

# ICRP1990年勧告に基づく外部被ばく線量の 変化に関する試算

1996年7月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## ICRP1990年勧告に基づく外部被ばく線量の変化に関する試算

辻村憲雄<sup>1)</sup>、百瀬琢磨<sup>1)</sup>、篠原邦彦<sup>1)</sup>

### 要旨

国際放射線防護委員会（ICRP）は、これまでの基本勧告を改訂し、1990年にICRP Publication 60を勧告した。この新勧告では、線量限度の変更の他に、線量拘束値や放射線防護の概念等についても新しい考え方を示しているが、個人の被ばく線量の評価上、重要となるのは放射線荷重係数、組織荷重係数の導入及び線質係数の変更である。また、ICRPとICRU（国際放射線単位測定委員会）の合同タスクグループが実施しているOperational Quantityの体系化の整理が進み、新たに個人線量計の校正用線量という新概念が導入されつつある。

これらICRPの新勧告、あるいはICRP-ICRU合同タスクグループの報告が国内法令に適用された場合、これまでの評価線量の値は大きく変わる可能性があるため、本研究では、平成7年度に主にプルトニウム燃料取扱施設で作業を行った放射線業務従事者が着用した個人線量計の測定値から、ICRPの新勧告等が国内法令に導入された場合の被ばく線量を試算し、現行法令の下での線量値と比較した。その結果、中性子線と低エネルギーγ線の混在場であるプルトニウム燃料取扱施設においては、中性子線による集団線量当量は現状の約2倍、γ線による集団線量当量は現状の約0.6～0.8倍となり、両者を合算した場合には現状とほぼ同程度になることが分かった。

今後、本資料が法令改正にあたって円滑な対応を行うための検討資料となることを期待する。

---

1) 安全管理部 安全対策課

## 目次

第1章	緒言	1
第2章	線量評価法の変更点	2
2-1	ICRP1990年勧告の要点	2
2-2	ICRP-ICRU合同タスクグループの動向	4
2-3	TLDバッジによる線量評価法の変更点	9
第3章	線量当量試算結果	11
3-1	計算方法	11
3-2	計算結果	12
第4章	まとめ	21
参考文献		22
補遺	不均等被ばく時の実効線量評価のための部位別荷重係数の試算	23

## 第1章 緒言

ICRP（国際放射線防護委員会）は、これまでの基本勧告を改訂し、1990年にICRP Publication 60 [1]を勧告した。この新勧告では、線量限度の変更の他に、線量拘束値や放射線防護の概念等についても新しい考え方を示しているが、個人の被ばく線量の評価上、重要となるのは放射線荷重係数、組織荷重係数の導入及び線質係数の変更である。また、ICRPとICRU（国際放射線単位測定委員会）の合同タスクグループが実施しているOperational Quantityの体系化の整理が進み、新たに個人線量計の校正用線量という新概念が導入されつつある。

これらICRPの新勧告、あるいはICRP-ICRU合同タスクグループの報告が、国内法令に適用された場合、これまでのTLDバッジによる線量評価法及び評価した線量当量の値が大きく変わる可能性があるため、本研究では平成7年度に主にプルトニウム燃料取扱施設で作業を行った放射線業務従事者が着用した個人線量計の測定値から、ICRP 1990年勧告等が国内法令に導入された場合の被ばく線量を試算し、現行法令の下での線量当量値と比較した。

## 第2章 線量評価法の変更点

### 2-1 ICRP1990年勧告の要点

ICRP Publication 60の全般に関する詳しい内容は、平成4年度に設置されたワーキング・グループにより、詳細な解説書[2]がまとめられているので、ここでは従来の基本勧告との放射線防護に用いられる諸量に関する部分の相違点をまとめる。

放射線防護に用いられる諸量に関するICRP Publication 26[3]とICRP Publication 60の相違点は以下の3点に集約できる。

- (1) 放射線荷重係数の導入(変更)
- (2) 組織荷重係数の導入(変更)
- (3) 線質係数( $L_e$ と $Q$ の関係)の変更

このうち、(1)の放射線荷重係数と(3)の線質係数は、共に吸収線量に荷重する係数であり、線量当量(あるいはICRP Publication 60の等価線量)を導出するために用いられる。ただし、現時点では前者の放射線荷重係数は実効線量(組織・臓器の等価線量)を計算する場合に適用し、後者の線質係数は次節で述べるモニタリング量を計算する場合に適用するという使い分けがなされており、従って、(1)の放射線荷重係数の導入は、1cm線量当量等のモニタリング量の定量を目的とした個人被ばく管理業務や作業環境管理業務にはあまり影響せず、むしろ(3)の線質係数の変更に伴うモニタリング量の変化の方が、ICRPの新勧告の法令採り入れに向けた対応の準備をする上でより重要になる。また、(2)の組織荷重係数の導入は、現在、国内で実施されている'体幹部が不均等な被ばくを受ける形態'での個人モニタリングの方法及び線量評価手法に影響を与える。

以下、(1)から(3)について順番に説明する。

#### (1) 放射線荷重係数の導入

放射線荷重係数 $w_R$ は、放射線の線質の違いによる確率的影響の違いを考慮するために、吸収線量に荷重される係数であり、この係数によって荷重された組織・臓器の吸収線量は等価線量と呼ばれる。組織・臓器 $T$ の等価線量 $H_T$ は次式で与えられる。

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad \dots (2-1)$$

ここで、 $D_{T,R}$ は、組織・臓器 $T$ について平均された、放射線 $R$ に起因する吸収線量である。ICRP Publication 60で勧告された放射線荷重係数を表2-1に示す。比較のため、同表にICRP Publication 26で勧告された実効線質係数(の近似値)も示した。ICRP Publication 60では、特に中性子線に対する係数の値が大きく変更されている。

## (2) 組織荷重係数の導入

確率的影響の確率と等価線量の関係は、照射された組織・臓器に依存するため、異なった複数の組織・臓器への異なる等価線量を組み合わせて、全身に対するリスクを表す量が必要となる。このとき組織・臓器の等価線量に荷重される係数が、組織荷重係数 $w_T$ であり、これは全身が均等に照射された結果生じるリスクの総計に対するその臓器・組織の相対的寄与を表す。組織荷重係数を用いて荷重された等価線量は、実効線量 $E$ と呼ばれ、次式で与えられる。なお、実効線量 $E$ はICRP Publication 26では実効線量当量と呼ばれたが、荷重する係数の値と荷重の対象とする組織・臓器が異なるため、実効線量と実効線量当量は数値的に異なる。

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad \dots (2-2)$$

組織荷重係数 $w_T$ のICRP Publication 60での勧告値を表2-2に示す。比較のため、ICRP Publication 26で勧告された同様な意味を持つ荷重係数も同表に示す。新勧告では、「胃」、「肝臓」等の新たな組織・臓器が追加されるとともに、従来の勧告で明示されていなかった「残りの組織・臓器」の内訳が明示されている。

## (3) $L_e$ と $Q$ の関係の変更

ICRP Publication 60では、中エネルギー中性子に対する比較的高い生物学的効果比を考慮し、水中の限定されない線エネルギー付与 $L_e$ と線質係数 $Q$ の関係を修正した。表2-3及び図2-1に $L_e$ と $Q$ の関係について、ICRP Publication 26とICRP Publication 60の比較を示す。前述したように、 $L_e$ と $Q$ の関係はモニタリング量の計算にのみ現在使用されている\*

---

\*  $L_e$ と $Q$ の関係と放射線荷重係数の関係についてであるが、着目する点(領域)のLET分布で荷重した実効線質係数と放射線荷重係数の値の間には極端に大きな相違は無い。ただし、前者の実効線質係数がある体系内の着目する点の位置の関数であるのに対して、後者は体系外の放射線場にも関連づけられるという点で異なっている。従来の線質係数とは別に組織荷重係数を導入した理由として、ICRPはICRP Publication 60の付属書Aの中で「 $L_e$ と $Q$ の関係の詳しさと精密さは、放射線生物学の情報が不確かであるという理由により、正しいとはされず、 $Q$ あるいは実効線質係数 $\bar{Q}$ の代わりに、生物学的情報、いろいろな被ばく状況および周辺線量当量の慣例的計算の結果に基づき放射線荷重係数 $w_R$ を選んだ。」と述べているが[1]、吸収線量に荷重する、同様な意味を持つ2種類の係数を導入したことについては厳しい批判もある[4]。

## 2-2 ICRP-ICRU合同タスクグループの動向

ICRPとICRUの合同タスクグループは、実効線量当量の代用量であるモニタリング量 (Operational Quantity) の定義と、実効線量当量、フルエンスや空気カーマ等の放射線計測量及びOperational Quantityの3者の関係の体系化に関する検討を続けており、 $\beta$ 線及び $\gamma$ 線に関しては、ICRU Report 47 [5] で現時点での指針が提示された。ICRU Report 47に代表される近年の一連のICRUの報告の内容を簡単にまとめると、以下の様に要約できる。

- (1) 環境モニタリング用線量と個人モニタリング用線量の区別の明確化
- (2) 個人線量計の校正用として新たにICRU組織の平板ファントム中で定義した線量の導入と、個人線量計の校正の手順の具体化
- (3) これらモニタリング量と、実効線量当量、フルエンスや空気カーマの量的な関連性を示す換算係数セットの整備

(2)の個人線量計の校正用の線量当量 (適切な訳語が無い\*\*) の導入によって、その線量当量の値と個人線量計の測定量とを関連づける校正の際に使用されるファントムからの後方散乱線が個人線量計の応答に与える影響と、線量の定義との関連性が明解になった。中性子線に関する、ICRU Report 47に相当する報告は未だなされていないが、 $\beta/\gamma$ 線と同様にICRU組織の平板ファントム中で定義された線量当量を校正用として用いるというICRUの基本路線は継続されると考えられ、事実、現在、世界各国で中性子線に対するICRU組織の平板ファントム中の線量当量の計算がなされている。この計算では前述したようにICRP新勧告の $L$ と $Q$ の関係を利用している。

ここでは、個人線量計の校正用の線量当量を記号 $H_{SL}(d)$  ( $d$ は線量の定義される深さ、単位はmm) と表現することにする。

図2-2に $\gamma$ 線に対する照射線量-周辺線量当量 $H^*(10)$ 換算係数 [6] と、照射線量-個人線量計校正用線量当量 $H_{SL}(10)$ 換算係数 [7] の比較を示す。 $\gamma$ 線エネルギー数10~200keV領域での両換算係数の相違は、ICRU球とICRU組織の平板ファントムの形状の違いに起因する後方散乱線の違いによる。また、数100keV以上の高エネルギー $\gamma$ 線についてはほとんど変化がない。

