 約 7kg	測定ｴﾈﾙｷﾞ範囲：0.025eV～15MeV 線量率表示範囲： 0.01μSv/h～9.99 Sv/h 積算線量表示範囲 0.001μSv～9.99 mSv		小型	富士電機

表-3.4　空気中放射性物質濃度モニタリングの種類と主な仕様

測定器の型式	形状 (mm)	主な性能	耐久性	特徴	製造（取扱）メーカ
ALPHA-6	40W×36H× 31D（cm） 7kg 別途ポンプ要	シリコン半導体検出器 ｴﾈﾙｷﾞ範囲：最大 10Mev 警報：ランプとベル音 ﾌｨﾙﾀ：ﾐﾘﾎﾟｱ SM47Φ		ｽﾍﾟｸﾄﾙ測定可 PC 接続可 ﾛｽｱﾗﾓｽ研究所 が開発	エバーライン

表-3.5　表面密度モニタリングの種類と主な仕様

測定器の型式	形状 (mm)	主な性能	耐久性	特徴	製造（取扱）メーカ
光ﾌｧｲﾊﾞｰ型ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ(開発中）注1)	検出面 ・20×300 棒状 ・多面式、角度可変	シンチレータを表面塗布した光ファイバー検出器 検出効率：10%以上		軽量 薄型 不整面測定 γ、n線感度高	応用光研と共同開発
SZS-201	206×200×84 2kg	ZnS(Ag)シンチレーション検出器 検出効率：15%以上	・防滴型 ・耐熱性 ・(高温用フォトマル~70℃)		応用光研
TCS-222	460×280×180 3.6kg	ZnS(Ag)シンチレーション検出器		軽量	アロカ
ﾊﾟｰｿﾅﾙﾁｪｯｶｰ	本体寸法 65×25×115 380 g 検出面 50×50	検出器：Si 半導体検出器 機器効率：10%以上		小型、軽量（ポケットサイズ）	アロカ

注 1) γ、n線感度が高く、高線量率場での測定には現段階で不向き。廊下等、低線量率下では使用可能

3.2.3　情報通信機能

情報通信機能には有線、無線を使用した通信が可能であるが、装置を遠隔で操作する場合は、無線を使用するほうが有利である。現在、一般に使用されている無線でのデータ伝送規格では、無線 LAN、PHS 等のデータ伝送が主流である。

しかし、無線 LAN、PHS 等のデータ伝送機能では、伝送距離や伝送レート、施設内の電波の状況等により制約を受ける。また、映像等の伝送ではアナログ変換やデータ量等が課題がとなっている。

3.2.4　環境モニタリング機能

走行式放射線モニタの機能維持に関する環境条件や復旧等に携わる作業者の防護装備選定に関する情報を確認するものとして、温度や湿度、酸素濃度等に関する測定機器を調査した。

環境モニタリング機器の種類と主な特性を表-3.6 に示す。

表-3.6　作業環境測定機器類の種類と主な仕様

型式	形状（mm）	主な性能	特徴	製造（取扱）メーカ
熱電対型温度計	汎用品（測定範囲：～1000℃程度）			
酸素濃度計（ZO21D-H）	プローブ長：0.15m 約3kg	酸素濃度/高温用（ジルコニア式）	測定範囲：0～100% 使用温度：～600℃（検出器）	横河電機㈱（＊変換器等が必要）
可燃性ガス検知器（XP-302id）	W105×D230×H175 約4kg	用途に応じ選択（メタン、一酸化炭素、硫化水素等）	・耐圧防爆構造 ・マイクロエアポンプによる自動吸引	シロ㈱

3.3　走行式放射線モニタの基本設計

3.3.1 基本構成

本走行式放射線モニタによるモニタリングは、通常時のモニタリングと事故時のモニタリングに分類され、通常モニタリング、事故時モニタリングそれぞれに必要なモニタリング機器を選定し、本走行式放射線モニタに搭載する。

走行式放射線モニタは、通常モニタリングにおいては平地走行専用とする。事故時には運搬台車に本走行式放射線モニタを搭載し、階段を昇降し、扉を通過して、モニタリングエリアに到着後、走行式放射線モニタを降ろし、放射線モニタリング及び環境モニタリングを実施する。扉を通過する際には、ドア開閉ツールにより走行式放射線モニタまたは運搬台車から無線操作によって扉開閉を行う構成とする。

走行式放射線モニタのシステム全体を図-3.1 に、走行式放射線モニタ外観図を図-3.2 に、運搬台車外形図を図-3.3 にそれぞれ示す。

また、図-3.4 に運搬台車に走行式放射線モニタを搭載した状況を示す。

走行式放射線モニタは、事故現場の室内等において障害が少ない状態にある床面をモニタする際に比較的高速で移動が可能となるように、大径の車輪を持つ車両型とした。

また、寸法並びに重量は作業員2名で持ち運びが可能な設計とした。

・外形寸法　W412×L795×H620　(mm)

・車体質量　40kg　（モニタ搭載状況により変化する）

走行式放射線モニタの構成は、走行機能（車輪の走行、操舵機構）と操縦用に用いるカメラとコントローラ、バッテリーを基本モジュールとし、その他の放射

線モニタリング機器、環境モニタリング機器及びモニタリング昇降装置をモジュール化し、必要なモジュールを搭載して、適用場所に応じたシステム構成にて運用できるような設計とした。

カメラは昇降機能と照明、雲台を有し、カメラによる遠隔運転が実現できるようにする。また、遠隔運転用に前方と後方にそれぞれカメラを有することとした。

運搬台車は、運搬台車上面のテーブルを伸長させ、後側副クローラの傾斜動作により運搬台車を傾斜させることにより、走行式放射線モニタが登坂可能なスロープを床面から運搬台車上面に対して形成する。このスロープ上を上り下りすることにより、運搬台車へ走行式放射線モニタが搭載できる構造とした。

運搬台車は、事故時における事故発生現場への走行式放射線モニタの運搬を目的とすることから、階段、段差の昇降、並びに障害物の回避ができる機能を有し、階段の踊り場等の狭い場所の通過を考慮した寸法及び階段、床面に負荷を生じさせない重量となるような設計とする。

寸法、重量は以下のとおり。

・外形寸法　W600×L900～1670×H480(mm)（台車上面まで）

・車体質量　300kg　（運搬台車単体重量）

運搬台車にも、走行式放射線モニタと同様、遠隔運転用に前方と後方にそれぞれカメラを設置する構造とした。

3.3.2　モニタリング機能

(1)　放射線モニタリング機器

走行式放射線モニタに搭載する放射線モニタリング機器は、γ線及び中性子線の線量率を測定する機器、α線及びβ（γ）線用の表面汚染測定機器並びに空気モニタリング機器とし、異常な放射線状況を考慮して選択する。

通常時のモニタリングが、放射線状況に異常な上昇がないかどうかを確認するものであり測定に精度が要求されるのに対し、事故時においては概算値でよいことから、事故時用に取り替えて使用することも考慮する。

①線量率測定用機器

γ線用、中性子線用とも高線量率場での連続測定を想定した機能を有するとともに、高温多湿、粉じん場での測定を考慮し、軽量で外部出力機能を持つことなどを条件に測定器を選択した。

②表面汚染測定機器

直接法による測定を基本とし、上記①の測定環境のもと、取り扱われる放射性物質の種類に応じてα線用とβ線用を使い分けるか、同時測定が可能な測定器であることを条件に選択した。

③空気モニタリング機器

事故現場のダストを連続サンプリングし測定することを基本とし、上記①の測定環境のもと、取り扱われる放射性物質の種類に応じてα線用とβ線用を使い分けるか、同時測定が可能な測定器であることを条件に選択した。

(2) 作業環境モニタリング機器

走行式放射線モニタには、温度計、湿度計及び酸素濃度計を搭載する。

これらの機器は、軽量で外部出力機能を有することなどを条件に選定した。

なお、可燃性ガス検知器については、検知するガスの種類を検討する必要があることや寸法や重量の面から搭載スペースを考慮する必要があるため、搭載が必要な場合には、専用のモニタ等を用意することが必要である。

(3) モニタリング機器の搭載について

走行式放射線モニタは、必要なモニタリング機器を搭載し、事故時には運搬台車により観測地点まで運搬して放射線モニタリングを行う。

搭載するモニタリング機器は、交換の容易性や保守・校正のことを考慮してモジュール化する。

また、事故の状況や測定する放射線の種類等に応じ、モニタリング機器を選択して搭載する。

走行式放射線モニタに搭載予定の作業環境モニタリング機器、放射線モニタリング機器を表-3.7に示す。

表-3.7　試験用機器の仕様

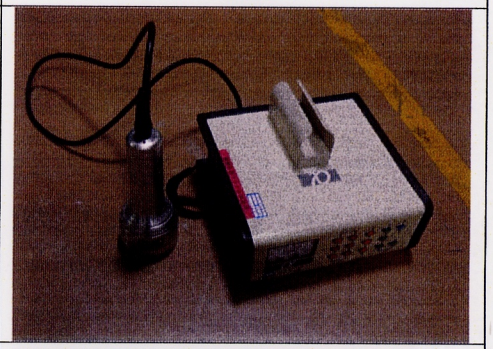
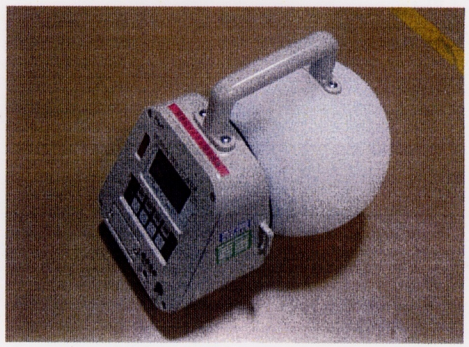
対象機器（メーカ等）	形状	主な性能	特徴	写真
α線用サーベイメータ SZS-201 型 （応用光研㈱）	206×200×84 2.2kg	・ZnS（Ａｇ）シンチレーション検出器 ・検出効率 15%以上	・防滴形 ・耐熱性 （温度範囲 0～60℃） ・高温用フォトマル使用（70℃用）	
γ線用サーベイメータ ICS-321 （ALOKA㈱）	96×96×172 0.6kg	・X 線、γ線、β線測定可 ・内臓検出器 ・測定範囲　1～10mSv/h ・防滴形（JIS 保護等級 IPX2）	・3000 件のデータ記録 ・赤外線によるデータ転送可(オプション) ・小型、計量	
中性子線用サーベイメータ NSN21001 （富士電機㈱）	Φ210×320 約 7kg	・He-3 比例計数管 ・測定範囲 0.01～9.999mSv/h	・線量率の自動記憶 最大 600 点 ・赤外線通信可能	

表-3.7　試験用機器の仕様

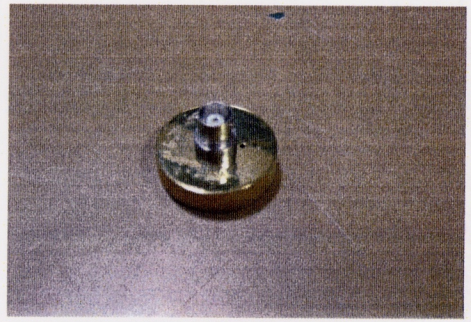
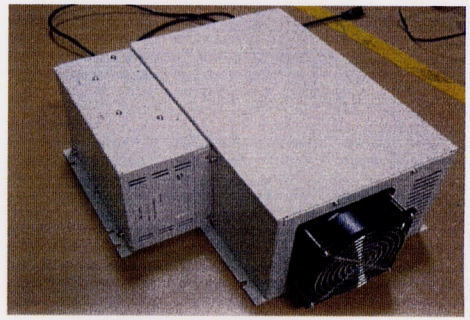
対象機器（メーカ等）	形状	主な性能	特徴	写真
半導体検出器 CR-033-600-100-S （ORTEC）	有効面積 600m²	・α線用（4～8MeV） ・シリコン表面障壁形 ・分解能（^{241}Am：空気中） FWHM　400keV 以下		
制御用 PC （コンテック㈱）	330×370×170	・CPU （PC-686C(PC)H-LVS ・RS-232C ・耐熱性（60℃）	・シリコンディスク	
監視用カメラ KV-H111A （日立国際電気㈱）	80×88×192 0.75kg	・解像度 480×350TV 本 （中央部） ・耐熱性（50℃） ・簡易防じん型		

表-3.7　試験用機器の仕様

対象機器（メーカ等）	形状（mm）	主な性能	特徴	写真
バッテリー A512/55A	160×200×500 32kg	（現在の走行式放射線モニタで使用）		

3.3.3 走行機能

(1) 階段走行、不整面走行

走行式放射線モニタの階段走行想定を図-3.5に、段差走行想定を図-3.6に示す。

運搬台車での階段昇降方式はクローラ方式とし、3クローラ方式を採用する。

階段を昇降するためには、クローラが昇降する階段の3頂点距離以上ないとクローラから階段に対して推力が伝達できず、階段昇降が不能となる。しかし、これでは階段（段差200mm　角度30°）では800mmのクローラ長が必要となってしまい、踊り場旋回など狭い場所の通過時に障害となりかねない。運搬台車では主クローラ、前側副クローラ、後側副クローラの三つのクローラがそれぞれ角度を変化できる構造とし、階段、段差などの乗り越え時、踊り場旋回時など、走行箇所に適した適切なクローラ角度を取ることができるように構成した。前側副クローラ角度が変化できるため階段の段差の高さが異なる階段でも、この前側副クローラの角度を変えることにより対応が可能となる。（前側副クローラ長より高い段差の場合、その場で旋回して、長さのある後側副クローラ側から後退することによって階段昇降することも可能となるが、この場合は許容登坂角度を超過しないよう注意する必要がある。）

(2) 高性能バッテリー

走行駆動用、制御機器用全てにわたりバッテリーを使用する。鉛電池、リチウムイオン電池、NiCd電池等の代表的なバッテリーの種類の比較を表-3.8に示す。

表-3.8　バッテリー種類比較

出力可能電力 放電時間	名称	必要スペース セル数	フローティング 急速充電	保護回路	開発
60A　26min	鉛電池	302×300×98 6セル	フローティング 保証なし	不要	不要
41A　60min	リチウムイオン電池（P社）	350×120×215 7セル	不可	要	要
58A　60min	リチウムイオン電池（E社）	310×320×120 240セル	不可	要	要
50A　60min	NiCd電池（M社）	350×120×215 未定	不可	要	要

鉛電池は、寸法、重量は大きいが容量が大きく広く使用されている。リチウムイオン電池、NiCd電池共に保護回路が必要であるが、小型大容量を提供する。

走行式放射線モニタは、小型軽量化を指向しており電力使用量は少ないため、

リチウムイオン電池とする。

走行式放射線モニタの電力容量の概算を表-3.9に示す。

走行式放射線モニタの走行輪は2輪独立とし、片輪最大約25W、両輪で50W程度であり、表-3.9に示すように0.7kVAの電力容量となる。稼働時間を1時間とし約285VAhを想定するとリチウムイオン電池6個（通常パソコン用相当）を用意することになる。

運搬台車は、事故時のみの使用であり、動力に必要な容量、保守性を考慮して鉛電池とした。

運搬台車の必要な電力量は、表-3.9に示すように約4kVAとなり、事故時1時間程度の稼動を想定すると、約 1400VAh となる。以下鉛電池採用に関して検討した結果を示す。

表-3.9 走行式放射線モニタの電力容量の概算

走行式放射線モニタ

	機器名称	分割機器名称		使用電圧 (V)	電力	電力(W) 単品	個数	必要電力 (W)
1	走行部	モータ	DC	32	2.3A 75W	75	2	150
		ドライバ				0.2	2	0.4
		超音波センサ	DC	12	0.24A	2.88	4	11.52
		障害物検知用光電センサ	DC	24	0.25A	6	1	6
2	検出器	高感度カメラ	DC	12	6～12V 約3.6V	3.6	2	7.2
		中性子線計測	DC	9		10	1	10
		γ線計測	DC	18		5	1	5
		α線計測	DC	12		5	1	5
		温度計測	DC	30	4.8～30V 6mA	0.18	1	0.18
		酸素濃度	DC	6		0.5	1	0.5
		水素濃度	DC	2.6		0.5	1	0.5
		スピーカ				10	1	10
		マイクロホン				5	1	5
		照明				20	1	20
3	コントローラ	計算機	DC	5	5V ±12V	150	1	150
		通信器(無線、有線)				20	1	20
4	雲台	モータ	DC	24		50	2	100
		ドライバ				0.2	2	0.4
5	ハンディコントローラ					0.3	1	0.3
	バッテリー充電					10	1	10
	電子部材					10	1	10
	冷却器					30	1	30
						計		552
				電源総合効率 ×0.8		合計電力×1.2		662.4VA

運搬台車

	機器名称	分割機器名称		使用電圧 (V)	電力	電力(W) 単品	個数	必要電力 (W)
1	走行台車	モータ				780	3	2340
		ドライバ				0.2	3	0.6
		センサ(リミットスイッチ等)				10	1	10
		電子機器				10	1	10
		障害物検知用光電センサ	DC	24	0.25A	6	1	6
2	制御							
	コントローラ					150	1	150
	多軸雲台用コント					150	1	150
	通信機					20	1	20
	カメラ					3.6	4	14.4
	中継器		DC	5	5V 3A	15	2	30
	電子部材					5	1	5
3	昇降雲台	モータ				80	3	240
		ドライバ				0.2	3	0.6
		センサ				10	1	10
		電子機器				5	1	5
4	監視用ユニット	スピーカ				10	1	10
		マイクロホン				5	1	5
		照明				20	1	20
5	ハンディコントローラ					0.3	1	0.3
6	その他							
	電子部材					10	1	10
	冷却器					30	1	30
	照明加算					20	5	100
	サービスコンセント					200	1	200
	バッテリ充電					10	1	10
						計		3376.9
				電源総合効率 ×0.8		合計電力×1.2		4052.3VA

バッテリーは大容量をもつことが理想であるが、限られた搭載スペースに十分な容量を確保するため、リチウム、鉛、NiCd のバッテリーの採用検討を行った。

バッテリーは台車後方の補助クローラに搭載する。補助クローラは、地面に対して、ほぼ垂直の姿勢まで可動し、かつ、動作頻度が高いことが想定される。

バッテリー電圧は 24V を基本として検討した。これは、トラックと同じ電圧にすることにより、多種の部品を使用することができ、かつ、人間が容易に扱えるためである。また、通常バッテリーの 1 セルの電圧値は低く、電圧を上げるにはセルを増やす必要がありスペース効率が悪くなることも理由のひとつである。

バッテリーは、運転開始時に 1 セットを後方クローラ内のバッテリースペースに搭載し、バッテリーの容量状態はホストコンピュータで監視し、放電完了時は外部から充電を行う。

バッテリーを選定する際には搭載スペースと、バッテリー容量の関係が反比例する。

従ってリチウム系のバッテリーを用いると、同じスペースでも大容量を得ることができる。しかし、リチウム系バッテリーは、化学反応を注意して監視する必要があり、温度監視を行う保護回路が必要であり、想定したよりもスペース効率がよくない。後方クローラ内に設置するため、バッテリーはシールされているものが良いとの結果を得た。

今回は、松下電池製の鉛蓄電池、 NiCd 電池の 2 種類を候補にし、それぞれの充電特性および放電特性を評価した。

評価したバッテリーの仕様

（ｉ） シール型鉛電池

・型　式　　：LC-P127R2J

・単セル電圧：DC12V

・同容量　　：4.9A・h/1h(7A・h/20h)

・寸法・質量 ：151L×64.5W×94H　2.5kg

（ii） シール型 NiCd 電池

・型　式　　：P-6000VH

・単セル電圧：DC1.2V

・同容量　　：12A・h/1h(60A・h/5h)

・寸法・質量 ：Φ62　D×172H　1.5kg

総合評価結果は、走行式放射線モニタのバッテリースペースに収納可能なサイズでの電力特性は鉛電池の方が優れていることがわかった。

個別評価では、以下のような結果が得られた。

（ｉ）シール型鉛電池

・セル構成　　2 直列×6 並列

・総合電圧　　24VDC 以上
・最大放電容量　42Ah(1h)
・最小充電時間　1h (満充電まで)

(ii)シール型　NiCd 電池
・セル構成　　10 直列×2 並列
・総合電圧　　24VDC 以上
・最大放電容量　60Ah(1h)
・最小充電時間　3h (満充電まで)

バッテリーの充電に関しては、作業エリアに給電/無線中継ステーションを設け、バッテリー残電力容量が低下した場合には、これを検知し、給電/無線中継ステーションに戻り充電を行う。通常は定期的に充電を行うことにより、稼動を確保する。また、充電する期間が短くなるとバッテリー自体の交換が必要になる前兆であり、この場合は制御装置側にて履歴管理を行い、交換を作業者へ連絡する。

(3)　重心移動

走行式放射線モニタが階段を上りきった時（図-3.5 参照）に、重心が階段部から上部踊り場に乗り移り、装置の姿勢変化（装置が階段に平行だったものが踊り場に平行となる。）が生じる。この姿勢変化に伴う衝撃を緩和する対策を講じておかないと階段の角部にかかっているクローラの山がずれて、落下するなど問題発生が懸念される。3 クローラ方式では姿勢変化の衝撃緩和方法として重心が変化する前に前側副クローラを装置より下側に回しこむことにより上部踊り場面に前側副クローラを接地させ、姿勢変化を前側副クローラの角度により制御するようにしている。

衝撃緩和の方式として 3 クローラ方式を採用することにより、構造が簡単で軽量化できる利点がある。また、前側副クローラ長を後側副クローラ長より短くすることにより、両側の副クローラを折り畳んだ際に収納スペースを小さくすることができ、運搬台車搭載スペースに制限を与えなくなる。これらの観点から、3 クローラ方式が台車の重心を低く押さえることができ階段昇降にも有利となる。

また、図-3.6 に示したように段差乗り越え時は重心の移動をうまく支持しないと前側に転倒する危険性がある。3 クローラ方式ではここでも前側副クローラを先に段差の下に接地させることにより、図示の通り問題なく段差通過が可能となる。

階段同様、前側副クローラ長より高い段差になるとその場で旋回して、長さのある後側副クローラ側から後退することにより通過する。

(4) 最小回転半径

運搬台車は左右のクローラを逆回転させることにより、台車の寸法中心軸周りに転回が可能となる。(本旋回を「芯地旋回」という。)

図-3.7に運搬台車の最小回転半径を示す。

階段の踊り場などの狭い場所の通過に問題ない最小回転半径(約 1081mm)が得られる。

(5) 走行最適速度

走行式放射線モニタの移動速度の設計値は以下とおりとした。

・走行式放射線モニタ　　走行速度　4km/h

・運搬台車　　走行速度　2km/h　(平地走行)

0.3km/h　(階段昇降)

走行式放射線モニタの走行速度は 6km/h にまで高速化することは技術的には可能である。しかし、遠隔、または自動走行の無軌道台車が 6km/h で走っているのはかなり早すぎて危ない印象を与える。また、モニタリングを行うエリア内は高速で直線移動する場所が限られているため、最高速を落とし、狭い部分での加速特性、旋回性などの運転性能を向上したほうがトータル的な運転時間の短縮になる。

運搬台車の走行速度は階段昇降時と平地走行時で速度を切り替える。

図-3.8に運搬台車の走行駆動部を示す。

モータはサーボモータを使用し、速度可変とし、さらに、モータの回転をクラッチにより減速機への伝達ルートを切り替えて速度切り替えを行う構造とした。

(6) 操作方法

事故時においては遠隔操作とし、装置本体に取付けられたカメラ映像及びセンサ等の情報により操作を行うこととする。

通常モニタリングにおいてはマップ制御(自動計測、自動走行)を原則として、遠隔からの操作によるモニタリングは実施しないこととする。

遠隔操作については指揮所等に設置される簡易操作卓より行う。

走行動作は基本的にジョイスティックにより操作を行い、倒し角度の増減により走行速度を可変させる。方向はジョイスティックの倒す方向へ動作することとする。

また、簡易操作卓には各専用のスイッチを配置し、スイッチを押すことにより各スイッチに割り付けられた動作を行う。

カメラ映像は計算機の画面に表示する。

モニタリング情報は画面を切り換えることにより表示を行う。

(7) カメラ

カメラは、事故時での遠隔操作においてオペレータに必要な視覚情報等を取り込むことが最も重要である。そのため基本的に走行用のカメラと現場監視用のカメラを用意する。走行用カメラについては運搬台車前面と後面に各 1 個のカメラを取付け走行時の前後をカバーする。

走行用カメラは、詳細な現場監視よりは、前後の状況の把握が主目的となるため、広角用のレンズを採用し、フォーカス、ズームともに固定のものとする。また、専用の雲台機構は搭載せず、運搬台車の動く方向に向かうように固定する。

現場監視用カメラには詳細な監視を行うための高精度のズーム付オートフォーカスカメラを採用し、雲台機構に搭載することにより水平旋回及び俯仰旋回の動作を可能とする。

カメラ雲台及びカメラズームは遠隔操作とし、オペレータは装置本体を動作させることなくカメラ雲台のみで現場状況を詳細に観察することができるようにする。また、本カメラは走行式放射線モニタ装置本体に取付けられるため、運搬台車の移動動作中においても運搬台車の状況を台車上より監視することが可能であることから階段昇降時や平地走行時においても運搬台車廻りの状況をオペレータに提供することが可能である。(＊映像回線は 1 回線のみとし、各カメテの映像は切換えて使用する。また、モニタリングデータ伝送用に他の 1 回線を確保する。)

搭載するカメラの台数は、事故時では走行式放射線モニタおよび運搬台車を遠隔手動操作にて走行させる必要があるため、それぞれに遠隔手動操作に必要なカメラ (3 台) を搭載する。

①走行式放射線モニタ搭載カメラ

(a) 周辺映像用カメラ (1 台)

走行式放射線モニタ単体、または走行式放射線モニタを搭載した運搬台車を遠隔手動操作する際に必要な周辺状況 (進行方向に障害物があるか、床面はどのような状態か等) を俯瞰するためのカメラを、昇降可能な 2 軸 (パン、チルト) 雲台上に搭載する。

(b) 足許用カメラ (前後各 1 台)

狭い場所の通過時や、運搬台車への乗り降りの際に必要となる、上記周辺映像用カメラでは死角となる本体近辺 (本体が建屋の壁などに接触していないか等) を見るためのカメラを走行式放射線モニタ本体に固定搭載する。

②運搬台車搭載カメラ

走行式放射線モニタと同様に、周辺を俯瞰できるカメラを搭載するのが望ましいが、運搬台車上部には走行式放射線モニタを搭載するため、走行式放射線

モニタと同等の雲台を搭載するのは困難なことから、下記 2 種類、計 4 台のカメラを搭載する。

(a)進行方向用カメラ（前後各 1 台）

単体、または走行式放射線モニタを搭載した運搬台車を遠隔手動操作する際に必要な進行方向状況（進行方向に障害物があるか、床面はどのような状態か等）を見るためのカメラをチルト動作可能な雲台上に搭載する。

(b)重心位置カメラ（左右各 1 台）

階段昇降や段差乗り越えを遠隔手動操作にて行う際に必要となる重心位置情報（台車重心が段差峰部を超えたか等）および進行方向用カメラでは見ることのできない台車左右の状況を見るためのカメラを、チルト動作可能な雲台上に搭載する。

3.3.4 情報通信機能

(1) 通信機能

通信機能は、有線及び無線の両者とも可能であるが、装置を遠隔で操作したり情報収集を行う場合には無線での使用が有利である。

現在、一般に使用されている無線でのデータ伝送規格は無線 LAN、PHS、及びプルートゥース等のデータ伝送が主流となっている。

各々のデータ伝送規格の特長を以下に示す。

①無線 LAN

無線 LAN 機器は IEEE802.11b 準拠の 2.4GHz 帯を使用できて、伝送レートは最大 11Mbps での使用が可能である。（実際の実行速度は電波状態や回線の混み具合等により低速となる。）

伝送距離は 50m～100m 程度で高性能なアンテナ等を使用することにより 1km までも可能とする。無線 LAN の場合、電波の状態（受信状態）が悪くなると伝送レートを落として通信を確保する性質があるため動画映像などの多量のデータ送信時には電波状態によっては通信が切れてしまう場合がある。

現在では IEEE802.11a 準拠の無線 LAN が登場し、最大 54Mbps までの伝送が可能であるため MPEG2 の動画映像等も容易に送信することが可能となっており、TV 映像を MPEG2 にエンコード後無線 LAN で送信し、別のパソコンでリアルタイムに受信する装置も市販されている。

②PHS

伝送レートは 32kbps～64kbps で使用されており、携帯電話に比べて電波強度が小さいため基地局までの距離が短い。（最大 500m 程度）また、基地局の設置が非常に容易で低コストが可能であるため企業などの構内回線などにも使用されている。携帯電話に比べて送信出力が弱いため（10mW 以下）、電池の

寿命が長い。(携帯電話では800mW程度)

現在では伝送レートが128kbpsのデータ伝送カードも使用されている(Air−Hやビーインコンパクト等)。通信プロトコルにはPIAFというプロトコルを使用している。また、データ通信速度は年々向上していることから、今後も通信速度は向上するものと思われる。

携帯電話としての使用よりもデータ通信の場で活躍が期待できる。PHSの周波数帯は1.9GHz帯を使用しているため、壁等の反射を使って多少曲がっていても電波が届くメリットがある。

(2) 映像伝送システム

映像伝送にアナログカメラを使用した場合、NTSC規格のビデオ信号となるため、そのままではディジタル回線を使用した映像伝送ができない。そのため、アナログカメラの映像はディジタル信号にエンコードしなくてはならない。しかしながら通常のビデオ信号は30フレーム/sで構成されていることからそのままディジタル信号に変換した場合には膨大なデータ量となるため現実的でない。

アナログ映像をディジタル映像信号にエンコードする場合には画像圧縮してエンコードし、画像圧縮後、伝送媒体にデータを送信する方式が最も効率的な手法である。また、動画伝送でのリアルタイム性は伝送速度が大きな要素であり、低速度回線での使用ではリアルタイム性に欠ける映像となり、コマ落ちが頻繁に発生する。

一般に動きを優先(リアルタイム性)する場合には解像度を落しデータ量を少なくすることが必要であるが画質レベルは低品位となる。

画質レベルを優先する場合には解像度を上げることが必要であり、ディジタル画像の動画を用いた画像圧縮方式においては、一般に映像信号には画質及び解像度により規格が定められている。

以下に画像圧縮規格を示す。

MPEG1:解像度 320×240ドット
ピットレート:1.2Mbpsが基本(ビデオCD)
画質レベル:低(VHS3倍録画モードに相当)

MPEG2:解像度 640×480ドット
ピットレート:15Mbps
画質レベル:高(DVD規格)

MotionJPEG :解像度 640×480ドット

静止画像規格の JPEG 準拠し、JPEG 画像の重ねあわせ。
画質レベル：高（スムーズな動きでない）

①PHS を使用した映像伝送システム

本システムではビデオカメラからの映像を画像伝装置に取込み JPEG 準拠の画像に圧縮後 PHS の伝送規格である PIAFS により受信側の PHS に 32kbps 又は 64kbps の伝送レートにより画像が送信される。

