



-A web-based CT dose calculator-

WAZA-ARI version 3 ユーザマニュアル

Ver. 20250630

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
放射線医学研究所
放射線規制科学研究部

目次

1.	はじめに	1
1.1.	はじめに	1
1.2.	WAZA-ARI 開発の経緯	2
1.3.	WAZA-ARI の特徴	3
2.	線量計算	4
2.1.	線量計算条件の設定	4
2.2.	線量計算結果の確認	8
3.	ローカル API を利用した線量計算	10
4.	撮影条件毎の線量計算方法について	11
4.1.	線源データ毎の臓器線量データベースの構築	11
4.2.	臓器線量データベースのデータ範囲と計算可能範囲について	12
4.3.	線量計算に用いるパラメータ・データ	13
4.4.	組織線量の計算	14
4.5.	線量指標の計算	18
5.	登録パラメータ	20
	謝辞	28
	参考文献	29
	図表索引	30

1.はじめに

1.1. はじめに

本書は、CT撮影による被ばく線量を評価するWEBシステム WAZA-ARI のユーザマニュアルである。WAZA-ARI の利用方法、計算アルゴリズム、CT機種ごとのパラメータについて纏めた。

本書の編集作業等は以下 WAZA-ARI 開発メンバーで行った。

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	古場 裕介
	松本 真之介
	仲田 佳広
	赤羽 恵一
	張 維珊
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	高橋 史明
	佐藤 薫
東京医療保健大学	小野 孝二
大分看護科大学	甲斐 倫明
新別府病院	吉武 貴康
東海大付属大磯病院	長谷川 隆幸
東海大付属病院	勝沼 泰
千葉大学附属病院	笠原 哲治

(敬称略)

本マニュアルに関する質問は以下のメールアドレスにお問い合わせください。

WAZA-ARI 開発グループ : ml-waza-ari@qst.go.jp

1.2. WAZA-ARI 開発の経緯

近年、医療現場で CT 撮影は有用な診断技術として、広く普及しておりますが、撮影に伴う被ばく線量は、胸部のレントゲン撮影と比較しても高いことが知られています。そのため、IAEA は特に若年層の小児への撮影や同一の患者に対する繰り返し撮影等について、被ばく線量へ注意を払うことを提唱しています。国内の医療分野の学会でも、患者の生涯にわたって医療行為による総被ばく線量を把握して、過剰な被ばくを防止する取組みに着手しています。

特に、日本国内の CT 装置の台数は世界的にも多く、撮影件数は年間 2005 年時点の調査で約 2,070 万件を超えると推定されておりますが、実際の医療現場での撮影の状況や受ける総被ばく線量を着実に把握する体制などは確立していません。

以上の課題を解決するため、独立行政法人放射線医学総合研究所（以下、放医研）、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）及び公立大学法人大分県立看護科学大学（以下、大分県立看護大）は、東海大学医学部附属病院や新別府病院などの診療放射線技師の協力を得て、平成 24 年 12 月に試験運用を開始した WAZA-ARI を改良し、CT 撮影における患者の被ばく線量を評価するシステム WAZA-ARIV2 を開発しました。この開発したシステムは、国内の医療機関がインターネットを介して容易に利用でき、相互の情報交換により被ばく線量の統計データを収集できるよう、放医研の管理の下、平成 27 年 1 月 30 日より、本格的な運用を開始しました。

平成 27 年 1 月 30 日に WAZA-ARI version 2 として公開していましたが、令和 7 年 6 月〇日より WAZA-ARI version 3 としてリニューアルして公開いたしました。

1.3. WAZA-ARI の特徴

我々が開発を進めてきた CT 線量評価用システムは、世界的に通用する日本語として、柔道の技ありにちなんで、「WAZA-ARI」と名付けております。CT 線量評価用システム WAZA-ARI は、以下の特徴を有しております。

【ブラウザ経由の Web システムとして利用可能】

利用者にインストールやメンテナンス等の負担を生じないように、インターネットを介して HP へアクセスして利用する Web システムとして開発しております。アクセス後にパーソナルコンピュータ (PC) に表示される画面を通じて、利用者は CT 撮影に用いる機種や撮影範囲、患者の年齢・体格・性別等の情報を入力します。システムでは、入力された条件に基づき、患者の受ける臓器線量を計算し、その結果は条件の設定後、数秒以内に PC 画面に表示されます。

また、WAZA-ARI の特徴として以下のような機能が追加されました。

【様々な体格や年齢の患者の被ばく線量計算に対応】

試験運用していた WAZA-ARI では平均的な日本人の成人男女等の線量計算が可能でした。これに対し、WAZA-ARI version 2 からは、成人では他に日本人男女の体格に関する統計データに基づき、多くの日本人がその範囲に含まれると考えられる肥満型、痩せ形の患者、未成年の患者も 0 歳、1 歳、5 歳、10 歳または 15 歳から選択して、線量を計算できる機能を追加しました。この線量計算では、新たに開発した日本人平均と異なる体格の成人の人体モデル、フロリダ大学及び米国国立がん研究所の協力を得て入手した未成年の人体モデルを用いて、原子力機構が中心となってシミュレーション計算により撮影で受ける被ばく線量を解析し、その結果に基づき整備して WAZA-ARI に格納した線量データを利用します。

また、計算結果は利用者が撮影条件の設定で使用する画面の右側に表示し、一目で撮影条件と対比して確認できるレイアウト設計へ変更しました。さらに電子ファイルで撮影条件と計算結果を保存できる機能を追加するなど、利便性を考慮した改良も行っております。

2. 線量計算

2.1. 線量計算条件の設定

HP上の「CT Dose Calculator」アイコンをクリックと、図 3.1 のような線量計算画面が表示されます。

Organ / Tissue	Dose (mGy)
Gonad	9.15
Prostate / uterus	12.14
Urinary bladder	15.53
Colon	17.09
Small intestine	17.15
Kidney	16.02
Pancreas	16.22
Gall bladder	16.20
Stomach	17.73
Spleen	17.08
Adrenals	13.81
Liver	16.59
Heart	16.64
Lungs	16.22
Breast	12.43
Esophagus	14.24
Thymus	15.73
Thyroid	22.06
Salivary glands	1.12
Oral cavity	0.68
Out of Thorax	0.19
Lens	0.11
Brain	0.14
Lymphaden	12.16
Muscle	7.69
Skin	6.74
Bone	16.16
Active marrow	9.48

