

個人線量モニタリングシステム

青山 敬(あおやま けい)

上田 治(うへだ おさむ)

河村 岳司(かわむら たけし)

特集
2

① まえがき

原子力分野や放射線利用施設の放射線安全管理においては、国際放射線防護委員会（ICRP Pub.60）の勧告を取り入れた放射線障害防止法令などが2001年4月に改正され、個人被ばく線量限度は従来の50 mSv/年に加えて100 mSv/5年の限度が追加され、管理レベルは厳しくなった。

線量管理に用いる個人線量計は2001年から従来のフィルムパッチに変わって蛍光ガラス線量計、OSL（Optically Stimulated Luminescence）線量計が使用されるようになった。これらの線量計は測定値を直読できないため、線量値を直読できかつアラーム機能を備えた電子式線量計が近年線量管理用に採用されつつある。

海外でも電子式個人線量計の採用が増えており、IEC規格においては、 α 線、 β 線および中性子測定可能な電子式線量計の規格が制定されている。

国内の電子式個人線量計の規格としては2002年にIEC規格と整合を図り、JIS Z 4312「 α 線、 β 線、 γ 線及び中性子用電子式個人線量（率）計」が改定された。

富士電機は1980年に半導体検出器を用いた警報付線量計を開発して以来、現在まで改良を重ねてきている。この電子式線量計を高機能化し、入退域管理装置を組み合わせた富士電機の個人線量管理システムは現在、国内の原子力施設で約70%のシェアを持っている。

② システムの概要

個人線量モニタリングシステムは、原子力発電所などの放射線管理区域内に入域する際に電子式線量計を従事者が携帯して作業中に受けた放射線の量を測定し、退域時に入退域管理装置で線量データを読み取り、計算機システムで個人ごとの線量や作業ごとの線量を管理するものである。図1にシステムの概要を示す。図中の線量計は電子式線量計の略である。

③ 電子式線量計

電子式線量計は、従事者が胸のポケットに携帯して作業中に受けた放射線の量をリアルタイムで測定・表示し、設定値以上の線量を被ばくした場合に警報を発する機能を持つ。センサには小型・低消費電力という特徴からシリコン半導体検出器を使用している。

個人線量計は構造がシンプルで耐久性・信頼性が高いフィルムパッチなどのパッシブ線量計が従来から広く用いられてきたが、これらの線量計は線量データを直読できないという欠点があった。そのため国内の原子力発電所では、パッシブ線量計と併用して作業中の線量監視用（アラーム機能）として電子式線量計を用いていた。

近年では電子式線量計の開発が進み、耐ノイズ・耐衝撃性を改善して信頼性が向上し、 α 線・ β 線はもちろん γ 線、中性子の測定が可能になってきている。さらに、電子式線量計のデータ通信機能は赤外線・無線方式により外部のデータ処理システムとの連携が容易であり、迅速な測定記録の管理、入退域管理、トレンドデータ測定などシステムの高機能化が図れる。

電子式線量計の主な特徴を以下にまとめる。

- ① 多線種を同時測定
 α 線、 β 線に加えて γ 線、中性子の同時測定が可能である（世界初）。
- ② データの信頼性
従来の法定線量計（パッシブ線量計）と同等性能である。これは実際に原子力発電所で並行運用した測定データの評価から確認済みである。
- ③ 国際規格にも準拠
国際電気標準会議（IEC）の電子式線量計の規格（IEC 61526）、および国内JIS規格（JIS Z 4312）を満足している。
- ④ 無線通信による操作性改善、時間短縮

電子式線量計と入退域管理装置のデータ通信は無線通信を採用し、ポケットに入れたままでも通信でき、入退域の



青山 敬

放射線モニタリングシステムの開発、エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ(株) e-ソリューション本部放射線システム統括部放射線システム部担当課長。原子力学会会員。



上田 治

放射線検出器の開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ(株)機器本部東京工場ファインテック機器部。



河村 岳司

放射線汚染測定装置の開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ(株)機器本部東京工場放射線装置部。

