



放射線防護技術の概要

1. 個人被ばく管理技術

安全部

資料番号：81-2

Overview on Development of Radiation Protection Technology

1. Development of Individual Radiation Monitoring Technology

(Safety Division)

個人の外部被ばくのモニタリングについては、いずれの事業所でもTLDを基本とした測定・評価を行っており、自主開発した自動読み取り型のTLDバッジとTLD指リング線量計を用いて体幹部と局部の線量当量の測定・評価を行っている。内部被ばくについては、対象核種に応じて、全身カウンタまたは肺モニタによる体外計測法を中心に個人モニタリングを行っている。本稿では、これら被ばく管理用測定機器の概要と、被ばく管理手法およびこれまでの管理で得られた知見を紹介する。

1.1 はじめに

動燃事業団は、原子炉施設、再処理施設、核燃料物質加工・使用施設および放射性同位元素(RI)使用施設等を数多く有し、施設に応じて、原子炉等規制法、放射線障害防止法、電離放射線障害防止規則等に基づいて管理が行われている。

個人の外部被ばく管理に関しては、いずれの事業所でも熱ルミネセンス線量計(TLD)を基本とした測定・評価が行われているが、TLDバッジの準備、配布、回収、測定、評価、記録、報告の一連の業務は、それぞれの事業所で独自に行っている。また、内部被ばく管理についても、それぞれの事業所の取扱い核種や規模に応じて測定・評価項目および頻度等が定められている。個人被ばくデータについては、コンピュータネットワークにより、大気の動燃情報センターに集約され、放射線従事者中央登録センター対応業務や必要な統計処理業務を行っている。

本稿では、動燃事業団の個人被ばく管理技術の概要、これまでの被ばく管理結果に基づく被ばくの特徴等について述べる。

1.2 被ばく管理基準

放射線業務従事者の線量当量限度はそれぞれ該当

する法令で定められているが、事業団においては、その運用管理のため、さらに独自の管理基準を定めている。管理基準は事業所によって若干異なるが、一例として東海事業所における管理基準を表1-1に示す。

「原因調査レベル」は、その値を超えた時にその原因を調査し、必要に応じて被ばく低減の措置をとるために設けられているもので、国際放射線防護委員会(ICRP)のPublication 26¹⁾およびPublication 35²⁾を基に、次式により算出した。

$$\text{「原因調査レベル」} = \text{年限度} \times 3/10 \times 1/n$$

ここに、

年限度：50mSv (実効線量当量) または500mSv (組織線量当量)

n：年間のモニタリング回数 (対象期間が3カ月

表1-1 被ばく管理基準

(東海事業所)

	原因調査レベル	警告戒の勧告レベル
実効線量当量	3.7mSv/3月	13mSv/3月
組織線量当量*	37mSv/3月	130mSv/3月

* 眼の水晶体および女子の胸部を除く。

の場合は4)

「要警戒の勧告レベル」は、その値を超えた時に、当該作業者の被ばく管理についてさらに注意を払うために設けられているもので、当該モニタリング期間に対する年限度の割合から定めている。

このような管理基準を定めることは日常の被ばく管理にきわめて有効であり、結果的に、作業者の被ばく低減にも大きく寄与している。

なお、上記の「原因調査レベル」は定常作業時に対して定めているもので、より高被ばくが予想される特別な放射線作業では、その都度作業計画を立て、計画した被ばく線量を超えた場合に原因調査を行うこととしている。

なお、ICRPの1990年勧告³⁾では、作業者の線量限度を5年間の平均で20mSv/年とすることが勧告された。今後、新勧告の線量限度に対応する管理基準についても検討が必要と考える。

1.3 外部被ばく管理

1.3.1 管理手法

外部被ばくモニタリングは、管理上、定常モニタリングと作業モニタリングに区分している。定常モニタリングは、あらかじめ定められた作業者に対して一定間隔でモニタリングを行うもので、通常は3ヶ月間隔、比較的高被ばくが予想される特定の作業者については1ヶ月間隔でモニタリングしている。新型転換炉ふげん発電所の場合には、定期検査時の被ばく管理をきめ細かく行う観点で、全作業者を対象に1ヶ月間隔でモニタリングしている⁴⁾。