ED103:	13.96 mSv
ED60:	14.01 mSv
DLP:	714.19 mGy*cm
CTDIvol:	10.85 mGy

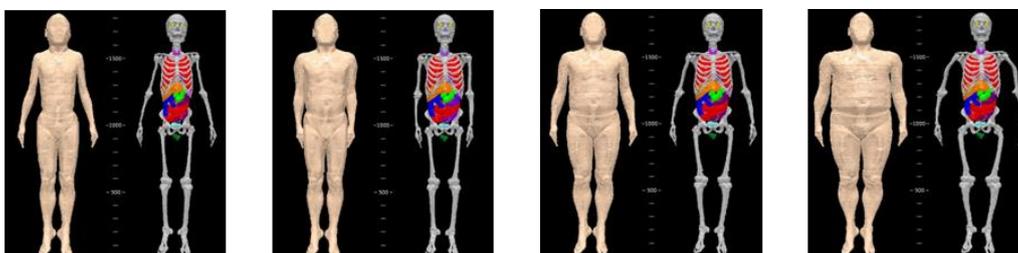
図 2.1. 線量計算画面

線量計算画面の左枠内（図 2.1.の①枠内）にて線量計算条件を設定することができます。各設定項目の内容は表 2.1 のとおりです。また選択可能な CT 機種とスキャンモードについては表 3.2 に、選択可能なファントムの種類を図 2.2 に示します。各ファントムの想定する身長・体重・BMI については表 2.3 に示します。なお、Adult optional phantom を選択した場合、計算画面のファントムは standard ファントムで表示されます。入力した身長・体重によって体形の変化はありません。一方、撮影条件設定の際、SSDE 計算機能を on にすることで SSDE を求めることが可能になり、被検者の体径（長径及び短径）の入力ができるようになります。図 2.4 に SSDE が on になる場合の計算画面を示します。この長径と短径を利用して、被検者の実効直径*を推定や SSDE を求めることが可能となります。

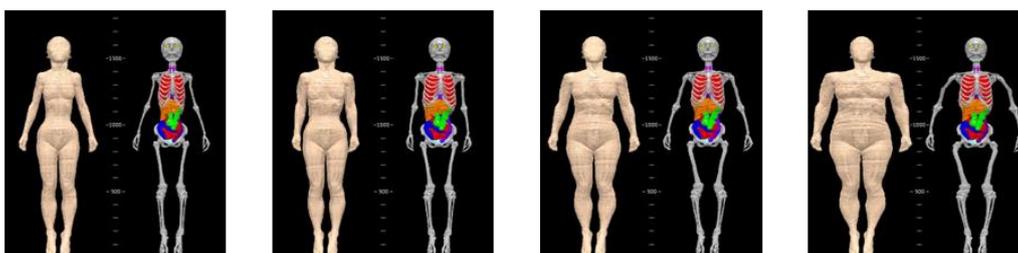
$$*実効直径（Effective Diameter of the subject） = \sqrt{\text{長径(LAT)} \times \text{短径（AP）}}$$

表 2.1. 線量計算条件の設定項目

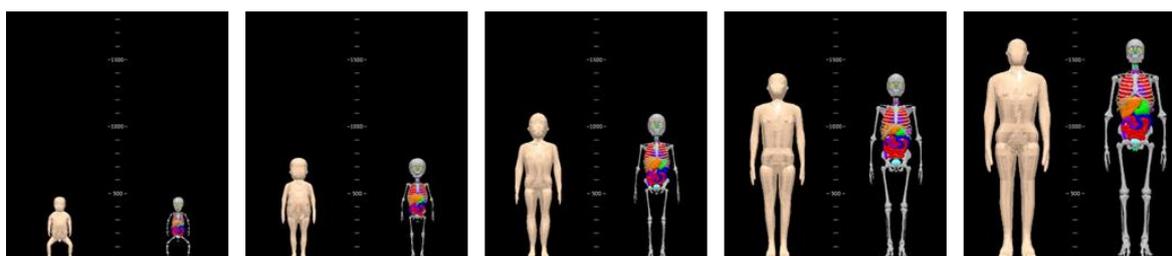
項目	説明
Manufacturer	CT 撮影装置のメーカー
Scanner model	CT 撮影装置名
Filter	FOV 等によって決まる Bow-tie フィルタ名またはサイズ *[Body][Head]などは WAZA-ARI 内の共通プロトコル名で、装置の標準的な体幹部・頭部撮影条件のフィルタに対応しています。
Tube potential	管電圧 [kV]
Rotation time	管球 1 回転に要する時間 [s]
Pitch factor	ヘリカルスキャンモードのピッチ条件 (1 回転あたりの寝台移動距離) / (ビーム幅)
Beam width	体軸方向のコリメーション範囲
Gender	性別
Phantom	体型、年齢に応じたファントムを選択します。 Standard : 成人標準体型 Fat(+2SD), Fat(+5SD) : 成人肥満体型 Thin(-2SD) : 成人痩せ体型 age:0~15 : 0~15 歳児 Adult optional phantom
Scan type	検査種別を選択します。
Scan range	撮影範囲を入力します。 中央のファントム画像上の□部をドラッグすることで撮影範囲を設定することもできます。
AEC (Option)	On にすると AEC(Auto Exposure Control)機能を使用した場合の線量計算が可能です。 示されたスライス位置における管電流を設定する必要があります。
Tube Current	管電流
Optional Phantom	体型補正機能です。Phantom 項目から Adult optional phantom が選択された場合 on になり、身長と体重を入力する欄が表示されます。
CTDI phantom size	CTDI _{vol} 、DLP を計算する際の CTDI ファントムサイズ



成人男性：左から瘦型(-2σ)、標準、肥満型(+2σ)、肥満型(+5σ)