図1 個人線量モニタリングシステムの概要

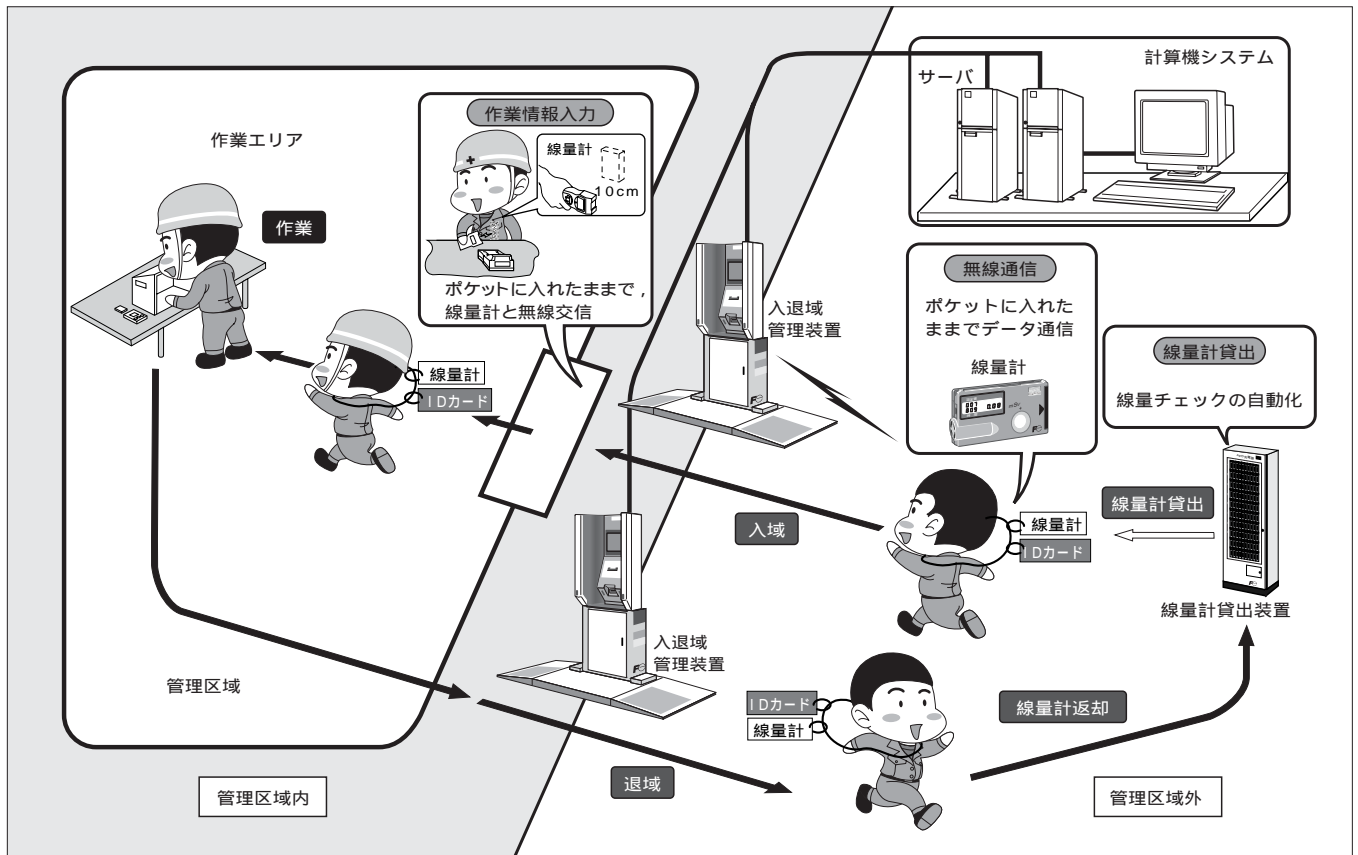


図2 ・ 線量計



操作性が改善され、かつ処理時間を短縮できる。

最近ではこの無線通信機能を拡大して遠隔無線モニタリングにも適用し、システム化を実現している。

国内の多くの原子力発電所では線量管理の合理化，作業者の負担軽減を目的として，一つの電子式線量計だけを用いる管理に移行している。これらの要求を受けて開発した (X)線・線用線量計(以下，線量計と略す)および (X)線・中性子線量計(以下，中性子線量計と略す)について以下に紹介する。