作業モニタリングは、特殊放射線作業を行う場合等、特定の作業期間でのモニタリングが必要な場合に行うもので、定常モニタリング用の個人線量計に加えて、当該期間に対してさらに別の個人線量計を配布してモニタリングを行う。ふげん発電所の場合には、作業者に日管理用のTLDを配付し、管理区

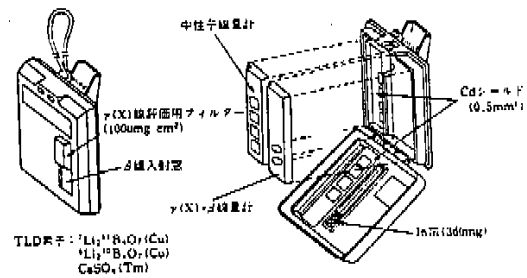


図1-1 TLDバッジの外観図

域の入退域毎にゲートシステムによりオンラインの被ばく管理を行っている。

個人線量計の着用基準の例として、東海事業所の例を表1-2に示す⁵⁾。

公式の個人線量計としては、体幹部用のTLDバッジと不均等被ばく評価用TLDおよびTLD指リング線量計があり、これらの測定結果は個人の線量当量の記録に用いられる。

1.3.2 個人線量計

(1) TLDバッジ

東海事業所においては、昭和49年に、それまでのフィルムバッジを用いた管理からTLDを用いた管理に移行し、さらに昭和57年より、全自動読取り型のTLDバッジシステムを導入、実用化し、現在にいたっている^{6),7),8)}。本TLDバッジは昭和53年から56年にかけて松下産業機器(株)と共同で開発、実用化したものであり、現在、動燃事業団の公式線量計として、各種放射線の混在場における線量測定が必要な東海事業所、大洗工学センターおよびふげん発電所において使用しているほか、今後、高速増殖炉もんじゅにおいても使用される。

TLDバッジの外観を図1-1に、その構成を表1-3

表1-2 個人線量計の着用基準

(東海事業所)			
種別	個人線量計	対象者	備考
定常モニタリング	TLDバッジ	全員	
	TLD (不均等用)	定常的に不均等被ばくのおそれのある者	H _{10m} が体幹部で2倍以上異なるおそれのあるとき
	指リング線量計	定常的に局部(手)被ばくのおそれのある者	局部(手)のH _{10m} が体幹部のH _{10m} の10倍を超えるおそれのあるとき
作業モニタリング	TLDバッジ		
	TLD (不均等用)	特殊放射線作業などで、作業モニタリングの必要のある者	H _{10m} が体幹部で2倍以上異なるおそれのあるとき
	指リング線量計		局部(手)のH _{10m} が体幹部のH _{10m} の10倍を超えるおそれのあるとき

表1-3 TLDバッジの構成

線量計	素子	蛍光体およびシールド	備考
γ(X)線用 (UD-808P)	1	⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu) + 樹脂17mg / cm ² フィルター	β線評価用
	2	⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu) + 樹脂63	β線エネルギー評価用
	3	CaSO ₄ (Tm) + 樹脂1000	γ線エネルギー評価用
	4	⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu) + 樹脂1000	γ線深部検査当量評価用 (β線評価時のγ線差引用)
中性子線用 (UD-809P)	1	(前)Cd/ ⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu)/Cd(後)	中性子入射高7×8mm
	2	Sn/ ⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu)/Cd	Cd, Sn フィルター
	3	Cd/ ⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu)/Cd	値し、入射窓以外は全厚を0.5mm厚さのCdシールドで囲む
	4	Cd/ ⁷ Li ₂ ¹¹ B ₄ O ₂ (Cu)/Sn	γ線差引用

表1-4 TLDバッジの特性

測定線種	線量範囲	エネルギー
γ(X)線	0.1mSv~10Sv	30keV~2MeV
β線	1mSv~10Sv	200keV~4MeV
中性子線	0.2mSv~2Sv	nth~数MeV

に示す。また、TLDバッジの特性を表1-4に示す。

TLDバッジは、ABS樹脂製のバッジケース(UD887PH1)、β・γ線測定用のTLDプレート(UD-808P)、および中性子線測定用のTLDプレート(UD-809P)よりなり、それぞれのTLDプレートは4個のTLD素子よりなる。