成人女性：左から瘦型(-2σ)、標準、肥満型(+2σ)、肥満型(+5σ)



男児：左から0歳、1歳、5歳、10歳、15歳



女児：左から0歳、1歳、5歳、10歳、15歳

図 2.2. 選択できるファントムの種類

表 2.2. 各ファントムの想定する身長・体重・BMI[3][4]

	男性			女性		
	身長[cm]	体重[kg]	BMI*	身長[cm]	体重[kg]	BMI*
標準 : Standard	171	65.1	22.3	155	52	21.6
肥満型+2σ : Fat(+2SD)	171	82.2	28.1	155	66.9	27.8
肥満型+5σ : Fat(+5SD)	171	118.1	40.4	155	89.5	37.3
痩せ型-2σ : Thin(-2SD)	171	54.1	18.5	155	43	17.9
0歳 : age:0	47.5	3.5	15.5	47.5	3.5	15.5
1歳 : age:1	76.4	10.2	17.5	76.4	10.3	17.6
5歳 : age:5	110.2	19.7	16.2	110.2	19.7	16.2
10歳 : age:10	139.8	34.3	17.6	139.8	34.3	17.6
15歳 : age:15	165.7	59.9	21.8	161.1	56.6	21.8

* BMI = (体重[kg])/(身長[m])²

Optional Phantom	<input checked="" type="radio"/> ON
Height	<input type="text"/> cm
Weight	<input type="text"/> kg

図 2.3. Adult optional phantom を選択した場合

CTDI Phantom Size	<input checked="" type="radio"/> 16cm <input type="radio"/> 32cm
SSDE	<input checked="" type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF
AP	<input type="text"/> cm
Lateral	<input type="text"/> cm

図 2.4. SSDE on の場合の計算画面。

2.2. 線量計算結果の確認

適切な条件を設定後「Calculation Start」ボタンをクリックと線量計算が開始され、図 2.1.の②枠内に線量計算結果が表示されます。表 2-3 に線量計算結果として被ばく線量が表示される臓器と線量値の説明を示します。各臓器に表示値は吸収線量[mGy]、ED103, ED60, DLP, CTDIvol, SSDE の表示値は実効線量の値[mSv]が示されます。

表 2-3. 線量計算結果として被ばく線量が表示される臓器と線量値

表示名	説明	表示名	説明
Gonad	生殖腺	Thymus	胸腺
Prostate/Uterus	前立腺/子宮	Thyroid	甲状腺
Urinary bladder	膀胱	Salivay Glands	唾液腺
Colon	結腸	Oral cavity	口腔粘膜
Small Intestine	小腸	Out of Thorax	胸壁外領域
Kidney	腎臓	Lens	眼（水晶体）
Pancreas	膵臓	Brain	脳
Gall bladder	胆嚢	Lymphaden	リンパ節
Stomach	胃	Muscle	筋肉
Spleen	脾臓	Skin	皮膚
Adrenals	副腎	Bone	骨
Liver	肝臓	Active marrow	赤色骨髄
Heart	心臓	ED103	実効線量（ICRP103）
Lungs	肺	ED60	実効線量（ICRP60）
Beast	乳房	DLP	Dose Length Product*
Esophagus	食道	CTDIvol	スキャン範囲の平均 CTDI volume*
		SSDE	Size-Specific Dose Estimates

*DLP, CTDIvol の算出

CTDI phantom size で設定したファントムサイズにおける値

吸収線量・等価線量・実効線量について

ある放射線による各臓器の等価線量 H_T [mSv] は放射線荷重係数 w_R と吸収線量 D_{TR} [mGy] により以下の式で与えられます。

$$H_T = w_R \times D_{TR}$$

X線 CT の場合、放射線荷重係数 $w_R = 1$ であることから各臓器の吸収線量[mGy]=等価線量[mSv]となります。また実効線量 E は各臓器の組織加重係数 w_T と等価線量 H_T [mSv] の積を全ての臓器に対して足し合わせることで計算されます。

$$E = \sum_T w_T H_T$$

各臓器の組織加重係数 w_T は ICRP103[5]と ICRP60[6]によって定義されている値が異なるため、それぞれ ED103 と ED60 として表示しています。ここで注意すべき点として、WAZA-ARIV2 で表示している実効線量 E は、ICRP 標準ファントムではなく WAZA-ARIV2 ファントムによる計算結果であるため、他の計算ソフトや実測との比較は厳密にはできません。

3. ローカル API を利用した線量計算

開発中です。

4. 撮影条件毎の線量計算方法について

4.1. 線源データ毎の臓器線量データベースの構築

WAZA-ARI では CT 機種・管電圧・Bow-tie フィルタ・ファントム毎に用意された臓器線量データベースを用いて被ばく線量を計算しています。この臓器線量データベースは日本原子力研究開発機構が開発を行っている汎用の粒子・重イオン輸送計算コードと様々な人体 Voxel ファントムを利用して構築しています。

まず、CT 機種・管電圧・Bow-tie フィルタ毎の線源データ（半価層・線量分布など）を実測し、その測定結果に基づいた X 線のエネルギースペクトル、発生分布をモデル化し、PHITS に X 線発生源として組み込みます。その後、PHITS と人体 Voxel ファントムを用いて照射スライス毎の各臓器被ばく線量を計算します。

[1,2]

上記のようにして CT 機種・管電圧・Bow-tie フィルタ・ファントム毎にあるスライス位置 k で発生させた X 線ビームに対する発生光子あたりの組織の吸収線量 $qD(T, k)$ [mGy/photon] 及び発生光子あたりの回転中心点における空気カーマ qK_{air} [mGy/photon] (=発生光子あたりの $CTDI_{free\ air}$ に相当) を計算します。これよりスライス位置 k で発生した X 線ビームに対して $CTDI_{free\ air}$ あたりの組織 T の吸収線量 ${}_nD(T, k)$ [mGy/mGy] を求めます。

$${}_nD(T, k) = \frac{qD(T, k)}{qK_{air}}$$

CT 機種・管電圧・Bow-tie フィルタ・ファントム毎に ${}_nD(T, k)$ を臓器線量データベースとして WAZA-ARI システムに用意しています。

