

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870900

研究課題名(和文)コンパクトカロリメータを用いた外部放射線治療現場における絶対線量計測技術の開発

研究課題名(英文)Development of compact calorimeter as a field standard for external radiotherapy

研究代表者

清水 森人(Shimizu, Morihiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・分析計測標準研究部門・主任研究員

研究者番号：20613988

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：外部放射線治療に用いられる線量計を校正する際の基準となる現場標準器として、持ち運びや運用が簡単なコンパクトカロリメータを開発した。開発したカロリメータを実際に一般の医療施設に持ち込んで測定を行い、国家標準器で評価した結果と同様の結果を得られていることを確認できた。これにより、たとえ最新の放射線治療装置であっても速やかに線量計の校正が実施することができ、より信頼性の高い品質管理がなされた状態で国民に提供することができるようになる。

研究成果の概要(英文)：A compact calorimeter have been developed as a field standard for external beam radiotherapy. This calorimeter can be carried and used at a medical facility. We determined absorbed dose to water in high-energy photon beam by using the calorimeter and found the results are in good agreement with those of the Japanese primary standard. This calorimeter can determined absorbed dose to water in a radiation beam from the latest radiotherapy equipment. Thus, we can provide a calibration service for the latest equipment promptly. And the people can receive medical treatment by using the latest equipment under the highly reliable quality control.

研究分野：放射線計測学

キーワード：カロリメータ リニアック 水吸収線量 モンテカルロシミュレーション 高エネルギー光子線

1. 研究開始当初の背景

患者体内のがん腫瘍に対して放射線を照射し、正常組織と腫瘍組織の放射線感受性の差によって腫瘍を制御する放射線治療は、手術などを伴わず、患者臓器を温存することができるため、患者の負担が少なく、治療後のQOL (Quality Of Life: 生活の質) も良いため、がん患者全体の4分の1にあたる25万人もの患者が治療を受けている()。

放射線治療においては、過剰照射による正常組織の損傷を避けつつ、がん腫瘍を確実に制御するため、治療装置からがん腫瘍に投与される放射線量を正確に評価する必要がある。このとき、放射線量の基準となるのが1kgあたりの水が放射線から吸収したエネルギーで示される水吸収線量 $[Gy = J / kg]$ であり、水吸収線量は標準機関で校正された電離箱線量計によって各医療施設において計測され、治療計画などに反映されている。

電離箱線量計の校正は校正の基準となる一次標準器の開発、維持、供給を産業技術総合研究所が行い、二次校正事業者である医用原子力技術研究振興財団が国内に1000施設近く存在する放射線治療施設に対して校正サービスを提供している。しかし、校正に用いられる放射線場の線質を全ての医療施設と一致させることができないため、中には最新の標準器による校正の恩恵を受けられない施設もある。さらに、近年の急速な放射線治療技術の進歩に伴い、治療装置や計測に用いられる電離箱線量計の種類が多様化し、標準器の開発が追いつかなくなっている。

2. 研究の目的

本研究では上記の課題を解決するため、現在の水吸収線量の一次標準器であるグラフィットカロリメータと同等の性能を持たせつつ、持ち運びが容易で一般の医療施設でも使用可能なコンパクトグラフィットカロリメータを開発し、これを現場標準器として運用する。このコンパクトグラフィットカロリメータを放射線治療装置のメーカーやユーザー、二次校正事業者の施設に持ち込み、その装置において校正を行うことで、たとえ最新の治療装置や、国内に台数が少なく校正需要が十分に見込めない装置であっても、放射線治療で求められている不確かさ2%以下で水吸収線量を計測することが可能となり、あらゆる放射線治療装置において、より信頼性の高い品質管理のもとで治療を行うことが可能となる。

3. 研究の方法

3.1 コンパクトグラフィットカロリメータの開発

本研究で開発したコンパクトグラフィットカロリメータの概略図を図1に示す。開発したコンパクトグラフィットカロリメータは一次標準器であるグラフィットカロリメータのグラフィット素子と同じく、中

心からコア、ジャケット、シールドの三層構造をもったグラフィット素子を持ち、シールドとジャケットの温度を各グラフィット素子に取り付けた温度センサーとヒーターによって制御することで、コアのグラフィット素子を準断熱状態におけるようにした。放射線を検知するグラフィット素子の寸法は医療施設においてリファレンス線量計として用いられているファーマ形電離箱にあわせ、直径2cm、厚さ2mmの円盤状とした。