γ線の評価は通常、1,000mg/cm²のLi₂B₄O₇(Cu)を用いて行い、同じく1,000mg/cm²下のCaSO₄(Tm)は、γ線の入射エネルギーの推定用に用いる。β線の評価は17mg/cm²と63mg/cm²下のLi₂B₄O₇(Cu)を用いて行われ、それぞれについて、γ線成分の差し引きとして1,000mg/cm²下のLi₂B₄O₇(Cu)の値を用いる。

中性子線(n線)の評価はCdとSnのフィルターを組み合わせたLi⁶B¹⁰O₄(Cu)素子を用いて行い、熱中性子を直接検出するほか、高速中性子(および中速中性子)については人体に入射して減速され、跳ね返った熱中性子を検出する「アルベド法」を用いている。γ線成分の差し引きはLi⁷B¹¹O₄(Cu)素子の値を用いて行う。

Li₂B₄O₇(Cu)の実効原子番号は7.26であり、生体の実効原子番号(7.4)にきわめて近いため、ほぼ、生体の吸収線量を直接測定することが可能である。このため、平成元年4月の法令改正で導入された「1cm線量当量」の測定についても、スムーズに移行することが可能であった⁹⁾。

(2) 指リング線量計

動燃事業団(特に東海事業所)ではグローブボックスを介して放射性物質を直接取り扱う作業も多いことから、体幹部の被ばくのみではなく、末端部

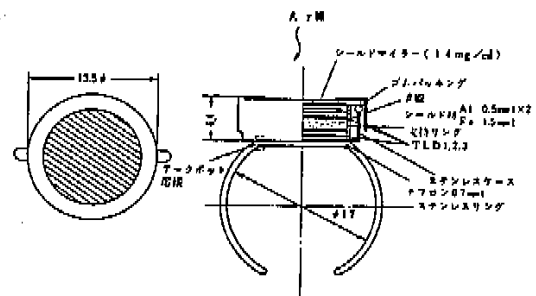


図1-3 β・γ線用指リング線量計の構造

(手部)の被ばく管理も重要である。

プルトニウム燃料工場ではAm-241のγ線(60keV)による手の被ばくが重要であることから、γ線のみを測定対象としたTLD指リング線量計を実用化し、使用している。また、再処理施設のように、核分裂生成物(FP)を取り扱う施設では高エネルギーのβ線とγ線が混在することから、昭和50年から、β線とγ線の分離評価が可能なTLD指リング線量計を実用化し、昭和55年に一部改良を行って現在にいたっている¹¹⁾。

γ線用TLD指リング線量計の構造を図1-2に、β・γ線用TLD指リング線量計の構造を図1-3に示す。また、これら指リング線量計の特性を表1-5に示す。

γ線用指リング線量計は、ガラスアンプルに入ったCaSO₄(Tm)素子(UD-110S)をエネルギー補償用のフィルターを内蔵した専用のリングケース(UD-615A)に入れた構造となっている。

β・γ線用指リング線量計はステンレス製のリングケース(UD-611A)の中に、アルミニウム基板にCaSO₄(Tm)を塗布したTLD(UD-100M8)3枚と、γ線カット用のシールド材を挿入したもので、1枚目と2枚目のTLDでβ線のエネルギー推定とβ線量評価、シールド下の3枚目のTLDでγ線を評価する。

これら小型の指リング線量計の実用化により、手部についても精度の高い被ばく評価が可能となり、核燃料施設における被ばく管理に大きく役立っている。

表1-5 TLD指リング線量計の特性

線量計名	素子	測定線種	線量範囲	エネルギー
γ線用TLD指リング線量計	CaSO ₄ (Tm)(UD-110S)	γ(X)線	0.2mSv~0.5Sv	30keV~2MeV
β・γ線用TLD指リング線量計	CaSO ₄ (Tm)(UD-100M8)	β線	3mSv~2Sv	300keV~4MeV
		γ(X)線	3mSv~2Sv	30keV~2MeV

