



JAEA-Data/Code

2016-013

DOI:10.11484/jaea-data-code-2016-013

平均的成人日本人女性ファントムを用いた
光子及び電子比吸収割合の評価

Assessment of Specific Absorbed Fractions for Photons and Electrons
using Average Adult Japanese Female Phantom

真辺 健太郎 佐藤 薫 高橋 史明

Kentaro MANABE, Kaoru SATO and Fumiaki TAKAHASHI

原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター
環境・放射線科学ディビジョン
Environment and Radiation Sciences Division
Nuclear Science and Engineering Center
Sector of Nuclear Science Research

December 2016

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Data/Code

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2016

平均的成人日本人女性ファントムを用いた光子及び電子比吸収割合の評価

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター 環境・放射線科学ディビジョン
真辺 健太郎、佐藤 薫、高橋 史明

(2016年10月17日受理)

国際放射線防護委員会 (ICRP: International Commission on Radiological Protection) の 2007 年勧告において、実効線量は、コーカソイドの標準的な体格特性を備えた男女別のボクセルファントムに基づく等価線量の男女平均値に組織加重係数を適用して評価することとなった。内部被ばくに対する線量評価において必須の比吸収割合 (SAF: Specific Absorbed Fraction) は、その算出に使用するファントムの体重や臓器の質量及び位置関係に依存することが知られている。今後、ICRP が公開する 2007 年勧告対応の線量係数 (放射性核種 1 Bq 摂取当たりの預託実効線量) は、コーカソイドの身体的特性が反映された SAF に基づき評価され、かつ男女平均されたものとなる。我々日本人は、コーカソイドに比べて小柄で臓器質量も異なることから、日本人の身体的特性を反映した線量係数は、ICRP の値とは異なることが予想される。ICRP の線量係数を日本人の放射線防護の目的に利用するにあたり、人種による身体的特性の違いが線量係数に及ぼす影響を把握しておくことは重要である。

日本人の身体的特性を反映した線量係数の評価には、日本人の身体的特性を反映した男女のファントムに基づく SAF データが必須となる。日本原子力研究開発機構では、平均的成人日本人ファントム (男性: JM-103、女性: JF-103) を構築し、これを用いた内部被ばく線量評価法の開発を進めている。本報告書は、JF-103 を用いて評価した光子及び電子 SAF データセットを提供する。これにより、先に公開した JM-103 の光子及び電子 SAF データと併せて、光子及び電子を放出する様々な放射性核種の摂取に対し、成人日本人の平均的な身体特性を反映させた性別毎及び性平均の線量係数の評価に適用できる SAF データが整備された。

**Assessment of Specific Absorbed Fractions for Photons and Electrons
using Average Adult Japanese Female Phantom**

Kentaro MANABE, Kaoru SATO and Fumiaki TAKAHASHI

Environment and Radiation Sciences Division, Nuclear Science and Engineering Center,
Sector of Nuclear Science Research,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 17, 2016)

In the 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), the procedure for calculating effective doses was modified as follows. Equivalent doses are evaluated using the male and female voxel phantoms on the basis of reference anatomical data of Caucasians, and effective doses are calculated using sex-averaged equivalent doses in applying tissue weighting factors. Specific absorbed fractions (SAFs), which are essential data for calculating internal doses, depend on the body weights, organ masses, and positional relations of organs of the phantoms. Then, the dose coefficients, which are committed effective doses per unit intake of radionuclides, developed by ICRP on the basis of the 2007 Recommendations reflect the physical characteristics of Caucasians and are averaged over the sexes. Meanwhile, the physiques of adult Japanese are generally smaller than those of adult Caucasians, and organ masses are also different from each other. Therefore, dose coefficients reflecting Japanese physical characteristics are different from those of ICRP. Knowledge of the influence of race differences on dose coefficients is important to apply the sex averaged dose coefficients of ICRP to the Japanese system of radiation protection.

SAF data based on phantoms which have Japanese physical characteristics is essential for assessment of the dose coefficients reflecting Japanese physical characteristics. The Japan Atomic Energy Agency constructed average adult Japanese phantoms, JM-103 (male) and JF-103 (female), and is developing a dose estimation method for internal exposure using these phantoms. This report provides photon and electron SAFs of JF-103. The data of this report and the previously published data of JM-103 are applicable to evaluate sex-specific and sex-averaged dose coefficients reflecting the physical characteristics of the average adult Japanese for intakes of radionuclides emitting photons and electrons.

Keywords: Specific Absorbed Fraction, Internal Dose Assessment, Voxel Phantom, Average Adult Japanese Female, Body Size, Organ Mass

目 次

1	序論	1
2	計算方法	2
2.1	ファントム	2
2.2	コードシステム及び計算条件	4
2.3	比吸収割合の計算	4
2.3.1	線源領域の選定	4
2.3.2	放射線発生確率の計算	6
2.3.3	標的臓器の選定	6
2.3.4	標的臓器への沈着エネルギーの評価	8
2.3.5	沈着エネルギーから比吸収割合への変換	9
2.3.6	微細構造領域における電子比吸収割合	9
2.4	計算方法の妥当性確認	9
3	結果	10
3.1	計算方法の妥当性	10
3.2	比吸収割合データファイル	13
4	JF-103 と RCP-AF 間の比吸収割合の比較	15
4.1	体重の違いによる影響	15
4.2	臓器質量の違いによる影響	17
4.3	組織・臓器の位置関係の違いによる影響	20
5	結論	23
	参考文献	24
	付録 A JF-103 の各種データ	27
	付録 B JF-103 の比吸収割合データの線源領域及び標的臓器一覧	35
	付録 C 放射線発生確率の計算結果	39

Contents

1	Introduction	1
2	Calculation methods	2
2.1	Phantom	2
2.2	Code system and calculation conditions	4
2.3	Calculation of specific absorbed fractions	4
2.3.1	Selection of source regions	4
2.3.2	Calculation of radiation generation probabilities	6
2.3.3	Selection of target organs	6
2.3.4	Evaluation of deposited energies in target organs	8
2.3.5	Conversion of deposited energies to specific absorbed fractions	9
2.3.6	Specific absorbed fractions for electron in microstructure regions	9
2.4	Validation of calculation methods	9
3	Results	10
3.1	Validity of calculation methods	10
3.2	Data files of specific absorbed fractions	13
4	Comparison of specific absorbed fractions between JF-103 and RCP-AF	15
4.1	Influence of difference in body weight	15
4.2	Influence of difference in organ masses	17
4.3	Influence of difference in positional relationship of tissues and organs	20
5	Conclusions	23
	References	24
	Appendix A Various data of JF-103	27
	Appendix B Source regions and target organs of the specific absorbed fraction data of JF-103	35
	Appendix C Calculation results of radiation generation probabilities	39

図リスト

Fig. 3-1	JF-103 の肝臓から肺への光子比吸収割合	10
Fig. 3-2	JF-103 の肝臓から結腸への光子比吸収割合	11
Fig. 3-3	JF-103 の膀胱内容物から結腸への光子比吸収割合	11
Fig. 3-4	JF-103 の膀胱内容物から卵巣への光子比吸収割合	12
Fig. 3-5	添付 CD-ROM に収録された比吸収割合データのディレクトリ構造	14
Fig. 4-1	JF-103 と RCP-AF 間の全身組織から肝臓への電子及び光子比吸収割合の比較	16
Fig. 4-2	JF-103 と RCP-AF 間の胸腺における自己吸収に対する 電子及び光子比吸収割合の比較	18
Fig. 4-3	JF-103 と RCP-AF 間の乳房における自己吸収に対する 電子及び光子比吸収割合の比較	19
Fig. 4-4	JF-103 と RCP-AF 間の肝臓から膀胱壁への光子比吸収割合の比較	20
Fig. 4-5	JF-103 と RCP-AF 間の筋肉から皮膚への電子及び光子比吸収割合の比較	21
Fig. 4-6	JM-103 と RCP-AM 間の筋肉から皮膚への電子及び光子比吸収割合の比較	22

表リスト

Table 2-1	JF-103、JM-103、RCP-AF 及び RCP-AM の特徴	3
Table 2-2	JF-103 及び RCP-AF の臓器質量、並びに成人日本人女性の平均値 及びICRP 標準値	3
Table 2-3	JF-103 の比吸収割合の計算において選定された線源領域とその略称	5
Table 2-4	JF-103 の比吸収割合の計算において選定された標的臓器とその略称	7
Table 3-1	MCNPX と EGS4 による JF-103 の比吸収割合の計算結果の違いの範囲	12
Table 3-2	比吸収割合データファイルの記録様式	13
Table A-1	JF-103 の臓器及び材質 ID 一覧	29
Table A-2	JF-103 の材質、元素組成比及び密度一覧	31
Table A-3	JF-103 の骨の材質毎の硬骨と骨髄の質量分率	32
Table A-4	JF-103 の赤色骨髄の質量	33
Table A-5	JF-103 の骨内膜の質量	34
Table B-1	JF-103 の比吸収割合の計算における線源領域と対応する臓器 ID 一覧	36
Table B-2	JF-103 の比吸収割合の計算における標的臓器と対応する臓器 ID 一覧	38
Table C-1	JF-103 の血液線源に対する放射線発生確率	40
Table C-2	JF-103 の皮質骨線源に対する放射線発生確率	42
Table C-3	JF-103 の梁骨線源に対する放射線発生確率	43
Table C-4	JF-103 の赤色骨髄線源に対する放射線発生確率	44
Table C-5	JF-103 の乳房線源に対する放射線発生確率	44
Table C-6	JF-103 の全身組織線源に対する放射線発生確率	45
Table C-7	JF-103 の軟組織線源に対する放射線発生確率	47

List of Figures

Fig. 3-1	Specific absorbed fractions of JF-103 for photons from the liver to the lungs	10
Fig. 3-2	Specific absorbed fractions of JF-103 for photons from the liver to the colon	11
Fig. 3-3	Specific absorbed fractions of JF-103 for photons from the urinary bladder content to the colon	11
Fig. 3-4	Specific absorbed fractions of JF-103 for photons from the urinary bladder content to the ovaries	12
Fig. 3-5	Directory structure of the specific absorbed fraction data contained in the attached CD-ROM	14
Fig. 4-1	Comparison of specific absorbed fractions for electrons and photons from the total body tissues to the liver between JF-103 and RCP-AF	16
Fig. 4-2	Comparison of specific absorbed fractions for electrons and photons for self-absorption in the thymus between JF-103 and RCP-AF	18
Fig. 4-3	Comparison of specific absorbed fractions for electrons and photons for self-absorption in the breast between JF-103 and RCP-AF	19
Fig. 4-4	Comparison of specific absorbed fractions for photons from the liver to the urinary bladder wall between JF-103 and RCP-AF	20
Fig. 4-5	Comparison of specific absorbed fractions for electrons and photons from the muscle to the skin between JF-103 and RCP-AF	21
Fig. 4-6	Comparison of specific absorbed fractions for photons from the muscle to the skin between JM-103 and RCP-AM	22

List of Tables

Table 2-1	Characteristics of JF-103, JM-103, RCP-AF, and RCP-AM	3
Table 2-2	Organ masses of JF-103 and RCP-AF, and the average values of Japanese adult female and the ICRP reference values	3
Table 2-3	Source regions selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their acronyms	5
Table 2-4	Target organs selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their acronyms	7
Table 3-1	Range of differences in calculated specific absorbed fractions of JF-103 between MCNPX and EGS4	12
Table 3-2	Record structure of data files of specific absorbed fractions	13
Table A-1	List of organs and material IDs of JF-103	29
Table A-2	List of materials, and their elemental compositions and densities of JF-103	31
Table A-3	Densities and mass fractions of the hard bone and bone marrow of the bone materials in JF-103	32
Table A-4	Mass of the red bone marrow in JF-103	33
Table A-5	Mass of the endosteum in JF-103	34
Table B-1	List of source regions selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their organ ID numbers	36
Table B-2	List of target organs selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their organ ID numbers	38
Table C-1	Radiation generation probability of the blood source of JF-103	40
Table C-2	Radiation generation probability of the cortical bone source of JF-103	42
Table C-3	Radiation generation probability of the trabecular bone source of JF-103	43
Table C-4	Radiation generation probability of the red bone marrow source of JF-103	44
Table C-5	Radiation generation probability of the breast source of JF-103	44
Table C-6	Radiation generation probability of the total body tissues source of JF-103	45
Table C-7	Radiation generation probability of the soft tissues source of JF-103	47

1 序論

国際放射線防護委員会 (ICRP: International Commission on Radiological Protection) の 2007 年勧告¹⁾ において、放射線防護で線量限度等の指標となる実効線量の算出ルールが明文化された。ここでは、ICRP の定める男女の標準ファントム²⁾を用いて評価した臓器吸収線量 (以下、「臓器線量」と呼ぶ。) に放射線加重係数を適用して導出した量を等価線量とし、この男女別の等価線量の平均値に組織加重係数を適用して全身の総和を取ったものを実効線量と定義した¹⁾。内部被ばくに対する臓器線量の評価では、体内に取り込まれた放射性核種が分布する組織・臓器及び内容物 (以下、「線源領域」と呼ぶ。) から放出された放射線のエネルギーのうち、線量評価の対象となる組織・臓器 (以下、「標的臓器」と呼ぶ。) に付与される割合 (吸収割合、AF: Absorbed Fraction) を標的臓器の質量で除した比吸収割合 (SAF: Specific Absorbed Fraction) が必要となる。2007 年勧告に対応した線量評価における SAF は、コーカソイドの解剖学的データ³⁾を基に開発された標準ファントムにより整備されるため、ICRP が今後公開する SAF、及びこれに基づき導出される内部被ばく線量係数^{*1}は、コーカソイドの身長、体重及び組織・臓器の質量特性 (以下、「身体的特性」と呼ぶ。) が反映されたものとなる。

一般的に、成人日本人は、成人コーカソイドに比べ小柄であり、組織・臓器の質量特性も異なる^{3,4)}。そのため、ICRP 標準ファントムに基づく線量係数を我が国の放射線防護体系に適用するにあたり、人種間の身体的特性の違いが線量係数に及ぼす影響を事前に把握することが重要となる。また、放射性医薬品を用いた診断や治療、放射線事故等における線量評価では、評価対象者の特徴を可能な限り反映することが重要であるが、その都度ファントムを構築して SAF を評価することは現実的ではない。そこで、評価対象が成人日本人の場合は、成人日本人の身体的特性を反映したファントムで評価された SAF データを利用すると、より実態に近い線量評価が可能になると考えられる。

そこで、著者らは、成人日本人の平均的な身体的特性を有する平均的成人日本人ファントム (女性: JF-103、男性: JM-103) を開発した⁵⁾。内部被ばくに対する臓器線量は、当該臓器が線源領域である場合 (以下、「自己吸収」と呼ぶ。) の SAF の寄与が特に大きく、自己吸収 SAF は臓器質量に強く依存する。そのため、JF-103 及び JM-103 に基づく SAF データを用いることにより、成人日本人の身体的特性を反映した内部被ばく線量評価が可能となる⁶⁾。これまでに、JM-103 に基づく光子及び電子 SAF データセットを JAEA-Data/Code 2014-017⁷⁾として公開するとともに、JM-103 及び ICRP 標準成人男性ファントム (RCP-AM) の SAF を用いて内部被ばくに対する臓器線量及び実効線量に相当する量を評価し、比較を行った⁸⁾。本研究では、JF-103 に基づく SAF の評価を行った。

本報告書は、JF-103 に基づく光子及び電子 SAF の計算方法を示すとともに、計算した SAF を添付の CD-ROM に収録して提供するものである。これにより、先に公開した JAEA-Data/Code 2014-017 と併せて、 α 壊変核種、自発核分裂核種及びこれらを壊変系列に含む核種、並びに希ガス等のサブマージョン核種を除く放射性核種の体内への取込みに対し、平均的な成人日本人の身体的特性を考慮した男女別及び男女平均臓器線量の評価に適用できる SAF データが整備された。

*1 放射性核種 1 Bq 摂取当たりの預託実効線量

2 計算方法

2.1 ファントム

JF-103 及び JM-103 は、ボクセル (Voxel: volume pixel) と呼ばれる直方体形状の体積要素で構成された数値ファントム (ボクセルファントム) であり、ある成人日本人男女のコンピュータ断層撮影 (CT: Computed Tomography) データを基にモデル化されたボクセルファントム JF^{9, 10)} (女性) 及び JM^{10, 11)} (男性) に対し、身長及び体重 (以下、「体格」と呼ぶ。) を成人日本人の平均値に、そして組織・臓器の質量 (以下、「臓器質量」と呼ぶ。) を成人日本人平均値の $\pm 10\%$ 以内に調整することにより開発した⁵⁾。したがって、ある個人の身体的特性を反映した JF 及び JM に対し、JF-103 及び JM-103 は、成人日本人の代表的な体格及び臓器質量特性を有している。また、ICRP 2007 年勧告において組織加重係数が与えられている組織・臓器をすべてモデル化することにより、最新の線量評価法に対応させた。

JF-103 について、体格やボクセルの解像度等のファントムの特徴を Table 2-1 に示す。男女間及び人種間の違いを参照するため、JM-103、ICRP 標準成人女性ファントム (RCP-AF) 及び RCP-AM のデータも併せて示す。JF-103 の体格 (身長: 155 cm、体重: 52 kg) は、男女間、すなわち JM-103 との比較、及び人種間、すなわち RCP-AF との比較のいずれにおいても、JF-103 の方が小さかった。また、JF-103 及び JM-103 のボクセルサイズを垂直方向、水平方向ともに約 1 mm とすることで、身体や臓器の形状をより精緻にモデル化した。

代表的な組織・臓器について、JF-103 及び RCP-AF の臓器質量、並びに臓器質量の成人日本人女性の平均値及び成人コーカソイド女性の標準値 (以下、「ICRP 標準値」と呼ぶ。) を Table 2-2 に示す。表中の括弧内の数字は、各ファントムが参照した平均値又は標準値に対する臓器質量の比である。両ファントムの臓器質量を比較すると、結腸や胃といった消化管や膀胱等の管腔臓器は JF-103 の方が小さかった。また、皮膚、乳房、及び脂肪組織については JF-103 の方が小さく、その差も大きかった。一方、生殖腺や肝臓のような固形臓器は、質量の差が小さいものが多かった。骨格については、JF-103 の体格の方が小さいにもかかわらず、両ファントムの質量はほぼ等しかった。皮膚と全骨組織以外は、日本人とコーカソイドの臓器質量特性が、それぞれのファントムに反映された結果である。皮膚については、JF-103 及び RCP-AF とともに体表面に位置する一層分のボクセルを皮膚として定義されている^{2, 5)}ことから、ファントムの解像度の違いにより質量に差が生じた。JF-103 は、成人女性の皮膚の平均的な厚さである約 1.3 mm³⁾に近い、ほぼ 1 mm の大きさのボクセルで構成されているため、成人日本人女性の平均値である 1.8 kg をよく再現している。これに対し、RCP-AF のボクセルサイズは、Table 2-1 に示したように水平方向が 1.775 mm であり、皮膚の厚みに対してやや大きい。そのため、RCP-AF の皮膚の質量は、ICRP 標準値に対して 18%大きくなった。骨格の質量について、小柄な JF-103 が RCP-AF とほぼ同じ大きさとなった原因は、JF-103 の骨格のモデル化手法によると考えられる。JF-103 の骨格は、成人日本人女性のボランティア (身長: 152 cm、体重: 44 kg) の組織密度の違いを反映した CT 値情報を利用して構築された骨ファントムを基に、成人日本人女性の平均的な体格に一致するように画像処理により変形してモデル化したため、硬骨に付随する結合組織と周辺の軟組織が明確に区別されていない。したがって、JF-103 の骨格の質量は、剖検に基づく日本人平均値より大きくなった⁵⁾。

Table 2-1 Characteristics of JF-103⁵⁾, JM-103⁵⁾, RCP-AF²⁾, and RCP-AM²⁾

Phantom name	JF-103	JM-103	RCP-AF	RCP-AM
Height (cm)	155 (155)*	171 (170)*	163 (163)*	176 (176)*
Weight (kg)	52 (52)*	65 (64)*	60 (60)*	73 (73)*
Number of total voxels	54,461,853	67,340,831	3,886,020	1,946,375
Voxel vertical height (mm)	1.0	1.0	4.84	8.0
Voxel horizontal length (mm)	0.98	0.98	1.775	2.137
Voxel volume (mm ³)	0.9604	0.9604	15.25	36.54
Number of columns	518	491	299	254
Number of rows	259	267	137	127
Number of slices	1666	1835	348	222
Organ segmentation	Applicable to w_T of the ICRP 2007 Recommendations ¹⁾			

* Values in parenthesis are the Japanese average values⁴⁾ or ICRP reference values³⁾.

