



放射線防護技術の概要

2. 作業環境の監視技術

安全部

資料番号：81-3

Overview on Development of Radiation Protection Technology

2. Development of Technology on Radiation Monitoring of Working Environment

(Safety Division)

原子炉施設や核燃料取扱施設における放射線作業環境を適切に維持・管理するために施設の特徴に応じた放射線管理技術を開発し、実用化してきた。これまでの技術開発の例としては、原子炉頂部やグローブボックス周辺の放射線状況の把握等施設内の放射線分布に関するデータの解析、特殊放射線作業等の実施における迅速な測定評価や局部被ばく管理技術開発、さらには呼吸保護具の性能試験等が挙げられる。本稿では、作業環境の放射線管理の概要、放射線管理に係わる技術成果、管理経験等を紹介する。

2.1 はじめに

核燃料物質等を取り扱う施設は、取り扱う核燃料物質等の種類に応じ、各種の放射線が存在する。例えば、原子炉施設においては、高エネルギーの中性子線や腐食生成物質からの γ 線等外部被ばくに対する考慮が必要である。また、再処理施設においては、FPからの β ・ γ 線、Pu等TRU核種による中性子線による外部被ばくに対する考慮および α 線による内部被ばくに対する考慮が必要である。これら各施設における放射線管理上の特徴を表2-1に示す。

これら放射線の存在する作業環境において作業者が不要な被ばくを受けることのないように施設・設備が設計され、また実際に作業する場合には作業方法も考慮されているが、放射線防護上、施設・設備の健全性の確認や作業方法の妥当性の確認、作業環境の放射線レベルの監視を目的に施設内放射線管理が行われる。放射線管理手法としては、作業環境内の線量当量率、空气中放射性物質濃度および表面密度の測定評価がある。また、施設外環境への放出の監視として排気モニタによる測定を行っている。これらを実施していくために、多くの測定技術および評価技術の開発を行ってきた^{1),2)}。

2.2 管理基準

施設内における放射線管理は、被ばく管理の観点から放射線による障害を防止することを目的として、法令に定められている区域の基準、濃度限度等を基に、各施設の特徴を考慮して実施している。

各施設における基準値は、施設・設備の建設段階における線量当量や空気流線、汚染レベル等を考慮した区域区分（ゾーニング）の考え方や作業内容・作業方法を考慮した上で、作業者の受ける線量当量が限度を超えることのないよう、様々な項目について設定されている。表2-2に管理基準の一例として、原子炉施設、再処理施設および使用施設における基準値を示す。

2.3 作業環境の管理

作業環境の管理は、作業環境を適切に維持することを目的として、空間の線量当量率、空气中放射性物質濃度、表面密度について測定・評価を行っている。空間の線量当量率は、施設の運転状況により変動するため、この変動を把握することにより、線量当量率の増加に伴う作業者の外部被ばくの防止が図られている。

放射性物質の漏洩の検知および放射性物質の漏洩

空間線量当量率の管理

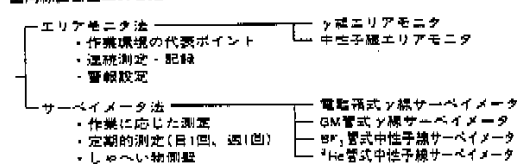


図2-1 空間線量当量率の管理体系図

空気中放射性物質濃度の管理

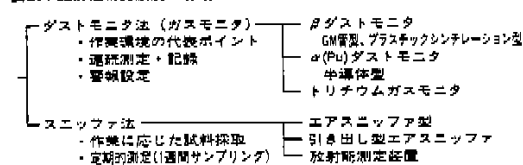


図2-3 空気中放射性物質濃度の管理体系図

実施し、遮蔽対策の妥当性を確認するとともに、作業計画立案等に反映している。また、プルトニウム燃料製造施設においては、中性子および低エネルギーγ線の混在している作業環境としてグローブボックス周辺の線量当量率分布の測定を実施し、効果的な遮蔽対策を施している(図2-2参照)³⁾。

測定器の開発としては、配管式電離箱サーベイメータの開発により測定の省力化および効率化を図り、また、NaI(Tl)シンチレーション式のγ線スペクトロメータおよび多組減速材付BF₃検出器や³He検出器型中性子スペクトロメータ等の開発・整備により放射線情報の高度化を図り、それぞれの作業環境での測定に適用し実用化している。