図2-3に、ICRP Publication 26に基づく中性子線の線束-周辺線量当量 $H^*(10)$ 換算係数 [6]、ICRP新勧告に基づく中性子線の線束-周辺線量当量 $H^*(10;1990)$ 換算係数 [8]、ICRP新勧告に基づく中性子線の線束-個人線量計校正用線量当量 $H_{SL}(10)$ 換算係数 [8] の比較を示す。 $L$ と $Q$ の関係が変化したことによって、 $H^*(10;1990)$ の方が、 $H^*(10)$ よりも50%程度全エネルギー領域に亘って大きい。また、中性子線の場合は、 $\gamma$ 線の場合と異なり、線量を定義するためのファントムの形状の相違による換算係数の値の変化は小さく、 $H^*(10;1990)$ と $H_{SL}(10)$ とで大きく変わらない。



なお、個人線量計校正用線量 $H_{SL}(d)$ が国内法令に取り入れられた場合も、現在の1cm線量当量あるいは70 $\mu$ m線量当量の名称は継続される見通しである。

---

\*\* 適切な日本語訳が無いが、そもそも英語表現もはっきりしない。本報告では、Bartlettらの論文("Type testing and Calibration of Personal Dosimeters", Radiat. Prot. Dosim., 54, 3/4, 1994)にある"Personal Dose Equivalent for Calibration"が、ICRU組織の平板ファントム中で定義された線量当量の表現として意味的に最も的確と考え採用した。

ICRU組織の平板ファントム中で定義された線量当量は、最新のICRUの報告であるICRU Report 51(Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry)の中にも適切な表現が無い。ICRU Report 47に、ICRU組織の平板ファントム中で定義された線量当量が $H_p(d)$ であると読める記述もあるが、ICRU Report 51では「個人線量当量 $H_p(10)$  (Personal Dose equivalent)は、人体中の深さ $d$ で定義される線量当量」と明確に述べている。昨年、日本原子力研究所東海研究所で開催されたワークショップでも、一部、表現方法に混乱が見られた。

なお、個人線量計の校正用の線量当量は、厳密には個人線量計の評価の目標量ではない点に注意する必要がある。個人線量計の評価目標量はあくまでも個人線量当量(Personal Dose Equivalent)である。近年、ICRUは「ファントム上の個人線量計が、そのファントム中で定義される線量当量を測定するよう校正されているなら、人体に着用したとき個人線量当量を測定できる」という考え方を示しており(むろん、この考え方が個人線量計校正用線量当量の導入の背景にある)、これは、ある放射線場において1mSvと表示するようファントム上で校正された個人線量計を、同じ放射線場で実際に人が着用したとき評価される線量当量は必ずしも1mSvにはならないが、このときの線量当量評価値は個人線量当量に他ならないと解釈できる。

表2-1 放射線荷重係数 (ICRP Publication 26とPublication 60の比較)

ICRP Publication 26		ICRP Publication 60	
放射線の種類、 エネルギー範囲	実効線質係数	放射線の種類、 エネルギー範囲	放射線 荷重係数 <sup>W/R</sup>
X、 $\gamma$ 線及び電子	1	光子	1
		電子、 $\mu$ 粒子	1
エネルギー不明の中性子、 陽子	10	中性子 (~10keV)	5
		中性子 (10keV~100keV)	10
		中性子 (100keV~2MeV)	20
		中性子 (2MeV~20MeV)	10
		中性子 (20MeV~)	5
		反跳陽子以外の陽子、 エネルギーが2MeVを超える	5
エネルギー不明の $\alpha$ 粒子、 多重電荷の粒子	20	$\alpha$ 粒子、核分裂片、 重原子核	20

1) 実効線質係数の近似値

表2-2 組織荷重係数 (ICRP Publication 26とPublication 60の比較)

ICRP Publication 26		ICRP Publication 60	
組織・臓器	荷重係数 <sup>1)</sup>	組織・臓器	組織荷重係数
生殖線	0.25	生殖線	0.20
赤色骨髄	0.12	赤色骨髄	0.12
肺	0.12	結腸	0.12
		肺	0.12
		胃	0.12
乳房	0.15	膀胱	0.05
		乳房	0.05
甲状腺	0.03	食道	0.05
		甲状腺	0.05
骨表面	0.03	皮膚	0.01
		骨表面	0.01
残りの組織・臓器	0.30	残りの組織・臓器 <sup>2)</sup>	0.05

1) 全身が均等に照射されたとき、ある組織の照射による確率的影響のリスクの、リスク全体に対する割合を表す荷重係数

2) 計算の目的では、副腎、脳、大腸上部、小腸、腎臓、筋肉、脾臓、脾臓、脾臓、胸腺及び子宮からなる。

表2-3  $L_{\alpha}$ と $Q$ の関係

ICRP Publication 26		ICRP Publication 60	
水中の $L_{\alpha}$ [keV/ $\mu$ m]	$Q$	水中の $L_{\alpha}$ [keV/ $\mu$ m]	$Q$
3.5以下	1	< 10	1
7	2	10 - 100	$0.32L_{\alpha}^{-2.2}$
23	5	> 100	$300/\sqrt{L_{\alpha}}$
53	10		
175以上	20		

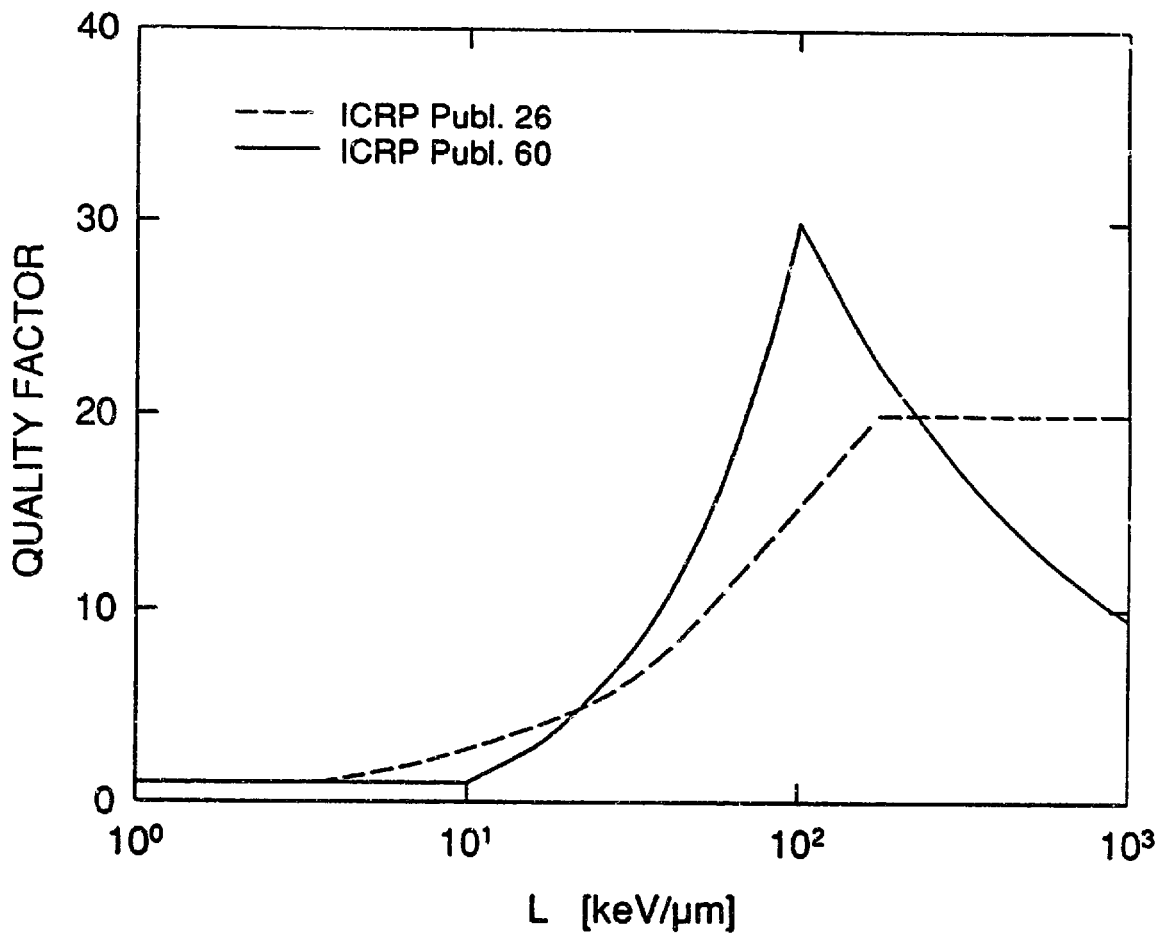


図2-1  $L_{\alpha}$ と $Q$ の関係 (ICRP Publ. 26とICRP Publ. 60の比較)