Table 2-2 Organ masses of JF-103⁵⁾ and RCP-AF²⁾, and the average values of Japanese adult female⁴⁾ and the ICRP reference values³⁾

Organ	Mass (kg)*			
	JF-103	RCP-AF	Average values of Japanese adult female	ICRP reference values
Colon	0.244 (0.94)	0.360 (1.00)	0.260	0.360
Lungs	0.978 (1.07)	0.950 (1.00)	0.910	0.950
Stomach	0.106 (0.97)	0.140 (1.00)	0.110	0.140
Breasts	0.309 (1.03)	0.500 (1.00)	0.300	0.500
Ovaries	0.012 (1.09)	0.011 (1.00)	0.011	0.011
Urinary bladder	0.032 (1.06)	0.040 (1.00)	0.030	0.040
Oesophagus	0.031 (1.05)	0.035 (1.00)	0.030	0.035
Liver	1.311 (0.94)	1.400 (1.00)	1.400	1.400
Thyroid	0.017 (0.99)	0.017 (1.00)	0.017	0.017
Brain	1.335 (1.01)	1.300 (1.00)	1.320	1.300
Salivary glands	0.063 (1.02)	0.070 (1.00)	0.062	0.070
Skin	1.898 (1.05)	2.721 (1.18)	1.800	2.300
Adipose tissue	13.815 (0.91)	23.596 (1.05)	15.200	22.500
Skeleton	7.733 (1.08)	7.760 (1.00)	7.190	7.760
Total body tissues [†]	51.128 (—)	58.953 (—)	—	—

* Values in parenthesis are ratios of masses of JF-103 or RCP-AF to the average values of Japanese adult female or the ICRP reference values, respectively.

[†] Total body tissues mean whole body minus contents of alimentary tract, gall bladder and urinary bladder.

2.2 コードシステム及び計算条件

SAF の導出には、線源領域から放出された放射線が標的臓器に付与するエネルギー（以下、「沈着エネルギー」と呼ぶ。）を評価する必要がある。沈着エネルギーの評価は、放射性核種の摂取に対する線量評価において考慮すべき粒子を全て輸送可能な放射線輸送計算コード MCNPX 2.6.0¹²⁾（以下、単に「MCNPX」と呼ぶ。）を使用した。MCNPX は、物質内の粒子の挙動を確率的に追跡する計算試行を繰り返すことにより、求めたい量の平均値を得るモンテカルロシミュレーションコードである。なお、光子の輸送においては、種々の非弾性及び弾性散乱、光電効果、並びに電子対生成といった物理過程を考慮した。また、電子（陽電子を含む）の輸送においては、多重クーロン散乱、衝突損失、並びに特性 X 線、 δ 線、オージェ電子、制動放射、及び陽電子の静止後消滅による消滅ガンマ線を含む二次粒子の生成といった物理過程を考慮した。光子及び電子の断面積ライブラリとして、MCNPX による読み込みが可能なフォーマットで記述され、上記の物理過程に対する断面積データを収録している mcplib04¹³⁾及び el03¹⁴⁾をそれぞれ用いた。一次光子と物質との相互作用により生成する二次電子も、輸送計算を行う設定とした。カットオフエネルギーは、平均自由行程又は飛程がボクセルサイズより十分短くなるよう、光子、電子ともに 1 keV とした。

計算したエネルギー範囲及びエネルギー点は、ICRP のデータとして採用される Zankl らの SAF¹⁵⁾等を参考に、光子、電子ともに 10 keV から 10 MeV までの 25 点*2 とした。計算試行回数は、計算した SAF が $5 \times 10^{-5} \text{ kg}^{-1}$ 以上の時に、その相対標準誤差が 5%以下となるよう設定した。なお、この SAF の基準は、以下の検討に基づき定めた。ICRP Publication 68¹⁶⁾に線量係数が収録されている 733 核種について、 $1 \times 10^{-3} \text{ kg}^{-1}$ 未満、 $1 \times 10^{-4} \text{ kg}^{-1}$ 未満、及び $1 \times 10^{-5} \text{ kg}^{-1}$ 未満の SAF が線量係数に寄与する割合を調べた結果、それぞれ最大で 13%、0.1%、及び 0.03%であった。したがって、 $1 \times 10^{-4} \text{ kg}^{-1}$ 以上の SAF の相対標準誤差が十分小さければ、臓器線量を精度よく評価できると考えられる。そこで、相対標準誤差を 5%以下とする SAF の基準は、余裕を持たせて $5 \times 10^{-5} \text{ kg}^{-1}$ とした⁷⁾。

2.3 比吸収割合の計算

2.3.1 線源領域の選定

SAF は、体内に取り込まれた放射性核種が分布する線源領域と、線量評価の対象となる標的臓器の組合せについて整備する必要がある。そして、線源領域については、放射性核種の体内分布を評価するためのコンパートメントモデル（以下、「体内動態モデル」と呼ぶ。）における区分に対応させる必要がある。ICRP がこれまでに公開している体内動態モデル¹⁷⁻²⁷⁾及び ICRP 標準成人ファントム²⁾を調査し、67 の線源領域を選定した。Table 2-3 に、選定した 67 個の線源領域とその略称を示す。性に固有の組織・臓器、すなわち、男性の精巣及び前立腺、並びに女性の卵巣及び子宮を除き、線源領域は JM-103 と一致している。各線源領域の指定に使用した臓器 ID は、付録 B に示す。

*2 0.01、0.015、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.08、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8、1、1.5、2、3、4、5、6、8、10 MeV の 25 点。

Table 2-3 Source regions selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their acronyms

Source region	Acronym	Source region	Acronym
Oral cavity	O-cavity	Adrenals	Adrenals
Oral mucosa	O-mucosa	Blood	Blood
Teeth surface	Teeth-S	Cortical bone surface	C-bone-S
Teeth volume	Teeth-V	Cortical bone volume	C-bone-V
Oesophagus fast	Oesophag-f	Trabecular bone surface	T-bone-S
Oesophagus slow	Oesophag-s	Trabecular bone volume	T-bone-V
Oesophagus wall	Oesophagus	Red bone marrow	R-marrow
Stomach content	St-cont	Brain	Brain
Stomach wall	St-wall	Breast	Breast
Small intestine content	SI-cont	Cartilage	Cartilage
Small intestine wall	SI-wall	Gall bladder content	GB-cont
Small intestine villi	SI-villi	Gall bladder wall	GB-wall
Right colon content	RC-cont	Heart content	Ht-cont
Right colon wall	RC-wall	Heart wall	Ht-wall
Left colon content	LC-cont	Kidneys	Kidneys
Left colon wall	LC-wall	Liver	Liver
Recto-sigmoid colon content	RSig-cont	Lungs	Lungs
Recto-sigmoid colon wall	RSig-wall	Lymphatic nodes	Lymph
Surface of anterior nasal passages	ET1-sur	Muscle	Muscle
Surface of posterior nasal passages + pharynx (ET2)	ET2-sur	Ovaries	Ovaries
Bound ET2 region	ET2-bnd	Pancreas	Pancreas
Sequestered ET2 region	ET2-seq	Salivary glands	S-glands
Lymphatic nodes in extrathoracic region	LN-ET	Skin	Skin
Bronchi	Bronchi	Spleen	Spleen
Bronchi fast	Bronchi-f	Thymus	Thymus
Bronchi slow	Bronchi-s	Thyroid	Thyroid
Bronchi bound	Bronchi-b	Urinary bladder content	UB-cont
Bronchi sequestered	Bronchi-q	Urinary bladder wall	UB-wall
Bronchioles	Bronchiole	Uterus/cervix	Uterus
Bronchioles fast	Brchiole-f	Adipose tissue	Adipose
Bronchioles slow	Brchiole-s	Total body tissues (whole body minus contents of alimentary tract, gall bladder and urinary bladder)	T-body
Bronchioles bound	Brchiole-b		
Bronchioles sequestered	Brchiole-q		
Alveolar interstitium	AI	Soft tissues (T-body minus mineral bone)	S-tissue
Lymphatic nodes in thoracic region	LN-Th		

2.3.2 放射線発生確率の計算

輸送計算において放射線を発生させる線源の設定は、線源領域を構成するすべてのボクセルに対し、ある計算試行においてそのボクセルで放射線が発生する確率（以下、「放射線発生確率」と呼ぶ。）を与える方法で行った⁷⁾。放射線発生確率は、Zanklら¹⁵⁾、JM-103のSAF⁷⁾等と同様に、そのボクセルに含まれる線源の質量に応じて分配した。すなわち、線源領域が n 個の臓器 ID で構成される場合の i 番目の臓器 ID を持つボクセルの放射線発生確率 p_i ($i=1, 2, \dots, n$) は、次式により計算した。

$$p_i = \frac{m_i}{m_{\text{total}}} \frac{1}{n_i} \quad (2-1)$$

ここで、 m_i (g) は臓器 ID が i のボクセルに含まれる線源の質量（ボクセルの質量ではない）、 m_{total} (g) は線源の総質量、 n_i は臓器 ID が i のボクセルの数である。 m_i 及び m_{total} は、次式により計算した。

$$m_i = \rho_i V n_i w_i \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned} m_{\text{total}} &= \sum_{j=1}^{N_{\text{ID}}} m_j \\ &= V \sum_{j=1}^{N_{\text{ID}}} \rho_j n_j w_j \end{aligned} \quad (2-3)$$

ここで、 ρ_i (g cm⁻³) は臓器 ID が i のボクセルの密度、 V (cm³) はボクセル 1 個の体積で 9.604×10^{-4} cm³、 w_i (g g⁻¹) は臓器 ID が i のボクセルにおける線源の質量のボクセルの質量に対する割合、 N_{ID} は線源領域の指定に用いる臓器 ID の数である。

なお、線源領域を構成する材質が単一の場合、又は複数であっても密度が共通の場合は、式(2-2)及び式(2-3)における ρ_i 及び w_i が i に依らず一定の値となり、式(2-1)は次式のようにになる。

$$p_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N_{\text{ID}}} n_j} \quad (2-4)$$

ここで、 $\sum_{j=1}^{N_{\text{ID}}} n_j$ は線源領域となる臓器 ID を持つボクセルの総数である。

Table 2-3 に示した線源領域のうち、血液、皮質骨、梁骨、赤色骨髄、乳房、全身組織及び軟組織は、構成するボクセルの密度が単一ではない。これらの線源領域については、式(2-1)のとおり放射線発生確率を計算した。この計算結果は、付録 C にまとめた。なお、赤色骨髄の m_i は、骨組織を構成するボクセルに割り当てられた臓器 ID 毎の赤色骨髄の質量分率データ⁵⁾を用いて計算した。臓器 ID 毎の赤色骨髄の質量を、付録 A の Table A-4 に示す。

2.3.3 標的臓器の選定

2007年勧告で組織加重係数が適用される組織・臓器¹⁾、及び肺、結腸、胸郭外領域及びリンパ節の等価線量算出時に加重割合が適用される構成組織²⁷⁾を中心に、標的臓器を選定した。なお、気管支の基底細胞及び分泌細胞、並びに細気管支の分泌細胞及び肺胞-間質については、約 1 mm 角のサイズのボクセルでは区分できないため、それぞれ共通のボクセルを標的臓器とした。SAF を評価した 42 個

の標的臓器を、略称とともに Table 2-4 に示す。選定した標的臓器は、線源領域の選定と同様に、性に固有の臓器については JM-103 とは異なる。また、JAEA-Data/Code 2014-017⁷⁾の後に刊行された ICRP Publication 130²⁷⁾において、リンパ節の等価線量は、胸郭領域リンパ節、胸郭外領域リンパ節、及びその他のリンパ節の等価線量に加重割合を適用して導出することが定められた。JM-103 では、胸郭領域リンパ節、胸郭外領域リンパ節、及びすべてのリンパ節を標的臓器としていたが、ICRP Publication 130 を受けて、JF-103 では、リンパ節については胸郭領域リンパ節、胸郭外領域リンパ節、及びその他のリンパ節を標的臓器とした。

なお、JM-103 のその他のリンパ節を標的臓器とした SAF (SAF(LN-body←S)と記す。以下、線源領域と標的臓器を指定する SAF は、SAF(T←S)のように表記する。) は、次式により得ることができる。

$$\text{SAF(LN-body←S)} = \frac{\text{SAF(Lymph←S)} \times m_{\text{Lymph}} - \text{SAF(LN-Th←S)} \times m_{\text{LN-Th}} - \text{SAF(LN-ET←S)} \times m_{\text{LN-ET}}}{m_{\text{Lymph}} - m_{\text{LN-Th}} - m_{\text{LN-ET}}} \quad (2-5)$$

ここで、 m_{Lymph} (kg)、 $m_{\text{LN-Th}}$ (kg)及び $m_{\text{LN-ET}}$ (kg)は、それぞれすべてのリンパ節、胸郭領域リンパ節及び胸郭外領域リンパ節の質量である。

Table 2-4 Target organs selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their acronyms

Target organ	Acronym	Target organ	Acronym
Red bone marrow	R-marrow	Oral mucosa	O-mucosa
Colon wall	Colon	Pancreas	Pancreas
Lungs	Lungs	Small intestine wall	SI-wall
Stomach wall	St-wall	Spleen	Spleen
Breast	Breast	Thymus	Thymus
Ovaries	Ovaries	Uterus/cervix	Uterus
Urinary bladder wall	UB-wall	Right colon wall	RC-wall
Oesophagus	Oesophagus	Left colon wall	LC-wall
Liver	Liver	Recto-sigmoid colon wall	RSig-wall
Thyroid	Thyroid	Basal cells of bronchi	Bronchi-bas
Endosteum	Endost-BS	Secretory cells of bronchi	Bronchi-sec
Brain	Brain	Secretory cells of bronchioles	Brchiol-sec
Salivary glands	S-glands	Alveolar interstitium	AI
Skin	Skin	Basal cells of anterior nasal passages	ET1-bas
Adrenals	Adrenals	Basal cells of posterior nasal passages + pharynx	ET2-bas
Extrathoracic region	ET	Lymphatic nodes in thoracic region	LN-Th
Gall bladder wall	GB-wall	Lymphatic nodes in extrathoracic region	LN-ET
Heart wall	Ht-wall	Lymphatic nodes in non-respiratory region	LN-body
Kidneys	Kidneys	Lenses of eye	Eye-lens
Lymphatic nodes	Lymph	Tongue	Tongue
Muscle	Muscle	Adipose tissue	Adipose

2.3.4 標的臓器への沈着エネルギーの評価

標的臓器に沈着したエネルギーの評価は、標的臓器の質量当たりの沈着エネルギー（以下、「DEPM: Deposited Energy Per Mass」と呼ぶ。）を出力するタリー（モンテカルロ計算で評価対象とする沈着エネルギーやフルエンス等の物理量を取得、記録して計算結果を与える機能）を設定して行った。なお、MCNPX が出力する DEPM は、全計算試行の積算値ではなく、計算試行 1 回あたりの平均値である。付録 B に、タリーの設定に使用した臓器 ID を示す。

ただし、JF-103 の骨組織は硬骨と骨髄の混合物で構成されている⁵⁾ため、赤色骨髄と骨内膜の DEPM を輸送計算で直接取得することはできない。そこで、電子を発生させた場合の赤色骨髄と骨内膜への沈着エネルギーは、まず混合物に対する沈着エネルギーを取得し、これに赤色骨髄及び骨内膜の質量分率を乗じる方法²⁸⁾（以下、「質量分配法」と呼ぶ。）で評価した。具体的には、骨組織を構成する 139 の臓器 ID 毎にタリーを設定して DEPM を取得し、次式のように臓器 ID 毎の赤色骨髄又は骨内膜質量を乗じて総和することにより、赤色骨髄及び骨内膜への沈着エネルギー E_{dep} (MeV)を計算した。

$$E_{\text{dep}} = \sum_{i=1}^{139} \text{DEPM}_i m_i \quad (2-6)$$

ここで、 DEPM_i (MeV g⁻¹)は臓器 ID が i のボクセルの DEPM（輸送計算によりタリーで取得した量）、 m_i (g)は臓器 ID が i のボクセルに含まれる赤色骨髄又は骨内膜の質量である。なお、JF-103 の骨内膜の質量は、RCP-AF の骨内膜質量データ²⁾から全骨組織に占める骨内膜の質量分率、及び骨内膜の部位別存在比を算出し、これらを JF-103 に適用して算出した。JF-103 の骨内膜質量の詳細な計算方法及び計算結果は、付録 A に示す。

光子を発生させた場合の混合物中の構成物に対する沈着エネルギーの計算方法は、電子と同じ質量分配法と、混合物中の光子フルエンスと構成物に対する質量エネルギー吸収係数 (μ_{en}/ρ) を用いて計算する方法²⁹⁾（以下、「吸収係数法」と呼ぶ。）の 2 種類がある。吸収係数法による E_{dep} の計算式は、次のとおりである。

$$E_{\text{dep}} = \sum_{i=1}^{139} m_i \int_0^{E_p} \Phi_i(E) \frac{\mu_{\text{en}}(E)}{\rho} E dE \quad (2-7)$$

ここで、 m_i (g)は臓器 ID が i のボクセルに含まれる赤色骨髄又は骨内膜の質量、 E_p (MeV)は発生させた光子のエネルギー、 $\Phi_i(E)$ (m⁻²)は臓器 ID が i のボクセル中のエネルギー E (MeV)の光子のフルエンス（輸送計算によりタリーで取得した量）、 $\mu_{\text{en}}(E)/\rho$ (m² kg⁻¹)は赤色骨髄又は骨内膜に対する質量エネルギー吸収係数のエネルギー関数³⁰⁾である。質量分配法では、発生光子のエネルギーが数 100 keV 以下の場合、硬骨に比べて軟組織（赤色骨髄及び骨内膜）の反応断面積が小さいことから、赤色骨髄及び骨内膜への沈着エネルギーを過大評価する²⁸⁾。一方、吸収係数法は、発生光子のエネルギーが数 MeV 以上の場合、荷電粒子平衡が成り立たず、赤色骨髄及び骨内膜への沈着エネルギーを過大評価する³¹⁾。そこで、発生させた光子のエネルギーが 1 MeV 未満の場合は吸収係数法で、1 MeV 以上の場合は質量分配法で赤色骨髄及び骨内膜の沈着エネルギーを評価した^{7,8)}。

2.3.5 沈着エネルギーから比吸収割合への変換

輸送計算により評価した DEPM (MeV g⁻¹)から SAF (kg⁻¹)への変換は、次式により行った。

$$\text{SAF}(T \leftarrow S) = \frac{\text{DEPM}_T}{E_{\text{rad}}} \times 1000 \quad (2-8)$$

ここで、DEPM_T (MeV g⁻¹)は輸送計算で取得した標的臓器 T の質量あたりの沈着エネルギー、E_{rad} (MeV) は発生させた光子又は電子のエネルギーである。ただし、赤色骨髄及び骨内膜は沈着エネルギー E_{dep} (MeV)を評価しているため、SAF への変換は次式により行った。

$$\text{SAF}(T \leftarrow S) = \frac{E_{\text{dep}}}{E_{\text{rad}}} \frac{1}{m_{\text{total}}} \quad (2-9)$$

ここで、m_{total} (kg)は、式(2-3)により得られる線源の総質量である。

2.3.6 微細構造領域における電子比吸収割合

呼吸気道領域及び消化管領域における電子 SAF は、各領域の微細な構造が幾何学的にモデル化されたヒト呼吸器道モデル²³⁾ (HRTM: Human Respiratory Tract Model) 及びヒト消化管モデル²⁶⁾ (HATM: Human Alimentary Tract Model) を用いて評価されている。骨組織内における電子 SAF については、マイクロ CT 画像に基づき開発された緻密なボクセルモデルで評価されたものが報告されている³²⁾。HRTM は、人種を問わず適用できる幾何学モデルとして開発されている²³⁾。また、消化管や骨の微細構造³³⁾についても、体格等の身体的特性と比較して人種間で大きな違いはないと考えられる。したがって、日本人の体格・臓器質量特性を考慮した内部被ばく線量評価においても、これらの電子 SAF の使用が妥当であると考えられ、JF-103 を用いた評価は行わないこととした。

2.4 計算方法の妥当性確認

MCNPX への JF-103 の組込み及び線源領域の設定方法の妥当性は、電磁カスケードモンテカルロコード EGS4³⁴⁾及びそのユーザーコード UCSAF^{35, 36)} (以下、単に「EGS4」と呼ぶ。)を用いて計算された報告値⁵⁾との比較により確認した。

3 結果

3.1 計算方法の妥当性

JF-103 の光子 SAF について、本研究において MCNPX を用いて評価した結果と、EGS4 による報告値⁵⁾を比較した。Fig. 3-1 から Fig. 3-4 に、MCNPX と EGS4 により計算された SAF(Lungs←Liver)、SAF(Colon←Liver)、SAF(Colon←UB-cont)及び SAF(Ovaries←UB-cont)を、それぞれ示す。また、EGS4 の計算結果に対する MCNPX による計算結果の差 D_{SAF} (%)は、次式で計算した。

$$D_{SAF} = (SAF_{MCNPX} / SAF_{EGS4} - 1) \times 100 \quad (3-1)$$

ここで、 SAF_{MCNPX} (kg^{-1})及び SAF_{EGS4} (kg^{-1})は、それぞれ MCNPX 及び EGS4 を用いて得られた SAF である。Table 3-1 に、それぞれの SAF における D_{SAF} の範囲を示す。いずれの SAF も D_{SAF} は数%以内であり、MCNPX 及び EGS4 による計算結果はよく一致している。以上より、本研究における MCNPX への JF-103 の組込み及び線源領域の設定方法は、妥当であったと結論付けた。

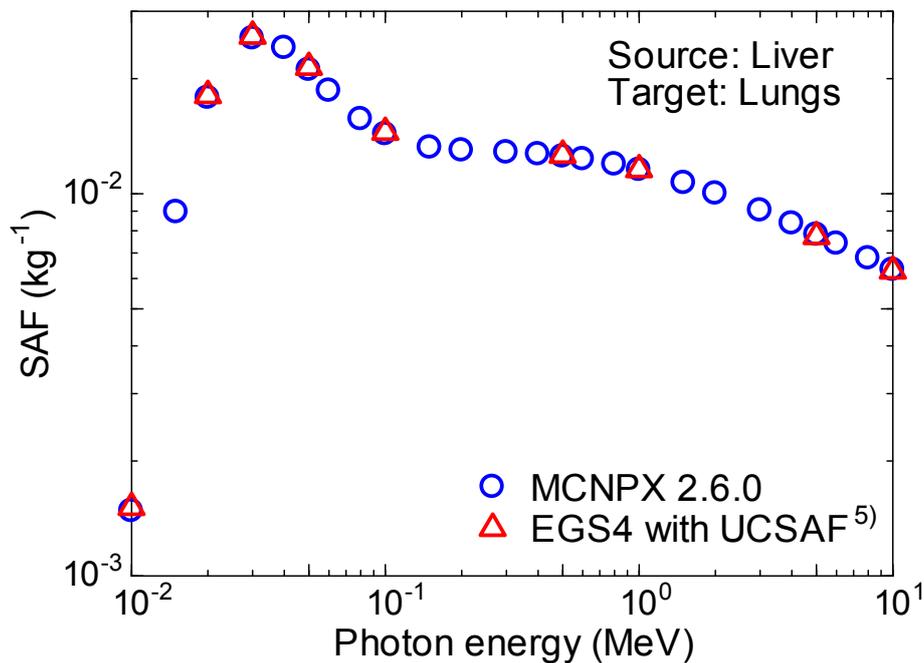


Fig. 3-1 Specific absorbed fractions (SAFs) of JF-103 for photons from the liver to the lungs
Open circles and open triangles indicate the SAFs calculated by MCNPX 2.6.0 and EGS4 with UCSAF, respectively.

