

汚染分布測定トレイ型 クリアランスレベル測定装置

Development of Tray Type Clearance Level Monitor

吉村 幸雄

■ YOSHIMURA Yukio

山本 修治

■ YAMAMOTO Shuji

牧野 俊一郎

■ MAKINO Shunichiro

後藤 哲夫

■ GOTO Tetsuo

汚染分布測定トレイ型クリアランスレベル測定装置を開発した。クリアランスレベルは“それ以下であれば規制対象としない放射性核種濃度値”として定義され、将来法制化が期待されている。汚染分布測定トレイ型クリアランスレベル測定装置は、波長シフト技術を用いたマルチアレイ型プラスチックシンチレーション検出器を使用し、検出器の小型・薄型化及び高感度化を同時に達成したものである。30 s程度の測定により微少な放射線まで検出できる性能(クリアランスレベルの1/10以下、搬出基準の表面汚染密度レベルの1/10以下)を持っている。

Toshiba has developed a tray type clearance level monitor that measures both nuclide concentration by gamma ray emissions and surface contamination by beta ray emissions in the same unit. The clearance levels are defined as “the values expressed in terms of activity concentrations at or below which sources of radiation may be released from regulatory control.” Laws and regulations for the clearance levels are expected to be established in the near future.

The monitor incorporates multiarray type plastic scintillation detectors employing the wavelength shift technique. The system was made very compact while attaining high sensitivity. The detection limit is as low as one-tenth of the lowest allowable clearance level, and also as low as one-tenth of the contamination level for handheld tools and instruments. The monitor requires about 30 seconds to make a measurement.

1 まえがき

現在、原子力発電所などの管理区域に持ち込まれた物品を管理区域外に持ち出す際には、サーベイメータや物品搬出モニタなどを使った搬出検査が行われている。これは搬出される物品に表面汚染がないことを確認するためであり、物品搬出基準($\beta \cdot \gamma$ 線: 4 Bq/cm²)に基づき適切な放射線測定により確認がなされている。

これに対して、クリアランスレベルとは“放射性物質として扱う必要がないもの”を区分するレベルのことで、これが制度化されることにより、放射性廃棄物とそうでないものを区分することが可能となる。このクリアランスレベルは原子力安全委員会により放射性核種ごとに算出されており、代表的な放射性核種であるコバルト60(⁶⁰Co)のクリアランスレベルは0.4 Bq/gとなっている。2001年7月には、原子力安全委員会により、クリアランスレベルの検認のあり方⁽¹⁾が示され、現在、制度化に向けた検討が進められている。

原子力発電所の廃止措置時に、施設内の機器が撤去され、施設建物自体も解体されることから、大量の金属やコンクリートの解体物が発生する。その大部分は“放射性廃棄物として扱う必要がない物”であることから、大量の解体物を効率よく測定する装置の実現が必要となる。また、このような管理区域内で発生するような物については、従来の物品搬出

基準である表面汚染密度測定も必要になる。今回開発した汚染分布測定トレイ型クリアランスレベル測定装置(以下、トレイ型測定装置と略記)は、同時に両方の測定を可能にした。

2 システムの概要

トレイ型測定装置の主な仕様を表1に示す。

検出器は2層型プラスチックシンチレーション検出器が上下に対向して2台配置されている。上部検出器は、測定対象物に合わせて上下する。装置の外観を図1に示す。

トレイ上に測定対象物を設置し、タッチパネルで必要な

表1. トレイ型測定装置の仕様

Specifications of tray type clearance level monitor

項目	仕様
寸法	高さ1.5 m × 幅1.5 m × 奥行き2 m
質量	4 t (厚さ10 cm鉛遮蔽し使用時)
測定対象物	高さ40 cm × 長さ1 m × 奥行き50 cm以内 数kg ~ 100 kg
トレイ寸法	1 m × 50 cm
走査速度	0.5 cm/s ~ 8 cm/s
検出器	上下2台配置(高さ10 cm ~ 40 cm可変)
測定時間	標準25 s (走査時間を含め38 s)
電源	AC100 V 5 A