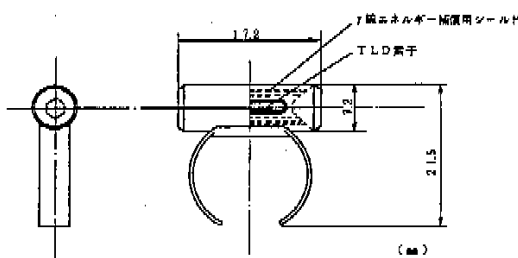


図1-2 γ線用指リング線量計の構造

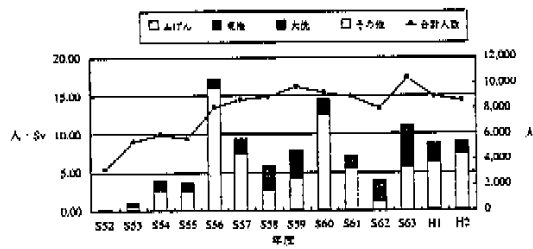


図1-4 動燃事業団における集団線量当量の推移

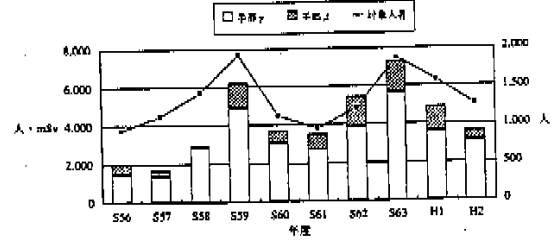


図1-6 東海事業所における手部線量当量の推移

1.3.3 被ばく管理結果

図1-4に、動燃事業団における集団線量当量の推移を示す。昭和52年度以降、再処理施設、ふげん発電所等の大型施設が稼働を開始し、施設の稼働や補修工事等に伴って、作業員数と集団線量当量が変化している。

動燃事業団全体では年間約10,000人の作業員が放射線業務に従事し、集団線量当量はここ数年間は9人・Sv程度である。なお、昭和63年度以前の線量については全身被ばく線量として管理していたが、ここでは比較のために、1レムを0.01Sv (100mremを1mSv)として換算している。

新型転換炉ふげんにおける放射線業務従事者の被ばくは、定期検査期間中の被ばくが主であり、昭和56年度と昭和60年度は、特に大規模な応力腐食割れ予防対策工事が実施されたため突出した値となっている。また、東海事業所においては、再処理施設における定期検査期間中の大規模補修工事に伴う被ばくと、Pu燃料製造に伴う定常的な被ばくが主である。

被ばくする放射線の種類としては、東海事業所以外は、通常は体幹部のγ線による被ばくがほとんどである。東海事業所では再処理施設における核分裂生成物(FP)の取り扱いに伴うβ線被ばく(体幹部および手部)と、Pu燃料製造施設におけるPu取り扱いに伴う中性子被ばくと手部のγ線被ばく管理も重要

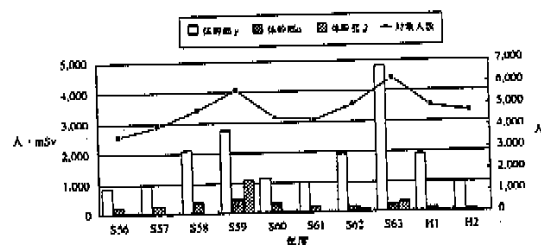


図1-5 東海事業所における体幹部線量当量の推移

である。

図1-5に、東海事業所における体幹部の被ばく管理対象者数と線量当量の推移を、γ線、中性子およびβ線に区分して示す。また、図1-6に、同じく東海事業所における手部の被ばく管理対象者数と線量当量の推移をγ線とβ線に区分して示す。