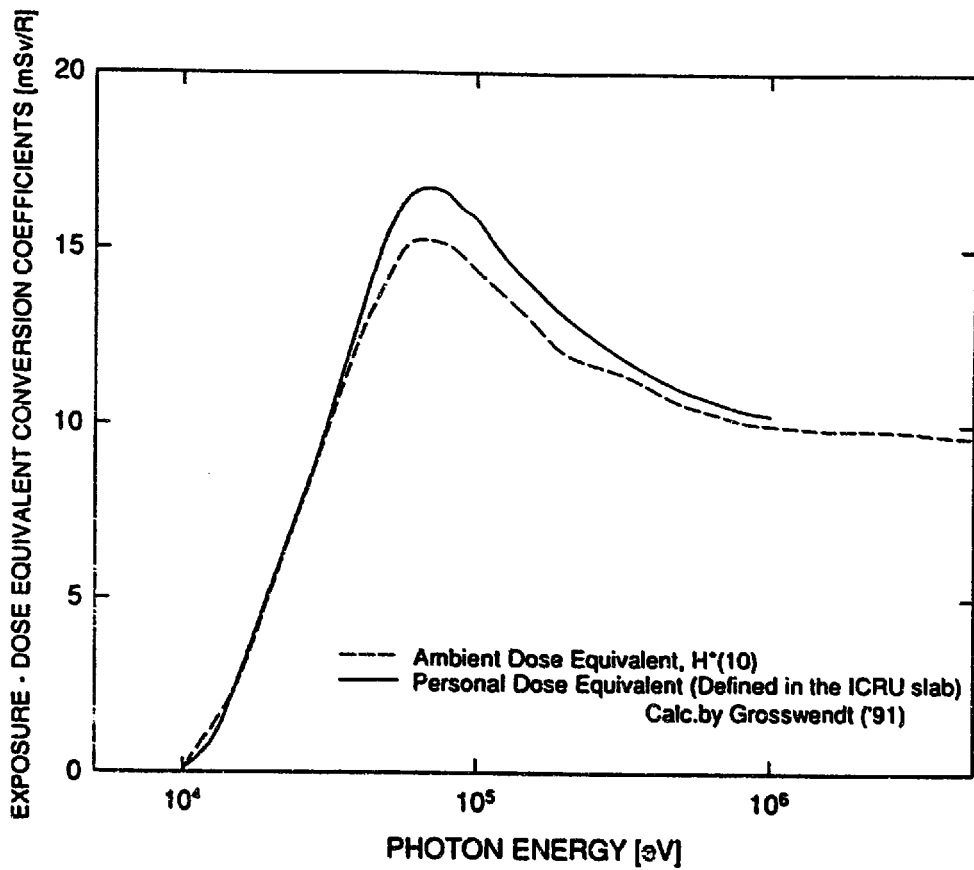


図 2-2  $\gamma$  線に対する照射線量—線量当量換算係数の比較

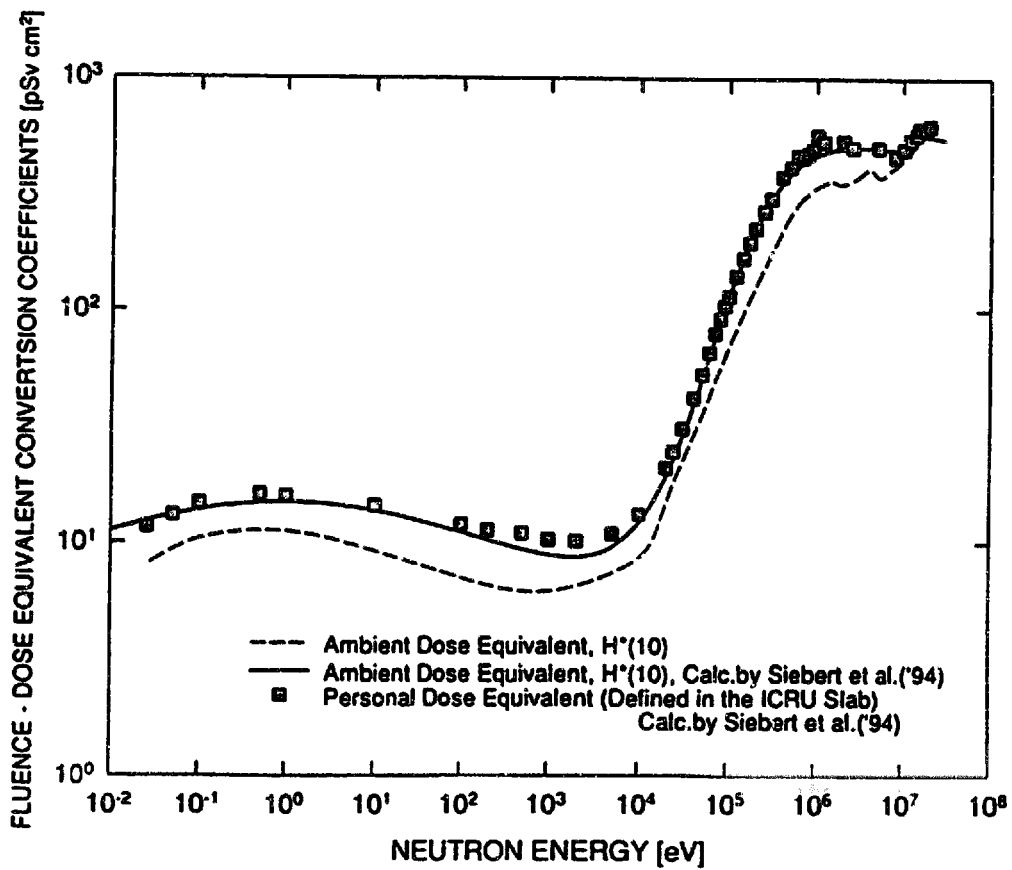


図 2-3 中性子線に対する線束—線量当量換算係数の比較

### 2-3 TLDバッジによる線量評価法の変更点

ICRP新勧告等が国内法令に取り入れられた場合、TLDバッジによる線量評価法がどのように変化するかをまとめた。

ただし、ここでは実効線量当量の代用量である1cm線量当量の評価に関する変更点についてのみまとめ、70 $\mu$ m線量当量の評価には触れない。これは、数keV~20keV程度の極めてエネルギーの低い $\gamma$ 線を除けば、1cm線量当量と70 $\mu$ m線量当量とに大きな相違がなく、また、そのような低エネルギー $\gamma$ 線による被ばくは東海事業所の放射線作業環境下では無視できるためである。

#### (1) $\gamma$ 線の線量評価

$\gamma$ 線の1cm線量当量は、TLDバッジの元素G4を用いて評価する。元素G4は生体組織とほぼ等価な素材であるホウ酸リチウムを用いているため組織吸収線量の測定に適しており、エネルギー依存性も小さい。しかし、厳密には低エネルギー $\gamma$ 線に対して10%程度の過小応答を示すため、線量当量を評価する際、補正を要する。TLDバッジによる $\gamma$ 線の1cm線量当量の評価式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = K_{\gamma}(E_{\gamma}) \cdot (G4 - BG) \quad \dots (2-3)$$

ここで、G4は元素G4の読取り値[mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]、BGはバックグラウンド線量[mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]、 $K_{\gamma}(E_{\gamma})$ は校正定数であり、現在は $^{137}\text{Cs}$ のような高エネルギー $\gamma$ 線の場合は10.0 [ $\mu\text{Sv/mR } ^{137}\text{Cs}$  eq.]、主に $^{241}\text{Am}$ のような低エネルギー $\gamma$ 線の場合は11.5 [ $\mu\text{Sv/mR } ^{137}\text{Cs}$  eq.]である[9]。

一方、図2-2からも明らかのように国内法令に採り入れが検討されているH<sub>SL</sub>(10)を1cm線量当量とする場合、H<sub>SL</sub>(10)は低エネルギー領域で照射線量-線量当量換算係数の値が現行よりも大きく、従って、それが導入された場合、低エネルギー $\gamma$ 線に対するTLDバッジの応答はより過小応答となるため、 $K_{\gamma}(E_{\gamma})$ を11.5から12.5 [ $\mu\text{Sv/mR } ^{137}\text{Cs}$  eq.]に変更する必要がある。

#### (2) 中性子線の線量評価

中性子線の線量当量は、元素N1~N4の合計4個のTLD素子より評価する。評価式を以下に示す。

$$H_m = K_m(E_n) \cdot \{N4 - N1 - 0.225 \cdot (N2 - N3)\} \quad \dots (2-4)$$

ここで、N1~N4は元素N1~N4の読取り値[mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]、 $K_m(E_n)$ は高速中性子線読取り線量 $\{N4 - N1 - 0.225 \cdot (N2 - N3)\}$ から線量当量への換算係数であり、現

在、東海事業所プルトニウム取扱施設では  $6.4 [\mu\text{Sv/mR } ^{137}\text{Cs eq.}]$  [9] を使用している。

図2-3の線束-線量当量換算係数とプルトニウム取扱施設の典型的な中性子エネルギー分布測定値より、ICRP新勧告のもとでの線量当量を計算し、現行のものと比較すると、ICRPの新勧告等が国内法令に適用された場合、個人モニタリング用、あるいは環境モニタリング用の線量当量ともに、現行の1cm線量当量の約1.4倍程度になるので[10]、TLDバッジによる中性子線量当量換算係数の値を現在の6.4から9.0程度  $[\mu\text{Sv/mR } ^{137}\text{Cs eq.}]$  に変更する必要がある。

### (3) 不均等被ばく時の $\gamma$ 線の線量評価

鉛エプロン等防護衣を着用することによって、防護衣に覆われた部分と覆われない部分の受ける被ばく線量に差異が生じ、体幹部が著しく不均等な被ばくを受ける場合、胸部と頸部に装着した2個のTLDバッジと次式により、「不均等被ばく時の実効線量当量」を評価する。

$$H_{\gamma, \text{eff}} = w_1 \cdot H_{\gamma, \text{neck}} + w_2 \cdot H_{\gamma, \text{chest}} \quad \dots (2-5)$$

ここで、 $H_{\gamma, \text{neck}}$ 、 $H_{\gamma, \text{chest}}$ はそれぞれ頸部、胸部の $\gamma$ 線1cm線量当量、 $w_1$ 、 $w_2$ はそれぞれ頸部と胸部（正確には頭頸部と胸腹部）の線量に荷重する係数である。現行法令の下では、係数 $w_1$ 、 $w_2$ はそれぞれ0.35、0.65であるが、ICRP新勧告の組織荷重係数を用いると、0.10、0.90程度になる[11]。係数の値の導出経緯については補遺を参照のこと。

### 第3章 線量当量試算結果

#### 3-1 計算方法

前章で述べたTLDバッジによる線量評価法の変更点より、ICRP新勧告の適用によって最も被ばく線量に変化するののは、低エネルギー $\gamma$ 線と中性子線の混在場で、さらに鉛エプロン等の防護衣を着用して放射線作業を行う施設である。

そこで、平成7年4月から平成8年3月までの期間に、プルトニウム燃料工場及び核燃料技術開発部に所属した者で、かつ被ばく管理期間が一カ月の者について、新勧告を適用した場合の年間の被ばく線量を個人別に計算し、現行の年間の被ばく線量と比較した。

計算には、ホストコンピューターのサブデータベースからダウンロードした平成7年度分の個人線量データを用い、それを基に前述した線量当量評価式（(2-3)～(2-5)）及び表3-1に示すTLDバッジの換算係数及び部位別荷重係数から、 $\gamma$ 線1cm線量当量、中性子線1cm線量当量、不均等被ばく時の実効線量当量を評価した。検出限界は、現行と同じであり、 $\gamma$ 線については0.1mSv、中性子線については0.2mSvである。

- ・対象者                               : プルトニウム燃料工場  
  核燃料技術開発部
- ・被ばく管理期間                   : 一カ月管理（ただし女性を除く）
- ・個人線量計                         : TLDバッジ、不均等被ばく管理用TLDバッジ

なお、本計算においては、特殊放射線作業の個人線量計による評価線量、あるいは個人線量計の紛失・破損時の推定線量は取り扱っていないため、部課室毎の集団線量当量、有意者数は国等への報告と異なる場合がある。また、不均等被ばく時の実効線量当量を計算する際、東海事業所では頸部/胸部の線量当量比が2倍以上の場合のみ(2-3)式を利用し、2倍以上に満たない場合は胸部の $\gamma$ 線1cm線量当量をもって実効線量当量としている。部位別荷重係数 $w_1/w_2$ に0.10/0.90を用いた場合も従来と同様に頸部/胸部の線量当量比が2倍以上の者のみ(2-5)式の計算の対象とした。

