

| | | | |
|---|--------|------|------|
| ① | 安静室(2) | 4.88 | 17.0 |
|---|--------|------|------|

上の表を用いて、200MBq を患者に投与した後の 1 m の距離における患者当たりの室等における線量は、左から 3 番目の欄の値の倍数、すなわち、 $200 \text{ [MBq]} / 100 \text{ [MBq]} \times$ それぞれの室における患者の投与量 (100MBq に対する放射エネルギーに対する割合) から表の 100MBq 当たりの線量 [$\mu \text{ Sv}/100\text{MBq}$] で求められる。すなわち、次の通り計算される。

1 患者一人あたりの線量

処置室 : $2 \times 1.18 \text{ } [\mu \text{ Sv}] = 2.36 \text{ } [\mu \text{ Sv}]$
 安静室 (1) : $2 \times 8.18 \text{ } [\mu \text{ Sv}] = 16.36 \text{ } [\mu \text{ Sv}]$
 検査室 : $2 \times 6.31 \text{ } [\mu \text{ Sv}] = 12.62 \text{ } [\mu \text{ Sv}]$

2 患者間の被ばく線量

被ばく線量を評価する患者以外に、 ^{18}F FDG を投与した患者が二人安静室で、互いが 40cm の距離で 40 分間滞在したと仮定すると、それぞれの投与患者から受ける被ばく線量は、

$$8.18 \text{ } [\mu \text{ Sv}/100\text{MBq}] \times 200 \text{ [MBq]} / 100 \text{ [MBq]} \times 2 \text{ 名} / (0.4 \times 0.4) \doteq 200 \text{ } [\mu \text{ Sv}/200\text{MBq}]$$

投与患者の実効線量 3.8mSv に対して、他の患者から受ける線量の寄与は 5.3% と推定される。

3 病院から退出後の家族等の被ばく線量の推定 (投与量 200MBq と仮定)

1 m の距離 (1) 検査後直ちに退出した場合 $22.4 \times 2 = 44.8 \text{ } \mu \text{ Sv}$

(2) 検査後 40 分後に退出した場合 $17.0 \times 2 = 34.0 \text{ } \mu \text{ Sv}$

40cm の距離 (1) 検査後直ちに退出した場合 $22.4 \times 2 / (0.4 \times 0.4) = 280 \text{ } \mu \text{ Sv}$

(2) 検査後 40 分後に退出した場合 $17.0 \times 2 / (0.4 \times 0.4) = 213 \text{ } \mu \text{ Sv}$

検査を受けた患者と近い距離 (40cm) で接触した場合、 $280 \text{ } \mu \text{ Sv}$ 又は $213 \text{ } \mu \text{ Sv}$ の被ばく線量が推定される。この線量は、2005 年に予定される ICRP 勧告の線量拘束値が示されることが予定されている ($300 \text{ } \mu \text{ Sv}$)。従って、退出後家族等の近親者との接触に関する特別の注意・指導が必要である。

4 1 週間の使用数量

上で計算された室のうち、最も高い線量を示す安静室 (1) の $8.18 \text{ } \mu \text{ Sv}/100\text{MBq}$ を用いて、1 週間 1mSv に相当する放射エネルギーを求める。

(計算)

$$1 \text{ [mSv/週]} \times 1000 \text{ } [\mu \text{ Sv/mSv}] \div 8.18 \text{ } [\mu \text{ Sv}/100\text{MBq}] \doteq 12,000 \text{ [MBq/週]}$$

1 週間 1mSv の使用量の基準を担保する場合、1 週間に 12,000MBq の使用が可能となる。

1 日 5 日間診療すると、1 日当たり 2,400MBq の使用が可能となる。

5 3 月間の使用数量

管理区域の境界における線量限度 (1.3 mSv) が担保すべき放射エネルギーを、上記と同様、安静室 (1) を基準に求める。構造設備の基準は、線源から壁までの距離

1 m、壁のコンクリート厚 20cm (0.511MeV の実効線量透過率：0.227) と仮定すると次の通り計算される。

(計算)

$$1,300 [\mu \text{ Sv}/3 \text{ 月間}] \div 0.227 \approx 5,700 [\mu \text{ Sv}/3 \text{ 月間}]$$

$$5,700 [\mu \text{ Sv}/3 \text{ 月間}] \div 8.18 [\mu \text{ Sv}/100\text{MBq}] \times 100 [\text{MBq}] = 69,000 [\text{MBq}/3 \text{ 月間}]$$

管理区域の線量限度を担保する 1 週間当たりの使用数量は、

$$69,000 [\text{MBq}/3 \text{ 月間}] \div 65 [\text{日}/3 \text{ 月間}] \approx 1,060 [\text{MBq}/\text{日}]$$

管理区域 (3 月間 1.3mSv) の線量限度を担保する場合、3 月間 69,000MBq、1 日間につき 1,000MBq の使用が可能となる。

6 測定室における線量と従事者の防護について

1 日 1,000MBq を週 5 日間、年間 50 週検査を施行した場合の従事者の被ばく線量の推定、この場合、上の表の⑨測定室の 6.31 $\mu \text{ Sv}/100\text{MBq}$ を用いて計算する。

(計算)

$$1,000 [\text{MBq}/\text{日}] \div 100 [\text{MBq}] \times 6.31 [\mu \text{ Sv}] \times 5 [\text{日}/\text{週}] \times 50 [\text{週}/\text{年}] / 1000 [\text{mSv}/\mu \text{ Sv}] = 15.8 [\text{mSv}/\text{年}]$$

従来の診療用放射性同位元素使用室における放射線防護の基準に、エックス線診療室に規定されている別室操作が義務づけられていないが、上のように、年間の線量が約 16mSv 受ける状況は従事者の放射線の防護上好ましくない。それ故に、測定室内でコンソールを操作する場合次のような対策が必要と思われる。

(1) 1 日及び又は 3 月間の最大使用予定数量を減らす。

$$1000 [\text{MBq}/\text{日}] \times 5\text{mSv}^{\text{脚注1)}} \div 15.8\text{mSv} \approx 320 [\text{MBq}/\text{日}]$$

$$69,000 [\text{MBq}/3 \text{ 月間}] \times 5\text{mSv}^{\text{脚注1)}} \div 15.8\text{mSv} \approx 22,000 [\text{MBq}/3 \text{ 月間}]$$