3.1 ・ 線量計

- ・ 線量計は (X)線用と 線用の二つのセンサを搭載し、それぞれの放射線を同時に計測することができる。
- ・ 線量計を図2，主な仕様を表1に示す。

表1 ・ 線量計の仕様

線量計型式	NRN64311	
検出器	半導体	
検出線種	(X)線	線
検出エネルギー	50 keV ~ 6 MeV	300 keV ~ 2.3 MeV
エネルギー特性	± 20 % 以内 ¹³⁷ Cs基準	± 30 % 以内 ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y基準
方向特性	± 15 % 以内 上下左右60°まで ¹³⁷ Cs基準	± 30 % 以内 上下左右60°まで ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y基準
表示範囲	0 ~ 999.99 mSv	0 ~ 999.9 mSv
指示精度	± 10 % 以内 0.1 ~ 999.9 mSv	± 15 % 以内 0.1 ~ 999.9 mSv
警報	音：100 dB以上，表示灯：LED点滅(赤)	
通信方式	無線(LF)および接点	
電源	NiCd充電電池(連続12時間以上)	
使用温度	0 ~ 50	
寸法	110 × 57 × 17 (mm)	
質量	120 g	

線用センサはシリコンセンサチップを耐環境性向上のためにセラミックパッケージに封止し、入射方向に数種類の金属から成るエネルギーフィルタを備えてエネルギー特性(線のエネルギーによる感度の違い)を補正している。エネルギー特性を図3，方向特性を図4に示す。

線用センサは，線がアルミ板1枚で止まるほど透過力が弱いので，セラミックパッケージの入射方向を厚さ数

図3 (X)線のエネルギー特性

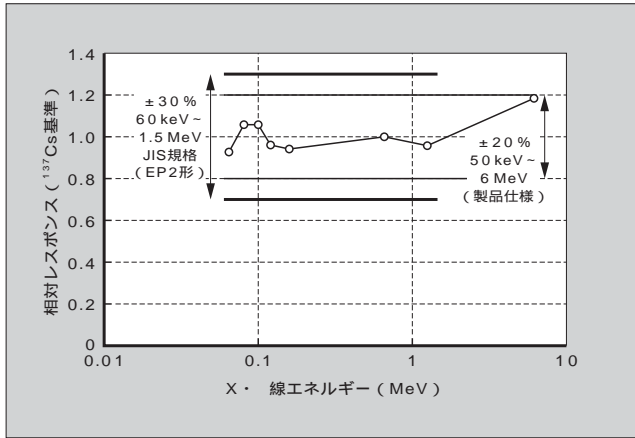
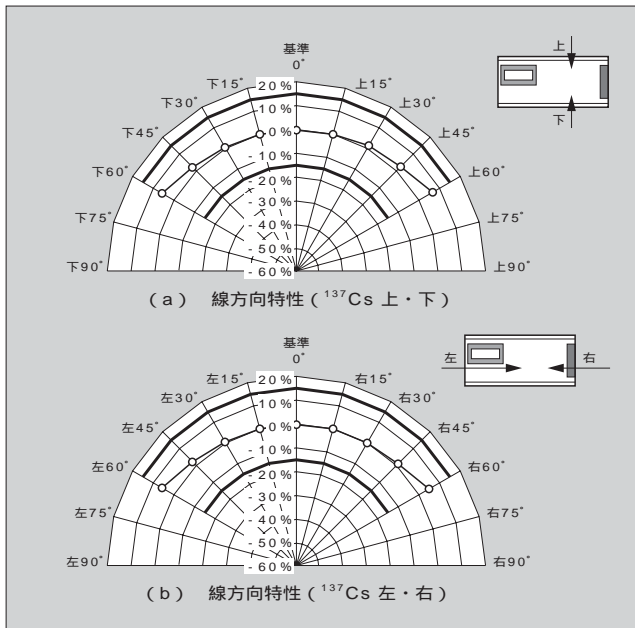