表3-1 TLDバッジの換算係数及び部位別荷重係数の変更点

	$K_f$ (60keV)	$K_{in}$	$w_1 / w_2$
現行法令対応	1.15	0.64	0.65 / 0.35
ICRP新勧告対応	1.25	0.90	0.90 / 0.10

## 3-2 計算結果

## (1) 集団線量当量の変化

プルトニウム燃料工場及び核燃料技術開発部に所属する作業者の年間の集団線量当量、年間の個人別の平均線量当量、年間の最大線量当量を、現行法令、ICRP新勧告適用時をそれぞれ表3-2(a)、表3-2(b)に示す。なお、参考までに表3-2(a)に、手部の $\gamma$ 線による線量当量の結果も示した。

表3-2(a) 現行法令での有意者数、集団線量当量、平均線量当量

	管理課	検査課	対策班	転換課	製造課	Pu開室	転換室
$\gamma$ 線1cm線量当量 (胸部)	23/52 a	9/9	33/43	30/35	174/246	15/42	66/75
	8.75 b	8.27	52.36	42.16	343.09	5.51	73.51
	0.17 c	0.92	1.22	1.20	1.39	0.13	0.98
	1.19 d	1.66	3.76	3.26	4.84	1.75	3.71
$\gamma$ 線1cm線量当量 (頸部)	30/51	8/8	35/43	25/26	166/190	39/40	68/75
	26.64	11.48	279.63	76.02	847.90	55.78	144.77
	0.52	1.44	6.50	2.92	4.46	1.39	1.93
	2.39	2.26	17.93	5.80	15.46	3.04	5.28
$\gamma$ 線実効線量当量	27/52	9/9	35/43	30/35	178/246	32/42	67/75
	12.20	8.81	135.19	50.10	506.54	17.63	91.49
	0.23	0.98	3.14	1.43	2.06	0.42	1.22
	1.34	1.66	8.37	3.53	8.23	1.75	3.71
中性子線 1cm(実効)線量当量	4/52	9/9	18/43	28/35	104/246	7/42	0/75
	0.95	3.92	13.70	46.37	133.99	1.74	0.00
	0.02	0.44	0.32	1.32	0.54	0.04	0.00
	0.31	0.85	1.95	4.17	3.85	0.45	0.00
$\gamma$ 線+中性子線 実効線量当量	27/52	9/9	35/43	30/35	178/246	33/42	67/75
	13.15	12.73	148.89	96.47	640.53	19.37	91.49
	0.25	1.41	3.46	2.76	2.60	0.46	1.22
	1.65	2.51	10.32	7.48	11.83	1.75	3.71
$\gamma$ 線組織線量当量 (手部)	33/51	9/9	35/43	30/35	163/205	41/42	68/75
	185.9	116.4	952.7	666.2	4534.6	294.6	597.0
	3.6	11.6	22.2	19.0	22.1	7.0	8.0
	13.5	19.1	64.9	61.6	100.0	24.9	31.2

a. 有意者数/管理対象者数

b. 集団線量当量 [人・mSv] (手部については本来、集団線量当量という概念はないが、実効線量当量と手部の線量当量の比較のためここでは示した。)

c. 平均値 [mSv] d. 最大値 [mSv]



表3-2 (b) ICRP新勧告の下での有意者数、集団線量当量、平均線量当量

	管理課	検査課	対策班	転換課	製造課	Pu開室	転換室
γ線1cm線量当量 (胸部)	24/52 a	9/9	34/43	30/35	176/246	18/42	66/75
	9.91 b	9.48	58.75	46.91	376.18	6.61	81.58
	0.19 c	1.05	1.37	1.34	1.53	0.16	1.09
	1.28 d	1.79	4.08	3.54	5.26	1.92	4.04
γ線1cm線量当量 (頸部)	30/51	8/8	35/43	25/26	168/190	38/40	68/75
	29.62	12.60	303.86	82.99	924.44	61.39	158.05
	0.58	1.58	7.07	3.19	4.87	1.53	2.11
	2.70	2.45	19.49	6.31	16.78	3.29	5.75
γ線実効線量当量	24/52	9/9	35/43	30/35	176/246	22/42	66/75
	10.76	9.68	85.46	49.20	428.17	7.95	87.40
	0.21	1.08	1.99	1.41	1.74	0.19	1.17
	1.29	1.79	5.47	3.63	6.21	1.92	4.04
中性子線 1cm(実効)線量当量	16/52	9/9	31/43	28/35	131/246	26/42	7/75
	6.51	11.26	39.02	78.13	248.66	10.82	1.78
	0.13	1.25	0.91	2.23	1.01	0.26	0.02
	0.90	2.10	3.41	6.35	5.69	0.92	0.43
γ線+中性子線 実効線量当量	26/52	9/9	35/43	30/35	177/246	31/42	66/75
	17.27	20.94	124.48	127.39	676.83	18.77	89.18
	0.33	2.33	2.89	3.64	2.75	0.45	1.19
	2.19	3.89	8.88	9.45	11.90	1.92	4.04

a. 有意者数/管理対象者数 b. 集団線量当量 [人・mSv] c. 平均値 [mSv] d. 最大値 [mSv]

現行法令とICRP新勧告適用の場合の相違点をまとめると、以下のようになった。

(1) 胸部、頸部のγ線1cm線量当量

胸部、頸部のγ線1cm線量当量は、ICRP新勧告の適用によって僅かに増加する。

(2) 不均等被ばく時の実効線量当量

不均等被ばく時の実効線量当量は、頸部/胸部の荷重係数が従来の0.35/0.65から0.10/0.90に変更されることによって、大きく減少し、特に工程内滞留低減対策班の場合は現行の約60%程度になる。この傾向は胸部と頸部の線量比が大きい部課室ほど顕著になり、比較的不均等被ばくの条件に該当する者の少ないプルトニウム燃料工場転換課の場合は、現行とICRP新勧告適用時とで大きな相違がない。

(3) 中性子線の1cm線量当量

中性子線の1cm線量当量は全体的に2倍弱程度となり、TLDバッジの換算係数が現行の6.4から9.0 [ $\mu\text{Sv}/\text{mR } ^{137}\text{Cs eq.}$ ]に変化する割合以上増加する。これは、従

来検出限界に満たない程度の線量、例えば0.15mSv程度、と評価されたものが、換算係数の変更によって有意値(0.2mSv以上)として記録される場合が多いためである。一カ月間に記録される線量当量が検出限界近傍程度であるプルトニウム燃料工場管理課や核燃料技術開発部に所属する作業者にこうした傾向が強い。

#### (4) $\gamma$ 線と中性子線の合計線量当量

$\gamma$ 線と中性子線の合計線量当量については、プルトニウム燃料工場製造課の場合は、 $\gamma$ 線による線量当量は減少するが、中性子線による線量当量が増加するため、両者の合計線量当量は従来とほぼ同程度である。

ただし、プルトニウム燃料工場転換課の場合は、 $\gamma$ 線は変化せず、中性子線の線量当量が増加するため、合計線量も増加する。また、工程内滞留低減対策班の場合は、中性子線の線量当量が増加するものの、それ以上に $\gamma$ 線の線量当量が減少するため、合計線量は下がることになる。

#### (5) $\gamma$ 線と中性子線の線量当量比

$\gamma$ 線と中性子線の線量当量比( $\gamma$ 線については不均等被ばくを考慮した線量当量)が大きく変化する。例えば、工程内滞留低減対策班の場合、現状で $\gamma$ 線/中性子線の線量当量比が約10程度であったものが、ICRP新勧告の適用によって約2倍になる。

## (2) 線量分布

現行法令とICRP新勧告適用の場合の線量当量分布を調べ比較した。

図3-1(a)~(e)に、プルトニウム燃料工場全体のそれぞれ胸部の $\gamma$ 線1cm線量当量、頸部の $\gamma$ 線1cm線量当量、 $\gamma$ 線による不均等被ばく時の実効線量当量、中性子線1cm線量当量及び $\gamma$ 線と中性子線の合計線量の分布を示す。また、参考までに手部の $\gamma$ 線組織線量当量の分布を図3-2に示す。

胸部及び頸部の $\gamma$ 線1cm線量当量の分布は、現行とICRP新勧告適用時で大きく変化しない。一方、 $\gamma$ 線による不均等被ばく時の実効線量当量及び中性子線1cm線量当量の分布は、ICRP新勧告適用時ではそれぞれ全体的に減少、増加している。 $\gamma$ 線と中性子線の両者を合計した線量当量では、現行とICRP新勧告適用時でほとんど変わらない。

核燃料技術開発部の胸部の $\gamma$ 線1cm線量当量、頸部の $\gamma$ 線1cm線量当量、 $\gamma$ 線による不均等被ばく時の実効線量当量、中性子線1cm線量当量及び $\gamma$ 線と中性子線の合計線量の分布を、それぞれ図3-3(a)~(e)に示す。現行とICRP新勧告適用時の線量分布の相違は、プルトニウム燃料工場の場合とほぼ同様であった。また、参考までに手部の $\gamma$ 線組織線量当量の分布を図3-4に示す。

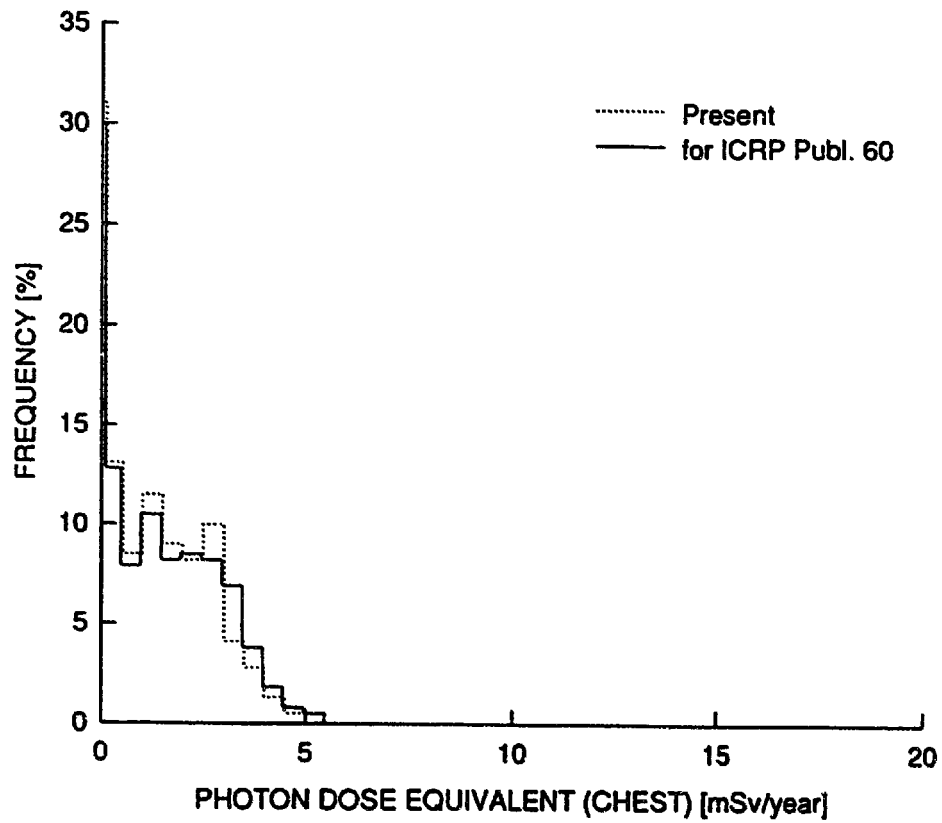


図 3-1 (a) 胸部の  $\gamma$  線 1 c m 線量当量の分布 (プルトニウム燃料工場)

