



鉛エプロンの着用に伴う体幹部不均等被ばくについて

辻村憲雄 百瀬琢磨 篠原邦彦

東海事業所安全管理部

資料番号：98-3

Comparison Between the Chest Dose and the Neck Dose of Workers with Protective Aprons at PNC Plutonium Fuel Fabrication Facilities

Norio Tsujimura Takumaro Momose Kunihiko Shinohara
(Health And Safety Division, Tokai Works)

動燃事業団東海事業所プルトニウム燃料取扱施設でグローブボックス作業等に従事する作業者が、鉛エプロン内側胸部と外側頸部に着用した個人線量計から求めたそれぞれの部位の受ける線量の関係を調べた。

その結果、胸部の1 cm 線量当量に対する頸部の1 cm 線量当量、実効線量当量の比は、それぞれ約3-4、約2倍であった。また、ICRPの1990年勧告で変更された組織荷重係数を用いて、新勧告の下での実効線量当量を試算し、不均等被ばくによる作業者の実効線量当量は、新勧告の適用によって減少することが分かった。

1. はじめに

動燃事業団東海事業所のプルトニウム燃料取扱施設では、プルトニウム241の娘核種であるアメリカシウム241が放出する γ 線(主に59.5keV)による被ばくの低減対策の一環として、放射線業務従事者は防護衣(鉛エプロン)を着用している。そのため、鉛エプロンに覆われた部分とその外側(主に頸部)の受ける線量に差異が生じ、体幹部が不均等な被ばくを受ける可能性があるため、作業者は鉛エプロンの内側胸部に1個、外側頸部(作業者の襟部)に1個の合計2個の線量計を着用し、個人の被ばく管理を行っている。

本報告では、東海事業所プルトニウム燃料取扱施設の放射線業務従事者が胸部と頸部に受けた線量当量の関係を調べた。また、ICRP Publication60(以下、Publ.60のように記す)で勧告された組織荷重係数を用いて新勧告の下での実効線量当量を計算し、ICRP Publ.60が法令に採り入れられた場合の個人被ばく線量の変化を試算した。なお、ICRP Publ.60では従来の実効線量当量を実効線量と名称を改めているが、ここでは従来の表現のままとする。

2. 不均等被ばく時の線量当量の評価

「不均等被ばく」とは、「胸部(女子の場合は腹部)に装着した個人線量計だけでは、実効線量当量と比較して十分に安全側の線量評価のできない被ばく形態」と言える。ICRP Publ.35¹⁾では、個人線量計の着用部位に関する勧告として「鉛エプロンのような防護衣が、身体のある部分に入射する放射線を大きく減衰させる特殊な状況においては、2個以上の線量計が必要になるかもしれない。」と述べており、またICRP Publ.33²⁾でも同様な記述があるが、これらの勧告では具体的な線量評価法については言及していない。

一方、国内ではICRPの1977勧告³⁾を受けて「放射性同位元素等による放射線障害の防止法令」等の法令が改訂され、平成元年度より施行された。この法令では、体幹部を頭頸部、胸部および上腕部、腹部および大腿部に三区分したとき、それぞれの区分の受ける線量当量に差異があると特定できる場合には「体幹部不均等被ばく」の条件に該当し、各区分の受ける1 cm 線量当量の重み平均から実効線量当量を評価することを定めている。このとき用いる部位別の荷重係数を表1に、その

表1 部位別荷重係数

体幹部の区分	頭部および頸部	胸部および上腕部	腰部および大腿部	残りの組織
部位別荷重係数	0.05	0.33	0.32	0.30

表2 部位別荷重係数の内訳^{a)}

	生殖腺	乳房	赤色骨髓	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		0.25	0.32
大腿部			0.012			0.006		0.02	

*全身が均等に照射されたとき、ある組織・臓器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 (ICRP Publ.26による)

係数の導出過程を表2に示す。これらの部位別荷重係数は、ICRP Publ.26で勧告された「生殖腺」、「乳房」、「赤色骨髓」、「肺」、「甲状腺」、「骨表面」および「残りの組織」の放射線の照射による確率的影響のリスクを、その臓器の重量比を基に上述した体幹部の三区分に割り振って決定している⁹⁾。