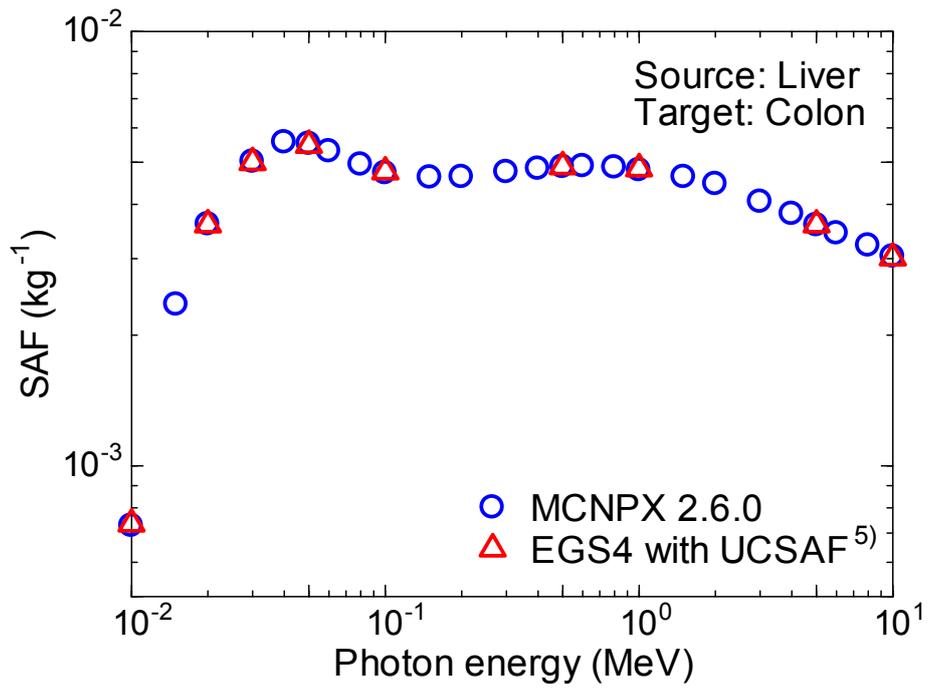


Fig. 3-2 Specific absorbed fractions (SAFs) of JF-103 for photons from the liver to the colon
Open circles and open triangles indicate the SAFs calculated by MCNPX 2.6.0 and EGS4 with UCSAF, respectively.

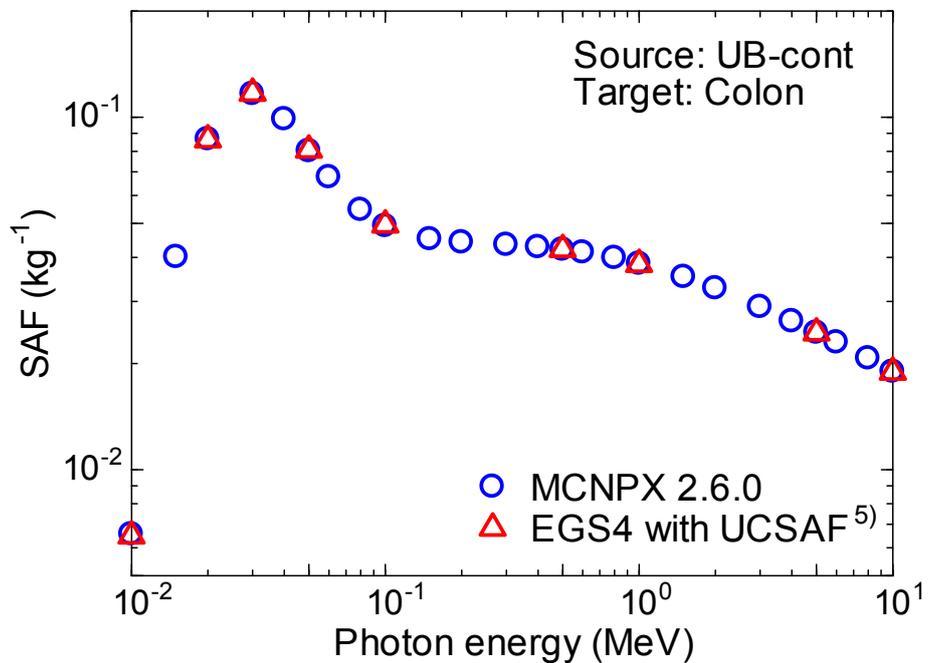


Fig. 3-3 Specific absorbed fractions (SAFs) of JF-103 for photons from the urinary bladder content (UB-cont) to the colon
Open circles and open triangles indicate the SAFs calculated by MCNPX 2.6.0 and EGS4 with UCSAF, respectively.

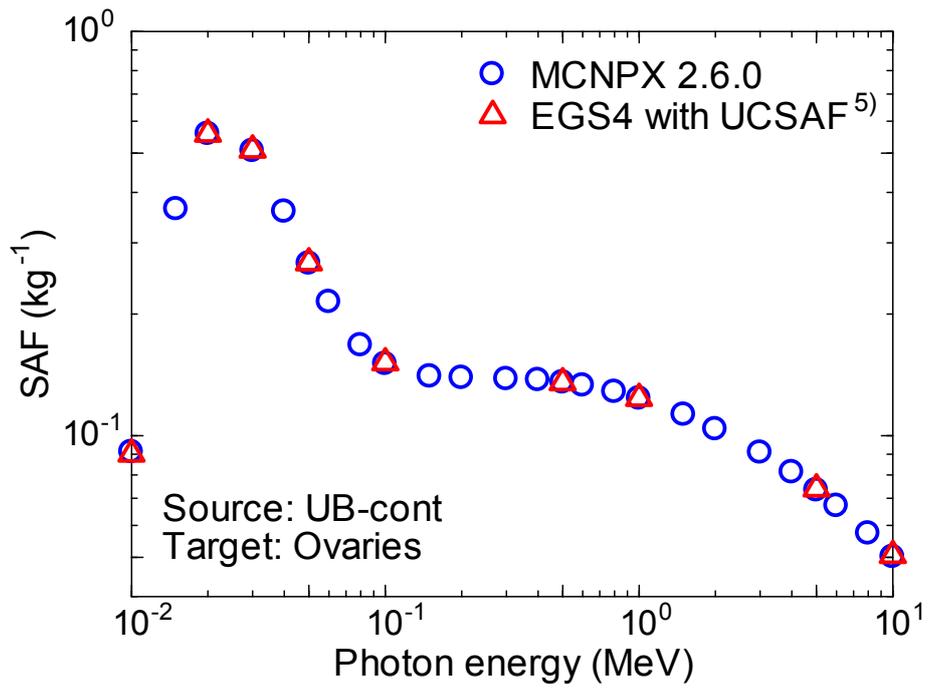


Fig. 3-4 Specific absorbed fractions (SAFs) of JF-103 for photons from the urinary bladder content (UB-cont) to the ovaries

Open circles and open triangles indicate the SAFs calculated by MCNPX 2.6.0 and EGS4 with UCSAF, respectively.

Table 3-1 Range of differences in calculated specific absorbed fractions (SAFs) of JF-103 between MCNPX and EGS4

Target	Source	Range of differences in SAFs
Lungs	Liver	-2.0% ~ 1.2%
Colon	Liver	-0.9% ~ 0.8%
Colon	Urinary bladder content	-0.7% ~ 1.1%
Ovaries	Urinary bladder content	-0.9% ~ 1.1%

3.2 比吸収割合データファイル

本研究では、JF-103 の 67 個の線源領域及び 42 個の標的臓器の組合せについて、10 keV から 10 MeV までの 25 種類のエネルギーの光子及び電子に対する SAF を計算した。計算結果は、Table 3-2 に示す格納様式に基づき、テキストファイルにまとめた。ただし、2.3.6 項で述べたように、呼吸気道領域、消化管領域及び骨組織内における電子 SAF については、JF-103 を用いた評価を行わなかったため、電子 SAF データのうち、線源領域と標的臓器の組合せが上記の 3 つの領域・組織内に該当する場合は、「n.a.」(not applicable)とした。なお、呼吸気道領域内及び消化管領域内の電子 SAF は、それぞれ ICRP Publication 66²³⁾及び 100²⁶⁾のデータから導出できる。

Fig. 3-5 に、本報告書に添付した CD-ROM のディレクトリ構造を示す。なお、ファイル名は、Table 2-3 に示した線源領域名の略称を用い、「[線源領域名略称]_[ファントム名].psaf」又は「[線源領域名略称]_[ファントム名].esaf」とした。

Table 3-2 Record structure of data files of specific absorbed fractions (SAFs)

Field	Format*	Description
<u>Header 1 (1st line)</u>		
Table title		Table title containing the name of source region
<u>Header 2 (2nd line)</u>		
Target	A11	Header of the 1st column
Source	A11	Header of the 2nd column
The next block of two fields is repeated for energy- i , $i = 1$ to 25.		
Energy- i	E9.0	Photon or electron energy- i (MeV)
Fractional standard error (fse) [†]	A5	Header of the column
<u>Data records (lines from 3rd to 44th)</u>		
Target organ	A11	Name of target organ
Source region	A10	Name of source region
The next block of two fields is repeated for energy- i , $i = 1$ to 25.		
SAF- i	E9.0	SAF data for energy- i (kg^{-1})
fse- i	E5.0	Fractional standard error of SAF for energy- i

* The format is expressed in Fortran notational system; “A” and “E” mean character string field and real numeric field, respectively.

† Fractional standard error means a quotient of a standard error of SAF divided by the SAF.

Directory		Files	
docs	ReadMe_Eng.txt	ReadMe_jpn.txt	
JF-103			
	Photon_SAFs		
	Adipose_JF-103.psaf	Adrenals_JF-103.psaf	AI_JF-103.psaf
	Brchiolo-b_JF-103.psaf	Brchiolo-f_JF-103.psaf	Brchiolo-q_JF-103.psaf
	Bronchi_JF-103.psaf	Bronchi-b_JF-103.psaf	Bronchi-f_JF-103.psaf
	Bronchi-s_JF-103.psaf	Cartilage_JF-103.psaf	C-bone-S_JF-103.psaf
	ET2-bnd_JF-103.psaf	ET2-seq_JF-103.psaf	ET2-sur_JF-103.psaf
	Ht-cont_JF-103.psaf	Ht-wall_JF-103.psaf	Kidneys_JF-103.psaf
	Liver_JF-103.psaf	LN-ET_JF-103.psaf	LN-Th_JF-103.psaf
	Muscle_JF-103.psaf	O-cavity_JF-103.psaf	Oesophag-f_JF-103.psaf
	O-mucosa_JF-103.psaf	Ovaries_JF-103.psaf	Pancreas_JF-103.psaf
	R-marrow_JF-103.psaf	RSig-cont_JF-103.psaf	RSig-wall_JF-103.psaf
	SI-villi_JF-103.psaf	SI-wall_JF-103.psaf	Skin_JF-103.psaf
	S-tissue_JF-103.psaf	St-wall_JF-103.psaf	T-body_JF-103.psaf
	Teeth-S_JF-103.psaf	Teeth-V_JF-103.psaf	Thymus_JF-103.psaf
	UB-wall_JF-103.psaf	Uterus_JF-103.psaf	
	Electron_SAFs		
	Adipose_JF-103.esaf	Adrenals_JF-103.esaf	AI_JF-103.esaf
	Brchiolo-b_JF-103.esaf	Brchiolo-f_JF-103.esaf	Brchiolo-q_JF-103.esaf
	Bronchi_JF-103.esaf	Bronchi-b_JF-103.esaf	Bronchi-f_JF-103.esaf
	Bronchi-s_JF-103.esaf	Cartilage_JF-103.esaf	C-bone-S_JF-103.esaf
	ET2-bnd_JF-103.esaf	ET2-seq_JF-103.esaf	ET2-sur_JF-103.esaf
	Ht-cont_JF-103.esaf	Ht-wall_JF-103.esaf	Kidneys_JF-103.esaf
	Liver_JF-103.esaf	LN-ET_JF-103.esaf	LN-Th_JF-103.esaf
	Muscle_JF-103.esaf	O-cavity_JF-103.esaf	Oesophag-f_JF-103.esaf
	O-mucosa_JF-103.esaf	Ovaries_JF-103.esaf	Pancreas_JF-103.esaf
	R-marrow_JF-103.esaf	RSig-cont_JF-103.esaf	RSig-wall_JF-103.esaf
	SI-villi_JF-103.esaf	SI-wall_JF-103.esaf	Skin_JF-103.esaf
	S-tissue_JF-103.esaf	St-wall_JF-103.esaf	T-body_JF-103.esaf
	Teeth-S_JF-103.esaf	Teeth-V_JF-103.esaf	Thymus_JF-103.esaf
	UB-wall_JF-103.esaf	Uterus_JF-103.esaf	
	Blood_JF-103.esaf	Brchiolo-s_JF-103.esaf	Bronchiolo_JF-103.esaf
	Brchiolo-s_JF-103.esaf	Bronchiolo_JF-103.esaf	C-bone-V_JF-103.esaf
	Bronchi-q_JF-103.esaf	ET1-sur_JF-103.esaf	GB-wall_JF-103.esaf
	ET1-sur_JF-103.esaf	GB-wall_JF-103.esaf	LC-wall_JF-103.esaf
	GB-wall_JF-103.esaf	LC-wall_JF-103.esaf	Lymph_JF-103.esaf
	LC-wall_JF-103.esaf	Lungs_JF-103.esaf	Oesophagus_JF-103.esaf
	Lymph_JF-103.esaf	Oesophag-s_JF-103.esaf	RC-wall_JF-103.esaf
	Oesophagus_JF-103.esaf	RC-wall_JF-103.esaf	SI-cont_JF-103.esaf
	RC-wall_JF-103.esaf	S-glands_JF-103.esaf	Spleen_JF-103.esaf
	SI-cont_JF-103.esaf	Spleen_JF-103.esaf	T-bone-S_JF-103.esaf
	St-cont_JF-103.esaf	T-bone-S_JF-103.esaf	Thyroid_JF-103.esaf
	T-bone-V_JF-103.esaf	Thyroid_JF-103.esaf	
	UB-cont_JF-103.esaf		

Fig. 3-5 Directory structure of the specific absorbed fraction data contained in the attached CD-ROM

4 JF-103 と RCP-AF 間の比吸収割合の比較

SAF は、その計算に使用したファントムの体重や臓器質量、組織・臓器の幾何学的な位置関係等に依存する。そこで、平均的成人日本人女性の身体的特性を反映した JF-103 の SAF と、今後放射線防護の分野で標準的に使用される RCP-AF の SAF を比較し、JF-103 の SAF が持つ特徴を調べた。RCP-AF の電子 SAF は、Zankl らのデータ¹⁵⁾を比較対象とした。RCP-AF の光子 SAF は、限られた線源領域と標的臓器の組合せについての報告しかない³⁷⁾ため、RCP-AF を用いて第 2 章に記した方法により評価した結果を比較対象とした。ただし、RCP-AF と JF-103 は、骨のモデル化手法が異なる^{2,5)}ため、赤色骨髄及び骨内膜が標的臓器となる SAF は比較対象とはしなかった。

さらに、日本人とコーカソイドの身体的特性の違いが SAF に及ぼす影響に性差が見られるかを検討するため、JF-103 と RCP-AF 間の SAF の差と JM-103 と RCP-AM 間の SAF の差の類似点及び相違点を検討した。

4.1 体重の違いによる影響

電子及び光子に対する SAF(Liver←T-body)を、Fig. 4-1 (a)及び(b)にそれぞれ示す。電子 SAF の比較では、両ファントム間の SAF の差は、エネルギーにほぼ関係なく 13%から 15%であった。なお、JF-103 と RCP-AF の SAF の差 D_{SAF} (%)は、次式により計算した。

$$D_{SAF} = (SAF_{JF} / SAF_{AF} - 1) \times 100 \quad (4-1)$$

ここで、 SAF_{JF} (kg^{-1})は JF-103 の SAF、 SAF_{AF} (kg^{-1})は RCP-AF の SAF である。JF-103 及び RCP-AF の体重は、それぞれ 52 kg 及び 60 kg であり、その逆数の差は 15%である。全身組織が線源領域の場合、電子 SAF は体重の逆数に強く依存することが本研究でも確認された。

光子についても、10 keV における SAF の差は 15%であった。ただし、エネルギーの増加とともにファントム間の SAF の差は小さくなり、10 MeV では 6.6%であった。光子のエネルギーが 10 keV の場合は、身体を構成する組織における減弱係数が非常に大きいため、線源領域にほぼすべてのエネルギーが付与されることから、SAF の差は体重の逆数の差とほぼ同じとなった。エネルギーの増加に伴って SAF の差が小さくなった原因は、肝臓周辺に存在する線源からのエネルギー付与割合が増加したためと考えられる。光子のエネルギーが 10 keV の場合、JF-103 及び RCP-AF の SAF(Liver←T-body)のうち肝臓以外からの寄与は、それぞれ 4.5%及び 3.3%であった。一方、10 MeV における肝臓以外からの寄与は、両ファントムともに 73%であった。このため、体格がより大きく、標的臓器周辺に線源がより多い RCP-AF の方が、エネルギーの増加による SAF の減少幅が小さくなったと考えられる。

このように、JF-103 の SAF(Liver←T-body)は、日本人の体重の特徴が反映されていると言える。また、全身組織が線源領域である SAF に対する JF-103 と RCP-AF 間の差は、JM-103 と RCP-AM 間の SAF の比較結果と同様であり、性差は見られなかった。

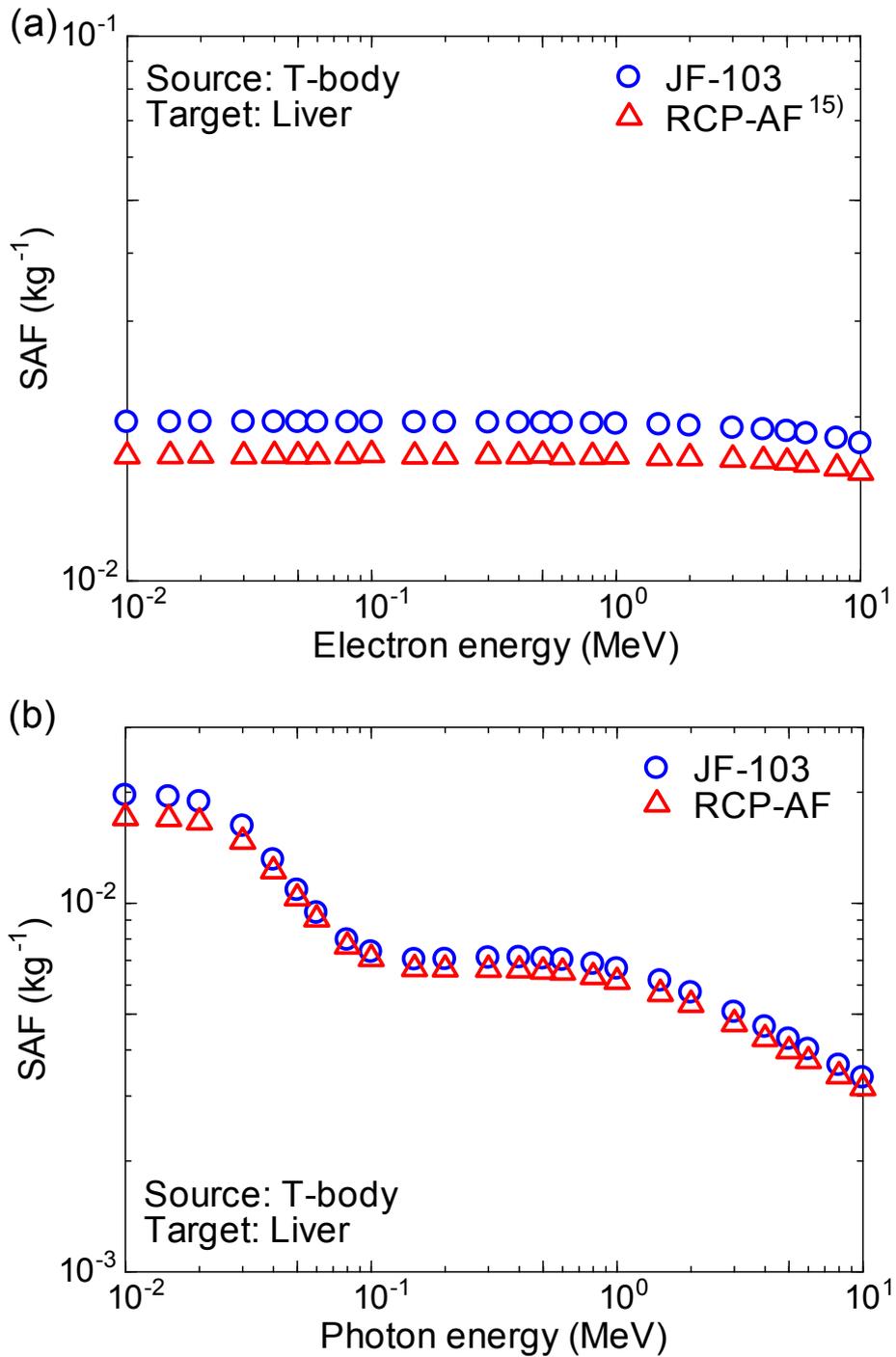


Fig. 4-1 Comparison of specific absorbed fractions (SAFs) for (a) electrons and (b) photons from the total body tissues (T-body) to the liver between JF-103 and RCP-AF

Open circles and open triangles indicate the SAFs of JF-103 and RCP-AF, respectively.

