XVI. 放射線管理におけるコンピュータ利用

4. 環境モニタリング[†]

日本原子力研究所大洗研究所管理部
311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町

1. はじめに

これらの監視に用いる放射線モニタは、指示計（レートメータ）、記録計のほかに、ランプ、ブザー等の警報発生装置、大型のグラフィックパネル等を中心に構成されている。最近は、コンピュータを用いた「モニタ集中監視システム」（以下、「集中監視システム」という。）を放射線モニタに付加して、監視機能の向上がは

ここでは、コンピュータ支援の例として、集中監視システムをとり上げ、そのシステムの役割、要求される機能などを概説する。また、作業環境および周辺環境のモニタリングに供用されている集中監視システムの構成、機能を紹介する。

2. 集中監視システムの導入とその機能

2.1 集中監視システムの設置

放射線モニタリングは、図1のように、管理区域内、放出放射性物質および周辺環境の各モ

図1 放射線モニタリングの種類

[†] Equipments and Instruments for Use in Radiological Protection. XVI. Application of computer to radiation management. 4. Environmental monitoring. Hozumu YAMAMOTO : Department of Administrative Services, Oarai Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute, Narita-cho, Oarai-machi, Higashi-Ibaraki-gun, Ibaraki-pref. 311-13, Japan.

ニタリングからなる。

各モニタリングにおいて種々の放射線モニタを用いて線量当量率等の連続監視が行われている。モニタの指示値に異常が生じれば、警報を発し注意を促す。このとき、迅速、的確な情報を得て、適切な被ばく防護処置をとる必要がある。また、多数モニタが設置されている場合には、的確な判断が導き出し易いよう情報を整理して表示する必要も生じる。特に、次のような場合には集中監視システムを設置することにより、監視の強化、効率化および省力化をはかることができる。

(1) 監視すべき放射線モニタ等が広い範囲に多数分散、設置されている。

(2) 監視対象の情報量が多く、異常発生時等には監視、解析のために多くの要員を必要とする。

(3) 防護措置等の決定のために、種々の監視内容を有機的に結合し、評価する必要がある。

2・2 集中監視システムの構成とその機能

集中監視システムは、図2に示すように、放射線モニタ等のデータ受信装置（入力インターフェースまたは回線制御装置）、データ処理装置、結果の表示装置（ディスプレイ、グラフィックパネル、警報表示盤）、結果の出力装置（プリンタ、ハードコピー）、データ保存装置、他の機関へのデータ送信装置等からなり、次の事項を考慮して設計される¹⁾。

(1) 解析、判断するに十分な情報量を収集す

図2 NUCEF 集中監視システムの構成

る。各場所、系統ごとの放射線レベルのみならず機器の点検中、故障等の情報をも収集する。

(2) 的確な判断が導き出せるようデータを処理してディスプレイ、グラフィックパネル等に情報を集約し表示する。表示機器の大きさ、配置、色彩、周辺との調和に配慮する。警報、故障等の表示色、警報音等については他の設備のものとのできるだけ統一化をはかる。

(3) 誤操作を防止し、熟練していない監視員にも容易に扱えるよう操作性を向上させる。

(4) 迅速な対応がとれるよう適切なデータ収集間隔、情報の伝送時間を選定する。

(5) 一時的な電源断にも耐えうよう信頼性を確保する。また、停電時の後処理を簡便化する。

(6) モニタ等の増設に備え、拡張性を確保する。

(7) 小型化を図る。

集中監視システム各構成要素等の概要を以下に示す。

2・2・1 データ伝送方式

データ伝送系は、モニタとコンピュータ間のインターフェースの役割を果たすものである。計測器とコンピュータとの標準的インターフェースには、GPIB (IEEE 488) が広く用いられている²⁾。伝送可能距離はシステム全体で20 m以内、インターフェース1台あたり2 m以内と比較的短い。GPIBを備えた放射線測定器（たとえば、NIM モジュール）は多い。機能、経済性が高く、広い自由度を備えている。また、多くのコンピュータがGPIBボードとそのソフトをサポートしている。

