

労災疾病臨床研究事業費補助金

多様な被ばく状況に適用可能な迅速線量評価手法の開発

平成29年度 総括研究報告書

研究代表者 栗原 治

平成30（2018）年 3月

目次

I. 総括研究報告書	3
多様な被ばく状況に適用可能な迅速線量評価手法の開発	3
栗原 治（量子科学技術研究開発機構）	
II. 分担研究報告書.....	12
1. 臨界事故時における線量評価に関する研究.....	12
研究分担者 辻村 憲雄 （日本原子力研究開発機構）	
谷 幸太郎 （量子科学技術研究開発機構）	
研究協力者 吉田 忠義 （日本原子力研究開発機構）	
星 勝也 （日本原子力研究開発機構）	
付録 1-1 ANSI/HPS N13.3-2013 臨界事故用線量測定（翻訳）	45
付録 1-2 毛髪中の ^{32}P 測定に基づく中性子線量評価法の文献調査	70
付録 1-3 ホールボディカウンタを用いた体内 ^{24}Na 測定に基づく臨界事故時の外部被ばく線量評価法	81
2. アクチニド核種等による内部被ばく線量評価に関する研究 - 1	86
研究分担者 金ウンジュ （量子科学技術研究開発機構）	
栗原 治 （量子科学技術研究開発機構）	
研究協力者 大野 雅子 （量子科学技術研究開発機構）	
2. アクチニド核種等による内部被ばく線量評価に関する研究 - 2	92
研究分担者 藤田 博喜 （日本原子力研究開発機構）	
永岡 美佳 （日本原子力研究開発機構）	
付録 2-1 尿のバイオアッセイ分析マニュアル.....	95
付録 2-2 プルトニウム吸入被ばくにおける鼻スミア法の適用	115
付録 2-3 内部被ばく線量評価のためのモニタリング参考値.....	120
付録 2-4 内部被ばく線量評価コード IMBA® Professional の使用方法.....	155
3. 皮膚汚染時における線量評価に関する研究.....	161
研究分担者 辻村 憲雄 （日本原子力研究開発機構）	
矢島 千秋 （量子科学技術研究開発機構）	
研究協力者 吉田 忠義 （日本原子力研究開発機構）	
星 勝也 （日本原子力研究開発機構）	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表（平成 29 年度）.....	198

労災疾病臨床研究事業費補助金

総括研究報告書

多様な被ばく状況に適用可能な迅速線量評価手法の開発

研究代表者 栗原 治（量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所）

研究要旨

緊急被ばく医療の対象となり得る、1) 臨界事故外部被ばく、2) アクチノイド核種等内部被ばく、ならびに 3) 皮膚汚染の各事象に対して、高被ばく者の迅速なトリアージを可能とする線量評価手法の開発に着手した。平成 29 年度は、1) では(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討、(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理、(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定を実施した。2) では尿試料中のアクチノイド核種を迅速に抽出するための鉄共沈法の確立及びマニュアル作成、及び、放射性ストロンチウムの迅速分析法の検討及び検証した。3) では $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 及び ^{137}Cs の任意のサイズの汚染について、国内でも使用されている電離箱式線量当量率サーベイメータ（Victoreen 451B 型）の指示値と皮膚線量率の関係を実験と計算によって評価、及び、これまでに国内外で使用されてきた表面密度－皮膚線量率換算係数を一覧表として整理し、出典による違いについて分析するとともに、代表的な 281 核種について計算コード VARSKIN 6.0 を用いて換算係数を評価してまとめた。

研究分担者

量子科学技術研究開発機構：

金 ウンジュ 主任研究員
矢島 千秋 主任研究員
谷 幸太郎 研究員

量子科学技術研究開発機構：

大野 雅子 技術員

日本原子力研究開発機構：

吉田 忠義 技術副主幹
星 勝也 技術員

日本原子力研究開発機構：

辻村 憲雄 主任研究員
藤田 博喜 マネジャー
永岡 美佳 技術員

A. 研究目的

本研究の目的は、高線量被ばくが想定される様々な放射線被ばく事故に際し、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に選別し、その線量を評価する手法を開発、整備し、その成果を広く展

研究協力者

開することである。本研究は、臨界事故の代表例たるウラン加工施設での臨界事故あるいは汚染（放出）事故の代表例たる原子力発電所事故の際に、対象者の選別（トリアージ）及び線量評価の事前の入念な準備なしに取り組まざるを得なかった状況を鑑みるに、緊急被ばく医療対応の迅速性と向上を図る上で喫緊かつ必須なものである。

B. 研究方法

本研究では、緊急被ばく医療の対象となり得る下記の事象に対する迅速線量評価手法の開発を以下の手順で進める。

1) 臨界事故外部被ばく

(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討

核燃料施設において最も発生する可能性の高い溶液系臨界事故について、予想される第1スパイクの核分裂数と被ばく線量の関係を、核分裂数の簡易計算式とモンテカルロ計算シミュレーションによって評価する。そして、上記の事故想定で得られる中性子スペクトル情報等を用いて、平成27～28年度総括・分担研究報告書でとりまとめた、①体内 ^{24}Na 放射能、②体内 ^{24}Na による体表面での γ 線1cm線量当量率、及び③TLDバッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づくバッジ表面での端窓GM計数管式表面汚染サーベイメータの計数率について、核分裂数及び線量との関係を整理する。

(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理

体内 ^{24}Na 放射能、体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線1cm線量当量率、頭髮1g中に生成される ^{32}P 放射能、TLDバッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づき、端窓GM計数管式表面汚染サーベイメータの計数率、TLDバッジ中 $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能及びTLDバッジの中性子用TLDの指示値をまとめる。

(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定

製作した ^{252}Cf 高線量中性子照射装置を用いてフルエンスで $3.6 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 、吸収線量で1.2 Gyの中性子を毛髪（約2.2 g）に照射し、照射後の毛髪中 ^{32}P 放射能を液体シンチレーションカウンタで分析する。

2) アクチニド核種等内部被ばく

前年度に引き続き、尿試料を対象とした鉄共沈法による追加試験による手法の確立、本手法の検証（国際相互比較プログラムPROCORADへ参加）及び分析法に関するマニュアルを作成する。また、誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)による計測法では前処理前の尿試料中のU成分に対する検量線の作成及び検出限界値を算出する。

また、迅速に尿中放射性ストロンチウム(Sr-89, 90)を分析するために、牛乳の分析法(IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 27)を参考に、尿中放射性ストロンチウム分析法の検討を行う。さらに、尿試料中の安定ストロンチウム量を測定するために、尿試料約10mLを用いて同様にICP-AESで測定を行い、迅速分析

法での回収率を求める。

3) 皮膚汚染

- (1) 電離箱式線量当量率サーベイメータを用いる皮膚線量評価

前年度に引き続き、Voctoreen 451B 型 (451B-DE-SI-RYR 型) 電離箱式線量当量率サーベイメータについて、その指示値が汚染サイズによって変化することを示し、その大きさに応じた皮膚線量率への換算手順を明らかにする

- (2) β 線スペクトル測定に基づく皮膚線量評価

想定外の事故等で汚染核種が予想不可能な場合のため、プラスチックシンチレータ β 線スペクトルの測定に基づく皮膚線量評価法を検討する。

- (3) 表面密度—皮膚線量率換算係数の調査

皮膚汚染時における線量評価手順の斉一化を目的に、現在国内外で使用されている表面密度—皮膚線量率換算係数について、文献調査を行うとともに、最新の計算コード VARSKIN 6.0 を用いてその検証を行う。

C. 研究結果

1) 臨界事故時外部被ばく

- (1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討
発生可能性の高い溶液系臨界事故について、予想される第 1 スパイクの核分裂数と被ばく線量の関係を、核分裂数の簡易計算式とモンテカルロ計算シミュレーションの併用によって

調べた。その結果、中性子スペクトルは体積に依存しないこと、ガンマ線スペクトルは体積よりも濃縮度に依存すること、また、体積が大きい場合は自己遮へいが働くため線量は必ずしも核分裂数に比例しないことが分かった。これらの結果に基づき、溶液体積だけから被ばく線量を推定する簡易式を構築した。

例えば、臨界事故の線源条件において、溶液体積から推定した第一出力パルスの核分裂数 (1 リットル当たり典型値： 10^{15} ，最大値： 6.6×10^{15} ，及び最小値： 1.64×10^{14}) における線源から距離 1 m での個人吸収線量 $D_p(10)$ の計算し、中性子と γ 線による個人吸収線量 $D_p(10)$ を 100 mGy とした場合の得られた下記の値が、代表的な溶液線源の前方で、 $D_p(10) = 100$ mGy 曝露直後に観測される値と予測できる。

- ①体内 ^{24}Na 放射能：

260～360 Bq/g (26～36 kBq)

- ②体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率：

立位：0.17～0.24 $\mu\text{Sv/h}$ ，

前屈座位：0.27～0.37 $\mu\text{Sv/h}$ ，

- ③ ^{116}mIn 放射能に基づく TLD バッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率：

12～18 kpm

- (2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理

平成 27～28 年度総括・分担研究報告書で検討した、体内 ^{24}Na 放射能、体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線

1cm 線量当量率, 頭髮 1 g 中に生成される ^{32}P 放射能, TLD バッジ中 ^{116}mIn 放射能に基づく badges 表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率, TLD バッジ中 ^{115}mIn 放射能及び TLD バッジの中性子用 TLD の指示値について, 臨界事故時に予想される計 140 の中性子スペクトルについて, 体系的に整理し, 一覧表にとりまとめた。

(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定

毛髪中の ^{32}P 放射能測定では, 製作した ^{252}Cf 高線量中性子照射装置の検証作業の一環として, 約 1 Gy の中性子を照射した毛髪中の ^{32}P 放射能を液体シンチレーションカウンタで測定し, その結果, 前処理前の毛髪試料の場合 0.2 Bq 程度まで測定可能であることが分かった。

2) アクチニド核種等内部被ばく

尿中の未知核種を評価する国際相互比較プログラム(PROCORAD)では, 未知尿試料中に含まれているアクチニド核種の定性・定量を行った。その結果, 我々の評価値の真値に対するバイアスが Pu で $\pm 5\%$ 以内, Am で $\pm 10\%$ 以内, Cm で $\pm 15\%$ 以内であることから本手法の妥当性を検証し, 本研究で確立した手法についてはマニュアルとしてまとめた。また, 前処理を行う前の尿試料中の U 成分に対する ICP-MS の検出限界値 (^{234}U : 140 mBq/L, ^{235}U : 0.1 mBq/L, ^{238}U : 0.01 mBq/L) を評価した。

尿中放射性ストロンチウム分析法では, 純水を試料とした場合には, 83%の回収率が得られた。一方, 150 mL から 200 mL の

尿試料を用いて分析を行った結果, 回収率は 79~94%であった。これらの分析時における尿試料中の安定ストロンチウム量は, 0.015~0.033 mg/L であった。また, 分析フローのうち, ストロンチウム担体を添加するところを省略した場合の, 尿試料 (170~320 mL) での回収率 (65~82%) を評価した。

3) 皮膚汚染

(1) 電離箱式線量当量率サーベイメータを用いる皮膚線量評価

$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 及び ^{137}Cs について, 汚染面積を変えた時の Victoreen 451B 型電離箱式線量当量率サーベイメータの指示値と皮膚線量率の関係を実験と計算によって評価し, 皮膚線量率は, 窓面積 (約 46 cm^2) を超える面積の汚染に対して指示はほぼ一定になること, 窓面積よりも小さな汚染については面積に比例することを確認した。

(2) β 線スペクトル測定に基づく皮膚線量評価

プラスチックシンチレータのパルス波高スペクトルからシンチレータの窓面積を考慮したスペクトラルフルエンスを算出して, ICRP Publ. 74 の 70 μm 線量当量 (方向性線量当量 $H'(0.07)$) を用いて線量等量を評価した。そして, パルス波高スペクトルから算出した 70 μm 線量当量率と VARSKIN 6.0 で得られた線量率を比較し, β 線スペクトル測定に基づく線量率は, $^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$ を除いて, 計算によるものとよく合うことが分かった。

(3) 表面密度—皮膚線量率換算係数の調査

調査の対象とした文献[1-7]における皮膚線量率換算係数の計算方法を一覧にとりまとめた。また、表面密度から皮膚の吸収線量率への換算係数（単位：mGy/h per kBq/cm²）について、上記文献の調査で得られたものと VARSKIN 6.0 で得られたものの比較によりその検証を行った。

D. 考察

1) 臨界事故外部被ばく

(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討

核燃料施設において最も発生する可能性の高い溶液系臨界事故について、臨界の恐れのある工程機器の容積から、水溶液 1 リットル当たりの核分裂数 (10¹⁵) と臨界事故の線源条件毎に評価した換算係数を用いて、距離の関数として被ばく線量を推定することが可能である。

(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理

体内 ²⁴Na 放射能、体内 ²⁴Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率、頭髮 1 g 中に生成される ³²P 放射能、TLD バッジ中 ^{116m}In 放射能に対応する、端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率、TLD バッジ中 ^{115m}In 放射能及び TLD バッジの中性子用 TLD のレスポンスデータは、事故対応時に線量評価作業を支援する

早見表として活用できるだけでなく、複数の異なる方法から算出された線量に整合が取れているかどうかの確認にも有用である。仮に整合がつかない場合、線源選択を繰り返し行うことで、最も確からしい被ばく線量の評価が可能になると考えられる。

(3) 毛髪中の ³²P 放射能測定

使用した液体シンチレーションカウンタの場合、計数率/放射能比が約 0.5 で毛髪によるクエンチングがあるものの、約 0.2 Bq 程度まで特別な前処理なしに測定可能であった。

図 1 は臨界事故時の被ばく線量評価手順のフローで、(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討、(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理、(3) 毛髪中の ³²P 放射能測定により得られた結果を反映したものである。

2) アクチニド核種等内部被ばく

前年度に引き続き、尿試料を対象とした追加試験 (国際相互比較プログラム参加) による鉄共沈法を確立し、分析法に関するマニュアルを作成した。また、前処理前の尿試料中の U 成分に対する ICP-MS による計測法の有効性等を確認した。本研究で検討したバイオアッセイ手法等は 2017 年 6 月 6 日に起きた原子力機構大洗の Pu 内部被ばく事故時、内部被ばく線量評価のための尿試料分析法として用いており、この事故対応により、本手法がアクチニド核種による内部被ばく線量評価のための一つの評価手法として有効であることを実証した。

尿中ストロンチウム-90 分析法（150～300 mL の尿を供試量）では、約 60%以上の回収率が担当できる分析法を確立し、安定ストロンチウムを添加しない測定法の検討により、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP—MS）を適用した際に問題となる安定ストロンチウムからの干渉を、従来の方法よりも低減できる可能性のあることと考えられる。

3) 皮膚汚染

汚染核種が ^{137}Cs や $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ （またはそれらと同等のエネルギーを持つ核種）の場合、汚染の広がりやの程度と本研究で明らかにした指示値—線量率換算係数を用いることで、汚染現場で迅速に線量を算出することができる。例えば、高レベルの汚染事故が発生した場合、作業者の除染及び端窓 GM 計数管又は電離箱サーベイメータによる測定と平行して、除染過程で得られた汚染試料の β 線スペクトルを測定しておけば、のちにその情報を線量評価に活用することも可能になると考えられる。一方、汚染核種が不明な場合は、 β 線スペクトル測定に基づく方法が有効である。

表面密度—皮膚線量率換算係数の調査ではこれまでに国内外で使用されてきた表面密度—皮膚線量率換算係数を一覧表として整理し、出典による違いについて分析するとともに、代表的な 281 核種について計算コード VARSKIN 6.0 を用いて換算係数を評価した。計算は、二種類の汚染面積（円形 1 cm^2 及び 100 cm^2 ）について深さ 7 mg/cm^2 で、汚染面積 100 cm^2 について深さ 40 mg/cm^2 で行った。後者は、確定的影響、すなわち真皮の晩発障害（真皮の萎縮）の防止

するため、深さ $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ （真皮上皮）を想定したものであり、特に事故のような場合に有用である。

E 結論

本研究では緊急被ばく医療の対象となり得る事象—(1) 臨界事故時外部被ばく、(2) アクチニド核種等内部被ばく、及び、(3) 皮膚汚染—に対し、多数の被検者から高被ばく者を迅速に選別（トリアージ）するための被ばく線量評価手法の開発を進め、実務上の有用な結果をまとめた。

参考文献

- [1] 龍福廣, 中戸喜寄, 備後一義, 立田初己, 福田整司, 南賢太郎; 点積分核法による β 線皮膚線量の評価, JAERI-M 7354, 日本原子力研究所, (1977).
- [2] D. C. Kocher and K. F. Eckerman; Electron Dose-rate Conversion Factors for External Exposure of the Skin from Uniformly Deposited Activity on the Body Surface, *Health Phys.* **53**(2), 135–141, 1987.
- [3] W. G. Cross, N. O. Freedman, and P. Y. Wong; Beta ray dose distributions from skin contamination, *Radiat. Prot. Dosim.* **40**(3), 149–168 (1992). 又は, ICRU; Dosimetry for External Beta Rays, ICRU Report 57, (1997).
- [4] R. E. Faw; Absorbed doses to skin from radionuclide sources on the body surface, *Health Phys.* **63**(4), 443–448 (1992).
- [5] IAEA; Generic procedures for assessment and response during a

radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, (2000).

[6] D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, and C. Hickman, Radionuclide and radiation Protection Data Handbook 1998, *Radiat. Prot. Dosim.* **78**(1/2), (1998).

[7] D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, and C. Hickman, Radionuclide and radiation Protection Data Handbook 2002, *Radiat. Prot. Dosim.* **98**(1), (2002).

F. 健康危険情報

該当無し

G. 研究発表

1. 口頭発表及び論文発表

[1] K. Hoshi, N. Tsujimura, T. Yoshida, O. Kurihara, E. Kim, and K. Yajima; Study of the method for the screening survey using an ambient dose equivalent rate meter in criticality accidents, ISORD-9, Nagoya, Japan.

[2] N. Tsujimura, F. Takahashi, and C. Takada; Dataset of TLD badge response and body sodium/hair activation for criticality accident dosimetry, ISORD-9, Nagoya, Japan.

([1]及び[2]発表に関するプロシーディングの査読は完了しており, 2018 年内に日本原子力学会の国際会議論文集 *Progress in Nuclear Science and Technology* に掲載される予定である)

[3] 永岡美佳, 藤田博喜, 栗原治; バイオアッセイ法の迅速化に向けた検討, 日本保健物理学会第 50 回研究発表会 日本放射線安全管理学会第 16 回学術大会, (2017).

[4] Hiroki FUJITA, Mika NAGAOKA and Osamu KURIHARA; Simplification of Method for Analyzing Sr-90 Radioactivity in Urine Sample, ISRD2018, (2018).

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし

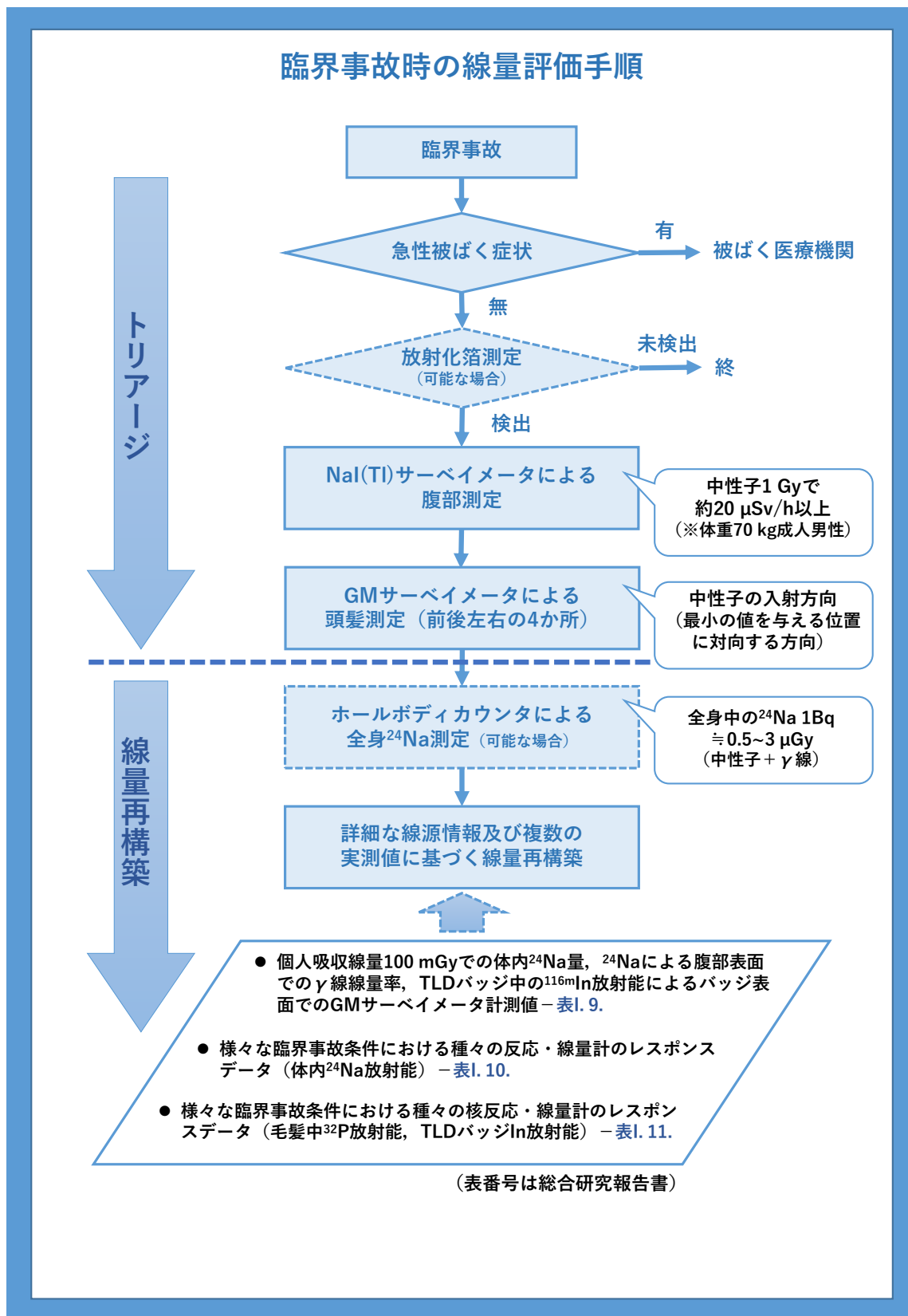


図1 臨界事故時の被ばく線量評価手順のフロー図

労災疾病臨床研究事業費補助金
分担研究報告書

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

1. 臨界事故時における線量評価に関する研究

研究分担者 辻村 憲雄（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）
谷 幸太郎（量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所）
研究協力者 吉田 忠義（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）
星 勝也（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）

研究要旨

臨界事故時に、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となるような高線量の被ばくを受けた者を迅速に選別し、その被ばく線量を評価する手法を開発・整備することを目的に、(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討、(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理、(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定について研究を実施した。その結果、以下の知見を得た。

(1) 核燃料施設において最も発生する可能性の高い溶液系臨界事故について、予想される第 1 スパイクの核分裂数と被ばく線量の関係を、核分裂数の簡易計算式とモンテカルロ計算シミュレーションの併用によって調べた。その結果、中性子スペクトルは体積に依存しないこと、ガンマ線スペクトルは体積よりも濃縮度に依存すること、また、体積が大きい場合は自己遮蔽が働くため線量は必ずしも核分裂数に比例しないことが分かった。これらの結果に基づき、溶液体積だけから被ばく線量を推定する簡易式を構築した。これは、万一臨界事故が発生した場合に、被災者等の被ばく線量がどの程度になるかの見積もる際に有用である。

(2) 平成 27～28 年度総括・分担研究報告書で検討した、体内 ^{24}Na 放射能、体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率、頭髮 1 g 中に生成される ^{32}P 放射能、TLD バッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づくバッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率、TLD バッジ中 $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能及び TLD バッジの中性子用 TLD の指示値について、臨界事故時に予想される計 140 の中性子スペクトルについて、体系的に整理し、一覧表にとりまとめた。これは、事故対応時に線量評価作業を支援する早見表として活用できるだけでなく、複数の方法から算出された線量に整合が取れているかどうかの確認にも有用である。また、放射線の入射方向を推定する方法を提示した。

(3) ^{252}Cf 高線量中性子照射装置を用いて約 1 Gy の中性子を照射した毛髪中の ^{32}P 放射能を液体シンチレーションカウンタで測定した。試料の特別な前処理なしに、0.2 Bq 程度まで測定可能であった。

A. 研究目的

本研究の目的は、高線量の被ばくが想定される様々な事故に際し、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に選別し、その線量を評価する手法を開発・整備し、その成果を広く展開することである。事故の代表例たるウラン加工施設での臨界事故の際に、対象者の選別（トリアージ）及び線量評価の事前の入念な準備なしに取り組まざるを得なかった状況を鑑みるに、本研究は、緊急被ばく医療対応の迅速性と実行性の向上を図る上で喫緊かつ必須なものである。

背景

万一臨界事故が発生した場合に、被災者及び事故対応要員の被ばく線量がどの程度になるかの見積もりは、現場で緊急対応計画を策定したり、そうした事態に対する対応訓練を実効性のより高いものにしたするための情報として有用である。これまでに国内外の核燃料施設で発生した臨界事故計 22 件のうち 21 件が溶液系臨界事故（JCO 事故もこれに含まれる）であり[1]、日本原子力研究開発機構（JAEA）の東海再処理施設での臨界事故の想定も溶液系であることから、このような溶液系臨界事故について、事故の規模及び被ばく線量を簡便に推定するための線源条件について検討し、平成 27～29 年度の研究で得られた成果と統合・整理する。

また、1969 年の制定以来の改訂となった ANSI/HPS 13.3-2013 Dosimetry for Criticality Accident [2]の全訳を付録 1-1 に、毛髪中の硫黄の放射化に基づく中性子線量評価について文献調査した結果をとりまと

めたものを付録 1-2 に示す。

B. 研究方法

(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討

一般に臨界事故の規模は核分裂数で表され、臨界事故警報装置の設置基準等では、最小で 10^{15} [3]、最大で 2×10^{19} [4]である。1999 年の JCO 事故での核分裂数は、約 20 h の継続時間にわたって合計 2.5×10^{18} であるが、臨界事故直後のスパイク（初期バースト又は第一出力パルスと呼ぶ場合もある）では、約 5×10^{16} [5]とされる。被災者の被ばく線量評価に最も重要なのは、このスパイクでの核分裂数であり、加えて、中性子及びガンマ線のスペクトル、線源と被災者間の距離及び遮へいもまた重要なファクターとなる。

本研究では、核燃料施設において最も発生する可能性の高い溶液系臨界事故について、予想される第 1 スパイクの核分裂数と被ばく線量の関係を、核分裂数の簡易計算式とモンテカルロ計算シミュレーションの併用によって明らかにする。

核分裂数の簡易計算式：水溶液 1 リットル当たりの核分裂数（最確値）を、 10^{15} とする[6]。また、その上下限値は、野村が導出したスパイクの核分裂数の最大及び最小見積もり式[7]から

最大： $6.6 \times 10^{15} \times V$ (fissions)

最小： $1.64 \times 10^{14} \times V$ (fissions)

である。ここで、 V は、溶液の体積（リットル）である。最確値に対してファクター 6 程度の変動幅があり得る。

線源モデル：臨界事故時における緊急対応のための数値早見表として米国で使用さ

れている Nuclear Slide Rule [8]において、典型的な臨界事故における「線源」として指定されているもの（金属系・粉末系・溶液系等 5 種類）のうち、再処理施設での事故想定に近い「高濃縮硝酸ウラン溶液」線源を基に、溶液の体積や ^{235}U の濃縮度を調節したものを線源とする。さらに、東海再処理施設の一部工程（硝酸プルトニウム調整槽）を近似する線源を追加する。線源条件を表 1 に示す。条件の詳細は、後述する臨界計算によって算出したものである。

臨界計算方法：球形硝酸ウラン溶液及び円筒形硝酸プルトニウム溶液からなる体系での臨界計算を、モンテカルロ粒子輸送計算コード MCNP4C の固有値計算 (kcode) 機能で行う。ここでは、濃縮度及び体積の異なる幾つかの入力条件で臨界計算を行い、実効増倍係数が 1.00 ± 0.02 となる条件をパラメータサーベイによって探索する。

タリー：図 1 に示すタリー配置で、体系外に漏れ出る中性子と光子のカレントとフルエンスを計算する。実効増倍係数が 1 になる条件は、常に 1 個の中性子が発生し続けている状態に相当するので、それぞれのタリーの計算値に、 ^{235}U における核分裂当たりの平均中性子発生数 $\nu = 2.44$ を乗じることで、核分裂当たりの値に換算できる。また、硝酸プルトニウム溶液についても、実際の調整槽のステンレス製円筒に近似した体系で同様の計算（ただし、 $\nu = 2.88$ ）を行なう。

線量換算係数：中性子フルエンスから組織吸収線量への換算に、平成 27～28 年度総括・分担研究報告書では、IAEA Technical

report Series No. 211[9]（以下、「IAEA マニュアル」と記す）の表 XIV を使った。本研究では、ANSI/HPS 13.3-2013[2]で採用する個人吸収線量 $D_p(10)$ （数値の出典は文献[10]）を使用する。これは、ICRU 平板ファントムの表面から深さ 10 mm における吸収線量であり、光子の場合は、実用量である個人線量当量 ($H_p(10)$) と等価である。

図 2 に、IAEA マニュアルの組織吸収線量（反跳原子核等の重粒子による線量と二次 γ 線による線量の合計）と、上記 $D_p(10)$ を比べたものを示す。比較のため、ICRP Publ. 74 に与える生殖腺（精巣）の吸収線量も同図に示す。いずれも体表面の比較的浅い位置における吸収線量であるため、ほぼ同程度の値を示す。

スクリーニングレベル：上記の事故想定で得られる中性子スペクトル情報等を用いて、平成 27～28 年度総括・分担研究報告書でとりまとめた、①体内 ^{24}Na 放射能、②体内 ^{24}Na による体表面での γ 線 1cm 線量当量率、及び③TLD バッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づくバッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率について、核分裂数及び線量との関係を整理する。

(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理

平成 27～28 年度総括・分担研究報告書で検討した、体内 ^{24}Na 放射能、体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率、頭髮 1 g 中に生成される ^{32}P 放射能、TLD バッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づくバッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率、TLD バッジ中 $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能及

び TLD バッジの中性子用 TLD の指示値について、臨界事故時線量評価プログラム RADAPAS[11]に組み込みの計 140 の中性子スペクトルについて、体系的に整理し、一覧表にとりまとめる。

(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定

製作した ^{252}Cf 高線量中性子照射装置を用いてフルエンスで $3.6 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$ 、吸収線量で 1.2 Gy の中性子を毛髪（約 2.2 g）に照射する。照射後、液体シンチレーションカウンタで分析する。分析条件は以下のとおりである。

検出器：HIDEX 300SL 型全自動 TDCR
液体シンチレーションカウンタ

測定時間：86,400 秒

測定試料：毛髪を長さ約 10mm に切り、秤量（0.14～0.30 g）後、20ml ガラス製バイアルに入れて、クレアゾル I（ナカライテスク製）を 20ml 加えた。

なお、実験で使用する頭髮は、人毛かつらから採取したものである。毛髪 1 g には、硫黄 43.6 (± 4.6) mg のほかにリンが 0.171 (± 0.024) mg 含まれるとされるが[12]、確認のため、この毛髪試料について外部機関（株式会社東レリサーチセンター）に依頼し、その組成分析を行う。硫黄については、燃焼管分解・イオンクロマトグラフィー、リンについては、酸で加熱分解したのち ICP 発光分光分析によって、それぞれの含有量を求める。

（倫理面への配慮）

本研究は、特定個人を対象とするものではないので人権擁護上の配慮等を特に必要としない。

C. 研究結果

(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討

表 1 に示した硝酸ウラン及び硝酸プルトニウム溶液について、臨界成立条件（実効増倍係数 ≈ 1 ）における漏洩中性子と漏洩 γ 線のスペクトルをそれぞれ図 3 と図 4 に示す。核分裂当たりに規格化しており、エネルギー積分した値は、表 1 のカレントの値に相当する。図から、中性子スペクトルの形状は、体積・溶液組成に依存しないこと、これに対して、ガンマ線スペクトルは、低濃縮度（ ^{238}U が多く含まれる）ほど低エネルギー領域で γ 線が ^{238}U 自身によって遮へいされることが確認された。

1 核分裂当たりの漏洩粒子カレント、フルエンス平均エネルギー及びスペクトル平均換算係数を表 2 に示す。体積が小さいほど体系内での中性子の吸収が減るため、中性子が体系外に出やすい。中性子スペクトルが体積によって変わらないため、平均中性子エネルギーやスペクトル平均換算係数などの値にも大きな変化はない。一方、ガンマ線の場合、体積よりも濃縮度がカレント、平均エネルギー及びスペクトル平均換算係数に影響を与える。

それぞれの線源条件について、核分裂数を最小臨界事故に相当する 10^{15} 、溶液体積から推定した第一出力パルスの核分裂数（1 リットル当たり典型値： 10^{15} 、最大値： 6.6×10^{15} 、及び最小値： 1.64×10^{14} ）における線源から距離 1 m での個人吸収線量 $D_p(10)$ を計算した結果を表 3 に示す。また、それらを体積の関数として表したものを図 5 に示す。

核分裂数は、溶液体積に比例して増加す

る一方、大容積ほど放射線が体系外に漏洩しにくくなるため核分裂数の増加の程度に比べて線量の増加の程度は小さい。たとえば、硝酸ウラニル溶液の場合、溶液体積が約 35 倍 (28.5→1,000 リットル) の変化に対して、中性子 $D_p(10)$ は約 6 倍、 γ 線 $D_p(10)$ は約 7 倍の変化に過ぎない。

表 4 に、中性子と γ 線による個人吸収線量 $D_p(10)$ を 100 mGy とした場合の①体内 ^{24}Na 放射能、②体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率、及び③TLD バッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づくバッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率を示す。代表的な溶液線源の前方入射の場合、 $D_p(10)=100$ mGy 当たり、

- ① 260～360 Bq/g
(26～36 kBq)
- ② 立位：0.17～0.24 $\mu\text{Sv/h}$
前屈座位：0.27～0.37 $\mu\text{Sv/h}$
(^{38}Cl 等短半減期核種の寄与を含まない)
- ③ 12～18 kpm

の観測値が曝露直後に得られることが期待される。吸収線量 $D_p(10)$ が 1,000 mGy を超える場合、一般的な端窓 GM 計数管式サーベイメータの指示は測定レンジの上限 (30～100 kcpm) をオーバーするため、その測定からは、1,000 mGy を超えるかどうかだけがわかる。全身カウンタは、上記の放射能 (>10 kBq) では、感度が高すぎる可能性があるので、被測定者と検出器の距離を変えるなどの工夫が必要であろう。

(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理
臨界事故時線量評価プログラム
RADAPAS に組み込まれた計 140 個の線源

スペクトル情報を使用して、それぞれの線源について、中性子平均エネルギー(MeV)、スペクトル平均した中性子フルエンスー吸収線量換算係数(Gy cm^2)、 γ 線平均エネルギー(MeV)、スペクトル平均した γ 線フルエンスー吸収線量換算係数(Gy cm^2)、ガンマ線/中性子線量比、単位中性子フルエンス当たりの体内 ^{24}Na 比放射能($(^{24}\text{Na Bq}/^{23}\text{Na g}) \text{ cm}^2$)、中性子吸収線量 1 Gy 当たりの体内 ^{24}Na 比放射能($(^{24}\text{Na Bq}/^{23}\text{Na g})/\text{Gy}$)、単位中性子フルエンス当たりの ^{24}Na 放射能(Bq cm^2) (ここでは、全身に 100 g の ^{23}Na が含まれていると仮定)、中性子吸収線量 1 Gy 当たりに生成される体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率($\mu\text{Sv/h}$) (曝露直後、 ^{38}Cl 等短半減期核種による影響を含まない) を計算したものを表 5 に示す。ここでは、中性子吸収線量の値に、RADAPAS 組み込みのものと $D_p(10)$ の二種類を用いた。

また、同様の手順を用いて、単位中性子フルエンス当たりに前頭部の頭髮 1 g 中に生成される ^{32}P 放射能(Bq cm^2)、中性子吸収線量 1 Gy 当たりに前頭部の頭髮 1 g 中に生成される ^{32}P 放射能(Bq/Gy)、単位中性子フルエンス当たりに TLD バッジのインジウム中に生成される $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能(Bq cm^2)、単位中性子フルエンス当たりに TLD バッジのインジウム中に生成される $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能(Bq cm^2)、吸収線量 1 Gy 当たりに生成される $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づきバッジ表面で観測される端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータ計数率(kcpm)、並びに TLD バッジの各 TLD の指示値(Sv cm^2) を計算したものを表 6 に示す。

また、体内中 ^{24}Na 比放射能に対する、頭

髪 1 g 中の ^{32}P 放射能, TLD バッジ中の $^{116\text{m}}\text{In}$ 及び $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能及び TLD 指示値の比を, 入射角度の関数として計算した結果を図 6 に示す。

(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定

図 7 に測定試料, 図 8 に観測されたパルス波高スペクトル, 表 7 に観測結果を示す。

なお, 組成分析の結果, 実験に使用した毛髪に含まれる硫黄及びリンは, 毛髪 1 g 当たりそれぞれ 44 mg, 0.13 mg であり, 文献値[12]とほぼ一致した。

D. 考察

(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討

溶液系臨界事故の場合, 臨界の恐れのある工程機器の容積から, 水溶液 1 リットル当たりの核分裂数 (10^{15}) と表 2 に示した換算係数を用いて, 距離の関数として被ばく線量を推定することが可能である。

ANSI/ANS N8.23 [6]では, 核分裂数を N_f , 距離を $R(\text{m})$ とすると,

$$\text{中性子吸収線量}(\text{Gy}) = 6.5 \times 10^{-17} \times N_f / R^2$$

$$\gamma \text{線吸収線量}(\text{Gy}) = 22 \times 10^{-17} \times N_f / R^2$$

$$\text{合計吸収線量}(\text{Gy}) = 28 \times 10^{-17} \times N_f / R^2$$

とする線量推定式が提示されている。これは, 式から分かるように, 線量 $\propto$ 核分裂数を前提にしたものであるが, 大容積一すなわち大きな核分裂数が期待される一線源での放射線の自己遮へいを無視したものである。そこで, 本研究での計算に合致するよう, 上記の ANSI/ANS の線量推定式を修正する。

$$\text{中性子吸収線量}(\text{Gy}) = 10 \times (N_f / 10^{17})^k / R^2$$

$$\gamma \text{線吸収線量}(\text{Gy}) = 20 \times (N_f / 10^{17})^k / R^2$$

$$\text{合計吸収線量}(\text{Gy}) = 30 \times (N_f / 10^{17})^k / R^2$$

ここで, $k = 0.5$ ($N_f > 10^{17}$), $k = 1$ (N_f

$< 10^{17}$)

図 9 に, ANSI/HPS の線量推定式及びそれに修正を加えたものの両式から算出される合計吸収線量率と核分裂数の関係を示す。破線で示した修正線量推定式による吸収線量は, モンテカルロ計算結果の傾向をよく再現する。

(2) データベース活用様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの活用

表 5 及び表 6 にとりまとめた様々な臨界事故条件における体内・毛髪中に生成される ^{24}Na や ^{32}P 放射能, 個人線量計レスポンスは, 事故対応時に線量評価作業を支援する早見表として活用できるだけでなく, 複数の異なる方法から算出された線量に整合が取れているかどうかの確認にも有用である。仮に整合がつかない場合, 線源選択を繰り返す行うことで, 最も確からしい被ばく線量の評価が可能になると考えられる。

また, 表には, 定義の異なる幾つかの吸収線量について, フルエンス当たりの値を記した。とりあげた線量は, (i) 組織カーマ (ICRU レポート 46), (ii) IAEA マニュアルの重粒子・二次 γ 線による体表面近くでの吸収線量, (iii) 個人吸収線量 $D_p(10)$ (文献[2][10]), そして(iv) RADAPAS 組み込みの全身平均吸収線量 (重粒子・二次 γ 線) である。(i)は, 入射方向に依存しない量, (ii) 及び(iii)は, とともに体表面近くのある点での線量であるため入射方向に依存する量, (iv) は, ある程度の入射方向依存はあれども, その依存の程度が小さい (約 0.6 倍) 量である。いずれの量を使用するかは, 選択した線量評価の方法と線量評価の進捗の程度に応じて変わる。たとえば, 体表面に取り付ける

個人線量計の場合、(ii)又は(iii)以外の選択肢はなく、 γ 線の線量評価が $H_p(10)$ 評価用素子と兼用で行われる点を考慮すれば、(iii)の $D_p(10)$ が合理的である。このとき、背面から入射する放射線については、線量計の方向特性に基づき放射線の主たる入射面における $D_p(10)$ に補正し、続いて、必要に応じて身体奥深くの吸収線量(臓器別に)に最終的に換算する。一方、体内中 ^{24}Na 放射能(及びそれに起因する体表面での γ 線1cm線量当量率)については、 ^{24}Na の生成量と(iv)の吸収線量がともに中性子の入射方向にあまり依存しないという特徴に着目し、かつスクリーニング目的のためだけに使用する場合、あるいは、他の方法による線量評価値との整合性に留意する必要がない場合であれば、(iv)の吸収線量は有用であろう。例えば、表5から、(iv)の中性子吸収線量1 Gy当たりの ^{24}Na 比放射能は、

正面(背面)入射：10～42 kBq/g

側面入射：8.5～39 kBq/g

であり、入射方向による変化は小さい。一方、同表から、(iii)の吸収線量に基づく場合、

正面(背面)入射：5.5～19 kBq/g

側面入射：2.5～8.2 kBq/g

となり、入射方向によって2倍程度の変化が生じる。また、スクリーニング目的では、 ^{24}Na の生成に直接関係のない γ 線による被ばく線量も含めるかどうかを決めておく必要がある¹。なお、毛髪中の ^{32}P 放射能については、毛髪の採取位置に依存して、(i)又は体表面付近の吸収線量(ii)(iii)のうち重粒子による線量寄与成分を使用することが一般

的である。

(3) 放射線の入射方向の推定

線量評価にあたり、放射線の入射方向に関する情報は必要である。 $(^{24}\text{Na}$ 放射能に基づいて(iv)の吸収線量を評価する場合、この情報はあまり必要ないように見えるが、全身の平均ではなく、ある特定の臓器の吸収線量の評価が必要な場合、それは当てはまらない。)

この情報は、入射方向にあまり生成量が依存しない ^{24}Na 放射能と、それ以外の何らかの測定を比較することで、ある程度まで推定できる可能性がある。図6(a)(b)は、 ^{24}Na 放射能と、 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能及びTLDバッジ中のTLDの第2素子の指示値(ともに外部から入射する熱中性子に対して特に高い感度を持つ)を比べたものである。正面入射(0度)側と背面入射(180度)側での明らかな比の相違は、体の表側に身に着けた熱中性子に敏感な素材—それは個人線量計である必要はなく、携帯電話等の何らかの所持品の構成材料でもよい—を利用することで、入射方向を判別できる可能性を示唆する。ただし、室内散乱線の多い環境では、TLDバッジの $^{116\text{m}}\text{In}$ は背面入射であつても正面入射の約1/3の放射能を示す場合があるので[13]、注意が必要である。図5(c)(d)は、TLDバッジのうち外側から入射する熱中性子を遮る構造的な工夫のなされたTLD(第3及び第4素子)の指示値と ^{24}Na 放射能を比べたものである。比から、前方入射と背面入射の識別は可能と考えられる。また、この方法は、室内散乱線という外乱因子

¹ 中性子と γ 線の合計の $D_p(10)$ に基づく場合、正面(背面)入射では1 Gy当たり2.8～19 kBq/g。体重70 kgを仮定すると、これは、1

Bq当たり0.52～3.6 μGy となり、IAEAマニュアルの値(1 Bq=0.5～3 μGy (中性子+ γ 線))に一致する。

による影響を受けにくいことが期待される。図 5(e)(f)は、速中性子との反応によって生成される（前頭部から採取した毛髪中） ^{32}P 放射能及び TLD バッジの $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能と ^{24}Na 放射能の比較である。 ^{32}P 及び $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能はともに背面入射で生成量が小さくなるが、それが、背面入射によるものなのか、それとも MeV 領域の成分の少ない中性子（たとえば鉄・鉛等遮へい）に曝された結果であるのかの識別ができない。したがって、 ^{32}P 放射能については、身体のような部位から毛髪を採取し、それらの放射能の相対強度から入射方向を識別する方法の方が順当であろう。

(4) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定

使用した液体シンチレーションカウンタの場合、計数率/放射能比が約 0.5 で毛髪によるクエンチングがあるものの、約 0.2 Bq 程度まで特別な前処理なしに測定可能であった。

E. 結論

臨界事故時に、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となるような高線量の被ばくを受けた者を迅速に選別し、その被ばく線量を評価する手法を開発・整備することを目的に、(1) 臨界事故時における緊急対応計画のための線源条件の検討、(2) 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータの整理、(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定について研究を実施した。その結果、以下の知見を得た。

(1) 核燃料施設において最も発生する可能性の高い溶液系臨界事故について、予想される第 1 スパイクの核分裂数と被ばく線量の関係を、核分裂数の簡易計算式とモンテ

カルロ計算シミュレーションの併用によって調べた。計算の結果、中性子スペクトルは体積に依存しないこと、ガンマ線スペクトルは体積よりも濃縮度に依存すること、また、体積が大きい場合は自己遮へいが働くため線量は必ずしも核分裂数に比例しないことが分かった。これらの結果に基づき、溶液体積だけから被ばく線量を推定する簡易式を構築した。これは、万一臨界事故が発生した場合に、被災者及び事故対応要員の被ばく線量がどの程度になるかの見積もりは、現場で緊急対応計画を策定したり、そうした事態に対する対応訓練を実効性のより高いものにしたりするための情報として有用である。

(2) 平成 27～28 年度総括・分担研究報告書で検討した、体内 ^{24}Na 放射能、体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率、頭髮 1 g 中に生成される ^{32}P 放射能、TLD バッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能に基づくバッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータの計数率、TLD バッジ中 $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能及び TLD バッジの中性子用 TLD の指示値について、臨界事故時に予想される計 140 の中性子スペクトルについて、体系的に整理し、一覧表にとりまとめた。これは、事故対応時に線量評価作業を支援する早見表として活用できるだけでなく、複数の方法から算出された線量に整合が取れているかどうかの確認にも有用である。また、放射線の入射方向を推定する方法を提示した。

(3) 毛髪中の ^{32}P 放射能測定では、製作した ^{252}Cf 高線量中性子照射装置の検証作業の一環として、約 1 Gy の中性子を照射した毛髪中の ^{32}P 放射能を液体シンチレーションカウンタで測定した。試料の特別な前処理

なしに, 0.2 Bq 程度まで測定可能であった。

文献

- [1] T. P. McLaughlin, S. P. Monahan, N. L. Pruvost, V. V. Frolov, B. G. Ryazanov, and V. I. Sviridov; A Review of Criticality Accidents, 2000 Revision, Los Alamos National Laboratory Report LA-13638, (2000).
- [2] American National Standards Institute (ANSI); Dosimetry for Criticality Accident, ANSI/HPS 13.3-2013 (2013).
- [3] H. J. Delafield and J. J. Clifton; Design criteria and principles for criticality detection and alarm system, United Kingdom Atomic Energy Authority report SRD-R-309 (1984).
- [4] American National Standards Institute; Criticality Accident Alarm Systems, ANSI/ANS-8.3-1997 (1997).
- [5] K. Nakajima; Applicability of simplified methods to evaluate consequences of criticality accident using past accident data, *Proceedings of the 7th International Conference on Nuclear Criticality Safety ICNC2003*, Japan Atomic Energy Research Institute report JAERI-Conf 2003-019, 171–176 (2003).
- [6] American National Standards Institute (ANSI); Nuclear criticality accident planning and response, ANSI/ANS 8.23-2007 (2007).
- [7] T. Nomura; Theoretical derivation of simplified evaluation models for the first peak of a criticality accident in nuclear fuel solution, *Nucl. Technol.* **131**, 12–21 (2000).
- [8] C. M. Hopper and B. L. Broadhead; An updated nuclear criticality slide rule, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-13322/V2 (1998).
- [9] International Atomic Energy Agency; Dosimetry for criticality accidents—A Manual, IAEA Technical Report Series No. 211, (1982).
- [10] K. G. Veinot and N. E. Hertel; Personal dose equivalent conversion coefficients for photons to 1 GeV, *Radiat. Prot. Dosim.* **145**(1), 28–35 (2010).
- [11] F. Takahashi; Program for rapid dose assessment in criticality accident, RADAPAS, JAEA-Data/Code 2006-019 (2006).
- [12] 丸山隆司, 外部被曝の線量評価, 第19回放医研シンポジウム「緊急時の被曝評価と医療」報文集, NIRS-M-71, 放射線医学総合研究所, (1989).
- [13] C. Takada, N. Tsujimura, and S. Mikmai; Recalibration of indium foil for personnel screening in criticality accidents, *Radiat. Prot. Dosim.* **144**, 575–579 (2011).

F. 健康危険情報

該当無し

G. 研究発表

口頭発表

K. Hoshi, N. Tsujimura, T. Yoshida, O. Kurihara, E. Kim, and K. Yajima; Study

of the method for the screening survey using an ambient dose equivalent rate meter in criticality accidents, ISORD-9, Nagoya, Japan.

N. Tsujimura, F. Takahashi, and C. Takada; Dataset of TLD badge response and body sodium/hair activation for criticality accident dosimetry, ISORD-9, Nagoya, Japan.

(両発表に関するプロシーディングの査読は完了しており, 2018 年内に日本原子力学会の国際会議論文集 Progress in Nuclear Science and Technology に掲載される予定である)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし

表 1 溶液系で想定される臨界事故の線源条件（計算シミュレーションのための入力条件）

計算条件	K023	K031	K033	K035	265V11-2
	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸プルトニウム
形状	球(反射無し)	球(反射無し)	球(反射無し)	球(反射無し)	円筒(反射無し)
濃縮度	93.1%	100.0%	20.0%	4.0%	100.0%
密度(g/cm ³)	1.075	1.046	1.185	1.716	1.200
U濃度(g-U/L)又は Pu濃度(g-Pu/L)	55.1	22.0	130.0	540.0	50.0
容積(L)	28.5	100.0	100.0	1000.0	32.6
原子個数密度(#/b-cm)					
Pu-239					1.2596E-04
U-235	1.3154E-04	5.6376E-05	6.6626E-05	5.5351E-05	
U-238	9.6010E-06	0.0000E+00	2.6315E-04	1.3117E-03	
N	2.8205E-04	1.1275E-04	6.5955E-04	2.7341E-03	2.9127E-03
O	3.4012E-02	3.4208E-02	3.5089E-02	3.8436E-02	3.7017E-02
H	6.5769E-02	6.7513E-02	6.4902E-02	5.4999E-02	5.8966E-02
H/X	500	1198	974	994	468

注：H/X は、²³⁵U または ²³⁹Pu の原子個数密度に対する水素の原子個数密度の比である。

表 2 MCNP の固有値計算によって得られた、1 核分裂当たりの漏洩粒子カレント、フル
エンス平均エネルギー及びスペクトル平均換算係数

計算によって得られた パラメータ	K023	K031	K033	K035	265V11-2
	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸プルトニウム
中性子					
カレント Nn	0.95	0.54	0.56	0.17	1.19
平均エネルギー (MeV)	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3
換算係数					
組織カーマKt (pGy cm ²)	16.7	16.6	15.9	15.8	18.3
組織吸収線量Dhp (pGy cm ²)	18.8	18.6	17.9	17.8	20.5
組織吸収線量Dng (pGy cm ²)	2.2	2.2	2.3	2.3	2.1
Dhp + Dng (pGy cm ²)	21.0	20.8	20.2	20.1	22.6
個人吸収線量Dp(10) (pGy cm ²)	21.3	21.2	20.4	20.3	23.1
個人線量当量Hp(10) (pSv cm ²)	240	238	227	225	260
ガンマ線					
カレント Ng	5.4	5.1	3.5	0.76	5.5
平均エネルギー (MeV)	0.98	0.91	1.2	1.5	1.0
換算係数					
個人吸収線量Dp(10) (pGy cm ²)	4.6	4.2	5.2	6.3	4.7
個人線量当量Hp(10) (pSv cm ²)	4.6	4.2	5.2	6.3	4.7

表 3 最小核分裂数 (10^{15}) 及び溶液体積から算出したスパイクの核分裂数における距離 1m での線量

核分裂数と吸収線量		K023	K031	K033	K035	265V11-2
		硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸プルトニウム
核分裂数(最小臨界事故)		1.0E+15	1.0E+15	1.0E+15	1.0E+15	1.0E+15
中性子 $D_p(10)$	(Gy)	0.16	0.09	0.09	0.03	0.22
ガンマ線 $D_p(10)$	(Gy)	0.19	0.17	0.14	0.04	0.21
合計 $D_p(10)$	(Gy)	0.35	0.26	0.24	0.07	0.43
中性子/ガンマ比		0.8	0.5	0.6	0.7	1.0
溶液体積 (L)		28.5	100.0	100.0	1000.0	32.6
核分裂数(典型値)		2.8E+16	1.0E+17	1.0E+17	1.0E+18	3.3E+16
中性子 $D_p(10)$	(Gy)	4.6	9.0	9.0	28	7.1
ガンマ線 $D_p(10)$	(Gy)	5.5	17	14	38	6.8
合計 $D_p(10)$	(Gy)	10	26	24	66	14
核分裂数(最大値)		1.9E+17	6.6E+17	6.6E+17	6.6E+18	2.2E+17
中性子 $D_p(10)$	(Gy)	30	60	60	184	47
ガンマ線 $D_p(10)$	(Gy)	37	113	96	249	45
合計 $D_p(10)$	(Gy)	67	173	155	433	92
核分裂数(最小値)		4.7E+15	1.6E+16	1.6E+16	1.6E+17	5.3E+15
中性子 $D_p(10)$	(Gy)	0.75	1.5	1.5	4.6	1.2
ガンマ線 $D_p(10)$	(Gy)	0.91	2.8	2.4	6.2	1.1
合計 $D_p(10)$	(Gy)	1.7	4.3	3.9	11	2.3

表 4 中性子と γ 線による個人吸収線量 $D_p(10) = 100$ mGy での体内 ^{24}Na 放射能, 体内 ^{24}Na による腹部表面での γ 線 1cm 線量当量率, 及び TLD バッジ中 ^{116}mIn 放射能に基づくバッジ表面での端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータ計数率

		K023	K031	K033	K035	265V11-2
		硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸ウラニル	硝酸プルトニウム
個人吸収線量 $D_p(10)$	(mGy)	100	100	100	100	100
中性子	(mGy)	45	34	38	43	51
ガンマ線	(mGy)	55	66	62	57	49
中性子フルエンス	(cm^{-2})	2.1E+09	1.6E+09	1.9E+09	2.1E+09	2.2E+09
前方又は後方入射						
体内 ^{24}Na 比放射能	(Bq/g)	3.3E+02	2.6E+02	2.9E+02	3.2E+02	3.6E+02
体内 ^{24}Na 放射能	(Bq)	3.3E+04	2.6E+04	2.9E+04	3.2E+04	3.6E+04
	(Bq/ cm^3)	4.7E-01	3.6E-01	4.1E-01	4.5E-01	5.0E-01
^{24}Na による体表面 γ 線 1cm線量当量率	($\mu\text{Sv/h}$)	2.2E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.4E-01
前方入射						
^{116}mIn 放射能	(Bq)	4.6E+04	3.4E+04	4.6E+04	5.1E+04	4.0E+04
TLD バッジ ^{116}mIn 放射 能の端窓GM測定	(kcpm)	1.6E+01	1.2E+01	1.6E+01	1.8E+01	1.4E+01
後方入射						
^{116}mIn 放射能	(Bq)	3.7E+03	2.8E+03	3.1E+03	3.4E+03	4.1E+03
TLD バッジ ^{116}mIn 放射 能の端窓GM測定	(kcpm)	1.3E+00	1.0E+00	1.1E+00	1.2E+00	1.5E+00

注：放射能は曝露直後の値。また，ガンマ線 1cm 線量当量率には短半減期核種 (^{38}Cl) の寄与含まず。

表5 様々な臨界事故条件における種々の反応・線量計のレスポンスデータ (体内²⁴Na放射能)

線源条件 Spectrum# Shield (cm) Metal/Solution R(cm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		None	None	None	None	None	None	None	None	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete
		8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0
スペクトルと線量																									
中性子フルエンスΦ _n	cm ⁻²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
>1 MeV	%	53	41	40	39	37	36	36	35	27	24	24	23	23	23	23	23	19	19	19	19	19	19	19	19
1 MeV-0.4 eV	%	47	53	51	50	49	47	46	46	54	46	44	44	43	42	42	41	40	34	34	34	33	33	33	33
<0.4 eV	%	0	6	9	12	14	16	18	19	20	31	32	33	34	35	35	36	42	47	48	48	48	48	48	48
平均エネルギー	MeV	1.60	1.28	1.25	1.23	1.20	1.18	1.16	1.16	0.86	0.76	0.76	0.74	0.74	0.74	0.74	0.75	0.58	0.57	0.57	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59
中性子Φ _n —線量換算係数:																									
個人線量当量H _p (10)	pSv cm ²	372	259	250	242	235	228	223	222	188	154	153	150	149	149	148	148	124	119	118	118	118	118	119	120
組織カーマKt	pGy cm ²	24.6	17.9	17.3	16.8	16.3	15.9	15.5	15.5	12.5	10.4	10.4	10.2	10.2	10.2	10.1	10.2	8.3	8.0	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.2
吸収線量(重粒子)D _{hp}	pGy cm ²	27.3	20.0	19.4	18.8	18.3	17.8	17.5	17.4	13.9	11.8	11.7	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	9.4	9.2	9.2	9.2	9.2	9.3	9.3	9.4
吸収線量(二次γ)H _{ng}	pGy cm ²	1.6	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
吸収線量(合計)D _{hp} +H _{ng}	pGy cm ²	28.9	22.1	21.5	21.0	20.5	20.1	19.8	19.8	16.4	14.5	14.5	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	12.4	12.2	12.2	12.2	12.3	12.3	12.4	12.5
個人吸収線量D _p (10)	pGy cm ²	29.9	22.6	21.9	21.4	20.8	20.3	20.0	19.9	16.5	14.2	14.2	14.0	14.0	13.9	13.9	13.9	11.8	11.6	11.5	11.5	11.6	11.6	11.6	11.8
ガンマ線フルエンスΦ _g	cm ⁻²	0.26	2.11	2.81	3.37	3.66	4.10	4.85	5.22	0.32	1.76	2.30	2.67	2.97	3.38	4.03	4.31	0.68	1.93	2.33	2.62	2.88	3.26	3.84	4.10
平均エネルギー	MeV	1.34	1.34	1.28	1.23	1.26	1.30	1.34	1.35	1.32	1.16	1.12	1.09	1.11	1.13	1.15	1.15	1.61	1.34	1.29	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27
ガンマ線Φ _g —線量換算係数:																									
個人線量当量H _p (10)	pSv cm ²	6.1	6.0	5.7	5.6	5.6	5.8	5.9	5.9	5.5	5.1	4.9	4.8	4.9	5.0	5.0	5.0	6.2	5.5	5.4	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3
個人吸収線量D _p (10)	pGy cm ²	6.1	6.0	5.7	5.6	5.6	5.8	5.9	5.9	5.5	5.1	4.9	4.8	4.9	5.0	5.0	5.0	6.2	5.5	5.4	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3
γ線H _p (10)×Φ _g /Φ _n		1.6	12.6	16.2	18.8	20.7	23.7	28.7	31.0	1.8	9.0	11.3	12.8	14.5	16.7	20.3	21.7	4.2	10.6	12.5	13.8	15.2	17.3	20.4	21.8
ガンマ線H _p (10)/中性子H _p (10)		0.004	0.049	0.065	0.077	0.088	0.104	0.128	0.140	0.009	0.059	0.074	0.085	0.097	0.113	0.137	0.147	0.034	0.089	0.106	0.117	0.128	0.146	0.172	0.182
ガンマ線D _p (10)/中性子D _p (10)		0.053	0.559	0.737	0.879	0.996	1.164	1.435	1.561	0.108	0.632	0.797	0.916	1.039	1.201	1.457	1.558	0.356	0.919	1.083	1.197	1.312	1.491	1.751	1.855
²⁴ Na放射能(RADAPAS組み込み吸収線量に基づく)																									
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	(Ba/g)/cm ²	1.64E-07	1.61E-07	1.59E-07	1.57E-07	1.56E-07	1.54E-07	1.53E-07	1.52E-07	1.55E-07	1.47E-07	1.46E-07	1.45E-07	1.44E-07	1.44E-07	1.43E-07	1.43E-07	1.40E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.35E-07	1.34E-07	1.34E-07	1.34E-07
中性子Φ _n —吸収線量換算係数	重粒子	13.8	10.7	10.4	9.9	9.7	9.5	9.3	9.2	4.5	4.3	4.2	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3
二次γ線	pGy cm ²	2.1	2.0	2.0	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.9	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
全身中 ²⁴ Na放射能当たりの中性子吸収線量																									
中性子吸収線量(重粒子)*	Gy/(Ba/g)	8.44E-05	6.62E-05	6.52E-05	6.30E-05	6.23E-05	6.16E-05	6.09E-05	6.07E-05	4.56E-05	4.08E-05	4.07E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.02E-05	4.03E-05	3.20E-05	3.17E-05	3.15E-05	3.13E-05	3.16E-05	3.17E-05	3.20E-05	3.25E-05
中性子吸収線量(二次ガンマ線)*	Gy/(Ba/g)	1.29E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.24E-05	1.23E-05	1.26E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.24E-05	1.22E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.20E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.20E-05	1.19E-05	1.19E-05
中性子吸収線量(合計)	Gy/(Ba/g)	9.72E-05	7.89E-05	7.78E-05	7.53E-05	7.49E-05	7.41E-05	7.34E-05	7.31E-05	5.80E-05	5.30E-05	5.28E-05	5.23E-05	5.23E-05	5.23E-05	5.24E-05	5.24E-05	4.40E-05	4.36E-05	4.35E-05	4.31E-05	4.34E-05	4.36E-05	4.40E-05	4.44E-05
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	(Ba/g)/Gy	1.06E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.4E-04	1.4E-04	1.7E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	Ba/Gy	1.06E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.4E-04	1.4E-04	1.7E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	1.9E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	(Ba/g)/Gy	1.4E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	2.4E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01
中性子吸収線量1Gy当たりの腹部表面でのγ線1cm線量当量率(曝露直後)	立位 μSv/h	6.9E+00	8.5E+00	8.6E+00	8.9E+00	8.9E+00	9.0E+00	9.1E+00	9.1E+00	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01
前屈座位	μSv/h	1.0E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.4E+01	1.7E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	2.2E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.2E+01
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	(Ba/g)/cm ²	7.59E-08	7.37E-08	7.28E-08	7.21E-08	7.14E-08	7.07E-08	7.01E-08	7.00E-08	6.99E-08	6.66E-08	6.63E-08	6.59E-08	6.57E-08	6.54E-08	6.52E-08	6.51E-08	6.34E-08	6.18E-08	6.16E-08	6.15E-08	6.14E-08	6.13E-08	6.12E-08	6.13E-08
中性子Φ _n —吸収線量換算係数	重粒子	8.0	6.4	6.0	6.1	5.7	5.6	5.5	5.4	4.1	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6
二次γ線	pGy cm ²	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
全身中 ²⁴ Na放射能当たりの中性子吸収線量																									
中性子吸収線量(重粒子)*	Gy/(Ba/g)	1.06E-04	8.73E-05	8.29E-05	8.46E-05	7.95E-05	7.86E-05	7.78E-05	7.73E-05	5.85E-05	5.25E-05	5.20E-05	5.17E-05	5.17E-05	5.16E-05	5.18E-05	5.20E-05	4.13E-05	4.08E-05	4.07E-05	4.03E-05	4.07E-05	4.09E-05	4.13E-05	4.18E-05
中性子吸収線量(二次ガンマ線)*	Gy/(Ba/g)	1.25E-05	1.27E-05	1.22E-05	1.26E-05	1.20E-05	1.21E-05	1.20E-05	1.20E-05	1.19E-05	1.16E-05	1.15E-05	1.15E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.15E-05	1.15E-05	1.14E-05	1.13E-05	1.13E-05	1.13E-05	1.13E-05	1.13E-05	1.13E-05	1.13E-05
中性子吸収線量(合計)	Gy/(Ba/g)	1.18E-04	1.00E-04	9.51E-05	9.71E-05	9.15E-05	9.07E-05	8.98E-05	8.93E-05	7.04E-05	6.40E-05	6.35E-05	6.32E-05	6.33E-05	6.32E-05	6.33E-05	6.34E-05	5.27E-05	5.21E-05	5.19E-05	5.16E-05	5.20E-05	5.22E-05	5.26E-05	5.31E-05
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	(Ba/g)/Gy	8.5E+03	1.0E+04	1.1E+04	1.0E+04	1.1E+04	1.1E+04	1.1E+04	1.1E+04	1.4E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	Ba/Gy	8.5E+03	1.0E+04	1.1E+04	1.0E+04	1.1E+04	1.1E+04	1.1E+04	1.1E+04	1.4E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	(Ba/g)/Gy	1.2E+01	1.4E+01	1.5E+01	1.4E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.6E+01	1.6E+01	2.0E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.6E+01
γ線1cm線量当量率(曝露直後)	立位 μSv/h	5.7E+00	6.7E+00	7.0E+00	6.9E+00	7.3E+00	7.4E+00	7.5E+00	7.5E+00	9.5E+00	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01
前屈座位	μSv/h	8.4E+00	9.9E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E																	

表 5 (続き)

スペクトルと線量 線量計等のレスポンス		線源条件		Spectrum#	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48						
		Shield (cm)	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete						
		Metal/Solution R(cm)	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution					
			8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0
中性子フルエンスφ _n		cm ⁻²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
>1 MeV		%	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	16	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	
1 MeV-0.4 eV		%	31	28	28	28	28	28	28	28	28	28	26	25	25	25	25	25	25	25	23	23	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	24	
<0.4 eV		%	53	55	54	55	55	55	55	55	55	55	58	58	59	59	59	58	58	58	61	60	60	61	61	60	59	58	58	58	58	58	58	
平均エネルギー		MeV	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.43	0.45	0.46	0.45	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	0.42	0.43	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44	0.47	0.46	0.42	0.43	0.43	0.43	0.46	
中性子φ _n —線量換算係数:																																		
個人線量当量H _p (10)		pSv cm ²	104	107	108	107	108	109	109	108	98	102	102	103	103	103	105	105	97	100	99	100	102	101	106	105	104	107	107	107	107	107	107	
組織カーマK _t		pGy cm ²	7.0	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.4	7.5	7.4	6.6	7.0	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1	7.2	6.7	6.9	6.8	6.9	7.0	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	
吸収線量(重粒子)D _{hp}		pGy cm ²	8.1	8.4	8.5	8.4	8.5	8.6	8.6	8.6	7.7	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.4	8.3	7.7	8.0	7.9	8.0	8.1	8.2	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	
吸収線量(二次γ)H _{ng}		pGy cm ²	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
吸収線量(合計)D _{hp} +H _{ng}		pGy cm ²	11.2	11.5	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.7	11.8	11.7	10.9	11.3	11.3	11.3	11.4	11.4	11.6	11.5	11.0	11.2	11.1	11.2	11.4	11.4	11.8	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7
個人吸収線量D _p (10)		pGy cm ²	10.4	10.7	10.7	10.7	10.8	10.8	10.9	10.9	9.9	10.3	10.3	10.4	10.4	10.5	10.6	10.6	10.0	10.2	10.1	10.2	10.4	10.4	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
ガンマ線フルエンスφ _g		cm ⁻²	1.14	2.33	2.68	2.94	3.20	3.56	4.12	4.44	1.70	2.86	3.20	3.43	3.73	4.07	4.65	4.87	2.35	3.55	3.88	4.14	4.43	4.82	5.46	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	
平均エネルギー		MeV	1.70	1.48	1.45	1.43	1.41	1.41	1.40	1.39	1.74	1.59	1.56	1.55	1.54	1.52	1.52	1.50	1.76	1.67	1.66	1.66	1.64	1.62	1.60	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	
ガンマ線φ _g —線量換算係数:																																		
個人線量当量H _p (10)		pSv cm ²	6.5	5.9	5.8	5.7	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	6.6	6.2	6.1	6.1	6.0	6.0	6.0	5.9	6.6	6.4	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	
個人吸収線量D _p (10)		pGy cm ²	6.5	5.9	5.8	5.7	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	6.6	6.2	6.1	6.1	6.0	6.0	6.0	5.9	6.6	6.4	6.3	6.3	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	
γ線H _p (10)×φ _g /D _{hp}			7.3	13.7	15.5	16.8	18.2	20.2	23.2	24.7	11.1	17.6	19.5	20.8	22.5	24.3	27.7	28.7	15.6	22.6	24.6	26.2	27.9	30.0	33.7	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	
ガンマ線H _p (10) / 中性子H _p (10)			0.070	0.128	0.143	0.157	0.169	0.186	0.213	0.229	0.113	0.172	0.190	0.202	0.218	0.235	0.265	0.274	0.160	0.225	0.248	0.262	0.275	0.296	0.319	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	
ガンマ線D _p (10) / 中性子D _p (10)			0.707	1.280	1.441	1.568	1.686	1.861	2.130	2.280	1.121	1.704	1.883	2.002	2.159	2.321	2.609	2.715	1.564	2.208	2.431	2.565	2.692	2.894	3.120	3.245	3.245	3.245	3.245	3.245	3.245	3.245	3.245	
²⁴ Na放射能(RADAPAS読み込み吸収線量に基づく)																																		
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能		(Bq/g)cm ²	1.31E-07	1.30E-07	1.30E-07	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07	1.29E-07	1.27E-07	1.27E-07	1.26E-07	1.26E-07	1.26E-07	1.26E-07	1.26E-07	1.27E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.24E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	1.25E-07	
重粒子		pGy cm ²	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	
二次γ線		pGy cm ²	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																																		
中性子吸収線量(重粒子) *		Gy/(Bq/g)	2.68E-05	2.77E-05	2.78E-05	2.80E-05	2.79E-05	2.80E-05	2.84E-05	2.84E-05	2.44E-05	2.53E-05	2.58E-05	2.46E-05	2.57E-05	2.61E-05	2.65E-05	2.62E-05	2.37E-05	2.43E-05	2.41E-05	2.46E-05	2.49E-05	2.49E-05	2.63E-05	2.55E-05	2.55E-05	2.55E-05	2.55E-05	2.55E-05	2.55E-05	2.55E-05	2.55E-05	
中性子吸収線量(二次ガンマ線) *		Gy/(Bq/g)	1.18E-05	1.18E-05	1.17E-05	1.19E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.13E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.18E-05	1.17E-05	1.16E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.16E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	
中性子吸収線量(合計)		Gy/(Bq/g)	3.86E-05	3.95E-05	3.96E-05	3.99E-05	3.97E-05	3.98E-05	4.01E-05	4.02E-05	3.61E-05	3.70E-05	3.75E-05	3.59E-05	3.74E-05	3.78E-05	3.83E-05	3.79E-05	3.53E-05	3.60E-05	3.57E-05	3.63E-05	3.66E-05	3.66E-05	3.79E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.72E-05	
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能		(Bq/g)/Gy	2.6E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.8E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.8E+04	2.7E+04	2.6E+04	2.6E+04	2.6E+04	2.8E+04	2.8E+04	2.8E+04	2.8E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.6E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能		Bq/Gy	2.6E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.8E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.8E+06	2.7E+06	2.6E+06	2.6E+06	2.6E+06	2.8E+06	2.8E+06	2.8E+06	2.8E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.6E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	
中性子D _p (10) 1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能		(Bq/cm ²)/Gy	3.6E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.9E+01	3.8E+01	3.7E+01	3.9E+01	3.7E+01	3.7E+01	3.7E+01	3.7E+01	4.0E+01	3.9E+01	3.9E+01	3.9E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.7E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	

表 5 (続き)

線源条件 スペクトル、線量及び 線量計等のレスポンス		Spectrum#	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
		Shield (cm)	H-conc Metal	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Metal	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Metal	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution	H-conc Solution
		Metal/Solution R(cm)	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0
中性子フルエンスφ _n	cm ⁻²		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
>1 MeV	%		27	27	27	27	27	27	27	28	28	21	23	23	24	24	24	24	19	22	22	22	22	22	22	23
1 MeV-0.4 eV	%		64	59	58	58	57	57	57	57	63	59	59	59	58	58	58	58	61	59	58	59	59	59	58	58
<0.4 eV	%		9	14	15	15	15	16	16	16	17	18	18	18	18	18	17	18	20	19	20	20	19	19	19	19
平均エネルギー	MeV		0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.90	0.90	0.91	0.68	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81	0.81	0.63	0.72	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.77
中性子φ _n -線量換算係数:																										
個人線量当量H _p (10)	μSv cm ²		211	190	191	189	190	191	191	191	162	168	169	171	170	171	173	174	147	159	160	160	161	162	164	165
組織カーマKt	pGy cm ²		13.6	12.5	12.6	12.5	12.6	12.7	12.8	12.8	10.4	11.0	11.1	11.2	11.2	11.3	11.4	11.5	9.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
吸収線量(重粒子)D _{hp}	pGy cm ²		14.9	13.9	14.0	13.9	14.0	14.1	14.2	14.2	11.4	12.1	12.2	12.4	12.4	12.5	12.7	12.7	10.4	11.5	11.5	11.5	11.6	11.7	11.9	12.0
吸収線量(二次γ)H _{ng}	pGy cm ²		2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
吸収線量(合計)D _{hp} + H _{ng}	pGy cm ²		17.2	16.3	16.4	16.4	16.5	16.6	16.6	16.7	14.0	14.7	14.8	14.9	14.9	15.1	15.2	15.3	13.1	14.1	14.1	14.1	14.2	14.3	14.4	14.6
個人吸収線量D _p (10)	pGy cm ²		17.6	16.5	16.6	16.5	16.6	16.7	16.8	16.8	14.1	14.8	14.9	15.0	15.0	15.1	15.3	15.4	13.0	14.1	14.1	14.2	14.2	14.4	14.5	14.6
ガンマ線フルエンスφ _g	cm ⁻²		0.40	1.57	1.94	2.23	2.49	2.86	3.43	3.69	0.84	1.73	1.98	2.13	2.35	2.61	3.03	3.19	1.37	2.05	2.23	2.36	2.49	2.71	3.02	3.13
平均エネルギー	MeV		1.79	1.53	1.48	1.44	1.46	1.45	1.44	1.44	2.21	1.90	1.85	1.82	1.80	1.77	1.73	1.70	2.33	2.12	2.08	2.05	2.04	2.00	1.94	1.94
ガンマ線φ _g -線量換算係数:																										
個人線量当量H _p (10)	μSv cm ²		6.7	6.1	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	7.7	7.0	6.9	6.8	6.8	6.7	6.6	6.6	8.0	7.5	7.5	7.4	7.4	7.3	7.2	7.2
個人吸収線量D _p (10)	pGy cm ²		6.7	6.1	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	7.7	7.0	6.9	6.8	6.8	6.7	6.6	6.6	8.0	7.5	7.5	7.4	7.4	7.3	7.2	7.2
γ線H _{ng} (10)×φ _g /φ _n			2.7	9.6	11.6	13.1	14.8	16.9	20.3	21.9	6.5	12.1	13.8	14.5	15.9	17.5	20.9	20.9	11.0	15.5	16.6	17.4	18.3	19.8	21.6	22.4
ガンマ線H _{ng} (10) / 中性子H _n (10)			0.013	0.051	0.061	0.069	0.078	0.089	0.106	0.115	0.040	0.072	0.081	0.085	0.094	0.102	0.116	0.120	0.074	0.097	0.104	0.109	0.114	0.122	0.132	0.136
ガンマ線D _g (10) / 中性子D _n (10)			0.152	0.582	0.698	0.791	0.887	1.010	1.210	1.300	0.460	0.819	0.915	0.969	1.062	1.157	1.310	1.363	0.840	1.096	1.177	1.231	1.285	1.377	1.490	1.528
²⁴ Na放射能(RADAPAS線内込み吸収線量に基づく)																										
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Bq/g)cm ²		1.64E-07	1.59E-07	1.59E-07	1.58E-07	1.58E-07	1.58E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.59E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.57E-07	1.56E-07	1.56E-07	1.56E-07	1.56E-07	1.56E-07	1.56E-07	1.56E-07
重粒子	pGy cm ²		7.4	7.2	7.3	7.2	7.3	7.4	7.4	7.4	5.8	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.6	6.8	5.3	5.9	6.0	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3
中性子φ _n -吸収線量換算係数	pGy cm ²		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																										
中性子吸収線量(重粒子) *	Gy/(Bq/g)		4.55E-05	4.51E-05	4.57E-05	4.56E-05	4.62E-05	4.68E-05	4.72E-05	4.73E-05	3.62E-05	3.98E-05	4.02E-05	4.06E-05	4.09E-05	4.14E-05	4.21E-05	4.34E-05	3.36E-05	3.78E-05	3.81E-05	3.83E-05	3.84E-05	3.89E-05	3.95E-05	4.03E-05
中性子吸収線量(二次ガンマ線) *	Gy/(Bq/g)		1.25E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.25E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.25E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.22E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.24E-05	1.23E-05	1.23E-05
中性子吸収線量(合計)	Gy/(Bq/g)		5.80E-05	5.76E-05	5.81E-05	5.80E-05	5.86E-05	5.93E-05	5.96E-05	5.97E-05	4.86E-05	5.22E-05	5.26E-05	5.29E-05	5.32E-05	5.38E-05	5.45E-05	5.57E-05	4.59E-05	5.01E-05	5.04E-05	5.06E-05	5.07E-05	5.12E-05	5.18E-05	5.27E-05
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Bq/g)/Gy		1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	2.1E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.8E+04	1.8E+04	2.2E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	1.9E+04	1.9E+04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	Ba/Gy		1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	2.1E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.8E+06	1.8E+06	2.2E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	1.9E+06	1.9E+06
(Ba/cm ²)/Gy			2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.9E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.5E+01	3.1E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01
中性子吸収線量1Gy当たりの腹部表面でのγ線1cm線量当量率(曝露直後)	μSv/h	立位	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.5E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01
重粒子	μSv/h	前屈座位	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	2.2E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																										
中性子吸収線量(重粒子) *	Gy/(Bq/g)		5.84E-05	5.81E-05	5.88E-05	5.85E-05	5.92E-05	6.02E-05	6.08E-05	6.09E-05	4.67E-05	5.13E-05	5.19E-05	5.23E-05	5.28E-05	5.35E-05	5.44E-05	5.46E-05	4.34E-05	4.88E-05	4.92E-05	4.94E-05	4.97E-05	5.02E-05	5.09E-05	5.21E-05
中性子吸収線量(二次ガンマ線) *	Gy/(Bq/g)		1.20E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.18E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.16E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.17E-05
中性子吸収線量(合計)	Gy/(Bq/g)		7.03E-05	6.99E-05	7.06E-05	7.03E-05	7.10E-05	7.20E-05	7.27E-05	7.28E-05	5.85E-05	6.30E-05	6.36E-05	6.40E-05	6.45E-05	6.52E-05	6.62E-05	6.65E-05	5.50E-05	6.06E-05	6.10E-05	6.11E-05	6.14E-05	6.19E-05	6.28E-05	6.39E-05
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Bq/g)/Gy		1.4E+04	1.4E+04	1.4E+04	1.4E+04	1.4E+04	1.4E+04	1.4E+04	1.4E+04	1.7E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.8E+04	1.7E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	Ba/Gy		1.4E+06	1.4E+06	1.4E+06	1.4E+06	1.4E+06	1.4E+06	1.4E+06	1.4E+06	1.7E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.8E+06	1.7E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06
(Ba/g)cm ²			2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	2.4E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.5E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01
中性子D _n (10) 1Gy当たりの腹部表面でのγ線1cm線量当量率(曝露直後)	μSv/h	立位	9.5E+00	9.6E+00	9.5E+00	9.5E+00	9.4E+00	9.3E+00	9.2E+00	9.2E+00	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.2E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.0E+01
重粒子	μSv/h	前屈座位	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.7E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.8E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.6E+01
²⁴ Na放射能(個人吸収線量D _p (10)に基づく)																										
中性子D _n (10) 1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Bq/g)/Gy</																									

表 5 (続き)