4.2 臓器質量の違いによる影響

電子及び光子に対する SAF(Thymus←Thymus)を、Fig. 4-2 (a)及び(b)にそれぞれ示す。電子 SAF の比較では、式(4-1)による両ファントム間の SAF の差は、500 keV までは-28%であり、500 keV を超えてからエネルギーの増加とともに差が小さくなり、10 MeV では-15%であった。光子 SAF では、10 keV では-26%であった差がエネルギーの増加とともに小さくなり、10 MeV では-8.6%となった。JF-103 及び RCP-AF の胸腺の質量は、それぞれ 28 g 及び 20 g であり、その逆数の差は-29%である。自己吸収の場合は、臓器質量の逆数に依存することが本研究でも確認された。また、エネルギーの増加により SAF の差が小さくなる原因は、臓器の大きさの違いに起因する AF のエネルギー依存性の違いである。JF-103 及び RCP-AF における 10 keV の光子に対する自己吸収 AF は、それぞれ 85%及び 82%であり、その差は 3.7%であった。これに対し、10 MeV の光子に対する自己吸収 AF は、それぞれ 0.54%及び 0.42%であり、その差は 27%と大きくなった。JF-103 に比べて胸腺が小さい RCP-AF は、エネルギーの増加による AF の低下が JF-103 より大きいため、SAF の差が小さくなった。

対になっている組織・臓器の自己吸収の例として、電子及び光子の SAF(Breast←Breast)を Fig. 4-3 (a)及び(b)にそれぞれ示す。10 keV の電子及び光子に対する SAF の差は、それぞれ 62%及び 52%であった。JF-103 及び RCP-AF の乳房の質量はそれぞれ 309 g 及び 500 g であり、その逆数の差は 62%である。10 keV の電子及び光子に対する SAF の差は、質量の逆数の差をよく反映している。また、電子 SAF については、エネルギーが高くなるにつれて SAF の差は小さくなり、10 MeV では 21%であった。一方、光子については、10 MeV における SAF の差が-2.2%となり、JF-103 と RCP-AF 間で大小関係が逆転した。これは、乳房は左右で対の組織であることから、光子に対する SAF(Breast←Breast)は、本来の自己吸収の特性に加え、一方の乳房からもう一方の乳房へのエネルギー付与（以下、「クロス付与」と呼ぶ。）特性が SAF の大小関係に影響を及ぼしたと考えられる。Table 2-2 に示した乳房の質量からも分かるように、乳房は RCP-AF の方が大きい。また、JF-103 及び RCP-AF のファントムデータから左右の乳房間の最短距離を計算した結果、JF-103 で約 7 cm、RCP-AF は約 1 cm であったことから、左右の乳房の位置関係は、RCP-AF の方がクロス付与されやすい状況にあると言える。最もクロス付与の影響が大きい 10 MeV の光子に対する SAF(Breast←Breast)のうち、JF-103 及び RCP-AF におけるクロス付与の寄与割合は、それぞれ 2.8%及び 7.5%であった。したがって、SAF(Breast←Breast)の差の主因は、両ファントム間の臓器質量の違いにあると言えることから、JF-103 の SAF(Breast←Breast)は、日本人の乳房の質量の特徴が反映されたものといえる。

なお、JM-103 と RCP-AM 間の自己吸収 SAF の比較では、エネルギーによって大小関係が逆転する例は見られなかった。これは、JM-103 と RCP-AM では、対となっている組織・臓器（肺、乳房、精巣、腎臓）の質量がほぼ等しかったためと考えられる。

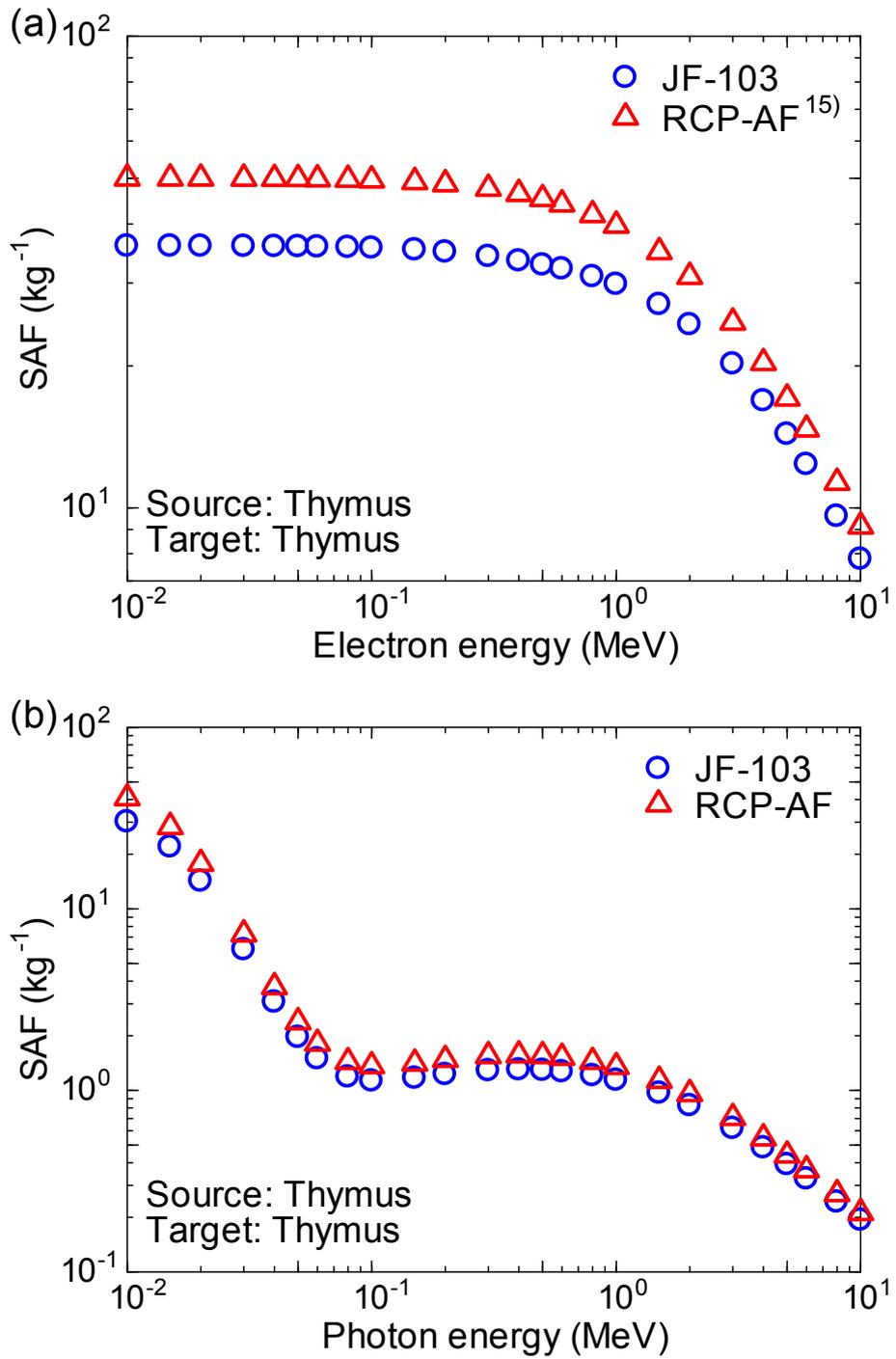


Fig. 4-2 Comparison of specific absorbed fractions (SAFs) for (a) electrons and (b) photons for self-absorption in the thymus between JF-103 and RCP-AF

Open circles and open triangles indicate the SAFs of JF-103 and RCP-AF, respectively.

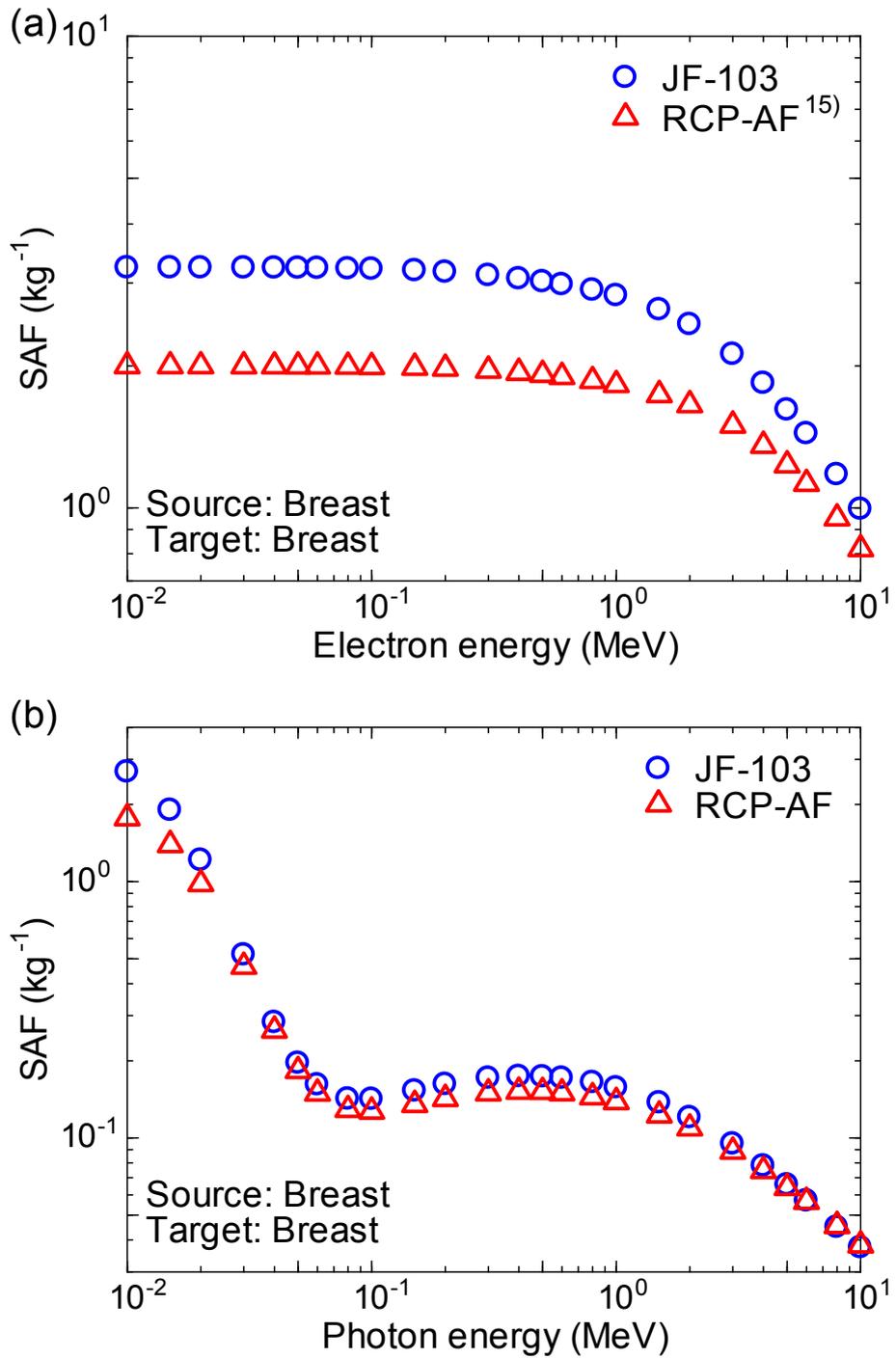


Fig. 4-3 Comparison of specific absorbed fractions (SAFs) for (a) electrons and (b) photons for self-absorption in the breast between JF-103 and RCP-AF

Open circles and open triangles indicate the SAFs of JF-103 and RCP-AF, respectively.

4.3 組織・臓器の位置関係の違いによる影響

組織・臓器の位置関係の違いが SAF に影響を与えた例として、光子に対する SAF(UB-wall←Liver) を Fig. 4-4 に示す。なお、電子に対する JF-103 の SAF(UB-wall←Liver)は、10 MeV 以外はすべて $5 \times 10^{-5} \text{ kg}^{-1}$ を下回っており相対標準誤差が大きいいため、光子についてのみ比較した。40 keV においては、SAF の差は 220%であった。エネルギーの増加とともに SAF の差は減少したが、10 MeV においても 38%の差があった。ここで、JF-103 及び RCP-AF のファントムデータより肝臓と膀胱壁の重心間距離と最短距離を計算した結果、重心間距離がそれぞれ 25 cm 及び 31 cm、最短距離がそれぞれ 15 cm 及び 19 cm であった。したがって、SAF(UB-wall←Liver)の差は、RCP-AF に比べて JF-103 の肝臓と膀胱壁の位置がより近いことが原因である。この位置関係の違いは、体格の違いに加え、皮下脂肪がより多い RCP-AF は、皮下脂肪により腹腔が頭脚軸方向に伸長している影響が原因と考えられる。一般的に、日本人に比べてコーカソイドは皮下脂肪が付きやすい³⁸⁾ことから、SAF(UB-wall←Liver)の差は、日本人とコーカソイドの身体的特性の違いが反映されたものといえる。

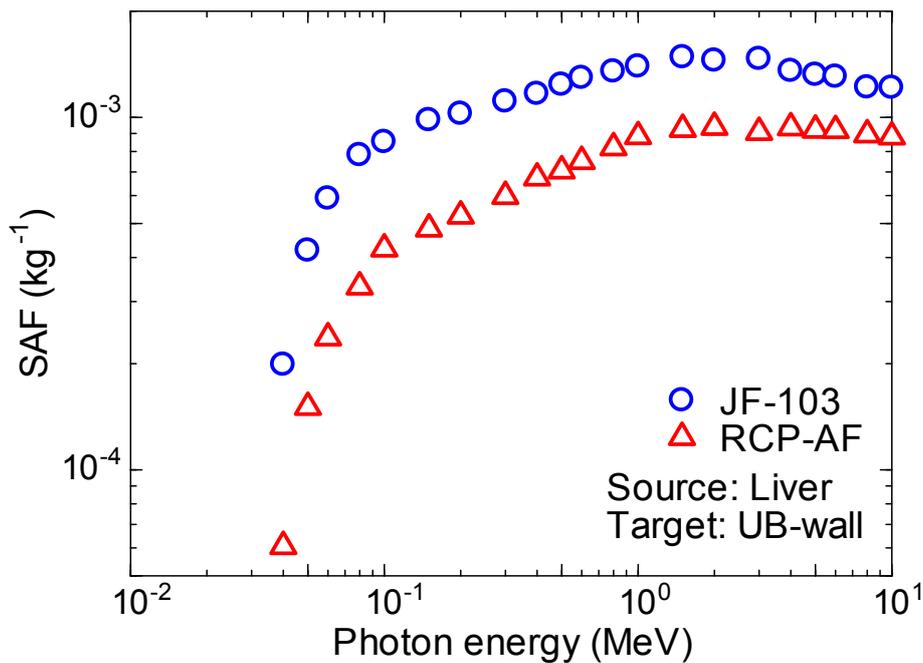


Fig. 4-4 Comparison of specific absorbed fractions (SAFs) for photons from the liver to the urinary bladder wall (UB-wall) between JF-103 and RCP-AF

Open circles and open triangles indicate the SAFs of JF-103 and RCP-AF, respectively.

次に、身体の広範囲に分布する線源領域と標的臓器の組合せである SAF(Skin←Muscle)について、電子及び光子に対する計算結果をそれぞれ Fig. 4-5 (a)及び(b)に示す。電子については、エネルギーが 1 MeV の時に SAF の差が最大となり、500%であった。エネルギーの増加に伴って SAF の差は減少したが、10 MeV においても 55%の差があった。光子 SAF については、エネルギーが 50 keV 以上では

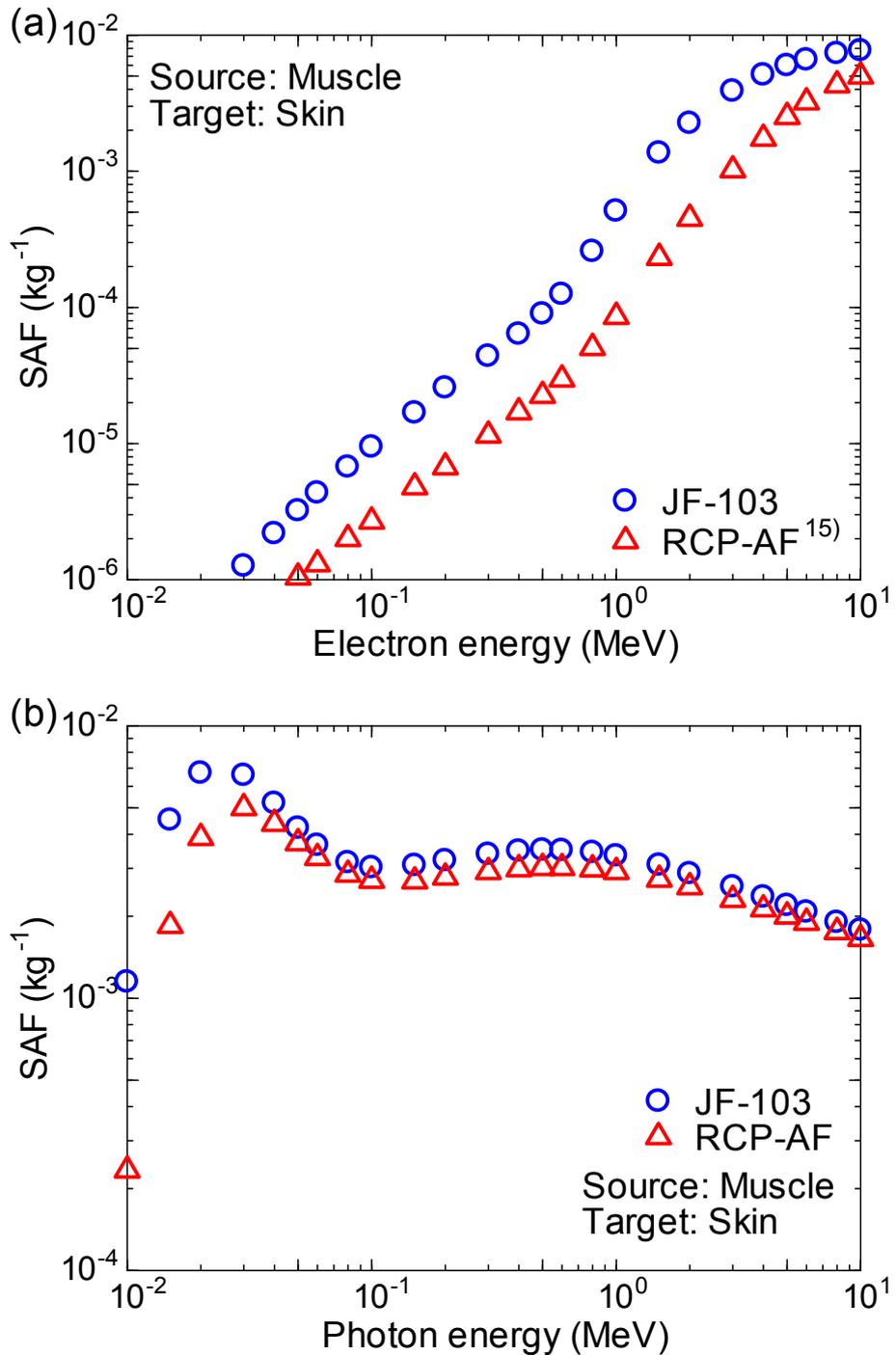


Fig. 4-5 Comparison of specific absorbed fractions (SAFs) for (a) electrons and (b) photons from the muscle to the skin between JF-103 and RCP-AF

Open circles and open triangles indicate the SAFs of JF-103 and RCP-AF, respectively.