受信側の PHS は PC カード（データ通信カード）を解して画像データをパソコンに送り、パソコン側では専用ソフトにより動画像をリアルタイムに見ることが可能である。映像の解像度は切換えが可能である。解像度を下げることにより画質レベルが低下するが動きのリアルタイム性を向上させることができる。

図-3.9 に大倉電気製の画像伝送装置の構成例を示す。

本システムではパソコン側に専用ソフトウェア（専用ツール）を組込み、パソコン画面にカメラ映像を PHS 経由にてリアルタイムに取込むことが可能である。

カメラは最大 8 台までが接続可能であり、パソコンからの切換えにより各カメラの映像を選択する。カメラ制御については RS422 にてディジーチェーン接続により各カメラを制御することが可能である。

その他 PHS 回線を使用した画像伝送装置製品について表-3.10 に示す。

表-3.10　画像伝送装置の比較

メーカ	外形寸法 (mm)	重量 (kg)	解像度	カメラ数	圧縮方式	通信速度	機器
日本電気エンジニアリング	D203×W168×H48	1	352×240 最大 10 フレーム/s	1	JPEG 準拠	64kbps	PHS
大倉電気㈱	D150×W185×H45	0.9	640×480 最大 3 s /フレーム	8	JPEG 準拠	64kbps	PHS
トーエネック㈱	D200×W160×H48	1	640×480	4	ACT 方式	64kbps	PHS
三菱電機エンジニアリング	D270×W380×H80	4	640×480	4	JPEG 準拠	64kbps	PHS

②無線 LAN を使用した映像伝送システム

図-3.10 に伝送機器に無線 LAN を使用した場合のシステム構成を示す。

装置本体及モニタ室間を無線 LAN で構築することにより遠隔での映像監視を可能とする。LAN 接続に対応した機器であれば HUB 等を解して容易に LAN へ接続することが可能である。また、アクセスポイントを数箇所に設置することにより通信状態を良好に保つことができ伝送距離を伸ばすことも可能である。(アクセスポイント間は 50m 程度)

(3) PHS 通信

無線方式では敷設されている回線を使用するが、映像信号には大量のデータを送信することとなり、制御信号と映像信号を同じ回線で使用した場合トラフィックによる制御の遅れが出るため回線を 2 回線用意して制御信号と映像信号系統を分けることとする。

映像信号を PHS 回線で送信する場合の伝送時間について以下に示す。

JPEG 画像 (圧縮率 60%) 1 枚

解像度：320×240	階調：24 ビット (16777216 色)	伝送時間：5. 8 秒
解像度：320×240	階調：16 ピット (65536 色)	伝送時間：3. 8 砂
解像度：320×240	階調：8 ピット (256 色)	伝送時間：1. 9 砂
解像度：160×120	階調：24 ピット (16777216 色)	伝送時間：1. 4 秒
解像度：160×120	階調：16 ピット (65536 色)	伝送時間：0. 9 秒
解像度：160×120	階調：8 ピット (256 色)	伝送時間：0. 5 秒

＊圧縮率は映像の違いにより変化するため一律とはならない。

また、通信速度についても電波の状態などにより実行速度は低下することが一般的である。(画像伝送装置などの処理時間は含まれていない)

解像度及びカラー色数 (画像品質) を落とすことにより伝送時間を短くすることができる。

MOTION-JPEG の場合には JPEG 画像を重ねあわせ準動画像を作り出しているため 1 枚当りの伝送時間よりどの程度の動画映像となるかが分かる。

実用的な使用としては走行動作 (操作) 等の動きの速い動作で、廻りの状況が必要な場合には解像度を落として映像を取得することが望ましい。

災害現場到達により現場状況を詳細に観察する場合には解像度を上げて映像品質優先で観察することが望ましいと思われる。

(4) 伝送システム

RS232C 機能を有するモニタリング機器を PHS 回線を経由し、遠隔地よりデータを送受信するシステム構成を図-3.11 に示す。

本装置では RS232C 通信機能を有するモニタリング装置に対して、遠隔地にあるホストコンピュータから RS232C のコマンドを送信することによりプロトコル変換装置により、PHS の通信プロトコルに変換後、遠隔のモニタリング装置にデータが送信される。

モニタリング機器側ではホストコンピュータから送信されたコマンド指令により、所定のデータをホストコンピュータへ送信する。

プロトコル変換装置を使用することにより、既存の PHS 回線網を使用してのデータ送受信が可能となる。

(5) データ欠損防止

無線通信ではコンクリートや扉等の遮蔽物により電波状態が悪くなり状態によっては回線が切断されてしまう場合がある。

特に遠隔操作する場合においては走行式放射線モニタが自由に走行を行うため、走行位置によっては電波状態の悪い場所に移動してしまい、回線の再接続ができなくなる可能性も考えられる。

このような状態にならないように常に良好な電波状態となるよう、基地局を配置することが重要である。基本的に PHS や無線 LAN 等の機器は一番受信状態の良いアクセスポイントや基地局へ接続をする機能を有しているため、2 つの基地局の設置には必ず重複するエリアを設置することが重要である。このように基地局を設置することにより移動する通信機器がスムーズに基地局への切換えを行うことができる。

また、回線が切断してしまう場合を考慮して、情報通信システムにデータのバックアップ機能を有することとした。

3.3.5 その他の機能

(1) 除染性

想定される汚染状況に合わせ、各装置に下記に示す除染性を持たせることとする。

①モニタリング機器モジュール

モニタリング機器モジュールは、走行式放射線モニタおよび運搬台車とは分離可能であるため、事故時に使用するモニタリング機器モジュールは、分離後に拭き取り可能な構造とし、再使用を想定せず、分離後廃却可能とする。

②走行式放射線モニタ

走行式放射線モニタは、ラビリンスシールによる防水構造とし、水吹きかけによる洗浄（除染）を可能とする（水没は不可）が、通常時は人手による拭き取り除染とする。

③運搬台車

走行式放射線モニタは、ラビリンスシールによる防水構造とし、水吹きかけによる洗浄（除染）を可能とする（水没は不可）。台車外部に装着するカメラ等は、分離廃却可能とする。

(2) 使用時間

①通常モニタリング作業時間

走行式放射線モニタが所定の作業エリアで放射線モニタリングを行う場合、作業エリアの最大を10m×10m（100m^2）程度と仮定する。作業エリア内はグローブボックスなどの設備装置、機材があるため、走行式放射線モニタによるモニタリング箇所はかなり限られてくると考えられる。

給電／無線中継ステーションからの全走行距離を 50m 程度と考えると、移動速度 2km/h（0.55m/s）としても、50m÷0.55m/s＝90s 程度で回ることが可能となる。[0.5km/h（約 0.14m/s）の場合は 50m÷0.14m/s＝357s] 所定ポイントでのモニタリング時間を10分とした場合に1時間の測定で9個所程度の測定が可能となる。従って、作業エリア内を 9 点の測定個所に分割し、約 1 時間でのモニタリングを行うことが可能となる。

②緊急モニタリング作業時間

事故時は運搬台車で走行式放射線モニタを運搬する。走行式放射線モニタは事故現場に到着後、すぐにモニタリングを行い、データを収集する。最低 1 回のモニタリングを行い、遠隔、手動もしくはマップ制御により、モニタリングしたい地点に移動させて放射線モニタリングを行う。従って、走行式放射線モニタの稼動時間は通常モニタリング時と同等で十分であり、給電／無線中継ステーションが使用可能ならば、充電を行うことにより、再度放射線モニタリングを行う。

事故現場のモニタリングは早急に行う必要がある。本装置を使用して最大時間を1時間とした場合に、移動速度0.5km/hで約500m移動するものとした。

運搬台車の速度を0.5km/h（約0.14m/s）とした場合に、運搬台車の経路を施設外のゲートから約100mと想定すると、2階の観測エリアに到達するまで280m程度と想定される。0.5km/hの速度（この速度は階段を安定して昇ると想定される速度）で移動すれば、扉通過時間を5分/回としても8個の扉を通過し、最大1時間で、目的地に到着することが可能となる。

さらに、運搬台車の走行速度を4km/h（1.11m/s）とすると平地250mを約250s

（4 分強）で移動できる。階段 30m を 0.5km/h（約 0.14m/s）と考えると、42s で移動できる。さらに扉開閉ツールを使用して、扉通過を 1 分とし 5 扉（施設入り口、廊下入口、階段 1 階入口、階段 2 階入口、作業エリア入口）通過すると 5 分となり、ゲートから作業エリア到着まで 10 分という移動が可能となる。実際には、現場状況は色々変化していると想定されるが、本活動時間は実際の運搬台車を用いて検証していくことが可能であり、事故時に備え調整を行うことにより、ゲートから 10 分で目的地への到達が可能ということが言える。

③バッテリーとの整合性

実際の運転は、走行式放射線モニタ、運搬台車共に、走行効率 80%での高負荷運転と考え、この場合で 1 時間の稼動を十分まかなえる容量を搭載する。

④連続運転

モニタリングは、殆どの場合駆動輪を停止して行うため、連続運転とは、[移動] ＋ [モニタリング] となる。装置の基本電力は、[移動] 時におけるモータ電力消費及び [モニタリング] 時におけるモニタリング機器の電力消費であるが、概して [移動] 時の電力消費が大きいため上記のように検討した。従って、連続運転 1 時間は可能である。

(3) ハンドリング技術

遠隔でアームを操作し引き戸、ドア、自動ドアなどの開閉等が容易に行えるロボットアームを運搬台車に搭載する。

① ハンドリング装置、ドア開閉ツール

標準的な産業用ロボットは使用方法が簡易であり、ライン等への高精度位置決め動作やティーチングプレイバックなどの決められた機能を得意としている。そのためマニピュレータのようにオペレータの指示で任意に動作させる仕様の場合には産業用ロボットアームでは実現が難しい。

簡易的な動作であれば適用可能であるが適用範囲は非常に狭くなり実現するためには特別な改造等を行わなければならない。また、産業用ロボットは定板にしっかり固定させるように設計されており、収納においてもコンパクトに収納される様に配慮されていない場合がある。そのため、走行式移動台車などに市販の産業用ロボットアームを搭載した場合に重心位置が安定しなくなる場合がある。

また、コンパクトに収納できる姿勢が取れない場合が多く、装置の通過寸法の制限に収まらない場合が多い。そのため限られた大きさの移動装置や限られた通過断面積に規定がある場合には特注で製作する必要がある。

現在までに開発されているロボット*12)のアームは、どのアームもコンパクトに収納できる構造となっており収納姿勢においては安定して走行できるように設計されている。

実際に産業用のロボットアームを使用し、アーム先端にカメラを搭載して遠隔によりドアの開閉やスイッチの操作を行った場合に遠近の間隔やつかむタイミング等が非常に困難であり実際に可能であっても多くの時間が必要となる。そのため多くの場合にはマニピュレータ先端を立体カメラにより映写することによりアーム選択の操作を行いやすくしている。

4章の市場調査の結果、上記問題を解決する手段としてドア側に専用のツールを設置する方式*3)や、専用治具をロボットのアームに取り付ける*11)ことによりドア開閉及びドア通過が非常にスムーズに行うことができるツールが開発されていることがわかった。ドア開けツールはドア下面すみに吸盤により取付けが可能である。ドアに取付け後専用のリモコンによりドア開閉操作を行うことでローラがせり出す構造になっておりローラが回転することによりドアが自動で開閉するしくみである。

ドア開け開閉ツールは容易に取付けが可能なためマニピュレータでの遠隔設置操作も容易に行えるしくみとなっている。

また、専用治具をロボットのアームに取り付ける方法は、治具を取り付け遠隔操作により丸ノブを回転させ、手前に引くことでドアを開けることで可能とした。

② 走行時の障害物

災害現場ではコンクリートなどが床面に飛散している場合が多く障害物により容易に走行することができない場合がある。そのような場合、搭載したマニピュレータにより障害物の除去ができれば便利であるが、装置の大きさ等により制限される。

表-3.11*12)に示すように、各種の危険作業ロボットに搭載されているマニピュレータの最大可搬重量は、20kg 程度の能力を有しているものが多く、最大可搬重量が大きくなるほどマニピュレータの大きさも強固であると同時に装置本体も大きくなっている。そのため、マニピュレータの用途に適用した選定が必要であり、目的を明確にすることが重要である。

表-3.11 各種危険作業ロボットの概要

名称	所属	重量 (kg)	全長×全幅 (m)	最大水平速度 (km/h)	動力	遠隔方式	行動半径 (m)	マニュプレータ/伸長時ペイロード	センサ	備考
ANDROS MK.V-A	米 REMOTEC社	320	0.78～1.58 ×0.71	14	バッテリ (車載)	無線又はファイバー	150	各軸手動 6自由度/16kg	カメラ×2～3 マイク、スピーカ	45° 階段昇降可能 シリーズ化、販売実績多
tEOD or MV4	独 Telerob社	360	1.3×0.68	3	バッテリ (車載)	無線	200	7自由度/30kg	立体視カメラ	作業用自動ツールチェンジャーを装備、販売実績多
MF2	独 KfK	3400	3.2×1.55	12	バッテリ (車載)	無線	1000	砲塔旋回式 6自由度/200kg	立体視カメラ、放射線塵、温度、ステレオマイク	指令基地車と搬送コンテナ車とセットの大型システム、耐放射線
危険物処理ロボット	三菱重工業	1150	2.2×1.0	8	ガソリン発電機 (車載)	無線	150	5自由度/30kg	カメラ×3	形状自動適応なじみクリッパ
格納容器内用ロボット	三菱重工業	420	0.5～0.6×0.5	0.6	有線外部供給	光ファイバー 銅線	100	バイラテラル 6自由度/20kg	立体視カメラを5自由度アームに取り付け	45° 階段昇降可能 耐放射線
プラント補修点検ロボット	日立製作所	300		2	バッテリ (車載)	無線	60	6自由度/3kg	広角カメラ	45° 階段昇降可能 ビジョンセンサによる半自立行動
ファイヤーサーチ	東京消防庁	520	2.3×0.72	1.8	有線外部供給	有線	100	バイラテラル 6自由度/20kg	カメラ×2、赤外線サーマル画像、ガス、マイク、スピーカ	車体は独KfKのMF3. 防爆機能
ロボキュー	東京消防庁	3860	4.0×1.74	4	ディーゼル	有線	100	バイラテラル 6自由度/34kg×2	カメラ×4、赤外線サーマル画像、ガス、マイク、スピーカ	倒れている被災者を車内に引き入れ救出
消火ロボット	東京消防庁	1100	1.2×0.72	5	バッテリ (車載)	光ファイバー (水ホースに巻きつけ	50	旋回俯仰式 放水砲:200ℓ/min	カメラ×1、赤外線サーマル画像、ガス、温度、立体視カメラ	耐熱400℃ 30分 35° 階段昇降可能
自走放水砲	大阪市消防局	850	1.6×0.9	8	バッテリ (車載)	無線又はファイバー	100	旋回俯仰式 放水砲:3000ℓ/min	カメラ×1 障害物センサ	2両同時運用可能 30° 坂昇降可能

3.3.6 基本設計による走行式放射線モニタの基本仕様

上記の基本設計から得られた結果より、走行式放射線モニタの基本的な仕様を表-3.12に示す。

表-3.12 走行式放射線モニタの基本仕様

	条 件	仕 様	備 考
本体仕様	外形寸法（mm）	走行式放射線モニタ：412(W)×795(L)×620(H) 運搬台車 ：600(W)×900～1670(L)×620(H)	
	重量	走行式放射線モニタ：40kg （モニタ搭載状況による） 運搬台車 ：300kg （運搬台車単体）	
	耐温度・湿度環境	温度：0℃～60℃、湿度：～90%（相対湿度）	4章参照
	耐放射線環境	1Gy（集積線量）	4章参照
	電源（バッテリー）	走行式放射線モニタ：リチウムイオン電池 約660kVA 運搬台車 ：鉛電池 約4000kVA	
走行仕様	走行方式	無線による遠隔操作	
	駆動方式	走行式放射線モニタ：4車輪方式 運搬台車 ：3クローラ方式（形状可変）	
	走行速度	走行式放射線モニタ ：走行速度 4km/h 運搬台車 ：走行速度 2km/h （平地走行） 0.3km/h （階段昇降）	
	回転半径	最小回転半径 1081mm	
	稼働時間	一時間（給電ステーションにより充電）	
搭載機器	表面汚染測定機器	α線用：防滴形、耐熱性（高温用フォトマル）	4章参照
	線量率測定機器	γ線用 ：防滴形、小型、軽量 中性子線用：赤外線通信、データの自動記録、軽量	4章参照
	制御用ＰＣ	耐熱性、シリコンディスク、RS-232C	4章参照
その他の機能	カメラ	走行式放射線モニタ：周辺映像用 1台 足許用 前後1台 運搬台車 ：進行方向用 前後1台 重心位置用 左右1台	
	情報通信機能	通信方法： PHS回線（又はSS無線）を使用 伝送システム：RS232C（プロトコル変換装置） その他：バックアップ機能	

	除染性	走行式放射線モニタ、運搬台車ともに水洗にて除染できる構造とする。(ただし、測定モジュールは廃棄)	
	ハンドリング装置	ロボットアーム：扉開閉ツール、マニュプレータ (目的に応じて、現在開発されている技術を応用し特注製作することが可能である。)	

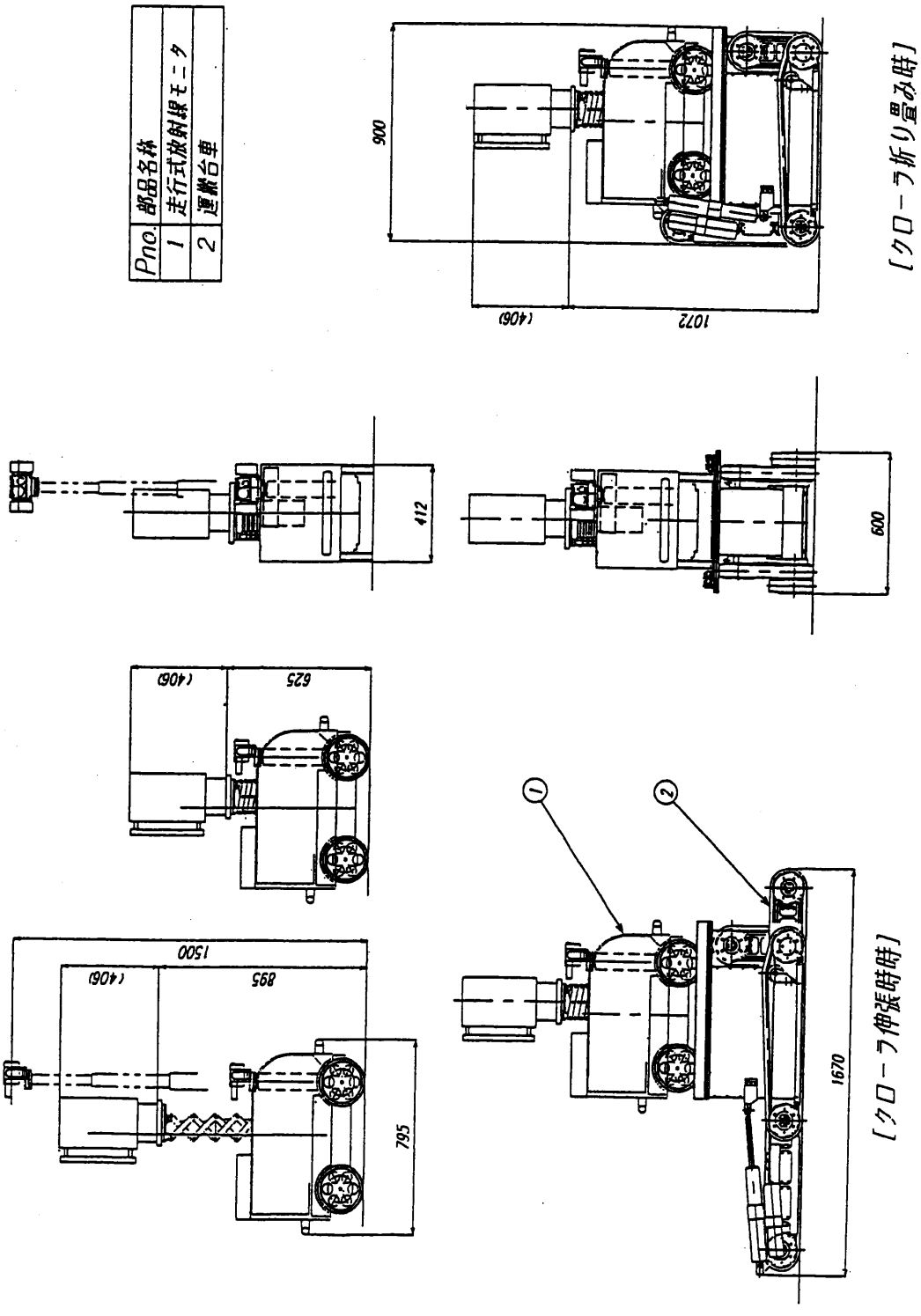
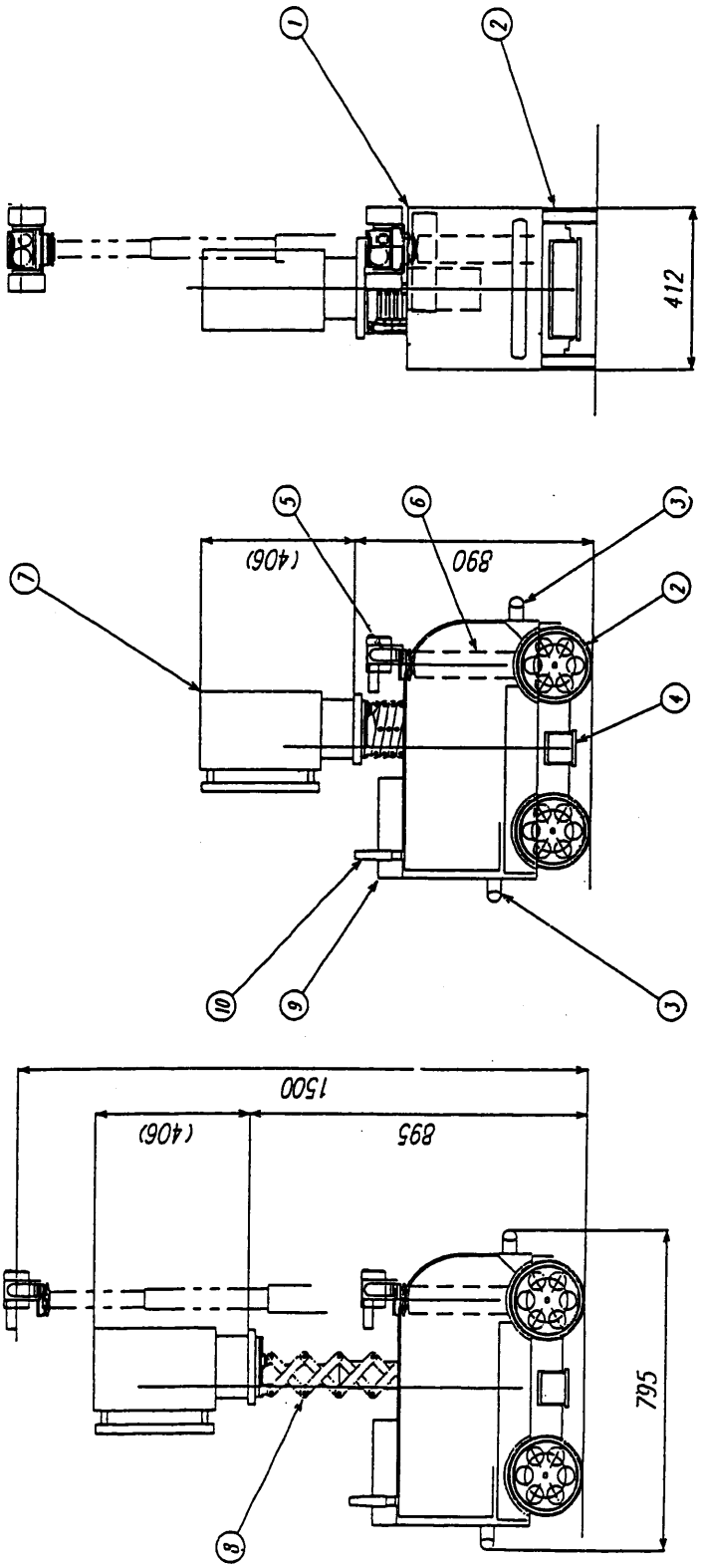


図-3.1　走行式放射線モニタのシステム全体図



Pno.	部品名称	備考
1	走行式放射線モニタ	
2	走行車輪	直径200mm
3	搬送用ハンドル	
4	α線表面汚染測定器	
5	走行用カメラ+照明+雲台	
6	走行用カメラ昇降機構	
7	(中性子線/γ線サーベイメータ)	据付オプション
8	パンタグラフ式昇降台	
9	モジュール式ヒンジ	α線、γ線各計測器並びに積算線量計など
10	無線用アンテナ	

図-3.2　走行式放射線モニタの外観図

Pno.	部品名称	備考
11	3クローラ式運搬台車	
12	主クローラ	
13	前側副クローラ	
14	後側副クローラ	
15	後側副クローラ駆動用アクチュエータ	
16	バッテリー搭載部	
17	コントローラ部	
18	伸長テーブル	
19	無線用アンテナ	

