

資料

原子炉施設の放射線管理設備の更新と使用前検査結果

森 嶋 彌 重, 古 賀 妙 子, 稲 垣 昌 代

Characteristic Test of the Renewed Radiation Monitoring System at the UTR-KINKI

Hiroshige MORISHIMA, Taeko KOGA, Masayo INAGAKI,

1. はじめに

近畿大学原子力研究所の原子炉施設は昭和35年に設置され、施設内の放射線管理として(株)神戸工業製(現(株)富士電機)の放射線管理設備を設置した。その後、昭和53年に1回目の放射線管理設備の更新を行い、現在に至るまで45年以上にわたり施設内の γ 線線量率、空气中放射性物質濃度、ガス状放射性物質濃度及び排水中放射性物質濃度の連続測定、記録管理が行われてきた。原子炉施設の放射線管理は「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」など法的に実施が義務づけられ、原子炉施設保安規定や施設定期自主検査などにより保安上原子炉関連計器及び放射線測定器について点検、校正を定期的に行い、設置当初の性能の維持が要求される。現在利用している放射線管理設備は、前回の更新時より25年以上を経過し耐用年数を超え、ここ数年(1)監視盤内のモジュール類や電子部品の経年変化による故障の頻発、(2)修理部品が廃型により入手困難、(3)修理に要する経費及び維持費の高騰などが重なり、性能の維持管理が困難になってきた。

これらのことをふまえ、検出感度の向上をはかり、また原子炉施設における作業員及び周辺の公衆安全を確保し、長期にわたり施設の健全性を維持し、安全かつ安定した運転を継続するため、放射線管理設備の更新を計画し、**第1表**に示した経過で更新作業を実施した。平成16年10月15日、「学校法人近畿大学原子力研究所の原子炉施設(UTR-KINKI)の変更に係る設計及び工事の方法の認可について」(以下、「設工認」とする)を受け、平成17年3月9日、当研究所において文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課原子力規制室検査官による放射線管理設備の使用前検査が実施され、無事合格し、新設備での放射線管理が始まった。

今回この放射線管理設備((株)富士電機製)の使用前検査の検査結果等、放射線管理設備について概要を報告する。

2. 構成機器の据付、外観、員数及び寸法検査

更新した放射線管理設備の γ 線エリアモニタ4基、連続口紙式ダストモニタ(α 、 β)1基、ガスモニタ(β)1基、水モニタ(β)1基、監視盤1台

第1表 放射線管理設備更新の経過

平成16年4月15日	放射線管理設備更新を大学に申請
6月29日	「近畿大学原子力研究所の原子炉施設（UTR-KINKI）の変更に係る設計及び工事の方法の認可申請書」について文部科学省と協議開始
7月1日	「同上」（案）を安全委員にて協議開始
7月30日	「同上」を文部科学省に提出（近大原研発第1595号）、受理
10月15日	「学校法人近畿大学原子力研究所の原子炉施設（UTR-KINKI）の変更に係る設計及び工事の方法の認可について」（16校文科科第73号）を受ける
12月20日	「近畿大学原子力研究所原子炉施設（近畿大学炉）使用前検査の申請について〔放射線管理施設の更新〕」提出（近大原研発第1612号）
平成17年1月18日	「同上」を文部科学省が受理
1月27日	富士電機システムズ株式会社東京工場において工場検査実施
3月9日	近畿大学原子力研究所において使用前検査実施
//	「使用前検査合格証」交付（16校文科科第130号）

及び設工認の対象とならないが同時に更新したモニタリングポスト1基、今回新設した中性子エリアモニタ1基の各構成要素及び主な仕様を第2表、第3表に示した。各機器の設置については、まず製作工場である（株）富士電機システムズ東京工場にて品質管理責任者が性能検査を当所担当者の立会いのもと実施し、合格したものを現地に搬入、当研究所において据付、調整を行い、所員立会いのもと完成検査を実施し、引き渡しを受けた。使用前検査においては、据付、外観、員数検査が行われ、各々の構成要素について、(1)据付検査：設工認申請書に示された位置に据え付けられ、他の機器との干渉がないことを目視により確認する、(2)外観検査：外観に機能上有害な傷、変形及び欠陥がないことを目視により確認する、(3)員数検査：各機器及びその主要構成要素について、設工認申請書に示された員数に過不足がないことを確認することとなり、すべての検査において判定基準を満たしており、問題となる事例は認められなかった。また監視盤においては、寸法検査が実施され、検査前条件の一つである校正された寸法測定器を用いて、設工認申請