2.3.2 空気中放射性物質濃度の管理

作業環境における放射性物質の漏洩の有無の把握、内部被ばくの推定を行うために、作業環境の空気中放射性物質の測定・評価を行っている。空気中の放射性物質は工程、設備によりその性状が異なり、粉塵状、ガス状であり、その線種としてはα線、β(γ)線である。

サンプリング手法としては、エアスニッフ設備により空気中ダストをろ紙に採取する方法を用い、

ダストモニタあるいはガスモニタにより、連続採取測定する方法とスニッフろ紙を定期的に回収し、測定する方法がある。

サンプリング試料には、ラドン・トロンの子核種等天然放射性物質が含まれるため、評価にはこれらを考慮しなければならない。通常の管理では、これらの天然放射性物質の半減期が短いことから、この放射能が減衰した後に試料の測定・評価を行っている。

しかし、この方法では評価に3〜4日要し、迅速な測定・評価を行うことができないので、核種分析装置やα放射能分布画像モニタ等を開発し実用化している。

ふげん発電所では、天然放射性物質と³Hを分離して測定する³Hモニタが開発された。

空気中放射性物質濃度に係る管理の体系を図2-3に示す。

また、空気中放射性物質濃度管理の高度化を目指し、施設内における空気流動、放射性ダストの粒径等を定量的に把握・評価し、放射性物質漏洩時等における放射性物質の拡散を解析するための技術開発を進めている。

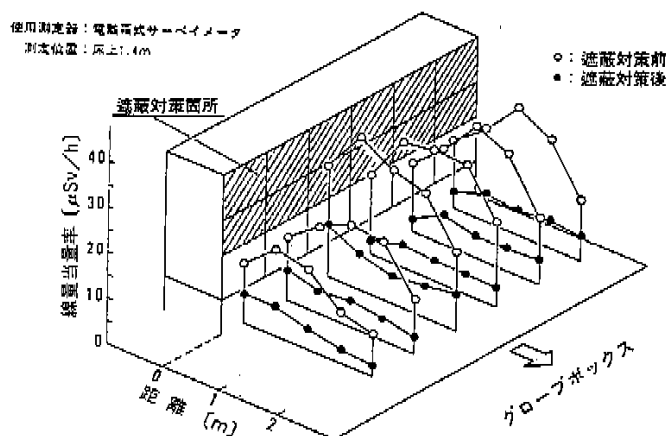


図2-2 グローブボックス周辺の線量当量率

表面密度の管理

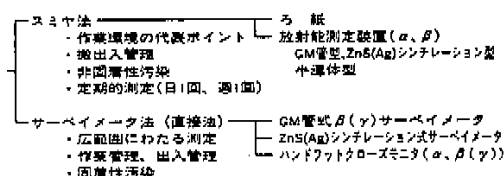


図2-4 表面密度の管理体系図

2.3.3 表面密度の管理

作業環境における汚染の有無や汚染の範囲を把握するために、管理区域内の床面等の表面密度の測定・評価を行っている。手法としては、ろ紙を用いた表面をふき取り、放射能測定装置でそのろ紙を測定するスミヤ法やサーベイメータを用いたサーベイメータ法(直接法)等を採用している。

スミヤ法は、すべての表面密度の評価に用いられ、直接法は、広範囲にわたる汚染状況を迅速に測定するのに適している。また、直接法は、固着性汚染に対しての評価に有効な方法である。表面密度の管理に係わる体系を図2-4に示す。

表面密度の測定・評価においても、ラドン・トロンの娘核種等の天然放射性物質による影響について配慮する必要がある。バックグラウンド減算型サーベイメータ、半導体検出器等を使用したスペクトロメータ型サーベイメータおよび α 放射能分布画像モニタ等を利用している。

2.4 放射線作業の管理

各施設における定期検査、各種施設・設備の改造、更新、撤去等の場合、作業環境は、線量当量率、空气中放射性物質濃度、表面密度ともに通常の運転状態とは異なり、かなり厳しい状況になる。このような状況下において行われる作業に対しては、放射線管理上の作業計画や被ばく管理計画を立案し、各種管理基準値を超えないように作業の管理を行う必要がある。

また、これらの計画の立案には、被ばくの予想値(「計画特別被ばく線量当量」という)を、単に管理基準値を下回るように設定するだけでなく、さらに低減するための具体的低減対策を含めて計画することも肝要である。