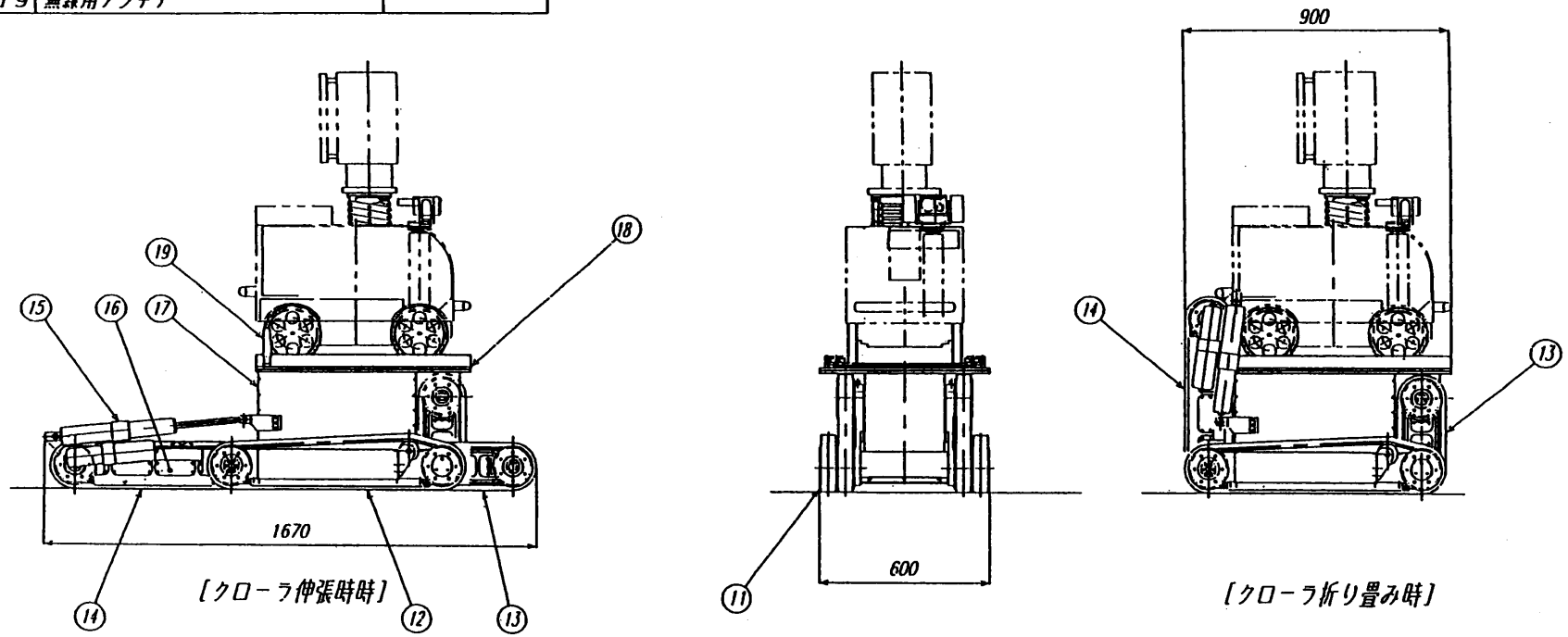


図-3.3　運搬台車外形図

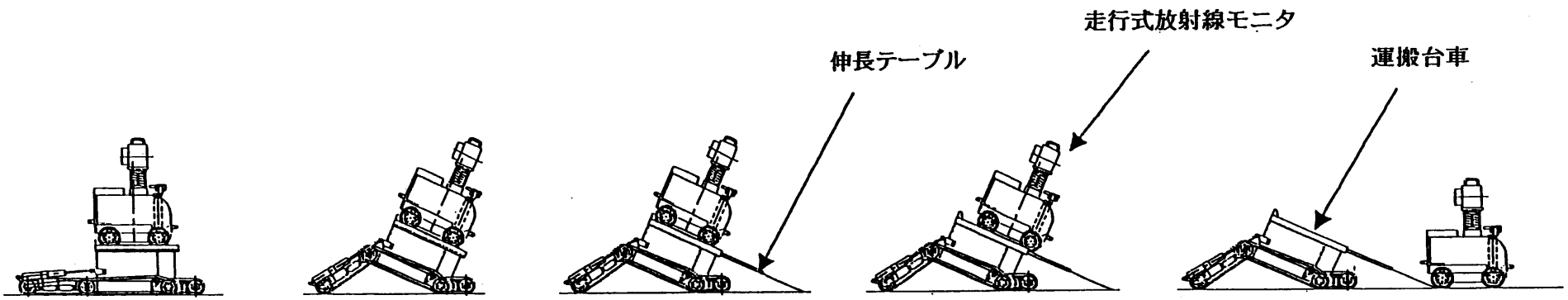


図-3.4　　運搬台車搭載時の状況

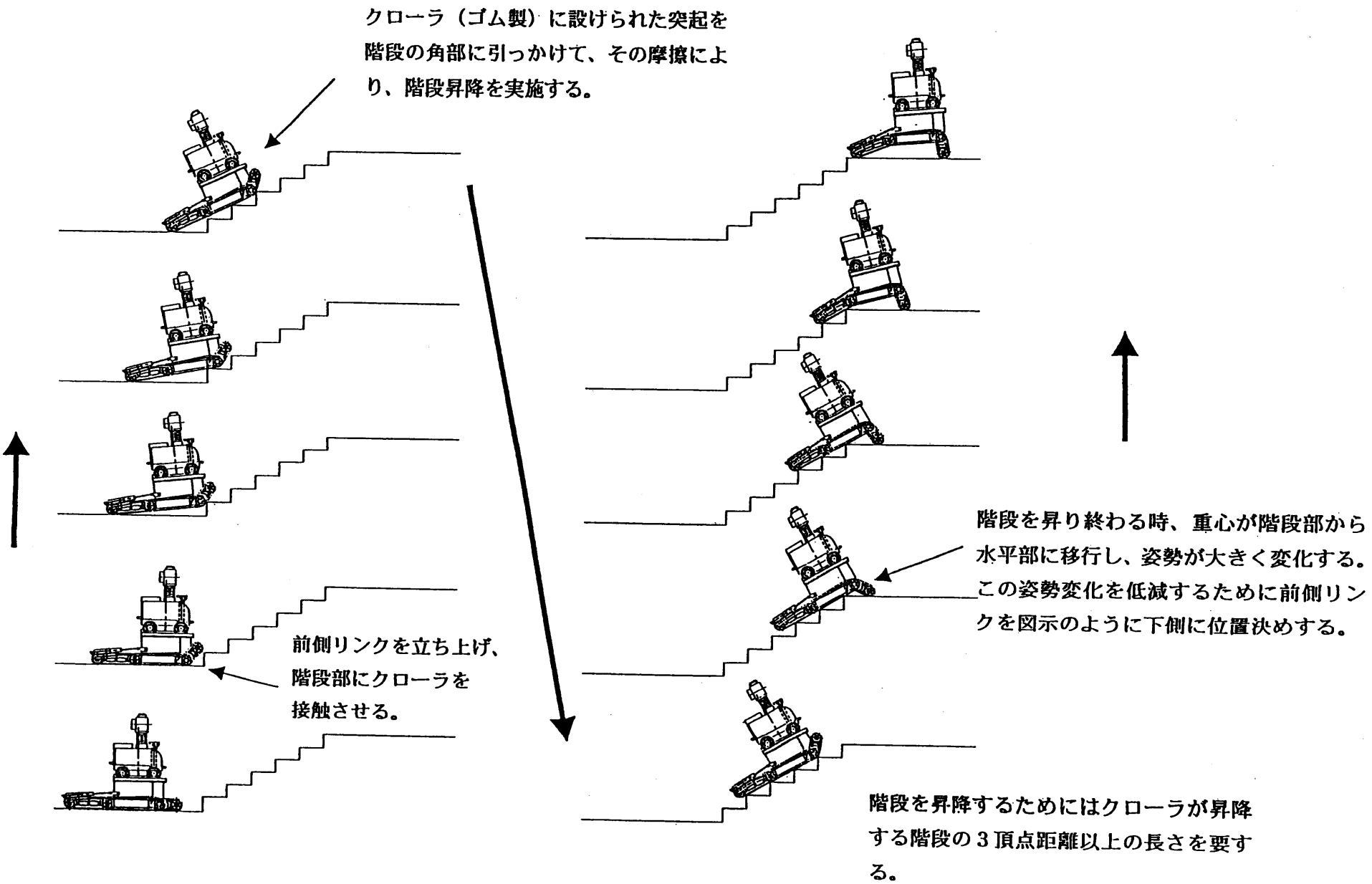


図-3.5　走行式放射線モニタの階段走行想定図

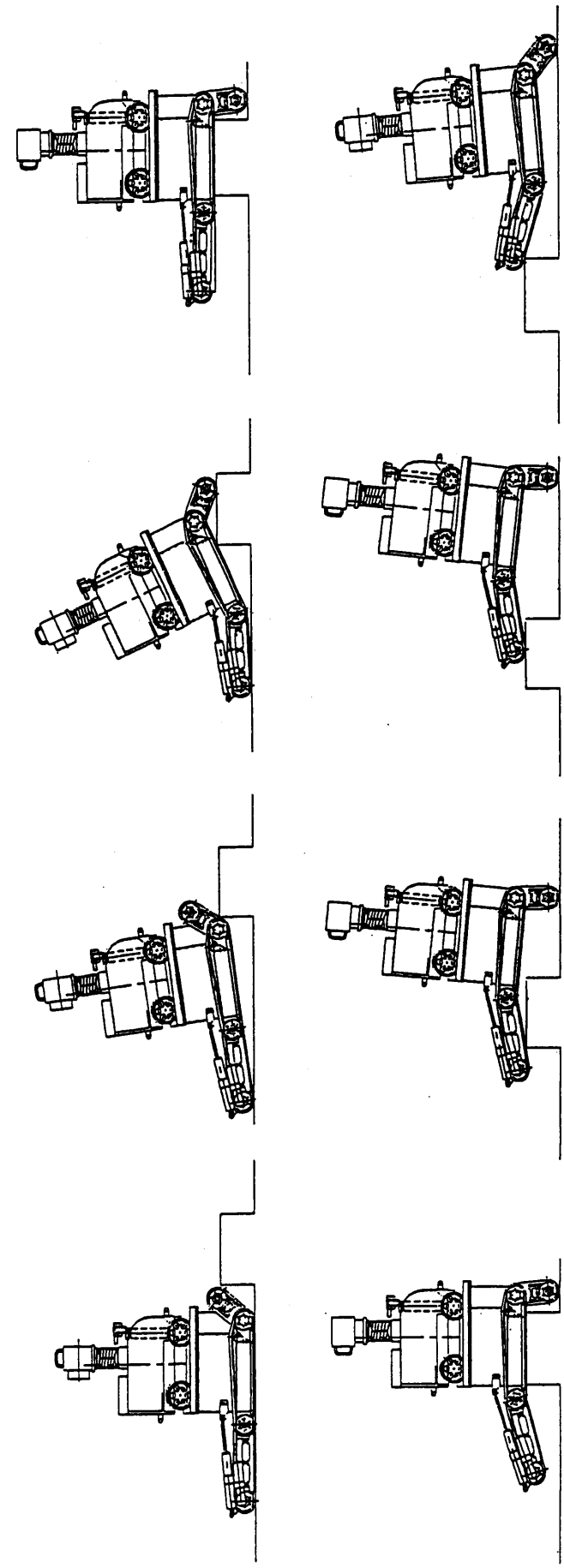


図-3.6　走行式放射線モニタの段差走行想定図

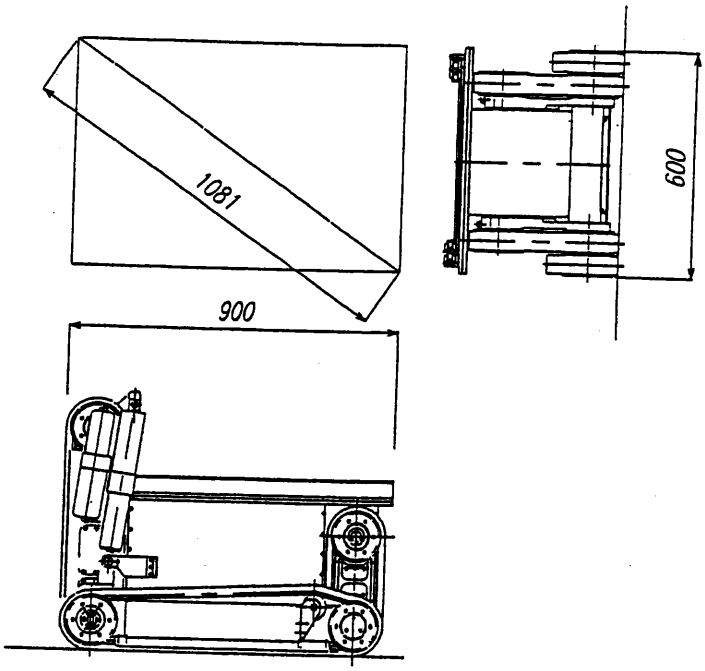
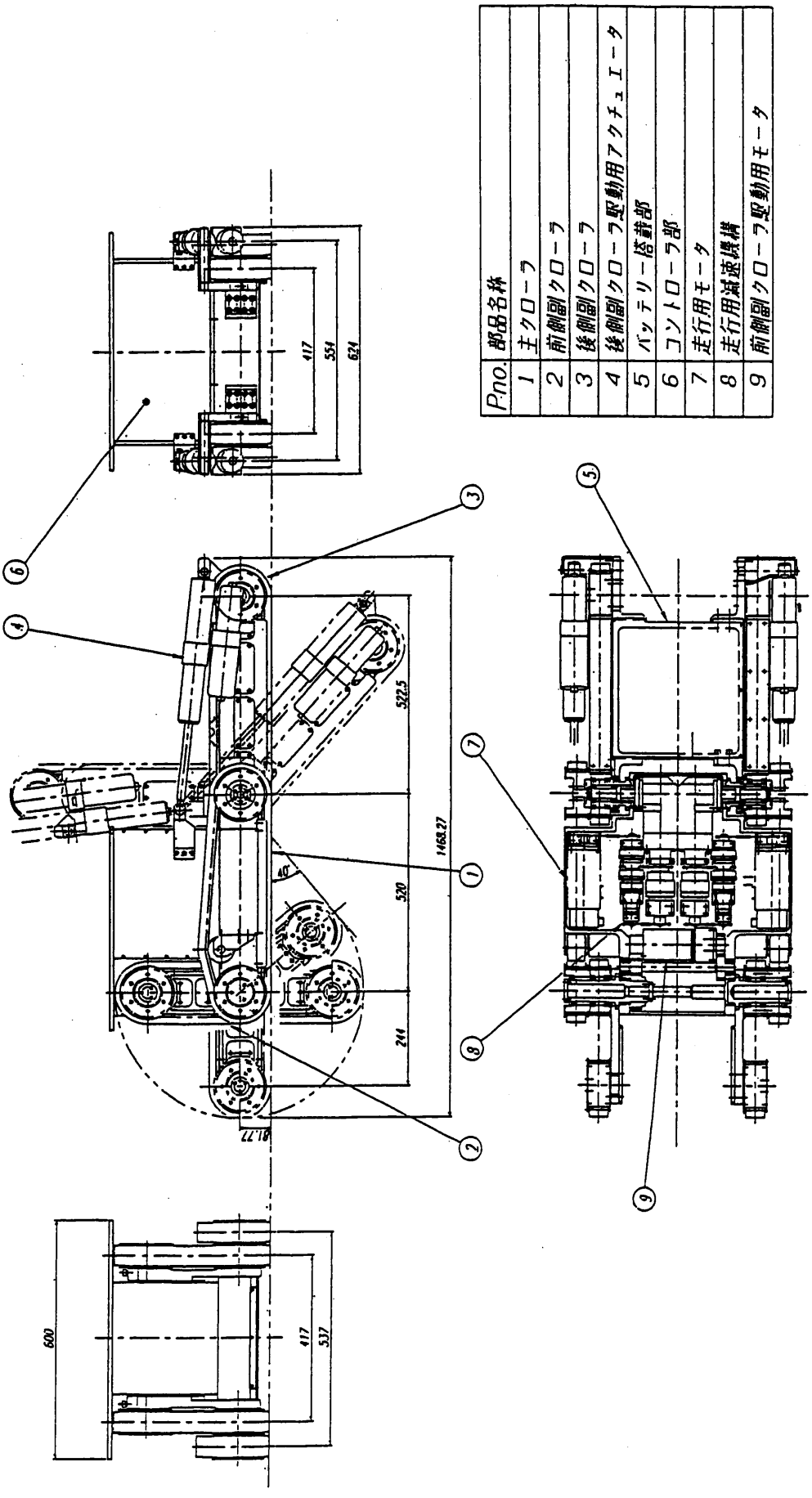


図-3.7　運搬台車の最小回転半径



P.no.	部品名称
1	主クローラ
2	前側副クローラ
3	後側副クローラ
4	後側副クローラ駆動用アクチュエータ
5	バッテリー搭載部
6	コントローラ部
7	走行用モータ
8	走行用減速機構
9	前側副クローラ駆動用モータ

図-3.8　運搬台車の走行駆動部

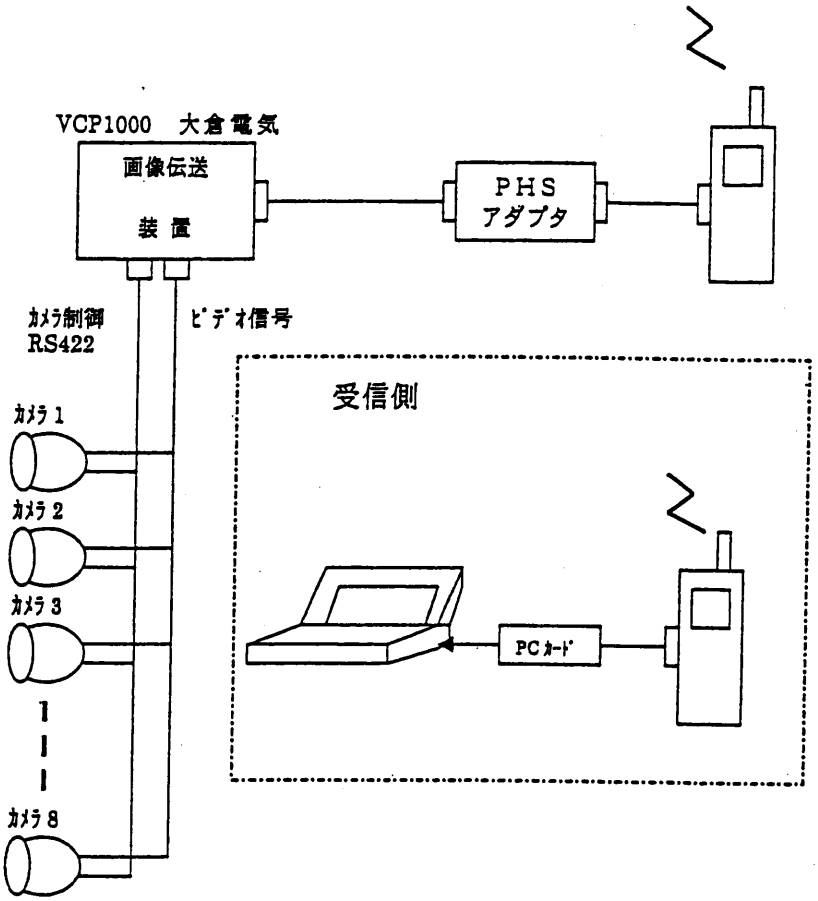


図-3.9　大倉電気社製 VCP1000 画像伝送装置の構成例

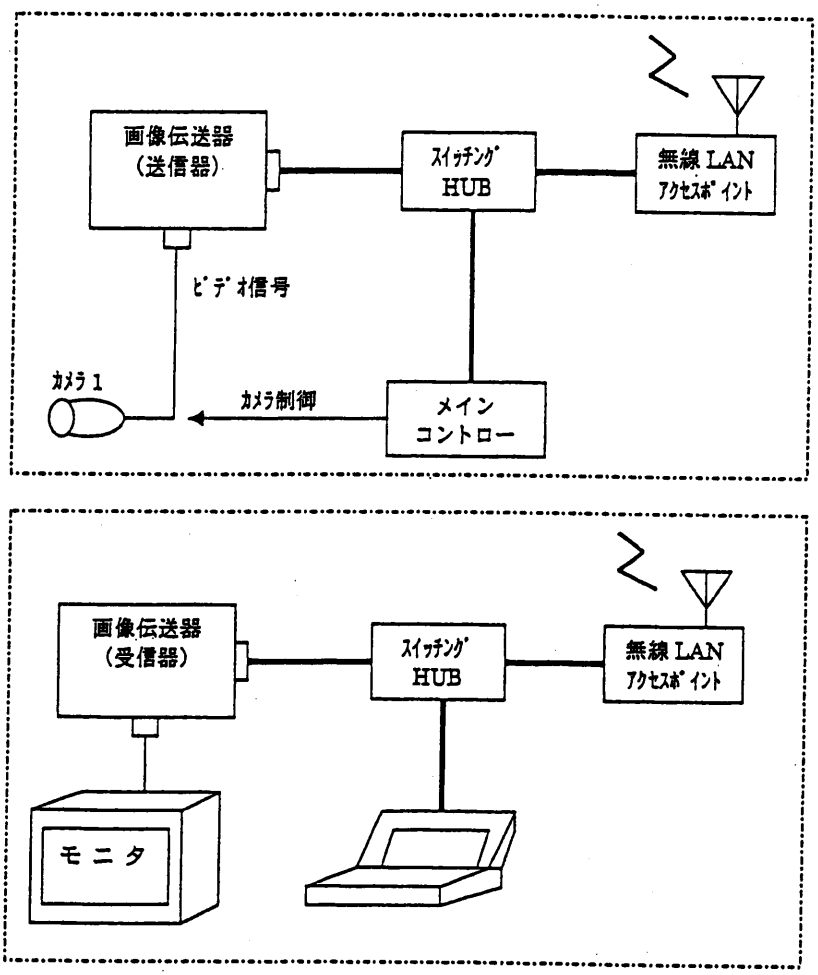


図-3.10　無線 LAN 回線を使用した場合の画像伝送システムの構成

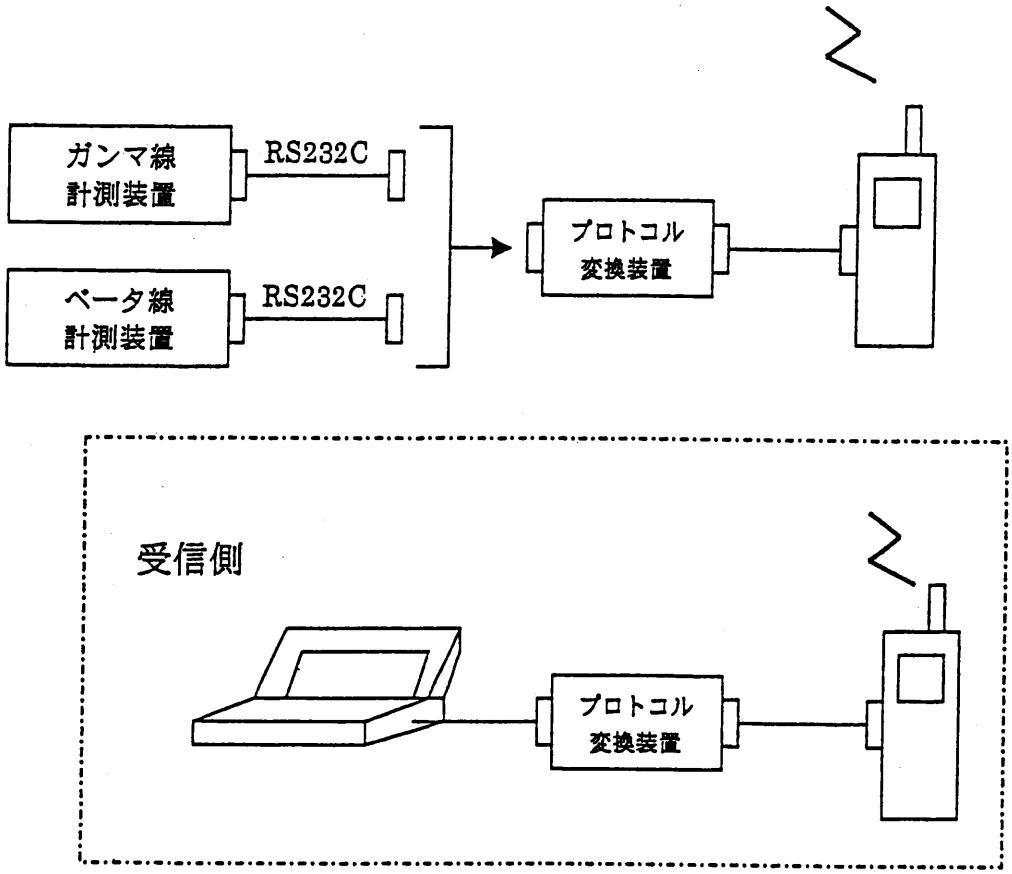


図-3.11　RS232C を用いたデータ伝送システム

4. 走行式放射線モニタ搭載機器の耐久性試験

4.1 耐久性試験の目的

走行式放射線モニタに搭載する放射線測定機器等に関して、事故時を想定した環境条件下における耐久性を確認し、走行式放射線モニタの環境条件に対する耐久性を把握することを目的とする。

4.2 試験規格の調査

(1) 調査内容の検討

試験条件の調査範囲は日本工業規格（JIS）、対象機器としては本試験で使用する放射線モニタリング機器及び環境モニタリング機器とした。

調査の項目は、走行式放射線モニタの目的が、火災・爆発鎮火後及び臨界収束後の放射線状況や作業環境のモニタリングを主目的とすることから、事故時の想定環境として耐熱性・耐湿性、耐エアロゾル（煙）性、耐放射線性とした。

(2) 調査結果

表-4.1に示す日本工業規格（JIS）を調査したが、臨界事故時及び火災鎮火後の環境条件を模擬した試験方法は存在しなかったため、サーベイメータ類の耐熱性・耐湿性試験においては、JIS Z4329の温度特性試験及び湿度試験（表-4.2参照）に準拠した試験を実施することとした。また、耐エアロゾル試験では、JIS D0207を参考に条件を決定した。

表-4.1 調査したJIS規格

No.	条件等	規格番号	名称
1	耐熱性	JIS C0021	環境試験方法（電気・電子）高温（耐熱性）試験方法
2		JIS C0022	環境試験方法（電気・電子）高温高湿（定常）試験方法
3		JIS C0025	環境試験方法（電気・電子）温度変化試験方法
4	耐湿性	JIS C0027	環境試験方法（電気・電子）温度サイクル（12+12時間サイクル）試験方法
5		JIS C0028	環境試験方法（電気・電子）温湿度組み合わせ（サイクル）試験方法
6		JIS C0032	環境試験方法（電気・電子）機器用耐湿性（定常）試験方法
7	耐煙性	JIS C0026	環境試験方法（電気・電子）封止（機密性）試験方法
8		JIS C0098	環境試験方法（電気・電子）砂じん（塵）試験方法
9		JIS D0207	自動車部品の防じん、耐じん試験通則
10	その他	JIS Z4329	放射性表面汚染サーベイメータ
		JIS Z4333	X線及びγ線用サーベイメータ
11		JIS C8704-2	据置鉛蓄電池

表-4.2　JIS Z4329　抜粋

試験	内容
温度特性試験	（規格内容） 周囲温度－5℃、5℃、20℃、35℃及び45℃において、自然計数率及び数え落しの影響が十分無視できる計数率のα線又はβ線を照射して行なう。サーベイメータを動作状態にし、上記の各温度の環境に1ｈ以上放置した後指示値を読む。20℃における指示値を基準とし、その他の上記各温度における指示値から基準値を差し引いた値の基準値に対する百分率を求める。 （許容範囲） 温度　5、20、35℃は±10%以内、－5、45℃は±20%以内を合格とする。
耐湿性試験	（規格内容） 周囲温度35℃で相対湿度65%及び90%について、自然計数率および数え落しの影響が、十分に無視できる計数率のα線又はβ線を照射して行う。サーベイメータを動作状態にし、上記の各相対湿度の環境に1ｈ以上放置した後指示値を読む。65%における指示値を基準とし、90%における指示値から基準値を差し引いた値の基準値に対する百分率を求める。 （許容範囲） ±10%以内を合格とする。

4.3　試験条件

(1)　供試験機器

本試験に使用した、試験機器の主な仕様及び外観写真を表-3.7に示す。

(2)　試験条件及び判定基準

①　耐熱性・耐湿性試験条件及び判定基準

(a)サーベイメータ類、半導体検出器及び制御用PC

サーベイメータ類、半導体検出器の耐熱性・耐湿性試験は、JIS　Z4329に示される温度特性試験及び耐湿性試験に準拠する。

α線用サーベイメータ、半導体検出器、γ線用サーベイメータについては、恒温槽内に標準線源（α線源：^{241}Am、γ線源：^{137}Cs）とともに設置し、耐熱性試験は湿度を一定として温度0℃（20℃）～60℃まで変化させ、各温度で1時間保

持後の計数値又は指示値の変化を記録する（図-4.1 参照）。また、耐湿性試験では温度を 60℃一定として湿度を変化（60%、90%）させ同様に計数値又は指示値の変化を記録する。

耐久性の判定基準は、JIS　Z4329 の温度特性試験に示されている 20℃基準でサーベイメータの計数値又は指示値が±20%以内であることとした。また耐湿性試験では同様に 60℃基準で±10%以内とした。

中性子線用サーベイメータについては、上記同様の温度条件とし、試験前後に機器の校正を実施し校正定数等の変化により耐久性を判定した。

制御用 PC については、恒温槽外に設置した外部制御パソコンからコマンド受信により電源電圧、基盤温度、CPU・ファンの回転数、メモリのコンペアチェックを単位（約 1 秒毎）時間で行い、エラーチェック及び温度変化等を記録することにより制御用 PC の機能が維持されているかを評価した（図-4.2）。

試験状況を図-4.3、制御用 PC の試験状態を図-4.4 に、試験条件を表-4.3 に示す。

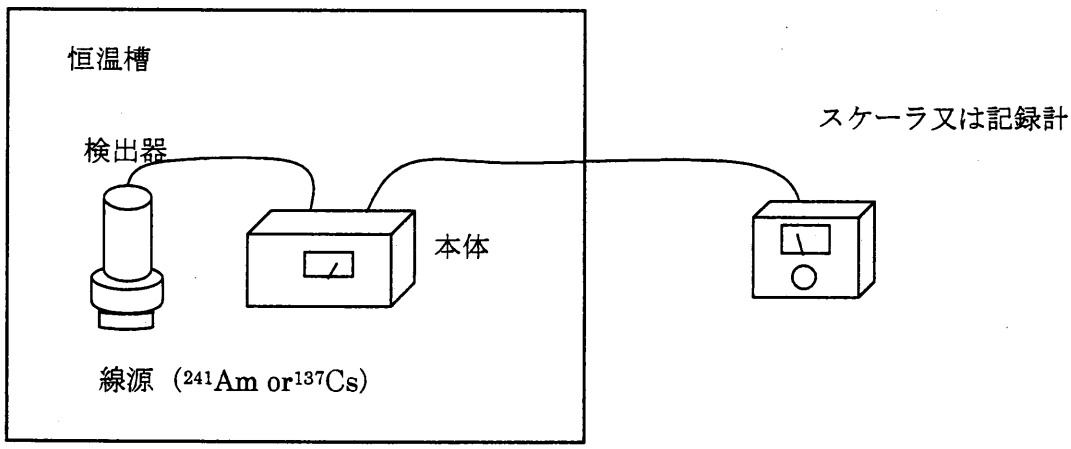


図-4.1　α線用、γ線用サーベイメータ及び半導体検出器試験概略

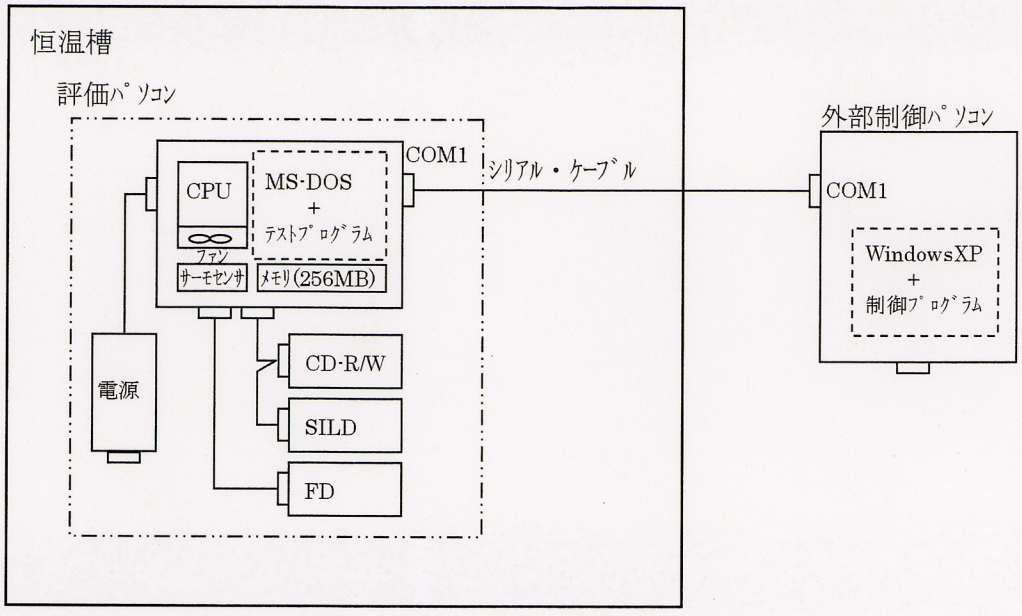


図-4.2　制御用 PC の試験概概要

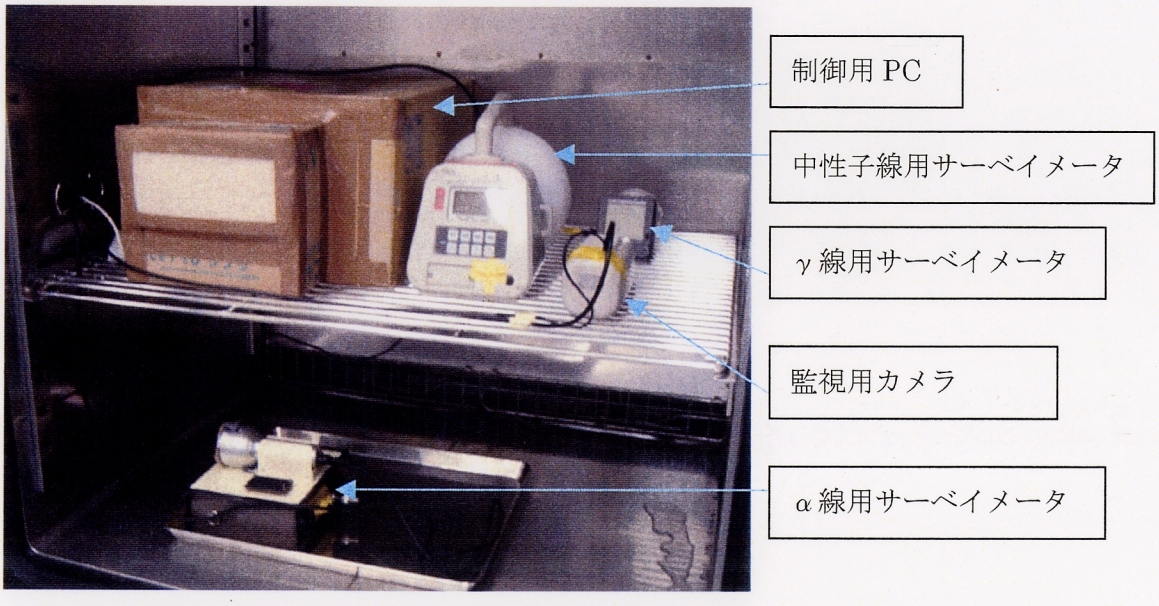


図-4.3　耐熱性・耐湿性試験状況（恒温槽内のセット状況）

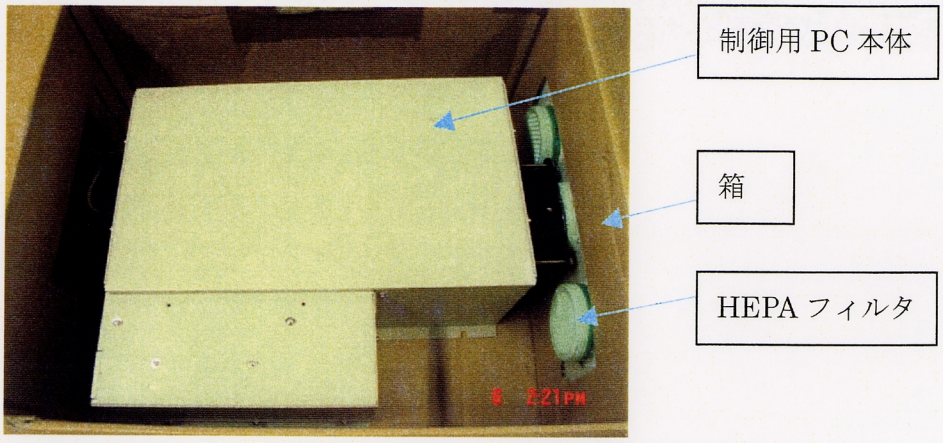


図-4.4　制御用 PC の試験状態の詳細

表-4.3　試験条件（サーベイメータ類及び PC）

耐熱試験		耐湿度試験	
設定温度（℃）	設定湿度（%）*	設定温度（℃）	設定湿度（%）*
(0)	—（注 1）	35	60
20	65		
35		60	60
45			
60		60	90

