

特定標準器による校正等の実施について (高エネルギー光子線水吸収線量)

- ・がんなどの放射線治療において、がんを制御し、かつ、正常組織への副作用を必要最小限に抑えるために、照射する放射線の量について、非常に小さな不確かさでの計測が必要である。
- ・既に光子線及び電子線については、特定標準器による校正を立ち上げjcss校正を実施している。
- ・今回、放射線治療におけるニーズの拡がりに対応するため、光子線の公称加速電圧の範囲拡張及び利用が広がっている新たな放射線照射方法に対応する、特定標準器による校正を実施したい。

1. 背景

国内約850施設に設置されている医療用リニアック装置からの高エネルギー光子線及び電子線は、癌治療や手術後のケロイドの緩和、骨髄移植前の事前照射などに用いられる。放射線治療の結果は患部に照射した放射線の量によって決まるため、十分にがんを制御でき、かつ、正常組織への副作用を必要最小限に抑えられる量を正確に照射することが求められる。2016年に発刊した国際原子力機関（IAEA）のIAEA Human Health Series No. 31においても、「すべての放射線治療は、技術的及び生物学的要因を考慮した上で、合理的に達成可能な範囲で正確に実施されるべきである」という提言がなされている。

放射線治療における放射線の量の管理は水吸収線量で行われている。これは単位質量の水が放射線から吸収するエネルギーを示す量であり、細胞を構成する物質の大半が水であるためである。放射線治療時に患部へ照射する水吸収線量はリニアック装置に取り付けられたビームモニタ線量計の測定値で定量されるため、各医療施設はJCSS校正を受けた電離箱式線量計（電離箱＋電位計）を用いてビームモニタ線量計の校正を定期的に行っている。

産業技術総合研究所では、グラファイト（黒鉛）が放射線を吸収した際に生じる温度変化から、吸収したエネルギーを高精度に測定することが可能な測定器（グラファイトカロリメータ）を開発し、医療用リニアック装置からの放射線に対する水吸収線量の計測に取り組んできた。これまでに、高エネルギー光子線については、公称加速電圧6 MV、10 MV、15 MVで加速された高エネルギー光子線の水吸収線量標準を立ち上げ、2025年2月よりJCSS校正事業者による校正サービスが開始されている。従来の水吸収線量標準はCoガンマ線源を用いた供給体系が中心であったが、医療機関等のユーザーはリニアックを用いた高エネルギー光子線及び電子線の水吸収線量標準の新しい供給体系へ徐々に移行を始めている。

さらに、水吸収線量標準の整備の次の段階として、校正事業者及びユーザーから、乳がんの治療などに使用される4 MVで加速された高エネルギー光子線にも対応できるよう、校正の範囲の拡張（具体的には、水吸収線量用電離箱式線量計で計量する光子線の公称加速電圧の範囲拡張）が求められている。また、2015年（平成27年）11月に公示された特定二次標準器（公称加速電圧6 MV、10 MV、15 MVで加速された高エネルギー光子線の水吸収線量を計量するもの）の後に登場し、治療時間の短縮とそれに伴う患部への照射位置精度向上への期待から、国内の放射線治療施設で使用されるようになった新しい技術の非平坦化¹高エネルギー光子線への対応の要望も産業技術総合研究所に寄せられている。

これらの要望に対しては、これまでも供給してきたCoガンマ線水吸収線量標準と従来の高エネルギー光子線の校正定数を内挿して水吸収線量計測が可能であるものの、内挿のためにCoガンマ線による校正を別途受ける必要がある。さらに、非平坦化高エネルギー光子線については、放射線としての特性が従来の高エネルギー光子線とは異なるため、内挿のみでは最大で0.5 %、実際の水吸収線量と計測結果の間に系統差が生じることが報告されており、課題となっている。

以上の背景や二次校正事業者及びユーザーからの要望を踏まえ、産業技術総合研究所は公称加速電圧4 MVで加速された高エネルギー光子線及び公称加速電圧6 MVと10 MVで加速された非平坦化高エネルギー光子線を照射可能な医療用リニアック装置を産業技術総合研究所内に設置するとともに、これらの光子線の水吸収線量をグラフアイトカロリメータによって絶対計測する技術を開発し、新たな標準供給体制を整備した。これによって、国内で実施されている医療用リニアック装置を用いた放射線治療における水吸収線量計測の精度向上に寄与するものと考えられる。

線種	現状	今後
Coガンマ線	○	○
4 MV 高エネルギー光子線	△ 校正定数の内挿で対応	○ 本申請で対応
6, 10 MV 非平坦化高エネルギー光子線	△ 校正定数の内挿で対応	○ 本申請で対応
6, 10, 15 MV 高エネルギー光子線	○	○

図1 高エネルギー光子線水吸収線量標準の各校正点の現状と今後

¹ Flattering Filter Free (FFF)