書に示された寸法 $H1800 \pm 3 \times W560 \pm 2 \times D625 \pm 2$ (mm)の公差範囲内であることを確認した。

3. 性能検査

各機器の性能が設工認申請書に示された性能仕様及び対応する日本工業規格の規定値を満足していることを判定基準として、性能検査が実施された。

3.1 γ 線エリアモニタ

γ 線エリアモニタの検出器は、従来の電離箱式（容量5ℓ）より検出器の寿命が長く、小型軽量であるシリコン半導体式に変更した。校正検査は印加電圧を-60Vの状態、 γ 線エリアモニタ（4基：炉室遮へいタンク下、炉室西壁、炉室遮へいタンク上、実験室）から ^{60}Co の標準線源（昭和53年7月533MBq）を水平方向に1mから5mまで、 ^{137}Cs の標準線源は1mと5mに移動させ、1mごとの γ 線エリアモニタの指示値を読み取り、校正係数(K)よりエネルギー依存性を次式により求め、その結果を第4表、校正曲線を第1図に示した。

第2表 放射線管理設備の構成

モニタ	機器名	型式	数量	モニタ	機器名	型式	数量	
γ線エリア モニタ	半導体エリアモニタ	NEM11B82-111	4	監視盤	盤	—	1式	
	デジタルレートメータ モジュール	N35E-94	4		ビン	NFKZZ002-Z (464)	1	
	光ファイバケーブル	1-C-3V-V	4式		記録計	PHA80084-NBOYY	1	
	5芯シールドケーブル	CVVS1.25mm ² -5C	4式		光電気変換器	NEH10001	3	
連続口紙式 ダストモニタ	ダストサンプラ	NAD21801 (既設品)	1	グラフィック警報パネル (既設品) (500×500×150mm)	—	1式	1	
	ZnSシンチレーション プローブ (α)	NDP22CV1-1	1		ローカル 指示パネル (既設品)	ローカル指示盤	—	1
	プラスチックシンチレー ションプローブ (β)	NDP22FJ1-1	1	対数線量率表示メータ	NFU22121	3	3	
	光伝送器	NEG41B12-111	2	※ 中性子エリア モニタ	中性子レムエリアモニタ (球形 ³ He比例計数管)	NDN1NA13	1	
	デジタルレートメータ モジュール	N35E-98	2		中性子エリアモニタ	N18-39	1	
	5芯シールドケーブル	CVVS1.25mm ² -5C	2式		取納カバー	—	—	
光ファイバケーブル	1-C-3V-V	1式	光伝送器		NEG10A12-111	1		
ガスモニタ	ガスサンプラ	NAG (既設品)	1	デジタルレートメータ モジュール	N35E-97	1	1	
	プラスチックシンチレー ションプローブ	N16-66	1	光ファイバケーブル	1-C-3V-V	1式	1式	
	光伝送器	NEG41B12-111	1	5芯シールドケーブル	CVVS1.25mm ² -5C	1式	1式	
	デジタルレートメータ モジュール	N35E-98	1	光ファイバケーブル	1-C-3V-V	1式	1式	
	5芯シールドケーブル	CVVS1.25mm ² -5C	1式	5芯シールドケーブル	CVVS1.25mm ² -5C	1式	1式	
	光ファイバケーブル	1-C-3V-V	1式	モニタリングポスト筐体	N13J-134	1	1	
水モニタ	水サンプラ	NAW (既設品)	1	※ モニタリング ポスト	シンチレーションプローブ	NDL3BHH1-2YA1	1	
	現場操作箱	NAC10001Z (10)	1		温度補償機能付	N35E-134	1	1
	プラスチックシンチレー ションプローブ	N16-66	1		光伝送器	—	—	—
	デジタルレートメータ モジュール	N35E-98	1		前置増幅器	NFL13001-0	1	1
	光伝送器	NEG41B12-111	1		デジタルレートメータ モジュール	N35E-120	1	1
	光ファイバケーブル	1-C-3V-V	1式		光ファイバケーブル	1-C-3V-V	1式	1式
5芯シールドケーブル	CVVS1.25mm ² -5C	1式	電源ケーブル	CV2mm ² -3C	1式	1式		