SAF の差は 7.8% から 16% であったが、10 keV における SAF の差は 390% と大きかった。これは、線源領域である筋肉と標的臓器である皮膚の間に存在する皮下脂肪量の違いが主な原因と考えられる。日本人は、コーカソイドに比べ、脂肪が皮下脂肪より内臓脂肪として蓄積しやすい傾向がある³⁸⁾。さらに、Table 2-2 に示したように、JM-103 の脂肪組織の質量は、RCP-AF の 60% 程度と少ないことから、皮下脂肪の厚みは JM-103 の方が薄いと推察される。数 10 keV 程度の光子の軟組織中の平均自由行程は数 cm 程度であり、皮下脂肪の厚みの違いにより、筋肉から皮膚への沈着エネルギーに大きな差が生じた。

また、Fig. 4-6 に示すように、JM-103 と RCP-AM 間の光子に対する SAF(Skin←Muscle)^{7,8)} の比較においても JM-103 の SAF の方が大きい結果となったことから、人種間の皮下脂肪の厚みの違いが SAF に及ぼす影響は、男女共通であると分かった。

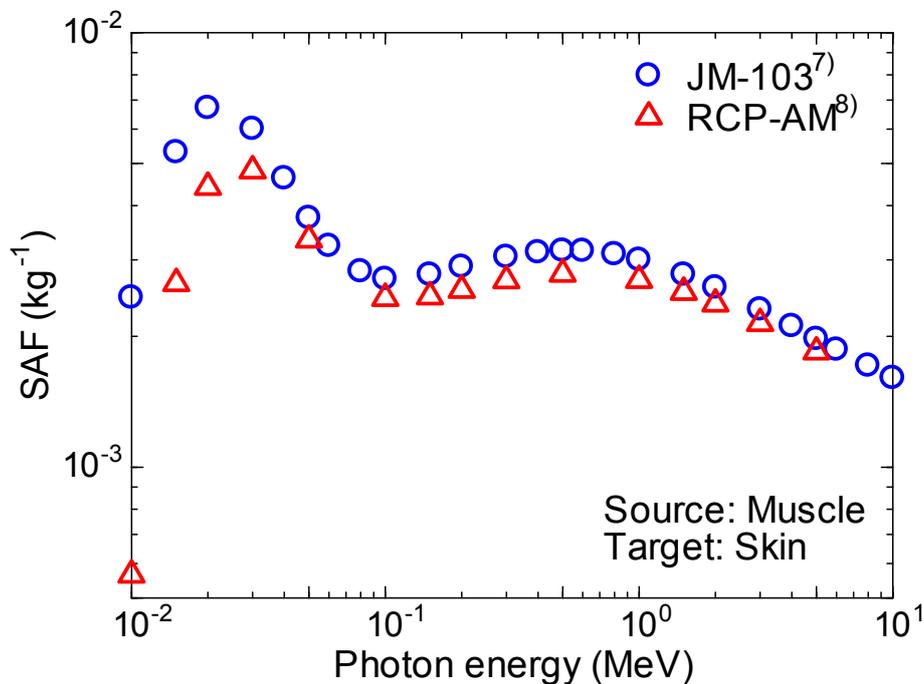


Fig. 4-6 Comparison of specific absorbed fractions (SAFs) for photons from the muscle to the skin between JM-103 and RCP-AM

Open circles and open triangles indicate the SAFs of JM-103 and RCP-AM, respectively.

5 結論

平均的成人日本人女性ファントム JF-103 を用いて、10 keV から 10 MeV の光子及び電子に対する SAF を評価した。SAF の評価は、67 個の線源領域と 42 個の標的臓器の組合せについて行った。評価した SAF は電子ファイルとしてとりまとめ、CD-ROM に収録して本報告書に添付した。この JF-103 の SAF と RCP-AF の SAF の比較から、先に公開した報告書における JM-103 と RCP-AM の SAF と同様に、人種間の体格や臓器質量の違いが SAF に影響を与えていることを確認した。

本報告書の SAF データと先に公開した JM-103 の SAF データを利用することにより、光子及び電子を放出する放射性核種の体内への取込みについて、コーカソイドとは異なる日本人の平均的な身体的特性（体格及び臓器質量）を反映した臓器線量の計算が可能となった。そのため、これらの SAF や、これに基づき評価された臓器線量のデータは、ICRP2007 年勧告に基づく線量係数を国内法令に取入れる際、検討事項として想定される日本人とコーカソイドの身体的特徴の違いが臓器線量に与える影響を評価するための基礎データとなり得る。さらに、放射線事故や放射性医薬品の投与等のような、個別の被ばく条件を考慮すべき線量評価において、評価対象者が日本人である場合は、JF-103 及び JM-103 の SAF を利用することで日本人の身体的特徴を反映させた臓器線量を評価できるため、有用であると考えられる。

参考文献

- 1) International Commission on Radiological Protection: “The 2007 Recommendations of International Commission on Radiological Protection”, ICRP Publication 103, Ann. ICRP **37** (2–4) (2007).
- 2) International Commission on Radiological Protection: “Adult reference computational phantoms”, ICRP Publication 110, Ann. ICRP **39** (2) (2009).
- 3) International Commission on Radiological Protection: “Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection reference values”, ICRP Publication 89, Ann. ICRP **32** (3–4) (2002).
- 4) Tanaka and H. Kawamura: “Anatomical and physiological characteristics for Asian reference man. Male and female of different ages”, NIRS-M-115 (1996).
- 5) K. Sato, F. Takahashi, D. Satoh and A. Endo: “Construction of average adult Japanese voxel phantoms for dose assessment”, JAEA-Data/Code 2011-013 (2011), 87 p.
- 6) 佐藤薫, 真辺健太郎, 遠藤章: “平均的成人日本人ボクセルファントムの光子比吸収割合評価への適用”, RADIOISOTOPES **61**, pp. 315–320 (2012).
- 7) 真辺健太郎, 佐藤薫, 高橋史明: “平均的成人日本人男性ファントムを用いた光子及び電子比吸収割合の評価”, JAEA-Data/Code 2014-017 (2014), 60 p.
- 8) K. Manabe, K. Sato and A. Endo: “Comparison of internal doses calculated using the specific absorbed fractions of the average adult Japanese male phantom with those of the reference computational phantom-adult male of ICRP Publication 110”, Phys. Med. Biol. **59**, pp. 1255–1270 (2014).
- 9) K. Sato, H. Noguchi, Y. Emoto, S. Koga and K. Saito: “Development of a Japanese adult female voxel phantom”, J. Nucl. Sci. Technol. **46**, pp. 907–913 (2009).
- 10) K. Sato, F. Takahashi, D. Satoh and A. Endo: “Development of adult Japanese voxel phantoms and their application to evaluation of radiation exposure doses”, JAEA-Data/Code 2010-009 (2010), 189 p.
- 11) K.Sato, H. Noguchi, Y. Emoto, S. Koga and K. Saito: “Japanese adult male voxel phantom constructed on the basis of CT images”, Radiat. Prot. Dosim. **123**, pp. 337–344 (2007).
- 12) D.B. Pelowitz: “MCNPX user’s manual version 2.6.0”, LA-CP-07-1473 (2008).
- 13) M.C. White: “Photoatomic data library MCPLIB04: a new photoatomic library based on data from ENDF/B-VI release 8”, Los Alamos National Laboratory internal memorandum X-5: MCW-02-111 (2002).
- 14) K.J. Adams: “Electron upgrade for MCNP4B”, Los Alamos National Laboratory internal memorandum: X-5-RN(U)-00-14 (2000).
- 15) M. Zankl, H. Schlattl, N. Petoussi-Henss and C. Hoeschen: “Electron specific absorbed fractions for the adult male and female ICRP/ICRU reference computational phantoms”, Phys. Med. Biol. **57**, pp. 4501–4526 (2012).
- 16) International Commission on Radiological Protection: “Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers”, ICRP Publication 68, Ann. ICRP **24** (4) (1994).
- 17) International Commission on Radiological Protection: “Limits for intakes of radionuclides by workers”,

- ICRP Publication 30 part 1, Ann. ICRP **2** (3–4) (1979).
- 18) International Commission on Radiological Protection: “Limits for intakes of radionuclides by workers”, ICRP Publication 30 part 2, Ann. ICRP **4** (3–4) (1980).
 - 19) International Commission on Radiological Protection: “Limits for intakes of radionuclides by workers”, ICRP Publication 30 part 3, Ann. ICRP **6** (2–3) (1981).
 - 20) International Commission on Radiological Protection: “Limits for intakes of radionuclides by workers: an addendum”, ICRP Publication 30 part 4, Ann. ICRP **19** (4) (1988).
 - 21) International Commission on Radiological Protection: “Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: part 1”, ICRP Publication 56, Ann. ICRP **20** (2) (1990).
 - 22) International Commission on Radiological Protection: “Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: part 2. Ingestion dose coefficients”, ICRP Publication 67, Ann. ICRP **23** (3–4) (1992).
 - 23) International Commission on Radiological Protection: “Human respiratory tract model for radiological protection”, ICRP Publication 66, Ann. ICRP **24** (1–3) (1994).
 - 24) International Commission on Radiological Protection: “Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: part 3. Ingestion dose coefficients”, ICRP Publication 69, Ann. ICRP **25** (1) (1995).
 - 25) International Commission on Radiological Protection: “Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: part 4. Inhalation dose coefficients”, ICRP Publication 71, Ann. ICRP **25** (3–4) (1995).
 - 26) International Commission on Radiological Protection: “Human alimentary tract model for radiological protection”, ICRP Publication 100, Ann. ICRP **36** (1–2) (2006).
 - 27) International Commission on Radiological Protection: “Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1”, ICRP Publication 130, Ann. ICRP **44** (2) (2015).
 - 28) W.S. Snyder, M.R. Ford and G.G. Warner: “Estimates of specific absorbed fractions for photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom”, MIRD pamphlet No. 5 revised (1978).
 - 29) M. Cristy and K.F. Eckerman: “Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources”, ORNL/TM-8381/V1–7 (1987).
 - 30) J.H. Hubbell and S.M. Seltzer: “Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV for elements $Z = 1$ to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest”, NISTIR 5632 (1995).
 - 31) C. Lee, C. Lee, A.P. Shah and W.E. Bolch: “An assessment of bone marrow and bone endosteum dosimetry methods for photon sources”, Phys. Med. Biol. **51**, pp. 5391–5407 (2006).
 - 32) M. Hough, P. Johnson, D. Rajon, D. Jokisch, C. Lee and W. Bolch: “An image-based skeletal dosimetry model for the ICRP reference adult male—internal electron sources”, Phys. Med. Biol. **56**, pp. 2309–2346 (2011).
 - 33) International Commission on Radiological Protection: “Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: the skeleton”, ICRP Publication 70, Ann. ICRP **25** (2) (1995).

- 34) W.R. Nelson, H. Hirayama and D.W.O. Rogers: “The EGS4 code system”, SLAC-265 (1985).
- 35) S. Kinase, M. Zankl, J. Kuwabara, K. Sato, H. Noguchi, J. Funabiki and K. Saito: “Evaluation of specific absorbed fraction in voxel phantoms using Monte Carlo calculation”, *Radiat. Prot. Dosim.* **105**, pp. 557–563 (2003).
- 36) K. Saito, K. Sato, S. Kinase, H. Noguchi, J. Funabiki, S. Takagi, O. Sato, Y. Emoto and S. Koga: “Dose calculation using Japanese voxel phantoms for diverse exposures”, *Proceedings of Monte Carlo 2005 Topical Meeting: The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World* (2005).
- 37) L. Hadid, A. Desbrée, H. Schlattl, D. Franck, E. Blanchardon and M. Zankl: “Application of the ICRP/ICRU reference computational phantoms to internal dosimetry: calculation of specific absorbed fractions of energy for photons and electrons”, *Phys. Med. Biol.* **55**, pp. 3631–3641 (2010).
- 38) S. Tanaka, C. Horimai and F. Katsukawa: “Ethnic differences in abdominal visceral fat accumulation between Japanese, African-Americans, and Caucasians: a meta-analysis”, *Acta Diabetol.* **40**, pp. S302–S304 (2003).

付録 A JF-103 の各種データ

付録 A では、平均的成人日本人女性ファントム JF-103^{A1)}に関するデータを示す。JF-103 の臓器区分を、臓器 ID 及び材質 ID とともに Table A-1 に示す。材質 ID 毎の元素質量組成比及び密度は、Table A-2 のとおりである。骨組織を構成する硬骨と骨髄の混合物は、その混合比によって 7 種類ある。材質 ID 毎の硬骨と骨髄の質量比を、Table A-3 に示す。臓器 ID 毎の赤色骨髄の質量は、JF-103 のファントムデータ^{A1)}から算出した。臓器 ID 毎の赤色骨髄及び骨内膜の質量を、Table A-4 及び Table A-5 にそれぞれ示す。なお、日本人に対する骨内膜質量データは存在しないため、骨内膜の質量 m_{iBS_JF} (g) は、ICRP Publication 110 の Table 4.2 に示された RCP-AF の部位毎の骨内膜質量及び骨内膜の総質量データ^{A2)}を用いて、式(A-1)から式(A-5)により算出した。

$$w_{BS} = \frac{m_{totBS_AF}}{m_{skel_AF}} \quad (A-1)$$

$$w_{regBS} = \frac{m_{regBS_AF}}{m_{totBS_AF}} \quad (A-2)$$

$$m_{totBS_JF} = m_{skel_JF} w_{BS} \quad (A-3)$$

$$m_{regBS_JF} = \begin{cases} m_{totBS_JF} w_{regBS} \frac{m_{skel_JF} - m_{hyoidSkel}}{m_{skel_JF}} & (\text{reg} \neq \text{os hyoideum}) \\ m_{totBS_JF} \frac{m_{hyoidSkel_JF}}{m_{skel_JF}} & (\text{reg} = \text{os hyoideum}) \end{cases} \quad (A-4)$$

$$m_{iBS_JF} = m_{regBS_JF} \frac{m_{iHB_JF}}{m_{regHB_JF}} \quad (A-5)$$

ここで、 w_{BS} (g g^{-1}) は RCP-AF における全ての骨組織の総質量 m_{skel_AF} (g) に占める骨内膜の総質量 m_{totBS_AF} (g) の質量分率、 w_{regBS} (g g^{-1}) は m_{totBS_AF} に占める当該部位の骨内膜の質量 m_{regBS_AF} (g) の質量分率、 m_{totBS_JF} (g) は JF-103 における骨内膜の総質量、 m_{skel_JF} (g) は JF-103 における全ての骨組織の総質量、 m_{regBS_JF} (g) は JF-103 の当該部位の骨内膜の質量、 $m_{hyoidSkel}$ (g) は JF-103 の舌骨 (Os hyoideum) における全ての骨組織の質量、 m_{iBS_JF} (g) は JF-103 の臓器 ID が i のボクセルの硬骨の質量、 m_{regHB_JF} (g) は JF-103 の当該部位における硬骨の質量である。なお、骨の微細構造^{A3)}は、人種間で大きな違いがないと考えられるため、RCP-AF の骨内膜質量データを用いて式(A-1)及び式(A-2)により算出した w_{BS} 及び w_{regBS} を、JF-103 にも適用した。また、RCP-AF では舌骨が区分されていないため、式(A-4)のように、舌骨における m_{regBS_JF} は、 m_{totBS_JF} を全ての骨組織の質量で分配した。

参考文献

- A1) K. Sato, F. Takahashi, D. Satoh and A. Endo: “Construction of average adult Japanese voxel phantoms for dose assessment”, JAEA-Data/Code 2011-013 (2011), 87 p.
- A2) International Commission on Radiological Protection: “Adult reference computational phantoms”, ICRP Publication 110, Ann. ICRP **39** (2) (2009).
- A3) International Commission on Radiological Protection: “Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: the skeleton”, ICRP Publication 70, Ann. ICRP **25** (2) (1995).

Table A-1 List of organs and material IDs of JF-103^{A1)} (1/2)

Organ ID	Organ, tissue, content	Material ID	Organ ID	Organ, tissue, content	Material ID
2	Adipose, head	m34	88	Spleen	m48
4	Adipose, trunk	m34	90	Stomach wall	m49
6	Adipose, left arm	m34	91	Stomach content	m38
8	Adipose, right arm	m34	92	Teeth	m37
10	Adipose, left leg	m34	94	Ovaries	m52
11	Adipose, breast	m34	95	Uterus	m53
12	Adipose, right leg	m34	96	Thymus	m31
14	Adrenals	m31	98	Thyroid	m50
16	Urinary bladder wall	m41	100	Trachea	m31
17	Urinary bladder content	m31	102	Right colon wall	m49
18	Brain	m42	103	Right colon content	m31
19	Meninges	m31	104	Left colon wall	m49
20	Mammary gland	m35	105	Left colon content	m31
21	Parotid	m31	106	Sigmoid colon wall	m49
22	Submaxillary	m31	107	Sigmoid colon content	m31
23	Sublingual	m31	110	Lymphatic nodes, extrathoracic airways	m54
24	Air in nose or air duct	m99	111	Lymphatic nodes, thoracic airways	m54
25	Oral mucosa	m32	112	Lymphatic nodes, head	m54
26	Tongue	m32	113	Lymphatic nodes, trunk	m54
27	ET regions	m32	114	Lymphatic nodes, arms	m54
28	Bronchi	m31	115	Lymphatic nodes, legs	m54
30	Eye	m43	120	Cranium 01	m11
32	Eye lens	m43	121	Cranium 02	m12
33	Vena Cava	m44	122	Cranium 03	m13
34	Heart wall	m44	123	Cranium 04	m14
35	Aorta	m44	124	Cranium 05	m15
36	Left kidney	m45	125	Cranium 06	m16
38	Right kidney	m45	126	Cranium 07	m17
40	Liver	m46	130	Mandible 01	m11
42	Left lung	m36	131	Mandible 02	m12
43	Left Pleura	m31	132	Mandible 03	m13
44	Right lung	m36	133	Mandible 04	m14
45	Right Pleura	m31	134	Mandible 05	m15
46	Muscle, head	m32	135	Mandible 06	m16
48	Muscle, trunk	m32	136	Mandible 07	m17
50	Muscle, left arm	m32	140	Cervical vertebra 01	m11
52	Muscle, right arm	m32	141	Cervical vertebra 02	m12
54	Muscle, left leg	m32	142	Cervical vertebra 03	m13
56	Muscle, right leg	m32	143	Cervical vertebra 04	m14
58	Oesophagus	m31	144	Cervical vertebra 05	m15
60	Gall bladder wall	m31	145	Cervical vertebra 06	m16
61	Gall bladder content	m31	146	Cervical vertebra 07	m17
62	Pancreas	m47	150	Thoracic vertebra 01	m11
63	Vena Cava content	m51	151	Thoracic vertebra 02	m12
64	Heart content	m51	152	Thoracic vertebra 03	m13
65	Aorta content	m51	153	Thoracic vertebra 04	m14
66	Small intestine wall	m49	154	Thoracic vertebra 05	m15
67	Small intestine content	m31	155	Thoracic vertebra 06	m16
72	Skin, head	m33	156	Thoracic vertebra 07	m17
74	Skin, trunk	m33	160	Lumber vertebra 01	m11
76	Skin, left arm	m33	161	Lumber vertebra 02	m12
78	Skin, right arm	m33	162	Lumber vertebra 03	m13
80	Skin, left leg	m33	163	Lumber vertebra 04	m14
82	Skin, right leg	m33	164	Lumber vertebra 05	m15

Table A-1 List of organs and material IDs of JF-103^{A1)} (2/2)