（注 1）　設定不可　　（*設定湿度は相対湿度）

②その他の搭載機器

カメラ、バッテリーについての温度・湿度の試験条件は、それぞれ 0℃、20℃、60℃とし、各温度で 1 時間保持後にデータを取得した。また、湿度の条件は、温度 60℃一定として、湿度を 40%、90%とした。温度及び湿度条件を表-4.4 に示す。

評価方法は、監視用カメラについては、恒温槽内にカメラを設置し試験中の映像をモニタし、画像に変化がないことを確認することとした。

バッテリーについては、通常時の放電曲線と恒温槽内にバッテリーを設置した試験時の放電曲線を比較することにより、耐熱性・耐湿性を確認することとした。

表-4.4　試験条件（その他の機器）

耐熱試験	
設定温度（℃）	設定湿度（%）*
0	—（注1）
20	40
60	40
	90

（注1）　設定不可　　（*設定湿度は相対湿度）

(2)　耐エアロゾル試験条件及び判定条件

耐エアロゾル試験は、ベントナイトを用いて火災・爆発時のエアロゾルを模擬し、搭載予定機器への影響を試験した。

エアロゾル試験設備は、5W×4D×2.5H［m］の試験室、エアロゾル供給用のホッパー、フィルタ及びブロアから構成される。

試験概要は、ダスト供給用ホッパ内のベントナイトをロータリーフィーダにより定量供給し、ブロワーにてダストルームに供給する。ダストルームに飛散したベントナイトは、ルーム内のフードにより吸引排出し、バグフィルタにより捕集・回収される。

試験設備の構成概要を図-4.5に示す。

また、試験体の設置位置の概要を図-4.6に示す。

以下に試験条件の概要を示す。

・エアロゾルの種類　　：ベントナイト　（中位径　2μm）

・エアロゾル濃度　　：40 g/m³

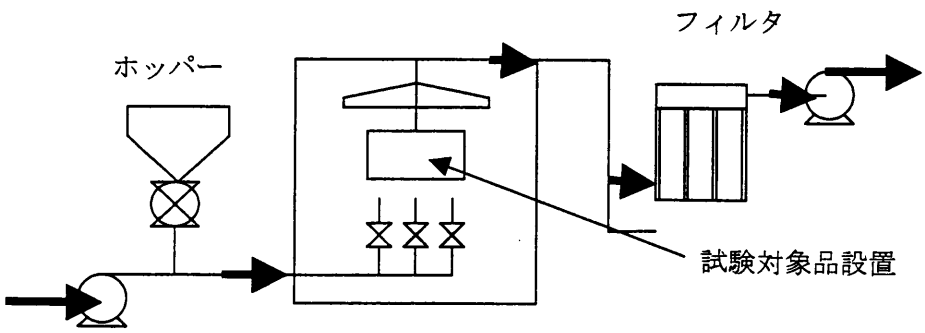
・エアロゾル供給方法　：30秒間の間欠供給（30秒供給→30秒停止→30秒供給・・・）

・試験時間　　：1時間

本試験の判定基準を表-4.5に示す。また、使用したベントナイトの物性値を表-6.6に示す。

表-4.5　耐エアロゾル性試験の判定基準

No.	試験対象品	要　領	判定基準
1	α線用サーベイメータ	試験中に、α線源をあてた状態で 5 分毎に計数値の変化を確認する。	試験中及び試験の前後で計数値に著しい変化が無いこと。
2	γ線用サーベイメータ	試験中に、γ線源をあてた状態で 5 分毎に指示値の変化を確認する。	試験中及び試験の前後で計数値に著しい変化が無いこと。
3	中性子線用サーベイメータ	試験中に、電源 ON の状態で放置し、試験前後で校正値を確認する。	試験前後の校正結果に著しい変化が無いこと。
4	制御用 PC	試験中に、電源電圧、CPU 温度、CPU 冷却用ファン回転数、メモリーチェック、シリコンディスクチェック及び通信チェックを外部制御 PC にて確認する。	電圧、温度、ファン回転数をパラメータとして、メモリチェック、通信チェックを実施し、エラーが無いこと。
5	カメラ	試験中に、映像を VTR に記録し、モニタで目視確認する。	映像に乱れが無いこと。
6	バッテリー	試験中に、電圧をペンレコーダに出力し確認する。	常温での試験と比べ著しい差が無いこと。



ダスト試験室（5W×４D×2.5H［m］）

図-4.5　耐エアロゾル性試験設備の構成概要

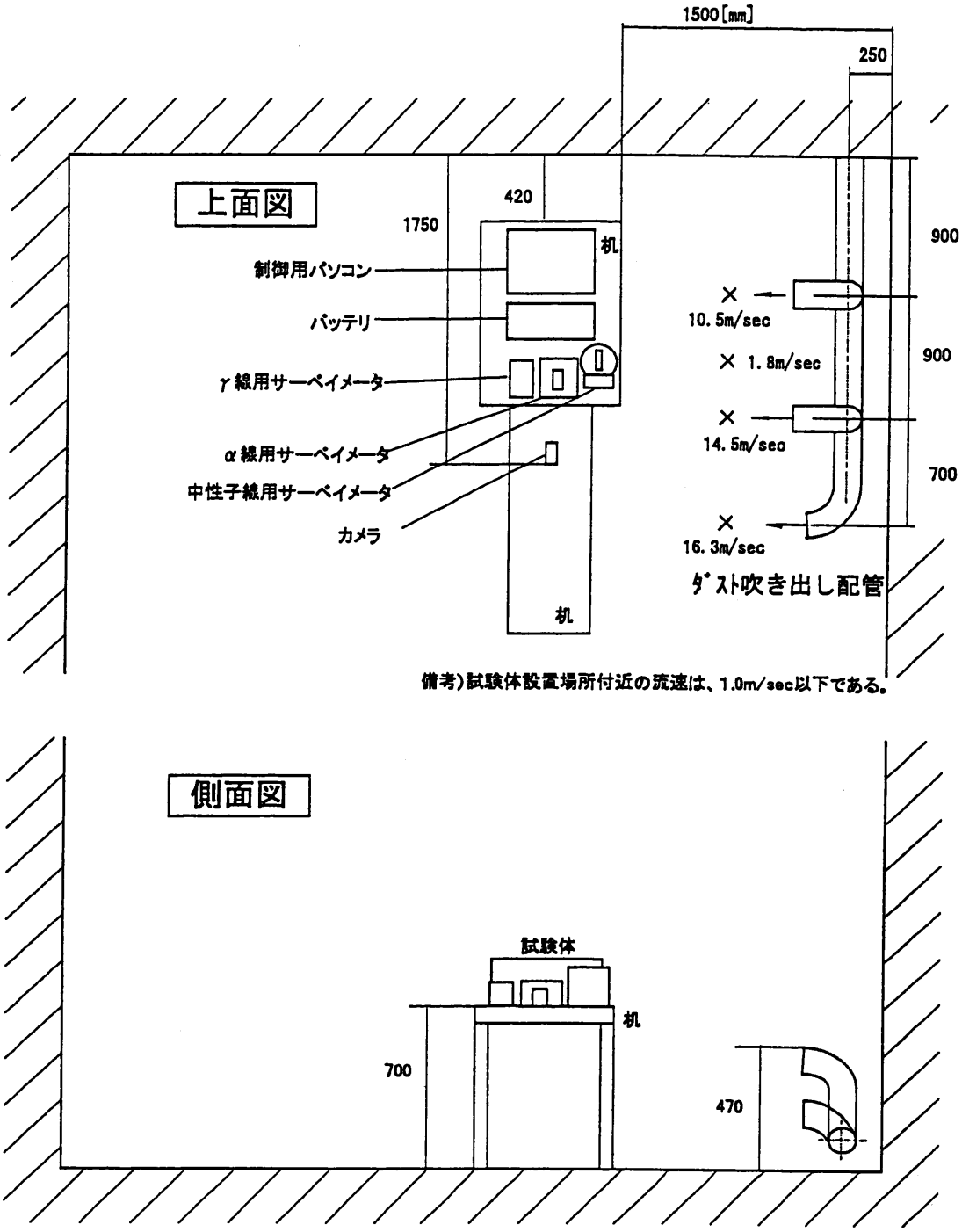


図-4.6　試験機器の設置位置の概要

表-4.6　耐エアロゾル性試験に用いたベントナイトの物性値

銘 柄		スーパーボンド	
製造者		株式会社 ホージュン	
主成分		モンモリロナイト	
構造式		$Al_{5/3}Mg_{1/3}Si_4O_{10}(OH)_2Na_{1/3}\cdot nH_2O$	
化学的特性			
水分		9.8	[%]
融点		1100以上	[℃]
真比重		2.5～2.7	[g/cm^3]
嵩比重		0.705	[g/cm^3]
粒子径			
乾式ふるい下		76.6	[%]
メッシュ／μm		200/74	[μm]
湿式ふるい上		6.1	[%]
メッシュ／μm		350/44	[μm]
粒度分布			
中位径		2以下	[μm]
累積(ふるい下)			
30	[μm]	91.0	[%]
20	[μm]	90.8	[%]
10	[μm]	88.8	[%]
8	[μm]	88.0	[%]
6	[μm]	87.6	[%]
4	[μm]	86.5	[%]
2	[μm]	85.4	[%]

(3) 耐放射線試験条件

①耐放射線試験　(臨界事故時の機器の耐放射線（X線))

走行式放射線モニタは通常時は定常サンプリングモニタとして使用しているため、その定常作業中に近距離で臨界が発生した場合を想定し、高線量の放射線による耐久性も評価しておく必要がある。核燃料物質使用施設において走行式放射線モニタが作動中に臨界事故が起こった場合の機器の想定吸収線量は以下のとおりである。

臨界時総核分裂数		核分裂あたりの放射線量 (at 1m)		距離		遮へい		吸収線量
10^{18} fissions	×	10^{-16}Gy／fiss		×1／10^{2}		×1／10	≒	0.1Gy

金属系のスパイクの臨界であることを想定すると、1 msec 程度の短時間に臨界がおこるため、高線量率の放射線場にさらされることになる。

この、臨界時の状態を再現するには中性子線、γ線の寄与率を計算し、適正な照射線量率になるよう照射することが望ましいが、校正室における照射能力の限界を超えるため、校正室における最大照射線量率で吸収線量が 1 Gy になるまで（遮へい効果0の場合を考慮）X線による照射を行い、機器の耐久性を調べる。校正室のX線発生装置による最大照射線量率は 410.9R/h（約 3.6Gy/h になる）であり、吸収線量が 1Gy になるまで照射するためには、以下のように約 17 分を要する。

410.9R/h × 8.76mGy/R※ × 17／60 ＝1.02Gy≒ 1 Gy

※照射線量一空気カーマ換算係数（出典 ICRU 47 (1992)）(JISZ4333 付表２参照)

② 放射線特性試験（線量率、線種、エネルギーの違いによる特性）

火災鎮火後及び、臨界終息後に走行式モニタによりモニタリングを行うが、設備の放射化や、放射性物質の飛散等により施設内の γ、中性子線量率は上昇していることが考えられる。この時に搭載機器が受ける影響を評価する必要がある。

臨界が発生した場合には、多種の放射性物質及び核分裂生成物（それぞれエネルギー等が異なる）が発生することが想定されるが、一部のサーベイメータでは、測定対象線種以外の放射線により影響を受け、正確な指示値を示さなくなる可能性があるため、詳細な特性試験を行った。

本試験において照射を行った線種・核種及びエネルギーは、以下のとおりである。

- γ線　^{241}Am（59.5kev）：1 mSv/h　^{137}Cs（662kev）：1～100mSv/h
- X線　（平均E 122Kev）：91.2～4110mSv/h
- 中性子線　^{252}Cf（1～2 Mev）：10～700 μSv/h（半導体のみ 8800 μSv/h まで行った）

^{241}Am　（2～4 Mev）：10～200 μ Sv/h

本試験の概略図を図-4.7 に放射線照射試験を行った部屋及び照射台車上の機器設置状況を図-4.8、4.9 に示す。

照射台車上に試験機器を設置し、放射線を照射した。（放射線強度は線源からの台車距離で調整する。）照射時の機器の状態は照射室内の監視カメラにより確認した。指示値等のデータは、照射台車上の接続端子より室外へ出力し、カウンター等を使用して測定した。

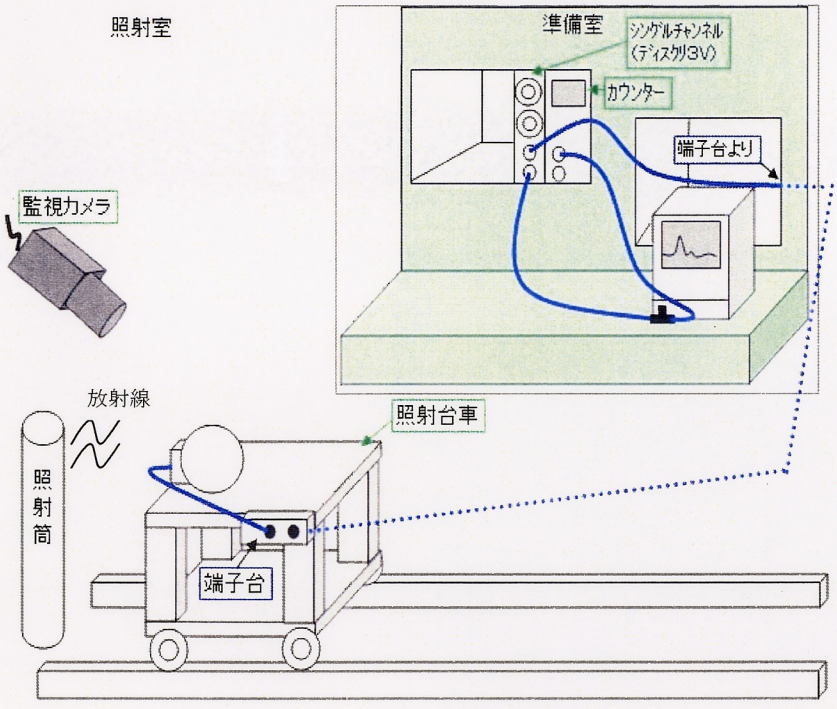


図-4.7　耐放射線試験の概要

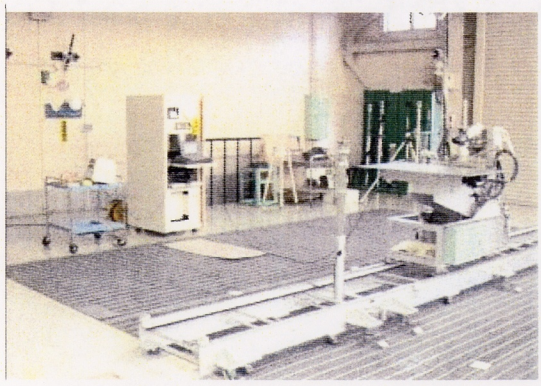


図-4.8　照射試験室の概要

図-4.9 機器設置の状況

4.4 試験結果

4.4.1 耐熱性・耐湿性試験結果

(1) α線用サーベイメータ

α線用サーベイメータの耐熱性試験結果を表-4.7 に、変化率（20℃の計数値又は指示値を基準とした百分率）を図-4.10 に示す。耐湿性試験結果を表-4.8、及び図-4.11 に示す。

また、検出部のみを恒温槽に入れた場合の変化率を表-4.9、図-4.12 に示す。

① 0℃～60℃での耐熱性試験では、20℃、湿度 60%の計数値を基準とする最大の変化率は、0℃の時の-1.69%であった。高温側の 60℃での変化率は、0.20%と小さく、JIS の基準値である±20%を充分満足する結果が得られた（図-4.10)。この結果から、本試験で使用したα線用サーベイメータは、低温側での変化率の方が大きく、高温側（60℃）では変化率は小さいことが確認できた。

また、試験前後の社内点検整備記録においても、計数効率等に著しい変化は無く、熱による劣化はないことがわかった。(別添-1 参照)。

②耐湿性試験では、60℃、60%時の計数値を基準とすると 90%時では変化率は 0.32%であり、JIS の基準値である±10%を充分満足した結果が得られた（図-4.11)。

③検出器のみを恒温槽に入れた場合の耐熱性試験では、0℃～60℃までの変化率は温度による傾向は見られずほぼ一定であった（図-4.12)。サーベイメータ全体を恒温槽に入れて試験を行った場合との比較では、60℃ではそれぞれ変化率が 0.20、0.34 と大差はなく、検出部及び演算部ともに熱的には安定であることが確認できた。

以上のことから、本試験に使用したα線用サーベイメータは、0℃～60℃の範囲で熱的に安定で充分耐久性があることが確認された。

表-4.7 α線用サーベイメータの耐熱性試験結果

温度(℃)	計数値（cpm）					平均値 (cpm)	変化率 (%)	判定基準
0	2809	2907	2933	2942	2916	2901.4	-1.69	±20%以内
20	2905	2926	2929	2989	3007	2951.2	—	
35	2975	2981	2947	2940	2902	2949.0	-0.07	
45	2906	2907	2923	2978	3009	2944.6	-0.22	
60	2996	2957	3046	2881	2859	2957.2	0.20	

(0℃以外は、湿度 60%に設定)

表-4.8　α線用サーベイメータの耐湿性試験結果

外注試験				
温度 (℃)	湿度 (%)	平均計数値 (cpm)	変化率 (%)	判定基準
35	65	2949.0	0.04	±10%以内
60	65	2947.8	—	
60	90	2957.2	0.32	

(変化率は 60℃、65%基準)

表-4.9　α線用サーベイメータ検出部の耐熱性試験

温度(℃)	計数値 (cpm)					平均値 (cpm)	変化率 (%)	判定基準
0	2967	2913	2953	2918	2901	2930.4	0.48	±20%以内
20	2929	2864	2920	2935	2933	2916.2	—	
35	2832	2902	2909	2848	2984	2895.0	-0.73	
45	2903	2963	2853	2947	2915	2916.2	0	
60	2964	2912	3048	2938	2771	2926.2	0.34	

(0℃以外は、湿度 65%に設定)

(2)　半導体検出器

半導体検出器の耐熱試験結果を表-4.10、図-4.13 に示す。

0℃～60℃での耐熱性試験では、20℃、湿度 60%の計数値を基準とする、40℃では変化率-40.7%となり、JIS の基準値の±20%以内を満足できない結果となった。また、60℃では、計数値が一桁となり、ほぼ計数しない結果となった。

この結果より半導体検出器は、事故時（火災・爆発等の温度変化を伴う場合）に走行式放射線モニタに搭載する放射線モニタリング機器としては不適当であると考える。

表-4.10　半導体検出器の耐熱性試験

温度(℃)	計数値 (cpm)					平均値 (cpm)	変化率 (%)	判定基準
20	582	582	575	579	597	583.0	—	±20%以内
35	492	457	502	472	538	492.2	-15.6	
45	349	362	337	343	339	346.0	-40.7	
60	8	4	3	7	5	5.4	-99.1	

(湿度 60%に設定)

(3) γ線用サーベイメータ

γ線用サーベイメータの耐熱性・耐湿性試験結果を表-4.11 に、変化率を図-4.14 に示す。

①γ線用サーベイメータの 0℃～60℃での耐熱性試験では、20℃を基準とした場合の指示値は、45℃程度までは増加する傾向を示したが、それ以上の温度では逆に計数値が減少する傾向が見られた。しかしながら、変化率では、60℃時でも-5.40%であり、JIS 基準値を満足する結果が得られた。

②耐湿性試験では湿度 60%時に比べて、湿度 90%では温度の上昇による計数の上昇は見られず、20℃以上の温度では計数値は減少した。

60℃での変化率は、湿度 60%では-5.4%であったのに比べて、湿度 90%では-9.86%であり、湿度が高いほうが変化率の減少が大きかったが、60℃での比較では、JIS 基準である±10%以内を満足する結果が得られた。

③試験前後の社内点検整備においても、計数効率等に著しい変化は無く、熱による劣化ないことがわかった。(別添-2 参照)。

以上のことから、本試験で使用したγ線用サーベイメータは 60℃程度までは十分な耐熱性・耐湿性を示すことが確認できた。

表-4.11 γ線用サーベイメータの耐熱性試験結果

湿度 (%)	温度 (℃)	指示値 (μSv/h)					平均値 (μSv/h)	変化率 (%)	判定基準
60	0	27.8	26.8	27.8	27.8	26.8	27.4	-1.44	±20% 以内
	20	28.6	27.5	27.5	28.6	26.6	27.8	—	
	35	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	2.16	
	45	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	1.80	
	60	27.1	27.1	26.1	26.1	25.2	26.3	-5.40	
90	20	34.4	33.7	36.1	34.3	34.0	34.5	—	
	35	34.3	34.0	33.9	34.6	34.8	34.3	-0.52	
	45	34.2	33.9	33.0	32.9	34.3	33.7	-2.14	
	60	32.9	31.0	29.4	31.3	30.9	31.1	-9.86	

(4) 中性子線用サーベイメータ

中性子線用サーベイメータの耐熱性・耐湿性試験前後の社内整備点検記録を別添-3 に示す。

本記録の指示精度及び校正定数に著しい差異がないことから、本試験で使用した中性子線用サーベイメータの 0℃～60℃での耐熱性・耐湿性試験での劣化がないことが確認できた。

(5) 制御用 PC

制御用 PC の耐熱性・耐湿性試験では外部制御パソコンからコマンド受信により電源電圧、基盤温度、CPU・ファンの回転数等の数値を連続モニタできたこと、メモリのコンペアチェックを 1 秒毎に行った結果、温度・湿度条件によるエラー表示が無かったことから、制御用 PC の耐熱性・耐湿性上、通信機能に問題がないことを確認した。

一例として制御用 PC の基盤の温度データを図-4.15 に示す。

(6) カメラ

カメラの耐熱性・耐湿性試験では、0℃～60℃まで映像出力を常時モニタしていたが、映像のぶれ・ノイズ等は検出されなかった。

(7) バッテリー

バッテリーの耐熱性・耐湿性試験結果を表-4.12、図-4.16 に示す。

バッテリーの耐熱性・耐湿性試験では、0℃と 60℃の電圧の差は、湿度条件の差はあるものの 0.14V と僅かの変化であった。試験開始前の常温でのデータでは、変化率の平均は、0.1V（表-4.14 参照）であり、このデータと比較してもバッテリーの熱特性上の劣化は確認されなかった。

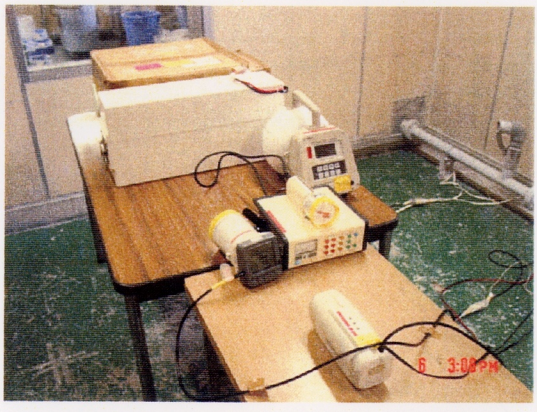
表-4.12　バッテリーの耐熱性・耐湿性試験結果

温度	湿度	バッテリー	備考
[℃]	[%]	[V]	
0	— (設定不可)	24.94	0℃で 1 時間保持後のデータ読み値
		24.93	
		24.93	
		24.93	
		24.93	
20	40	25.02	20℃、40%で 1 時間保持後のデータ読み値
		25.02	
		25.02	
		25.02	
		25.02	
60	90	25.08	60℃、90%で 1 時間保持後のデータ読み値
		25.08	
		25.08	
		25.08	
		25.08	

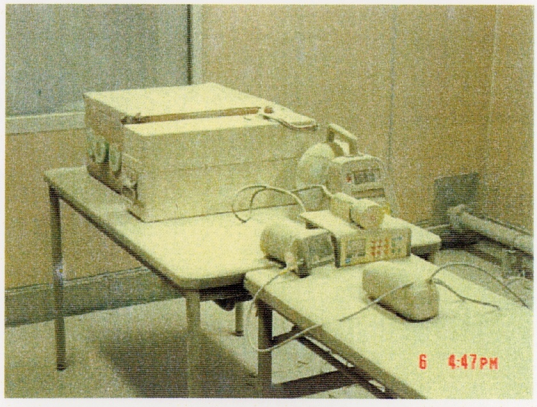
4.4.2　耐エアロゾル性試験結果

試験開始前の機器の設置状況及び試験終了後の試験機器の状況を図-4.17 に示す。

試験結果を表-4.13 に示す。



(試験前：全体)



(試験後：全体)

図-4.17　耐エアロゾル性試験状況

表-4.13　耐エアロゾル性試験結果

経過時間（分）	α線用サーベイメータ(cpm)	γ線用サーベイメータ(μSv/h)*1	バッテリー(V)	備考
0	2573	16.44	25.14	バックグランドの測定（試験開始は5分より）
1	2620	17.70	24.94	
2	2600	17.68	24.86	
3	2611	17.70	24.83	
4	2532	17.08	24.83	
5	2529	17.08	24.85	
10	2603	18.37	24.90	試験開始5分後の計測値
15	2478	17.70	24.91	試験開始10分後の計測値
20	2599	15.86	24.92	試験開始15分後の計測値
25	2654	17.70	24.93	試験開始20分後の計測値
30	2632	17.06	24.93	試験開始25分後の計測値
35	2517	17.06	24.93	試験開始30分後の計測値
40	2626	17.70	24.93	試験開始35分後の計測値
45	2521	17.06	24.93	試験開始40分後の計測値
50	2612	17.06	24.93	試験開始45分後の計測値
55	2572	16.44	24.93	試験開始50分後の計測値
60	2563	19.77	24.93	試験開始55分後の計測値
65	2594	17.06	24.93	試験開始60分後の計測値、試験終了
66	2566	17.06	24.93	試験後のデータ
67	2598	17.06	24.93	
68	2651	17.06	24.93	
69	2511	17.06	24.93	
70	2543	17.70	24.93	

＊1：出力（mV）を（μSv/h）に換算

(1) α線用サーベイメータ

α線用サーベイメータの試験後の状態を図-4.18 に示す。また、計数値の変化を図-4.19 に示す。

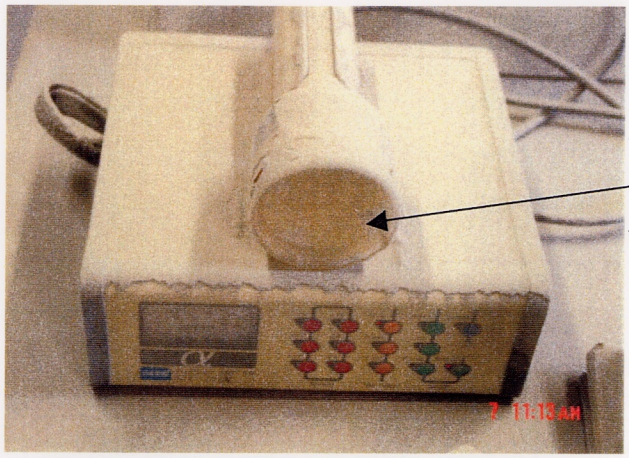


図-4.18　α線用サーベイメータ(試験後)

①α線用サーベイメータの試験開始前の計数値の平均は 2577.5cpm、試験終了後の計数値の平均は2573.8cpm であり、試験の前後での変化は確認されなかった。また、試験中の計数値の変化は計数誤差範囲であった。

②エアロゾル試験前後の社内点検整備記録（別添-4 参照）からは試験前後で著しい変化は見られなかった。

以上のことから耐エアロゾル性試験では試験に使用したα線用サーベイメータへの影響は確認されなかった。

(2) γ線用サーベイメータ

γ線用サーベイメータの試験後の状態を図-4.20 に示す。また、指示値の変化を図-4.21 に示す。

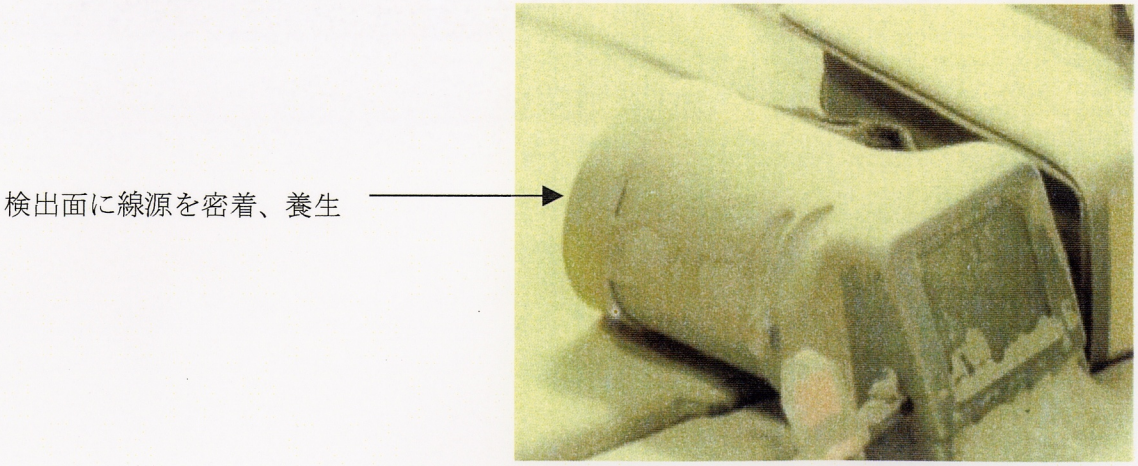


図-4.20　γ線用サーベイメータ(試験後)

①γ線用サーベイメータの試験開始前の指示値の平均は 17.27μSv/h、試験終了後の計数値の平均は 17.18μSv/h であり、試験の前後での変化は確認されなかった。また、試験中の計数値の変化は、試験前後のバックグランドの変動幅よりも大きいが、これらは、試験に検出面に付着したエアロゾル（ベントナイト）による遮へい効果によるものと考えられる。

