

新型放射線監視設備

坂本尚一*
田室 勝*
中西正一*

Advanced Radiation Monitoring System

Shoichi Sakamoto, Masaru Tamuro, Masakazu Nakanishi

要 旨

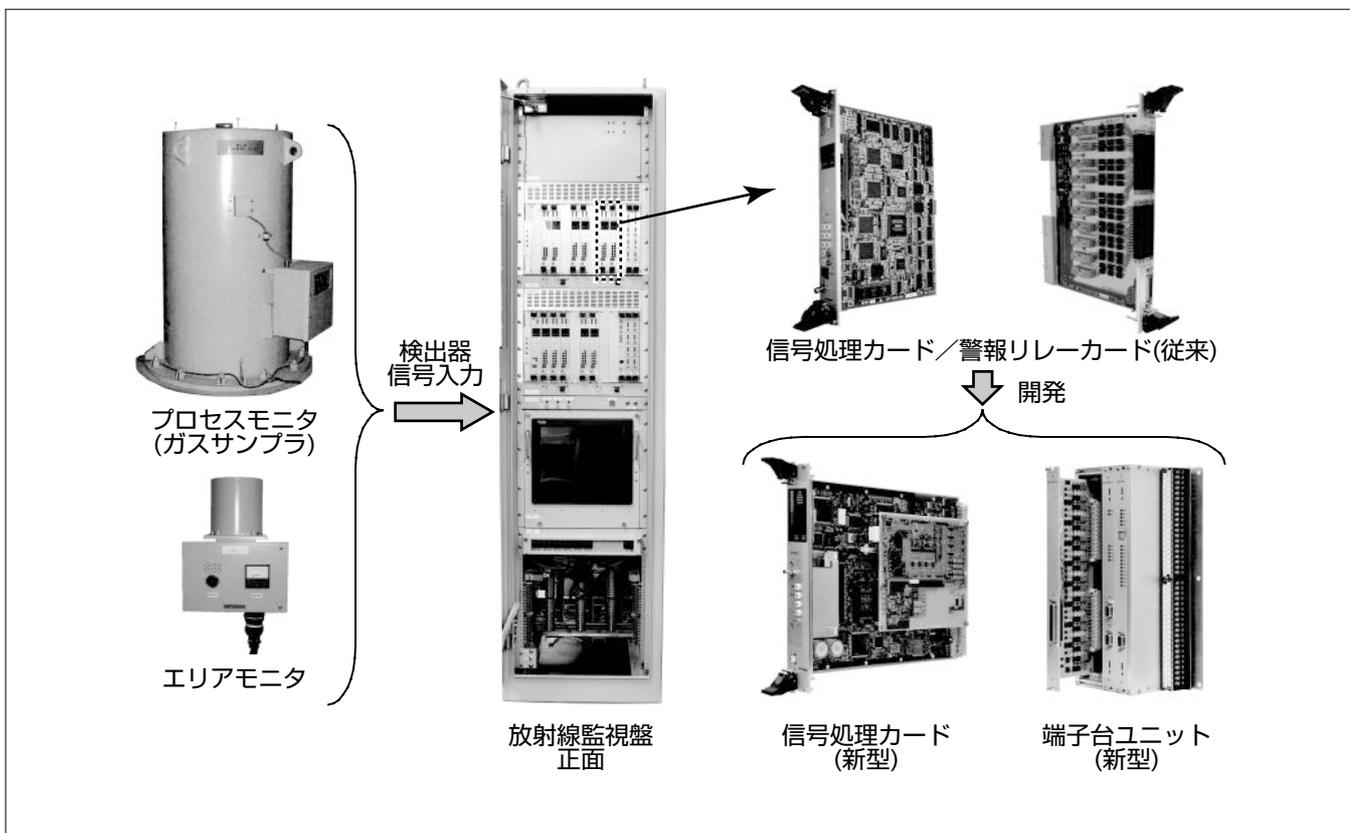
放射線監視設備は、人体に対する放射線障害防止、プラントからの放射性物質放出管理及びプラント異常の早期検知のため、原子力発電プラントにとって不可欠な設備であり、三菱電機では1969年以来国内すべての加圧水型軽水炉 (Pressurized Water Reactor : PWR) 発電プラントに納入している。

