

高性能オフガス核種分析システム

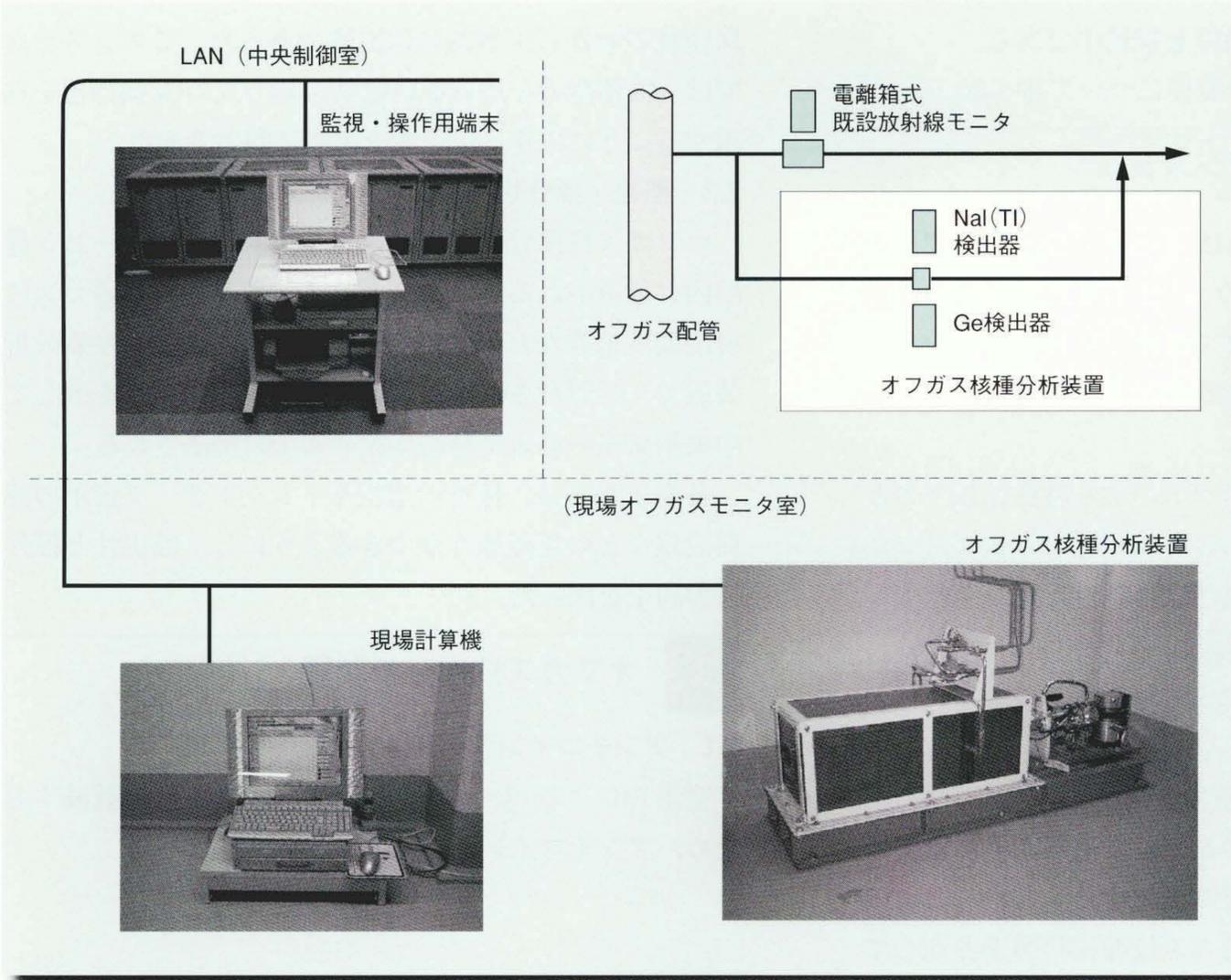
High-Efficiency Off-Gas Nuclide Analysis System