これらより、東海事業所(再処理施設とPu燃料製造施設における被ばくが主)における被ばくの特徴として、次のようなことがあげられる。

(1) 体幹部の被ばくについて

- ① 体幹部の被ばくとしてはγ線、中性子およびβ線のいずれもが検出されるが、集団線量当量としては、γ線による被ばくが最も高く、次いで、中性子、β線の順である。
- ② γ線による被ばくは年度ごとに大きく変動し、約1,000人・mSvから5,000人・mSvまで分布する。この変動の大きな要因は再処理施設における大規模改修または補修工事によるもので、被ばくが比較的高い昭和59年度は溶解槽の更新工事、昭和63年度は清澄装置の2系列化工事によるものである。定常的な被ばくとしては約1,000人・mSvである。
- ③ 中性子による被ばくは年度ごとにそれほど大きな変化はなく、最近では約150人・mSvから200人・mSv程度である。これは定常的なγ線被ばく(約1,000人・mSv)の、約15-20%に相当する。
- ④ 体幹部の(γ+n)線量およびβ線量は、それぞれ、1,000-5,000人・mSvおよび20-100人・mSvであり、β線量は(γ+n)線量の1/20-1/50程度である。(昭和59年度については再処理施設で新溶解槽の設置工事が行われたためβ線量が極端に高くなっているが、それでもβ線量は(γ+n)線量の1/3程度である。)したがって、線量限度(実効線量当量:50mSv/年、組織線量当量:500mSv/年)との関係でみれば通常は(γ+n)線量が制限因子となる。

(2) 手部の被ばくについて

- ① 体幹部の被ばく管理対象者数が年間4,000～6,000人に対して、手部の被ばく管理対象者数は1,000～2,000人であり、現状では3～4人に1人の割合で手部の被ばく管理が必要となっている。
- ② 手部の γ 線量および β 線量はそれぞれ、1,500～5,000人・mSvおよび500～1,500人・mSvであり、手部については β 線量の占める割合が($\beta + \gamma$)線量の20～30%程度である。
- ③ 手部の β 線量と体幹部の β 線量の比は5～30倍であり、 β 線については特に手部の被ばく管理が重要である。
- ④ 手部の($\beta + \gamma$)線量と体幹部の($\gamma + n$)線量の比は1.2～3倍程度であり、線量限度(実効線量当量:50mSv/年、組織線量当量:500mSv/年)との関係でみれば通常は、体幹部の($\gamma + n$)線量が制限因子となる。

これらは、過去10年間の東海事業所の被ばくに関したものであるが、全体的には核燃料物質取扱施設の被ばくの特徴を表しているものと思われる。しかしながら、中性子の被ばくはPu燃料を直接取り扱う部署に限られる他、 β 線の被ばくは再処理施設における個々の作業や防護装備の状況によっても大きく変化する。したがって、線源と関連づけた評価や、個々の防護方策の検討に当たっては、より詳細な検討を実施している。

1.4 内部被ばく管理

1.4.1 管理手法

内部被ばくの評価は、放射性物質を体内摂取するおそれのある作業場で従事する者に対し、体外計測、バイオアッセイまたは空気中濃度からの計算のいずれかを用いて行う。

例として表1-6に、東海事業所における内部被ばくモニタリングの体系を示す⁵⁾。

内部被ばくモニタリングは、管理上、定常モニタリングと特殊モニタリングに区分している。定常モニタリングとしては、使用済燃料を取り扱う再処理施設等の作業者に対しては、全身カウンタ(WBC)を用いた体外計測による方法が主であり、従事者の指定時および指定解除時に測定を行うほか、従事者指定期間中は1回/年の頻度で測定している。プルトニウムを摂取するおそれのある作業者については1回/年の頻度で肺モニタおよび尿バイオアッセイを行う他、ウランを摂取するおそれのある作業者については1回/年の頻度で尿バイオアッセイを行う。さらに、1回/3月の頻度で作業環境の空気中

表1-6 内部被ばくモニタリングの体系

(東海事業所)			
区 分	方 法	頻 度	対 象 者
定常モニタリング	簡易型全身カウンタ	1回/年	FPを摂取する作業者
	肺モニタ	//	Puを摂取するおそれのある作業者
	バイオアッセイ(尿中Pu)	//	Uを摂取するおそれのある作業者
	バイオアッセイ(尿中U)	//	Puを摂取するおそれのある作業者
	空気中濃度からの計算	1回/3月	全従事者
特殊モニタリング	精密型全身カウンタ	そのつど	内部被ばくを生じた可能性のある者
	肺モニタ		
	バイオアッセイ(尿中)		

放射性物質を測定し、有意な内部被ばくのないことを確認し、記録している。

また、ふげん発電所では、重水中で発生するトリチウムの体内取り込みを検査するため、WBCの測定に加え、トリチウムの尿バイオアッセイを従事者の指定時および指定解除時ならびに1回/3ヶ月の頻度で行っている^{4),10)}。