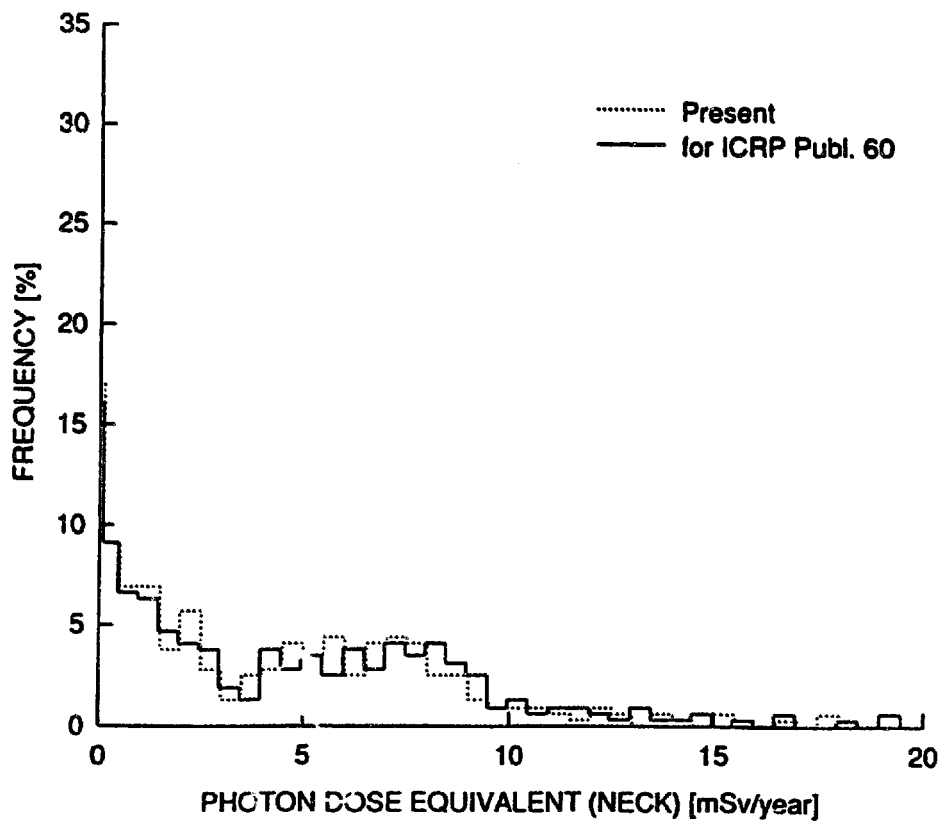


図 3-1 (b) 頸部部の  $\gamma$  線 1 c m 線量当量の分布 (プルトニウム燃料工場)

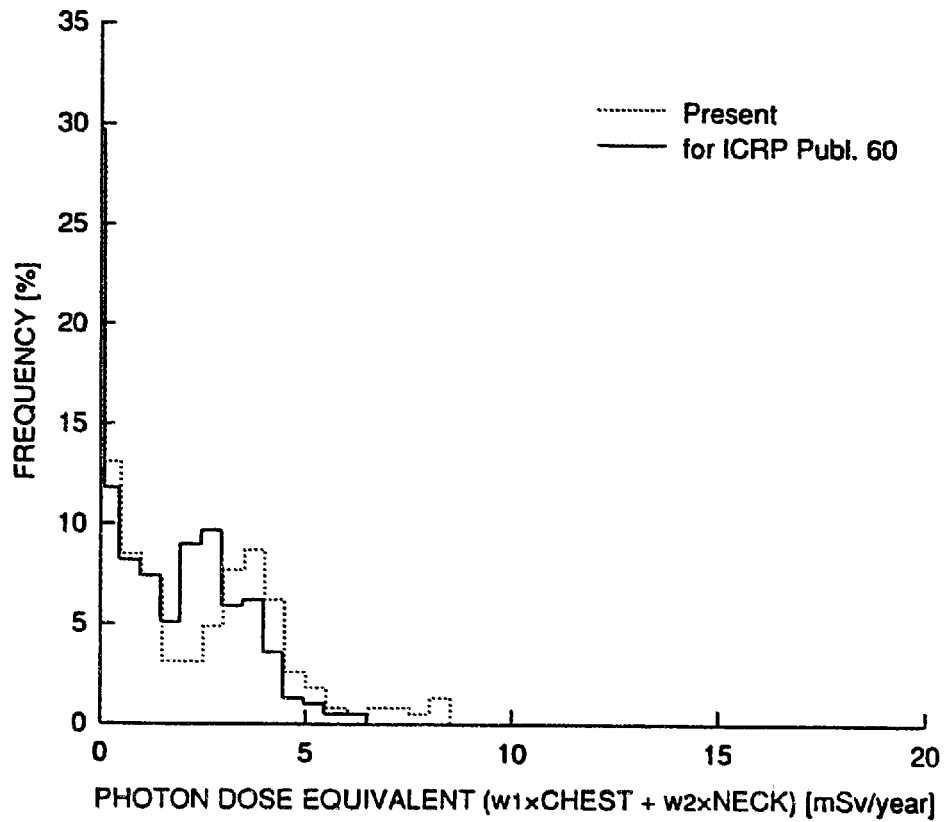


図 3-1 (c) 不均等被ばく時の  $\gamma$  線による実効線量当量の分布 (プルトニウム燃料工場)

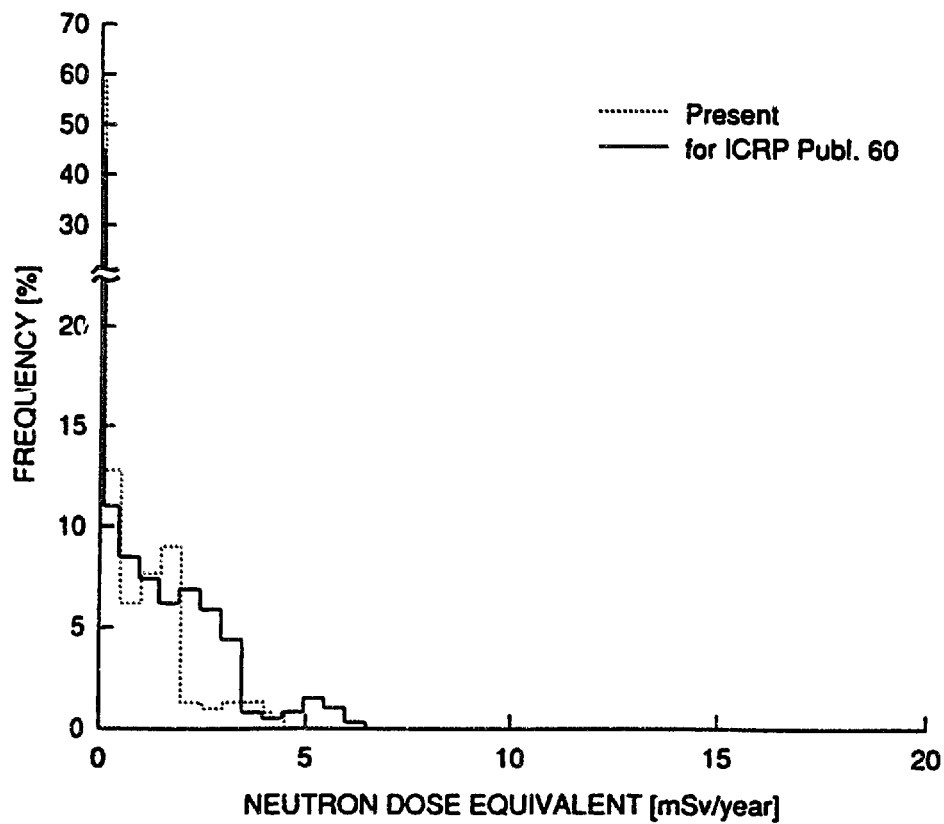


図 3-1 (d) 中性子線 1 c m 線量当量の分布 (プルトニウム燃料工場)

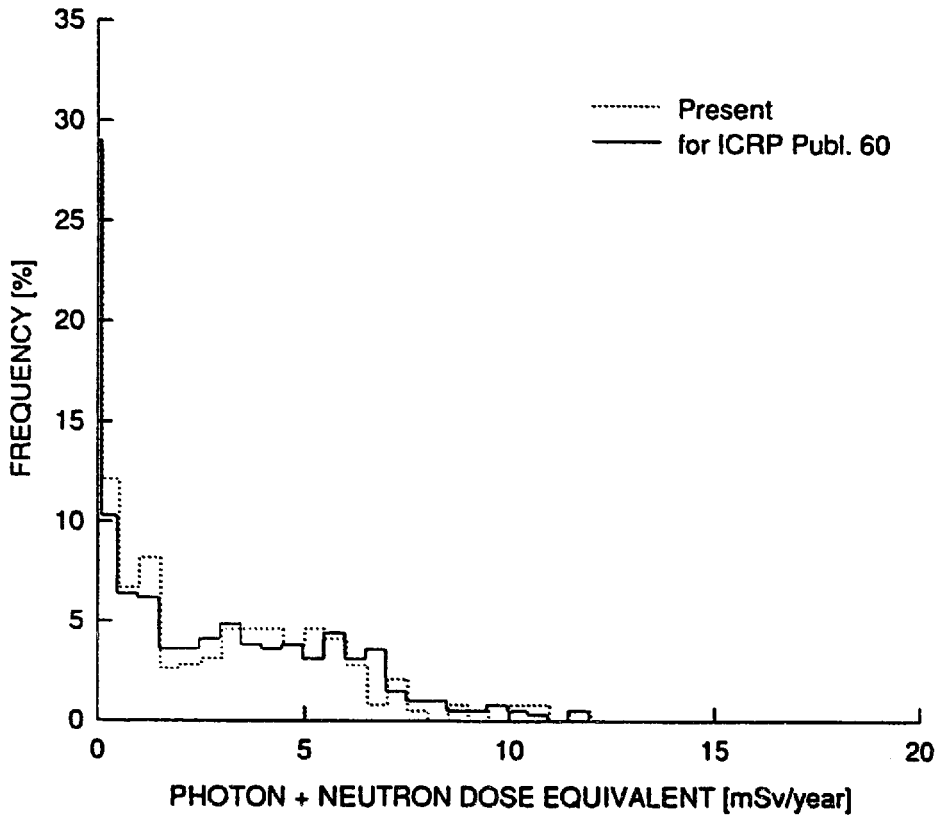


図 3-1 (e)  $\gamma$ 線と中性子線を合計した線量当量の分布 (プルトニウム燃料工場)