以上から、最も厳しい基準値が優先されると考える。しかしながら、1 日 320MBq は、1 名当たりの投与量 200MBq とすると、1.5 名分となる。また、1 週間 5 日としたとすると、約 7 名の検査が可能である。従って、次の (2)、又は (3) の放射線防護の措置が講じられて、医療従事者の被ばく線量の低減することが保証される場合に 測定室内でコンソール操作を可能としても差し支えないと思われる。

(2) 画像診断装置のステージと操作盤との距離を 1 m から 2 m 取ることによって、距離の二乗の逆比例の関係から、操作する従事者の受ける被ばく線量が 4 倍減少する。

(3) 装置と操作する者の間に遮へい体を設ける (例えば、コンクリート 20cm 又は鉛 1cm) を設けることによって操作者の被ばく線量が 0.227 ~ 0.257 に減少する。

脚注 1)： 電離放射線障害防止規則第 55 条第 4 項 「・・・健康診断を行おうとする日に属する年の前年 1 年間に受けた実効線量が 5 ミリシーベルトを超えず、かつ、当該健康診断を行おうとする日に属する 1 年間に受ける実効線量が 5 ミリシーベルトを超えるおそれがない者に対する当該健康診断については、同項第 2 号から第 5 号までに掲げる項目 (第 2 号 白血球数及び白血球 100 分率の検査、第 3 号 赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査、第 4 号 白内障に関する目の検査、第 5 号 皮膚検査) は、医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。」

D. 結論

FDG-PET 検査に伴う放射線障害の防止に関する構造設備及び予防措置の概要として、FDG-PET 検査に伴う防護について以下に述べる。

1. FDG-PET 検査に係る構造設備の基準については、次に示す使用室の防護に関する要件を明確にする必要がある。

- (1) 準備室
- (2) 処置室；投与時の注射器のシールド、自動注射装置の導入
- (3) 安静室の設置
- (4) PET 検査室及び操作室に係る考慮
- (5) トイレ

2. 線量評価に関する考え方

- (1) 線量評価において物理的半減期を適用する場合は、線源並びに投与後の患者の移動に係るシナリオを明確に規定すること。
- (2) シナリオを適用する場合は、このシナリオに従って各室における積算 γ 線量で評価することを可能にする。
- (3) 装置の校正用線源 Ge-Ga 及び CT-PET 装置の場合は、複合評価を行う。

3. 従事者等の放射線防護に関する指導等に関する事項

- (1) 病院の職業被ばくの防護及び医療安全を保証するための組織的な管理体制の確立に関すること。
- (2) 従事者の被ばく低減を図るため、放射線防護の三原則を徹底し、かつ上記のシナリオに従った実施に関する教育及び訓練の実施に関すること。
- (3) 従事者等の特定の者に被ばく線量が偏ることのないようなローテーションを計画するための考慮

4. 介助者及び公衆被ばく等の放射線防護に関する指示・指導

- (1) FDG-PET 検査を受ける患者に対して飲料水を提供し、検査を受ける前及び病院からの退出する前に排尿することを義務づける。
- (2) 退出した場合の注意事項について
 - ① 退出後の推定される積算 γ 線量は、一件当たり 0.3mSv の公衆被ばく線量拘束値に近くなる可能性がある。従って、退出後 24 時間は、特に妊娠中の女子及び 10 歳未満の小児との接触時間を短くすること、距離をとるなどについて。
 - ② 病院から退室して公共の交通機関で、特に路線バスを利用する場合、運転台付近に止まらず、離れた場所に乗車すること。

E. 参考文献

- (1) Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, (ICRP Publication 60 (1990))

- (2) Radiation Protection and Safety in Medicine, (ICRP Publication 73 (1996))
- (3) The International Basic Safety (BSS) Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA (1996)
- (4) Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation (IAEA Safety Standards Series (Safety Guide No. RS-G-1.5) (2002)
- (5) Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP 53), (ICRP Publication 80 (1998))
- (6) アイソトープ手帳 10版：(社)日本アイソトープ協会 2001年
- (7) 放射線施設のしゃへいマニュアル計算実務マニュアル：(財)原子力安全技術センター 2000年

(参考資料)

表1 放射性同位元素からのγ線の線量率定数

| 核種 | 実効線量率 | 空気衝突カーマ率 | 1cm線量当量率 |
|--------|--------|----------|----------|
| F-18 | 0.140 | 0.135 | 0.166 |
| Ga-67 | 0.0225 | 0.0190 | 0.0268 |
| Mo-99* | 0.0376 | 0.0331 | 0.0444 |
| Tc-99m | 0.0181 | 0.0141 | 0.0214 |
| In-111 | 0.0553 | 0.0477 | 0.0663 |
| I-123 | 0.0226 | 0.0206 | 0.0288 |
| I-125 | 0.0124 | 0.0345 | 0.0357 |
| I-131 | 0.0545 | 0.0513 | 0.0650 |
| Tl-201 | 0.0142 | 0.0104 | 0.0175 |

- 1) *印のある核種は放射平衡にある娘核種を含む。
- 2) 実効線量率定数及び1cm線量当量率定数の単位は $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ であり、空気衝突カーマ率定数の単位は $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ である。

表2 放射性同位元素からのγ線実効線量透過率(鉛(密度:11.34(g/cm³))

| 厚さ (cm) | 核種 | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| | F-18 | Tc-99m | I-131 | Tl-201 |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.2 | 7.86E-01 | 1.44E-02 | 6.47E-01 | 1.22E-02 |
| 0.3 | 6.90E-01 | 1.32E-03 | 5.17E-01 | 2.06E-03 |
| 0.4 | 6.04E-01 | 1.23E-04 | - | 3.79E-04 |
| 0.5 | 5.26E-01 | 1.16E-06 | 3.32E-01 | 7.18E-05 |
| 0.7 | 3.97E-01 | 1.13E-07 | - | 2.65E-06 |
| 1 | 2.57E-01 | - | 1.20E-01 | - |

| | | | | |
|-----|----------|---|----------|---|
| 1.5 | 1.22E-01 | - | 5.15E-02 | - |
| 2 | 5.67E-02 | - | 2.54E-02 | - |
| 3 | 1.19E-02 | - | 7.68E-03 | - |
| 5 | 4.94E-04 | - | 8.31E-04 | - |