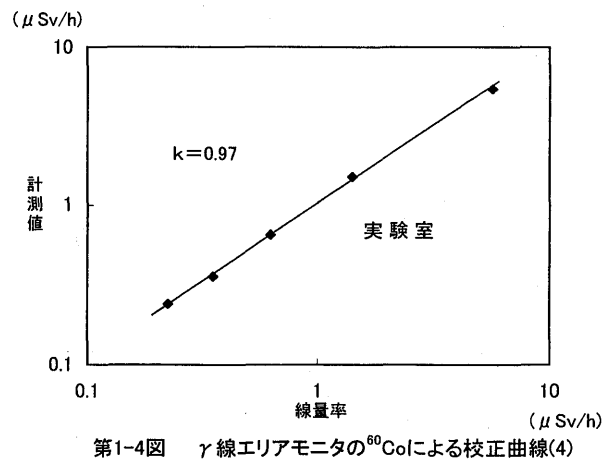
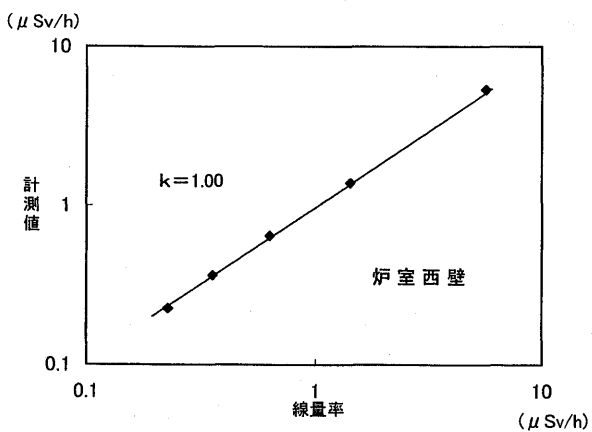
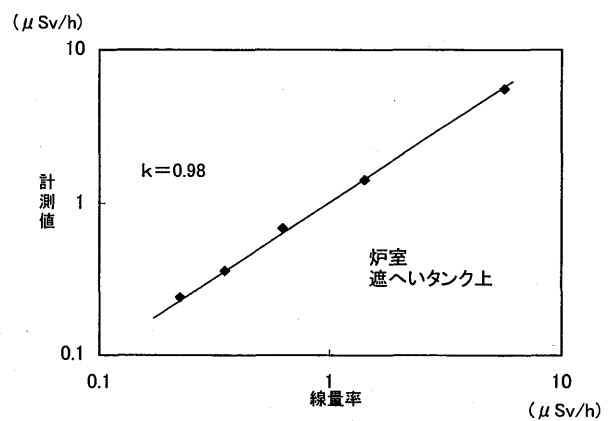
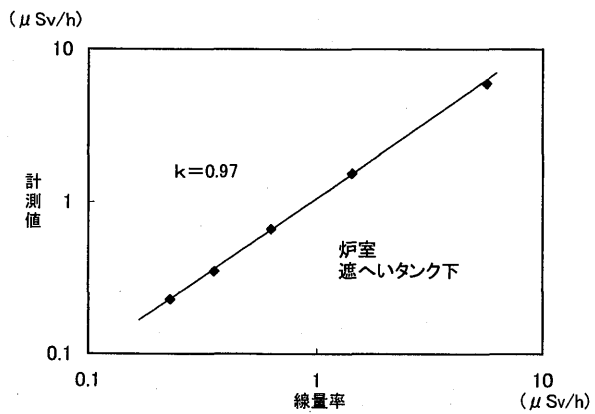
※ 設工認対象外