図1. トレイ型測定装置——一体化された装置の外観を示す。トレイ上に複数の半割配管がセットされ、これから測定に入るところである。
Tray type clearance level monitor

入力を行い、開始ボタンを押すことにより、自動的にトレイが測定部に移動し、約30s間の測定を行う。測定終了後は、モニタに測定結果を表示するとともに、トレイを最初の位置に戻す。

3 装置の特長

測定目的に適した測定方法を選定する必要があることから、クリアランスレベルモニタとして、以下の3種類の測定方法を提案している。

- (1) 密着走査測定式大面積検出器(移動型)
- (2) バスケット型測定装置(単機能大容量型)
- (3) トレイ型測定装置(搬出検査兼用型)

密着走査測定式大面積検出器は、解体する前の建物や大型の機器の表面汚染に対するクリアランスレベルモニタで、大型の検出器で効率よく表面サーベイを行うことができる。また、バックグラウンド(以下、BGと略記)変動低減機能により、汚染管理区域内測定でのBGの設定の問題を解消している。なお、この測定技術は、(財)原子力発電技術機構(以下、NUPECと略記)の廃炉確証試験に適用され、日本原子力発電(株)東海発電所での実プラント試験⁽²⁾を実施した実績がある。

バスケット型測定装置は、廃止措置時に多量に発生する解体物への適用を考慮し、同一種類の解体物を容器単位で一度に測定することを目的としたクリアランスレベルモニタで、処理能力を優先して使用する場合に適している。なお、この測定技術も、NUPEC確証試験に適用され、東海発電所での実プラント試験⁽³⁾を実施した実績がある。

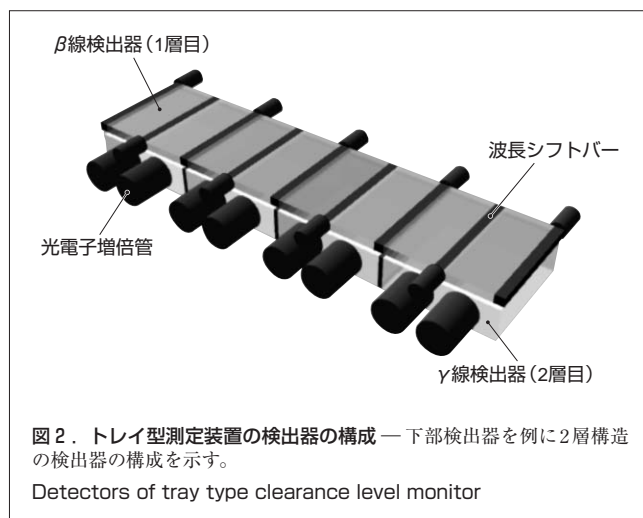
トレイ型測定装置は、同時に物品搬出検査もできることから、測定対象物として様々な種類・形状の物がある場合に

適している。この装置の主な特長は次のとおりである。

- (1) 波長シフト技術を用いた β ・ γ 線同時計測型検出器
- (2) 汚染分布状況の表示
- (3) 一体化されたコンパクトな装置
- (4) タッチパネル入力と保守支援機能