現在行われている不均等被ばく時の線量当量の基本的な評価方法は次式のとおりである⁹⁾。

$$H_E = 0.05 \cdot H_a + 0.33 \cdot H_b + 0.32 \cdot H_c + 0.30 \cdot H_m \quad \dots (1)$$

H_E : 体幹部不均等被ばく時の実効線量当量

H_a : 頭部または頭部に装着した個人線量計から得た1 cm 線量当量

H_b : 胸部に装着した個人線量計から得た1 cm 線量当量

H_c : 腹部に装着した個人線量計から得た1 cm 線量当量

H_m : 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1 cm 線量当量

(1)式では、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1 cm 線量当量に、表1の「残りの組織」に対する係数0.30を割り振っている。これはICRP Publ. 26⁹⁾では詳しい内訳が明示されていない「残りの組織」を、とりあえず最大の線量を受ける部位に割り振ることによって、安全側に実効線量当量を評価するためである。

東海事業所の作業環境の場合、こうした体幹部

が不均等な被ばくを受ける可能性があるのは、ウラン-プルトニウム混合酸化物（以下、「MOX」という）燃料取扱作業に伴い比較的エネルギーの低いγ線を被ばくし、かつ頭頸部を除く体幹部を鉛エプロン等の防護衣で覆った場合に限定して良い。図1にグローブボックスでの標準的な作業形態を示すが、両腕をボックス内に挿入するポート部から漏洩する主にアメリカシウム241のγ線によって、防護衣に覆われていない頭頸部が胸部に比べて高い線量を受ける。図1のような作業形態の場合、身体各部位の受ける線量当量の値は、頭

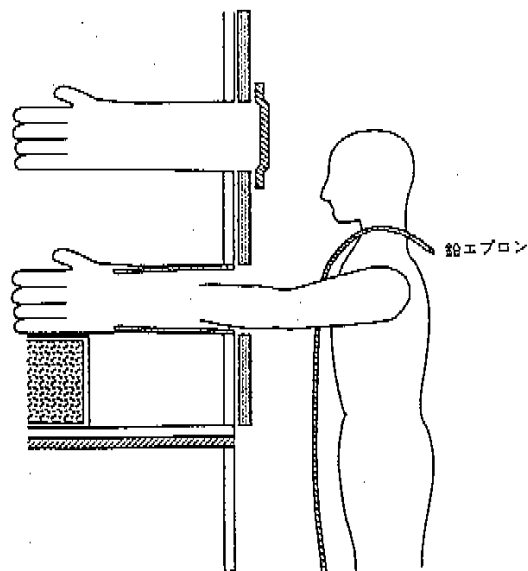


図1 グローブボックス作業形態

頭部>胸部>腹部の関係になることが、人体形状ファントムを用いた実験およびグローブボックス近傍のγ線線量率分布のシミュレーション計算⁹⁾より判明しているため、東海事業所では(1)式の胸部と腹部、頭頸部と体幹部のうち最大の被ばくを受ける部位とをそれぞれ一つの項として、胸部と頭部に装着した2個の個人線量計を用い、

$$H_E = (0.33 + 0.32) \times H(\text{胸}) + (0.05 + 0.30) \times H(\text{頸}) \\ = 0.65 \times H(\text{胸}) + 0.35 \times H(\text{頸}) \quad \dots (2)$$

H(胸)：胸部に装着した個人線量計から得た
1 cm 線量当量

H(頸)：頸部に装着した個人線量計から得た
1 cm 線量当量

より個人の不均等被ばく時の実効線量当量を評価している。防護衣の上下に装着した2個の線量計と(2)式を用いた実効線量当量の評価方法は、医療系の放射線業務従事者の個人モニタリングも含めて国内で一般に適用されている方法である。

なお、こうした複数個の個人線量計を用いて、不均等被ばく時の線量を評価するという方法については、国外でも幾つかの提案があり、例えば、Faulkner ら⁷⁾は人体形状ファントムを用いた実験から、X線技師らの被ばく防護を目的として頭頸部と胸部の係数として0.6および0.4を用いることを提案している。また、Matheny ら⁸⁾は頭頸部に係数0.06を割り振ることを提案している。ICRP Rubl.26ではその内訳が明示されていなかった「残りの組織」を身体の中の臓器に割り振るかによって、頭頸部に対する係数の値は様々であり、国際的に合意の得られた方法は現在まだ無い。

