# ディジタル式放射線モニタリングシステム Digital Radiation Monitoring Systems

原子力発電所での放射線モニタリングシステムは、約30年の歴史をもち、その間 電子回路技術の進歩により計測回路の改善がなされている。しかし、基本的にはア ナログ演算方式を踏襲しており、計測制御システムの高度化が進む最近では、本シ ステムも信頼性、保守性のいっそうの向上及び小形化、高機能化が望まれている。 そこで、これらの要求にこたえるため従来のアナログ方式を最新のディジタル技 術及びオプトエレクトロニクス技術で刷新し、性能、信頼性、保守性の向上と小形 化を図ったディジタル式放射線モニタリングシステムを開発した。

海原明久*	Akihisa Kaihara
北口博司**	Hiroshi Kitaguchi
有田節男**	Setsuo Arita
綿引一男***	Kazuo Watahiki

本稿では、本システムの概要、特長及び実証試験結果について述べる。

### 1 緒 言

BWR(沸騰水型)原子力発電所でも,他分野と同様,近年の エレクトロニクス技術の急速な進歩発展を背景として,各種 計測制御システムのディジタル化が着実に進展しつつある。

そのなかで,原子力発電所計測制御システムの主要な位置 を占める放射線モニタリングシステムは,現在アナログ技術 に測定監視する。ガスサンプラ容器内に設置された検出器からの微小信号はプリアンプで増幅された後,耐ノイズ性を向上するため光信号として中央制御室のディジタル計数率計へ 伝送される。

図3に計測系の構成を示す。ここには一系統分を示してい るが、実際のプラントでは、これらが検出点に対応して数多 く設けられている。ディジタル計数率計では、プリアンプか らの信号をディジタル演算し計数率の指示及び警報表示を行 なうとともに、外部へ記録信号、インタロック信号などを出 力する。また安全保護系、工学的安全系に使用される放射線

を主体とするハードウェアで構成されている。

本システムは,原子力発電所での放射線を監視する重要な システムで,かつ発電所内に多数設置された放射線検出器か らの微小信号を計測演算処理する大規模な監視設備である。 このため信頼性,保守性のよりいっそうの向上と,小形化, 高性能化,更には上位計算機など他システムとのインタフェ ースの合理化が望まれている。

これらのニーズにこたえるためには,現状のアナログ方式 では困難な点があるため,今回,最新のエレクトロニクス技 術を導入して,ディジタル式の放射線モニタリングシステム を開発した。

以下,本稿では,本システムの主要部であるディジタル計数(線量)率計の特長,演算処理方法及び実証試験結果を中心に,その概要について報告する。

### 2 ディジタル式放射線モニタリングシステムの構成

### 2.1 放射線モニタリングシステムの概要

放射線モニタリングシステムは,原子力発電所の各系統の 健全性を監視するとともに,発電所内外へ影響が生じないよ うに放射線を監視するものである。大別すると,プロセス流 体中の放射能を監視するプロセス放射線モニタと空気中の空 間線量率を監視するエリア放射線モニタとに分けられる。

使用する検出器は, γ線電離箱, NaI(Tl)(タリウム活性化 ヨウ化ナトリウム)シンチレーション検出器及びGM管(ガイ ガーミュラー計数管)検出器であり,測定対象の放射線レベル 及び放射線種により適切なものを選定する。

### 2.2 放射線モニタリングシステムの構成

プロセス放射線モニタ検出点配置の一例を図1に、プロセ スガスの放射能を監視するディジタル式放射線モニタリング システムの構成例を図2に示す。プロセスガスを試料採取ラ ックでサンプリングし、外部からの放射線を鉛で遮へいした ガスサンプラ容器内を循環し、ガス中の微量放射線を連続的



57

\* 日立製作所大みか工場 \*\* 日立製作所エネルギー研究所 \*\*\* 日立製作所日立工場

478 日立評論 VOL. 67 No. 6 (1985-6)



ディジタル計数率計 光-電気

電気信号に変換した後, マイクロコンピュータによるディジ



図3 計測系の構成 検出器からの信号は、プリアンプで増幅した後、光 信号で中央制御室へ伝送し, ディジタル演算によって高精度の演算処理を行な う。

モニタ(BWR原子力発電プラントでは16チャネル)は、一般 の系統から分離する。

ディジタル計数(線量)率計 3

58

タル演算を行なっており、演算素子の集積化による部品点数 の削減自体で従来に比べMTBF(平均故障間隔)を約2倍向 上させた。更に演算処理の自己診断などにより、信頼性が向 上している。また電源喪失時には, 演算定数を不揮発メモリ に保存することによって, 電源復帰後は即時正常監視が続行 できるようにしている。

図4にディジタル計数(線量)率計の特長を示す。

(1) 演算回路のディジタル化により,精度及び安定性が大幅 に向上するとともに、 ハードウェアの標準化と機種の統一化 によって,保守性の向上を図っている。

(2) 計数(線量)率計モジュールと高低圧電源モジュールを一 体化するとともに, 演算回路の集積化により小形化を図って いる。パネル取付けスペースで従来に比べ約3に低減してい る。

