



放射線管理用機器の保全について

長谷川 市郎 森山 竜也
宮部 賢次郎 都所 昭雄

東海事業所 安全管理部

資料番号：79-9

Experience of Maintenance for the Radiation Monitoring Instruments

Ichiro Hasegawa Tatuya Moriyama
Kenjiro Miyabe Akio Todokoro
(Health and Safety Division, Tokai Works)

東海事業所の計測機器校正施設では、放射線管理用機器の定期点検保守、校正等を行い、常に正常な機能および性能を維持している。そこで効果的な予防保全の確立を目的として、放射線管理用機器の点検・校正および修理の経験に基づき、代表的な放射線管理機器についての故障発生状況を調査した。また、 α 線ダストモニタに使用されるシリコン表面障壁型半導体検出器および β 線ダストモニタに使用されるGM計数管についてワイブル分布推定による統計的な故障解析を実施し、報告書に示すとおりこれらの検出器がワイブル分布に従うことがわかった。

1. はじめに

東海事業所では、使用済燃料再処理施設、ウラン濃縮開発施設、プルトニウム燃料工場等の数多くの核燃料施設が運転され、これらの施設では、作業環境の放射線管理や周辺環境の放射線監視等を目的に、多種・多様の放射線管理用機器が数多く使用されている。これらの測定機器によるモニタリングの結果は、施設内および周辺環境の放射線安全の確保による施設の安全・安定運転に直接反映されるため、使用する放射線管理用機器については、保守・点検等の適切な保全を行うことにより、常に正常な機能および性能を維持することが重要である。

東海事業所の計測機器校正施設では、放射線管理用機器の定期点検、校正、保守を開始してからすでに20年が経過しており、この間、点検・校正技術の整備や標準化を図るとともに定常的な保守業務を実施してきた。一方、再処理施設をはじめとした核燃料施設の増設による点検対象機器の増加および使用する放射線管理用機器の高度化に対応するため、校正施設・設備の整備および点検の自動化にも努めてきた。また、放射線管理用機器の点検・校正および修理の経験に基づいた故障データの解析を行い、その結果を点検に反映し予防保全を考慮した効果的な

保全方法の確立にも努めている。ここでは、昭和61年度から平成元年度の期間における代表的な放射線管理用機器の故障データの解析を行ったのでその結果を報告する。

2. 放射線管理用機器の保全の現状

2-1 保全対象機器

現在、東海事業所の核燃料施設で使用されている放射線管理用機器の種類と台数を図1に示す。

点検の対象となる機器は約43機種で、その数は約3,000台にも及んでいる。放射線管理用機器はその用途に応じて、作業環境管理用、放出管理用、環境管理用に大別される。作業環境管理用機器は施設内作業環境の放射線管理に使用され、外部放射線の線量当量率や空気中放射性物質濃度を連続監視する定置式モニタ、外部放射線の線量当量率や表面密度測定に使用するサーベイメータ類、管理区域の出入時の汚染検査に使用する出入管理用機器、空気中放射性物質濃度や表面密度の管理における各種試料の測定・核種分析に使用する放射能測定装置等がある。放出管理用機器は、周辺監視区域外へ放出する気体および液体の監視に使用する排気、排水モニタがある。環境管理用機器は、施設外や周辺環境の空

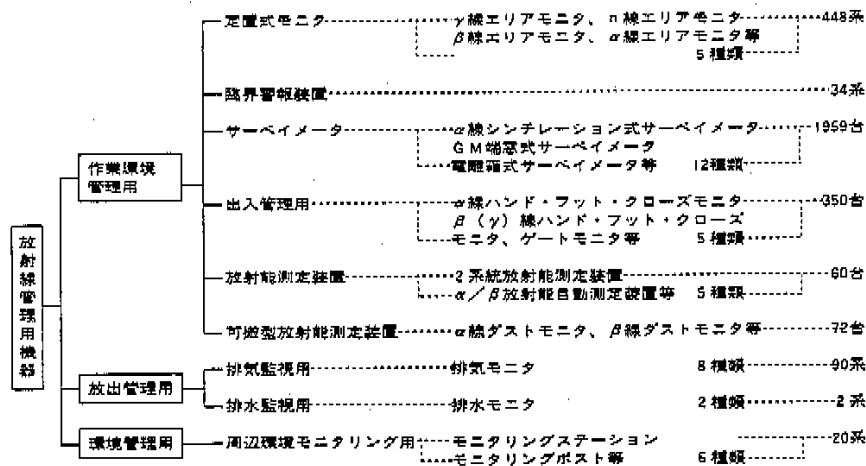


図1 東海事業所で使用されている放射線管理用機器の区分及び台数

問線量率、空气中放射性物質濃度等の監視等に使用するモニタリングステーション、モニタリングポスト等がある。この他、再処理施設、プルトニウム燃料工場等に設置されている臨界警報装置も保安対象に含まれている。