既設発電プラントに納入している放射線監視設備については、すでに稼働後20年以上経過しており、使用部品の生産中止に伴う保守在庫の確保、代替品への置き換え処理などによって保守費用が増大している状況から設備更新が急

務な状況にある。一方、米国では、多数の新設プラントの計画があり、三菱グループは、米国市場向けの改良型加圧水型軽水炉 (US-APWR) を投入するため、NRC (Nuclear Regulatory Commission : 原子力規制委員会) の型式認定活動を推進しており、放射線監視設備の安全系についても型式認定を取得するための活動している。

このような状況を踏まえ、現存設備の運用、保守の経験を反映し、耐ノイズ性強化、保守性及び長期供給性向上、さらに安全系の設備を開発している。

本稿では、新型放射線監視盤の開発状況について述べる。



放射線監視設備

放射線監視設備の主要な構成製品は、測定系の入力機器である放射線検出器を内蔵したプロセスモニタ、エアモニタ、この開発対象の放射線監視盤及び放射線監視盤に収納する従来のカードと新型のカード/ユニットからなる。端子台ユニットはインタフェースの信号種別によって、適合したカードを選定して構成する。

1. ま え が き

放射線監視設備は、人体に対する放射線障害防止、プラントからの放射性物質放出管理及びプラントの異常の早期検知のため、原子力発電プラントにとって不可欠な設備であり、三菱電機では1969年以来国内すべてのPWR発電プラントに納入している。

既設発電プラントに納入している放射線監視設備については、すでに稼働後20年以上が経過しており、使用部品の生産中止に伴う保守在庫の確保、代替品への置き換え処理などによって保守費用が増大している状況から設備更新が急務な状況にある。

また、三菱グループとして米国市場向けに改良型加圧水型軽水炉(US-APWR)の安全系放射線監視設備が必要である。

本稿では、国内向け放射線監視盤及びUS-APWR向けの安全系放射線監視盤の開発状況について述べる。

2. 新型放射線監視設備

新型放射線監視設備のシステム構成を図1に示す。

放射線監視設備は、測定対象の近傍に設置する検出装置と被測定流体を源流点から検出装置に移送するサンプリング盤、及び放射線監視盤(以下“測定系”という。)から構成されている。

検出装置からの検出器出力信号は、測定系で演算処理、放射線工学値データに変換し、警報状態及び機器の状態監

視情報とともにPWR発電プラント計装設備上位システムに伝送される。

放射線の検出装置は、主に人の立ち入り頻度の高い場所や放射性廃棄物の放出に係る排気・排水系統や発電所の運転状態の監視に必要な系統などに設置している。

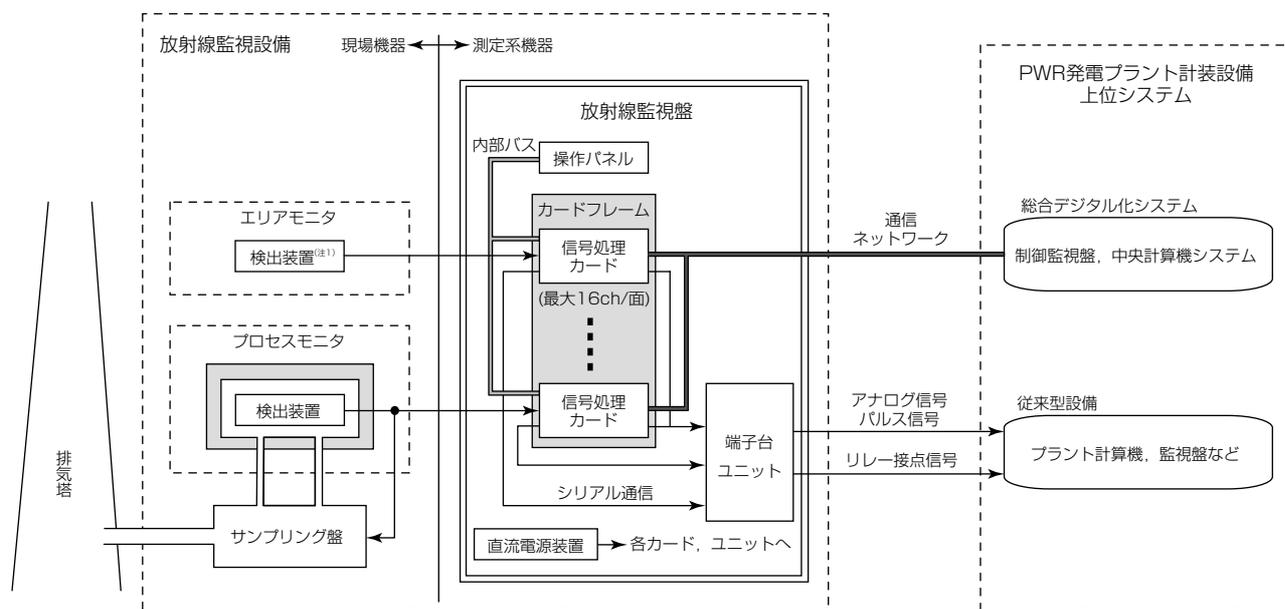
測定系は、検出装置から伝送されたパルス等の信号を受け、パルス整形(パルス出力型検出器の場合)、レート演算、警報比較演算、通信処理などを行う。

