

## 論文の内容の要旨

論文題目 光学式放射線検出器の開発と  
原子力プラント放射線モニタリングへの適用

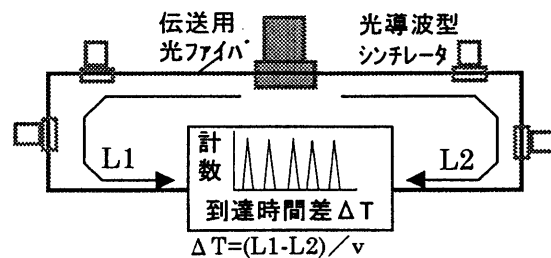
氏名 前川立行

原子力プラントでは、設備稼働率向上を目指した定検短縮が進められている。これと同時に、ICRP 90年勧告の国内法制化が進められており、より一層の被曝低減が求められている。このため、短い定検期間の中で作業被曝を低減しつつ、効率よく作業を進めるための具体的な放射線管理/測定ツールが必要とされている。また、運転中のより一層の安全確保、監視信頼性の向上のために、現行の放射線モニタリングに加え、さらにきめ細かな情報提供が可能なモニタリングツールが必要とされている。

本研究ではこういった背景のもと、原子力プラントにおける放射線モニタリング全体のニーズを捉え、これらに対して性能、機能、コストなど実用的な価値を備えた新しいセンシング技術として光学式放射線計測技術と装置の開発に取り組んだ。

開発にあたっては、シンチレーション計測技術を光計測として新たに捉え直し、光の発生から検出までの捕獲・伝播過程を検討し、波長シフト（蛍光変換）や波長弁別、光ファイバ伝送といった光学的技法を取り入れた。

まず最も用途の多い $\gamma$ 線のモニタリングを対象に、シンチレーション光を蛍光変換した上で光ファイバ伝送する基本的なセンサ（光導波型シンチレータ）と、これらを光ファイバで連鎖接続して、飛行時間（TOF）法により測定を行なうシステム概念（図1）を構築した。基本技術としての成立性を検証すると共に、複数



ポイントの放射線レベルを一括監視することができる多点測定型γ線モニタとして、プラントでのフィールドテストを行い、エリア放射線モニタや人によるサーベイ自動化ツールとしての実用的性能を実証した。

さらに、この基本技術を応用し、100°C環境下で連続使用のできる耐熱型γ線モニタ(図2)を開発した。これについては耐熱性のみならず、シンチレータの発光減衰時間と発光量(効率)に共に温度依存性があることに着目し、これら2つのパラメータの相関関係を利用して、温度情報を用いずに温度依存性を補償する手法についても実現した。

この装置を実機の圧力容器化学除染のオンラインモニタとして適用し、除染効果の進捗監視/線量測定と除染プロセスの最適化制御の両面での有用性を実証した。

また、種々の表面汚染検査用の大型モニタ装置に必要な大面積β線センサとして、波長シフト型β線センサを開発した(図3)。従来の設計ではシンチレータの面から放射する光を利用していたが、これまで使われていなかったシンチレータ内部での捕獲・伝播光に着目し、これを波長シフト(蛍光変換)して効率良く、かつ一様に集光する技術を確立した。その結果、薄型・高性能なβ線センサを実現し、実際の体表面ゲートモニタ頭部周辺の検出器として製品に搭載した。また、運転プラントのみならず将来のデコミ等も想定した広域サーベイ/汚染検査への適用に対しても検討を行い、より大面積化しつつバックグラウンドの影響を抑制することができる二次元測定(アレイ)型β線センサを開発し、その性能と効果を実証した。

最後に、プラントの運転に伴う空气中放射能濃度を監視するダスト放射線モニタリングについても新しいアプローチを展開した。天然放射性核種(ラドン娘核種)の濃度変動によるβ線計数値の変動を抑制するために、従来のβ線監視に加えα線の同時測定が必要である。

α線、β線共に専用検出器と同等の検出効率を実現し、かつ混入度を抑えるという相反条件を満たし得る技術として、従来の電子回路による波形弁別にかわる波長弁別手法を開発した。カラーブラウン管用の赤色蛍光体であるYOS(Eu)とプラスチックシンチレータで2層シンチレータを構成し、それぞれの発光波長に応じたカラーフィルタを備えた2本の光電子増倍管で選択的に受光することで、α/β同時弁別測定を実現した(図4)。

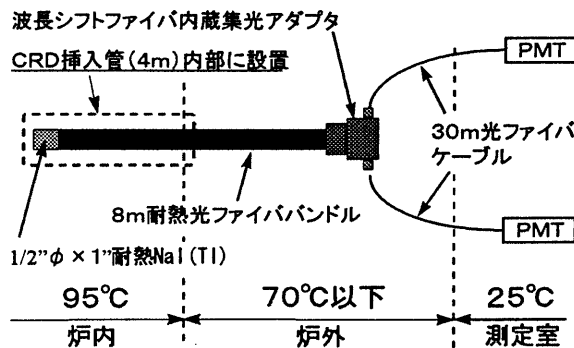


図2. 耐熱型γ線モニタ

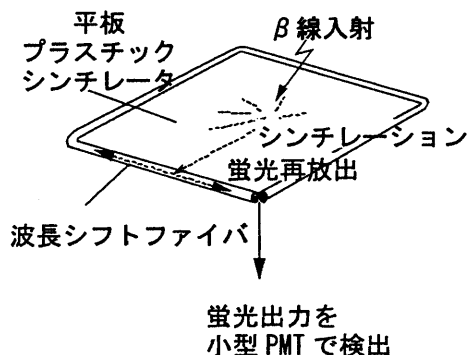


図3. 波長シフト型β線検出器

実際のダストサンプリング測定の結果、 $\alpha$ 線計測値を元にラドン娘核種からの $\beta$ 線寄与分をキャンセルすることで、バックグラウンド変動の影響を受けない高信頼ダスト放射線モニタリングを実現できることを実証した。

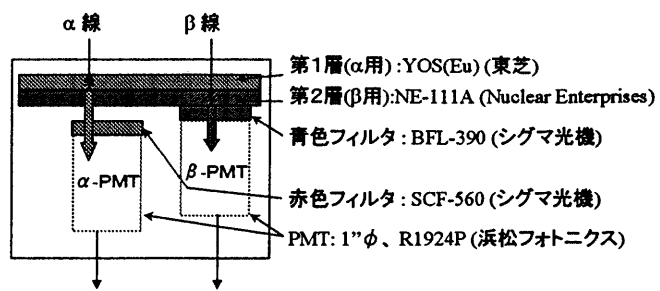


図4. 波長弁別型 $\alpha/\beta$ センサ

以上、本研究成果は、人の作業被ばく管理をはじめ、汚染の検査、プラントの運転・施設監視など、原子力プラントの放射線モニタリングの主要な部分を網羅するものである。簡素かつ高性能な実用機器の提供という面のみならず、一連の技術は原子力プラントの放射線モニタリングの「全光化」の可能性を示唆するものである。

今後、耐放射性光ファイバの進展に伴い、他分野で精力的に開発が進められている各種の光ファイバ物理量センシング技術が、プラント運転中の高放射線場での機器の監視や物理量（プロセスパラメータ）などの計測システムとして導入されていくことが予想される。

本研究成果による「全光化放射線モニタリング」技術と、これらの技術を組み合わせることで、原子力プラント全体を光センシング・光伝送により監視する「原子力光計装システム」の構築が可能になっていくであろう。

こういった観点から、本研究は将来に向けた原子力光計装システム実現への端緒を開くものと言える。