以下に、放射線作業の管理における管理方式、防護具の着用等について述べる。

2.4.1 放射線作業の区分

放射線作業の管理は、作業に伴う被ばく、立ち入る区域の区分、作業場所の線量当量率、放射性物質

表2-3 放射線作業区分

(大洗工学センター)

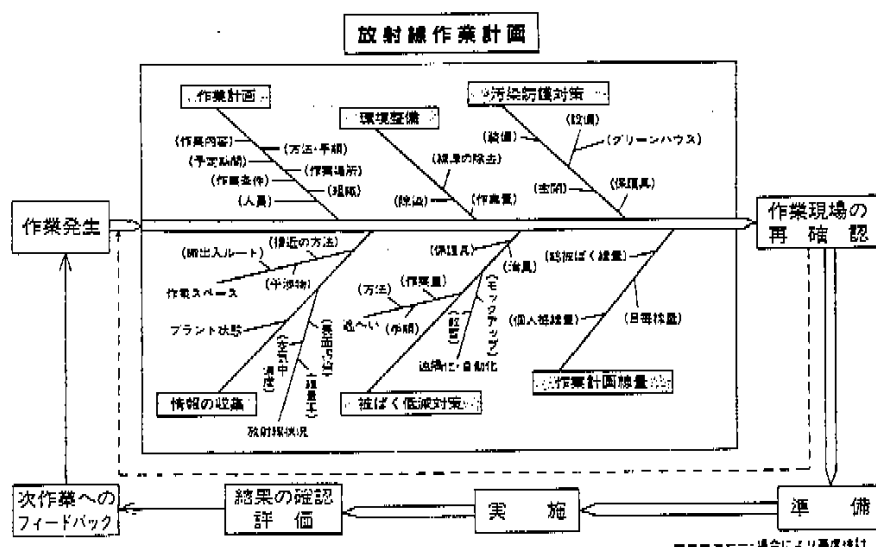
項 目	特殊(第1種)放射線作業	第2種放射線作業	第3種放射線作業
1 外部被ばくによる実効線量当量	$> 1 \text{ mSv/週}$	$0.3 < D \leq 1 \text{ mSv/週}$	$\leq 0.3 \text{ mSv/週}$
2 液体の水晶体に対する組織線量当量	$> 3 \text{ mSv/週}$	$1 < D \leq 3 \text{ mSv/週}$	$\leq 1 \text{ mSv/週}$
3 固体の水晶体以外の組織線量当量	$> 10 \text{ mSv/週}$	$3 < D \leq 10 \text{ mSv/週}$	$\leq 1 \text{ mSv/週}$
4 その他	放射線管理者が放射線安全上特に特殊(第1種)放射線作業と認める必要があると認める作業。なお下記項目のいずれかに該当する場合には、放射線管理課長と協議を行う。 ①作業場所における放射線線量当量率 $> 1 \text{ mSv/h}$ ②作業場所における空气中放射性物質濃度 $> (\text{DAC}) \times 3$ ③作業場所における表面密度 $\alpha > 4.0 \text{ Bq/cm}^2$ $\beta > 40 \text{ Bq/cm}^2$ ④作業における計画被ばく線量当量 $> 10 \text{ mSv}$		
5 備 考			日常的に行う巡視、点検、通常運転操作、放射線作業を伴わない管理区域内作業、視察および見学などは除く

DAC: 告示に定める放射線業務従事者の呼吸する空気中の濃度限度

濃度、表面密度等のレベルに応じ、2～3ランクに区分している。例えば、大洗工学センターではこれらのレベルに応じて特殊(第1種)放射線作業、第2種放射線作業、第3種放射線作業の3段階に作業を区分している。この作業区分は東海事業所もほぼ同じである。

プルトニウム取扱施設におけるグローブボックスの解体・撤去作業¹⁾、原子炉施設や再処理施設における設備の補修・改造等は特殊放射線作業として作業管理を行っている。これらは施設および作業内容に応じて、内部被ばくの防護あるいは外部被ばくの防護に重点をおき管理している。例えば、プルトニウム取扱施設におけるグローブボックスの解体・撤去作業の管理は内部被ばく防護の観点から、空气中放射性物質濃度のレベルに注意することが重要であり、再処理施設等の設備の補修・改造等の作業の管理は空气中放射性物質濃度の管理も必要ではあるが、むしろ γ 線や中性子線による全身の外部被ばくに対する防護や β 線による局所的な被ばくの防護について配慮することが重要である。