第3表 各モニタの主な仕様

モニタ	測定線種	測定範囲	検出器	その他
γ線エリアモニタ	空間γ線 (80keV～6MeV)	10 ⁻¹ ～10 ³ μSv/h	シリコン半導体検出器	—
連続口紙式ダストモニタ	α線	1～10 ⁶ min ⁻¹	ZnS(Ag)シンチレータ 50mmφ	—
	β線	1～10 ⁶ min ⁻¹	プラスチックシンチレータ 50mmφ	検出部遮へい鉛50mm厚
ガスモニタ	β線	1～10 ⁶ min ⁻¹	プラスチックシンチレータ 200mmφ	検出部遮へい鉛50mm厚
水モニタ	β線	1～10 ⁷ min ⁻¹	プラスチックシンチレータ 200mmφ	検出部遮へい鉛50mm厚
中性子エリアモニタ	中性子線 (0.025MeV～15MeV)	10 ⁻² ～10 ⁴ μSv/h	球形 ³ He比例計数管	減速材として 球形ポリエチレン
モニタリングポスト	空間γ線	10 ⁻² ～10 ² μSv/h	NaI(Tl)シンチレータ 2φ×2インチ	温度補償回路内蔵

第4表 γ 線エリアモニタにおける校正係数のエネルギー依存性

線源	設置場所	炉室 遮へいタンク下	炉室 西壁	炉室 遮へいタンク上	実験室
^{60}Co	平均校正係数 (K_{Co})	0.97	1.00	0.98	0.97
^{137}Cs	平均校正係数 (K_{Cs})	0.89	0.90	0.93	0.95
エネルギー依存性 (%)		8.2	10	5.1	2.1



$$\text{エネルギー依存性 (\%)} = [1 - (K_{Cs} / K_{Co})] \times 100$$

判定基準はエネルギー依存性が±25%以内であり、各モニタすべて基準を満たしている。

次に、同じく印加電圧を-60Vの状態、 γ 線エリアモニタに ^{60}Co 標準線源を用いて γ 線を照射(0.5、1.0、10、100、850 $\mu\text{Sv/h}$)し、指示値を読み取り、指示精度を求めた。判定基準は指示精度が20%以内となっており、最大でも炉室遮へいタンク下で+7%であった。さらに感度係数(1/K)を製作メーカーから提出された成績書と照合し、判定基準の感度係数が約2cps/ $\mu\text{Sv/h}$ と比較した結果、炉室遮へいタンク下、炉室西壁、炉室遮へいタンク上、実験室、各々1.6、2.1、1.6、1.6とすべて基準を満たしている。

3.2 連続口紙式ダストモニタ

連続口紙式ダストモニタの検出器は、 β 線に対しては前回のGM計数管よりプラスチックシンチレータに変更し、 α 線は前回と同様のZnSのシンチレータを用いている。最初にバックグラウンド計数率(N_{BG})を測定した後、実装状態を模擬してシンチレーションプローブ面から、 β 線は5mmの位置に、 α 線は3.3mmの位置に U_3O_8 標準線源3種類(β 線強度:39.4Bq、123.7Bq、194.1Bq、 α 線強度:81.4Bq、242.6Bq、356.7Bq)をセットし、 β 線計数率(N_s)、 α 線計数率(N_s)を読み取り、次式により計数効率を求めた。

$$\varepsilon_c = [(N_s - N_{BG}) / (A \times 60)] \times f \times 100 (\%)$$

ε_c : 計数効率 (%)

N_s : U_3O_8 標準線源による計数率 (cpm)

N_{BG} : バックグラウンド計数率 (cpm)

A: U_3O_8 標準線源の放射能 (Bq)

f: 補正係数 (実装状態に補正)

(β 線: 0.90、 α 線: 1.01)

なお β 線測定時は、標準線源にアルミニウムフィルタ(27mg/cm²)を装着した。その結果、計数効率は β 線:33.7%、 α 線:16.6%で、旧ダストモニタに比べると、 β 線、 α 線とも約2倍効率が良くなっており、今後経時的に計数効率の低下の有無を検査することとする。検出感度はバックグラウンドの標準偏差の2倍として次式により計算し、第5表にその結果を示した。なお、ダストサンプラの流量と集塵時間については、使用前検査時の条件は流量200 l/min、集塵時間60minとする。