図4 (X)線の方向特性



十μmの樹脂膜で製作している。エネルギー特性を図5に示す。

改定されたJIS Z 4312に準拠するため、図6に示すように線方向特性を改善している。これは線入射方向の立体角を拡大して、線入射窓を大口径化したことによる。

線入射窓の破損防止については補強材により、通常の取扱いは破損しない構造にしている。

3.2 ・中性子線量計

・中性子線量計は (X)線用、中性子用の二つのセンサを搭載し、それぞれの放射線を同時に計測することができる(図7)。・中性子線量計の主な仕様を表2に示す。

(X)線用センサは ・線量計と同様であり、ここでは省略する。

中性子用センサは、中性子が電離作用を持たないためこれを直接検出することはできず、水素やボロンと中性子が反応して発生する荷電粒子を検出している。また、熱中性

図5 線のエネルギー特性

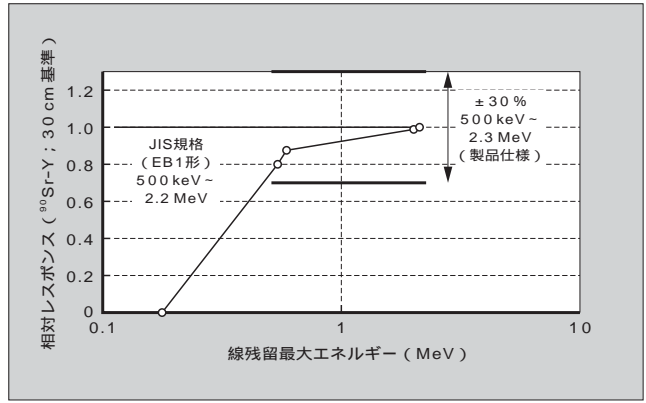


図6 線の方向特性

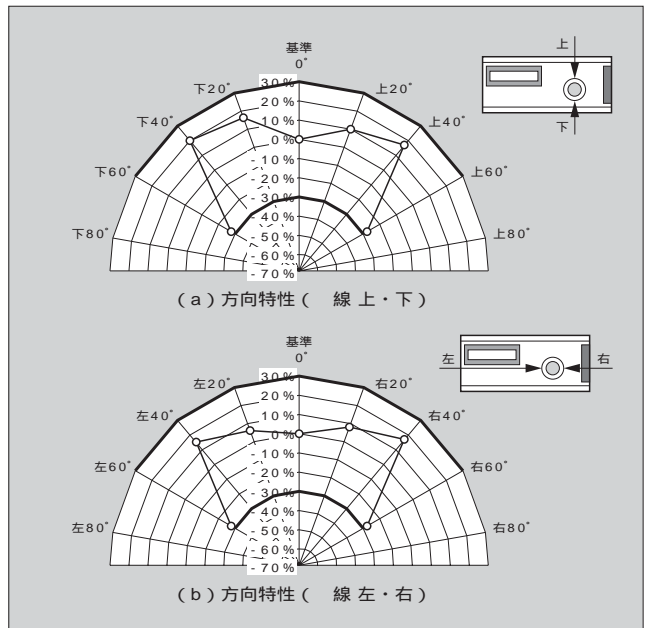


図7 ・中性子線量計



子から15 MeVまで測定エネルギー範囲が広いため、低エネルギー用に熱中性子センサ、高エネルギー用に高速中性子センサの2種類を搭載している。熱中性子センサは表面にボロン薄膜を形成したシリコンセンサチップをセンサパッケージで封止している。

ボロン膜中の¹⁰B原子は低エネルギーの中性子との反応断面積が大きく、中性子と反応して発生した線とLi原

子核をシリコンセンサで検出している。

高速中性子センサはセンサパッケージ内のシリコンセンサ上にポリエチレン (CH₂) を配置し、ポリエチレン中の水素と中性子が反応して発生したリコイルプロトンをシリコンセンサで検出している。

中性子センサの校正は ²⁵²Cf 線源 (平均エネルギー 2.3 MeV) を用いている。実際の運用にあたっては、作業環境の放射線場に適した校正定数を事前に取得しておく⁽¹⁾ことが重要であり、そのために熱中性子センサと高速中性子センサの計数値の重み付けを変えられる補正定数を内部に設け、実作業環境下に応じた加重計算を行い、適正な線量値を表示できるように工夫している。