RS-232C 伝送方式は、信号をシリアルに伝送する方式であり、ほとんどのコンピュータがRS-232C端子を標準で備えている。通常、モデム（変復調器）を介して長距離伝送される。平衡型インターフェースであるRS-422規格もコンピュータ周辺のインターフェースとして利用されている。

シリアル信号の伝送方式には、モデムインターフェースのほかに、カレント

20 mA ループ（電流ループ）がある。もともとテレタイプの駆動に使用されていたものであるが、低速なら約 1 km と長く線を引けることから、機器の状態表示信号等の伝送に用いられる。

イーサネットによる伝送方式はコンピュータ間のネットワークに使用でき、専用の電線（通称、イエローケーブル）を用いるが、最近では、ツイストペア線を用いる方式もある³⁾。市販のローカルネットワークソフト（たとえば、NetWare, TCP/IP など）を使用することで、複雑な情報の通信が可能である。

プロセス計装として、アナログ、デジタル等の信号および多点プロセス信号の収集ができ、比較的長距離の伝送ができるメーカー固有の伝送方式がある。たとえば、ツイストケーブル 1 本で、多数のデータを 1 km 伝送できるものが、各種測定機器からの ON/OFF 信号やデータの収集および警報等の出力に利用されている。

実際の集中監視システムでは、伝送方式を一つに統一している例は少なく、図 2 のように各伝送方式の特徴を活かして、系統ごと異なる伝送方式を採用している。

伝送線は、自前で敷設した専用配線を使用するほか、NTT 特定回線も利用される。また、遠距離あるいは人里離れたところからのデータ伝送には無線方式がとられる。

2・2・2 データの収集間隔

放射線モニタからのデータ収集間隔は、異常検出の許容遅延時間、モニタ指示値の許容変動幅、解析に必要なデータの精度、コンピュータの処理能力等によって決まってくる。たとえば、パルス信号の積算値や計数率を収集する場合、収集間隔が数秒と短く、かつ、モニタ計数が低いときには、収集したデータは統計的に大きく変動する。また、採取間隔を 10 分と長くすれば、計数値の変動は小さいが異常発生を検出が遅れる。

実際の放射線モニタリングでは、モニタの平常時の計数率、異常発生時の即応の必要性、監視システムの能力等を加味し、約 30 秒から 1 分の収集間隔が一般的である。警報発生情報は割り込み処理によって迅速に取り込まれる。

2・2・3 応用ソフトの作成言語

応用ソフトの作成には、設置後の保守・点検の容易な言語が用いられる。一般に、C 言語、FORTRAN が用いられ、簡便にプログラミングできることから BASIC も使用される。しかし BASIC は機種により異なる部分が多く、後の保守に困難を伴う欠点がある。アセンブラは早い処理速度が要求される場合に部分的に用いられるが、製作、保守が容易でない。使用言語の選択は、オペレーティングシステム（OS）とも関連し、入出力に対する割り込み処理、エラー処理が確実に実施できることが重要である。

2・2・4 表示装置

これまでのメータ、レコーダ、警報ランプ等による監視をより強化する意味から、集中監視システムの情報表示装置は重要である。

CRT ディスプレイ装置（以下「ディスプレイ」という。）は集中監視システムの中心をなすものであり、14 インチから 20 インチのカラーディスプレイを用い、ハードコピー装置を付設する。画面操作はメニュー方式とし、キーボード、タッチパネルあるいはマウスを用いて、誰もが簡便に操作できるよう配慮される。

2・2・5 データ記憶装置

リアルタイムに使用するデータの保存にはハードディスク、磁気バブルメモリーを用い、オフラインのデータ保存にはフロッピーディスク、磁気テープを用いる。また、最近、大容量のデータ保存のために、1 枚あたり 128 M バイトから 600 M バイトの容量をもつ光磁気ディスク（MO）が実用になってきた。読み書き速度はハードディスクに比べて遅いが、フロッピーディスク、磁気テープにかわるバックアップメディアとして利用できる。しかし、現在のところメーカー間の互換性、継承性の問題が一部残っている。

ハードディスクの記憶容量に限界のあることから、1 分値データ等は 1 週間から 1 月間等の短期間だけ保存し、10 分値あるいは 1 時間平均値等の処理後データは、1 月間から 3 月間保存するなど、データの種類に応じて保存期間を