2. 特定標準器

4 MVで加速された高エネルギー光子線及び6 MV、10 MVで加速された非平坦化高エネルギー光子線の水吸収線量標準は、次の指定済み特定標準器を用いて実現される。

- ・ グラファイトカロリメータ（既存）

3. 特定標準器による校正

(1) 特定標準器の構造

図2にグラファイトカロリメータの写真を示す。グラファイトカロリメータはアクリル樹脂製のケース内に三重構造のグラファイト素子が格納されており、中心から順に、熱量吸収体であるコア、ジャケット、シールドとなっている。ケース内を真空排気し、ジャケットとシールドの温度を制御することで、コアを等温状態または準断熱状態に置き、放射線照射時のコアの温度変化を測定することでコアの吸収熱量を測定する。得られたコアの吸収熱量について、コアの質量及び比熱容量、補正係数を用いて水吸収線量を決定する。

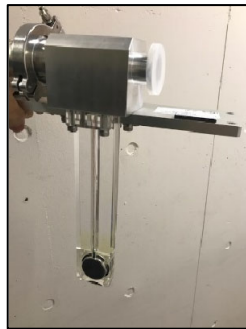


図2 グラファイトカロリメータ

(2) 特定標準器及び作業用標準器による特定二次標準器の校正の方法

グラファイトカロリメータ（既存特定標準器）を用いて医療用リニアック装置からの高エネルギー光子線の水吸収線量を計測している写真及びセットアップの概略を図3に示す。この医療用リニアック装置にて利用可能な高エネルギー光子線の公称加速電圧は4 MV、6 MV、10 MV及び15 MV、非平坦化高エネルギー光子線の公称加速電圧は6 MV及び10 MVである。照射野はともに10 cm × 10 cmとなっている。グラファイトカロリメータによって高エネルギー光子線の水ファントム中の基準点における水吸収線量を絶対計測し、医療用リニアック装置に取り付けた高精度ビームモニタ線量計を校正する。その後、図3の写真に示したように作業用標準器を水ファントム中の基準点に設置してその出力電荷を測定し、作業用標準器の水吸収線量校正定数を決定する。

特定二次標準器の校正を行う際は水ファントム中の基準点に作業用標準器を設置して高エネルギー光子線の水吸収線量を計測して高精度ビームモニタ線量計を校正した

後、特定二次標準器を同じく水ファントム中の基準点に設置してその出力電荷を測定し、特定二次標準器の水吸収線量校正定数を決定する。

従来の高エネルギー光子線と非平坦化高エネルギー光子線はその特性が互いに異なるため、放射線治療業界では区別して線量計測法を定めている。したがって、明示的に区別する形で校正点に加えることが適切である。

なお、高エネルギー光子線水吸収線量標準の特定二次標準器への校正は、電離箱と電位計の一体校正で開始され、その後に電離箱のみでの校正を追加しているが、これまで一体校正での校正の依頼はないため、一体校正での校正を取りやめることとする。

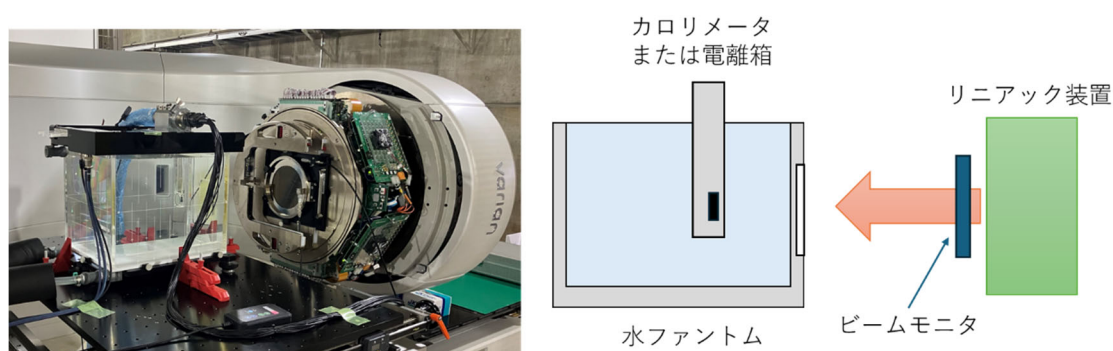


図3 高エネルギー光子線の水吸収線量校正時のセットアップと写真

4. 特定標準器による校正等を行う者

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) 水吸収線量用電離箱式線量計

(2) 特定二次標準器の具備条件

IEC 60731:2011およびAAPM TG-51 Addendumに定められたリファレンスクラスの性能要件を満たすファーマ形であること。

(3) 特定標準器による校正等の期間（校正の周期）

2年

6. トレーサビリティ体系図および測定の不確かさ

(1) トレーサビリティの体系図

トレーサビリティの体系図を図4に示す。