エネルギー特性を図8に、方向特性を図9に示す。

図8 中性子のエネルギー特性

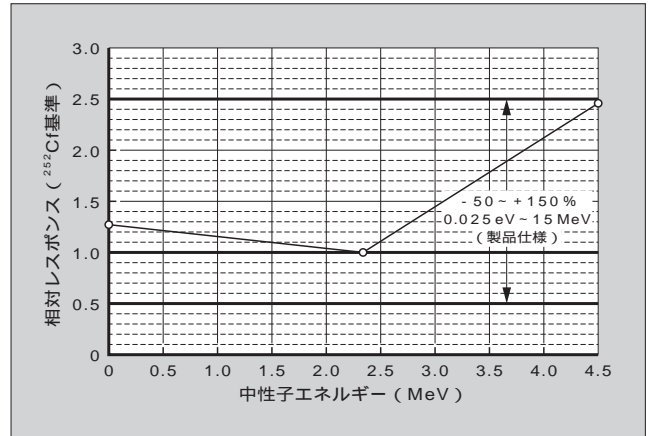


表2 中性子線量計の仕様

線量計型式	NRY50312	
検出器	半導体	
検出線種	(X)線	中性子
検出エネルギー	50 keV ~ 6 MeV	0.025 keV ~ 15 MeV
エネルギー特性	± 20%以内 ¹³⁷ Cs基準	- 50 ~ + 150% (熱中性子場および ²⁴¹ Am-Be線源: ²⁵² Cf基準)
方向特性	± 15%以内 上下左右60°まで ¹³⁷ Cs基準	± 50%以内 上下左右60°まで ²⁵² Cf基準
表示範囲	0 ~ 999.99 mSv	0 ~ 999.99 mSv
指示精度	± 10%以内 0.1 ~ 999.9 mSv	± 20%以内 0.3 ~ 999.9 mSv
警報	音: 100 dB以上, 表示灯: LED点滅 (赤)	
通信方式	無線 (LF) および接点	
電源	NiCd充電電池 (連続12時間以上)	
使用温度	0 ~ 50	
寸法	110 × 57 × 17 (mm)	
質量	120 g	