線源条件 スペクトル 線量及び 線量計等のレスポンス		Spectrum#	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
		Shield (cm)	H-conc 50	H-conc 50	H-conc 50	H-conc 50	H-conc 50	H-conc 50	H-conc 50	H-conc 50	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	Iron 5	
		Metal/ R(cm)	Solution 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0
スペクトルと線量																										
中性子フルエンスφ _n	cm ⁻²		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
>1 MeV	%		19	21	21	21	21	21	21	22	38	33	33	33	33	34	34	34	23	22	22	22	23	23	23	23
1 MeV-0.4 eV	%		59	58	57	58	58	59	58	58	62	65	65	65	64	64	63	63	77	78	77	77	77	76	76	76
<0.4 eV	%		22	21	21	21	21	20	21	20	0	1	2	2	3	3	3	3	0	0	0	0	0	1	1	1
平均エネルギー	MeV		0.64	0.69	0.69	0.70	0.71	0.69	0.72	0.77	1.13	0.98	0.98	0.98	0.99	1.00	1.01	1.01	0.78	0.70	0.71	0.71	0.71	0.72	0.73	0.73
中性子φ _n →線量換算係数:																										
個人線量当量H _p (10)	μSv cm ²		145	152	153	152	152	154	153	158	345	271	269	267	267	266	266	266	308	261	261	261	260	261	262	263
組織カーマKt	μGy cm ²		9.3	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0	10.0	10.5	20.9	17.0	16.9	16.8	16.8	16.8	16.9	16.9	17.5	15.1	15.2	15.2	15.2	15.2	15.3	15.4
吸収線量(重粒子)D _{hp}	μGy cm ²		10.3	10.9	11.0	10.9	11.0	11.1	11.2	11.6	22.6	18.5	18.4	18.3	18.3	18.4	18.4	18.4	18.3	16.0	16.0	16.0	16.0	16.1	16.2	16.3
吸収線量(二次γ)H _{ng}	μGy cm ²		2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.6	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
吸収線量(合計)D _{hp} +H _{ng}	μGy cm ²		13.0	13.6	13.6	13.6	13.7	13.7	13.8	14.2	24.3	20.5	20.4	20.3	20.4	20.4	20.5	20.5	20.2	18.0	18.0	18.1	18.1	18.1	18.3	18.3
個人吸収線量D _p (10)	μGy cm ²		12.9	13.6	13.6	13.6	13.7	13.7	13.8	14.2	25.5	21.3	21.2	21.1	21.1	21.1	21.2	21.2	21.3	18.9	19.0	19.0	19.0	19.0	19.2	19.2
ガンマ線フルエンスφ _g	cm ⁻²		2.60	3.00	3.16	3.12	3.33	3.36	3.66	3.67	0.19	0.90	1.15	1.34	1.52	1.77	2.16	2.32	0.09	0.32	0.39	0.44	0.50	0.58	0.70	0.75
平均エネルギー	MeV		2.39	2.32	2.32	2.33	2.27	2.26	2.26	2.20	0.99	1.28	1.28	1.28	1.31	1.33	1.34	1.35	0.96	1.38	1.41	1.41	1.43	1.43	1.44	1.43
ガンマ線φ _g →線量換算係数:																										
個人線量当量H _p (10)	μSv cm ²		8.2	8.1	8.1	8.1	7.9	7.9	8.0	7.8	4.7	5.6	5.6	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	4.6	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0
個人吸収線量D _p (10)	μGy cm ²		8.2	8.1	8.1	8.1	7.9	7.9	8.0	7.8	4.7	5.6	5.6	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	4.6	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0
γ線H _γ (10)×φ _g /dm			21.3	24.1	25.5	25.3	26.5	26.6	29.1	28.6	0.9	5.0	6.4	7.4	8.5	10.1	12.4	13.4	0.4	1.9	2.3	2.6	3.0	3.5	4.2	4.5
ガンマ線H _γ (10) / 中性子H _n (10)			0.147	0.159	0.166	0.166	0.174	0.173	0.190	0.181	0.003	0.019	0.024	0.028	0.032	0.038	0.047	0.050	0.001	0.007	0.009	0.010	0.011	0.013	0.016	0.017
ガンマ線D _γ (10) / 中性子D _n (10)			1.648	1.777	1.875	1.862	1.937	1.941	2.115	2.006	0.035	0.237	0.301	0.351	0.404	0.477	0.585	0.631	0.020	0.099	0.121	0.137	0.157	0.182	0.218	0.233
²⁴ Na放射能(RADAPAS読み込み吸収線量に基づく)																										
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Ba/g)/cm ²		1.55E-07	1.55E-07	1.55E-07	1.55E-07	1.55E-07	1.56E-07	1.55E-07	1.55E-07	1.70E-07	1.69E-07	1.68E-07	1.68E-07	1.68E-07	1.67E-07	1.67E-07	1.67E-07	1.74E-07	1.73E-07	1.73E-07	1.73E-07	1.73E-07	1.73E-07	1.72E-07	1.72E-07
重粒子	μGy cm ²		5.3	5.7	5.7	5.7	5.8	5.7	5.9	6.1	10.3	8.7	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	7.5	6.7	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9
二次γ線	μGy cm ²		1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																										
中性子吸収線量(重粒子) *	Gy/(Ba/g)		3.41E-05	3.66E-05	3.66E-05	3.67E-05	3.73E-05	3.67E-05	3.78E-05	3.97E-05	6.08E-05	5.18E-05	5.19E-05	5.19E-05	5.23E-05	5.26E-05	5.33E-05	5.33E-05	4.32E-05	3.86E-05	3.89E-05	3.90E-05	3.92E-05	3.95E-05	4.00E-05	4.00E-05
中性子吸収線量(二次ガンマ線) *	Gy/(Ba/g)		1.23E-05	1.23E-05	1.22E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.22E-05	1.23E-05	1.24E-05	1.28E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.27E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.27E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.26E-05
中性子吸収線量(合計)	Gy/(Ba/g)		4.63E-05	4.89E-05	4.88E-05	4.89E-05	4.96E-05	4.89E-05	5.01E-05	5.20E-05	7.36E-05	6.44E-05	6.45E-05	6.45E-05	6.49E-05	6.53E-05	6.59E-05	6.59E-05	5.59E-05	5.11E-05	5.14E-05	5.15E-05	5.17E-05	5.21E-05	5.25E-05	5.26E-05
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Ba/g)/(Gy)		2.2E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	2.0E+04	1.9E+04	1.4E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.8E+04	2.0E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	Ba/Gy		2.2E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	2.0E+06	1.9E+06	1.4E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.8E+06	2.0E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06
(Ba/cm ²)/Gy			3.0E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.7E+01	1.9E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.5E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01
中性子吸収線量1Gy当たりの腹部表面でのγ線1cm線量当量率(曝露直後)	μSv/h	立位	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01
重粒子	μSv/h	前屈座位	2.1E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.3E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.8E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Ba/g)/cm ²		6.93E-08	6.96E-08	6.95E-08	6.95E-08	6.96E-08	6.99E-08	6.95E-08	6.95E-08	7.62E-08	7.55E-08	7.54E-08	7.53E-08	7.52E-08	7.51E-08	7.49E-08	7.49E-08	7.60E-08	7.57E-08	7.57E-08	7.57E-08	7.57E-08	7.57E-08	7.57E-08	7.57E-08
重粒子	μGy cm ²		3.0	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.6	5.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	4.1	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9
二次γ線	μGy cm ²		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																										
中性子吸収線量(重粒子) *	Gy/(Ba/g)		4.39E-05	4.74E-05	4.72E-05	4.74E-05	4.83E-05	4.74E-05	4.90E-05	5.15E-05	7.67E-05	6.60E-05	6.60E-05	6.59E-05	6.65E-05	6.69E-05	6.77E-05	6.78E-05	5.45E-05	4.92E-05	4.95E-05	4.95E-05	4.96E-05	5.04E-05	5.09E-05	5.09E-05
中性子吸収線量(二次ガンマ線) *	Gy/(Ba/g)		1.16E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.18E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.21E-05	1.22E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.21E-05	1.20E-05	1.20E-05	1.20E-05	1.20E-05	1.21E-05	1.20E-05	1.20E-05
中性子吸収線量(合計)	Gy/(Ba/g)		5.55E-05	5.90E-05	5.88E-05	5.92E-05	5.99E-05	5.90E-05	6.06E-05	6.33E-05	8.90E-05	7.83E-05	7.81E-05	7.81E-05	7.86E-05	7.90E-05	7.98E-05	7.99E-05	6.66E-05	6.12E-05	6.16E-05	6.16E-05	6.18E-05	6.24E-05	6.30E-05	6.30E-05
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能	(Ba/g)/(Gy)		1.8E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.7E+04	1.8E+04	1.6E+04	1.1E+04	1.3E+04	1.3E+04	1.3E+04	1.3E+04	1.3E+04	1.3E+04	1.3E+04	1.5E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能	Ba/Gy		1.8E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.7E+06	1.8E+06	1.6E+06	1.1E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.5E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06
(Ba/g)/cm ²			2.5E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.3E+01	2.4E+01	2.3E+01	2.2E+01	1.6E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	2.1E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01
中性子D _n (10) 1Gy当たりの腹部表面でのγ線1cm線量当量率(曝露直																										

表 5 (続き)

線源条件 スペクトル、線量及び 線量計等のレスポンス		Spectrum#		97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
		Shield	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead
		(cm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	50	50	50	50	50	5	5	5	5	5
		Metal/Solution R(cm)	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution
		8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	20.2	30.0	50.0	8.7	17.4	20.2	30.0	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0
中性子フルエンスφ _n		cm ⁻²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
>1 MeV		%	8	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	3	4	1	1	1	1	1	44	34	33	32	31	30
1 MeV-0.4 eV		%	92	91	91	91	91	91	91	91	97	97	97	97	96	99	99	99	99	99	56	60	58	57	55	54	
<0.4 eV		%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	9	12	14	16	
平均エネルギー		MeV	0.43	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.29	0.28	0.28	0.28	0.29	0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	1.29	1.02	1.00	0.98	0.96	0.95	
中性子φ _n —線量換算係数:																											
個人線量当量H _p (10)		pSv cm ²	244	225	226	226	226	226	227	228	199	190	190	191	193	144	140	140	141	141	357	250	240	233	228	221	220
組織カーマK _t		pGy cm ²	13.1	12.2	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.4	10.7	10.3	10.3	10.3	10.4	8.0	7.8	7.8	7.8	7.8	22.3	16.1	15.5	15.0	14.7	14.4	14.1
吸収線量(重粒子)D _{hp}		pGy cm ²	13.2	12.3	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	10.4	10.0	10.0	10.1	10.2	7.5	7.3	7.4	7.4	7.4	24.3	17.7	17.1	16.6	16.3	15.9	15.6
吸収線量(二次γ)H _{ng}		pGy cm ²	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	1.7	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	
吸収線量(合計)D _{hp} +H _{ng}		pGy cm ²	15.2	14.4	14.4	14.4	14.4	14.5	14.6	14.6	12.5	12.1	12.1	12.2	12.3	9.7	9.5	9.6	9.6	9.6	26.0	19.9	19.3	18.9	18.6	18.2	18.2
個人吸収線量D _p (10)		pGy cm ²	16.1	15.2	15.3	15.3	15.3	15.3	15.4	15.5	13.2	12.8	12.8	12.9	13.0	10.2	10.0	10.0	10.0	10.1	27.1	20.5	19.8	19.3	18.9	18.5	18.5
ガンマ線フルエンスφ _g		cm ⁻²	0.03	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.19	0.23	0.26	0.29	0.34	
平均エネルギー		MeV	1.19	1.60	1.61	1.60	1.61	1.63	1.63	1.61	1.73	1.87	1.85	1.81	1.80	2.18	2.19	2.16	2.25	2.12	1.50	1.65	1.67	1.67	1.69	1.70	
ガンマ線φ _g —線量換算係数:																											
個人線量当量H _p (10)		pSv cm ²	5.1	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.3	6.4	6.8	6.8	6.7	6.7	7.6	7.7	7.6	7.8	7.5	6.6	7.1	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2
個人吸収線量D _p (10)		pGy cm ²	5.1	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.3	6.4	6.8	6.8	6.7	6.7	7.6	7.7	7.6	7.8	7.5	6.6	7.1	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2
γ線H _g (10)×φ _g /φ _n			0.1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	
ガンマ線H _g (10) / 中性子H _n (10)			0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.007	0.008	0.009	0.011	
ガンマ線D _g (10) / 中性子D _n (10)			0.009	0.026	0.030	0.031	0.034	0.037	0.041	0.044	0.009	0.014	0.015	0.015	0.016	0.014	0.015	0.015	0.016	0.015	0.010	0.065	0.082	0.095	0.110	0.130	
²⁴ Na放射能 (RADAPAS線込み吸収線量に基づく)																											
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能		(Bq/e)cm ²	1.76E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.76E-07	1.76E-07	1.76E-07	1.76E-07	1.76E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.75E-07	1.68E-07	1.64E-07	1.62E-07	1.61E-07	1.59E-07	1.57E-07	
重粒子		pGy cm ²	4.5	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	2.1	2.0	2.1	2.1	2.1	11.6	8.9	8.6	8.3	8.1	7.9	
二次γ線		pGy cm ²	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																											
中性子吸収線量(重粒子)*		Gy/(Bq/g)	2.57E-05	2.42E-05	2.44E-05	2.44E-05	2.46E-05	2.46E-05	2.48E-05	2.51E-05	1.83E-05	1.76E-05	1.77E-05	1.78E-05	1.81E-05	1.20E-05	1.17E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.19E-05	6.91E-05	5.41E-05	5.29E-05	5.18E-05	5.12E-05	5.05E-05	
中性子吸収線量(二次ガンマ線)*		Gy/(Bq/g)	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.25E-05	1.24E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.28E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.26E-05	1.25E-05	1.25E-05	
中性子吸収線量(合計)		Gy/(Bq/g)	3.82E-05	3.67E-05	3.69E-05	3.70E-05	3.70E-05	3.71E-05	3.73E-05	3.76E-05	3.07E-05	3.00E-05	3.01E-05	3.03E-05	3.05E-05	2.44E-05	2.40E-05	2.41E-05	2.42E-05	2.42E-05	8.19E-05	6.66E-05	6.55E-05	6.44E-05	6.37E-05	6.30E-05	
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能		(Bq/g)/Gy	2.6E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	2.7E+04	3.3E+04	3.3E+04	3.3E+04	3.3E+04	3.3E+04	4.1E+04	4.2E+04	4.2E+04	4.1E+04	4.1E+04	1.2E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能		Bq/Gy	2.6E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	3.3E+06	3.3E+06	3.3E+06	3.3E+06	3.3E+06	4.1E+06	4.2E+06	4.2E+06	4.1E+06	4.1E+06	1.2E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	
(Bq/cm ²)/Gy			3.7E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.7E+01	4.6E+01	4.7E+01	4.7E+01	4.6E+01	4.6E+01	5.7E+01	5.8E+01	5.8E+01	5.8E+01	5.8E+01	1.7E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	
中性子吸収線量1Gy当たりの腹部表面でのγ線		μSv/h	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.7E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	8.2E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01	
γ線1cm線量当量率(曝露直後)		μSv/h	2.6E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.6E+01	3.2E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.2E+01	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	1.2E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.6E+01	1.6E+01	
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na比放射能		(Bq/e)cm ²	7.52E-08	7.51E-08	7.51E-08	7.51E-08	7.51E-08	7.51E-08	7.51E-08	7.52E-08	7.46E-08	7.45E-08	7.45E-08	7.45E-08	7.45E-08	7.37E-08	7.36E-08	7.37E-08	7.37E-08	7.37E-08	7.62E-08	7.40E-08	7.32E-08	7.25E-08	7.18E-08	7.11E-08	
重粒子		pGy cm ²	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	6.6	5.1	4.9	4.8	4.7	4.6	
二次γ線		pGy cm ²	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	
全身中 ²⁴ Na比放射能当たりの中性子吸収線量																											
中性子吸収線量(重粒子)*		Gy/(Bq/g)	3.22E-05	3.05E-05	3.08E-05	3.08E-05	3.09E-05	3.10E-05	3.12E-05	3.16E-05	2.29E-05	2.20E-05	2.21E-05	2.22E-05	2.26E-05	1.48E-05	1.45E-05	1.46E-05	1.46E-05	1.47E-05	8.88E-05	6.87E-05	6.74E-05	6.60E-05	6.53E-05	6.43E-05	
中性子吸収線量(二次ガンマ線)*		Gy/(Bq/g)	1.20E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.18E-05																

表 5 (続き)

スペクトル、線量及び 線量計等のレスポンス		線源条件		Spectrum#	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	最大	最小	平均			
				Shield	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	
				(cm)	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	50	50	50	50	50	50	50	
				Metal/Solution R(cm)	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	
				42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	20.2	30.0	50.0	8.7	17.4	20.2	30.0	50.0							
中性子フルエンスφ _n				cm ⁻²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
>1 MeV				%	.30	.30	.33	.26	.25	.24	.24	.23	.23	.23	.17	.14	.13	.13	.13	.2	.2	.2	.2	.2	53	1	21			
1 MeV-0.4 eV				%	.52	.52	.67	.68	.67	.65	.64	.62	.61	.60	.83	.81	.79	.75	.73	.88	.94	.93	.92	.91	99	23	58			
<0.4 eV				%	.18	.18	0	6	8	11	13	14	16	17	0	5	8	12	14	0	4	5	6	7	61	0	21			
平均エネルギー				MeV	0.94	0.93	1.02	0.79	0.78	0.76	0.75	0.74	0.73	0.73	0.65	0.50	0.48	0.48	0.48	0.23	0.18	0.18	0.18	0.18	1.6	0.17	0.67			
中性子φ _n —線量換算係数:																														
個人線量当量H _p (10)				pSv cm ²	217	215	335	235	228	222	216	212	208	207	287	206	196	190	188	153	117	116	116	118	372	97	182			
組織カーマK _t				pGy cm ²	14.1	14.0	19.9	14.3	13.8	13.5	13.2	12.9	12.7	12.6	15.9	11.5	10.9	10.7	10.5	8.3	6.3	6.2	6.2	6.3	24.6	6.2	11.4			
吸収線量(重粒子)D _{hp}				pGy cm ²	15.6	15.5	21.2	15.4	14.9	14.6	14.3	13.9	13.7	13.7	16.4	12.0	11.4	11.2	11.0	8.1	6.2	6.1	6.1	6.3	27.3	6.1	12.4			
吸収線量(二次γ)H _{ng}				pGy cm ²	2.4	2.4	1.8	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	1.9	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.2	2.5	2.5	2.5	3.2	1.6	2.5			
吸収線量(合計)D _{hp} +H _{ng}				pGy cm ²	18.0	17.9	23.0	17.6	17.2	16.9	16.6	16.3	16.1	16.1	18.4	14.3	13.8	13.6	13.5	10.3	8.7	8.7	8.7	8.8	28.9	8.7	14.9			
個人吸収線量D _p (10)				pGy cm ²	18.2	18.1	24.2	18.2	17.8	17.4	17.0	16.7	16.5	16.4	19.5	14.9	14.3	14.0	13.9	10.9	9.0	8.9	8.9	9.0						
ガンマ線フルエンスφ _g				cm ⁻²	0.41	0.43	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.6	0.0	1.8			
平均エネルギー				MeV	1.70	1.70	1.40	1.61	1.65	1.65	1.69	1.72	1.71	1.74	1.32	1.55	1.68	1.75	1.86	1.84	2.32	2.43	2.36	2.47	2.5	1.0	1.6			
ガンマ線φ _g —線量換算係数:																														
個人線量当量H _p (10)				pSv cm ²	7.2	7.2	6.3	6.9	7.0	7.0	7.2	7.2	7.2	7.3	6.0	6.6	6.9	7.1	7.3	7.2	8.3	8.6	8.4	8.8	8.8	4.6	6.4			
個人吸収線量D _p (10)				pGy cm ²	7.2	7.2	6.3	6.9	7.0	7.0	7.2	7.2	7.2	7.3	6.0	6.6	6.9	7.1	7.3	7.2	8.3	8.6	8.4	8.8						
γ線Hp(10)×φ _g /φ _n					2.9	3.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	35	0.01	11.40			
ガンマ線H _p (10)/中性子H _p (10)					0.014	0.014	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.33	0.00	0.08			
ガンマ線D _p (10)/中性子D _p (10)					0.161	0.172	0.004	0.012	0.014	0.016	0.018	0.021	0.026	0.027	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	3.24	0.00	0.86			
²⁴ Na放射能 (RADAPAS組み込み吸収線量に基づく)																														
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na放射能				(Bq/g)/cm ²	1.56E-07	1.55E-07	1.71E-07	1.67E-07	1.65E-07	1.64E-07	1.62E-07	1.61E-07	1.59E-07	1.59E-07	1.74E-07	1.71E-07	1.68E-07	1.66E-07	1.64E-07	1.74E-07	1.72E-07	1.71E-07	1.70E-07	1.70E-07						
重粒子				pGy cm ²	7.8	7.7	9.5	7.2	6.9	6.8	6.6	6.5	6.4	6.4	6.4	4.9	4.6	4.6	4.6	4.5	2.6	2.0	2.0	2.0	2.0					
中性子φ _n —吸収線量換算係数				二次γ線	1.9	1.9	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1						
全身中 ²⁴ Na放射能当たりの中性子吸収線量				Gy/(Bq/g)	4.98E-05	4.97E-05	5.52E-05	4.28E-05	4.20E-05	4.14E-05	4.09E-05	4.04E-05	3.99E-05	3.99E-05	3.69E-05	2.86E-05	2.75E-05	2.75E-05	2.76E-05	1.47E-05	1.17E-05	1.16E-05	1.17E-05	1.20E-05						
中性子吸収線量(重粒子)*				Gy/(Bq/g)	1.24E-05	1.25E-05	1.27E-05	1.25E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.26E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.23E-05	1.22E-05	1.23E-05						
中性子吸収線量(二次ガンマ線)*				Gy/(Bq/g)	6.22E-05	6.22E-05	6.80E-05	5.53E-05	5.44E-05	5.38E-05	5.33E-05	5.28E-05	5.23E-05	5.24E-05	4.95E-05	4.10E-05	3.98E-05	3.99E-05	4.00E-05	2.70E-05	2.40E-05	2.39E-05	2.39E-05	2.43E-05						
中性子吸収線量(合計)				Gy/(Bq/g)	1.6E+04	1.6E+04	1.5E+04	1.8E+04	1.8E+04	1.8E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	1.9E+04	2.0E+04	2.4E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.5E+04	3.7E+04	4.2E+04	4.2E+04	4.2E+04	4.1E+04	4.2E+04	1.0E+04	2.2E+04			
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能				Bq/Gy	1.6E+06	1.6E+06	1.5E+06	1.8E+06	1.8E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	2.0E+06	2.4E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.5E+06	3.7E+06	4.2E+06	4.2E+06	4.2E+06	4.1E+06						
中性子吸収線量1Gy当たりの腹部表面でのγ線1cm線量当量率(増露直後)				(Bq/cm ²)/Gy	2.3E+01	2.3E+01	2.1E+01	2.5E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.8E+01	3.4E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	5.2E+01	5.8E+01	5.8E+01	5.8E+01	5.8E+01						
γ線1cm線量当量率(増露直後)				μSv/h	1.1E+01	1.1E+01	9.8E+00	1.2E+01	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.4E+01	1.8E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.7E+01	2.5E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	28.0	6.9	15.0			
前屈座位				μSv/h	1.6E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	2.0E+01	2.4E+01	2.5E+01	2.5E+01	2.5E+01	3.7E+01	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	4.1E+01	41.4	10.2	22.2			
単位中性子フルエンス当たりの全身中 ²⁴ Na放射能				(Bq/g)/cm ²	7.06E-08	7.04E-08	7.61E-08	7.41E-08	7.34E-08	7.28E-08	7.22E-08	7.18E-08	7.10E-08	7.08E-08	7.55E-08	7.40E-08	7.30E-08	7.21E-08	7.15E-08	7.36E-08	7.32E-08	7.29E-08	7.26E-08	7.24E-08						
重粒子				pGy cm ²	4.5	4.5	5.3	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5	2.7	2.5	2.5	2.5	1.3	1.1	1.0	1.0	1.1						
中性子φ _n —吸収線量換算係数				二次γ線	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8						
全身中 ²⁴ Na放射能当たりの中性子吸収線量																														
中性子吸収線量(重粒子)*				Gy/(Bq/g)	6.37E-05	6.35E-05	6.99E-05	5.44E-05	5.35E-05	5.28E-05	5.21E-05	5.14E-05	5.09E-05	5.09E-05	4.64E-05	3.60E-05	3.47E-05	3.47E-05	3.48E-05	1.82E-05	1.44E-05	1.43E-05	1.44E-05	1.47E-05						
中性子吸収線量(二次ガンマ線)*				Gy/(Bq/g)	1.19E-05	1.19E-05	1.23E-05	1.20E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.17E-05	1.18E-05	1.18E-05	1.17E-05	1.17E-05	1.18E-05	1.16E-05	1.16E-05	1.15E-05	1.15E-05						
中性子吸収線量(合計)				Gy/(Bq/g)	7.56E-05	7.54E-05	8.19E-05	6.63E-05	6.54E-05	6.47E-05	6.40E-05	6.31E-05	6.27E-05	6.27E-05	5.81E-05	4.78E-05	4.64E-05	4.64E-05	4.65E-05	3.00E-05	2.59E-05	2.58E-05	2.59E-05	2.62E-05						
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能				(Bq/g)/Gy	1.3E+04	1.3E+04	1.2E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.5E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.6E+04	1.7E+04	2.1E+04	2.2E+04	2.2E+04	2.1E+04	3.3E+04	3.9E+04	3.9E+04	3.9E+04	3.8E+04	3.9E+04					
中性子吸収線量1Gy当たりの全身中 ²⁴ Na放射能				(Bq/g)/cm ²	1.9E+01	1.9E+01	1.7E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01																	

表6 様々な臨界事故条件における核反応・線量計レスポンスデータ
(毛髪中 ^{32}P 放射能, TLD バッジ $^{115\text{m}}\text{In}$ 及び $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能, TLD 指示値)

線源条件 スペクトル、線量及び 線量計等のレスポンス		Spectrum#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
		Shield	None	None	None	None	None	None	None	None	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete	
		(cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20
		Metal/Solution R(cm)	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution
			8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	
TLD/バッジ放射化インジウム (In-115m)																											
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ⁻²	1.2E-08	9.5E-09	9.2E-09	9.0E-09	8.7E-09	8.6E-09	8.4E-09	8.4E-09	6.3E-09	5.6E-09	5.6E-09	5.5E-09	5.5E-09	5.6E-09	5.6E-09	5.6E-09	4.4E-09	4.5E-09	4.5E-09	4.5E-09	4.5E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.7E-09	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	398	421	422	422	421	421	421	421	381	394	396	395	397	399	400	400	376	391	391	391	393	394	395	397	
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ⁻²	1.5E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.2E-09	1.2E-09	1.2E-09	1.2E-09	1.2E-09	8.2E-10	7.6E-10	7.6E-10	7.5E-10	7.6E-10	7.7E-10	7.8E-10	7.8E-10	6.0E-10	6.3E-10	6.3E-10	6.3E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.7E-10	6.7E-10	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	51	57	57	58	58	59	59	60	50	53	54	54	55	55	56	56	51	55	55	55	55	56	57	57	
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ⁻²	8.7E-09	7.0E-09	6.8E-09	6.7E-09	6.5E-09	6.3E-09	6.2E-09	6.2E-09	4.6E-09	4.1E-09	4.2E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.1E-09	3.3E-09	3.3E-09	3.3E-09	3.3E-09	3.4E-09	3.4E-09	3.4E-09	3.5E-09	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	290	310	311	311	311	311	311	312	312	280	291	293	292	294	296	296	278	290	290	290	292	294	294	295	
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ⁻²	9.8E-09	7.9E-09	7.7E-09	7.5E-09	7.2E-09	7.1E-09	7.0E-09	6.9E-09	5.2E-09	4.7E-09	4.7E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.6E-09	3.7E-09	3.8E-09	3.8E-09	3.7E-09	3.8E-09	3.8E-09	3.8E-09	3.9E-09	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	326	348	349	349	349	349	350	349	314	327	328	328	329	331	332	332	312	325	325	325	327	329	329	331	
TLD/バッジ放射化インジウム (In-116m)																											
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ⁻²	8.5E-06	1.8E-05	2.0E-05	2.2E-05	2.3E-05	2.4E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.8E-05	3.6E-05	3.6E-05	3.7E-05	3.7E-05	3.8E-05	3.8E-05	3.8E-05	4.2E-05	4.5E-05	4.5E-05	4.5E-05	4.5E-05	4.6E-05	4.6E-05	4.5E-05	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	2.8E+05	7.9E+05	9.1E+05	1.0E+06	1.1E+06	1.2E+06	1.3E+06	1.3E+06	1.7E+06	2.5E+06	2.5E+06	2.6E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	2.7E+06	3.6E+06	3.9E+06	3.9E+06	4.0E+06	3.9E+06	3.9E+06	3.9E+06	3.9E+06	
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	1.0E+02	2.9E+02	3.3E+02	3.6E+02	4.0E+02	4.3E+02	4.6E+02	4.7E+02	6.0E+02	9.0E+02	9.2E+02	9.5E+02	9.6E+02	9.7E+02	9.8E+02	9.8E+02	1.3E+03	1.4E+03	1.4E+03	1.4E+03	1.4E+03	1.4E+03	1.4E+03	1.4E+03	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	9.7E+01	1.8E+02	1.9E+02	1.9E+02	2.0E+02	2.0E+02	2.0E+02	1.9E+02	5.5E+02	5.5E+02	5.1E+02	4.9E+02	4.7E+02	4.4E+02	4.0E+02	3.8E+02	9.5E+02	7.5E+02	6.9E+02	6.5E+02	6.1E+02	5.7E+02	5.1E+02	4.9E+02	
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ⁻²	2.5E-06	1.9E-06	1.8E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.6E-06	1.6E-06	1.6E-06	1.4E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	9.2E-07	8.8E-07	8.8E-07	8.8E-07	8.8E-07	8.8E-07	8.8E-07	8.9E-07	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	8.3E+04	8.2E+04	8.2E+04	8.1E+04	8.1E+04	8.0E+04	8.0E+04	8.0E+04	8.3E+04	8.0E+04	8.0E+04	8.0E+04	7.9E+04	7.9E+04	7.9E+04	7.9E+04	7.8E+04	7.7E+04	7.6E+04	7.6E+04	7.6E+04	7.6E+04	7.6E+04	7.6E+04	
LLAT	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	3.0E+01	3.0E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.9E+01	3.0E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.9E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.7E+01	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	2.8E+01	1.9E+01	1.7E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.1E+01	2.7E+01	1.8E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.1E+01	2.1E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.1E+01	1.0E+01	9.9E+00	9.6E+00	
AP	単位中性子フルエンス当たりの ³² P放射能	Bq cm ⁻²	1.2E-06	1.8E-06	1.6E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	2.0E-06	2.0E-06	2.0E-06	2.0E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ³² P放射能	Bq/Gy	4.0E+04	7.1E+04	7.5E+04	7.8E+04	8.1E+04	8.4E+04	8.6E+04	8.6E+04	1.0E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.6E+05	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	
PA	単位中性子フルエンス当たりの ³² P放射能	Bq cm ⁻²	1.4E+01	2.6E+01	2.7E+01	2.8E+01	2.9E+01	3.0E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.7E+01	4.8E+01	4.8E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	4.9E+01	5.9E+01	6.1E+01	6.1E+01	6.1E+01	6.1E+01	6.0E+01	5.9E+01	5.9E+01	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの線量1μCi当りの放射能	(Bq/g)/Gy	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	
LAT	単位中性子フルエンス当たりの ³² P放射能	(Bq/g)/cm ²	2.4E+01	2.1E+01	2.0E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.3E+01	9.8E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの線量1μCi当りの放射能	(Bq/g)/Gy	0.81	0.91	0.92	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.79	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90	0.90	0.81	0.87	0.87	0.87	0.89	0.90	0.91	0.91	
スペクトルと線量(γCd: カットオフエネルギー以上の内数)																											
AP	単位中性子フルエンス(γCd)	cm ⁻²	1.00	0.94	0.91	0.88	0.86	0.84	0.82	0.81	0.80	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64	0.58	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	
	中性子個人線量当量H ₀ (γCd)	pSv	372	259	249	241	233	227	221	220	186	150	149	146	146	145	144	144	119	113	113	112	113	113	113	115	
PA	中性子個人吸収線量D ₀ (γCd)	μGy	29.9	22.4	21.7	21.1	20.4	19.9	19.5	19.4	16.0	13.5	13.4	13.1	13.1	13.0	13.0	13.0	10.7	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.4	10.5	
	単位中性子フルエンス(γCd)	cm ⁻²	1.00	0.94	0.91	0.88	0.86	0.84	0.82	0.81	0.80	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64	0.58	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	
TLD/バッジ (UD-809P)																											
AP	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値	pSv cm ²	26	121	151	175	198	220	239	242	259	374	384	395	403	410	415	418	478	527	532	535	537	539	540	537	
	第2素子	pSv cm ²	37	73	75	76	77	77	77	78	85	93	92	92	92	91	91	90	94	91	91	91	90	90	89	89	
PA	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値	pSv cm ²	140	205	205	206	205	204	203	203	220	224	222	221	219	217	216	215	218	208	207	206	205	204	202	202	
	第3素子	pSv cm ²	140	198	194	191	187	183	179	178	194	182	178	175	172	170	167	166	160	143	141	140	138	136	135	135	
RLAT	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値	pSv cm ²	0.38	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.81	0.81	1.05	1.21	1.19	1.20	1.18	1.17	1.16	1.15	1.35	1.26	1.25	1.24	1.22	1.22	1.19	1.18	
	第4素子	pSv cm ²	4.7	8.8	8.9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	12.1	13.5	13.3	13.3	13.2	13.0	12.8	12.8	14.9	13.8	13.8	13.6	13.3	13.2	13.0	12.8	
PA	単位中性子フルエンス当たりのT																										

表 6 (続き)

線源条件 スペクトル、線量及び 線量計等のレスポンス			Spectrum#	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
			Shield (cm)	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 30	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 40	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50	Concrete 50
			Metal/Solution R(cm)	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0	
TLD-β放射化インジウム(In-115m)																												
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	3.9E-09 377	4.2E-09 390	4.2E-09 393	4.2E-09 393	4.2E-09 393	4.3E-09 395	4.3E-09 396	4.3E-09 394	3.8E-09 382	4.0E-09 392	4.1E-09 395	4.1E-09 393	4.1E-09 395	4.1E-09 395	4.2E-09 397	4.1E-09 392	3.9E-09 388	4.0E-09 390	3.9E-09 388	4.0E-09 396	4.1E-09 396	4.1E-09 397	4.3E-09 402	4.3E-09 402		
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	5.5E-10 53	6.0E-10 56	6.1E-10 58	6.1E-10 57	6.2E-10 58	6.3E-10 58	6.4E-10 59	6.4E-10 59	5.5E-10 55	5.9E-10 57	6.1E-10 59	6.0E-10 58	6.1E-10 59	6.3E-10 60	6.4E-10 61	6.3E-10 60	5.8E-10 58	6.1E-10 59	6.0E-10 59	6.1E-10 60	6.3E-10 61	6.3E-10 61	6.9E-10 64	6.9E-10 64		
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	2.9E-09 281	3.1E-09 291	3.1E-09 293	3.1E-09 293	3.2E-09 293	3.2E-09 295	3.2E-09 296	3.2E-09 295	2.8E-09 285	3.0E-09 293	3.1E-09 295	3.0E-09 294	3.1E-09 296	3.1E-09 296	3.2E-09 298	3.1E-09 294	2.9E-09 291	3.0E-09 293	2.9E-09 291	3.0E-09 296	3.1E-09 298	3.1E-09 298	3.3E-09 303	3.3E-09 303		
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	3.3E-09 314	3.5E-09 326	3.5E-09 328	3.5E-09 328	3.5E-09 328	3.6E-09 330	3.6E-09 331	3.6E-09 330	3.2E-09 319	3.4E-09 328	3.4E-09 330	3.4E-09 328	3.4E-09 331	3.5E-09 331	3.5E-09 333	3.5E-09 329	3.2E-09 325	3.3E-09 327	3.3E-09 326	3.3E-09 332	3.4E-09 333	3.4E-09 334	3.7E-09 338	3.7E-09 338		
TLD-β放射化インジウム(In-116m)																												
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	4.8E-05 4.7E+06	4.9E-05 4.6E+06	4.9E-05 4.5E+06	4.9E-05 4.6E+06	4.9E-05 4.5E+06	4.9E-05 4.5E+06	4.9E-05 4.5E+06	4.9E-05 4.5E+06	5.1E-05 5.1E+06	5.1E-05 4.9E+06	5.1E-05 4.9E+06	5.1E-05 4.9E+06	5.1E-05 4.9E+06	5.0E-05 4.8E+06	5.0E-05 4.7E+06	5.0E-05 4.7E+06	5.2E-05 5.2E+06	5.1E-05 5.0E+06	5.1E-05 5.1E+06	5.2E-05 5.1E+06	5.1E-05 5.0E+06	5.1E-05 4.9E+06	5.1E-05 4.7E+06	5.0E-05 4.7E+06		
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	7.8E-07 7.5E+04	8.0E-07 7.5E+04	8.0E-07 7.5E+04	7.9E-07 7.4E+04	8.0E-07 7.4E+04	8.1E-07 7.4E+04	8.1E-07 7.4E+04	8.0E-07 7.4E+04	7.3E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.7E-07 7.3E+04	7.7E-07 7.3E+04	7.2E-07 7.2E+04	7.4E-07 7.2E+04	7.3E-07 7.2E+04	7.4E-07 7.2E+04	7.5E-07 7.2E+04	7.5E-07 7.2E+04	7.7E-07 7.2E+04	7.8E-07 7.2E+04		
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	1.6E-01 1.9E+05	1.2E+01 1.8E+05	1.1E+01 1.8E+05	1.0E+01 1.8E+05	9.9E+00 1.8E+05	9.3E+00 1.8E+05	8.5E+00 1.8E+05	8.1E+00 1.8E+05	1.2E+01 1.9E+05	9.8E+00 1.9E+05	9.1E+00 1.9E+05	8.8E+00 1.9E+05	8.3E+00 1.9E+05	7.9E+00 1.9E+05	7.3E+00 1.9E+05	7.1E+00 1.9E+05	1.0E+01 1.9E+05	8.1E+00 1.9E+05	7.6E+00 1.9E+05	7.3E+00 1.9E+05	7.0E+01 1.9E+05	6.8E+01 1.9E+05	6.6E+01 1.9E+05	6.4E+01 1.9E+05	6.1E+00 1.9E+05	
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	7.8E-07 7.5E+04	8.0E-07 7.5E+04	8.0E-07 7.5E+04	7.9E-07 7.4E+04	8.0E-07 7.4E+04	8.1E-07 7.4E+04	8.1E-07 7.4E+04	8.0E-07 7.4E+04	7.3E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.6E-07 7.3E+04	7.7E-07 7.3E+04	7.7E-07 7.3E+04	7.2E-07 7.2E+04	7.4E-07 7.2E+04	7.3E-07 7.2E+04	7.4E-07 7.2E+04	7.5E-07 7.2E+04	7.5E-07 7.2E+04	7.7E-07 7.2E+04	7.8E-07 7.2E+04		
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	1.6E-01 1.9E+05	1.2E+01 1.8E+05	1.1E+01 1.8E+05	1.0E+01 1.8E+05	9.9E+00 1.8E+05	9.3E+00 1.8E+05	8.5E+00 1.8E+05	8.1E+00 1.8E+05	1.2E+01 1.9E+05	9.8E+00 1.9E+05	9.1E+00 1.9E+05	8.8E+00 1.9E+05	8.3E+00 1.9E+05	7.9E+00 1.9E+05	7.3E+00 1.9E+05	7.1E+00 1.9E+05	1.0E+01 1.9E+05	8.1E+00 1.9E+05	7.6E+00 1.9E+05	7.3E+00 1.9E+05	7.0E+01 1.9E+05	6.8E+01 1.9E+05	6.6E+01 1.9E+05	6.4E+01 1.9E+05	6.1E+00 1.9E+05	
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ² Ba/Gy	4.7E-06 4.5E+05	4.7E-06 4.4E+05	4.7E-06 4.4E+05	4.7E-06 4.4E+05	4.7E-06 4.4E+05	4.7E-06 4.3E+05	4.7E-06 4.3E+05	4.7E-06 4.3E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.7E-06 4.9E+05	4.9E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05	4.8E-06 4.9E+05		
髪放射化(前頭部から採取した頭髮1g中の ²² P放射能)																												
AP	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ²² P放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ²² P放射能	(pBa/g/cm ²) Ba/Gy	8.6E+00 0.83	9.3E+00 0.87	9.4E+00 0.87	9.4E+00 0.88	9.6E+00 0.89	9.7E+00 0.89	1.0E+01 0.91	1.0E+01 0.92	8.5E+00 0.85	9.1E+00 0.89	9.4E+00 0.91	9.3E+00 0.89	9.5E+00 0.91	9.7E+00 0.93	1.0E+01 0.94	9.7E+00 0.93	9.0E+00 0.90	9.4E+00 0.92	9.2E+00 0.91	9.3E+00 0.92	9.7E+00 0.94	9.8E+00 0.95	1.1E+01 0.99	1.1E+01 0.99		
PA	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ²² P放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ²² P放射能	(pBa/g/cm ²) Ba/Gy	7.5E-01 0.07	8.2E-01 0.08	8.3E-01 0.08	8.3E-01 0.08	8.6E-01 0.08	8.7E-01 0.08	9.0E-01 0.08	9.1E-01 0.08	7.6E-01 0.08	8.3E-01 0.08	8.5E-01 0.08	8.4E-01 0.08	8.6E-01 0.08	9.0E-01 0.08	9.4E-01 0.09	9.2E-01 0.09	8.4E-01 0.08	8.8E-01 0.09	8.7E-01 0.09	8.7E-01 0.09	9.4E-01 0.09	9.2E-01 0.09	1.0E+00 0.10	1.0E+00 0.10		
LAT	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ²² P放射能 中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ²² P放射能	(pBa/g/cm ²) Ba/Gy	8.8E+00 0.85	9.5E+00 0.89	9.6E+00 0.90	9.7E+00 0.90	9.9E+00 0.92	1.0E+01 0.92	1.0E+01 0.94	1.0E+01 0.95	8.7E+00 0.88	9.4E+00 0.91	9.7E+00 0.93	9.5E+00 0.92	9.7E+00 0.94	1.0E+01 0.95	1.0E+01 0.97	1.0E+01 0.95	9.2E+00 0.93	9.7E+00 0.94	9.5E+00 0.94	9.6E+00 0.94	1.0E+01 0.97	1.0E+01 0.97	1.1E+01 1.02	1.1E+01 1.02		
スペクトルと線量(＜Cd: カットオフエネルギー以上の内数)																												
	中性子フルエンス(＜Cd)	cm ⁻²	0.47	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.39	0.40	0.40	0.39	0.39	0.40	0.41	0.42		
	中性子個人線量当量H _p (10)(＜Cd)	pSv	98	101	102	101	101	102	103	102	92	96	96	96	96	97	98	98	90	93	92	93	95	95	99	99		
	中性子個人吸収線量D ₀ (10)(＜Cd)	pGy	9.0	9.3	9.4	9.3	9.4	9.4	9.5	9.4	8.4	8.8	8.8	8.9	8.9	9.0	9.2	9.1	8.4	8.7	8.6	8.6	8.8	8.8	9.3	9.3		
TLD-β放射化(UD-809P)																												
AP	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値 第2素子 第3素子 第4素子	pSv cm ² pSv cm ² pSv cm ²	581 91 203	595 87 194	594 87 194	598 87 194	596 87 193	594 86 193	595 87 193	597 86 192	630 86 190	628 84 186	632 84 185	630 84 185	630 84 185	627 84 185	625 84 185	624 83 184	653 83 182	646 82 181	647 83 181	651 82 179	647 81 179	644 82 180	636 82 180	626 83 183		
PA	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値 第2素子 第3素子 第4素子	pSv cm ² pSv cm ² pSv cm ²	1 3 14	1 3 14	1 3 14	1 3 14	1 3 14	1 3 14	2 3 14	2 3 14	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 13 14	1 13 14	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 13 13	1 14 14	1 14 14			
RLAT	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値 第2素子 第3素子 第4素子	pSv cm ² pSv cm ² pSv cm ²	15 17 29	16 14 28	16 14 28	16 14 28	15 14 28	15 14 28	15 14 28	15 14 28	15 13 27	14 13 26	14 13 26	14 13 26	14 13 26	14 12 26	14 12 26	14 12 26	14 12 25	14 12 25	14 12 25	14 11 25	14 11 25	14 12 25	14 12 25	14 12 26		
LLAT	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値 第2素子 第3素子 第4素子	pSv cm ² pSv cm ² pSv cm ²	8 7 17	8 6 17	8 6 17	8 6 17	8 6 17	8 6 17	8 6 17	8 6 17	8 6 17	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16	8 6 16		

表6 (続き)

線源条件		Spectrum#	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
		Shield (cm)	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 10	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 20	H-conc 30	H-conc 30	H-conc 30	H-conc 30	H-conc 30	H-conc 30	H-conc 30	H-conc 30
		Metal/Solution R(cm)	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution
		8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	
TLD-β放射化インジウム(In-115m)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	6.2E-09	6.2E-09	6.3E-09	6.3E-09	6.3E-09	6.4E-09	6.5E-09	6.5E-09	4.8E-09	5.4E-09	5.4E-09	5.5E-09	5.5E-09	5.6E-09	5.7E-09	5.7E-09	4.4E-09	5.1E-09	5.1E-09	5.1E-09	5.1E-09	5.2E-09	5.3E-09	5.3E-09
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	352	376	379	379	381	383	385	386	340	364	366	367	368	370	372	371	338	359	360	360	361	360	364	365
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	7.6E-10	7.9E-10	8.1E-10	8.1E-10	8.2E-10	8.5E-10	8.6E-10	8.7E-10	5.9E-10	6.8E-10	7.0E-10	7.0E-10	7.2E-10	7.3E-10	7.5E-10	7.6E-10	5.5E-10	6.5E-10	6.6E-10	6.6E-10	6.7E-10	6.8E-10	7.0E-10	7.2E-10
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	43	48	49	49	49	51	51	52	42	46	47	47	48	48	49	50	42	46	46	47	47	48	48	49
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	4.5E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.7E-09	4.7E-09	4.8E-09	4.8E-09	3.5E-09	3.9E-09	4.0E-09	4.0E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.2E-09	4.2E-09	3.2E-09	3.7E-09	3.7E-09	3.7E-09	3.8E-09	3.8E-09	3.9E-09	3.9E-09
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	257	276	278	278	280	282	283	284	249	267	269	269	270	272	274	273	247	264	265	265	265	265	268	269
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	5.1E-09	5.1E-09	5.2E-09	5.2E-09	5.2E-09	5.3E-09	5.3E-09	5.4E-09	3.9E-09	4.4E-09	4.5E-09	4.5E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.7E-09	4.7E-09	3.6E-09	4.2E-09	4.2E-09	4.2E-09	4.2E-09	4.3E-09	4.4E-09	4.4E-09
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	288	309	312	312	314	317	318	319	279	300	302	303	304	306	308	307	278	296	297	297	298	297	301	302
TLD-β放射化インジウム(In-116m)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	2.1E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.6E-05	2.8E-05	2.9E-05	2.9E-05	2.9E-05	2.9E-05	2.9E-05	2.9E-05	2.8E-05	2.8E-05	3.1E-05	3.0E-05	3.0E-05	3.0E-05	3.0E-05	3.0E-05	3.0E-05
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	1.2E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	1.6E+06	2.0E+06	2.0E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.9E+06	1.8E+06	2.4E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.0E+06
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	4.3E+02	5.6E+02	5.6E+02	5.6E+02	5.7E+02	5.7E+02	5.7E+02	5.7E+02	7.3E+02	7.1E+02	7.0E+02	6.9E+02	6.9E+02	6.8E+02	6.7E+02	6.7E+02	8.7E+02	7.7E+02	7.7E+02	7.7E+02	7.6E+02	7.5E+02	7.4E+02	7.4E+02
	n・α・D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	3.7E+02	3.5E+02	3.3E+02	3.2E+02	3.0E+02	2.8E+02	2.6E+02	2.5E+02	5.0E+02	3.9E+02	3.7E+02	3.5E+02	3.4E+02	3.2E+02	2.9E+02	2.8E+02	4.7E+02	3.7E+02	3.6E+02	3.5E+02	3.3E+02	3.2E+02	3.0E+02	2.9E+02
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	1.5E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.3E-06	1.2E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.1E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	8.5E+04	8.4E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.5E+04	8.4E+04	8.4E+04	8.4E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.4E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	3.1E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01
	n・α・D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	2.7E+01	1.9E+01	1.8E+01	1.7E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.3E+01	1.3E+01	2.1E+01	1.7E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.6E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	1.6E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.9E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	8.9E+04	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.2E+05	1.2E+05	1.2E+05	1.2E+05	1.2E+05	1.2E+05	1.5E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.3E+05	1.3E+05
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	3.2E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.9E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	4.7E+01	4.5E+01	4.5E+01	4.4E+01	4.4E+01	4.3E+01	4.3E+01	4.3E+01	5.3E+01	4.8E+01	4.8E+01	4.8E+01	4.7E+01	4.6E+01	4.6E+01	4.6E+01
	n・α・D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	2.8E+01	2.4E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.7E+01	1.6E+01	3.2E+01	2.5E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.1E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.8E+01	2.9E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.1E+01	2.1E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.8E+01
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	2.7E-06	3.2E-06	3.2E-06	3.2E-06	3.2E-06	3.2E-06	3.2E-06	3.2E-06	3.4E-06	3.5E-06	3.5E-06	3.5E-06	3.5E-06	3.5E-06	3.4E-06	3.4E-06	3.7E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	1.5E+05	1.9E+05	1.9E+05	2.0E+05	1.9E+05	1.9E+05	1.9E+05	1.9E+05	2.4E+05	2.4E+05	2.3E+05	2.3E+05	2.3E+05	2.3E+05	2.2E+05	2.2E+05	2.8E+05	2.5E+05	2.6E+05	2.5E+05	2.5E+05	2.5E+05	2.4E+05	2.4E+05
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	5.5E+01	7.0E+01	7.0E+01	7.0E+01	7.0E+01	7.0E+01	7.0E+01	6.9E+01	8.7E+01	8.4E+01	8.4E+01	8.3E+01	8.3E+01	8.2E+01	8.1E+01	8.0E+01	1.0E+02	9.2E+01	9.2E+01	9.1E+01	9.1E+01	8.9E+01	8.8E+01	8.8E+01
	n・α・D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	kcpm/Gy	4.8E+01	4.4E+01	4.1E+01	3.9E+01	3.7E+01	3.5E+01	3.1E+01	3.0E+01	6.0E+01	4.7E+01	4.4E+01	4.2E+01	4.0E+01	3.8E+01	3.5E+01	3.4E+01	5.5E+01	4.4E+01	4.2E+01	4.1E+01	4.0E+01	3.8E+01	3.5E+01	3.5E+01
髪放射化 (前頭部から採取した頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能	(pBq/g)cm ²	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	9.0E+00	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.2E+01	1.2E+01	8.4E+00	9.9E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能	(pBq/g)cm ²	0.66	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	0.79	0.79	0.64	0.70	0.71	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.64	0.70	0.70	0.71	0.71	0.72	0.73	0.74
PA	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能	(pBq/g)cm ²	9.6E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.2E+00	7.4E-01	8.7E-01	8.9E-01	9.0E-01	9.3E-01	9.6E-01	9.9E-01	1.0E+00	7.1E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.7E-01	8.9E-01	9.2E-01	9.3E-01	9.7E-01
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能	(pBq/g)cm ²	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
LAT	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能	(pBq/g)cm ²	1.2E+01	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.4E+01	1.4E+01	9.3E+00	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.2E+01	1.2E+01	8.6E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.1E+01	1.1E+01	1.1E+01
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ²¹⁰ Pb放射能	(pBq/g)cm ²	0.68	0.76	0.77	0.77	0.78	0.80	0.81	0.81	0.66	0.72	0.73	0.73	0.75	0.76	0.77	0.77	0.66	0.72	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.76
スペクトルと線量 (Cd カットオフエネルギー以上の内数)																										
	中性子フルエンス (Cd)	cm ⁻²	0.91	0.86	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.82	0.80	0.81	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81
	中性子個人線量当量H _p (10) (Cd)	pSv	210	188	189	188	188	189	189	189	160	166	167	169	168	169	171	172	145	157	157	157	158	160	161	163
	中性子個人吸収線量D ₀ (10) (Cd)	pGy	17.4	16.2	16.2	16.1	16.2	16.3	16.4	16.4	13.7	14.3	14.4	14.5	14.5	14.7	14.9	14.9	12.5	13.6	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1
TLD-β放射化 (UD-809P)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値	pSv cm ²	152	216	220	225	226	228	229	229	245	257	257	255	256	255	251	252	286	274	276	275	271	271	271	271
	第3素子	pSv cm ²	83	92	92	91	91	91	90	100	99	99	98	98	97	97	96	105	101	101	101	101	100	99	100	100
PA	第4素子の熱外中性子による指示値 (Cd)	pSv cm ²	227	237	236	235	235	234	232	232	25															

表6 (続き)

線源条件		Spectrum#	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	
		Shield	H-conc	H-conc	H-conc	H-conc	H-conc	H-conc	H-conc	H-conc	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	Iron	
		(cm)	50	50	50	50	50	50	50	50	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10
		Metal/Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution
		R(cm)	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	
TLD-βγ放射化インジウム(In-115m)																											
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Ba cm ²	4.4E-09	4.8E-09	4.8E-09	4.8E-09	4.9E-09	4.9E-09	4.9E-09	5.1E-09	7.9E-09	7.1E-09	7.1E-09	7.1E-09	7.2E-09	7.2E-09	7.3E-09	7.3E-09	4.6E-09	4.5E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.6E-09	4.7E-09	4.7E-09	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Ba/Gy	339	355	356	352	357	358	357	361	310	335	337	338	340	342	343	344	217	238	240	241	242	244	247	246	
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Ba cm ²	5.6E-10	6.3E-10	6.1E-10	6.3E-10	6.6E-10	6.3E-10	6.6E-10	7.3E-10	8.4E-10	8.1E-10	8.1E-10	8.1E-10	8.3E-10	8.4E-10	8.6E-10	8.6E-10	4.1E-10	4.3E-10	4.3E-10	4.4E-10	4.4E-10	4.6E-10	4.7E-10	4.7E-10	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Ba/Gy	44	46	45	46	48	46	48	51	33	38	38	38	39	40	41	41	19	23	23	23	23	24	24	24	
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Ba cm ²	3.2E-09	3.6E-09	3.5E-09	3.5E-09	3.6E-09	3.6E-09	3.6E-09	3.8E-09	5.6E-09	5.1E-09	5.1E-09	5.1E-09	5.2E-09	5.2E-09	5.3E-09	5.3E-09	3.2E-09	3.2E-09	3.2E-09	3.2E-09	3.2E-09	3.3E-09	3.3E-09	3.3E-09	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Ba/Gy	249	261	261	259	263	263	263	268	221	242	243	243	246	247	249	249	151	167	169	169	171	172	174	174	
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Ba cm ²	3.6E-09	4.0E-09	4.0E-09	4.0E-09	4.0E-09	4.0E-09	4.1E-09	4.3E-09	6.4E-09	5.8E-09	5.8E-09	5.8E-09	5.9E-09	5.9E-09	5.9E-09	5.9E-09	3.7E-09	3.6E-09	3.6E-09	3.6E-09	3.7E-09	3.7E-09	3.8E-09	3.8E-09	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Ba/Gy	279	293	293	293	291	295	295	295	300	249	272	274	274	277	278	280	280	171	189	191	192	193	195	197	197
TLD-βγ放射化インジウム(In-116m)																											
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	3.2E-05	3.2E-05	3.2E-05	3.2E-05	3.2E-05	3.1E-05	3.2E-05	3.1E-05	9.5E-06	1.4E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.6E-05	1.6E-05	1.1E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.4E-05	1.4E-05	1.3E-05	1.3E-05	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	2.5E+06	2.3E+06	2.3E+06	2.3E+06	2.3E+06	2.3E+06	2.3E+06	2.2E+06	3.7E+05	6.7E+05	6.9E+05	7.1E+05	7.2E+05	7.3E+05	7.3E+05	7.3E+05	5.0E+05	7.1E+05	7.1E+05	7.1E+05	7.1E+05	7.1E+05	7.0E+05	7.0E+05	
PA	単位中性子フルエンス当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	9.0E+02	8.4E+02	8.4E+02	8.4E+02	8.4E+02	8.3E+02	8.1E+02	8.3E+02	1.3E+02	2.4E+02	2.5E+02	2.6E+02	2.6E+02	2.6E+02	2.6E+02	2.6E+02	1.8E+02	2.5E+02	2.5E+02	2.6E+02	2.6E+02	2.6E+02	2.5E+02	2.5E+02	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	3.4E+02	3.0E+02	2.9E+02	2.9E+02	2.8E+02	2.8E+02	2.8E+02	2.6E+02	1.3E+02	2.0E+02	1.9E+02	1.9E+02	1.8E+02	1.8E+02	1.7E+02	1.6E+02	1.8E+02	2.3E+02	2.3E+02	2.2E+02	2.2E+02	2.2E+02	2.1E+02	2.0E+02	
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.2E-06	2.2E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.9E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.7E-06	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	8.3E+04	8.3E+04	8.4E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.3E+04	8.2E+04	8.2E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.5E+04	8.5E+04	8.5E+04	8.8E+04	8.9E+04	8.8E+04	8.8E+04	8.8E+04	8.8E+04	8.8E+04	8.8E+04	
PA	単位中性子フルエンス当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	2.9E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	1.1E+01	1.1E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	1.0E+01	9.5E+00	9.8E+00	3.0E+01	2.5E+01	2.4E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.1E+01	1.9E+01	1.9E+01	3.1E+01	2.9E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.6E+01	2.6E+01	
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.9E-06	1.1E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	9.7E-07	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	1.5E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.3E+05	4.2E+04	6.5E+04	6.6E+04	6.7E+04	6.7E+04	6.8E+04	6.7E+04	6.7E+04	4.5E+04	6.3E+04	6.3E+04	6.3E+04	6.3E+04	6.3E+04	6.3E+04	6.2E+04	
PA	単位中性子フルエンス当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	5.4E+01	5.1E+01	5.1E+01	5.1E+01	5.1E+01	5.1E+01	5.0E+01	4.8E+01	1.5E+01	2.3E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	2.4E+01	1.6E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.2E+01	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	2.0E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.7E+01	1.7E+01	1.6E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.9E+01	1.8E+01	1.8E+01	1.7E+01	1.6E+01	1.5E+01	1.5E+01	1.6E+01	2.1E+01	2.0E+01	2.0E+01	2.0E+01	1.9E+01	1.9E+01	1.8E+01	
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Ba cm ²	3.8E-06	3.7E-06	3.7E-06	3.7E-06	3.7E-06	3.7E-06	3.7E-06	3.6E-06	1.5E-06	2.1E-06	2.1E-06	2.2E-06	2.2E-06	2.2E-06	2.2E-06	2.2E-06	1.4E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	1.8E-06	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Ba/Gy	2.9E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	5.8E+04	9.8E+04	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	6.4E+04	9.3E+04	9.4E+04	9.5E+04	9.5E+04	9.5E+04	9.4E+04	9.3E+04	
PA	単位中性子フルエンス当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	1.1E+02	9.9E+01	9.9E+01	9.9E+01	9.9E+01	9.9E+01	9.7E+01	9.2E+01	2.1E+01	3.5E+01	3.6E+01	3.7E+01	3.7E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	2.3E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの線量GM計数率	kcpm/Gy	4.0E+01	3.5E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.3E+01	3.1E+01	3.1E+01	2.0E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.6E+01	2.4E+01	2.3E+01	2.3E+01	3.1E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	2.9E+01	2.8E+01	2.7E+01	
髪放射化(前頭部から採取した頭髮1g中の ³² P放射能)																											
AP	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(μBa/g)/cm ²	8.5E+00	9.4E+00	9.1E+00	9.5E+00	9.9E+00	9.5E+00	1.0E+01	1.1E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	5.9E+00	6.2E+00	6.3E+00	6.3E+00	6.5E+00	6.7E+00	6.8E+00	6.8E+00	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(Ba/g)/Gy	0.65	0.70	0.67	0.70	0.72	0.70	0.73	0.77	0.49	0.57	0.58	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.28	0.33	0.33	0.33	0.34	0.35	0.36	0.35	
PA	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(μBa/g)/cm ²	7.5E-01	8.4E-01	7.8E-01	8.6E-01	9.1E-01	8.3E-01	9.0E-01	1.1E+00	1.0E+00	9.8E-01	9.9E-01	1.0E+00	1.0E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	4.6E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.4E-01	5.6E-01	5.6E-01	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(Ba/g)/Gy	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
LAT	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(μBa/g)/cm ²	8.7E+00	9.7E+00	9.4E+00	9.8E+00	1.0E+01	9.8E+00	1.0E+01	1.1E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	6.0E+00	6.3E+00	6.4E+00	6.5E+00	6.6E+00	6.8E+00	7.0E+00	7.0E+00	
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ³² P放射能																										

表 6 (続き)

線源条件		Spectrum#	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
		Shield (cm)	Iron 20	Iron 20	Iron 20	Iron 20	Iron 20	Iron 20	Iron 20	Iron 20	Iron 30	Iron 30	Iron 30	Iron 30	Iron 30	Iron 50	Iron 50	Iron 50	Iron 50	Iron 50	Lead 5	Lead 5	Lead 5	Lead 5	Lead 5	Lead 5
		Metal/Solution R(cm)	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0	Solution 42.4	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 20.2	Solution 30.0	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 20.2	Solution 30.0	Solution 50.0	Metal 8.7	Solution 17.4	Solution 18.6	Solution 20.2	Solution 23.8	Solution 30.0
TLD/バッチ放射化インジウム (In-115m)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	1.6E-09	1.7E-09	1.7E-09	1.7E-09	1.7E-09	1.7E-09	1.8E-09	1.8E-09	6.3E-10	6.7E-10	6.7E-10	6.9E-10	7.2E-10	1.5E-10	1.5E-10	1.6E-10	1.6E-10	1.6E-10	9.4E-09	7.5E-09	7.3E-09	7.1E-09	7.0E-09	6.8E-09
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	99	109	111	112	112	113	115	116	47	52	53	54	55	15	15	16	16	16	345	366	367	367	367	368
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	1.1E-09	1.1E-09	1.1E-09	1.1E-09	1.1E-09	1.2E-09	1.2E-09	1.2E-09	4.0E-10	4.3E-10	4.3E-10	4.4E-10	4.6E-10	8.8E-11	9.0E-11	9.2E-11	9.4E-11	9.5E-11	6.7E-09	5.4E-09	5.3E-09	5.1E-09	5.1E-09	5.0E-09
LLAT	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	66	73	75	75	75	76	77	78	30	33	34	34	35	9	9	9	9	9	248	266	267	266	267	268
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	1.2E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.4E-09	1.4E-09	4.6E-10	4.9E-10	5.0E-10	5.1E-10	5.3E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.1E-10	1.1E-10	1.1E-10	7.6E-09	6.1E-09	5.9E-09	5.8E-09	5.7E-09	5.6E-09
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	75	84	85	86	86	87	88	89	34	38	39	39	41	10	10	11	11	11	280	299	300	300	300	301
TLD/バッチ放射化インジウム (In-116m)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	1.2E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.3E-05	1.4E-05	1.4E-05	1.4E-05	1.4E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05	9.1E-06	1.8E-05	2.0E-05	2.2E-05	2.3E-05	2.5E-05
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	7.6E+05	8.7E+05	8.7E+05	8.7E+05	8.7E+05	8.7E+05	8.8E+05	8.8E+05	1.0E+06	1.1E+06	1.1E+06	1.1E+06	1.1E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	3.4E+05	8.9E+05	1.0E+06	1.1E+06	1.2E+06	1.3E+06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	2.7E+02	3.1E+02	3.1E+02	3.1E+02	3.1E+02	3.1E+02	3.1E+02	3.1E+02	3.6E+02	3.9E+02	3.9E+02	3.9E+02	3.8E+02	5.2E+02	5.4E+02	5.4E+02	5.4E+02	5.3E+02	1.2E+02	3.2E+02	3.7E+02	4.1E+02	4.4E+02	4.8E+02
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	2.7E+02	3.1E+02	3.0E+02	3.0E+02	3.0E+02	3.0E+02	3.0E+02	3.0E+02	3.6E+02	3.8E+02	3.8E+02	3.8E+02	3.7E+02	5.2E+02	5.3E+02	5.3E+02	5.3E+02	5.3E+02	1.2E+02	3.0E+02	3.4E+02	3.7E+02	4.0E+02	4.2E+02
PA	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	1.5E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	9.6E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	2.3E-06	1.7E-06	1.7E-06	1.6E-06	1.6E-06	1.5E-06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	9.1E+04	9.1E+04	9.1E+04	9.1E+04	9.1E+04	9.1E+04	9.1E+04	9.1E+04	9.2E+04	9.2E+04	9.2E+04	9.2E+04	9.2E+04	9.4E+04	9.5E+04	9.5E+04	9.5E+04	9.5E+04	8.5E+04	8.5E+04	8.4E+04	8.4E+04	8.4E+04	8.3E+04
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.0E+01	2.9E+01	2.8E+01	2.8E+01	2.7E+01	2.7E+01
RLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	8.8E-07	9.8E-07	9.8E-07	9.8E-07	9.8E-07	9.8E-07	9.8E-07	9.8E-07	8.8E-07	9.3E-07	9.3E-07	9.3E-07	9.3E-07	9.4E-07	9.6E-07	9.6E-07	9.6E-07	9.5E-07	1.1E-06	1.5E-06	1.6E-06	1.6E-06	1.6E-06	1.6E-06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	5.5E+04	6.4E+04	6.4E+04	6.4E+04	6.4E+04	6.4E+04	6.4E+04	6.4E+04	6.7E+04	7.2E+04	7.2E+04	7.2E+04	7.1E+04	9.2E+04	9.6E+04	9.5E+04	9.5E+04	9.5E+04	4.1E+04	7.5E+04	8.0E+04	8.3E+04	8.6E+04	8.9E+04
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	2.0E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.4E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.6E+01	3.3E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	1.5E+01	2.7E+01	2.9E+01	3.0E+01	3.1E+01	3.2E+01
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	2.0E+01	2.3E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.2E+01	2.4E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.6E+01	2.5E+01	3.3E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	1.5E+01	2.5E+01	2.7E+01	2.7E+01	2.8E+01	2.8E+01
LLAT	単位中性子フルエンス当たりの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	1.3E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.3E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.5E-06	2.5E-06	2.7E-06	2.8E-06	2.9E-06	3.0E-06
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	8.0E+04	9.6E+04	9.6E+04	9.6E+04	9.6E+04	9.6E+04	9.6E+04	9.5E+04	9.9E+04	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.1E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	1.4E+05	5.6E+04	1.2E+05	1.4E+05	1.5E+05	1.5E+05	1.6E+05
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	2.9E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.5E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.6E+01	3.9E+01	3.9E+01	3.9E+01	3.8E+01	5.0E+01	5.2E+01	5.2E+01	5.1E+01	5.1E+01	2.0E+01	4.4E+01	4.9E+01	5.3E+01	5.5E+01	5.8E+01
	n+γD ₀ (10) 1Gy当たりの端窓GM計数率	kcpm/Gy	2.9E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.3E+01	3.5E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	3.8E+01	4.9E+01	5.1E+01	5.1E+01	5.1E+01	5.0E+01	2.0E+01	4.2E+01	4.5E+01	4.8E+01	5.0E+01	5.2E+01
髪放射化(前頭部から採取した頭髮1g中の ³² P放射能)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(pBq/g)/cm ²	1.2E+00	1.4E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.6E+00	2.6E-01	3.1E-01	3.2E-01	3.3E-01	3.4E-01	1.1E-02	1.5E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.1E-02	1.6E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(Bq/g)/Gy	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.66	0.67	0.67	0.68	0.69
	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(pBq/g)/cm ²	8.9E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.1E-01	1.1E-01	1.1E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.8E-02	2.1E-02	2.3E-02	2.4E-02	2.3E-02	5.1E-04	9.7E-04	4.1E-04	6.6E-04	2.4E-04	1.3E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00	1.1E+00
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(Bq/g)/Gy	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
LAT	単位中性子フルエンス当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(pBq/g)/cm ²	1.2E+00	1.4E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.5E+00	1.6E+00	2.6E-01	3.1E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.5E-01	1.1E-02	1.5E-02	1.3E-02	1.4E-02	1.1E-02	1.6E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.3E+01
	中性子D ₀ (10) 1Gy当たりの頭髮1g中の ³² P放射能	(Bq/g)/Gy	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.68	0.69	0.69	0.70	0.71
スペクトルと線量(>Cd: カットオフエネルギー以上の内数)																										
	中性子フルエンス(>Cd)	cm ⁻²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.91	0.88	0.86	0.84
	中性子個人線量当量H _p (10)(>Cd)	pSv	244	225	225	226	226	226	227	228	199	190	190	191	193	144	140	140	141	141	357	249	239	231	226	220
	中性子個人吸収線量D _p (10)(>Cd)	pGy	16.1	15.2	15.3	15.3	15.3	15.3	15.4	15.5	13.2	12.8	12.8	12.9	13.0	10.2	10.0	10.0	10.0	10.1	27.1	20.3	19.6	19.0	18.6	18.1
TLD/バッチ(UD-809P)																										
AP	単位中性子フルエンス当たりのTLD指示値	pSv cm ²	43	50	50	50	50	50	50	50	49	52	52	52	52	58	59	59	59	59	28	122	151	176	195	218
	第3素子	pSv cm ²	57	64	64	64	64	64	64	64	64	67	67	67	67	74	75	75	75	75	40	75	77	79	79	79
	第4素子	pSv cm ²	197	211	211	211	211	211	211	210	213	220	220	219	219	235	237	237	237	237	150	212	214	214	212	211
	第4素子の熱外中性子による指示値(>Cd)	pSv	197	211	211	211	211	211	210	210	213	220	220	219	219	235	237	237	237	237	150	205	203	199	195	190
	中性子H _p (10) 1Sv当たりの第4素子の熱外中性子指示	Sv/Sv	0.81	0.94	0.93	0.93																				

表 6 (続き)

線源条件		Spectrum#	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	最大	最小	平均
		Shield	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead	Lead			
		(cm)	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	50	50	50	50			
		Metal/Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution	Solution	Metal	Solution	Solution	Solution			
Metal/Solution R(cm)		42.4	50.0	8.7	17.4	18.6	20.2	23.8	30.0	42.4	50.0	8.7	17.4	20.2	30.0	50.0	8.7	17.4	20.2	30.0	50.0				
TLD-β放射化インジウム (In-115m)																									
AP	単位中性子フルエンス当りの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	6.7E-09	6.7E-09	6.9E-09	5.5E-09	5.3E-09	5.2E-09	5.1E-09	5.0E-09	5.0E-09	3.4E-09	2.8E-09	2.6E-09	2.6E-09	2.7E-09	4.6E-10	3.8E-10	3.8E-10	3.8E-10	3.9E-10				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	368	368	283	299	300	300	300	300	302	176	186	184	188	193	42	42	42	42	43	44			
PA	単位中性子フルエンス当りの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	8.3E-10	8.3E-10	6.7E-10	5.7E-10	5.6E-10	5.5E-10	5.4E-10	5.4E-10	5.4E-10	2.5E-10	2.2E-10	2.1E-10	2.2E-10	2.2E-10	1.3E-11	1.3E-11	1.3E-11	1.3E-11	1.4E-11				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	46	46	27	31	31	32	32	32	33	13	15	15	15	16	1	1	1	1	1	2			
RLAT	単位中性子フルエンス当りの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	4.9E-09	4.9E-09	4.8E-09	3.9E-09	3.8E-09	3.7E-09	3.7E-09	3.6E-09	3.6E-09	2.3E-09	1.9E-09	1.8E-09	1.8E-09	1.9E-09	2.8E-10	2.4E-10	2.4E-10	2.4E-10	2.5E-10				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	268	268	200	213	214	214	215	215	216	120	128	127	130	134	26	26	27	27	27				
LLAT	単位中性子フルエンス当りの ^{115m} In放射能	Bq cm ²	5.5E-09	5.5E-09	5.5E-09	4.4E-09	4.3E-09	4.2E-09	4.1E-09	4.1E-09	4.0E-09	2.7E-09	2.2E-09	2.1E-09	2.1E-09	2.1E-09	3.3E-10	2.7E-10	2.7E-10	2.8E-10	2.9E-10				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{115m} In放射能	Bq/Gy	302	301	226	241	242	242	242	242	243	136	146	144	148	152	30	30	31	31	32				
TLD-β放射化インジウム (In-116m)																									
AP	単位中性子フルエンス当りの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	2.6E-05	2.6E-05	9.8E-06	1.9E-05	2.0E-05	2.2E-05	2.3E-05	2.4E-05	2.5E-05	1.1E-05	1.9E-05	2.1E-05	2.4E-05	2.5E-05	1.6E-05	2.2E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.4E-05				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	1.4E+06	1.4E+06	4.0E+05	1.0E+06	1.2E+06	1.3E+06	1.4E+06	1.5E+06	1.5E+06	5.7E+05	1.3E+06	1.5E+06	1.7E+06	1.8E+06	1.4E+06	2.4E+06	2.5E+06	2.6E+06	2.6E+06				
PA	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	5.1E+02	5.2E+02	1.5E+02	3.7E+02	4.2E+02	4.5E+02	4.9E+02	5.2E+02	5.6E+02	2.0E+02	4.6E+02	5.4E+02	6.0E+02	6.4E+02	5.2E+02	8.7E+02	9.2E+02	9.4E+02	9.4E+02	1.9E+03	1.0E+02	7.8E+02	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	4.4E+02	4.4E+02	1.4E+02	3.6E+02	4.1E+02	4.5E+02	4.8E+02	5.1E+02	5.4E+02	2.0E+02	4.6E+02	5.4E+02	6.0E+02	6.4E+02	5.2E+02	8.7E+02	9.1E+02	9.4E+02	9.4E+02	9.8E+02	9.7E+01	4.1E+02	
RLAT	単位中性子フルエンス当りの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	1.5E-06	1.5E-06	2.1E-06	1.6E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.8E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.2E-06	1.0E-06	8.5E-07	8.4E-07	8.3E-07	8.4E-07				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	8.3E+04	8.3E+04	8.8E+04	8.7E+04	8.7E+04	8.7E+04	8.6E+04	8.6E+04	8.5E+04	9.0E+04	9.0E+04	9.0E+04	8.9E+04	8.9E+04	9.5E+04	9.4E+04	9.4E+04	9.3E+04	9.3E+04	3.4E+01	2.6E+01	3.0E+01	
LLAT	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	3.0E+01	3.0E+01	3.2E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.3E+01	3.4E+01	6.1E+00	2.0E+01	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	2.6E+01	2.5E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.1E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.0E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.4E+01	3.3E+01	3.4E+01	6.1E+00	2.0E+01	
RLAT	単位中性子フルエンス当りの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	1.7E-06	1.7E-06	1.0E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.6E-06	1.6E-06	1.6E-06	9.3E-07	1.4E-06	1.4E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.1E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06	1.5E-06				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	9.1E+04	9.1E+04	4.3E+04	8.1E+04	8.5E+04	8.9E+04	9.2E+04	9.4E+04	9.6E+04	4.8E+04	9.2E+04	1.0E+05	1.1E+05	1.1E+05	9.7E+04	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	1.7E+05	7.1E+01	1.4E+01	4.2E+01	
LLAT	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	3.3E+01	3.3E+01	1.5E+01	2.9E+01	3.1E+01	3.2E+01	3.3E+01	3.4E+01	3.5E+01	1.7E+01	3.3E+01	3.6E+01	3.8E+01	3.9E+01	3.5E+01	6.0E+01	6.1E+01	6.2E+01	6.1E+01	6.1E+01	1.4E+01	4.2E+01	
	n+γD ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	2.8E+01	2.8E+01	1.5E+01	2.9E+01	3.0E+01	3.1E+01	3.2E+01	3.3E+01	3.4E+01	1.7E+01	3.3E+01	3.6E+01	3.8E+01	3.9E+01	3.5E+01	6.0E+01	6.1E+01	6.1E+01	6.1E+01	6.1E+01	1.4E+01	4.2E+01	
LLAT	単位中性子フルエンス当りの ^{116m} In放射能	Bq cm ²	3.1E-06	3.1E-06	1.5E-06	2.4E-06	2.6E-06	2.7E-06	2.8E-06	2.9E-06	3.0E-06	3.0E-06	2.3E-06	2.5E-06	2.7E-06	2.8E-06	1.6E-06	2.5E-06	2.6E-06	2.7E-06	2.7E-06				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの ^{116m} In放射能	Bq/Gy	1.7E+05	1.7E+05	6.0E+04	1.3E+05	1.5E+05	1.6E+05	1.6E+05	1.7E+05	1.8E+05	6.9E+04	1.6E+05	1.8E+05	1.9E+05	2.0E+05	1.5E+05	2.8E+05	2.9E+05	3.0E+05	3.0E+05	1.8E+02	1.9E+01	8.4E+01	
LLAT	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	6.1E+01	6.2E+01	2.2E+01	4.8E+01	5.3E+01	5.6E+01	5.9E+01	6.2E+01	6.5E+01	2.5E+01	5.6E+01	6.4E+01	6.9E+01	7.3E+01	5.4E+01	1.0E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.8E+02	1.9E+01	8.4E+01
	n+γD ₀ (10) 1Gy当りの線量GM計数率	kcpm/Gy	5.2E+01	5.3E+01	2.1E+01	4.8E+01	5.2E+01	5.5E+01	5.8E+01	6.1E+01	6.3E+01	2.5E+01	5.6E+01	6.3E+01	6.9E+01	7.3E+01	5.3E+01	1.0E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.1E+02	1.8E+02	1.8E+01	4.6E+01
髪放射化(前頭部から採取した頭髮1g中の ³² P放射能)																									
AP	単位中性子フルエンス当りの頭髮1g中 ³² P放射能	(μBq/g)cm ²	1.3E+01	1.3E+01	9.7E+00	8.4E+00	8.3E+00	8.1E+00	8.1E+00	8.0E+00	8.0E+00	3.4E+00	3.0E+00	2.9E+00	3.0E+00	3.1E+00	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.4E-01				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの頭髮1g中 ³² P放射能	(Bq/g)/Gy	0.70	0.70	0.40	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.49	0.17	0.20	0.20	0.21	0.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.99	0.00	0.60	
PA	単位中性子フルエンス当りの頭髮1g中 ³² P放射能	(μBq/g)cm ²	1.1E+00	1.1E+00	7.6E-01	6.6E-01	6.5E-01	6.4E-01	6.4E-01	6.4E-01	6.5E-01	2.5E-01	2.3E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	7.8E-03	7.9E-03	8.3E-03	7.8E-03	8.6E-03				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの頭髮1g中 ³² P放射能	(Bq/g)/Gy	0.06	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.05	
LAT	単位中性子フルエンス当りの頭髮1g中 ³² P放射能	(μBq/g)cm ²	1.3E+01	1.3E+01	1.0E+01	8.6E+00	8.5E+00	8.3E+00	8.3E+00	8.2E+00	8.3E+00	3.5E+00	3.1E+00	3.0E+00	3.1E+00	3.2E+00	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.5E-01				
	中性子D ₀ (10) 1Gy当りの頭髮1g中 ³² P放射能	(Bq/g)/Gy	0.72	0.72	0.41	0.47	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.18	0.21	0.21	0.22	0.23	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	1.02	0.00	0.62	
スペクトルと線量(αCd: カットオフエネルギー以上の内数)																									
TLD-β放射化(UD-809P)	中性子フルエンス(αCd)	cm ⁻²	0.82	0.82	1.00	0.94	0.92	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	1.00	0.95	0.92	0.88	0.86	1.00	0.96	0.95	0.94	0.93			
	中性子個人線量当量H _p (10)(αCd)	pSv	215	213	335	235	227	221	215	210	206	287	205	195	189	186	153	117	115	115	118				
	中性子個人吸収線量D ₀ (10)(αCd)	pGy	17.8	17.7	24.2	18.1	17.5	17.1	16.7	16.3	16.1	19.5	14.8	14.1	13.7	13.5	10.9	8.9	8.8	8.8	8.9				
TLD-β放射化(UD-809P)																									
AP	単位中性子フルエンス当りのTLD指示値	pSv cm ²	236	242	31	122	148	168	188	207	225	37	119	152	185	207	65	128	140	149	156	653	26	270	
	第3素子	pSv cm ²	79	79	43	78	80	81	81	82	82	50	83	85	86	86	78	105	106	106	105	106	37	82	
PA	単位中性子フルエンス当りのTLD指示値	pSv cm ²	210	209	161	222	222	222	222	221	220	218	181	236	238	236	233	242							

表 7 毛髪中 ^{32}P (試料 4 : 0.30 g) の液体シンチレーションカウンタ測定結果

測定モード	照射終了後 経過日数	カウント数	正味 カウント数	計数率 (cps)	^{32}P 放射能 (Bq)	計数率 放射能
通常	2	72,335	14,518	0.17	0.26	0.64
	14	64,982	7,165	0.08	0.14	0.58
	17	63,491	5,674	0.07	0.12	0.53
低BG	2	52,670	10,853	0.13	0.26	0.48
	14	46,917	5,100	0.06	0.14	0.41
	17	45,658	3,841	0.04	0.12	0.36

備考：

- ^{32}P 放射能は MCNP 計算による。
- 未照射の毛髪 (0.27 g) をクエンチングのコントロールとした。

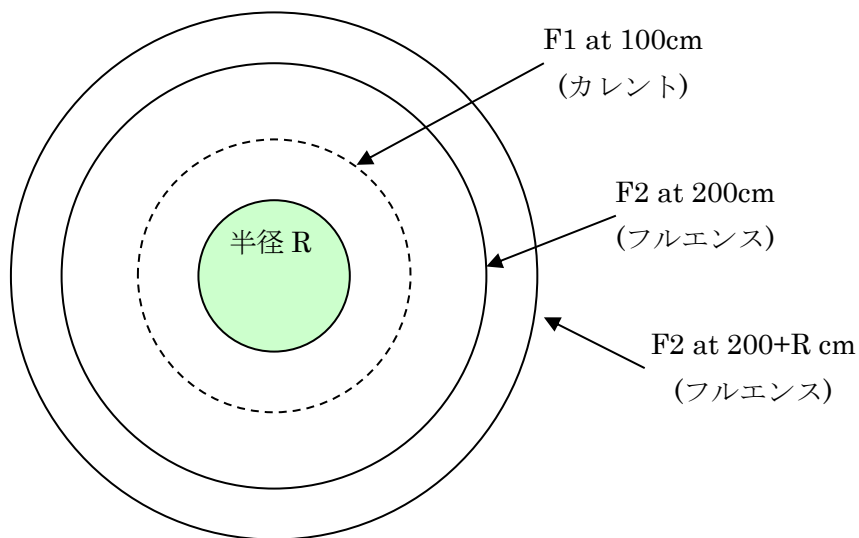


図1 溶液系で想定される臨界事故時の線源の計算体系
(硝酸プルトニウム調整槽 (265V11-2) のみ球体系ではなく SUS 製円筒容器で計算)

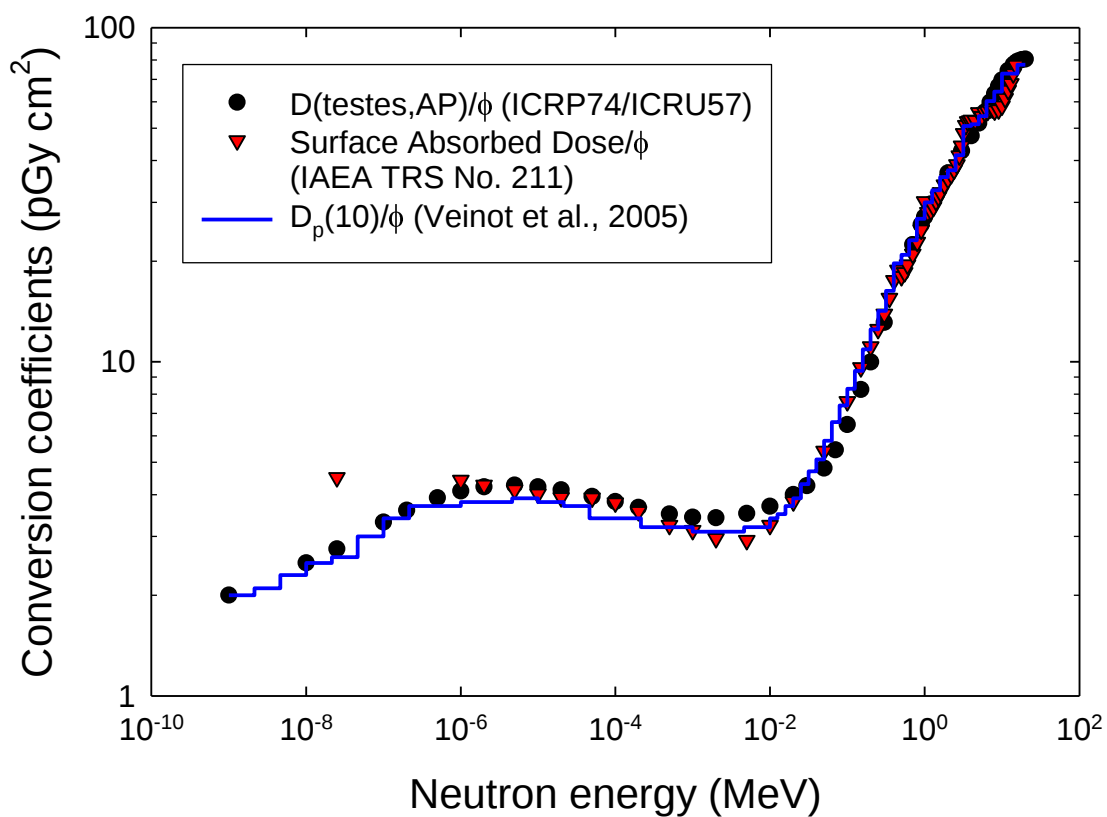
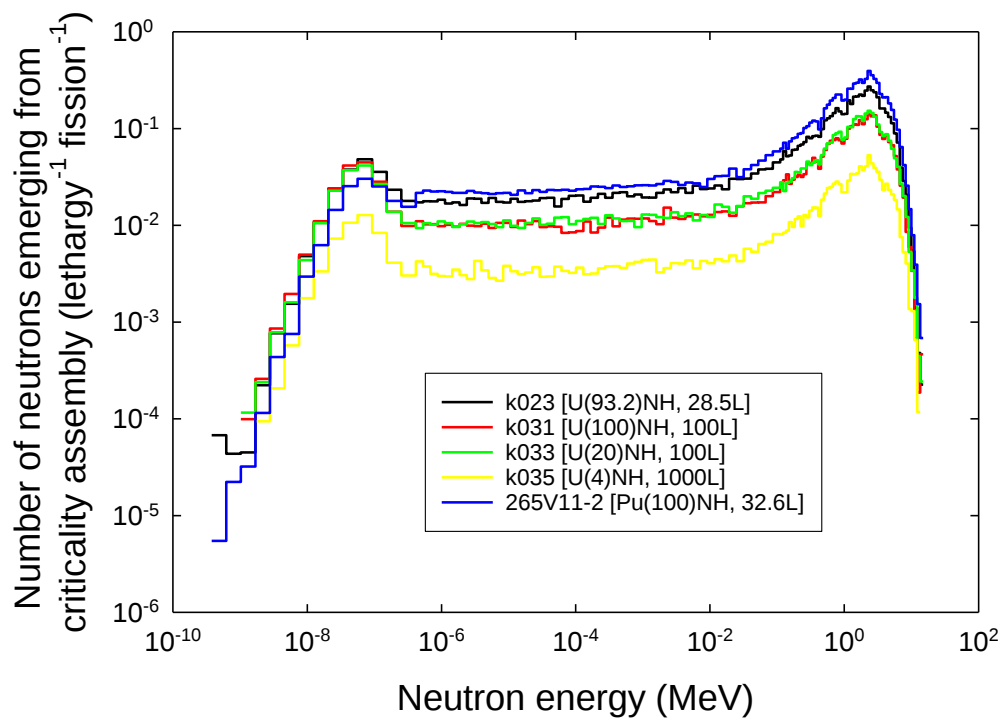


