放射線診療における手指の不均等被ばく線量の推計

山口　一郎（国立保健医療科学院）、大西世紀（海洋技術研究所 ）

【目的】
PET(Positron emission tomography)等に従事する放射線診療従事者のうち、分注や静注を担当するものは、作業時に手指が被ばくする。このためシールドが使われることがある。このような作業作業時には不均等被ばくをモニタリングしている。また、IVR(Interventional Radiology)に従事する医師等も作業時に手指が被ばくするために、リングバッジを装着している。しかし、線量計はシリンジ等の保持面と反対側、あるいは、散乱体である患者からは相対的に遠方の手指の背側に装着されており、被ばく線量が過小評価されている可能性がある。そこで、放射線診療従事者の手指の被ばく線量を推計した。

【方法】
1)-(1) ^{18}F -FDGを用いたPET診療、2) X線CT透視の従事者の手指の線量をMCNPおよびEGS4(Electron Gamma Shower Version 4)を使い推定した。
1)シリンジ軸長6cm、線源溶液を厚さ1mmのアクリルと内径0.695cm外径1.25cmのタングステンシールドで覆った。シールドは、密度18g/cm^{3}の合金で、質量割合はW: 95%　Ni: 3.5%　Fe: 1.5%とした。線量は、シリンジシールド表面の70μm線量当量率を計算し、タングステン単体（密度19.3/cm^3）とも透過率を比較した。また、利用可能なタングステン・シールド厚さは、COMECER社は5.5mm、Capintec社8.5mm、CMI社23mmであることからシリンジ・シールドの厚みを変量としてシールド外側の70μm線量当量率(H'(0.07))を計算した。
1)-(2) 1日の患者数が10人、週に5日従事、作業開始時の放射能が260MBqとした場合の3月間の線量を計算。
2) X線のエネルギー分布は管電圧 120kV、フィルタをアルミ1mm、銅0.2mmとし、IPEM Report 78により0.5keV刻みで計算した。ハンドル保持する手には0.5mmの鉛手袋を装着し術者の手が患者表面から5, 10cmの高さ、また、ビーム中心から12, 22cmとし、患者の皮膚吸収線量と比較した。

【結果および考察】
1) - (1) シールドの外径を変化させ、減弱係数を用いた点線源・線線源モデルと比較した結果を図2に示す。
○400MBqの^{18}F -FDGを扱う場合のシリンジ面の手指のH'(0.07)は
・シールド無：134 （μSv/s）± 0.07%
・シールド有：15.0 （μSv/s）± 0.69%
であった。シールドを使うと皮膚吸収線量を9.6%に減らせる。
○陽電子の制動放射によるH'(0.07)は、シールドを用いなくても0.18 μSv/s ±0.4%であり、アクリルの遮へいでほとんど無視できる。
○陽電子の運動エネルギーによるH'(0.07)は、シールドを用いない場合20±3.8% μSv/s 。アクリルのみでは陽電子も考慮が必要。
○タングステン単体では13 （μSv/s）± 1%であった。同密度では合金の方が約4%透過率が高いが元素組成による差異はほぼ無視できる。
○点線源近似は大幅な安全側評価であり、ビルドアップを無視しても過大な線量を示す。しかしシールドの外径が3.6cmを超えると、ビルドアップを考慮しなければ過小評価になる。
○線線源近似も線源に極めて近い領域を除いて安全側評価になる。しかし、シールドの外径が2.7cmを越えると、ビルドアップ効果を無視すると過小評価になる。
1) - (2) 1日の患者数が10人で週に5日従事、シールドの厚みを5.5mm、7.5mm、1cm、シリンジ内の放射能が260MBqとした場合の3月間の線量を表1に示す。
○シールドを使うと手指の線量は線量限度を超えない。また、プランジャーシールドを使うと線量はさらに小さくなる。しかし、プランジャーシールドを使わなくても、距離があるため線量限度は超えない。
○1回あたりのシールド保持時間が30秒だと、シールド厚が5.5mmでも手の中心部は線量限度を超えない。ただし、手掌側は線量限度を超える。
○シリンジシールドをつかむ手指のモニタリング位置の線量は、手掌側に比べると過小になる。
2) 患者と接近した位置で手を保持したまま作業を継続すると、一次線錐内に手指を保持しなくても職業被ばくとしては無視できない程度の高い線量を手指に被ばくしうる。このため、その潜在被ばくのリスクは小さくない。また、手背側の線量素子は幾何学的条件および手指の自己吸収のため過小評価となった。線源に近い位置でのモニタリングで線量評価領域よりも素子が遠位にある場合や線源とモニター間に吸収体があり放射線のエネルギーが比較的小さいと、モニタリング値を過小評価する。

