

特定標準器の指定及び校正等の実施について 基準空気カーマ率

1. 背景

よう素 125 密封小線源は、30 keV 程度の γ 線及び X 線を出す放射性物質で、前立腺がん治療用の放射線源として用いられる。治療に際しては多数の線源を患部の形状に合わせて埋め込んでしまう永久刺入法がとられている。患部の大きさにもよるが、計画に従い 100 個程度の線源を患部近傍に刺し入れる。この治療法ではがん細胞を殺すのに必要十分な線量の放射線が患部全体に照射されることが重要で、患部が吸収する線量が最適になるように線源を埋め込む位置が決定される。その計算過程では、パラメータとしてよう素 125 密封小線源からの放射線による線量が用いられる。そのため線量測定の精度が、がん治療の成績に大きく関係している。

我が国では、平成 14 年に永久刺入れ法によるがん治療のためのよう素 125 密封小線源が医療機器として認可され、以来、前立腺がんの有効な治療法の一つとして臨床利用が拡大してきた。国内で使用されている線源は海外製であり、従来、標準を含む品質保証体系は米国に大きく依存するものであった。しかしながら、海外の校正機関を利用する場合には、精密な機器の輸送、輸送を含む校正に要する期間の長さ等が使用者の負担となっており、国内における標準供給体制の確立が望まれていた。その要望に応え、平成 20 年度からは産総研の線量標準にトレーサブルな標準供給を開始した。しかしながら、現状では jcss 校正により校正された特定二次標準器の校正エネルギー範囲を登録事業者において拡大して、よう素 125 密封小線源用のワーキングスタンダードとして用いる井戸型電離箱の応答を校正するが、JCSS 校正による標準供給の不確かさは約 5.6 % と諸外国と肩を並べるには至っておらず、その低減が課題となっていた。また、よう素 125 密封小線源からの放射線のエネルギーが 30 keV 程度と比較的小さいために、線源内部の構造や線源容器による放射線の吸収が大きい。そのため、これまでの方法は、線源メーカー毎に異なる線源構造に起因する、線質の違いの影響を大きく受け、線源毎の線質評価が必要となるなどの障害もあった。

これらの状況を踏まえ、産業技術総合研究所では諸外国と同程度の不確かさで、線質の違いの影響を受けずに絶対測定ができる特定標準器の開発と、簡便な校正方法の確立に着手し、今回、基準空気カーマ率評価の不確かさが放射線治療へ与える影響は無視できる程度になり、また、線源構造や線源容器の異なる密封小線源が新たに開発された場合も、速やかな標準供給が可能となった。よって、医療用分野での線量測定精度向上のため、よう素 125 に関する特定標準器による校正を開始することとしたい。

2. 指定予定の特定標準器

密封小線源カーマ率設定装置

3. 特定標準器の概要

(1) 特定標準器の構造 (図1 参照)

密封小線源カーマ率設定装置は薄膜対向型自由空気電離箱、微小電流測定器等の信号処理回路、及び井戸型電離箱式線量計により構成される。薄膜対向型自由空気電離箱において、線源中心とアパーチャ中心を結ぶ方向に垂直に高圧電極及び収集電極が取り付けられている。線源からの放射線はアパーチャでコリメートされ、高圧電極及び収集電極で挟まれた有効測定領域に照射される。放射線の電離作用により有効測定領域で発生したイオン及び電子は、それぞれ高圧電極及び収集電極に集められ、信号処理回路により測定される。

測定対象の放射線が電極を通過して有効測定領域に入る構造となっているため、電極部分で散乱された放射線の影響が避けられない。そこで、電極間隔を5段階に変えて測定を行い、散乱された放射線に起因する付加的な信号電流を相殺している。

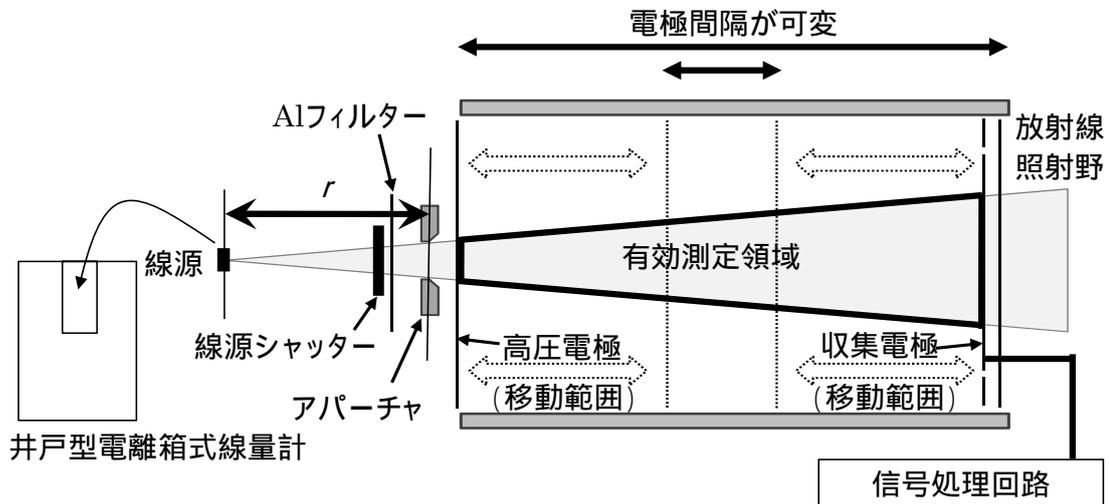


図1. 密封小線源カーマ率設定装置の構成

有効測定領域で発生したイオン及び電子による測定電流 (ΔI)、並びに有効測定領域の体積 (ΔV) に基づき、式(1)に従って、よう素 125 密封小線源からの放射線の基準空気カーマ率 (\dot{K}_s) が得られる。

$$\dot{K}_s = \left(\frac{W}{e} \right) \frac{r^2}{\rho_{air} (1-g)} \frac{\Delta I}{\Delta V} \prod_i k_i \quad \text{式(1)}$$