検出感度 (Bq/cm³)

$$= 2\sigma_{BG} / (60 \times F \times T \times \varepsilon_c \times \varepsilon_s \times 10^3 \times \varepsilon_r)$$

F: 平均流量 (N l/min)

T: ダストの集塵時間 (min)

ε_c : 計数効率

ε_s : 口紙の集塵効率 (0.99)

ε_r : ダストの集塵時間の補正係数

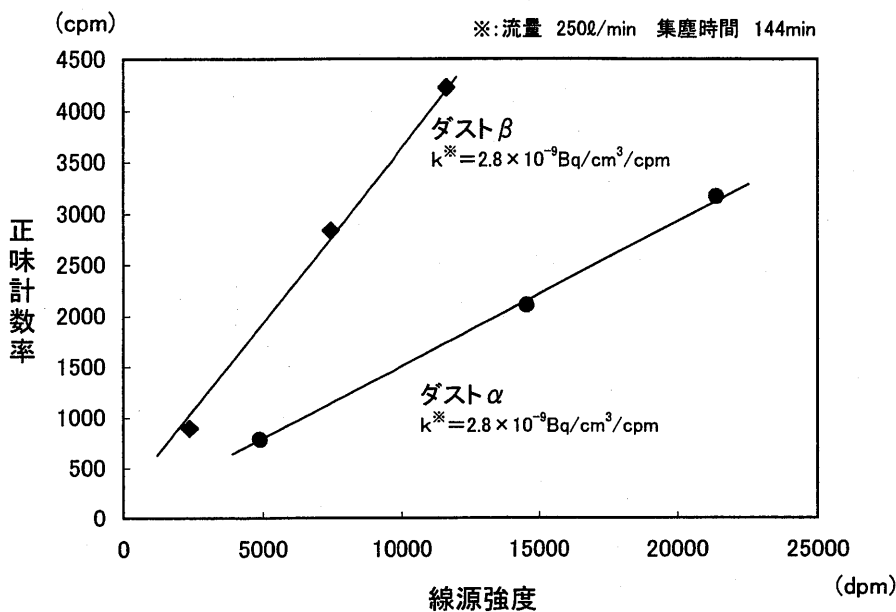
(β 線: 0.5、 α 線: 1)

第5表 連続口紙式ダストモニタの特性

モニタ種類	計数効率 (%)	流量 200 l/min 集塵時間 60min		流量 250 l/min 集塵時間 144min		
		校正係数 (K) (Bq/cm ³ /cpm)	検出感度 (Bq/cm ³)	校正係数 (K) (Bq/cm ³ /cpm)	検出感度 (Bq/cm ³)	
連続口紙式ダストモニタ (cpm)	α	16.6	8.5×10^{-9}	8.5×10^{-10}	2.8×10^{-9}	2.8×10^{-9}
	β	33.7	8.3×10^{-9}	3.8×10^{-8}	2.8×10^{-9}	1.3×10^{-8}

検出感度は、 β 線 $3.8 \times 10^{-8} \text{Bq/cm}^3$ 、 α 線 $8.5 \times 10^{-10} \text{Bq/cm}^3$ となり、判定基準の β 線 $2 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ 、 α 線 $4 \times 10^{-8} \text{Bq/cm}^3$ 以下であり問題はなかった。また現在の稼動条件である流量 250l/min 、集塵時間 144min では、校正係数は β 線、 α 線とも 2.8×10^{-9}

$\text{Bq/cm}^3/\text{cpm}$ となり、校正曲線を第2図に示した。さらに測定範囲($1 \sim 10^6 \text{min}^{-1}$)を製作メーカーから提出された成績書と照合し、表示精度が 0.5% 以内であることを確認した。