3. 東海事業所における不均等被ばくの現状

3.1 不均等被ばく管理対象者数

現在、東海事業所のMOX燃料製造工程および一部の研究開発部門等でグローブボックスでプルトニウム燃料を取り扱う作業者の全員が不均等被ばく管理用の個人線量計を着用しており、その数は一ヵ月間の被ばく管理期間の者で約400名、三ヵ月間の被ばく管理期間の者で約50名であり、年間ではのべ5000名程度である。

3.2 個人線量計

放射線業務従事者の個人被ばく線量当量の評価には、動燃事業団の公式個人線量計であるTLDバッジ⁹⁾を使用している。TLDバッジは、実効原

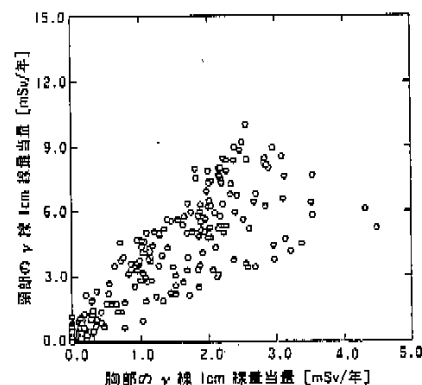


図2 胸部と頸部のγ線1cm線量当量の比較

子番号が生体組織とほぼ同等であるホウ酸リチウムを線量評価用TLDとして用い、さらにその前面に厚さ1000mg/cm²の樹脂フィルターを配置しているため、γ線による1cm線量当量を精度良く評価することが可能である。通常、作業者は鉛エプロン内側の胸部と外側頸部にTLDバッジを着用する。検出限界は0.1mSvである。

3.3 胸部と頸部の線量当量の関係

平成6年4月から平成7年3月の期間にプルトニウム燃料工場のMOX燃料製造工程で放射線作業を行った作業者が実際に着用した個人線量計から胸部と頸部のγ線の1cm線量当量を評価し、それらの関係を調べた。解析に用いたデータ総数はのべ2106名分、このうち年間を通じてほぼ定常的にγ線による被ばく線量が有意値として記録された者は合計220名である。

図2に、個人別に一年間にわたって積分した胸部と頸部の線量の関係を示す。胸部と頸部の差が鉛エプロン等による低エネルギーγ線被ばく防護効果に相当し、頸部の線量当量を防護衣を着用しない場合の線量と考えれば、鉛エプロンの着用によって胸部の線量当量は1/3～1/4程度に低減することが分かる。

また、作業工程によって頸部と胸部の線量比が若干変化することが判明しているが¹⁰⁾、頸部に対する胸部の1cm線量当量の比が3～4倍程度の者が全体の約半数を占め、比較的高い線量側では4倍を超える者はほとんどいない。

3.4 胸部の線量当量と実効線量当量の関係

図3に、個人別に一年間にわたって積分した場合の胸部の1cm線量当量と体幹部不均等被ばく

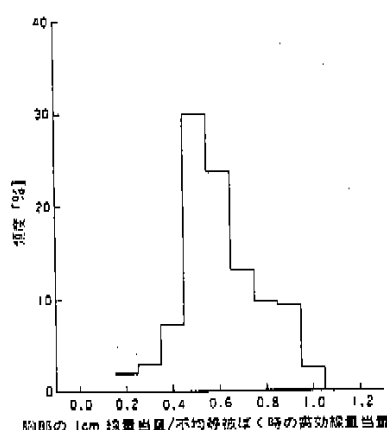


図3 不均等被ばく時の実効線量当量に対する胸部の1cm線量当量の比の分布 (ICRP Publ.26の組織荷重係数を用いた場合)

時の実効線量当量の比の分布を示す。図3に示した分布は、鉛エプロンの着用状況や作業形態の違いによって、頸部/胸部比が3～4倍と1～2倍の2つのグループによる分布から構成されているため、胸部/実効線量当量比が0.4～1の範囲で広がっており、胸部の1cm線量に比べて実効線量当量が2倍程度の者が全体の60%程度を占めている。