但し、

g : 二次電子が空気中で制動放射によって失うエネルギーの割合

k_i : 補正項

ΔI : 有効測定領域で発生したイオン及び電子による測定電流

ΔV : 有効測定領域の体積

ρ_{air} : 空気の密度

W_e : 電荷量からエネルギーへの換算係数

r : 線源からアパーチャまでの距離 (m)

薄膜対向型自由空気電離箱及び信号処理回路を用いて基準空気カーマ率 (\dot{K}_δ) が校正された、よう素 125 密封小線源から、特定標準器を構成する井戸型電離箱式線量計に放射線を照射し、指示値を記録する。

温度・圧力を補正した後の正味の指示値 ($M_{\text{adj-0}}$) に対する、よう素 125 密封小線源の基準空気カーマ率 (\dot{K}_δ) の比を求める。これが特定標準器を構成する井戸型電離箱式線量計の校正定数 (R_0) となる。

$$R_0 = \frac{\dot{K}_\delta}{M_{\text{adj-0}}}$$

(2) 特定標準器による特定二次標準器の校正の方法

仲介器となるよう素 125 密封小線源から、特定標準器を構成する井戸型電離箱式線量計に放射線を照射し、指示値を読み取る。温度・圧力を補正した後の正味の指示値 ($M_{\text{adj-1}}$) と前項で求めた校正定数 (R_0) から、次式により仲介器となるよう素 125 密封小線源の基準空気カーマ率 ($\dot{K}_{\delta-1}$) を求める。

$$K_{\delta-1} = R_0 \times M_{\text{adj-1}}$$

基準空気カーマ率 ($\dot{K}_{\delta-1}$) を求めた、仲介器となるよう素 125 密封小線源から、特定二次標準器となる井戸型電離箱式線量計に放射線を照射し、指示値を読み取る。温度・圧力を補正した後の正味の指示値 ($M_{\text{adj-2}}$) に対する、仲介器となるよう素 125 密封小線源の基準空気カーマ率 ($\dot{K}_{\delta-1}$) の比を求める。これが特定二次標準器となる井戸型電離箱式線量計の校正定数 (R) となる。

$$R = \frac{\dot{K}_{\delta-1}}{M_{\text{adj-2}}}$$

4 . 計量法第 135 条第 1 項に基づく校正実施機関

国立研究開発法人産業技術総合研究所

5 . 特定二次標準器

(1) 井戸型電離箱式線量計 (^{125}I : 0.3 $\mu\text{Gy/h}$ ~ 15 $\mu\text{Gy/h}$)

(2) 特定二次標準器の具備条件

(a) 仲介器とする線源の固定具を有すること

- (b) 線量計の指示部が 3.5 桁以上のデジタル表示であること
 - (c) 線量計の電離箱出力を直接読み出せること
 - (d) 線量計のレスポンスの再現性が 1.0 %以内であること
- 拡大範囲は、原則として、供給された空気カーマ率範囲の上 2 桁（空気カーマ率については 3 桁） 下 1 桁を目安に設定することを想定。
- (3) 特定標準器による校正等の期間（校正等の周期）
3 年

6. トレーサビリティの体系図及び測定の不確かさ

(1) トレーサビリティの体系図

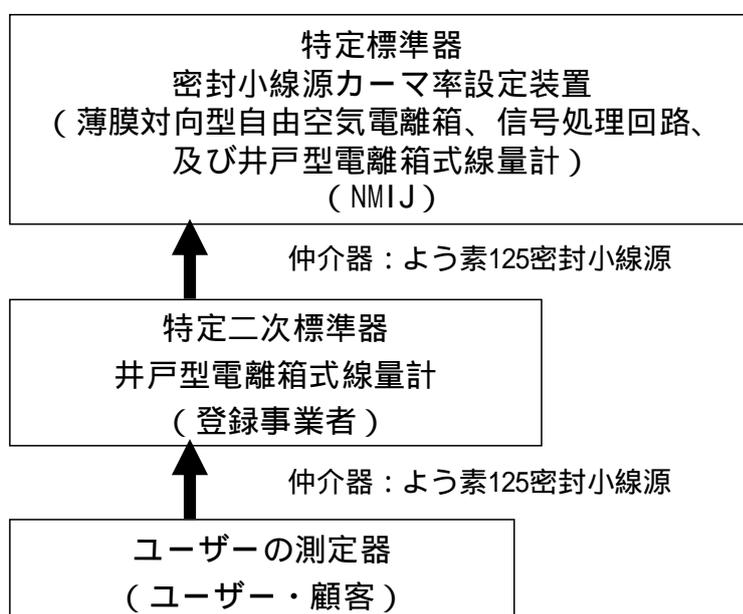


図 2. よう素 125 密封小線源の基準空気カーマ率測定 of トレーサビリティ

(2) 測定の不確かさ

特定標準器による校正等における測定の相対拡張不確かさ ($k=2$) は、2.2 %程度を予定している。

登録事業者が行なう校正における測定の拡張不確かさ ($k=2$) は、被校正器の性能にも依存するが、3.0 %以下を想定している。

以上