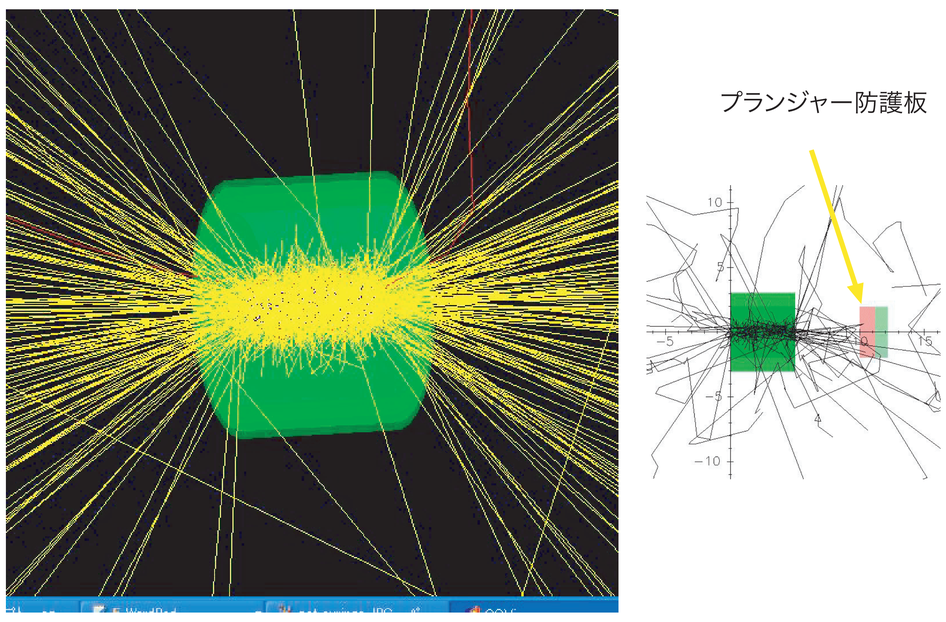

図1. シリンジ内で1000個の^{18}Fが崩壊した際の放射線の飛跡
光子は黄色、電子は赤色で示した。シリンジの厚みは2mmで材質はアクリル、シリンジシールドは23mmの厚みである。さらにその周囲に手に模擬した水を厚さ7.5mmで配置した。
右側はタングステンシリンジシールドの厚みを12.5mmとし、プランジャー防護板を設置したものである。プランジャー防護板は、直径40mmのタングステン12mm厚で、シリンジ端からの距離を5cmとした。
一回の使用数量 260MBq、1日の患者数10 人、一回の保持時間30秒、3月間の診療日数 65日とすると、3月間の線量は、シリンジシールドを保持する手指：28 ±1.1 mGy、プランジャーを押す手指：2.8 ±0.7mGyになる（それぞれヒストリー数10万回 ）。