桑原 均 Hitoshi Kuwabara

小山三輝雄 Mikio Koyama

北口博司 Hiroshi Kitaguchi

海原明久 Akihisa Kaihara



高性能オフガス核種分析システムの構成

実機プラントで既設放射線モニタに並行して核種分析システムを設置し、わが国で初めてオンライン連続核種分析を行い、良好な性能を確認した。このシステムでは、鉛遮蔽体[幅770×奥行き300×高さ310(mm)]内に収納されたGe検出器とNaI(Tl)検出器からの信号を現場計算機で処理し、核種分析データを汎用LANを介して中央制御室などに送信する。監視・操作端末でトレンドデータ監視や核種分析装置の遠隔操作などができる、オープンで拡張性の高いシステムと言える。

原子力発電所では、放射線監視設備によってオフガス中の放射線レベルを常時監視している。また、定期的にオフガスの一部を採取し、その核種分析を行っている¹⁾。

オフガス中には、希ガスと放射化生成物が混在する。放射化生成物の一つに、二つの陽電子消滅ガンマ線を放出する窒素13があり、そのガンマ線強度は、希ガスに比べて大きくなることが多い。このため、希ガスを高精度で測定するには、その影響を低減する技術が不可欠となる。

また、監視性能の向上には、連続的に核種分析ができるシステム^{2), 3)}が強く望まれていた。このため、日立製作所は、高性能オフガス核種分析システムを開発した。このシステムでは、窒素13の影響を低減するために、Ge検出器とNaI(Tl)検出器を用いた「アンチコインシデンス方式」の測定手法を適用し、オフガス核種分析の精度向上を図った。

Ge検出器の冷却には、液体窒素の定期的な補給が必要である。このため、電気冷却方式を適用することによって補給作業を削減し、保守性を大幅に向上した。また、中央制御室や事務本館から汎用LANのネットワークを介したトレンドデータの監視や現場機器操作などができる拡張性の高いシステムを構築した。

1 はじめに

原子力発電所では、炉内を監視するために、プラントのオフガス(気体廃棄物)中に含まれる放射線を測定するオフガス放射線モニタを設けている。このモニタではガンマ線の総量測定を行っており、その放射線量は放射化生成物の窒素13で占められているケースが多い。そのた

め、この妨害放射線(バックグラウンド放射線)の影響を低減し、炉内の通常外兆候を示す希ガスの微小変化を速く、高精度に検知できるシステムが強く望まれていた。

このような要求から、バックグラウンドとなる窒素13の影響を低減し、オンラインの核種分析を行う高性能オフガス核種分析システムを開発した。

このたび実機プラントにおいて、BWR(沸騰水炉)電

力共同研究の一環として、このシステムのインプラント試験を実施し、良好な性能を確認した。

原子力発電所のオフガスの核種分析をオンラインで実施するのはわが国で初めてのことである。今回の実績を踏まえ、常設設備としての設置を推進中である。

ここでは、このシステムの概要について述べる。

2 オフガス核種分析システム

オフガス核種分析システムは、Ge検出器、NaI(Tl)（タリウム活性化ヨウ化ナトリウム）検出器およびその計測モジュールで構成するオフガス核種分析装置と、中央制御室や事務本館などで遠隔監視ができる監視・操作用端末で構成する。

このオフガス核種分析システムの主な特徴は以下のとおりである。

- (1) バックグラウンド放射線(窒素13)の低減
- (2) 電気冷却方式のGe検出器による保守性の向上
- (3) 遠隔監視操作化によるヒューマンインタフェースの向上

2.1 バックグラウンド放射線の低減

従来のオフガス放射線モニタでは、電離箱検出器でオフガス中のガンマ線総量を連続測定する。しかし、この電離箱による測定法では、希ガス放射線核種を弁別して分析することができず、また、測定値はオフガス中に多く含まれる窒素13の強度に依存することから、希ガスの微小変化を的確にとらえるには限界があった。