図9 中性子の方向特性

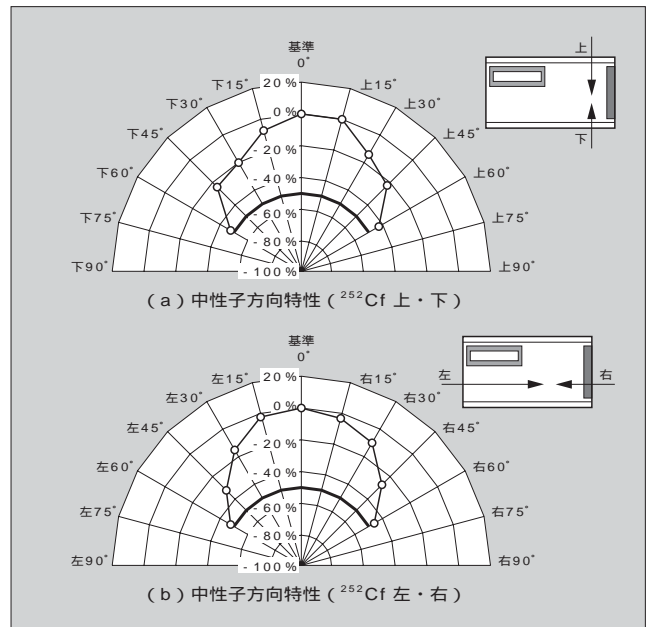


表3 入退域管理装置

納入先	A社	B社	C社	D社
外観				
特徴	線量計貸出装置と一体型 線量計台数: 150台	小型・軽量化で省スペース化	警報表示は大きなLEDを採用	IDカードは無線交信 (胸ポケット)
仕様	対象線量計: NRY1, NRN1 通過方式: フラップゲート 通過時間: 約15秒 寸法 (H, W, D): 約1,440 × 1,350 × 300 (mm) 質量: 約300 kg	対象線量計: NRY4 通過方式: フラップゲート 通過時間: 約7 ~ 8秒 寸法 (H, W, D): 約1,300 × 1,100 × 300 (mm) 質量: 約160 kg	対象線量計: NRY5, NRN5 通過方式: ボールゲート 通過時間: 約7 ~ 8秒 寸法 (H, W, D): 約1,700 × 1,120 × 420 (mm) 質量: 約210 kg	対象線量計: NRY6, NRN6 通過方式: ゲートなし 通過時間: 約7 ~ 8秒 寸法 (H, W, D): 約1,600 × 780 × 400 (mm) 質量: 約200 kg

4 入退域管理装置

入退域管理装置は管理区域の境界に設置し、入退域の資格審査を自動で行うものであり、下記の特徴を有する。

- 1) 電子式線量計と装置間は無線でデータ（線量データや線量計番号、立入時間、警報値など）を交信する。
 - 2) 作業番号の入力を簡素化し、入域時、画面に最新作業件名を表示して選択可能として通過時間の短縮を図っている。
 - 3) 装置全体を薄型化・高機能化している。
- 装置の主要構成は、操作画面、線量計交信部、IDカード読取部、人検知センサ、状態表示灯などである。ユー

ザーのニーズに応じて、電子式線量計貸出装置と一体型の構造をしたものやゲートを設けたものなどがある。いままで原子力関連施設に納入した装置の特徴、仕様などについて表3に紹介する。外観写真を見ると分かるように、装置ゲートの有無、装置デザイン、カラーなど設置場所ごとに特色を出して、多種多様のニーズに対応した製品作りを行っている。

5 電子式線量計の校正

電子式個人線量計の校正はJIS Z 4511に示されている図10の体系で行う必要がある。計量法上の認定事業者にて電子式個人線量計をファントム付きで校正し、これを実用