パルス出力型検出器を使用した測定系は、微小電圧のパルス信号を扱っており、フィールドから侵入するノイズの除去機能を備え、外部ノイズの影響を排除する。更に、安全系放射線監視設備は、単一故障基準、火災防護、分離(電氣的、物理的)及び耐環境性(耐震、EMC(Electro Magnetic Compatibility:電磁両立性)など)への適合を要求され、これは型式認定試験で確認する。

測定系の出力は、上位システムに合わせてフレキシブルに対応できる必要があり、最新の総合デジタル化システムへの対応は通信出力、既設設備への対応は、上位システムに必要なアナログ信号、パルス信号、リレー接点信号等を出力する。

今回の開発は、従来設備をベースに次の観点で見直し、国内の既設設備の更新及びUS-APWR向けの安全系設備に対応できる新型放射線監視設備とした。

- (1) 耐ノイズ性強化
- (2) 保守性向上
- (3) 長期供給性向上
- (4) US-APWR向け安全系への適合化



(注1) 検出装置は、放射線検出器とプリアンプで構成している。

図1. 新型放射線監視設備のシステム構成

3. 測定系開発のポイント

測定系の主要機能を持つ信号処理カードの外観を図2、回路構成を図3に示す。

また、測定系の主要仕様を表1に示す。

測定系は、従来と同様に信号処理カード、管理カードとこれらのカードを収納するカードフレーム、端子台ユニット、直流電源装置、操作パネル及び盤筐体(きょうたい)で構成している。

この測定系の開発のポイントを次に述べる。

3.1 耐ノイズ性強化

図4に従来構成と開発構成及び入出力信号経路を示す。外部からのノイズ侵入(誘導ノイズの重畳)、カードフレーム内でのノイズ発生(リレー開閉ノイズ)を抑制するため、次の改善を実施した。

(1) 端子台ユニットの設置

従来は検出器出力信号を盤外(フィールド)からカードフレームに直接入力し、リレー接点信号もカードフレームから直接盤外へ出力する構成で、ノイズに敏感な信号処理カードがノイズの影響を受けやすい構成であった。今回の開発では、カードフレーム内に外来ノイズが直接侵入しない