変えればディスクの有効活用がはかれる。

2・2・6 無停電電源設備

商用電源の停電時、非常用電源への切換時には、集中監視システムのコンピュータは停止し、後処理に手間取ることがある。また、落雷等による瞬時の停電、電圧降下時には不安定な動作をおこし、収集データや処理が目茶滅茶になる。このため、集中監視システムには無停電電源設備を備え、電源を供給して処理機能が維持される。しかし、長時間供給する大容量の電源設備は高価であるため、商用/非常用間の電源切換、瞬停や電圧降下時においてのみコンピュータのダウンしない10分間から30分間電源供給できる設備が一般に設置される。この通電時間中に長時間停電に備えての処置がとられる。

3. 作業環境の集中監視システムの例^{4),5)}

日本原子力研究所東海研究所の燃料サイクル安全性工学研究施設（NUCEF）に設置された集中監視システムの監視機能を紹介する。

NUCEFは、定常臨界実験装置、過渡臨界実験装置等を有し、臨界安全性に関する研究、再処理プロセスに関する研究、超ウラン元素廃棄物安全性に関する研究が行われる。

3・1 集中監視システムの構成とその機能

NUCEFの実験施設内には、表1のようにエリアモニタ、ダストモニタ、ガスモニタ、排気用モニタ、空気サンプリング装置などを設置し、連続あるいは定期的に線量当量率、放射能濃度等を測定している。それらの測定結果はミニコンピュータを持つ集中監視システムに取り入れ、監視している。

NUCEFの放射線監視システムは、図2に示すように放射線モニタ等と集中監視システムからなり、エリアモニタなどの監視盤は実験装置等の制御室に置き、集中監視システムは隣接建屋の放射線管理室にある。

放射線モニタの指示値は GPIB により光ケーブルを用いて集中監視システムに伝送し、モニタの警報、放射能測定装置等の不定期に発生す

表1 NUCEFの放射線管理用モニタの種類

監視対象	使用機器	数
作業環境		
線量当量率	γ線エリアモニタ	37
線量当量率	中性子エリアモニタ	11
放射能濃度	ダストモニタ	25
放射能濃度	ガスモニタ	6
放射能濃度	エアスニファ集塵端	90
排気		
放射能濃度および放出量	ダストモニタ	5
	ガスモニタ	2
事故時		
線量当量率	γ線エリアモニタ	3
放射能濃度	ガスモニタ	1
出入管理		
表面密度	ハンドフットモニタ	4
表面密度	フットモニタ	7

る信号やデータは、プロセス入出力装置を介してシステムに伝送する。データは20秒ごとシステムに取りこみ、線量当量率、放射能濃度等の工学値に換算して、1分値データ、10分値データを作成する。モニタ指示値の監視、放出放射能等の算定、作業現場へのレベル等の表示、空気サンプリングのためのバルブの操作、記録・報告書の作成、データの保存等を行う。結果は、放射線管理室のほかに、試料計測室、制御室に設置したディスプレイでも監視できる。

集中監視システムのデータ処理、監視機能の主な内容は以下のとおりである。

3・3・1 ディスプレイによる監視機能

(1) トレンド：同時に6チャンネルのモニタ指示値のトレンド（時系列グラフ）と現在値の棒線グラフを同時に表示し、1分値データは約6時間分、10分値データは約60時間分を1画面に表示する。

(2) 現在値：モニタ名記号、モニタ設置場所、モニタ現在値と換算値を表し表示する。

(3) オーバビュー：建屋図面上のモニタ設置場所に、γ線、中性子線エリアモニタの線量当量率を表示する。

(4) モニタ稼働状態：各モニタ名に、稼働、

図3 サンプル系切替表示画面

警報発生、故障、校正、送信異常の各状態を色を違えて表示する。

(5) 空気汚染発生場所特定：空気サンプリングシステムの吸引状態、放射能濃度をディスプレイ上で確認しながら、吸引システムを切替え空気汚染の発生場所を特定する。自動のときには、吸引系統ごと指定した周期で自動的に順に切り替えながら吸引する(図3)。