図2 中性子フルエンスー吸収換算係数の比較



3 溶液系臨界事故で想定される線源中性子スペクトル

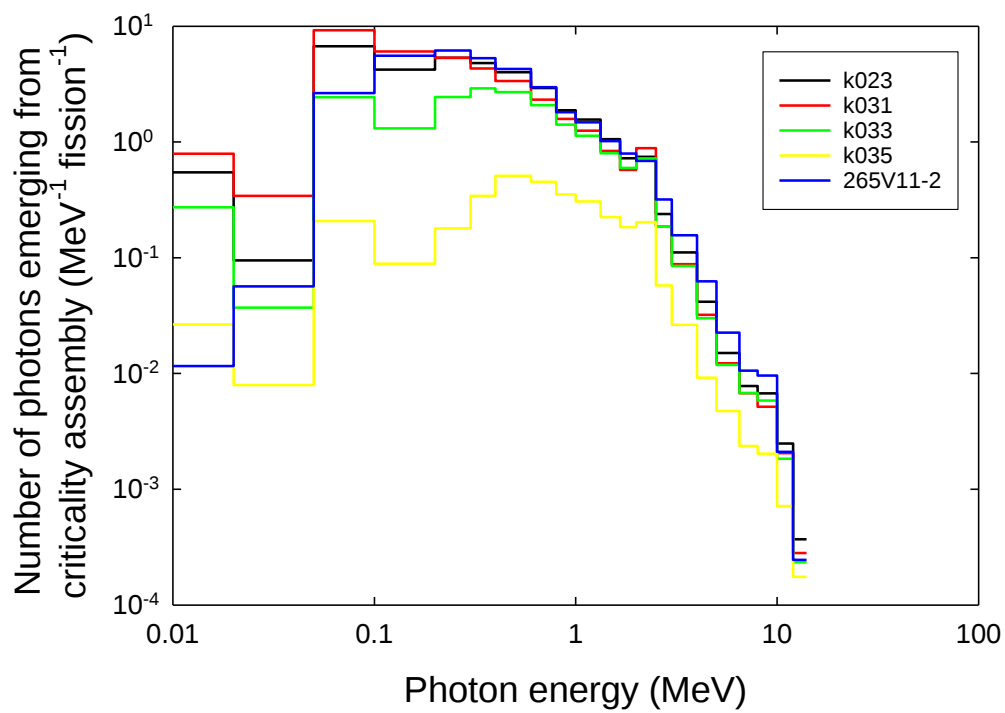


図 4 溶液系臨界事故で想定される線源 γ 線スペクトル

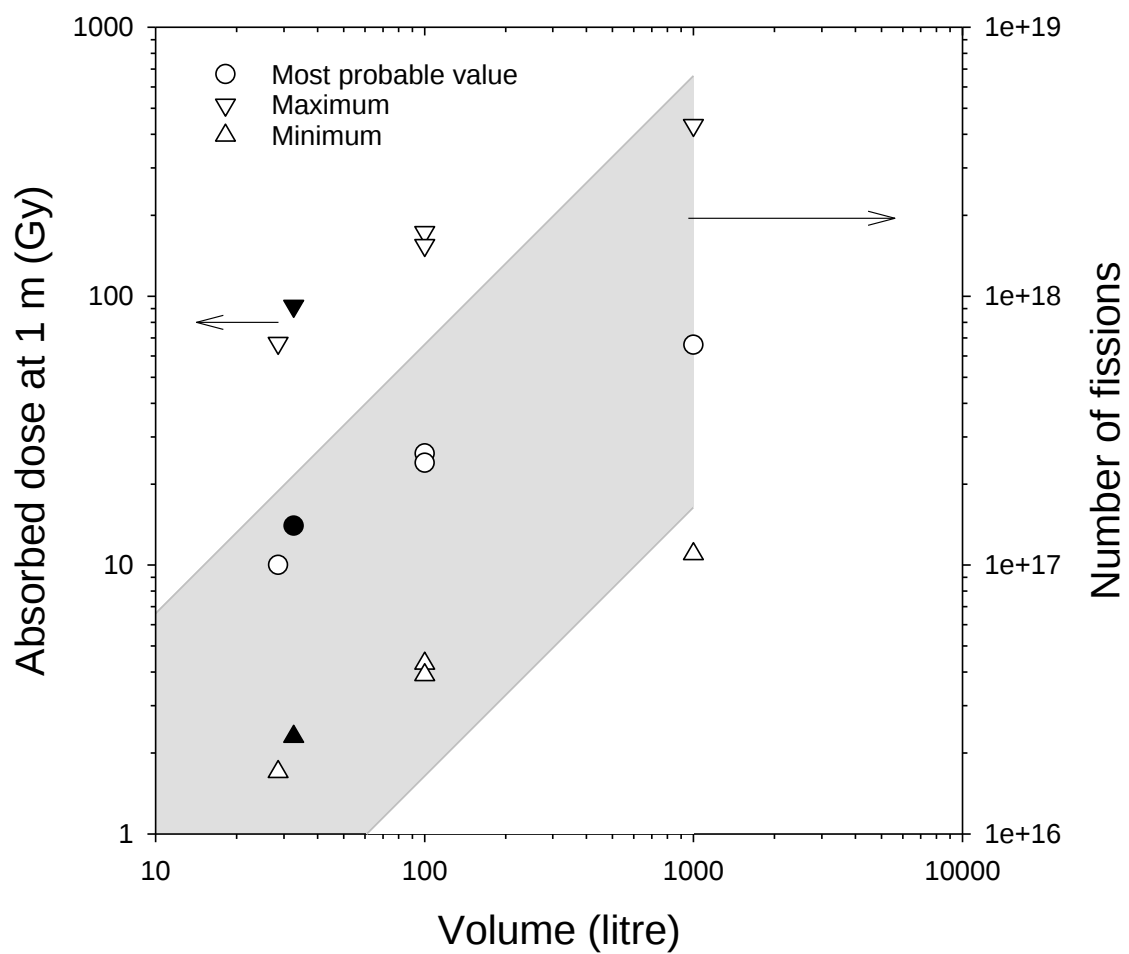


図 5 溶液体積と吸収線量（中性子 + γ 線）の関係
 （網掛け範囲は、野村の式から推定される核分裂数の上下限）

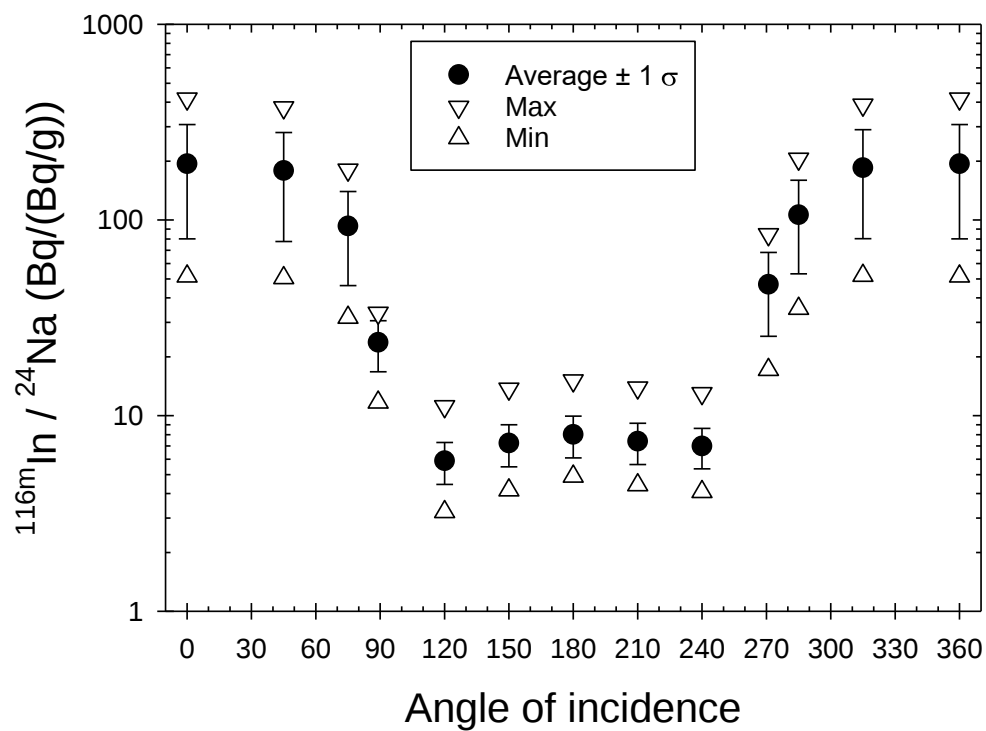


図 6 (a) ^{24}Na 比放射能に対する TLD バッジ中 $^{116\text{m}}\text{In}$ 放射能の比の入射角度依存性

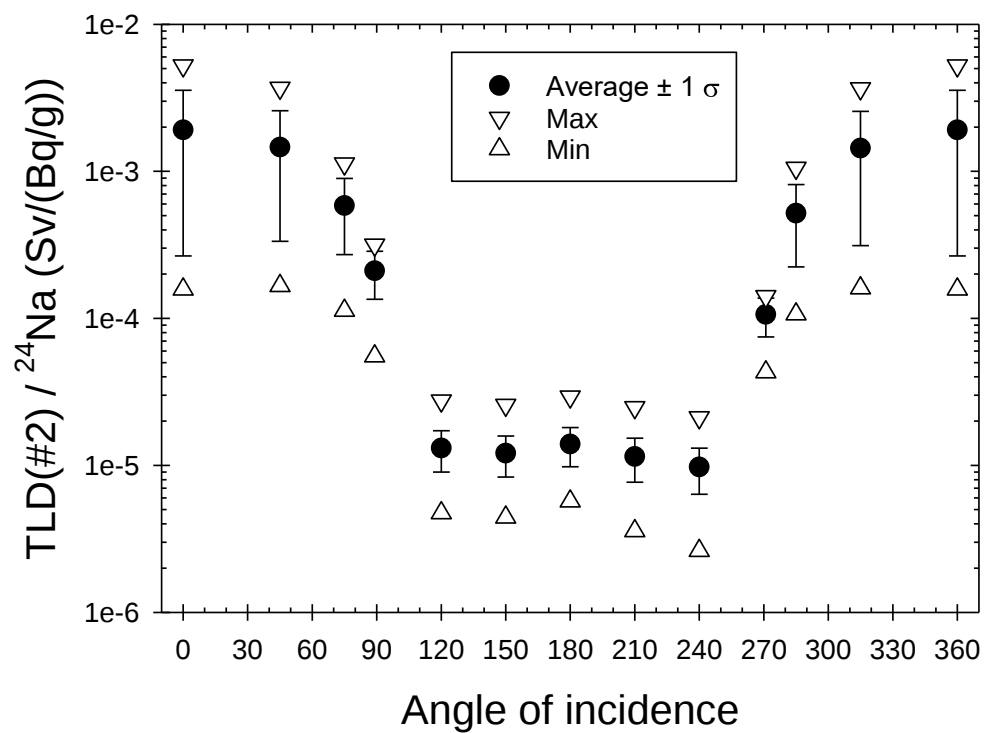


図 6(b) ^{24}Na 比放射能に対する TLD バッジ第 2 素子の比の入射角度依存性

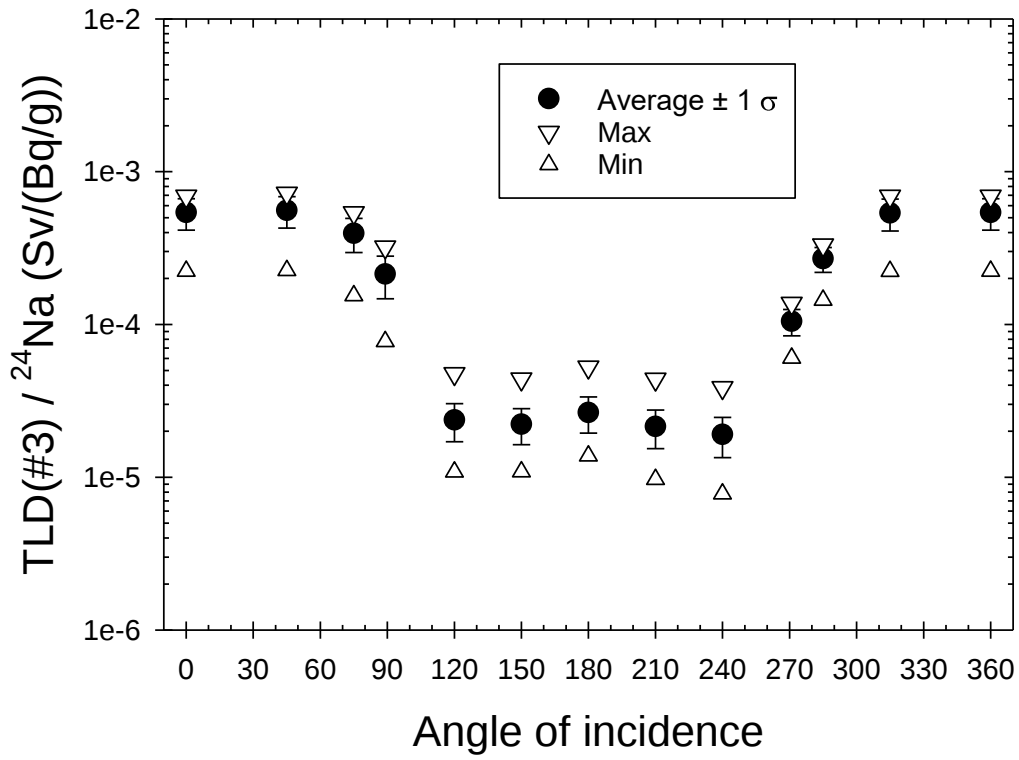


図 6(c) ^{24}Na 比放射能に対する TLD バッジ第 3 素子の比の入射角度依存性

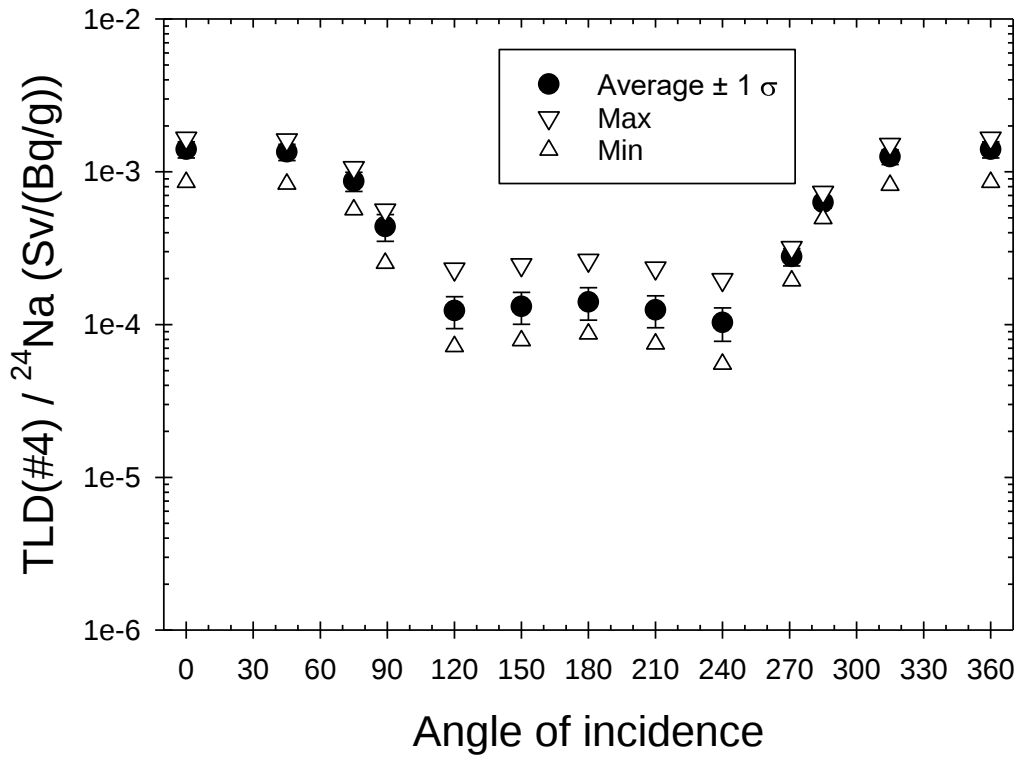


図 6(d) ^{24}Na 比放射能に対する TLD バッジ第 4 素子の比の入射角度依存性

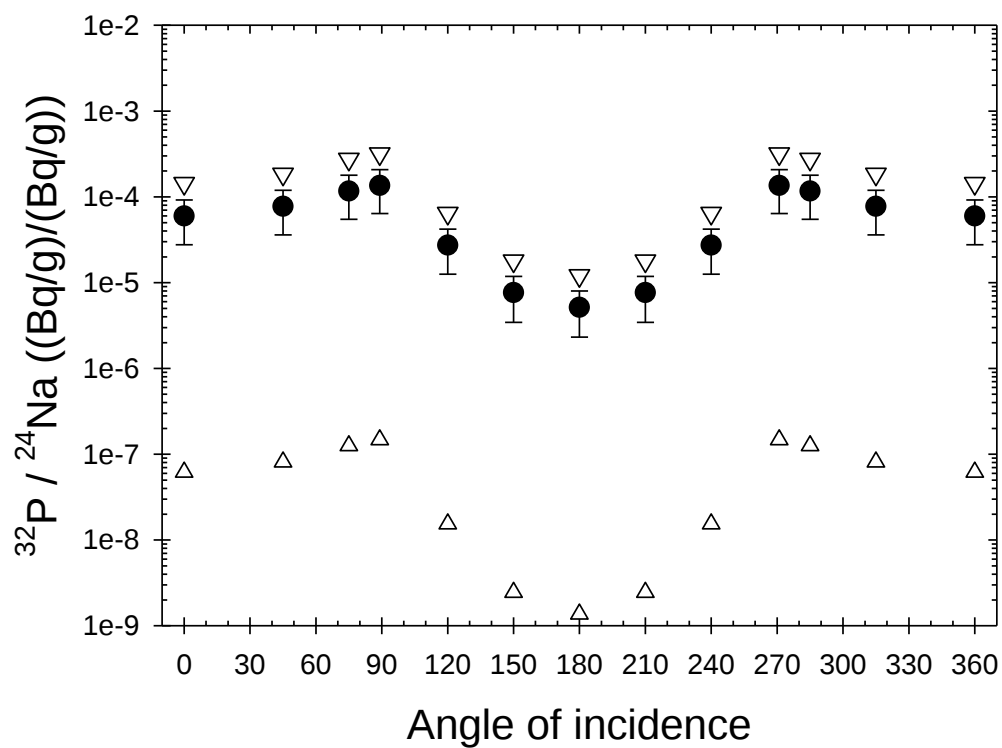


図 6(e) ^{24}Na 比放射能に対する ^{32}P 放射能の比の入射角度依存性

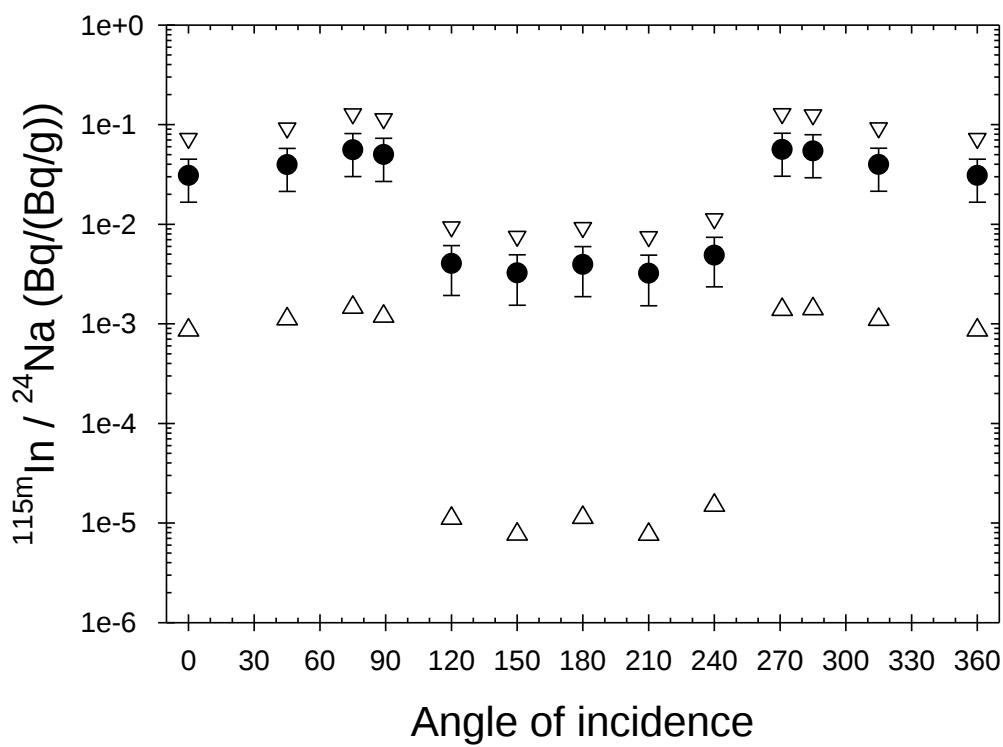


図 6(f) ^{24}Na 比放射能に対する TLD バッジ中 $^{115\text{m}}\text{In}$ 放射能の比の入射角度依存性



図 7 毛髪測定試料

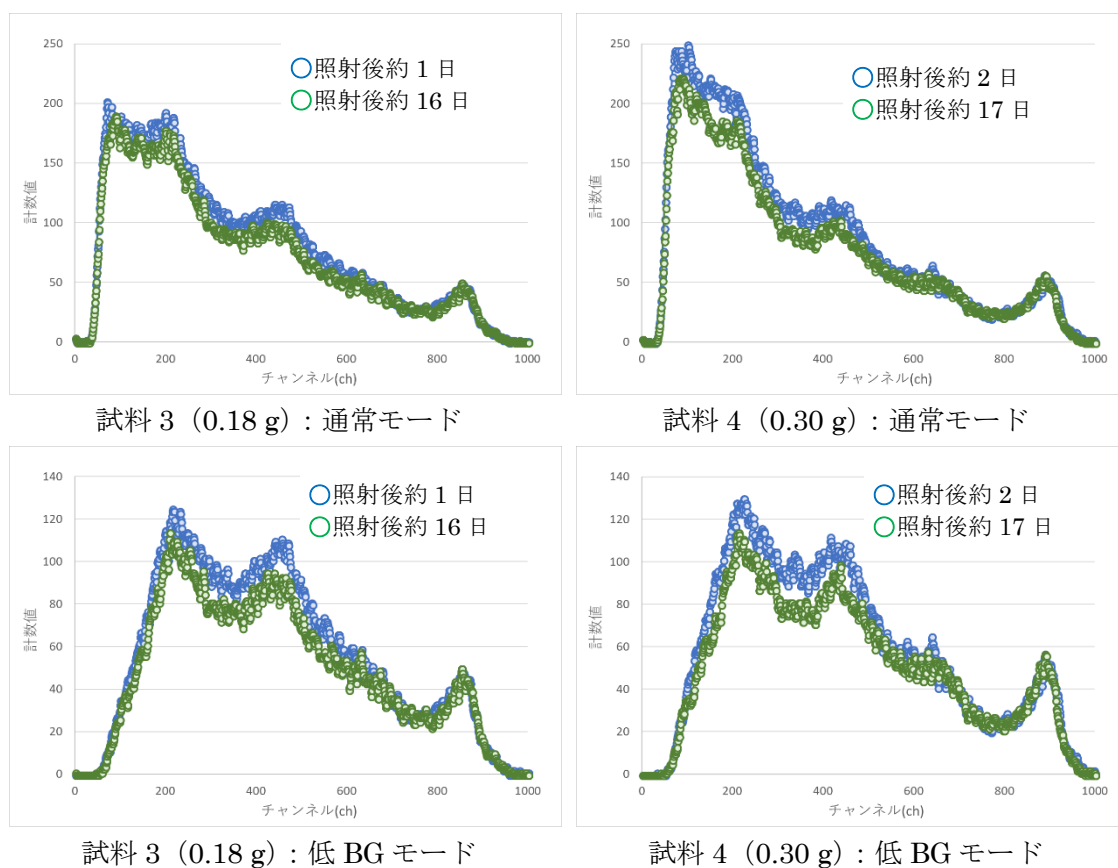


図 8 毛髪中 ^{32}P の液体シンチレーションカウンタ測定結果

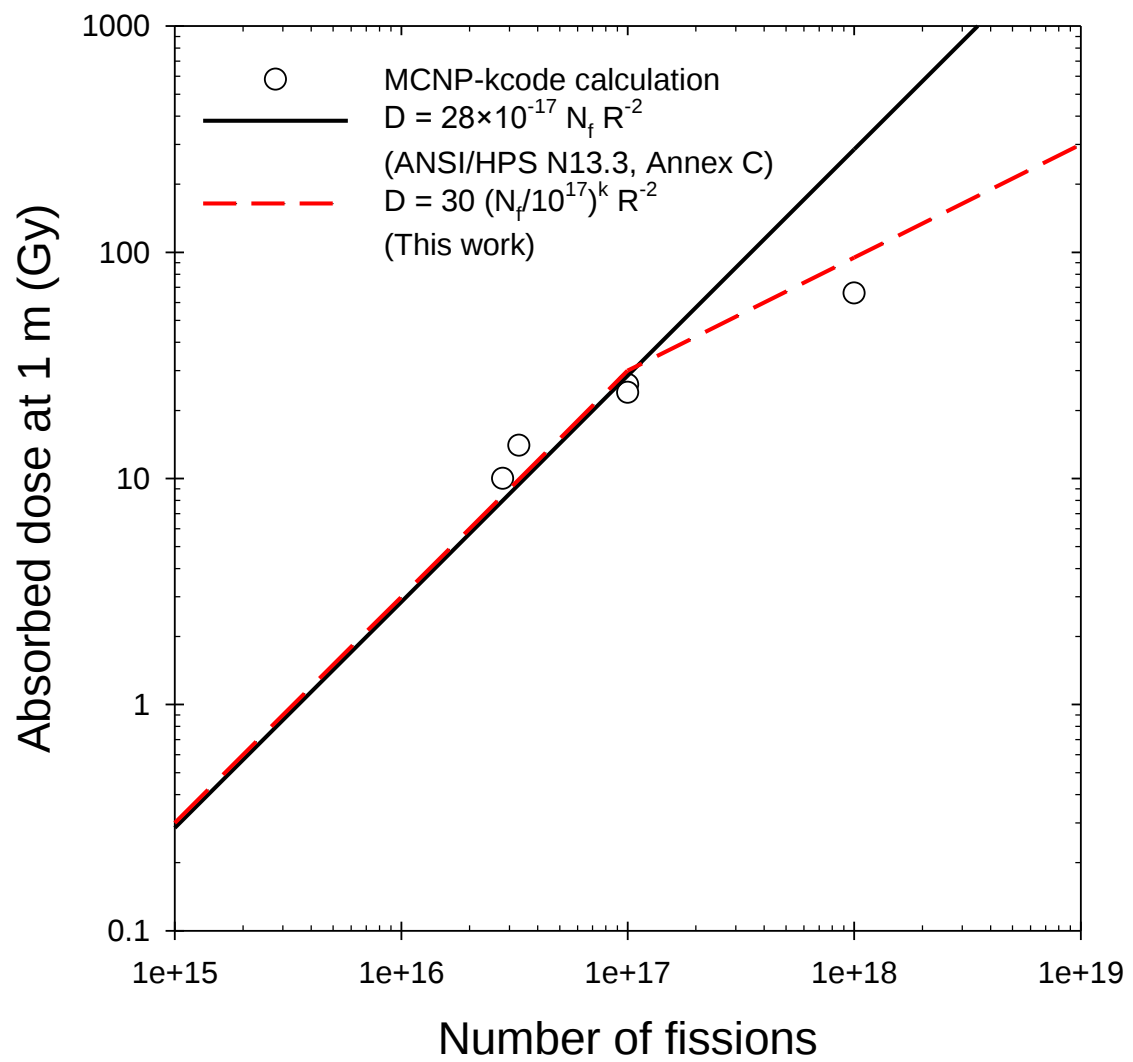


図9 核分裂数に基づく吸収線量（中性子＋ γ 線）推定式の比較
実線：ANSI/HPS 13.3, 破線：本研究

付録 1-1 ANSI/HPS N13.3-2013 臨界事故用線量測定（翻訳）

ANSI/HPS N13.3-2013

臨界事故用線量測定

承認：2013 年 12 月 20 日

米国規格協会

目次	
序文	
1.0 はじめに	
2.0 スコープ	
3.0 定義	
4.0 基本要求	
4.1 システムの適用	
4.1.1 曝された個人の迅速な識別	
4.1.2 暫定の合計吸収線量情報	
4.1.3 線量計の最小処理能力	
4.2 システム設計	
4.2.1 文書化	
4.2.2 中性子フルエンスおよび線量	
4.2.3 分析技術および計測器	
4.2.4 人員の訓練	
4.2.5 線量測定システムの処理施設の場所	
4.2.6 曝された個人の向き	
4.2.7 システム部品の定期的保守と評価	
5.0 プログラム要求事項	
5.1 訓練要求	
5.2 技術基盤要求	
5.3 手順	
5.4 品質保証	
6.0 性能基準	
6.1 検証と試験	
6.2 検証と試験の頻度	
6.3 性能試験基準	
6.4 クイックソート性能	
7.0 臨界事故線量測定のための特別の考慮	
7.1 FNAD	
7.1.1 適用	
7.1.2 配置	
7.2 向きによるレスポンス	
7.3 部分的な身体の曝露	
7.4 放射線場レスポンス	
7.5 放射化線量計以外の臨界線量測定方法	

7.6 バックアップ能力

7.7 放射線及び非放射線障害

8.0 参考文献（規則）

9.0 参考文献（情報）

付録 A：臨界事故線量計の適用のための有用な情報

付録 B：有用な線量測定情報

付録 C：FNAD の位置に関する考察

序文

(この序文は米国標準規格 ANSI/HPS N13.3-2013 の一部ではない)

この米国標準規格は、原子力事故又は臨界事故線量計システムの設計、適用および運用に基準を供給する。この基準は、偶然の核臨界への曝露に起因する人員の線量の評価に使用された何らかの線量計システムの使用に限定される。これらの基準は、そのような事故の可能性を持ついかなる施設でも緊急準備プログラムの一部として、そうしたシステムの設計、適用および試験のためのガイドラインとして意図される。臨界事故による吸収線量の評価を超えるいかなる情報も提供することは意図されない。ルーチンの線量評価とは対照的に、臨界（事故）線量計の性能は、正確さ/確度と精度だけでなく適時のやり方で吸収線量情報を提供する必要も含む。

この基準の最後の出版以降に組込まれた変更および改善は、物理的な線量計、生体試料の分析および数学モデリング方法を含んでいるかもしれない成分および過程のあるシステムとして臨界事故線量測定が扱われるべきであるという要求を含んでいる。しかしながら、それ（標準）は、特定の構成部分やプロセスがそのシステムに組み入れられるべきであることを要求しない。代わりに、この標準規格は、システムが臨界事故に起因する個人の吸収線量の迅速かつ正確な評価を提供することができることを保証するのに必要な要求を設定する。これらの要求は、システム設計、適用、品質保証慣習、プログラム文書作成、訓練、性能試験、および臨界事故後の性能のための基準を含んでいる。重点は、向き、身体の部分曝露、中性子および光子エネルギースペクトル、および生物学の線量測定といった懸案事項のために演繹的な考慮（特別な考慮）をなすべき必要性に置かれた。この標準への付属書類は、臨界線量測定システムの設計および実装に適用可能な追加の有用な情報を提供する。この標準規格およびその現在と将来の付属書類の改善のための提案は歓迎される。

キーワード：臨界線量測定、吸収線量、しきい検出器

1.0 はじめに

臨界事故に起因する個人の吸収線量の迅速かつ正確な評価は、曝された個人にとって、そしてそれらの者の医療処置での支援のために極めて重要かもしれない。臨界事故発生の可能性は、ANSI/ANS 8.1(ANSI 1998)に詳述されたように、改善された安全プログラムを通じて大幅に縮小されたが、かなりのリスクはまだ存在する。施設は、そのような事故に続いて適時の情報を提供することができる線量測定システムを持つ必要がある。線量評価人員は、いかなる吸収線量決定もできるだけ正確であることを保証するために、利用可能な資源をすべて使用するべきである。

線量測定システムは、起こりうる事故シナリオおよび線量レベルの範囲内で正確な吸収線量決定を提供することができる必要がある。この標準は、臨界事故線量測定システムの品質保証(QA)および性能に基準を提示する。さらに、付属書類は、事故線量計の一般的な適用に関して線量評価を担う者(dosimetrist)に役立つ追加情報を提供する。

臨界事故警報装置(CAAS)(ANSI/ANS 8.3(ANSI 1997)による)が使用されている場合、ANSI/ANS 8.23(ANSI 2007)はいかなる施設においても緊急準備プログラムの一部として臨界線量測定システムを要求する。CAASの設置は、臨界事故の少なからぬリスクを意味する。

2.0 スコープ

この標準は、人員曝露に関する臨界事故の可能性がある作業に適用可能である。この標準は、吸収線量を使用するガイダンスと要求事項を提供する。吸収線量の単位は、グレイ(Gy)のSI単位で与えられる)。注意深いスペクトル分析および適切な規定要求により指定された変換係数の適用によって臨界事故の後に決定することができるので、吸収線量以外の量の評価は扱われない。吸収線量概念が、即時の非確率的(確定的)な影響に潜在的に帰着する急性の線量に適用可能であることはさらに注目されるべきである。したがって、吸収線量は、線量当量あるいは他の線量測定用の量の代わりに使用される。この標準によってカバーされた個人の吸収線量の範囲はおおよそ0.1~10 Gyである。

この標準は、臨界事故の場合には個人の吸収線量を提供することができる線量測定システムの実装および保守のために要求と性能基準を提供する。そのような事故は、大量の透過性の即発放射線の放出によって特徴づけられる。線量測定システムは、放射化箔および熱ルミネセンス線量計(TLD)のような物理的検出器、血液ナトリウムあるいは細胞遺伝学のための生体細胞といった生体試料、およびモデル、既知のジオメトリ影響、および目撃者報告書に基づいた情報に基づいた分析能力を含んでいるかもしれない。結果として生じる個人の吸収線量推定値は、次を行うために意図される：

1. 影響を受けた人員のために、その吸収線量のレベルに適切な医学的注意を優先的にすることを援助する。
2. 吸収線量を生物学的反応と関連させるのに役立つ情報を提供する。

3. 規制機関に報告するため、および公衆に公表するために適切な情報を提供する。
4. 追加分析と結び合わせて、積算の生涯線量記録のための情報を導き出すのに役立つデータに帰着する情報を提供する。

線量測定サービスが外部組織かベンダーによって提供される場合、このドキュメント中の基準が満たされることを保証することは、調達する組織の責任である。

3.0 定義

吸収線量(D)：(省略)

周辺吸収線量[D*(10)]：(省略)

生物学的線量測定：生体物質を使用する線量の検出および（可能であれば）その定量。方法は、人員の直接分析あるいは人々から受け取られた（体毛と血液のような）サンプルの分析を含んでいるかもしれない。

臨界事故：(省略)

断面積：(省略)

線量(D)：吸収線量の代わりに一般に使用される用語。

線量換算係数：

内部・外部の放射線被ばくのために、別の物理量(典型的にフルエンス)に線量を関連づける係数の総称として使用される。

線量測定システム：人員への線量の決定のために、特別のデバイス、バイオアッセイ、固定デバイス、作業者モニタリング・デバイスなどを含む分析システム。この標準の目的のために、臨界事故後の人員への吸収線量の決定に使用される線量測定システムだけが考慮される。これは、能動あるいは受動の線量計、生体物質および数学モデルの分析を含んでいるかもしれない。

曝された個人：

臨界事故からの放射線に曝された時、急性放射線影響を体験する人。この標準のために、0.5 Gy の合計吸収線量は、急性影響のしきい値であると仮定された。急性放射線症以外の影響はこの標準では扱われない。

固定式核事故線量計 (FNAD)：

人員が滞在するかもしれないエリアの有効範囲を備えた、固定位置に維持される検出器（又は検出器システム）。これらの線量計は、中性子スペクトルおよび線量レベルに関する補足的情報を提供するために、臨界事故後に使用することができる。

個人吸収線量[D_p(10)]：身体中の指定された点から深さ 10mm の軟組織中の吸収線量。個人の吸収線量の SI 単位は Gy である。

個人核事故線量計 (PNAD)：個人によって受け取られた線量のレベルを測定するために使用することができる、臨界事故後に情報を提供するために身体上で着用された 1 つ以上の検出器。

クイックソート：最初の選別方法。臨界に曝された個人を識別するために、ポータブルサーベイ機器と、測定することができるレベルの放射化された材料を一般に使用する。

合計吸収線量：中性子および光子の混合放射線場では、吸収線量の合計は、入射中性子と光子の放射線に起因する吸収線量の合計である。

この標準では、次の定義が当てはまる。用語 **shall** は要求を表すために使用される。用語 **should** は勧告を表すために使用される。用語 **may** は、許容を表すが、要求でも勧告でもない。

4.0 基本要求

臨界事故線量測定システム（これ以降システムと呼ぶ）は、臨界事故の可能性のあるエリア及び運転（作業）のために確立されなければならない。一般に、そのシステムは、臨界安全管理および臨界警報装置がそのために使用される運転のために確立されるべきである。システムは、次の構成部品の 1 つ以上および関連データ収集・処理測定器と技術の組合せから成ってよい：人員線量計、固定の施設位置に配備した線量計、生体試料および数学モデル。そのシステムの範囲および複雑さは、運転の性質に釣り合っているべきである。システム設計は、部分的な身体の線量分布あるいは不揃いの線量分布の場合に、臓器や末端に（おける）線量の識別および評価を扱うべきである。

この標準の条項は、臨界事故により個人への線量を決定するために使用される任意の臨界事故線量測定システムに当てはまるよう意図される。

4.1 システムの適用

そのシステムは次の性能要件を達成することができなければならない。

4.1.1 曝された個人の迅速な識別

クイックソート・プロセスは、事故に対する初期対応中に 0.5 Gy を超過する合計吸収線量で曝された個人を識別し、概算線量レベルによって曝された個人をソート（並べ替え）できなければならない。この並べ替えプロセスは、臨界からの追加の線量の可能性のあるエリアからの個人の退出で始められるべきである。この並べ替えの目的は、医療と要求する個人を識別し、その処置をガイドし、追加の線量計処理を優先し、追加の測定の必要を識別することである。

4.1.2 暫定の合計吸収線量情報

暫定の合計（光子＋中性子）吸収線量情報は、線量計回収の 24 時間以内に提供されなければならない、より多くの情報が利用可能になるにつれて改訂してよい。暫定線量は、曝された個人のフォローオン処置をガイドするために主として意図される。

4.1.3 線量計の最小処理量

システムは、設備設計、作業慣習およびセクション 4.1.1 および 4.1.2 の基準に基づき、著しく曝された個人の予想される人数について、暫定の合計吸収線量決定のあらかじめ決

められた最小値処理量を供給することができなければならない。その処理量の考察は、システム技術基礎文書（STBD）の中に記されなければならない。

4.2 システム設計

4.2.1 文書化

システム設計は、システム部品、技術的基礎、適切な適用および制限を含めて文書化されなければならない。

4.2.2 中性子フルエンスおよび線量

システムは、関心のある中性子エネルギー範囲中の中性子線量の合計を評価することができなければならない。そのシステムは、関心あるエネルギー範囲中の中性子フルエンスを評価することができるべきである。関心エネルギーの範囲は、STBD に定義されなければならない。

4.2.3 分析技術および計装/計測器

システム機能を遂行するのに必要な分析技術および計測器は、文書化され、維持され、容易に利用可能でなければならない。技術は、測定の不確かさを最小にするよう設計されなければならない。施設は、セクション 4.1 に定義のある確立された基準内でシステム機能を遂行するのに十分でなければならない。

4.2.4 人員育成

システム部品の操作に責任を負う人員は、その必要なタスクにおいて訓練されなければならない。

4.2.5 線量測定システムの処理施設の場所

システム機能を遂行するために使用される施設は、潜在的に上昇した土地放射能レベルの影響を最小限にするために、臨界事故が起こるかもしれないエリアから分けられるべきであり、臨界事故後にアクセスを制限されるべきである。システムの処理施設が臨界事故の際に利用不可能になりえることが確実な場合、代替りの運転のための考察と準備はなされなければならない。

システム部品を評価するために使用される施設は、適切な距離に位置すべきであり、及び、又は、又は照射された成分が広げられる施設/エリアから遮蔽されるべきであり（適切なように）、及び、又は、又は、バックグラウンド放射線の影響を緩和するように評価のために準備されるべきである。

4.2.6 曝された個人の向き

臨界事故の位置に関して、曝された個人の向きについて決定し調節するための用意がなされるべきである。

4.2.7 システム部品の定期的保守と評価

システムのための手順は、部品について、定期的な検査、保守および交換要求を設定しなければならない。その手順は、著しい材料の品質低下あるいはバックグラウンド放射線の蓄積

が生じないと保証するために、検査と交換の頻度を設定しなければならない。

5.0 プログラム要求事項

5.1 訓練要求

システム機能を遂行するために必要とされる人員が適切に訓練され、セクション 4.1 に含まれていた要求を満たすことができるように十分な訓練された人員がいつでも利用可能であることを保証するために準備がなされなければならない。訓練計画は、訓練過程（初期訓練、定期的再教育、是正的再教育）、訓練要求事項および訓練結果を文書化しなければならない。

5.2 技術的基礎要求

臨界事故線量測定プログラムは STBD を維持しなければならない。STBD は、システムについて、技術的原理、設計基礎、着用・配置方法、構成部品の耐久性、使用される計算方法および関連する不確かさを含んでいなければならない。STBD は、臨界事故線量測定のために使用された物質と計算の限界を定義しなければならない。STBD は、さらにシステムの組み立て及び要求される保守活動を定義しなければならない。追加の基準については、セクション 7.0 を参照せよ。

5.3 手順

手順は、プログラムの行動を管理するために、確立され、維持されなければならない。この手順は、（少なくとも）以下を扱わなければならない：

- ・ 臨界事故の日時の決定と文書。
- ・ 臨界事故（物質のタイプおよびフォームのような）の性質に関する情報の編集（物）。
- ・ 個人と線量計の遮蔽を評価する方法。
- ・ （可能であれば）臨界事故から個人と FNAD の距離の決定と文書。
- ・ そのイベントに関する情報と、そのイベントの時に居た個人に関する情報の収集。
- ・ 品質管理慣習を含む、システムの適切な使用および適用のためのガイダンス。
- ・ 線量計の中で使用される物質が、仕様に一致し、その完全性を維持したことを保証する定期検査の方法。

5.4 品質保証

過程およびシステムのすべての部品の保守手順を含んでいる文書化された QA プログラムが履行されなければならない。手順、方法および訓練要求は、施設の QA プログラムに従って、文書化され、承認され、調査され、更新されなければならない。ある施設がベンダーからの線量測定システムを採用する場合、その線量測定システムを使用する施設は、QA プログラムを持たなければならない。汚染（サンプルの汚染およびサンプルによる汚染の両方）

を防ぐために講じられた処置は、これらの手続きに含まれていなければならない。保守手順は、少なくとも 3 年ごとに、STBD に定義されるように、すべての線量計（個人及び固定式）および関連機器の検査を、少なくとも含んでいなければならない。

6.0 性能基準

6.1 検証と試験

システムの性能は、中性子と光子の混合フィールドで確認されなければならない。そのフィールドは、臨界事故に似た特性を持っているべきである。重要な特性は、あるファントムに対して 0.1～10Gy の範囲にわたってもたらされる吸収線量を含む。そのエネルギースペクトルはよく特徴づけられなければならない。性能試験は、通常使用される配置を複製するものでなければならない（例えば、ファントム上で、あるいは自由空気中で）。

6.2 検証と試験の頻度

そのシステムの性能は、STBB で確認されたように、少なくとも 3 年ごとに行なわれなければならない。

6.3 性能試験基準

性能試験中に、そのシステムは、表 1 に与えられた基準内で、合計の吸収線量結果を提供しなければならない。性能統計（B）は式 1 を使用して計算される：

$$B = (\text{測定された線量} - \text{与えられた線量}) / \text{与えられた線量} \times 100 \quad (1)\text{式}$$

表 1 臨界事故線量計システムの性能試験基準

合計吸収線量		B
0.1～1 Gy		±50%
1～10 Gy		±25%
> 10 Gy	10 Gy 超えの確かな指示を示すこと	

6.4 クイックソート性能

そのシステムは、事象の初期レスポンス中に、0.5 Gy を超える合計吸収線量の陽性の表示を提供できなければならない。そのシステムは、推定された合計吸収線量によって、個人を並べ替えることができるべきである。

7.0 臨界事故線量測定のための特別の考慮

いくつかの問題は、臨界事故からの線量を測定する能力だけでなく、中性子と光子の線量の線量決定に影響する場合がある。最も重大な問題は、固定線量計の使用、線量計物質の方

向レスポンス、不揃いの放射線場、部分的な身体の曝露、および線量計のスペクトル応答における変化を含んでいる。システム設計と実装は、これらの特殊状況を考慮し、STBD でそれらを文書化しなければならない。ガイダンスと追加情報は、これらの特別な考慮のために付録 A で見つけることができる。

7.1 FNAD

FNAD がシステムの一部でない場合、このセクション中の要求は当てはまらない。

7.1.1 適用

CAASを必要とするいかなる施設においても FNAD は使用されるべきである。FNAD は、中性子－光子吸収線量比および合計吸収線量測定の指示を含む人員線量計からの情報に追加の情報を提供することができる。

7.1.2 配置

- 線量計と臨界事故が起こり得るエリアの間で、実行可能程度に、介在する遮蔽や障害物が存在しないように、FNAD は置かれるべきである。
- FNAD ユニットに適切な仮定核分裂事象の範囲に対して、その場所での線量がそのユニットのレスポンス範囲内にあるように、それら(複数の FNAD ユニット)がカバーするようなエリアからの距離に、FNAD ユニットは置かれなければならない。
- FNAD の配置は文書化されなければならない。また、文書化はレスポンス人員に利用可能にされなければならない。
- FNAD ユニットの配置は、回収する人員への最小の害で、容易な回収あるいは出口での回収を可能にしなければならない。

7.2 向きによるレスポンス

人員および線量計の向きについてシステムのレスポンスは STBD で評価されなければならない。合計の吸収線量推定値における向きのための補正は加えられるべきであり、線量の保守的な又は上限の決定を提供するべきである。

7.3 部分的な身体の曝露

部分的な身体の照射を評価する方法は、STBD で確立され文書化されるべきである。保健・安全人員（例えば放射線防護人員、医療関係者および第 1 応答者）は、部分的な身体の照射を示す状態の識別について訓練されるべきである。

7.4 放射線場レスポンス

予期された施設に関連したシステムの応答特性及び基準中性子および光子放射線場は、STBD で評価されなければならない。文書化されなければならない。

7.5 放射化線量計以外の臨界線量測定方法

そのシステムは、合計の吸収線量評価のために、生体試料の使用と評価を考慮するべきである。そのような方法は、曝された個人が線量測定を持っていなかった時に、あるいは線量計からの追加の情報に使用することができる。使用される場合、そのようなシステムは STBD で文書化されなければならない。

7.6 バックアップ能力

主たるシステムが利用不可能な事象において、代案と協定は、あらかじめ確立されなければならない。これらの考慮は、(1)臨界事故から十分に離れた距離に配置し使用することができるポータブル分析機器を維持すること、(2)電源喪失事象で継続的な作戦を保証する予備電力供給、あるいは(3)バックアップ処理の協定を含んでいるべきである。

7.7 放射線学的・非放射線学的障害

(システムの) 部品の処理手順は、放射線と危険性物質に対する人員の被曝を最小限にする方法を具体化しなければならない。

8.0 参考文献 (規定)

9.0 参考文献 (情報)

補遺 A 臨界事故線量計の適用のための有用な情報 (情報)

A.1 はじめに

ANSI/HPS N13.3-2013 の内に含まれていた性能要件は、いくつかの異なる線量計設計およびアルゴリズムのうちのどれによっても満たされることができる。一般に、光子吸収線量の測定は、その施設で着用された個人線量計から直接導出されることができる。しかしながら、ユーザーは、核臨界事故に関連した高い中性子フルエンスに曝された個人光子線量計に起こりうる応答特性および必要な線量補正に注意しなければならない。対照的に、中性子線量推定値は、導出するのが多くの場合非常に難しく、中性子スペクトルと関連追加情報なしには、現在知られている単一検出器のレスポンスから確実に決定することができない。

国際原子力機関(IAEA)からの 2 つの報告書が、臨界事故線量計の設計および適用での使用に価値のある情報を提供する。IAEA 技術報告書シリーズ 180 は、様々な一般の媒質で囲まれた (及び入れられた) 核分裂線源からの計算された中性子スペクトルの広範囲な一覧表を提供する。その表に含まれているのは、スペクトルで平均された吸収線量換算係数の計算、いくつかの共通の放射化はくからの応答、および中性子線量値である。これらの表は、最低限の測定データから単純な線量値を導出するために使用することができる。線量分析のためのこれらの表の適用にふさわしい技術は、Ing と Cross (1981) で見つけることができる。

もう一つ有用なドキュメントは、IAEA 技術報告書シリーズ 211 である。臨界事故線量測定用のこのマニュアルは、多くの背景的事項、線量計算に関する情報、検出器レスポンス断面積、および臨界事故線量測定に役立つ追加の考察を含んでいる。さらに、IAEA 技術報告書シリーズ 318 およびこの報告書への追補（IAEA 技術報告書シリーズ 403）は、中性子スペクトルに関する追加情報を含んでいる。

A.2 クイックソート技術

最初の考察は、臨界事故事象において、個人へのあらゆる直接的な物理的なダメージである。不運にも、放射線被ばくによって引き起こされた人身傷害は、しばしば直接観察することができない。ある個人が放射線被ばくによる即時の医学的注意を必要とするか、医学処置を必要とするが即時にではないか、あるいは、曝されたが医学処置を要しないに違いないかを判断することができる技術は必要である。

医師は、しばしば曝された個人を対処療法的に、すなわち、嘔吐までの時間およびリンパ球運動減少(lymphocyte depletion kinetics)のような観察可能な生物学的反応に基づいて、治療する。これらのレスポンスは、2～3 日の間、放射線被ばくレベルの真の兆候を与えないかもしれないので、即時の結果をもたらす現場での技術に基づいて、放射線被ばくレベルを見積もることが望ましい。2 つの好ましい技術は、以下を含む：(1)インジウム箔の使用、それは、ガイガーミュラー計数管式検出器のような一般的な現場サーベイ計測器で容易に検知できる、(放射化に伴う) 光子および β 線放出を備えた高い中性子核断面積を持つ、及び(2)腹にサーベイ機器を押しつけることにより観測された全身の ^{24}Na 放射能の検出。これらの技術は両方とも、Gusev らの付録（2001）、Ryan ら（1982）および IAEA（1982）に簡潔に述べられている。放射性にされたナトリウムを識別する他の方法も利用可能である（Veinot ら、2009）。

曝された個人を、応急手当を要求する者（一般に 0.5 Gy 以上）、それらの要求する詳しい線量分析可能な医学の注意を要求する者（一般に 0.1～0.5 Gy）、そして、もし急性放射線症候群のさらなる症状を示さなければ、医学の対応を要するべきでない者（一般に 0.1 Gy 未満）に分けることは望ましい。曝された個人の移送と取扱いのための手順は、異なる線量レベルに期待される放射線宿酔症状に関する情報に加えて、Gusev ら（2001）で見つけることができる。

臨界事故算定の最初の目標は、最も極度に照射された人から最小の照射された人まで、曝露の降順中の曝された個人を識別することである。この情報は、現場の担当者、および曝された個人の応急処置に責任を負う医療スタッフに直ちに伝えられるべきである。PNAD の測定処理も最も高い予期された線量から最低の予期された線量までの順に遂行されるべきである。クイックソート・プロセスでのアクションレベルのために与えられた範囲は、中性子スペクトルにおける変化によって、その（クイックソート）技術の応答において予想される非常に大きな変化によって、かなり保守的に選ばれた。

A.3 線量測定パフォーマンス

ANSI/ANS N13.3 セクション 6.3 に指定された性能基準は、医療スタッフに通知する必要性と、ほとんどの臨界事故線量計システムの現実的な（性能）限界に基づく。放射化箔および生物指標を使用して、0.01～0.1 Gy レベルで正確な線量を導出するのは難しい。急性放射線影響の徴候の発症の点では、臨界事故に巻き込まれたという起こりうる精神的トラウマを除いて、どんな短期の観察可能な医学の影響もこの線量範囲にあるということを示す歴史的証拠はない。0.1～1 Gy の線量レンジでは、曝露のレベルと同じくらい、個人の一般的健康（状態）に依存して、若干の観察可能なレスポンスの小さな確率がある。

もし個人の健康状態が既に損なわれていたか、あるいは、やけど、外傷あるいは化学曝露のような他の物理的な傷があるのでなければ、人は、0.5 Gy 未満でどんな顕著な徴候も経験しそうもない。1 Gy のレベルまで、影響は最小であるに違いないし、また典型的な個人が比較的短期間に完全に回復すると予想することができる。1 Gy 以上では、線量が増加するにつれて、生物学的影響がますます厳しくなることが期待される；しかしながら、放射線影響および医療についての理解の進歩により、生存のための機会は、最初の臨界事故が 1940 年代に起こった時よりはるかに高い。正確な線量測定は、医療スタッフが処置オプションを評価し、かつ不必要で、潜在的に危険な処置の適用を減らすのを支援することができる。

生物学的影響および回復の確率を考えれば、正確な線量情報が最も有用で (IAEA, 1982)、および臨界事故線量計が最適化されるべきは、およそ 1～10 Gy の範囲にある。箔サイズおよび放射線検出器設計と運用は、このレンジが重点を置かれる場合、最適の結果を達成するために調節されることができる。

線量測定システムの設計では、報告された値の総合的な確度と精度に影響する多くの考察がある。例えば、放射化箔および生物指標は、検知できる反応生成物（放射化生成物のような）のより大きな生成によって、より高線量レベルでより正確に違いない。しかしながら、検出および結果の解釈を混同する他の生成物も生成されるかもしれない。システム部品と分析技術は、これらの干渉を最小限にするか補償するよう注意深く選択される必要がある。

大幅な改善は、施設で存在する物質および配置を算定し最もありそうなシナリオの前もって準備をすることによって、ほとんどの線量計性能に対してなすことができる。TLD リーダの光学フィルタは、計算された線量における不確かさに影響する場合がある。多量の線量に曝されない線量計のための超過光学フィルタの適用は、測定処理での利用可能な信号を縮小する。必要な光学フィルタを評価する方法（TLD ホルダー中の放射化された金属フィルタの測定のような）は、考慮されるべきである。

システムの試験は、システムの性能の検証を提供する。より重要なことには、オペレーターと線量評価者（この者は実際の線量を決定する際に重要な役割を果たす）に価値のある経験を与える。性能試験は、国内相互比較あるいは国際相互比較への参加、較正された中性子

源（例えば ^{252}Cf ）の使用，および校正された中性子および光子場を備えた原子炉の使用のような様々な手段を使用して遂行することができる。

A.4 事前準備

それぞれの施設は，臨界事故事象中に個人の線量の評価のための詳細手順書を持っているべきである。これらの手順は，地位または割り当てによって責任を指定するべきである。手順は，また，適用可能なよう交替職員の指名，使用されるべき特別の機器，故障あるいは入手不可の事象中で使用されるべき代用の機器，及び分析のための適切な手順を扱うべきである。

そのような緊急中の状況は，高品質の管理にはしばしば壊滅的であるので，活動の詳細な記録は維持されるべきである。これは，分析の間に記入するためにチェックリストや手順向きの記入様式を使用することにより，最もよく遂行される。さらに，詳細な記録は，物質（試料）の受け取り，物質（試料）の条件，常でない読み取り値，そしてフォローアップ分析および評価に役立つかもしれない他の情報のようなものに関して，主要人員によってとられるべきである。

臨界事故線量計の評価に関与する基本人員は，手順と機器についての熟知を保証するために適切な訓練を受けるべきである。さらに，施設全体に渡る演習は，緊急人員，医療スタッフ，エリア・スーパーバイザーおよび放射線管理スタッフが手順及び必要なアクションに精通していることを保証するのに有用である。さらに，可能な場合，臨界事故線量評価に責任を負う特別の人員は，国内および国際的な臨界事故線量計演習に参加するべきである。これらの演習は，個人の臨界事故曝露の正確なシミュレーションからの吸収線量を評価する唯一の機会を提供する。

セクション A.3 に言及されたように，以下の追加準備は非常に有用になりえる：その施設で起こるかもしれない臨界事故のタイプの評価，同様の施設で起こった臨界事故からのデータの調査，そのような臨界事故からの予期された中性子スペクトルの調査又はモデル化，そしてそれぞれのタイプのスペクトルについての線量計レスポンスの詳細な評価。そのような情報は，臨界事故後の実際の線量分析中に参考のために，体系化され容易に利用可能にしておかれるべきである。さらに，宝石，硬貨あるいは血液ナトリウムのような追加の技術の分析において使用することができる情報は，容易に利用可能にされるべきである。もし次のセクションで議論されるように，あるシステムが実装されていれば，エリア線量計に関する手順又は分析情報（あるいはその両者）は利用可能であるべきである。

A.5 FNAD の使用

FNAD の使用は，次の施設で高度に勧められる：それらの線量計（FNAD）が臨界事故後に容易に回収可能であるところ，及び，それらが，（施設の）ルーチン運転からの多量の線量を受けないところ。FNAD は PNAD と同じかもしれないし，あるいは個人線量計に補足

のデータを供給するデバイスを含んでもよい。FNAD が寸法と重さについて一般に制限されないので、大きな放射化箔、 ^{237}Np のような制限された物質あるいは低レベルの放射能を持った箔は使用することができる。エレクトロニクスが大きな線量からの影響に強い場合、能動デバイスも使用することができる。

FNAD の 1 つの利点は、検出器が、セットされた場所および向きにあるという知識である。個人線量分析への固定線量計結果の実際の応用は固定システムの能力に依存するが、下記は、そのシステムを適用される方法についてのある（一般的な）考えを与えるに違いない。固定線量計は、次の情報のうちの何かあるいはすべてを提供することができる：

- 中性子吸収線量。
- 中性子フルエンス。
- 中性子スペクトル。
- 光子吸収線量。
- 光子スペクトル情報。
- 中性子－光子比。
- 放射線パルスの実効時間。

固定線量計場所での中性子吸収線量についての知識は、個人線量計結果の検証のため、線源からの距離の関数として線量を推定するためのある手法を提供する。固定線量計データから評価されたより著しく低い個人線量計結果は、個人線量計が適切に着用されなかったかもしれないこと、あるいは、身体が線量計を陰にするようにその者は回転していたかもしれないこと、あるいは、線源とその人の間に遮蔽物質が存在したかもしれないこと示すかもしれない。中性子スペクトルのデータは、単に吸収線量の情報で可能であるよりさらに詳しく深部線量計算を行なうだけでなく、個人線量計エレメントの応答関数への補正をするのに使用することができる。高エネルギー中性子フルエンスの推定値と全中性子フルエンス・データの比較は、他の距離での他の信頼できる測定データと比較された時、中性子散乱と減衰の大きさの指示を提供することができる。光子成分に関する情報は、光子曝露に補正をしたり光子曝露を検証したりするのと同様の方法で使用されることができる。

いくつかの条件下では、そのエリアの放射能レベルが高すぎたり、汚染が回収を妨げたりする可能性のために、個人線量評価に重大な情報を提供するのに FNAD に依存することができない。さらに、臨界事故が放射線の複数のパルスを含む可能性がある。また、人員はすべてのバーストに曝されなかったかもしれない。その後、これらの違いが考慮されなければ、FNAD の評価は、PNAD からの結果より高い結果をもたらす。放出されるスペクトルは様々なバーストのために変わることができる。個人線量評価への FNAD 結果の応用は、注意して、条件についての注意深い考慮とともに行われなければならない。

A.6 線量当量又は同種の量の使用

線量当量概念は規制目的のために実施される。それは、曝露の何十年も後に健康悪影響を

発現させる確率とその（線量）値が関係付けられる量である。主たる目的は、数年して放射線被ばくの潜在的影響を受けないことを放射線業務従事者に保証することである。

個人曝露に関わる臨界事故では、関係する規則は既に違反されている。即時の関心は、曝された個人についてのごく短期の生存および非確率的影響に向けられる。この目的のために、組織で吸収されたエネルギー量は適切な量である。臨界事故からの放射線被ばくは、組織への吸収線量を使って報告されるべきであり、線量当量（または同種も量）への言及は避けるべきであることが勧められる。曝された個人が低レベルの曝露を持っていれば、線量当量（又は同種の量）の評価は、個人が毎年（あるいは生涯）の放射線被ばく限度を超えずに、放射線源周辺で作業を再開することができるかどうか判断するために、後日行なうことができる。

ほとんどの国々は、測定標準として組織カーマまたは空気カーマの量を受け入れた。カーマは吸収線量と密接に関係があるが、それらの量は基本的に異なり、個人の生存に影響するかもしれない決定的な決定を下さなければならない時に混乱を引き起こすかもしれない。

現在まで、臨界事故曝露の影響および急性放射線症候群の治療についての歴史的な文書は、吸収線量の使用によって支配される。したがって、処置をする医師が、吸収線量の報告に、より精通しより快適なことはありそうである。緊急時に単位の不必要な変換を防ぐために、吸収線量が臨界事故個人線量の即時の報告に使用されることは勧められる。他の線量測定量への変換は、公式の記録目的でのちになすことができる。

A.7 方向レスポンス

PNAD の方向レスポンスに関する知識は、個人への線量の正確な算定にとって重要である。臨界事故中に、線量計は、垂直ではない角度で中性子線源に向けられるかもしれない。それは、着用者の体による、様々な程度の吸収および散乱に帰着する。これらの結果を考慮しないいかなる線量決定も実際の線量を過小評価するかもしれない。この種の向きのための補正は、線量の保守的又は上限の決定を提供することができる。照射角度はさらに吸収線量に影響し、線量計算で考慮されるべきである。事故の再構築は、個人の向きに対する照射角度を確立するのを支援することができる。完全なインタビューおよびモックアップは、方向レスポンスのための適切な補正を決定するのに非常に役立つ。

A.8. 部分的な身体の曝露

曝された人の身体の一部だけが著しく照射された臨界事故が幾つかあった。臨界事故線量計が身体の遮蔽された部分に位置する場合、それは線量を過小決定することは大いにある。臨界線量計の設計のいくつかは、線量計およびより高い曝露を受けているかもしれない人員のクイックソートを可能にするために、遮蔽されていない放射化箔（例えば、Cd シールドされないインジウム）を使用する。しかしながら、部分的な身体の曝露状況においては、身体の他の部分が線量計で示されたよりはるかに高いレベルに曝される一方で、臨界事故線量計が遮蔽されるかもしれないので、クイックソートは、医学的に重要な線量に曝された

人員を識別しないかもしれない。クイックソート方法と共に使用される人員インタビュー技術は、部分的な身体照射が生じたかどうか判断するのを支援することができる。臨界事故の詳細の再構築は、合計曝露または部分的な身体曝露の適切な算定に不可欠である。

クイックソート技法は、放射化された身体ナトリウムの直接測定に時々依る。対内ナトリウムは、急速に循環系を通り抜けて再分布し、数分のうちに放射化ナトリウムは身体の全体にわたってかなり均一に分配することができる。部分的な身体曝露がある場合、この迅速な再分布は、はるかに低い「平均」身体線量の決定に帰着し、個人のための初期の医学対応を潜在的に誤って導くことができる。クイックソート技術は、部分的な身体曝露のための線量の厳しさを過小評価する可能性がある。

身体のいくつかの部位からの体毛の除去および測定は、部分的な身体照射が生じたかどうか評価する優れた方法である。体毛は、中性子場で照射された時に放射化される硫黄を含んでいる。放射化された体毛は、曝露の数週間後に測定可能かもしれない。

A.9 中性子スペクトル不確かさ

様々なしきい値レスポンス・エネルギーを持っている、又は中性子エネルギースペクトルからあるエネルギーを優先的に取り除くために特別のシールドで設計されている放射化物質で設計された線量計は、定義された中性子エネルギー領域に線量決定を供給する。概して言えば、定義され測定することができるより多くのエネルギー領域があれば、線量決定における不確かさが低い。しかしながら、あるエネルギー領域の測定が線量計物質中の放射能を制限する場合、より大きな統計的な不確かさがある。エネルギー領域の数と、様々な中性子スペクトルについてそれぞれのエネルギー領域で測定可能な放射化のレベルの間のバランスを、システムの設計において考慮する必要がある。

A.10 生物学線量測定

A.10.1 生体試料の放射化

天然ナトリウム(を含む)ファントムの一様な全身照射および毛髪試料の放射化は、PNAD に対して、適切に正確な中性子線量の決定を提供することが示された。放射化された血液ナトリウムの分析は、PNAD のように身体の向きによって影響されない。体毛は、部分的な身体曝露を評価するために使用することができる。中性子線量の決定において血液あるいは体毛のいずれかの単独使用は、血液について 1 MeV 未満の中性子エネルギーに、体毛についておよそ 2.5 MeV 以上のエネルギーに線量評価を制限する。しかしながら、体毛と血液の結合した使用は、臨界事故のために、 $\pm 20 \sim \pm 30$ パーセント内に正確な線量決定を提供することができる。

A.10.2 全身の対内 ^{24}Na 測定

暫定的な線量決定は、生体内の全身計測技術を使用して、放射化されたナトリウム(^{24}Na)の測定によって行なうことができる。全身計測技術は、さらに臨界線量計からなされた線量

決定の一部を確認することができる。クイックソート技術は、曝されていない者から曝された者まで並べ替えることを目指している；しかしながら、ガイガーミュラー計数管式検出器のようなポータブル検出器を使用する全身の測定からの結果（例えば、検出器に屈みこんで、計数又は照射線量率を得て）は、さらに非常に暫定的な全身線量決定を提供することができる。生体内の全身（計測）技術は、主としておよそ 1 MeV 未満の中性子エネルギーからの線量の決定に役立つ。さらに、それは、向き補正の確立のためになされた（なされる必要がある）線量決定を確認するのに役立つかもしれない。その技術は、低レベルの放射化に非常に敏感であるが、曝露後の最初の数日間に使用される必要がある。生体内測定技術は、部分的な身体の曝露のための線量を過小に決定する。これらの方法は、最も曝された人員の識別のためにクイックソート技術として適切に使用される。

A.10.3 血液学と血液化学の分析

血液学および血液化学（例えば血清アミラーゼ活性）は、曝露のインジケータになりえて、臨界事故からの線量を確立するのに役立つかもしれない。

A.10.4 細胞遺伝学線量決定

末梢血リンパ球中の二動原体の収差は、分析に邪魔をすると知られていたほんの少数の化学薬品があるものの、放射線に比較的特有であると考えられる。末梢血リンパ球中の二動原体染色体の低バックグラウンド・レベルは、放射線損傷に比較的高感度（0.1～0.2 Gy のしきい全身線量検知レベル）を供給する。照射された血液サンプルの二動原体の測定を使用する手順の国際相互比較は、線量のスコアリングが 0.75 から 5 Gy まで線量のために±10～20%であることを実証した。5 Gy を超える細胞遺伝学の線量決定は、刺激されたリンパ球中の環状染色体の測定のような他の方法を考慮する必要があるかもしれない。細胞遺伝学の線量測定は、核臨界線量測定システムの 1 つの見地と見なされるべきである。細胞遺伝学の線量測定のための事前準備は、線量定量法の一部として確立されるべきである。

A.11 放射線・非放射線障害

個々のシステム部品の処理は、その部品を処理し測定する人員への最小の線量に典型的には帰着する。しかしながら、あるイベントの直後に、照射された部品の大きな混合物（集合物）は、処理人員に測定可能な線量をもたらすことができる。システム部品の数の制限（例えば、設定された線量率レベル以下に）は、処理と測定の人員への最小の曝露を保証する。非放射線障害は、さらにシステム部品を取り扱う人員のために存在しうる。例えば、カドミウムは、ネズミの胎児死亡および胎盤のネクロシスを引き起こすと示された。したがって、カドミウムのハンドリングは、妊娠した女性への害をもたらすかもしれない。血液の取扱いは、血液が運ぶ病原体についての考察を要求する。適切な人員保護具は、システム部品の取扱いに関連した害を緩和する。

A.12 付録 A への参考文献

補遺 B 有用な線量測定情報（情報）

B.1 量

臨界事故は、3つの大きさの線量に帰着しそうである：即時の医学的対応を必要とするかもしれない臨界線源の近くの人員への高線量，命に危険がありそうでないが医療を要求する（又は要求しない）かもしれない中程度の線量，そして、そのイベントに関与しない、あるいは線源の近くにいない人員への低線量。中程度あるいは高線量を受け取る人員のために報告された線量は、個人吸収線量($D_p(10)$)の点からあるべきであり、また、SI単位では Gy で報告されるべきである。

合計の吸収線量は、中性子と光子の放射線からの寄与を含む。ほとんどの線量計は、これらの放射線からの線量を独立して測定するように設計されているので、おのおのの成分が報告されるべきである。合計の吸収線量（中性子と光子の吸収線量の和）も報告されるべきである。

適切な中性子フルエンスー線量換算係数が使用されるべきである。ICRU レポート 57 および ICRP レポート 74 に与えられた線量換算係数が、線量当量向けであることは注目される。Veinot と Hertel は、周辺吸収線量および個人吸収線量への換算係数を提示する。これらの中性子係数は表 B1 にリストされる。

光子換算係数は、空気カーマ(K_a)に関して、ICRU と ICRP によって提示される。 $D^*(10)$ 、 $D_p(10)$ および K_a のための光子係数は表 B2 にリストされる。空気カーマ係数が、ICRU または ICRP によってリストされなかった時、その値は Veinot と Hertel から得られた。

B.2 ファントム

線量計及び材料（試料）のをテストする場合、適切なファントムが選択されるべきである。ファントムは、予期された照射条件を可能な限り同じように緊密に再現するべきである。例えば、身体に着用されるアルベド線量計は、組織の後方散乱特性を模倣する物質から造られた十分に厚いファントムにマウントされるべきである。この種のファントムは、ポリメタクリル酸メチル(PMMA)、ルーサイト、水などから造られるかもしれない。様々なファントム形は可能であるが、平板形ファントムは最も一般的である。ファントムは、大きな散乱角度および（もし望まれれば）多数の線量計の配置ができるよう十分に大きいことが望ましい。放射化試験（例えばナトリウムの放射化）を意図したファントムは、中性子を減速させるのに十分に大きく、興味のある放射化物質の既知の量（例えば脱イオン水の 1 リットル当たり 9 g の NaCl の生理食塩）から構成されるべきである。

身体あるいは他の散乱体に典型的に着用されない線量計は、重要な散乱が試験中にレスポンスに影響を与えないように、マウントされるべきである。これは、照射の間に、薄い低散乱の表面に、線量計を掛けるかマウントすることを含むかもしれない。

B.3 実効断面積

理想的な臨界放射化線量計は、しきい値(E_{th})まで 0 で、続いて、すべてのより高い中性子エネルギーについて一定の値(σ_i)を仮定するもののよう、容易に定義された放射化断面積を持つしきい検出器から成る。しかしながら、理想的なしきい検出器は存在しない。利用可能な物質は、与えられたしきい値でステップ関数を持っていないし、また、近似のしきい値よりも上の中性子エネルギーについて一定の断面積も持たない。硫黄(?)や銅などのいくつかの場合、考慮されなければならない共鳴がある。そうした物質は、あたかもそれらが実効なしきい値(E_{eff})および断面積(σ_{eff})を備えた理想的検出器かのように、扱われなければならない。これは、中性子スペクトルの形が知られている場合、可能である。断面積は次式によって定義される：

$$\int_{E_{th}}^{E_{max}} \Phi(E) \sigma(E) dE = \sigma_{eff} \int_{E_{eff}}^{\infty} \Phi(E) dE \quad (B1)式$$

方程式 B1 は解析的に評価することができない。微分エネルギースペクトルは、 E_i と $E_i + \Delta E_i$ の間のエネルギーを持った、単位面積当たりの中性子の数(ΔN_i)の点から知られている。データは、量 $\Delta N / \Delta E$ として示される。スペクトル中のすべてのエネルギー・ビンにわたる、 ΔE を掛けたこれらの値の総和は、全フルエンス (合計フルエンス) を与える。スペクトルは、レサジー・スペクトルと呼ばれるものの点から表わすことができる。この表現は、中性子スペクトルの形が $1/E$ 依存を持つとわかるので、(他の多くの中で) 便利である；(ここでは、 $1/E$ 依存とは) その形が、 $U(E)dE/E$ で表現され、そこで、 $U(E)$ は、エネルギーでゆっくりと変わる。差分 $dN(E)$ は、今、 $U(E)dE/E$ 又は $U(E)d(\ln(E))$ になる。我々は、 E_i と E_{i+1} の間のエネルギーを持った、単位面積当たりの中性子の数(ΔN_i)の点から、だが量 $\Delta N / \ln(E_{i+1}/E_i)$ (すなわちレサジー間隔当たりのフルエンス) として表現されるデータで、再び微分レサジー・スペクトルを定義する。 $\ln(E_{i+1}/E_i)$ であるレサジー・ビン幅 $\Delta \ln(E)$ を乗じたこれらの値の総和は、フルエンスの合計を与える。レサジーが横座標として使用され、単位レサジー間隔当たりのフルエンスの対数が縦座標として図示される場合、スペクトルの便利な対数-対数表現が得られる。この方法は、中性子スペクトルを表現するための標準的な方法である。この表現では、必ずしも等しいビン幅を持っている必要はない(つまり、どの ΔE_i もそのエネルギースペクトルには一定ではなく、また、 $\Delta \ln(E)$ が、レサジー・スペクトルには一定でもない)、また、実際のところ、それらは、通常すべてのビンに対して同じではない。スペクトルのレンジにわたり広いレサジー間隔を持つよう選択が通常行なわれる。そのスペクトルでは、より多くの詳細解析が必要な領域で、値は、比較的一定かつ狭いビンである。

式 B1 の左辺の積分評価での問題は、数値解析の問題である：間隔 $\Delta \ln(E)$ にわたって一定のレサジーを持ったスペクトルで解析関数 $\sigma(E)$ (断面積) の積分。選ばれた方法は、エネルギー E_{ij} に対応する 19 の等しいレサジー間隔($\Delta \ln(E)_j$)に n 個のレサジー・ビンの各々を細分し、そのポイントの各々の 1 つで $\sigma(E_{ij})$ を評価し、 $w_1 = 1/2$, $w_{20} = 1/2$ および $w_j = 1$

(連続したペアのポイント $j=2 \dots 19$) を用いて台形公式を使用して積分することである。これは、この間隔中で単位レサジーあたりの一定のフラックスを乗じると、(次の) 希望の積分を与える。

$$\begin{aligned} \int_{E_1}^{E_2} \sigma(E) dN(E) &= \int_{E_1}^{E_2} \sigma(E) \frac{dN(E)}{d(\ln(E))} d(\ln(E)) = \\ \sum_{i=1}^n \left(\frac{dN(E)}{d(\ln(E))} \right)_i \int_{E_i}^{E_{i+1}} \sigma(E) d(\ln(E)) &= \\ \sum_{i=1}^n \left(\frac{dN(E)}{d(\ln(E))} \right)_i \sum_{j=1}^{20} w_j \sigma(E_{ij}) (\Delta_i \ln(E))_j &= \\ \sum_{i=1}^n \left(\frac{dN(E)}{d(\ln(E))} \right)_i (\Delta_i \ln(E)) \sum_{j=0}^{20} w_j \sigma(E_{ij}) &\quad (B2) \end{aligned}$$

Devine によって使用される替わりの方法は、モンテカルロ法を使用して断面積を評価することである。この方法では、MCNP コードは、最新の断面積データを備えた物質ファイルを使用して、断面積を計算するために使用される。物質中の相互作用の数は、 $1/(\text{barn cm})$ の原子密度単位に変換するための乗数とともに、セル平均フラクスタリー(F4)を使用して評価される。そのセルは、適当な密度をもった興味のある物質 (例えば硫黄) で満たされる。線源は、興味のある線源についてエネルギーフルエンス分布で定義される。表面で平均されたフラクスタリー (F2) は、 1 cm^3 立方体の背後の面を横切った中性子フルエンスを決定するために使用される。F4 と F2 タリーののための結果は、 E_{th} と E_0 より大きなエネルギーを持った中性子からの相対的寄与率へそれぞれ配分される。そこで、断面積は次のように計算される：

$$\sigma_{eff} = \frac{F4(E \geq E_{th})}{N F2(E \geq E_0)} \quad (B3) \text{式}$$

ここで、N は、その立方体の中にある興味のある物質の原子の数である。

B.4 実効的な吸収線量変換係数 (スペクトル加重平均した換算係数)

臨界事故は中性子エネルギーのあるスペクトルに帰着し、フルエンスから線量への換算係数が中性子エネルギーの関数として変わるので、興味のあるスペクトルおよびエネルギー範囲についての実効的な換算係数を計算することは多くの場合に必要である。フルエンスから線量への換算係数が、エネルギーの関数として比較的一定であるエネルギー領域については、適切な換算係数は、その領域について平均中性子エネルギーを使用して近似することができる。換算係数は、次式で記述されたスペクトル加重平均換算係数を計算することによって、より多くの確信をもって、および係数がエネルギーに応じて変わる領域について、決定することができる：

$$\int_{E_1}^{E_2} \Phi(E) DF(E) dE = DF_{eff} \int_{E_1}^{E_2} \Phi(E) dE \quad (B4)$$

ここで、 $DF(E)$ は、エネルギーの関数としてのフルエンスから線量への換算係数である。また、 DF_{eff} は、 $E1$ と $E2$ の間の中性子エネルギーについての実効的なフルエンスー線量換算係数である。式 B4 は、上記の方法を使用して、又は Devine によって示されたモンテカルロ・テクニックを使用する方法を使用して、評価することができる。同様の方法は光子に使用されてもよい。

B.5 付録 B への参考文献

表 B1 (省略)

表 B2 (省略)

補遺 C FNAD の位置に関する考察 (情報)

この付録は、FNAD 配置の決定のための計算例を提示する。それらは歴史的な換算係数および単位を使用する。また、特定の値は現在の情報と一致していないかもしれない。

C.1 臨界事故の特徴づけ

McLaughlin らは、世界的に起こった 60 の臨界事故について記述した。これらの事故は、二つのカテゴリーに分類される：プロセス設備で生じ、予期されなかったもの (22) および臨界実験や研究用原子炉の操作で生じたもの (38)。

プロセス設備での臨界事故は、この標準での主たる関心である。プロセス設備は、核分裂性物質を使って操業を実施し、臨界又は臨界に近い配置が生じるのを防ぐよう物理的および運営管理的なコントロールに依存する。運転員は、通常、臨界安全性における専門技術者ではないが、潜在的な臨界配置 (腕の長さだけ) に非常に接近しうる。核分裂エネルギーの放出は、22 のプロセス設備事故のために評価された。最小の合計の臨界事故収率は、およそ 10^{15} 核分裂だった。22 の報告されたプロセス事故からの観察された事実の 1 つは、次のとおりだった：事故は、施設のサイトを超えて、人々や環境に対して著しい放射線影響をもたらさなかった。これは、人員及び環境影響において、臨界事故が、小さな、卓上試験スケールの化学爆発に似ているという一般に持たれた主張を補強する。つまり、それらは作業者の安全問題である。

22 のプロセス設備事故のうちの 1 つ以外のすべては、減速させられた物質 (溶液、スラッジあるいはスラリー) に関してであった。22 のうちの 1 つだけが、非減速の (金属) システムであった。したがって、中性子線量に加えて光子線量を考慮することは重要である。

C.2 非減速及び減速システムのための線量関係

次の資料の多くは、コートらおよび ANSI/ANS 8.3-1997 の (R2003) から抜粋された。臨界事故の収率および放射線特性は 2 つのカテゴリーに分類される：非減速配置に起因するものと減速配置に起因するもの。この研究について、ANSI/ANS 8.3-1997 からのデータは、

以下の作表に使用された。

0.15 Gy および 0.07 Gy の値は、非減速及び減速アセンブリに関する 1×10^{15} 核分裂イベントからそれぞれ 2m の線量の代表値であると想定される。減速システムについて 12, 及び非減速システムについて 0.3 の中性子－光子比に関して ANSI/ANS 8.3-1997(R2003) の仮定を採用して、表 C2 は、 10^{15} 核分裂イベントからの 1 m での線量値を提供する。

表 C1 (省略)

表 C2 (省略)

関係する遮蔽がなく散乱放射線成分は無視することができると仮定し、表 C2 の値を使用すると、収率 Y_f (核分裂)の核分裂イベントから距離 R(メートルで)における線量レベルについて、次の単純な計算式に帰着する:

	非減速システム	減速システム
中性子線量(Gy)	$55 \times 10^{-17} (Y_f/R^2)$	$6.5 \times 10^{-17} (Y_f/R^2)$
光子線量(Gy)	$4.6 \times 10^{-17} (Y_f/R^2)$	$22 \times 10^{-17} (Y_f/R^2)$
合計線量(Gy)	$60 \times 10^{-17} (Y_f/R^2)$	$28 \times 10^{-17} (Y_f/R^2)$