(3) パラメータ選択方式によって、警報動作確認などの定期 点検はすべて前面から行なえるため、保守点検作業が大幅に 省力化されている。また運転中でも、計測値に外乱を与える ことなく、設定値の確認をディジタル指示計によって正確か つ容易に行なえる。

(4) 現場プリアンプから中央制御室への信号伝送は、光伝送 を採用して耐ノイズ性が向上しており、従来コンジットで布 設していたケーブルが,一般計装ケーブルと同じ布設ででき るようにしている。

(5) 測定値の表示はバー表示とディジタル表示を併用し、視 覚的にも定量的にも判定できるよう監視性を向上させてい る。

3.2 ゲイン・バイアス自動調整

従来、検出器と演算回路の整合性をとるため、双方を結合

3.1 高性能,高信賴性,小形化	化米, 快
放射線モニタに用いるプリアンプは、検出器が放射線(γ線	した状態で
又はβ線)と相互作用して発生する微小電気信号を増幅する	ゲイン及ひ
もので、増幅素子のもつ能力を最大限に引き出して初めて実	設定を行な
現できる。特に高絶縁,高応答性の素子を使用するとともに,	今回のテ
プリアンプケースに電磁シールドを施すなどの対策により高	を活用しハ
感度,高性能を実現している。	アス値を自
計数(線量)率計は、プリアンプからの光ディジタル信号を	力化を図っ

ご計数(線量)率計を取付けパネル面から引き出し, バイアス用可変抵抗器の調整を数回繰り返して, いっていた。 ディジタル方式では、マイクロコンピュータの機能 ペラメータの操作により一度の調整でゲイン・バイ |動的に設定できる方式とし、調整作業の大幅な省 ている。図5に調整方法を示す。

### ディジタル式放射線モニタリングシステム 479



放射線モニタは、その測定目的により線量率計と計数率計 に大別できる。前者は検出器設置場所の放射線量率を測定す るもので、 Y線電離箱検出器やY線GM管検出器が使用され る。後者は検出器からのパルス信号を計数し、単位時間当た りの計数値により放射能濃度を測定するもので、シンチレー ション検出器やβ線GM管検出器が使用される。

電離箱検出器は、放射線による電離電流を出力するため、 放射線線量率に比例した信号を出力する。

一方,シンチレーション検出器やGM管検出器はランダム パルス信号を出力するため、計数率計では、このランダムパ ルス周波数のゆらぎ(統計変動)を抑えつつ応答性も確保し て,かつ連続的に測定する必要がある。従来のアナログ式は 図6に示すダイオードポンプ回路方式の積分形計数率計を用 いている。計数率測定範囲が7デカード(10<sup>-1</sup>~10<sup>6</sup>cps)と広 いため、積分時定数の異なるポンプ回路を多段に重ねる必要 があり、多数の抵抗、コンデンサ、ダイオードを組み合わせ て構成している。そのため、その特性、安定性、直線性など を向上させることが困難であった。

今回開発した方式は,従来のダイオードポンプ回路によら

計数率演算 义 7 計数率に応じ、フィルタ時定数を実時間で自動的に変 更し, ランダムパルスの統計誤差を抑制する。

ことによって計数率を連続的に求めることができる。

ここに  $r_i$ : i番目サンプリング時の計数率出力(cps)

x<sub>i</sub>: i番目サンプリング時の入力パルスの計数値

(Counts)

T: サンプリング周期(s)

τ:一次遅れ処理の時定数(s)

e:自然対数の底

サンプリング周期Tと時定数rによって重さKは決定され る。時定数でが一定であればダイオードポンプ回路の一段分 にしか相当せず,7デカードの広い範囲を計測することがで きないため、ディジタル演算処理技術によって入力パルス周

すディジタル演算によって計数率を算出するため、従来の特	
性を確保しながらより高性能でかつ安定した演算処理を実現	
できるものである。	
4.2 ディジタル演算方式	
今回開発したディジタル演算処理アルゴリズムを図7に示	
+1),2)	

入力パルスを一定時間サンプリングし、一次遅れ処理する

波数に応じて時定数ですなわち重さKを連続的に自動変更す るようにした。

なお(1)式で求める計数率の統計変動の相対誤差 $\frac{\sigma_i}{r_i}$ はキャ ンベルの定理3)を用いて(3)式で表わされる。

$$\frac{\sigma_i}{r_i} \approx \frac{1}{\sqrt{2\tau r_i}}, \ \tau \gg T \quad \dots \qquad (3)$$

59

ここに  $\sigma_i$ は $r_i$ に対する標準偏差

480 日立評論 VOL. 67 No. 6(1985-6)