表3 放射性同位元素からのγ線実効線量透過率(コンクリート(密度:2.10(g/cm³))

| 厚さ (cm) | 核種 | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| | F-18 | Tc-99m | I-131 | Tl-201 |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 10 | 6.41E-01 | 4.10E-01 | 6.25E-01 | 1.51E-01 |
| 15 | 3.97E-01 | 1.49E-02 | 3.62E-01 | 4.72E-02 |
| 20 | 2.27E-01 | 4.88E-02 | 1.93E-01 | 1.52E-02 |
| 25 | 1.24E-01 | 1.50E-02 | 9.77E-02 | 4.93E-03 |
| 30 | 6.46E-02 | 4.45E-03 | 4.78E-02 | 1.58E-03 |
| 35 | 3.28E-02 | 1.27E-03 | 2.29E-02 | 4.95E-04 |
| 40 | 1.63E-02 | 3.57E-04 | 1.08E-02 | 1.52E-04 |
| 45 | 7.95E-03 | 9.80E-05 | 5.02E-03 | 4.62E-05 |
| 50 | 3.82E-03 | 2.63E-05 | 2.32E-03 | 1.38E-05 |
| 60 | 8.47E-04 | 1.85E-06 | 4.96E-04 | 1.19E-06 |

国立保健医療科学院殿

P E T 製剤を投与された患者さん（線源）からの
実効線量率計算結果報告書（案）

平成16年3月

東芝電力放射線サービス株式会社

目 次

1. はじめに
2. 計算方法
 2. 1 計算手法
 2. 2 計算体系（線源、線源形状）
3. 計算結果
 3. 1 線源分割数の検討
 3. 2 実効線量率計算結果
4. まとめ

図表一覧

- 図 2. 1 点減衰核積分法の概念
- 図 2. 2 点減衰核法による線量率の計算
- 図 3. 1 A病院PET CT検査室関連の計算体系図

- 表 3. 1 (1)～(8) 線源分割数と実効線量率との関係
- 表 3. 2 線源の分割数と実効線量率との関係
- 表 3. 3 線源の分割数と実効線量率との関係 (比率)
- 表 3. 4 空気中に線源が置かれている場合の実効線量率
- 表 3. 5 空気中に線源が置かれている場合の実効線量率
(線源表面から 104cm 位置に 20cm 厚さのコンクリートあり。)
- 表 3. 6 空気中に線源が置かれている場合の実効線量率
(線源表面から 60cm 位置に 2mm 厚さの鉛あり。)
- 表 3. 7 A病院 PET CT検査室周辺の実効線量率

1. はじめに

本報告書は、PET-CT検査を実施する際に、術者、検査実施者、介護者等が被ばくする放射線量（実効線量）を評価することを目的に、PET製剤を投与（静脈注射）された患者さん（線源）からの、定位置での実効線量率、遮へい体（普通コンクリート、鉛）透過後の実効線量率及びPET-CT検査を実施している病院（A病院）の検査室内外、患者さんの待合室、検査装置操作室での実効線量率を算定したものである。

2. 計算方法

2.1 計算手法

PET-CT検査での実効線量率の計算は、評価対象放射線が ^{18}F の陽電子消滅により発生するガンマ線であることから、ガンマ線遮蔽計算コード（3次元の計算が可能な点減衰核積分法：QAD-CGGP2R⁽¹⁾）を用いて線量計算を実施した。

以下に点減衰核積分法の概要と計算コード（QAD-CGGP2R）の概要を記す。

(1) 点減衰核積分法の概要

点減衰核積分法とは、図2.1に示すように体積線源を複数の当方点線源セルの集合体とみなし、各点より評価点までの距離を求め、線源内や遮へい体の物質及びその通過距離により γ 線エネルギー依存の減衰量とビルドアップ係数を計算する。最後に評価したい諸量に対する変換係数を掛けたあと、全ての線源セルからの寄与を積分することで体積積分の評価とする手法である。

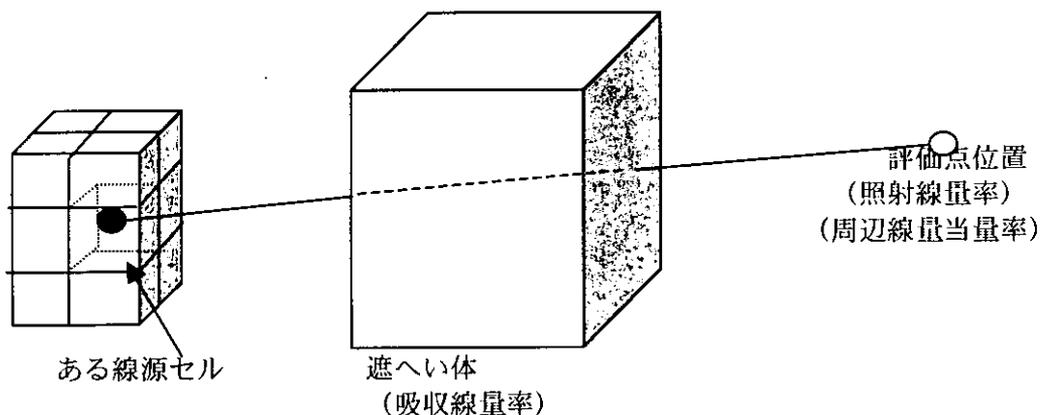


図2.1 点減衰核積分法の概念

(2) 計算コード (QAD-CGGP 2 R) の概要

実効線量の計算には、3次元での遮へい計算ができる「QAD-CGGP 2 Rコード」を用いた。QAD-CGGP 2 Rコードは、日本国内での法令に定められた実効線量当量を用いるため、実効線量当量率の計算の検討を行い、空気の吸収線量への変換係数と、空気の吸収線量から線量当量への換算を容易に行なうために補正係数⁽²⁾が導入されている。

[QAD-CGGP 2 Rの概要]

QAD-CGGP 2 Rは、米国ロスアラモス国立研究所LANL (Los Alamos National Laboratory)で開発された3次元点減衰核積分法計算コードQAD-CGを日本原子力研究所が改良したコードである。

QADの解法は、一般に点減衰核法と呼ばれるもので体積線源を幾つかの微小体積に分割し、これから計算点までの γ 線の減衰を物質による指数減衰及び距離の逆二乗減衰により計算する。直接線以外の散乱線の寄与は、ビルドアップ係数により近似される。

γ 線源を多数のセルに分割し、このセル内の一点でそのセルの γ 線源を代表している。線源全体から計算点における寄与（線束、線量当量率など）は、各微小体積セルの合計により求めるものである。