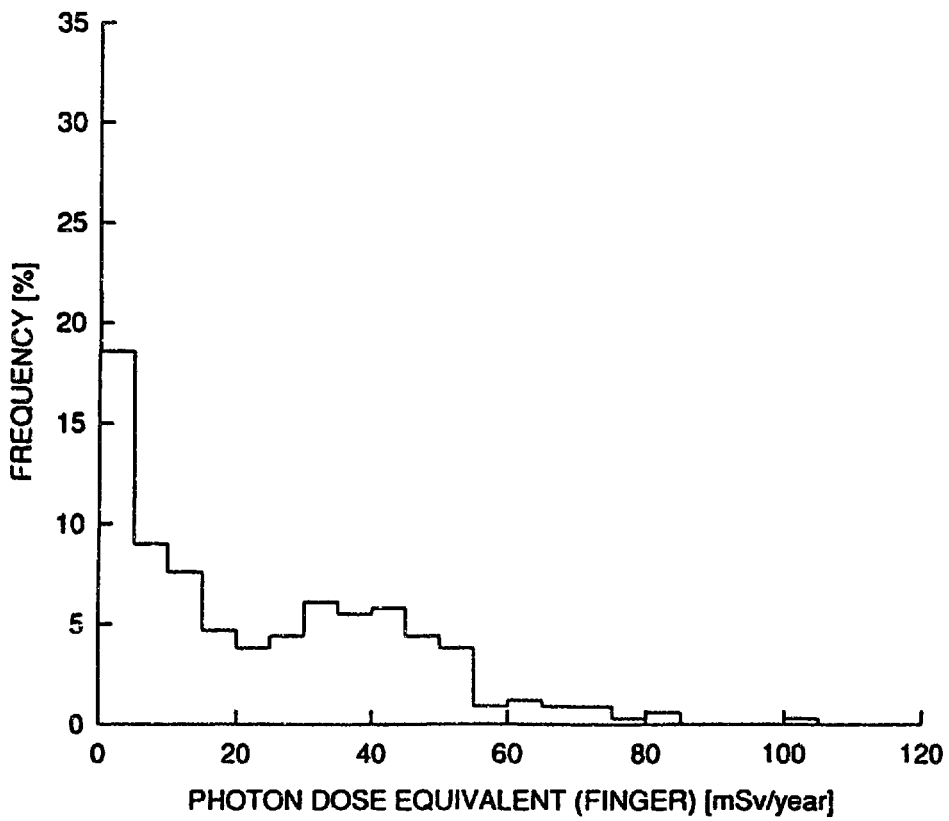


図 3-2 手部の  $\gamma$ 線組織線量当量の分布 (プルトニウム燃料工場)

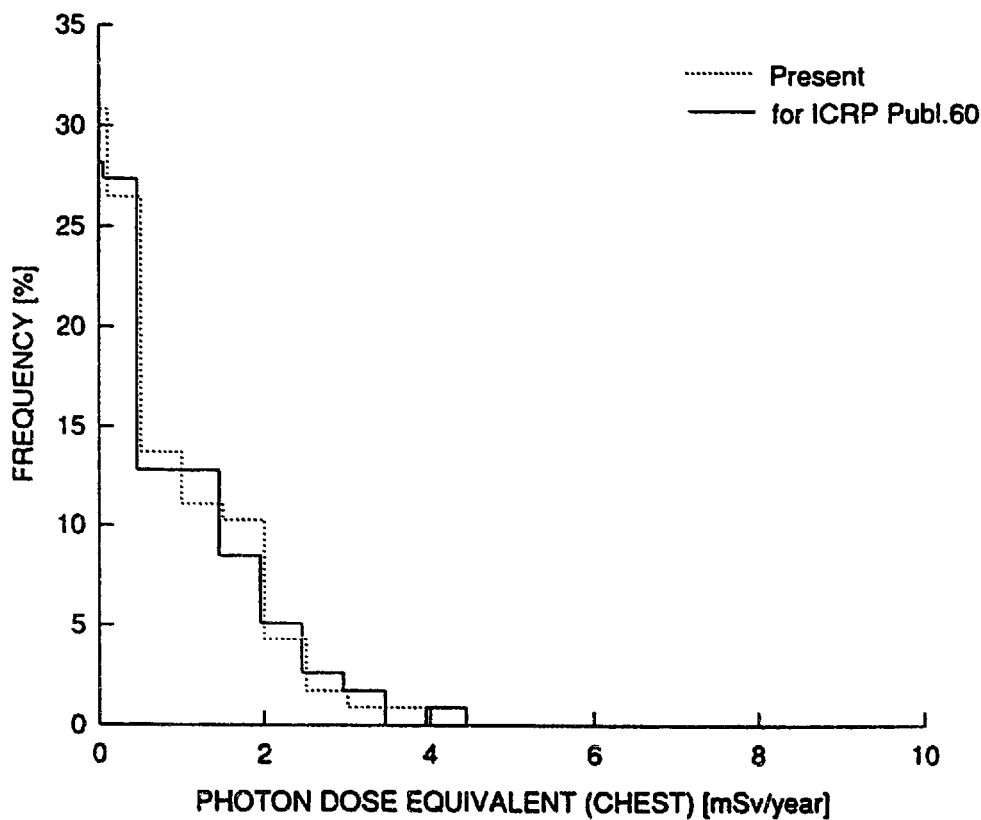


図 3-3 (a) 胸部の  $\gamma$  線 1 c m 線量当量の分布 (核燃料技術開発部)

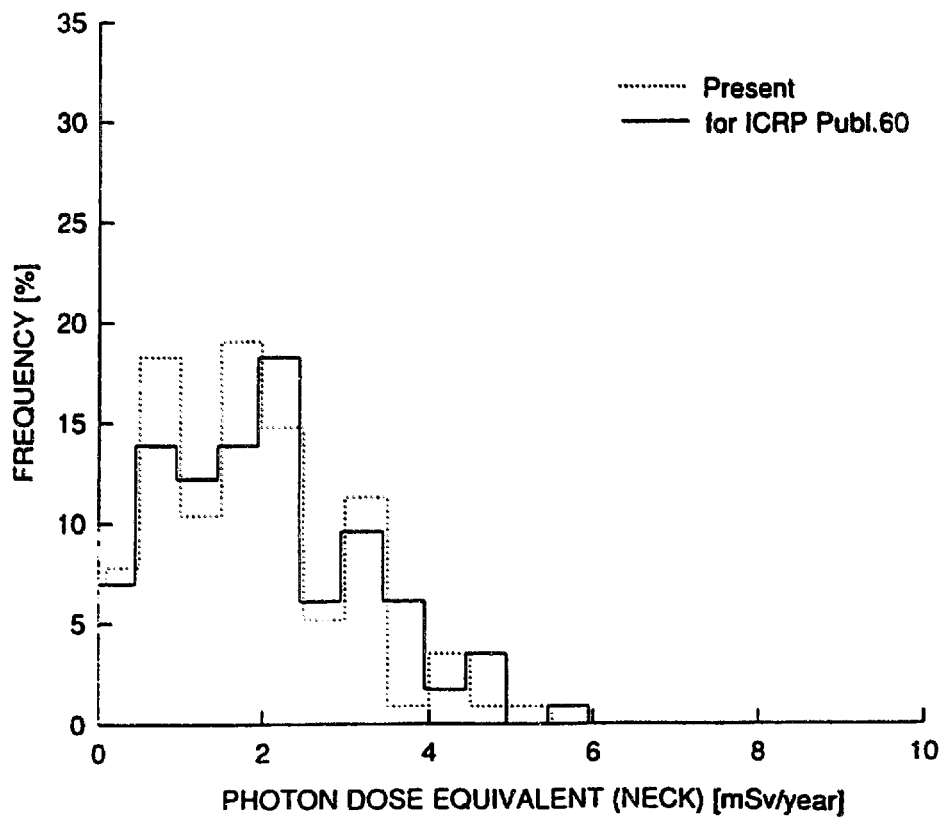


図 3-3 (b) 頸部部の  $\gamma$  線 1 c m 線量当量の分布 (核燃料技術開発部)

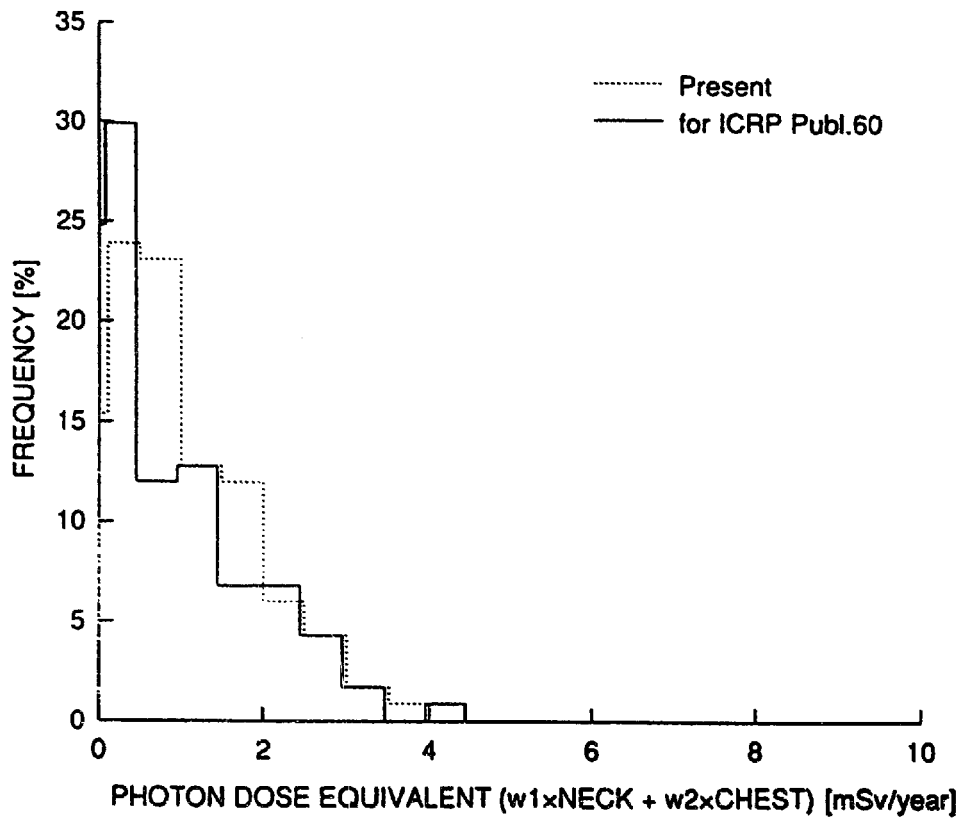


図 3-3 (c) 不均等被ばく時の  $\gamma$  線による実効線量当量の分布 (核燃料技術開発部)