水、鋼およびコンクリートによる透過 (率) のための線量低減ファクターと共に、空気－土地ジオメトリのためのより正確な推定値は利用可能である。

C.3 線量再構築目的のための FNAD の配置

FNAD ユニットが、ある仮定された臨界事故についての情報を提供する能力は、事故の大きさ、その中性子と光子の感度レンジ、そして反応物質に関してのユニットの位置に依存する。

C.3.1 核分裂収率に関する仮定

ANSI/ANS 8.3-1997(R2003)の仮定を採用して、最大の臨界事故は、合計で 2×10^{19} 核分裂の核分裂収率を生成するものであると仮定される。関心最小事故は、反応物質から 2 m で 1 min の間に合計 0.2 Gy の吸収線量を生成するものである。これおよび表 C2 の値に基づいて、関心最小臨界事故は、減速システムのために 1.33×10^{15} 核分裂、また非減速システムのための 2.86×10^{15} 核分裂になる。

C.3.2 中性子と光子の感度レンジ考察

ある施設の FNAD のための中性子および光子線量レンジは、適切な技術基礎文書において指定されるべきである。例えば、放射化箔は、およそ 0.1 Gy から 10^4 Gy を遥かに超えるまで、 ± 25 パーセントの正確さで、中性子線量測定能力を提供するよう設計される。光子線量決定 (TLD を使用) についての相当する能力は、異なる仕様を持つ場合がある ; 例えば、 ± 20 パーセント正確さで 0.1 Gy $\sim 10^3$ Gy。

C.3.3 距離考察

最小核分裂事故に対して、FNAD ユニットおよびそれらの場所に置かれた要求は、FNAD のレスポンス能力の下限によって決まり、最大臨界事故によって課された、FNAD レスポ

ンス能力の上限によって決まる要求とは、全く異なる。例えば、FNAD が仮定された最小臨界事故に使用可能なデータを供給するほど、反応物質に十分に接近している場合、最大臨界事故に対するその能力を超過する線量レベルにそれが曝されるかもしれない。施設は、最小および最大の臨界事故によって課された距離要求を、光子および中性子曝露のために別々に分析することによって、FNAD ユニットの配置についてガイドラインを開発する必要がある。以前に開発された核分裂収率と距離の関数としての線量レベルの表現は使用することができる。FNAD ユニットと反応物質の間に遮蔽がないと仮定されている。散乱影響は二次的なものであると仮定される。

C.4 付録 C の参考文献

付録 1-2 毛髪中の ^{32}P 測定に基づく中性子線量評価法の文献調査

1. はじめに

臨界事故における個人の被ばく線量評価では、ガンマ線については作業者の着用するガンマ線用個人線量計（フィルムバッジ、熱ルミネセンス線量計、蛍光ガラス線量計等）、中性子については作業者の着用する放射化検出器等が一般に使われる。ガンマ線用個人線量計については、多くの場合、管理区域内で作業する作業者は例外なく着用していると考えられ、また、事故で受けたガンマ線量を精度良く評価できる性能を備えている。一方、中性子用の放射化検出器については、（例えば）インジウム箔だけからなるスクリーニングを目的とした単純なものから、広い測定可能エネルギー範囲を達成するため反応のしきいエネルギーが異なる複数の箔を組む複雑かつ高機能なものまであり、その選択は、事業者によって様々である。前者の単純な放射化検出器を利用するケースでは、施設内の壁にすえつけた放射化検出器から必要な情報を補ったり、あるいは被ばくした作業者自身の身体の放射化を利用したりするなどして線量評価を行う必要がある。また、身体の放射化を測定する方法は、作業者が自らの個人線量計をなんら着用もしていない状況下においても有用である

身体の放射化を測定する方法では、中性子との核反応によって全身（血液中）に生成されるナトリウム（ ^{24}Na ）と毛髪中に生成されるリン（ ^{32}P ）が歴史的に利用されてきた。

ナトリウムは 1940 年代の臨界事故から使われ、また近年の JCO 臨界事故においては、大線量被ばく者だけでなく、敷地内の他の従業員等の線量評価にまで使われたことで知られている。 $^{23}\text{Na}(\text{n}, \gamma)^{24}\text{Na}$ で生成される ^{24}Na は、半減期 15 時間で高エネルギーのガンマ線を放出するので、適切なエネルギー分解能と波高分析機能を備えたガンマ線測定器を用いることによって、血液中あるいは全身中 ^{24}Na 放射能を測定することができる。比較的高感度であり、また ^{24}Na 放射能の生成は、中性子エネルギーにはあまり依存せず中性子フルエンスだけに比例するという線量評価上の利点がある。ただし、血液の循環によって事故直後における体内 ^{24}Na 分布が平均化されてしまうので、不均一な曝露や曝露の向きといった情報は得ることができない。

対照的に、毛髪（体毛）中の硫黄を利用する方法は、 ^{24}Na とは異なる利点を持つ。毛髪中に含まれる硫黄は、速中性子との $^{32}\text{S}(\text{n}, \text{p})$ 反応によって ^{32}P を生成する。この測定は 1958 年の Los Alamos Scientific Laboratory (LASL, 現在の Los Alamos National Laboratory) の事故で初めて使われ、それ以降、ほとんどの事故において体内中 ^{24}Na の測定と組み合わせて使われた。本測定は、1999 年に起こった株式会社 JCO での臨界事故においても 2 名の重篤被ばく者に適用された。必要に応じて様々な部位（頭、胸、下腹部、四肢等）から試料採取することができるので、体表面上における線量分布を得ることができる。また、例えば、頭部の前後からそれぞれ毛髪を採取し ^{32}P 放射能を比べることによって曝露の向きも分かるとされている。このような分布情報は、被ばく線量の正確な復元作業で欠かせない。また、非侵襲的で試料採取しやすいことも利点の一つである。

しかしながら、 ^{32}P は純 β 線放出核種であり、かつ毛髪という固体物中に生成されるためその測定には工夫が必要である。1982 年に発行された IAEA マニュアル[1]では、化学処理によって沈殿物として放射化リンを抽出して測定する方法について記述している。近年、すなわち IAEA マニュアルの発行以降、試料そのものを直接液体シンチレータ中に入れて測定する内部線源液体シンチレーション計数法が発達してきた。本測定法は、毛髪中の ^{32}P 測定手順を飛躍的に簡略化できる可能性がある。

本章では、毛髪中の ^{32}P 放射能に基づく線量評価法について、その歴史的経緯・測定法とともに、1990 年代以降に提案された内部線源液体シンチレーション計数法の具体的な適用例について調査した結果をとりまとめる。

2. 基本原理

硫黄は、速中性子フルエンスを測定するための放射化検出器としてしばしば使われる。硫黄中に存在度 94.93% で含まれる ^{32}S は、 $^{32}\text{S}(\text{n}, \text{p})$ 反応によって、 ^{32}P を生成する。 ^{32}P は半減期 14.26 日で最大エネルギー 1.711 MeV の β 線を放出する。 $^{32}\text{S}(\text{n}, \text{p})^{32}\text{P}$ 反応のしきいエネルギーは 2.0 MeV²、核分裂中性子スペクトルに対する断面積は 65 mb である[1]。高純度なものが容易に入手でき、タブレット状に固められたものが一般に使われる。ここで、純度は重要であり、特に不純物として含まれるリンには最大の注意を払う必要がある。天然に 100% の存在度で存在する ^{31}P は、熱中性子との相互作用 ($^{31}\text{P}(\text{n}, \gamma)^{32}\text{P}$) によって ^{32}P を生成するので、 $^{32}\text{S}(\text{n}, \text{p})$ 反応で生成される ^{32}P と見分けがつかない。また、しきいエネルギーである 1.5 MeV 以上では、 $^{31}\text{P}(\text{n}, \text{p})^{31}\text{Si}$ 反応も生じる。 ^{31}Si は、半減期 2.622 時間の β 線放出核種なので、事故直後における ^{32}P の β 線測定を妨害する。

人体の組織のうち、髪の毛、爪および軟骨は、身体に入射する速中性子による線量を推定する際に役立つだけの十分な硫黄を含む。しかしながら、これらの組織のうち、事故直後において、十分な量の試料を採取できるものは髪の毛だけであろう。

頭髮を含む体毛はケラチンという硬質たんぱく質からなる。ケラチンは、アミノ酸の一種あるシスチンを含み、分子構造の中に硫黄（ジスルフィド結合）を持つ。体毛中には、5 wt% の硫黄が含まれるとされる。LASL の Petersen は、コーカソイドの体毛中の硫黄とリンの含有量を調べた[2,3]。また、放射線医学総合研究所の丸山は日本人について同様の調査を行った[4]。表 3-1 に結果を示す。硫黄の含有量は著しく一定であることがわかる。Petersen によると、色や体毛の採取部位に依存しない。また、丸山のデータとの比較から人種による相違も小さいことがわかる。このことは、個人差が大きいためその都度分析しなければならない血中安定ナトリウム濃度とは異なり、個人差を考慮することなく、採取した体毛試料の質量当たりの ^{32}P 放射能を求めればよいこと意味する。なお、Petersen によると、僅か

² IAEA マニュアル[1]の表 IX による。断面積が立ち上がるエネルギーをここでは示した。なお、同表には、最大断面積の半分の断面積に対応する実効しきいエネルギーとして 3.3 MeV という数字も併記されている。

に含まれるリンは、表皮の残骸等によるものとのことである。表面の不要なリンは測定前に洗い落とすことができるので、極度に中性子スペクトルが減速されるなどの特別の状況下を除いて、リンの放射化は、放射能測定における誤差要因として無視できるレベルと考えられる。

表 1 体毛 1 g 当たりの硫黄とリンの含有量

人種	部位	サンプル数	硫黄 (mg/g 髪)	リン (mg/g 髪)	リン/硫黄 (%)
コーカソイド ^a	頭髮	64	47.1±5.1	0.155±0.042	0.33
	下腹部	68	47.3±5.6	0.251±0.065	0.53
	平均	168	47.7±5.5	—	—
日本人 ^b (モンゴロイド)	頭髮	不明	43.6±4.6	0.171±0.024	0.39

a. 参考文献[2][3] (注：コーカソイドという記述は参考文献[3]だけにある。)

b. 参考文献[4]

³²P 放射能の測定には、 β 線を効率的に測定できる端窓 GM 計数管や薄いプラスチックシンチレータ等が使われる。測定においては、鉛ブロック遮へい等を効果的に配置するなど、バックグラウンドを下げる工夫が必要である。

³²S(n,p)反応の断面積は、中性子エネルギー約 2 MeV から立ち上がり、それ以上のエネルギー領域では比較的平坦であるため、しきいエネルギー以上のエネルギーを持つ中性子のフルエンス並びに線量が評価可能である。全エネルギー範囲にわたる中性子フルエンス並びに線量を評価する場合には、したがって、しきいエネルギー以上の成分の全エネルギー成分に対する割合（臨界事故が起こったアセンブリ自身の構造やその周囲の遮へいによって変化する）を知る必要がある。

3. 従来の測定法

Petersen ら[2], Hankins[5,6], そして IAEA マニュアル[1]の方法をここに概説する。Petersen と IAEA マニュアルの方法は、毛髪を化学に処理し、リンを分離してから測定する方法、一方の Hankins の方法は、毛髪をそのまま直接に測定する方法である。発表年順に記述する。

3.1 Petersen らの方法[2]

LASL の Petersen らの方法を以下に示す。

- (1) 約 1 g の試料を採取し、質量を正確に計る。
- (2) 同体積の濃硝酸と過塩素酸の混合物 (10ml) で溶かす。溶解における nitric phase を維

持するためにフラスコ中で 20～30 分間徐々に加熱し、その後、フラスコはさらに 1.5～2 時間 190℃まで加熱。

- (3) 溶解後、フラスコは冷やされ、15 ml の水で薄められ、3～5 分間再沸騰。
- (4) その後、それらは水でおよそ 50 ml まで薄められ、pH 指示薬としてブロモフェノール・ブルーを使用して、1N 水酸化アンモニウムおよび 1N の HCl で pH 3.5 に調節する。
(この pH 調節はリンモリブデン酸塩の沈殿には重要)
- (5) 2 mg のキャリアー・リン酸塩を加える。また、5.5%のモリブデン酸アンモニウム 25 ml および 6N の硝酸 25 ml を追加することによって、 ^{32}P が沈殿する。
- (6) 溶液を、5 分間、およそ 80℃に熱する。溶液を冷やし、3 時間ほど放置後、ワットマン 42 番ろ紙でろ過する。
- (7) ^{32}P を含む沈殿物は、2%の少量の硝酸で洗われ、乾燥し、ステンレススチール・プランチェットに置く。
- (8) 0.5 ミルのマイラーで試料を覆い、低バックグラウンドの GM 又はプラスチックシンチレータで測定する。

また、原子炉を利用した毛髪の照射実験の一部³において、核分裂生成物のフォールアウトによる汚染はみられたが、上記手順に基づいた ^{32}P 放射能分析結果は、なんら汚染もない硫黄タブレットの分析結果と一致した、すなわち上記手順に基づく ^{32}P の化学分離法は、汚染の影響を受けないことも報告された。

なお、検出下限は、1.0 g の髪の毛サンプルで、中性子線量約 50 mGy である。

3.2 Hankins の方法[5,6]

Hankins は、Petersen らの ^{32}P を化学分離する測定方法に対して、分離を必要としない毛髪中 ^{32}P の直接測定法を提案した。試料を破壊することがなく、また迅速な測定が可能であるなどの利点を持つ。手順は、以下の通りである。

- (1) 採取された髪を、洗剤、蒸留水およびエタノールで洗う。
- (2) NaI(Tl)シンチレータ等の γ 線検出器で、ガンマ線放出核種の有無を調べる。ガンマ線放出核種が見つかる場合、何らかの表面汚染が残っていると考えられるため、本測定法は適用できない。(汚染した髪の毛の分析手順は Petersen から与えられる。)
- (3) 汚染がない場合、頭髮を約 0.6 cm (1/4 インチ) に切る。
- (4) 厚さ 0.025 mm (1 ミル) のアルミホイルで、直径約 4.4 cm (1.75 インチ) × 深さ約 3.2 cm (1.25 インチ) を作る。(同じくらいの直径の棒の先端に、アルミホイルを押し付けて作る)

³ネヴァダ試験場の Kiwi 原子炉での実験。Kiwi 原子炉は、原子力推進ロケットの地上実験施設であり、推進剤（水素）とともに放射性物質（燃料の破損等で発生するらしい）を外部に放出することで知られている。

- (5) アルミカップを計量し、その中に 1~2 g の頭髮を入れ、その状態で再計量する。
- (6) カップ底面に一様に頭髮をしきつめる。
- (7) カップの側面を折りたたんで、髪の毛をコンパクトに固定するディスク（図 3-1）を作成する。
- (8) ディスクの折りたたんでいない面を β 線検出器（ β 線入射側）に向けて置く。（いずれの低バックグラウンド β 線検出器も使用可能だとしているが、論文では、厚さ 0.125 インチのプラスチックシンチレータを使用している。）
- (9) ^{32}P の β 線を計数する。

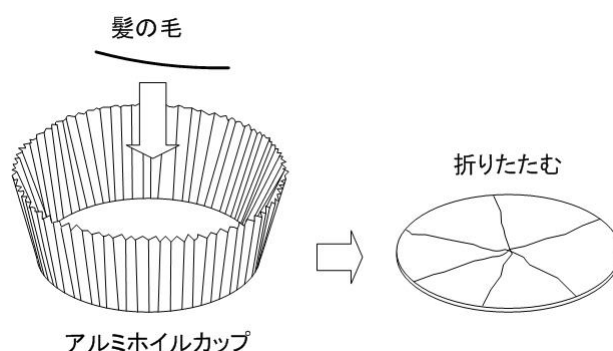


図 3-1 アルミホイルカップ
（論文[5]の記述をもとに作成）

Hankins は、本手法の注意点として以下の二項目をあげた。

- (a) カップに入れる髪の毛の量が多いと β 線自己吸収を起こす。そのため、髪の毛の質量と計数効率が比例しない。採取する頭髮の量は 1~1.5 g くらいで十分とある[6]。
- (b) 汚染などがない場合でも、 β 線を放出する短半減期核種がしばしば観測される。半減期（約 2.6 時間）から ^{31}Si と考えられる。測定開始まで数時間程度待つとよい。事故当日に測定する場合は、 ^{31}Si の寄与がないこと、他の汚染がないことのエビデンスとして、時間間隔をあけて何回か測定することを推奨している[6]。

頭髮を直接計数する本手法は、事故後の初期段階において線量推定値を与えることができる。必要に応じて、Petersen に記述される ^{32}P の分離測定は望ましいかもしれない。

また、Hankins は、体内 ^{24}Na 放射能と毛髪中の ^{32}P 放射能を組み合わせる線量評価法を強く推奨している。ほとんどのケースにおいて、それぞれを単独で使うよりも、線量評価精度が良いとしている[6]。

3.3 IAEA マニュアルの方法

IAEA が 1982 年に発行したマニュアル[1]は、様々な角度から検証のなされた当時の最新の測定方法・評価方法を取りまとめたものである。

毛髪中の ^{32}P 測定については、本文中で Petersen と Hankins の方法を紹介するとともに、付録 A.4.2 の中で Eakins と Lally (Atomic Energy Research Establishment, Harwell, UK) による測定方法として、以下を挙げている。

- (1) 試料を、硫酸/硝酸、過酸化水素および過塩素酸で湿式酸化させる。
- (2) 溶液の pH をほぼ中性に調節し、モリブデン試薬を追加することによってりんモリブデン酸アンモニウムとして沈殿させる。
- (3) 沈殿物をアンモニア溶液で溶かし、マグネシア試薬を追加することによってマグネシウム・リン安として再度沈殿させる。
- (4) 沈殿物 (^{32}P を含む) を計量し、アルミ・トレーにマウントしてベータ線を計数する。

4. 液体シンチレーションカウンタを利用する測定法

毛髪中の ^{32}P を効率的に測定する工夫として、様々な試みがなされてきた。その一つが、毛髪試料を直接液体シンチレータ中に溶解して測定する内部線源液体シンチレーション計数法を利用する方法である。

4.1 ORNL の方法[7]

ORNL の Feng らは、液体シンチレーションカウンタによる毛髪中の ^{32}P 測定を提案した。提案当時、液体シンチレーションスペクトロメータは、低バックグラウンドと高効率を併せ持つ測定器として実用化されており、従来の毛髪の放射能測定手順を大きく改善する可能性があった。例えば、パルス波高分析によってある β 線エネルギーより領域の信号を容易に排除できる点も大きな利点であった。Feng によれば、ほとんどの表面汚染は、 ^{32}P よりはるかに低いエネルギーであるので、サンプルがわずかに汚染される程度であれば、複雑な化学処理をせずとも ^{32}P 放射能の正確な初期推定値を得ることができるとしている。

以下に、試験的に行った測定手順を以下に示す。Feng らは、洗浄後に毛髪を化学的に溶解する方法と、高温灰化する方法の二種類を試した。

(1) 毛髪試料の準備

- (i) 被ばく者の頭部の前後左右から頭髮試料を採取し、それぞれの試料に名札をつける。
- (ii) 事故の時間並びに頭髮試料が採取されるまでの経過時間、そして試料が採取された東部の正確な位置を記録する。
- (iii) ^{31}Si (毛髪の表面上の油、異物および乾燥皮膚から生成される) を減らすため、核分裂生成物によって汚されていないくても、頭髮を、洗剤、蒸留水およびエタノールで洗い、次に、 80°C 未満の温度で、オーブン中で乾燥させる。
- (iv) 洗った頭髮をできるだけ細かく切る。このとき、異なる試料を混合しないよう注意する。
- (v) 試料の質量を計測し、記録する。

(2) 化学溶解

- (i) 質量が計測された毛髪を、シンチレーション・バイアルに入れる。
 - (ii) 使用する溶剤は、SX-10 組織可溶化剤、30%の過酸化水素およびジチオトレイトール (DTT) であり、フィッシャー・サイエンティフィック株式会社 (Fisher Scientific Corporation) から入手できる。過酸化水素、組織可溶化剤および DTT を順に加える。1 グラムの毛髪の場合 14,000 μ L の組織可溶化剤、7000 μ L 30%の過酸化水素および 0.12g の DTT が必要である。
 - (iii) バイアルを攪拌し、髪の毛が完全に溶けるまで、50-60°Cの一定温度で 3~4 時間溶解させる。(毛髪 0.3 g までであれば、深刻なクエンチング (消光) なしで、かつ 4 時間以内に完全に溶解する。)
 - (iv) 20 mL のシンチレーションカクテルをバイアルに入れる。(20 分間、溶液が透明になるまで)
- (3) 灰化
- (i) 温度 800°Cまで、マッフル炉はあらかじめ熱する (通常 1~2 時間)。
 - (ii) 計量した毛髪をるつぼに置き、るつぼをマッフル炉に置く。
 - (iii) 800-815°Cに保ち、0.5 g で 15 分、1 g で 20 分間熱する。(700°C以下では多量の炭ができ、1000°Cではほとんどの毛髪が揮発する。)
 - (iv) るつぼが冷えるまで放置する。
 - (v) 灰化したパウダーをすべて集め、シンチレーションバイアルに入れる。(1 グラムの髪の毛は灰化後に 0.008 g まで減る。液体シンチレーション薬瓶に灰化された髪の毛を入れる際に試料を失うことのないよう注意すること。)
 - (vi) シンチレーションカクテル(5 mL)をるつぼに入れ、その溶液を優しく揺り動かす。また、別のカクテル (10 mL) をシンチレーションバイアルに入れる。(記述はないが、るつぼに残った分とバイアルとを最終的に混ぜるのであろう)
 - (vii) 均質な試料を得るために、界面活性剤 (トリトン-10 の) 5 mL をバイアルに入れる
 - (viii) 溶液がゲル化し始めるまで、ふたをしたバイアルを振る。

頭髮試料が多い場合は、灰化法の方がクエンチングは少ない。試料が 0.3g 未満である場合は、上述した化学溶解法が推奨される。

測定では、カウンティング・エネルギー範囲は、5~1700 keV にセットされる。1 g の髪の毛サンプルを使用すると、²⁵²Cf 核分裂中性子スペクトル換算で約 60-70 mGy の中性子線量を 95%の信頼水準で評価することができる。

4.2 放射線医学総合研究所の方法 (JCO 事故での適用例) [8]

JCO 臨界事故において実際に適用された方法である。手順を以下に示す。

- (1) 採取した毛髪を細かくカットする。
- (2) 均質の溶液を得るために、組織可溶化剤(パッカード Soluene-350)を使用。

- (3) Soluene-350 が非常に強い有機塩基であるので、Hionic-Fluor クラシカルシンチレーションカクテル(パッカード社)を使用。
- (4) 試料が有色であるため、少量の 30%過酸化水素を追加して漂白。
- (5) 液体シンチレーションカウンタ (パッカード Tri-Carb 2200) で ^{32}P を測定するため、波高ウィンドウを 50~1700 keV にセット。
- (6) クエンチングの補正は、非放射性の髪の毛の使用により、また NIST の標準 ^{32}P 溶液の使用して行った。0.2 グラムを超える髪の毛が、カウンティング薬瓶に溶かされるまで、有意なクエンチングは生じなかった。

本測定は、事故で重篤な被ばくを受けた二名 (A 氏と B 氏) に適用された。A 氏の頭髮サンプルは、頭部の右側と左側から得られた。 ^{32}P の放射能 (5.6~4.6 Bq/g of hair) は頭髮の右と左であまり異なっていなかった。下腹部の ^{32}P の放射能 (28.6 Bq/g of hair) は、頭髮中のそれより明らかに高かった。この結果は、A 氏の場合、頭部よりも腹部が高速中性子によって著しく曝されたことを示した。

臨界事故が起こった部屋の隣室にいた一名 (C 氏) については、分析前に行われた毛髪試料のガンマ線スペクトル測定の結果、 ^{91}Sr 、 ^{91}Y および ^{140}Ba といった核分裂生成物による明白な汚染が観測されたため、毛髪中 ^{32}P の測定は行われなかった。

4.3 CEA の方法[9-12]

フランス原子力庁を中心に、臨界事故時における被ばく者の処置に関する実際的なガイドラインの整備が進められ、その一環として、毛髪中 ^{32}P 放射能測定の統一的手順の整備とフランス国内の関連研究所間での ^{32}P 測定にかかる相互比較エクササイズ等が実施された。毛髪の照射実験には、CEA Valduc センタの SILENE 炉が使われた。2009 年 10 月 12~16 日にケープタウン (南アフリカ共和国) で行われた 11th Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS11) での発表並びに関連論文から得た情報を以下に記す。

(1) 測定手順

毛髪は細かくカットし、放射性物質の除染に使用される通常のシャンプーで洗う。試験では、天然の毛髪、染めた毛髪、パーマをかけた毛髪など様々な試料 (0.2~1 g) が使われた。

測定には、液体シンチレーションカウンタと低バックグラウンド β 線カウンタが使われた。液体シンチレーションカウンタについては、毛髪をそのままシンチレーションカクテルに入れる方法 (直接測定法) と、毛髪を灰化し化学処理によって沈殿させたものをシンチレーションカクテルカクテルに入れる方法 (間接測定法: 灰化・沈殿) が試された。表 3-2 にそれぞれの手順を記す。校正曲線と計数効率は ^{32}P 標準溶液を使用して得た。

(2) 結果

天然の毛髪、染めた毛髪、パーマをかけた毛髪の比較では、 ^{32}P 放射能の測定結果に有意な違いはなかった。また、0.2 g の毛髪試料でも十分に ^{32}P 放射能を測定することができた。

被ばく者に体表面汚染がなければ、毛髪をそのままカクテルに入れる直接測定法が適用できる。その場合、毛髪中 ^{32}P の測定はきわめて迅速なものになる（3 時間以内）。一方、灰化した毛髪をリン酸アンモニウム・マグネシウムとして沈殿させて測定する場合は、約 10 時間かかる。毛髪サンプルが質量 1 g の場合、カクテルが均質化されずカウント数が失われるので、灰化・沈殿することが望ましい。

表 3—2 CEA の ^{32}P 測定手順

	液体シンチレーションカウンタ	低バックグラウンド β 線カウンタ
直接測定	・0.2～1 g の毛髪試料を、液体シンチレーション・カクテルに直接入れる。 ・測定は広いエネルギー窓 (5 ～ 1,700keV) で行う。	・0.5 グラムの毛髪試料を、均一な厚さになるようステンレス皿にのせ、低バックグラウンド・カウンターで測定。
間接測定 (灰化・沈殿 ^注)	・0.2～1 g の毛髪試料を、約 800℃ のマッフル炉で灰化する (4 時間)。 ・灰化された毛髪を酸(HCl 0.4N)で消化して中和し、カウンティング溶液中にパウダーを浮遊させる。 ・^{32}P は、リン酸アンモニウム・マグネシウムとして沈殿させる。沈殿物は液体シンチレーション・カクテルに溶かす。 ・測定は広いエネルギー窓 (5 ～ 1,700keV) で行う。(30 分間)	・0.2～1 g の毛髪試料を、約 800℃ のマッフル炉で灰化し (4 時間)、塩酸 (0.4N) で消化する。 ・^{32}P は、リン酸アンモニウム・マグネシウムとして沈殿させる。 ・沈殿物を、低バックグラウンド β 線カウンタの試料皿にマウントし、計数する。

注：NEUDOS11 での発表[11]では、液体シンチレーションカウンタによる間接測定法として、表 3-2 に記述した手順に加えて、リン酸アンモニウム・マグネシウムの沈殿プロセスを省略した手順（以下、沈殿省略手順と記す）も報告された。両手順で ^{32}P 放射能測定結果に有意な差はないものの、沈殿省略手順の場合、髪の毛に汚染等があった場合に対応できないため実用的ではなく、表に示した直接測定法と（沈殿プロセスを省略しない）間接測定法が適切な組み合わせであるとのことである[13]。

5. まとめ

(1) ^{32}P 放射能測定手法の整理

臨界事故における中性子曝露によって毛髪中に生成される ^{32}P の測定法についてとりまとめた。 ^{32}P は、速中性子によって生成され、また身体表面の特定部位における線量を算出できるなどの線量評価上の利点がある。

毛髪の測定前処理については、化学処理によってリン酸塩としてリンを分離する方法と、なんら処置もしない方法とに大別される。後者は、他の放射性核種による汚染がない場合に有効である。

^{32}P 放射能測定においては、表面汚染や環境試料分析等で一般に使用される β 線カウンタはいずれも適用可能である。近年、液体シンチレーションカウンタの適用が提案された。特に、汚染がない場合は、特別な化学処理をすることなしに細かく切り刻んだ毛髪をシンチレーションカクテルに入れるだけで測定可能であることが報告された。未照射の毛髪試料と標準 ^{32}P 溶液を用いることで、計数-Bq の校正が可能である。本手法は、臨界事故後における被ばく線量評価作業を飛躍的に簡素化できる可能性がある。

(2) 線量換算係数

測定によって得られた ^{32}P 放射能 (Bq) から中性子線量を算出する際、換算係数が必要である。ORNL の Feng ら[7]は、 ^{252}Cf 核分裂スペクトルについて、 $0.69\sim 0.86\text{ Gy}/(\text{Bq/g 髪})$ と報告した。CEA の Lebaron-Jacobs ら[9]は、SILENE 炉で実施した実験の結果として、遮へいなし条件で $1.2\text{ Gy}/(\text{Bq/g 髪})$ 、鉛 10 cm 遮へい条件でその 2 倍と報告した。

JCO 臨界事故の被ばく者 (A 氏) の腹部で測定された放射能 28.6 Bq/g 髪 に、中性子スペクトル条件等が近いと考えられる SILENE 炉での換算係数 $1.2\text{ Gy}/(\text{Bq/g 髪})$ を適用すると、中性子線量 33.6 Gy が算出される。この値は、遠藤ら[14]が、事故の体系と作業者の姿勢等を再現してモンテカルロ計算によって求めた腹部の中性子線量 27.0 Gy とほぼ一致する。したがって、SILENE 炉で実験的に決定した換算係数 $1.2\text{ Gy}/(\text{Bq/g 髪})$ は、溶液系臨界事故において共通的に適用可能な係数であると考えられる。特に事故直後における線量の初期評価の段階で有効であろう。ただし、いくつかの論文[15]において指摘されるように、 ^{32}P 放射能から線量に換算係数は、中性子スペクトルに大きく依存するため、事故状況等を模擬した計算等によって適切な補正をすることによって、評価精度を高める必要がある。

参考文献

- [1] *Dosimetry for criticality accidents: A manual*, Technical Report Series No. 211, International Atomic Energy Agency, (1982).
- [2] D. F. Petersen, V. E. Mitchell, W. H. Langham, "Estimation of fast neutron doses in man by $^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$ reaction in body hair," *Health Phys.*, **6**, 1-5 (1961).
- [3] D. F. Petersen, *Rapid estimation of fast neutron doses following radiation exposure in criticality accidents. The $^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$ reaction in body hair*, LA-DC-6646, Los Alamos National laboratory, (1965).
- [4] 丸山隆司, 外部被曝の線量評価, 第 19 回放医研シンポジウム「緊急時の被曝評価と医療」報文集, NIRS-M-71, 放射線医学総合研究所, (1989).
- [5] D. E. Hankins, "Direct counting of hair samples for ^{32}P activation," *Health Phys.*, **17**,

- 740-742 (1969).
- [6] D. E. Hankins, “Dosimetry of criticality accidents using activations of the blood and hair,” *Health Phys.*, **38**, 529-451 (1980).
 - [7] Y. Feng, K. S. Brown, W. H. Casson, G. T. Mei, L. F. Miller, M. Thein, *Determination of neutron dose from criticality accidents with bioassays for sodium-24 in blood and phosphorus-32 in hair*, ORNL/TM-12028, Oak Ridge National Laboratory, (1993).
 - [8] H. Takeda, K. Miyamoto, M. Yukawa, Y. Nishimura, Y. Watanabe, H.-S. Kim, S. Fuma, N. Kuroda, F. Kouno, H. Joshima, T. Hirama, M. Akashi, “Bioassay for neutron-dose estimations of three patients in the JCO criticality accident in Tokai-mura by measuring beta-ray emitters,” *J. Radiat. Res.*, **42**, Suppl. 129-135 (2001).
 - [9] L. Lebaron-Jacobs, E. Gaillard-Lecanu, F. Briot, S. Distinguin, P. Boisson, L. Exmelin, Y. Racine, P. Berard, A. Flüry-Herald, A. Miele, R. Fottorino, “Hair dosimetry following neutron irradiation,” *Health Phys.*, **92** (Supplement 2), 98-104 (2007).
 - [10] L. Lebaron-Jacobs, R. Fottorino, F. Barbry, P. Berard, F. Briot, P. Boisson, D. Cavadore, C. Challeton-De Vathaire, S. Distinguin, L. Exmelin, A. Flüry-Herald, E. Gaillard-Lecanu, M. Gonin, J.-P. Le Goff, G. Lecoix, G. Lemaire, R. Medioni, M. H. Persico, Y. Racine, C. Riasse, E. Rongier, P. Voisin, A. Miele, “Dosimetric management during a criticality accident,” *Nucl. Technol.*, **161**, 27-34 (2008).
 - [11] L. Lebaron-Jacobs, R. Fottorino, A. Miele, “Criticality accident: dosimetric management for the triage of victims,” *Proc. 11th Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS-11)*, Cape Town, South Africa, Oct. 12-16, 2009, p.66-67 (2009).
 - [12] R. Fottorino, Y. Racine, M. Ruffin, L. Lebaron-Jacobs, “Methods of phosphorous-32 determination in hair after neutron irradiation,” *Proc. 11th Neutron and Ion Dosimetry Symposium (NEUDOS-11)*, Cape Town, South Africa, Oct. 12-16, 2009, p.43 (2009).
 - [13] R. Fottorino, Personal communication (2010).
 - [14] 遠藤章, 山口恭弘, 石樽信人, 東海村臨界事故における重度被ばく患者に対する線量分布の詳細解析：原研・放医研共同研究, JAERI-Research 2001-035, 日本原子力研究所, (2001).
 - [15] 辻村憲雄, 三上智, 吉田忠義, 高田千恵, エボナイトを用いた臨界事故時における中性子線量の評価, 保健物理, 267-276 (2005).

付録 1-3 ホールボディカウンタを用いた体内 ^{24}Na 測定に基づく臨界事故時の外部被ばく線量評価法

1. 緒言

1999 年 9 月 30 日にウラン加工工場（JCO）において我が国初となる臨界事故が発生した。同事故は中性子線と γ 線の混在場における被ばく事故であり，JCO 従業員及び周辺住民等の被ばく線量評価には様々な手法が用いられた[1, 2]。本稿では，通常は放射性核種の体内汚染時の検査に用いるホールボディカウンタ（WBC）を用いた体内 ^{24}Na 測定に基づく臨界事故時の外部被ばく線量評価法について，日本原子力研究開発機構及（以下，原子力機構）び放射線医学総合研究所（以下，放医研。現，量子研究技術開発機構の一部門）における経験に基づき手順を整理する。

2. 手法

中性子線による外部照射を受けることにより，体内の安定 ^{23}Na は中性子捕獲により ^{24}Na に変換される。 ^{24}Na からは 1,369 keV（100%）と 2,754 keV（99.9%）の 2 本の γ 線が放出される。 ^{24}Na は全身に分布すると考えられるため，WBC によって ^{24}Na の全身量进行评估することができる[1, 3]。被ばく時点に半減期補正した ^{24}Na の全身量から大まかな被ばく線量を推定するには，過去の臨界事事故例から得られた経験則に基づく次の関係を用いる[4]。

$$\boxed{\text{全身中の } ^{24}\text{Na } 1\text{Bq} \doteq 0.5 - 3 \mu\text{Gy (中性子} + \gamma \text{ 線)}}$$

なお， ^{24}Na の半減期補正には， ^{24}Na の物理半減期 14.96 時間と生物半減期 10 日を考慮した実効半減期（14.08 時間）を用いる。なお，中性子スペクトルの情報が得られている場合には，日本原子力研究開発機構で開発された RADAPAS（RApid Dose Assessment Program from Activated Sodium in Criticality Accidents）[5]を用いて，体内の安定 ^{23}Na 1g 当たりの ^{24}Na 生成量に対し，中性子スペクトルの形状に対応した外部被ばく線量（一次 γ 線及び二次 γ 線を含む吸収線量）への換算係数を決定できる。上記 ^{24}Na 生成量は，WBC または血液サンプルから，標準人が体重 1 kg 当たり 1.4 g の安定 ^{23}Na （血液サンプルの場合は，標準人で血液 1 ml 中に 2,030 μg の ^{23}Na が存在）を有することを仮定して計算する⁴。JCO 事故では，放射線輸送コードにより評価した中性子スペクトルを用いて換算係数を決定された。その例を表 1 及び表 2 に示す。表 1 は吸収線量への換算係数であり，表 2 は実効線量への換算係数である。

WBC は BOMAB ファントム[6]等の全身に均等に放射能が分布した線源で計数効率の校正が行われるため， ^{24}Na の全身量の定量に適している。しかしながら，NaI(Tl)検出器を備えた WBC では， ^{24}Na からの 1,369 keV の γ 線と天然核種の ^{40}K からの 1,461 keV の γ 線

⁴ WBC の場合は， ^{24}Na の全身量 (Bq) を，体重 (kg) に 1.4 g/kg を乗じて求めた安定 ^{23}Na (g) で除せば，Bq $^{24}\text{Na}/\text{g } ^{23}\text{Na}$ が得られる。

(10.7%) が重なるため、複合ピークの解析が必要となる。そのため、JCO 臨界事故当時の原子力機構の線量評価では、エネルギー分解能に優れた HPGe 検出器を備えた WBC による ^{24}Na の測定が行われた (図 1) [3]。

表 1 中性子線量換算係数の文献値等の比較[参考文献 1 の表 4.3.2-1]

文献	Sarov	ORNL	丸山	IPSN (現 IRSN)	[参 1]
Gy/Bq/g (Bq/g/Gy)	1.02E-04 (9,803)	1.45E-04 (6,897)	2.09E-04 (4,902)	6.8E-05 (14,706)	6.58E-05 (15,198)

※血液サンプルからの中性子外部被ばく線量評価等に用いられた換算係数

表 2 基準地点における単位実効線量当たりの ^{24}Na 比放射能[参考文献 3 の Table 2]

沈殿槽からの距離 (m)	換算係数を算出した基準点と 沈殿槽間の距離 (m)	単位実効線量当たりの ^{24}Na 比放 射能 (Bq $^{24}\text{Na}/\text{g } ^{23}\text{Na}$ per Sv)
エリア I < 20 m	1.8	1,460
エリア II 20–75 m	20	2,060
エリア III > 75 m	75	2,940

※WBC からの中性子外部被ばく線量評価に用いられた換算係数



図 1 中性子被ばく線量測定に用いられた WBC [参考文献 3]

(注：図中の被検者は事故とは関係がない)

3. 適用

本研究では携帯型の NaI(Tl)サーベイメータを用いた臨界事故時の線量評価手法を提案したが、JCO 臨界事故の経験から WBC を用いた外部被ばく線量評価法を本稿でまとめた。HPGe 検出器を備えた WBC の ^{24}Na の検出下限値は約 50 Bq (10 分間測定) であり[3]、NaI(Tl)サーベイメータよりも高感度で ^{24}Na を測定することができるため、より長期的かつ低線量の線量評価が可能である。したがって、NaI(Tl)サーベイメータを用いた測定によ

り高被ばく者のトリアージを行った後に、必要に応じて WBC 測定を行うことも考えられる。なお、JCO 臨界事故で発生した 3 名の高被ばく者の内、被ばく線量の最も低い 1 名については放医研の WBC により ^{24}Na の全身量が定量(事故発生時に半減期補正して 896,200 Bq) された[1]⁵。同 WBC は NaI(Tl)検出器を備えた WBC である⁶。残りの 2 名については、血液サンプルから定量された ^{24}Na 比放射能に基づき被ばく線量が評価された。

WBC 測定を含む様々な試料の放射能測定では、 ^{24}Na 以外にも様々な放射性核種が検出される[参 1]。具体的には、 ^{42}K , ^{82}Br , ^{32}P 等の放射化生成物であるが、JCO 臨界事故の際は被ばく者の頭髮からは核分裂で生成された希ガスの子孫核種である ^{91}Sr , ^{91}Y , ^{140}Ba も検出された。また、歯科材料や装身具(ネックレス等)に含まれる金が放射化されて生成した ^{198}Au (412 keV, 95.6%) が検出される場合もあった。

体内 ^{24}Na に基づく線量評価の不確実性としては、換算係数の不確実性以外にも、体重 1 kg 当たりの安定 ^{23}Na の範囲が 0.9~1.6 g (標準人では 1.4 g)、輸血等による ^{24}Na の実効半減期の変化等がある。

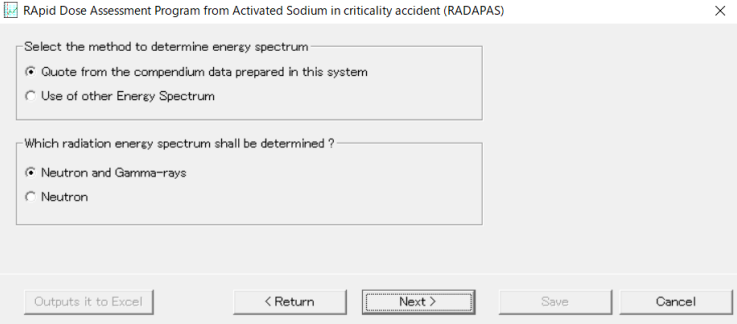
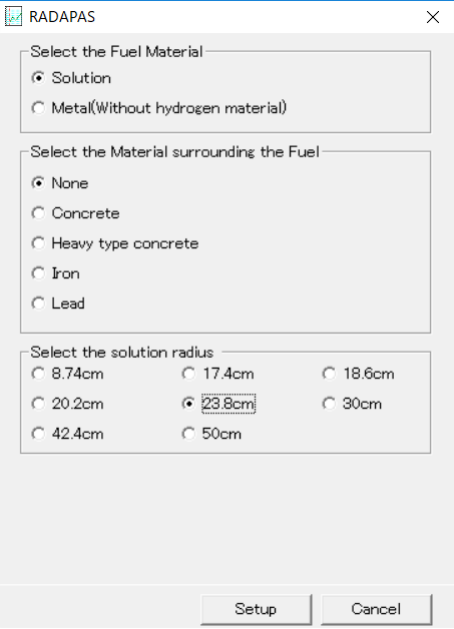
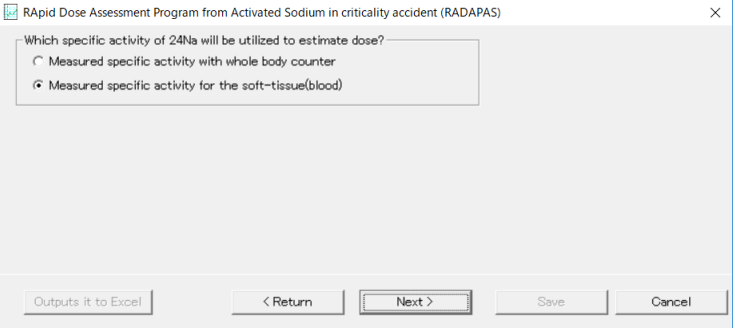
参考文献

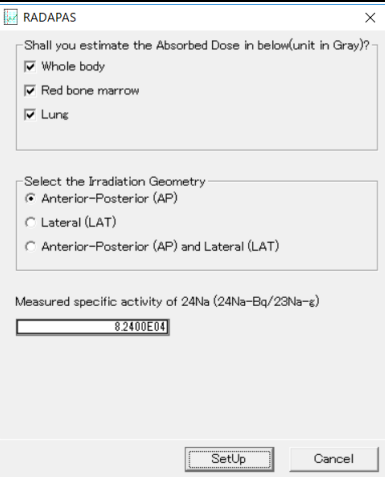
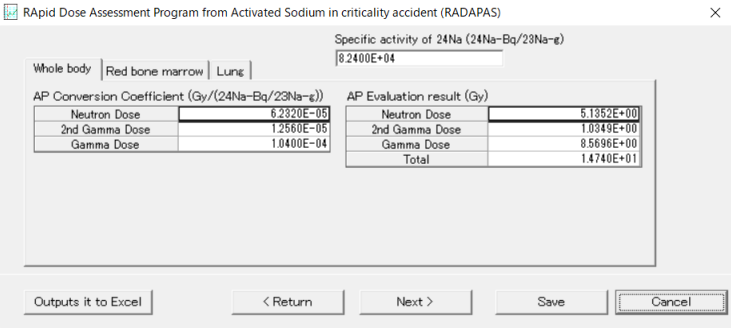
1. 放射線医学総合研究所; ウラン加工工場臨界事故患者の線量推定 中間報告書, 河内清光, 藤元憲三編, NIRS-M-138, (2000).
2. NIRS; Final report on dose estimation for three victims of JCO accident, Ed. Kenzo Fujimoto, NIRS-R-47 (ISBN 4-938987-18-X) (2002).
3. T. Momose, N. Tsujimura, T. Tasaki, K. Katsuta, O. Kurihara, N. Hayashi and K. Shinohara; Dose evaluation based on ^{24}Na activity in the human body at the JCO criticality accident in Tokai-mura. J. Radiat. Res., 42, Suppl., S95-S105, (2001).
4. IAEA; Dosimetry for criticality accidents-A manual, IAEA Technical Report Series No. 211, (1982).
5. F. Takahashi; Program for Rapid Dose Assessment in Criticality Accident, RADAPAS, JAEA-DATA/Code 2006-019, (2006).
6. American National Standard; Specification for the bottle manikin absorption phantom, ANSI/HPS N13.35-1999, (1999).
7. N. Ishigure, A. Endo, Y. Yamaguchi and K. Kawachi; Calculation of the absorbed dose for the overexposed patients at the JCO criticality accident in Tokai-mura, J. Radiat. Res., 42, Suppl., S137-S1148, (2001).

⁵ 測定は事故発生から 51 時間 54 分後の 1999 年 10 月 2 日。測定時放射能は $6.9\text{E}+04$ Bq。1,369 keV と 2,754 keV の 2 本の γ 線によるサンプイク効果による影響は軽微であった(参考文献 1)。

⁶ 半値幅校正を適切に行えば、NaI(Tl)検出器を備えた WBC でも ^{40}K と ^{24}Na の分離定量は可能である(参考文献 1)。

RADAPAS[参 5]の使用例

1. エネルギースペクトルの選択及び評価対象とする線種の選択	 ここでは、RADAPAS に収録されたエネルギースペクトル及び中性子・γ 線を選択
2. 臨界体系の指定	 ここでは、溶液系（半径 23.8 cm）及び遮へい無しを指定
3. ^{24}Na を定量した測定試料の選定	 ここでは、血液サンプルを指定。

4. 測定値を入力	 ここでは、血液サンプル中の測定値として 8.24E+04 Bq ²⁴Na /g ²³Na[参 7]を入力
5. 評価結果の表示	 中性子：5.14 Gy，二次γ：1.03 Gy，一次γ：8.57 Gy (※評価結果は[参 7]と比較的一致している。)

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

2. アクチニド核種等による内部被ばく線量評価に関する研究 - 1

研究分担者 金ウンジュ（量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所）

栗原 治（量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所）

研究協力者 大野 雅子（量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所）

研究要旨

バイオアッセイ法において、生体試料中の不純物を除去する過程である前処理にかかる時間の短縮のために、前年度に引き続き、尿試料を用いた追加試験による鉄共沈法を確立して、本手法の検証のために尿中の未知核種評価する国際相互比較プログラム（PROCORAD）へ参加した。その結果、尿中の未知核種の評価では、尿中に含まれている ^{238}Pu 、 ^{241}Am 及び ^{244}Cm の定性及びその放射能を評価し（真値に対して、バイアスは $\pm 15\%$ 以内）、これらの結果から本手法の妥当性を確認し、本研究で確立したバイオアッセイ法のマニュアルを作成した。また、アクチニド核種の計測法の検討では誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)による前処理前の尿試料中の U 成分に対する検量線の作成及び検出下限値を算出し ICP-MS による測定法の有効性を確認した。2017 年 6 月 6 日に起きた原子力機構大洗 Pu による内部被ばく事故では、本研究で確立したバイオアッセイ手法及び ICP-MS による測定法等により尿試料の分析を行った。

A 研究目的

本研究の目的は、高線量被ばくが想定される様々な放射線事故に際し、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に選別し、その線量を評価する手法を開発・整備し、その成果を広く展開することである。本分担研究では、アクチニド核種等による内部被ばく事故の際、生体試料（主として排泄物）を用いたバイオアッセイ法による対象者の選別（トリアージ）及び線量評価手法の開発を行っている。

前年度では鉄共沈法によるバイオアッセイ手法の検討により U、Pu 及び Am 成分に対する回収率はそれぞれ 75%、85%及び

80%まで担保されており、この結果から U、Pu/Am とともに既存の測定技術の典型的な検出限界値 1 mBq/liter（1 日測定）を担保できることについて報告をした。

本研究では、前年度に引き続き、本手法による追加試験、本手法の検証（国際相互比較プログラム,PROCORAD へ参加）及び分析法に関するマニュアル作成を行った。また、アクチニド核種の計測法では誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)による前処理前の尿試料中の U 成分に対する検量線の作成及び検出下限値を算出して、測定手法の有効性について検討した。

B 研究方法

図1は鉄共沈法[1-3]によるバイオアッセイ手法の分析フローを示しており、この手順により尿試料の追加試験及びPROCORADから提供された尿試料の分析を行った。詳細な分析法及び試料の測定法等については、添付2-1尿のバイオアッセイ分析法に記載している。

ICP-MSによる尿中のU成分の計測法では、前処理を行う前の尿試料中のU成分^(234, 235, 238U)に対する測定法に検量線及び検出

限界値を求めた。検量線作成用の溶液はBi内標準溶液、検量線用標準溶液 XSTC-569(Ba, Cs, Pb, Sr, Th, U)及び2%硝酸溶液を用いて調整した。尿試料の測定溶液は尿試料0.5mlとBi内標準溶液14.5mlで溶液を作成してICP-MS(ELAN DRC-e, パーキンエルマー社製)により測定を行った。

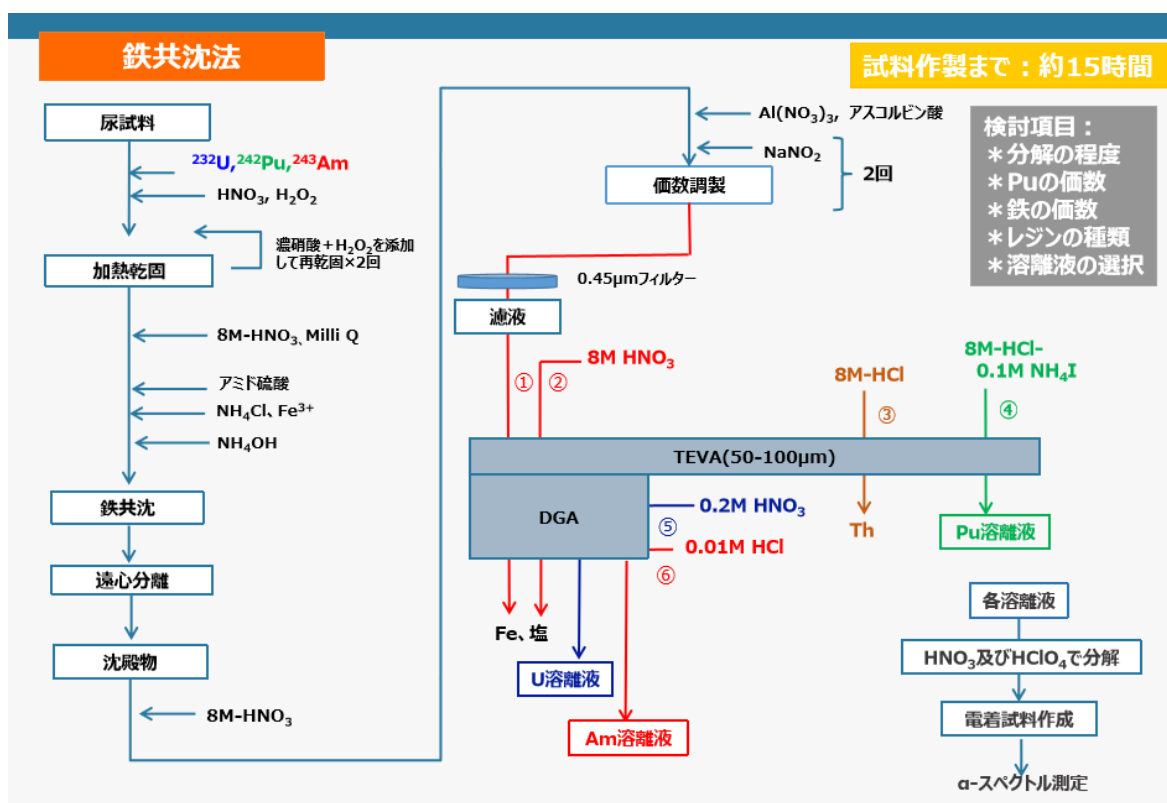


図1は鉄共沈法のフロー

C 研究結果

尿中の未知核種を評価する国際相互比較プログラム(PROCORAD)では、3つの未知尿試料(A,B,C)の分析を行い、尿中に含まれているアクチニド核種の定性・定量を行った。その結果、尿試料Aには、²⁴¹Am : 2.25±0.4mBq 及び ²⁴⁴Cm : 1.8±0.4mBq、尿試料Bには ²³⁸Pu : 11.5±1.1mBq, ²⁴¹Am :

3.1±0.5mBq 及び ²⁴⁴Cm : 2.1±0.4mBq、尿試料Cにはアクチニド核種が含まれていないと評価した。図2は我々の評価値に対する真値との比較結果、図3はPROCORADに参加した機関の結果をまとめたもので、我々の結果(参加番号:22)は真値に対するバイアスがPuで±5%以内、Amで±10%以内、Cmで±15%以内であった。

2017 - ACTINIDES in urine LABORATORY N° 22

MATRIX : URINE
UNITY : Bq per sample

	S A M P L E	RESULTS & UNCERTAINTY	ASSIGNED VALUE & UNCERTAINTY	ROBUST MEAN	D.I. Detection limit	BIAS (%)	En	Z-score
241Am	A	2.25E-03 ± 4.48E-04	2.04E-03 ± 2.00E-04	2.05E-03	4.94E-04	10	0.4	0.8
244Cm	A	1.81E-03 ± 3.98E-04	2.12E-03 ± 2.00E-04	2.19E-03	4.94E-04	-15	-0.7	-0.9
238Pu	B	1.15E-02 ± 1.09E-03	1.21E-02 ± 1.20E-03	1.17E-02	4.86E-04	-5	-0.4	-0.6
241Am	B	3.11E-03 ± 5.43E-04	3.06E-03 ± 2.00E-04	2.87E-03	4.99E-04	2	0.1	0.1
244Cm	B	2.13E-03 ± 4.41E-04	2.12E-03 ± 2.00E-04	2.13E-03	1.36E-04	0	0.0	0.0

BIASES are calculated from the assigned value. Without assigned value, biases are calculated from the ROBUST mean.

Zscore
In agreement
Discrepant
Questionnable

En
In agreement
Discrepant

図 2 は我々の評価値に対する真値との比較結果

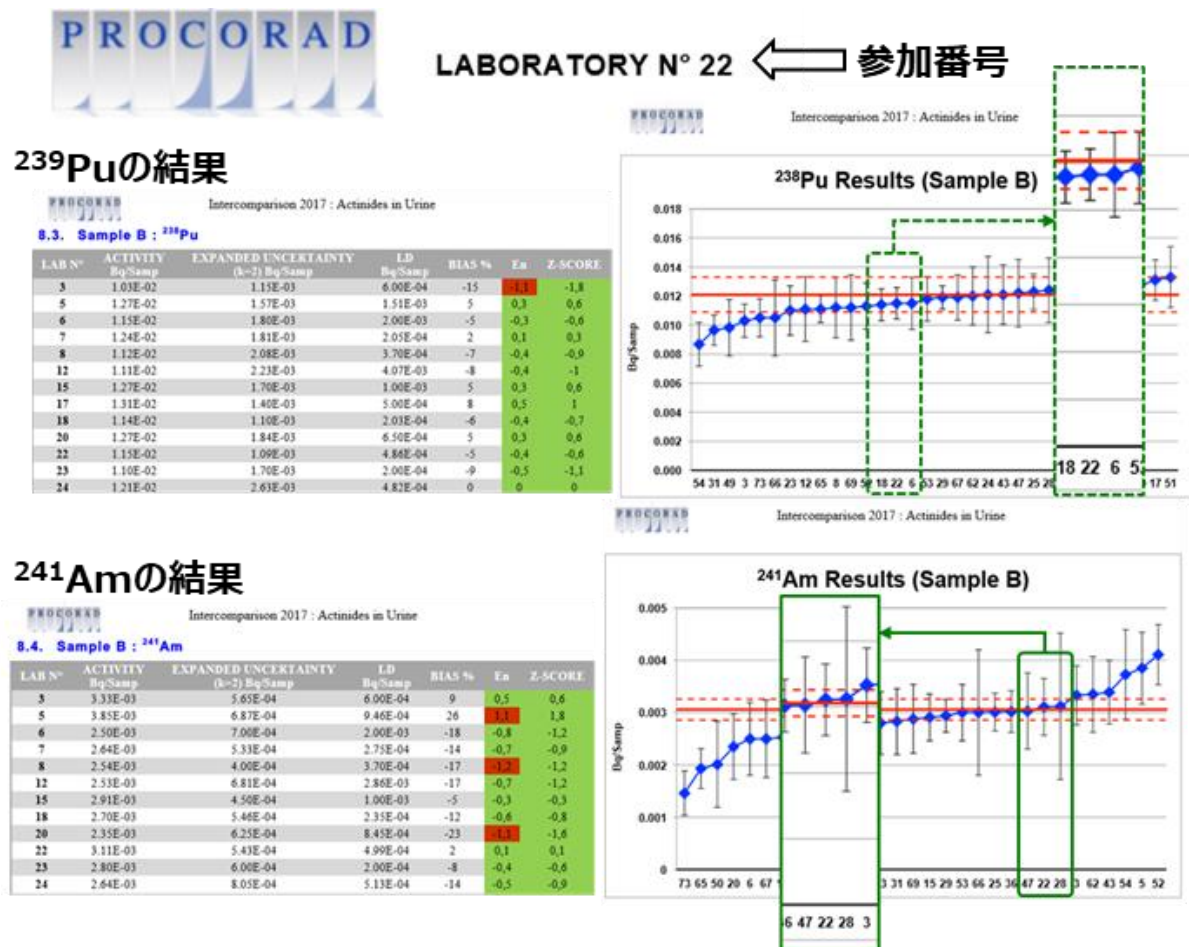


図 3 は尿試料の分析結果(一例の ²³⁹Pu 及び ²⁴¹Am の結果)

表 1 は前処理を行う前の尿試料中の U 成分(^{234}U , ^{235}U , ^{238}U)に対する ICP-MS の検出限界値及びバイオアッセイ法による検出限界値を示す。 ^{238}U の ICP-MS の検出限界値は 0.008 mBq/L でバイオアッセイ法の検出限界値 1mBq/L より低く、 ^{234}U 及び ^{235}U との検出下限値はバイオアッセイ法の検出限界値より高くなっている。これは、 ^{234}U 成分の比放射能によるもので、ICP-MS による測定法では着目している核種の半減期（比放射能）を考慮する必要がある。

表 1 バイオアッセイ法との検出限界値比較

	ICP-MS	バイオアッセイ法
^{234}U	140 mBq/L (0.6ppt)	1 mBq/L
^{235}U	0.07 mBq/L (0.9ppt)	1 mBq/L
^{238}U	0.008 mBq/L (0.6ppt)	1 mBq/L

D 考察

バイオアッセイ法の迅速化のために、追加試験等により鉄共沈法の確立し、本手法の妥当性を検証するために PROCORAD に参加した。その結果、尿試料を対象としたアクチニド成分（U, Pu 及び Am 成分）の分析に鉄共沈法の妥当性を検証して、本手法によるバイオアッセイ法がアクチニド核種に対する内部被ばく線量評価のための尿中放射能評価法として有効であることが確認した。また、ICP-MS による前処理前の尿試料中の U 成分の測定法について検討を行い、 ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U に対する検出下限値を求めた。その結果、ICP-MS による ^{238}U の検出限界値はバイオアッセイ法による検出限界値より良く、前処理前の尿試料から迅速に評価することが可能であるが、 ^{234}U , ^{235}U については、バイオアッセイ法による検出限界

値より低く、必要とされる検出限界値によって核種に対する測定手法を選ぶことが必要である。

実際、2017 年 6 月 6 日に起きた原子力機構大洗のプルトニウム内部被ばく事故（以下、大洗事故と言う）では、事故時 Pu 及び Am を体内に取り込んだ 5 人の作業者の Pu 及び Am による内部被ばく線量の評価及び Pu 体内除染剤の治療効果を確認するために、尿中の U, Pu 及び Am 成分の分析を本研究でまとめた鉄共沈法で行った。表 2 は 5 名の作業者が放医研入院時（採集期間：2017/06/06-2017/11/24）に採集された尿試料数を示していて、尿試料の分析結果、尿中には ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am 成分だけが確認された。図 4 は事故当時、作業者一人の Pu の体内除去剤（DTPA）投与前の尿試料(6/6 投与前)と DTPA 投与後の尿試料(6/6 投与後)の分析結果で、Pu 体内除去剤の治療効果を投与前の尿試料中の Pu 及び Am の放射能と DTPA 投与後の尿試中の Pu 及び Am の放射能の差異からの確認している。

表 2 大洗事故関連尿試料数

	採集期間	人数	試料数
6月	6～12日、14日、17～24日、29日	5名分	105
7月	2～8日、13日、17日、23～28日	3名分	45
8月	3日、6～11日	3名分	6
	17日、20～25日、31日	2名分	20
9月	3～9日、24～29日	1名分	12
10月	3日、15～20日、26日	1名分	8
11月	5～10日、14日、19～24日	1名分	13

また、確認できなかった U 成分においては、バイオアッセイ法による分析以外に、ICP-MS を用いて、前処理前の尿試料中の U 成

分の測定を行い、尿中の ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U がバイオアッセイ法の検出限界値及び ICP-MS の測定法による検出限界値以下 (表 1) であることを評価した。そして、これらの結果を参

考に、大洗事故で内部汚染している作業員 5 人の内部被ばく線量は U 成分を除く、Pu 及び Am を対象として評価を行っている。

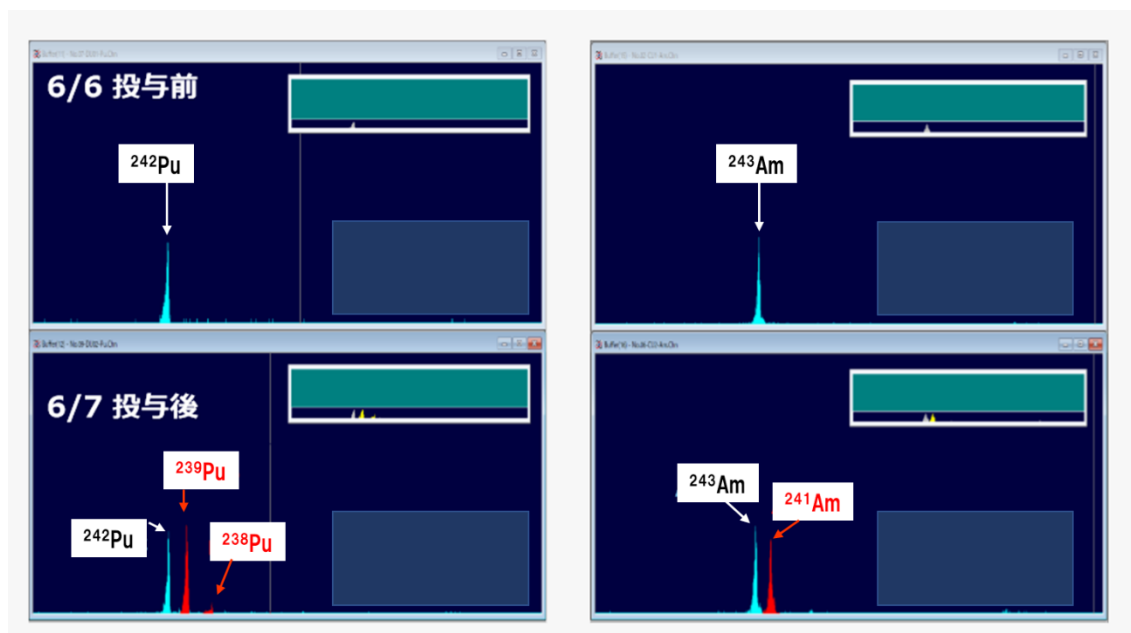


図 3 Pu の体内除去剤の投与前(6/6 投与前)と投与後の尿試料(6/7 投与後)の分析結果

E 結論

本研究で行った尿試料を対象とした鉄共沈法によるバイオアッセイ手法の検討及び国際相互比較プログラムへ参加して、鉄共沈法によるバイオアッセイ法の妥当性を検証した。また、前処理前の尿試料に対する ICP-MS による測定法について検討を行い、 ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U 成分に対する検出限界値を求めた。

実際、本研究で検討したバイオアッセイ手法及び ICP-MS による測定法は原子力機構大洗のプルトニウム内部被ばく事故時、作業員の内部被ばく線量評価のための尿試料中の U, Pu 及び Am の定性・定量に用いられており、鉄共沈法の確立により実際の内部被ばく事故により迅速に貢献することができた。

参考文献

- [1] J. Lehto and X. Hou. Chemistry and analyses of radionuclides. WILEY-VCH (2011).
- [2] S. L. Maxell and D. J. Fauth. Rapid analysis of emergency urine and water samples. J. Radioanal. Nucl. Chem. 275, 497-502 (2008).
- [3] E. P. Horwitz, R. Chiariza, M. L. Dietz, H. Diamond, D. M. Nelson. Separation and preconcentration of actinides from acid media by extraction chromatography. Anal. Chem. Acta., 281, 361-372 (1993).

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録情報（予定を含む）

なし

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

2. アクチニド核種等による内部被ばく線量評価に関する研究 - 2

研究分担者 藤田 博喜（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）

永岡 美佳（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）

研究要旨

高線量被ばくが想定される様々な放射線被ばく事故に際し、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に選別し、その線量を評価する手法を開発・整備するために、平成 29 年度においては、アクチニド核種と同様に迅速な分析が求められるベータ線放出核種である放射性ストロンチウム（ストロンチウム-89, 90）を対象として、分析法及び測定法を検討した。その結果、150～300 mL の尿を供試量として検討し、ストロンチウム担体の添加なしに 2 日程度で分析が可能であることが分かった。この分析法におけるストロンチウムの回収率は、60～70%程度であった。

A. 研究目的

本研究の目的は、高線量被ばくが想定される様々な放射線被ばく事故に際し、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に選別し、その線量を評価する手法を開発・整備し、その成果を広く展開することである。本研究は、照射事故の代表例であるウラン加工施設での臨界事故あるいは汚染（放出）事故の代表例である東京電力福島第一原子力発電所事故の際に、対象者の選別（トリアージ）及び線量評価の事前の入念な準備なしに取り組まざるを得なかった状況を鑑みると、緊急被ばく医療対応の迅速性と実行性の向上を図る上で喫緊かつ必須なものである。

上記の目的を達成するために、研究分担者は、線量を評価する手法としての迅速アクチニド核種等の分析法の開発を目的とした。平成 29 年度においては、アクチニド核種と

同様に迅速な分析が求められるベータ線放出核種である放射性ストロンチウム（ストロンチウム-89, 90）を対象として、分析法の開発を目的とした。

B. 研究方法

迅速に尿中放射性ストロンチウムを分析するために、分析法の検討を行った。

これまでの文献調査結果から、牛乳の分析法（Rapid Simultaneous Determination of ^{89}Sr and ^{90}Sr in Milk: a Procedure Using Cerenkov and Scintillation Counting (IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 27)）を参考に、この方法を尿分析に適用し、尿中ストロンチウムの分析回収率を求めた。

尿試料 150 mL 及び 200 mL をそれぞれビーカーに採取し、ストロンチウム担体を一定量（10 mg Sr）加え、イオン交換樹脂

(Dowex 50W-X8, 100-200 mesh, Na型)を加えて30分以上スターラーを使用して攪拌した後に静置して、イオン交換樹脂を沈降させた。上澄み液を廃棄した後に、温水でイオン交換樹脂を洗浄した。洗浄したイオン交換樹脂をカラムに充填し、4 mol/L 塩化ナトリウム溶液でストロンチウムを溶離し、炭酸ナトリウムを加えて炭酸ストロンチウムを生成した。炭酸塩を硝酸に溶解してビーカーに移して乾固し、乾固物を8 mol/L 硝酸に溶解した。その溶液を抽出クロマトグラフィーレジ

(Eichrom 社製 Sr レジン)に通液し、ストロンチウムを精製した。精製したストロンチウム溶液を蒸発乾固し、硝酸を加えて蒸発乾固した後に、0.5 mol/L の硝酸溶液で溶解して安定ストロンチウム量を誘導結合プラズマ発光分析装置 (ICP-AES, パーキンエルマー社製 OPTIMA8300) により測定した。この分析フローを図1に示す。さらに、尿試料中の安定ストロンチウム量を測定するために、尿試料約10mLを用いて同様にICP-AESで測定を行い、迅速分析法での回収率を求めた。次に、ストロンチウム担体を添加せずに同様な分析を行い、回収率を求めた。更に既知量のストロンチウム-90を添加し、Sr レジンを用いて精製した溶離液を液体シンチレーションカウンタ (パーキンエルマー社製 Tri-Carb 3110TR) で30分測定し、分析法の妥当性を検証した。なお、液体シンチレーションカウンタでのストロンチウム-90の測定法については、中野らの「液体シンチレーションカウンタを用いた排水中⁹⁰Sr及び⁸⁹Sr迅速分析法

(RADIOISOTOPES, 59, 319-328 (2010))を用いた。

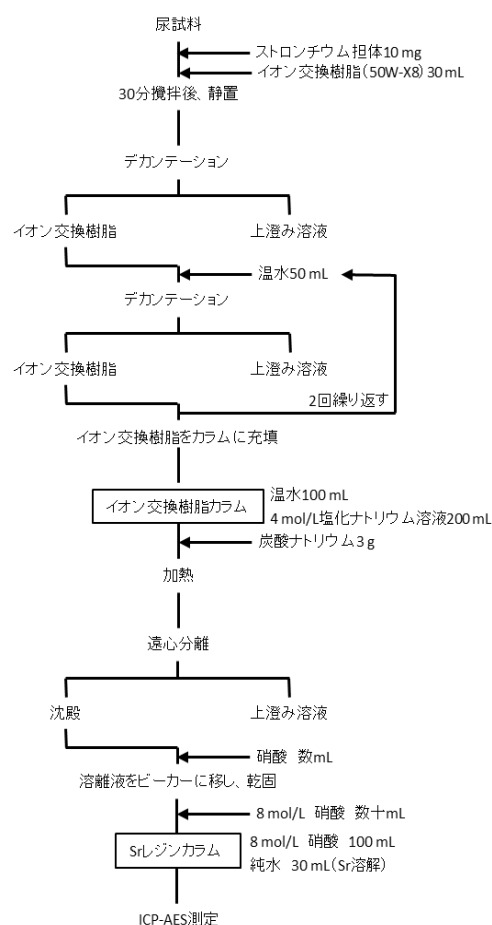


図1 迅速放射性ストロンチウム分析法のフロー図

C. 研究結果

分析フローに従って尿中ストロンチウム分析を行って回収率を測定したところ、純水を試料とした場合には、83%の回収率が得られた。一方、150 mL から 200 mL の尿試料を用いて分析を行った結果、回収率は79~94%であった。これらの分析時における尿試料中の安定ストロンチウム量は、0.015~0.033 mg/L であった。

次に、分析フローのうち、ストロンチウム担体を添加するところを省略し、170~320 mL の尿試料を用いて回収率を求めた結果は、65~82%であった。

また、既知量のストロンチウム-90 (2.45 Bq) を尿試料に添加し、ストロンチウム担体を加えずに分析を行い、回収率及び、液体シン

チレーションカウンタでストロンチウム-90 濃度を求めた。その結果、回収率は 57～78%であった。また、液体シンチレーションカウンタで得られたストロンチウム-90 の放射能は ($2.2 \pm 0.13 \sim 2.9 \pm 0.11$) Bq であり、添加したストロンチウム-90 の放射能とほぼ一致した。

最後に、中野らの論文 (RADIOISOTOPES, 59, 319-328 (2010)) に基づいて、液体シンチレーションカウンタによる定量下限値を 100 分測定、回収率 60%の条件で算出したところ、0.25 Bq /試料であった。

D. 考察

本分析法及び測定法で尿中ストロンチウム-90 を分析した場合には、約 60%以上の回収率が安定的に得られることが分かった。また、添加したストロンチウム-90 の放射能とほぼ一致した測定結果の得られたことから、本分析法の妥当性も確認することができた。

本分析法において、安定ストロンチウムを添加する必要のないことが分かり、測定法として誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP—MS) を適用した際に問題となる安定ストロンチウムからの干渉を、従来の方法よりも低減できる可能性のあることが分かった。なお、この液体シンチレーション測定法では、ストロンチウムストロンチウム-89 も同時に測定が可能であるため、本分析法により、尿試料を対象とした、放射性ストロンチウム-89 及び 90 同時迅速分析が可能であると考えられる。このため、今後、ストロンチウム-89 測定法についても検討して行く

予定である。

今回の放射能測定では、液体シンチレーションカウンタを使用したのが、必要とされる定量下限値や迅速性を考量し、それ以外の β ガスフローカウンタや ICP—MS 等の測定法についても検討する予定である。

E. 結論

平成 29 年度の研究により、尿中放射性ストロンチウム分析法の迅速化に係る検討を実施した。その結果、ストロンチウム担体の添加なしに迅速な放射性ストロンチウム分析が可能であることが分かった。今後は、ストロンチウム-89 においても分析法の妥当性を検証するとともに、本分析法における定量下限値を求め、緊急時に本分析法により評価できるレベルを把握する必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

[1] 永岡美佳, 藤田博喜, 栗原治; バイオアッセイ法の迅速化に向けた検討, 日本保健物理学会第 50 回研究発表会 日本放射線安全管理学会第 16 回学術大会, (2017).

[2] Hiroki FUJITA, Mika NAGAOKA and Osamu KURIHARA; Simplification of Method for Analyzing Sr-90 Radioactivity in Urine Sample, ISRD2018, (2018).