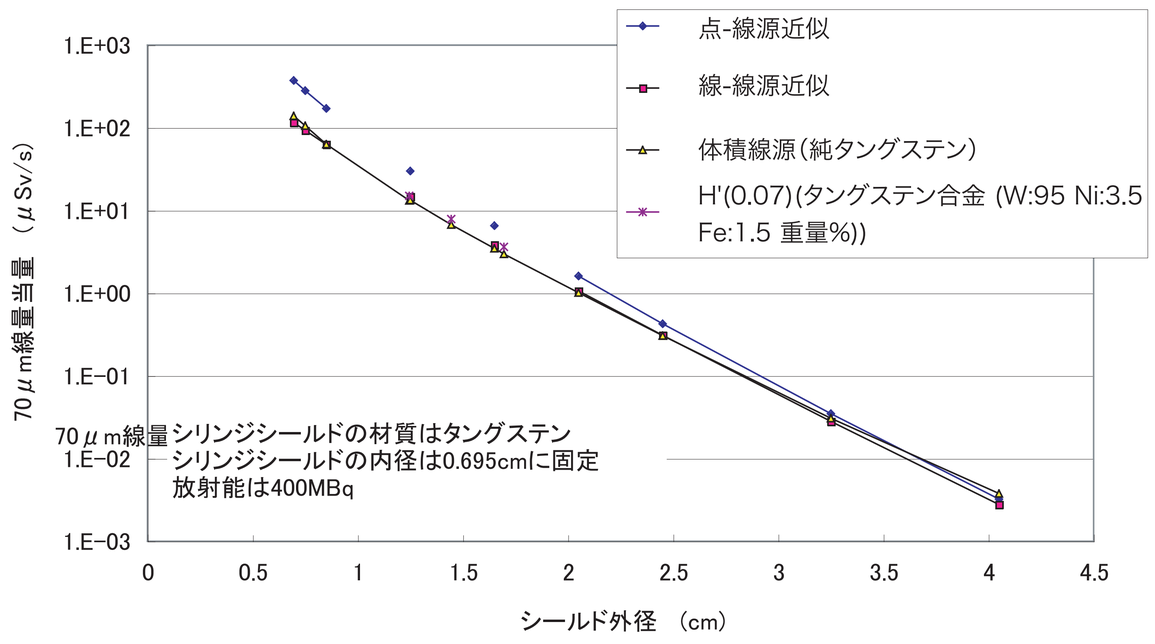

図2. シリンジシールド表面の70μm線量当量率
シリンジには400MBqの^{18}Fが存在するとし、シリンジシールド表面の70μm線量当量率とシリンジシールドの厚さ(外径)との関係を示す。シリンジシールドの内径は0.695cmに固定している。モンテカルロ計算に伴う推計の不確かさは、変動係数として2%未満である。

表1. シリンジシールドを保持する手指の3月間の皮膚吸収線量

シール ド厚	手掌側	中心部	手背側
5.5mm	230 ± 10	71 ± 1	43 ± 3
7.5mm	203 ± 4	68 ± 0.6	39 ± 1
8.5mm	85 ± 2	31 ± 0.3	17 ± 0.4
1cm	48 ± 4	19 ± 0.6	9 ± 1
2.3cm	12 ± 0.2	0.6 ± 0.03	0.4 ± 0.06

シリンジおよびシリンジシールド、放射線診療業務の設定は、図1と同様とした。単位: mGy
手の厚みは2cmとし、手掌側の厚み1mm、中心部1cm、手背側1mmについて、それぞれ吸収線量を計算した。推計の不確かさとして標準偏差の値を示した。

表2. X線CT透視における術者の手の線量／入射表面線量の比

ビーム中心からの距離	12 cm	22 cm
患者 表 面 か ら 5cm	14 ± 0.9%	6.7 ± 0.5%
患者 表 面 か ら 10 cm	6.7 ± 0.4%	5.5 ± 0.4%

術者の手の吸収線量と患者入射表面線量の比を百分率で示す。
不確かさは推計値の標準誤差で示した。

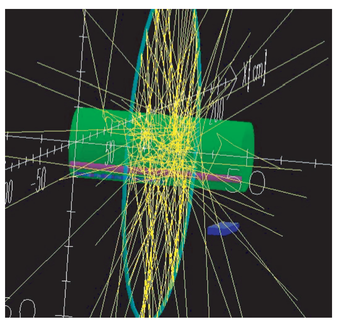

図3. X線CT透視における術者線量推計モデル
エックス線管焦点と回転中心の距離を50cm、患者を直径20cm、高さ50cmの水（緑色）、焦点サイズ1×0.6cm、焦点とコリメータ距離5cm、コリメータサイズ1×1.2cmとした。術者の手は青色、X線は黄色で示されている。

謝辞：本研究の一部は、平成16年度厚生労働省科学研究費補助金　医療技術評価総合研究事業「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」（16213401）(主任研究者:油野民雄)分担研究「医療機関における医療法施行規則との乖離点の整理及び医療法施行規則解釈の研究」として実施した。また、シリンジシールドについてのパンフレットは、TMメディカル株式会社（株）　古畑和世氏、CMI社　武藤昭男氏より提供を受けた。タングステン合金のデータは、 松山赤十字病院　中央放射線室の水谷　宏氏を介して第一ラジオアイソトープ研究所から入手した。