ようにノイズ経路を遮断する端子台ユニットを設けた。端子台ユニットは、アナログ信号、パルス信号のフィルタ回路、リレー接点信号用のリレーなどを収納する。

表1. 測定系の主要仕様

項目	仕様
対応検出器	半導体式検出器, NaI(Tl)シンチレーション検出器, PLシンチレーション検出器, 電離箱
演算処理機能	レート変換, 警報比較演算, サンプリグ盤の監視, 制御
指示表示	計数率又は線量率, 機器情報, 系統図, スペクトル
表示方法	デジタル表示(LED仮数部3桁, 指数部1桁), 操作パネル表示(LCD表示)
外部出力 (モニタ1ch.当たり)	アナログ9点, パルス3点, リレー接点16点
通信出力 (モニタ1ch.当たり)	RS-422通信2点, RS-485通信4点, USB通信1点
接続モニタch.数	最大16ch./面
収納ユニット(盤1面当たり)	カードフレーム2段, 直流電源装置2台, 操作パネル1台
搭載カード (カードフレーム1段当たり)	信号処理カード ^(注2) 8枚, 管理カード ^(注2) 2枚
電源条件	電圧AC100V/AC115V±5%, 周波数50/60Hz±2%, 電源容量最大1kVA/面
環境条件	温度0~50℃, 湿度10~95%RH
外形寸法	600W×900D×2,300H(mm)

(注2) カードサイズ: 233.35×260(mm)
LED: Light Emitting Diode
LCD: Liquid Crystal Display



図2. 信号処理カード

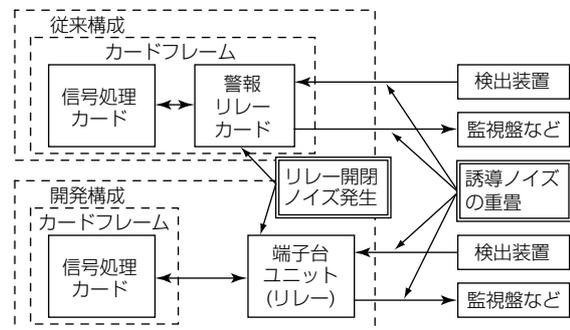


図4. 入出力信号経路図

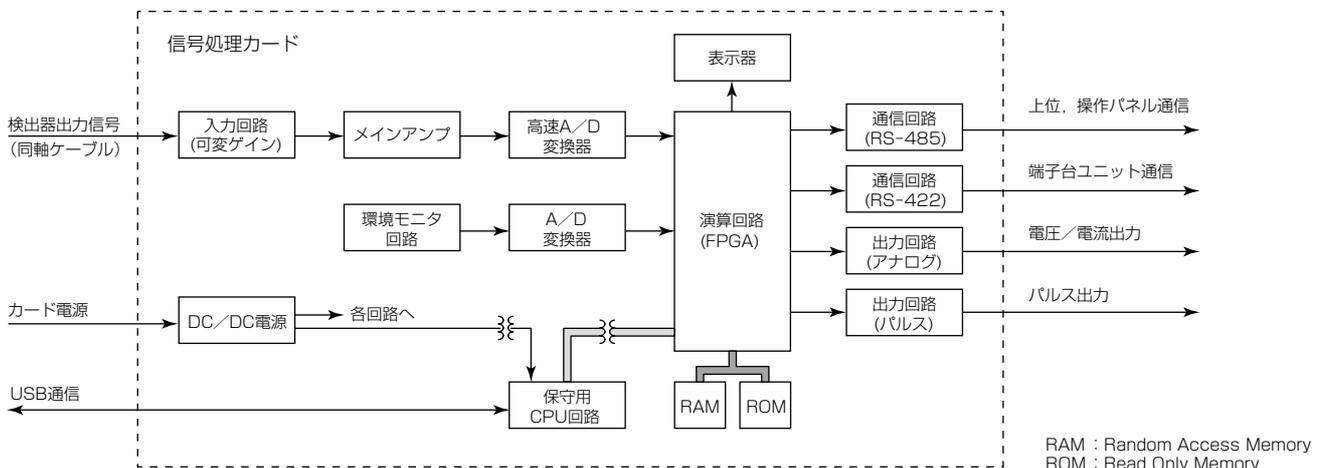


図3. 信号処理カードの回路構成

RAM: Random Access Memory
ROM: Read Only Memory

(2) カードフレーム構造の見直し

放熱用給排気開口部の縮小化，構成部材の電氣的接続強化によって磁気シールドの性能を向上させる。

(3) 入力信号の差動2線化

入力回路を差動入力回路に変更することでコモンモードノイズに対する影響を抑制する。

(4) デジタル処理化

従来，検出器出力(パルス)信号の正極信号に対応したアナログ回路で構成し，設定電圧以上のパルス信号に対し立下り時間，パルス幅が規定値を外れた場合にノイズ除去を行っていた。そのため，ノイズが重畳した場合にはパルス信号をノイズ，又はノイズをパルス信号として判定する可能性があった(図5のパルス信号波形の例を参照)。