H. 知的財産権の出願・登録情報 (予定を含む)

なし

付録 2-1 尿のバイオアッセイ分析マニュアル

—鉄共沈法による複合核種分析—

1. 必要な装置、器具および試薬

名称	備考
(1) 装置 ・秤（最大秤量値 4000 g 以上） ・ホットプレート（耐酸性，最高温度 500℃以上） ・吸引チャンバー一式（アイクロム社製） ・吸引ポンプ（流速調整出来るもの） ・遠心装置（500mL 容量を遠心出来るもの） ・ろ過キット（アイクロム社製） ・加温機能付きスターラー ・電着装置一式（電着セル，電着板等） ・電熱ヒーター ・アルファ測定装置 (2) 器具 ・1L ビーカー，1L 用の時計皿 ・100m L ビーカー，100m L 用の時計皿 ・ガラス棒 ・ポリスマン（ビーカー側面を擦り取るもの） ・500mL 遠心ボトル ・スターラーバー ・50mL バイアル ・pH 試験紙 ・20～50mL シリンジ (3) 溶液と試薬 ・濃硝酸（65～69%） ・過酸化水素水（30～36%） ・過塩素酸（60～62%） ・アンモニア水（28～30%） ・8M 硝酸 ・0.2M 硝酸 ・9.45M 塩酸 ・8M 塩酸	(1) ・秤は 24 時間尿を測定できるサイズのものを用意する。 ・吸引ポンプは酸による劣化が起これないように酸吸収剤を使用する。

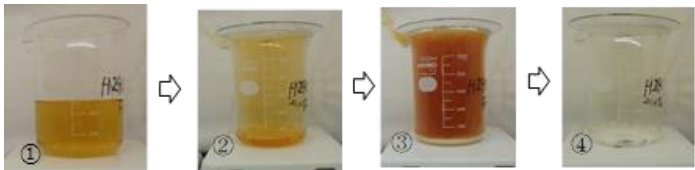
・0.01M 塩酸 ・(1+19)硫酸 ・(1+1)アンモニア水 ・(1+100)アンモニア水 ・アミド硫酸 ・アスコルビン酸 ・亜硝酸ナトリウム ・塩化アンモニウム ・ヨウ化アンモニウム ・鉄(III)担体溶液 (塩化鉄六水和物 24 g を 3M 塩酸 8mL に溶解させ, milliQ で 100m L にメスアップしたもの) ・硝酸アルミニウム水溶液 (硝酸アルミニウム九水和物 20 g を 8M 硝酸 50mL に溶解させたもの) ・チモールブルー指示薬 (チモールブルー0.1 g をエタノール 50m L に溶解させ, milliQ で 100m L にメスアップしたもの) ・TEVA (2mL カートリッジ, アイクロム社製) ・DGA (2mL カートリッジ, アイクロム社製) (4) トレーサ ・Pu-242 標準溶液(約 0.1 Bq/mL) ・Am-243 標準溶液(約 0.1 Bq/mL)	(4) トレーサの回収率から検体の値を算出するため, トレーサ濃度の正確さが測定の精度に影響を与える。トレーサ標準溶液作成時には正確に希釈濃度の値を計算し, 記録管理する。
--	--

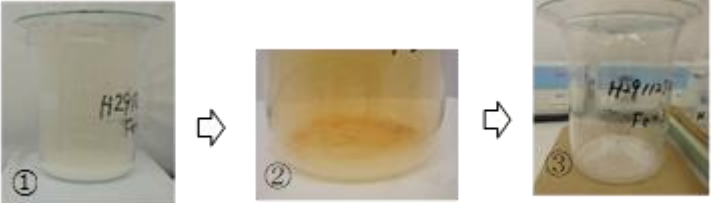
2. 操作手順

2.1 サンプルング

操作	備考
(1) 24 時間尿の重量を測定する。 (2) 尿が均一になるようによく攪拌し、500mL 分の尿を 1L ビーカーに採取し、採取後の重量を測定・記録する。採取前後の重量の差からサンプル重量を計算する。なお、ビーカーなどの容器には必ずサンプル名を明記し、複数個の実験を同時進行した場合にも区別がつくようにする。 (3) 残った尿に濃硝酸 20mL を添加し、必要に応じて保管する。	(1) 予め空ボトルの重量を測定しておき、ボトル込の重量から尿重量を計算する。すぐに実験が出来ない場合は濃硝酸 20mL を入れ、硝酸添加前後の重量を記録し、冷蔵庫に保管する。

2.2 尿の前処理（有機物の分解）

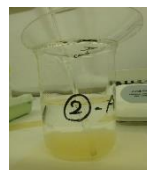
操作	備考
(1) 採取した尿に、濃硝酸 100mL、過酸化水素 5mL およびトレーサ (Pu-242, Am-243) を一定量添加する。通常は 0.5mL 添加する。 (2) 以下の①～④のようにホットプレートで加熱し、尿サンプルが蒸発して 100mL 程度になったところで時計皿を付け、蒸発乾固させる。乾固したサンプルをホットプレート上で放冷する。 ① 細かい泡が底面から出る状態を維持する。 ② 結晶の析出により激しく突沸する時があるため、その時は温度下げる。 ③ 液体がほぼ無くなったら温度を上げる。 ④ 褐色煙が少なくなったら加熱停止する。  (3)	(2) 加熱温度は、ホットプレートやビーカーの種類（厚み）によって最適条件が異なるため、ここでは具体的な温度は提示しないこととする。目安としては、細かい泡がビーカー底面から出る状態。激しい沸騰はさせないようにする。 (2) (3) (4) 急激に放冷するとビーカーが割れるので、放冷はホットプレートに乗せた状態で行う。次の操作を行う前に必ずビーカーにヒビが入っていないことを確認する。 (3) (4)

時計皿に跳ねたサンプルを濃硝酸 5mL でビーカーに洗い流し入れる。これをもう一度行う。次に過酸化水素 5mL をビーカー壁面に沿わせて添加する。時計皿を付けてビーカーを加熱し、以下の①～③のように蒸発乾固させる。乾固したサンプルをホットプレート上で放冷する。 ① 過酸化水素の発砲が治まったら温度を上げる。 ② 液体状の物がほぼ無くなったら温度を上げる。 ③ 褐色煙が少なくなったら加熱停止する。  (4) (3) と同様の操作を行う。乾固したサンプルが手袋をした手で触れるくらいまで放冷し、完全に冷えてしまう前に連続して次の「2.3 鉄共沈法による核種の抽出」の操作を行う。	急激に温度を上げると過酸化水素の発砲が激しくなるため、緩やかに上げる。 (4) 有機物分解の終了したサンプルを完全に冷却してしまうと、次の操作で不溶性物質が出てしまう場合があるため、4.1 の操作は必ず連続して行う。
--	---

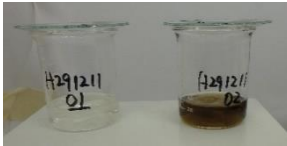
2.3 鉄共沈による核種の抽出

操作	備考
(1) 時計皿に跳ねて付着したサンプルを 8M 硝酸 5mL と少量の milliQ で洗浄しビーカーに流し入れる。この操作をもう一度行う。次に、壁面に跳ねたサンプルを 8M 硝酸 5mL と少量の milliQ をビーカー壁面に沿わせて回し入れ底面に落とす。この操作をもう一度行う。 (2) 時計皿を付け、沸騰しない程度の温度で加熱し、塩をすべて溶解させる。 (3) 塩および試薬が完全に溶解した後、milliQ で 350mL にメスアップし、アミド硫酸 150mg を添加、ガラス棒で攪拌し、時計皿を付けて加熱し、数分間沸騰させる。 	(1) milliQ を多く使用すると硝酸濃度が下がり、結晶の溶解性が低くなることがあるため、使用量は出来るだけ少なくする。 (2) 加熱後も不溶性物質がある場合は、濃硝酸 5mL を追加し、さらに加熱する。それでも溶けない場合、milliQ で 350mL にメスアップして、時々ガラス棒で攪拌しながら加熱する。 (3) アミド硫酸で Pu を Pu(III) に調整する。

(4) ホットプレートから下し、ガラス棒で攪拌して若干冷ます。塩化アンモニウム 1g を添加し、ガラス棒でよく攪拌する。 (5) 鉄(III)担体溶液 0.4mL を添加し、よく攪拌する (6) ガラス棒で攪拌しながらアンモニア水を少しずつ添加し、pH 試験紙を用いて pH9 に調整する。ガラス棒を挿したまま時計皿を付け 15 分間沸騰させる。 (7) ホットプレートから下し、1 時間放冷する。 (8) 沈殿と上澄みを攪拌し、遠心ボトルにすべて移す。壁面に付いたサンプルも(1+100)アンモニア水とポリスマンを用いて擦り落とし、遠心ボトルにすべて回収する。 (9) 3000rpm で 15 分間遠心分離する。遠心後、上澄み液を廃棄する。以下の①～④の操作を行い、沈殿をビーカーに移す。 ① 遠心ボトルに 8M 硝酸 5mL を添加し、振り混ぜて沈殿を溶解する。この溶液を 100mL ビーカーに移し入れる。 ② 硝酸アルミニウム溶液 5mL を遠心ボトルに回し入れ、遠心ボトルに残ったサンプルと共に 100mL ビーカーに移し入れる。 ③ 8M 硝酸 5mL を回し入れ、遠心ボトルの上部に付着したサンプルを出来るだけ洗浄し、ビーカーに回収する。 ④ ③の操作をもう一度繰り返す。	(4) 沸騰直後に試薬を添加すると突沸するため、少し冷ましてから添加する。 (5) 必ず鉄担体溶液添加の前に塩化アンモニウムを添加する。 (7) 分析を急ぐ場合は、水浴で冷却し、遠心分離の操作を行う。ただし、トレーサ回収率が低下する時がある。 (9) 通常は無色透明の溶液になる。濁っている場合はトレーサ回収率が低くなることもある。
--	--

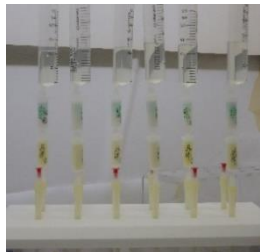


2.4 プルトニウムの価数調整

操作	備考
(1) 「2.3 鉄共沈による核種の抽出 (9)」の操作で回収した溶液の入ったビーカーにスターラーを入れ、アミド硫酸 70mg を添加し、時計皿を付けて加温機能付きスターラーに乗せ、40℃で 5 分間加熱および攪拌する。続いてアスコルビン酸 300mg を添加し同様に攪拌する。(右写真が着色後、左写真が脱色後のもの。) 	(1) アスコルビン酸の作用により、サンプル液が一瞬着色し、その後無色になる。 試薬が溶けにくい場合は攪拌の回転数を上げるか時間を延長し、試薬を完全に溶かした状態にする。 アミド硫酸で Pu を Pu(III)に調整する。 アスコルビン酸で核種分離に悪影響を与える Fe(III)を Fe(II)に調整する。
(2) スターラーからビーカーを下す。時計皿を少しずらし、その隙間から亜硝酸ナトリウム 500mg を素早く添加する。時計皿を閉じ、80℃で 30 分間加熱および攪拌する。 	(2) 亜硝酸ナトリウムを添加した瞬間、発泡し褐色煙が発生する。 亜硝酸ナトリウムで Pu(III)を Pu(IV)に調整する。
(3) (2)と同様に亜硝酸ナトリウム 500mg をもう一度添加し、時計皿を付けて 80℃で 10 分間加熱および攪拌する。	(3) 亜硝酸ナトリウムを 2 回に分けて添加し、核種分離時にも溶液中に存在させることで、Pu(IV)が Fe により還元されるのを防ぐ。
(4) スターラーから下し、10 分間水冷し、溶液を室温にする。この時、時計皿は付けたままにする。	

2.5 核種分離

操作	備考
(1) 上部にTEVA, 下部にDGAを連結し, それぞれのレジン表面にサンプル名を明記し, 複数を同時に処理した場合にも区別出来るようにする。 (2) 吸引チャンバーに連結したレジンを装着し, 8M 硝酸 20mL をレジン上部に着けたシリンジに入れて約 1.5mL/分の速さで流し, レジンのコンディショニングを行う。コンディショニング後のレジンはシリンジに 8M 硝酸を少し残した状態で, 核種分離開始まで別の場所で待機させる。(左写真がコンディショニング中, 右写真が待機中のもの。) (3) 吸引チャンバーにアイクロム社製のろ過キットを装着し, 5.4 で得られたPu 価数調整済みのサンプル溶液をチャンバー内に設置したバイアルにろ過する。この際, フィルターから漏れがないことを確認しながら少しずつ行う。8M 硝酸 2, 3mL 程度で数回, ビーカーを洗浄ろ過し, 最後にろ過キット壁面の洗浄ろ過を行う。これらの洗液はすべて初めのサンプル溶液と合わせる。 (4) 6.2 でコンディショニングしたレジンにセットされたシリンジ中の 8M 硝酸を廃棄し, 吸引チャンバーにレジンを再び装着する。100mL ポリカップをチャンバー内に設置する。シリンジにサンプル溶液を 10mL ほど入れ, 漏れがないことを確認してから吸引ポンプを稼働し, 約 1.5mL/分のスピードで滴下を開始する。サンプル溶液が少なくなったら追加し, 全量をロードする。この時, バイアルの壁面に付いたサンプル溶液を出来るだけ入れ, 次に続く洗浄がより確実に進むようにする。	(1) プルトニウムの価数調整中にこの操作を同時進行する。 (3) ろ過したサンプル液がチップの先につかないように洗液の量を確認しながら行う。また, 洗液量が多くなると核種分離の時間が長くなるため, なるべく少ない量で行う。 (4) 廃液量が 70mL ほどになるため, 廃棄用のポリカップは 100mL のものを用意し, 吸引チャンバー内で適度な高さになるように配置する。



(5)

8M硝酸 5mL をバイアルに壁面を洗うように流し入れる。この 8M 硝酸をシリンジ中のサンプル液が完全になくなったタイミングでシリンジに追加する。空になったバイアルに 8M硝酸 5mL を同様に流し入れ、同様の操作を繰り返す。シリンジ中の 8M 硝酸がなくなったら、8M硝酸 5mL を直接シリンジに回し入れる。これを 3 回繰り返す。ここまでの合計で 25mL の 8M 硝酸で洗浄する計算になる。

複数個のサンプルを同時に核種分離し、それぞれの終了が異なる場合は、8M硝酸をシリンジ中に少し残した状態で吸引チャンバーからレジンを外して別の場所に待機させる。

25mL の 8M硝酸で洗浄した後、TEVA と DGA を分離し、それぞれ別の吸引チャンバーで同時進行で核種分離を続ける。

(6)

TEVA を装着した吸引チャンバーに、シリンジとバイアルを設置し、約 1.5mL/分のスピードで 9.45M 塩酸 40mL の滴下を開始する。その間、8M 塩酸 50mL に 0.72g のヨウ化アンモニウムを溶解させ、8M 塩酸-0.1M ヨウ化アンモニウム溶液の調整を行う。滴下終了後、通過した液は廃棄し、新しいシリンジとバイアルを設置する。

シリンジに 8M 塩酸-0.1M ヨウ化アンモニウム溶液 45mL を入れ、約 1.5mL/分のスピードで滴下を開始する。通過した液をプルトニウム溶離液とする。複数個のサンプルを同時に核種分離し、流速が異なる場合は (5) と同様の操作をする。



(7)

(5)

この操作で、尿中の塩、Fe などが除去される。除去対象を出来るだけ取り除くように 8M 硝酸を追加するタイミングに注意する。

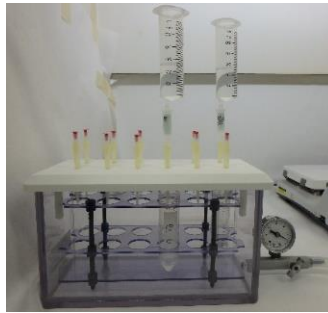
TEVA に Pu, DGA に Am が吸着する。

(6)

9.45M 塩酸で Th が除去される。

8M 塩酸-0.1M ヨウ化アンモニウム溶液の滴下の際、通過した溶離液とチップの先が付かないように滴下量を調整する。

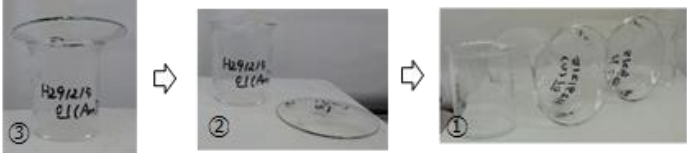
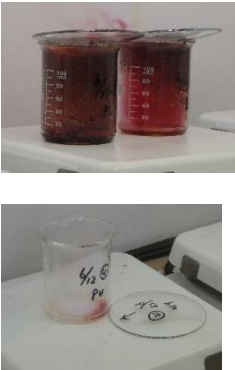
DGA を装着した吸引チャンバーに、シリンジとバイアルをセットし、約 1.5mL/分のスピードで 0.2M 硝酸 30mL の滴下を開始する。ここで得られた溶液はウランを含むものであるため廃棄する。滴下終了後、新しいシリンジとバイアルを設置する。シリンジに 0.01M 塩酸 30mL を入れ、約 1.5mL/分のスピードで滴下を開始する。通過した液を Am 溶離液とする。複数個のサンプルを同時に核種分離し、流速が異なる場合、6.5 と同様の操作をする。



(8)

(6) と (7) で抽出した Pu 溶離液および Am 溶離液を 100mL ビーカーに移す。溶離液の付着したバイアルの洗浄は、Pu は 8M 塩酸、Am は 0.01M 塩酸を用いて各数 mL で行い、その洗液もビーカーに入れる。

2.6 溶離液の処理

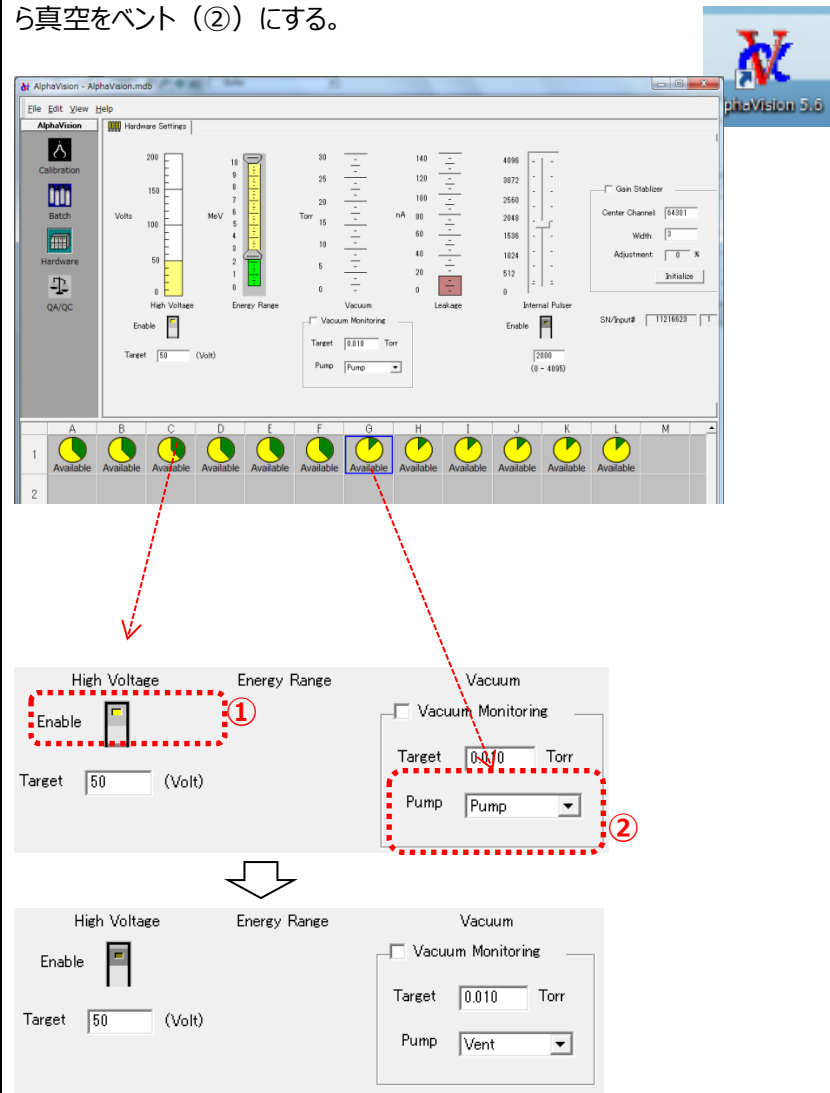
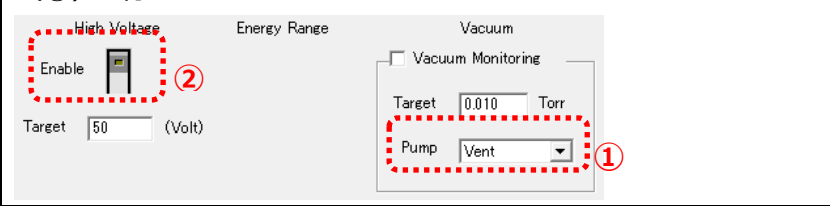
操作	備考
(1) 2.5 核種分離の(8)のビーカーに入った各溶離液をホットプレート上で乾固させる。(写真はAm 溶離液。) (2) Am 溶離液の入ったビーカーに、濃硝酸 2mL および過塩素酸 0.2mL を入れ、時計皿を付けてホットプレート上で以下の①～③のように加熱する。 ① 溶液が減り、白煙が出始めたら、時計皿を少しずらして白煙を除去する。 ② ビーカー底面に液体がなくなったら時計皿を外し、さらに加熱する。時計皿は、凸面を上にしてホットプレート上で加熱し、過塩素酸を完全に除去する。 ③ ビーカーがある程度乾固したら、ホットプレート上でビーカーを横に倒し、少しずつ転がしながら側面に付いた過塩素酸を除去する。  (3) Pu 溶離液の入ったビーカーに時計皿を付け、少しずらした隙間から濃硝酸 2.5mL を入れる。時計皿を少しずらした状態でホットプレート上で加熱し硝酸と共にヨウ素を除去する。赤紫色の煙が減少したら時計皿を外す。時計皿は、凸面を上にしてホットプレート上で加熱し、ヨウ素を完全に除去する。ビーカー底面の液状の物が完全に無くなったところで、ビーカーを横に倒し、少しずつ転がしながら側面に付いた白色のヨウ素を完全に除去する。続いて(2)と同様の操作で過塩素酸分解を行う。 	(2) 過塩素酸のついたチップは、発火・爆発を防止するため水で洗い流してから廃棄する。 ビーカーがホットプレートから転がり落ちないようにストッパーを用いる。ストッパーは、写真のように小さな耐熱ビーカーなどを用いてもよい。 (3) 温度を高くし過ぎると、硝酸が先に早く蒸発してしまうため、少し低めにする。

2.7 電着試料作成

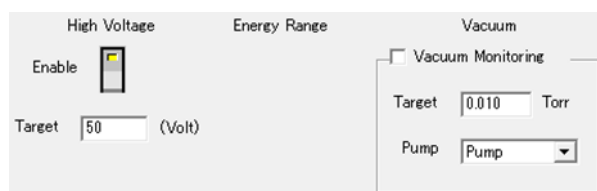
操作	備考
(1) Pu, Am の入ったビーカーに(1+19)硫酸 5mL を壁面を洗浄しながら回し入れる。時計皿も(1+19)硫酸 5mL で洗浄し、その洗液は同じビーカーに入れる。	
(2) 時計皿を付け、ホットプレートに乗せて十分に沸騰させる。	
(3) 放冷後、時計皿を milli Q で洗浄し、その洗液は同じビーカーに入れる。チモールブルー指示薬を 3 滴入れる。(右写真が指示薬添加後。)	
(4) サンプル溶液を攪拌しながら(1+1)アンモニア水を滴下する。溶液のピンク色が消えて黄色くなった時点で滴下を止める。	
(5) (1+19)硫酸を滴下し、ピンク色になり始めた時点で止める。濃いピンク色になってしまうと、回収率が低下するため、行き過ぎた場合は再び(1+1)アンモニア水で調整する。	(5) 電着時の pH が回収率に大きな影響を与えるため、トレーサを用いて各個人の回収率を測定し、溶液の色を見極められるように日頃から練習をするようにする。
(6) 予め組み立てておいた電着セルにサンプル溶液を流し入れ、milliQ でビーカーを洗浄し、その洗液もすべて電着セルに入れる。白金電極と蓋をセットする。	(6) 電着セルは前もって液漏れが無いことを確認しておく。 電着板の裏に耐熱ペンで試料

(7) 白金電極にプラス(赤コード)を, 受け皿にマイナス(黒コード)を付け, 1A で電流を 2 時間流す。 (8) 2 時間通電後, 蓋をずらし, (1+1)アンモニア水 2mL を隙間から入れ, 1 分間通電し, 電源を落とす。電着セル内の溶液を廃棄し, さらに milli Q でセル内を洗浄, 廃棄後, 電着セルを解体し電着板をピンセットで取り出す。この時, 電着面に触れないように端をつかむようにする。両面を milli Q で洗浄し, 電熱ヒーターに電着面を上にして置き, 全体的に焼き色がつくまで焼く。(30 分程度。)	名を記入しておく。 (7) プラス, マイナスを逆に付けてしまうと鉄が電着板に電着され, 試料が測定不可能になってしまうため, 電流を流す前に必ず確認する。 (8) 塩や有機物の除去が上手く行っていない時は, 電着板が鏡面にならず失敗である。
--	--

2.8 測定

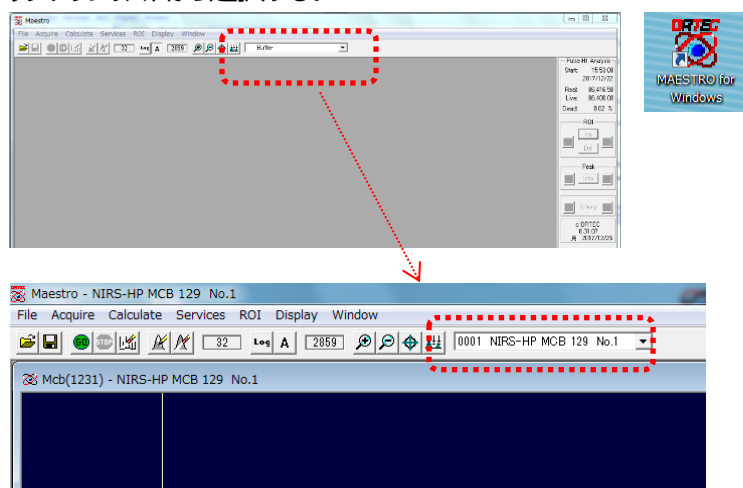
操作	備考
(1) 制御用 PC にインストールされている制御ソフトウェア, 「AlphaVision」を起動し, 使用する検出器の高電圧 (①) を切ってから真空をベント (②) にする。  (2) 試料皿に電着板を載せ, 検出器チャンバー内の最上段にセットする。 (3) 真空引きを開始 (①) し, 真空圧が200mTorr 以下で高電圧印加 (②) を行う。 	(1) 定期的にバックグラウンドの測定を行い, 測定対象のピーク領域のバックグラウンド計測値が十分に低いかどうかを確認する。(計測値の求め方は「3.解析」参照) 検出器が故障しないように必ず真空状態が保持された状態でのみ高電圧印加を行う。検出器は2個セットで真空引きが稼働することに注意する。

200mTorr 以下



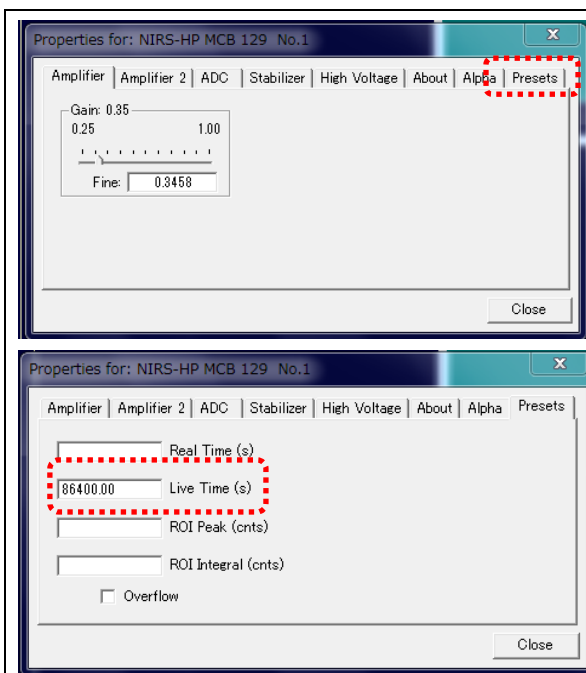
(4)

測定・分析用ソフトウェア「Maestro」を起動し、使用する検出器をドロップダウンリストから選択する。



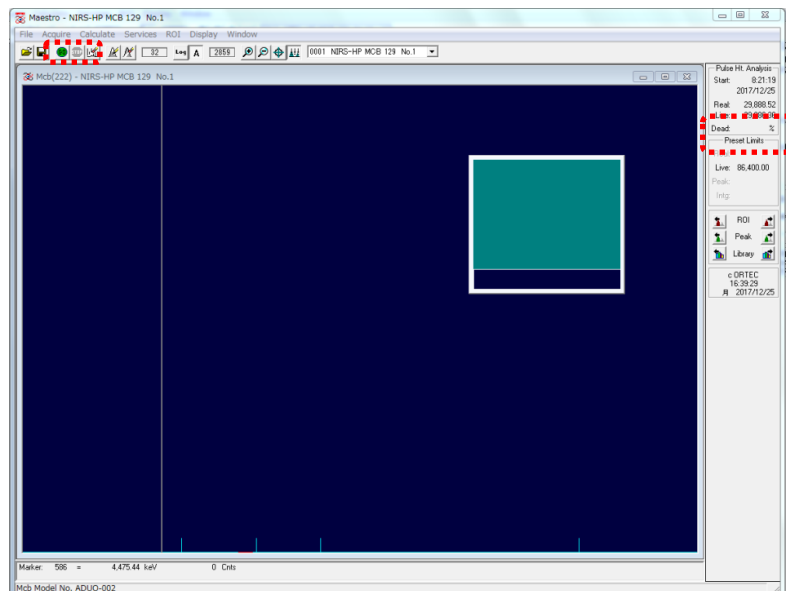
(5)

Maestro 画面上で右クリックすると「Properties for:・・・」というタブが出る。その中の「Presets」をクリックし、測定時間が 86400 秒であることを確認する。



(6)

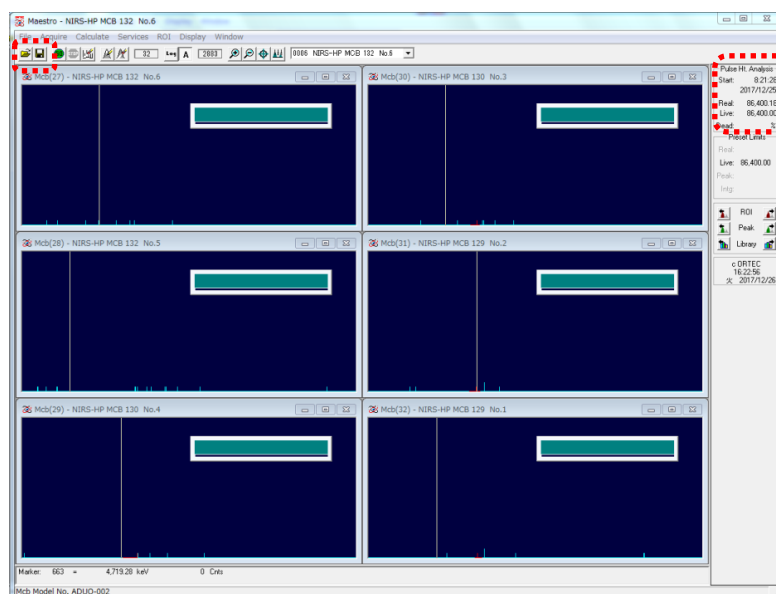
画面右の「Live」の値が「86400 秒」に設定されていることを確認し、左上の「GO」ボタンを押して測定を開始する。



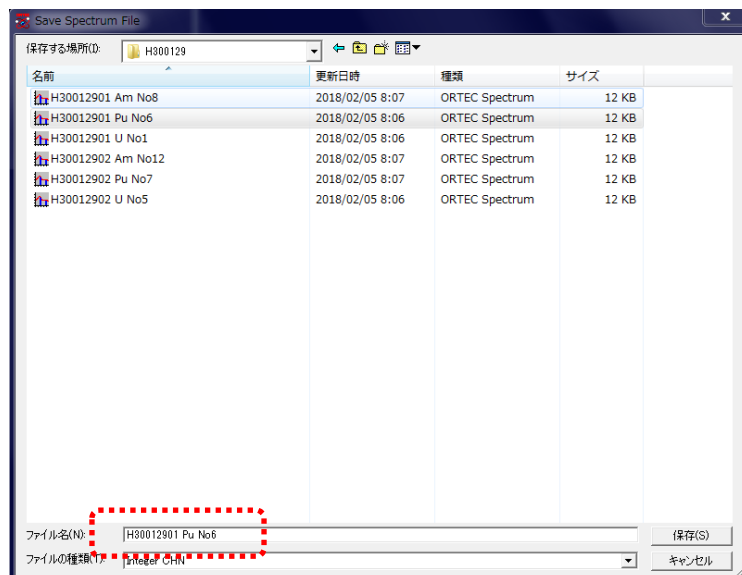
(7)

測定終了後、右上の「Real」が設定時間に到達していることを確認

し、「save」ボタンをクリックして保存する。この時、フォルダー内に試料名と測定に用いた Box No を入力し、データを保存する。



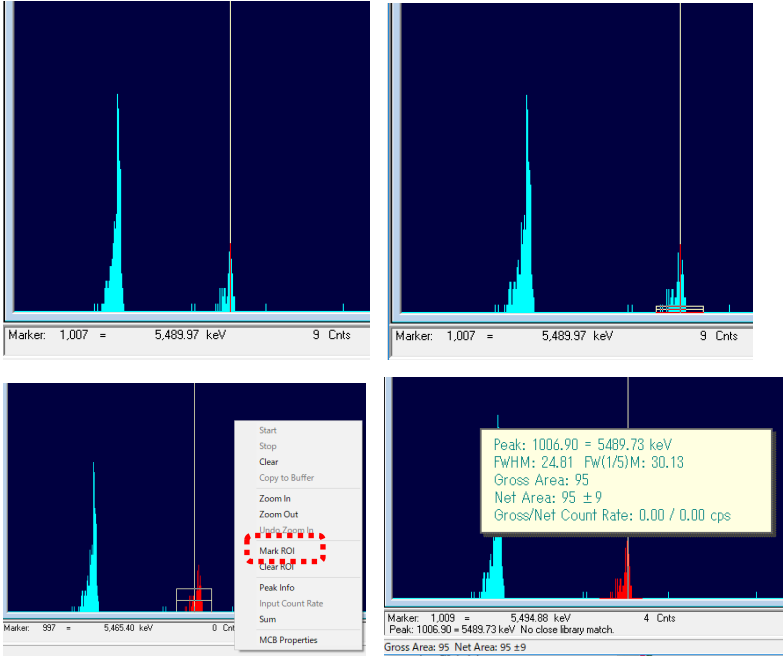
データ保存時は、他のデータに上書き保存しないように注意する。下図のように実験番号と測定核種および計測に使用した Box No.をファイル名する。

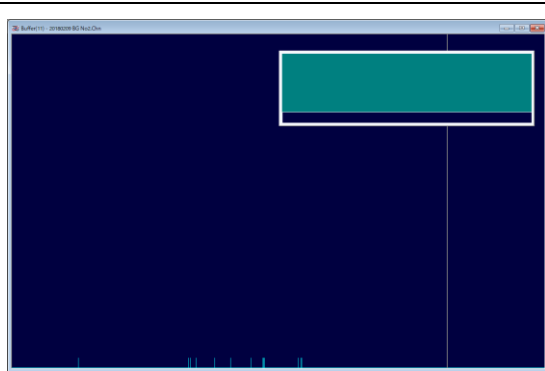


(8)

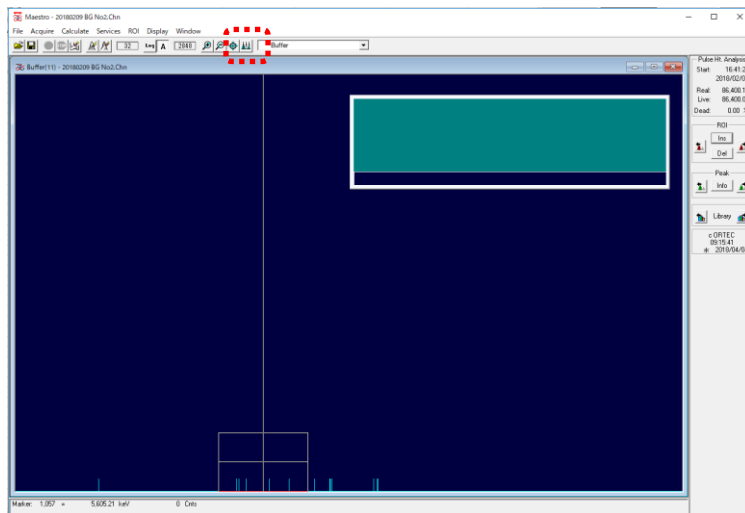
高電圧を切り、真空引きを止め、中の電着試料を取り出す。

3. 解析

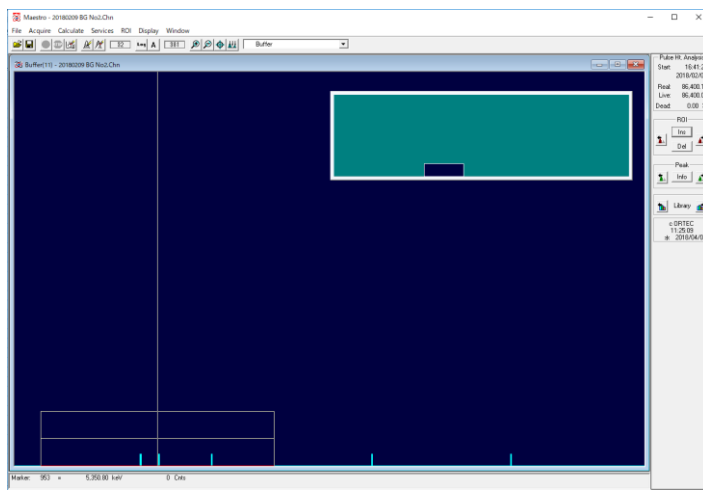
操作	備考										
(1) ＜測定試料のピーク面積の求め方＞ ファイルを開き、カーソルをピークの一番高いチャンネルに合わせ、エネルギーを読み取る。その値から核種を同定する。同定した核種のエネルギー範囲を選択し、右クリックでメニューを出す。「Mark ROI」を選択するとピークが赤くなる。選択したピークをダブルクリックすると、自動計算されたピーク情報が示される。同様にトレサの計測値も求める。（下図は Pu-238 と Pu-242 のスペクトル。Pu-238 の計測値を求めた例。） <table border="1" data-bbox="719 1182 1018 1294"><tr><td>Peak:</td><td>1006.90 = 5489.73 keV</td></tr><tr><td>FWHM:</td><td>24.81 FWHM(1/5)M: 30.13</td></tr><tr><td>Gross Area:</td><td>95</td></tr><tr><td>Net Area:</td><td>95 ± 9</td></tr><tr><td>Gross/Net Count Rate:</td><td>0.00 / 0.00 cps</td></tr></table> ＜バックグラウンド計測値の求め方＞ 事前に測定（通常は 86400 秒間）したバックグラウンド(BG)のスペクトルから、対象核種のエネルギー範囲の計測数を求める。（下図①～⑤は Am-243 のエネルギー範囲の計測数を求めた例。） ① BG のスペクトルを表示する。	Peak:	1006.90 = 5489.73 keV	FWHM:	24.81 FWHM(1/5)M: 30.13	Gross Area:	95	Net Area:	95 ± 9	Gross/Net Count Rate:	0.00 / 0.00 cps	(1) エネルギー範囲を選択し、右クリックメニューから「Sum」を選択すると、左下の欄に同様に計測値が表示される。ピーク同士が接近している同一のピークとして認識されてしまう場合は、この方法を使う。 BG のカウント数は試料測定前に計測しておく。 検出器によって BG 計測値が異なるため、 試料の測定に使用する検出器ごとに BG を計測する。
Peak:	1006.90 = 5489.73 keV										
FWHM:	24.81 FWHM(1/5)M: 30.13										
Gross Area:	95										
Net Area:	95 ± 9										
Gross/Net Count Rate:	0.00 / 0.00 cps										



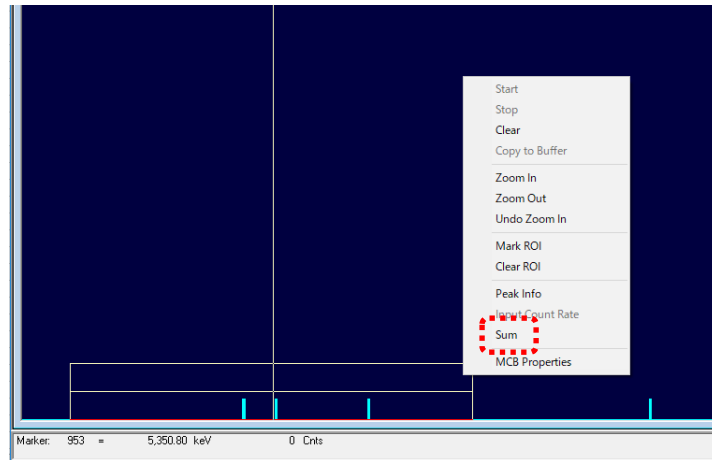
- ② Am-243 のエネルギー範囲（5180～5350keV）を含む部分を選択し，拡大ボタンを押す。



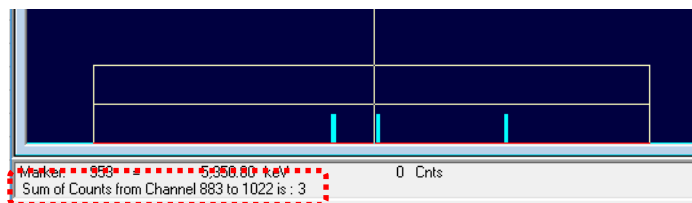
- ③ 拡大されたスペクトルで正確に Am-243 のエネルギー範囲（5180～5350keV）を選択する。



④ 選択された状態で右クリックし、「Sum」を選択する



⑤ 左下に表示されたカウント数が Am-243 の BG 値である。



(2)

得られたピーク面積を用い、以下のように計算を行う。

<トレーサの正味の計数率>

N_t : トレーサピークの計測値[counts]

N_{tBG} : トレーサの BG 計測値[counts]

T : 試料の測定時間[sec]

T_{BG} : BG 測定時間[sec]

とすると、トレーサの正味の計数率 n_t 、およびその誤差 σ_{nt} (2σ とする) は、

$$n_t = \frac{N_t}{T} - \frac{N_{tBG}}{T_{BG}}$$

$$\sigma_{nt} = 2 \sqrt{\frac{N_t}{T^2} + \frac{N_{tBG}}{T_{BG}^2}}$$

(2)

検出器の計測効率は定期的に求めておく。

<回収率の計算> ε : 測定に使用した検出器の計測効率[%] σ_{ε} : 計測効率の誤差 (2σとする) [%] A_t : 添加したトレーサの放射能[Bq] σ_{A_t} : トレーサの放射能の誤差 (2σとする) [Bq] とすると, トレーサの回収率 I, およびその誤差 σ_I は, $I = \frac{n_t}{\varepsilon \times A_t}$ $\sigma_I = \frac{n_t}{\varepsilon \times A_t} \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_{n_t}}{n_t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{A_t}}{A_t}\right)^2}$ <分析対象核種の正味の計数率> N_1 : 分析対象核種ピークの計測値[counts] N_{1BG} : 分析対象核種の BG 計測値[counts] とすると, 分析核種の正味の計数率 n_1, およびその誤差 σ_{n1} (2σ とする) は, $n_1 = \frac{N_1}{T} - \frac{N_{1BG}}{T_{BG}}$ $\sigma_{n1} = 2 \sqrt{\frac{N_1}{T^2} + \frac{N_{1BG}}{T_{BG}^2}}$ <分析対象核種の放射能計算> n_1, σ_{n1} を用いて分析対象核種の放射能 A_1, その誤差 σ_{A1} (2σとする) を計算する。 $A_1 = \frac{n_1}{\varepsilon \times I}$ $\sigma_{A1} = \frac{n_1}{\varepsilon \times I} \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_{n1}}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\varepsilon}}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I}\right)^2}$ <一日尿あたりの放射能の計算> W : 尿サンプル全量[g] W_1 : 分析に使用した尿サンプル量[g] とすると, 尿サンプル全量に含まれる放射能 A, およびその誤差σ_Aは, $A = A_1 \times \frac{W}{W_1}$ $\sigma_A = A \times \frac{\sigma_{A1}}{A_1}$	
--	--

付録 2-2 プルトニウム吸入被ばくにおける鼻スミア法の適用

プルトニウム吸入被ばくにおける鼻スミア法の適用

A. 緒言

同位体の多くが α 核種であり、さらに体内における実効半減期が長いプルトニウム (Pu) は、内部取り込みによる線量負荷が高く、核燃料施設等の内部被ばく管理を行う上で特に注意を要する元素である。Pu の内部被ばく線量評価法としては肺計測 (直接法) やバイオアッセイ (間接法) があるが、前者は検出感度が低く (そのため、実用上は Pu に同伴する ^{241}Am から放出される約 60 keV を測定し、存在比等から Pu の肺沈着量を推定する場合が多い)、後者は高い検出感度であるものの、結果が得られるまでに時間を要するという欠点を有する。Pu の内部取り込みが発生した際、Pu の排泄促進を目的としたキレート剤の投与が検討されるが、その判断材料として肺計測やバイオアッセイに基づく線量評価は困難である。そこで、吸入摂取の有無の判断に用いられる鼻スミア法に着目し、医療行為となされるキレート剤の投与基準が導出された[1]。本稿では、平成 29 年 6 月 6 日に日本原子力研究開発機構 (以下、原子力機構) 大洗研究開発センターにおいて発生した作業員の Pu 内部被ばく事故を鑑み、鼻スミア法の適用について再考した。同事故は、我が国における Pu 内部被ばくに事故において初めて内部被ばく線量低減のためのキレート剤が投与された事例である。

B. 手法

日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 (以下、核サ研) では、使用済核燃料再処理施設、MOX 燃料製造施設及びこれらに付帯する施設の操業を数十年にわたり行ってきた。その中で、30 件程度の軽微な Pu 内部被ばく事故が発生している。内部取り込みが疑われた作業員に対しては、図 1 に示すフローに従い線量計測が行われ、鼻スミア中に検出された α 放射能と最終線量評価に使われた便バイオアッセイの結果が比較された[2, 3]。なお、核サ研の過去の事例では、肺モニタによって有意値が検出されたことはなく、キレート剤 (DTPA) が投与された事例もなかった。Pu 内部被ばく線量の最大値は 90 mSv (1993 年の事例で、当時の線量の単位は預託実効線量当量) であった。

図 2 に鼻スミア中の α 放射能 (左右の鼻穴に対して別々に採取された鼻スミア中放射能の合計値) と摂取後 5 日間の初期便中の Pu 放射能 (β 核種の ^{241}Pu , ^{241}Am は除く) の関係を示す。この結果から、内部取り込みが疑われた際に速やかに結果が得られる鼻スミア中の放射能から正確な内部被ばく線量を推定することは困難であるとの結論に至ったが、キレート剤投与のための判断材料または目安を与えるものと考えられた。すなわち、両者の関係は大きくばらつくものの、初期便中への排泄量は鼻スミア中放射能の 100 倍を超える可能性は低く、この関係を使えば最大に近いと予想される内部被ばく線量を迅速に求めるこ

とができる。導出過程の詳細[1]は本稿では割愛するが、鼻スミアに基づく医療介入レベル（50 年間の預託実効線量で 200 mSv）に対応する放射能は表 1 のとおりとなった。

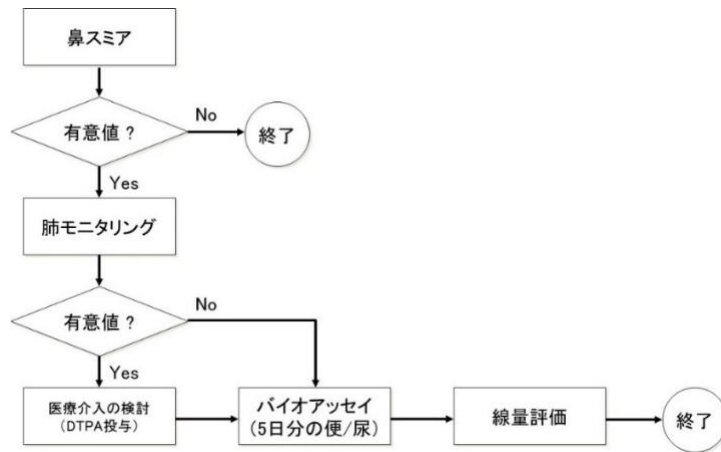


図 1 プルトニウム体内汚染時の対応フロー

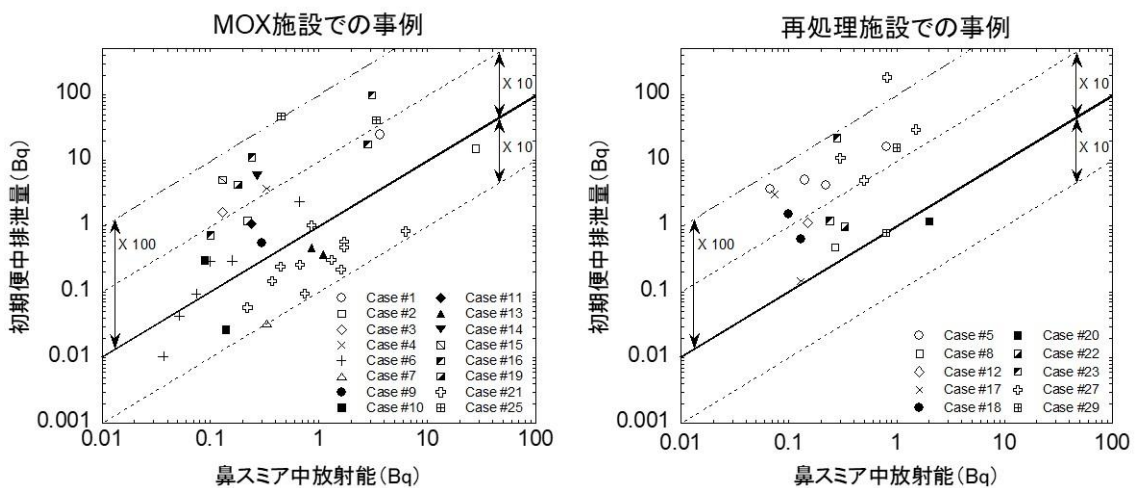


図 2 鼻スミア中放射能と初期便排泄量の関係[1]
(各プロットが被検者 1 名のデータに相当する)

表 1 鼻スミアに基づく医療介入レベル

施設	主要な化学形	吸収タイプ	鼻スミア中放射能 (Bq)
MOX 施設	PuO_2	S	15
再処理施設	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$	M	4
その他の施設	---	---	化学形に応じて

C. 適用

原子力機構 大洗研究開発センターにおいて発生した作業員 5 名の Pu 内部取り込みに際し、事故発生直後に同機構から公表された結果は表 2 に示すとおりであった[4]。肺モニタの測定値に基づく最大被ばく者の内部被ばく線量は、預託実効線量で 12 Sv と評価された。前述の鼻スミア中放射能に基づく医療介入レベルは、大洗研究開発センターでは核サ研と鼻スミアの仕様が異なっており、核サ研の経験をそのまま適用できないとして使われることはなかった。結果的に、原子力機構による最初の内部被ばく線量の報告は、僅かに残存した身体汚染を肺モニタが検出したことによる過大評価の可能性が、内部被ばくした作業員を翌日受け入れた放医研による身体サーベイ及び内部被ばく線量測定の結果等から示唆された。その後、2017 年 7 月 10 日に日本原子力研究開発機構から公表された作業員 5 名の修正された内部被ばく線量は、100~200 mSv が 1 名、10~50 mSv が 2 名、10 mSv 未満が 1 名（いずれも預託実効線量）であった。

表 2 日本原子力研究開発機構から公表された作業員のモニタリング結果[4]

氏名	鼻スミア 測定結果 (Bq)	肺モニタ	
		²³⁹ Pu	²⁴¹ Am
A	—	< 2.2E+03	< 7.1E+00
B	—	< 5.6E+03	8.5E+00
C	13	< 6.0E+03	1.2E+01
D	3	< 1.4E+4	1.3E+02
E	24	2.2E+04	2.2E+02

注 1：「<」は核種が検出されていないことを示しており、この値未満であることを示す。

注 2：2.2E+04 Bq の ²³⁹Pu を吸入摂取した場合、預託実効線量 12 Sv に相当する。

注 3：²³⁹Pu を吸入摂取した場合、肺に沈着する量は吸入量の約 6.1%であり、約 40%は呼吸として排出され、約 50%が胃腸管に移行する。

注 4：表の値は 6 月 6 日時点のものであり、今後の測定等により変わりうるものである。

その後、事故原因の調査は原子力機構により詳細に行われ、法令報告書に詳細が述べられている[5]。事故は高速炉用燃料等の研究開発を行う目的で昭和 49 年に竣工した燃料研究棟において、過去の研究開発で使用した核燃料物質を含む試料を収納した貯蔵容器の開封作業中に発生した。試料は樹脂製の袋に封入された状態で貯蔵容器に収納されていたが、Pu から放出される α 線による放射線分解により袋内部にガスが発生し、この様な状態が長期間続いたために内圧が高まり、開封作業中に袋が破裂したと考えられた。作業員 5 名はいずれも内部取り込み防止のための半面マスクを着用していたが、フィルターは健全に機能したものの、半面マスクの面体と顔面との隙間から身体汚染をもたらした Pu 粒子等が入り込み、内部取り込みに至ったものと推定された。

原子力機構において事故発生直後に公表された最大被ばく者の内部被ばく線量は 12 Sv であったが、その算定は肺モニタの測定値 (^{239}Pu , 22,000 Bq) 及びその他の諸条件（空気理学的放射能中央径[AMAD]: $5\text{ }\mu\text{m}$, 吸収タイプ: 中位[M]) に基づき、放医研で開発された MONDAL[6]再現できる（図 2）。これによると、 ^{239}Pu の摂取量は 360,000 Bq となり、粒径 $5\text{ }\mu\text{m}$ の場合は摂取量の約 4 割となる 144,000 Bq が初期便中に排泄されることになる。鼻スミア中放射能に基づく介入レベルを導出した際に用いた条件である粒径 $1\text{ }\mu\text{m}$ の場合は、 ^{239}Pu の摂取量は 190,000 Bq となり、この約 2 割となる 38,000 Bq が初期便中に排泄される。

一方、最大被ばく者の鼻スミア中放射能は 24 Bq であり、これは初期便排泄量の約 1,600 分の 1 から役 6,000 分の 1 となり、核サ研の Pu 内部被ばく事件事例から得られた結果と大きく乖離している。この原因は現在不明であるが、結果的に表 1 に示した介入レベルから算定した内部被ばく線量が実際に近い値となった。なお、Pu の化学形は電子顕微鏡及び X 線元素分析により酸化物と炭化物の混合物であったことから吸収タイプとしては S に近いと予想される。

図 2 MONDAL による最大被ばく者の計算

参考文献

1. O. Kurihara, C. Takada, K. Takasaki, K. Ito, T. Momose and K. Miyabe; Practical action levels for chelation therapy using nose swab, Radiat. Prot. Dosim., 127(1-4), 411-414, (2007).

2. K. Miyabe, H. Ishiguro, K. Nakata and S. Fukuda; Application of nose smear method to the assessment of internal contamination, IAEA-SM-276/08, 357-366, (1984).
3. O. Kurihara, T. Momose, T. Tasaki, N. Hayashi and K. Shinohara; Early faecal excretion of inhaled plutonium, Radiat. Prot. Dosim., 102(2), 137-144, (2002).
4. 日本原子力研究開発機構; 大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について (続報) , 平成 29 年 6 月 9 日, (2017). <https://www.jaea.go.jp/02/press2017/p17060902/>
5. 日本原子力研究開発機構; 大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について (第 3 報) , 平成 29 年 9 月 29 日, (2017)など。
<https://www.jaea.go.jp/news/incident/index2017.html>
6. N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano and H. Enomoto; Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements, Radiat. Prot. Dosim., 109(3), 235-242, (2004).

付録 2-3 内部被ばく線量評価のためのモニタリング参考値

内部被ばく線量評価のためのモニタリング参考値

A. 緒言

放射性核種の内部取り込みによる被ばく線量を迅速に評価するためのモニタリング参考値を、核種毎に探索表 (look-up table) として作成した。同様な表は TMT-Handbook[1]や IAEA EPR-MEDICAL [2]等にもあるが、本稿では放射線作業従事者を対象として、体内動態モデルに基づく体外計測とバイオアッセイの単位摂取量当たりの予測値、及び、医療介入の判断の一つの基準となる預託実効線量 100 mSv に相当する予測値を計算した。これらの数値は、事故直後に、線量評価に必要な情報 (摂取経路、粒径、化学形など) が十分に得られていない状況における参考値として使われることを意図している。

B. 手法

体外計測 (直接法) あるいはバイオアッセイ (予測値) により、特定組織あるいは全身の放射性核種の残留量や便・尿中への放射性核種の排泄量が得られる。これらのモニタリング値から、次式により摂取量 (intake) が計算される[3]。

$$I = \frac{M}{m(t)} \dots \quad (1)$$

ここで、 M は体外計測またはバイオアッセイによるモニタリング値、 $m(t)$ は摂取から t 日後の残留率または排泄率である。不溶性化合物の吸入または経口による内部取り込みでは便バイオアッセイが使われる場合があるが (例えば、Pu など)、排泄頻度の個人差が大きいために摂取直後から数日間集められた便 (初期便) の総排泄量に基づき摂取量が計算される。すなわち、次式にしたがって計算される。

$$I = \frac{(M_1 + M_2 + \dots + M_n)}{(m(1d) + m(2d) + \dots + m(nd))} \dots (2)$$

内部被ばく線量は預託実効線量で通常評価されるが、これは次式で計算される。

$$E = I \times e(50) \dots \quad (3)$$

ここで、 E は預託実効線量、 $e(50)$ は預託実効線量係数である。預託実効線量係数は、単位摂取量当たりの預託実効線量を与える係数であり、線量の評価期間は被検者の年齢、性別にかかわらず、摂取から 50 年間と決められている。

本稿でのモニタリング参考値の導出に必要な預託実効線量係数及び残留率／排泄率については、ICRP Publ. 68[4]のデータ及び英国 HPA (現, PHE) により開発された IMBA Professional[5]により計算した残留率／排泄率及び預託実効線量係数 (ICRP Publ. 68 に示されていない血液注入に対する預託実効線量係数のみ IMBA で計算) を用いた。

C. モニタリング参考値

表 1 から表 4 に, ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$, ^{241}Pu , ^{241}Am のモニタリング参考値及び計算条件等について示した。

表 1 作業者の吸入摂取の線量計算に用いられる化合物, 肺クリアランス及び f_1 値

元素	タイプ	f_1	化合物
マンガン (Mn)	F	0.100	不特定の化合物
	M	0.100	酸化物, 水酸化物, ハロゲン化物及び硝酸塩
コバルト (Co)	F	0.100	不特定の化合物
	M	0.050	酸化物, 水酸化物, ハロゲン化物及び硝酸塩
ストロンチウム (Sr)	F	0.300	不特定の化合物
	S	0.010	チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3)
ルテニウム (Ru)	F	0.050	不特定の化合物
	M	0.050	ハロゲン化物
	S	0.050	酸化物, 水酸化物
アンチモン (Sb)	F	0.100	不特定の化合物
	M	0.010	酸化物, 水酸化物, ハロゲン化物, 硫化物, 硫酸塩及び硝酸塩
セシウム (Cs)	F	1.000	全ての化合物
ユロピウム (Eu)	M	5.0E-04	全ての化合物
ウラン (U)	F	0.020	大部分の6価の化合物, 例えば, UF_6 , UO_2F_2 及び $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$
	M	0.020	難溶性の化合物, 例えば, UO_3 , UF_4 , UCl_4 及び大部分の他の6価化合物
	S	0.002	非常に不溶性の化合物, 例えば, UO_2 及び U_3O_8
プルトニウム (Pu)	M	5.0E-04	不特定の化合物
	S	1.0E-05	非溶解性の酸化物
アメリシウム (Am)	M	5.0E-04	全ての化合物

参照: ICRP Publication.68

表 2 作業者の経口摂取の線量計算に用いられる化合物及び f_1 値

元素	f_1	化合物
マンガン (Mn)	0.100	全ての化合物
コバルト (Co)	0.100	不特定の化合物
	0.050	酸化物, 水酸化物及び無機化合物
ストロンチウム (Sr)	0.300	不特定の化合物
	0.010	チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3)
ルテニウム (Ru)	0.050	全ての化合物
アンチモン (Sb)	0.100	全ての化合物
セシウム (Cs)	1.000	全ての化合物
ユロピウム (Eu)	5.0E-04	全ての化合物
ウラン (U)	0.020	不特定の化合物
	0.002	大部分の4価の化合物, 例えば, UO_2 , U_3O_8 , UF_4
プルトニウム (Pu)	5.0E-04	不特定の化合物
	1.0E-04	硝酸塩
	1.0E-05	不溶性酸化物
アメリシウム (Am)	5.0E-04	全ての化合物

参照: ICRP Publication.68

表 3(1) ^{54}Mn の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{54}Mn

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/3）

吸入摂取（Type F）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	8.7E-10			1.1E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.75E-01	4.37E-03	2.79E-02	5.47E-01	5.21E-03	5.23E-02
2	2.89E-01	6.70E-03	4.00E-02	3.86E-01	8.02E-03	7.33E-02
3	2.45E-01	6.03E-03	2.35E-02	3.08E-01	7.21E-03	4.09E-02
4	2.21E-01	5.28E-03	1.31E-02	2.70E-01	6.31E-03	2.10E-02
5	2.05E-01	4.63E-03	8.24E-03	2.48E-01	5.54E-03	1.19E-02
6	1.94E-01	4.09E-03	5.94E-03	2.33E-01	4.89E-03	7.86E-03
7	1.85E-01	3.62E-03	4.74E-03	2.22E-01	4.34E-03	5.95E-03
8	1.77E-01	3.23E-03	4.00E-03	2.12E-01	3.87E-03	4.89E-03
9	1.71E-01	2.90E-03	3.49E-03	2.04E-01	3.47E-03	4.22E-03
10	1.64E-01	2.62E-03	3.10E-03	1.97E-01	3.13E-03	3.72E-03

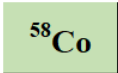
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/3）

吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	1.5E-09			1.2E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.53E-01	6.91E-04	5.35E-02	5.03E-01	9.90E-04	1.00E-01
2	2.37E-01	1.22E-03	7.54E-02	2.83E-01	1.80E-03	1.39E-01
3	1.82E-01	1.14E-03	3.97E-02	1.81E-01	1.66E-03	7.15E-02
4	1.58E-01	1.02E-03	1.77E-02	1.37E-01	1.47E-03	3.08E-02
5	1.47E-01	9.09E-04	7.96E-03	1.19E-01	1.30E-03	1.31E-02
6	1.41E-01	8.18E-04	4.05E-03	1.10E-01	1.15E-03	6.00E-03
7	1.37E-01	7.42E-04	2.50E-03	1.05E-01	1.03E-03	3.22E-03
8	1.34E-01	6.77E-04	1.86E-03	1.02E-01	9.26E-04	2.11E-03
9	1.31E-01	6.23E-04	1.57E-03	9.88E-02	8.38E-04	1.63E-03
10	1.29E-01	5.76E-04	1.42E-03	9.64E-02	7.64E-04	1.38E-03

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/3）

経口摂取（ $f_1=0.100$ ）						
実効線量係数（Sv/Bq）	7.1E-10			血液注入		
	2.95E-09					
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.36E-01	1.29E-03	2.60E-01	9.78E-01	1.78E-02	2.31E-03
2	3.84E-01	2.65E-03	3.48E-01	9.36E-01	2.66E-02	1.27E-02
3	2.05E-01	2.45E-03	1.75E-01	8.90E-01	2.39E-02	2.02E-02
4	1.29E-01	2.15E-03	7.35E-02	8.45E-01	2.09E-02	2.21E-02
5	9.75E-02	1.88E-03	2.96E-02	8.04E-01	1.84E-02	2.11E-02
6	8.34E-02	1.66E-03	1.22E-02	7.67E-01	1.62E-02	1.92E-02
7	7.61E-02	1.47E-03	5.56E-03	7.33E-01	1.44E-02	1.72E-02
8	7.17E-02	1.31E-03	2.97E-03	7.04E-01	1.28E-02	1.53E-02
9	6.85E-02	1.17E-03	1.91E-03	6.77E-01	1.15E-02	1.36E-02
10	6.58E-02	1.06E-03	1.43E-03	6.53E-01	1.04E-02	1.22E-02

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

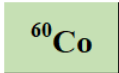
表 3(2) ^{58}Co の実効線量係数及び残留率/排泄率

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/3）								
吸入摂取（Type M）								
1 μm AMAD			5 μm AMAD					
1.5E-09			1.4E-09					
実効線量係数（Sv/Bq）	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.37E-01	1.08E-01	1.33E-02	5.34E-02	4.81E-01	5.71E-02	1.95E-02	9.97E-02
2	2.15E-01	1.04E-01	6.07E-03	7.48E-02	2.52E-01	5.49E-02	8.99E-03	1.38E-01
3	1.58E-01	1.02E-01	2.57E-03	3.89E-02	1.48E-01	5.34E-02	3.59E-03	7.01E-02
4	1.33E-01	9.92E-02	1.60E-03	1.68E-02	1.05E-01	5.21E-02	2.10E-03	2.94E-02
5	1.22E-01	9.69E-02	1.27E-03	7.11E-03	8.65E-02	5.08E-02	1.61E-03	1.18E-02
6	1.15E-01	9.46E-02	1.12E-03	3.26E-03	7.81E-02	4.96E-02	1.38E-03	4.83E-03
7	1.11E-01	9.25E-02	1.02E-03	1.78E-03	7.34E-02	4.84E-02	1.23E-03	2.19E-03
8	1.08E-01	9.03E-02	9.42E-04	1.21E-03	7.03E-02	4.72E-02	1.10E-03	1.19E-03
9	1.05E-01	8.83E-02	8.72E-04	9.73E-04	6.77E-02	4.61E-02	9.99E-04	8.02E-04
10	1.02E-01	8.63E-02	8.09E-04	8.63E-04	6.55E-02	4.50E-02	9.06E-04	6.39E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/3）								
吸入摂取（Type S）								
1 μm AMAD			5 μm AMAD					
2.0E-09			1.7E-09					
実効線量係数（Sv/Bq）	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.43E-01	1.20E-01	3.03E-03	5.82E-02	4.85E-01	6.37E-02	5.60E-03	1.09E-01
2	2.17E-01	1.17E-01	1.71E-03	8.26E-02	2.48E-01	6.15E-02	3.08E-03	1.52E-01
3	1.58E-01	1.14E-01	6.71E-04	4.29E-02	1.39E-01	6.01E-02	1.18E-03	7.75E-02
4	1.33E-01	1.12E-01	3.79E-04	1.84E-02	9.43E-02	5.90E-02	6.49E-04	3.23E-02
5	1.22E-01	1.10E-01	2.84E-04	7.70E-03	7.64E-02	5.78E-02	4.79E-04	1.28E-02
6	1.16E-01	1.08E-01	2.42E-04	3.48E-03	6.87E-02	5.67E-02	4.02E-04	5.15E-03
7	1.12E-01	1.06E-01	2.15E-04	1.86E-03	6.49E-02	5.56E-02	3.53E-04	2.26E-03
8	1.10E-01	1.04E-01	1.94E-04	1.25E-03	6.26E-02	5.45E-02	3.14E-04	1.18E-03
9	1.08E-01	1.02E-01	1.76E-04	1.00E-03	6.09E-02	5.35E-02	2.81E-04	7.71E-04
10	1.05E-01	1.01E-01	1.60E-04	8.94E-04	5.94E-02	5.25E-02	2.52E-04	6.07E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/3）									
経口摂取（ $f_1=0.100$ ）			経口摂取（ $f_1=0.050$ ）				血液注入		
7.4E-10			7.0E-10				1.52E-09		
実効線量係数（Sv/Bq）	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.04E-01	2.72E-02	2.59E-01	7.07E-01	1.35E-02	2.69E-01	6.63E-01	3.16E-01	1.11E-02
2	3.39E-01	1.41E-02	3.44E-01	3.31E-01	7.12E-03	3.63E-01	5.19E-01	1.12E-01	2.56E-02
3	1.59E-01	5.33E-03	1.72E-01	1.43E-01	2.68E-03	1.81E-01	4.47E-01	4.56E-02	2.07E-02
4	8.36E-02	2.94E-03	7.06E-02	6.59E-02	1.48E-03	7.44E-02	4.03E-01	2.72E-02	1.29E-02
5	5.33E-02	2.16E-03	2.73E-02	3.56E-02	1.08E-03	2.86E-02	3.71E-01	2.08E-02	7.76E-03
6	4.06E-02	1.81E-03	1.04E-02	2.36E-02	9.06E-04	1.07E-02	3.44E-01	1.76E-02	5.06E-03
7	3.46E-02	1.58E-03	4.00E-03	1.85E-02	7.91E-04	4.04E-03	3.22E-01	1.54E-02	3.69E-03
8	3.13E-02	1.40E-03	1.63E-03	1.61E-02	6.99E-04	1.56E-03	3.02E-01	1.37E-02	2.94E-03
9	2.90E-02	1.24E-03	7.38E-04	1.47E-02	6.20E-04	6.42E-04	2.84E-01	1.21E-02	2.49E-03
10	2.72E-02	1.10E-03	3.97E-04	1.37E-02	5.51E-04	2.98E-04	2.69E-01	1.08E-02	2.16E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(3) ^{60}Co の実効線量係数及び残留率/排泄率

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/3）								
吸入摂取（Type M）								
1 μm AMAD			5 μm AMAD					
9.6E-09			7.1E-09					
実効線量係数（Sv/Bq）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）	吸入摂取（Type M）
摂取からの経過日数	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.40E-01	1.09E-01	1.35E-02	5.39E-02	4.85E-01	5.76E-02	1.97E-02	1.01E-01
2	2.19E-01	1.06E-01	6.19E-03	7.63E-02	2.57E-01	5.59E-02	9.16E-03	1.40E-01
3	1.63E-01	1.05E-01	2.65E-03	4.00E-02	1.52E-01	5.49E-02	3.70E-03	7.21E-02
4	1.38E-01	1.03E-01	1.66E-03	1.74E-02	1.09E-01	5.41E-02	2.18E-03	3.05E-02
5	1.27E-01	1.02E-01	1.34E-03	7.45E-03	9.07E-02	5.33E-02	1.69E-03	1.23E-02
6	1.22E-01	1.00E-01	1.19E-03	3.45E-03	8.27E-02	5.25E-02	1.46E-03	5.11E-03
7	1.19E-01	9.88E-02	1.09E-03	1.91E-03	7.85E-02	5.17E-02	1.31E-03	2.34E-03
8	1.16E-01	9.74E-02	1.02E-03	1.30E-03	7.58E-02	5.09E-02	1.19E-03	1.28E-03
9	1.14E-01	9.61E-02	9.49E-04	1.06E-03	7.37E-02	5.02E-02	1.09E-03	8.73E-04
10	1.12E-01	9.48E-02	8.89E-04	9.49E-04	7.19E-02	4.95E-02	9.96E-04	7.02E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/3）								
吸入摂取（Type S）								
1 μm AMAD			5 μm AMAD					
2.9E-08			1.7E-08					
実効線量係数（Sv/Bq）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）	吸入摂取（Type S）
摂取からの経過日数	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.46E-01	1.21E-01	3.06E-03	5.88E-02	4.90E-01	6.43E-02	5.66E-03	1.10E-01
2	2.21E-01	1.19E-01	1.74E-03	8.42E-02	2.53E-01	6.27E-02	3.14E-03	1.55E-01
3	1.62E-01	1.18E-01	6.90E-04	4.41E-02	1.43E-01	6.19E-02	1.21E-03	7.97E-02
4	1.38E-01	1.17E-01	3.93E-04	1.91E-02	9.79E-02	6.12E-02	6.74E-04	3.36E-02
5	1.27E-01	1.16E-01	2.98E-04	8.07E-03	8.01E-02	6.06E-02	5.02E-04	1.34E-02
6	1.23E-01	1.14E-01	2.56E-04	3.68E-03	7.27E-02	6.00E-02	4.26E-04	5.45E-03
7	1.20E-01	1.13E-01	2.30E-04	1.99E-03	6.94E-02	5.94E-02	3.77E-04	2.42E-03
8	1.18E-01	1.12E-01	2.09E-04	1.35E-03	6.75E-02	5.88E-02	3.39E-04	1.27E-03
9	1.17E-01	1.11E-01	1.91E-04	1.09E-03	6.63E-02	5.82E-02	3.06E-04	8.39E-04
10	1.16E-01	1.10E-01	1.75E-04	9.83E-04	6.53E-02	5.77E-02	2.76E-04	6.67E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/3）									
経口摂取（ $f_1=0.100$ ）			経口摂取（ $f_1=0.050$ ）			血液注入			
3.4E-09			2.5E-09			1.93E-08			
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）	経口摂取（ $f_1=0.100$ ）
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.11E-01	2.75E-02	2.61E-01	7.14E-01	1.36E-02	2.72E-01	6.69E-01	3.19E-01	1.12E-02
2	3.46E-01	1.44E-02	3.51E-01	3.37E-01	7.25E-03	3.70E-01	5.29E-01	1.14E-01	2.61E-02
3	1.63E-01	5.48E-03	1.77E-01	1.47E-01	2.76E-03	1.87E-01	4.60E-01	4.70E-02	2.13E-02
4	8.68E-02	3.05E-03	7.33E-02	6.84E-02	1.53E-03	7.73E-02	4.19E-01	2.82E-02	1.34E-02
5	5.59E-02	2.27E-03	2.86E-02	3.73E-02	1.14E-03	3.00E-02	3.88E-01	2.18E-02	8.13E-03
6	4.30E-02	1.92E-03	1.10E-02	2.50E-02	9.59E-04	1.14E-02	3.64E-01	1.87E-02	5.35E-03
7	3.70E-02	1.69E-03	4.27E-03	1.98E-02	8.44E-04	4.32E-03	3.44E-01	1.65E-02	3.94E-03
8	3.37E-02	1.51E-03	1.75E-03	1.73E-02	7.53E-04	1.68E-03	3.26E-01	1.47E-02	3.18E-03
9	3.16E-02	1.35E-03	8.03E-04	1.60E-02	6.75E-04	6.99E-04	3.10E-01	1.32E-02	2.71E-03
10	2.99E-02	1.21E-03	4.36E-04	1.50E-02	6.06E-04	3.28E-04	2.95E-01	1.19E-02	2.37E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(4) ^{90}Sr の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{90}Sr

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/3）						
吸入摂取（Type F）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	2.4E-08			3.0E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.26E-01	5.48E-02	2.68E-02	4.90E-01	6.82E-02	4.77E-02
2	2.33E-01	1.86E-02	3.61E-02	3.24E-01	2.34E-02	6.32E-02
3	1.86E-01	1.25E-02	2.05E-02	2.45E-01	1.56E-02	3.46E-02
4	1.61E-01	9.32E-03	1.06E-02	2.06E-01	1.17E-02	1.69E-02
5	1.46E-01	7.36E-03	5.79E-03	1.84E-01	9.22E-03	8.66E-03
6	1.35E-01	6.02E-03	3.55E-03	1.70E-01	7.53E-03	4.98E-03
7	1.28E-01	5.04E-03	2.46E-03	1.60E-01	6.31E-03	3.27E-03
8	1.21E-01	4.31E-03	1.86E-03	1.52E-01	5.39E-03	2.41E-03
9	1.16E-01	3.75E-03	1.51E-03	1.45E-01	4.70E-03	1.91E-03
10	1.12E-01	3.32E-03	1.27E-03	1.39E-01	4.15E-03	1.60E-03

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/3）						
吸入摂取（Type S）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	1.5E-07			7.7E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.47E-01	4.54E-04	6.06E-02	4.91E-01	8.08E-04	1.13E-01
2	2.21E-01	1.98E-04	8.77E-02	2.51E-01	3.44E-04	1.62E-01
3	1.60E-01	1.30E-04	4.61E-02	1.38E-01	2.22E-04	8.32E-02
4	1.35E-01	9.75E-05	1.99E-02	9.26E-02	1.64E-04	3.50E-02
5	1.25E-01	7.85E-05	8.40E-03	7.46E-02	1.30E-04	1.40E-02
6	1.20E-01	6.57E-05	3.81E-03	6.74E-02	1.07E-04	5.65E-03
7	1.18E-01	5.66E-05	2.05E-03	6.43E-02	8.98E-05	2.48E-03
8	1.16E-01	4.98E-05	1.38E-03	6.27E-02	7.74E-05	1.29E-03
9	1.15E-01	4.46E-05	1.12E-03	6.17E-02	6.79E-05	8.40E-04
10	1.14E-01	4.06E-05	1.01E-03	6.10E-02	6.05E-05	6.64E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/3）									
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=0.300$ ）			経口摂取（ $f_1=0.010$ ）			血液注入		
	2.8E-08			2.7E-09			8.78E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.26E-01	5.65E-02	2.17E-01	7.18E-01	1.83E-03	2.80E-01	7.80E-01	2.03E-01	1.65E-02
2	4.28E-01	2.20E-02	2.76E-01	3.32E-01	7.61E-04	3.85E-01	6.84E-01	6.73E-02	2.83E-02
3	2.75E-01	1.44E-02	1.39E-01	1.36E-01	4.88E-04	1.95E-01	6.16E-01	4.53E-02	2.37E-02
4	2.05E-01	1.06E-02	5.96E-02	5.53E-02	3.59E-04	8.06E-02	5.64E-01	3.39E-02	1.76E-02
5	1.71E-01	8.34E-03	2.49E-02	2.38E-02	2.81E-04	3.12E-02	5.24E-01	2.68E-02	1.30E-02
6	1.54E-01	6.78E-03	1.09E-02	1.18E-02	2.28E-04	1.18E-02	4.92E-01	2.19E-02	9.91E-03
7	1.43E-01	5.67E-03	5.33E-03	7.24E-03	1.91E-04	4.41E-03	4.66E-01	1.84E-02	7.82E-03
8	1.35E-01	4.83E-03	3.04E-03	5.41E-03	1.62E-04	1.66E-03	4.44E-01	1.57E-02	6.38E-03
9	1.29E-01	4.20E-03	2.04E-03	4.63E-03	1.41E-04	6.44E-04	4.25E-01	1.37E-02	5.34E-03
10	1.23E-01	3.70E-03	1.55E-03	4.24E-03	1.24E-04	2.64E-04	4.08E-01	1.21E-02	4.57E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(5) ^{106}Ru の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{106}Ru

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）

吸入摂取（Type F）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	8.0E-09			9.8E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
2	2.56E-01	9.66E-03	4.25E-02	3.45E-01	1.14E-02	7.78E-02
3	2.13E-01	6.46E-03	2.26E-02	2.68E-01	7.64E-03	4.05E-02
4	1.91E-01	5.74E-03	1.03E-02	2.32E-01	6.79E-03	1.78E-02
5	1.79E-01	5.31E-03	4.83E-03	2.14E-01	6.27E-03	7.91E-03
6	1.70E-01	4.92E-03	2.63E-03	2.02E-01	5.82E-03	3.94E-03
7	1.63E-01	4.57E-03	1.74E-03	1.93E-01	5.40E-03	2.36E-03
8	1.57E-01	4.25E-03	1.36E-03	1.86E-01	5.03E-03	1.72E-03
9	1.52E-01	3.96E-03	1.17E-03	1.80E-01	4.68E-03	1.42E-03
10	1.47E-01	3.69E-03	1.05E-03	1.74E-01	4.36E-03	1.25E-03

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）

吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	2.6E-08			1.7E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.47E-01	4.02E-03	5.58E-02	4.95E-01	5.44E-03	1.04E-01
2	2.27E-01	1.55E-03	7.97E-02	2.66E-01	2.10E-03	1.47E-01
3	1.70E-01	1.03E-03	4.17E-02	1.61E-01	1.34E-03	7.53E-02
4	1.45E-01	9.30E-04	1.81E-02	1.17E-01	1.19E-03	3.17E-02
5	1.35E-01	8.78E-04	7.68E-03	9.88E-02	1.10E-03	1.27E-02
6	1.29E-01	8.33E-04	3.56E-03	9.09E-02	1.03E-03	5.27E-03
7	1.26E-01	7.93E-04	1.97E-03	8.68E-02	9.71E-04	2.42E-03
8	1.24E-01	7.56E-04	1.36E-03	8.42E-02	9.12E-04	1.34E-03
9	1.22E-01	7.21E-04	1.11E-03	8.22E-02	8.58E-04	9.22E-04
10	1.20E-01	6.89E-04	9.99E-04	8.05E-02	8.09E-04	7.52E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）

吸入摂取（Type S）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	6.2E-08			3.5E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.47E-01	1.18E-03	5.87E-02	4.93E-01	2.19E-03	1.10E-01
2	2.24E-01	5.74E-04	8.38E-02	2.58E-01	1.03E-03	1.54E-01
3	1.65E-01	3.32E-04	4.38E-02	1.49E-01	5.90E-04	7.91E-02
4	1.41E-01	2.87E-04	1.89E-02	1.04E-01	5.10E-04	3.32E-02
5	1.30E-01	2.66E-04	7.98E-03	8.64E-02	4.70E-04	1.33E-02
6	1.25E-01	2.49E-04	3.65E-03	7.90E-02	4.37E-04	5.41E-03
7	1.23E-01	2.33E-04	1.98E-03	7.55E-02	4.07E-04	2.42E-03
8	1.21E-01	2.19E-04	1.35E-03	7.35E-02	3.80E-04	1.29E-03
9	1.19E-01	2.06E-04	1.10E-03	7.21E-02	3.54E-04	8.65E-04
10	1.18E-01	1.93E-04	9.88E-04	7.09E-02	3.31E-04	6.95E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）

経口摂取（ $f_1=0.050$ ）						
実効線量係数（Sv/Bq）	7.0E-09			血液注入		
	7.0E-09			3.00E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.21E-01	5.26E-03	2.71E-01	8.71E-01	1.20E-01	6.73E-03
2	3.50E-01	2.38E-03	3.68E-01	8.16E-01	3.88E-02	1.43E-02
3	1.62E-01	1.37E-03	1.85E-01	7.77E-01	2.62E-02	1.18E-02
4	8.43E-02	1.19E-03	7.65E-02	7.43E-01	2.33E-02	8.74E-03
5	5.34E-02	1.09E-03	2.96E-02	7.14E-01	2.15E-02	6.93E-03
6	4.10E-02	1.01E-03	1.13E-02	6.86E-01	2.00E-02	5.93E-03
7	3.57E-02	9.41E-04	4.34E-03	6.61E-01	1.85E-02	5.31E-03
8	3.30E-02	8.75E-04	1.75E-03	6.38E-01	1.72E-02	4.86E-03
9	3.13E-02	8.14E-04	7.79E-04	6.16E-01	1.61E-02	4.49E-03
10	3.01E-02	7.58E-04	4.14E-04	5.96E-01	1.50E-02	4.16E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(6) ^{125}Sb の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{125}Sb

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/3）

吸入摂取（Type F）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	1.4E-09			1.7E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.31E-01	4.72E-02	3.00E-02	4.94E-01	5.63E-02	5.48E-02
2	2.30E-01	1.92E-02	4.27E-02	3.16E-01	2.31E-02	7.66E-02
3	1.77E-01	1.46E-02	2.38E-02	2.28E-01	1.75E-02	4.13E-02
4	1.47E-01	1.26E-02	1.19E-02	1.82E-01	1.50E-02	1.96E-02
5	1.28E-01	1.09E-02	6.51E-03	1.55E-01	1.31E-02	9.82E-03
6	1.14E-01	9.53E-03	4.13E-03	1.37E-01	1.14E-02	5.70E-03
7	1.02E-01	8.30E-03	3.01E-03	1.22E-01	9.94E-03	3.88E-03
8	9.21E-02	7.24E-03	2.40E-03	1.10E-01	8.66E-03	2.98E-03
9	8.36E-02	6.31E-03	2.01E-03	1.00E-01	7.55E-03	2.45E-03
10	7.63E-02	5.50E-03	1.73E-03	9.13E-02	6.58E-03	2.08E-03

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/3）

吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	4.5E-09			3.3E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.45E-01	4.94E-03	5.77E-02	4.91E-01	5.97E-03	1.08E-01
2	2.21E-01	2.15E-03	8.35E-02	2.56E-01	2.55E-03	1.54E-01
3	1.61E-01	1.69E-03	4.40E-02	1.46E-01	1.95E-03	7.93E-02
4	1.35E-01	1.50E-03	1.92E-02	1.00E-01	1.71E-03	3.35E-02
5	1.23E-01	1.35E-03	8.24E-03	8.10E-02	1.51E-03	1.36E-02
6	1.17E-01	1.23E-03	3.87E-03	7.25E-02	1.34E-03	5.66E-03
7	1.14E-01	1.11E-03	2.17E-03	6.81E-02	1.19E-03	2.63E-03
8	1.11E-01	1.02E-03	1.51E-03	6.54E-02	1.06E-03	1.47E-03
9	1.09E-01	9.29E-04	1.23E-03	6.33E-02	9.48E-04	1.01E-03
10	1.07E-01	8.54E-04	1.10E-03	6.15E-02	8.50E-04	8.13E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/3）

経口摂取（ $f_1=0.100$ ）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1.1E-09			血液注入		
	1.1E-09			5.37E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.21E-01	1.66E-02	2.61E-01	8.00E-01	1.89E-01	1.05E-02
2	3.62E-01	8.63E-03	3.50E-01	7.00E-01	7.56E-02	2.31E-02
3	1.80E-01	5.99E-03	1.76E-01	6.21E-01	5.78E-02	2.10E-02
4	1.01E-01	5.12E-03	7.35E-02	5.54E-01	4.98E-02	1.71E-02
5	6.71E-02	4.45E-03	2.91E-02	4.96E-01	4.34E-02	1.41E-02
6	5.16E-02	3.88E-03	1.16E-02	4.46E-01	3.78E-02	1.20E-02
7	4.33E-02	3.38E-03	4.91E-03	4.02E-01	3.29E-02	1.03E-02
8	3.80E-02	2.95E-03	2.34E-03	3.65E-01	2.87E-02	8.93E-03
9	3.41E-02	2.57E-03	1.32E-03	3.32E-01	2.50E-02	7.76E-03
10	3.09E-02	2.24E-03	8.87E-04	3.03E-01	2.18E-02	6.76E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

^{134}Cs

表 3(7) ^{134}Cs の実効線量係数及び残留率/排泄率

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/2）						
吸入摂取（Type F）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	6.8E-09			9.6E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	4.02E-01	5.32E-03	1.65E-04	5.98E-01	7.12E-03	2.16E-04
2	3.54E-01	8.03E-03	9.63E-04	5.06E-01	1.11E-02	1.31E-03
3	3.32E-01	6.42E-03	1.49E-03	4.66E-01	8.95E-03	2.06E-03
4	3.20E-01	5.00E-03	1.52E-03	4.46E-01	6.96E-03	2.11E-03
5	3.12E-01	3.97E-03	1.34E-03	4.34E-01	5.53E-03	1.86E-03
6	3.07E-01	3.24E-03	1.11E-03	4.26E-01	4.52E-03	1.55E-03
7	3.03E-01	2.73E-03	9.17E-04	4.20E-01	3.79E-03	1.28E-03
8	2.99E-01	2.36E-03	7.65E-04	4.15E-01	3.28E-03	1.06E-03
9	2.96E-01	2.09E-03	6.52E-04	4.11E-01	2.91E-03	9.06E-04
10	2.94E-01	1.90E-03	5.69E-04	4.07E-01	2.64E-03	7.90E-04

特特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/2）						
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=1.000$ ）			血液注入		
	1.9E-08			1.93E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	9.87E-01	1.21E-02	3.09E-04	9.82E-01	1.70E-02	5.62E-04
2	9.60E-01	2.34E-02	2.44E-03	9.55E-01	2.30E-02	2.94E-03
3	9.36E-01	1.91E-02	4.17E-03	9.31E-01	1.82E-02	4.35E-03
4	9.16E-01	1.49E-02	4.42E-03	9.12E-01	1.41E-02	4.36E-03
5	8.99E-01	1.18E-02	3.93E-03	8.96E-01	1.13E-02	3.80E-03
6	8.85E-01	9.60E-03	3.29E-03	8.83E-01	9.22E-03	3.16E-03
7	8.74E-01	8.03E-03	2.71E-03	8.72E-01	7.76E-03	2.61E-03
8	8.64E-01	6.92E-03	2.26E-03	8.62E-01	6.73E-03	2.18E-03
9	8.55E-01	6.12E-03	1.92E-03	8.53E-01	5.99E-03	1.86E-03
10	8.47E-01	5.55E-03	1.67E-03	8.45E-01	5.45E-03	1.62E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(8) ^{137}Cs の実効線量係数及び残留率/排泄率

^{137}Cs

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/2）						
吸入摂取（Type F）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	4.8E-09			6.7E-09		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	4.02E-01	5.32E-03	1.65E-04	5.98E-01	7.13E-03	2.16E-04
2	3.55E-01	8.04E-03	9.64E-04	5.07E-01	1.12E-02	1.31E-03
3	3.33E-01	6.43E-03	1.49E-03	4.67E-01	8.97E-03	2.06E-03
4	3.21E-01	5.01E-03	1.53E-03	4.47E-01	6.99E-03	2.12E-03
5	3.14E-01	3.99E-03	1.34E-03	4.36E-01	5.56E-03	1.87E-03
6	3.09E-01	3.26E-03	1.12E-03	4.28E-01	4.54E-03	1.56E-03
7	3.05E-01	2.74E-03	9.23E-04	4.23E-01	3.82E-03	1.28E-03
8	3.02E-01	2.37E-03	7.70E-04	4.18E-01	3.30E-03	1.07E-03
9	2.99E-01	2.11E-03	6.57E-04	4.14E-01	2.93E-03	9.13E-04
10	2.96E-01	1.92E-03	5.74E-04	4.11E-01	2.67E-03	7.97E-04

特特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/2）						
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=1.000$ ）			血液注入		
	1.3E-08			1.35E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	9.88E-01	1.21E-02	3.09E-04	9.82E-01	1.70E-02	5.63E-04
2	9.62E-01	2.34E-02	2.44E-03	9.56E-01	2.30E-02	2.95E-03
3	9.38E-01	1.92E-02	4.19E-03	9.34E-01	1.82E-02	4.36E-03
4	9.19E-01	1.49E-02	4.44E-03	9.15E-01	1.42E-02	4.38E-03
5	9.03E-01	1.18E-02	3.95E-03	9.00E-01	1.13E-02	3.82E-03
6	8.90E-01	9.65E-03	3.31E-03	8.87E-01	9.27E-03	3.18E-03
7	8.79E-01	8.08E-03	2.73E-03	8.77E-01	7.81E-03	2.62E-03
8	8.70E-01	6.97E-03	2.27E-03	8.68E-01	6.77E-03	2.19E-03
9	8.62E-01	6.17E-03	1.93E-03	8.60E-01	6.03E-03	1.87E-03
10	8.54E-01	5.60E-03	1.68E-03	8.53E-01	5.50E-03	1.64E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