②エアロゾル試験前後の社内点検整備記録（別添-5 参照）からも試験前後で著しい変化は見られなかった。

以上からγ線用サーベイメータに対して、エアロゾルによる影響は確認されなかった。

(3) 中性子線用サーベイメータ

中性子線用サーベイメータの試験後の状態を図-4.22 に示す。

エアロゾル試験前後の社内点検整備記録（別添-6 参照）からは試験前後で著しい変化は見られなかった。

この結果より、耐エアロゾル性試験では、試験に使用した中性子線用サーベイメータへの影響は確認されなかった。

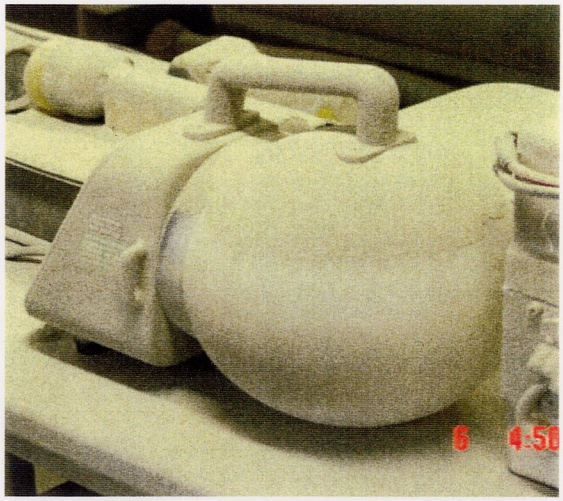


図-4.22 中性子線用サーベイメータ（試験後）

(4) 制御用 PC

制御用 PC の試験後の状態（箱内に収納）を図-4.23 に、耐エアロゾル性試験結果の一例として、試験中の制御用 PC の基盤温度を図-4.24 示す。

エアロゾル試験時の電源電圧（I/O）、基盤温度ともに数値をモニタでき、数値等の欠損が無かったこと、メモリのコンペアチェックを 1 秒毎に行ったが、エラー表示は無かったことなどから、エアロゾル試験での通信機能に問題がないことを確認した。

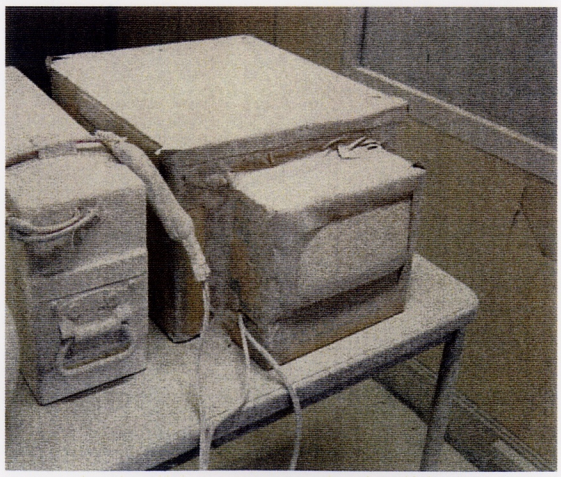


図-4.23 制御用 PC（試験後）

(5) バッテリー

バッテリーの試験後の状態を図-4.25に示す。また、試験前のバッテリーの放電状況を表-4.14に、試験中の電圧指示値の変化を図-4.26に示す。

試験前のバッテリーの放電状況は、8時間の自然放電試験を前半、中半、後半としてデータを取得した結果、表-4.14に示すように変化率は平均で-0.1V/hとなった。

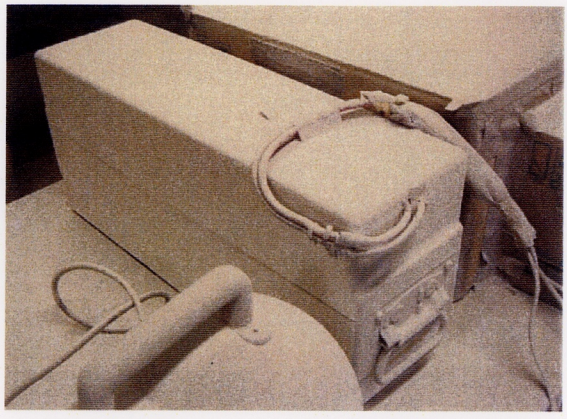


図-4.25 バッテリー（試験後）

試験開始前のバックグランドの電圧指示値の平均は24.91V、試験中及び試験終了後は24.93Vと試験の前後で安定していたことから耐エアロゾル性試験での影響は確認されなかった。

また、図-4.26で試験開始時の電圧指示値が低下している原因は、機器を接続した直後からデータ取得を開始したために電圧が安定していなかったことが考えられる。

表-4.14 試験前のバッテリーの放電状況

		開始[V]	終了[V]	変化率[V/h]	変化率の平均値
試験前データ	前半（2時間）	25.13	24.75	-0.19	-0.1V/h
	中半（3時間）	24.75	24.55	-0.07	
	後半（3時間）	24.55	24.39	-0.05	

(6) カメラ

カメラの試験後の状態を図-4.27に示す。カメラについては、試験中に映像を確認したが、映像等に異常は生じなかったことから、エアロゾルによる影響は無いものと考えられる。

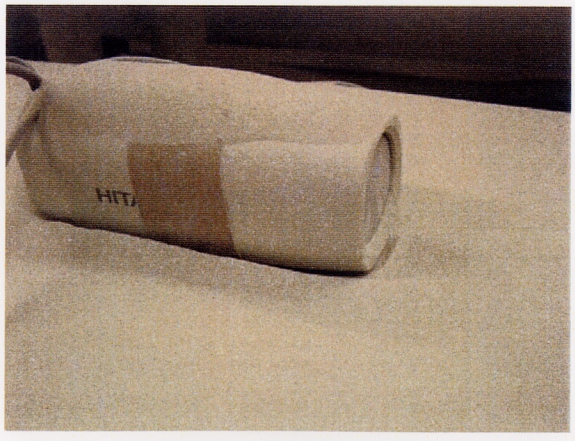


図-4.27 カメラ（試験後）

4.4.3　耐放射線試験・放射能特性試験結果

(1) α線用サーベイメータ

α線用サーベイメータの耐放射線試験結果を表-4.15～20、図-4.28～31に示す。

①　耐放射線試験結果（X線）

照射中の様子：照射開始後一瞬計数したものの、その後すぐにほとんど計数しなくなった。(1～3cpm程度）本体指示部の針も照射直後は振り切れたものの、その後低下し、0cpmを表示した。計数値の異常上昇による窒息現象が起こったものと考えられるが、詳細な原因は今後調査する必要がある。

試験後健全性確認：　試験後に線源により健全性をチェックしたところ、試験前と変わらないデータが得られた。(試験前後の線源計数率及びバックグランド指示値に変動がなく、線源測定時のアンプアウトの波形にも変化が見られなかった。）このことから、耐放射線試験による機器の損傷はなかったものと考えられる。

表-4.15　α線用サーベイメータの試験前後の健全性確認

	指示値
試験前	2500cpm
試験後	2500cpm

②　放射能特性試験結果

a．X線特性試験

照射時の計数は波形解析から、ノイズによる影響が大きいことがわかった。この影響を減らすには、サーベイメータのディスクリレベルを引き上げる等の対策が有効であると考えられる。本試験では91.2μSv/hから線量率を上昇させたところ、計数が下がる傾向が見られたが、912mSv/hから4110mSv/hへ線量率を上昇させたところ、計数しなくなった。計数値の上昇による窒息現象であると思われる。

b．γ線特性試験（^{137}Cs、^{241}Am）

^{137}Csγ線による照射では、30mSv/h程度までの計数率に大きな上昇はなく、この線量率までは、正しい評価が行えると言える。ただし、^{241}Amγ線の照射時では、1 mSv/hですでに計数値が高いことから、エネルギー特性によるものと考えられる。

c．中性子特性試験（Am-Be、Cf）

Am-Beでは10μSv/h、Cfでは50μSv/hから計数値が上昇していることからサーベイメータ指示値に影響があることがわかった。中性子環境での使用を考え

る場合、中性子線サーベイメータ測定値との関係から計数値を補正するか又はα線用サーベイメータの使用電圧を変更するなどの処置が必要であると考えられる。(^{241}Am 線源測定時の波形パターンと中性子線(Am-Be)照射時の波形パターンを比較すると、ほぼ一致することから、サーベイメータのディスクリレベルを変更することにより計数を減らすことは難しいと考えられる。)

計数値への影響　　Am-Be　＞　Cf

表-4.16　α線用サーベイメータのX線特性試験結果

光子線量等量 H_X（mSv/h）	測定値（cpm）
0	0.66
91.2（管電流　1mA）	216063
912（管電流　10mA）	107117
4110（管電流　15mA）	108※

※照射直後一瞬　108cpm までカウントしたものの、その後計数しなくなった。本体指示部の針も照射直後は振り切れたものの、その後低下し、0CPM を表示した。以後ほとんど計数がなくなった。

表-4.17　α線用サーベイメータのγ線（^{137}Cs）特性試験結果

照射線量率（mSv/h）	測定値（cpm）
0	0.73
0.5	1.3
1	0.3
10	0.9
25	1
35	6
50	16.5
100	332.5

表-4.18　α線用サーベイメータのγ線（^{241}Am）特性試験結果

照射線量率（mSv/h）	測定値（cpm）
0	0.73
1	3.4

表-4.19　α線用サーベイメータの中性子線（^{241}Am-Be）特性試験結果

線量等量率（μSv/h）	測定値（cpm）
0	0.73
10	13.5
50	51.5
100	112
200	209

表-4.20　α線用サーベイメータの中性子線（^{252}Cf）特性試験結果

照射線量率（mSv/h）	測定値（cpm）
0	0.73
50	39.57
100	74.27
300	194.27
500	280.27
700	424.27

（2）　γ線用サーベイメータ

γ線用サーベイメータの耐放射線試験結果を表-4.21～23　図-4.32に示す。

①　耐放射線試験結果

照射中の様子：　本サーベイメータの測定限界は10mSv/hであるため本体指示部は照射中は常にオーバースケール表示であった。その他の変化は確認されなかった。

試験後健全性確認：　試験前後に500μSv/hのCsγ線照射を行い、サーベイメータ本体での指示を読み取り確認したところ、ほとんど差が見られなかった。よって耐放射線試験による機器の損傷はなかったものと考えられる。

表-4.21　γ線用サーベイメータの試験前後の健全性確認

	指示値	指示誤差
試験前	510μSv/h前後	-
試験後	505μSv/h前後	-1.00%

② 放射線特性試験結果

a. X線特性試験

実施せず。(本サーベイメータの測定範囲の上限は10mSv/hであり、実施しなかった。)(X線照射条件がそれを上回ること(91.2mSv/h)から)

b. 中性子線特性試験(Am-Be、Cf)

中性子照射結果より、Am-Beでは10μSv/h、Cfでは50μSv/hから計数値が、あきらかに高くなっていることからサーベイメータ指示値に影響があることがわかった。　　影響:Am-Be　>　Cf

表-4.22　γ線用サーベイメータの中性子線(^{241}Am-Be)特性試験結果

照射線量率(μSv/h)	本体指示値(μSv/h)
0	0～0.5
10	1.4～1.7
50	8～9.4
100	15～18
200	28～32

(本体表示部での指示値)

表-4.23　γ線用サーベイメータの中性子線(^{252}Cf)特性試験結果

照射線量率(μSv/h)	本体指示値(μSv/h)
0	0～0.5
50	3～5
100	7～9
300	23～25
500	35～45
700	50～60

(本体表示部での指示値)

(3)　中性子線用サーベイメータ

中性子線用サーベイメータの耐放射線試験結果を表-4.24、25、図-4.33、34に示す。

① 耐放射線試験結果

照射中の様子:　照射中 1.5mSv/h程度の指示を示していたが、その他指示部、外観ともに異常な変化は見られなかった。

試験後健全性確認:　試験前後の校正定数を確認したところ、ほとんど差が見られなかった。よって耐放射線試験による機器の損傷はなかったものと考えられる。

② 放射線特性試験結果

a. X線特性試験

照射結果より、100mSv/hから計数値が高くなっていることからサーベイメータ指示値に影響があることがわかった。

X線照射時の計数値への影響　＞　Cs照射時の計数値への影響

b. γ線特性試験　(^{137}Cs)

照射結果より、100mSv/hから計数値が上昇していることからサーベイメータ指示値に影響があることがわかった。

X線照射時の計数値への影響　＞　Cs照射時の計数値への影響

表-4.24　中性子線用サーベイメータのX線特性試験結果

光子線量等量H_X（mSv/h）	本体指示値（μSv/h）	計数値（cpm）
0	0.009	0.86
91.2（管電流　1mA）	3.1～5.5	2086.5
456（管電流　5mA）	470～500	2743
912（管電流　10mA）	1000	13000
4110（管電流　15mA）	1500	17500

表-4.25　中性子線用サーベイメータのγ線（^{137}Cs）特性試験結果

照射線量率（mSv/h）	本体指示値（μSv/h）	計数値（cpm）
0	0.009	0.86
10	-	1.4
50	-	1.2
100	-	2.6

100mSv/h照射の時若干指示が上昇した。

（4）　半導体検出器

半導体検出器の耐放射線試験結果を表-4.26～29、　図-4.35、36に示す。

照射中の様子：　照射中信号波形を観察したところ、ノイズレベルが上昇し、計数値が大幅に増加したが、その他指示部、外観ともに異常な変化は見られなかった。

試験後健全性確認：　試験前後に効率及びＢＧ値を確認したところ、ほとんど差が見られなかった。よって耐放射線試験による機器の損傷はなかったものと考えられる。

表-4.26　半導体検出器の試験前後の健全性確認

	効率（%）	試験前後の効率差
試験前	19.17	−
試験後	19.39	0.22%

② 耐放射線試験試験結果

a. X線特性試験：

照射結果より、456mSv/h程度の線量率までは計数値への影響は見られなかった。しかし、X線照射中の信号波形を観察したところ、線量上昇とともにノイズレベルも上昇し、912～4110mSv/hの間では計数値も大幅に増加した。

b. γ線特性試験（^{137}Cs）

100mSv/h照射時でも、γ線による影響は見られなかった。

c. 中性子線特性試験（^{252}Cf）

3mSv/h程度の線量から、指示値が大きく上昇することが確認できた。

表-4.27　半導体検出器のX線特性試験結果

光子線量等量 H_X（mSv/h）	平均値（cpm）
0	0
91.2（管電流　1mA）	0.5
456（管電流　5mA）	0.5
912（管電流　10mA）	1
4110（管電流　15mA）	202578

表-4.28　半導体検出器のγ線（^{137}Cs）特性試験結果

照射線量率（mSv/h）	計数値（cpm）
0	1.6
100	1.3

表-4.29　半導体検出器の中性子線（^{252}Cf）特性試験結果

照射線量率（mSv/h）	計数値（cpm）
0	0
0．5	0
0．7	0.2
1	0.6
3	2.8
7	6.4
8．8	7.6

（5）　カメラ

照射中の様子：　照射中は映像に極わずかなノイズが確認されたが、監視の妨げになるような状態ではなかった。

試験後健全性確認：照射中の映像ノイズは、照射終了時に消えることから、一過性の現象であると考えられる。その他、指示部、外観ともに異常な変化は見られなかったことから、耐放射線試験による機器の損傷はなかったものと考えられる。

（6）　試験用 PC

照射中の様子：　照射中は、指示部、外観ともに異常な変化は見られなかった

試験後健全性確認：照射中のデータ（リードライト・温度・ファン回転数）に全て変動ないことから、耐放射線試験による機器の損傷はなかったものと考えられる。

耐放射線性電子部品の研究は、宇宙用機器の開発分野で実施されているが、当機構においても、半導体部品の放射線劣化を防止するための安全研究を実施しており*13)、ハイブリッド化された IC について 10^5Sv（10^7R）までの耐放射線性 PC の基本設計、モデル設計を実施している。

（7）　バッテリー

バッテリーの耐放射線性については事前に行った文献調査により、今回の放射線耐久性試験を上回る吸収線量を受けても正常に動作する事が確認されていたため*10)、耐放射線試験試験を実施しなかった。

5. まとめ

本研究開発では、事故現場を想定した走行式放射線モニタの基本設計を行うとともに、当該モニタに搭載する放射線モニタリング機器等の耐久性を確認した。

(1) 基本設計

走行式放射線モニタの以下の項目における基本設計を実施した。

①走行式放射線モニタの走行台車の高度化

②情報伝送システムの開発

また、ハンドリング装置の開発については、市場調査を実施した。

走行式放射線モニタの基本設計では、基本性能として小型・軽量化を念頭に本体と運搬台車を組み合わせることで、施設内での平面走行、不整地面走行、階段昇降、扉の開閉が可能な設計とした。操作方式は、搭載したカメラによりPHS回線又はSS無線を用いた遠隔操作とした。また、現場の災害状況をモニタリングできる機能として、計測機器（α線計測、γ線計測、中性子線計測を中心とした放射線計測機器）をモジュール化して搭載する設計とした。

ハンドリング装置の開発に関しては、関連技術・機器等の市場調査を実施した結果、すでに開発されており、その機能も実証済みであることから、これらの技術を利用することで使用可能であると考えられる。

(2) 耐久性試験

走行式放射線モニタに搭載する放射線モニタリング機器及び環境モニタリング機器の耐久性試験では、以下のことを確認した。

①耐湿度試験で、0℃～60℃の範囲では、半導体検出器は40℃以上で性能が低下したが、他の機器については60℃までは性能が担保されることを確認した。

②エアロゾル試験では、本試験条件下では、放射線モニタリング機器及び環境モニタリングとも性能の低下は見られなかった。

③耐放射線試験は、1Gy のX線照射の耐久試験及び中性子線、X 線、γ線による特性試験を行い、条件により計測機器に影響があるものの、本来の目的である作業者の被ばく防護計画のための放射線情報収集には十分な範囲で耐久性を有することを確認した。

以上の結果より、事故現場の状況に対応できる走行式放射線モニタ機能の製作が可能であること、モニタリング機能が現場条件下で機種を選定することで走行式放射線モニタに搭載することが可能であることが確認できた。

6. おわりに

安全研究年次計画に基づく「走行式放射線モニタの高度化に関する研究」の総括として、本研究の実施計画（表-2.3 参照）に基づく成果を表-6.1 に示す。

走行式放射線モニタの基本機能である不整地面走行可能な走行台車及びリアルタイムの情報伝送システムについては基本設計を実施した。また、ハンドリング機能については、市場調査の結果、ドア開閉ツールや障害物除去機能を有するロボットがすでに開発、実証されていることが確認できた。

事故時対応型の放射線測定機器及び作業環境測定機器については、耐久性試験を実施し、市販の測定機器で十分に耐久性を有することが確認できた。

以上のことから、本研究で要求されている走行式放射線モニタの試作機の製作は、実施した基本設計の要件を基に、既に開発されている技術を応用することで対応できると考えられる。

表-6.1　走行式放射線モニタの高度化に関する実施計画及び成果

年度	計画		成果
	研究実施内容	達成目標	
平成13年度	イ. 原子力施設内の作業環境下（階段・不整面も考慮した）での走行が可能な走行台車（試作機）の設計	イ. 走行台車（試作機）の設計完了	イ. 走行台車（試作機）の基本設計を完了した。
	ロ. モニタリング情報の伝達方法に係る既存技術の事前調査	ロ. 動向調査結果のまとめ	ロ. 情報伝達方法の市場調査結果のまとめ及び基本設計を完了した。
	ハ. 走行台車の障害物等（物、扉等）を除去又はハンドリングを行う装置製作のための既存技術の事前調査	ハ. 動向調査結果のまとめ	ハ. ハンドリング装置の市場調査結果のまとめを完了した。 ニ. 放射線モニタリング装置の基本設計を完了した。
平成14年度	イ. 不整面の走行可能な台車の製作（試作機）	イ. 走行台車（試作機）の製作完了	イ. すでに開発されているものを改良することにより使用できることを確認したため、製作しない。
	ロ. リアルタイム情報伝送システムの設計	ロ. 情報伝送システムの設計完了	ロ. 基本設計を実施。
	ハ. 障害物除去機能を有した装置（ハンドリング装置）の設計	ハ. ハンドリング装置の設計完了	ハ. すでに開発・実証されているドア開閉ツールがあることを確認した。なお、障害物の除去機能については別途開発されたロボットがあるため対象機能から除くこととした。
平成15年度	イ. 走行台車（試作機）の改良型の設計、制御方法は遠隔制御形式	イ. 走行台車（試作機）の改良型の設計を完了	イ. すでに開発されているものを改良することにより使用できることを確認しているため、製作しない。
	ロ. リアルタイム情報伝送システムの試作機製作	ロ. 情報伝送システムの試作機製作完了	ロ. 既存技術で実証済みであるため、製作しない。
	ハ. 障害物除去機能を有した装置（ハンド	ハ. ハンドリング装置の試	ハ. すでに開発されているもので、機能が実証済みである

	リング装置）の試作機製作 ニ. 事故時対応型の放射線測定装置の製作	作機製作完了 ニ. 放射線測定装置の製作完了	ため製作しない。 ニ. 走行台車搭載相当機器類の耐久試験（耐熱、耐湿、耐煙、耐放射線性）実施。
平成16年度	イ. 走行台車の改良型試作機を製作し、走行性能試験をプルトニウムセンター内で行う。 ロ. リアルタイム情報伝送システムについて、プルトニウムセンター内の既設PHS 設備を用い、走行台車の遠隔操作、データ、映像伝送試験を行う。 ハ. ハンドリング装置の性能試験 ニ. 放射線測定装置の性能試験	イ. 走行台車の改良型試作機を製作及び走行性能試験完了 ロ. 走行台車の遠隔操作、データ、映像伝送試験の完了 ハ. ハンドリング装置の性能試験完了 ニ. 放射線測定装置の性能試験完了	イ. すでに開発されているものを改良することにより使用できることを確認しているため、製作しない。 ロ. すでに開発されているもの及び既存技術で実証済みであることから実施しない。 ハ すでに開発されているもので、機能が実証済みであるため製作しない。 ニ 15年度に完了。
平成17年度	イ. 前年度までの研究結果で製作した各種試作機を組み合わせ、走行式放射線モニタとしての総合的な試験を行うとともに、運用機製作に向けた概念設計を行う。	イ. 各種成果物を組み合わせ、走行式放射線モニタ試作機を完成する。	イ. 個々の機能を持ったロボットがすでに開発され動作が検証されているため、基本設計のみとし製作はしない。

参考文献

＊1) 間野他："原子力防災支援システムの開発",ロボット学会誌.Vol.19, No.6,(2001)
＊2) 原子力防災支援システム評価検討会:原子力防災支援システム開発　事後評価報告書（平成13年）
＊3) 最首他："原子力防災支援システムの開発",日本原子力学会2000年秋の大会　F22,（2000）
＊4) 湯口他:"作業監視ロボットの開発",日本原子力学会2000年秋の大会　F54,(2000)
＊5) 鈴木他："小型軽作業ロボットＳＷＡＮの開発",日本原子力学会2000年秋の大会,F55,（2000）
＊6) 今村他："作業ロボット及び重量物運搬ロボットの開発",日本原子力学会2000年秋の大会　F56,（2000）
＊7) Raphael Bossu 他："耐高放射線対応ロボット MENHIR の開発",日本原子力学会2000年秋の大会　F57,（2000）
＊8) 文部科学省：原子力安全課　原子力環境防災ネットワークホームページ http://www.bousai.ne.jp
＊9) 小林他："情報遠隔収集ロボットの開発",ロボット学会誌.Vol.19, No.6,（2001）
＊10) 柴沼："耐環境型ロボットの開発",ロボット学会誌.Vol.19, No.6,（2001）
＊11) 柴沼:"放射線に強い原子力防災ロボット(RABOT)の開発".Isotope News,(2002.2)
＊12) 妻木："危険作業ロボット",ロボット学会誌.Vol.18, No.7,（2000）
＊13) 小山："安全研究5ヵ年の成果（平成8年度～平成12年度-核燃料サイクル分野-",JNC TN1400 2001-015, p101-104,（2001）