第2種放射線作業は、第1種放射線作業と第3種放射線作業の中間に位置するものであり、特に汚染



拡大防止策、被ばく防止策等の放射線管理上の配慮を必要とする作業が該当する。

- ① 管理区域内の作業で、定常化されてなく、特別に放射線管理が必要と認められる作業
- ② 規制区域での作業
- ③ 一時管理区域での作業

これらの作業としては、機器のメンテナンス等が該当する。

2.4.2 放射線作業計画および実施結果の管理

放射線作業の実施にあたっては、各種管理基準を越えないように、あらかじめ放射線管理上の作業計画や被ばく管理計画を立案している。一方、作業後においては作業の評価を行い、同種作業へ反映している。そのため、作業計画の立案は、過去の同様な作業あるいは類似作業の管理経験を参考に行うことが多い。このため、各事業所では、対象とする施設における放射線状況および被ばく状況、ならびに図2-5に示す放射線作業の計画から実施結果の反映までの基本的な流れを考慮し、個々の放射線作業計画および実施結果についての管理方式をマニュアル等に定めている。

放射線作業の計画、報告に関する事項は、管理方式のなかでも比較的重要な事項であり、前述の放射線作業の区分毎に、管理の重み付けを考慮して計画書および報告書の記載事項、承認手続き、配付先等を定めている。また、パソコンを導入し、管理の高度化、放射線作業計画・実績のデータベース化が図

られている。

2.4.3 モニタリング方法

放射線作業の管理に行うモニタリングは、作業者のモニタリングおよび作業区域のモニタリングに大別される。作業者のモニタリングは、作業者の被ばく防護を目的として行い、作業区域のモニタリングは、作業区域の放射線(能)レベルが適切に維持されていることの確認を目的として行っている。

(1) 作業者のモニタリング

作業者のモニタリングとしては、作業者の外部被ばくの確認、身体汚染の有無の確認、吸入汚染の有無の確認を目的として、外部被ばく、身体汚染等の測定・評価を行っている。

個々の作業における外部被ばくの測定は、定期測定用のTLDとは別に、作業管理用として携帯する体幹部についてはTLDやポケット線量計等により、手部については指リング線量計により行っている。またこれらの測定結果を被ばく低減に活用する場合は、作業者毎および作業単位毎に集計処理あるいは解析することが必要であり、特に定期検査時にはその集計業務が集中することから、機械化・自動化を取り入れている。例として「常陽」において使用中の警報機能付ポケット線量計(APD)のシステムの機能概要を図2-6に示す。

本システム以外にも、被ばく低減化を図るためには、手部被ばくが問題となるグローブボックス作業のための手部APDの開発、セル内等の高線量当量

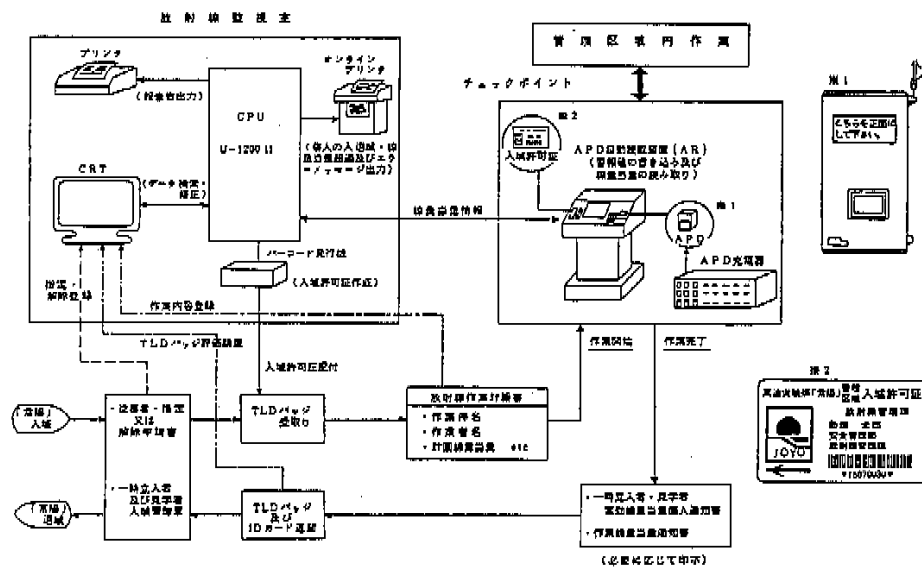


図2-6 APD作業統括管理システム概要図

率場での作業のためのテレドーズの開発も行った。

(2) 作業区域のモニタリング

作業区域のモニタリングは、作業区域内の放射線または放射能レベルが、適切に維持されていることを確認するとともに、作業区域外への汚染の漏洩の

有無を確認すること等により実施している。

これらのモニタリングは、主に移動型モニタ、サーベイメータにより行われるが、最近では、作業中の放射線レベルを作業員自身で容易に確認できる線量表示器（仮設エリアモニタの一種）を使用する例も多く、「ふげん」では、これを無線信号伝送装置と組み合わせてシステム化し活用している。