また、これまでの基本勧告であるICRP Publ.26の改訂版であるICRP Publ.60¹³⁾で組織荷重係数の値が変更された。ICRP Publ.60では、放射線の生物学的影響の最新の知見に基づき、表2に示した臓器に加え、胃、肝臓など胸腹部の臓器が追加され、さらにICRP Publ.26では明示されていない「残りの組織」の内訳と、それらの組織荷重係数が与えられている。中でも、不均等被ばく時の実効線量当量を評価する上での最も大きな変更点は、「残りの組織」に対するリスク係数が従来の0.30から0.05に変更されたことであり、したがって(1)式の体幹部の中で最も多く放射線を受ける部位に対する部位別荷重係数の値が大きく変化する。現行法令の考え方と同様に、重量比に基づいて臓器・組織の組織荷重係数を各部位に割り振り不均等被ばく評価のための部位別荷重係数を試算すると、(2)式の胸腹部と頭頸部の部位別荷重係数は0.90と0.10程度となる^{12),13)}。

この係数を用いて、胸部の1cm線量当量と体幹部不均等被ばく時の実効線量当量の関係を試算すると、図3に示した頻度分布は図4に示す分布になる。頭頸部に対する部位別荷重係数が現行法令と比べて小さな値となるため、頸部と胸部の線

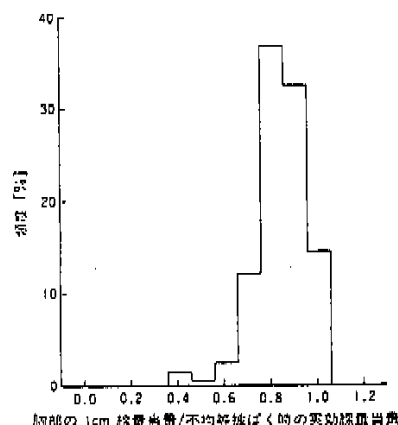


図4 不均等被ばく時の実効線量当量に対する胸部の1cm線量当量の比の分布 (ICRP Publ.60の組織荷重係数を用いた場合)

量当量比の大小は(2)式による実効線量当量の計算にはあまり影響しない。胸部の線量当量と実効線量当量の相違は、平均して1.2～1.3倍程度である。

4. おわりに

動燃事業団東海事業所のプルトニウム燃料取扱施設の放射線業務従事者が鉛エプロンの内側胸部と外側頸部に着用した個人線量計から得られるそれぞれの部位の線量当量の関係を調べた結果、頸部/胸部比が3～4倍程度のものが約半数を占め、4倍を超えるものはわずかであった。また、胸部の線量当量に対する不均等被ばく時の実効線量当量の比は、現行法令の下では1.5～2倍、ICRPの新勧告の下では1.2～1.3倍程度となることが分かった。この結果、不均等被ばくによる作業者の実効線量当量は、ICRPの新勧告の適用によって減少することが確認された。今後法令改正に当たって、個人線量計の着用規準等不均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 35, "General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers", (1982).
- 2) ICRP Publication 33, "Protection Against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine", (1982).
- 3) ICRP Publication 26, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", (1977).
- 4) 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全報告, KURRI-TR-283, (1985).
- 5) "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).
- 6) 伴信彦, 三之宮和重, 他: "核燃料施設における放射線防護の最善

- 化”, 動燃技報, 81, (1992).
- 7) K.Faulkner and R.M.Harrison, "Estimation of effective dose to staff in diagnostic radiology", *Phys.Med.Biol.*, 33, 1, p83-91 (1988).
 - 8) M.D.Matheny et al., "Exposure Reductions Encouraged by the Determination of the effective Dose Equivalent for Non-uniform Exposures", WSRG-MS-94-0404, (1994).
 - 9) 石黒秀治, 武田伸荘: "Li2B4O7(Cu) 光子による自動読取型個人被曝線量計の開発 (I) - γ 線, β 線線量当量評価法 -", 保健物理, 16 (1981).
 - 10) 井崎賢二, 他: "プルトニウム燃料工場における作業者の被ばく解析", 日本保健物理学会第31回研究発表会 (予定).
 - 11) ICRP Publication 60, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", (1990).
 - 12) 藤田稔, 今井盟: "不均等被ばくにおける実効線量当量と1cm線量当量の比較 一体幹部に個人線量計を2個装着した従事者の1990年度のデータ", フィルムバッジ・ニュース, 187, (1992).
 - 13) 辻村憲雄, 百瀬琢磨, 他: "鉛エプロンの着用に伴う体幹部不均等被ばく事例の解析", 日本原子力学会, 1995年春の年会.