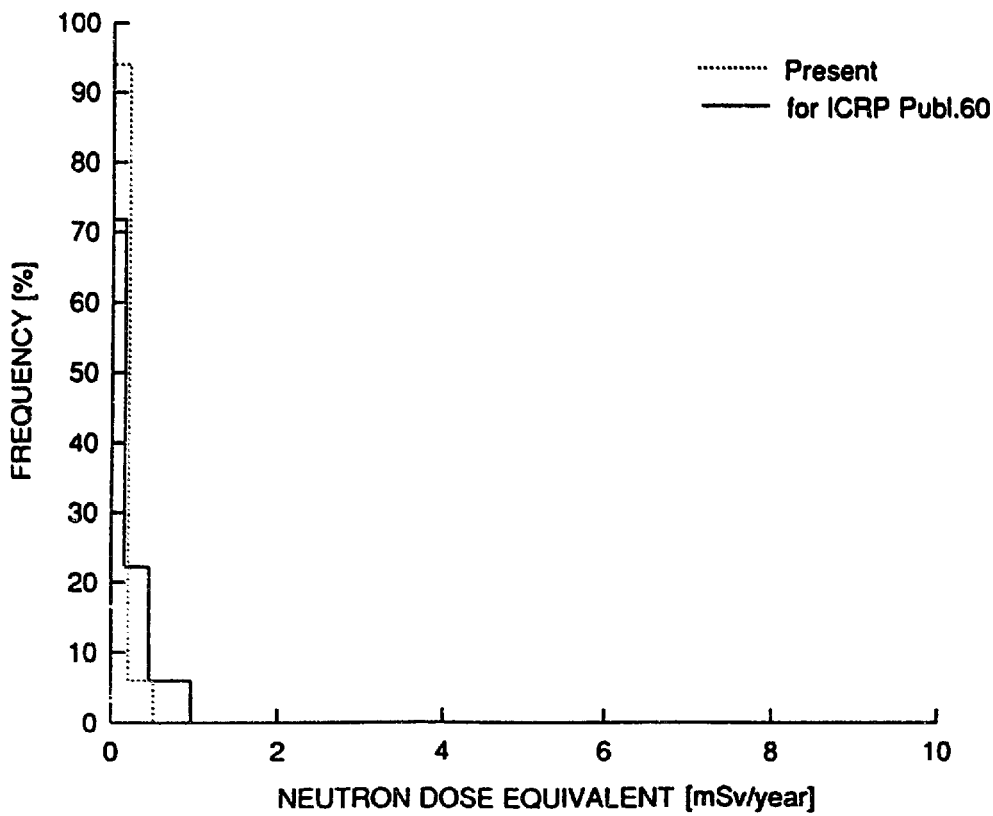


図 3-3 (d) 中性子線 1 c m 線量当量の分布 (核燃料技術開発部)

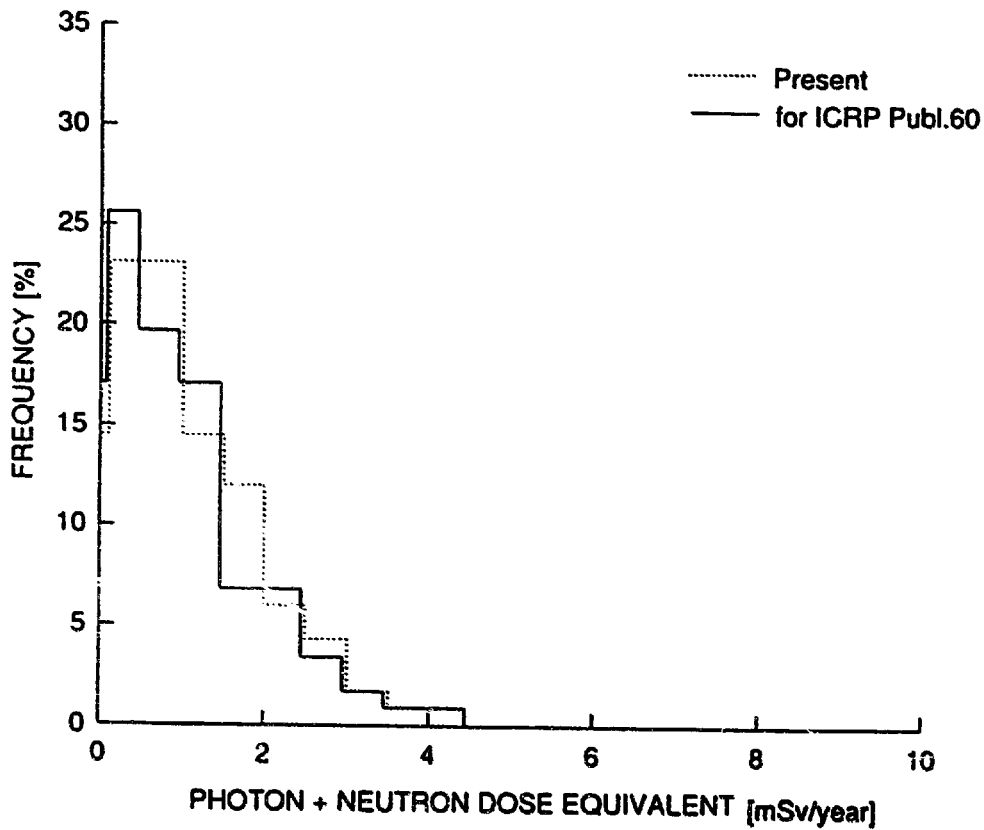


図 3-3 (e)  $\gamma$  線と中性子線を合計した線量当量の分布 (核燃料技術開発部)

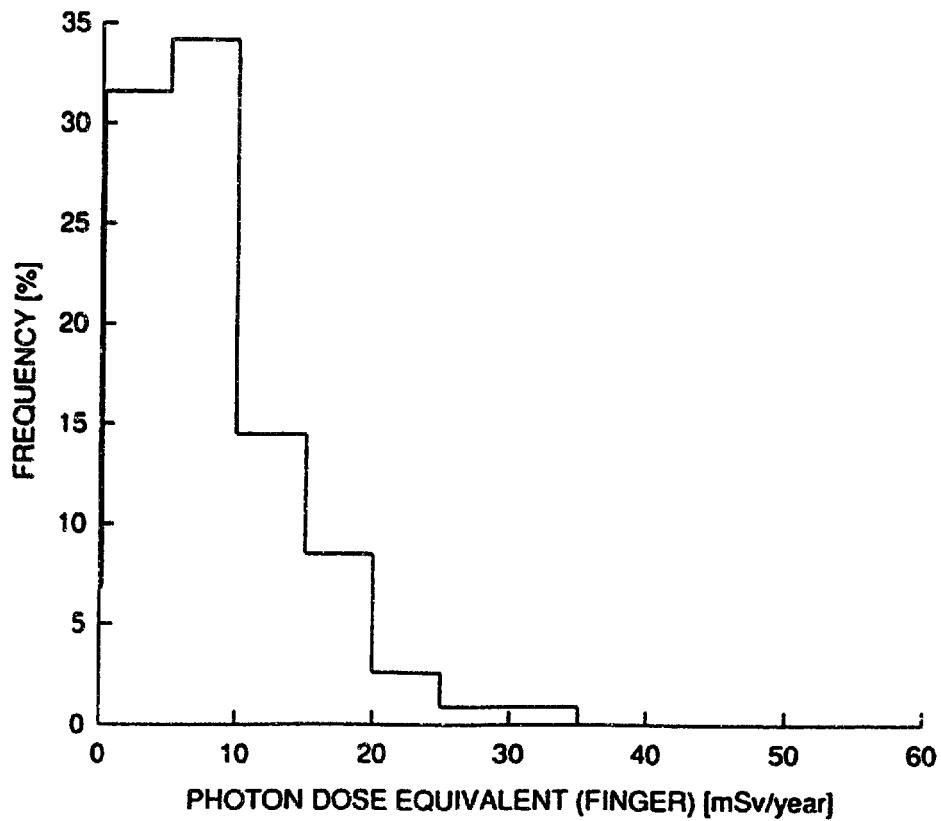


図 3-4 手部の  $\gamma$  線組織線量当量の分布 (核燃料技術開発部)



## 第4章 まとめ

ICRP新勧告適用時のTLDバッジ線量当量評価法の変更点をまとめるとともに、プルトリウム燃料取扱施設の放射線業務従事者の平成7年度の個人線量計の測定データよりICRP新勧告適用時の線量当量を試算し、現行の線量当量と比較した。

その結果、以下の事柄が判明した。

- (1)  $\gamma$ 線1cm線量当量は、現行とICRP新勧告適用時でほとんど変化しない。
- (2) 頸部に対する荷重係数が小さくなるため、不均等被ばく時の実効線量当量は現行よりも30%程度減少し、胸部の $\gamma$ 線1cm線量当量と大きく変わらない程度になる。
- (3) 中性子線1cm線量当量は現行の2倍弱程度に増加し、特にこれまで検出限界未満と記録されていた者が有意値として記録されるケースが増える。
- (4)  $\gamma$ 線と中性子線の合計線量当量は、プルトリウム取扱施設全体ではこれまでと大きく変わらない。
- (5)  $\gamma$ 線/中性子線の線量当量比が従来と大きく変化するため、直読式の $\gamma$ 線用の補助線量計を用いてTLDバッジによる線量評価値を推定する際、関連づけの係数の値の大幅な変更を要する。