すなわち、 γ 線源に関する3次元積分は、上のセルに関する和で近似されている。図2. 2に点減衰核法による線量率の計算方法を示す。

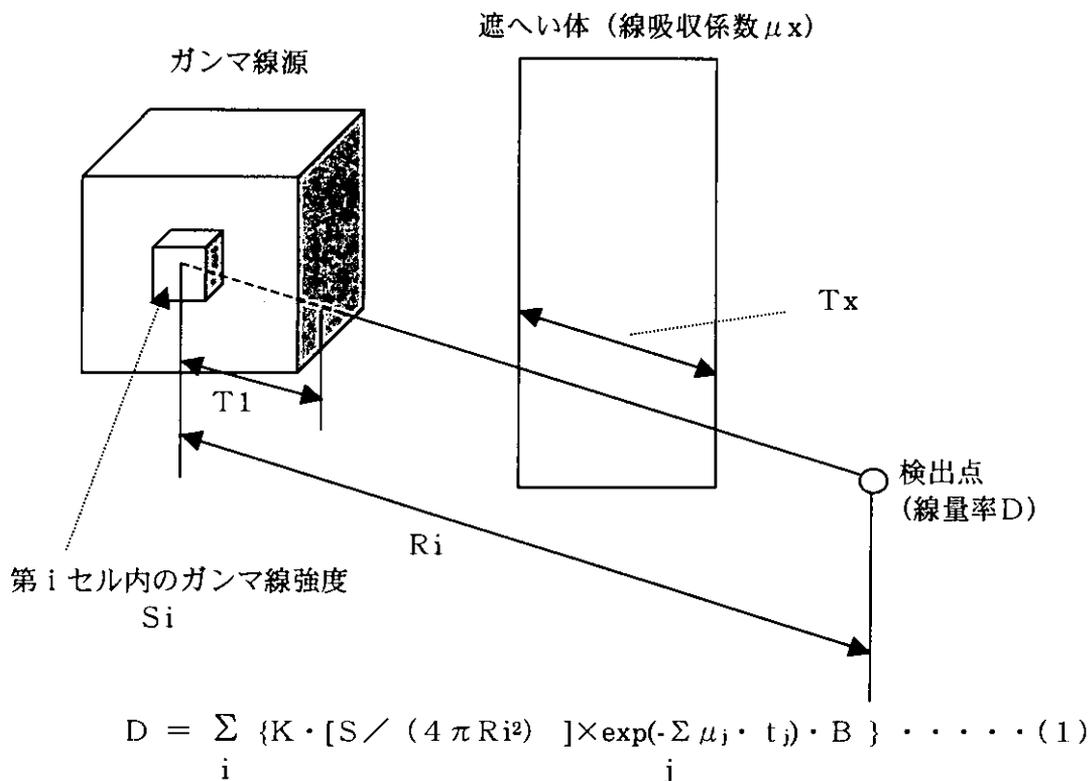


図2. 2点減衰核法による線量率の計算

(1) 式で $\mu \cdot t$ は、線源・検出器間の全ての媒質 (j) についての和をとる。Bはビルドアップ係数、Kは線量当量率変換係数である。

[QAD-CGGP 2Rコードの計算原理]

QADの解法は、体積線源を幾つかの微小体積に分割した点減衰核法であるため、線源形状として、円柱、直方体及び球の3種類が取り扱える。各方向に対して任意でのメッシュ分割が可能となっている。

メッシュ分割数 100×100×100 以内。

メッシュ分割は、細かいほど精度がよくなるが、ある程度細かくすると飽和してくる。分割数が少ないと一般に線量率は過小評価となる。また、線源表面近傍の解析についても過小評価となるので注意が必要となる。

メッシュ分割は、線源の自己しゃへい効果により検出点に近い線源領域が最も重要となるので、検出点（計算点）に近い線源領域程細かく分割することが望ましい。

遮へい体の幾何形状は、円柱、直方体、球など基本的な9種類の立体の組み合わせで表現することができる。

入力データは、線源に対するエネルギー・形状・強度・分割数、体系形状・領域の指定、物質の密度、ビルドアップ係数の選択及び計算点の位置よりなる。

出力情報は、入力データ及び各計算点での線束及び線量当量率（実効線量率）である。

2. 2 計算体系（線源、線源形状）

ここでは、実効線量率を計算する線源（放射性核種、放射能、ガンマ線エネルギー）と、線源形状を記載する。

（1）線源情報

計算対象の放射性核種はフッ素18 (^{18}F) とし、放射能は300MBqとする。このフッ素18は、陽電子を放出し、それが陰電子と結合して消滅し、511keVのガンマ線を2本放出する。従って300MBqでは、 6×10^8 photons/sec の光子が放出される。