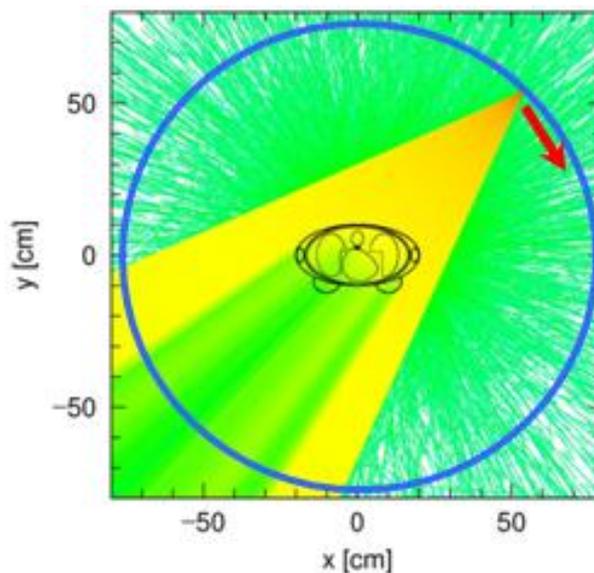


図 4.1. PHITS を用いた CT 装置から放出される X 線の挙動解析の例

WAZA-ARI では似た線質・分布と想定される CT 機種については同一の線源データを用いた臓器線量データベースを使用して計算しています。ただし、CTDI_w や CTDI_{free air} 等の線量情報は各機種固有の数値を利用しています。

4.2. 臓器線量データベースのデータ範囲と計算可能範囲について

臓器線量データベースは各ファントム・撮影条件に対して、用意されているデータ範囲が異なります。格納しているデータは X 線発生範囲 5mm 毎 (=1slice) の各臓器の被ばく線量のデータです。表 4-1 に格納されている臓器線量データベースの範囲を示します。

表 4-1. 格納されている臓器線量データベースの範囲

ファントム	男性	女性
standard	0 - 1835 (367 slice)	0 - 1666 (334 slice)
Fat(+2SD)		
Fat(+5SD)		
Thin(-2SD)		
age:0	0 - 475 mm (95 slice)	0 - 475 mm (95 slice)
age:1	0 - 765 mm (153 slice)	0 - 765 mm (153 slice)
age:5	0 - 1105 mm (221 slice)	0 - 1105 mm (221 slice)
age:10	0 - 1400 mm (280 slice)	0 - 1400 mm (280 slice)
age:15	0 - 1660 mm (332 slice)	0 - 1615 mm (323 slice)

4.3. 線量計算に用いるパラメータ・データ

撮影条件毎の臓器線量計算には以下のパラメータを利用しています。

スキャン開始位置 z_{start} [mm]、終了位置 z_{end} [mm]

足方向の端を位置 $z = 0$ mm として定義しています。

管電流 I [mA]

回転時間 t [s]

ビームピッチ pit [-]

規格化した CTDI free air ${}_nCTDI_{free\ air}$ [mGy/mAs]

${}_nCTDI_{free\ air}$ は mAs 値あたりの CTDI free air です。管電圧・Bow-tie フィルタ・ビーム幅の条件毎に ${}_nCTDI_{free\ air}$ は異なります。

規格化した Weighted CTDI 値 ${}_nCTDI_w$ [mGy/mAs]

$CTDI_w$ は CTDI 測定用アクリルファントム（頭部用 16 cm ϕ 、体幹部用 32 cm ϕ ）の中心線量 $CTDI_{center}$ および 周辺線量 $CTDI_{peripheral}$ をそれぞれ重みづけし加算したものです。

$$CTDI_w = \frac{1}{3}CTDI_{center} + \frac{2}{3}CTDI_{peripheral} \quad (1)$$

${}_nCTDI_w$ は mAs 値あたりの $CTDI_w$ です。

管電圧・ビーム幅の条件毎に ${}_nCTDI_w$ は異なります。

4.4. 組織線量の計算

AEC (Auto Exposure Control) : off の場合

ビームが1回転する間に間に寝台が移動する距離は $w \cdot pit$ であり、その間にビーム幅 w の範囲が照射されます。よってスキャン範囲の両端以外では (X線が 360° 方向から入射し得る範囲)、直接線が入射する体表面の割合は以下のように表すことができます。

$$\frac{w}{w \cdot pit} = \frac{1}{pit}$$

$\frac{1}{pit} > 1$ となる場合は、同一部位が複数回照射されることを意味します。

したがって、 k 番目のスライスの照射に伴う組織 T の吸収線量 $D(T, k)$ [mGy]は

$$D(T, k)[\text{mGy}] = {}_nD(T, k)[\text{mGy/mGy}] \cdot {}_nCTDI_{free\ air}[\text{mGy/mAs}] \cdot \frac{I \cdot t}{pit}[\text{mAs}] \quad (2)$$

と表されます。

${}_nD(T, k)$ は CT 機種・管電圧・Bow-tie フィルタ・ファントム毎に用意されていて、 $\Delta s = 5 \text{ mm}$ 刻みのデータとなっています。

図 4.2 のように撮影範囲が $z_{start} \sim z_{end}$ ($z_{start} < z_{end}$) [mm]であったとき、このスキャン範囲における組織 T の吸収線量 $D(T)$ は以下のように計算されます。

$$D(T) = \int_{z_{start}}^{z_{end}} \frac{D(T, k)}{\Delta s} dz = \frac{z_{i+1} - z_{start}}{\Delta s} D(T, i) + \sum_{k=i+1}^{j-1} D(T, k) + \frac{z_{end} - z_j}{\Delta s} D(T, i) \quad (3)$$