(6) データ修正：10分値の任意のデータを引き出して修正できるほか、プログラムを書き換えることなく工学値換算係数等の定数を変更できる。

3.1.2 サンプラ等の制御機能

(1) ろ紙交換：排気ダストモニタ、室内ダストモニタの集塵ろ紙交換周期を個々に遠隔で指定できる。

(2) 毎日定時にモニタを自動的に点検する。

3.1.3 記録出力とデータ保存機能

(1) 放出放射能の算出：排気筒ガスモニタの指示値をもとに1日間、1月間の放射能濃度、放出量を算定し作表する。

別施設のシステムでは、一時的に放射性ガスの放出等が発生したとき、ディスプレイ上で放射能濃度のトレンドを見ながら放出時間の領域を指定し、放出時の放出積算量、最大および平均濃度を算出する方式をとっている(図4)。

(2) 記録票の作成：モニタによる線量当量率、放射能濃度の測定結果、異常・警報発生状況等の表2の記録を出力する。

(3) データの保存：1分値データは約1月分、10分値データは約3月分ハードディスクに保存できる。また、10分値等の測定結果は、磁気テープに退避して保管し、必要に応じて解析に供する。

3.1.4 その他のモニタリング結果の処理

NUCEFの集中監視システムは、連続監視している放射線モニタのデータの他に、ハンドフットモニタの警報信号、液体シンチレーションカウンタの計数値、ろ紙ホルダー自動測定装置の計数値、サーバイメータによる線量当量率測定結果を取り入れ処理している。

(1) ろ紙ホルダー自動測定装置

施設内約90か所のエアスニファおよび排気ダストモニタのろ紙はろ紙ホルダー自動測定装置で測り、結果を集中監視システムに送って放

〈トリチウム 放出解析トレンド表示〉

図4 放出放射性ガスの放出量算定の例

表2 帳票作成項目

日 報	廃液測定記録 NUCEF モニタ指示記録
週 報	フィルタ測定記録
月 報	室内塵埃測定記録 排出ガス測定記録 排出塵埃測定記録 排出廃液測定記録 放射線管理月報
随 時	線量当量率測定データ 空气中濃度測定データ

射能濃度測定記録を作成する。

電磁誘導方式の記憶素子を内蔵したろ紙ホルダーにろ紙を装着し、サンプリングする。記憶素子にはサンプリング地点、集塵期間があらかじめ書き込んである。集塵後、ろ紙ホルダーを自動測定装置にセットすれば、1枚ずつ自動的にホルダーの情報を読み取って放射能を計測する。測定後は、サンプリング地点、集塵開始月日等をろ紙に印字し、ろ紙を識別化する。

(2) 記憶式サーベイメータシステム

施設内の線量当量率の測定には記憶式サーベイメータシステムを用い、測定結果を集中監視システムに送れば、測定記録が作成できる。

記憶式サーベイメータシステムは、コンパクトサーベイメータとハンディターミナルの組合せからなる。サーベイメータの測定値はハンディターミナルに送られ、ICメモリーカードに記憶される。測定終了後、ハンディターミナルをI/Oボックスにセットして、記憶データを集中監視システムに送信する。各フロアの図面上に線量当量率を記したマップを作成し、プリンタ出力して測定記録としている。

また、表面密度の定期検査の結果もマニュアル入力することにより、線量当量率と同様の表面密度分布マップが作成できる。

4. 周辺環境の集中監視システムの例^{6),7)}

周辺環境モニタリングの集中監視システムの例として、日本原子力研究所東海研究所（東海研）のシステムの構成とその監視機能を記す。

周辺環境モニタリングでは、公衆の健康と安全を守ることを目的に、空気吸収線量率、陸上試料、海洋試料中の放射能濃度の測定・監視が行われる。

4・1 環境集中監視システムの構成

東海研では、表3に示すモニタリングポスト、気象観測からのデータと、原子炉施設の運転状況、施設からの排気・排水の放出情報等を集中監視システムに送り、測定・監視している。