Organ ID	Organ, tissue, content	Material ID	Organ ID	Organ, tissue, content	Material ID
165	Lumber vertebra 06	m16	243	Humeri, lower 04	m14
166	Lumber vertebra 07	m17	244	Humeri, lower 05	m15
170	Sacrum 01	m11	245	Humeri, lower 06	m16
171	Sacrum 02	m12	246	Humeri, lower 07	m17
172	Sacrum 03	m13	250	Forearm 01	m11
173	Sacrum 04	m14	251	Forearm 02	m12
174	Sacrum 05	m15	252	Forearm 03	m13
175	Sacrum 06	m16	253	Forearm 04	m14
176	Sacrum 07	m17	254	Forearm 05	m15
180	Clavicles 01	m11	255	Forearm 06	m16
181	Clavicles 02	m12	256	Forearm 07	m17
182	Clavicles 03	m13	260	Wrist and hand 01	m11
183	Clavicles 04	m14	261	Wrist and hand 02	m12
184	Clavicles 05	m15	262	Wrist and hand 03	m13
185	Clavicles 06	m16	263	Wrist and hand 04	m14
186	Clavicles 07	m17	264	Wrist and hand 05	m15
190	Scapulae 01	m11	265	Wrist and hand 06	m16
191	Scapulae 02	m12	266	Wrist and hand 07	m17
192	Scapulae 03	m13	270	Femora, upper 01	m11
193	Scapulae 04	m14	271	Femora, upper 02	m12
194	Scapulae 05	m15	272	Femora, upper 03	m13
195	Scapulae 06	m16	273	Femora, upper 04	m14
196	Scapulae 07	m17	274	Femora, upper 05	m15
200	Sternum 01	m11	275	Femora, upper 06	m16
201	Sternum 02	m12	276	Femora, upper 07	m17
202	Sternum 03	m13	280	Femora, lower 01	m11
203	Sternum 04	m14	281	Femora, lower 02	m12
204	Sternum 05	m15	282	Femora, lower 03	m13
205	Sternum 06	m16	283	Femora, lower 04	m14
210	Ribs 01	m11	284	Femora, lower 05	m15
211	Ribs 02	m12	285	Femora, lower 06	m16
212	Ribs 03	m13	286	Femora, lower 07	m17
213	Ribs 04	m14	290	Tibiae, fibulae, and patellae 01	m11
214	Ribs 05	m15	291	Tibiae, fibulae, and patellae 02	m12
215	Ribs 06	m16	292	Tibiae, fibulae, and patellae 03	m13
216	Ribs 07	m17	293	Tibiae, fibulae, and patellae 04	m14
220	Os coxae 01	m11	294	Tibiae, fibulae, and patellae 05	m15
221	Os coxae 02	m12	295	Tibiae, fibulae, and patellae 06	m16
222	Os coxae 03	m13	296	Tibiae, fibulae, and patellae 07	m17
223	Os coxae 04	m14	300	Ankle and foot 01	m11
224	Os coxae 05	m15	301	Ankle and foot 02	m12
225	Os coxae 06	m16	302	Ankle and foot 03	m13
226	Os coxae 07	m17	303	Ankle and foot 04	m14
230	Humeri, upper 01	m11	304	Ankle and foot 05	m15
231	Humeri, upper 02	m12	305	Ankle and foot 06	m16
232	Humeri, upper 03	m13	306	Ankle and foot 07	m17
233	Humeri, upper 04	m14	310	Os hyoideum 01	m11
234	Humeri, upper 05	m15	311	Os hyoideum 02	m12
235	Humeri, upper 06	m16	312	Os hyoideum 03	m13
236	Humeri, upper 07	m17	313	Os hyoideum 04	m14
240	Humeri, lower 01	m11	314	Os hyoideum 05	m15
241	Humeri, lower 02	m12	315	Os hyoideum 06	m16
242	Humeri, lower 03	m13	316	Os hyoideum 07	m17

Table A-2 List of materials, and their elemental compositions (percentage by mass) and densities of JF-103^(A1)

Material ID	Material	H	C	N	O	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca	Fe	I	Ar	Density (g cm ⁻³)
m11	Bone01 (marrow 70wt%)	9.0	41.0	2.8	37.4	0.1	0.1	3.2	0.1			6.3	0.001			1.155
m12	Bone02 (marrow 53wt%)	8.0	34.5	3.1	39.1	0.1	0.1	5.0	0.2			9.9	0.001			1.261
m13	Bone03 (marrow 45wt%)	7.5	31.5	3.3	40.0	0.1	0.1	5.8	0.2			11.5				1.318
m14	Bone04 (marrow 36wt%)	6.9	28.1	3.5	41.0	0.1	0.1	6.7	0.2			13.4				1.388
m15	Bone05 (marrow 25wt%)	6.3	23.9	3.7	42.0	0.05	0.2	7.9	0.2			15.7				1.485
m16	Bone06 (marrow 10wt%)	5.3	18.2	4.0	43.6	0.02	0.2	9.5	0.3			18.9				1.641
m17	Bone07 (marrow 00wt%)	4.7	14.5	4.2	44.6		0.2	10.5	0.3			21.0				1.765
m31	Bulk soft tissues	10.5	25.6	2.7	60.2	0.1		0.2	0.3	0.2	0.2					1.030
m32	Muscle	10.2	14.3	3.4	71.0	0.1		0.2	0.3	0.1	0.4					1.050
m33	Skin	10.0	20.4	4.2	64.5	0.2		0.1	0.2	0.3	0.1					1.090
m34	Adipose tissue	11.4	59.8	0.7	27.8	0.1			0.1	0.1						0.950
m35	Breast	11.6	51.9		36.5											0.940
m36	Lungs	10.3	10.5	3.1	74.9	0.2		0.2	0.3	0.3	0.2					0.260
m37	Teeth	2.2	9.5	2.9	42.1		0.7	13.7				28.9				2.750
m38	Stomach content	10.5	25.5	2.8	60.1	0.2		0.2	0.3	0.2	0.2					0.435
m41	Urinary bladder	10.5	9.6	2.6	76.1	0.2		0.2	0.2	0.3	0.3					1.040
m42	Brain	10.7	14.5	2.2	71.2	0.2		0.4	0.2	0.3	0.3					1.040
m43	Eyes	9.6	19.5	5.7	64.6	0.1		0.1	0.3	0.1						1.070
m44	Heart	10.4	13.9	2.9	71.8	0.1		0.2	0.2	0.2	0.3					1.050
m45	Kidneys	10.3	13.2	3.0	72.4	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.1				1.050
m46	Liver	10.3	18.6	2.8	67.1	0.2		0.2	0.3	0.2	0.3					1.050
m47	Pancreas	10.6	16.9	2.2	69.4	0.2		0.2	0.1	0.2	0.2					1.040
m48	Spleen	10.3	11.3	3.2	74.1	0.1		0.3	0.2	0.2	0.3					1.060
m49	GI-tract	10.6	11.5	2.2	75.1	0.1		0.1	0.1	0.2	0.1					1.030
m50	Thyroid	10.4	11.9	2.4	74.5	0.2		0.1	0.1	0.2	0.1			0.1		1.050
m51	Blood (heart content)	10.2	11.0	3.3	74.5	0.1		0.1	0.2	0.3	0.2		0.1			1.060
m52	Ovaries	10.5	9.3	2.4	76.8	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2					1.050
m53	Uterus	10.6	31.5	2.4	54.7	0.1		0.2	0.2	0.1	0.2					1.020
m54	Lymph	10.8	4.2	1.1	83.1	0.3			0.1	0.4						1.030
m99	Air		0.0	75.5	23.2									1.3		0.001204

Table A-3 Densities and mass fractions of the hard bone and bone marrow of the bone materials in JF-103^{A1)}

Material ID	Material	Density (g cm ⁻³)	Mass fraction	
			Hard bone	Bone marrow
m11	Bone01	1.155	0.30	0.70
m12	Bone02	1.261	0.47	0.53
m13	Bone03	1.318	0.55	0.45
m14	Bone04	1.388	0.64	0.36
m15	Bone05	1.485	0.75	0.25
m16	Bone06	1.641	0.90	0.10
m17	Bone07	1.765	1.00	0.00

Table A-4 Mass of the red bone marrow in JF-103

Organ ID	Mass (g)	Organ ID	Mass (g)	Organ ID	Mass (g)
120	1.664E+01	190	2.776E-01	260	0.000E+00
121	1.498E+01	191	6.902E+00	261	0.000E+00
122	1.250E+01	192	8.974E+00	262	0.000E+00
123	1.195E+01	193	6.622E+00	263	0.000E+00
124	9.221E+00	194	3.338E+00	264	0.000E+00
125	7.934E+00	195	1.099E+00	265	0.000E+00
126	0.000E+00	196	0.000E+00	266	0.000E+00
130	2.558E-01	200	1.143E+01	270	1.588E+01
131	1.573E+00	201	9.146E+00	271	2.236E+01
132	1.618E+00	202	5.880E+00	272	1.423E+01
133	1.557E+00	203	2.454E+00	273	9.631E+00
134	1.180E+00	204	2.116E-01	274	3.600E+00
135	8.847E-01	205	1.246E-02	275	1.721E+00
136	0.000E+00	206	0.000E+00	276	0.000E+00
140	3.386E-01	210	1.688E+01	280	0.000E+00
141	6.760E+00	211	6.711E+01	281	0.000E+00
142	1.147E+01	212	3.247E+01	282	0.000E+00
143	1.140E+01	213	2.249E+01	283	0.000E+00
144	4.889E+00	214	8.955E+00	284	0.000E+00
145	1.456E+00	215	1.809E+00	285	0.000E+00
146	0.000E+00	216	0.000E+00	286	0.000E+00
150	7.182E+00	220	2.994E+01	290	0.000E+00
151	6.377E+01	221	5.999E+01	291	0.000E+00
152	5.059E+01	222	4.017E+01	292	0.000E+00
153	2.048E+01	223	2.776E+01	293	0.000E+00
154	6.458E+00	224	1.409E+01	294	0.000E+00
155	1.766E+00	225	5.118E+00	295	0.000E+00
156	0.000E+00	226	0.000E+00	296	0.000E+00
160	1.385E+01	230	9.174E+00	300	0.000E+00
161	5.808E+01	231	6.686E+00	301	0.000E+00
162	2.506E+01	232	3.734E+00	302	0.000E+00
163	1.189E+01	233	1.909E+00	303	0.000E+00
164	4.060E+00	234	8.558E-01	304	0.000E+00
165	1.749E+00	235	5.483E-01	305	0.000E+00
166	0.000E+00	236	0.000E+00	306	0.000E+00
170	3.797E+01	240	0.000E+00	310	1.194E-03
171	2.989E+01	241	0.000E+00	311	1.917E-01
172	1.672E+01	242	0.000E+00	312	1.894E-01
173	5.711E+00	243	0.000E+00	313	1.391E-01
174	1.653E+00	244	0.000E+00	314	4.135E-02
175	3.888E-01	245	0.000E+00	315	1.024E-02
176	0.000E+00	246	0.000E+00	316	0.000E+00
180	1.241E+00	250	0.000E+00		
181	2.246E+00	251	0.000E+00		
182	1.894E+00	252	0.000E+00		
183	1.183E+00	253	0.000E+00		
184	6.469E-01	254	0.000E+00		
185	4.260E-01	255	0.000E+00		
186	0.000E+00	256	0.000E+00		
				Total	9.556E+02

Table A-5 Mass of the endosteum in JF-103*

Organ ID	Mass (g)	Organ ID	Mass (g)	Organ ID	Mass (g)
120	1.904E+00	190	1.874E-02	260	1.804E-01
121	3.547E+00	191	9.651E-01	261	1.725E+00
122	4.067E+00	192	1.726E+00	262	2.455E+00
123	5.677E+00	193	1.860E+00	263	1.758E+00
124	7.427E+00	194	1.581E+00	264	8.366E-01
125	1.880E+01	195	1.569E+00	265	7.544E-01
126	2.837E+01	196	5.423E-01	266	1.002E-02
130	5.155E-03	200	9.046E-01	270	1.850E+00
131	6.563E-02	201	1.498E+00	271	5.405E+00
132	9.308E-02	202	1.328E+00	272	4.727E+00
133	1.305E-01	203	8.057E-01	273	4.660E+00
134	1.661E-01	204	1.172E-01	274	2.935E+00
135	3.717E-01	205	2.064E-02	275	4.211E+00
136	9.072E-01	206	0.000E+00	276	1.339E+01
140	1.942E-02	210	9.473E-01	280	2.591E+00
141	8.028E-01	211	7.791E+00	281	4.460E+00
142	1.875E+00	212	5.195E+00	282	3.586E+00
143	2.718E+00	213	5.234E+00	283	2.493E+00
144	1.965E+00	214	3.517E+00	284	1.641E+00
145	1.761E+00	215	2.131E+00	285	2.266E+00
146	4.261E-01	216	7.882E-02	286	9.054E+00
150	3.533E-01	220	2.087E+00	290	8.884E+00
151	6.498E+00	221	8.663E+00	291	1.689E+01
152	7.090E+00	222	7.980E+00	292	1.243E+01
153	4.175E+00	223	8.015E+00	293	8.670E+00
154	2.228E+00	224	6.881E+00	294	6.937E+00
155	1.828E+00	225	7.473E+00	295	1.052E+01
156	2.214E-01	226	2.059E+00	296	2.753E+01
160	8.181E-01	230	9.117E-01	300	1.035E+00
161	7.095E+00	231	1.376E+00	301	4.476E+00
162	4.213E+00	232	1.060E+00	302	6.928E+00
163	2.910E+00	233	7.899E-01	303	7.505E+00
164	1.682E+00	234	5.936E-01	304	3.767E+00
165	2.174E+00	235	1.133E+00	305	2.021E+00
166	6.757E-01	236	2.071E+00	306	7.945E-01
170	3.397E+00	240	3.054E-01	310	1.264E-04
171	5.536E+00	241	9.441E-01	311	4.195E-02
172	4.263E+00	242	8.771E-01	312	5.720E-02
173	2.123E+00	243	1.026E+00	313	6.126E-02
174	1.037E+00	244	8.841E-01	314	3.068E-02
175	7.333E-01	245	1.634E+00	315	2.304E-02
176	8.751E-02	246	3.570E+00	316	1.288E-03
180	6.725E-02	250	4.933E-01		
181	2.522E-01	251	1.763E+00		
182	2.917E-01	252	1.869E+00		
183	2.668E-01	253	2.019E+00		
184	2.442E-01	254	1.614E+00		
185	4.911E-01	255	2.910E+00		
186	4.524E-01	256	2.485E+00		
				Total	4.432E+02

* The mass and distribution of endosteum in each anatomical region were calculated in reference to the data of RCP-AF^{A2)}.

付録 B JF-103 の比吸収割合データの線源領域及び標的臓器一覧

付録 B では、本研究で整備した SAF データの線源領域及び標的臓器の一覧を示す。

線源領域については、線源の設定に使用した臓器 ID とともに Table B-1 に示す。Table B-2 には、SAF を評価した標的臓器について、タリーの設定に使用した臓器 ID とともに示す。

Table B-1 List of source regions selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their organ ID numbers (1/2)

Source region	Acronym	Organ ID
Oral cavity	O-cavity	25
Oral mucosa	O-mucosa	25
Teeth surface	Teeth-S	92
Teeth volume	Teeth-V	92
Oesophagus fast	Oesophag-f	58
Oesophagus slow	Oesophag-s	58
Oesophagus wall	Oesophagus	58
Stomach content	St-cont	91
Stomach wall	St-wall	90
Small intestine content	SI-cont	67
Small intestine wall	SI-wall	66
Small intestine villi	SI-villi	66
Right colon content	RC-cont	103
Right colon wall	RC-wall	102
Left colon content	LC-cont	105
Left colon wall	LC-wall	104
Recto-sigmoid colon content	RSig-cont	107
Recto-sigmoid colon wall	RSig-wall	106
Surface of anterior nasal passages	ET1-sur	27
Surface of posterior nasal passages + pharynx (ET2)	ET2-sur	27
Bound ET2 region	ET2-bnd	27
Sequestered ET2 region	ET2-seq	27
Lymphatic nodes in extrathoracic region	LN-ET	110
Bronchi	Bronchi	28
Bronchi fast	Bronchi-f	28
Bronchi slow	Bronchi-s	28
Bronchi bound	Bronchi-b	28
Bronchi sequestered	Bronchi-q	28
Bronchioles	Bronchiole	42, 44
Bronchioles fast	Brchiole-f	42, 44
Bronchioles slow	Brchiole-s	42, 44
Bronchioles bound	Brchiole-b	42, 44
Bronchioles sequestered	Brchiole-q	42, 44
Alveolar interstitium	AI	42, 44
Lymphatic nodes in thoracic region	LN-Th	111
Lungs	Lungs	42, 44
Adrenals	Adrenals	14
Blood	Blood	*
Cortical bone surface	C-bone-S	†
Cortical bone volume	C-bone-V	†
Trabecular bone surface	T-bone-S	‡
Trabecular bone volume	T-bone-V	‡
Red bone marrow	R-marrow	§
Brain	Brain	18
Breast	Breast	11, 20
Cartilage	Cartilage	¶
Gall bladder content	GB-cont	61
Gall bladder wall	GB-wall	60
Heart content	Ht-cont	64
Heart wall	Ht-wall	34
Kidneys	Kidneys	36, 38

Table B-1 List of source regions selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their organ ID numbers (2/2)

Source region	Acronym	Organ ID
Liver	Liver	40
Lymphatic nodes	Lymph	110–115
Muscle	Muscle	46, 48, 50, 52, 54, 56
Ovaries	Ovaries	94
Pancreas	Pancreas	62
Salivary glands	S-glands	21–23
Skin	Skin	72, 74, 76, 78, 80, 82
Spleen	Spleen	88
Thymus	Thymus	96
Thyroid	Thyroid	98
Urinary bladder content	UB-cont	17
Urinary bladder wall	UB-wall	16
Uterus/cervix	Uterus	95
Adipose tissue	Adipose	2, 4, 6, 8, 10, 12
Total body tissues (whole body minus contents of alimentary tract, gall bladder and urinary bladder)	T-body	**
Soft tissues (T-body minus mineral bone)	S-tissue	††

* Blood: 63–65, plus blood fraction of 2, 4, 6, 8, 10–12, 14, 16, 18–23, 25–28, 30, 32–36, 38, 40, 42–46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60–62, 66, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 88, 90, 94–96, 98, 100, 102, 104, 106, 120–126, 130–136, 140–146, 150–156, 160–166, 170–176, 180–186, 190–196, 200–205, 210–216, 220–226, 230–236, 240–246, 250–256, 260–266, 270–276, 280–286, 290–296, 300–306, 310–316.

† C-bone-S and C-bone-V: 126, 136, 146, 156, 166, 176, 186, 196, 216, 226, 236, 246, 256, 266, 276, 286, 296, 306, 316, plus cortical bone fraction of 124, 125, 135, 142–145, 152–155, 162–165, 170–175, 183–185, 193–195, 202–205, 212–215, 223–225, 233–235, 242–245, 253–255, 263–265, 274, 275, 283–285, 293–295, 303–305, 313–315.

‡ T-bone-S and T-bone-V: trabecular bone fraction of 120–124, 130–135, 140–142, 150–152, 160–162, 170, 180–183, 190–193, 200–202, 210–212, 220–223, 230–233, 240–242, 250–253, 260–263, 270–274, 280–283, 290–293, 300–303, 310–313.

§ R-marrow: red marrow fraction of 120–125, 130–135, 140–145, 150–155, 160–165, 170–175, 180–185, 190–195, 200–205, 210–215, 220–225, 230–235, 270–275, 310–315.

¶ Cartilage: 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310.

** T-body: 2, 4, 6, 8, 10–12, 14, 16, 18–23, 25–28, 30, 32–36, 38, 40, 42–46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62–66, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 88, 90, 92, 94–96, 98, 100, 102, 104, 106, 110–115, 120–126, 130–136, 140–146, 150–156, 160–166, 170–176, 180–186, 190–196, 200–205, 210–216, 220–226, 230–236, 240–246, 250–256, 260–266, 270–276, 280–286, 290–296, 300–306, 310–316.

†† S-tissue: 2, 4, 6, 8, 10–12, 14, 16, 18–23, 25–28, 30, 32–36, 38, 40, 42–46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62–66, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 88, 90, 92, 94–96, 98, 100, 102, 104, 106, 110–115, plus marrow fraction of 120–125, 130–135, 140–145, 150–155, 160–165, 170–175, 180–185, 190–195, 200–205, 210–215, 220–225, 230–235, 240–245, 250–255, 260–265, 270–275, 280–285, 290–295, 300–305, 310–315.