内部被ばくの可能性がある事態が発生した場合には、特殊モニタリングを実施する。この場合、体内摂取したおそれのある放射性核種が γ 線放出核種であれば精密型全身カウンタによる測定を行い、プルトニウム等であれば、核種に応じ肺モニタ、バイオアッセイを行う。核燃料物質取り扱い施設においては、通常の作業場では放射性物質による汚染は存在しないように設計・管理されているが、もし、有意な内部被ばくを伴うような事態が発生した場合には作業中または作業後の検査でそれを確実に検出できるため、このような管理手法を採用している。したがって、定常モニタリングの位置付けは、内部被ばく事象の検出というよりは、有意な内部被ばくがなかったことの確認の意味が大きい。

1.4.2 内部被ばく管理用機器

内部被ばくモニタリングでは、対象核種と目的に応じて種々の測定器と分析法が用いられる。例として表1-7に、東海事業所に設置してある全身カウンタと肺モニタの性能を示す。また、表1-8に、バイオアッセイの分析手法と検出限界を示す。

定常モニタリングで用いる簡易型の全身カウンタは、検出器として大面積のプラスチックシンチレータを用いたもので、体内汚染の有無を短時間に判定(スクリーニング)するために使用している。特殊モニタリングでは、検出器に大口径のNaI(Tl)を用いた全身カウンタを使用し、 γ 線放出核種を低レベルまで測定することが可能である。

プルトニウムを吸入摂取した場合には、肺に比較的長期間残留する。そのため、肺に沈着したプルトニウムからの低エネルギーのX線(Am-241が同

表1-7 全身カウンタおよび肺モニタの性能

種 類	検出器	検出器のサイズ	測定時間	検出限界	備 考
全身カウンタ (WBC)	プラスチックシンチレータ	440×200×100 mm	5分	~150Bq (Cs-137)	尿系型WBC
	NaI(Tl)	8"φ×4"	10分	~30Bq (Cs-137)	検査室内に 設置
	NaI(Tl)	5"φ×4"	10分	~70Bq (Cs-137)	
肺モニタ	NaI/CsI ホススイッチ	5"φ×2mm / 5"φ×50mm	30分	~220Bq (Pu-239)	

伴する場合は60keVのγ線を体外から効率よく測定するために、ホススイッチ検出器と呼ばれるNaIとCsIを組み合わせた検出器が用いられる。なお、本肺モニタとNaIの精密型全身カウンタは、測定の際のバックグラウンドをできるだけ低くするために、大型の鉄室（厚さ20cm）内に設置されている。

尿中または糞中のPuおよびUは、いずれも陰イオン交換による化学分離の後、α線スペクトロメトリにより測定する。これらバイオアッセイは、試料の採取、前処理から化学分析、測定までに多大の時間と労力を必要とするが、α線放射核種の内部被ばくモニタリングでは欠かすことのできない技術である。一方、トリチウムの場合には、前処理をせず、生尿を液体シンチレーションカウンタにより測定している。

1.4.3 被ばく管理結果

事業団におけるこれまでの管理経験では、定常モニタリングに伴って有意な内部被ばくが検出されたことはなく、過去の内部被ばく事例はいずれも、作業時または作業終了後の検査によって内部被ばくの可能性が富い事象が検出されたものである。

これまでの有意な内部被ばく事例としては、グローブボックスのグローブ破損等に伴うPuの吸入がほとんどであり、その都度、必要な報告と原因調査および対策が実施されている。

作業現場において放射性物質を吸入した可能性が高い場合には、まず、作業者の鼻スミアが行われる。これは綿棒の先端にろ紙を巻き付けたもので鼻腔内を拭き取り、鼻腔内に付着している放射性物質

の量を放射線測定器により測定する方法である。鼻スミアによる測定は、事象や個人ごとにばらつきの多い方法ではあるが、吸入の有無の判定にはきわめて有効である。

これまでのPuの吸入事例においては肺モニタによって有意な値が検出されたことはなく、Puの内部被ばく線量の評価は、最終的には初期（摂取後5日間）の糞中放射線量から行われている。