表2-4 呼吸保護具の種類と使用基準目安

(東海事業所)

種類	型式	適用	適用限度*	使用上の注意	備考 (防護係数) ²
半面マスク	空気浄化型	ダスト	科学技術庁告示第20号別表第1および第2の濃度限度の8倍	・フィルターの交換を要する。 ・脱臭効果には無効。	10
全面マスク	空気浄化型	ダスト	同告示濃度限度の80倍	・面体を良く顔面に密着させる。 ・半面マスクの注意点と同じ。	100
自給式加圧服	空気浄化型	ダスト	同告示濃度限度の800倍	・バッテリーの充電が充分であること。(最大使用時間7時間) ・くもり止めを使用すること。 ・半面マスクの注意点と同じ。	1,000
エアラインマスク	空気供給型	ダスト、ガス、酸欠	同告示濃度限度の8,000倍	・面体を良く顔面に密着させる。 ・空気供給圧力が1kg $\sim$ 2kg/cm 2 であることの監視を常時実施する。(ホースの長さ、空気供給量により異なる。)	1,000以上
エアラインスーツ	空気供給型	ダスト、ガス、酸欠	同告示濃度限度の8,000倍	・歩くときは連絡部の保護のためエアラインホースを手に持つ。 ・空気供給圧力が1.0kg $\sim$ 2.5kg/cm 2 であることの監視を常時実施する。(ホースの長さ、空気供給量により異なる。) ・適用限度を超えるような環境で使用する場合は、担当職員は放射線管理第一課と相談すること。	1,000以上

*1 作業時間を1時間とした場合。

*2 防護係数は、環境の放射性物質濃度と面体内の放射性物質濃度の比である。

2.4.4 防護具

防護具は定常放射線作業や特殊放射線作業等において、作業員の放射線防護を目的として使用され、呼吸保護具および身体保護具に分類される。

呼吸保護具としては、半面マスク、全面マスク、自給式加圧服、空気呼吸器、エアラインマスク、エアラインスーツ等があり、さらに電動ファンマスクや「ふげん」におけるトリチウム防護服⁶⁾等が使用されている。一例として東海事業所における主な呼吸保護具の着用基準等について表2-4に示す。

半面マスクおよび全面マスクに対しては、使用者の顔面とのフィットネスを確認するとともに装着技術指導の観点からマスクマンテストが行われている。

身体保護具としては、ビニール製のスーツ、ゴム手袋、シューズカバー、アームカバー等があり、呼吸保護具と組み合わせて着用している。主な身体保護具の適用法を表2-5に示す。

表 2-5 身体保護具の種類と適用範囲

分類	種 類	防護部位	適 用 範 例
身 体 汚 染 防 護 具	カバーオール、重足作業靴、作業用タイベックスーツ	全 身	・管理区域入り時に着用 ・乾式汚染、低汚染に適用
	耐酸ビニールスーツ	全 身	・湿式汚染、高汚染に適用
	自給式加圧服用耐酸ビニールスーツ	全身（上、下半身のみもあり）	・自給式加圧服の汚染防止のために併用する。
	エアラインスーツ用耐酸ビニールスーツ	全身（上、下半身のみもあり）	・エアラインスーツの汚染防止のために併用する。
	RI 用ゴム手袋	手 部	・脱手と併用する（2重、3重に用いることもある。） ・汚染物などの取扱に適用
	シューズカバー	足 部	・靴と併用する。 ・靴の汚染防止、汚染の拡大防止に適用
	アームカバー	手関節、足関節部	・忘記部位への汚染物の付着防止に適用 ・防護具の縫目などからの汚染物の侵入防止に適用
	保護前掛け	前 半 身	・線源、試料などの取扱いの際の前方向からのγ線の防護に適用
	防護眼鏡、ゴーグル	眼	・200keV以下のγ線に対して効果が大きい。（散乱γ線の多いところでは有効）
	防護面	顔	・防護眼鏡、ゴーグルの欠点・汚染物などの飛散に対する防護
外 部 被 ば く 防 護 具	防護手袋	手 腕 部	・密封剤などの漏洩の取扱いに適用し、手関節の被ばくを防護する。
	防護靴	足 部	・足部の被ばく防護