今回開発したオンライン核種分析システムでも、高精度の監視を行うためには、バックグラウンド放射線の影響を低減させることが不可欠となる。これを実現させる方式には、減衰管設置で一定時間減衰後のオフガスを測定する方法がある。これは、窒素13の半減期が約10分という性質を利用したものである。しかし、希ガス核種にはオフガス中の監視対象である窒素13よりも半減期の短い核種(キセノン137：半減期3.8分など)が存在するため、長時間の減衰管を設ける方式では、これらの核種分析とその監視は困難になる。

このことから、このシステムでは減衰時間を短くし、希ガスを高い精度で測定するため、窒素13の崩壊過程で発生する消滅ガンマ線をアンチコインシデンス(反同時)の信号処理で排除する手段を適用した。この方式によって窒素13の影響を低減し、応答の速い核種分析が可能なオフガス放射線モニタを実現した。

2.2 保守性の向上

通常のGe検出器では液体窒素で冷却して作動させることから、連続使用するためには液体窒素の定期的な補給が必要となる。このため、長時間のオンライン測定は、保守性の面から実質的には困難であった。このシステムでは、液体窒素を用いない電気冷却方式のGe検出器を採用することにより、保守性を大幅に向上させた。

2.3 監視・操作性の向上

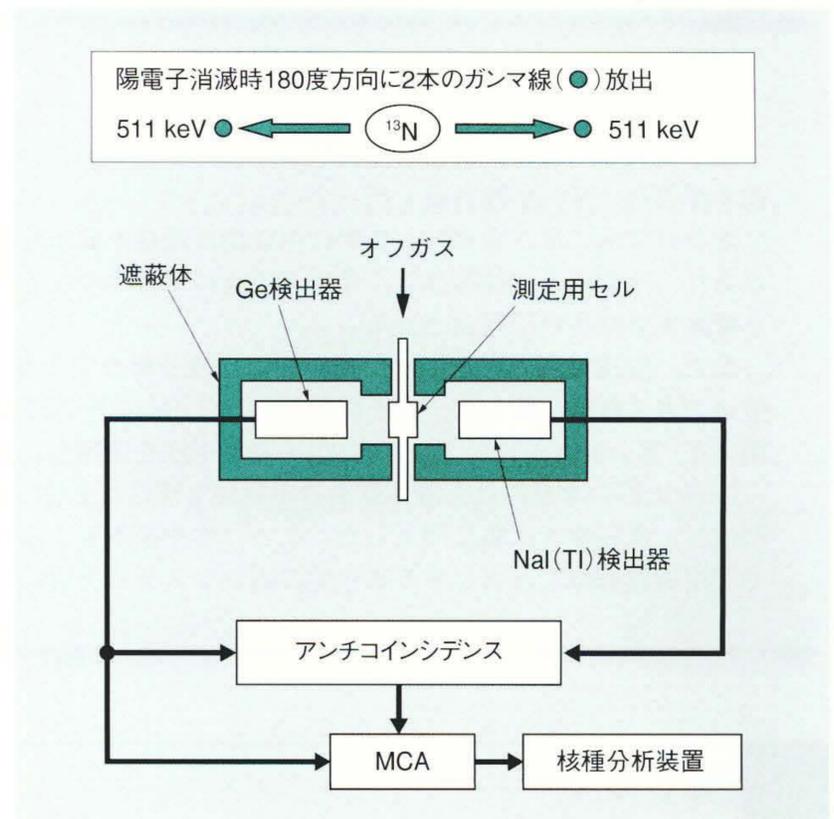
オフガス核種分析装置は、原子力発電所のタービン建屋内に設置される。この装置によって得られる希ガス放射能濃度情報などの測定データは、現場に設置する分析装置で一括管理され、汎用LANのネットワークを介して中央制御室の端末や事務本館の端末に伝送される。

各端末からは、核種の選択やトレンドデータ表示の時間設定などの遠隔操作ができるようにし、監視性と操作性の向上を図った。

3 オフガス核種分析装置

3.1 アンチコインシデンス方式

窒素13によるバックグラウンドノイズを直接低減するため、アンチコインシデンス方式を採用した。



注：略語説明 MCA(Multi-Channel Analyzer)