Table B-2 List of target organs selected for calculation of specific absorbed fractions of JF-103 and their organ ID numbers

Target organs	Acronym	Organ ID
Red bone marrow	R-marrow	*
Colon wall	Colon	102, 104, 106
Lungs	Lungs	42, 44
Stomach wall	St-wall	90
Breast	Breast	11, 20
Ovaries	Ovaries	94
Urinary bladder wall	UB-wall	16
Oesophagus	Oesophagus	58
Liver	Liver	40
Thyroid	Thyroid	98
Endosteum	Endost-BS	†
Brain	Brain	18
Salivary glands	S-glands	21–23
Skin	Skin	72, 74, 76, 78, 80, 82
Adrenals	Adrenals	14
Extrathoracic region	ET	27
Gall bladder wall	GB-wall	60
Heart wall	Ht-wall	34
Kidneys	Kidneys	36, 38
Lymphatic nodes	Lymph	110–115
Muscle	Muscle	46, 48, 50, 52, 54, 56
Oral mucosa	O-mucosa	25
Pancreas	Pancreas	62
Small intestine wall	SI-wall	66
Spleen	Spleen	88
Thymus	Thymus	96
Uterus/cervix	Uterus	95
Right colon wall	RC-wall	102
Left colon wall	LC-wall	104
Recto-sigmoid colon wall	RSig-wall	106
Basal cells of bronchi	Bronchi-bas	28
Secretory cells of bronchi	Bronchi-sec	28
Secretory cells of bronchioles	Brchiol-sec	42, 44
Alveolar interstitium	AI	42, 44
Basal cells of anterior nasal passages	ET1-bas	27
Basal cells of posterior nasal passages + pharynx	ET2-bas	27
Lymphatic nodes in thoracic region	LN-Th	111
Lymphatic nodes in extrathoracic region	LN-ET	110
Lymphatic nodes in non-respiratory regions	LN-body	112–115
Lenses of eye	Eye-lens	32
Tongue	Tongue	26
Adipose tissue	Adipose	2, 4, 6, 8, 10, 12

* R-marrow: 120–125, 130–135, 140–145, 150–155, 160–165, 170–175, 180–185, 190–195, 200–205, 210–215, 220–225, 230–235, 270–275, 310–315.

† Endost-BS: 120–126, 130–136, 140–146, 150–156, 160–166, 170–176, 180–186, 190–196, 200–205, 210–216, 220–226, 230–236, 240–246, 250–256, 260–266, 270–276, 280–286, 290–296, 300–306, 310–316.

付録 C 放射線発生確率の計算結果

付録 C では、輸送計算における線源の設定に必要な放射線発生確率の計算結果を示す。

JF-103 について、血液、皮質骨、梁骨、赤色骨髄、乳房、全身組織及び軟組織が線源領域である場合の放射線発生確率を、Table C-1 から C-7 にそれぞれ示す。

Table C-1 Radiation generation probability of the blood source of JF-103 (1/2)

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
2	860399	1.413E+01	5.723E-09	90	107618	2.491E+01	8.066E-08
4	7176452	1.179E+02	5.723E-09	94	11891	8.993E-01	2.636E-08
6	691825	1.136E+01	5.723E-09	95	68832	9.710E+00	4.916E-08
8	677438	1.113E+01	5.723E-09	96	28127	4.007E+00	4.964E-08
10	2938686	4.826E+01	5.723E-09	98	16663	2.436E+00	5.095E-08
11	212233	3.485E+00	5.723E-09	100	6676	9.510E-01	4.964E-08
12	2796868	4.593E+01	5.723E-09	102	97671	2.425E+01	8.652E-08
14	12032	2.250E+00	6.515E-08	104	99765	2.477E+01	8.652E-08
16	31920	6.695E-01	7.309E-09	106	49676	1.233E+01	8.652E-08
18	1336112	5.071E+01	1.323E-08	110	8009	1.081E-01	4.705E-09
19	66264	1.639E+00	8.618E-09	111	7558	1.021E-01	4.705E-09
20	128110	1.665E+01	4.530E-08	112	2800	3.781E-02	4.705E-09
21	37141	5.291E+00	4.964E-08	113	132775	1.793E+00	4.705E-09
22	18380	2.618E+00	4.964E-08	114	9743	1.316E-01	4.705E-09
23	7842	1.117E+00	4.964E-08	115	14264	1.926E-01	4.705E-09
25	8417	1.971E-01	8.160E-09	120	70100	3.547E+00	1.763E-08
26	51015	1.195E+00	8.160E-09	121	76348	3.418E+00	1.560E-08
27	30391	4.413E+00	5.060E-08	122	71582	2.981E+00	1.451E-08
28	20629	2.939E+00	4.964E-08	123	81527	3.078E+00	1.315E-08
30	11588	1.715E+00	5.157E-08	124	85075	2.757E+00	1.129E-08
32	273	4.040E-02	5.157E-08	125	162392	3.862E+00	8.287E-09
33	31071	7.833E-01	8.785E-09	126	205060	3.476E+00	5.907E-09
34	322639	8.134E+00	8.785E-09	130	851	4.315E-02	1.767E-08
35	61807	1.558E+00	8.785E-09	131	6334	2.841E-01	1.563E-08
36	137664	4.137E+01	1.047E-07	132	7344	3.064E-01	1.454E-08
38	131073	3.939E+01	1.047E-07	133	8403	3.178E-01	1.318E-08
40	1300148	3.842E+02	1.030E-07	134	8531	2.769E-01	1.131E-08
42	1983202	2.461E+02	4.325E-08	135	14394	3.426E-01	8.294E-09
43	370213	9.155E+00	8.618E-09	136	29399	4.983E-01	5.907E-09
44	1932966	2.399E+02	4.325E-08	140	550	4.551E-02	2.884E-08
45	334014	8.260E+00	8.618E-09	141	13291	9.482E-01	2.486E-08
46	778061	1.962E+01	8.785E-09	142	25373	1.655E+00	2.273E-08
48	9785184	2.467E+02	8.785E-09	143	30017	1.729E+00	2.008E-08
50	878731	2.215E+01	8.785E-09	144	17314	8.166E-01	1.644E-08
52	820149	2.068E+01	8.785E-09	145	11697	3.545E-01	1.056E-08
54	3833710	9.665E+01	8.785E-09	146	2369	4.016E-02	5.907E-09
56	3946906	9.950E+01	8.785E-09	150	12821	1.062E+00	2.885E-08
58	31696	7.337E+00	8.066E-08	151	137854	9.841E+00	2.488E-08
60	6259	8.916E-01	4.964E-08	152	122984	8.026E+00	2.274E-08
62	112849	2.311E+01	7.135E-08	153	59094	3.407E+00	2.009E-08
63	24819	2.527E+01	3.548E-07	154	25156	1.187E+00	1.644E-08
64	310325	3.159E+02	3.548E-07	155	15567	4.719E-01	1.056E-08
65	85291	8.683E+01	3.548E-07	156	1577	2.673E-02	5.907E-09
66	472161	1.214E+02	8.963E-08	160	32955	2.728E+00	2.885E-08
72	142221	8.040E+00	1.970E-08	161	167103	1.193E+01	2.487E-08
74	664786	3.758E+01	1.970E-08	162	81124	5.293E+00	2.274E-08
76	146897	8.304E+00	1.970E-08	163	45722	2.635E+00	2.009E-08
78	142737	8.069E+00	1.970E-08	164	21085	9.948E-01	1.644E-08
80	356991	2.018E+01	1.970E-08	165	20548	6.228E-01	1.056E-08
82	359548	2.032E+01	1.970E-08	166	5344	9.059E-02	5.907E-09
88	108221	4.737E+01	1.525E-07	170	70583	5.841E+00	2.884E-08

Table C-1 Radiation generation probability of the blood source of JF-103 (2/2)

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
171	67255	4.799E+00	2.486E-08	245	13016	2.051E-01	5.492E-09
172	42347	2.762E+00	2.273E-08	246	23798	4.034E-01	5.907E-09
173	17205	9.914E-01	2.008E-08	250	18564	2.059E-01	3.866E-09
174	6701	3.161E-01	1.644E-08	251	38786	4.697E-01	4.220E-09
175	3575	1.083E-01	1.056E-08	252	33619	4.256E-01	4.411E-09
176	357	6.052E-03	5.907E-09	253	29641	3.951E-01	4.645E-09
180	4780	2.176E-01	1.586E-08	254	18894	2.695E-01	4.970E-09
181	10479	4.251E-01	1.414E-08	255	25693	4.049E-01	5.492E-09
182	9910	3.757E-01	1.321E-08	256	18356	3.112E-01	5.907E-09
183	7396	2.559E-01	1.206E-08	260	7244	8.035E-02	3.866E-09
184	5400	1.624E-01	1.048E-08	261	40491	4.904E-01	4.220E-09
185	8190	1.863E-01	7.927E-09	262	47122	5.965E-01	4.411E-09
186	6313	1.070E-01	5.907E-09	263	27537	3.671E-01	4.645E-09
190	910	4.606E-02	1.764E-08	264	10453	1.491E-01	4.970E-09
191	27399	1.227E+00	1.561E-08	265	7108	1.120E-01	5.492E-09
192	40056	1.668E+00	1.452E-08	266	79	1.339E-03	5.907E-09
193	35232	1.330E+00	1.316E-08	270	48689	1.816E+00	1.300E-08
194	23881	7.740E-01	1.129E-08	271	83179	2.809E+00	1.177E-08
195	17876	4.251E-01	8.288E-09	272	59470	1.896E+00	1.111E-08
196	5170	8.764E-02	5.907E-09	273	47848	1.413E+00	1.029E-08
200	17372	1.438E+00	2.885E-08	274	24037	6.320E-01	9.162E-09
201	16820	1.200E+00	2.487E-08	275	26002	5.481E-01	7.345E-09
202	12193	7.955E-01	2.274E-08	276	69195	1.173E+00	5.907E-09
203	6035	3.478E-01	2.008E-08	280	118338	1.313E+00	3.866E-09
204	700	3.302E-02	1.644E-08	281	119074	1.442E+00	4.220E-09
205	93	2.819E-03	1.056E-08	282	78273	9.908E-01	4.411E-09
210	36240	3.000E+00	2.885E-08	283	44406	5.919E-01	4.645E-09
211	174256	1.244E+01	2.487E-08	284	23308	3.324E-01	4.970E-09
212	95006	6.200E+00	2.274E-08	285	24282	3.827E-01	5.492E-09
213	78106	4.502E+00	2.009E-08	286	81171	1.376E+00	5.907E-09
214	41860	1.975E+00	1.644E-08	290	188608	2.092E+00	3.866E-09
215	19128	5.798E-01	1.056E-08	291	209687	2.539E+00	4.220E-09
216	592	1.004E-02	5.907E-09	292	126120	1.596E+00	4.411E-09
220	67807	4.122E+00	2.118E-08	293	71794	9.570E-01	4.645E-09
221	164581	8.755E+00	1.854E-08	294	45818	6.535E-01	4.970E-09
222	123951	6.088E+00	1.712E-08	295	52390	8.257E-01	5.492E-09
223	101591	4.475E+00	1.535E-08	296	114737	1.945E+00	5.907E-09
224	69561	2.580E+00	1.292E-08	300	36669	4.068E-01	3.866E-09
225	56970	1.473E+00	9.007E-09	301	92747	1.123E+00	4.220E-09
226	13135	2.227E-01	5.907E-09	302	117369	1.486E+00	4.411E-09
230	41145	1.534E+00	1.300E-08	303	103753	1.383E+00	4.645E-09
231	36319	1.226E+00	1.177E-08	304	41535	5.924E-01	4.970E-09
232	22867	7.290E-01	1.111E-08	305	16808	2.649E-01	5.492E-09
233	13906	4.106E-01	1.029E-08	306	5528	9.371E-02	5.907E-09
234	8334	2.191E-01	9.163E-09	310	4	2.028E-04	1.767E-08
235	11997	2.529E-01	7.345E-09	311	776	3.481E-02	1.563E-08
236	18350	3.111E-01	5.907E-09	312	865	3.609E-02	1.454E-08
240	10369	1.150E-01	3.866E-09	313	756	2.859E-02	1.318E-08
241	18742	2.270E-01	4.220E-09	314	302	9.801E-03	1.131E-08
242	14236	1.802E-01	4.411E-09	315	171	4.070E-03	8.294E-09
243	13591	1.812E-01	4.645E-09	316	8	1.356E-04	5.907E-09
244	9340	1.332E-01	4.970E-09				

Table C-2 Radiation generation probability of the cortical bone source of JF-103

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
125	162392	2.173E+02	4.106E-07	234	8334	8.914E+00	3.281E-07
126	205060	3.476E+02	5.200E-07	235	11997	1.702E+01	4.351E-07
135	14394	1.293E+01	2.756E-07	236	18350	3.111E+01	5.200E-07
136	29399	4.983E+01	5.200E-07	242	14236	6.154E+00	1.326E-07
142	25373	1.501E+01	1.815E-07	243	13591	1.160E+01	2.617E-07
143	30017	2.561E+01	2.617E-07	244	9340	9.990E+00	3.281E-07
144	17314	1.852E+01	3.281E-07	245	13016	1.846E+01	4.351E-07
145	11697	1.659E+01	4.351E-07	246	23798	4.034E+01	5.200E-07
146	2369	4.016E+00	5.200E-07	252	33619	2.029E+01	1.851E-07
151	137854	2.731E+01	6.076E-08	253	29641	2.529E+01	2.617E-07
152	122984	8.562E+01	2.136E-07	254	18894	2.021E+01	3.281E-07
153	59094	5.042E+01	2.617E-07	255	25693	3.644E+01	4.351E-07
154	25156	2.691E+01	3.281E-07	256	18356	3.112E+01	5.200E-07
155	15567	2.208E+01	4.351E-07	261	40491	2.897E+00	2.195E-08
156	1577	2.673E+00	5.200E-07	262	47122	3.281E+01	2.136E-07
161	167103	1.235E+01	2.267E-08	263	27537	2.349E+01	2.617E-07
162	81124	5.648E+01	2.136E-07	264	10453	1.118E+01	3.281E-07
163	45722	3.901E+01	2.617E-07	265	7108	1.008E+01	4.351E-07
164	21085	2.255E+01	3.281E-07	266	79	1.339E-01	5.200E-07
165	20548	2.915E+01	4.351E-07	272	59470	1.580E+01	8.147E-08
166	5344	9.059E+00	5.200E-07	273	47848	4.082E+01	2.617E-07
183	7396	2.421E+00	1.004E-07	274	24037	2.571E+01	3.281E-07
184	5400	5.776E+00	3.281E-07	275	26002	3.688E+01	4.351E-07
185	8190	1.162E+01	4.351E-07	276	69195	1.173E+02	5.200E-07
186	6313	1.070E+01	5.200E-07	281	119074	1.553E+01	4.000E-08
192	40056	2.074E+00	1.588E-08	282	78273	5.449E+01	2.136E-07
193	35232	3.006E+01	2.617E-07	283	44406	3.788E+01	2.617E-07
194	23881	2.554E+01	3.281E-07	284	23308	2.493E+01	3.281E-07
195	17876	2.536E+01	4.351E-07	285	24282	3.444E+01	4.351E-07
196	5170	8.764E+00	5.200E-07	286	81171	1.376E+02	5.200E-07
202	12193	2.177E+00	5.477E-08	291	209687	3.719E+00	5.440E-09
203	6035	5.149E+00	2.617E-07	292	126120	8.780E+01	2.136E-07
204	700	7.488E-01	3.281E-07	293	71794	6.125E+01	2.617E-07
205	93	1.319E-01	4.351E-07	294	45818	4.901E+01	3.281E-07
212	95006	3.876E+01	1.251E-07	295	52390	7.431E+01	4.351E-07
213	78106	6.664E+01	2.617E-07	296	114737	1.945E+02	5.200E-07
214	41860	4.478E+01	3.281E-07	302	117369	2.583E+01	6.750E-08
215	19128	2.713E+01	4.351E-07	303	103753	8.852E+01	2.617E-07
216	592	1.004E+00	5.200E-07	304	41535	4.443E+01	3.281E-07
222	123951	1.621E+01	4.012E-08	305	16808	2.384E+01	4.351E-07
223	101591	8.667E+01	2.617E-07	306	5528	9.371E+00	5.200E-07
224	69561	7.441E+01	3.281E-07	312	865	3.453E-01	1.225E-07
225	56970	8.081E+01	4.351E-07	313	756	6.450E-01	2.617E-07
226	13135	2.227E+01	5.200E-07	314	302	3.230E-01	3.281E-07
232	22867	4.846E+00	6.501E-08	315	171	2.425E-01	4.351E-07
233	13906	1.186E+01	2.617E-07	316	8	1.356E-02	5.200E-07

Table C-3 Radiation generation probability of the trabecular bone source of JF-103

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
120	70100	2.333E+01	2.072E-07	200	17372	5.781E+00	2.072E-07
121	76348	4.346E+01	3.544E-07	201	16820	9.574E+00	3.544E-07
122	71582	4.983E+01	4.335E-07	202	12193	6.312E+00	3.223E-07
123	81527	6.955E+01	5.312E-07	210	36240	1.206E+01	2.072E-07
124	85075	9.100E+01	6.660E-07	211	174256	9.919E+01	3.544E-07
125	162392	1.299E+01	4.981E-08	212	95006	2.738E+01	1.795E-07
130	851	2.832E-01	2.072E-07	220	67807	2.256E+01	2.072E-07
131	6334	3.605E+00	3.544E-07	221	164581	9.368E+01	3.544E-07
132	7344	5.113E+00	4.335E-07	222	123951	7.008E+01	3.521E-07
133	8403	7.169E+00	5.312E-07	230	41145	1.369E+01	2.072E-07
134	8531	9.125E+00	6.660E-07	231	36319	2.067E+01	3.544E-07
135	14394	7.486E+00	3.238E-07	232	22867	1.107E+01	3.015E-07
140	550	1.830E-01	2.072E-07	240	10369	3.451E+00	2.072E-07
141	13291	7.565E+00	3.544E-07	241	18742	1.067E+01	3.544E-07
142	25373	2.655E+00	6.516E-08	242	14236	3.757E+00	1.643E-07
150	12821	4.267E+00	2.072E-07	250	18564	6.178E+00	2.072E-07
151	137854	5.116E+01	2.311E-07	251	38786	2.208E+01	3.544E-07
160	32955	1.097E+01	2.072E-07	252	33619	3.115E+00	5.769E-08
161	167103	8.276E+01	3.084E-07	260	7244	2.411E+00	2.072E-07
170	70583	2.349E+01	2.072E-07	261	40491	2.015E+01	3.099E-07
171	67255	3.828E+01	3.544E-07	270	48689	1.620E+01	2.072E-07
172	42347	2.948E+01	4.335E-07	271	83179	4.735E+01	3.544E-07
173	17205	1.468E+01	5.312E-07	272	59470	2.561E+01	2.681E-07
174	6701	7.168E+00	6.660E-07	280	118338	3.938E+01	2.072E-07
175	3575	5.071E+00	8.832E-07	281	119074	5.225E+01	2.732E-07
176	357	6.052E-01	1.056E-06	290	188608	6.276E+01	2.072E-07
180	4780	1.591E+00	2.072E-07	291	209687	1.156E+02	3.434E-07
181	10479	5.965E+00	3.544E-07	300	36669	1.220E+01	2.072E-07
182	9910	6.899E+00	4.335E-07	301	92747	5.279E+01	3.544E-07
183	7396	3.889E+00	3.274E-07	302	117369	5.588E+01	2.965E-07
190	910	3.028E-01	2.072E-07	310	4	1.331E-03	2.072E-07
191	27399	1.560E+01	3.544E-07	311	776	4.417E-01	3.544E-07
192	40056	2.581E+01	4.013E-07	312	865	2.569E-01	1.849E-07

Table C-4 Radiation generation probability of the red bone marrow source of JF-103