第2図 連続口紙式ダストモニタの校正曲線

3.3 ガスモニタ

ガスサンプラ内チェック用線源挿入部に、 ^{14}C 標準線源(昭和53年7月 113.4Bq)を装着し、 β 線計数率をガスモニタで読み取り、計数効率及び検出感度を求めた(第6表)。その結果、計数効率は 31.5% 、校正係数は工場検査時(平成17年1月27日)の計数効率 36.2% 、校正係数 $6.96 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3/\text{cpm}$ より $8.0 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3/\text{cpm}$ となり、検出感度は校正係数(K)の逆数($1/K$)とする(第6表)。最小検出限界はバックグラウンドの標準偏差の2倍として次式より求めた。

$$\text{最小検出限界}(\text{Bq/cm}^3) = \sqrt{\frac{2N_{\text{BG}}}{\tau}} \times K$$

N_{BG} : バックグラウンド計数率(cpm)

τ : 時定数(min)

K: 校正係数($\text{Bq/cm}^3/\text{cpm}$)

その結果、検出感度は $1.3 \times 10^4 \text{cpm/Bq/cm}^3$ となり、判定基準である $1.1 \times 10^4 \text{cpm/Bq/cm}^3$ の $\pm 20\%$ 範囲内、すなわち $(0.89 \sim 1.32) \times 10^4 \text{cpm/Bq/cm}^3$ の範囲内であることを確認した。また測定範囲($1 \sim 10^6 \text{min}^{-1}$)を製作メーカーから提出された成績書と照合し、表示精度が $\pm 1\%$ 範囲内であることを確認した。なお、原子炉運転時の線量率上昇の対策として、設置場所である排気機械室内の検出器周辺の防護壁を強化した。

第6表 ガスモニタ、水モニタの特性

モニタ	効率 (%)	校正係数 (K) (Bq/cm ³ /cpm)	検出感度 (cpm/Bq/cm ³)	最小検出限界 (Bq/cm ³)
ガスモニタ (cpm)	31.5	8.0×10^{-5}	1.3×10^4	1.5×10^{-3}
水モニタ (cpm)	33.5	2.1×10^{-3}	4.7×10^2	3.7×10^{-2}

3.4 水モニタ

水モニタの検出器に水道水を流入しバックグラウンドを計数した後、塩化カリウム水溶液を流入させ、3種類の⁴⁰K濃度 (0.19Bq/cm³、0.37Bq/cm³、1.9Bq/cm³) ごとに⁴⁰Kのβ線計数率を水モニタで読み取り、校正係数(K)及び検出感度(1/K)を次式より求める。最小検出限界はバックグラウンドの標準偏差の2倍とする。

$$K = A / (N_S - N_{BG})$$

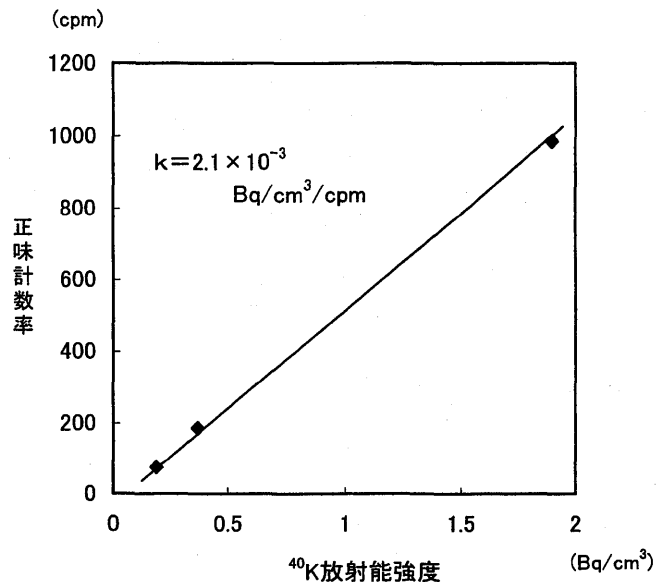
K：校正係数 (Bq/cm³/cpm)

A：塩化カリウム水溶液の放射能濃度 (Bq/cm³)

N_S：塩化カリウム水溶液(⁴⁰K)の計数率 (cpm)

N_{BG}：バックグラウンド計数率 (cpm)