（2）線源の大きさ

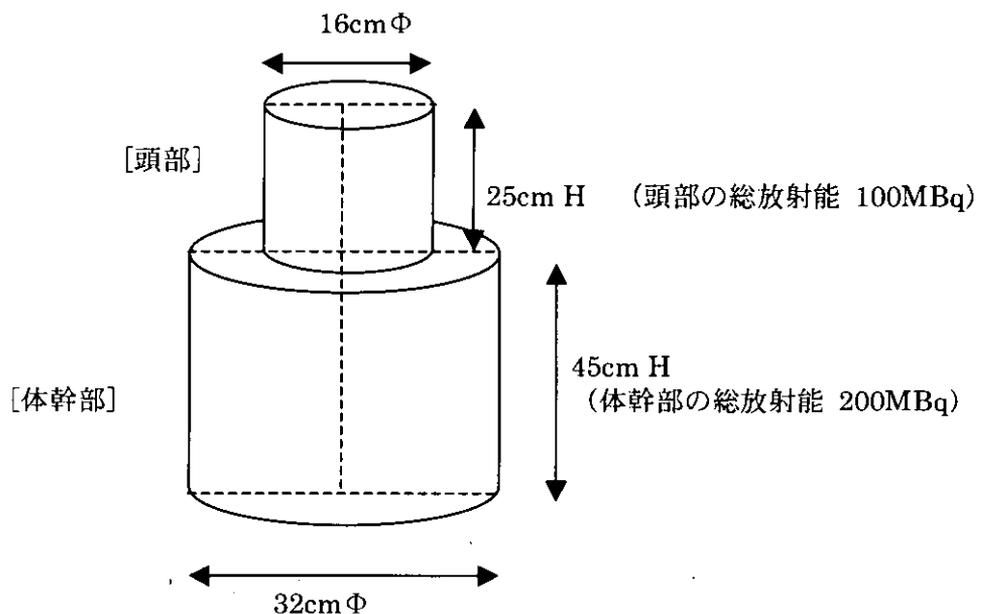
線源（患者さん）の大きさは、次のとおりとする。

体幹部：半径16cm（JIS Z4923）、長さ45cm（JIS Z4915）の円柱

頭部：半径8cm（JIS Z4923）、長さ25cmの円柱

また、体幹部、頭部は水で満たされているものとする。

線源形状は下図に示すとおり。



線源 (^{18}F) は、上記の体幹部(200MBq)、頭部(100MBq)に均一に分布しているものとする。

（3）計算体系

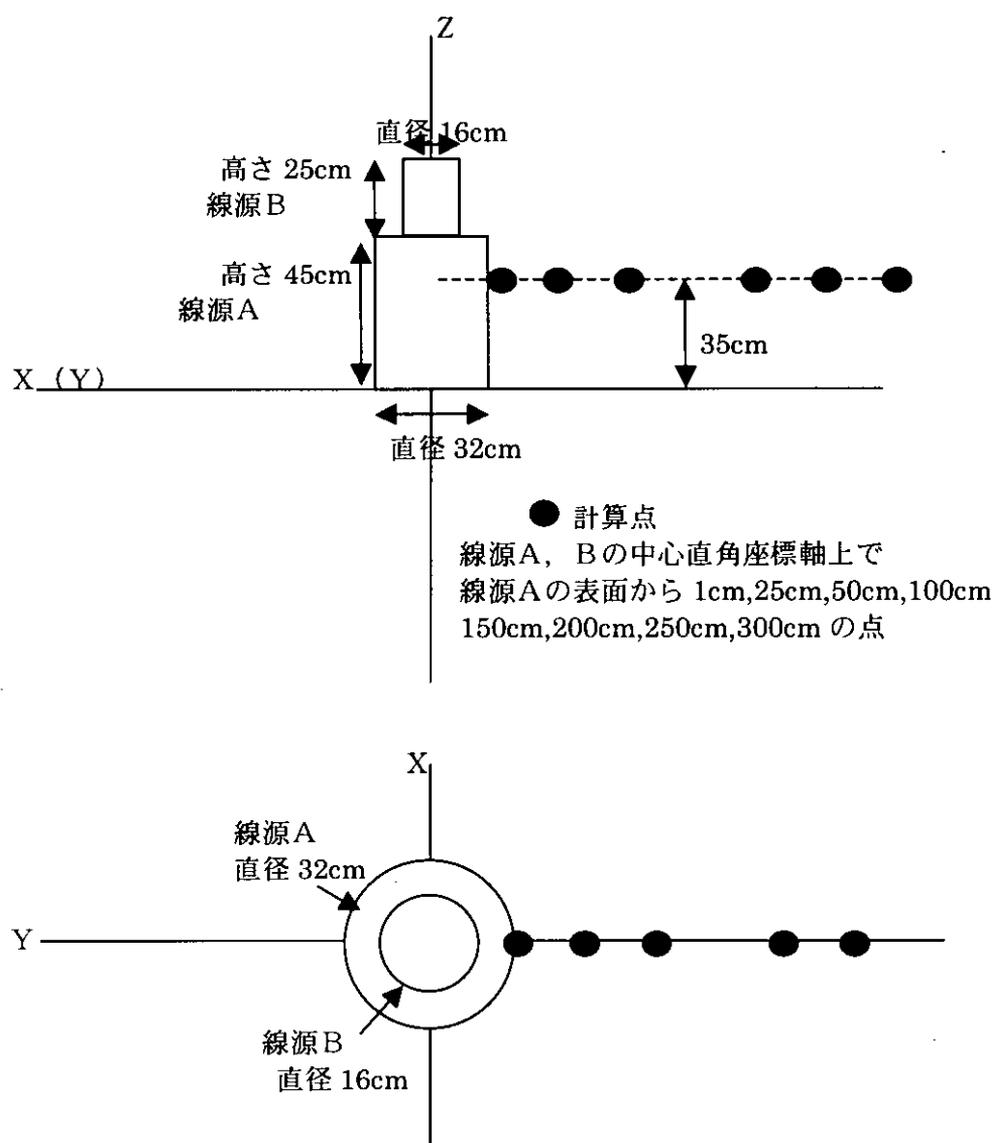
実効線量率の計算は、空気媒質中に、計算形状の円柱が、コンクリート床面

上に置かれている体系で、遮へい体が無い場合、線源と計算点との間に20cm厚さのコンクリート壁ある場合、線源と計算点との間に2mm厚さの鉛がある場合の3ケースと、実際の病院でのPET CT検査室を想定したケースについて実施する。