¹⁵⁴Eu

表 3(9) ¹⁵²Eu の実効線量係数及び残留率/排泄率

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/2）						
吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1mm AMAD			5mm AMAD		
	5.0E-08			3.5E-08		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	3.48E-01	1.61E-03	5.83E-02	4.95E-01	1.86E-03	1.09E-01
2	2.25E-01	2.18E-04	8.45E-02	2.60E-01	2.31E-04	1.55E-01
3	1.66E-01	9.33E-05	4.44E-02	1.51E-01	8.37E-05	8.01E-02
4	1.42E-01	8.30E-05	1.92E-02	1.07E-01	7.15E-05	3.37E-02
5	1.32E-01	8.02E-05	8.07E-03	8.95E-02	6.79E-05	1.34E-02
6	1.27E-01	7.79E-05	3.66E-03	8.26E-02	6.50E-05	5.42E-03
7	1.25E-01	7.58E-05	1.96E-03	7.96E-02	6.23E-05	2.38E-03
8	1.23E-01	7.37E-05	1.31E-03	7.81E-02	5.98E-05	1.23E-03
9	1.22E-01	7.18E-05	1.06E-03	7.72E-02	5.75E-05	7.98E-04
10	1.21E-01	7.00E-05	9.45E-04	7.64E-02	5.52E-05	6.27E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/2）						
経口摂取（f _i =5.0E-04）						
実効線量係数（Sv/Bq）	2.0E-09			血液注入		
	4.54E-07					
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.18E-01	2.96E-05	2.82E-01	9.18E-01	6.55E-02	1.62E-02
2	3.29E-01	6.36E-06	3.89E-01	8.83E-01	7.28E-03	2.80E-02
3	1.32E-01	1.30E-06	1.97E-01	8.63E-01	2.21E-03	1.71E-02
4	5.05E-02	9.14E-07	8.13E-02	8.53E-01	1.78E-03	8.53E-03
5	1.91E-02	8.37E-07	3.14E-02	8.46E-01	1.65E-03	4.43E-03
6	7.35E-03	7.82E-07	1.18E-02	8.42E-01	1.54E-03	2.69E-03
7	2.98E-03	7.32E-07	4.37E-03	8.38E-01	1.44E-03	1.96E-03
8	1.36E-03	6.86E-07	1.62E-03	8.35E-01	1.35E-03	1.63E-03
9	7.63E-04	6.42E-07	5.96E-04	8.32E-01	1.27E-03	1.45E-03
10	5.43E-04	6.02E-07	2.20E-04	8.29E-01	1.19E-03	1.33E-03

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(10) ^{234}U の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{234}U

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）

吸入摂取（Type F）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
実効線量係数（Sv/Bq）	5.5E-07			6.4E-07		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.57E-01	2.96E-02		1.84E-01	5.56E-02
2		5.43E-03	4.09E-02		6.38E-03	7.69E-02
3		4.38E-03	2.07E-02		5.14E-03	3.89E-02
4		3.96E-03	8.57E-03		4.64E-03	1.61E-02
5		3.60E-03	3.31E-03		4.21E-03	6.22E-03
6		3.27E-03	1.25E-03		3.83E-03	2.35E-03
7		2.98E-03	4.72E-04		3.50E-03	8.79E-04
8		2.73E-03	1.81E-04		3.20E-03	3.32E-04
9		2.50E-03	7.23E-05		2.93E-03	1.29E-04
10		2.29E-03	3.19E-05		2.69E-03	5.37E-05

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）

吸入摂取（Type M）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
実効線量係数（Sv/Bq）	3.1E-06			2.1E-06		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.09E-01	1.85E-02	5.71E-02	5.76E-02	2.32E-02	1.07E-01
2	1.06E-01	1.08E-03	8.22E-02	5.59E-02	1.12E-03	1.52E-01
3	1.05E-01	8.90E-04	4.30E-02	5.50E-02	8.53E-04	7.79E-02
4	1.03E-01	8.40E-04	1.85E-02	5.42E-02	7.89E-04	3.27E-02
5	1.02E-01	8.00E-04	7.76E-03	5.34E-02	7.35E-04	1.30E-02
6	1.00E-01	7.64E-04	3.48E-03	5.26E-02	6.88E-04	5.21E-03
7	9.90E-02	7.32E-04	1.84E-03	5.18E-02	6.46E-04	2.25E-03
8	9.77E-02	7.04E-04	1.21E-03	5.11E-02	6.08E-04	1.14E-03
9	9.64E-02	6.78E-04	9.65E-04	5.04E-02	5.74E-04	7.24E-04
10	9.51E-02	6.54E-04	8.60E-04	4.97E-02	5.44E-04	5.61E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）

吸入摂取（Type S）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
実効線量係数（Sv/Bq）	8.5E-06			6.8E-06		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.21E-01	4.42E-04	6.09E-02	6.43E-02	7.04E-04	1.14E-01
2	1.19E-01	3.43E-05	8.84E-02	6.27E-02	4.41E-05	1.63E-01
3	1.18E-01	2.27E-05	4.64E-02	6.19E-02	2.60E-05	8.39E-02
4	1.17E-01	2.11E-05	2.01E-02	6.13E-02	2.37E-05	3.53E-02
5	1.16E-01	2.01E-05	8.44E-03	6.07E-02	2.20E-05	1.40E-02
6	1.15E-01	1.93E-05	3.82E-03	6.01E-02	2.05E-05	5.65E-03
7	1.14E-01	1.85E-05	2.05E-03	5.95E-02	1.92E-05	2.47E-03
8	1.13E-01	1.79E-05	1.38E-03	5.90E-02	1.80E-05	1.27E-03
9	1.12E-01	1.72E-05	1.11E-03	5.84E-02	1.70E-05	8.21E-04
10	1.11E-01	1.67E-05	1.00E-03	5.79E-02	1.60E-05	6.47E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）

		経口摂取（ $f_1=0.020$ ）			経口摂取（ $f_1=0.002$ ）			血液注入	
実効線量係数（Sv/Bq）		4.9E-08			8.3E-09			2.28E-06	
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.26E-02	2.78E-01		1.26E-03	2.82E-01		6.45E-01	1.69E-03
2		6.92E-04	3.81E-01		7.04E-05	3.88E-01		2.21E-02	1.87E-03
3		3.69E-04	1.93E-01		3.69E-05	1.97E-01		1.80E-02	9.46E-04
4		3.32E-04	7.95E-02		3.32E-05	8.12E-02		1.63E-02	4.24E-04
5		3.01E-04	3.07E-02		3.01E-05	3.13E-02		1.48E-02	1.98E-04
6		2.74E-04	1.15E-02		2.74E-05	1.18E-02		1.34E-02	1.06E-04
7		2.50E-04	4.28E-03		2.50E-05	4.37E-03		1.23E-02	6.78E-05
8		2.28E-04	1.58E-03		2.28E-05	1.61E-03		1.12E-02	5.09E-05
9		2.09E-04	5.83E-04		2.09E-05	5.95E-04		1.03E-02	4.24E-05
10		1.92E-04	2.15E-04		1.92E-05	2.19E-04		9.42E-03	3.72E-05

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(11) ^{235}U の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{235}U

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）						
吸入摂取（Type F）						
		1mm AMAD		5mm AMAD		
実効線量係数（Sv/Bq）		5.1E-07		6.0E-07		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.57E-01	2.96E-02		1.84E-01	5.56E-02
2		5.43E-03	4.09E-02		6.38E-03	7.69E-02
3		4.38E-03	2.07E-02		5.14E-03	3.89E-02
4		3.96E-03	8.57E-03		4.64E-03	1.61E-02
5		3.60E-03	3.31E-03		4.21E-03	6.22E-03
6		3.27E-03	1.25E-03		3.83E-03	2.35E-03
7		2.98E-03	4.72E-04		3.50E-03	8.79E-04
8		2.73E-03	1.81E-04		3.20E-03	3.32E-04
9		2.50E-03	7.23E-05		2.93E-03	1.29E-04
10		2.29E-03	3.19E-05		2.69E-03	5.37E-05

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）						
吸入摂取（Type M）						
		1mm AMAD		5mm AMAD		
実効線量係数（Sv/Bq）		2.8E-06		1.8E-06		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.09E-01	1.85E-02	5.71E-02	5.76E-02	2.32E-02	1.07E-01
2	1.06E-01	1.08E-03	8.22E-02	5.59E-02	1.12E-03	1.52E-01
3	1.05E-01	8.90E-04	4.30E-02	5.50E-02	8.53E-04	7.79E-02
4	1.03E-01	8.40E-04	1.85E-02	5.42E-02	7.89E-04	3.27E-02
5	1.02E-01	8.00E-04	7.76E-03	5.34E-02	7.35E-04	1.30E-02
6	1.00E-01	7.64E-04	3.48E-03	5.26E-02	6.88E-04	5.21E-03
7	9.90E-02	7.32E-04	1.84E-03	5.18E-02	6.46E-04	2.25E-03
8	9.77E-02	7.04E-04	1.21E-03	5.11E-02	6.08E-04	1.14E-03
9	9.64E-02	6.78E-04	9.65E-04	5.04E-02	5.74E-04	7.24E-04
10	9.51E-02	6.54E-04	8.60E-04	4.97E-02	5.44E-04	5.61E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）						
吸入摂取（Type S）						
		1mm AMAD		5mm AMAD		
実効線量係数（Sv/Bq）		7.7E-06		6.1E-06		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.21E-01	4.42E-04	6.09E-02	6.43E-02	7.04E-04	1.14E-01
2	1.19E-01	3.43E-05	8.84E-02	6.27E-02	4.41E-05	1.63E-01
3	1.18E-01	2.27E-05	4.64E-02	6.19E-02	2.60E-05	8.39E-02
4	1.17E-01	2.11E-05	2.01E-02	6.13E-02	2.37E-05	3.53E-02
5	1.16E-01	2.01E-05	8.44E-03	6.07E-02	2.20E-05	1.40E-02
6	1.15E-01	1.93E-05	3.82E-03	6.01E-02	2.05E-05	5.65E-03
7	1.14E-01	1.85E-05	2.05E-03	5.95E-02	1.92E-05	2.47E-03
8	1.13E-01	1.79E-05	1.38E-03	5.90E-02	1.80E-05	1.27E-03
9	1.12E-01	1.72E-05	1.11E-03	5.84E-02	1.70E-05	8.21E-04
10	1.11E-01	1.67E-05	1.00E-03	5.79E-02	1.60E-05	6.47E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）									
		経口摂取（f ₁ =0.020）		経口摂取（f ₁ =0.002）			血液注入		
実効線量係数（Sv/Bq）		4.6E-08		8.3E-09			2.12E-06		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.26E-02	2.78E-01		1.26E-03	2.82E-01		6.45E-01	1.69E-03
2		6.92E-04	3.81E-01		7.04E-05	3.88E-01		2.21E-02	1.87E-03
3		3.69E-04	1.93E-01		3.69E-05	1.97E-01		1.80E-02	9.46E-04
4		3.32E-04	7.95E-02		3.32E-05	8.12E-02		1.63E-02	4.24E-04
5		3.01E-04	3.07E-02		3.01E-05	3.13E-02		1.48E-02	1.98E-04
6		2.74E-04	1.15E-02		2.74E-05	1.18E-02		1.34E-02	1.06E-04
7		2.50E-04	4.28E-03		2.50E-05	4.37E-03		1.23E-02	6.78E-05
8		2.28E-04	1.58E-03		2.28E-05	1.61E-03		1.12E-02	5.09E-05
9		2.09E-04	5.83E-04		2.09E-05	5.95E-04		1.03E-02	4.24E-05
10		1.92E-04	2.15E-04		1.92E-05	2.19E-04		9.42E-03	3.72E-05

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(12) ^{238}U の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{238}U

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）									
吸入摂取（Type F）									
		1mm AMAD		5mm AMAD					
実効線量係数（Sv/Bq）		4.9E-07		5.8E-07					
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量			
1		1.57E-01	2.96E-02		1.84E-01	5.56E-02			
2		5.43E-03	4.09E-02		6.38E-03	7.69E-02			
3		4.38E-03	2.07E-02		5.14E-03	3.89E-02			
4		3.96E-03	8.57E-03		4.64E-03	1.61E-02			
5		3.60E-03	3.31E-03		4.21E-03	6.22E-03			
6		3.27E-03	1.25E-03		3.83E-03	2.35E-03			
7		2.98E-03	4.72E-04		3.50E-03	8.79E-04			
8		2.73E-03	1.81E-04		3.20E-03	3.32E-04			
9		2.50E-03	7.23E-05		2.93E-03	1.29E-04			
10		2.29E-03	3.19E-05		2.69E-03	5.37E-05			
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）									
吸入摂取（Type M）									
		1mm AMAD		5mm AMAD					
実効線量係数（Sv/Bq）		2.6E-06		1.6E-06					
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量			
1	1.09E-01	1.85E-02	5.71E-02	5.76E-02	2.32E-02	1.07E-01			
2	1.06E-01	1.08E-03	8.22E-02	5.59E-02	1.12E-03	1.52E-01			
3	1.05E-01	8.90E-04	4.30E-02	5.50E-02	8.53E-04	7.79E-02			
4	1.03E-01	8.40E-04	1.85E-02	5.42E-02	7.89E-04	3.27E-02			
5	1.02E-01	8.00E-04	7.76E-03	5.34E-02	7.35E-04	1.30E-02			
6	1.00E-01	7.64E-04	3.48E-03	5.26E-02	6.88E-04	5.21E-03			
7	9.90E-02	7.32E-04	1.84E-03	5.18E-02	6.46E-04	2.25E-03			
8	9.77E-02	7.04E-04	1.21E-03	5.11E-02	6.08E-04	1.14E-03			
9	9.64E-02	6.78E-04	9.65E-04	5.04E-02	5.74E-04	7.24E-04			
10	9.51E-02	6.54E-04	8.60E-04	4.97E-02	5.44E-04	5.61E-04			
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）									
吸入摂取（Type S）									
		1mm AMAD		5mm AMAD					
実効線量係数（Sv/Bq）		7.3E-06		5.7E-06					
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量			
1	1.21E-01	4.42E-04	6.09E-02	6.43E-02	7.04E-04	1.14E-01			
2	1.19E-01	3.43E-05	8.84E-02	6.27E-02	4.41E-05	1.63E-01			
3	1.18E-01	2.27E-05	4.64E-02	6.19E-02	2.60E-05	8.39E-02			
4	1.17E-01	2.11E-05	2.01E-02	6.13E-02	2.37E-05	3.53E-02			
5	1.16E-01	2.01E-05	8.44E-03	6.07E-02	2.20E-05	1.40E-02			
6	1.15E-01	1.93E-05	3.82E-03	6.01E-02	2.05E-05	5.65E-03			
7	1.14E-01	1.85E-05	2.05E-03	5.95E-02	1.92E-05	2.47E-03			
8	1.13E-01	1.79E-05	1.38E-03	5.90E-02	1.80E-05	1.27E-03			
9	1.12E-01	1.72E-05	1.11E-03	5.84E-02	1.70E-05	8.21E-04			
10	1.11E-01	1.67E-05	1.00E-03	5.79E-02	1.60E-05	6.47E-04			
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）									
		経口摂取（f ₁ =0.020）		経口摂取（f ₁ =0.002）		血液注入			
実効線量係数（Sv/Bq）		4.4E-08		7.6E-09		2.04E-06			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.26E-02	2.78E-01	1.26E-03	2.82E-01		6.45E-01	1.69E-03	
2		6.92E-04	3.81E-01	7.04E-05	3.88E-01		2.21E-02	1.87E-03	
3		3.69E-04	1.93E-01	3.69E-05	1.97E-01		1.80E-02	9.46E-04	
4		3.32E-04	7.95E-02	3.32E-05	8.12E-02		1.63E-02	4.24E-04	
5		3.01E-04	3.07E-02	3.01E-05	3.13E-02		1.48E-02	1.98E-04	
6		2.74E-04	1.15E-02	2.74E-05	1.18E-02		1.34E-02	1.06E-04	
7		2.50E-04	4.28E-03	2.50E-05	4.37E-03		1.23E-02	6.78E-05	
8		2.28E-04	1.58E-03	2.28E-05	1.61E-03		1.12E-02	5.09E-05	
9		2.09E-04	5.83E-04	2.09E-05	5.95E-04		1.03E-02	4.24E-05	
10		1.92E-04	2.15E-04	1.92E-05	2.19E-04		9.42E-03	3.72E-05	

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(13) ^{238}Pu の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{238}Pu

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）						
吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	4.3E-05			3.0E-05		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.09E-01	1.99E-04	5.79E-02	5.76E-02	2.32E-04	1.08E-01
2	1.06E-01	1.15E-04	8.39E-02	5.59E-02	1.31E-04	1.55E-01
3	1.05E-01	7.07E-05	4.41E-02	5.50E-02	7.78E-05	7.97E-02
4	1.03E-01	5.01E-05	1.90E-02	5.42E-02	5.30E-05	3.35E-02
5	1.02E-01	3.85E-05	7.99E-03	5.34E-02	3.91E-05	1.33E-02
6	1.00E-01	3.12E-05	3.60E-03	5.26E-02	3.03E-05	5.37E-03
7	9.90E-02	2.63E-05	1.91E-03	5.18E-02	2.44E-05	2.34E-03
8	9.77E-02	2.29E-05	1.26E-03	5.11E-02	2.03E-05	1.19E-03
9	9.64E-02	2.05E-05	1.00E-03	5.04E-02	1.74E-05	7.56E-04
10	9.51E-02	1.88E-05	8.92E-04	4.96E-02	1.54E-05	5.85E-04
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）						
吸入摂取（Type S）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	1.5E-05			1.1E-05		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.21E-01	2.03E-06	6.10E-02	6.43E-02	2.35E-06	1.14E-01
2	1.19E-01	1.23E-06	8.86E-02	6.27E-02	1.36E-06	1.63E-01
3	1.18E-01	8.04E-07	4.65E-02	6.19E-02	8.34E-07	8.41E-02
4	1.17E-01	6.10E-07	2.01E-02	6.13E-02	5.91E-07	3.53E-02
5	1.16E-01	5.02E-07	8.46E-03	6.07E-02	4.55E-07	1.41E-02
6	1.15E-01	4.35E-07	3.83E-03	6.01E-02	3.69E-07	5.67E-03
7	1.14E-01	3.90E-07	2.06E-03	5.95E-02	3.12E-07	2.47E-03
8	1.13E-01	3.60E-07	1.38E-03	5.90E-02	2.72E-07	1.28E-03
9	1.12E-01	3.38E-07	1.11E-03	5.84E-02	2.44E-07	8.23E-04
10	1.11E-01	3.23E-07	1.00E-03	5.79E-02	2.25E-07	6.48E-04
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）						
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=5.0\text{E-04}$ ）			経口摂取（ $f_1=1.0\text{E-05}$ ）		
	2.3E-07			8.8E-09		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.37E-06	2.82E-01	6.73E-08	2.82E-01	6.73E-08	2.82E-01
2	2.59E-06	3.89E-01	5.17E-08	3.89E-01	5.17E-08	3.89E-01
3	1.45E-06	1.97E-01	2.89E-08	1.97E-01	2.89E-08	1.97E-01
4	9.28E-07	8.13E-02	1.86E-08	8.14E-02	1.86E-08	8.14E-02
5	6.47E-07	3.14E-02	1.29E-08	3.14E-02	1.29E-08	3.14E-02
6	4.72E-07	1.18E-02	9.45E-09	1.18E-02	9.45E-09	1.18E-02
7	3.56E-07	4.38E-03	7.13E-09	4.38E-03	7.13E-09	4.38E-03
8	2.77E-07	1.62E-03	5.54E-09	1.62E-03	5.54E-09	1.62E-03
9	2.21E-07	5.96E-04	4.43E-09	5.96E-04	4.43E-09	5.96E-04
10	1.82E-07	2.20E-04	3.65E-09	2.20E-04	3.65E-09	2.20E-04
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）						
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=1.0\text{E-04}$ ）			血液注入		
	4.9E-08			4.5E-04		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	6.73E-07	2.82E-01	8.18E-03	1.61E-03	4.48E-03	4.30E-03
2	5.17E-07	3.89E-01	4.48E-03	4.30E-03	2.60E-03	4.19E-03
3	2.89E-07	1.97E-01	2.60E-03	4.19E-03	1.71E-03	3.13E-03
4	1.86E-07	8.14E-02	1.71E-03	3.13E-03	1.20E-03	2.16E-03
5	1.29E-07	3.14E-02	1.20E-03	2.16E-03	8.87E-04	1.48E-03
6	9.45E-08	1.18E-02	8.87E-04	1.48E-03	6.74E-04	1.01E-03
7	7.13E-08	4.38E-03	6.74E-04	1.01E-03	5.27E-04	7.08E-04
8	5.54E-08	1.62E-03	5.27E-04	7.08E-04	4.24E-04	5.02E-04
9	4.43E-08	5.96E-04	4.24E-04	5.02E-04	3.51E-04	3.62E-04
10	3.65E-08	2.20E-04	3.51E-04	3.62E-04		

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(14) $^{239,240}\text{Pu}$ の実効線量係数及び残留率/排泄率 **$^{239,240}\text{Pu}$**

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）

吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	4.7E-05			3.2E-05		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.09E-01	1.99E-04	5.79E-02	5.76E-02	2.32E-04	1.08E-01
2	1.06E-01	1.15E-04	8.40E-02	5.59E-02	1.31E-04	1.55E-01
3	1.05E-01	7.07E-05	4.41E-02	5.50E-02	7.78E-05	7.97E-02
4	1.03E-01	5.01E-05	1.90E-02	5.42E-02	5.30E-05	3.35E-02
5	1.02E-01	3.85E-05	8.00E-03	5.34E-02	3.91E-05	1.33E-02
6	1.00E-01	3.12E-05	3.60E-03	5.26E-02	3.03E-05	5.37E-03
7	9.90E-02	2.63E-05	1.91E-03	5.18E-02	2.44E-05	2.34E-03
8	9.77E-02	2.29E-05	1.26E-03	5.11E-02	2.03E-05	1.19E-03
9	9.64E-02	2.05E-05	1.00E-03	5.04E-02	1.74E-05	7.56E-04
10	9.51E-02	1.88E-05	8.92E-04	4.97E-02	1.54E-05	5.85E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）

吸入摂取（Type S）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	1.5E-05			8.3E-06		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.21E-01	2.03E-06	6.10E-02	6.43E-02	2.35E-06	1.14E-01
2	1.19E-01	1.23E-06	8.86E-02	6.27E-02	1.36E-06	1.63E-01
3	1.18E-01	8.04E-07	4.65E-02	6.19E-02	8.34E-07	8.41E-02
4	1.17E-01	6.10E-07	2.01E-02	6.13E-02	5.91E-07	3.53E-02
5	1.16E-01	5.02E-07	8.46E-03	6.07E-02	4.55E-07	1.41E-02
6	1.15E-01	4.35E-07	3.83E-03	6.01E-02	3.69E-07	5.67E-03
7	1.14E-01	3.90E-07	2.06E-03	5.95E-02	3.12E-07	2.47E-03
8	1.13E-01	3.60E-07	1.38E-03	5.90E-02	2.72E-07	1.28E-03
9	1.12E-01	3.38E-07	1.11E-03	5.84E-02	2.45E-07	8.23E-04
10	1.11E-01	3.23E-07	1.00E-03	5.79E-02	2.25E-07	6.48E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）

経口摂取（ $f_1=5.0\text{E-04}$ ）							経口摂取（ $f_1=1.0\text{E-05}$ ）		
実効線量係数（Sv/Bq）	2.5E-07			9.0E-09					
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量			
1		3.69E-06	1.14E-01		6.73E-08	2.82E-01			
2		2.43E-06	1.63E-01		5.17E-08	3.89E-01			
3		1.44E-06	8.40E-02		2.89E-08	1.97E-01			
4		9.79E-07	3.53E-02		1.86E-08	8.14E-02			
5		7.26E-07	1.41E-02		1.29E-08	3.14E-02			
6		5.69E-07	5.66E-03		9.45E-09	1.18E-02			
7		4.64E-07	2.47E-03		7.13E-09	4.38E-03			
8		3.92E-07	1.27E-03		5.54E-09	1.62E-03			
9		3.41E-07	8.23E-04		4.43E-09	5.97E-04			
10		3.06E-07	6.48E-04		3.65E-09	2.20E-04			

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）

経口摂取（ $f_1=1.0\text{E-04}$ ）							血液注入
実効線量係数（Sv/Bq）	5.3E-08			4.9E-04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	
1	6.73E-07	2.82E-01		8.18E-03	1.61E-03		
2	5.17E-07	3.89E-01		4.48E-03	4.30E-03		
3	2.89E-07	1.97E-01		2.60E-03	4.19E-03		
4	1.86E-07	8.14E-02		1.71E-03	3.13E-03		
5	1.29E-07	3.14E-02		1.20E-03	2.16E-03		
6	9.45E-08	1.18E-02		8.87E-04	1.48E-03		
7	7.13E-08	4.38E-03		6.74E-04	1.02E-03		
8	5.54E-08	1.62E-03		5.27E-04	7.09E-04		
9	4.43E-08	5.97E-04		4.24E-04	5.02E-04		
10	3.65E-08	2.20E-04		3.51E-04	3.62E-04		

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(15) ^{241}Pu の実効線量係数及び残留率/排泄率 ^{241}Pu

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/4）						
吸入摂取（Type M）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
実効線量係数（Sv/Bq）	8.5E-07		5.8E-07			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.09E-01	1.99E-04	5.79E-02	5.76E-02	2.32E-04	1.08E-01
2	1.06E-01	1.15E-04	8.39E-02	5.59E-02	1.31E-04	1.55E-01
3	1.05E-01	7.07E-05	4.40E-02	5.50E-02	7.78E-05	7.97E-02
4	1.03E-01	5.01E-05	1.90E-02	5.41E-02	5.30E-05	3.35E-02
5	1.02E-01	3.85E-05	7.99E-03	5.33E-02	3.91E-05	1.33E-02
6	1.00E-01	3.12E-05	3.60E-03	5.25E-02	3.03E-05	5.37E-03
7	9.89E-02	2.63E-05	1.91E-03	5.18E-02	2.43E-05	2.33E-03
8	9.76E-02	2.29E-05	1.26E-03	5.10E-02	2.03E-05	1.19E-03
9	9.63E-02	2.05E-05	1.00E-03	5.03E-02	1.74E-05	7.55E-04
10	9.50E-02	1.88E-05	8.91E-04	4.96E-02	1.54E-05	5.84E-04
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/4）						
吸入摂取（Type S）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
実効線量係数（Sv/Bq）	1.6E-07		8.4E-08			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.21E-01	2.03E-06	6.10E-02	6.43E-02	2.35E-06	1.14E-01
2	1.19E-01	1.23E-06	8.86E-02	6.27E-02	1.36E-06	1.63E-01
3	1.18E-01	8.04E-07	4.65E-02	6.19E-02	8.34E-07	8.40E-02
4	1.17E-01	6.10E-07	2.01E-02	6.13E-02	5.91E-07	3.53E-02
5	1.16E-01	5.02E-07	8.46E-03	6.07E-02	4.55E-07	1.41E-02
6	1.15E-01	4.35E-07	3.83E-03	6.01E-02	3.69E-07	5.66E-03
7	1.14E-01	3.90E-07	2.05E-03	5.95E-02	3.12E-07	2.47E-03
8	1.13E-01	3.59E-07	1.38E-03	5.89E-02	2.72E-07	1.27E-03
9	1.12E-01	3.38E-07	1.11E-03	5.84E-02	2.44E-07	8.22E-04
10	1.11E-01	3.23E-07	1.00E-03	5.78E-02	2.25E-07	6.47E-04
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（3/4）						
経口摂取（ $f_1=5.0\text{E-04}$ ）			経口摂取（ $f_1=1.0\text{E-05}$ ）			
実効線量係数（Sv/Bq）	4.7E-09		1.1E-10			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.37E-06	2.82E-01	6.73E-08	2.82E-01	6.73E-08	2.82E-01
2	2.59E-06	3.89E-01	5.17E-08	3.89E-01	5.17E-08	3.89E-01
3	1.44E-06	1.97E-01	2.89E-08	1.97E-01	2.89E-08	1.97E-01
4	9.27E-07	8.13E-02	1.85E-08	8.13E-02	1.85E-08	8.13E-02
5	6.46E-07	3.14E-02	1.29E-08	3.14E-02	1.29E-08	3.14E-02
6	4.72E-07	1.18E-02	9.44E-09	1.18E-02	9.44E-09	1.18E-02
7	3.56E-07	4.38E-03	7.12E-09	4.38E-03	7.12E-09	4.38E-03
8	2.77E-07	1.62E-03	5.53E-09	1.62E-03	5.53E-09	1.62E-03
9	2.21E-07	5.96E-04	4.42E-09	5.96E-04	4.42E-09	5.96E-04
10	1.82E-07	2.19E-04	3.64E-09	2.19E-04	3.64E-09	2.19E-04
特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（4/4）						
経口摂取（ $f_1=1.0\text{E-04}$ ）			血液注入			
実効線量係数（Sv/Bq）	9.6E-10		9.4E-06			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	6.73E-07	2.82E-01	8.18E-03	1.61E-03	8.18E-03	1.61E-03
2	5.17E-07	3.89E-01	4.48E-03	4.29E-03	4.48E-03	4.29E-03
3	2.89E-07	1.97E-01	2.59E-03	4.18E-03	2.59E-03	4.18E-03
4	1.85E-07	8.13E-02	1.71E-03	3.13E-03	1.71E-03	3.13E-03
5	1.29E-07	3.14E-02	1.20E-03	2.16E-03	1.20E-03	2.16E-03
6	9.44E-08	1.18E-02	8.86E-04	1.47E-03	8.86E-04	1.47E-03
7	7.12E-08	4.38E-03	6.73E-04	1.01E-03	6.73E-04	1.01E-03
8	5.53E-08	1.62E-03	5.26E-04	7.08E-04	5.26E-04	7.08E-04
9	4.42E-08	5.96E-04	4.23E-04	5.02E-04	4.23E-04	5.02E-04
10	3.64E-08	2.19E-04	3.51E-04	3.61E-04	3.51E-04	3.61E-04

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 3(16) ^{241}Am の実効線量係数及び残留率/排泄率

^{241}Am

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（1/2）						
吸入摂取（Type M）						
実効線量係数（Sv/Bq）	1 μm AMAD			5 μm AMAD		
	3.9E-05			2.7E-05		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.09E-01	1.53E-03	5.80E-02	5.76E-02	1.77E-03	1.08E-01
2	1.06E-01	2.18E-04	8.40E-02	5.59E-02	2.32E-04	1.55E-01
3	1.05E-01	1.33E-04	4.40E-02	5.50E-02	1.31E-04	7.97E-02
4	1.03E-01	9.83E-05	1.90E-02	5.42E-02	8.97E-05	3.35E-02
5	1.02E-01	8.33E-05	7.96E-03	5.34E-02	7.18E-05	1.33E-02
6	1.00E-01	7.59E-05	3.57E-03	5.26E-02	6.29E-05	5.34E-03
7	9.90E-02	7.15E-05	1.89E-03	5.18E-02	5.77E-05	2.31E-03
8	9.77E-02	6.85E-05	1.24E-03	5.11E-02	5.40E-05	1.17E-03
9	9.64E-02	6.60E-05	9.89E-04	5.04E-02	5.11E-05	7.42E-04
10	9.51E-02	6.39E-05	8.82E-04	4.97E-02	4.86E-05	5.75E-04

特殊モニタリング：実効線量係数と摂取における予測値（単位摂取BqあたりのBq）（2/2）						
実効線量係数（Sv/Bq）	経口摂取（ $f_1=5.0\text{E-}04$ ）			血液注入		
	2.0E-07			4.0E-04		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		2.96E-05	2.82E-01		6.22E-02	3.74E-03
2		4.59E-06	3.89E-01		7.46E-03	4.44E-03
3		2.22E-06	1.97E-01		3.89E-03	2.60E-03
4		1.33E-06	8.13E-02		2.43E-03	1.31E-03
5		9.46E-07	3.14E-02		1.79E-03	6.34E-04
6		7.63E-07	1.18E-02		1.47E-03	3.10E-04
7		6.60E-07	4.38E-03		1.29E-03	1.63E-04
8		5.90E-07	1.62E-03		1.16E-03	9.74E-05
9		5.37E-07	5.96E-04		1.05E-03	6.89E-05
10		4.91E-07	2.20E-04		9.65E-04	5.67E-05

実効線量係数は、血液注入のものを除き、ICRP Publication 68を引用した。残留率、排泄率及び血液注入についての実効線量係数は、計算コードIMBAにより求めた。

表 4(1) ^{54}Mn の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/3）						
吸入摂取（Type F）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)	1.1E+08		9.1E+07			
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	4.3E+07	5.0E+05	3.2E+06	5.0E+07	4.7E+05	4.8E+06
2	3.3E+07	7.7E+05	4.6E+06	3.5E+07	7.3E+05	6.7E+06
3	2.8E+07	6.9E+05	2.7E+06	2.8E+07	6.6E+05	3.7E+06
4	2.5E+07	6.1E+05	1.5E+06	2.5E+07	5.7E+05	1.9E+06
5	2.4E+07	5.3E+05	9.5E+05	2.3E+07	5.0E+05	1.1E+06
6	2.2E+07	4.7E+05	6.8E+05	2.1E+07	4.4E+05	7.1E+05
7	2.1E+07	4.2E+05	5.4E+05	2.0E+07	3.9E+05	5.4E+05
8	2.0E+07	3.7E+05	4.6E+05	1.9E+07	3.5E+05	4.4E+05
9	2.0E+07	3.3E+05	4.0E+05	1.9E+07	3.2E+05	3.8E+05
10	1.9E+07	3.0E+05	3.6E+05	1.8E+07	2.8E+05	3.4E+05

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/3）						
吸入摂取（Type M）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)	6.7E+07		8.3E+07			
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	2.4E+07	4.6E+04	3.6E+06	4.2E+07	8.2E+04	8.3E+06
2	1.6E+07	8.2E+04	5.0E+06	2.4E+07	1.5E+05	1.2E+07
3	1.2E+07	7.6E+04	2.6E+06	1.5E+07	1.4E+05	6.0E+06
4	1.1E+07	6.8E+04	1.2E+06	1.1E+07	1.2E+05	2.6E+06
5	9.8E+06	6.1E+04	5.3E+05	9.9E+06	1.1E+05	1.1E+06
6	9.4E+06	5.5E+04	2.7E+05	9.2E+06	9.6E+04	5.0E+05
7	9.1E+06	4.9E+04	1.7E+05	8.8E+06	8.6E+04	2.7E+05
8	8.9E+06	4.5E+04	1.2E+05	8.5E+06	7.7E+04	1.8E+05
9	8.8E+06	4.2E+04	1.0E+05	8.2E+06	7.0E+04	1.4E+05
10	8.6E+06	3.8E+04	9.5E+04	8.0E+06	6.4E+04	1.2E+05

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（3/3）						
経口摂取（ $f_1=0.100$ ）			血液注入			
介入レベル相当摂取量(Bq)	1.4E+08		3.4E+07			
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	1.0E+08	1.8E+05	3.7E+07	3.3E+07	6.0E+05	7.8E+04
2	5.4E+07	3.7E+05	4.9E+07	3.2E+07	9.0E+05	4.3E+05
3	2.9E+07	3.4E+05	2.5E+07	3.0E+07	8.1E+05	6.8E+05
4	1.8E+07	3.0E+05	1.0E+07	2.9E+07	7.1E+05	7.5E+05
5	1.4E+07	2.7E+05	4.2E+06	2.7E+07	6.2E+05	7.2E+05
6	1.2E+07	2.3E+05	1.7E+06	2.6E+07	5.5E+05	6.5E+05
7	1.1E+07	2.1E+05	7.8E+05	2.5E+07	4.9E+05	5.8E+05
8	1.0E+07	1.8E+05	4.2E+05	2.4E+07	4.3E+05	5.2E+05
9	9.6E+06	1.7E+05	2.7E+05	2.3E+07	3.9E+05	4.6E+05
10	9.3E+06	1.5E+05	2.0E+05	2.2E+07	3.5E+05	4.1E+05

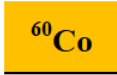
⁵⁸Co

表 3(2) ⁵⁸Co の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/3）								
吸入摂取（Type M）								
1 μm AMAD 6.7E+07					5 μm AMAD 7.1E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数								
1	2.2E+07	7.2E+06	8.9E+05	3.6E+06	3.4E+07	4.1E+06	1.4E+06	7.1E+06
2	1.4E+07	6.9E+06	4.0E+05	5.0E+06	1.8E+07	3.9E+06	6.4E+05	9.8E+06
3	1.1E+07	6.8E+06	1.7E+05	2.6E+06	1.1E+07	3.8E+06	2.6E+05	5.0E+06
4	8.9E+06	6.6E+06	1.1E+05	1.1E+06	7.5E+06	3.7E+06	1.5E+05	2.1E+06
5	8.1E+06	6.5E+06	8.5E+04	4.7E+05	6.2E+06	3.6E+06	1.1E+05	8.4E+05
6	7.7E+06	6.3E+06	7.5E+04	2.2E+05	5.6E+06	3.5E+06	9.9E+04	3.5E+05
7	7.4E+06	6.2E+06	6.8E+04	1.2E+05	5.2E+06	3.5E+06	8.8E+04	1.6E+05
8	7.2E+06	6.0E+06	6.3E+04	8.1E+04	5.0E+06	3.4E+06	7.9E+04	8.5E+04
9	7.0E+06	5.9E+06	5.8E+04	6.5E+04	4.8E+06	3.3E+06	7.1E+04	5.7E+04
10	6.8E+06	5.8E+06	5.4E+04	5.8E+04	4.7E+06	3.2E+06	6.5E+04	4.6E+04

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/3）								
吸入摂取（Type S）								
1 μm AMAD 5.0E+07					5 μm AMAD 5.9E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数								
1	1.7E+07	6.0E+06	1.5E+05	2.9E+06	2.9E+07	3.7E+06	3.3E+05	6.4E+06
2	1.1E+07	5.8E+06	8.5E+04	4.1E+06	1.5E+07	3.6E+06	1.8E+05	9.0E+06
3	7.9E+06	5.7E+06	3.4E+04	2.1E+06	8.2E+06	3.5E+06	6.9E+04	4.6E+06
4	6.6E+06	5.6E+06	1.9E+04	9.2E+05	5.5E+06	3.5E+06	3.8E+04	1.9E+06
5	6.1E+06	5.5E+06	1.4E+04	3.8E+05	4.5E+06	3.4E+06	2.8E+04	7.5E+05
6	5.8E+06	5.4E+06	1.2E+04	1.7E+05	4.0E+06	3.3E+06	2.4E+04	3.0E+05
7	5.6E+06	5.3E+06	1.1E+04	9.3E+04	3.8E+06	3.3E+06	2.1E+04	1.3E+05
8	5.5E+06	5.2E+06	9.7E+03	6.2E+04	3.7E+06	3.2E+06	1.8E+04	7.0E+04
9	5.4E+06	5.1E+06	8.8E+03	5.0E+04	3.6E+06	3.1E+06	1.7E+04	4.5E+04
10	5.3E+06	5.0E+06	8.0E+03	4.5E+04	3.5E+06	3.1E+06	1.5E+04	3.6E+04

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（3/3）									
		経口摂取（ $f_i=0.100$ ）			経口摂取（ $f_i=0.050$ ）			血液注入	
介入レベル相当摂取量(Bq)		1.4E+08			1.4E+08			6.6E+07	
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	9.5E+07	3.7E+06	3.5E+07	1.0E+08	1.9E+06	3.8E+07	4.4E+07	2.1E+07	7.3E+05
2	4.6E+07	1.9E+06	4.6E+07	4.7E+07	1.0E+06	5.2E+07	3.4E+07	7.4E+06	1.7E+06
3	2.1E+07	7.2E+05	2.3E+07	2.0E+07	3.8E+05	2.6E+07	2.9E+07	3.0E+06	1.4E+06
4	1.1E+07	4.0E+05	9.5E+06	9.4E+06	2.1E+05	1.1E+07	2.7E+07	1.8E+06	8.5E+05
5	7.2E+06	2.9E+05	3.7E+06	5.1E+06	1.5E+05	4.1E+06	2.4E+07	1.4E+06	5.1E+05
6	5.5E+06	2.4E+05	1.4E+06	3.4E+06	1.3E+05	1.5E+06	2.3E+07	1.2E+06	3.3E+05
7	4.7E+06	2.1E+05	5.4E+05	2.6E+06	1.1E+05	5.8E+05	2.1E+07	1.0E+06	2.4E+05
8	4.2E+06	1.9E+05	2.2E+05	2.3E+06	1.0E+05	2.2E+05	2.0E+07	9.0E+05	1.9E+05
9	3.9E+06	1.7E+05	1.0E+05	2.1E+06	8.9E+04	9.2E+04	1.9E+07	8.0E+05	1.6E+05
10	3.7E+06	1.5E+05	5.4E+04	2.0E+06	7.9E+04	4.3E+04	1.8E+07	7.1E+05	1.4E+05

表 3(3) ^{60}Co の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/3）								
吸入摂取（Type M）								
1 μm AMAD 1.0E+07					5 μm AMAD 1.4E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数								
1	3.5E+06	1.1E+06	1.4E+05	5.6E+05	6.8E+06	8.1E+05	2.8E+05	1.4E+06
2	2.3E+06	1.1E+06	6.4E+04	7.9E+05	3.6E+06	7.9E+05	1.3E+05	2.0E+06
3	1.7E+06	1.1E+06	2.8E+04	4.2E+05	2.1E+06	7.7E+05	5.2E+04	1.0E+06
4	1.4E+06	1.1E+06	1.7E+04	1.8E+05	1.5E+06	7.6E+05	3.1E+04	4.3E+05
5	1.3E+06	1.1E+06	1.4E+04	7.8E+04	1.3E+06	7.5E+05	2.4E+04	1.7E+05
6	1.3E+06	1.0E+06	1.2E+04	3.6E+04	1.2E+06	7.4E+05	2.1E+04	7.2E+04
7	1.2E+06	1.0E+06	1.1E+04	2.0E+04	1.1E+06	7.3E+05	1.8E+04	3.3E+04
8	1.2E+06	1.0E+06	1.1E+04	1.4E+04	1.1E+06	7.2E+05	1.7E+04	1.8E+04
9	1.2E+06	1.0E+06	9.9E+03	1.1E+04	1.0E+06	7.1E+05	1.5E+04	1.2E+04
10	1.2E+06	9.9E+05	9.3E+03	9.9E+03	1.0E+06	7.0E+05	1.4E+04	9.9E+03

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/3）								
吸入摂取（Type S）								
1 μm AMAD 3.4E+06					5 μm AMAD 5.9E+06			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数								
1	1.2E+06	4.2E+05	1.1E+04	2.0E+05	2.9E+06	3.8E+05	3.3E+04	6.5E+05
2	7.6E+05	4.1E+05	6.0E+03	2.9E+05	1.5E+06	3.7E+05	1.8E+04	9.1E+05
3	5.6E+05	4.1E+05	2.4E+03	1.5E+05	8.4E+05	3.6E+05	7.1E+03	4.7E+05
4	4.7E+05	4.0E+05	1.4E+03	6.6E+04	5.8E+05	3.6E+05	4.0E+03	2.0E+05
5	4.4E+05	4.0E+05	1.0E+03	2.8E+04	4.7E+05	3.6E+05	3.0E+03	7.9E+04
6	4.2E+05	3.9E+05	8.8E+02	1.3E+04	4.3E+05	3.5E+05	2.5E+03	3.2E+04
7	4.1E+05	3.9E+05	7.9E+02	6.9E+03	4.1E+05	3.5E+05	2.2E+03	1.4E+04
8	4.1E+05	3.9E+05	7.2E+02	4.6E+03	4.0E+05	3.5E+05	2.0E+03	7.5E+03
9	4.0E+05	3.8E+05	6.6E+02	3.8E+03	3.9E+05	3.4E+05	1.8E+03	4.9E+03
10	4.0E+05	3.8E+05	6.0E+02	3.4E+03	3.8E+05	3.4E+05	1.6E+03	3.9E+03

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（3/3）									
経口摂取（ $f_1=0.100$ ）				経口摂取（ $f_1=0.050$ ）				血液注入	
2.9E+07				4.0E+07				5.2E+06	
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数									
1	2.1E+07	8.1E+05	7.7E+06	2.9E+07	5.5E+05	1.1E+07	3.5E+06	1.7E+06	5.8E+04
2	1.0E+07	4.2E+05	1.0E+07	1.3E+07	2.9E+05	1.5E+07	2.7E+06	5.9E+05	1.4E+05
3	4.8E+06	1.6E+05	5.2E+06	5.9E+06	1.1E+05	7.5E+06	2.4E+06	2.4E+05	1.1E+05
4	2.6E+06	9.0E+04	2.2E+06	2.7E+06	6.1E+04	3.1E+06	2.2E+06	1.5E+05	6.9E+04
5	1.6E+06	6.7E+04	8.4E+05	1.5E+06	4.5E+04	1.2E+06	2.0E+06	1.1E+05	4.2E+04
6	1.3E+06	5.6E+04	3.2E+05	1.0E+06	3.8E+04	4.5E+05	1.9E+06	9.7E+04	2.8E+04
7	1.1E+06	5.0E+04	1.3E+05	7.9E+05	3.4E+04	1.7E+05	1.8E+06	8.5E+04	2.0E+04
8	9.9E+05	4.4E+04	5.2E+04	6.9E+05	3.0E+04	6.7E+04	1.7E+06	7.6E+04	1.6E+04
9	9.3E+05	4.0E+04	2.4E+04	6.4E+05	2.7E+04	2.8E+04	1.6E+06	6.8E+04	1.4E+04
10	8.8E+05	3.6E+04	1.3E+04	6.0E+05	2.4E+04	1.3E+04	1.5E+06	6.1E+04	1.2E+04

表 3(4) ^{90}Sr の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

^{90}Sr

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/3）						
吸入摂取（Type F）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			3.3E+06			
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	1.4E+06	2.3E+05	1.1E+05	1.6E+06	2.3E+05	1.6E+05
2	9.7E+05	7.8E+04	1.5E+05	1.1E+06	7.8E+04	2.1E+05
3	7.7E+05	5.2E+04	8.6E+04	8.2E+05	5.2E+04	1.2E+05
4	6.7E+05	3.9E+04	4.4E+04	6.9E+05	3.9E+04	5.6E+04
5	6.1E+05	3.1E+04	2.4E+04	6.1E+05	3.1E+04	2.9E+04
6	5.6E+05	2.5E+04	1.5E+04	5.7E+05	2.5E+04	1.7E+04
7	5.3E+05	2.1E+04	1.0E+04	5.3E+05	2.1E+04	1.1E+04
8	5.1E+05	1.8E+04	7.8E+03	5.1E+05	1.8E+04	8.0E+03
9	4.8E+05	1.6E+04	6.3E+03	4.8E+05	1.6E+04	6.4E+03
10	4.6E+05	1.4E+04	5.3E+03	4.6E+05	1.4E+04	5.3E+03

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/3）						
吸入摂取（Type M）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			1.3E+06			
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	2.3E+05	3.0E+02	4.0E+04	6.4E+05	1.0E+03	1.5E+05
2	1.5E+05	1.3E+02	5.8E+04	3.3E+05	4.5E+02	2.1E+05
3	1.1E+05	8.6E+01	3.1E+04	1.8E+05	2.9E+02	1.1E+05
4	9.0E+04	6.5E+01	1.3E+04	1.2E+05	2.1E+02	4.5E+04
5	8.3E+04	5.2E+01	5.6E+03	9.7E+04	1.7E+02	1.8E+04
6	8.0E+04	4.4E+01	2.5E+03	8.8E+04	1.4E+02	7.3E+03
7	7.8E+04	3.8E+01	1.4E+03	8.3E+04	1.2E+02	3.2E+03
8	7.7E+04	3.3E+01	9.2E+02	8.1E+04	1.0E+02	1.7E+03
9	7.7E+04	3.0E+01	7.5E+02	8.0E+04	8.8E+01	1.1E+03
10	7.6E+04	2.7E+01	6.7E+02	7.9E+04	7.9E+01	8.6E+02

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（3/3）									
経口摂取（ $t_1=0.300$ ）			経口摂取（ $t_1=0.010$ ）			血液注入			
介入レベル相当摂取量(Bq)			3.6E+06			3.7E+07			1.1E+06
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	2.6E+06	2.0E+05	7.8E+05	2.66E+07	6.76E+04	1.04E+07	8.89E+05	2.31E+05	1.88E+04
2	1.5E+06	7.9E+04	9.9E+05	1.23E+07	2.82E+04	1.43E+07	7.80E+05	7.67E+04	3.22E+04
3	9.8E+05	5.1E+04	5.0E+05	5.05E+06	1.81E+04	7.22E+06	7.01E+05	5.15E+04	2.70E+04
4	7.3E+05	3.8E+04	2.1E+05	2.05E+06	1.33E+04	2.99E+06	6.43E+05	3.86E+04	2.00E+04
5	6.1E+05	3.0E+04	8.9E+04	8.83E+05	1.04E+04	1.15E+06	5.97E+05	3.06E+04	1.48E+04
6	5.5E+05	2.4E+04	3.9E+04	4.39E+05	8.46E+03	4.36E+05	5.61E+05	2.50E+04	1.13E+04
7	5.1E+05	2.0E+04	1.9E+04	2.68E+05	7.06E+03	1.63E+05	5.31E+05	2.09E+04	8.91E+03
8	4.8E+05	1.7E+04	1.1E+04	2.01E+05	6.01E+03	6.17E+04	5.06E+05	1.79E+04	7.27E+03
9	4.6E+05	1.5E+04	7.3E+03	1.71E+05	5.22E+03	2.39E+04	4.84E+05	1.56E+04	6.08E+03
10	4.4E+05	1.3E+04	5.5E+03	1.57E+05	4.60E+03	9.78E+03	4.65E+05	1.38E+04	5.21E+03

表 3(5) ^{106}Ru の介入レベル (預託実効線量 100 mSv)

^{106}Ru

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)						
吸入摂取 (Type F)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
1.3E+07			1.0E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
2	3.2E+06	1.2E+05	5.3E+05	3.5E+06	1.2E+05	7.9E+05
3	2.7E+06	8.1E+04	2.8E+05	2.7E+06	7.8E+04	4.1E+05
4	2.4E+06	7.2E+04	1.3E+05	2.4E+06	6.9E+04	1.8E+05
5	2.2E+06	6.6E+04	6.0E+04	2.2E+06	6.4E+04	8.1E+04
6	2.1E+06	6.2E+04	3.3E+04	2.1E+06	5.9E+04	4.0E+04
7	2.0E+06	5.7E+04	2.2E+04	2.0E+06	5.5E+04	2.4E+04
8	2.0E+06	5.3E+04	1.7E+04	1.9E+06	5.1E+04	1.8E+04
9	1.9E+06	4.9E+04	1.5E+04	1.8E+06	4.8E+04	1.4E+04
10	1.8E+06	4.6E+04	1.3E+04	1.8E+06	4.4E+04	1.3E+04

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)						
吸入摂取 (Type M)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
3.8E+06			5.9E+06			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	1.3E+06	1.5E+04	2.1E+05	2.9E+06	3.2E+04	6.1E+05
2	8.7E+05	6.0E+03	3.1E+05	1.6E+06	1.2E+04	8.6E+05
3	6.5E+05	4.0E+03	1.6E+05	9.4E+05	7.9E+03	4.4E+05
4	5.6E+05	3.6E+03	6.9E+04	6.9E+05	7.0E+03	1.9E+05
5	5.2E+05	3.4E+03	3.0E+04	5.8E+05	6.5E+03	7.5E+04
6	5.0E+05	3.2E+03	1.4E+04	5.3E+05	6.1E+03	3.1E+04
7	4.8E+05	3.0E+03	7.6E+03	5.1E+05	5.7E+03	1.4E+04
8	4.8E+05	2.9E+03	5.2E+03	5.0E+05	5.4E+03	7.9E+03
9	4.7E+05	2.8E+03	4.3E+03	4.8E+05	5.0E+03	5.4E+03
10	4.6E+05	2.7E+03	3.8E+03	4.7E+05	4.8E+03	4.4E+03

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)						
吸入摂取 (Type S)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
1.6E+06			2.9E+06			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	5.6E+05	1.9E+03	9.5E+04	1.4E+06	6.2E+03	3.1E+05
2	3.6E+05	9.3E+02	1.4E+05	7.4E+05	2.9E+03	4.4E+05
3	2.7E+05	5.4E+02	7.1E+04	4.3E+05	1.7E+03	2.3E+05
4	2.3E+05	4.6E+02	3.1E+04	3.0E+05	1.5E+03	9.5E+04
5	2.1E+05	4.3E+02	1.3E+04	2.5E+05	1.3E+03	3.8E+04
6	2.0E+05	4.0E+02	5.9E+03	2.3E+05	1.2E+03	1.5E+04
7	2.0E+05	3.8E+02	3.2E+03	2.2E+05	1.2E+03	6.9E+03
8	1.9E+05	3.5E+02	2.2E+03	2.1E+05	1.1E+03	3.7E+03
9	1.9E+05	3.3E+02	1.8E+03	2.1E+05	1.0E+03	2.5E+03
10	1.9E+05	3.1E+02	1.6E+03	2.0E+05	9.5E+02	2.0E+03

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)						
経口摂取 ($f_1=0.050$)			血液注入			
1.4E+07			3.3E+06			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	1.0E+07	7.5E+04	3.9E+06	2.9E+06	4.0E+05	2.2E+04
2	5.0E+06	3.4E+04	5.3E+06	2.7E+06	1.3E+05	4.8E+04
3	2.3E+06	2.0E+04	2.6E+06	2.6E+06	8.7E+04	3.9E+04
4	1.2E+06	1.7E+04	1.1E+06	2.5E+06	7.8E+04	2.9E+04
5	7.6E+05	1.6E+04	4.2E+05	2.4E+06	7.2E+04	2.3E+04
6	5.9E+05	1.4E+04	1.6E+05	2.3E+06	6.7E+04	2.0E+04
7	5.1E+05	1.3E+04	6.2E+04	2.2E+06	6.2E+04	1.8E+04
8	4.7E+05	1.2E+04	2.5E+04	2.1E+06	5.7E+04	1.6E+04
9	4.5E+05	1.2E+04	1.1E+04	2.1E+06	5.4E+04	1.5E+04
10	4.3E+05	1.1E+04	5.9E+03	2.0E+06	5.0E+04	1.4E+04

表 3(6) ^{125}Sb の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

^{125}Sb						
特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/3）						
吸入摂取（Type F）						
		1 μm AMAD			5 μm AMAD	
介入レベル相当摂取量(Bq)		7.1E+07			5.9E+07	
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	2.4E+07	3.4E+06	2.1E+06	2.9E+07	3.3E+06	3.2E+06
2	1.6E+07	1.4E+06	3.1E+06	1.9E+07	1.4E+06	4.5E+06
3	1.3E+07	1.0E+06	1.7E+06	1.3E+07	1.0E+06	2.4E+06
4	1.1E+07	9.0E+05	8.5E+05	1.1E+07	8.8E+05	1.2E+06
5	9.1E+06	7.8E+05	4.6E+05	9.1E+06	7.7E+05	5.8E+05
6	8.1E+06	6.8E+05	2.9E+05	8.0E+06	6.7E+05	3.4E+05
7	7.3E+06	5.9E+05	2.1E+05	7.2E+06	5.8E+05	2.3E+05
8	6.6E+06	5.2E+05	1.7E+05	6.5E+06	5.1E+05	1.8E+05
9	6.0E+06	4.5E+05	1.4E+05	5.9E+06	4.4E+05	1.4E+05
10	5.5E+06	3.9E+05	1.2E+05	5.4E+06	3.9E+05	1.2E+05
特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/3）						
吸入摂取（Type M）						
		1 μm AMAD			5 μm AMAD	
介入レベル相当摂取量(Bq)		2.2E+07			3.0E+07	
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	7.7E+06	1.1E+05	1.3E+06	1.5E+07	1.8E+05	3.3E+06
2	4.9E+06	4.8E+04	1.9E+06	7.8E+06	7.7E+04	4.7E+06
3	3.6E+06	3.7E+04	9.8E+05	4.4E+06	5.9E+04	2.4E+06
4	3.0E+06	3.3E+04	4.3E+05	3.0E+06	5.2E+04	1.0E+06
5	2.7E+06	3.0E+04	1.8E+05	2.5E+06	4.6E+04	4.1E+05
6	2.6E+06	2.7E+04	8.6E+04	2.2E+06	4.1E+04	1.7E+05
7	2.5E+06	2.5E+04	4.8E+04	2.1E+06	3.6E+04	8.0E+04
8	2.5E+06	2.3E+04	3.4E+04	2.0E+06	3.2E+04	4.4E+04
9	2.4E+06	2.1E+04	2.7E+04	1.9E+06	2.9E+04	3.1E+04
10	2.4E+06	1.9E+04	2.5E+04	1.9E+06	2.6E+04	2.5E+04
特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（3/3）						
経口摂取（ $f_1=0.100$ ）				血液注入		
介入レベル相当摂取量(Bq)				1.9E+07		
摂取からの経過日数	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
1	6.6E+07	1.5E+06	2.4E+07	1.5E+07	3.5E+06	2.0E+05
2	3.3E+07	7.8E+05	3.2E+07	1.3E+07	1.4E+06	4.3E+05
3	1.6E+07	5.4E+05	1.6E+07	1.2E+07	1.1E+06	3.9E+05
4	9.2E+06	4.7E+05	6.7E+06	1.0E+07	9.3E+05	3.2E+05
5	6.1E+06	4.0E+05	2.6E+06	9.2E+06	8.1E+05	2.6E+05
6	4.7E+06	3.5E+05	1.1E+06	8.3E+06	7.0E+05	2.2E+05
7	3.9E+06	3.1E+05	4.5E+05	7.5E+06	6.1E+05	1.9E+05
8	3.5E+06	2.7E+05	2.1E+05	6.8E+06	5.3E+05	1.7E+05
9	3.1E+06	2.3E+05	1.2E+05	6.2E+06	4.7E+05	1.4E+05
10	2.8E+06	2.0E+05	8.1E+04	5.6E+06	4.1E+05	1.3E+05

表 3(7) ^{134}Cs の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

^{134}Cs

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/2）						
吸入摂取（Type F）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
1.5E+07			1.0E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	5.9E+06	7.8E+04	2.4E+03	6.2E+06	7.4E+04	2.2E+03
2	5.2E+06	1.2E+05	1.4E+04	5.3E+06	1.2E+05	1.4E+04
3	4.9E+06	9.4E+04	2.2E+04	4.9E+06	9.3E+04	2.1E+04
4	4.7E+06	7.3E+04	2.2E+04	4.6E+06	7.3E+04	2.2E+04
5	4.6E+06	5.8E+04	2.0E+04	4.5E+06	5.8E+04	1.9E+04
6	4.5E+06	4.8E+04	1.6E+04	4.4E+06	4.7E+04	1.6E+04
7	4.5E+06	4.0E+04	1.3E+04	4.4E+06	4.0E+04	1.3E+04
8	4.4E+06	3.5E+04	1.1E+04	4.3E+06	3.4E+04	1.1E+04
9	4.4E+06	3.1E+04	9.6E+03	4.3E+06	3.0E+04	9.4E+03
10	4.3E+06	2.8E+04	8.4E+03	4.2E+06	2.8E+04	8.2E+03

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/2）						
経口摂取（ $f_1=1.000$ ）			血液注入			
5.3E+06			5.2E+06			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	5.2E+06	6.4E+04	1.6E+03	5.1E+06	8.8E+04	2.9E+03
2	5.1E+06	1.2E+05	1.3E+04	4.9E+06	1.2E+05	1.5E+04
3	4.9E+06	1.0E+05	2.2E+04	4.8E+06	9.4E+04	2.3E+04
4	4.8E+06	7.8E+04	2.3E+04	4.7E+06	7.3E+04	2.3E+04
5	4.7E+06	6.2E+04	2.1E+04	4.6E+06	5.8E+04	2.0E+04
6	4.7E+06	5.1E+04	1.7E+04	4.6E+06	4.8E+04	1.6E+04
7	4.6E+06	4.2E+04	1.4E+04	4.5E+06	4.0E+04	1.4E+04
8	4.5E+06	3.6E+04	1.2E+04	4.5E+06	3.5E+04	1.1E+04
9	4.5E+06	3.2E+04	1.0E+04	4.4E+06	3.1E+04	9.6E+03
10	4.5E+06	2.9E+04	8.8E+03	4.4E+06	2.8E+04	8.4E+03

表 3(8) ^{137}Cs の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

^{137}Cs

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/2）						
吸入摂取（Type F）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
2.1E+07			1.5E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	8.4E+06	1.1E+05	3.4E+03	8.9E+06	1.1E+05	3.2E+03
2	7.4E+06	1.7E+05	2.0E+04	7.6E+06	1.7E+05	2.0E+04
3	6.9E+06	1.3E+05	3.1E+04	7.0E+06	1.3E+05	3.1E+04
4	6.7E+06	1.0E+05	3.2E+04	6.7E+06	1.0E+05	3.2E+04
5	6.5E+06	8.3E+04	2.8E+04	6.5E+06	8.3E+04	2.8E+04
6	6.4E+06	6.8E+04	2.3E+04	6.4E+06	6.8E+04	2.3E+04
7	6.3E+06	5.7E+04	1.9E+04	6.3E+06	5.7E+04	1.9E+04
8	6.3E+06	4.9E+04	1.6E+04	6.2E+06	4.9E+04	1.6E+04
9	6.2E+06	4.4E+04	1.4E+04	6.2E+06	4.4E+04	1.4E+04
10	6.2E+06	4.0E+04	1.2E+04	6.1E+06	4.0E+04	1.2E+04

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/2）						
経口摂取（ $f_1=1.000$ ）				血液注入		
7.7E+06				7.4E+06		
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	7.6E+06	9.3E+04	2.4E+03	7.3E+06	1.3E+05	4.2E+03
2	7.4E+06	1.8E+05	1.9E+04	7.1E+06	1.7E+05	2.2E+04
3	7.2E+06	1.5E+05	3.2E+04	6.9E+06	1.3E+05	3.2E+04
4	7.1E+06	1.1E+05	3.4E+04	6.8E+06	1.1E+05	3.2E+04
5	6.9E+06	9.1E+04	3.0E+04	6.7E+06	8.4E+04	2.8E+04
6	6.8E+06	7.4E+04	2.5E+04	6.6E+06	6.9E+04	2.4E+04
7	6.8E+06	6.2E+04	2.1E+04	6.5E+06	5.8E+04	1.9E+04
8	6.7E+06	5.4E+04	1.7E+04	6.4E+06	5.0E+04	1.6E+04
9	6.6E+06	4.7E+04	1.5E+04	6.4E+06	4.5E+04	1.4E+04
10	6.6E+06	4.3E+04	1.3E+04	6.3E+06	4.1E+04	1.2E+04

表 3(9) ^{152}Eu の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

^{154}Eu

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/2）						
吸入摂取（Type M）						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
2.0E+06			2.9E+06			
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	7.0E+05	3.2E+03	1.2E+05	1.4E+06	5.3E+03	3.1E+05
2	4.5E+05	4.4E+02	1.7E+05	7.4E+05	6.6E+02	4.4E+05
3	3.3E+05	1.9E+02	8.9E+04	4.3E+05	2.4E+02	2.3E+05
4	2.8E+05	1.7E+02	3.8E+04	3.1E+05	2.0E+02	9.6E+04
5	2.6E+05	1.6E+02	1.6E+04	2.6E+05	1.9E+02	3.8E+04
6	2.5E+05	1.6E+02	7.3E+03	2.4E+05	1.9E+02	1.5E+04
7	2.5E+05	1.5E+02	3.9E+03	2.3E+05	1.8E+02	6.8E+03
8	2.5E+05	1.5E+02	2.6E+03	2.2E+05	1.7E+02	3.5E+03
9	2.4E+05	1.4E+02	2.1E+03	2.2E+05	1.6E+02	2.3E+03
10	2.4E+05	1.4E+02	1.9E+03	2.2E+05	1.6E+02	1.8E+03

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/2）						
経口摂取（ $f_1=5.0\text{E-}04$ ）				血液注入		
5.0E+07				2.2E+05		
介入レベル相当摂取量(Bq)	全身残留量	尿排泄量	便排泄量	全身残留量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	3.6E+07	1.5E+03	1.4E+07	2.0E+05	1.4E+04	3.6E+03
2	1.6E+07	3.2E+02	1.9E+07	1.9E+05	1.6E+03	6.2E+03
3	6.6E+06	6.5E+01	9.8E+06	1.9E+05	4.9E+02	3.8E+03
4	2.5E+06	4.6E+01	4.1E+06	1.9E+05	3.9E+02	1.9E+03
5	9.6E+05	4.2E+01	1.6E+06	1.9E+05	3.6E+02	9.7E+02
6	3.7E+05	3.9E+01	5.9E+05	1.9E+05	3.4E+02	5.9E+02
7	1.5E+05	3.7E+01	2.2E+05	1.8E+05	3.2E+02	4.3E+02
8	6.8E+04	3.4E+01	8.1E+04	1.8E+05	3.0E+02	3.6E+02
9	3.8E+04	3.2E+01	3.0E+04	1.8E+05	2.8E+02	3.2E+02
10	2.7E+04	3.0E+01	1.1E+04	1.8E+05	2.6E+02	2.9E+02

表 3(10) ^{234}U の介入レベル (預託実効線量 100 mSv) ^{234}U

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)

吸入摂取 (Type F)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			1.8E+05			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		2.9E+04	5.4E+03		2.9E+04	8.7E+03
2		9.9E+02	7.4E+03		1.0E+03	1.2E+04
3		8.0E+02	3.8E+03		8.0E+02	6.1E+03
4		7.2E+02	1.6E+03		7.3E+02	2.5E+03
5		6.5E+02	6.0E+02		6.6E+02	9.7E+02
6		5.9E+02	2.3E+02		6.0E+02	3.7E+02
7		5.4E+02	8.6E+01		5.5E+02	1.4E+02
8		5.0E+02	3.3E+01		5.0E+02	5.2E+01
9		4.5E+02	1.3E+01		4.6E+02	2.0E+01
10		4.2E+02	5.8E+00		4.2E+02	8.4E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)

吸入摂取 (Type M)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			3.2E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.5E+03	6.0E+02	1.8E+03	2.7E+03	1.1E+03	5.1E+03
2	3.4E+03	3.5E+01	2.7E+03	2.7E+03	5.4E+01	7.2E+03
3	3.4E+03	2.9E+01	1.4E+03	2.6E+03	4.1E+01	3.7E+03
4	3.3E+03	2.7E+01	6.0E+02	2.6E+03	3.8E+01	1.6E+03
5	3.3E+03	2.6E+01	2.5E+02	2.5E+03	3.5E+01	6.2E+02
6	3.2E+03	2.5E+01	1.1E+02	2.5E+03	3.3E+01	2.5E+02
7	3.2E+03	2.4E+01	5.9E+01	2.5E+03	3.1E+01	1.1E+02
8	3.2E+03	2.3E+01	3.9E+01	2.4E+03	2.9E+01	5.4E+01
9	3.1E+03	2.2E+01	3.1E+01	2.4E+03	2.7E+01	3.4E+01
10	3.1E+03	2.1E+01	2.8E+01	2.4E+03	2.6E+01	2.7E+01

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)

吸入摂取 (Type S)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			1.2E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.4E+03	5.2E+00	7.2E+02	9.5E+02	1.0E+01	1.7E+03
2	1.4E+03	4.0E-01	1.0E+03	9.2E+02	6.5E-01	2.4E+03
3	1.4E+03	2.7E-01	5.5E+02	9.1E+02	3.8E-01	1.2E+03
4	1.4E+03	2.5E-01	2.4E+02	9.0E+02	3.5E-01	5.2E+02
5	1.4E+03	2.4E-01	9.9E+01	8.9E+02	3.2E-01	2.1E+02
6	1.3E+03	2.3E-01	4.5E+01	8.8E+02	3.0E-01	8.3E+01
7	1.3E+03	2.2E-01	2.4E+01	8.8E+02	2.8E-01	3.6E+01
8	1.3E+03	2.1E-01	1.6E+01	8.7E+02	2.6E-01	1.9E+01
9	1.3E+03	2.0E-01	1.3E+01	8.6E+02	2.5E-01	1.2E+01
10	1.3E+03	2.0E-01	1.2E+01	8.5E+02	2.4E-01	9.5E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)

経口摂取 ($f_1=0.020$)			経口摂取 ($f_1=0.002$)			血液注入		
介入レベル相当摂取量(Bq)			2.0E+06			1.2E+07		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量
1		2.6E+04	5.7E+05		1.51E+04	3.40E+06		2.83E+04
2		1.4E+03	7.8E+05		8.48E+02	4.68E+06		9.69E+02
3		7.5E+02	3.9E+05		4.45E+02	2.37E+06		7.89E+02
4		6.8E+02	1.6E+05		4.00E+02	9.78E+05		7.14E+02
5		6.1E+02	6.3E+04		3.63E+02	3.78E+05		6.48E+02
6		5.6E+02	2.4E+04		3.30E+02	1.42E+05		5.89E+02
7		5.1E+02	8.7E+03		3.01E+02	5.27E+04		5.38E+02
8		4.7E+02	3.2E+03		2.75E+02	1.95E+04		4.91E+02
9		4.3E+02	1.2E+03		2.52E+02	7.17E+03		4.50E+02
10		3.9E+02	4.4E+02		2.31E+02	2.64E+03		4.13E+02

表 3(11) ^{235}U の介入レベル (預託実効線量 100 mSv)

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)						
吸入摂取 (Type F)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			2.0E+05			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		3.1E+04	5.8E+03		3.1E+04	9.3E+03
2		1.1E+03	8.0E+03		1.1E+03	1.3E+04
3		8.6E+02	4.1E+03		8.6E+02	6.5E+03
4		7.8E+02	1.7E+03		7.7E+02	2.7E+03
5		7.0E+02	6.5E+02		7.0E+02	1.0E+03
6		6.4E+02	2.5E+02		6.4E+02	3.9E+02
7		5.9E+02	9.3E+01		5.8E+02	1.5E+02
8		5.3E+02	3.5E+01		5.3E+02	5.5E+01
9		4.9E+02	1.4E+01		4.9E+02	2.2E+01
10		4.5E+02	6.3E+00		4.5E+02	9.0E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)						
吸入摂取 (Type M)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			3.6E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	3.9E+03	6.6E+02	2.0E+03	3.2E+03	1.3E+03	5.9E+03
2	3.8E+03	3.9E+01	2.9E+03	3.1E+03	6.2E+01	8.4E+03
3	3.7E+03	3.2E+01	1.5E+03	3.1E+03	4.7E+01	4.3E+03
4	3.7E+03	3.0E+01	6.6E+02	3.0E+03	4.4E+01	1.8E+03
5	3.6E+03	2.9E+01	2.8E+02	3.0E+03	4.1E+01	7.2E+02
6	3.6E+03	2.7E+01	1.2E+02	2.9E+03	3.8E+01	2.9E+02
7	3.5E+03	2.6E+01	6.6E+01	2.9E+03	3.6E+01	1.3E+02
8	3.5E+03	2.5E+01	4.3E+01	2.8E+03	3.4E+01	6.4E+01
9	3.4E+03	2.4E+01	3.4E+01	2.8E+03	3.2E+01	4.0E+01
10	3.4E+03	2.3E+01	3.1E+01	2.8E+03	3.0E+01	3.1E+01

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)						
吸入摂取 (Type S)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			1.3E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.6E+03	5.7E+00	7.9E+02	1.1E+03	1.2E+01	1.9E+03
2	1.5E+03	4.5E-01	1.1E+03	1.0E+03	7.2E-01	2.7E+03
3	1.5E+03	2.9E-01	6.0E+02	1.0E+03	4.3E-01	1.4E+03
4	1.5E+03	2.7E-01	2.6E+02	1.0E+03	3.9E-01	5.8E+02
5	1.5E+03	2.6E-01	1.1E+02	1.0E+03	3.6E-01	2.3E+02
6	1.5E+03	2.5E-01	5.0E+01	9.9E+02	3.4E-01	9.3E+01
7	1.5E+03	2.4E-01	2.7E+01	9.8E+02	3.1E-01	4.0E+01
8	1.5E+03	2.3E-01	1.8E+01	9.7E+02	3.0E-01	2.1E+01
9	1.5E+03	2.2E-01	1.4E+01	9.6E+02	2.8E-01	1.3E+01
10	1.4E+03	2.2E-01	1.3E+01	9.5E+02	2.6E-01	1.1E+01

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)									
経口摂取 ($f_1=0.020$)				経口摂取 ($f_1=0.002$)			血液注入		
介入レベル相当摂取量(Bq)				2.2E+06			1.2E+07		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		2.7E+04	6.0E+05		1.51E+04	3.40E+06		3.04E+04	7.95E+01
2		1.5E+03	8.3E+05		8.48E+02	4.68E+06		1.04E+03	8.83E+01
3		8.0E+02	4.2E+05		4.45E+02	2.37E+06		8.49E+02	4.46E+01
4		7.2E+02	1.7E+05		4.00E+02	9.78E+05		7.68E+02	2.00E+01
5		6.5E+02	6.7E+04		3.63E+02	3.78E+05		6.97E+02	9.35E+00
6		6.0E+02	2.5E+04		3.30E+02	1.42E+05		6.34E+02	5.00E+00
7		5.4E+02	9.3E+03		3.01E+02	5.27E+04		5.78E+02	3.20E+00
8		5.0E+02	3.4E+03		2.75E+02	1.95E+04		5.28E+02	2.40E+00
9		4.5E+02	1.3E+03		2.52E+02	7.17E+03		4.84E+02	2.00E+00
10		4.2E+02	4.7E+02		2.31E+02	2.64E+03		4.44E+02	1.76E+00

表 3(12) ^{238}U の介入レベル (預託実効線量 100 mSv)

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)						
吸入摂取 (Type F)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			2.0E+05			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		3.2E+04	6.0E+03		3.2E+04	9.6E+03
2		1.1E+03	8.4E+03		1.1E+03	1.3E+04
3		8.9E+02	4.2E+03		8.9E+02	6.7E+03
4		8.1E+02	1.7E+03		8.0E+02	2.8E+03
5		7.3E+02	6.8E+02		7.3E+02	1.1E+03
6		6.7E+02	2.6E+02		6.6E+02	4.0E+02
7		6.1E+02	9.6E+01		6.0E+02	1.5E+02
8		5.6E+02	3.7E+01		5.5E+02	5.7E+01
9		5.1E+02	1.5E+01		5.0E+02	2.2E+01
10		4.7E+02	6.5E+00		4.6E+02	9.3E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)						
吸入摂取 (Type M)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			3.8E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	4.2E+03	7.1E+02	2.2E+03	3.6E+03	1.5E+03	6.7E+03
2	4.1E+03	4.2E+01	3.2E+03	3.5E+03	7.0E+01	9.5E+03
3	4.0E+03	3.4E+01	1.7E+03	3.4E+03	5.3E+01	4.9E+03
4	4.0E+03	3.2E+01	7.1E+02	3.4E+03	4.9E+01	2.0E+03
5	3.9E+03	3.1E+01	3.0E+02	3.3E+03	4.6E+01	8.1E+02
6	3.9E+03	2.9E+01	1.3E+02	3.3E+03	4.3E+01	3.3E+02
7	3.8E+03	2.8E+01	7.1E+01	3.2E+03	4.0E+01	1.4E+02
8	3.8E+03	2.7E+01	4.7E+01	3.2E+03	3.8E+01	7.1E+01
9	3.7E+03	2.6E+01	3.7E+01	3.1E+03	3.6E+01	4.5E+01
10	3.7E+03	2.5E+01	3.3E+01	3.1E+03	3.4E+01	3.5E+01

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)						
吸入摂取 (Type S)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)			1.4E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.7E+03	6.0E+00	8.3E+02	1.1E+03	1.2E+01	2.0E+03
2	1.6E+03	4.7E-01	1.2E+03	1.1E+03	7.7E-01	2.9E+03
3	1.6E+03	3.1E-01	6.4E+02	1.1E+03	4.6E-01	1.5E+03
4	1.6E+03	2.9E-01	2.7E+02	1.1E+03	4.2E-01	6.2E+02
5	1.6E+03	2.8E-01	1.2E+02	1.1E+03	3.9E-01	2.5E+02
6	1.6E+03	2.6E-01	5.2E+01	1.1E+03	3.6E-01	9.9E+01
7	1.6E+03	2.5E-01	2.8E+01	1.0E+03	3.4E-01	4.3E+01
8	1.5E+03	2.4E-01	1.9E+01	1.0E+03	3.2E-01	2.2E+01
9	1.5E+03	2.4E-01	1.5E+01	1.0E+03	3.0E-01	1.4E+01
10	1.5E+03	2.3E-01	1.4E+01	1.0E+03	2.8E-01	1.1E+01

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)									
経口摂取 ($t_1=0.020$)			経口摂取 ($t_1=0.002$)			血液注入			
介入レベル相当摂取量(Bq)			2.3E+06			1.3E+07			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		2.9E+04	6.3E+05		1.65E+04	3.71E+06		3.16E+04	8.26E+01
2		1.6E+03	8.7E+05		9.26E+02	5.11E+06		1.08E+03	9.18E+01
3		8.4E+02	4.4E+05		4.86E+02	2.59E+06		8.82E+02	4.64E+01
4		7.6E+02	1.8E+05		4.37E+02	1.07E+06		7.98E+02	2.08E+01
5		6.8E+02	7.0E+04		3.96E+02	4.12E+05		7.24E+02	9.71E+00
6		6.2E+02	2.6E+04		3.61E+02	1.55E+05		6.59E+02	5.19E+00
7		5.7E+02	9.7E+03		3.29E+02	5.75E+04		6.01E+02	3.32E+00
8		5.2E+02	3.6E+03		3.00E+02	2.12E+04		5.49E+02	2.50E+00
9		4.8E+02	1.3E+03		2.75E+02	7.83E+03		5.03E+02	2.08E+00
10		4.4E+02	4.9E+02		2.52E+02	2.88E+03		4.62E+02	1.83E+00

表 3(13) ^{238}Pu の介入レベル (預託実効線量 100 mSv) **^{238}Pu**

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)						
吸入摂取 (Type M)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)	2.3E+03		3.3E+03			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	2.5E+02	4.6E-01	1.3E+02	1.9E+02	7.7E-01	3.6E+02
2	2.5E+02	2.7E-01	2.0E+02	1.9E+02	4.4E-01	5.2E+02
3	2.4E+02	1.6E-01	1.0E+02	1.8E+02	2.6E-01	2.7E+02
4	2.4E+02	1.2E-01	4.4E+01	1.8E+02	1.8E-01	1.1E+02
5	2.4E+02	9.0E-02	1.9E+01	1.8E+02	1.3E-01	4.4E+01
6	2.3E+02	7.3E-02	8.4E+00	1.8E+02	1.0E-01	1.8E+01
7	2.3E+02	6.1E-02	4.4E+00	1.7E+02	8.1E-02	7.8E+00
8	2.3E+02	5.3E-02	2.9E+00	1.7E+02	6.8E-02	4.0E+00
9	2.2E+02	4.8E-02	2.3E+00	1.7E+02	5.8E-02	2.5E+00
10	2.2E+02	4.4E-02	2.1E+00	1.7E+02	5.1E-02	1.9E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)						
吸入摂取 (Type S)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)	6.7E+03		9.1E+03			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	8.1E+02	1.4E-02	4.1E+02	5.8E+02	2.1E-02	1.0E+03
2	7.9E+02	8.2E-03	5.9E+02	5.7E+02	1.2E-02	1.5E+03
3	7.9E+02	5.4E-03	3.1E+02	5.6E+02	7.6E-03	7.6E+02
4	7.8E+02	4.1E-03	1.3E+02	5.6E+02	5.4E-03	3.2E+02
5	7.7E+02	3.3E-03	5.6E+01	5.5E+02	4.1E-03	1.3E+02
6	7.6E+02	2.9E-03	2.6E+01	5.5E+02	3.4E-03	5.2E+01
7	7.6E+02	2.6E-03	1.4E+01	5.4E+02	2.8E-03	2.2E+01
8	7.5E+02	2.4E-03	9.2E+00	5.4E+02	2.5E-03	1.2E+01
9	7.5E+02	2.3E-03	7.4E+00	5.3E+02	2.2E-03	7.5E+00
10	7.4E+02	2.2E-03	6.7E+00	5.3E+02	2.0E-03	5.9E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)						
経口摂取 ($f_1=5.0\text{E-}04$)			経口摂取 ($f_1=1.0\text{E-}05$)			
介入レベル相当摂取量(Bq)	4.3E+05		1.1E+07			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.5E+00	1.2E+05		7.6E-01	3.2E+06
2		1.1E+00	1.7E+05		5.9E-01	4.4E+06
3		6.3E-01	8.6E+04		3.3E-01	2.2E+06
4		4.0E-01	3.5E+04		2.1E-01	9.2E+05
5		2.8E-01	1.4E+04		1.5E-01	3.6E+05
6		2.1E-01	5.1E+03		1.1E-01	1.3E+05
7		1.5E-01	1.9E+03		8.1E-02	5.0E+04
8		1.2E-01	7.0E+02		6.3E-02	1.8E+04
9		9.6E-02	2.6E+02		5.0E-02	6.8E+03
10		7.9E-02	9.6E+01		4.1E-02	2.5E+03

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)						
経口摂取 ($f_1=0.100$)			血液注入			
介入レベル相当摂取量(Bq)	2.0E+06		2.2E+02			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.4E+00	5.8E+05		1.8E+00	3.6E-01
2		1.1E+00	7.9E+05		1.0E+00	9.6E-01
3		5.9E-01	4.0E+05		5.8E-01	9.4E-01
4		3.8E-01	1.7E+05		3.8E-01	7.0E-01
5		2.6E-01	6.4E+04		2.7E-01	4.8E-01
6		1.9E-01	2.4E+04		2.0E-01	3.3E-01
7		1.5E-01	8.9E+03		1.5E-01	2.3E-01
8		1.1E-01	3.3E+03		1.2E-01	1.6E-01
9		9.0E-02	1.2E+03		9.5E-02	1.1E-01
10		7.4E-02	4.5E+02		7.9E-02	8.1E-02

表 3(14) $^{239/240}\text{Pu}$ の介入レベル (預託実効線量 100 mSv) **$^{239,240}\text{Pu}$**

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)						
吸入摂取 (Type M)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
2.1E+03			3.1E+03			
介入レベル相当摂取量(Bq)	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	2.3E+02	4.2E-01	1.2E+02	1.8E+02	7.2E-01	3.4E+02
2	2.3E+02	2.4E-01	1.8E+02	1.7E+02	4.1E-01	4.8E+02
3	2.2E+02	1.5E-01	9.4E+01	1.7E+02	2.4E-01	2.5E+02
4	2.2E+02	1.1E-01	4.1E+01	1.7E+02	1.7E-01	1.0E+02
5	2.2E+02	8.2E-02	1.7E+01	1.7E+02	1.2E-01	4.2E+01
6	2.1E+02	6.6E-02	7.7E+00	1.6E+02	9.5E-02	1.7E+01
7	2.1E+02	5.6E-02	4.1E+00	1.6E+02	7.6E-02	7.3E+00
8	2.1E+02	4.9E-02	2.7E+00	1.6E+02	6.3E-02	3.7E+00
9	2.1E+02	4.4E-02	2.1E+00	1.6E+02	5.4E-02	2.4E+00
10	2.0E+02	4.0E-02	1.9E+00	1.6E+02	4.8E-02	1.8E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)						
吸入摂取 (Type S)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
6.7E+03			1.2E+04			
介入レベル相当摂取量(Bq)	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1	8.1E+02	1.4E-02	4.1E+02	7.7E+02	2.8E-02	1.4E+03
2	7.9E+02	8.2E-03	5.9E+02	7.6E+02	1.6E-02	2.0E+03
3	7.9E+02	5.4E-03	3.1E+02	7.5E+02	1.0E-02	1.0E+03
4	7.8E+02	4.1E-03	1.3E+02	7.4E+02	7.1E-03	4.3E+02
5	7.7E+02	3.3E-03	5.6E+01	7.3E+02	5.5E-03	1.7E+02
6	7.6E+02	2.9E-03	2.6E+01	7.2E+02	4.4E-03	6.8E+01
7	7.6E+02	2.6E-03	1.4E+01	7.2E+02	3.8E-03	3.0E+01
8	7.5E+02	2.4E-03	9.2E+00	7.1E+02	3.3E-03	1.5E+01
9	7.5E+02	2.3E-03	7.4E+00	7.0E+02	2.9E-03	9.9E+00
10	7.4E+02	2.2E-03	6.7E+00	7.0E+02	2.7E-03	7.8E+00