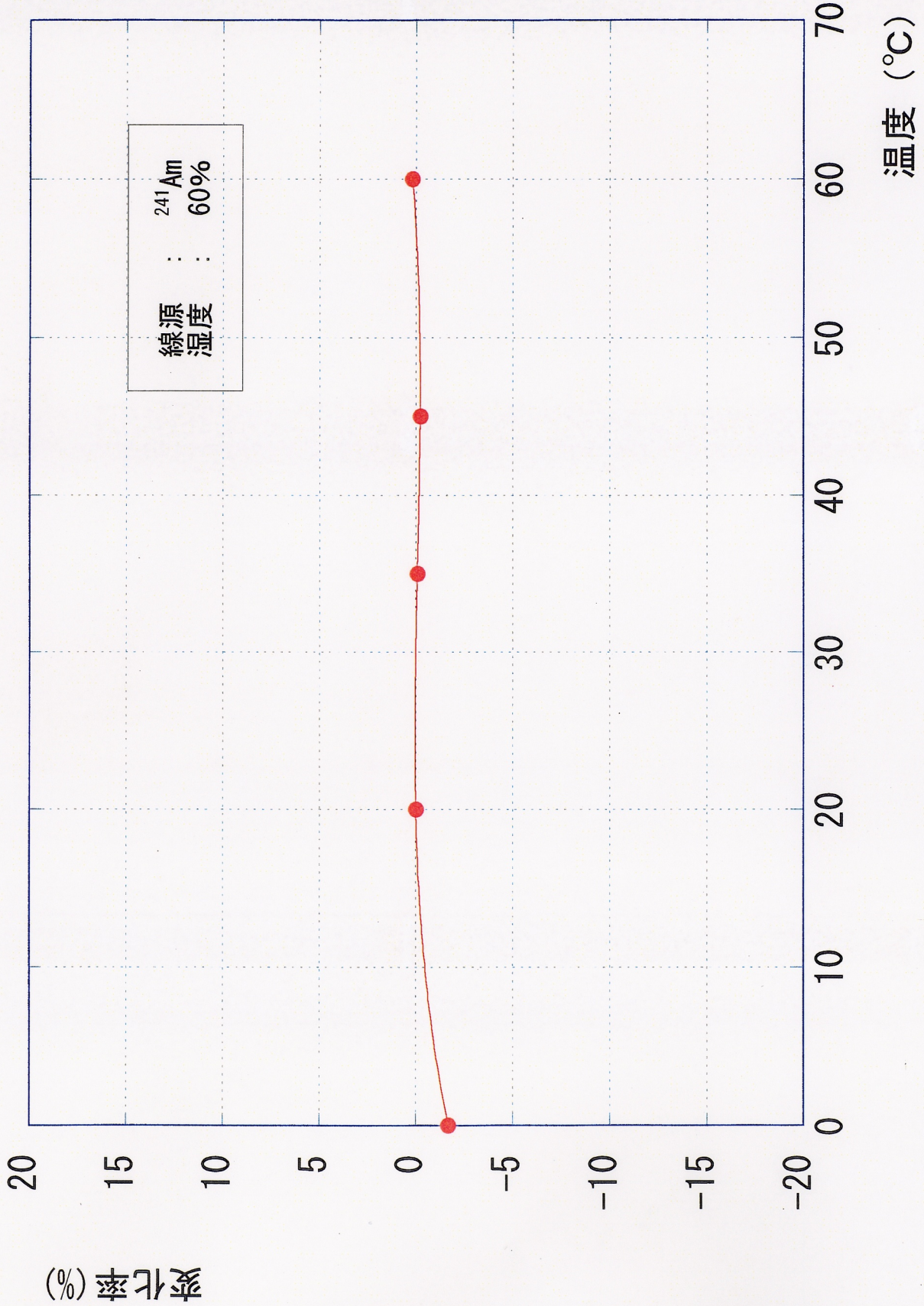


図-4.10　α線用サーベイメータの耐熱試験結果（変化率）

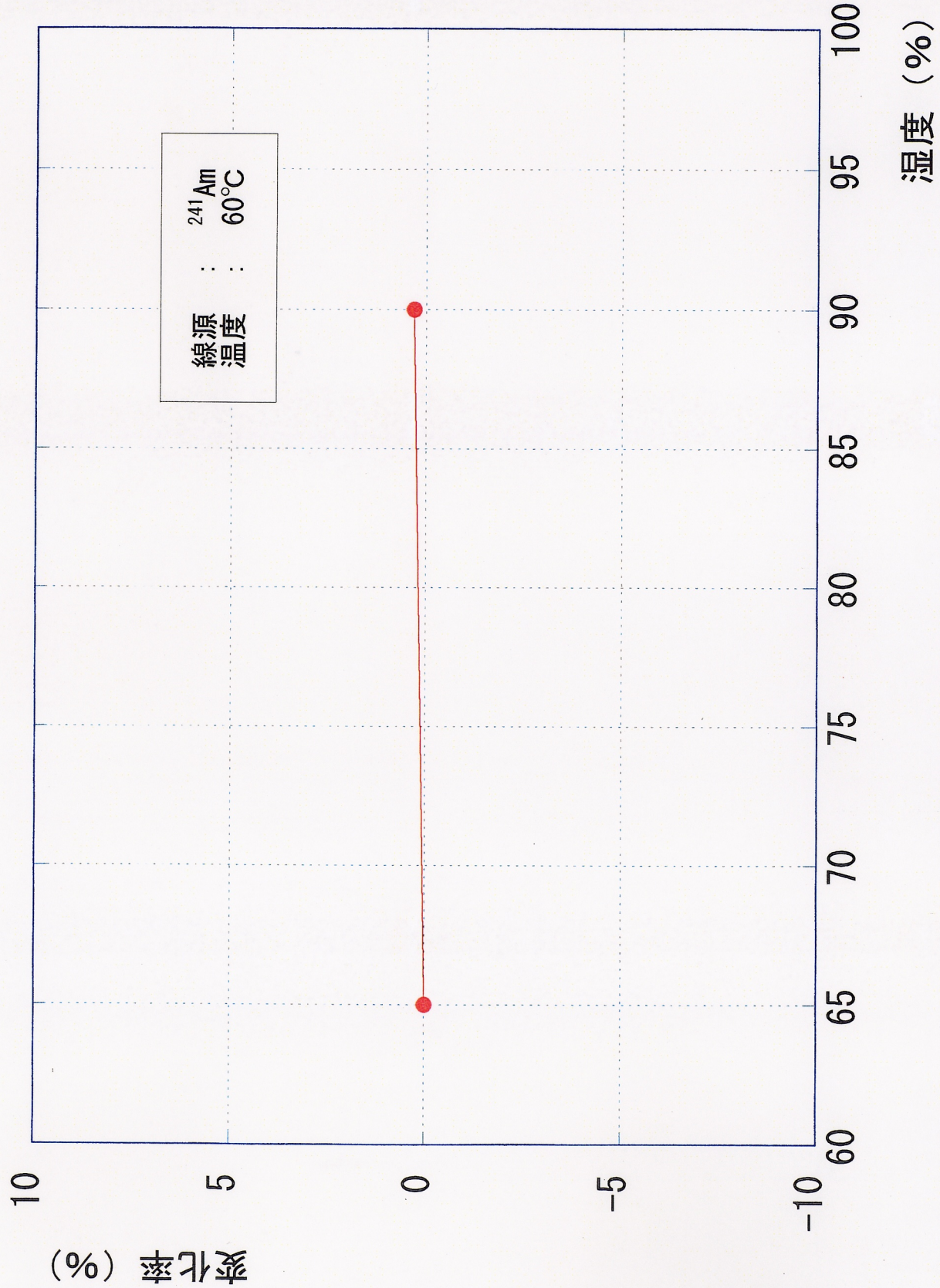


図-4.11 α線用サーベイメータの耐湿性試験結果（変化率）

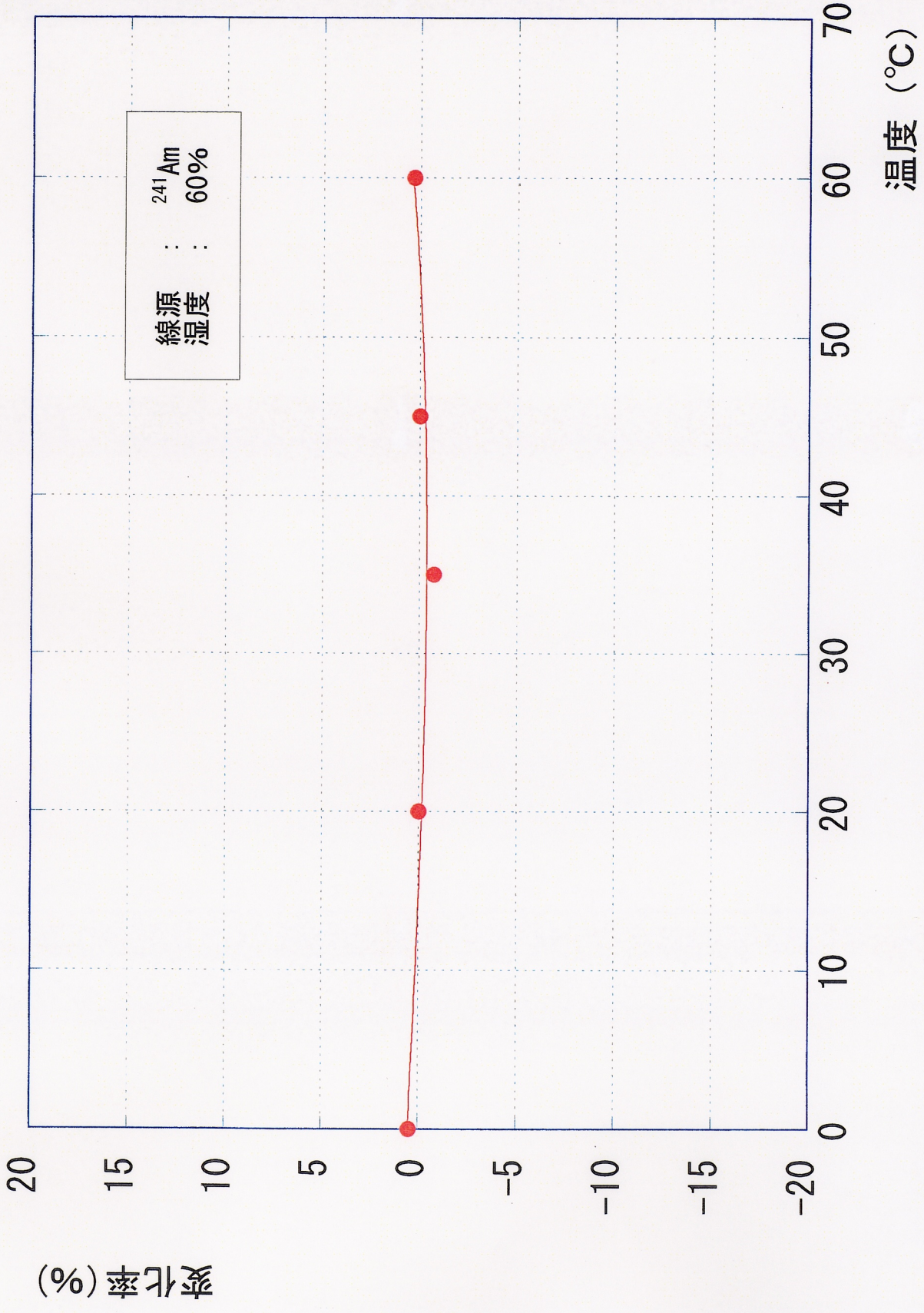


図-4.12 α線用サーベイメータ検出部の耐熱性試験結果（変化率）

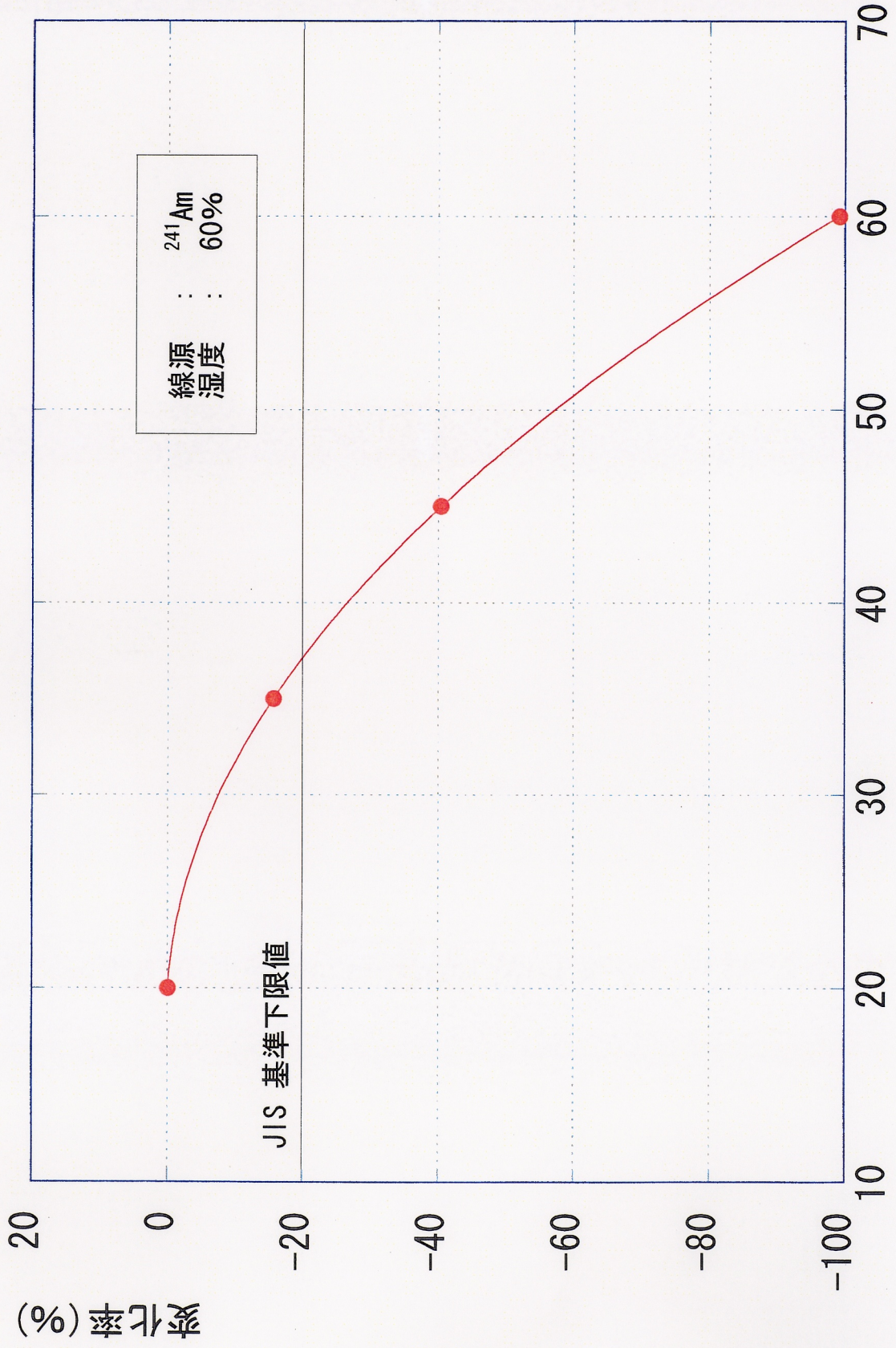


図-4.13 半導体検出器の耐熱性試験結果（変化率）

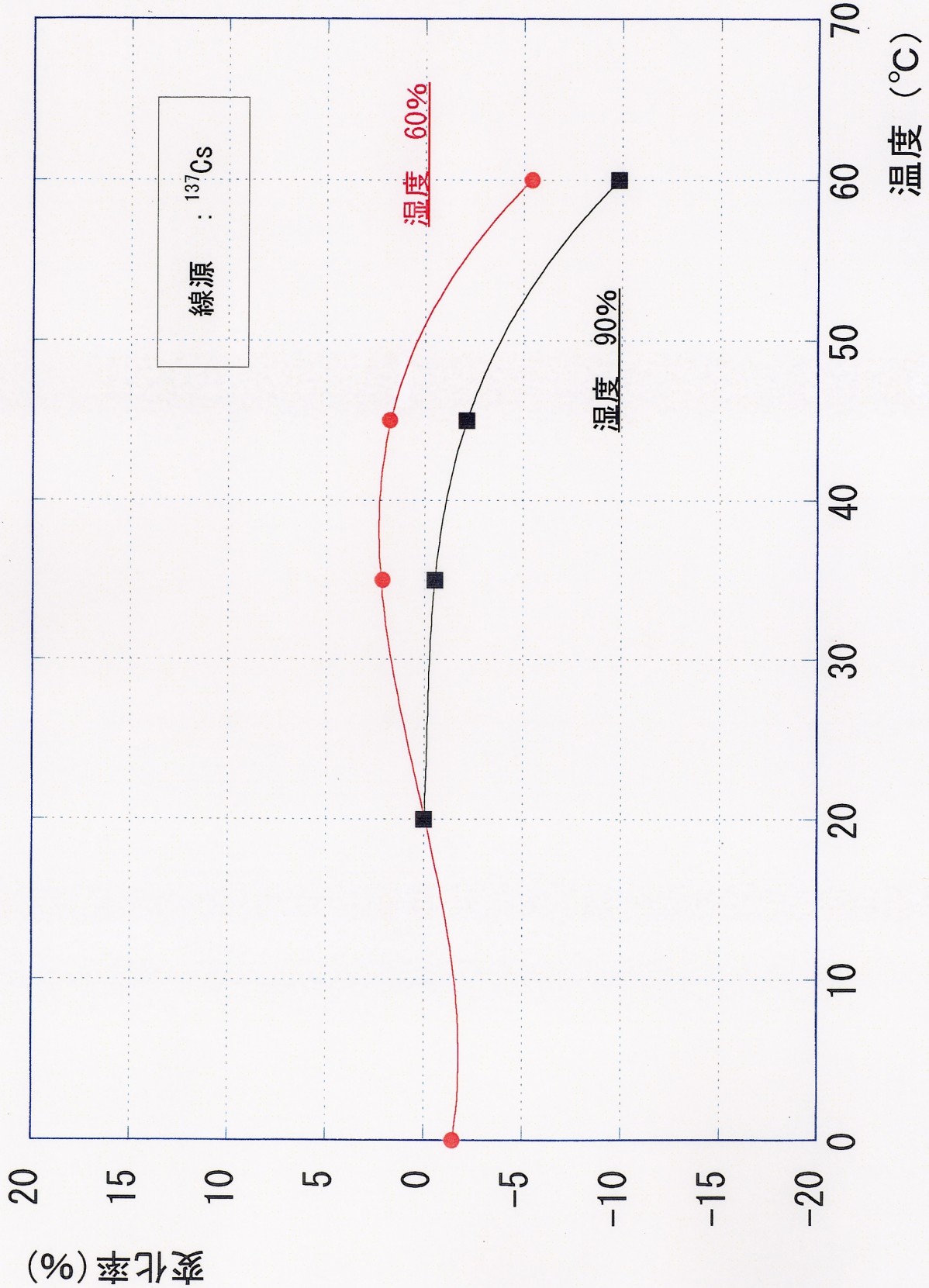


図-4.14　γ線用サーベイメータの耐熱性・耐湿性試験結果（変化率）

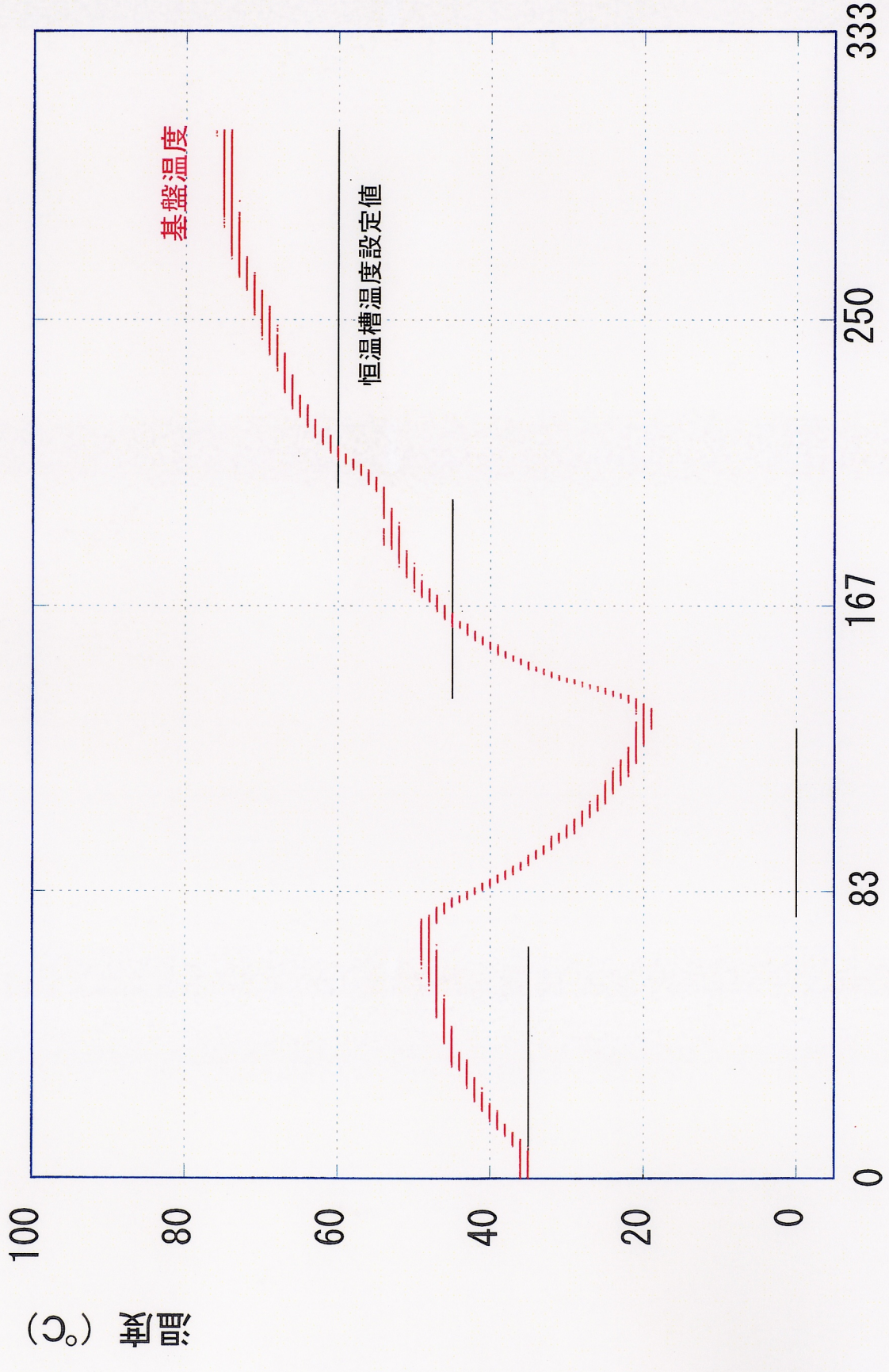


図-4.15　制御用PC耐熱性・耐湿性試験結果（基盤温度）

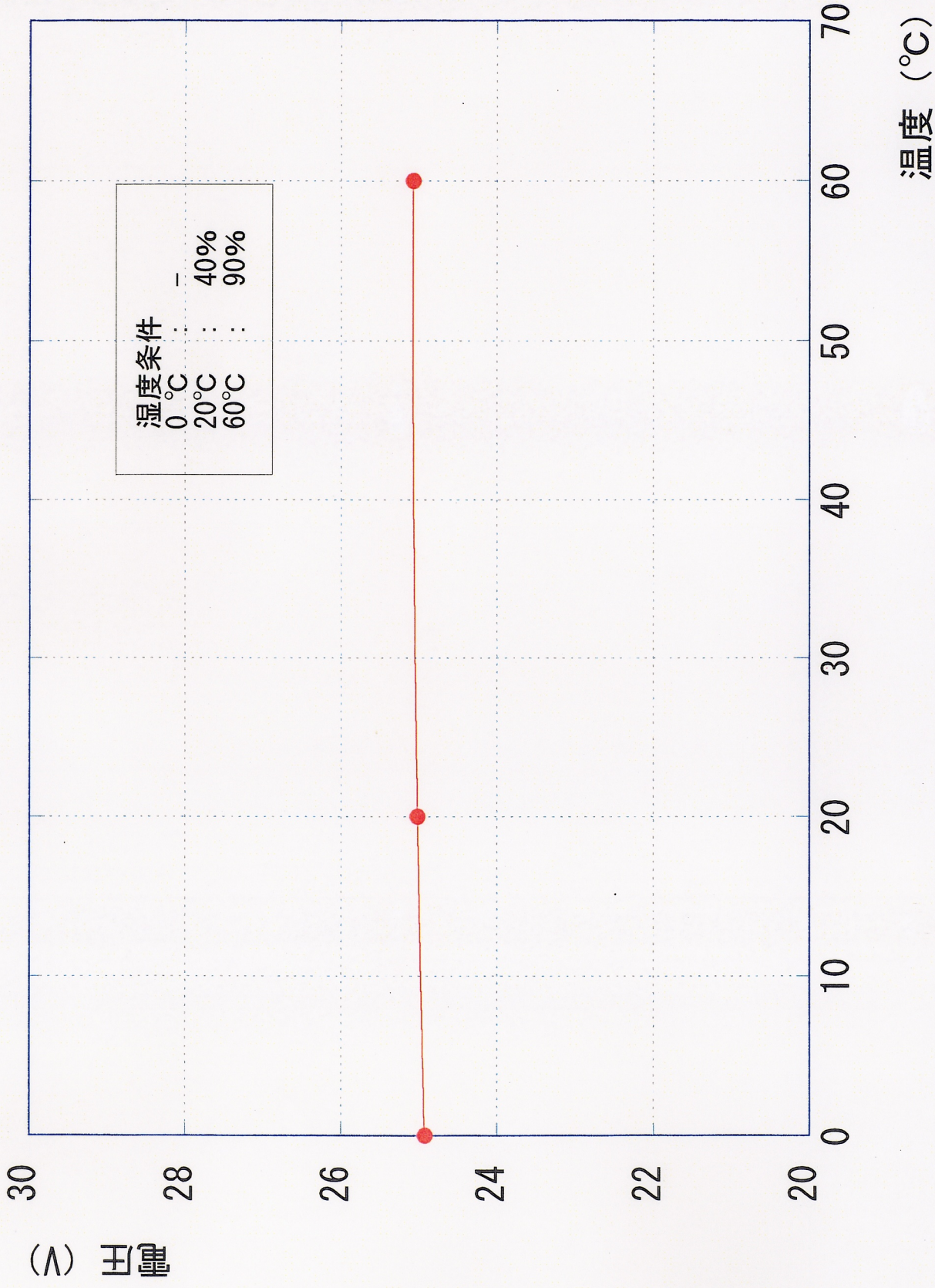


図-4.16 バッテリーの耐熱性・耐湿性試験結果

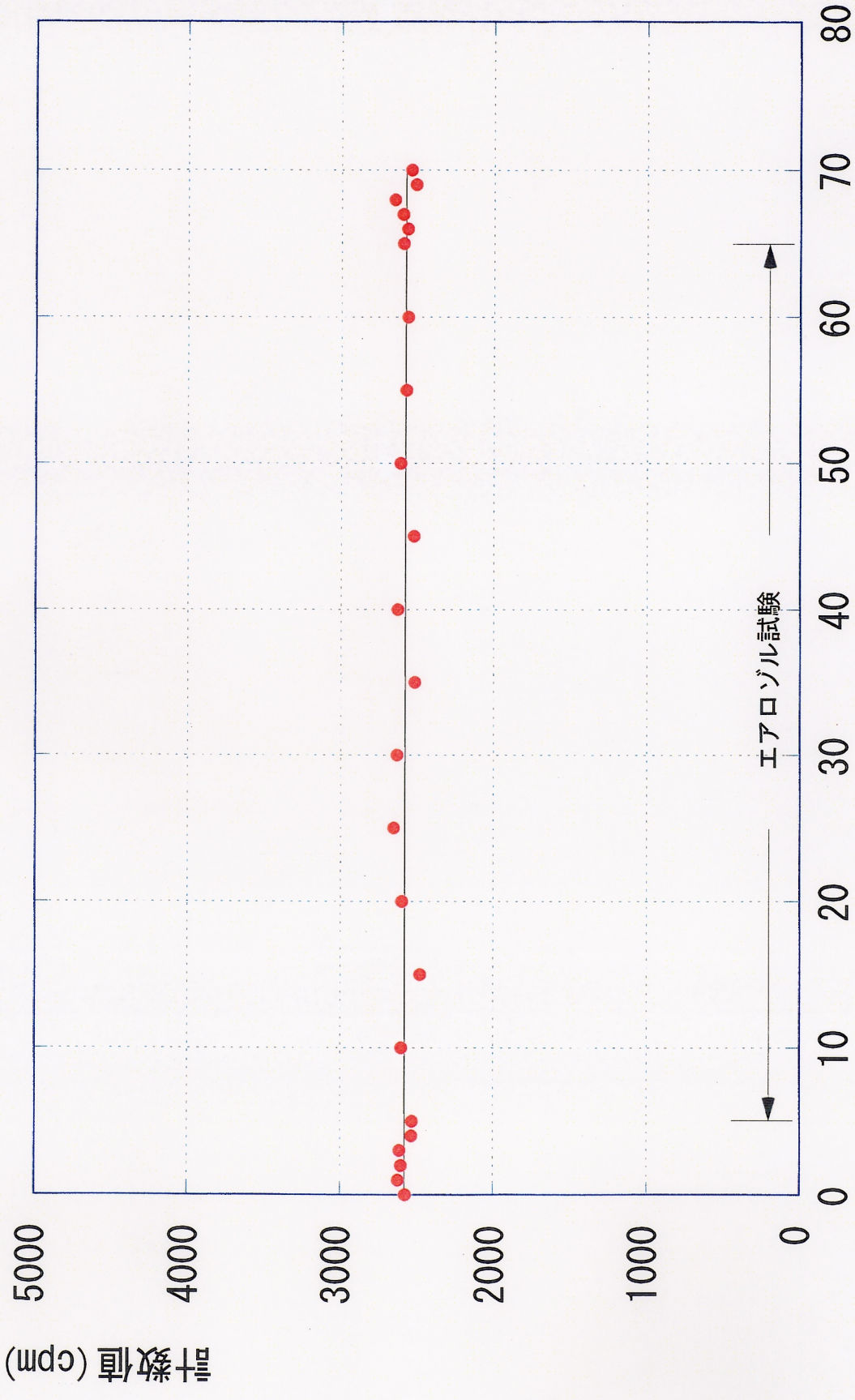


図-4.19　α線用サーベイメータの耐エアロゾル性試験結果

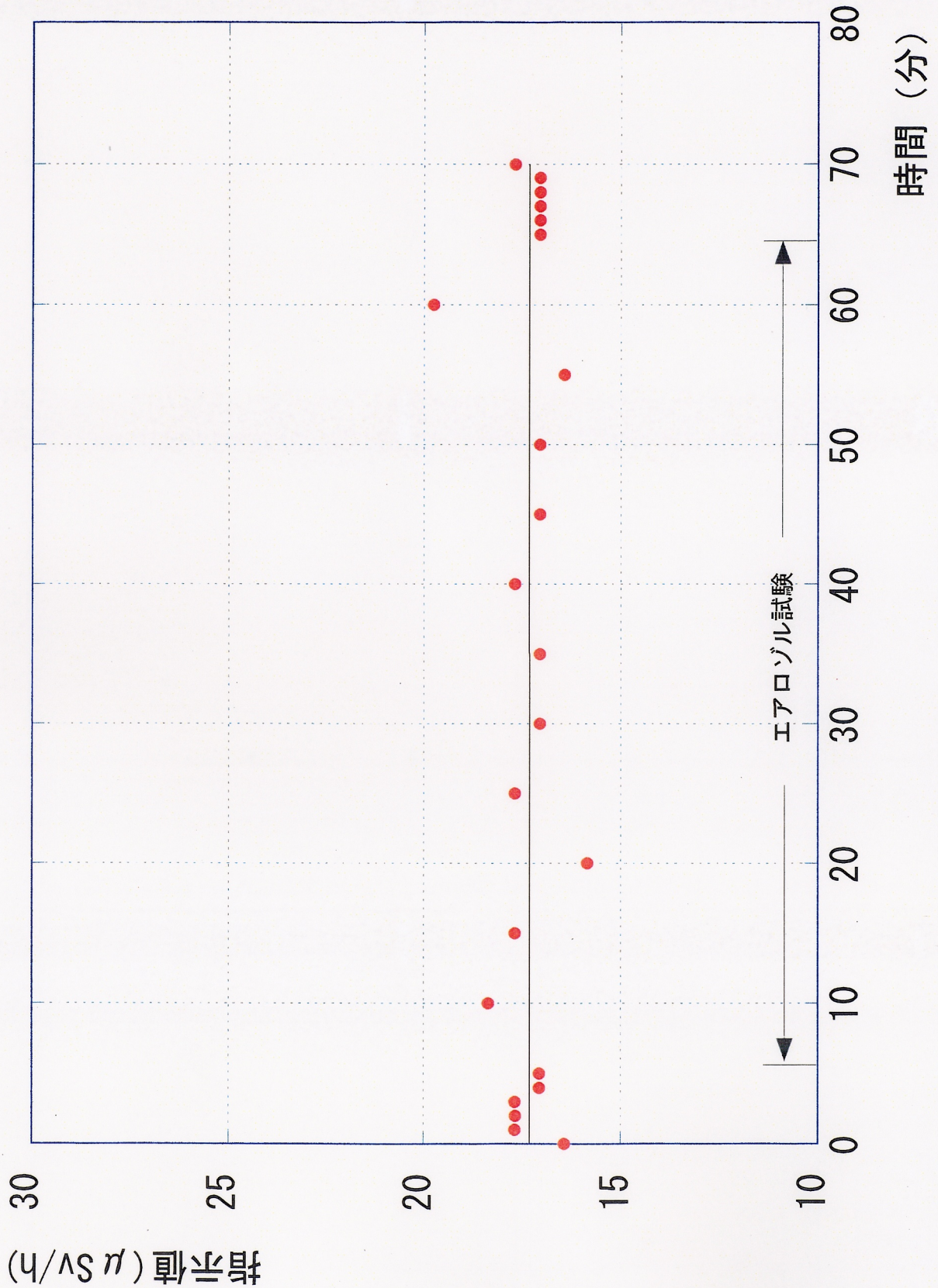


図-4.21　γ線用サーベイメータの耐エアロゾル性試験結果

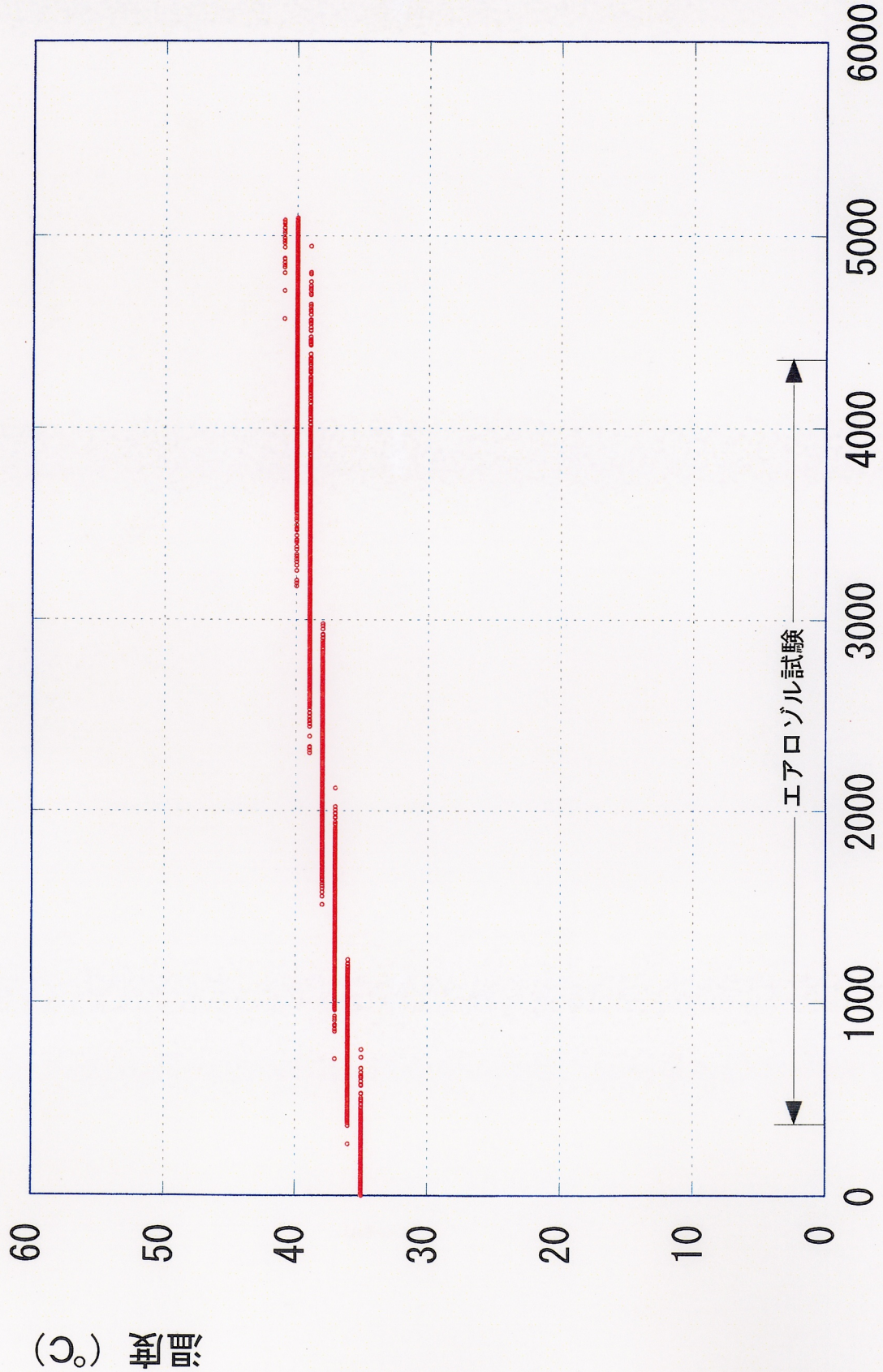


図-4.24　制御用PCの耐エアロゾル性試験結果（基盤温度）