各々の計算体系の詳細を次に示す。

計算体系1

空気体系の中に、線源A、線源B（いずれも円柱形状で水媒質）が置かれている。
 計算点の高さ：コンクリート床面上120cm位置

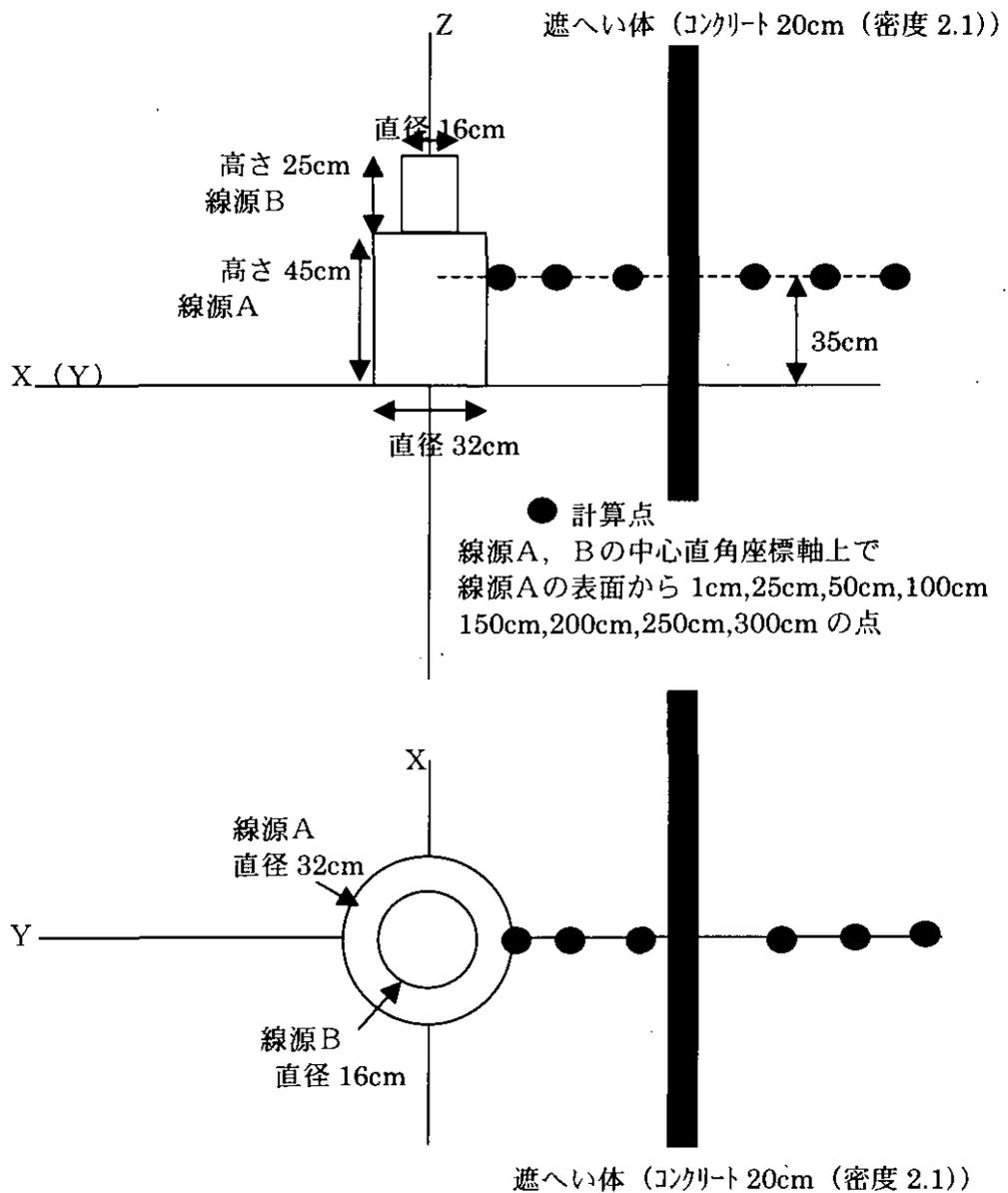


計算体系 2

空気体系の中に、線源A、線源B（いずれも円柱形状で水媒質）が置かれている。

計算点の高さ：コンクリート床面上 120cm 位置

遮へい体（コンクリート 20cm）が線源中心から 1.2m 位置と 1.4m 位置にある。

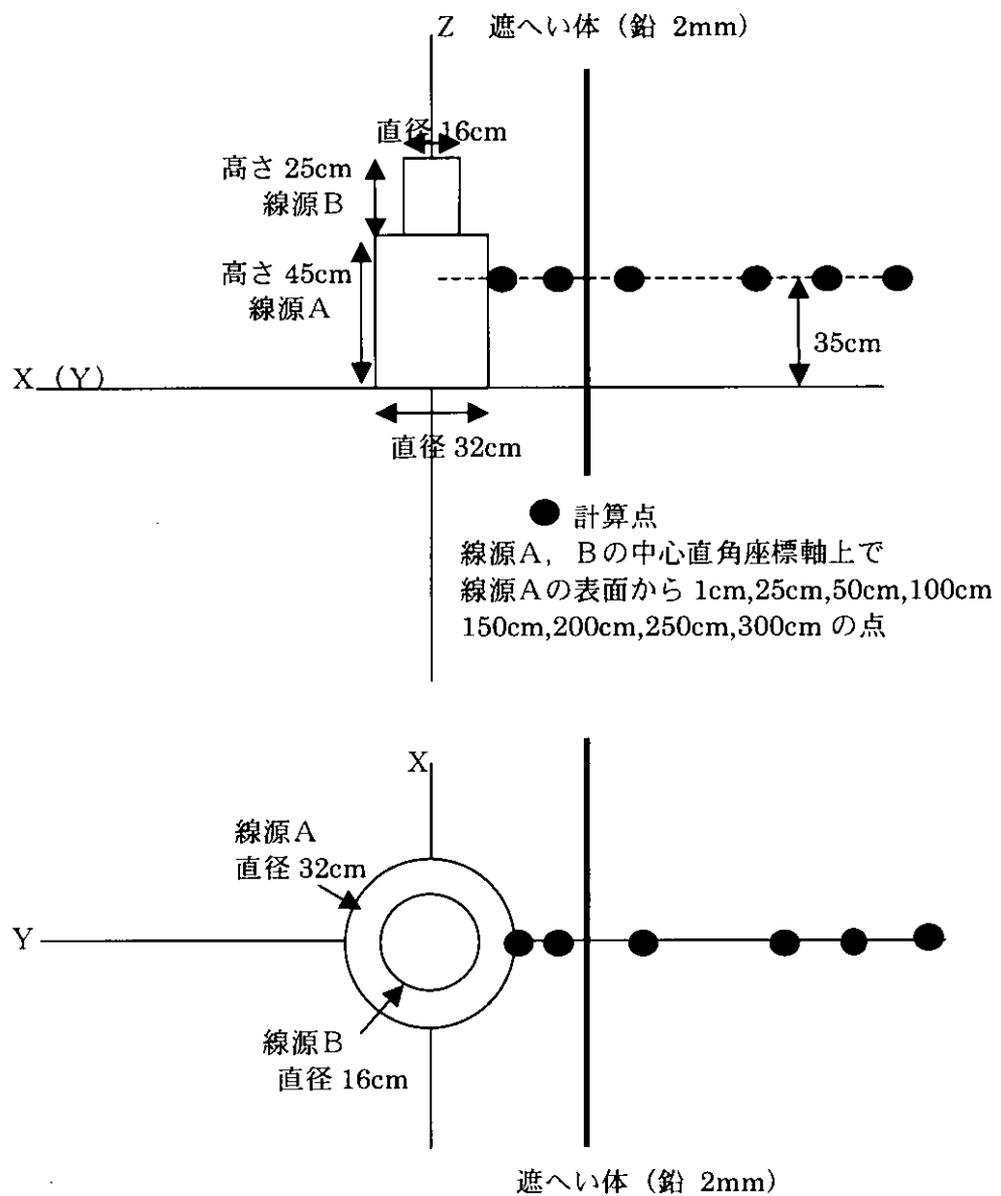


計算体系3

空気体系の中に、線源A、線源B（いずれも円柱形状で水媒質）が置かれている。

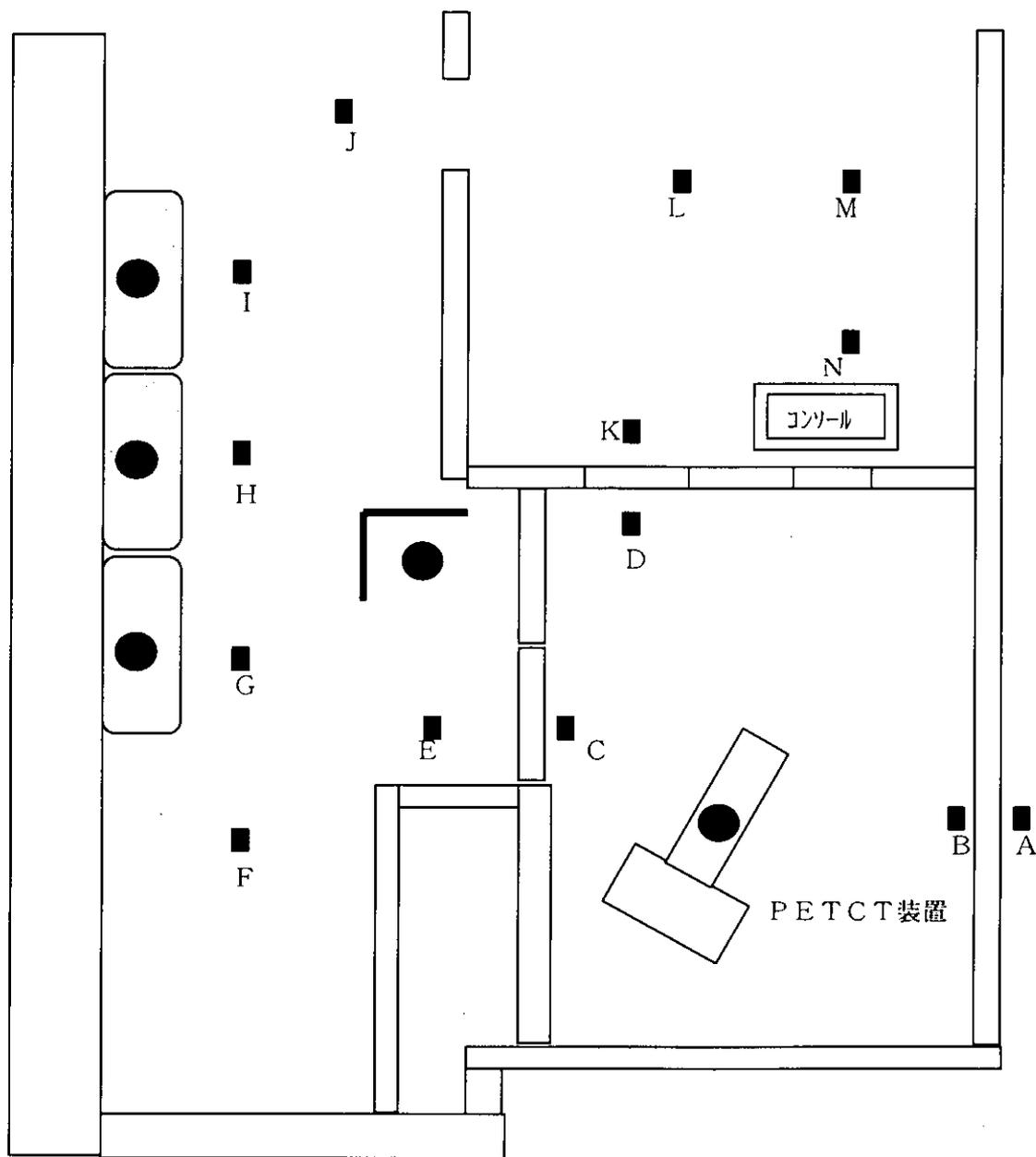
計算点の高さ：コンクリート床面上 120cm 位置

遮へい体（鉛 2mm）が線源中心から 60.0cm 位置と 60.2cm 位置にある。



計算体系4 [A病院 平面図]

PET CT検査受診者（線源）の配置、実効線量率評価点位置を以下に示す。評価点の位置は、床上8.0cmとする。



● 線源（患者さん）70cm×32cmφ（形状の単純化）

■ 計算点

3. 計算結果

実効線量率の計算にあたっては、まず線源の分割数の検討を実施する。この検討の結果導かれた線源分割数で、各計算体系での計算を実施する。

3. 1 線源分割数の検討

点減衰核手法による計算では、体積線源を幾つかの微小体積（セル）に分割し、このセル内の一点でそのセルのガンマ線源を代表している。体積線源全体から計算点における寄与（線量当量率）は、各セルの合計により求める。

この、セルの分割数は、それぞれの計算点での線量当量に影響を与える。従って、セルの分割数と計算点での線量当量率との関係を求め、線源分割数を決定する。