3.1 波長シフト技術を用いた β ・ γ 線同時計測型検出器

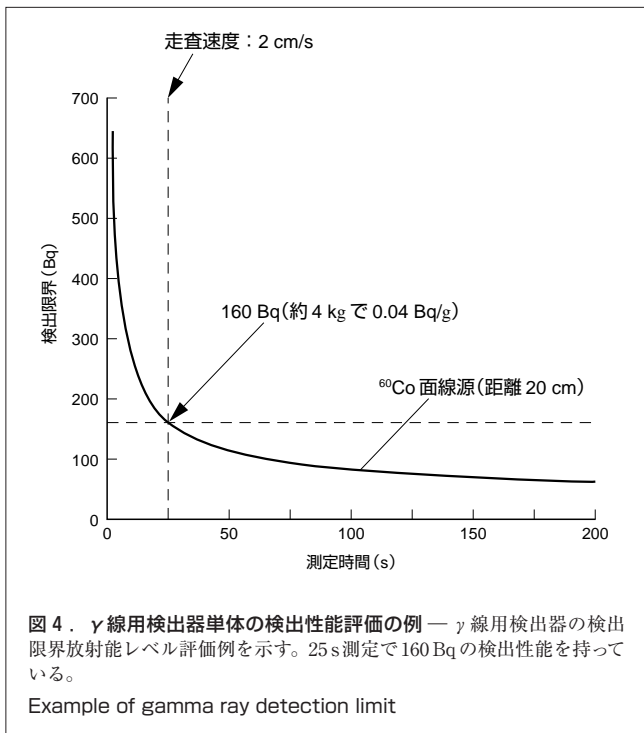
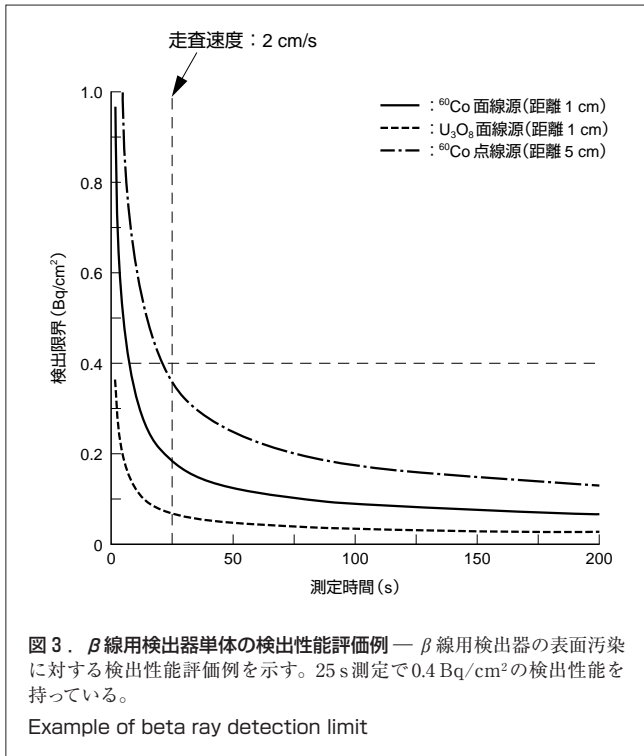
トレイ型測定装置の検出器を図2に示す。この検出器は、東芝が独自に開発した波長シフト技術を用いたマルチアレイ型プラスチックシンチレーション検出器を使った2層型 β ・ γ 線検出器で、コンパクト化と高感度化の両方を達成した。



検出部は8個の β 線用シンチレータと4個の γ 線用シンチレータにより構成され、それぞれのシンチレータからの信号は波長シフトバーによりピックアップされた後、光電子増倍管で処理される。この2種類のマルチアレイ型プラスチックシンチレーション検出器が2層構造にはり合わされ、前段の1層目の検出器で β 線、後段の2層目の検出器で γ 線を測定する。

β 線用検出器単体の表面汚染に対する検出性能の例を図3に示す。10 cm × 10 cmの⁶⁰Coと天然ウラン(U₃O₈)の面線源を検出器からそれぞれ1 cm離れた位置に設定したとき、⁶⁰Co点線源を5 cm離れた位置(凹部を想定)に設定したときの3種類に対して実施した。検出限界レベルは測定時間と検出器との距離に依存して変わるが、25 s測定時(走査速度2 cm/s、検出器当たりの実測定時間は12.5 s)において、 β ・ γ 線の物品搬出基準4 Bq/cm²の1/10の検出性能0.4 Bq/cm²を持っている。

γ 線用検出器単体の検出性能の例を図4に示す。検出限界放射能レベルは代表的な放射性核種である⁶⁰Co点線源を検出器から20 cm離れた位置に設定した条件で、25 s測定時において、160 Bqであった。これは、4 kg以上の測定対象物に対して、クリアランスレベル0.4 Bq/g(⁶⁰Co)の1/10の検出性能0.04 Bq/gを持っていることを示す。