その結果、校正係数は 2.1×10^{-3} Bq/cm³/cpm、検出感度は 4.7×10^2 cpm/Bq/cm³となり、校正曲線を第3図、特性を第6表に示した。判定基準は 4.3×10^2 cpm/Bq/cm³ (⁴⁰K) の±20%範囲内、すなわち $(3.4 \sim 5.2) \times 10^4$ cpm/Bq/cm³の範囲内であることを確認した。また測定範囲(1～10⁷ min⁻¹)を製作メーカーから提出された成績書と照合し、表示精度が±1%範囲内であることを確認した。



第3図 水モニタの校正曲線

4. 警報検査

放射線管理設備の各モニタの警報レベルの設定値は、γ線エリアモニタについては原子炉施設作業場所における線量限度として1mSv/wより、安全側をとり常時立入る場所として炉室タンク下、炉室西壁、実験室は20μSv/h、立入制限区域として炉室タンク上は50μSv/hとしている。連続口紙式ダストモニタ、ガスモニタ、水モニタの警報設定値は過去10年間のバックグラウンド(運転休止時)を基に標準偏差の3倍を加えた値とし、平成17年度はダストモニタβ390cpm、ダストモニタα60cpm、ガスモニタ360cpm、水モニタ260cpmと設定した。警

報検査は γ 線エリアモニタ、ダストモニタ β 、ガスモニタ、水モニタについては ^{60}Co 等の標準線源を用いて β (γ)線を、ダストモニタ α は U_3O_8 標準線源を用いて α 線を照射し、各々モニタ指示値が警報設定値を超えたとき、監視盤にて警報が発生することを確認することとなっており、いずれも警報が発生し、警告灯が点灯することを確認した。監視盤においての警報発生は、レートメータモジュールのパネル面の警報ランプが点灯、警報回路のランプ、ブザーが動作、さらに検出器部分でランプが点灯し、ブザーが動作する。既設のグラフィック警報パネル及びローカル指示パネルについても同様に試験を行い、異常のないことを確認した。

5. おわりに

今回の更新により、各検出器からモニタ室に設置する監視盤への信号が光信号となり、光ファイバケーブルを用いることにより伝送中のノイズの影響を無くしており、監視盤においては、各モニタについてデジタル式で指示を行うとともに、記録計により従来どおりの記録を行うことになった。また放射線量率が変わっても標準偏差が一定になるように時定数を自動的に変化させることにより常に安定した測定が可能となった。さらに各モニタのサンプリングポンプ等の運転停止を監視盤側から遠隔操作にて制御することができ、検出器の部分においては、 γ 線エリアモニタにおいては、従来の電離箱式より寿命が長く、小型軽量である半導体式を採用、連続口

紙式ダストモニタの β 線については、GM管式よりプラスチックシンチレータを採用した。ダスト、ガス、水モニタのサンプラは既設のものを使用し、ダスト β 、ガス、水モニタの検出部は鉛で遮へいし、バックグラウンドの影響を少なくして低エネルギー β 線に対し検出感度を高めている。制御室にあるグラフィック警報パネル、コンソールに組み込まれているローカル指示パネルは既設品を利用し、監視盤からの配線のみ更新、監視盤はアンカーボルトを用いて施行され、機器の耐震設計についても十分な配慮がなされた。

また設工認の対象にはならないが、中性子エリアモニタを新設、原子力災害対策特別措置法に係るモニタリングポスト1基を更新し、モニタリングポストにおいては、放射線測定設備検査が平成17年3月24日に実施され無事合格した。

上記更新作業にかかる工事・調整期間は約20日間で、その間、原子炉施設内の線量測定は、遮へいたンク上の電離箱式エリアモニタを仮設配線により測定を継続した。作業の方法、作業員等の安全確保においては、所員立会いのもと、法令、保安規定等を遵守し、教育、指導を行った。

放射線管理設備は、原子炉施設内の放射線レベルを監視し、作業者の作業環境の安全を確認するとともに、万一の放射線レベルの異常に対してその早期発見を行い、それらの事態に敏速かつ確実に対処するに重要な設備であり、作業員及び周辺一般公衆の放射線障害を未然に防止しうるもので、今回の更新により一層確実なものとなった。