図1 オフガス核種分析装置の放射線測定部の概略構成

窒素13は β^+ 崩壊核種であり、陽電子を放出する。アンチコインシデンスは、この陽電子が陰電子と対になって消滅するとき発生する消滅ガンマ線(511 keV)を、対向して設置した二つの検出器で同時検出した場合はこれを窒素13と判定し、核種分析信号から除く方式である。

オフガス核種分析装置の放射線測定部の構成を図1に示す。窒素13はその崩壊過程で陽電子(β^+)を放出し、その陽電子が消滅する際、180度正反対方向に二つの消滅ガンマ線を同時に放出する。アンチコインシデンス方式では、オフガスが通過するセルに対し180度対向した位置にGe検出器とNaI(Tl)検出器を設置し、窒素13が放出する二つの消滅ガンマ線を同時に計測し、窒素13の検出を認識する。炉内監視の指標である希ガスは陽電子の放出を伴わないので、Ge検出器かNaI(Tl)検出器のいずれか一方の検出器で検出される。同時刻に両検出器で検出された信号を窒素13の信号と判定し、分析信号から排除する。また、NaI(Tl)検出器の検出信号がなく、Ge検出器に検出信号があった場合には、窒素13以外の放射線による信号(希ガスなど)と判定して分析する。この方式の採用により、窒素13のバックグラウンドノイズを25%低減することができ、希ガスの監視性能を大幅に向上させた(図2参照)。

3.2 リアルタイム計測

オフガス中の希ガス放射能はきわめて低く、かつ短半減期核種も存在する。このため、サンプリングによる手分析では多くの時間を要し、応答性と分析精度に課題が残る。

このシステムでは、このような課題を解決するため、測定用セルにオフガスを連続的に流して測定する構成を採用した。

この構成と上述のアンチコインシデンス方式を採用し

た計測法により、オフガス中の希ガス濃度をリアルタイムで測定できる装置とした。

4 核種分析データ監視装置

4.1 データ監視装置の構成

従来のオフガス分析法は、現場サンプルラックでオフガスの一部をバイアル瓶に採取し、現場から分析室まで運搬して核種分析を行う手分析作業であった。しかし、これでは応答性に優れた連続的なトレンドデータ監視ができないので、新たなシステムが望まれていた。

今回開発したシステムでは、分析装置の測定データを現場計算機によってリアルタイムで収集し、連続監視機能を持たせた。さらに、汎用LANのネットワークを介して中央制御室や事務本館などの端末に情報を提供する、オープンで拡張性のあるシステムとした。