今回，検出器信号の正負両極信号に対応した高速A/D (Analogue/Digital)変換器(40Msps)でデジタル化してパルス信号の正負極性判定，立上り，立下り，パルスの重畳(ダブルパルス)を識別し，パルス信号に重畳したノイズ除去性能を向上させた。

(5) シリアル通信の採用

信号処理カードと端子台ユニットはシリアル通信で行い，ノイズによるデータ変化を複数回読み込み多数決機能によってノイズの影響を排除する。

3.2 保守性向上

顧客(電力会社)が定めた保安規定に従い，放射線レベルが警報点を越えて警報を発信した場合は，誤警報でない限り，発信から一定時間内に原子力発電所の運転を手動で停止する必要がある。

誤警報は測定系の故障，外部ノイズの影響などによって発生するため，誤警報による原子力発電所の停止を回避するために短時間で要因が特定可能なように次の処理を追加した。

(1) パルス信号の波形保存

パルス信号を高速A/D変換器でデジタル化した波形データを逐次保存(約1,000波形)し，そのデータを解析することで誤警報の有無を判定する。

(2) カード内の環境状態信号の採取

信号処理カード内の電源電圧，温度，振動データ及び設定電圧，警報設定値，警報状態等の設定データを一定周期(2ms)で保存(約4,000個)し，保存データを解析することで誤警報の有無を判断する。

これらの保存データは，保守用パソコンで容易に解析が可能ないように，カード前面に設けたUSB(Universal Serial Bus)端子から取り出せるようにし，また，カード交換後

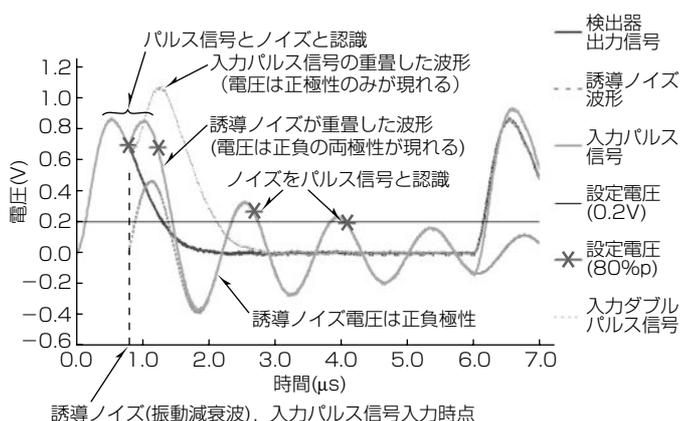


図5. パルス信号波形の例

のカード単体からも取り出せるようにUSB端子からの電力供給で保守用CPU(Central Processing Unit)回路を駆動可能とした。

3.3 長期供給性向上

従来は演算回路にCPUを使用しており，CPU変更はソフトウェアを含めた再開発が必要であったため，ソフトウェア変更が不要なFPGA(Field Programmable Gate Array)を使用することで長期供給性の向上を図った。

3.4 US-APWR向け安全系への適合化

安全系は，NRCの型式認定を取得するため，NRCの審査基準に従い適用法令，規格，基準を満足する仕様とし，早期に認定が得られるようにソフトウェアを排除し，すべてハードウェアでの回路構成とした。すべてハードウェア回路構成とすることでV&V(Verification and Validation)作業の必要がなく，要求されるノイズ試験項目も簡素となり短時間で開発が可能となる。

4. む す び

国内の既設プラント更新及び米国向けUS-APWRプラントへの適用を計画している新型放射線監視設備の測定系の概要と特長について述べた。この測定系の採用によってPWR発電プラントの信頼性向上，保守作業の効率化に寄与することが期待される。また，米国向けはNRCの型式認定を取得し，US-APWRの標準タイプとして展開を進めていく所存である。

参考文献

(1) 高岡 章，ほか：放射線計装設備の更新技術，三菱電機技報，77，No12，758～761 (2003)