2-2 放射線管理用機器の保全方法

現在、東海事業所で行っている放射線管理用機器の保全の項目と頻度を表1に示す。

保全として、状態監視保全（日常点検）、時間計画保全（定期保全、経時保全）および新たに使用する場合の使用前検査を行うとともに、機器に故障や異常が生じた場合は、速やかに事後保全（修理）を行っている。放射線管理用機器の保全においては特に、定期保全が重要であり、機器の正常な機能および性能を確認することを目的として法令および保安規定に基づき実施している定期点検と、機器の異常等の事前の発見を目的として過去の修理経験等に基づいて自主点検を実施している。

定期点検は、機器の検出部、測定部、電源部等の試験を含めた年2回の総合検査により、各部の外観、機能、性能の点検および線源校正を行っている。これに加え、定置式モニタおよび臨界警報装置においてはシステム全体としての性能検査（警報試験等）を3ヵ月毎（臨界警報装置においては1ヵ月毎）に行うとともに、モニタを構成する検出器やモジュールについては電気的な性能を検査する単体検査を年1回実施している。

これらの総合検査や単体検査等においては、于防保全の観点から検出部、測定部、電源部等の試験の結果、点検整備基準に適合しない場合や外観に異常がある場合は、設定値の調整または部品の交換等を行い、故障の発生や異常を未然に防止している。

一方、機器に故障や異常が生じた場合は、欠測時間をできるだけ短縮化する方法で事後保全（修理）を実施している。すなわち、定置式モニタ等の重要な機器に故障が生じた場合は、保安担当者が故障箇所の判定を早急に行い、検出部、測定部、電源部等の機能毎にブロック化されたモジュールを予備品に交換し、システム機能の早期復帰を図っている。

3. 放射線管理用機器の故障データの解析
3-1 主な放射線管理用機器の部位別の故障発生状況
東海事業所で使用している主な放射線管理用機器について、昭和61年度から平成元年度における部位

表1 東海事業所における放射線管理用機器の保全の種類と考え方

保全の種類	目的	検査内容	頻度	備考
状態監視保全		基本動作確認	1回/日	
時間計画保全	保全性の確認	総合検査 機器の検出部、測定部、電源部等の電気的な試験及び線源校正。定置式モニタにおいてはシステム全体としての警報試験等の総合試験	2回/年	
		性能検査 システム全体としての警報試験等の総合試験	1回/3ヵ月	定置式モニタ
		単体検査 システムを構成する検出器やモジュール等の電気的な試験	1回/月	臨界警報装置（再処理施設のみ）
		事後保全 定期的な部品の交換	1回/年	サーベイメータ類を除く
	使用前検査	総合検査 定期保全と同じ	1回/5年	臨界警報装置
事後保全	修理	総合検査 定期保全と同じ	新たに使用する前	故障の頻度

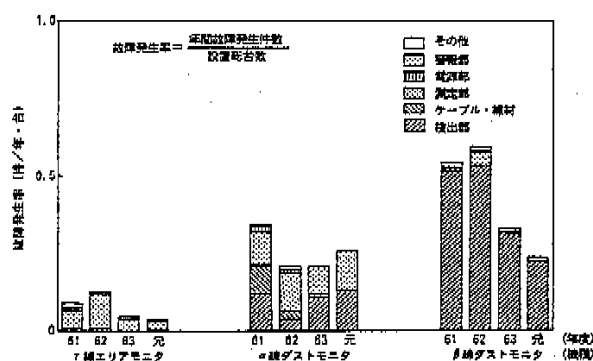


図2 定置式モニタの部位別の故障発生率

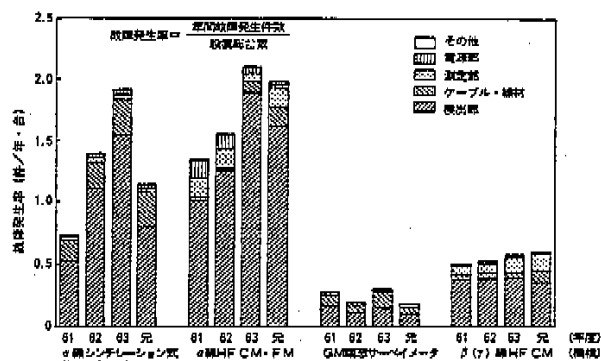


図3 サーベイメータ類の部位別の故障発生率

別の1台当たりの年平均故障発生率（年間故障発生件数を設置総台数で除した値）を図2および図3に示す。

定置式モニタについては、年平均故障発生率は γ 線エアモニタで約0.1~0.2件/年・台、 α 線ダストモニタで約0.3~0.4件/年・台、 β 線ダストモニタで約0.3~0.6件/年・台であった。このうち、 γ 線エアモニタの年間の故障発生率は他のモニタに比べて小さく、また、故障の大半を占めるのは記録計等の測定部位であった。 α 線ダストモニタにおける故障原因の約50%は、検出部のシリコン表面障壁型半導体検出器の不良によるもので、その症状としては指示値のばらつき、自然計数値の異常、計数効率の低下等であった。 β 線ダストモニタにおける故障原因の約90%は、検出部のGM計数管の不良によるもので、その症状としては指示値のばらつき、自然計数値の異常等であった。