過去のPu吸入事例における鼻スミア値と初期糞中放射線量の測定結果によると、データのばらつきは大きいものの鼻スミア値と初期糞中放射線量の間にはある程度の相関があり、現状では鼻スミア値の10倍が初期糞中に排泄されるものとして暫定的な初期評価を行うこととしている¹²⁾。

1.5 個人被ばくデータの管理

個人被ばくのデータについては、法令により一定の項目について記録、報告および記録の保存が義務付けられている。事業団のように管理対象人数が多い場合にはこれらのデータは莫大なものとなり、必要ときにすぐに検索できることが必要である。また、昭和52年には「放射線従事者中央登録センター」が設置され、原子力施設における被ばく線量登録管理制度が発足した。

このような背景から、事業団においては、昭和52年に東海事業所においてコンピュータを用いた被ばく管理データ処理を開始し、さらに昭和56年度に本格的な被ばく管理データベースシステムを構築した。本システムは以後、全社システムへと発展し、法令改正対応のためのシステムの変更等が行われてきている⁹⁾。

データベースには、従事者の個人識別のためのデータ、従事者の指定および指定解除のデータ、線量当量データ等が登録されており、これらのデータを用いて、個人への線量当量の通知、規制当局への報告および放射線従事者中央登録センターへの線量の登録等が行われている。

6. おわりに

事業団には歴史とともに種々の施設が建設・運転され、それぞれ、個人被ばく管理の対象とする核種、放射線の種類および作業場の状態はさまざまである。本稿では、主に東海事業所およびふげん発電所における個人被ばく管理技術の概要等について述べた。

過去の長年の歴史の中では、それぞれの施設と時代に応じた最も合理的な管理手法が指向され、そのために必要な技術開発と実用化が行われてきた。し

表1-8 バイオアッセイ

核 種	Pu		U
	尿	糞	尿
分析方法	陰イオン交換		陰イオン交換
供試量	500mL	—	100mL
検出器	表面障壁型Si検出器		表面障壁型Si検出器
測定時間	80,000秒		80,000秒
検出限界	4×10^{-3} Bq / 1.5g	4×10^{-3} Bq / sample	0.1Bq / 1.5g

たがって、現時点で必要な技術は基本的には整っているが、核燃料サイクルの実用化、個人被ばく管理技術の高度化に向けて、今後とも個人被ばく管理技術についてもさらに改良を重ね、線量評価の高精度化と合理化を図っていきたい。

(東海事業所安全管理部 二之宮和重、桜井 直行)

参考文献

1) ICRP Publication 26: 国際放射線防護委員会勧告, 日本アイソトープ協会, 東京 (1978)
 2) ICRP Publication 35: 作業者の放射線防護のためのモニタリングの一般原則, 日本アイソトープ協会, 東京 (1984)

3) ICRP Publication 60: 国際放射線防護委員会の1990年勧告, 日本アイソトープ協会, 東京 (1991)
 4) 桜井直行, 他: 新型転換炉型原子力発電所における放射線管理, 動燃技報 No.53, 18-25 (1985)
 5) 二之宮和重: 個人管理II, Isotope News 1991年11月号, 52-56 (1991)
 6) 石黒秀治, 武田伸正: $Li_2B_4O_7(Cu)$ 素子による自動採取型個人線量計の開発(II), 保健物理, 16, 305-316 (1981)
 7) 石黒秀治, 武田伸正: $Li_2B_4O_7(Cu)$ 素子による自動採取型個人線量計の開発(III), 保健物理, 17, 27-36 (1981)
 8) 石黒秀治, 宮部賢次郎: 個人被ばく線量評価における深部線量当量指標の適用, 保健物理, 18, 327-335 (1983)
 9) 二之宮和重, 伴 信彦: 盲測線量: 法令改正に伴う個人被ばく管理上の対応, 保健物理, 24, 47-50 (1989)
 10) 渡谷道, 他: 新型転換炉型原子力発電所におけるトリウム管理, 保健物理, 18, 283-284 (1983)
 11) 石黒秀治, 武田伸正: TLDによる局部被ばく線量計の開発と実用化, 保健物理, 18, 207-216 (1983)
 12) K. Miyabe et al: Application of nose smear method to the assessment of internal contamination, Assessment of radioactive contamination in man 1984, IAEA, 357-366 (1984)