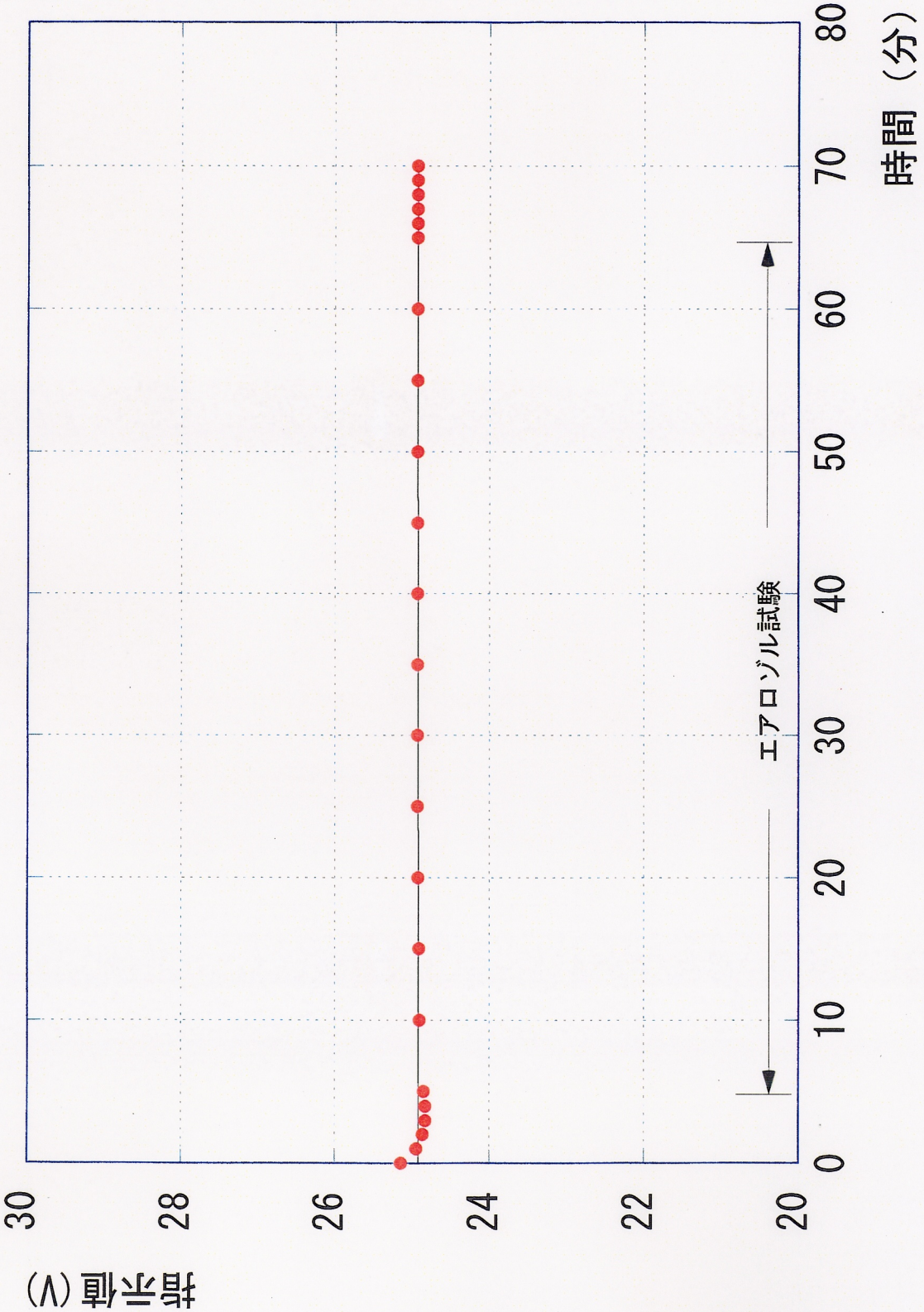


図-4.26　バッテリーの耐エアロゾル性試験結果

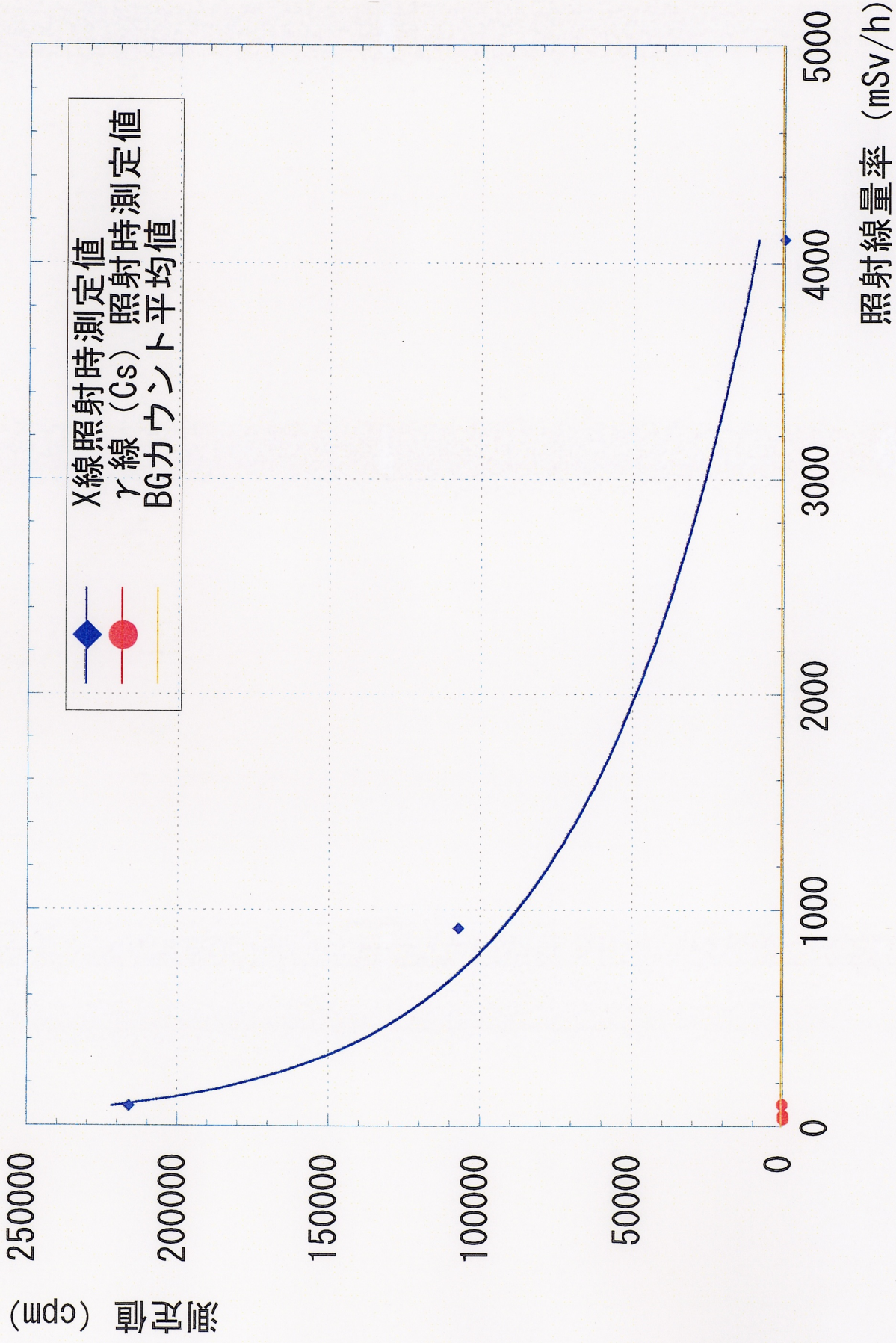


図-4.28 α線用サーベイメータの放射線特性試験（X線）

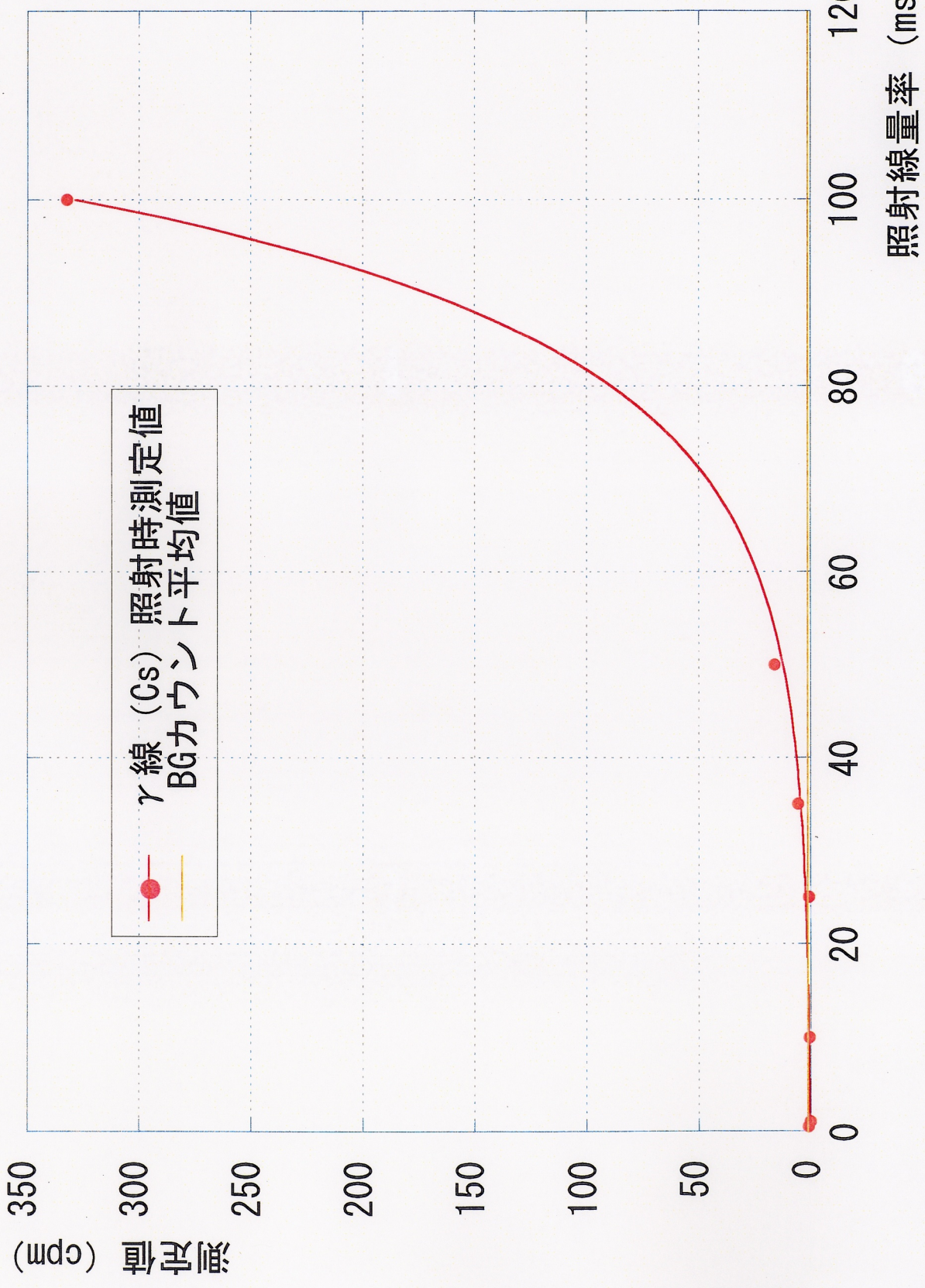


図-4.29　α線用サーベイメータの放射線特性試験（γ線）

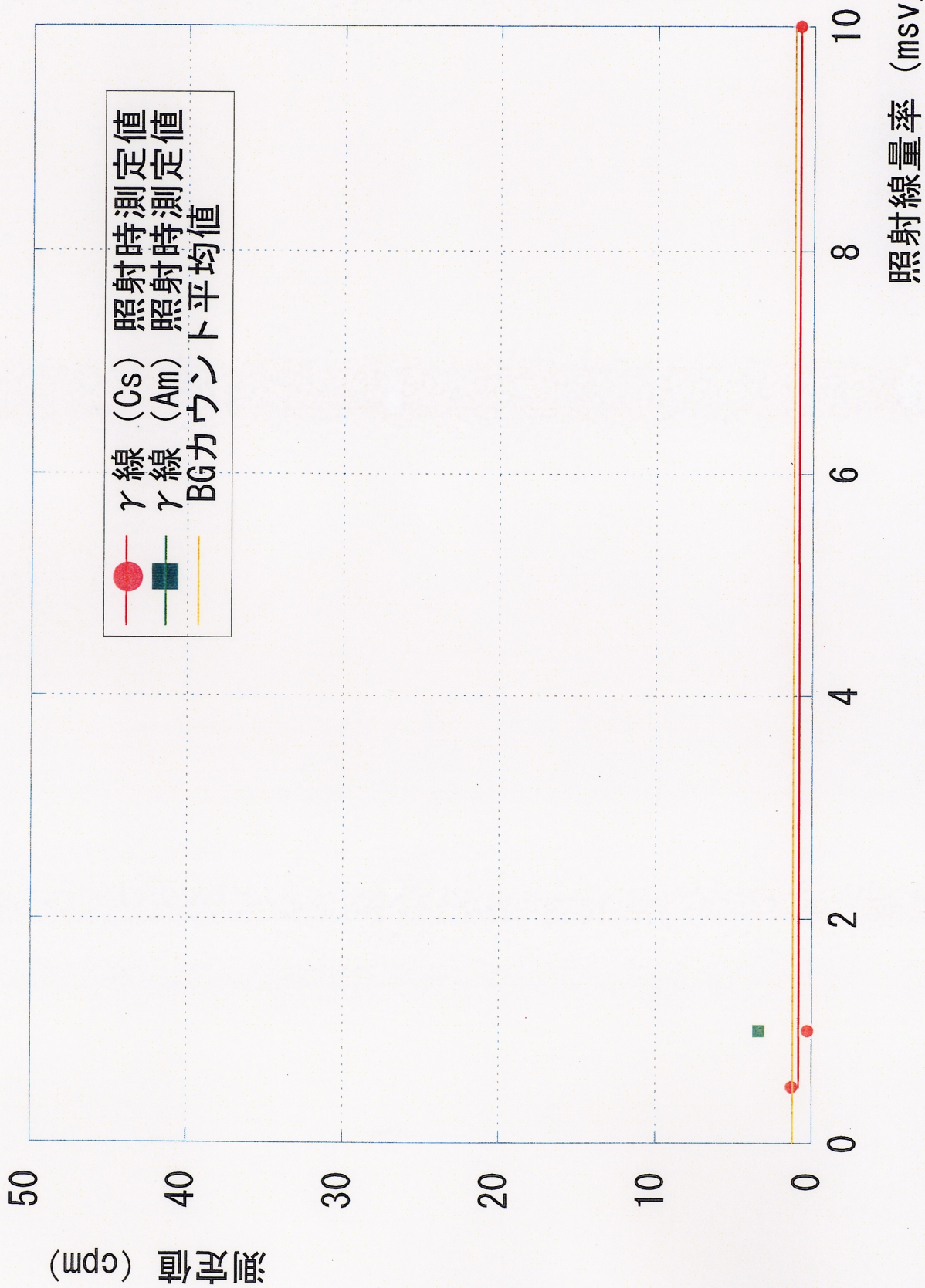


図-4.30 α線用サーベイメータの放射線特性試験 (γ線)

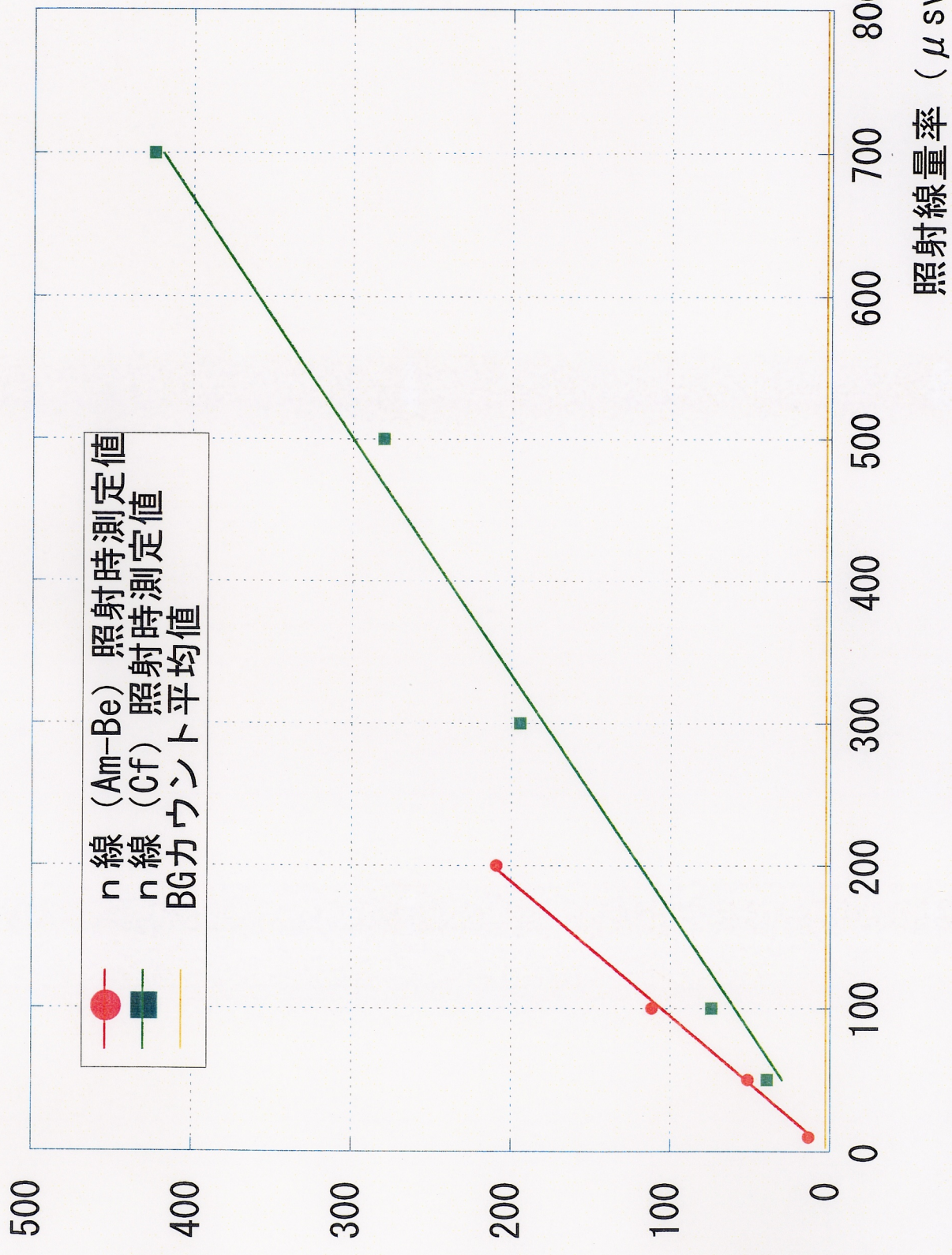


図-4.31　α線用サーベイメータの放射線特性試験（中性子線）

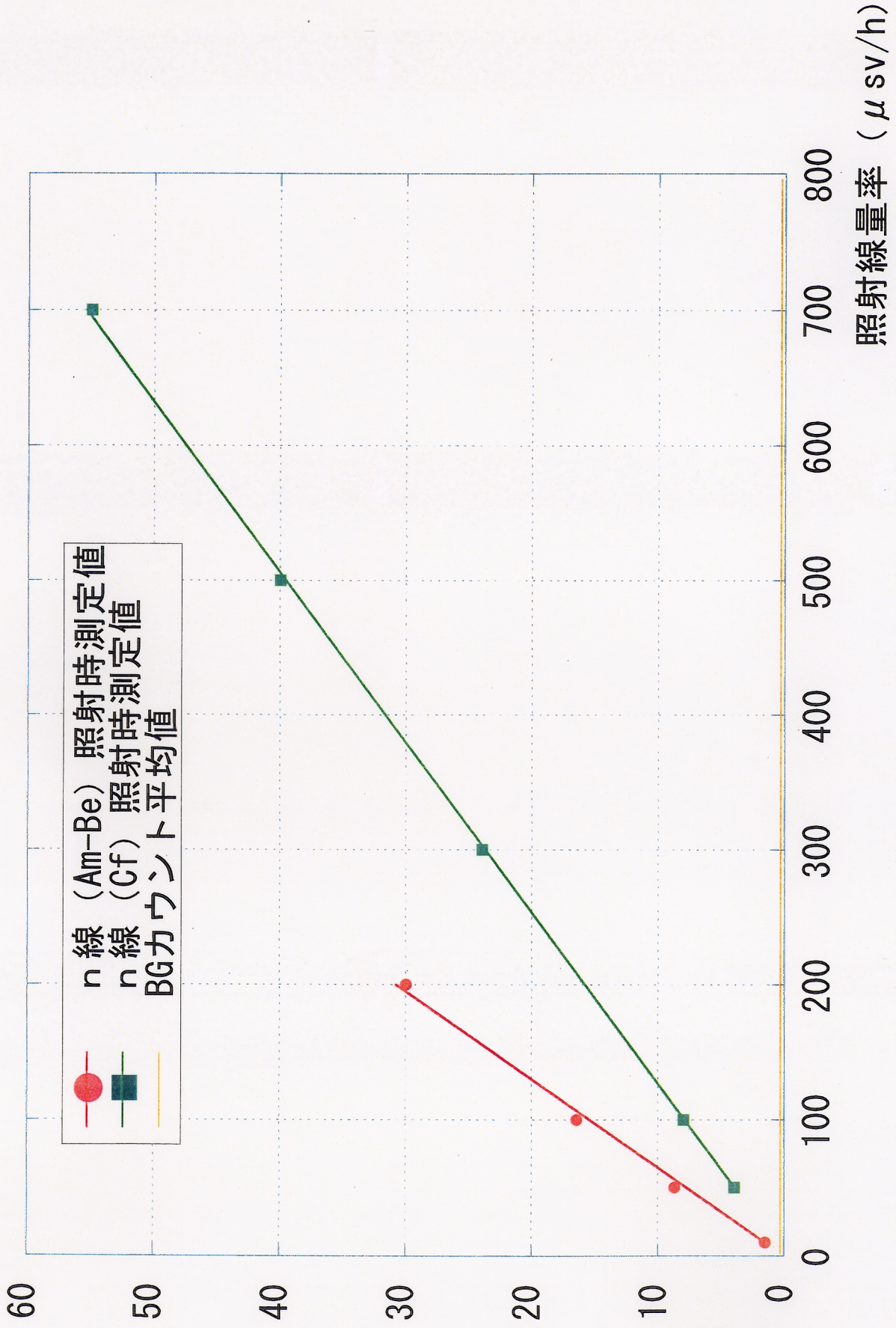


図-4.32　γ線用サーベイメータの放射線特性試験（中性子線）

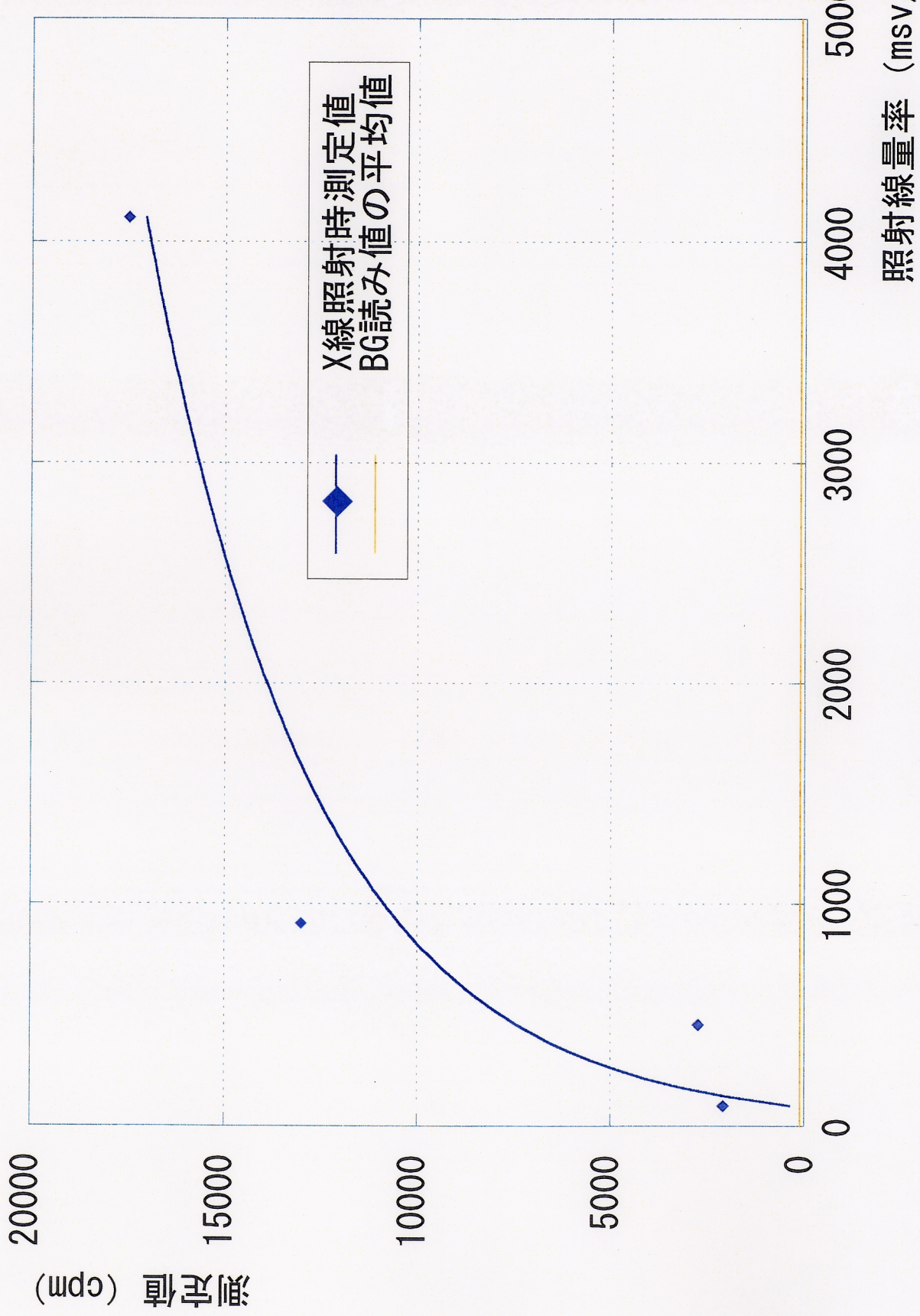


図-4.33 中性子線用サーベイメータの放射線特性試験 (X線)

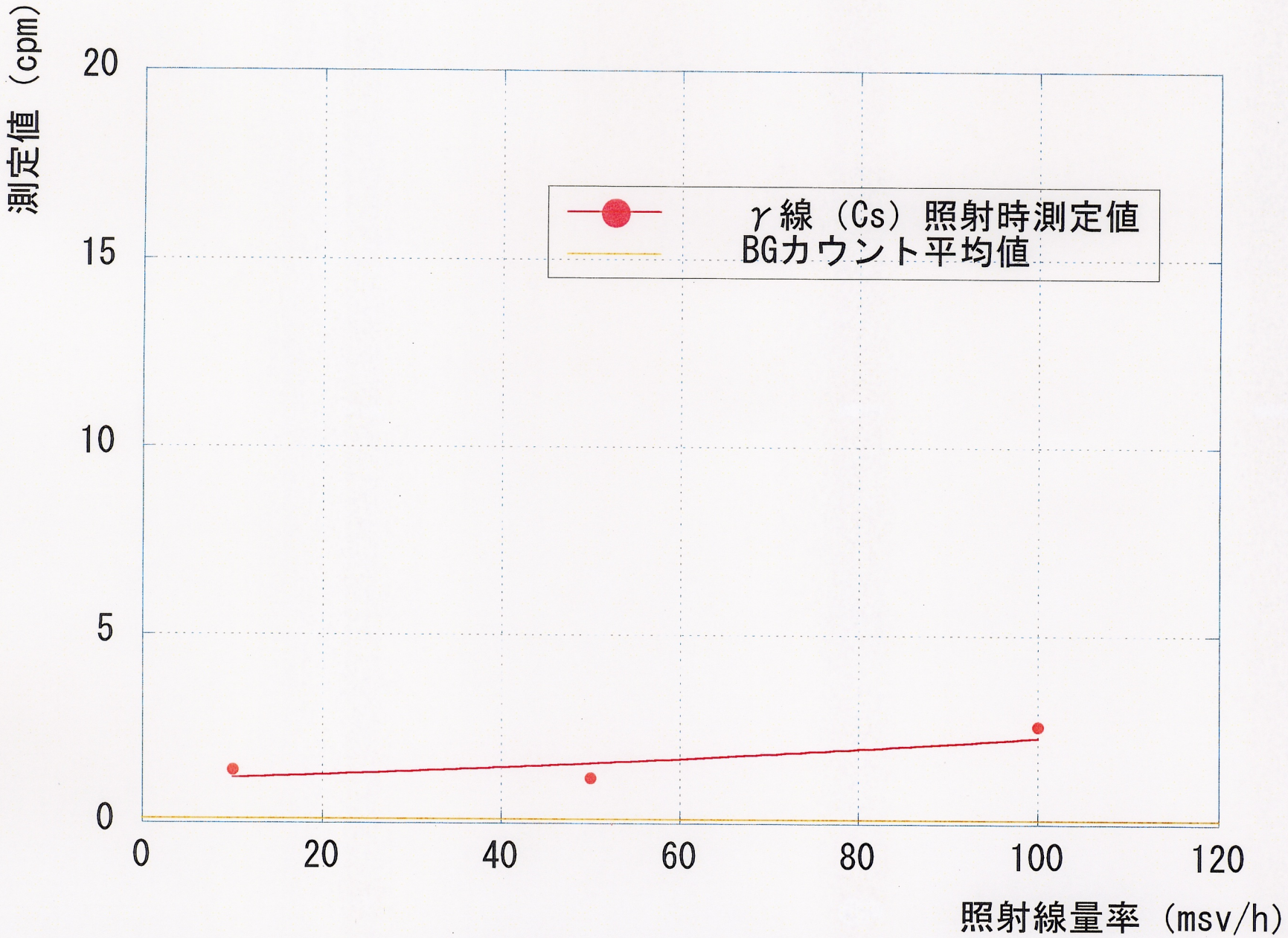


図-4.34　中性子線用ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀの放射線特性試験（γ線）

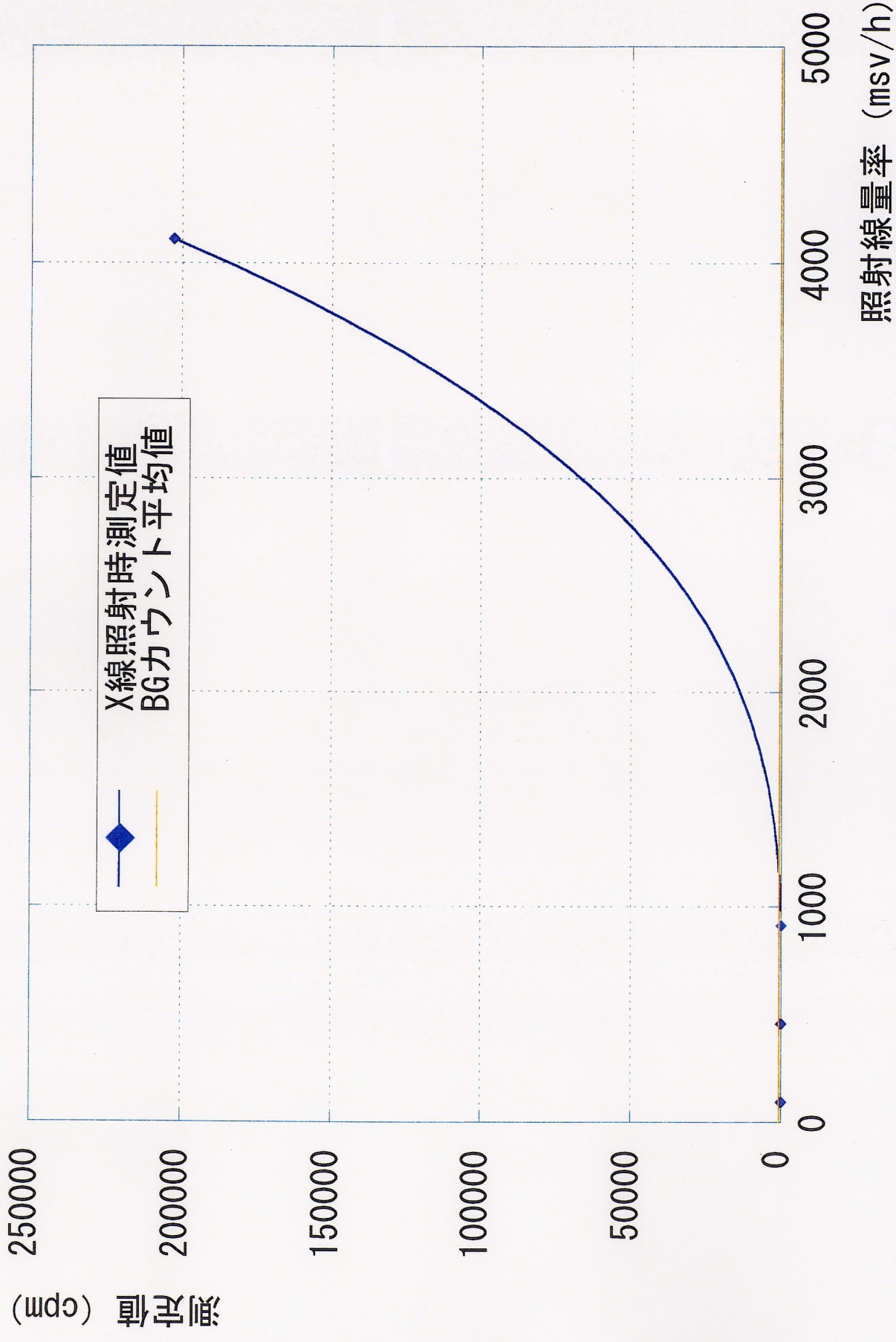


図-4.35 半導体検出器の放射線特性試験 (X線)