サーベイメータ類においては、年平均故障発生率は α 線シンチレーション式サーベイメータで約0.7~1.9件/年・台、 α 線ハンド・フット・クローズモニタで1.4~2.1件/年・台、GM端窓サーベイメータで0.2~0.3件/年・台、 β （ γ ）線ハンド・フット・クローズモニタで0.5~0.6件/年・台であった。 α 線シンチレーション式サーベイメータにおける故障原因の約70%は、検出器入射窓の遮光膜の破損やピンホール、光電子増倍管の破損等であった。 α 線ハンド・フット・クローズモニタにおける故障原因の約90%は、検出器入射窓の破損、芯線切れ等であった。GM端窓サーベイメータにおける故障原因の約60%は、検出部のGM計数管の不良によるもので、指示値のばらつき、自然計数値の異常等であった。 β （ γ ）線ハンド・フット・クローズモニタにおける故障の約80%は、検出部入射窓の破損、GM計数管の破損等であった。なお、サーベイ

メータ類では定置式モニタに比べて故障発生率が高いが、これは構造上検出器を動かして使用するため機械的ショックが加わり易く、使用の都度電源のON、OFF動作を行うため等によるものと考えられる。

3-2 統計的な手法による故障データの解析

放射線管理用機器に対して効果的な予防保全を実施する観点から、定期的な部品の交換頻度や点検頻度等を定めるため、 α 線ダストモニタに使用されるシリコン表面障壁型半導体検出器および β 線ダストモニタに使用されるGM計数管について平均故障間隔、故障パターン等を統計的に求め、故障データの解析を実施した。

ワイブル確率紙にGM計数管の昭和55年度から平成元年度の10年間の故障データ496件からそれぞれのデータに対応する不信頼度を求めプロットした結果を図4に示す。その結果、故障間隔の累積頻度はほぼ直線上にのり、ワイブル分布に従うことが分かった。ワイブル分布とは形状母数 m によって故障曲線が推定でき、 $m < 1$ の時は初期故障パターン、 $m = 1$ の時は偶発故障パターン、 $m > 1$ の時は摩耗故障パターンを表す。そこで、GM計数管の直線の傾きから m の値を求めると $m = 0.8$ となり β 線ダストモニタの検出器の故障パターンは、初期故障型であることが推定される。また、尺度母数 η から平均故障間隔を推定すると816日となった。これと同様に α 線ダストモニタの半導体検出器について、過去10年間の故障データ253件について故障パターン、平均故障間隔を推定した。その結果、 α 線ダストモニタの半導体検出器はワイブル分布に従い、形状母数 m は1.5となり故障パターンは摩耗故障型で、その平均故障間隔は950日であった。

β 線ダストモニタに使用されるGM計数管および

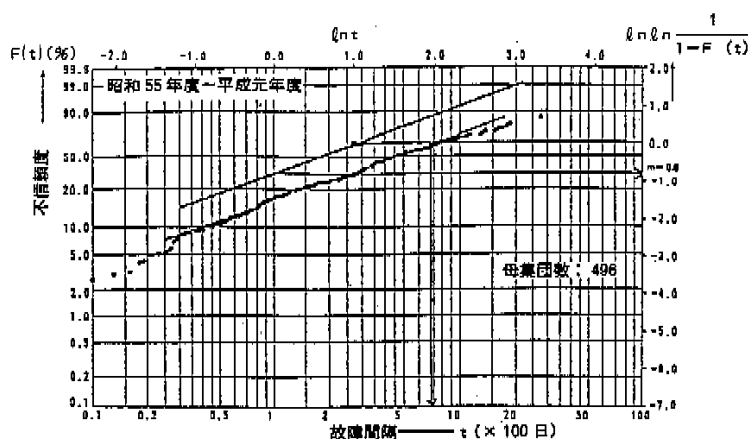


図4 検出器 (GM計数管) の故障データのワイブルプロット

α 線ダストモニタに使用されるシリコン表面障壁型半導体検出器のワイブルプロットより、それぞれの検出器がワイブル分布に従うことから、ワイブル推定による信頼度、故障率、故障確率密度分布を求めた。その結果、 β 線ダストモニタのGM計数管では図5に示すとおり信頼度、故障率は時間とともに減少し、故障確率密度分布は偏った分布を示すことが分かった。 α 線ダストモニタの半導体検出器では図6に示すとおり信頼度は時間とともに減少し、故障率は時間とともに増加し、故障確率密度分布は山分布を示すことが分かった。