このシステムの特徴は以下のとおりである。

- (1) 小型監視用計算機と汎用LANを用いた伝送技術の採用
- (2) 大容量記憶装置の採用
- (3) オフガス核種分析装置の遠隔操作

このシステムにより、従来の手分析オフライン方式に比べて作業効率が約50%低減できる見通しを得た。

4.2 ヒューマンインタフェース

各端末には、キセノン133、135、138の主要3核種のトレンド、警報、各核種の発生比率などの情報が送られる。各データは、監視画面に表示されるとともに、データベ

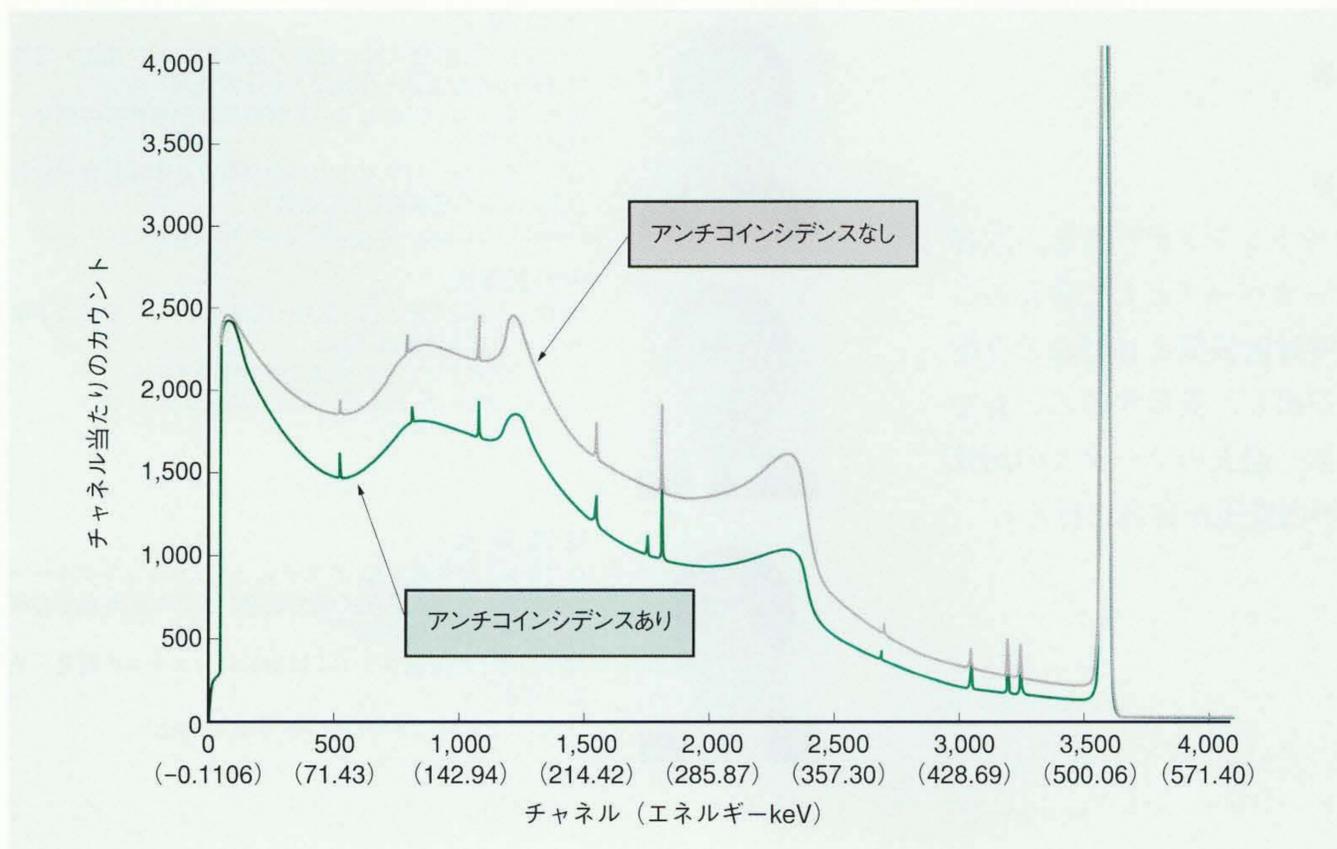


図2 窒素13のバックグラウンドの低減例

アンチコインシデンス前後のエネルギースペクトルの比較を示す。アンチコインシデンスにより、窒素13のガンマ線とその散乱によるバックグラウンド成分を約25%低減することができた。