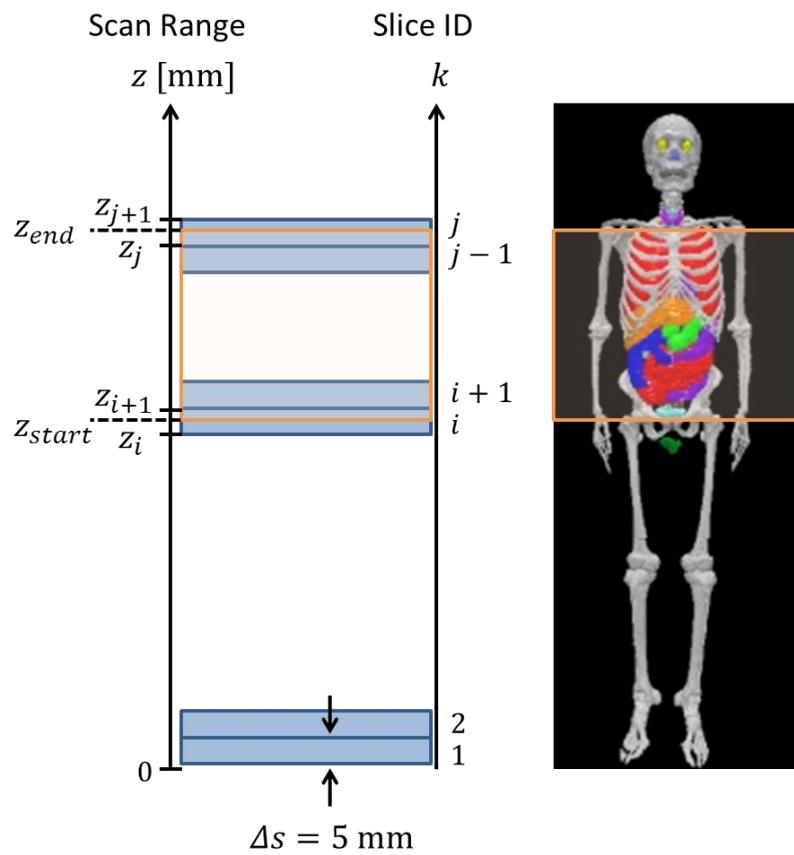


図 4.2. 撮影範囲 $z_{start} \sim z_{end}$ と臓器線量データのスライス番号 k の関係図

AEC (Auto Exposure Control) : on の場合

AEC を on にした場合、管電流 I [mA] は照射位置の z 座標に応じて図 4.3 のように変化するものと仮定します。スキャン開始/終了位置 z_{start}, z_{end} 、境界位置 $z_a, z_b, z_{c1}, z_c, z_d, z_e$ における管電流値 $I_{start}, I_{end}, I_a, I_b, I_{c'} (= I_b), I_c, I_d, I_e$ をユーザは指定することができます。管電圧の入力値に基づいて、スキャン範囲内の各スライス ($\Delta s = 5$ mm) の中心の座標における電流値 I_k を算出します。各境界位置を表 4-2、表 4-3 に示します。

k 番目のスライスの中心の座標 $z_k + \frac{\Delta s}{2}$ が隣り合う境界位置 z_l, z_m の間にある場合、電流値 I_k は以下の式のように線形補間の値で表されます。

$$I_k = I_l + \frac{I_m - I_l}{z_m - z_l} \left(z_k + \frac{\Delta s}{2} - z_l \right) \quad \left(z_l < z_k + \frac{\Delta s}{2} < z_m \text{ の場合} \right) \quad (4)$$

それぞれのスライスの中では I_k は一定であるすると、 k 番目のスライスの照射に伴う組織 T の吸収線量 $D(T, k)$ は以下のように計算されます。

$$D(T, k) [\text{mGy}] = n D(T, k) [\text{mGy/mGy}] \cdot n \text{CTDI}_{free\ air} [\text{mGy/mAs}] \cdot \frac{I_k \cdot t}{pit} [\text{mAs}] \quad (5)$$

スキャン範囲における組織 T の吸収線量 $D(T)$ は AEC off の場合と同様に式(3)で計算されます。

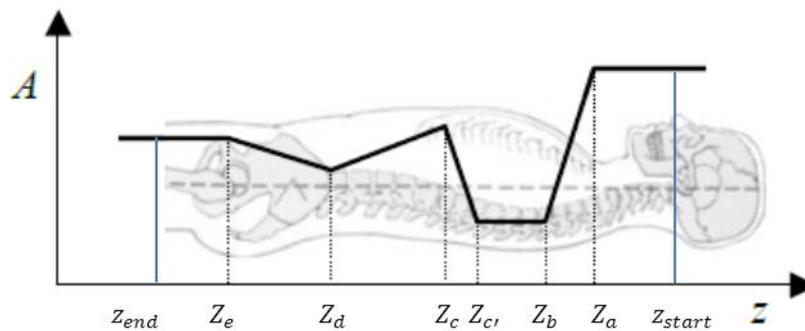


図 4.3. AEC における管電流変化

表 4-2. AEC 計算機能を利用した際の男性ファントムの境界位置

z	解剖学的 定義	成人 男 [mm]	0 歳 男児 [mm]	1 歳 男児 [mm]	5 歳 男児 [mm]	10 歳 男児 [mm]	15 歳 男児 [mm]
Z_a	肺尖 1 スライス目	1542.5	337.5	575.5	885.5	1156.5	1394.5
Z_b	気管部岐部	1452.5	319.5	550.5	843.5	1100.5	1324.5
$Z_{c'}$		1322.5	297.5	493.5	774.5	1019.5	1190.5
$(Z_{c'} - Z_c)$		(50)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
Z_c	肝門部 (左肺野最終スライス)	1272.5	277.5	473.5	754.5	999.5	1170.5
Z_d	腸骨上縁	1150.5	200.5	377.5	614.5	823.5	1010.5
Z_e	恥骨上縁	987.5	164.5	306.5	517.5	686.5	849.5

表 4-3. AEC 計算機能を利用した際の女性ファントムの境界位置

z	解剖学的 定義	成人 女 [mm]	0 歳 女児 [mm]	1 歳 女児 [mm]	5 歳 女児 [mm]	10 歳 女児 [mm]	15 歳 女児 [mm]
Z_a	肺尖 1 スライス目	1404.5	337.5	575.5	885.5	1156.5	1345.5
Z_b	気管部岐部	1311.5	319.5	550.5	843.5	1100.5	1269.5
$Z_{c'}$		1181.5	297.5	493.5	774.5	1019.5	1164.5
$(Z_{c'} - Z_c)$		(50)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)
Z_c	肝門部 (左肺野最終スライス)	1131.5	277.5	473.5	754.5	999.5	1144.5
Z_d	腸骨上縁	1028.5	200.5	377.5	614.5	823.5	975.5
Z_e	恥骨上縁	861.5	164.5	306.5	517.5	686.5	818.5

