

## 特定標準器による校正等の実施について (高エネルギー電子線水吸収線量)

- ・がんなどの放射線治療において、がんを制御でき、かつ、正常組織への副作用を必要最小限に抑えるために、照射した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。
- ・既にガンマ線及び光子線（高エネルギーの X 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、放射線治療においてニーズが広がっている電子線について、素子（電離箱）単体を特定二次標準器とした、特定標準器による校正を実施したい。
- ・また、医療分野における計測器の実用的な管理方法（分離校正）のニーズを基に電位計（電荷測定装置）の JCSS 校正が可能となった状況変化に合わせて、既存のガンマ線及び光子線についても特定二次標準器の具備条件として素子（電離箱）単体を選択肢として追加したい。

### 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および電子線は、がん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、十分ながんを制御でき、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 IAEA Human Health Series No. 31 においても、「すべての放射線治療は、技術的およ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 (All forms of radiotherapy should be Applied As Accurately As Reasonably Achievable: AAARA)」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。現在、我が国の医療施設が所有する電離箱線量計の JCSS 校正はコバルトガンマ線を用いて校正を行っているため、不確かさの大きい感度補正の影響で水吸収線量計測の相対標準不確かさは 1.5%となっている。放射線治療分野では、この水吸収線量計測の不確かさを治療結果に影響を与えない水準である相対標準不確かさ 1%以下に抑えることが目標とされている。この不確かさを改善するため、産業技術総合研究所は医療用リニアック装置からの放

射線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の開発に取り組んできた。2013年にはグラフアイトカロリメータおよびグラフアイト壁空洞電離箱式照射線量測定装置を用いた高エネルギー光子線水吸収線量標準を立ち上げ、電離箱線量計の高エネルギー光子線水吸収線量の jcss 校正を実施している。

水吸収線量標準の開発に加えて、電離箱線量計の校正方法についてもユーザー及び校正事業者より新たな要望が出されている。日本国内の電離箱線量計の校正は、検出器である「電離箱」と読み取り装置である「電位計」を一体の電離箱線量計として校正する方法が主流であったが、放射線治療では複数の種類の電離箱を電位計と組み合わせて使用することが一般的であり、電離箱と電位計を別々に校正する分離校正が海外では主流であったため、国内ユーザーからも分離校正移行の希望が出されていた。2017年に日本医学物理学会より「放射線治療用線量計に用いられる電位計のガイドライン」が発行され、電気標準より標準供給を受けた JCSS 校正事業者による電位計（電荷測定装置）の JCSS 校正サービスが開始され、電離箱だけが水吸収線量の JCSS 校正を受けるようになった。令和5年度より国内ユーザーは分離校正へ完全に移行する予定となっており、JCSS 校正事業者からは産総研が提供する jcss 校正サービスも分離校正へ移行するよう、要望が出されている。

以上の背景や校正事業者からの要望を踏まえ、今回、産業技術総合研究所では高エネルギー光子線と同じく放射線治療で用いられる高エネルギー電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ことに成功し、標準供給が可能となった。これによって、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相対標準不確かさはすべて1%以下に改善され、水吸収線量計測の不確かさが放射線治療の結果に影響を与えることがなくなる。また、高エネルギー電子線水吸収線量標準の jcss 校正開始に合わせて、これまで供給してきた Co ガンマ線水吸収線量標準および高エネルギー光子線水吸収線量標準の jcss 校正について、電離箱単体を校正する分離校正へ移行させ、水吸収線量に関する計量のトレーサビリティを明確にし、放射線治療の安全性と治療精度の向上につなげる。

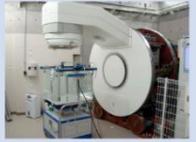
	2010年まで	現状	今後
特定標準器	グラファイト壁 空洞電離箱	グラファイト カロリメータ	グラファイト カロリメータ
産総研 相対標準不確かさ 0.4% ~ 0.5%	Co-60ガンマ線源 照射線量校正 	Co-60ガンマ線源 水吸収線量校正 	<b>リニアック</b> 水吸収線量校正 
登録事業者 相対標準不確かさ 0.5% ~ 0.6%	Co-60ガンマ線 照射線量校正  1社のみ	Co-60ガンマ線 水吸収線量校正  1社のみ	<b>リニアック</b> 水吸収線量校正  <b>2社以上</b>
ユーザー (医療施設) 	校正定数変換 照射線量⇒水吸収線量 Co-60⇒リニアック 相対標準不確かさ：~5%	校正定数変換 Co-60⇒リニアック 相対標準不確かさ：~1.5%	<b>校正定数変換なし</b> 相対標準不確かさ：~1%