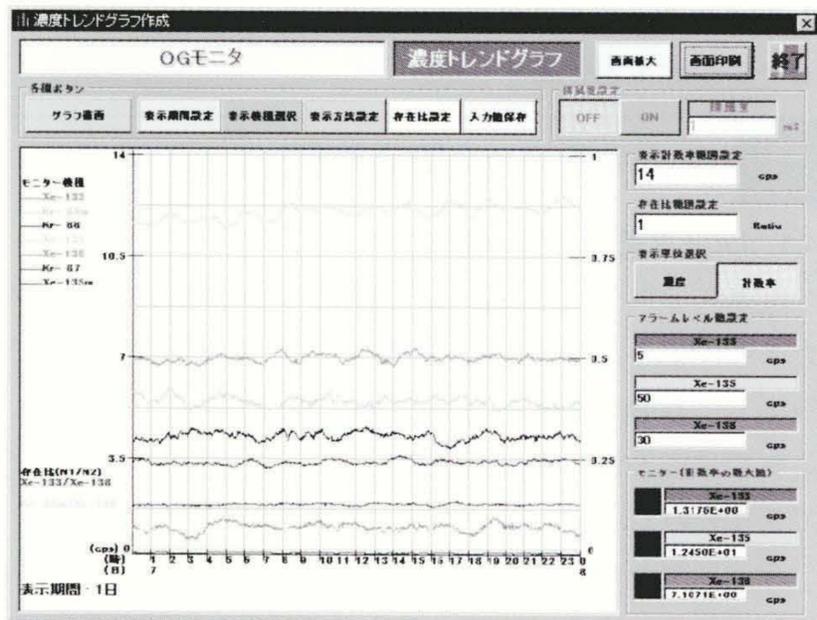


図3 核種分析の画面例

オフガス中の主要3核種であるキセノン133, 135, 138のほか、クリプトン88など7核種のトレンドデータ例を示す。核種は11核種の中から任意に設定できる。トレンド時間も1年間の範囲で任意に設定できる。

ースに保存される。なお、11種類のうちから任意に対象核種を選択することができる。

7核種の24時間トレンド表示の例を図3に示す。

分析ソフトウェアには、スペクトルデータ収集ソフトウェア、核種分析ソフトウェア、およびトレンド描画ソフトウェアがそれぞれ連携して動作する「マルチタスク方式」を採用している。

4.3 測定データの管理

オフガス核種分析装置の計算機では、スペクトル測定データを1分ごとに保存、分析して下記のデータを得る。

- (1) 核種ごとの計数率データ
- (2) 計数率誤差および検出限界
- (3) 核種ごとの濃度データ
- (4) 濃度の誤差および検出限界

約3年分のスペクトルデータやトレンドデータを、大容量記憶装置(60 Gバイト)にデータベースとして蓄えることができる。さらに、各端末で対象核種と日時などを指定することにより、任意に呼び出し、表示することもできる。これにより、傾向の把握、過去のデータとの比較などが可能となり、充実した炉内監視が容易に行える。

5 おわりに

ここでは、オフガス中の核種分析をオンラインで連続監視し、炉内の監視性を大幅に向上した、高性能オフガス核種分析システムについて述べた。

このシステムは、高い精度と柔軟性を持っているため、原子力発電所への適用が容易となる。

日立製作所は、今後も、原子力発電設備に対する各種放射線モニタの開発を通し、プラント監視の高度化と作業員の被ばく低減に向けて技術開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 原子力委員会：発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針(1978.9), p.44(1989年3月27日一部改訂, 原子力安全委員会)
- 2) B. J. Lewis, et al. : Defective-Fuel Analysis for the Point Lepreau Nuclear Generation Station, Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 70, p. 74(1994)
- 3) K. G. Turnage : Fuel Failure Detection Methods and Experience at Hatch Nuclear Plant, Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 61, p. 49(1990)

執筆者紹介



桑原 均

1981年日立エンジニアリング株式会社入社、機電システム本部 電力制御第1部 所属
現在、放射線計測システムの開発・設計に従事
E-mail : hitoshi_kuwabara @ pis. hitachi. co. jp



北口 博司

1965年日立製作所入社、電力・電機グループ 電力・電機開発研究所 放射線・核装置グループ 所属
現在、原子力・医療などの放射線計測関連機器の開発・設計に従事
電気学会会員、日本原子力学会会員、日本保健物理学会会員、日本非破壊検査協会会員
E-mail : hiroshi-a_kitaguchi @ pis. hitachi. co. jp



小山三輝雄

1980年日立製作所入社、電力・電機グループ 原子力事業部 原子力制御計画部 所属
現在、BWRプラントの計装計画業務に従事
E-mail : mikio_koyama @ pis. hitachi. co. jp



海原 明久

1971年日立製作所入社、システムソリューショングループ 情報制御システム事業部 電力制御システム本部 原子力制御システム設計部 所属
現在、原子力発電プラント監視制御システムの開発・設計に従事
E-mail : akihisa_kaihara @ pis. hitachi. co. jp