なお、表面汚染密度を γ 線用検出器で評価することも可能であるが、検出性能が β 線用検出器に比べ劣ることから、既存の物品搬出モニタと同様、 β 線用検出器で評価している。また、感度の向上と感度のばらつきを低減及び、前面から入射するBGの低減を目的として2台の2層型 $\beta \cdot \gamma$ 線検出器を上下対向に配置する構造とした。

このような β 線検出器と γ 線検出器を組み合わせた構造は、先に紹介した密着走査測定式大面積検出器においても採用されており、コンパクトでスキマのないレイアウトの検出器を実現できる。

3.2 汚染分布状況の表示

測定終了後、 γ 線測定結果と β 線測定結果を一つの画面に表示する。 γ 線測定結果は上下の検出器について各検出器を4分割した汚染分布結果を計数率の比率で表示する。 β 線測定結果は上下の検出器について各検出器を8分割した汚染分布結果を表面汚染密度評価結果及び計数率の比率で表示する。表面汚染密度については検出限界評価値の表示も行っている。更に、クリアランスレベルと物品搬出基準のいずれかの基準を上回る測定結果が得られた場合は、“異常があります”というメッセージが表示され、どのデータが基準を越えているのか赤字で示される。

3.3 一体化されたコンパクトな装置

従来の放射線計測関連の装置には、測定装置本体以外に、検出器電源や信号処理用モジュールなどが入ったシステムキャビネット、データ処理用パソコン(PC)、駆動部の制御盤などが必要で、これらの機器のために余分なスペースが必要となるだけでなく、たくさんの信号線や電源ケーブルの引き回しも必要であった。

この装置も多数のプラスチックシンチレータを使用しているが、各シンチレータ(及び光電子増倍管)のパルス出力計数部回路を検出器の背面に実装することで小型化を実現した。データ収集PCとはシリアル伝送でデジタル値を送信し、高圧の設定や波高弁別レベルの設定はPCからリモートで設定できるようにした。 β 線用検出器の出力は、SN比(シグナル・ノイズ比)向上のため2系統の信号による同時計数方式とし、 γ 線用検出器の出力は低エネルギー側波高弁別レベル(LLD)と高エネルギー側波高弁別レベル(ULD)の計数を個別に行い、差し引くことによって所定のエネルギー範囲のパルスを計数する方式とした。

更に、データ処理用のPC、駆動部制御盤もすべて装置本体内部に組み込み、周辺機器はまったく不要でケーブルについても外部には100 V交流(AC)電源ケーブル1本だけというコンパクトな装置となっている。

3.4 タッチパネル入力と保守支援機能

すべての入力はモニタの指示に従い、モニタに表示されたボタンに触れるだけで操作ができる。放射性核種濃度換算には平均かさ密度による自己吸収補正を行う方法⁽⁴⁾を基本とするが、一定の分類を行った換算係数も併用して評価することで、入力条件及び換算係数ライブラリの簡素化と精度の良い放射性核種濃度評価の両方を実現している。

この装置は、現場でのメンテナンスを考慮して、保守支援機能を持っており、装置立ち上げ時に自動的に波高弁別

レベル設定, 高圧の印加, BG測定を行う。また, 自動診断機能により, 高圧立ち上げ時の光漏れや測定中に生じる検出面の破損, 外部ノイズ混入などに対する自動検出機能を持っている。更に, 待ち時間を利用してBGの自動測定を行い, 最新のBGファイルの自動更新やBG変動のモニタ機能も持っている。

4 検出性能評価結果

クリアランスレベル検査において適用できる検出性能を持っているか確認するため, 模擬サンプルと標準線源を用いた測定誤差評価試験を実施した。配管, 半割配管, バルブ, 平板, ボルトを使った模擬サンプルを使用し, ⁶⁰Co密封線源(3 kBq~9 kBq)を最大16個使用して汚染を模擬した。