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)						
経口摂取 ($f_1=5.0\text{E-}04$)			経口摂取 ($f_1=1.0\text{E-}05$)			
4.0E+05			1.1E+07			
介入レベル相当摂取量(Bq)	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1		1.5E+00	4.6E+04		7.5E-01	3.1E+06
2		9.7E-01	6.5E+04		5.7E-01	4.3E+06
3		5.7E-01	3.4E+04		3.2E-01	2.2E+06
4		3.9E-01	1.4E+04		2.1E-01	9.0E+05
5		2.9E-01	5.6E+03		1.4E-01	3.5E+05
6		2.3E-01	2.3E+03		1.0E-01	1.3E+05
7		1.9E-01	9.9E+02		7.9E-02	4.9E+04
8		1.6E-01	5.1E+02		6.2E-02	1.8E+04
9		1.4E-01	3.3E+02		4.9E-02	6.6E+03
10		1.2E-01	2.6E+02		4.1E-02	2.4E+03

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)						
経口摂取 ($f_1=1.0\text{E-}04$)			血液注入			
1.9E+06			2.0E+02			
介入レベル相当摂取量(Bq)	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
摂取からの経過日数						
1		1.3E+00	5.3E+05		1.7E+00	3.3E-01
2		9.8E-01	7.3E+05		9.1E-01	8.7E-01
3		5.5E-01	3.7E+05		5.3E-01	8.5E-01
4		3.5E-01	1.5E+05		3.5E-01	6.3E-01
5		2.4E-01	5.9E+04		2.4E-01	4.4E-01
6		1.8E-01	2.2E+04		1.8E-01	3.0E-01
7		1.3E-01	8.3E+03		1.4E-01	2.1E-01
8		1.0E-01	3.1E+03		1.1E-01	1.4E-01
9		8.4E-02	1.1E+03		8.6E-02	1.0E-01
10		6.9E-02	4.1E+02		7.1E-02	7.3E-02

表 3(15) ^{241}Pu の介入レベル (預託実効線量 100 mSv) **^{241}Pu**

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (1/4)						
吸入摂取 (Type F)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)	1.2E+05		1.7E+05			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	1.3E+04	2.3E+01	6.8E+03	9.9E+03	4.0E+01	1.9E+04
2	1.2E+04	1.4E+01	9.9E+03	9.6E+03	2.3E+01	2.7E+04
3	1.2E+04	8.3E+00	5.2E+03	9.5E+03	1.3E+01	1.4E+04
4	1.2E+04	5.9E+00	2.2E+03	9.3E+03	9.1E+00	5.8E+03
5	1.2E+04	4.5E+00	9.4E+02	9.2E+03	6.7E+00	2.3E+03
6	1.2E+04	3.7E+00	4.2E+02	9.1E+03	5.2E+00	9.3E+02
7	1.2E+04	3.1E+00	2.2E+02	8.9E+03	4.2E+00	4.0E+02
8	1.1E+04	2.7E+00	1.5E+02	8.8E+03	3.5E+00	2.1E+02
9	1.1E+04	2.4E+00	1.2E+02	8.7E+03	3.0E+00	1.3E+02
10	1.1E+04	2.2E+00	1.0E+02	8.6E+03	2.6E+00	1.0E+02

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (2/4)						
吸入摂取 (Type F)						
1 μm AMAD			5 μm AMAD			
介入レベル相当摂取量(Bq)	6.3E+05		1.2E+06			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	7.6E+04	1.3E+00	3.8E+04	7.7E+04	2.8E+00	1.4E+05
2	7.4E+04	7.7E-01	5.5E+04	7.5E+04	1.6E+00	1.9E+05
3	7.4E+04	5.0E-01	2.9E+04	7.4E+04	9.9E-01	1.0E+05
4	7.3E+04	3.8E-01	1.3E+04	7.3E+04	7.0E-01	4.2E+04
5	7.2E+04	3.1E-01	5.3E+03	7.2E+04	5.4E-01	1.7E+04
6	7.2E+04	2.7E-01	2.4E+03	7.2E+04	4.4E-01	6.7E+03
7	7.1E+04	2.4E-01	1.3E+03	7.1E+04	3.7E-01	2.9E+03
8	7.0E+04	2.2E-01	8.6E+02	7.0E+04	3.2E-01	1.5E+03
9	7.0E+04	2.1E-01	7.0E+02	6.9E+04	2.9E-01	9.8E+02
10	6.9E+04	2.0E-01	6.3E+02	6.9E+04	2.7E-01	7.7E+02

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (3/4)						
経口摂取 ($f_1=5.0\text{E-}04$)			経口摂取 ($f_1=1.0\text{E-}05$)			
介入レベル相当摂取量(Bq)	2.1E+07		9.1E+08			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		7.2E+01	6.0E+06		6.1E+01	2.6E+08
2		5.5E+01	8.3E+06		4.7E+01	3.5E+08
3		3.1E+01	4.2E+06		2.6E+01	1.8E+08
4		2.0E+01	1.7E+06		1.7E+01	7.4E+07
5		1.4E+01	6.7E+05		1.2E+01	2.9E+07
6		1.0E+01	2.5E+05		8.6E+00	1.1E+07
7		7.6E+00	9.3E+04		6.5E+00	4.0E+06
8		5.9E+00	3.4E+04		5.0E+00	1.5E+06
9		4.7E+00	1.3E+04		4.0E+00	5.4E+05
10		3.9E+00	4.7E+03		3.3E+00	2.0E+05

特殊モニタリング：介入レベル (100 mSv) に相当する予測値 (Bq) (4/4)						
経口摂取 ($f_1=1.0\text{E-}04$)			血液注入			
介入レベル相当摂取量(Bq)	1.0E+08		1.1E+04			
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		7.0E+01	2.9E+07		8.7E+01	1.7E+01
2		5.4E+01	4.1E+07		4.8E+01	4.6E+01
3		3.0E+01	2.1E+07		2.8E+01	4.4E+01
4		1.9E+01	8.5E+06		1.8E+01	3.3E+01
5		1.3E+01	3.3E+06		1.3E+01	2.3E+01
6		9.8E+00	1.2E+06		9.4E+00	1.6E+01
7		7.4E+00	4.6E+05		7.1E+00	1.1E+01
8		5.8E+00	1.7E+05		5.6E+00	7.5E+00
9		4.6E+00	6.2E+04		4.5E+00	5.3E+00
10		3.8E+00	2.3E+04		3.7E+00	3.8E+00

表 3(16) ^{241}Am の介入レベル（預託実効線量 100 mSv）

^{241}Am

特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（1/2）						
吸入摂取（Type F）						
		1 μm AMAD		5 μm AMAD		
介入レベル相当摂取量(Bq)		2.6E+03		3.7E+03		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1	2.8E+02	3.9E+00	1.5E+02	2.1E+02	6.6E+00	4.0E+02
2	2.7E+02	5.6E-01	2.2E+02	2.1E+02	8.6E-01	5.7E+02
3	2.7E+02	3.4E-01	1.1E+02	2.0E+02	4.8E-01	3.0E+02
4	2.6E+02	2.5E-01	4.9E+01	2.0E+02	3.3E-01	1.2E+02
5	2.6E+02	2.1E-01	2.0E+01	2.0E+02	2.7E-01	4.9E+01
6	2.6E+02	1.9E-01	9.2E+00	1.9E+02	2.3E-01	2.0E+01
7	2.5E+02	1.8E-01	4.8E+00	1.9E+02	2.1E-01	8.6E+00
8	2.5E+02	1.8E-01	3.2E+00	1.9E+02	2.0E-01	4.3E+00
9	2.5E+02	1.7E-01	2.5E+00	1.9E+02	1.9E-01	2.7E+00
10	2.4E+02	1.6E-01	2.3E+00	1.8E+02	1.8E-01	2.1E+00

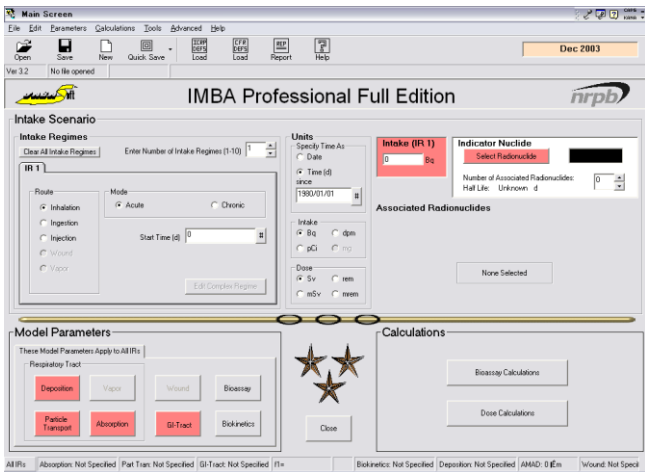
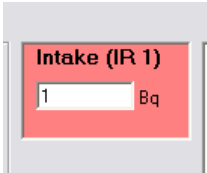
特殊モニタリング：介入レベル（100 mSv）に相当する予測値（Bq）（2/2）						
経口摂取（ $f_1=5.0\text{E-}04$ ）						
		5.0E+05		血液注入		
介入レベル相当摂取量(Bq)		5.0E+05		2.5E+02		
摂取からの経過日数	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量	肺沈着量	尿排泄量	便排泄量
1		1.5E+01	1.4E+05		1.6E+01	9.4E-01
2		2.3E+00	1.9E+05		1.9E+00	1.1E+00
3		1.1E+00	9.8E+04		9.8E-01	6.5E-01
4		6.6E-01	4.1E+04		6.1E-01	3.3E-01
5		4.7E-01	1.6E+04		4.5E-01	1.6E-01
6		3.8E-01	5.9E+03		3.7E-01	7.8E-02
7		3.3E-01	2.2E+03		3.2E-01	4.1E-02
8		3.0E-01	8.1E+02		2.9E-01	2.4E-02
9		2.7E-01	3.0E+02		2.6E-01	1.7E-02
10		2.5E-01	1.1E+02		2.4E-01	1.4E-02

参考文献

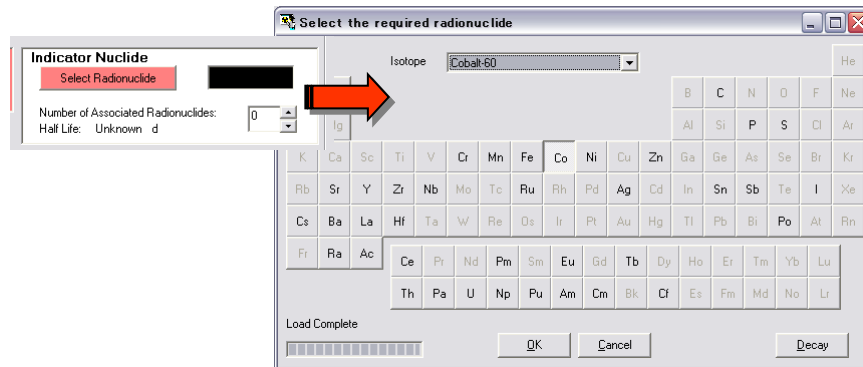
1. C. Rojas-Palma, A. Liland, A N Jerstad, G. Etherington, M R Pérez, T. Rahola and K. Smith(Eds.); TMT handbook-Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionizing radiation following a malevolent act, (2009).
2. IAEA; Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency, EPR-MEDICAL 2005; (2005).
3. ICRP; Individual monitoring for internal exposure of workers, ICRP Publication 78, Ann. ICRP 27 (3-4), (1997).
4. ICRP; Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers, ICRP Publication 68, Ann. ICRP 24 (2), (1994).
5. Public Health England; IMBA® Professional Plus Internal Dosimetry Software, <https://www.phe-protectionsservices.org.uk/imba>

付録 2-4 内部被ばく線量評価コード IMBA® Professional の使用方法

IMBA® Professional は、英国 HPA（旧 NRPB, 現 PHE）で開発された内部被ばく線量評価コードである。IMBA は現行の線量係数を導出した体内動態モデル等に基づき、核種の残留率/排泄率及び実効線量係数を計算することができる他、複数のモニタリングデータが得られた場合に、最尤フィッティング法（Maximum Likelihood Fitting Method）により摂取量の最確値を計算することができる。本稿では、IMBA の操作方法について簡易に解説する⁷。詳細についてはマニュアルを参照のこと。

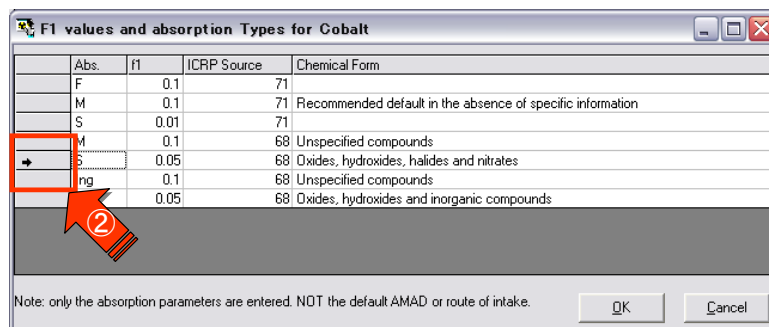
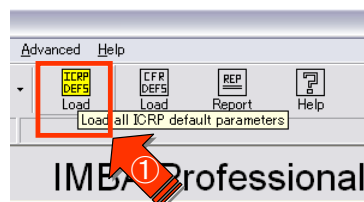
1. ソフトウェアの起動	Windows のスタートメニュー内のプログラムから、IMBA のアイコンを選択し、IMBA を起動する。  IMBA の起動画面（Main Screen）
2. パラメータの設定	図 1 の起動画面（Main Screen）において、赤に示されているボタンを選択し、パラメータを設定する。 (1) Intake を 1Bq に設定する。（単に残留率/排泄率及び実効線量係数のみを評価する場合）  (2) Select Radionuclide ボタンを押し、核種を設定する。

⁷ 最新の IMBA の Version は IMBA® Professional Plus であるが、操作方法は Professional と基本的に同じである。



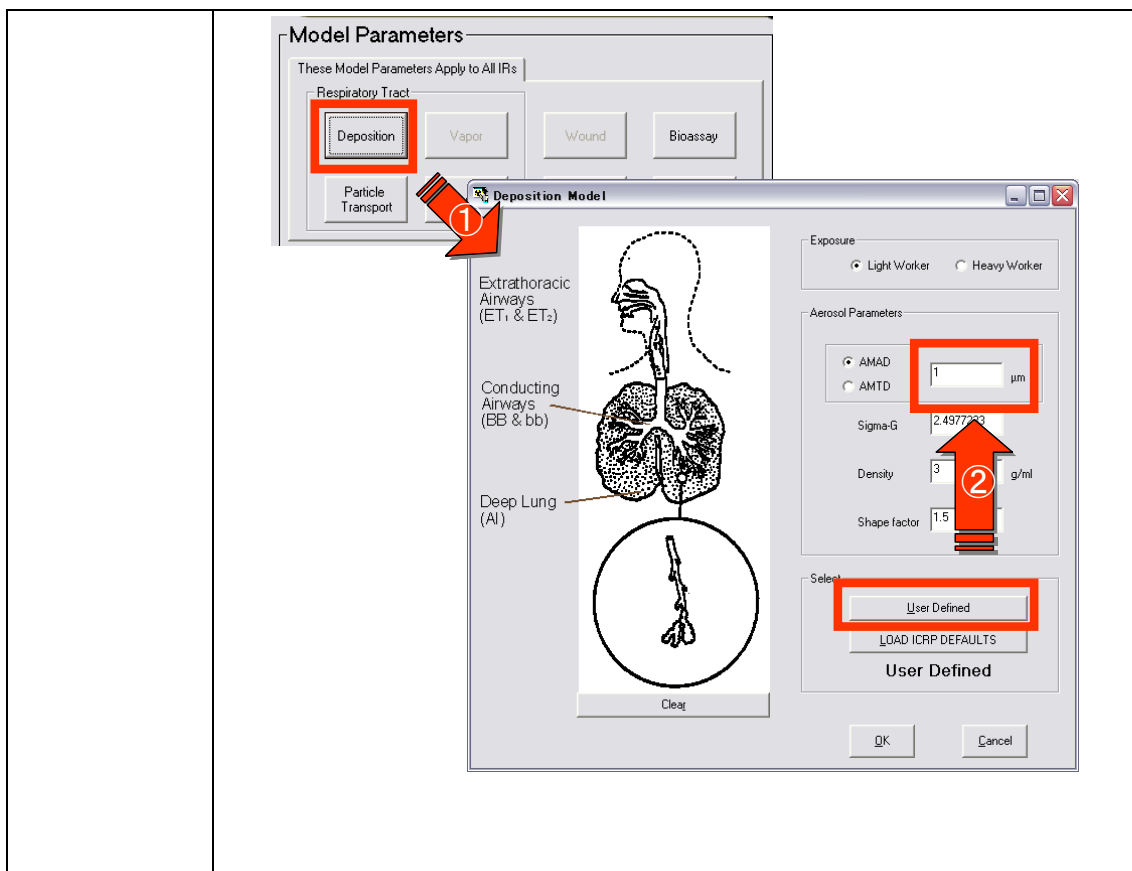
(3) 線量評価モデルのパラメータを設定する。

- ① ICRP Default パラメータをロードする (ボタンを押す)。
- ② 摂取区分 (吸入摂取：化学形によりクリアランス区分を選択,
経口摂取：化学形により胃腸管吸収率 f_1 値を選択)



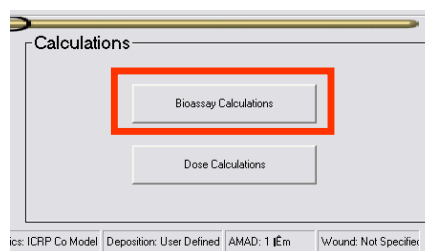
(4) 吸入摂取の場合、必要に応じて粒径を設定する。デフォルト値は、 $5\mu\text{m}$ に設定されている。

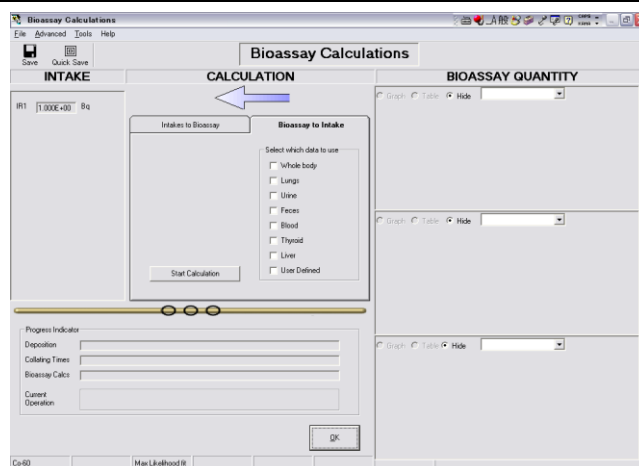
- ① Model Parameters の Deposition ボタンを押す。
- ② 表示される画面において、User Defined ボタンを押した後、粒径を設定する。



3. 残留率/排泄率の計算

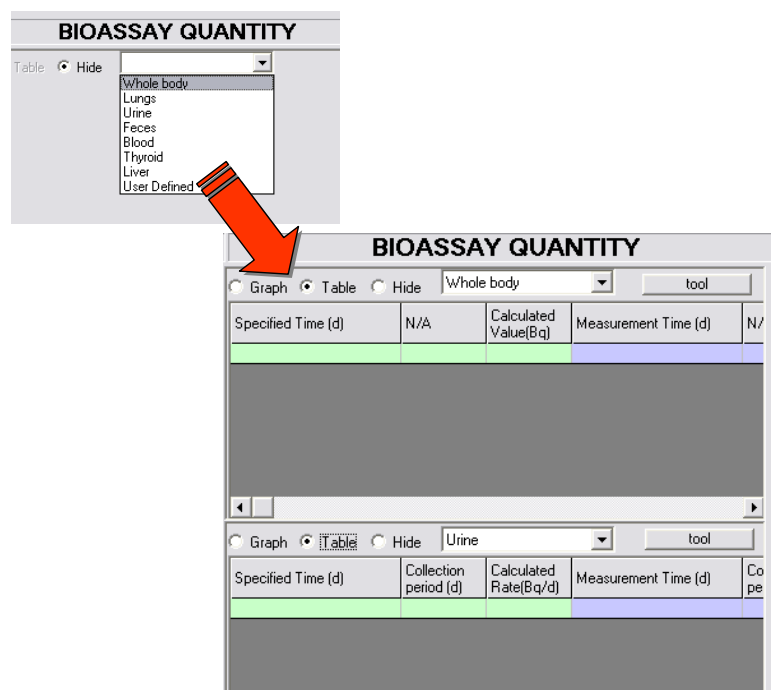
(1) Main Screen 上の Calculations ボタンを押し、Bioassay Calculations 画面に移る。





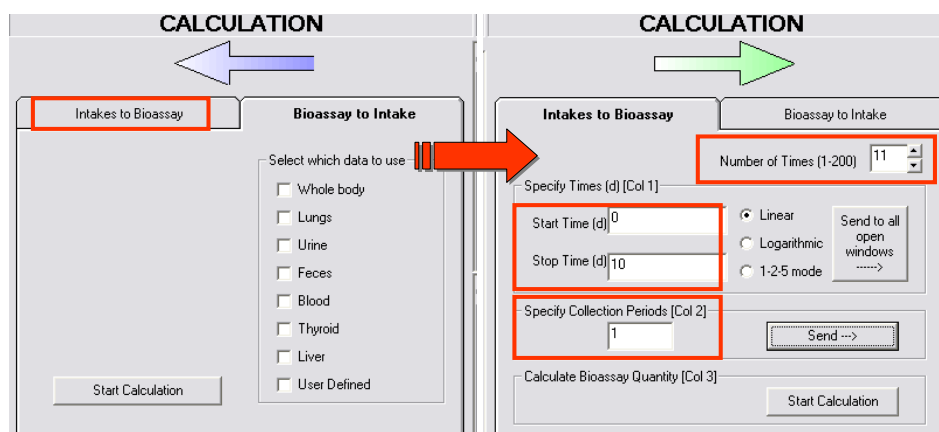
Bioassay Calculations 画面

- (2) 画面右側のテーブルリストから、計算するバイオアッセイ種類（全身、肺、尿、糞など）を選び、Table ボタンを選択する（初期画面では Hide となっている）。



(3) Bioassay to Intake から Intakes to Bioassay に変更した後、以下の数値を適当に設定する。

- ① Number to Times : 計算する残留率/排泄率のデータ数
- ② Start Time[d] : 計算開始日 (0 は摂取した基点となる)
- ③ Stop Time[d] : 計算終了日 (下図に示した例では、0 日目から 10 日目まで、11 個の計算結果を出力することになる。(0, 1, 2..., 9, 10 日目の計 11 個の計算結果が出力される。))
- ④ Send to all open window ボタンを押す。
- ⑤ Specify Collection Periods : 糞や尿に適用されるパラメータであり、サンプリング期間を意味する。通常、1 を設定する。
- ⑥ Start Calculation ボタンを押す。



(4) 計算結果が出力される。

注意 : IMBA では摂取基点 (Specified Time[d]=0) の計算値が 0 となるが、このデータは用いないこと。摂取直後の計算値が必要であれば、(3)において、Start Time[d]を 0, Stop Time[d]を 1, Number of Time を 11 とすれば、0.1 時間ごとの残留率 (排泄率を除く) が計算される。

BIOASSAY QUANTITY			
☐ Graph	☒ Table	☐ Hide	Whole body
Specified Time (d)	N/A	Calculated Value(Bq)	Measurement Time (d)
0.000E+00		0.000E+00	
1.000E+00		3.459E-01	
2.000E+00		2.214E-01	
3.000E+00		1.624E-01	
4.000E+00		1.377E-01	
5.000E+00		1.273E-01	
6.000E+00		1.226E-01	
7.000E+00		1.201E-01	

☐ Graph	☒ Table	☐ Hide	Urine
Specified Time (d)	Collection period (d)	Calculated Rate(Bq/d)	Measurement Time (d)
0.000E+00	1.000E+00	0.000E+00	
1.000E+00	1.000E+00	3.062E-03	
2.000E+00	1.000E+00	1.740E-03	
3.000E+00	1.000E+00	6.902E-04	
4.000E+00	1.000E+00	3.934E-04	
5.000E+00	1.000E+00	2.979E-04	
6.000E+00	1.000E+00	2.561E-04	
7.000E+00	1.000E+00	2.300E-04	

4. 線量係数の計算	(1) Bioassay Calculations 画面上の OK ボタンを押し, Main Screen に戻る。 (2) Main Screen において, Dose Calculations ボタンを押し, Dose Calculations 画面に移行する。 (3) Calculate ボタンを押して, 実効線量を計算する。Intake が 1Bq であれば, 計算される実効線量は実効線量係数になる。
	詳細については, IMBA User Manual を参照のこと。

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

3. 皮膚汚染時における線量評価に関する研究

研究分担者 辻村 憲雄（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）
矢島 千秋（量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所）
研究協力者 吉田 忠義（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）
星 勝也（日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所）

研究要旨

身体表面の汚染の測定から放射能（表面密度）を算出し、さらにそれを線量率に換算する手順は、単純ではない場合がある。そこで、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 及び ^{137}Cs の任意のサイズの汚染について、国内でも使用されている電離箱式線量当量率サーベイメータ（Victoreen 451B 型）の指示値と皮膚線量率の関係を実験と計算によって評価した。また、 β 線スペクトル測定に基づく皮膚線量評価について検討した。本手法は、特に未知核種の場合に有効と考えられる。

また、これまでに国内外で使用されてきた表面密度－皮膚線量率換算係数を一覧表として整理し、出典による違いについて分析するとともに、代表的な 281 核種について計算コード VARSKIN 6.0 を用いて換算係数を計算した。計算は、二種類の汚染面積（円形 1 cm^2 及び 100 cm^2 ）について皮膚の深さ 7 mg/cm^2 で、汚染面積 100 cm^2 について深さ 40 mg/cm^2 で行った。後者は、確定的影響、すなわち真皮の晩発障害（真皮の萎縮）の防止するため、深さ $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ （真皮上皮）を想定したものであり、特に事故のような場合に必要である。とりまとめた換算係数一覧表を、国内で広く利用されているマニュアル類に反映させたい。

A. 研究目的

本研究の目的は、高線量被ばくが想定される様々な放射線被ばく事故に際し、多くの被災者の中から緊急被ばく医療の対象となる者を迅速に選別し、その線量を評価する手法を開発・整備し、その成果を広く展開することである。ここでは、汚染（放出）事故の代表例たる原子力施設での事例に着目し、対象者の選別（トリアージ）及び線量評価について検討し、緊急被ばく医療対応の

迅速性と実行性の向上を図る。

B. 研究方法

(1) 電離箱式線量当量率サーベイメータを用いる皮膚線量評価

平成 27～28 年度総括及び分担研究報告書において、国内で一般に使用されている端窓 GM 計数管式表面汚染サーベイメータ及び二種類の電離箱式線量当量率サーベイメータについて、その指示値が汚染サイズ

によって変化することを示し、その大きさに応じた皮膚線量率への換算手順を明らかにした。今年度は、Voctoreen 451B 型 (451B-DE-SI-RYR 型) 電離箱式線量当量サーベイメータについて同様の調査を行う。このサーベイメータは、容量 349 cm³ の空気電離箱であり、底面の遮へいシャッターをスライドさせてβ線入射窓 (46 cm²) を露出させることによってβ線検出も可能となる。

実験手順は、前年度までの研究と同様に、サーベイメータの指示値 (Sv/h) と表面密度 (Bq/cm²) の関係を汚染サイズ別に調べることを基本とする。ここでは、放射能が既知の ⁹⁰Sr+⁹⁰Y 及び ¹³⁷Cs の点線源 (直径 5 mm の放射性物質を薄い膜で挟んだもの) を入射窓から距離 5 mm に固定したまま入射窓に平行に移動させることにより直径の異なる汚染を模擬する。ここで、選択した核種は、福島第一原子力発電所事故における主たるβ線放出核種 (初期は ¹³²Te+¹³²I, 続いて ¹³¹I) ¹⁾ にそれぞれ似たエネルギーを持つ。表面密度から皮膚線量率 (70 μm 線量当量率) に換算する係数については、前年度と同様に、点積分核法によって任意形状の汚染による皮膚線量を計算するコード VARSKIN (詳細後述) を用いて計算する。

(2) β線スペクトル測定に基づく皮膚線量評価

想定外の事故等で汚染核種が予想不可能な場合、β線スペクトルの測定に基づく線量評価が有効な場合が考えられる。そこで、厚いプラスチックシンチレータを用いる皮膚線量評価に取り組む。

使用するプラスチックシンチレータは、直径 51 mm×厚さ 10 mm の ELJEN

Technology 社製 EJ200 であり、これまで作業現場におけるβ線スペクトロメトリの目的で使用されてきた²⁾。ここでの厚さ 10 mm は ⁹⁰Sr+⁹⁰Y のβ線最大エネルギー (2.2 MeV) の飛程に相当する。シンチレータ前面の直径 25.4 mm のアルミ蒸着マイラー (2.7 mg/cm²) の窓を通り抜けた電子はシンチレータ中でほぼフルストップするので、観測されるパルス波高スペクトルは、入射β線スペクトルの近似値となる。¹³⁷Cs 線源 (内部転換電子 624 keV) での校正によってチャンネルをエネルギーに変換した波高スペクトルを窓面積で除することによってスペクトラルフルエンスに換算し、それに換算係数を乗じて線量当量を算出する。使用する換算係数は、ICRP Publ. 74 (Table A.44) ³⁾ の 70 μm 線量当量 (方向性線量当量 H'(0.07)) である。

実験では、表面放出率が既知の 15 cm×10 cm の板状陽極酸化被膜線源 (¹⁴C, ³⁶Cl, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr+⁹⁰Y, ⁹⁹Tc, ¹⁰⁶Ru+¹⁰⁶Rh, ¹³⁷Cs+^{137m}Ba, ¹⁴⁷Pm) の中央部分、高さ 5 mm にプラスチックシンチレータの入射窓を固定し、計測する。ここで、比較の基準とする線量率は、線源の表面放出率の 2 倍を放射能と仮定して算出した表面密度を基に VARSKIN で計算した値とする。

(3) 表面密度一皮膚線量率換算係数の調査

皮膚汚染時における線量評価手順の斉一化を目的に、現在国内外で使用されている表面密度一皮膚線量率換算係数について、文献調査を行うとともに、最新の計算コードを用いてその検証を行う。前年度の報告書では、計算に VARSKIN 4.0 ⁴⁾ (Radiation Safety Information Computational Center から 2010 年に公開) を使用したが、後述す

るように、転換電子を放出する一部の核種（例えば ^{137m}Ba 等）について、その線量寄与を適切に計算していないことが判明したため、一部の研究者の間で試用されていた VARSKIN 5.3（ β 版）、さらにその試用期間を経て 2017 年 10 月に公開された VARSKIN 6.0⁵⁾を用いて検証計算を行う。計算条件は以下のとおりである。

- ・ 対象核種：281 核種
- ・ 汚染形状：皮膚表面に面積 1 cm^2 又は 100 cm^2 の円形汚染
- ・ 表面密度： 1 kBq/cm^2
- ・ 対象線量：汚染直下の深さ 0.07 mm (7 mg/cm^2) 又は 0.4 mm (40 mg/cm^2)、面積 1 cm^2 の領域における吸収線量深さ
- ・ 核データ：VARSKIN 5.3（以前）は、ICRP Publication 38⁶⁾、VARSKIN 6.0 からは、ICRP Publication 107⁷⁾

ここで 281 核種は、文献調査によって換算係数が得られたすべての核種を含む。また、深さ 0.4 mm (40 mg/cm^2) は、確定的影響、すなわち真皮の晩発障害（真皮の萎縮）の防止するため、深さ $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ （真皮上皮）⁸⁾を想定したものである。

（倫理面への配慮）

本研究は、特定個人を対象とするものではないので人権擁護上の配慮等を特に必要としない。

C. 研究結果

(1) 電離箱式線量当量率サーベイメータを用いる皮膚線量評価

図 1 に、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 及び ^{137}Cs について、汚染面積を変えた時の Victoreen 451B 型

電離箱式線量当量率サーベイメータの計数率の変化を示す。ここで表面密度は 1 Bq/cm^2 に固定した。汚染面積に対する支持値変化の傾向は、以前に試験した二種類の電離箱式サーベイメータと同様であった。窓面積（約 46 cm^2 ）を超える面積の汚染に対して指示はほぼ一定になること、窓面積よりも小さな汚染については面積に比例することが確認された。

図 2 に、皮膚線量率 1 mGy/h 当たりの電離箱式サーベイメータの指示値を汚染面積の関数として表したものを示す。本サーベイメータの場合、十分に広い汚染であっても指示値/線量率は約 0.3 であった。

(2) β 線スペクトル測定に基づく皮膚線量評価

観測されたパルス波高スペクトルを図 3 に示す。破線は β 線の理論スペクトル⁷⁾である。プラスチックシンチレータの厚さよりも飛程の長い ^{106}Rh の β 線を除き、パルス波高スペクトルは理論スペクトルをおおむね再現する。

表 1 に、パルス波高スペクトルから算出した $70\text{ }\mu\text{m}$ 線量当量率と VARSKIN から計算した線量率を比較した結果を示す。面線源の場合、VARSKIN 計算で入力する放射能の値が不確かである点を考慮すれば、前述した $^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$ を除き、 β 線スペクトル測定に基づく線量率は、計算によるものとよく合う。系統的なずれは、 β 線スペクトル測定に基づく評価が、平行ビームで入射する β 線を想定しているためであり、一律の補正係数で是正可能であると考えられる。

(3) 表面密度一皮膚線量率換算係数の調査

表 2 に、調査の対象とした文献⁹⁻¹⁵⁾における皮膚線量率換算係数の計算方法を一覧

にとりまとめた。

表面密度から皮膚の吸収線量率への換算係数（単位：mGy/h per kBq/cm²）について、上記文献の調査で得られたものとVARSKINによる計算によって得られたものの比較した結果を、それぞれ表3（深さ7 mg/cm²、汚染面積1 cm²）、表4（深さ7 mg/cm²、汚染面積100 cm²又は十分に広い汚染）及び表5（深さ40 mg/cm²、汚染面積100 cm²又は十分に広い汚染）に示す。全281核種の結果は、平成27～29年度総合研究報告書に収録されているので、ここでは、代表的な105核種（文献13に合致させた）についてのみ記す。親核種と娘核種が永続平衡になっているものについては、親核種の放射能を基準とした。換算係数間の値の相違については、VARSKIN 6.0で計算した換算係数を基準としたときの百分率相対偏差（%）で示した。また、文献調査又は計算によって得られた換算係数を図4から図17に示す。

図4：文献9（JAERI-M 7354）から、最大β線エネルギーと深さ7 mg/cm²での吸収線量換算係数の関係。図の最上部のプロットが、汚染が皮膚に付着した条件（h=0 cm）でのものである。最大エネルギーが0.07 MeV未満のβ線は7 mg/cm²の深さに達しないため、吸収線量はゼロになる。1崩壊当たりのβ線放出率が小さい場合、又は1崩壊当たりに最大エネルギーの異なるβ線（または転換電子）を複数放出し、かつエネルギーの低い側の放出率が大きい場合に、最大エネルギーに比べて小さな換算係数になる場合がある。図で、全体の傾向から逸脱したプロット—⁶⁴Cuと⁸⁴Rb—は、主に前者の理由に

よる。

図5：図4のうち、汚染面積314 cm²、h=0 cmの換算係数を、ICRP Publ 38のβ線最大エネルギーと平均エネルギー（転換電子等含む）の関数としてプロットしたもの。（図6以降との比較のため）

図6：文献10（Kocher and Eckerman）から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ7 mg/cm²での吸収線量換算係数の関係。全体の傾向から逸脱プロットのうち、⁵⁸Co、⁶⁵Zn及び²¹¹Biは、上述した理由による。^{166m}Hoは、反対に、そのβ線最大エネルギーが転換電子エネルギーよりも低いケースである。一方、高い側に外れた²³⁴Paの換算係数（5.4 mGy/h per kBq/cm²）は、論文中に明確な記述はないが、子孫核種である^{234m}Paからの線量寄与も合計した値であると考えられる。

図7～8：文献11（Cross et al.）から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ7 mg/cm²での吸収線量換算係数の関係（汚染面積はそれぞれ1 cm²、100 cm²）。

図9：文献12（Faw）から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ5～10 mg/cm²での吸収線量換算係数の関係。評価対象深さがやや異なるが、Crossらの計算と大きく変わらない。

図10～11：VARSKIN 4.0での計算から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ7 mg/cm²での吸収線量換算係数の関係（汚染面積はそれぞれ1 cm²、100 cm²）。

図12～13：VARSKIN 5.3での計算から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ7 mg/cm²での吸収線量換算係数の関係（汚染面積はそれぞれ1 cm²、100

cm²)。平均エネルギー0.1 MeV 未満の領域で新たに出現したプロットは、VARSKIN 4.0 で計算が不適切であった転換電子による線量寄与を含む核種（例えば、⁷³As）のものである。

図 14～15：VARSKIN 6.0 での計算から、β線最大エネルギー及び平均エネルギー（ともに ICRP Publ 107 に基づく）と深さ 7 mg/cm² での吸収線量換算係数の関係（汚染面積はそれぞれ 1 cm², 100 cm²）。⁵⁶Ni は、核データの見直し（壊変形式の変更：EC → ECB+）によって、最大エネルギーが変わったことによる。

図 16：文献 10（Kocher and Eckerman）及び 11（Cross et al.）から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ 40 mg/cm² での吸収線量換算係数の関係。周囲から逸脱したプロットのうち、^{166m}Ho は前述のとおり。一方、¹²³Sn は、誤植により 1/10 の値になっていると考えられる。

図 17：VARSKIN 6.0 での計算から、β線最大エネルギー及び平均エネルギーと深さ 40 mg/cm² での吸収線量換算係数の関係（汚染面積は 100 cm²）。

D. 考察

(1) 電離箱式線量当量率サーベイメータによる測定及びβ線スペクトル測定に基づく皮膚汚染時の線量評価法

端窓 GM 計数管又は電離箱サーベイメータ指示値から皮膚線量率を評価する方法は、汚染核種が ¹³⁷Cs や ⁹⁰Sr+⁹⁰Y（またはそれらと同等のエネルギーを持つ核種）の場合、汚染の広がりやの程度と本研究で明らかにした指示値—線量率換算係数を用いることで、汚染現場で迅速に線量を算出することがで

きる。一方、汚染核種が不明な場合は、表 2 に示したようにβ線スペクトル測定に基づく方法が有効である。例えば、高レベルの汚染事故が発生した場合、作業者の除染及び端窓 GM 計数管又は電離箱サーベイメータによる測定と平行して、除染過程で得られた汚染試料のβ線スペクトルを測定しておけば、のちにその情報を線量評価に活用することも可能になると考えられる。

(2) 表面密度—皮膚線量率換算係数の相違について

前年度の VARSKIN 4.0 による換算係数の計算において、過去の文献で有意な値として報告されているのに対して、ゼロと算出される核種が多数散見された。表 3 及び表 4 に示した中では、⁵⁷Co, ⁶⁷Ga, ⁸⁵Sr, ^{99m}Tc, ¹⁰⁹Cd, ¹¹¹In, ^{113m}In, ^{115m}In, ^{123m}Te, ^{137m}Ba, ¹⁶⁹Yb 及び ²⁰¹Tl であり、いずれもその壊変形式は EC（軌道電子捕獲）又は IT（核異性体転移）であり、転換電子を放出する。確認のため、¹³⁷Cs のβ線及び ^{137m}Ba の転換電子（624 keV 及び 656 keV）について、モンテカルロコード MCNP 4.3 を用いて、軟組織中の深さ 0.065～0.075 mm に設定した 1 cm²×0.010 mm の円柱領域中における電子のエネルギー沈着を計算した。ここで、汚染面積は、円形 1 cm² とした。計算結果を VARSKIN シリーズによる同じ体形での結果とともに表 6 に示す。比較から明らかなように、VARSKIN 4.0 以前の転換電子の計算は適切になされていない。これに対して、MCNP 及び VARSKIN 5.3 以降の計算結果は、¹³⁷Cs についての同じ体系での Cross らの計算値 1.43 mGy/h per kBq/cm²（論文には、転換電子・オージェ電子を含むとあるも、^{137m}Ba に対する値は別

に与えられていないので、その寄与も含まれていると考えられる」とほぼ一致した。VARSKIN では、転換電子等を放出する核種については、それぞれの電子線スペクトルと ^3H の β 線スペクトル(最大エネルギー 0.019 MeV と低いので有意な皮膚線量を引き起こさない)を合算して「仮の β 線スペクトル」を作り、それを通常の計算ルーチンで処理することで転換電子等による線量を算出する。調査の過程で、 β 線と転換電子の両方を放出する核種について、計算に使用されるデータファイル (ICRP38.IDX, ICRP38.DAT 及び ICRP38.BET) を編集することによって転換電子のエネルギーや分岐等を変えても、計算結果が変わらないことから、上記の計算手順(仮の β 線スペクトルを作成する)そのものが、GUI 化した VARSKIN 3.0 以降、何らかの理由により無効化されていたと考えられる。この障害は、VARSKIN 5.3 で一部の核種 ($^{166\text{m}}\text{Ho}$) を除き改善され、VARSKIN 6.0 ではそれも解決された。

図 18 から図 21 に、VARSKIN 6.0 による深さ 7 mg/cm² での皮膚線量の計算結果と文献値の比較を示す。モンテカルロ計算の場合(Cross ら)と異なり、JAERI-M 7354 及び Kocher and Echerman らが使用する点積分核法は、無限均質媒質中において成立する方法であるため、軟組織～空気からなる比均質媒質では、本来は存在しないはずの組織表面での電子の反射の分だけ過大な線量を与える。一方、VARSKIN シリーズでは、点積分核法を計算の基本にしつつも、その電子の反射寄与分の補正がなされている。このことは、Cross らの計算値とほぼ一致することからも分かる。一部の相違は、核

データの違い(壊変形式や最大エネルギーの違い)による。

図 22 は、VARSKIN 6.0 による深さ 40 mg/cm² での皮膚線量の計算結果と文献値の比較である。両データはよく一致する。 ^{136}Cs でのずれについては、7 mg/cm² 深さではほぼ一致することから、 ^{123}Sn と同様に元論文の数値の誤植の可能性が高い。

現在、我が国で広く利用されている表面密度一皮膚線量換算係数の出典は、文献 9 を図として、文献 11 を図及び表として再録した財団法人原子力安全技術センターの「被ばく線量の測定・評価マニュアル」¹⁶⁾、あるいは文献 13 を和訳した放射線医学総合研究所の「放射線緊急事態時の評価および対応のための一般的手順」¹⁷⁾である。前者は、 β 線(転換電子等を一部含む)を対象とする。一方、後者は、 β 線を対象とすると原文に記述されているが、他の文献値又は VARSKIN 4.0 以降の計算結果との比較から、 β 線(転換電子含む)と γ 線の両者(合計)を対象にしたものと考えられる。いずれの換算係数についても、出典によって極端に数値が異なるというほどではなく、また、それは、表面汚染の測定の際の不確かさ(汚染のサイズや自己吸収の程度)や汚染の付着時間といった線量評価における潜在的な不確かさ要因に比べれば十分に小さいとも言えるが、換算係数の算出条件が明らかで、かつモンテカルロ法等の精緻な計算による裏付けがなされており、さらに β 線と γ 線の線量評価が独立して実施可能であるという観点から、表 2～4 に記した VARSKIN 6.0 による換算係数を使うのが好ましいと考えられる。「被ばく線量の測定・評価マニュアル」の改訂作業等が今後ある場合、本報

告書でとりまとめた表面密度－皮膚線量換算係数を取り入れるよう働きかけたい。

E. 結論

$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 及び ^{137}Cs の任意のサイズの汚染について、国内でも使用されている電離箱式線量当量率サーベイメータ (Victoreen 451B 型) の指示値と皮膚線量率の関係を実験と計算によって評価した。また、 β 線スペクトルに基づく皮膚線量評価について検討した。本手法は、特に未知核種の場合に有効と考えられる。

また、これまでに国内外で使用されてきた表面密度－皮膚線量率換算係数を一覧表として整理し、出典による違いについて分析するとともに、代表的な 281 核種について計算コード VARSKIN 6.0 を用いて換算係数を計算した。計算は、二種類の汚染面積 (円形 1 cm^2 及び 100 cm^2) について深さ 7 mg/cm^2 で、汚染面積 100 cm^2 について深さ 40 mg/cm^2 で行った。後者は、確定的影響、すなわち真皮の晩発障害 (真皮の萎縮) の防止するため、深さ $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ (真皮上皮) を想定したものであり、特に事故のような場合に有用である。とりまとめた換算係数一覧表は、国内で広く利用されているマニュアル類に反映していきたい。

文献

- [1] N. Tsujimura, T. Yoshida, and S. Furuta; Measurements and calculations of beta dose rates on contaminated ground at the Fukushima Daiichi nuclear power plant site, Proc. IRPA-13, May 13–18, 2012, Glasgow, UK, (2012).
- [2] K. Hoshi, T. Yoshida, N. Tsujimura, and K. Okada; The Evaluation of the 0.07 and 3 mm Dose Equivalent with a Portable Beta Spectrometer, *JPS Conf. Proc.* **11**, 070009-1–070009-6, (2016).
- [3] ICRP; Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiations, ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26 (3/4), (1996).
- [4] D. M. Hamby, C. J. Lodwick, T. S. Palmer, S. R. Reese, and K. A. Higley; VARSKIN 4: A computer code for skin contamination dosimetry, NUREG/CR-6918, Rev. 1 (2011).
- [5] <https://ramp.nrc-gateway.gov/content/varskin-overview>
- [6] ICRP; Radionuclide Transformations—Energy and Intensity of Emissions, ICRP Publication 38, Ann. ICRP 11-13, (1983).
- [7] ICRP; Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, ICRP Publication 107, Ann. ICRP 38 (3), (2008).
- [8] ICRP; The biological Basis for Dose Limitation in the Skin, ICRP Publication 59, Ann. ICRP 22 (2), (1992).
- [9] 龍福廣, 中戸喜寄, 備後一義, 立田初己 福田整司, 南賢太郎; 点積分核法による β 線皮膚線量の評価, JAERI-M 7354, 日本原子力研究所, (1977).
- [10] D. C. Kocher and K. F. Eckerman; Electron Dose-rate Conversion Factors for External Exposure of the Skin from Uniformly Deposited Activity on the Body Surface, *Health Phys.* **53**(2), 135–

- 141, 1987.
- [11] W. G. Cross, N. O. Freedman, and P. Y. Wong; Beta ray dose distributions from skin contamination, *Radiat. Prot. Dosim.* **40**(3), 149–168 (1992). 又は, ICRU; Dosimetry for External Beta Rays, ICRU Report 57, (1997).
- [12] R. E. Faw; Absorbed doses to skin from radionuclide sources on the body surface, *Health Phys.* **63**(4), 443–448 (1992).
- [13] IAEA; Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, (2000).
- [14] D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, and C. Hickman, Radionuclide and radiation Protection Data Handbook 1998, *Radiat. Prot. Dosim.* **78**(1/2), (1998).
- [15] D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, and C. Hickman, Radionuclide and radiation Protection Data Handbook 2002, *Radiat. Prot. Dosim.* **98**(1), (2002).
- [16] 被ばく線量の測定・評価マニュアル, 公益財団法人原子力安全技術センター, (2000).
- [17] NIRS-M-183, 放射線緊急事態時の評価および対応のための一般的手順, 放射線医学総合研究所, (2000).
- F. 健康危険情報**
該当無し
- G. 研究発表**
なし
- H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）**
なし
- G. 謝辞**
本報告書を取りまとめるにあたり, 株式会社ヴィジブル・インフォメーション・センターによる情報を参考にした。ここに感謝の意を表する。

表 1 種々の板状面線源について、 β 線スペクトロメータのパルス波高スペクトルから算出した皮膚線量率と VARSKIN による皮膚線量率の比較
(面線源の放射能は表面放出率の 2 倍とした)

Source		7mg/cm ²			40mg/cm ²		
Nuclide	β max	Plastic scintillator (A)	VARSKIN (B)	A/B-1	Plastic scintillator (A)	VARSKIN (B)	A/B-1
	(keV)	(μ Gy/h)	(μ Gy/h)	(%)	(μ Gy/h)	(μ Gy/h)	(%)
¹⁴ C	156	6.9E-01	9.3E-01	-25	0.0E+00	0.0E+00	—
¹⁴⁷ Pm	224	1.6E+00	2.2E+00	-25	1.2E-03	2.3E-03	-46
⁹⁹ Tc	294	1.7E+01	2.1E+01	-22	3.8E-01	4.9E-01	-22
⁶⁰ Co	318	5.8E-01	7.9E-01	-27	1.8E-02	4.2E-02	-58
³⁶ Cl	709	6.1E+00	8.9E+00	-31	3.1E+00	4.2E+00	-26
¹³⁷ Cs	1176	3.7E+00	5.7E+00	-36	1.1E+00	1.9E+00	-42
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	2282	7.7E+00	1.1E+01	-30	4.0E+00	6.5E+00	-38
¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh	3541	1.7E+00	3.8E+00	-55	1.5E+00	4.4E+00	-66

表 2 各文献における皮膚線量換算係数の計算方法

参考文献 番号	著 者	表 題	掲載誌等	備 考	計算方法 (計算コード)	線源 条件	線源から媒 質表面まで の距離(cm)	媒質の 深さ (mm)	換算係数 単位
9	龍福廣, 中戸喜 寄, 備後一義, 立 田初己, 福田整 司, 南賢太郎	点積分核法によるβ線皮膚 線量の評価	日本原子力研究 所 JAERI-M 7354 (1977)	原子力安全技術センター 「被ばく線量の測定・評価 マニュアル」再録	点積分核法	半径 1cm 円形	0, 1, 10	0.07	mrad/h per μCi/cm ²
						半径無限大	0, 10, 100	0.07	
10	D. C. Kocher K. F. Eckerman	Electron dose-rate conversion factors for external exposure of the skin from uniformly deposited activity on the body surface	Health Phys 53(2), 135-141 (1987)		点積分核法 (DOSFACTOR コード)	一様な広い 汚染	0	0.04 0.07 0.08 0.4	Sv/y per Bq/cm ²
11	W. G. Cross N. O. Freedman P. Y. Wong	Beta ray dose distributions from skin contamination	Radiat. Prot. Dosim. 40(3), 149-168 (1992)	ICRU Report 56 及び原子 力安全技術センター「被ば く線量の測定・評価マニ ュアル」再録	モンテカルロ法 (SANDYL, CYLTRAN, ACCEPT-P)	円形 1 cm ² 円形 100 cm ²	0	0.07 0.4 3 10	nGy/h per Bq/cm ²
12	R. E. Faw	Absorbed doses to skin from radionuclide sources on the body surface	Health Phys. 63(4), 443-448 (1992)		モンテカルロ法 (CYLTRAN)	一様な広い 汚染	0	0.05～ 0.10	Sv/y per Bq/cm ²
13	IAEA	Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency	IAEA- TECDOC-1162, (2000)	放射線緊急事態時の評価 および対応のための一般 的手順(翻訳), 放射線医 学総合研究所 NIRS-M- 183, (2000) で再録		一様な広い 汚染	0	0.07	μSv/h per Bq/cm ²
14	D. Delacroix J. P. Guerre	Radionuclide and radiation protection data handbook 1998	Radiat. Prot. Dosim. 78(1/2), (1998)	IAEA-TECDOC-1162 の 換算係数の出典である と思われる	β線： VARSKIN 2 γ線： Microshield 4.10	一様で広い	0	0.07	mSv/h per kBq/cm ² 液滴の場 合, mSv/h per kBq
15	P. Leblanc C. Hickman	Radionuclide and radiation protection data handbook 2002	Radiat. Prot. Dosim. 98(1), (2002)			0.05 ml 液滴	0	0.07	
					一様で広い	0	0.07		
						0.05 ml 液滴	0	0.07	

表3 表面密度当たりの深さ 7 mg/cm²での吸収線量率 (汚染面積: 1 cm²)

核種	壊変形式	エネルギー (MeV)		表面密度当たりの深さ7mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)													
		最大	平均	Cross				Varskin 4.0				Varskin 5.3				Varskin 6.0	
				β	γ	β	γ	β	γ	β	γ						
H-3	B-	0.0186	0.00567			0	0%	0	0%	0	0	0	0%	0	0		
O-14	B-	0.15648	0.04945	0.290	-2%	0.301	1%	0	0%	0.297	0	0	0%	0.297	0		
F-18	ECB+	0.6335	0.2416	1.574	7%	1.67	14%	0.0196	4%	1.52	3%	0.0196	4%	1.47	0.0189		
Na-22	ECB+	1.8202	0.19406	1.442	6%	1.49	10%	0.0264	0%	1.36	0%	0.0264	0%	1.36	0.0264		
Na-24	B-	4.14493	0.55381	1.692	16%	1.64	12%	0.0151	0%	1.46	0%	0.0151	0%	1.46	0.0151		
Al-26	ECB+	1.17342	0.44442			1.37	12%	0.0242	0%	1.22	0%	0.0242	0%	1.22	0.0241		
P-32	B-	1.71066	0.69477	1.726	20%	1.64	14%	0	0%	1.44	0%	0	0%	1.44	0		
P-33	B-	0.2485	0.07642	0.745	2%	0.834	14%	0	0%	0.734	0%	0	0%	0.732	0		
S-35	B-	0.16714	0.04872	0.310	-1%	0.326	4%	0	0%	0.315	1%	0	0%	0.313	0		
Cl-36	B-ECB+	0.7086	0.27319	1.577	13%	1.54	10%	0	0%								

(続き)

核種	壊変形式	エネルギー (MeV)		表面密度当たりの深さ7mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)											
		最大	平均	Varskin 4.0											
				Cross		β		γ		β		γ		β	
Ce-139	EC		0.0355			0	-100%	0.0116	-3%	0.386	-2%	0.0116	-3%	0.394	0.0119
Ce-141	B-	0.5807	0.17103	1.538	1%	1.59	4%	0.00280	-18%	1.52	-1%	0.00280	-18%	1.53	0.00342
Ce-143	B-	1.4614	0.43636			1.59	9%	0.0121	-2%	1.45	-1%	0.0121	-2%	1.46	0.0124
Pr-143	B-	0.9339	0.315	1.524	9%	1.53	9%	0	0%	1.40	0%	0	0%	1.40	0
Pm-147	B-	0.2246	0.06193	0.535	1%	0.598	13%	0	0%	0.531	0%	0	0%	0.531	0
Sm-153	B-	0.8082	0.26987	1.425	6%	1.50	11%	0.0066	-6%	1.34	-1%	0.00662	-6%	1.35	0.00707
Eu-152	ECB+B-	1.47452	0.12856			0.77	8%	0.0198	1%	0.775	8%	0.0198	1%	0.718	0.0197
Eu-154	B-EC	1.84533	0.27301	1.840	9%	1.65	-2%	0.0155	-2%	1.73	2%	0.0155	-2%	1.69	0.0158
Eu-156	B-	2.451	0.45788	1.355	3%	1.27	-3%	0.0109	6%	1.30	-1%	0.0109	6%	1.31	0.0103
Er-169	B-	0.3509	0.10346			1.01	9%	0	0%	0.929	0%	0	0%	0.927	0
Yb-169	EC		0.14713	0.875	2%	0	-100%	0.0311	-20%	0.813	-5%	0.0311	-20%	0.859	0.0388
Re-186	B-EC	1.0695	0.33624	1.659	14%	1.59	9%	0.00060	-58%	1.49	2%	0.000597	-58%	1.46	0.00143
Re-188	B-	2.1204	0.77934	1.723	8%	1.75	9%	0.00187	-7%	1.59	-1%	0.00187	-7%	1.60	0.00202
Ir-192	B-EC	0.67512	0.21769	1.384	-4%	1.57	9%	0.0205	0%	1.44	0%	0.0205	0%	1.44	0.0205
Au-198	B-	1.37239	0.3277	1.564	7%	1.59	9%	0.0091	1%	1.45	-1%	0.0091	1%	1.46	0.0090
Hg-197	EC		0.07024			0	-100%	0.0167	-7%	0.0604	-4%	0.0167	-7%	0.0630	0.0180
Hg-203	B-	0.4918	0.09895	0.820	2%	0.874	9%	0.0096	-1%	0.801	0%	0.0096	-1%	0.804	0.0097
Tl-201	EC		0.04469	0.208	-6%	0	-100%	0.0152	-7%	0.218	-1%	0.0152	-7%	0.221	0.0164
Tl-204	B-EC	0.7637	0.23721	1.346	6%	1.38	9%	0	0%	1.27	0%	0	0%	1.27	0
Pb-210	B-A	0.0631	0.04039			0	0%	0.00559	-13%	0	0%	0.00559	-13%	0	0.00640
Po-210	A		0			0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0
U-235	A		0.053			0	-100%	0.0094	-23%	0.0598	1%	0.0094	-23%	0.0595	0.0122
U-238	A SF		0.00917			0	-100%	0.00129	-11%	0.0000772	-52%	0.00129	-11%	0.000162	0.00145
Pu-238	A SF		0.01068			0	-100%	0.00162	-21%	0	-100%	0.00162	-21%	0.000571	0.00204
Pu-239	A		0.00745			0	0%	0.000558	-48%	0	0%	0.000558	-48%	0	0.00108
Am-241	A		0.0373			0	-100%	0.0118	24%	0	-100%	0.0118	24%	0.00259	0.0095
Cm-244	A SF		0.00793			0	0%	0.00123	-22%	0	0%	0.00123	-22%	0	0.00158
Cf-252	A SF		0.25158			0	-100%	0.00073	-77%	0	-100%	0.000726	-77%	0.272	0.00318

注：壊変形式、エネルギーは ICRP Publ 38 から

表 4 表面密度当たりの深さ 7 mg/cm² での吸収線量率 (汚染面積 : 100 cm²)

核種	壊変形式	エネルギー (MeV)		表面密度当たりの深さ7mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)																		
		最大	平均	JAERI-M 7354		Kocher		Cross		Faw		RPD β+γ	IAEA		Varskin 4.0		Varskin 5.3		Varskin 6.0			
				β		β		β		β			β		β	γ	β	γ	β	γ		
H-3	B-	0.0186	0.00567	0		0				0		0		0		0		0		0		
C-14	B-	0.15648	0.04945	0.308	3%	0.33	11%	0.314	5%	0.285	-5%	0.324		0.32	7%	0.302	1%	0.299	0%	0.299	0	
F-18	ECB+	0.6335	0.2416	2.18	45%	2.1	36%	1.673	11%	1.54	2%	1.95		1.9	23%	1.72	14%	1.56	3%	0.0308	4%	
Na-22	ECB+	1.8202	0.19406	1.89	36%	1.9	40%	1.549	11%	1.37	-1%	1.68		1.7	18%	1.53	10%	0.0509	7%	1.39	0%	
Na-24	B-	4.14493	0.55381	2.41	52%			1.723	9%			2.22		2.2	36%	1.76	11%	0.0435	1%	1.58	0%	
Al-26	ECB+	1.17342	0.44442									1.81		1.8	33%	1.47	12%	0.0501	6%	1.31	0%	
P-32	B-	1.71066	0.69477	2.46	54%	2.4	51%	1.745	10%	1.59	0%	1.89		1.9	19%	1.79	13%	0		1.59	0%	
P-33	B-	0.2485	0.07642			0.87	17%	0.824	11%	0.719	-3%	0.865		0.86	16%	0.843	14%	0		0.742	0%	
S-35	B-	0.16714	0.04872	0.336	7%	0.35	12%	0.337	7%	0.308	-2%	0.354		0.35	11%	0.328	4%	0		0.317	1%	
Cl-36	B-ECB+	0.7086	0.27319			1.9	34%	1.648	14%			1.78		1.8	24%	1.60	10%	0		1.45	0%	
K-40	B-ECB+	1.31109	0.52176			2.1	47%			1.39	-1%	1.65		1.5	7%	1.56	11%	0.00223	1%	1.40	0%	
K-42	B-	3.52545	1.43034	2.61	51%			1.892	9%			2.24		2.2	27%	2.00	16%	0.00377	0%	1.73	0%	
K-43	B-	1.815	0.30974					1.629	9%			1.86		1.9	25%	1.62	9%	0.0322	11%	1.49	0%	
Ca-45	B-	0.2568	0.0772	0.871	17%	0.88	18%	0.826	11%	0.719	-3%	0.838		0.84	13%	0.844	13%	0		0.746	0%	
Ca-47	B-	1.9919	0.3521					1.161	-22%							1.54	4%	0.0177	4%	1.48	0%	
Ca-47/Sc-47												3.51		3.5	26%							
Sc-46	B-	1.47741	0.11207			1.4	29%	1.193	13%	1.04	-2%	1.35		1.4	28%	1.16	9%	0.0390	3%	1.06	0%	
Sc-47	B-	0.6001	0.16241					1.408	10%			1.54		1.5	17%	1.38	8%	0.00639	11%	1.28	0%	
Cr-51	EC		0.00382			0						0.0149		0.015	14%	0		0.0181	37%	0		
Mn-52	ECB+	0.57582	0.07504					0.526	9%			0.757		0.76	37%	0.530	10%	0.0818	9%	0.480	0%	
Mn-54	ECB+B-	0.6971	0.0042			0	-100%					0.0622		0.062	95%	0	-100%	0.0380	19%	0	-100%	
Mn-56	B-	2.84874	0.82993					1.739	9%			2.35		2.4	48%	1.80	13%	0.0279	3%	1.59	0%	
Fe-52	ECB+	0.80356	0.19169					1.018	11%			1.07		1.1	15%	1.03	12%	0.0378	16%	0.929	1%	
Fe-55	EC		0.00416			0						0.0162		0.016	5%	0		0.0218	43%	0		
Fe-59	B-	1.5652	0.11788	1.30	28%	1.3	23%	1.131	11%	0.993	-3%	0.973		0.97	-7%	1.08	6%	0.0204	2%	1.02	0%	
Co-56	ECB+	1.45892	0.11983					0.549				0.549		0.55	45%	0.358	15%	0.0751	10%	0.325	5%	
Co-57	EC		0.01863			0.079	14%	0.0758	10%	0.0685	0%	0.119		0.12	10%	0	-100%	0.0523	31%	0.0686	0%	
Co-58	ECB+	1.2854	0.03395			0.32	32%	0.302	25%	0.240	-1%	0.297		0.30	8%	0.265	10%	0.0438	20%	0.244	1%	
Co-60	B-	1.49139	0.09686	1.12	20%	1.1	21%	1.035	11%	0.902	-3%	0.784		0.78	-20%	1.02	9%	0.0405	2%	0.933	0%	
Ni-63	B-	0.06695	0.01742			0						0		0		0		0		0		
Ni-65	B-	2.1362	0.62765									2.19		2.2	43%	1.70	11%	0.00855	1%	1.54	1%	
Cu-64	ECB+B-	0.6531	0.12475	0.700	-13%			0.870	8%			1.00		1.0	22%	0.865	7%	0.0170	28%	0.791	-2%	
Cu-67	B-	0.5617	0.15038					1.475	13%			1.32		1.3	-1%	1.38	6%	0.0101	17%	1.32	2%	
Zn-65	ECB+	0.3288	0.00687			0.026	18%	0.0240	8%	0.0228	2%	0.0757		0.076	48%	0.0251	13%	0.0352	21%	0.0234	5%	
Ga-66	ECB+	4.153	0.96337									1.62		1.6	53%	1.16	16%	0.0479	11%	1.02	2%	
Ga-67	EC		0.03633			0.30	3%	0.303	6%	0.274	-5%	0.351		0.35	9%	0	-100%	0.0411	25%	0.28	-2%	
Ga-68	ECB+	1.8991	0.73794	2.15	49%	2.2	51%	1.593	11%	1.45	1%	1.81		1.8	22%	1.66	15%	0.0334	12%	1.44	0%	
As-76	B-	2.962	1.06699					1.790	9%			2.14		2.1	27%	1.88	15%	0.0105	-5%	1.63	-1%	
Se-75	EC	0	0.01444			0.096	27%	0.0892	18%	0.0799	6%	0.143		0.14	20%	0	-100%	0.0492	19%	0.0765	1%	
Br-77	ECB+	0.3431	0.00937									0.0103		0.010	-86%	0.0445	5%	0.0347	18%	0.0403	-5%	
Br-82	B-	2.31608	0.14543	1.54	29%			1.296	9%			1.51		1.5	20%	1.27	7%	0.0603	6%	1.17	-2%	
Rb-86	B-EC	1.7742	0.66799	2.43	57%	2.3	47%	1.710	10%	1.55	0%	1.89		1.9	22%	1.74	12%	0.00173	4%	1.55	0%	
Sr-85	EC	0	0.0089			0.015		0.0090		0.0114		0.0595		0.060	93%	0		0.0363	17%	0		
Sr-89	B-	1.4951	0.58453	2.35	53%	2.3	48%	1.695	10%			1.78		1.8	17%	1.71	11%	0		1.54	0%	
Sr-90	B-	0.546	0.19572	1.90	42%	1.8	36%	1.478	10%	1.34	0%					1.48	10%	0		1.34	0%	
Sr-90/Y-90				4.43	49%							3.51		3.5	18%						2.97	0
Y-90	B-	2.2801	0.9331	2.49	55%	2.4	49%	1.775	10%	1.61	0%	2.03		2.0	24%	1.86	16%	0		1.61	0%	
Zr-95	B-	1.1248	0.11852	1.35	28%	1.4	29%	1.165	10%	1.03	-3%					1.13	7%	0.0184	7%	1.05	-1%	
Zr-95/Nb-95												1.57		1.6	19%						1.06	0.0172
Nb-95	B-	0.9256	0.04456	0.244	2%	0.26	10%	0.249	4%	0.228	-4%					0.24	0%	0.0186	6%	0.237	-1%	
Mo-99	B-	1.21452	0.39288			2.2	45%	1.596	7%							1.61	8%	0.00505	11%	1.49	0%	
Mo-99/Tc-99m												1.89		1.9	-30%						2.69	0.0112
Tc-99m	ITB-	0.43618	0.01618			0.24	13%	0.229	8%	0.194	-8%	0.246		0.25	14%	0	-100%	0.00841	12%	0.167	-21%	

(続き)

核種	壊変形式	エネルギー (MeV)		表面密度当たりの深さ7mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)																					
		最大	平均	JAERI-M 7354		Kocher		Cross		Faw		RPD β + γ	IAEA		Varskin 4.0			Varskin 5.3			Varskin 6.0				
				β	β	β	β	β	β	β	β		β	β	β	γ	β	β	γ	β	γ				
Tc-99	B-	0.2935	0.10125			0.98	-3%	1.022	1%	0.982	-3%	1.16		1.2	19%	1.13	12%	0		1.01	0%	0		1.01	0
Ru-103	B-	0.7634	0.06604			0.66	23%	0.622	16%	0.537	0%		0.784	0.78	41%	0.562	5%	0.0155	5%	0.581	8%	0.0140	-5%	0.536	0.0148
Ru-103/Rh-103m																								0.537	0.0162
Rh-103m	IT		0.03768			0										0	0.00179	26%	0		0.00145	2%	0	0.00142	
Ru-106	B-	0.0394	0.01003			0										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ru-106/Rh-106												2.24		2.2	28%									1.71	0.00508
Rh-106	B-	3.541	1.41114	2.62	52%	2.5	46%	1.878	9%						1.99	16%	0.00555	9%	1.72	0%	0.00507	0%		1.72	0.00508
Ag-110m	B-IT	1.46735	0.07576			0.54	25%	0.439	2%			0.676	0.68	40%	0.446	4%	0.0602	5%	0.411	-4%	0.0573	0%	0.430	0.0574	
Ag-111	B-	1.0368	0.35388									1.76	1.8	21%	1.63	9%	0.00116	14%	1.49	0%	0.00101	-1%	1.49	0.00102	
Cd-109	EC		0.0827			0	-100%	0.519	-1%	0.468	-11%	0.541	0.54	1%	0	-100%	0.0167	17%	0.514	-2%	0.0142	-1%	0.523	0.0143	
In-111	EC		0.03481			0.38	31%	0.328	14%	0.297	3%	0.378	0.38	19%	0	-100%	0.0366	12%	0.278	-3%	0.0324	-1%	0.287	0.0326	
In-113m	IT		0.13609			0.84	42%	0.506	-15%	0.582	-2%	0.730	0.73	20%	0	-100%	0.0127	9%	0.581	-2%	0.0112	-3%	0.595	0.0116	
In-115m	ITB-	0.83124	0.17484					0.970	5%			1.33	1.3	39%	1.08	17%	0.0108	14%	0.904	-2%	0.00934	-2%	0.923	0.00949	
Sn-125	B-	2.363	0.80369																						

(続き)

核種	壊変形式	エネルギー (MeV)		表面密度当たりの深さ7mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)																
		最大	平均	JAERI-M 7354	Kocher	Cross	Faw	RPD	IAEA	Varskin 4.0		Varskin 5.3		Varskin 6.0						
				β	β	β	β	β + γ	β + γ	β	γ	β	γ	β	γ					
U-235	A		0.053		0.13	110%		0.178	0.18	136%	0	-100%	0.0154	-8%	0.0600	1%	0.0135	-19%	0.0597	0.0167
U-238	A SF		0.00917		0.0018	1027%		0	0.0023	22%	0	-100%	0.00188	9%	0.0000772	-52%	0.00158	-8%	0.000162	0.00172
Pu-238	A SF		0.01068		0	-100%		0	0.0037	24%	0	-100%	0.00239	-1%	0	-100%	0.00202	-17%	0.000572	0.00242
Pu-239	A		0.00745		0	0%		0	0.0014	12%	0		0.000818	-35%	0		0.000692	-45%	0	0.00125
Am-241	A		0.0373		0.0025	-3%		0.0195	0.019	33%	0	-100%	0.0176	50%	0	-100%	0.0150	28%	0.00259	0.0117
Cm-244	A SF		0.00793		0	0%		0	0.0022	16%	0		0.00183	-3%	0		0.00155	-18%	0	0.00189
Cf-252	A SF		0.25158		0.00055	-100%		0	0.0032	-99%	0	-100%	0.00109	-80%	0	-100%	0.000930	-83%	0.323	0.00540

注：壊変形式，エネルギーは ICRP Publ 38 から。

注：Rb-86 は IAEA-TECDOC-1162 では Rb-87 と誤記されている。

表5 表面密度当たりの深さ 40 mg/cm²での吸収線量率 (汚染面積: 100 cm²)

核種	壊変形式	エネルギー (MeV)		表面密度当たりの深さ40mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)					
		最大	平均	Kocher and Eckerman		Cross		Varskin 6.0	
				β		β		β	γ
H-3	B-	0.0186	0.00567	0	0%			0	0
C-14	B-	0.15648	0.04945	0	0%	0	0%	0	0
F-18	ECB+	0.6335	0.2416	0.52	18%	0.455	2%	0.446	0.0325
Na-22	ECB+	1.8202	0.19406	0.38	17%	0.324	1%	0.321	0.0564
Na-24	B-	4.14493	0.55381			0.917	4%	0.882	0.0559
Al-26	ECB+	1.17342	0.44442					0.738	0.0564
P-32	B-	1.71066	0.69477	1.3	30%	1.002	4%	0.962	0
P-33	B-	0.2485	0.07642	0.0029	17%	0.0022	-9%	0.00243	0
S-35	B-	0.16714	0.04872	0	0%	0.000	0%	0	0
Cl-36	B-ECB+	0.7086	0.27319	0.54	2%	0.637	21%	0.528	0
K-40	B-ECB+	1.31109	0.52176	0.95	18%			0.801	0.0029
K-42	B-	3.52545	1.43034			1.237	1%	1.23	0.0049
K-43	B-	1.815	0.30974			0.607	6%	0.572	0.0306
Ca-45	B-	0.2568	0.0772	0.00365	3%	0.0031	-13%	0.00356	0
Ca-47	B-	1.9919	0.3521			0.569	3%	0.553	0.0221
Ca-47/Sc-47								0.762	0.0262
Sc-46	B-	1.47741	0.11207	0.0627	6%	0.058	-2%	0.059	0.0489
Sc-47	B-	0.6001	0.16241			0.213	2%	0.208	0.00406
Cr-51	EC		0.00382	0	0%			0	0.00198
Mn-52	ECB+	0.57582	0.07504			0.129	-2%	0.131	0.0835
Mn-54	ECB+B-	0.6971	0.0042	0	-100%			0.00000212	0.0245
Mn-56	B-	2.84874	0.82993			0.947	3%	0.923	0.0347
Fe-52	ECB+	0.80356	0.19169			0.390	3%	0.377	0.00259
Fe-55	EC		0.00416	0	0%			0	0.00239
Fe-59	B-	1.5652	0.11788	0.11	11%	0.0936	-3%	0.0962	0.0259
Co-56	ECB+	1.45892	0.11983					0.181	0.0720
Co-57	EC		0.01863	0	0%	0	0%	0	0.0117
Co-58	ECB+	1.2854	0.03395	0.050	12%	0.0429	-5%	0.0450	0.0303
Co-60	B-	1.49139	0.09686	0.029	4%	0.026	-5%	0.0275	0.0522
Ni-63	B-	0.06695	0.01742	0	0%			0	0
Ni-65	B-	2.1362	0.62765					0.804	0.0109
Cu-64	ECB+B-	0.6531	0.12475			0.214	0%	0.213	0.00805
Cu-67	B-	0.5617	0.15038			0.152	-29%	0.213	0.00805
Zn-65	ECB+	0.3288	0.00687	0.0011	13%	0.0009	-11%	0.0010	0.01920
Ga-66	ECB+	4.153	0.96337					0.729	0.0443
Ga-67	EC		0.03633	0	0%	0	0%	0	0.0144
Ga-68	ECB+	1.8991	0.73794	1.3	34%	0.974	4%	0.937	0.0313
As-76	B-	2.962	1.06699			1.101	2%	1.08	0.0150
Se-75	EC	0	0.01444	0.0033		0.0031		0	0.0242
Br-77	ECB+	0.3431	0.00937					0.00216	0.0186
Br-82	B-	2.31608	0.14543			0.134	-9%	0.148	0.0701
Rb-86	B-EC	1.7742	0.66799	1.1	28%	0.926	4%	0.889	0.00217
Sr-85	EC	0	0.0089	0.0083		0.0068		0	0.0247
Sr-89	B-	1.4951	0.58453	1.1	30%	0.895	4%	0.861	0
Sr-90	B-	0.546	0.19572	0.39	19%	0.333	2%	0.325	0
Sr-90/Y-90								1.36	0
Y-90	B-	2.2801	0.9331	1.4	32%	1.076	3%	1.04	0
Zr-95	B-	1.1248	0.11852	0.084	4%	0.086	6%	0.0812	0.0214
Zr-95/Nb-95								0.0837	0.0434
Nb-95	B-	0.9256	0.04456	0.0021		0	0%	0	0.0220
Mo-99	B-	1.21452	0.39288	0.81	24%	0.673	3%	0.652	0.00473
Mo-99/Tc-99m								0.680	0.0093
Tc-99m	ITB-	0.43618	0.01618	0	0%	0.000	0%	0	0.0052
Tc-99	B-	0.2935	0.10125	0.014	-43%	0.0194	-19%	0.0240	0
Ru-103	B-	0.7634	0.06604	0.024	320%	0.0277	385%	0.00571	0.0160
Ru-103/Rh-103m								0.00388	0.0166
Rh-103m	IT		0.03768	0	0%			0	0.000549
Ru-106	B-	0.0394	0.01003	0	0%			0	0
Ru-106/Rh-106								1.23	0.00575
Rh-106	B-	3.541	1.41114	1.6	30%	1.236	0%	1.23	0.00575
Ag-110m	B-IT	1.46735	0.07576	0.082	-2%	0.0743	-11%	0.0839	0.0719

(続き)

核種	壊変形式	エネルギー		表面密度当たりの深さ40mg/cm ² での吸収線量率 (mGy/h per kBq/cm ²)					
		最大	平均	Kocher and Eckerman		Cross		Varskin 6.0	
				β		β		β	γ
Ag-111	B-	1.0368	0.35388					0.642	0.000880
Cd-109	EC		0.0827	0	0%	0	0%	0	0.00783
In-111	EC		0.03481	0.013	34%	0.0122	30%	0.00938	0.0215
In-113m	IT		0.13609	0.40	12%	0.364	2%	0.356	0.0100
In-115m	ITB-	0.83124	0.17484			0.470	2%	0.462	0.00721
Sn-125	B-	2.363	0.80369					0.890	0.00703
Sb-122	B-ECB+	1.9786	0.56183			0.858	4%	0.826	0.0137
Sb-124	B-	2.30177	0.38311	0.63	23%	0.521	2%	0.510	0.0409
Sb-126	B-	1.8969	0.35449	0.52	1%			0.522	0.0819
Te-123m	IT		0.09899	0	0%			0	0.00755
Te-132	B-	0.24014	0.1108	0.0054	-23%	0.0066	-6%	0.00699	0.0124
I-123	EC		0.02818	0	-100%	0	-100%	0.000152	0.0098
I-124	ECB+	2.1376	0.19428					0.253	0.0298
I-125	EC		0.01923	0	0%			0	0.00791
I-131	B-	0.80687	0.19184	0.34	14%	0.301	0%	0.300	0.0126
Cs-131	EC		0.00635					0	0.00347
Cs-134	B-EC	1.45378	0.16388	0.31	16%	0.260	-2%	0.266	0.0456
Cs-137	B-	1.17563	0.18836	0.26	-8%	0.385	35%	0.286	0
Ba-133	EC		0.05531					0.0201	0.0181
Ba-137m	IT		0.06534	0.14	30%			0.105	0.0185
Cs-137/Ba-137m								0.393	0.0175
Ba-140	B-	1.01703	0.32022	0.57	14%	0.489	-2%	0.499	0.00714
Ba-140/La-140								1.34	0.0543
La-140	B-	3.7619	0.53455	1.0	25%	0.852	2%	0.837	0.0471
Ce-139	EC		0.0355					0.000308	0.00870
Ce-141	B-	0.5807	0.17103	0.18	9%	0.169	1%	0.168	0.00321
Ce-143	B-	1.4614	0.43636	0.88	24%			0.710	0.0119
Pr-143	B-	0.9339	0.315	0.71	22%	0.603	4%	0.581	0
Pm-147	B-	0.2246	0.06193	0.00041	-22%	0.0002	-62%	0.000525	0
Sm-153	B-	0.8082	0.26987			0.399	2%	0.393	0.00380
Eu-152	ECB+B-	1.47452	0.12856	0.17	14%			0.150	0.0293
Eu-154	B-EC	1.84533	0.27301	0.38	19%	0.396	25%	0.316	0.0299
Eu-156	B-	2.451	0.45788			0.472	-6%	0.503	0.0234
Er-169	B-	0.3509	0.10346					0.0410	0
Yb-169	EC		0.14713	0.0044		0.0025		0	0.0217
Re-186	B-EC	1.0695	0.33624			0.599	3%	0.579	0.00103
Re-188	B-	2.1204	0.77934			1.001	4%	0.960	0.00183
Ir-192	B-EC	0.67512	0.21769	0.39	12%	0.305	-12%	0.347	0.0274
Au-198	B-	1.37239	0.3277	0.73	20%	0.631	3%	0.610	0.0131
Hg-197	EC		0.07024					0	0.0100
Hg-203	B-	0.4918	0.09895	0.042	28%	0.0324	-2%	0.0329	0.0107
Tl-201	EC		0.04469	0	0%	0	0%	0	0.00980
Tl-204	B-EC	0.7637	0.23721	0.57	35%	0.420	-1%	0.423	0
Pb-210	B-A	0.0631	0.04039	0	0%			0	0.00336
Po-210	A		0	0	0%			0	0
U-235	A		0.053	0.000033				0	0.00943
U-238	A SF		0.00917	0	0%			0	0.000769
Pu-238	A SF		0.01068	0	0%			0	0.00104
Pu-239	A		0.00745	0	0%			0	0.000426
Am-241	A		0.0373	0	0%			0	0.00542
Cm-244	A SF		0.00793	0	0%			0	0.000778
Cf-252	A SF		0.25158	0	-100%			0.224	0.00559

表 6 MCNP と VARSKIN による ^{137}Cs 及び $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の深さ $70\text{ }\mu\text{m}$ における β 線及び電子線吸収線量率の比較（面積 1 cm^2 の一様な 1 kBq/cm^2 の汚染）

核種	深さ $70\text{ }\mu\text{m}$ における吸収線量率(mGy/h)				
	MCNP 4.3	VARSKIN*			
		Version 3.0	Version 4.0	Version 5.3	Version 6.0
^{137}Cs	1.26	1.35	1.35	1.26	1.26
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	0.15	0.00	0.00	0.14	0.14
$^{137}\text{Cs}+^{137\text{m}}\text{Ba}$	1.41	1.35	1.35	1.40	1.40

* VARSKIN 3.0 は、DOS で作動していた VARSKIN 2 を GUI 化したものであり、核データは ICRP Publ. 38 に基づく（それ以前はユーザーが入力した最大エネルギーや分岐比を基にプログラム内で計算）。 β 線・電子の計算アルゴリズムは従来そのままとされ、ただし、単純な体系での γ 線による線量計算機能が追加された。VARSKIN 4.0 では、 γ 線による線量計算機能が拡張された。VARSKIN 5.3 は、転換電子・オーグメント電子放出核種に対する計算処理の見直し途中のものである。

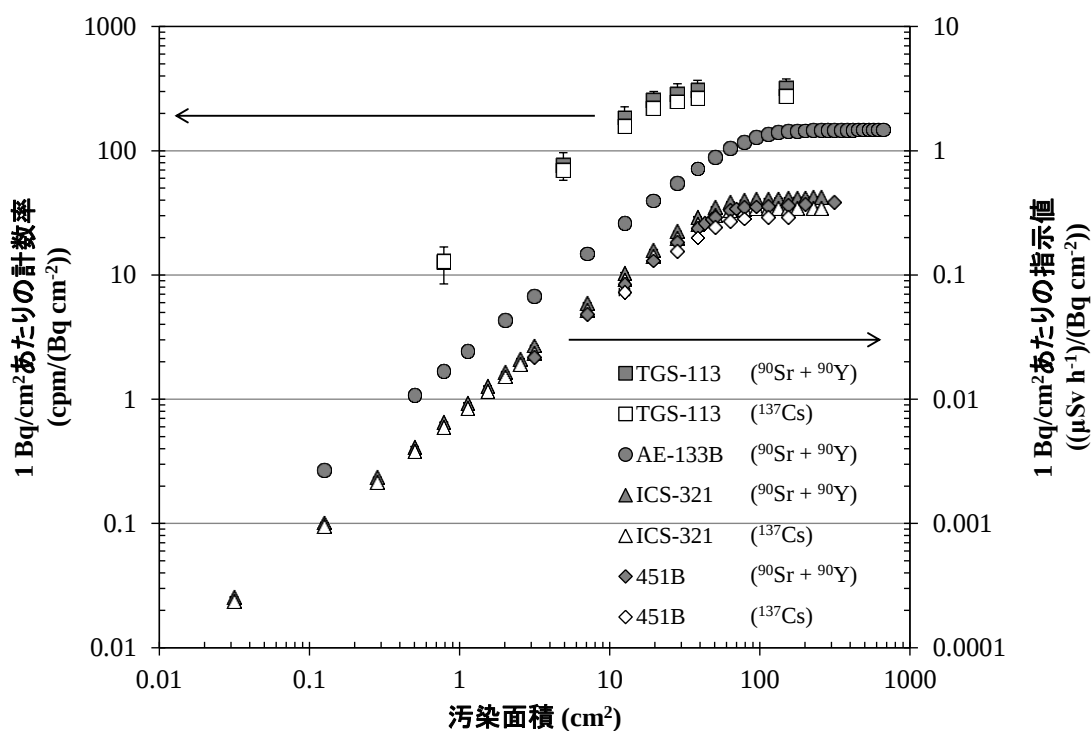


図 1 汚染面積と放射能密度当たりのサーベイメータ指示値の関係
($^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$: 合計 1 Bq/cm^2 , ^{137}Cs : 1 Bq/cm^2)