線源Aと線源Bとの分割数と各計算点（線源Aの底面から高さ方向35cm位置の直角軸上で、線源Aの表面から1cm、25cm、50cm、100cm、200cm、300cmの6点）での分割数と実効線量率との関係を求めた。

計算結果を表3. 1(1)~(8)に示す。

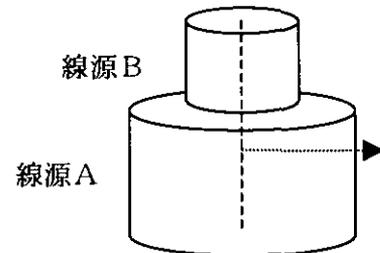


表3. 1(1) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数：線源A 8分割、線源B 8分割 計16分割

単位： $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 3.57E+02 | 1.21E+02 | 5.46E+01 | 1.92E+01 | 5.72E+00 | 2.69E+00 |
| 線源B | 1.20E+02 | 6.71E+01 | 3.06E+01 | 1.08E+01 | 3.20E+00 | 1.50E+00 |
| 合計 | 4.77E+02 | 1.88E+02 | 8.52E+01 | 3.00E+01 | 8.92E+00 | 4.19E+00 |

表3. 1(2) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数：線源A 16分割、線源B 8分割 計24分割

単位： $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 6.05E+02 | 1.37E+02 | 5.10E+01 | 1.69E+01 | 4.87E+00 | 2.27E+00 |
| 線源B | 1.30E+02 | 6.59E+01 | 2.82E+01 | 9.90E+00 | 2.94E+00 | 1.38E+00 |
| 合計 | 7.35E+02 | 2.03E+02 | 7.92E+01 | 2.68E+01 | 7.81E+00 | 3.65E+00 |