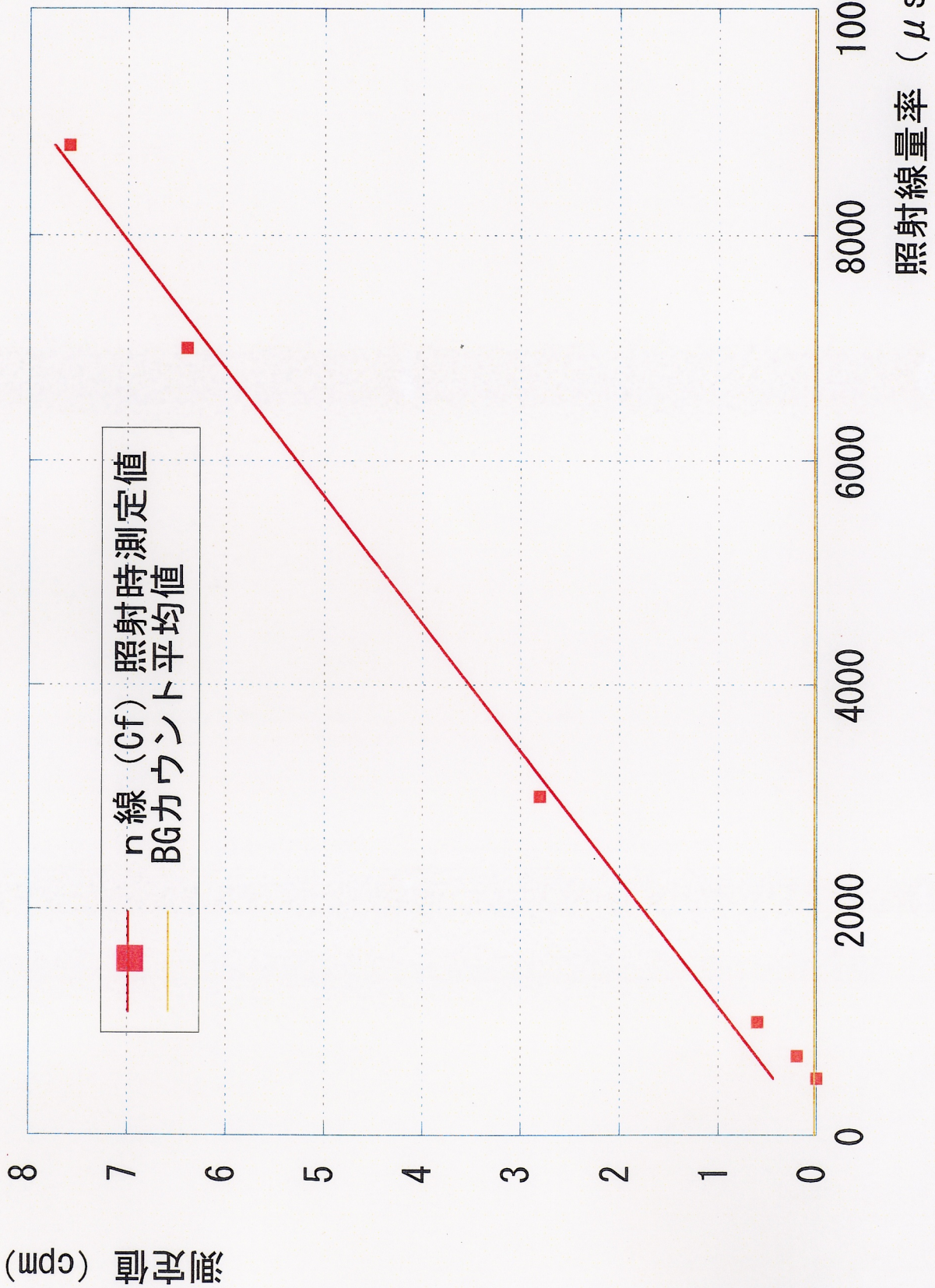


図-4.36 半導体検出器の放射線特性試験 (中性子線)

別添-1　耐熱試験前後のα線用サーベイメータ点検整備記録（試験前）

機器名，機器No.	アルファ線用シンチレーション式サーベイメータ（α線用サーベイメータ）（SZS－201X）	TAG.No. ——— SER.No. G38C580

項　目	基　準	現状確認値	点検結果値	備　考
2.9 メータ指示精度	F.S±5(%)以内			
	レンジ			
入力値 1.8E+0(cpm)	30　16.5～19.5(cpm)	17.7 (cpm)	17.7 (cpm)	
6.0E+1(cpm)	100　55～65(cpm)	57 (cpm)	57 (cpm)	
1.8E+2(cpm)	300　165～190(cpm)	178 (cpm)	178 (cpm)	
6.0E+2(cpm)	1K　550～650(cpm)	590 (cpm)	590 (cpm)	
1.8E+3(cpm)	3K　1650～1900(cpm)	1760 (cpm)	1760 (cpm)	
6.0E+3(cpm)	10K　5500～6500(cpm)	5850 (cpm)	5850 (cpm)	
2.10 REC出力精度	0～10(mV)F.S±5(%)以内			
入力値 1.8E+0(cpm)	30　5.50～6.50(mV)	6.11 (mV)	6.11 (mV)	
6.0E+1(cpm)	100　5.50～6.50(mV)	5.98 (mV)	5.98 (mV)	
1.8E+2(cpm)	300　5.50～6.50(mV)	6.20 (mV)	6.20 (mV)	
6.0E+2(cpm)	1K　5.50～6.50(mV)	6.19 (mV)	6.19 (mV)	
1.8E+3(cpm)	3K　5.50～6.50(mV)	6.12 (mV)	6.12 (mV)	
6.0E+3(cpm)	10K　5.50～6.50(mV)	6.14 (mV)	6.14 (mV)	
2.11 外部出力波形	パルス波高　3.0～5.0(V)	4.9 (V)	4.9 (V)	
	パルス幅　4～6(μsec)	6 (μsec)	6 (μsec)	
2.12 時定数	各時定数±30(%)以内			
	TC. 10　7.0～13.0(sec)	11.3 (sec)	11.3 (sec)	
	TC. 30　21.0～39.0(sec)	32.6 (sec)	32.6 (sec)	
	TC.100　70.0～130.0(sec)	97.4 (sec)	97.4 (sec)	
3.検出部				
3.1 B.G測定	1(cpm)以下	0.4 (cpm)	0.4 (cpm)	
3.2 計数効率	15.0(%)/(4π)以上	22.6 (%)	22.6 (%)	
3.3 計数ランプ	計数ランプが点滅・点灯すること	良	良	
4.総合判定	各項目について異常がないこと		（良）	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	U_3O_8 協－1405
点検場所	計測機器校正室		
別添（有・無）	無		

耐熱試験前後のα線用サーベイメータ点検整備記録（試験後）

機器名，機器No.	アルファ線用シンチレーション式サーベイメータ（α線用サーベイメータ）（SZS－201X）	TAG.No. ——— SER.No. G38C580		
項　目	基　準	現状確認値	点検結果値	備　考
2.9 メータ指示精度	F.S±5(%)以内 レンジ			
入力値 1.8E+0(cpm)	30 16.5～19.5(cpm)	17.8 (cpm)	17.8 (cpm)	
6.0E+1(cpm)	100 55～65(cpm)	56 (cpm)	56 (cpm)	
1.8E+2(cpm)	300 165～190(cpm)	178 (cpm)	178 (cpm)	
6.0E+2(cpm)	1K 550～650(cpm)	590 (cpm)	590 (cpm)	
1.8E+3(cpm)	3K 1650～1900(cpm)	1780 (cpm)	1780 (cpm)	
6.0E+3(cpm)	10K 5500～6500(cpm)	5850 (cpm)	5850 (cpm)	
2.10 REC出力精度	0～10(mV)F.S±5(%)以内			
入力値 1.8E+0(cpm)	30 5.50～6.50(mV)	6.23 (mV)	6.23 (mV)	
6.0E+1(cpm)	100 5.50～6.50(mV)	5.98 (mV)	5.98 (mV)	
1.8E+2(cpm)	300 5.50～6.50(mV)	6.18 (mV)	6.18 (mV)	
6.0E+2(cpm)	1K 5.50～6.50(mV)	6.18 (mV)	6.18 (mV)	
1.8E+3(cpm)	3K 5.50～6.50(mV)	6.12 (mV)	6.12 (mV)	
6.0E+3(cpm)	10K 5.50～6.50(mV)	6.13 (mV)	6.13 (mV)	
2.11 外部出力波形	パルス波高 3.0～5.0(V)	4.9 (V)	4.9 (V)	
	パルス幅 4～6(μsec)	6 (μsec)	6 (μsec)	
2.12 時定数	各時定数±30(%)以内			
	TC. 10 7.0～13.0(sec)	10.6 (sec)	10.6 (sec)	
	TC. 30 21.0～39.0(sec)	30.8 (sec)	30.8 (sec)	
	TC.100 70.0～130.0(sec)	97.8 (sec)	97.8 (sec)	
3.検出部				
3.1 B.G測定	1(cpm)以下	0.4 (cpm)	0.4 (cpm)	
3.2 計数効率	15.0(%)/(4π)以上	22.7 (%)	22.7 (%)	
3.3 計数ランプ	計数ランプが点滅・点灯すること	良	良	
4.総合判定	各項目について異常がないこと		（良）	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	U_3O_8 協－1405
点検場所	計測機器校正室		
別添（有・無）	無		

別添-2　耐熱試験前後のγ線用サーベイメータ点検整備記録（試験前）

検査名（総合検査）　1/2

機器名	電離箱式ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ(γ線用ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ) (ICS-321)	承認		年月日	H15.11.14. ～H15.11.14
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R01073	調査		点検者氏名	

項目	基準	現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品の破損・ネジの緩みがないこと	良	良	
2.起動時の作動確認	ｾｸﾞﾒﾝﾄ点灯・日付・時刻 HV:OK・ZERO・測定状態に異常なく切り替わること	良	良	
3.電池残量表示の確認	電池残量ﾚﾍﾞﾙが■■□□以上あること	良	良	
4.ドリフトチェック	最大目盛値±2(%)以内であること	良	良	
5.ノイズチェック	ノイズがないこと	良	良	
6.バックグランドの確認	0.3(μSv/h)以下であること	良	良	
7.線源校正				
7.1校正定数	各レンジ共1±0.3以内			
10(μSv/h)		1.0	1.0	
100(μSv/h)		1.0	1.0	
1000(μSv/h)		1.0	1.0	
10(mSv/h)		1.0	1.0	
積算レンジ 10(μSv)		1.0	1.0	
7.2直線性	各レンジ共基準値±10(%)又は最大目盛値±5(%)以内であること	良	良	
8.総合判定	各項目について異常がないこと		（良）	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	^{137}Cs
点検場所	計測機器校正室		

耐熱試験前後のγ線用サーベイメータ点検整備記録（試験後）

検査名（総合検査）　1/2

機器名	電離箱式サーベイメータ(γ線用サーベイメータ) (ICS-321)	承認		年月日	H15.11.28 ～H15.11.28
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R01073	調査		点検者氏名	

項目	基準	現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品の破損・ネジの緩みがないこと	良	良	
2.起動時の作動確認	セグメント点灯・日付・時刻 HV:OK・ZERO・測定状態に異常なく切り替わること	良	良	
3.電池残量表示の確認	電池残量レベルが■■□□以上あること	良	良	
4.ドリフトチェック	最大目盛値±2(%)以内であること	良	良	
5.ノイズチェック	ノイズがないこと	良	良	
6.バックグランドの確認	0.3(μSv/h)以下であること	良	良	
7.線源校正				
7.1校正定数	各レンジ共1±0.3以内			
10(μSv/h)		1.0	1.0	
100(μSv/h)		1.0	1.0	
1000(μSv/h)		1.0	1.0	
10(mSv/h)		1.0	1.0	
積算レンジ 10(μSv)		1.0	1.0	
7.2直線性	各レンジ共基準値±10(%)又は最大目盛値±5(%)以内であること	良	良	
8.総合判定	各項目について異常がないこと		(良)	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	^{137}Cs:555(MBq),11.1・111(GBq),1.85(TBq)
点検場所	計測機器校正室		

別添-3　耐熱試験前後の中性子線用サーベイメータ点検整備記録（試験前）

検査名（総合検査）　　1/3

機器名	中性子用線サーベイメータ（NSN21001）		承認		年月日	H15.11.14
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R3H0137T		調査		点検者氏名	

項目	基準		現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品・ネジの緩みがないこと		良	良	
2.充電機能 2.1電池電圧	2.1(V)以上		2.9 (V)	2.9 (V)	DM-28 AD-26
2.2電池電圧低下機能	2.1±0.1(V)以内		2.1 (V)	2.1 (V)	
3.高圧電源 検出印加電圧	1300±50(V)以内		1326 (V)	1326 (V)	HV-22
4.指示精度	参考値				PG-37
	入力値	指示値			
	0.040cps	0.01μSv/h	0.011 (μSv/h)	0.011 (μSv/h)	
	0.40cps	0.1μSv/h	0.104 (μSv/h)	0.104 (μSv/h)	
	4.0cps	1μSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
	40cps	0.01mSv/h	0.010 (mSv/h)	0.010 (mSv/h)	
	400cps	0.1mSv/h	0.104 (mSv/h)	0.104 (mSv/h)	
	4000cps	1mSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
5.対数表示の確認	異常がないこと		良	良	
6.記録計出力	1±0.10(V)以内		0.99 (V)	0.99 (V)	DM-28
7.出力機能	パルス波高：3.5(V)以上		3.9 (V)	3.9 (V)	SC-17
	パルス幅：2±0.4(μsec)以内		1.7 (μsec)	1.7 (μsec)	
8.ノイズチェック	0.1(μSv/h)以下であること		良	良	
9.バックグランドの測定	1.2(cpm)以下であること		良	良	BS-2
10.線源校正 10.1校正定数	1±0.3以内		0.9	0.9	
10.2中性子感度	4±0.80(cps/μSv/h)以内		4.34 (cps/μSv/h)	4.34 (cps/μSv/h)	
11.γ線感度	0.2(μSv/h)以下であること		良	良	
12.総合判定	各項目について異常がないこと			(良)	

耐熱試験前後の中性子線用サーベイメータ点検整備記録（試験後）

検査名（総合検査）　1/3

機器名	中性子用線サーベイメータ（NSN21001）	承認		年月日	H15.11.28
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R3H0137T	調査		点検者氏名	

項目	基準		現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品・ネジの緩みがないこと		良	良	
2.充電機能					DM-28
2.1電池電圧	2.1(V)以上		1.6 (V)	3.2 (V)	※ AD-26
2.2電池電圧低下機能	2.1±0.1(V)以内		2.1 (V)	2.1 (V)	
3.高圧電源検出印加電圧	1300±50(V)以内		1326 (V)	1326 (V)	HV-22
4.指示精度	参考値				PG-37
	入力値	指示値			
	0.040cps	0.01μSv/h	0.011 (μSv/h)	0.011 (μSv/h)	
	0.40cps	0.1μSv/h	0.104 (μSv/h)	0.104 (μSv/h)	
	4.0cps	1μSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
	40cps	0.01mSv/h	0.010 (mSv/h)	0.010 (mSv/h)	
	400cps	0.1mSv/h	0.104 (mSv/h)	0.104 (mSv/h)	
	4000cps	1mSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
5.対数表示の確認	異常がないこと		良	良	
6.記録計出力	1±0.10(V)以内		0.99 (V)	0.99 (V)	DM-28
7.出力機能	パルス波高：3.5(V)以上		3.9 (V)	3.9 (V)	SC-17
	パルス幅：2±0.4(μsec)以内		1.8 (μsec)	1.8 (μsec)	
8.ノイズチェック	0.1(μSv/h)以下であること		良	良	
9.バックグランドの測定	1.2(cpm)以下であること		良	良	BS-2
10.線源校正					
10.1校正定数	1±0.3以内		0.9	0.9	
10.2中性子感度	4±0.80(cps/μSv/h)以内		3.92 (cps/μSv/h)	3.92 (cps/μSv/h)	
11.γ線感度	0.2(μSv/h)以下であること		良	良	
12.総合判定	各項目について異常がないこと			(良)	

※ BATT交換

別添-4　エアロゾル試験前後のα線用サーベイメータ点検整備記録（試験前）

機器名，機器No.	アルファ線用シンチレーション式サーベイメータ（α線用サーベイメータ）（SZS－201X）	TAG.No. ——— SER.No. G38C580		
項　目	基　準	現状確認値	点検結果値	備　考
2.9　メータ指示精度	F.S±5(%)以内			
	16.5～19.5(cpm)	17.8　(cpm)	17.8　(cpm)	
	55～65(cpm)	58　(cpm)	58　(cpm)	
	165～190(cpm)	180　(cpm)	180　(cpm)	
	550～650(cpm)	590　(cpm)	590　(cpm)	
	1650～1900(cpm)	1780　(cpm)	1780　(cpm)	
	5500～6500(cpm)	5900　(cpm)	5900　(cpm)	
2.10 REC出力精度	0～10(mV)F.S±5(%)以内			
	5.50～6.50(mV)	6.13　(mV)	6.13　(mV)	
	5.50～6.50(mV)	5.99　(mV)	5.99　(mV)	
	5.50～6.50(mV)	6.20　(mV)	6.20　(mV)	
	5.50～6.50(mV)	6.18　(mV)	6.18　(mV)	
	5.50～6.50(mV)	6.13　(mV)	6.13　(mV)	
	5.50～6.50(mV)	6.14　(mV)	6.14　(mV)	
2.11 外部出力波形	ﾊﾟﾙｽ波高 3.0～5.0(V)	5.0　(V)	5.0　(V)	
	ﾊﾟﾙｽ幅 4～6(μsec)	6　(μsec)	6　(μsec)	
2.12 時定数	各時定数±30(%)以内			
	10(sec)	11.7　(sec)	11.7　(sec)	
	30(sec)	33.5　(sec)	33.5　(sec)	
	100(sec)	96.5　(sec)	96.5　(sec)	
3.検出部				
3.1　B.G測定	1(cpm)以下	0.4　(cpm)	0.4　(cpm)	
3.2　計数効率	15.0(%)以上(4π)	22.7　(%)	22.7　(%)	
3.3　計数ﾗﾝﾌﾟ	計数ﾗﾝﾌﾟが点滅・点灯すること	良	良	
4.総合判定	各項目について異常がないこと		（良）	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	U_3O_8 協－1405
点検場所	計測機器校正室		
別添（有・無）	無		

エアロゾル試験前後のα線用サーベイメータ点検整備記録（試験後）

機器名，機器No.	ｱﾙﾌｧ線用ｼﾝﾁﾚｰｼｮﾝ式ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ（α線用サーベイメータ）(SZS－201X)	TAG.No. ——— SER.No. G38C580

項　目	基　準	現状確認値	点検結果値	備　考
2.9 ﾒｰﾀ指示精度	F.S±5(%)以内			
	ﾚﾝｼﾞ			
入力値 1.8E+0(cpm)	30　16.5～19.5(cpm)	17.7 (cpm)	17.7 (cpm)	
6.0E+1(cpm)	100　55～65(cpm)	57 (cpm)	57 (cpm)	
1.8E+2(cpm)	300　165～190(cpm)	178 (cpm)	178 (cpm)	
6.0E+2(cpm)	1K　550～650(cpm)	590 (cpm)	590 (cpm)	
1.8E+3(cpm)	3K　1650～1900(cpm)	1760 (cpm)	1760 (cpm)	
6.0E+3(cpm)	10K　5500～6500(cpm)	5850 (cpm)	5850 (cpm)	
2.10 REC出力精度	0～10(mV)F.S±5(%)以内			
入力値 1.8E+0(cpm)	30　5.50～6.50(mV)	6.11 (mV)	6.11 (mV)	
6.0E+1(cpm)	100　5.50～6.50(mV)	5.98 (mV)	5.98 (mV)	
1.8E+2(cpm)	300　5.50～6.50(mV)	6.20 (mV)	6.20 (mV)	
6.0E+2(cpm)	1K　5.50～6.50(mV)	6.19 (mV)	6.19 (mV)	
1.8E+3(cpm)	3K　5.50～6.50(mV)	6.12 (mV)	6.12 (mV)	
6.0E+3(cpm)	10K　5.50～6.50(mV)	6.14 (mV)	6.14 (mV)	
2.11 外部出力波形	ﾊﾟﾙｽ波高　3.0～5.0(V)	4.9 (V)	4.9 (V)	
	ﾊﾟﾙｽ幅　4～6(μsec)	6 (μsec)	6 (μsec)	
2.12 時定数	各時定数±30(%)以内			
	TC. 10　7.0～13.0(sec)	11.3 (sec)	11.3 (sec)	
	TC. 30　21.0～39.0(sec)	32.6 (sec)	32.6 (sec)	
	TC.100　70.0～130.0(sec)	97.4 (sec)	97.4 (sec)	
3.検出部				
3.1 B.G測定	1(cpm)以下	0.4 (cpm)	0.4 (cpm)	
3.2 計数効率	15.0(%)/(4π)以上	22.6 (%)	22.6 (%)	
3.3 計数ﾗﾝﾌﾟ	計数ﾗﾝﾌﾟが点滅・点灯すること	良	良	
4.総合判定	各項目について異常がないこと		(良)	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	U_3O_8 協－1405
点検場所	計測機器校正室		
別添（有・無）	無		

別添-5　エアロゾル試験前後のγ線用サーベイメータ点検整備記録（試験前）

検査名（総合検査）　1/2

機器名	電離箱式ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ(γ線用ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ) (ICS-321)	承認		年月日	H15.8.29 ～H15.8.29
機器 No.	TAG. No. ― SER. No. R01073	調査		点検者氏名	

項目	基準	現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品の破損・ネジの緩みがないこと	良	良	
2.起動時の作動確認	ｾｸﾞﾒﾝﾄ点灯・日付・時刻 HV:OK・ZERO・測定状態に異常なく切り替わること	良	良	
3.電池残量表示の確認	電池残量ﾚﾍﾞﾙが■■□□以上あること	良	良	
4.ドリフトチェック	最大目盛値±2(%)以内であること	良	良	
5.ノイズチェック	ノイズがないこと	良	良	
6.バックグランドの確認	0.3(μSv/h)以下であること	良	良	
7.線源校正				
7.1校正定数	各レンジ共1±0.3以内			
10(μSv/h)		0.9	0.9	
100(μSv/h)		1.0	1.0	
1000(μSv/h)		1.0	1.0	
10(mSv/h)		1.0	1.0	
積算レンジ 10(μSv)		1.0	1.0	
7.2直線性	各レンジ共基準値±10(%)又は最大目盛値±5(%)以内であること	良	良	
8.総合判定	各項目について異常がないこと		（良）	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	^{137}Cs
点検場所	計測機器校正室		

エアロゾル試験前後のγ線用サーベイメータ点検整備記録（試験後）

検査名（総合検査）　1/2

機器名	電離箱式ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ(γ線用ｻｰﾍﾞｲﾒｰﾀ) (ICS-321)	承認		年月日	H15.11.14 ～H15.11.14
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R01073	調査		点検者氏名	

項目	基準	現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品の破損・ネジの緩みがないこと	良	良	
2.起動時の作動確認	ｾｸﾞﾒﾝﾄ点灯・日付・時刻 HV:OK・ZERO・測定状態に異常なく切り替わること	良	良	
3.電池残量表示の確認	電池残量ﾚﾍﾞﾙが■■□□以上あること	良	良	
4.ドリフトチェック	最大目盛値±2(%)以内であること	良	良	
5.ノイズチェック	ノイズがないこと	良	良	
6.バックグランドの確認	0.3(μSv/h)以下であること	良	良	
7.線源校正				
7.1校正定数	各レンジ共1±0.3以内			
10(μSv/h)		1.0	1.0	
100(μSv/h)		1.0	1.0	
1000(μSv/h)		1.0	1.0	
10(mSv/h)		1.0	1.0	
積算レンジ 10(μSv)		1.0	1.0	
7.2直線性	各レンジ共基準値±10(%)又は最大目盛値±5(%)以内であること	良	良	
8.総合判定	各項目について異常がないこと		(良)	

設置場所	安全管理別棟	使用線源	^{137}Cs
点検場所	計測機器校正室		

別添-6　エアロゾル試験前後の中性子線用サーベイメータ点検整備記録（試験前）

検査名（総合検査）　1/3

機器名	中性子用線サーベイメータ（NSN21001）	承認		年月日	H15.9.26 ～H15.9.26
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R3H0137T	調査		点検者氏名	

項目	基準	現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品・ネジの緩みがないこと	良	良	
2.充電機能 2.1電池電圧	2.1(V)以上	3:1 (V)	3.1 (V)	DM-28 AD-26
2.2電池電圧低下機能	2.1±0.1(V)以内	2.1 (V)	2.1 (V)	
3.高圧電源 検出印加電圧	1300±50(V)以内	1325 (V)	1325 (V)	HV-22
4.指示精度	参考値			PG-37
	入力値 / 指示値			
	0.040cps / 0.01μSv/h	0.010 (μSv/h)	0.010 (μSv/h)	
	0.40cps / 0.1μSv/h	0.104 (μSv/h)	0.104 (μSv/h)	
	4.0cps / 1μSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
	40cps / 0.01mSv/h	0.010 (mSv/h)	0.010 (mSv/h)	
	400cps / 0.1mSv/h	0.104 (mSv/h)	0.104 (mSv/h)	
	4000cps / 1mSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
5.対数表示の確認	異常がないこと	良	良	
6.記録計出力	1±0.10(V)以内	1.01 (V)	1.01 (V)	DM-28
7.出力機能	パルス波高：3.5(V)以上	3.8 (V)	3.8 (V)	SC-17
	パルス幅：2±0.4(μsec)以内	1.8 (μsec)	1.8 (μsec)	
8.ノイズチェック	0.1(μSv/h)以下であること	良	良	
9.バックグランドの測定	1.2(cpm)以下であること	良	良	BS-2
10.線源校正 10.1校正定数	1±0.3以内	0.9	0.9	
10.2中性子感度	4±0.80(cps/μSv/h)以内	4.47 (cps/μSv/h)	4.47 (cps/μSv/h)	
11.γ線感度	0.2(μSv/h)以下であること	良	良	
12.総合判定	各項目について異常がないこと		(良)	

エアロゾル試験前後の中性子線用サーベイメータ点検整備記録（試験後）

検査名（総合検査）　1/3

機器名	中性子用線サーベイメータ（NSN21001）	承認		年月日	H15.11.14
機器 No.	TAG. No. — SER. No. R3H0137T	調査		点検者氏名	

項目	基準	現状確認値	点検結果値	備考
1.点検・清掃	本体の外部・内部が清掃され、部品・ネジの緩みがないこと	良	良	
2.充電機能 2.1電池電圧	2.1(V)以上	2.9 (V)	2.9 (V)	DM-28 AD-26
2.2電池電圧低下機能	2.1±0.1(V)以内	2.1 (V)	2.1 (V)	
3.高圧電源 検出印加電圧	1300±50(V)以内	1326 (V)	1326 (V)	HV-22
4.指示精度	参考値			PG-37
	入力値 / 指示値			
	0.040cps / 0.01μSv/h	0.011 (μSv/h)	0.011 (μSv/h)	
	0.40cps / 0.1μSv/h	0.104 (μSv/h)	0.104 (μSv/h)	
	4.0cps / 1μSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
	40cps / 0.01mSv/h	0.010 (mSv/h)	0.010 (mSv/h)	
	400cps / 0.1mSv/h	0.104 (mSv/h)	0.104 (mSv/h)	
	4000cps / 1mSv/h	1.041 (mSv/h)	1.041 (mSv/h)	
5.対数表示の確認	異常がないこと	良	良	
6.記録計出力	1±0.10(V)以内	0.99 (V)	0.99 (V)	DM-28
7.出力機能	パルス波高：3.5(V)以上	3.9 (V)	3.9 (V)	SC-17
	パルス幅：2±0.4(μsec)以内	1.7 (μsec)	1.7 (μsec)	
8.ノイズチェック	0.1(μSv/h)以下であること	良	良	
9.バックグランドの測定	1.2(cpm)以下であること	良	良	BS-2
10.線源校正 10.1校正定数	1±0.3以内	0.9	0.9	
10.2中性子感度	4±0.80(cps/μSv/h)以内	4.34 (cps/μSv/h)	4.34 (cps/μSv/h)	
11.γ線感度	0.2(μSv/h)以下であること	良	良	
12.総合判定	各項目について異常がないこと		(良)	