2.5 出入管理

管理区域への出入管理は、放射性物質に汚染された作業員や物品等が施設外に移動したり、施設外から放射性物質が搬入される行為を確実に把握する上で重要な管理の1つである。

管理に当たっては、管理区域外に汚染されたものの搬出を可能な限り防ぐため、法令に定める表面密度よりも低い値に管理基準を設け、実施している。管理は、出口において衣服類および身体について測定を実施したり、搬出物品の表面密度の測定を実施

することにより行われている。

大型原子力施設における人の出入管理には、ハンドフットクロズモニタや核燃料物質防護機能も有するゲートモニタが使用されている。

2.6 モニタリング機器

施設内の放射線管理に使用される測定機器類は、大別して線量当量(率)測定器と放射能測定器がある。また、試料採取のためのサンプリング設備や得られた測定データの処理装置等がある。これらの放射線管理情報を集中的に管理するためのシステム構築が進められている。例として、再処理施設におけるシステム⁸⁾を図2-7に示す。

また、測定の省力化のためには、遠隔測定システム⁹⁾や自動化が図られており、プルトニウム燃料工場では走行式モニタによる定常測定の自動化が進められている。

これらモニタリング機器は、その用途に応じいろいろな形で開発が進められており、今後さらに使いやすく、精度の高い機器類が整備され、放射線防護技術の向上が図られるものと思われる。

2.7 おわりに

原子力施設における放射線防護技術は、それぞれの施設に応じた特徴ある開発が行われてきた。これらは、実用化が図られ被ばく低減化等の面でかなりの成果をあげてきた。今後においても、ICRP勧告等への対応や放射線管理の自動化、省力化等を積極的に進め、ALARAの精神に則った放射線防護技術の確立を図っていく。

(東海事業所安全管理部 小林博英、遠藤邦明)
(大洗工学センター 中島裕治)

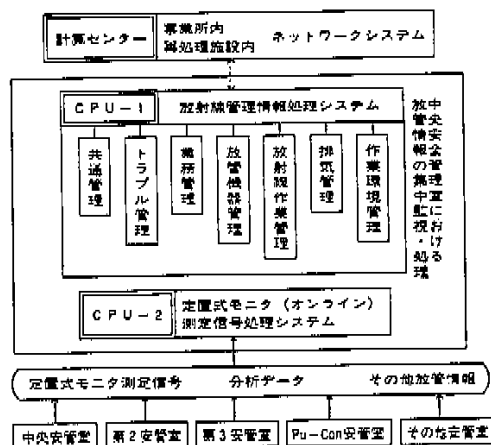


図 2-7 放射線管理情報処理システム概念図

参考文献

- 1) 中島裕治、他：「新型転換炉（JTR）重水・ヘリウム系の開発と重水取換技術の進展」、動燃技報、No.68 (1988)
- 2) 新型転換炉（JTR）発電所：「8. 被ばく低減化と放射線管理技術」、動燃技報、No.69 (1989)
- 3) 遠藤邦明、小林博英、他：「プルトニウム燃料製造施設における不均衡被ばくを考慮した施設対策」、日本保健物理学会第25回研究発表会要旨集、p.43 (1990)
- 4) 秋山聖光、大西俊彦、他：「プルトニウム取扱い施設の大規模グループボックス解体・撤去工事における放射線管理」、日本保健物理学会第24回要旨集、p.30 (1989)
- 5) 平川敏秋、古矢幸三、他：「APD作業被ばく管理システムの開発」、PNC N9410-89-028、1989年3月
- 6) 渋谷池、他：「新型転換炉（JTR）発電所におけるトリウム管理」、保健物理、18、p.283-284 (1984)
- 7) 板井直行、松尾光昭、他：「新型転換炉（JTR）発電所における放射線管理」、動燃技報、No.53 (1985)
- 8) 江森修一、田子裕、他：「再処理施設放射線管理モニタの更新（放射線管理情報の集中化）」、日本保健物理学会第24回研究発表会要旨集、p.41 (1989)
- 9) 松島昭、他：「無線式エリアモニタの開発」、動燃技報、No.79 (1992)