4. 考察

主な放射線管理用機器の部位別故障発生率をまとめた結果を表2に示す。

定置式モニタ、サーベイメータ類の主な故障発生部位は、GM計数管、半導体、遮光膜等の検出部で

あり、検出部の故障発生割合は故障発生率の50%から90%を占めている。このことから、検出器に重点をおいた点検が効果的な予防保全に有効であると考ええる。

次に、 β 線ダストモニタに使用されるGM計数管と α 線ダストモニタに使用されるシリコン表面障壁型半導体についての統計的故障解析を行った結果を表3に示す。

統計的な手法による故障データ解析から、 β 線ダストモニタに使用されるGM計数管は、初期故障型の傾向を示しているので、予めGM計数管をエージングすることにより初期故障を軽減した上で、GM計数管を交換し、 α 線ダストモニタに使用されるシリコン表面障壁型半導体は、ゆるやかな磨耗故障型の傾向を示しているので、平均故障間隔に近づいたら検出器に関する点検を重点的に行うこと等が効果的な予防保全に有効であると考えられる。

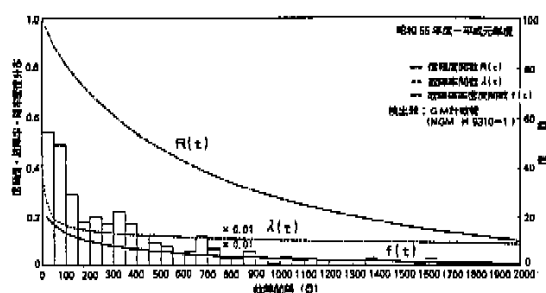
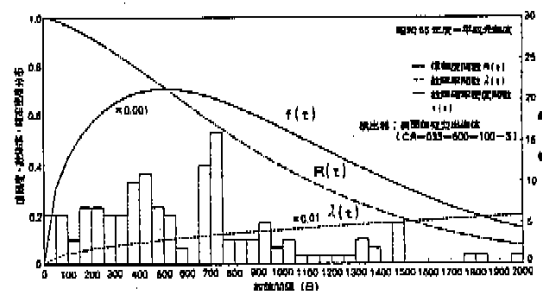
図5 β 線ダストモニタ検出器の故障間隔度数分布及びワイブル分布推定による信頼度曲線、故障率、故障確率密度分布図6 α 線ダストモニタ検出器の故障間隔度数分布及びワイブル分布推定による信頼度曲線、故障率、故障確率密度分布

表2 主な放射線管理用機器の部位別故障発生率のまとめ

機種	項目	故障発生率 (件/年・台)	主な故障発生部位	主な故障箇所
γ線エリアモニタ		0.1~0.2	測定部: 80%	記録計
		0.3~0.6	検出部: 90%	GM計数管
β線ダストモニタ		0.3~0.4	検出部: 50%	半導体
			測定部: 40%	記録計
α線シンチレーション 或サーベイメータ		0.7~1.9	検出部: 70%	遮光膜
			ケーブル: 20%	ケーブル
α線HFCM・FM		1.4~2.1	検出部: 90%	膜、芯線
GM線サーベイメータ		0.2~0.3	検出部: 80%	GM計数管
			ケーブル: 30%	ケーブル
β(γ)線 HFCM・FM		0.5~0.6	検出部: 80%	GM計数管

今回の解析結果を活用し、①各放射線管理用機器の改良・改善箇所の決定、②各放射線管理用機器の点検整備技術要領書への反映、③予備品や保守用部品の確保量の決定、④放射線管理用機器の定期交換方式等の保全管理方法の向上等に反映できる。

表3 ワイブル分布による推定結果

機種	項目	故障パターン	故障率	平均故障間隔(MTBF)
β線ダストモニタ検出器 (GM計数管)		初期故障型	時間とともに減少	816日
		磨耗故障型	時間とともに増加	950日

5. まとめ

東海事業所における放射線管理用機器の保全の経験に基づき、核燃料施設で使用している代表的な機器についての故障データが得られた。また、予防保全の実践のため、今回試みた統計的な手法による故障解析が有効であることが確認できた。

今後も、継続して故障データを収集し、予防保全の確立に向けての検討を行っていく。

参考文献

- 1) 長谷川市郎、黒山竜也：動燃東海事業所における放射線管理用機器の保全について、日本保健物理学会第28回研究発表会要旨集、(1991)。