Adult optional phantom を選択した場合

Adult optional phantom を選択した場合、図 2.3 に示すように被検者の身長・体重が入力できるようになります。被検者の身長・体重から BMI を計算し、WAZA-ARIV2 成人ファントムの BMI と最も近い二つのファントムの吸収線量を求めて、被検者の BMI を利用して臓器線量の線形補間計算を行います。

4.5. 線量指標の計算

WAZA-ARI では線量指標として DLP (Dose Length Product) と撮影範囲の平均の $CTDI_{vol}$ が計算されます。

AEC (Auto Exposure Control) : off の場合

$$CTDI_{vol}[\text{mGy}] = nCTDI_w \cdot \frac{I \cdot t}{pit}$$

$$DLP[\text{mGy} \cdot \text{cm}] = CTDI_{vol}[\text{mGy}] \cdot (z_{end} - z_{start}) [\text{mm}] \cdot \frac{1}{10} \left[\frac{\text{cm}}{\text{mm}} \right]$$

AEC (Auto Exposure Control) : on の場合

k 番目のスライスの照射条件に対する $CTDI_{vol}$ を $CTDI_{vol}(k)$ とすると以下のように表されます。

$$CTDI_{vol}(k)[\text{mGy}] = Rel_CTDI \cdot nCTDI_w \cdot \frac{I_k \cdot t}{pit}$$

図 4.2 のように撮影範囲が $z_{start} \sim z_{end}$ ($z_{start} < z_{end}$) [mm]であったとき、 DLP [mGy · cm]は以下のように表されます。

$$DLP[\text{mGy} \cdot \text{cm}] = \left\{ (z_{i+1} - z_{start}) \cdot CTDI_{vol}(i) + \Delta s \cdot \sum_{k=i+1}^{j-1} CTDI_{vol}(k) + (z_{end} - z_j) \cdot CTDI_{vol}(j) \right\} [\text{mGy} \cdot \text{mm}]$$

$$\cdot \frac{1}{10} [\text{cm/mm}]$$

また、平均の $CTDI_{vol}$ [mGy]は以下のように表されます。

$$CTDI_{vol}[\text{mGy}] = \frac{DLP[\text{mGy} \cdot \text{cm}]}{(z_{end} - z_{start})[\text{mm}]} \cdot 10 [\text{mm/cm}]$$

SSDE (Size-specific Dose Estimates) : on の場合

SSDE は線量指標の一つである $CTDI_{vol}$ に体型補正を加えた線量指標です。WAZA-ARIv2 では、米国医学物理学学会が発表したタスクグループ 204 のレポート[7]の中に提案した換算係数 f_{size}^{16} 、 f_{size}^{32} 及び下記の式で SSDE を求めています。

直径 32 cm の CTDI ファントム場合、

$$SSDE = f_{size}^{32} \times CTDI_{vol}^{32} [\text{mGy}]$$

直径 16 cm の CTDI ファントム場合、

$$SSDE = f_{size}^{16} \times CTDI_{vol}^{16} [\text{mGy}]$$

表 4.4 被検者の実効直径及び換算係 f_{size}^{32} 数

Effective diameter	Conversion factor	Effective diameter	Conversion factor	Effective diameter	Conversion factor
8	2.76	21	1.71	34	1.06
9	2.66	22	1.65	35	1.02
10	2.57	23	1.59	36	0.99
11	2.47	24	1.53	37	0.95
12	2.38	25	1.48	38	0.92
13	2.30	26	1.43	39	0.88
14	2.22	27	1.37	40	0.85
15	2.14	28	1.32	41	0.82
16	2.06	29	1.28	42	0.79
17	1.98	30	1.23	43	0.76
18	1.91	31	1.19	44	0.74
19	1.84	32	1.14	45	0.71
20	1.78	33	1.10		

表 4.5 被検者の実効直径及び換算係数 f_{size}^{16}

Effective diameter [cm]	Conversion factor	Effective diameter [cm]	Conversion factor	Effective diameter [cm]	Conversion factor
6	1.49	23	0.77	40	0.40
7	1.43	24	0.74	41	0.38
8	1.38	25	0.71	42	0.37
9	1.32	26	0.69	43	0.35
10	1.27	27	0.66	44	0.34
11	1.22	28	0.63	45	0.33
12	1.18	29	0.61	46	0.32
13	1.13	30	0.59	47	0.30
14	1.09	31	0.56	48	0.29
15	1.05	32	0.54	49	0.28
16	1.01	33	0.52	50	0.27
17	0.97	34	0.50	51	0.26
18	0.93	35	0.48	52	0.25
19	0.90	36	0.47	53	0.24
20	0.86	37	0.45	54	0.23
21	0.83	38	0.43	55	0.22
22	0.80	39	0.41		

5.登録パラメータ

表 5-1 各スキャンタイプの撮影範囲: Age-0 M/F

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	475	390	85
	頭部単純ヘリカル	475	390	85
	頭部－頸部 1 相	475	330	145
	頭部アンギオ	475	355	120
	頭頸部アンギオ	475	330	145
	顔面／眼窩／副鼻腔	440	355	85
頸部	頸部のみ 1 相	390	345	45
	頸部－胸部 1 相	390	260	130
	頸部－腹部 1 相	390	220	170
	頸部～骨盤 1 相	390	140	250
胸部	胸部のみ 1 相	370	260	110
	HRCT	370	260	110
	胸部～上腹部 1 相	370	220	150
	胸部～骨盤 1 相	370	140	230
	肺がん検診	370	260	110
腹部	上腹部のみ 1 相	300	220	80
	上腹部～骨盤 1 相	300	140	160
	肝臓ダイナミック	300	215	85
骨盤	骨盤	240	140	100
	下腹部	240	140	100
	股関節	195	145	50
脊椎	頸椎	395	345	50
	胸椎	370	240	130
	腰椎	280	190	90
心臓	冠動脈のみ	330	280	50