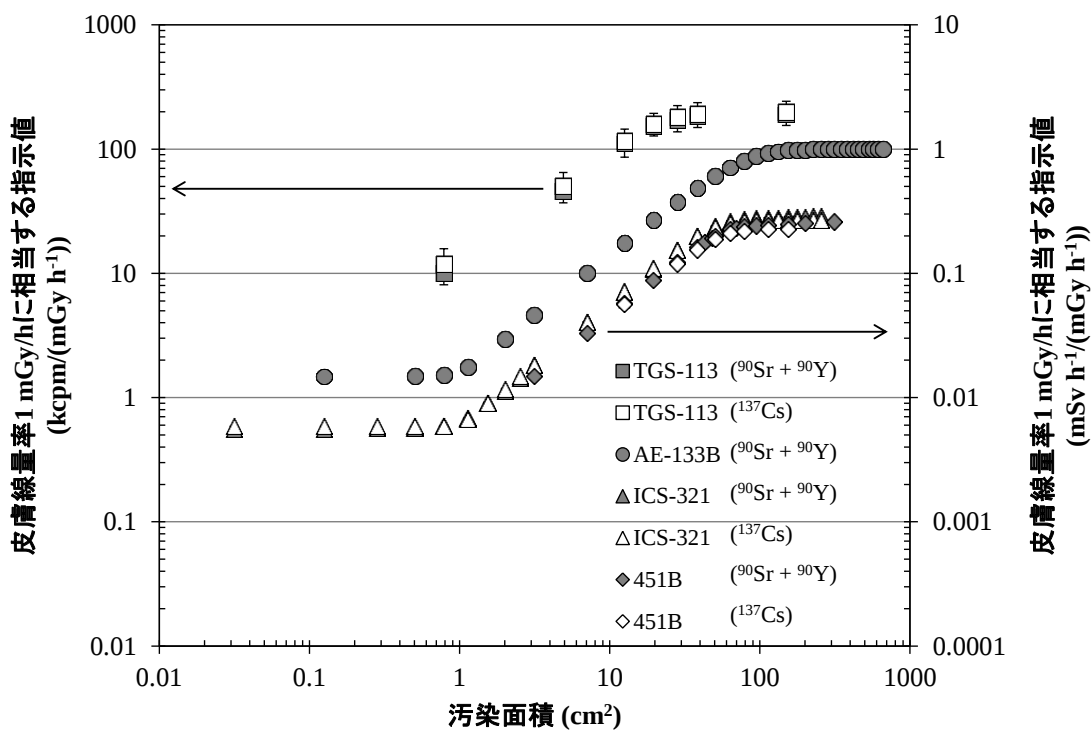


図 2 汚染面積と皮膚線量率 1 mGy/h に相当するサーベイメータ指示値の関係

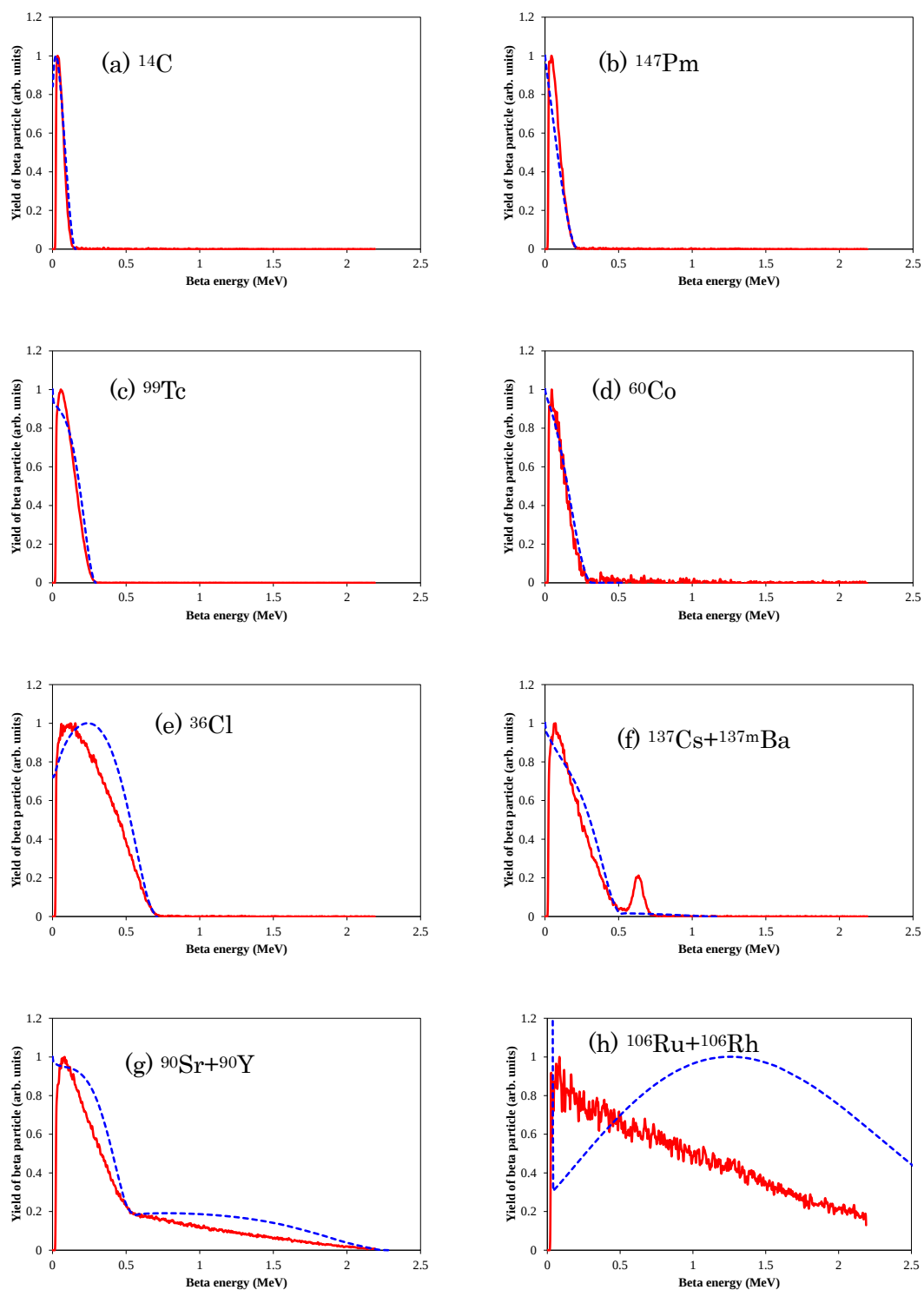


図 3 β 線スペクトロメータのパルス波高スペクトル (実線) vs 理論スペクトル (破線)

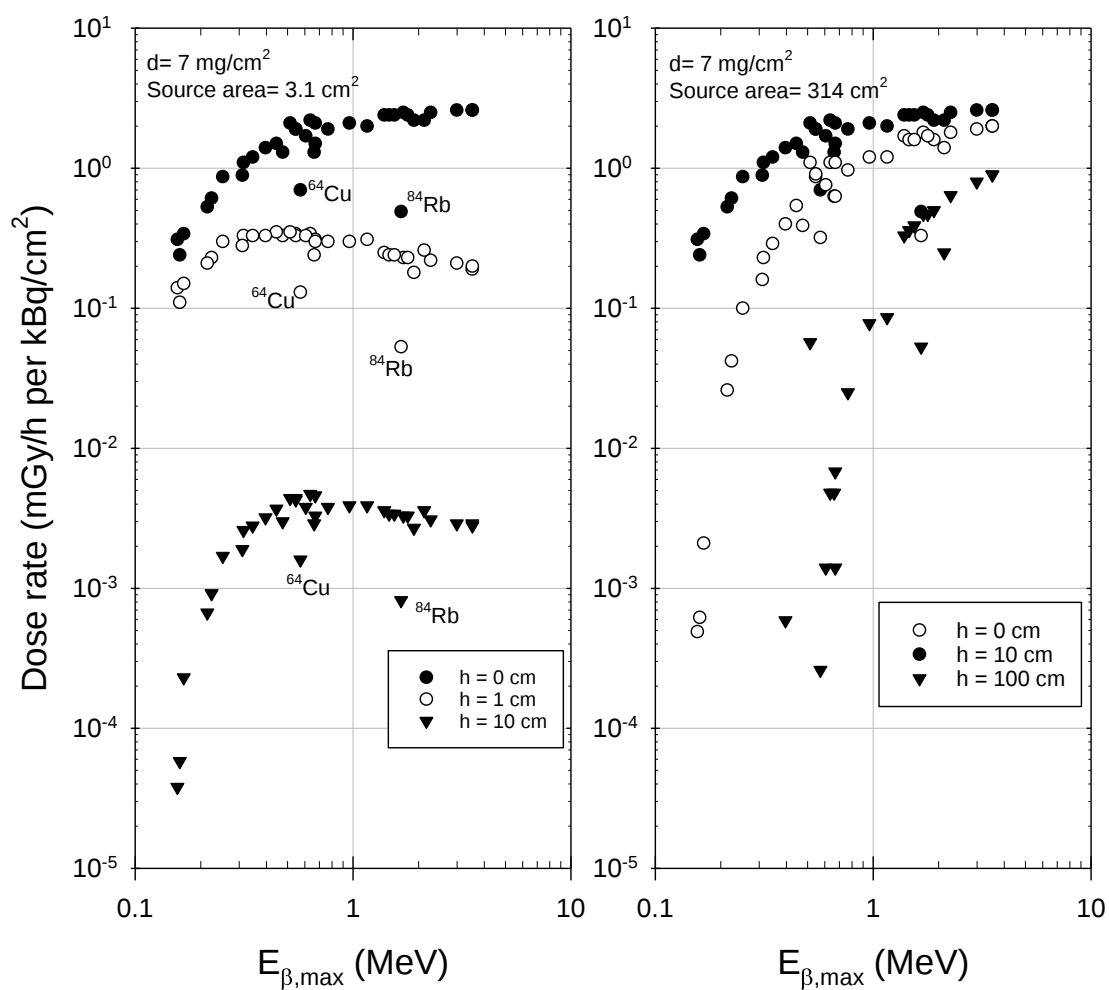


図4 β 線最大エネルギーと深さ 7 mg/cm^2 での β ・電子線吸収線量率の関係
 h は、汚染源と皮膚表面の距離であり、 $h=0$ は、表面汚染に相当する。
 線源サイズは、左： 3.1 cm^2 （半径 1 cm ）、右： 314 cm^2 （半径 10 cm ）である。
 （出典：JAERI-M 7354）

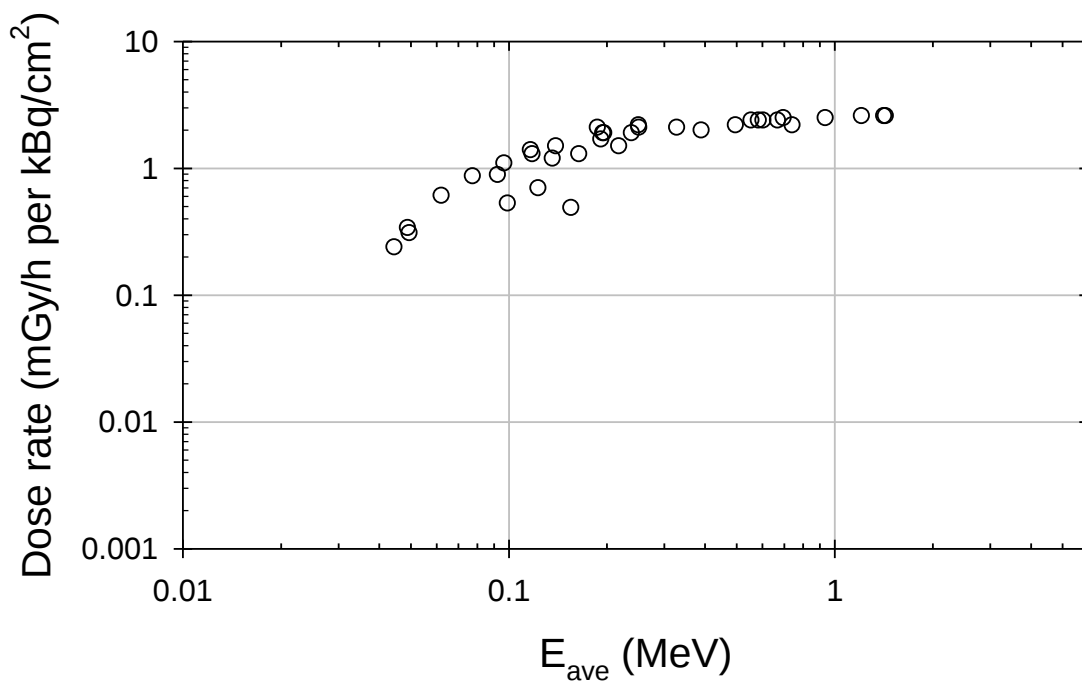
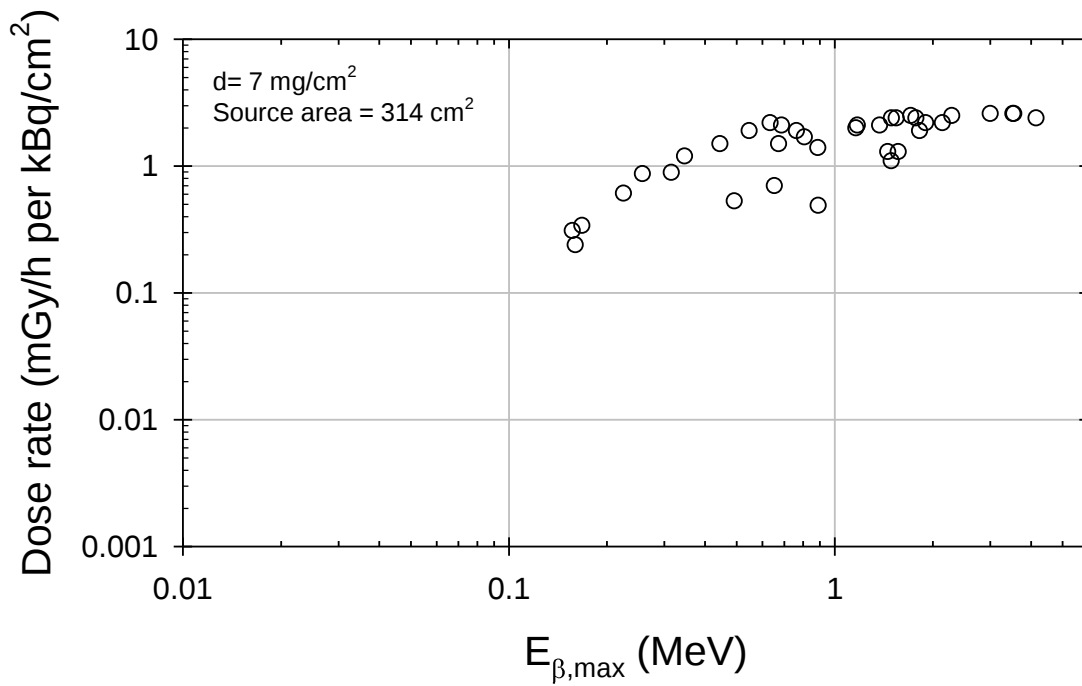


図 5 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm²での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 314 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，JAERI-M 7354)

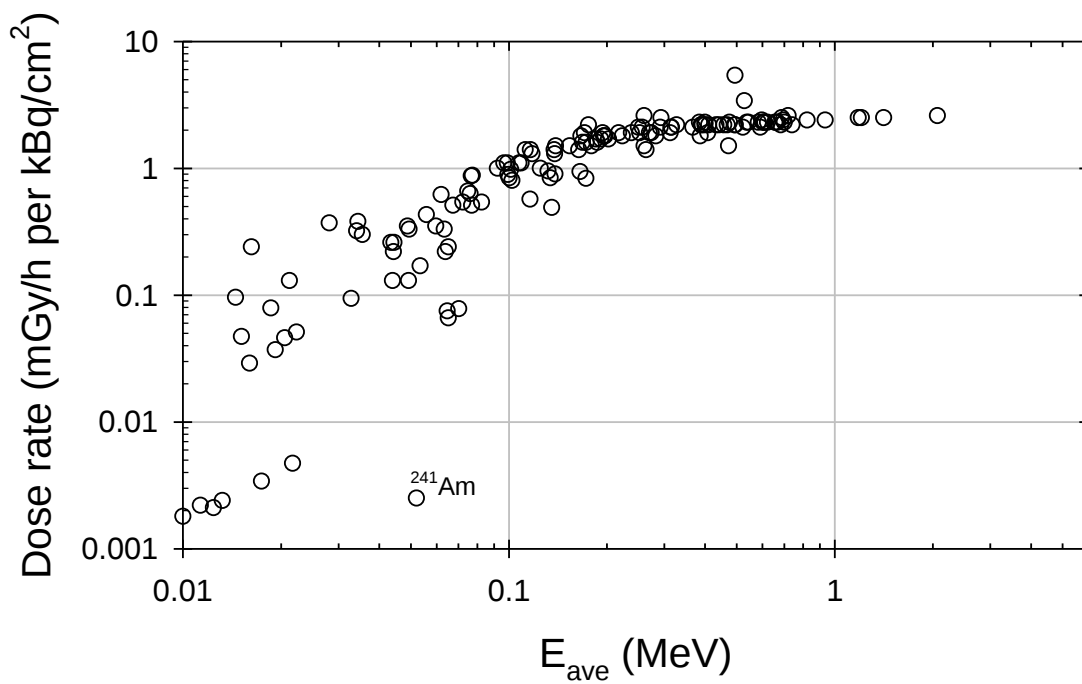
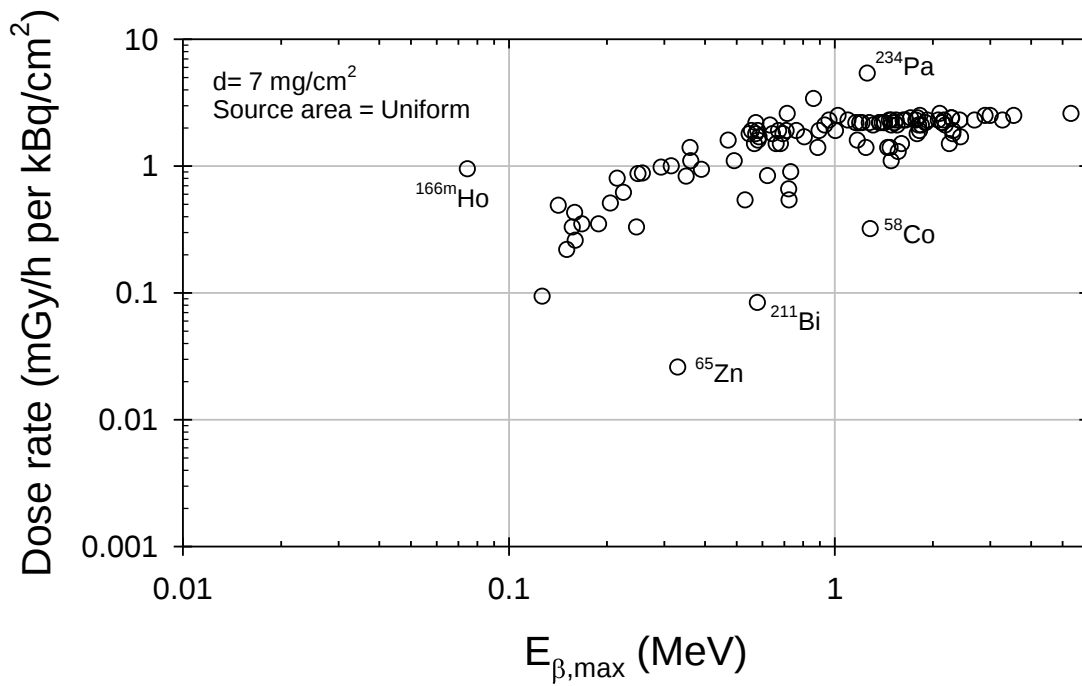


図6 単位皮膚表面密度（1 kBq/cm²）当たりの深さ 7 mg/cm²での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー（上図）及び平均電子エネルギー（下図）の関係（一様な広い汚染）

（出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，Kocher and Eckerman, 1987）

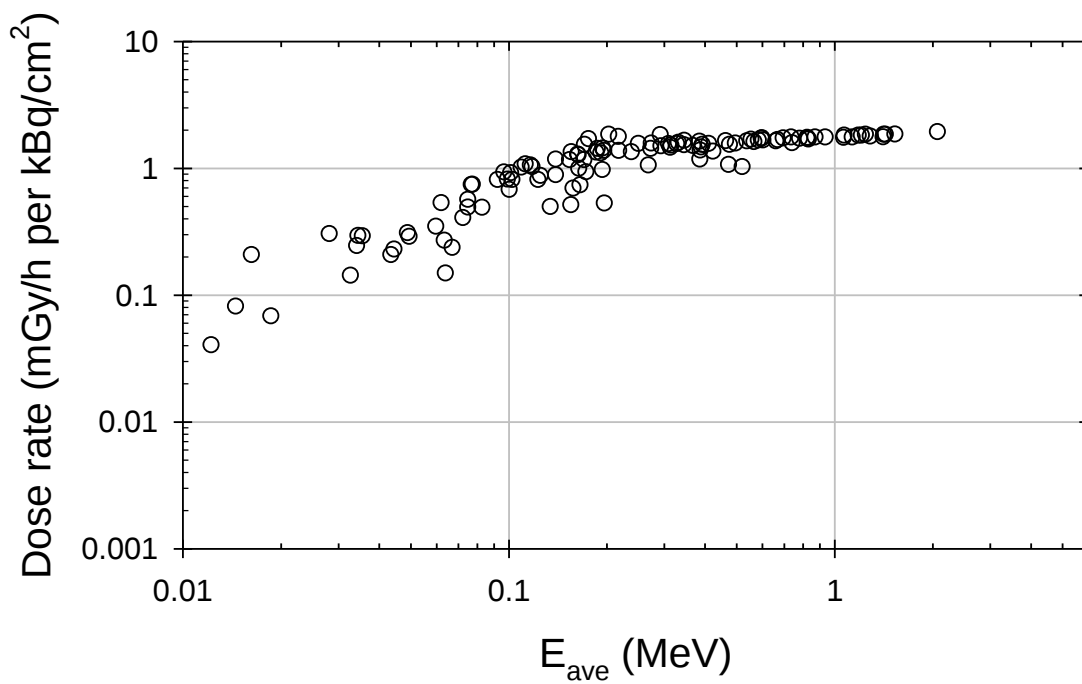
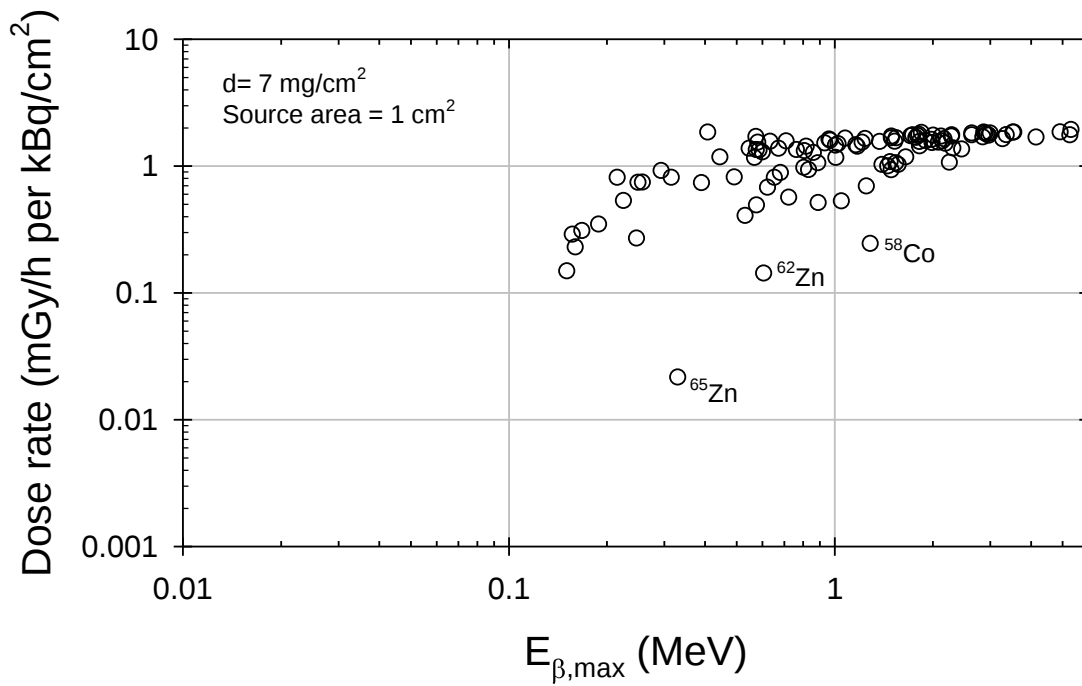


図 7 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm²での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 1 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，Cross et al., 1992)

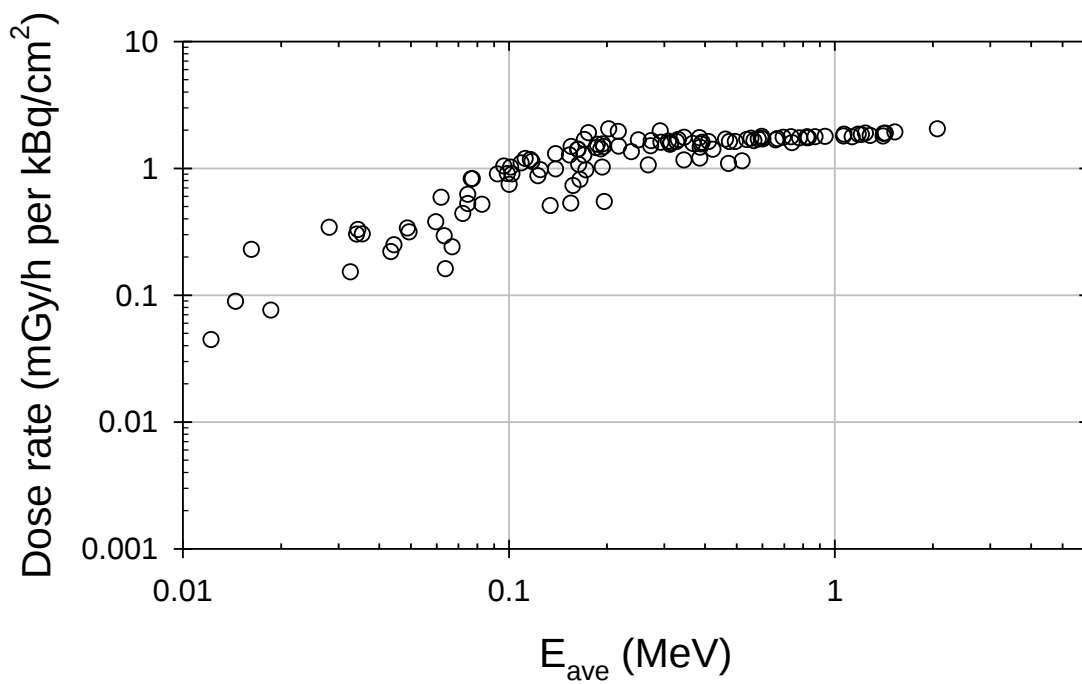
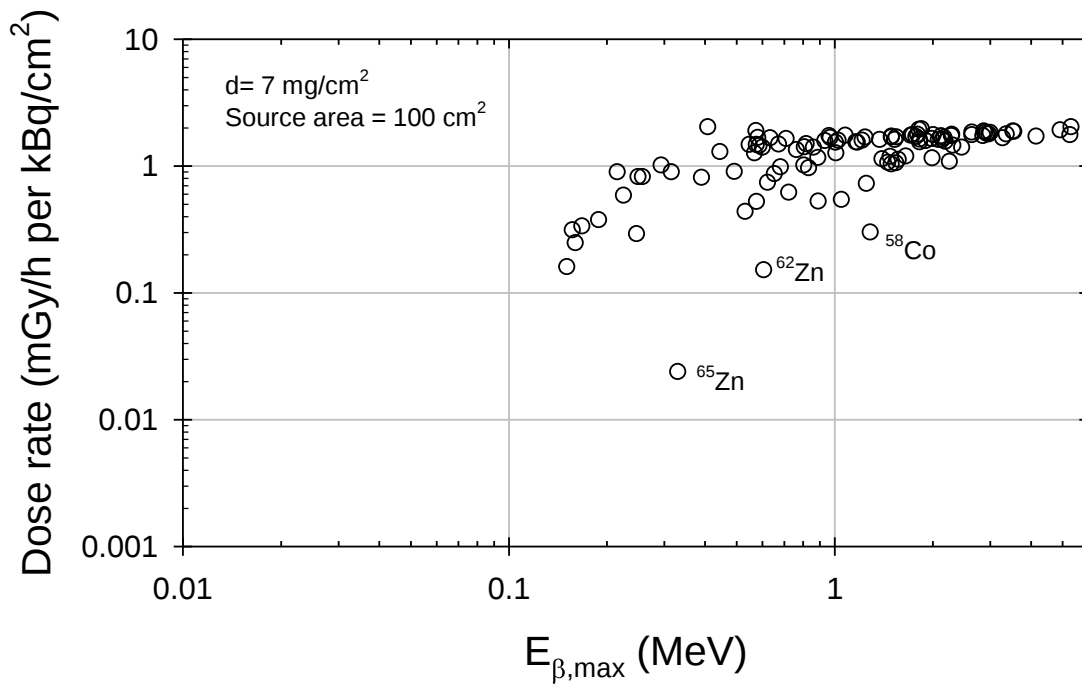


図 8 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 100 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，Cross et al., 1992)

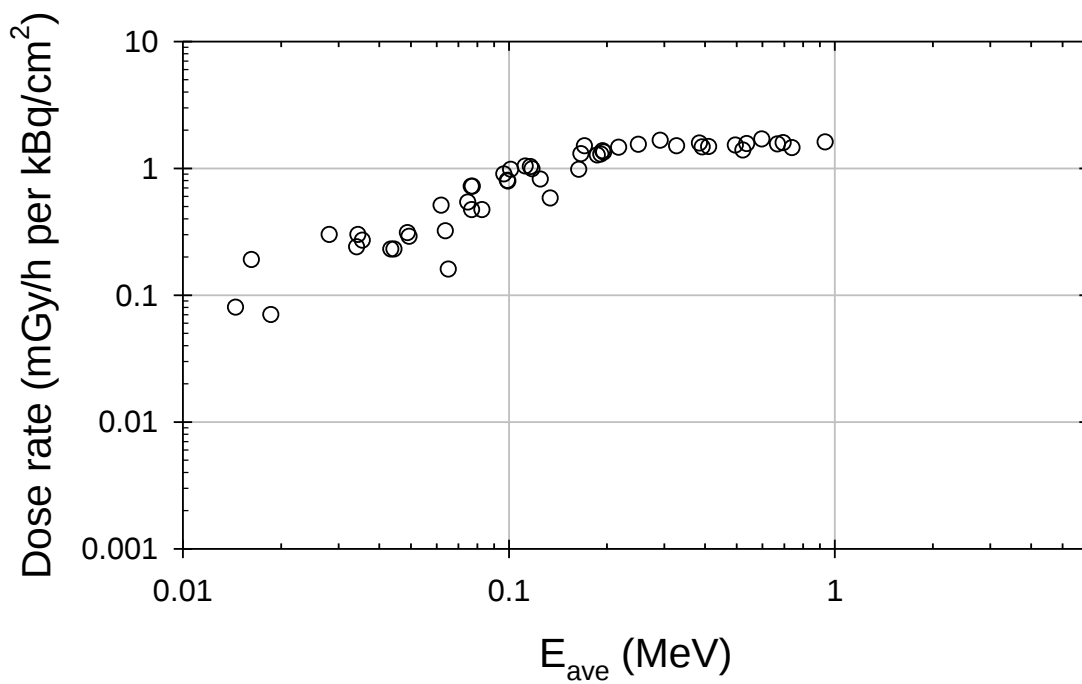
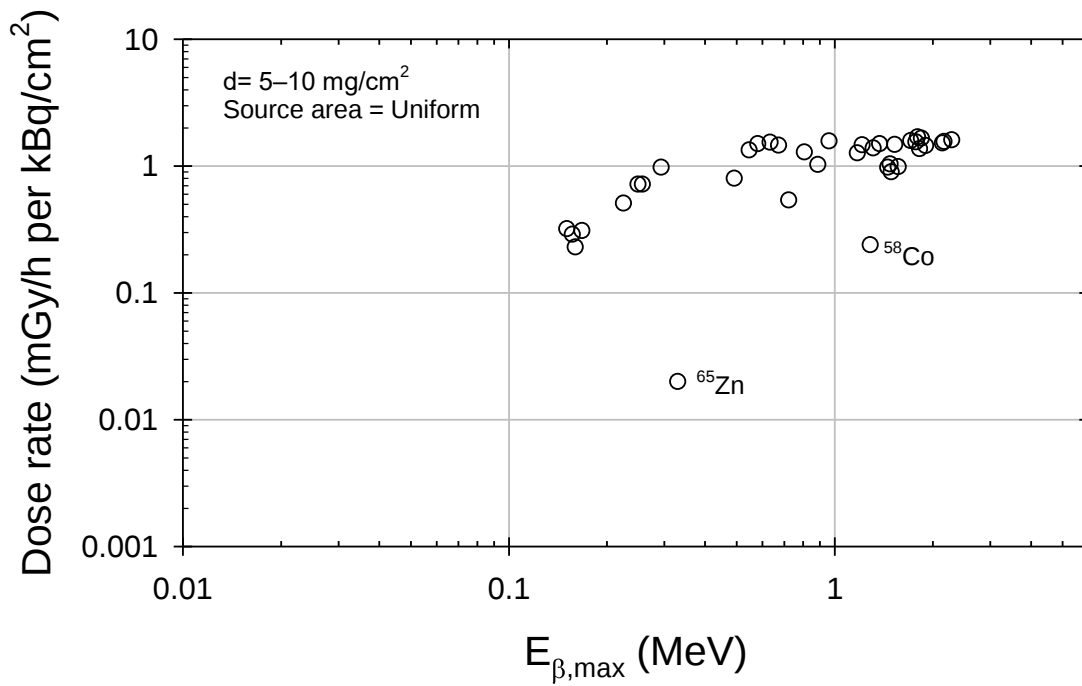


図9 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 5–10 mg/cm²での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 100 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，Faw, 1992)

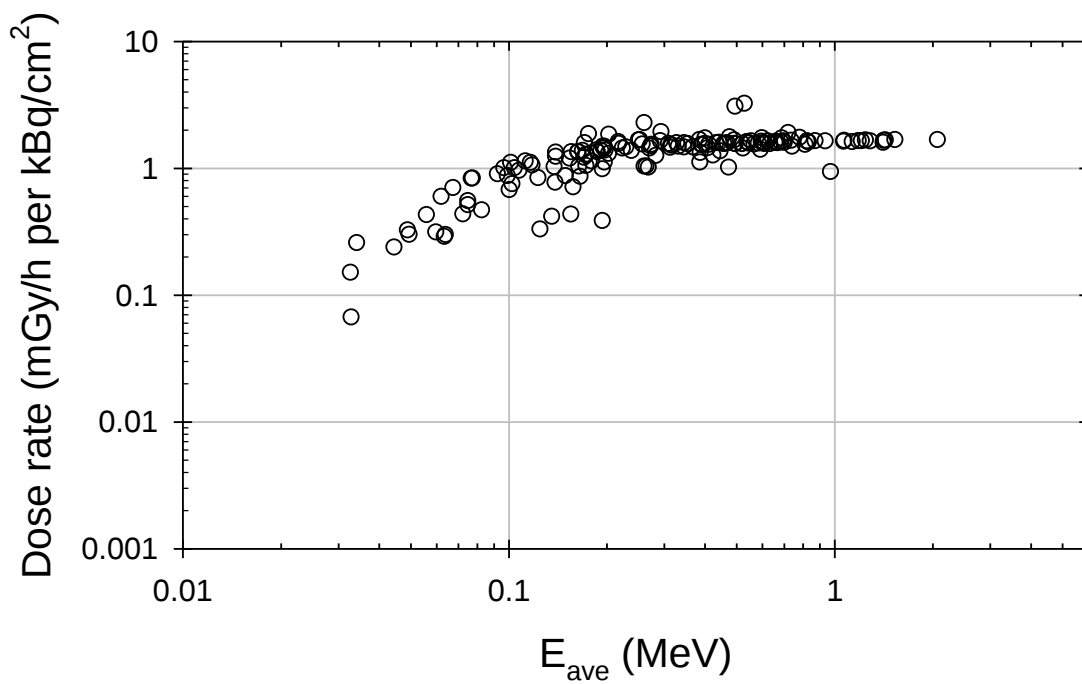
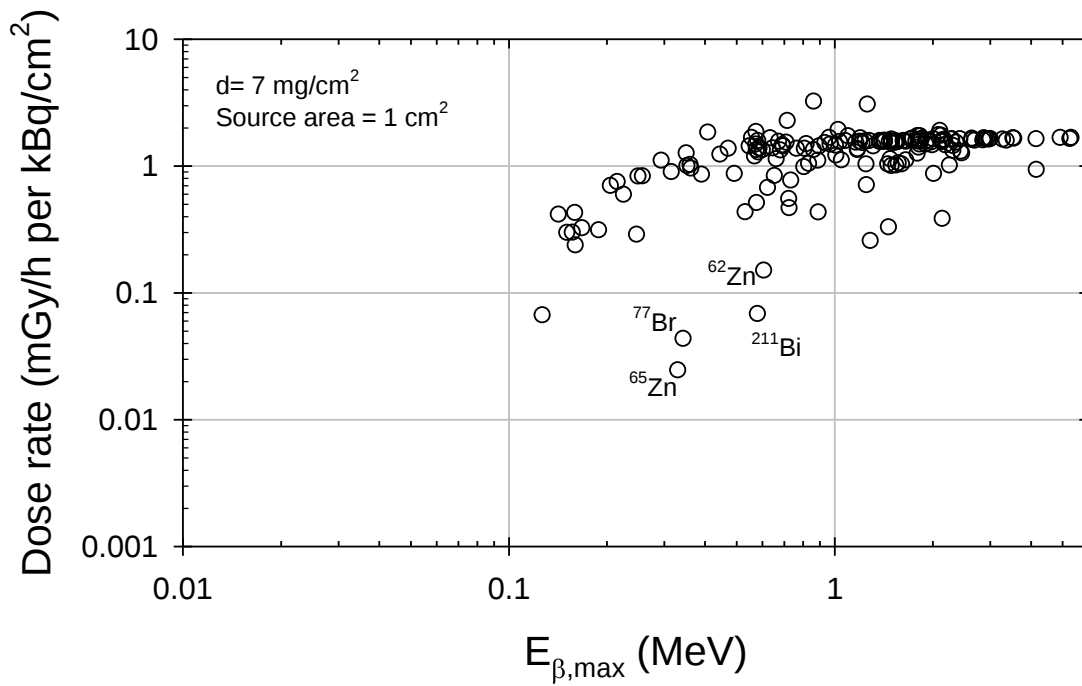


図 10 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 1 cm²)

(出典：エネルギーは、ICRP Publ. 38, 線量率は、VARSKIN 4.0)

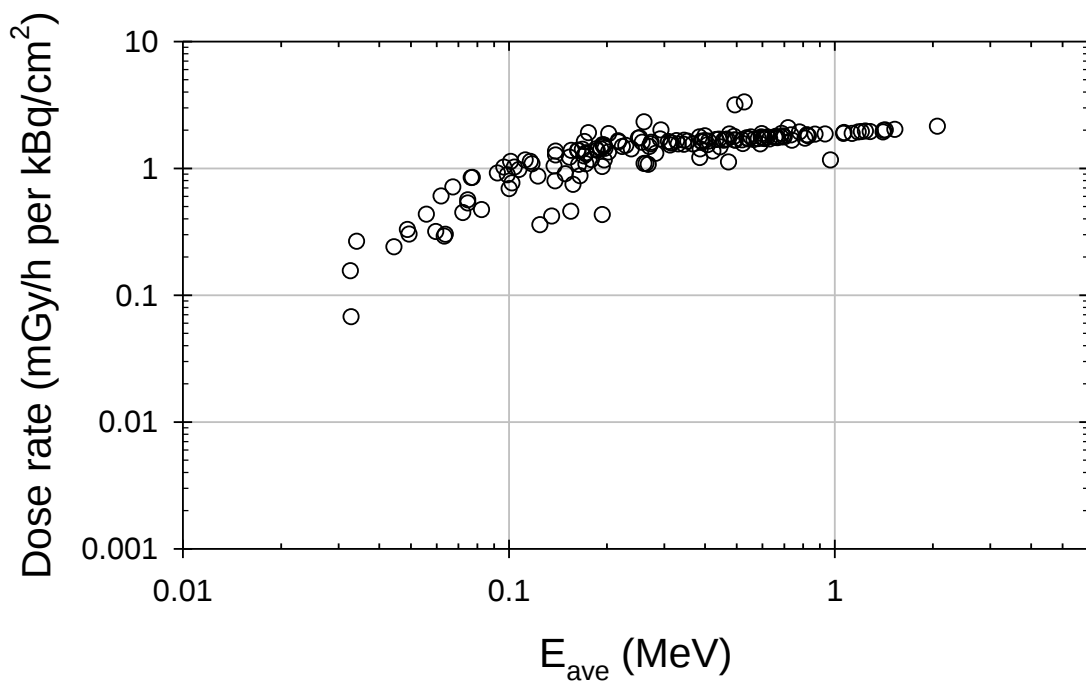
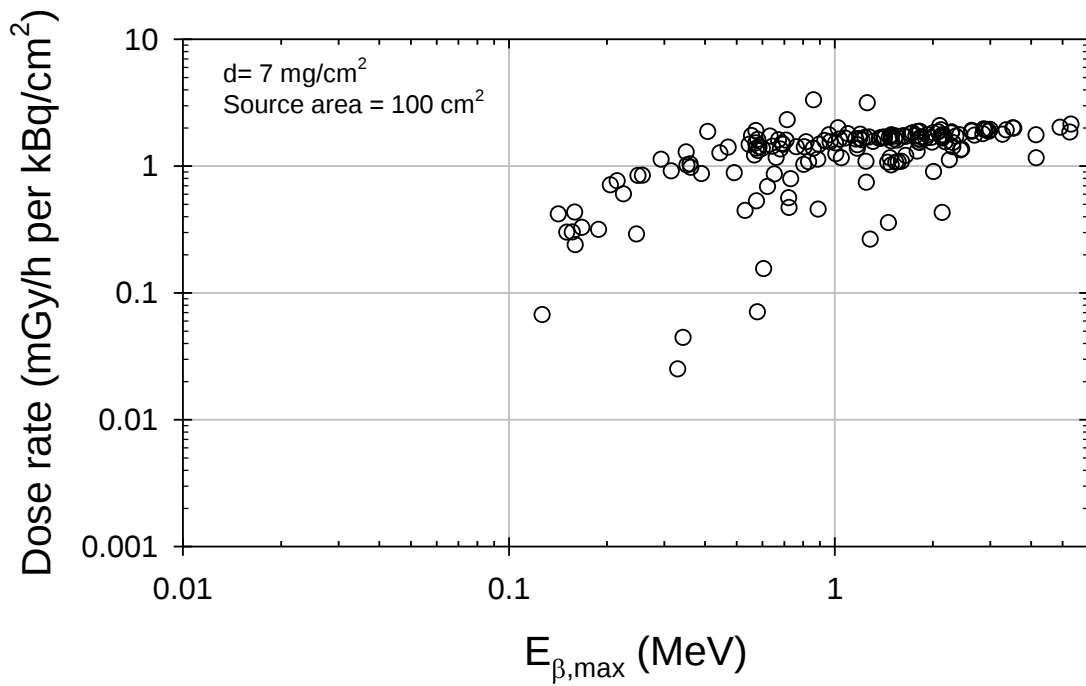


図 11 単位皮膚表面密度（1 kBq/cm²）当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー（上図）及び平均電子エネルギー（下図）の関係（汚染面積 100 cm²）

（出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，VARSKIN 4.0）

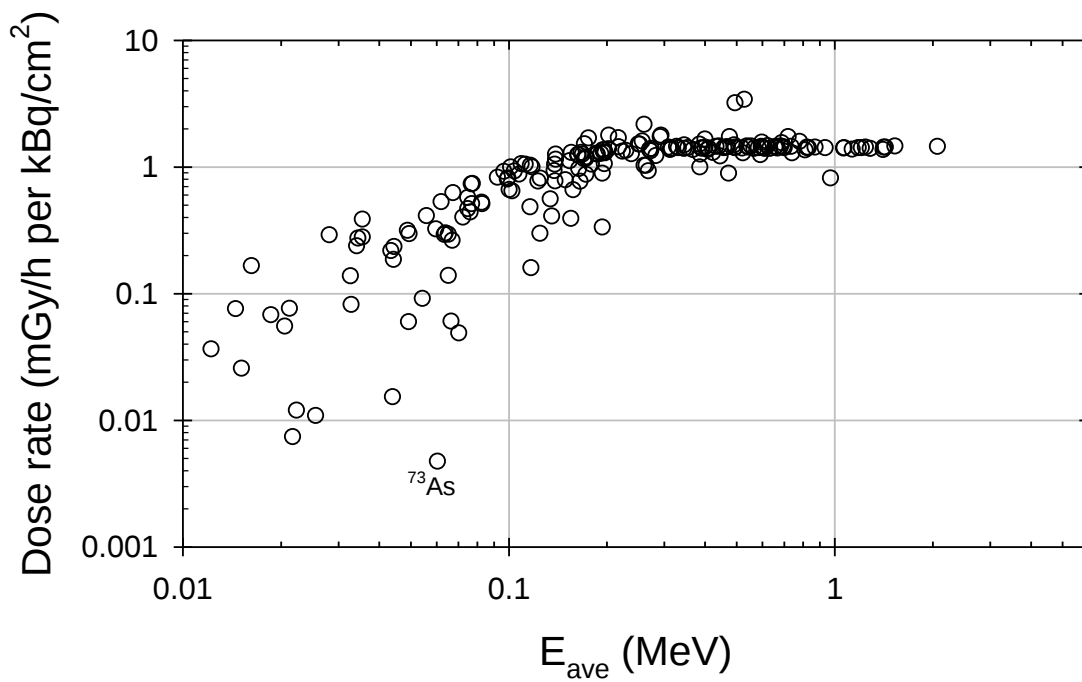
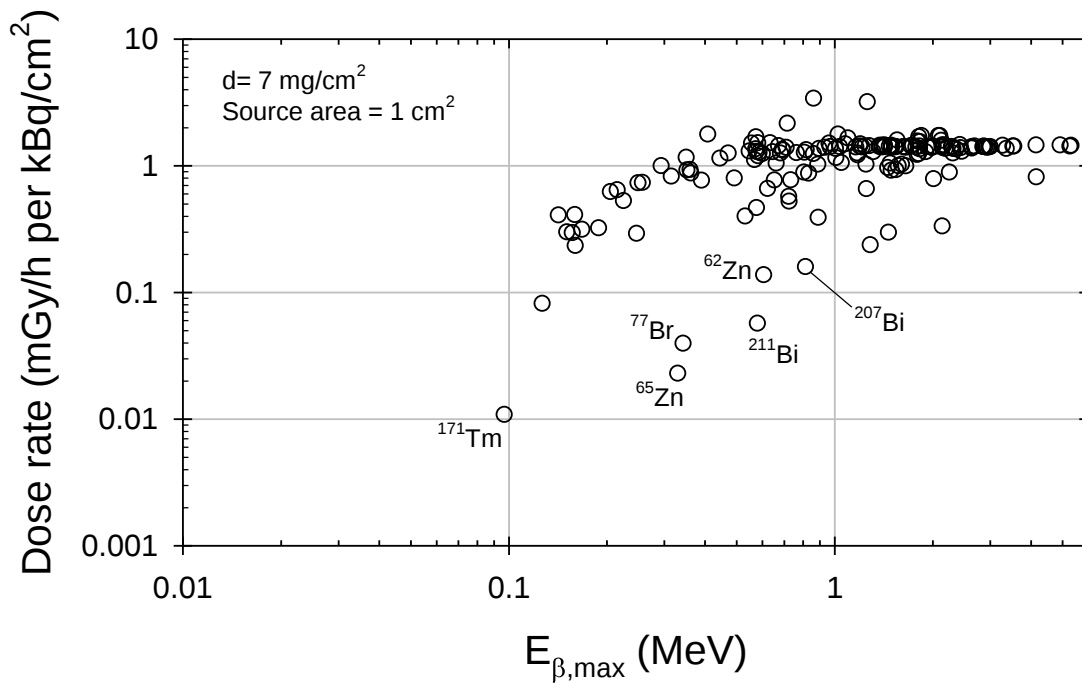


図 12 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 1 cm²)

(出典：エネルギーは、ICRP Publ. 38, 線量率は、VARSKIN 5.3)

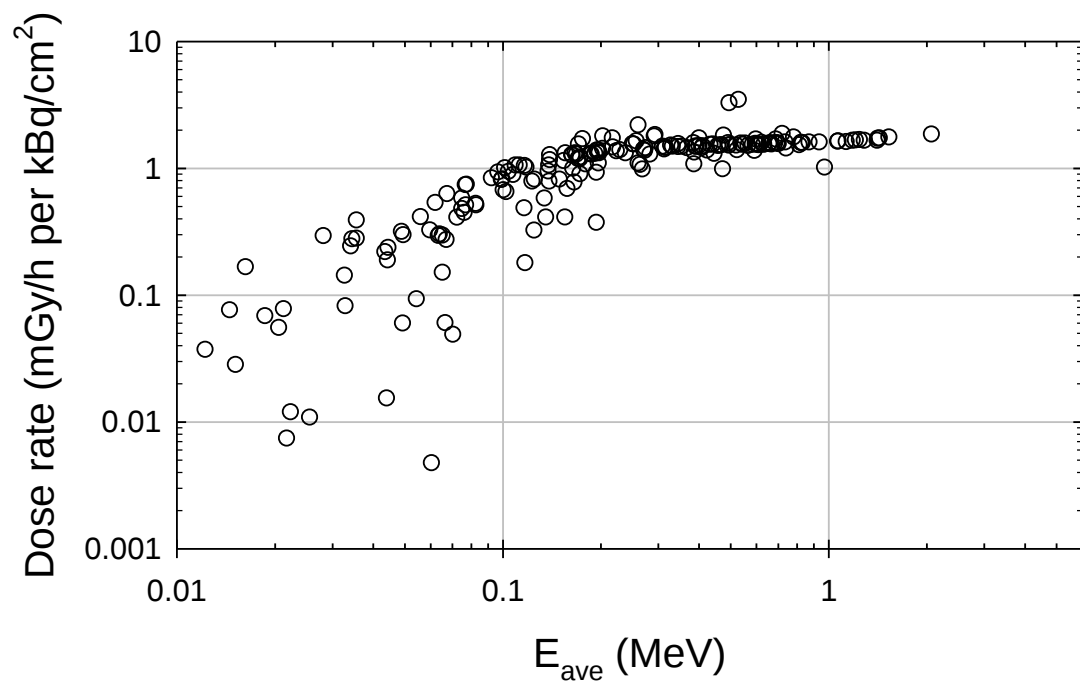
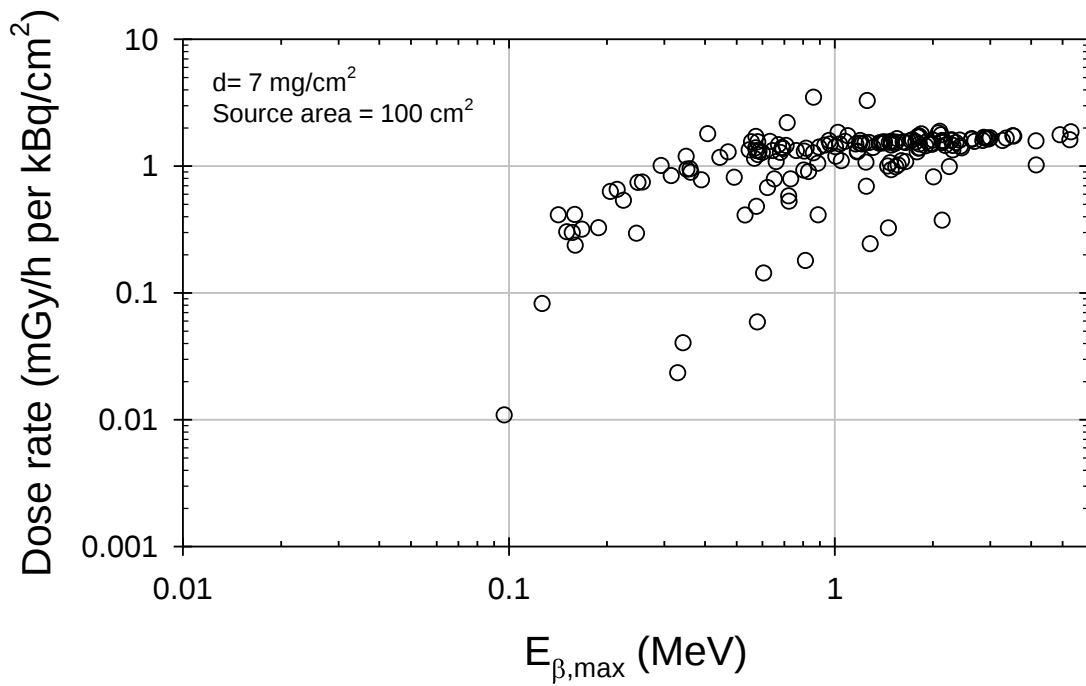


図 13 単位皮膚表面密度（1 kBq/cm²）当たりの深さ 7 mg/cm²での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー（上図）及び平均電子エネルギー（下図）の関係（汚染面積 100 cm²）

（出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，VARSKIN 5.3）

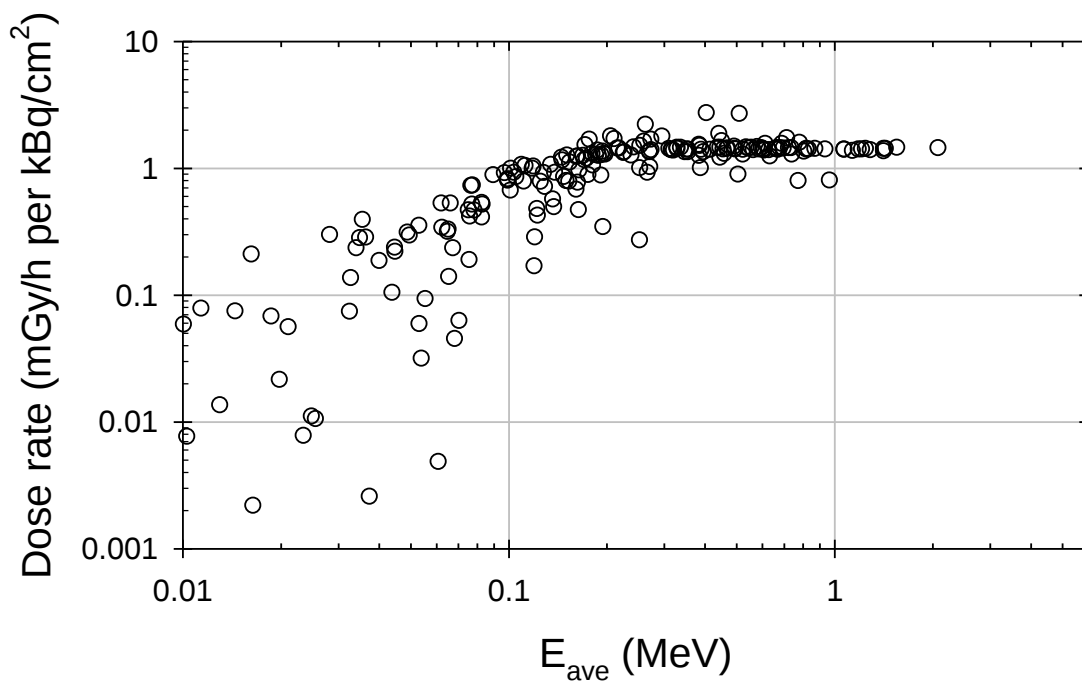
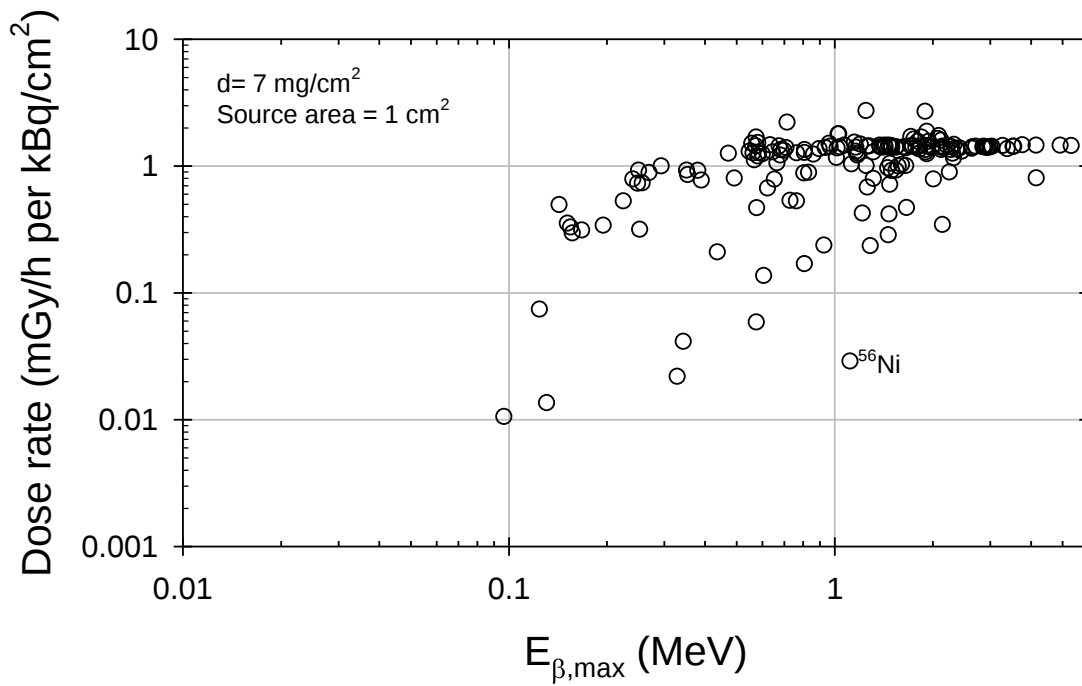


図 14 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 1 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 107，線量率は，VARSKIN 6.0)

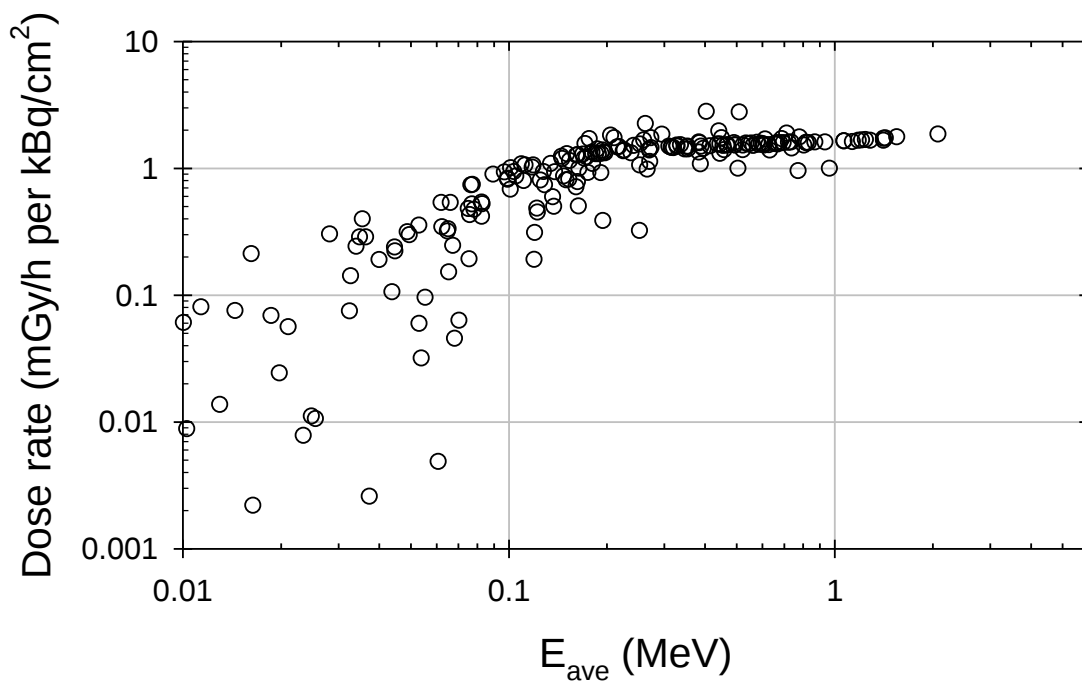
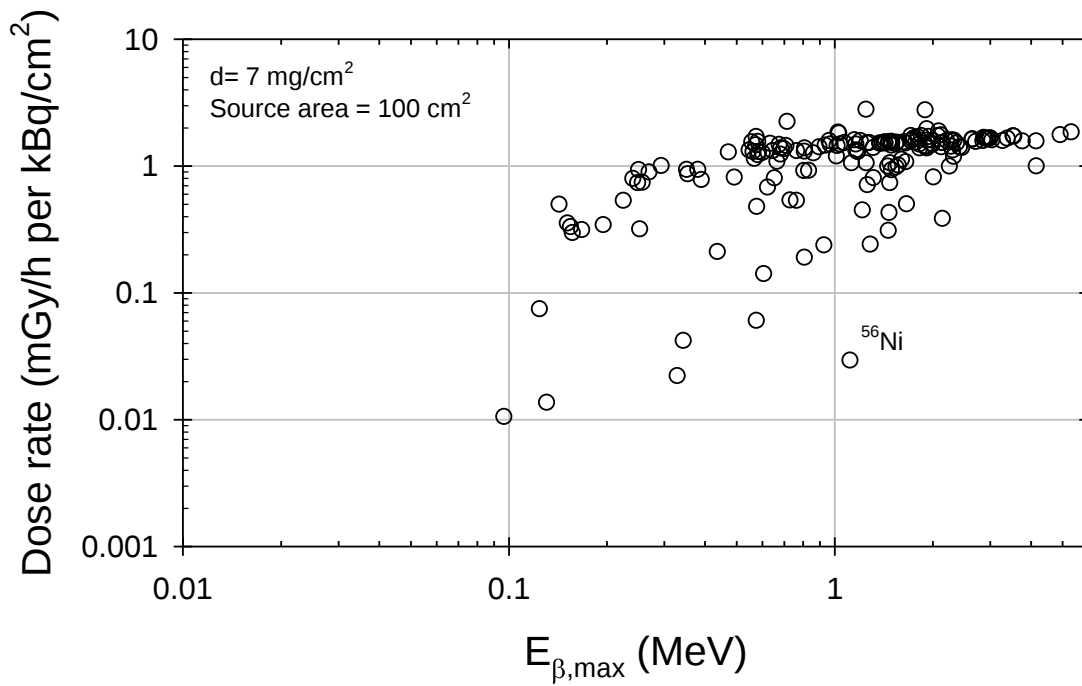


図 15 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 100 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 107，線量率は，VARSKIN 6.0)

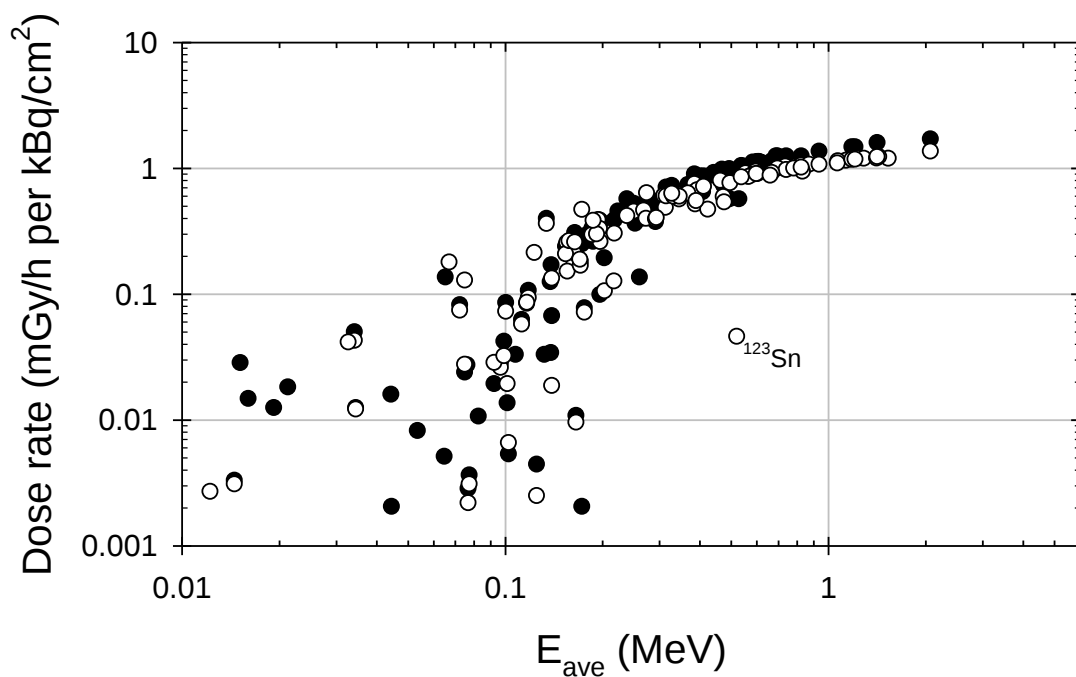
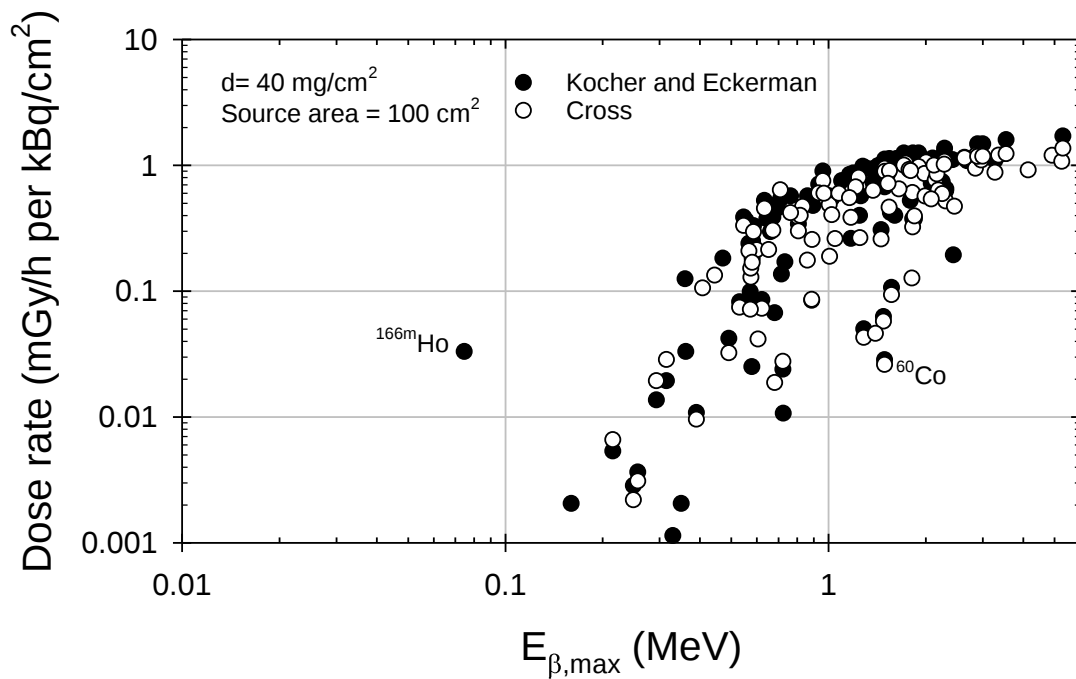


図 16 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 40 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 100 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 38，線量率は，Kocher と Cross)

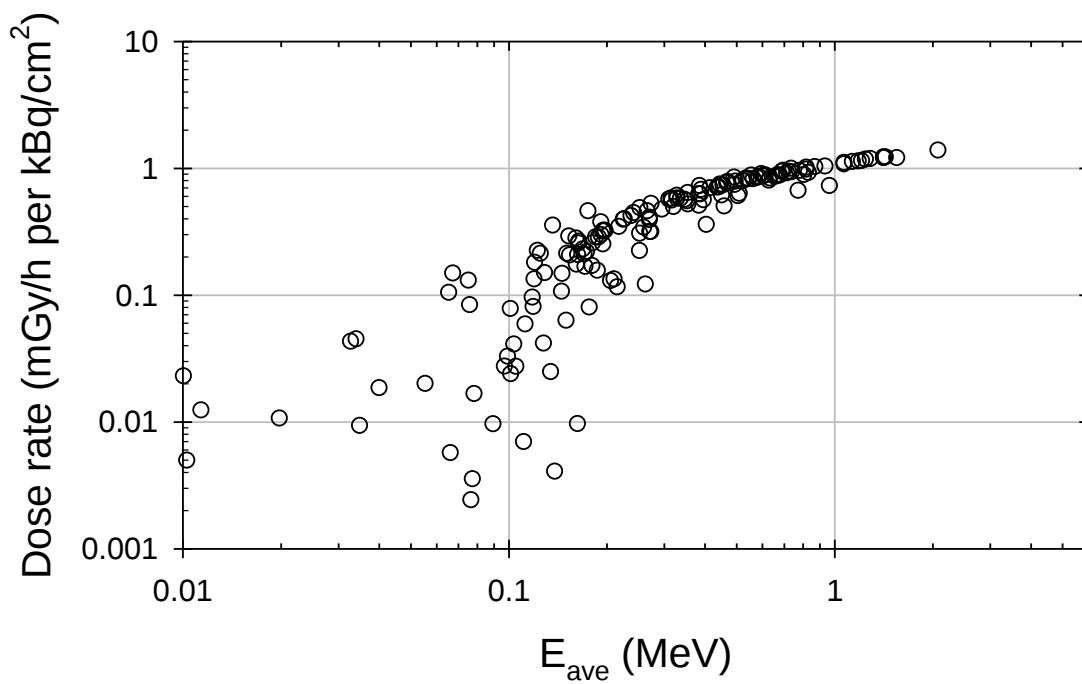
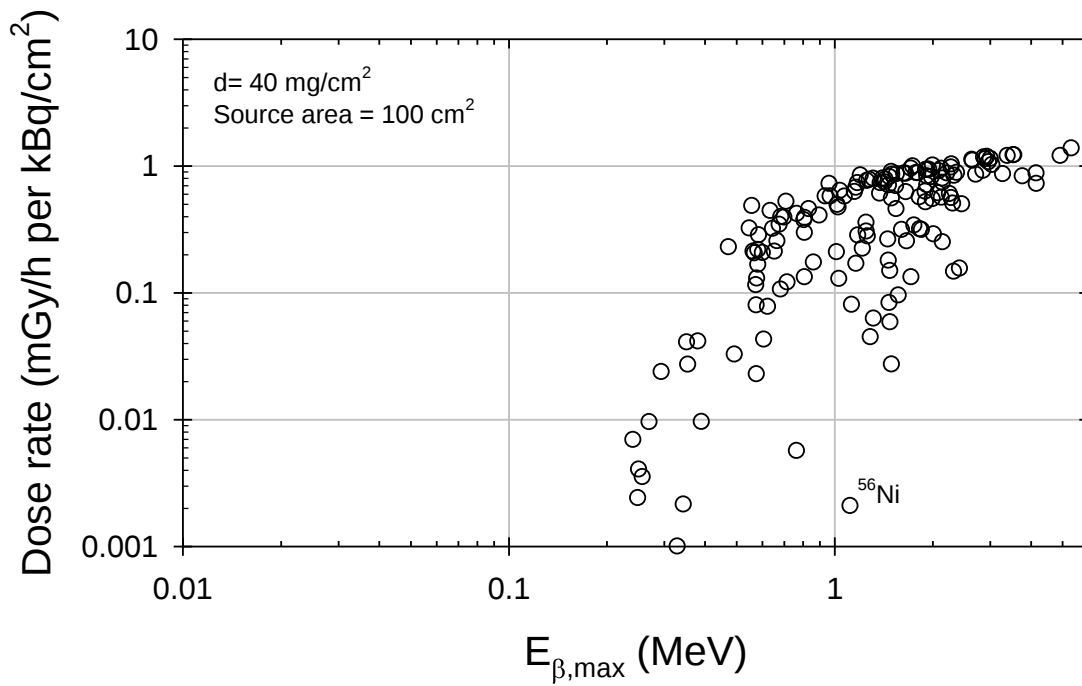


図 17 単位皮膚表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 40 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率と β 線最大エネルギー (上図) 及び平均電子エネルギー (下図) の関係 (汚染面積 100 cm²)

(出典：エネルギーは，ICRP Publ. 107，線量率は，VARSKIN 6.0)

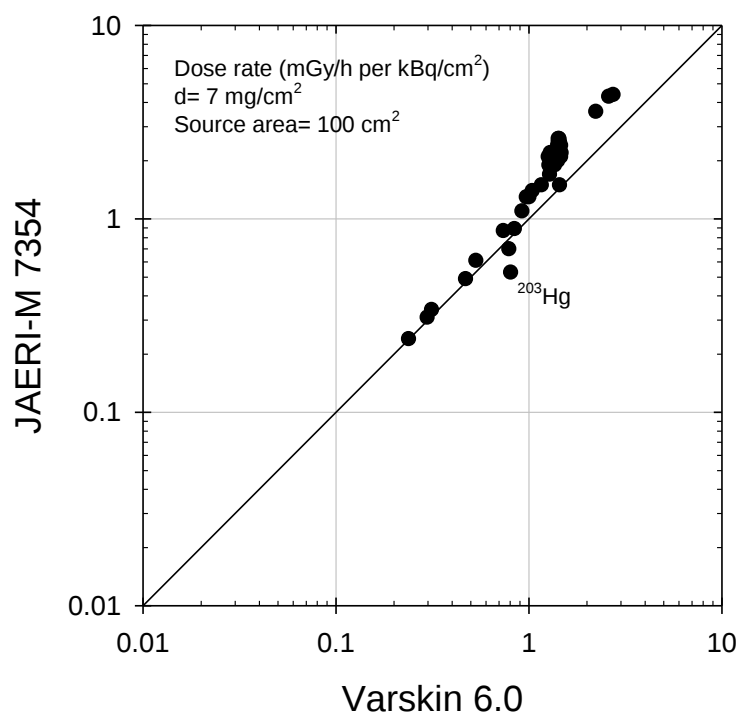


図 18 表面密度 (1 kBq/cm^2) 当たりの深さ 7 mg/cm^2 での β ・電子線吸収線量率の比較
 VARSKIN 6.0 対 JAERI-M 7354

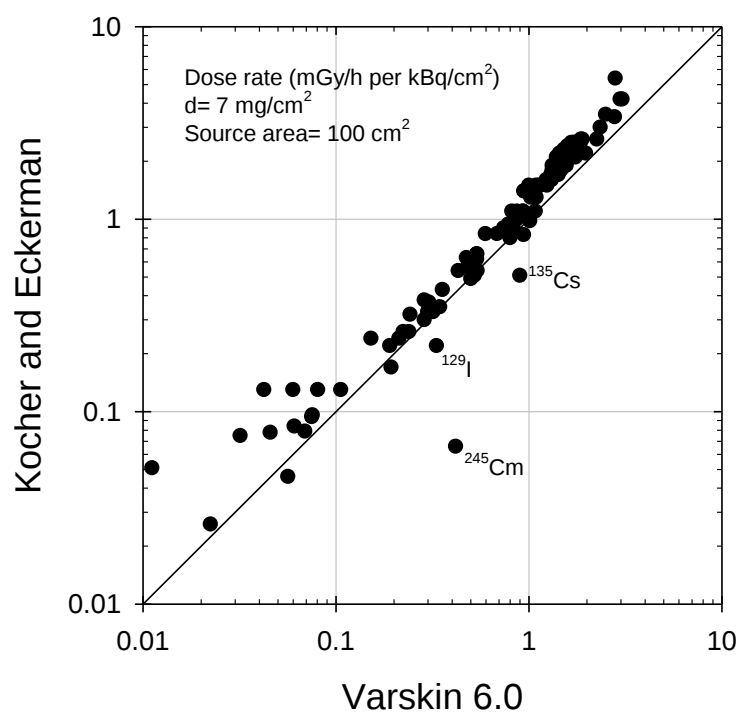


図 19 表面密度 (1 kBq/cm^2) 当たりの深さ 7 mg/cm^2 での β ・電子線吸収線量率の比較
 VARSKIN 6.0 対 Kocher and Eckerman

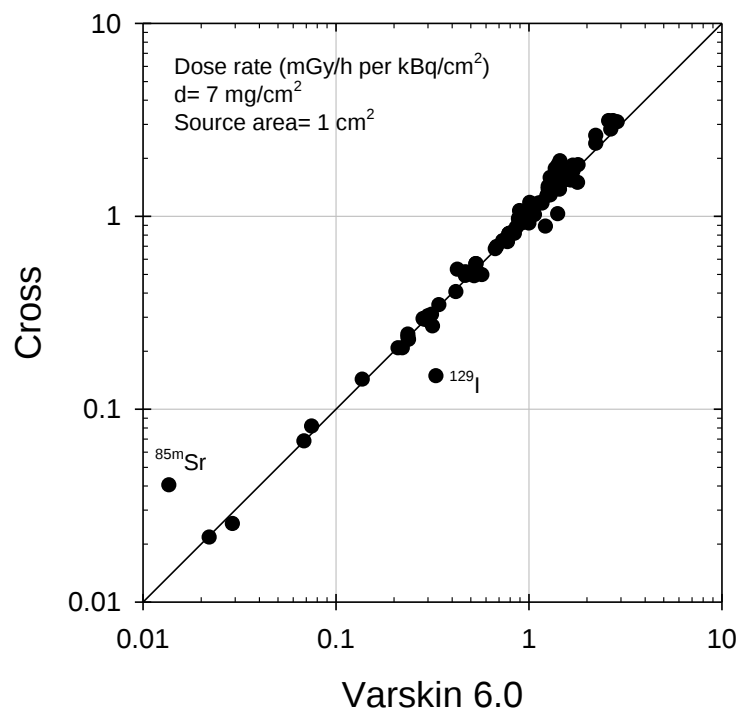


図 20 表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率の比較
 VARSKIN 6.0 対 Cross (1cm²)

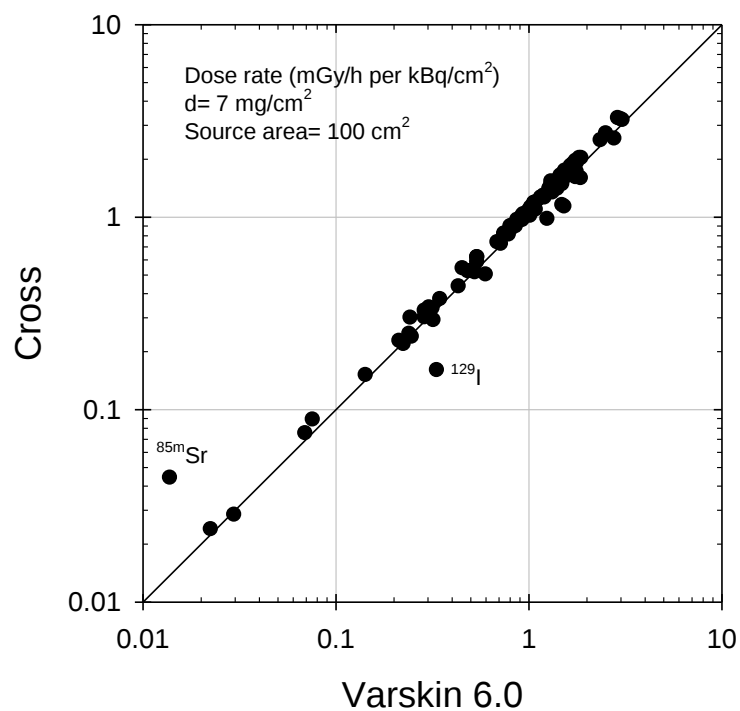


図 21 表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 7 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率の比較
 VARSKIN 6.0 対 Cross (100cm²)

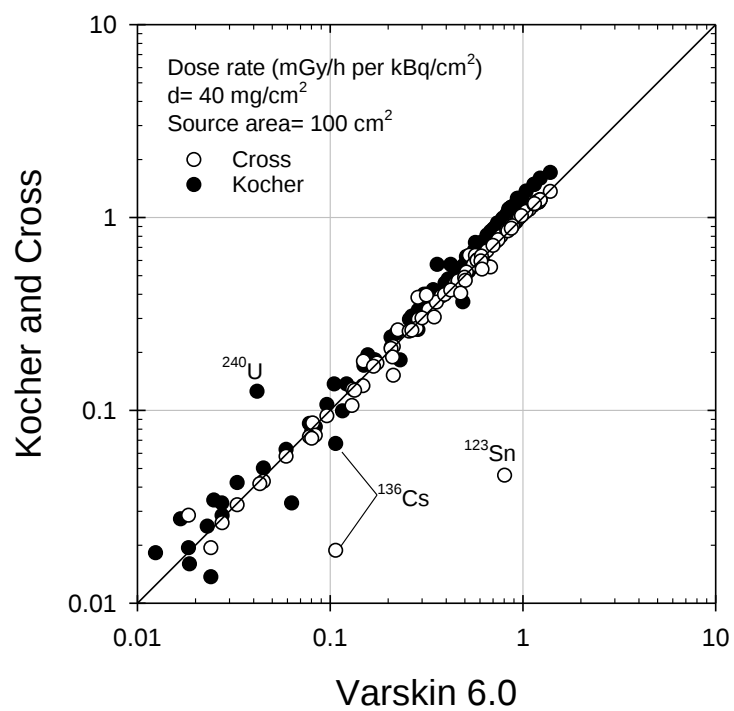


図 22 表面密度 (1 kBq/cm²) 当たりの深さ 40 mg/cm² での β ・電子線吸収線量率の比較
 VARSKIN 6.0 対 ●Kocher and Eckerman, ○Cross

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表（平成29年度）

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
K. Hoshi, N. Tsujimura, T. Yoshida, O. Kurihara, E. Kim, and K. Yajima	Study of the method for the screening survey using an ambient dose equivalent rate meter in criticality accidents	プロシーディングの査読は完了しており、2018年 内に日本原子力学会の国際会議論文集Progress in Nuclear Science and Technologyに掲載される予 定			
N. Tsujimura, F. Takahashi, and C. Takada	Dataset of TLD badge response and body sodium/hair activation for criticality accident dosimetry				