集中監視システムの構成を図5に示す。シス

表3 東海研の環境集中監視システムの測定監視項目

監視項目	測定機器	数
周辺環境		
γ線量率等	モニタリングポスト	14
	モニタリングステーション	4
大気塵埃濃度	同上のダストモニタ	4
空気吸引流量	同上のダストモニタ	4
排水溝		
水中濃度	排水モニタ	2
排水流量	水位計	2
pH	pH計	2
水温	温度計	2
排気		
希ガス濃度等	スタックガスモニタ	4
原子炉出力	原子炉出力計	4
気象		
風向・風速 (10 m, 20 m, 40 m)	プロペラ式風向・風速計	3
	超音波型風向・風速計	3
気温(露場)	温度計	1
気温差	気温差計(10m, 20m, 40m)	3
気圧	気圧計	1
日射量	日射計	1
放射収支量	放射収支計	1
降水量	雨量計	1
感雨	感雨計	1

テムは、テレメータ装置とデータ処理装置に分かれ、テレメータ装置は子局テレメータ装置（以下「子局」という。）と親局テレメータ装置（以下、「親局」という。）からなる。

4・1・1 子局

子局は、施設周辺のモニタリングポスト等の測定データを環境集中監視システムに送信するもので、モニタリングポスト等にそれぞれ1台ずつもつ。停電時でも48時間作動可能な独自の時計をもち、モニタからデータを取り出し、親局からの指令によりデータを送信する。送信データは各観測データのほかに、室内および計器の温度異常、計器の点検調整状態、電源異常、ダストサンプラの稼働状況、時計異常等を1秒おきにチェックし、一度でも異常が生じれば、その情報を保持して親局からの呼び出し時

・ 図5 東海研環境モニタ集中監視装置の構成

(1分ごと)にその情報を送信する。

データは、通信制御装置（モデム）を介し、NTT 特定回線を通じて親局に送信される。

4.1.2 親局

親局は、子局から1分ごとデータを収集し、収集したデータの編集、データの異常判定処理、データ保存等を行う。これらは、親局に組み込んだマイクロプロセッサによって処理している。

また、親局はモニタ等の監視の中樞をなすことから二重化しており、一方が制御側、片方が傍受側となり、互いに相手の状態を監視している。制御側に異常が生じたときには、傍受側が制御側に代って監視を継続する。さらに、親局には、専用の無停電電源（10分保持）とバックアップメモリを備え、停電復帰後にあっても、自動的に復帰し、電源トラブルやコンピュータの保守におけるデータの欠測を少なくしている。親局では10分データを6日間保持できる。

4.1.3 データ処理装置

データ処理装置は、ミニコン、ディスプレイ、ラインプリンタ等からなり、結果の帳簿への出力、作表・作図など、監視上リアルタイム（実時間）で実行する必要のない処理を行う。

4.2 監視システムの機能

機能は、親局の監視ルーチンとデータ処理装置のデータ処理にわけられ、次の機能を有している。

4.2.1 親局の監視ルーチン

(1) 子局の観測データ等を1分ごとに収集する。このとき、10分おきに子局の時計と親局の時計とを合わせるために時刻修正を子局にかける。

(2) 子局からの収集データを実用単位に変換（工学値変換）して、1分値データをつくる。また、1分値データをもとに10分値データを作成し、磁気バブルメモリに保存する。

(3) データに次の異常情報が含まれているかどうかを判定する。

- ・ 室温異常、局舎扉開、電源断
- ・ 機器点検、サンプラろ紙切れ
- ・ 検出器故障等による強制欠測
- ・ 下限値、3 σ 、上限値、警報値判定

(4) 次のデータを大型の地図付データ表示盤に表示する。

- ・ モニタリングポスト線量率
- ・ 風向、風速、大気安定度
- ・ 原子炉施設の運転状況

(5) 次の異常情報が上がってきた場合には、ランプ、ブザーの警報を発するとともに、メッセージをプリンタ出力する。

- ・ 時計異常
- ・ データ収集異常
- ・ 機器作動異常
- ・ 観測値の異常（標準偏差の3倍を外れたときおよび警報設定値以上）

4.2.2 データ処理装置による処理

(1) 親局で処理された1分値、10分値データを収集し、1時間値データを作成して保存する。電源断でコンピュータが停止した場合には、復電後に欠測データを親局から受信し、データを補充する。