表 5-2 各スキャンタイプの撮影範囲: Age-1 M/F

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	765	650	115
	頭部単純ヘリカル	765	650	115
	頭部-頸部 1 相	765	555	210
	頭部アンギオ	765	600	165
	頭頸部アンギオ	765	555	210
	顔面/眼窩/副鼻腔	720	600	120
頸部	頸部のみ 1 相	650	565	85
	頸部-胸部 1 相	650	425	225
	頸部-腹部 1 相	650	380	270
	頸部~骨盤 1 相	650	280	370
胸部	胸部のみ 1 相	600	425	175
	HRCT	600	425	175
	胸部~上腹部 1 相	600	380	220
	胸部~骨盤 1 相	600	280	320
	肺がん検診	600	425	175
腹部	上腹部のみ 1 相	495	380	115
	上腹部~骨盤 1 相	495	280	215
	肝臓ダイナミック	495	375	120
骨盤	骨盤	405	280	125
	下腹部	405	280	125
	股関節	345	285	60
脊椎	頸椎	655	565	90
	胸椎	600	410	190
	腰椎	470	350	120
心臓	冠動脈のみ	550	470	80

表 5-3 各スキャンタイプの撮影範囲: Age-5 M/F

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	1100	975	125
	頭部単純ヘリカル	1400	1270	130
	頭部-頸部 1 相	1400	1135	265
	頭部アンギオ	1400	1200	200
	頭頸部アンギオ	1400	1135	265
	顔面/眼窩/副鼻腔	1350	1200	150
頸部	頸部のみ 1 相	1270	1140	130
	頸部-胸部 1 相	1270	920	350
	頸部-腹部 1 相	1270	860	410
	頸部~骨盤 1 相	1270	635	635
胸部	胸部のみ 1 相	1180	920	260
	HRCT	1180	920	260
	胸部~上腹部 1 相	1180	860	320
	胸部~骨盤 1 相	1180	635	545
	肺がん検診	1180	920	260
腹部	上腹部のみ 1 相	1020	860	160
	上腹部~骨盤 1 相	1020	635	385
	肝臓ダイナミック	1020	865	155
骨盤	骨盤	860	635	225
	下腹部	860	635	225
	股関節	740	650	90
脊椎	頸椎	1280	1140	140
	胸椎	1180	900	280
	腰椎	950	745	205
心臓	冠動脈のみ	1120	990	130

表 5-4 各スキャンタイプの撮影範囲: Age-10 M/F

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	1400	1270	130
	頭部単純ヘリカル	1400	1270	130
	頭部-頸部 1 相	1400	1135	265
	頭部アンギオ	1400	1200	200
	頭頸部アンギオ	1400	1135	265
	顔面/眼窩/副鼻腔	1350	1200	150
頸部	頸部のみ 1 相	1270	1140	130
	頸部-胸部 1 相	1270	920	350
	頸部-腹部 1 相	1270	860	410
	頸部~骨盤 1 相	1270	635	635
胸部	胸部のみ 1 相	1180	920	260
	HRCT	1180	920	260
	胸部~上腹部 1 相	1180	860	320
	胸部~骨盤 1 相	1180	635	545
	肺がん検診	1180	920	260
腹部	上腹部のみ 1 相	1020	860	160
	上腹部~骨盤 1 相	1020	635	385
	肝臓ダイナミック	1020	865	155
骨盤	骨盤	860	635	225
	下腹部	860	635	225
	股関節	740	650	90
脊椎	頸椎	1280	1140	140
	胸椎	1180	900	280
	腰椎	950	745	205
心臓	冠動脈のみ	1120	990	130

表 5-5 各スキャンタイプの撮影範囲: Age-15 Male

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	1660	1530	130
	頭部単純ヘリカル	1660	1530	130
	頭部-頸部 1 相	1660	1370	290
	頭部アンギオ	1660	1445	215
	頭頸部アンギオ	1660	1370	290
	顔面/眼窩/副鼻腔	1620	1445	175
頸部	頸部のみ 1 相	1525	1365	160
	頸部-胸部 1 相	1525	1140	385
	頸部-腹部 1 相	1525	1010	515
	頸部~骨盤 1 相	1525	790	735
胸部	胸部のみ 1 相	1420	1140	280
	HRCT	1420	1140	280
	胸部~上腹部 1 相	1420	1010	410
	胸部~骨盤 1 相	1420	790	630
	肺がん検診	1420	1140	280
腹部	上腹部のみ 1 相	1215	1010	205
	上腹部~骨盤 1 相	1215	790	425
	肝臓ダイナミック	1215	1015	200
骨盤	骨盤	1050	790	260
	下腹部	1050	790	260
	股関節	910	790	120
脊椎	頸椎	1540	1365	175
	胸椎	1420	1100	320
	腰椎	1200	920	280
心臓	冠動脈のみ	1360	1185	175

表 5-6 各スキャンタイプの撮影範囲: Age-15 Female

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	1600	1485	115
	頭部単純ヘリカル	1600	1485	115
	頭部-頸部 1 相	1600	1320	280
	頭部アンギオ	1600	1405	195
	頭頸部アンギオ	1600	1320	280
	顔面/眼窩/副鼻腔	1550	1405	145
頸部	頸部のみ 1 相	1480	1325	155
	頸部-胸部 1 相	1480	1080	400
	頸部-腹部 1 相	1480	1015	465
	頸部~骨盤 1 相	1480	770	710
胸部	胸部のみ 1 相	1370	1080	290
	HRCT	1370	1080	290
	胸部~上腹部 1 相	1370	1015	355
	胸部~骨盤 1 相	1370	770	600
	肺がん検診	1370	1080	290
腹部	上腹部のみ 1 相	1190	1015	175
	上腹部~骨盤 1 相	1190	770	420
	肝臓ダイナミック	1190	800	390
骨盤	骨盤	1000	770	230
	下腹部	1000	770	230
	股関節	880	770	110
脊椎	頸椎	1490	1325	165
	胸椎	1370	1050	320
	腰椎	1160	900	260
心臓	冠動脈のみ	1310	1145	165