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
120	70100	1.664E+01	2.484E-07	190	910	2.776E-01	3.192E-07
121	76348	1.498E+01	2.053E-07	191	27399	6.902E+00	2.636E-07
122	71582	1.250E+01	1.828E-07	192	40056	8.974E+00	2.345E-07
123	81527	1.195E+01	1.535E-07	193	35232	6.622E+00	1.967E-07
124	85075	9.221E+00	1.134E-07	194	23881	3.338E+00	1.463E-07
125	162392	7.934E+00	5.113E-08	195	17876	1.099E+00	6.432E-08
130	851	2.558E-01	3.146E-07	200	17372	1.143E+01	6.884E-07
131	6334	1.573E+00	2.598E-07	201	16820	9.146E+00	5.691E-07
132	7344	1.618E+00	2.305E-07	202	12193	5.880E+00	5.047E-07
133	8403	1.557E+00	1.939E-07	203	6035	2.454E+00	4.255E-07
134	8531	1.180E+00	1.448E-07	204	700	2.116E-01	3.164E-07
135	14394	8.847E-01	6.432E-08	205	93	1.246E-02	1.402E-07
140	550	3.386E-01	6.443E-07	210	36240	1.688E+01	4.876E-07
141	13291	6.760E+00	5.323E-07	211	174256	6.711E+01	4.030E-07
142	25373	1.147E+01	4.729E-07	212	95006	3.247E+01	3.577E-07
143	30017	1.140E+01	3.976E-07	213	78106	2.249E+01	3.013E-07
144	17314	4.889E+00	2.955E-07	214	41860	8.955E+00	2.239E-07
145	11697	1.456E+00	1.303E-07	215	19128	1.809E+00	9.896E-08
150	12821	7.182E+00	5.862E-07	220	67807	2.994E+01	4.620E-07
151	137854	6.377E+01	4.841E-07	221	164581	5.999E+01	3.815E-07
152	122984	5.059E+01	4.305E-07	222	123951	4.017E+01	3.391E-07
153	59094	2.048E+01	3.627E-07	223	101591	2.776E+01	2.860E-07
154	25156	6.458E+00	2.687E-07	224	69561	1.409E+01	2.119E-07
155	15567	1.766E+00	1.187E-07	225	56970	5.118E+00	9.401E-08
160	32955	1.385E+01	4.400E-07	230	41145	9.174E+00	2.333E-07
161	167103	5.808E+01	3.637E-07	231	36319	6.686E+00	1.926E-07
162	81124	2.506E+01	3.232E-07	232	22867	3.734E+00	1.709E-07
163	45722	1.189E+01	2.720E-07	233	13906	1.909E+00	1.437E-07
164	21085	4.060E+00	2.015E-07	234	8334	8.558E-01	1.075E-07
165	20548	1.749E+00	8.906E-08	235	11997	5.483E-01	4.783E-08
170	70583	3.797E+01	5.630E-07	270	48689	1.588E+01	3.413E-07
171	67255	2.989E+01	4.651E-07	271	83179	2.236E+01	2.814E-07
172	42347	1.672E+01	4.133E-07	272	59470	1.423E+01	2.504E-07
173	17205	5.711E+00	3.474E-07	273	47848	9.631E+00	2.106E-07
174	6701	1.653E+00	2.582E-07	274	24037	3.600E+00	1.567E-07
175	3575	3.888E-01	1.138E-07	275	26002	1.721E+00	6.927E-08
180	4780	1.241E+00	2.716E-07	310	4	1.194E-03	3.123E-07
181	10479	2.246E+00	2.243E-07	311	776	1.917E-01	2.585E-07
182	9910	1.894E+00	2.000E-07	312	865	1.894E-01	2.292E-07
183	7396	1.183E+00	1.674E-07	313	756	1.391E-01	1.925E-07
184	5400	6.469E-01	1.254E-07	314	302	4.135E-02	1.433E-07
185	8190	4.260E-01	5.443E-08	315	171	1.024E-02	6.267E-08

Table C-5 Radiation generation probability of the breast source of JF-103

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
11	212233	1.936E+02	2.950E-06
20	128110	1.157E+02	2.919E-06

Table C-6 Radiation generation probability of the total body tissues source of JF-103 (1/2)

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
2	860399	7.850E+02	1.784E-08	92	17420	4.601E+01	5.166E-08
4	7176452	6.548E+03	1.784E-08	94	11891	1.199E+01	1.972E-08
6	691825	6.312E+02	1.784E-08	95	68832	6.743E+01	1.916E-08
8	677438	6.181E+02	1.784E-08	96	28127	2.782E+01	1.935E-08
10	2938686	2.681E+03	1.784E-08	98	16663	1.680E+01	1.972E-08
11	212233	1.936E+02	1.784E-08	100	6676	6.604E+00	1.935E-08
12	2796868	2.552E+03	1.784E-08	102	97671	9.662E+01	1.935E-08
14	12032	1.190E+01	1.935E-08	104	99765	9.869E+01	1.935E-08
16	31920	3.188E+01	1.954E-08	106	49676	4.914E+01	1.935E-08
18	1336112	1.335E+03	1.954E-08	110	8009	7.923E+00	1.935E-08
19	66264	6.555E+01	1.935E-08	111	7558	7.476E+00	1.935E-08
20	128110	1.157E+02	1.766E-08	112	2800	2.770E+00	1.935E-08
21	37141	3.674E+01	1.935E-08	113	132775	1.313E+02	1.935E-08
22	18380	1.818E+01	1.935E-08	114	9743	9.638E+00	1.935E-08
23	7842	7.757E+00	1.935E-08	115	14264	1.411E+01	1.935E-08
25	8417	8.488E+00	1.972E-08	120	70100	7.776E+01	2.170E-08
26	51015	5.144E+01	1.972E-08	121	76348	9.246E+01	2.369E-08
27	30391	3.065E+01	1.972E-08	122	71582	9.061E+01	2.476E-08
28	20629	2.041E+01	1.935E-08	123	81527	1.087E+02	2.607E-08
30	11588	1.191E+01	2.010E-08	124	85075	1.213E+02	2.789E-08
32	273	2.805E-01	2.010E-08	125	162392	2.559E+02	3.082E-08
33	31071	3.133E+01	1.972E-08	126	205060	3.476E+02	3.315E-08
34	322639	3.254E+02	1.972E-08	130	851	9.440E-01	2.170E-08
35	61807	6.233E+01	1.972E-08	131	6334	7.671E+00	2.369E-08
36	137664	1.388E+02	1.972E-08	132	7344	9.296E+00	2.476E-08
38	131073	1.322E+02	1.972E-08	133	8403	1.120E+01	2.607E-08
40	1300148	1.311E+03	1.972E-08	134	8531	1.217E+01	2.789E-08
42	1983202	4.952E+02	4.884E-09	135	14394	2.269E+01	3.082E-08
43	370213	3.662E+02	1.935E-08	136	29399	4.983E+01	3.315E-08
44	1932966	4.827E+02	4.884E-09	140	550	6.101E-01	2.170E-08
45	334014	3.304E+02	1.935E-08	141	13291	1.610E+01	2.369E-08
46	778061	7.846E+02	1.972E-08	142	25373	3.212E+01	2.476E-08
48	9785184	9.868E+03	1.972E-08	143	30017	4.001E+01	2.607E-08
50	878731	8.861E+02	1.972E-08	144	17314	2.469E+01	2.789E-08
52	820149	8.271E+02	1.972E-08	145	11697	1.843E+01	3.082E-08
54	3833710	3.866E+03	1.972E-08	146	2369	4.016E+00	3.315E-08
56	3946906	3.980E+03	1.972E-08	150	12821	1.422E+01	2.170E-08
58	31696	3.135E+01	1.935E-08	151	137854	1.670E+02	2.369E-08
60	6259	6.191E+00	1.935E-08	152	122984	1.557E+02	2.476E-08
62	112849	1.127E+02	1.954E-08	153	59094	7.877E+01	2.607E-08
63	24819	2.527E+01	1.991E-08	154	25156	3.588E+01	2.789E-08
64	310325	3.159E+02	1.991E-08	155	15567	2.453E+01	3.082E-08
65	85291	8.683E+01	1.991E-08	156	1577	2.673E+00	3.315E-08
66	472161	4.671E+02	1.935E-08	160	32955	3.656E+01	2.170E-08
72	142221	1.489E+02	2.047E-08	161	167103	2.024E+02	2.369E-08
74	664786	6.959E+02	2.047E-08	162	81124	1.027E+02	2.476E-08
76	146897	1.538E+02	2.047E-08	163	45722	6.095E+01	2.607E-08
78	142737	1.494E+02	2.047E-08	164	21085	3.007E+01	2.789E-08
80	356991	3.737E+02	2.047E-08	165	20548	3.238E+01	3.082E-08
82	359548	3.764E+02	2.047E-08	166	5344	9.059E+00	3.315E-08
88	108221	1.102E+02	1.991E-08	170	70583	7.830E+01	2.170E-08
90	107618	1.065E+02	1.935E-08	171	67255	8.145E+01	2.369E-08

Table C-6 Radiation generation probability of the total body tissues source of JF-103 (2/2)

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
172	42347	5.360E+01	2.476E-08	245	13016	2.051E+01	3.082E-08
173	17205	2.293E+01	2.607E-08	246	23798	4.034E+01	3.315E-08
174	6701	9.557E+00	2.789E-08	250	18564	2.059E+01	2.170E-08
175	3575	5.634E+00	3.082E-08	251	38786	4.697E+01	2.369E-08
176	357	6.052E-01	3.315E-08	252	33619	4.256E+01	2.476E-08
180	4780	5.302E+00	2.170E-08	253	29641	3.951E+01	2.607E-08
181	10479	1.269E+01	2.369E-08	254	18894	2.695E+01	2.789E-08
182	9910	1.254E+01	2.476E-08	255	25693	4.049E+01	3.082E-08
183	7396	9.859E+00	2.607E-08	256	18356	3.112E+01	3.315E-08
184	5400	7.701E+00	2.789E-08	260	7244	8.035E+00	2.170E-08
185	8190	1.291E+01	3.082E-08	261	40491	4.904E+01	2.369E-08
186	6313	1.070E+01	3.315E-08	262	47122	5.965E+01	2.476E-08
190	910	1.009E+00	2.170E-08	263	27537	3.671E+01	2.607E-08
191	27399	3.318E+01	2.369E-08	264	10453	1.491E+01	2.789E-08
192	40056	5.070E+01	2.476E-08	265	7108	1.120E+01	3.082E-08
193	35232	4.697E+01	2.607E-08	266	79	1.339E-01	3.315E-08
194	23881	3.406E+01	2.789E-08	270	48689	5.401E+01	2.170E-08
195	17876	2.817E+01	3.082E-08	271	83179	1.007E+02	2.369E-08
196	5170	8.764E+00	3.315E-08	272	59470	7.528E+01	2.476E-08
200	17372	1.927E+01	2.170E-08	273	47848	6.378E+01	2.607E-08
201	16820	2.037E+01	2.369E-08	274	24037	3.428E+01	2.789E-08
202	12193	1.543E+01	2.476E-08	275	26002	4.098E+01	3.082E-08
203	6035	8.045E+00	2.607E-08	276	69195	1.173E+02	3.315E-08
204	700	9.983E-01	2.789E-08	280	118338	1.313E+02	2.170E-08
205	93	1.466E-01	3.082E-08	281	119074	1.442E+02	2.369E-08
210	36240	4.020E+01	2.170E-08	282	78273	9.908E+01	2.476E-08
211	174256	2.110E+02	2.369E-08	283	44406	5.919E+01	2.607E-08
212	95006	1.203E+02	2.476E-08	284	23308	3.324E+01	2.789E-08
213	78106	1.041E+02	2.607E-08	285	24282	3.827E+01	3.082E-08
214	41860	5.970E+01	2.789E-08	286	81171	1.376E+02	3.315E-08
215	19128	3.015E+01	3.082E-08	290	188608	2.092E+02	2.170E-08
216	592	1.004E+00	3.315E-08	291	209687	2.539E+02	2.369E-08
220	67807	7.522E+01	2.170E-08	292	126120	1.596E+02	2.476E-08
221	164581	1.993E+02	2.369E-08	293	71794	9.570E+01	2.607E-08
222	123951	1.569E+02	2.476E-08	294	45818	6.535E+01	2.789E-08
223	101591	1.354E+02	2.607E-08	295	52390	8.257E+01	3.082E-08
224	69561	9.921E+01	2.789E-08	296	114737	1.945E+02	3.315E-08
225	56970	8.979E+01	3.082E-08	300	36669	4.068E+01	2.170E-08
226	13135	2.227E+01	3.315E-08	301	92747	1.123E+02	2.369E-08
230	41145	4.564E+01	2.170E-08	302	117369	1.486E+02	2.476E-08
231	36319	4.398E+01	2.369E-08	303	103753	1.383E+02	2.607E-08
232	22867	2.895E+01	2.476E-08	304	41535	5.924E+01	2.789E-08
233	13906	1.854E+01	2.607E-08	305	16808	2.649E+01	3.082E-08
234	8334	1.189E+01	2.789E-08	306	5528	9.371E+00	3.315E-08
235	11997	1.891E+01	3.082E-08	310	4	4.437E-03	2.170E-08
236	18350	3.111E+01	3.315E-08	311	776	9.398E-01	2.369E-08
240	10369	1.150E+01	2.170E-08	312	865	1.095E+00	2.476E-08
241	18742	2.270E+01	2.369E-08	313	756	1.008E+00	2.607E-08
242	14236	1.802E+01	2.476E-08	314	302	4.307E-01	2.789E-08
243	13591	1.812E+01	2.607E-08	315	171	2.695E-01	3.082E-08
244	9340	1.332E+01	2.789E-08	316	8	1.356E-02	3.315E-08

Table C-7 Radiation generation probability of the soft tissues source of JF-103 (1/2)

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
2	860399	7.850E+02	1.972E-08	78	142737	1.494E+02	2.263E-08
4	7176452	6.548E+03	1.972E-08	80	356991	3.737E+02	2.263E-08
6	691825	6.312E+02	1.972E-08	82	359548	3.764E+02	2.263E-08
8	677438	6.181E+02	1.972E-08	88	108221	1.102E+02	2.201E-08
10	2938686	2.681E+03	1.972E-08	90	107618	1.065E+02	2.138E-08
11	212233	1.936E+02	1.972E-08	92	17420	4.601E+01	5.709E-08
12	2796868	2.552E+03	1.972E-08	94	11891	1.199E+01	2.180E-08
14	12032	1.190E+01	2.138E-08	95	68832	6.743E+01	2.118E-08
16	31920	3.188E+01	2.159E-08	96	28127	2.782E+01	2.138E-08
18	1336112	1.335E+03	2.159E-08	98	16663	1.680E+01	2.180E-08
19	66264	6.555E+01	2.138E-08	100	6676	6.604E+00	2.138E-08
20	128110	1.157E+02	1.951E-08	102	97671	9.662E+01	2.138E-08
21	37141	3.674E+01	2.138E-08	104	99765	9.869E+01	2.138E-08
22	18380	1.818E+01	2.138E-08	106	49676	4.914E+01	2.138E-08
23	7842	7.757E+00	2.138E-08	110	8009	7.923E+00	2.138E-08
25	8417	8.488E+00	2.180E-08	111	7558	7.476E+00	2.138E-08
26	51015	5.144E+01	2.180E-08	112	2800	2.770E+00	2.138E-08
27	30391	3.065E+01	2.180E-08	113	132775	1.313E+02	2.138E-08
28	20629	2.041E+01	2.138E-08	114	9743	9.638E+00	2.138E-08
30	11588	1.191E+01	2.221E-08	115	14264	1.411E+01	2.138E-08
32	273	2.805E-01	2.221E-08	120	70100	5.443E+01	1.678E-08
33	31071	3.133E+01	2.180E-08	121	76348	4.901E+01	1.387E-08
34	322639	3.254E+02	2.180E-08	122	71582	4.077E+01	1.231E-08
35	61807	6.233E+01	2.180E-08	123	81527	3.912E+01	1.037E-08
36	137664	1.388E+02	2.180E-08	124	85075	3.033E+01	7.707E-09
38	131073	1.322E+02	2.180E-08	125	162392	2.559E+01	3.407E-09
40	1300148	1.311E+03	2.180E-08	130	851	6.608E-01	1.678E-08
42	1983202	4.952E+02	5.398E-09	131	6334	4.066E+00	1.387E-08
43	370213	3.662E+02	2.138E-08	132	7344	4.183E+00	1.231E-08
44	1932966	4.827E+02	5.398E-09	133	8403	4.033E+00	1.037E-08
45	334014	3.304E+02	2.138E-08	134	8531	3.042E+00	7.707E-09
46	778061	7.846E+02	2.180E-08	135	14394	2.269E+00	3.407E-09
48	9785184	9.868E+03	2.180E-08	140	550	4.271E-01	1.678E-08
50	878731	8.861E+02	2.180E-08	141	13291	8.531E+00	1.387E-08
52	820149	8.271E+02	2.180E-08	142	25373	1.445E+01	1.231E-08
54	3833710	3.866E+03	2.180E-08	143	30017	1.440E+01	1.037E-08
56	3946906	3.980E+03	2.180E-08	144	17314	6.173E+00	7.707E-09
58	31696	3.135E+01	2.138E-08	145	11697	1.843E+00	3.407E-09
60	6259	6.191E+00	2.138E-08	150	12821	9.955E+00	1.678E-08
62	112849	1.127E+02	2.159E-08	151	137854	8.848E+01	1.387E-08
63	24819	2.527E+01	2.201E-08	152	122984	7.005E+01	1.231E-08
64	310325	3.159E+02	2.201E-08	153	59094	2.836E+01	1.037E-08
65	85291	8.683E+01	2.201E-08	154	25156	8.969E+00	7.707E-09
66	472161	4.671E+02	2.138E-08	155	15567	2.453E+00	3.407E-09
72	142221	1.489E+02	2.263E-08	160	32955	2.559E+01	1.678E-08
74	664786	6.959E+02	2.263E-08	161	167103	1.073E+02	1.387E-08
76	146897	1.538E+02	2.263E-08	162	81124	4.621E+01	1.231E-08

Table C-7 Radiation generation probability of the soft tissues source of JF-103 (2/2)

Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability	Organ ID	Number of voxel	Mass (g)	Probability
163	45722	2.194E+01	1.037E-08	242	14236	8.109E+00	1.231E-08
164	21085	7.518E+00	7.707E-09	243	13591	6.522E+00	1.037E-08
165	20548	3.238E+00	3.407E-09	244	9340	3.330E+00	7.707E-09
170	70583	5.481E+01	1.678E-08	245	13016	2.051E+00	3.407E-09
171	67255	4.317E+01	1.387E-08	250	18564	1.441E+01	1.678E-08
172	42347	2.412E+01	1.231E-08	251	38786	2.490E+01	1.387E-08
173	17205	8.257E+00	1.037E-08	252	33619	1.915E+01	1.231E-08
174	6701	2.389E+00	7.707E-09	253	29641	1.422E+01	1.037E-08
175	3575	5.634E-01	3.407E-09	254	18894	6.737E+00	7.707E-09
180	4780	3.712E+00	1.678E-08	255	25693	4.049E+00	3.407E-09
181	10479	6.726E+00	1.387E-08	260	7244	5.625E+00	1.678E-08
182	9910	5.645E+00	1.231E-08	261	40491	2.599E+01	1.387E-08
183	7396	3.549E+00	1.037E-08	262	47122	2.684E+01	1.231E-08
184	5400	1.925E+00	7.707E-09	263	27537	1.321E+01	1.037E-08
185	8190	1.291E+00	3.407E-09	264	10453	3.727E+00	7.707E-09
190	910	7.066E-01	1.678E-08	265	7108	1.120E+00	3.407E-09
191	27399	1.759E+01	1.387E-08	270	48689	3.781E+01	1.678E-08
192	40056	2.282E+01	1.231E-08	271	83179	5.339E+01	1.387E-08
193	35232	1.691E+01	1.037E-08	272	59470	3.387E+01	1.231E-08
194	23881	8.515E+00	7.707E-09	273	47848	2.296E+01	1.037E-08
195	17876	2.817E+00	3.407E-09	274	24037	8.570E+00	7.707E-09
200	17372	1.349E+01	1.678E-08	275	26002	4.098E+00	3.407E-09
201	16820	1.080E+01	1.387E-08	280	118338	9.189E+01	1.678E-08
202	12193	6.945E+00	1.231E-08	281	119074	7.643E+01	1.387E-08
203	6035	2.896E+00	1.037E-08	282	78273	4.459E+01	1.231E-08
204	700	2.496E-01	7.707E-09	283	44406	2.131E+01	1.037E-08
205	93	1.466E-02	3.407E-09	284	23308	8.310E+00	7.707E-09
210	36240	2.814E+01	1.678E-08	285	24282	3.827E+00	3.407E-09
211	174256	1.118E+02	1.387E-08	290	188608	1.465E+02	1.678E-08
212	95006	5.412E+01	1.231E-08	291	209687	1.346E+02	1.387E-08
213	78106	3.748E+01	1.037E-08	292	126120	7.184E+01	1.231E-08
214	41860	1.493E+01	7.707E-09	293	71794	3.445E+01	1.037E-08
215	19128	3.015E+00	3.407E-09	294	45818	1.634E+01	7.707E-09
220	67807	5.265E+01	1.678E-08	295	52390	8.257E+00	3.407E-09
221	164581	1.056E+02	1.387E-08	300	36669	2.847E+01	1.678E-08
222	123951	7.060E+01	1.231E-08	301	92747	5.953E+01	1.387E-08
223	101591	4.875E+01	1.037E-08	302	117369	6.685E+01	1.231E-08
224	69561	2.480E+01	7.707E-09	303	103753	4.979E+01	1.037E-08
225	56970	8.979E+00	3.407E-09	304	41535	1.481E+01	7.707E-09
230	41145	3.195E+01	1.678E-08	305	16808	2.649E+00	3.407E-09
231	36319	2.331E+01	1.387E-08	310	4	3.106E-03	1.678E-08
232	22867	1.303E+01	1.231E-08	311	776	4.981E-01	1.387E-08
233	13906	6.673E+00	1.037E-08	312	865	4.927E-01	1.231E-08
234	8334	2.971E+00	7.707E-09	313	756	3.628E-01	1.037E-08
235	11997	1.891E+00	3.407E-09	314	302	1.077E-01	7.707E-09
240	10369	8.051E+00	1.678E-08	315	171	2.695E-02	3.407E-09
241	18742	1.203E+01	1.387E-08				

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射量	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加減	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