したがって、相対誤差 $\frac{\sigma_i}{r_i}$ をあらかじめ設定した目標値Aに 抑えるためには、 $r_i$ により時定数 $\tau$ 、すなわち重さKを自動的 に変更するようにすればよいことが分かる。

以上のように,今回確立したディジタル演算方式によれば, アナログ方式で必要であったポンプ回路の素子定数の調整が 不要になるので高性能,高安定性を得ることができるととも に,統計誤差を所定の目標値に自動的に抑えることができる など,フレキシビリティに富んだ演算が実現できる。

- 5 放射線モニタリングシステムの感度設計と実証試験 結果
- 5.1 放射線モニタ検出部の感度設計

主なプロセス放射線モニタの検出部概略構造を図8に示 す。これらのモニタの感度設計では,被測定体と検出器間の 遮へい効果,ビルドアップ係数などを考慮して検出器位置で のY線東密度を算出する<sup>4),5)</sup>。そしてY線東密度と検出器の検 出効率からモニタシステムとしての感度(放射能濃度換算係 数)を求める。この感度設計を行なうため配管及び検出器の寸 法,幾何学的配置などを与えれば,容易にモニタ感度が求め られる対話形のモニタ設計支援システムを開発した。

鉛遮へい体	検出器
检出器	/ 鉛遮へい体

表 | 計測系の精度,安定性 ディジタル演算によって精度,安定性を 向上し,よりいっそう計測信頼性を高めている。

項目	アナログ式	ディジタル式
精度	±4.0%F.S	±3.0%F.S
安定性	±1.5%F.S/週	±1.0%F.S/週

注:%F.Sは直線目盛換算

### 5.2 実証試験(一次校正試験)結果

モニタ検出部の感度確認及びディジタル演算処理の検証を 行なうため、放射性ガスを用いて実証試験を実施した。ここ では、ガスサンプラの一次校正試験とその結果の一例につい て述べる。校正試験では標準となる放射能濃度測定部(基準電 離箱によって測定)と被校正ガスサンプラを直列に配置する。 この校正ループに放射能濃度既知のガスを流入し、ガスサン プラで実測した放射能レベルと基準電離箱の実測値を比較す る。放射性ガスは、<sup>133</sup>Xe、<sup>85</sup>Kr、<sup>41</sup>Arで実施した。一例とし て図9に測定容器が11*lのガスサンプラ*外観を示す。特に構造 面では、構成部品点数の削減及び検出器の着脱を容易にし、 保守性を向上させた。

基準電離箱の実測値から求める放射能濃度換算係数の精度 は、<sup>41</sup>Arの測定で15%程度である<sup>6)</sup>。設計値と実測値の差は 15%以内で良く一致しており、感度設計手法及びディジタル



図8 主なプロセスモニタ検出部概略構造 一般的に液体は直付け モニタ方式で計測し、ガスはサンプラ方式で計測する。



演算方式による計測が十分検証できた。更に,表1に示すように計測系の性能,安定性でも,従来のアナログ式に比べ大幅に向上しており,よりいっそう計測信頼性の高い放射線モニタリングシステムを確立することができた。

## 6 結 言

従来アナログ技術を主体としていた放射線モニタリングシ ステムに,最新のディジタル技術及びオプトエレクトロニク ス技術を積極的に導入して,信頼性及び保守性のよりいっそ うの向上と大幅な小形化,高機能化が実現できた。本システ ムの完成は,エレクトロニクス技術の進歩発展を背景に進展 しつつある,原子力発電所計測制御システムのディジタル化 を,よりいっそう推し進めるものであり,原子力発電所での 保守点検の省力化及び信頼性の向上に大きく貢献することが 期待される。

終わりに,本システムの開発に当たり御指導,御協力をい ただいた日本原子力研究所の技術部エレクトロニクス課及び 保健物理部線量計測課並びにY線照射試験を実施いただいた 財団法人放射線計測協会の関係各位に対し,深く感謝の意を 表わす次第である。

### 参考文献

- 1) 後藤,外:ディジタル計数率計処理アルゴリズムの開発と評価,原子力学会分科会,C14,(昭59-10)
- 2) K. Mizuno, et al.: The Micro-Processor Controlled Process Radiation Monitoring System for Reactor Safety Systems, IAEA Specialist's Meeting on Use of Digital Computing Devices in Systems Important to Safety, Saclay (Nov. 1984)

図 9 ガスサンプラ外観 測定容器(II/)の周囲を鉛で遮へいし, 微量 放射線を測定する。上部から測定容器内へNal(TI)シンチレーション検出器を 挿入する。

60

- 3) 佐藤:電気系の確率と統計, 71~82, 森北出版(昭46)
  4) Springer Verlag: Engineering Compendium on Shielding Vol. 1 381~382 (1968)
- 5) U. S. Atomic Energy Commission : Reactor Shielding Desigin Manual (1956)
- 6) 原子力安全研究協会:環境放射能の計測の標準化に関する調 査研究(昭55-3)