図10 線量計の校正体系

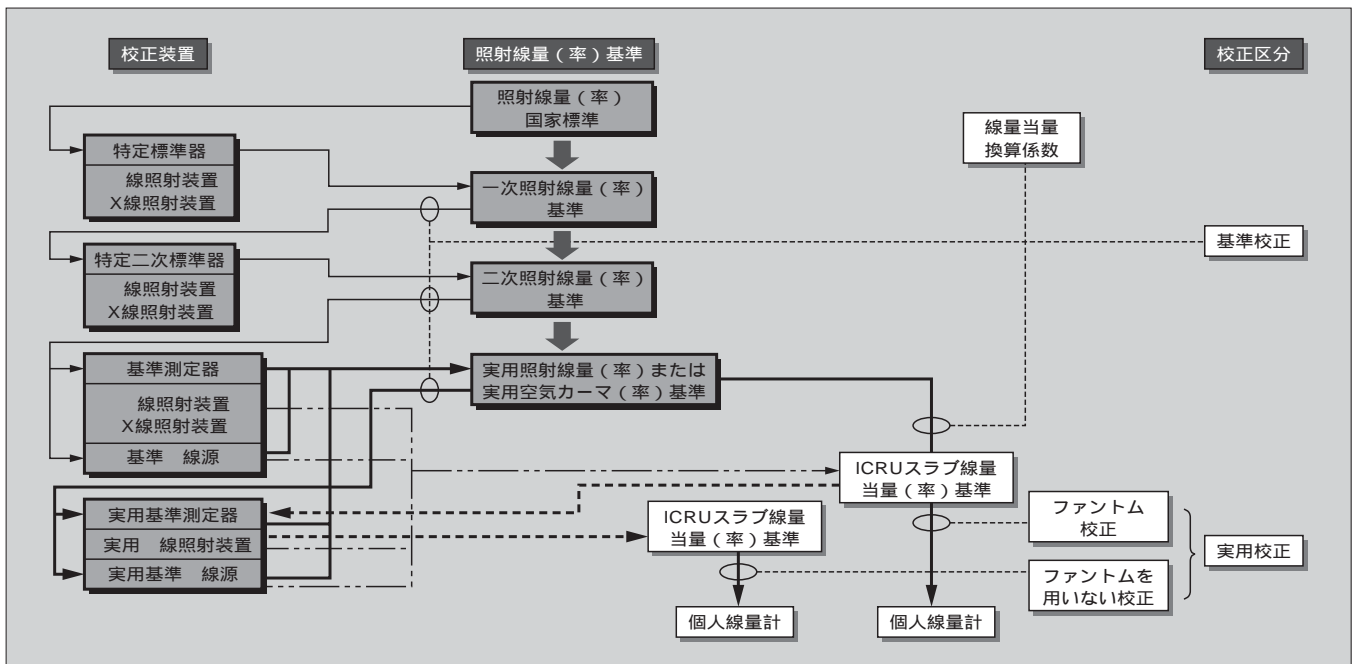


図11 線・線校正装置

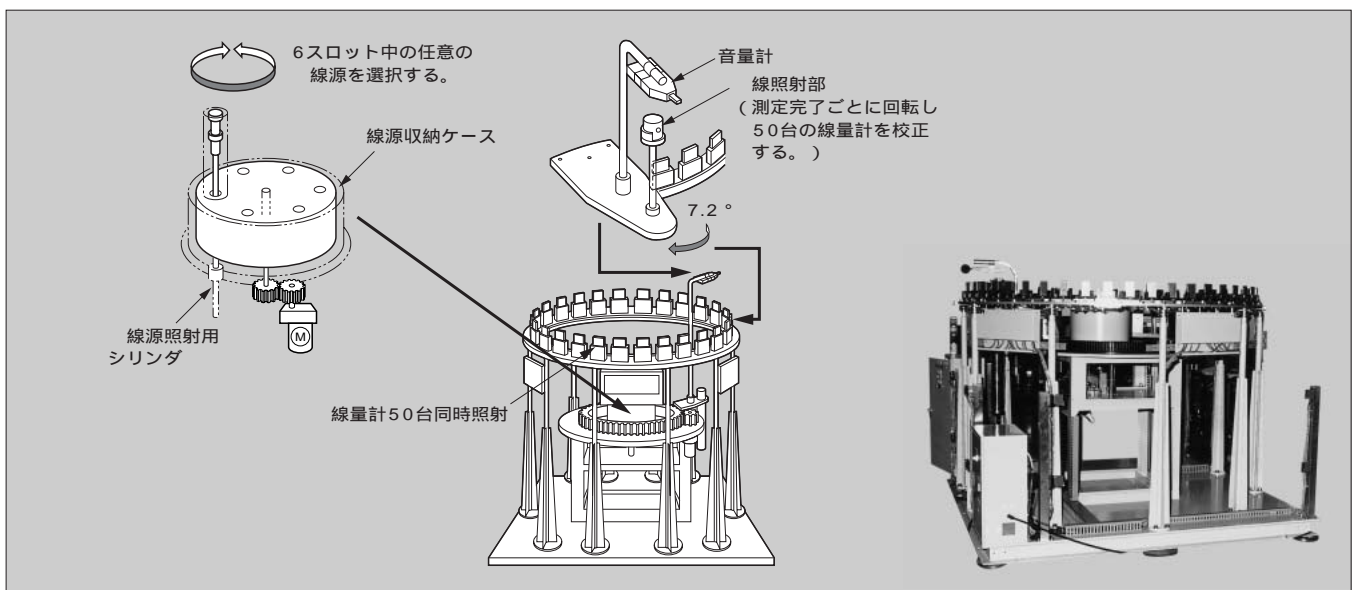
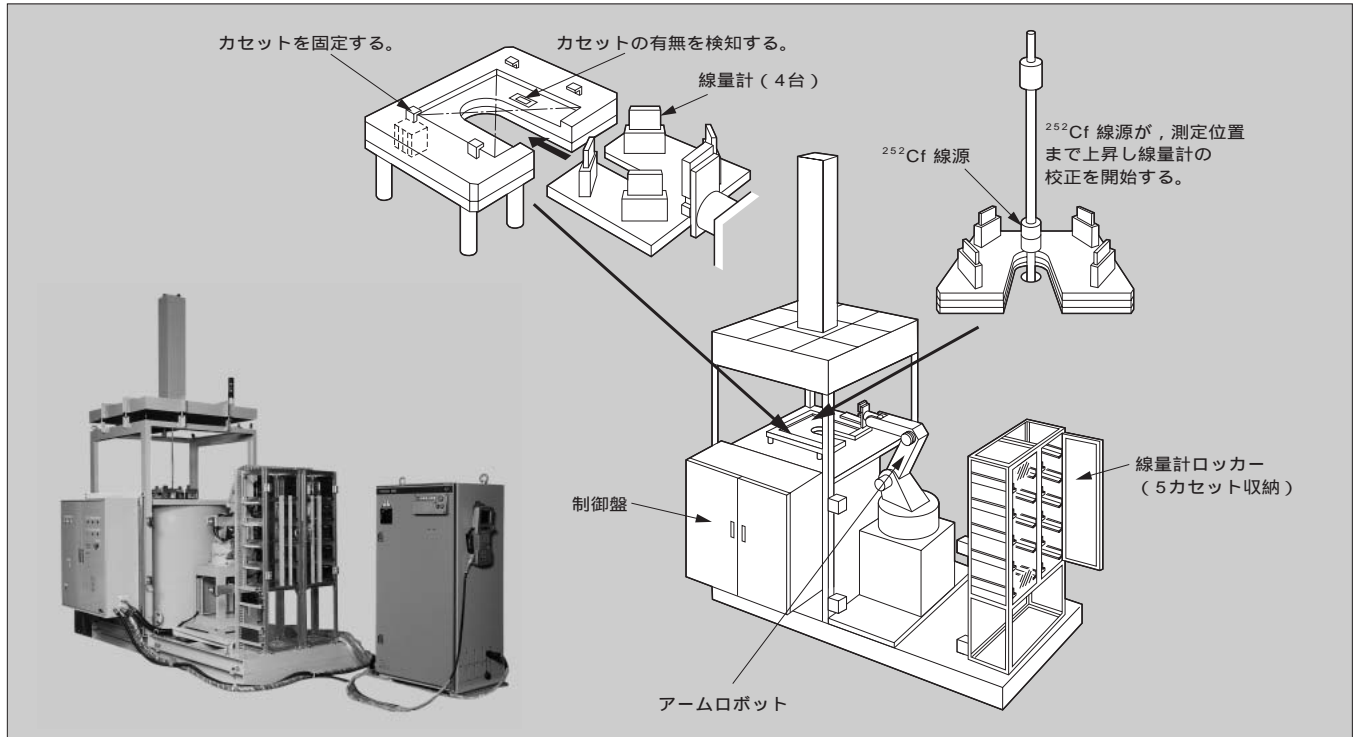