試験結果から換算係数の相対誤差(r_2)は20.7%と評価された。また, 自己吸収に伴うBG変動に起因する相対誤差(r_1)については1.0%であると評価された。この測定誤差評価結果を基に, 以下の評価式で γ 線検出器の検出限界放射能レベルを評価した。相対効率15%の場合の評価結果例を図5に示す。約30sの測定時間で検出限界放射能レベルは100 Bq/試料と評価された。これは, 2.5 kg以上の測定対象物に対して, クリアランスレベル0.4 Bq/g(⁶⁰Co)の1/10の検出性能0.04 Bq/gを持っていることを示す。

$$A_d = a n_d$$

$$= a \frac{\frac{3^2}{t_T} + \sqrt{\left(\frac{3^2}{t_T}\right)^2 + 4(1-3^2 r_2^2) 3^2 \left[n_B \left(\frac{1}{t_T} + \frac{1}{t_B}\right) + r_1^2 n_B^2 \right]}}{2(1-3^2 r_2^2)}$$

- A_d : 検出限界放射能(測定可能レベル)
- a : 換算係数(検出効率の逆数で, 例えば, Bq/cps)
- n_d : 検出限界計数率
- r_1 : BGに対する変動パラメータ(相対誤差に対応)
- r_2 : 線源に対する換算係数の相対誤差(= σ_a/a)
- σ_a : 換算係数 a の誤差
- n_B : BG計数率の評価値(自己吸収補正を行ったもの)
- t_T : 実際の測定時間
- t_B : BG評価時の測定時間

5 あとがき

対象物の種々の汚染形態に対応するトレイ型測定装置を開発した。今後, この装置による測定性能評価データを原子力学会などに積極的に提供することにより, クリアランスレベルの早期法制化並びに運用マニュアルの早期整備に貢献していきたい。

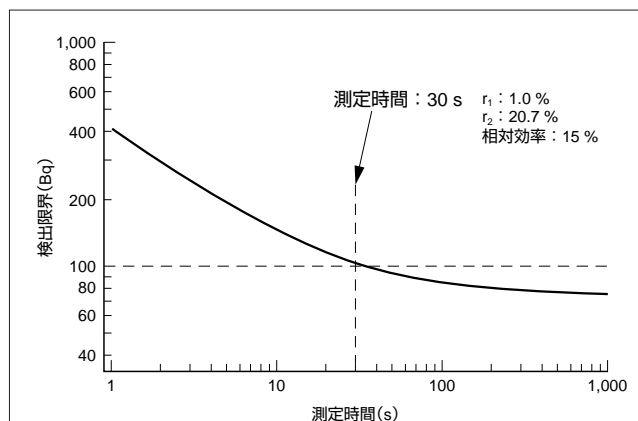


図5. 測定誤差を考慮した γ 線検出下限評価結果 — BG変動に起因する相対誤差 r_1 と換算係数の相対誤差 r_2 の測定結果に基づく γ 線検出下限評価結果を示す。

Result of gamma detection limit calculated with r_1 and r_2

文献

- (1) 原子力安全委員会.“原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について”.2001,47p.
- (2) 牧野俊一郎,ほか.“クリアランスレベル検認における測定技術の検討整理(Ⅳ)”.日本原子力学会.2003年秋の大会予稿集第I分冊,C1,p.87.
- (3) 山本修治,ほか.“クリアランスレベル検認における測定技術の検討整理(Ⅴ)”.日本原子力学会.2004年春の年会予稿集第I分冊,F31,p.71.
- (4) 後藤哲夫,ほか.“波長シフト検出器におけるクリアランスレベルモニタの開発(その2)”.日本原子力学会.2003年秋の大会予稿集第I分冊,C2,p.88.



吉村 幸雄 YOSHIMURA Yukio

電力・社会システム社 原子力事業部 礫子エンジニアリングセンター主務。核燃料サイクル・バックエンド関係のシステムエンジニアリング業務に従事。原子力学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



山本 修治 YAMAMOTO Shuji

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター計測・検査技術開発部主務。放射線センサ及び計測システムの開発に従事。原子力学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



牧野 俊一郎 MAKINO Shunichiro

アイテル技術サービス(株)。放射線計測関連の研究・開発に従事。原子力学会会員。
Aitel Corp.



後藤 哲夫 GOTO Tetsuo

東芝電力放射線テクノサービス(株)技術第三部長。放射線計測システムの開発に従事。原子力学会会員。
Toshiba Power Systems Radiation Techno-service Co., Ltd.