表 3. 1(3) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数 : 線源A 80分割、線源B 24分割 計 104分割

単位 : $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 5.24E+02 | 1.36E+02 | 5.10E+01 | 1.69E+01 | 4.88E+00 | 2.27E+00 |
| 線源B | 1.37E+02 | 6.47E+01 | 2.84E+01 | 9.94E+00 | 2.95E+00 | 1.38E+00 |
| 合計 | 6.61E+02 | 2.01E+02 | 7.94E+01 | 2.68E+01 | 7.83E+00 | 3.65E+00 |

表 3. 1(4) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数 : 線源A 576分割、線源B 160分割 計 736分割

単位 : $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 6.52E+02 | 1.38E+02 | 5.59E+01 | 1.85E+01 | 5.37E+00 | 2.51E+00 |
| 線源B | 1.40E+02 | 6.48E+01 | 2.97E+01 | 1.05E+01 | 3.12E+00 | 1.46E+00 |
| 合計 | 7.92E+02 | 2.03E+02 | 8.56E+01 | 2.91E+01 | 8.49E+00 | 3.97E+00 |

表 3. 1(5) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数 : 線源A 4608分割、線源B 2048分割 計 6656分割

単位 : $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 7.17E+02 | 1.38E+02 | 5.14E+01 | 1.71E+01 | 4.94E+00 | 2.30E+00 |
| 線源B | 1.42E+02 | 6.48E+01 | 2.79E+01 | 9.87E+00 | 2.95E+00 | 1.39E+00 |
| 合計 | 8.59E+02 | 2.03E+02 | 7.92E+01 | 2.70E+01 | 7.89E+00 | 3.69E+00 |

表 3. 1(6) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数 : 線源A 23040分割、線源B 6400分割 計 29440分割

単位 : $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 7.40E+02 | 1.38E+02 | 5.14E+01 | 1.71E+01 | 4.94E+00 | 2.30E+00 |
| 線源B | 1.42E+02 | 6.48E+01 | 2.79E+01 | 9.88E+00 | 2.94E+00 | 1.38E+00 |
| 合計 | 8.82E+02 | 2.03E+02 | 7.93E+01 | 2.70E+01 | 7.88E+00 | 3.68E+00 |

表 3. 1(7) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数 : 線源A 46080分割、線源B 12800分割 計 58880分割

単位 : $\mu\text{Sv/h}$

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 7.44E+02 | 1.38E+02 | 5.14E+01 | 1.71E+01 | 4.94E+00 | 2.30E+00 |
| 線源B | 1.42E+02 | 6.48E+01 | 2.79E+01 | 9.88E+00 | 2.94E+00 | 1.38E+00 |

| | | | | | | |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 合 計 | 8.86E+02 | 2.03E+02 | 7.93E+01 | 2.70E+01 | 7.88E+00 | 3.68E+00 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|

表 3. 1(8) 線源分割数と実効線量率との関係

分割数 : 線源A 184320 分割、線源B 51200 分割 計 235520 分割

単位 : μ Sv/h

| 計算点 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 線源A | 7.45E+02 | 1.38E+02 | 5.14E+01 | 1.71E+01 | 4.94E+00 | 2.30E+00 |
| 線源B | 1.42E+02 | 6.48E+01 | 2.79E+01 | 9.88E+00 | 2.94E+00 | 1.38E+00 |
| 合 計 | 8.87E+02 | 2.03E+02 | 7.93E+01 | 2.70E+01 | 7.88E+00 | 3.68E+00 |

以上の表 3. 1(1)~(8)の線源の分割数と各計算点の実効線量率との計算結果をまとめて表 3. 2に示す。表 3. 2から線源表面近傍では分割数が少ないと線量率変動が大きいことが分かる。従って、線源の分割数が 235,520 の場合を 1. 0とした各分割数での実効線量率の比率を求めてまとめた結果を表 3. 3に示す。

表 3. 2及び表 3. 3から、線源近傍でも分割数の影響を受けない線源の分割数である 58880 分割で実効線量率の計算を行なう。

具体的には、線源Aの分割数を、半径方向に 16 分割、高さ方向に 45 分割、円周方向に 64 分割の 46080 分割 (セル) とし、線源Bの分割数を、半径方向に 8 分割、高さ方向に 25 分割、円周方向に 64 分割の 12800 分割 (セル) とし、合計 58880 分割とする。

表 3. 2 線源の分割数と実効線量率との関係

単位 : μ Sv/h

| 分割数 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 16 | 4.77E+02 | 1.88E+02 | 8.52E+01 | 3.00E+01 | 8.92E+00 | 4.19E+00 |
| 24 | 7.35E+02 | 2.03E+02 | 7.92E+01 | 2.68E+01 | 7.81E+00 | 3.65E+00 |
| 104 | 6.61E+02 | 2.01E+02 | 7.94E+01 | 2.68E+01 | 7.83E+00 | 3.65E+00 |
| 736 | 7.92E+02 | 2.03E+02 | 8.56E+01 | 2.91E+01 | 8.49E+00 | 3.97E+00 |
| 6656 | 8.59E+02 | 2.03E+02 | 7.92E+01 | 2.69E+01 | 7.89E+00 | 3.69E+00 |
| 29440 | 8.82E+02 | 2.03E+02 | 7.93E+01 | 2.70E+01 | 7.89E+00 | 3.69E+00 |
| 58880 | 8.86E+02 | 2.03E+02 | 7.93E+01 | 2.70E+01 | 7.88E+00 | 3.68E+00 |
| 235520 | 8.87E+02 | 2.03E+02 | 7.93E+01 | 2.70E+01 | 7.88E+00 | 3.68E+00 |

表 3. 3 線源の分割数と実効線量率との関係 (比率)

| 分割数 | 1cm | 25cm | 50cm | 100cm | 200cm | 300cm |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 16 | 0.54 | 0.93 | 1.07 | 1.11 | 1.13 | 1.14 |
| 24 | 0.83 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 104 | 0.75 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 736 | 0.89 | 1.00 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| 6656 | 0.97 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 29440 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 58880 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

| | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 235520 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
|--------|------|------|------|------|------|------|

3. 2 実効線量率計算結果

以下に、各計算体系での計算結果を、計算体系図と合わせてまとめる。

(1) 計算体系1の計算結果

計算体系は下図のとおり。

空気体系の中に、線源A、線源B（いずれも円柱形状で水媒質）が置かれている。計算点の高さ：コンクリート床面上 120cm 位置