図12 中性子校正装置



A7203-18-255

基準測定器として他の同一形式の電子式個人線量計を置換法によってファントムを用いずに校正することができる⁽³⁾。この方法は JIS 規格の実用校正に対応しており、線のみならず線および中性子についても同じ方法で実用校正が可能と考えている。電子式線量計の実用校正は多数の電子式線量計を校正する必要から、富士電機ではパノラマ照射装置やロボットアームによる自動化装置などの実用校正装置を開発している。線・線用と中性子用の校正装置の例をそれぞれ図11、図12に示す。

⑥ あとがき

個人線量モニタリングシステムにおける富士電機の取組みについて電子式個人線量計を中心に紹介した。今後は多くの施設で使用できる安価で、使いやすかつ正確な電子

式線量計を開発し、利用の拡大を図っていく所存である。最後に電子式個人線量計の開発、製品化にあたり、多くのご指導・ご協力をいただいた電力会社、原子力施設、各研究機関などの関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 被ばく線量の測定・評価マニュアル 5.3.3 . 原子力安全技術センター . 2000.
- 2) JIS Z 4511 照射線量測定器, 空気カーマ測定器, 空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法 . 日本規格協会 . 2004.
- 3) 南賢太郎, 村上博幸 . 実用測定器校正の現状と今後の展開 , JIS Z 4511 の改正と実用測定器校正に関する現状と今後のあり方について . RADIOISOTOPES. vol.53, no.4, 2004.