図1 不確かさの現状と今後

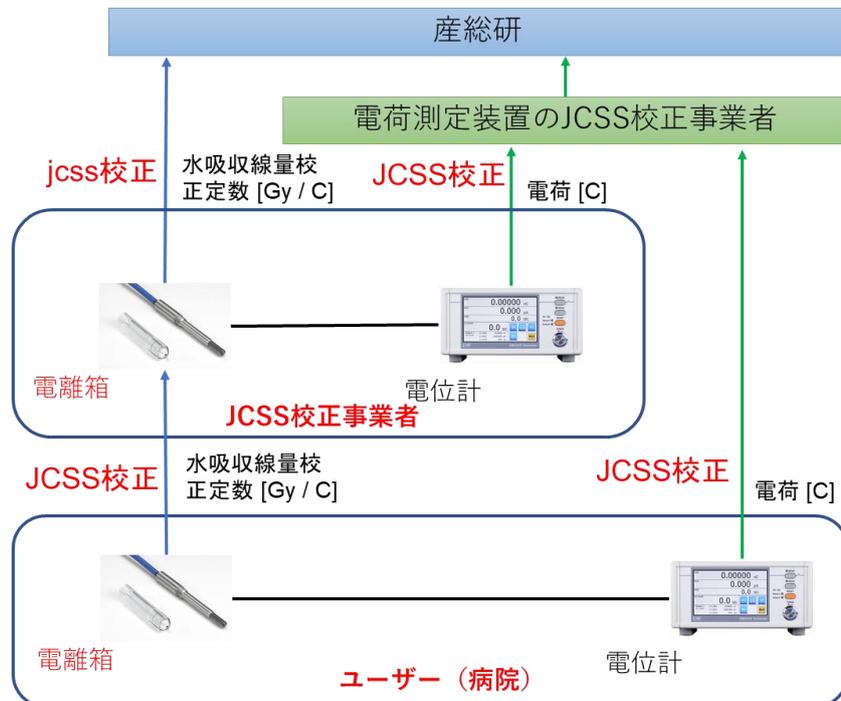


図2 分離校正における電離箱線量計の計量のトレーサビリティ

## 2. 特定標準器

高エネルギー光子線、電子線の水吸収線量標準は以下の 2 個の指定済み特定標準器を用いて実現される。

- ・ グラファイト壁空洞電離箱式照射線量設定装置（既存）
- ・ 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 3 に Co ガンマ線・高エネルギー光子線用グラファイトカロリメータおよび電子線用グラファイトカロリメータを示す。グラファイトカロリメータは PMMA 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または吸収熱量率を測定する。得られたコアの吸収熱量または吸収熱量率について、コアの質量および比熱容量、補正係数を用いて水吸収線量および水吸収線量率を決定する。



図 3 Co ガンマ線・高エネルギー光子線用グラファイトカロリメータ（左）および高エネルギー電子線用グラファイトカロリメータ（右）

### (2) 特定標準器およ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電子線の水吸収線量を計測している写真およびセットアップの概略を図 4 に示す。利用可能な高エネルギー光子線の公称加速電圧は 6 MV および 10 MV、15 MV、高エネルギー電子線の公称加速電圧は 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV, 18 MeV 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および電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 4 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および電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。

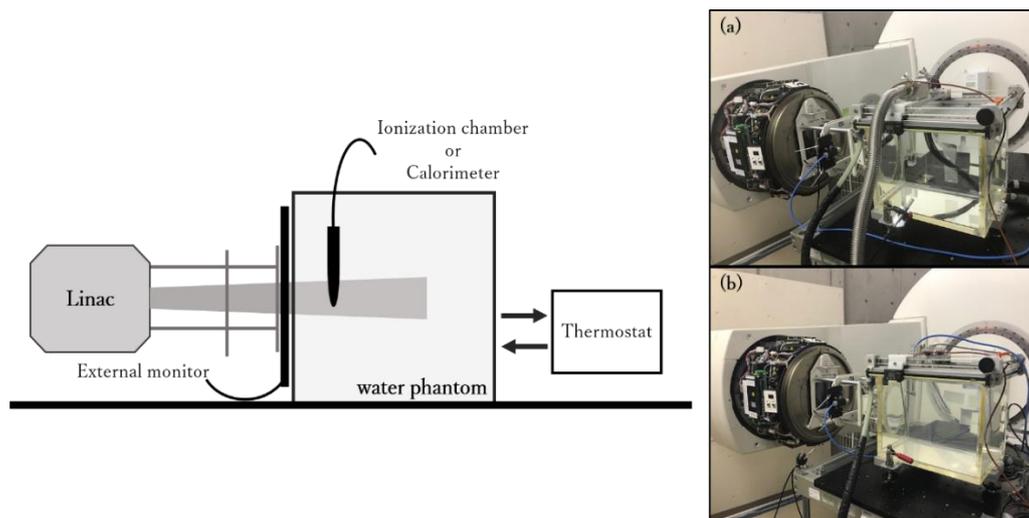


図 4 高エネルギー電子線の水吸収線量校正時のセットアップと写真

#### 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. 特定標準器により校正等を行う特定二次標準器及び校正等の期間（校正等の周期）

(1) 特定二次標準器 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

Co-60 ガンマ線または医療用 リニアック高エネルギー光子線・電子線用電離箱であって、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またはルース形電離箱であること。

(3) 特定標準器による校正等の期間（校正等の周期）

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下の図 5 に示す。



相対拡張不確かさ 1.0 % ( $k=2$ )

・ 高エネルギー電子線水吸収線量 (水吸収線量測定素子)

相対拡張不確かさ 1.2 % ( $k=2$ )

※ユーザーによる水吸収線量計測の相対拡張不確かさ

相対拡張不確かさ 2.0 % ( $k=2$ )以下