表 5-7 各スキャンタイプの撮影範囲: Adult Male

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	1835	1700	135
	頭部単純ヘリカル	1835	1700	135
	頭部-頸部 1 相	1835	1510	325
	頭部アンギオ	1835	1600	235
	頭頸部アンギオ	1835	1510	325
	顔面/眼窩/副鼻腔	1785	1600	185
頸部	頸部のみ 1 相	1700	1525	175
	頸部-胸部 1 相	1700	1230	470
	頸部-腹部 1 相	1700	1150	550
	頸部~骨盤 1 相	1700	920	780
胸部	胸部のみ 1 相	1580	1230	350
	HRCT	1580	1230	350
	胸部~上腹部 1 相	1580	1150	430
	胸部~骨盤 1 相	1580	920	660
	肺がん検診	1580	1230	350
腹部	上腹部のみ 1 相	1350	1150	200
	上腹部~骨盤 1 相	1350	920	430
	肝臓ダイナミック	1350	1165	185
骨盤	骨盤	1180	920	260
	下腹部	1180	920	260
	股関節	1080	910	170
脊椎	頸椎	1700	1525	175
	胸椎	1580	1190	390
	腰椎	1340	1060	280
心臓	冠動脈のみ	1450	1265	185

表 5-8 各スキャンタイプの撮影範囲: Adult Female

部位	Scan parameter	Begin	End	Range (mm)
頭部	頭部単純ノンヘリカル	1665	1550	115
	頭部単純ヘリカル	1665	1550	115
	頭部-頸部 1 相	1665	1380	285
	頭部アンギオ	1665	1445	220
	頭頸部アンギオ	1665	1380	285
	顔面/眼窩/副鼻腔	1625	1455	170
頸部	頸部のみ 1 相	1540	1370	170
	頸部-胸部 1 相	1540	1110	430
	頸部-腹部 1 相	1540	1010	530
	頸部~骨盤 1 相	1540	820	720
胸部	胸部のみ 1 相	1435	1110	325
	HRCT	1435	1110	325
	胸部~上腹部 1 相	1435	1010	425
	胸部~骨盤 1 相	1435	820	615
	肺がん検診	1435	1110	325
腹部	上腹部のみ 1 相	1200	1010	190
	上腹部~骨盤 1 相	1200	820	380
	肝臓ダイナミック	1200	1015	185
骨盤	骨盤	1050	820	230
	下腹部	1050	820	230
	股関節	930	810	120
脊椎	頸椎	1545	1370	175
	胸椎	1435	1090	345
	腰椎	1200	930	270
心臓	冠動脈のみ	1300	1140	160

謝辞

モンテカルロ計算に用いる線源モデル構築のための測定や CTDI 値の取得にご協力いただきましたご施設とその職員・関係者の方々に感謝いたします。

測定協力または測定値を提供頂いた施設

CT 機種	協力施設
GE LightSpeed 16	大分県立三重病院
GE LightSpeed 64	大分アルメイダ病院
GE Discovery CT750HD	みやぎ県南中核病院
GE Revolution CT	北九州市立八幡病院
Siemens SOMATOM Sensation16	東海大学医学付属病院
Siemens SOMATOM Sensation 64	東海大学医学付属病院
Siemens SOMATOM Emotion 6	東海大学医学付属病院
Siemens SOMATOM Definition Flash	東海大学医学付属病院、放医研病院
Siemens SOMATOM Force	東海大学医学付属大磯病院
Toshiba Aquilion 16	新別府病院
Toshiba Aquilion 64	別府鶴見病院、千葉大学医学部附属病院
Toshiba Alexion Access Edition	九州大学医学部保健学科
Toshiba Aquilion Prime TSX-302A	大分三愛メディカルセンター
Toshiba Aquilion ONE TSX-301A	札幌医科大学附属病院
Toshiba Aquilion ONE Genesis Edition TSX-305A	広島大学医学附属病院
Toshiba Aquilion Precision TSX-304A	広島大学医学附属病院
Hitachi Eclos	日立製作所ヘルスケア柏工場
Hitachi Supria	日立製作所ヘルスケア柏工場
Hitachi Senaria	日立製作所ヘルスケア柏工場
Philips Brilliance iCT	熊本中央病院
Philips IQon Spectral CT	熊本中央病院

参考文献

- [1] N. Ban *et al.*, "WAZA-ARI: Computational dosimetry system for x-ray CT examinations II: Development of web-based system," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 146, no. 1–3, pp. 244–247, 2011.
- [2] F. Takahashi *et al.*, "WAZA-ARI: Computational dosimetry system for x-ray CT examinations. I. radiation transport calculation for organ and tissue doses evaluation using JM phantom," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 146, no. 1–3, pp. 241–243, 2011.
- [3] 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. Dosimetry*, vol. 123, no. 3, pp. 337–344, 2007.
- [4] C. Lee, D. Lodwick, J. Hurtado, D. Pafundi, J. L. Williams, and W. E. Bolch, "The UF family of reference hybrid phantoms for computational radiation dosimetry.," *Phys. Med. Biol.*, vol. 55, no. 2, pp. 339–363, 2010.
- [5] ICRP, "The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103," *Ann. ICRP*, vol. 37, pp. 1–332, 2007.
- [6] ICRP, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60.," *Ann. ICRP*, vol. 21, no. 1–3, 1991.
- [7] AAPM, "Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations," *AAPM Rep.*, vol. 204, 2011.

図表索引

図 2.1. 線量計算画面.....	4
図 2.2. 選択できるファントムの種類	6
図 2.3. Adult optional phantom を選択した場合	7
図 2.4. SSDE on の場合の計算画面。	7
図 4.1. PHITS を用いた CT 装置から放出される X 線の挙動解析の例	11
図 4.2. 撮影範囲 $zstart \sim zend$ と臓器線量データのスライス番号 k の関係図	15
図 4.3. AEC における管電流変化.....	16