ICRP新勧告等の適用によって、個人線量計校正用線量 $H_{SL}(10)$ を1cm線量当量として管理する体系が導入された場合、現在使用しているTLDバッジのエネルギー特性あるいはTLDの感度は現状よりも低下する方向に進むため、今後TLDバッジの改良等が望まれる。また、頸部の1cm線量当量の実効線量当量への寄与が従来よりも小さくなるため、不均等被ばく管理用のTLDバッジの着用基準等の見直しが今後必要になるだろう。さらに、被ばく線量のうち中性子線による被ばくの方が $\gamma$ 線による被ばくを上回る部署も生じるため、直読式の中性子個人線量計の開発あるいは導入を準備する等、被ばく管理の方法を検討していく必要がある。

## 参考文献

- [1] ICRP Publication 60, 1990
- [2] 「ICRP勧告検討会検討報告書 — ICRP1990年勧告の解説と課題 —」、  
PNC PN1410 93-025、1993
- [3] ICRP Publication 26, 1977
- [4] B. R. L. Siebert, "RADIATION QUANTITIES : THEIR INTER-RELATIONSHIP",  
Radiat. Prot. Dosim., 54, 3/4, 193-202, 1994
- [5] ICRU Report 47, "MEASUREMENT OF DOSE EQUIVALENTS FROM EXTERNAL PHOTON  
AND ELECTRON RADIATIONS", 1992
- [6] ICRP Publication 51, 1987
- [7] B. Grosswendt, "THE ANGULAR DEPENDENCE AND IRRADIATION GEOMETRY FACTOR  
FOR THE DOSE EQUIVALENT FOR PHOTONS IN SLAB PHANTOMS OF TISSUE-EQUIVALENT  
MATERIAL AND PMMA", Radiat. Prot. Dosim., 35, 4, 221-235, 1991
- [8] B. R. L. Siebert and H. Schuhmacher, "CALCULATED FLUENCE-TO-DIRECTIONAL AND  
PERSONAL DOSE EQUIVALENT CONVERSION COEFFICIENTS FOR NEUTRONS",  
Radiat. Prot. Dosim., 54, 3/4, 231-238, 1994
- [9] 「個人被ばく管理マニュアル（外部被ばく管理）」、PNC PN8520 94-001、1993
- [10] 辻村憲雄、有澤潤、百瀬琢麿、篠原邦彦  
「TLDバッジのn/γ分離性能と中性子線量当量評価値の誤差の定量に関する検討」  
（社内資料登録中）
- [11] 辻村憲雄、百瀬琢麿、篠原邦彦  
「鉛エプロンの着用に伴う体幹部不均等被ばくについて」、動燃技報No. 98、1996

## 補遺 不均等被ばく時の実効線量評価のための部位別荷重係数の試算

## (1) 現行法令での部位別荷重係数の導出経緯

鉛エプロン等の防護衣が、身体のある部分に入射する放射線を著しく減衰させるような条件下では、体幹部の各区分の受ける線量当量と、それら各区分の受ける線量当量が身体の全リスクに影響する割合とを考慮し、個人の線量当量を評価する必要がある。具体的には、頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部の3区分の1cm線量当量と表1に示した各部位に対する荷重係数を用い、次式より「不均等被ばく」時の実効線量を評価する[A1]。

$$HE = 0.05 \cdot Ha + 0.33 \cdot Hb + 0.32 \cdot Hc + 0.30 \cdot Hd \quad \dots (1)$$

HE: 不均等被ばく時の実効線量当量

Ha: 頭部または頸部に装着した個人線量計から得た1cm線量当量

Hb: 胸部に装着した個人線量計から得た1cm線量当量

Hc: 腹部に装着した個人線量計から得た1cm線量当量

Hd: 体幹部の中で最も多く放射線を受けるおそれのある区分に装着した個人線量計から得た1cm線量当量

このとき用いる部位別荷重係数の値は、本文表2-2に示した、ICRP Publication 26の臓器・組織の荷重係数を、上記の体幹部の3区分に、その臓器の重量比を基に振り分け決定している。表2に、部位別荷重係数の導出経緯[A2]を示す。

ただし、表2-2にある「残りの組」PNC TN8410 96-211 の内訳等を明示していなかったため、上記の体幹部の3区分のどれかにその荷重係数を特定して割り振ることをせず、(1)式にある「体幹部の中で最も多く放射線を受けるおそれのある区分」の1cm線量当量に、「残りの組織」の荷重係数0.30をそのまま部位別荷重係数として適用している。従って、鉛エプロン等の防護衣によって胸腹部が覆われるような場合には、最も線量の高くなる頭頸部が、「体幹部の中で最も多く放射線を受けるおそれのある区分」に相当することになる。

東海事業所の主にプルトニウム燃料取扱施設での被ばく形態、特にグローブボックス作業の場合、胸部と腹部とで線量が大きく違わないこと、頭頸部が最大の線量を受けることから、胸部と頸部並びに頭頸部と最大の線量を受ける部位とをそれぞれ一つの項とし、さらに鉛エプロン内側胸部と外側頸部に装着した2個の個人線量計から、次式を用いて「不均等被ばく」時の実効線量当量を評価している。(2)式は、医療系の放射線業務従事者も含め、国内で一般に利用されている。

$$HE = 0.35 \cdot H(\text{頸}) + 0.65 \cdot H(\text{胸}) \quad \dots (2)$$

## (2) ICRP新勧告適用時の部位別荷重係数の試算

ICRP新勧告で導入した組織荷重係数の法令採り入れに伴い、現在、不均等被ばく時の実効線量当量の評価に使用している部位別荷重係数は大きく変化することが予想される。ICRP新勧告では、本文の表2-2に示したように、確率的影響を考慮すべき12種類の組織・臓器及び残りの組織（内訳として10種類の臓器・組織を挙げている）とそれらの組織荷重係数を示している。ここではそれを基にICRP新勧告適用時の部位別荷重係数を計算した。

部位別荷重係数を試算するに当たっての前提条件を次に示す。

- (1) 「食道」は第六頸椎の位置で咽頭に続いており、その長さは約25cmであるので[A3]、そのほとんど全てが「胸部」に含まれる。
- (2) 「赤色骨髄」は、重量比を基に各区分に割り振るがその際の重量比は、従来通り（表2の通り）とする。
- (3) 「骨表面」は「赤色骨髄」と同様に従来通り。
- (4) 「皮膚」は、組織荷重係数が0.01と小さいため、どの区分にどれだけの割合で分配するかは、部位別荷重係数の算出にほとんど影響しない。そこで、「骨表面」と同様に一律の割合で各部位に割り振る。
- (5) 「残りの組織」のうち「脳」に係数0.025を、それ以外の臓器に係数0.025を均等に割り振る<sup>\*</sup>。
- (6) 「残りの組織」のうち「筋肉」については、割り当てられる荷重係数が0.003 (=0.025/9)と極めて小さい。そこで「皮膚」と同様に一律の割合で各部位に割り振る。

以上の前提条件の基に、計算した部位別荷重係数の結果を表3に示す。計算の結果、頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部の部位別荷重係数の値は、それぞれ0.091、0.279、0.630となった。胸部及び上腕部と腹部及び大腿部を一つの項とすると、(2)式で用いる荷重係数として頭頸部、胸腹部に対してそれぞれ0.091、0.909が得られるが、線量当量の計算する際の簡便さを考慮すると、前者を0.10、後者を0.90とするのが適当と考えられる。従って、ICRP新勧告適用時の実効線量Eは次式から計算される。

$$E = 0.10 \cdot H(\text{頸}) + 0.90 \cdot H(\text{胸}) \quad \dots (3)$$

---

\* 「残りの組織・臓器の一つが、組織荷重係数が定められた12の臓器・組織のどれよりも高い等価線量を受けるような例外的な場合には、その組織・臓器に荷重係数0.025を適用し、それ以外に荷重係数0.025を当てはめる。」（ICRP Publication 60より）

## 補遺の参考文献

- [A1] 浜田達二、「日常の管理における線量当量の評価」、個人被ばく管理における実効線量当量評価に関する短期研究報告、KURRI-TR-283、1985
- [A2] 「外部被ばくにおける線量当量の測定・評価マニュアル」、原子力安全技術センター、1988
- [A3] 一条尚、「臨床検査講座9 解剖・組織学」、医歯薬出版株式会社

表1 不均等被ばく時の実効線量当量の評価に用いる部位別荷重係数（現行法令）

体幹部の区分	頭頸部	胸部及び上腕部	腹部及び大腿部	最大の線量を受ける部位
部位別荷重係数	0.05	0.33	0.32	0.30

表2 現行法令の部位別荷重係数の内訳

	生殖腺	乳房	赤色骨髄	肺	甲状腺	骨表面	残りの組織	部位別小計	部位別荷重係数
全身	0.25*	0.15*	0.12*	0.12*	0.03*	0.03*	0.30*	-	-
頭頸部			0.012		0.03	0.006	-	0.05	0.05
胸部		0.15	0.042	0.12		0.006	-	0.32	0.33
上腕部			0.006			0.006	-	0.01	
上腹部			0.012				-	0.01	
下腹部	0.25		0.036			0.006	-	0.29	0.32
大腿部			0.012			0.006	-	0.02	
最大の線量を受ける部位	-	-	-	-	-	-	0.30	0.30	0.30

\*全身が均等に照射されたとき、ある組織・臓器の確率的影響のリスクの、リスク全体に対する割合 (ICRP Publication 26より)

表3 ICRP新勧告に基づく部位別荷重係数の試算結果

部位	生殖線	赤色骨髓	結腸	肺	胃	膀胱	乳房	肝臓	食道	甲状腺	皮膚	骨表面	小計(A)
頭頸部	0.20	0.12	0.12	0.12	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.95
胸部		0.012								0.05	0.002	0.002	0.066
上腕部		0.042		0.12			0.05		0.05		0.002	0.002	0.266
上腹部		0.006									0.002	0.002	0.010
下腹部	0.20	0.012			0.12			0.05			0.002		0.134
大腿部		0.036	0.12			0.05					0.002	0.002	0.460
		0.012									0.002	0.002	0.016

表3 (続き)

部位	残りの組織										小計(B)	小計(C)	
	副腎	脳	大腸下部	小腸	腎臓	筋肉	脾臓	胸腺	子宮				
頭頸部	0.003	0.025	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003		1.00	
胸部		0.025				0.0005						0.091	0.091
上腕部						0.0005		0.003				0.269	0.279
上腹部	0.003				0.0005						0.010		
下腹部			0.003	0.003	0.003	0.0005	0.003			0.003		0.145	
大腿部					0.0005	0.0005			0.003	0.003		0.468	0.630
					0.0005	0.0005					0.016	0.016	0.016