(2) 警報レベルを超したデータの発生を親局から受信し、警報発生メッセージ、警報発生後1分値のプリンタへの出力、警報発生前1時間分の1分値データをラインプリンタに出力し、警報発生状況メッセージをディスクに格納する。

(3) 1分値、10分値、1時間値データを時報、日報、月報、季報、年報等にまとめ、自動

図 6 測定値オーバービュー表示

図 7 トレンド表示の例 (大洗研究所の例)

的あるいは任意の時間指定に応じて出力する。

(4) 監視に使用する異常判定値、工学値換算係数、局項目実装テーブル等の定数がマニュアルにより設定あるいは変更できる。

(5) 収集した1分値、10分値、1時間値を修正する。1分値を修正したときには、10分値、1時間値も自動的に修正される。

(6) 他の事業所に監視結果を送信する。

4・2・3 ディスプレイによる表示機能

(1) モニタリングポスト等の空気吸収線量率、排水放射能濃度、原子炉運転状態等を概略地図上に表示し、1分ごとに更新する(図6)。

(2) 風向風速等の気象データを概略図面に表示し、1分ごとに更新する。

(3) 親局で検出した警報設定値オーバー、上限値オーバー等の異常状態のメッセージを表示する。

(4) 任意のモニタリングポスト等の空気吸収線量率、降水量のトレンドを重畳表示する(図7)。

(5) 指定した時間軸の風向、風速、降水量のトレンドを表示する。

(6) スタックモニタからの放出源情報をもとに、最大地表面放射能濃度地点および最大 γ 線線量率地点の方位、距離、値と核種ごとの最大線量当量を算定し表示する。

5. おわりに

原子炉施設等で実施されている作業環境および周辺環境のモニタリングの集中監視システムの現状と必要とされる機能について概説した。

集中監視システムの今後の方向として、パソコン、ワークステーションの価格対性能比が日ごとに向上していることから、パソコン等を用いた分散処理型のシステムが多く構築されていくものと思われる。ネットワークソフトウェアを活用して各パソコン等の間で情報交換を行い、収集した情報および解析・整理後の情報を共有化し、最大限に活用する方向が考えられ

る。

放射線異常の発生時には、集中監視システムが収集した多くの情報をもとに、システム自身で解析・判断して、何が発生したのか、どのような状況にあるのか、どのような処置をとるべきか、などの情報を迅速に提供する方向が考えられる。これは人工知能(AI: artificial intelligence)の機能を集中監視システムに持たせることであり、これまでの放射線管理の経験情報をコンピュータに覚え込ませ推論機構により処理し、すぐれたマンマシンインタフェースを通じて利用者に情報を的確に提供するものである。この実現には、日頃の放射線管理の経験を系統的に解析・整理し、知識ベースを積み上げておく必要がある。

また、放射線モニタリングで得た情報は、放射線管理員への提供にとどめず、施設の運転管理員等にも活用されるのが放射線防護上効果的である。このためには、運転管理員にも十分に理解できる形にデータを加工、表示して、監視装置をだれもが活用できるよう操作性をたかめておく必要がある。さらに、システムの設置後においても、そのときどきの要請に適宜対応できるように、ソフトウェアを常に改善し、システムを陳腐化させない維持管理が肝要となる。

文 献

- 1) 久納英夫: “監視制御システム実用便覧”, pp. 94-101, フジ・テクノシステム社(1989)
- 2) 岡村迪夫: “IEEE-488 (GPIB) とその応用と実際”, CQ出版社(1991)
- 3) 阿江 忠: “ローカル・ネットワーク技術の基礎と実際”, CQ出版社(1991)
- 4) 藪田 肇: 保健物理—管理と研究—No. 34, JAERI-M 92-144, 61-62 (1992)
- 5) 青木勝則, 他: FAPIG No. 135, 25-32 (1993)
- 6) 清水 勇: 保健物理—管理と研究—No. 30, JAERI-M 88-226, 177-179 (1988)
- 7) 片桐 浩, 他: “監視制御システム実用便覧”, pp. 823-845, フジ・テクノシステム社(1989)