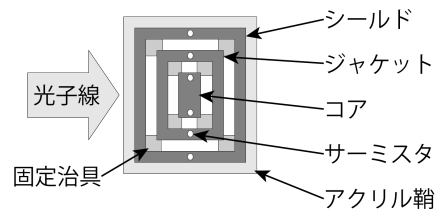


図1 コンパクトグラフィットカロリメータの概略図

コンパクトグラフィットカロリメータはケースなどに入れた状態で頻りに長距離を輸送することが想定されるため、輸送中の振動や衝撃によってカロリメータの内部構造が破損しないよう、各グラフィット素子間にPEEK樹脂製の固定治具を挿入し、グラフィット素子が動かないように固定した。

3.2 現場測定方法の開発

グラフィットカロリメータによる水吸収線量計測では放射線による数mK程度の微小な温度上昇から線量を求めるため、グラフィットカロリメータは温度変動の少ない安定した環境でなければ動作させることができない。一次標準機関である産業技術総合研究所では恒温恒湿で校正を行っていたため、これまで問題が生じなかったが、一般の施設ではそのような特殊条件を用意することはできない。そこで、本研究では循環型恒温水槽を用意し、それとコンパクトグラフィットカロリメータを設置した水ファントムの水を循環させることで、周囲の環境に寄らず、コンパクトグラフィットカロリメータ周辺の温度を設定温度 ± 0.01 付近で安定させるようにした。能動的にカロリメータ周辺の温度制御を行うようにしたことにより、一次標準器のグラフィットカロリメータでは24時間以上かかっていた温度安定化時間が長くても数時間程度となった。

測定装置のセットアップ方法に加え、計測回路の改良も本研究では実施した。従来的一次標準器のカロリメータの測定では、温度センサーであるサーミスタの電気抵抗の測定をホイートストーンブリッジ回路で行っていたが、ケーブルやコネクタの接触抵抗などの影響を受けやすく、設置を変える度に微調整が必要であった。そこで、測定回路をダブルブリッジ回路に変更し、ケーブルや接触

抵抗の影響を受けにくくした。これにより、これまで必要だった微調整作業が省略可能となった。

前述の能動的な温度調整機構とこの計測回路の変更により、常に安定した条件下で測定を行うことが可能となり、診療業務等によって測定時間の限られている医療施設においても、コンパクトグラフィットカロリメータを用いた測定が可能となった。

3.3 水吸収線量の絶対計測

産業技術総合研究所に設置されている医療用リニアック装置(Elekta社 Precise)において、開発したカロリメータを用いて電離箱線量計の校正を行い、同じ電離箱を一次標準器のグラフィットカロリメータで校正した場合の結果との間で比較を行った。

さらに、実際に開発したカロリメータを一般の医療施設に持ち込み、最新の医療用リニアック装置(Varian社 TrueBeam, および Elekta社 VersaHD)からの高エネルギー光子線および非平坦化高エネルギー光子線の水吸収線量計測を実施した。

4. 研究成果

図2に実際にコンパクトカロリメータで高エネルギー光子線を測定した際のグラフを示す。図から分かるように、入射する高エネルギー光子線や参照信号として入力しているヒーターの加熱に対して安定した応答を示し、実際の測定値の変動係数も一次標準器のグラフィットと遜色ない結果を得るこ

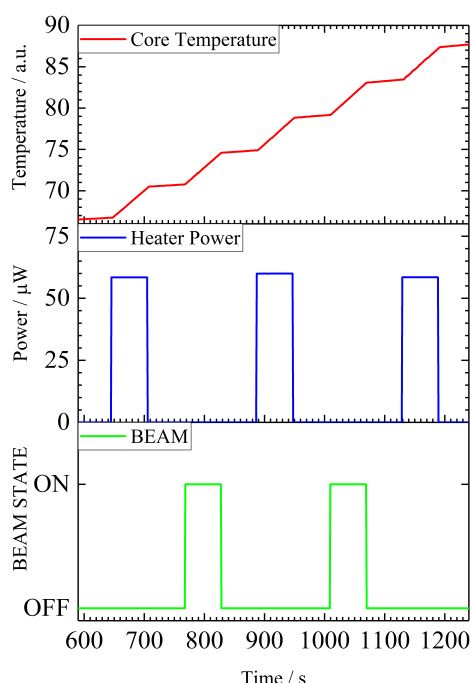


図2 コンパクトグラフィットカロリメータの測定結果

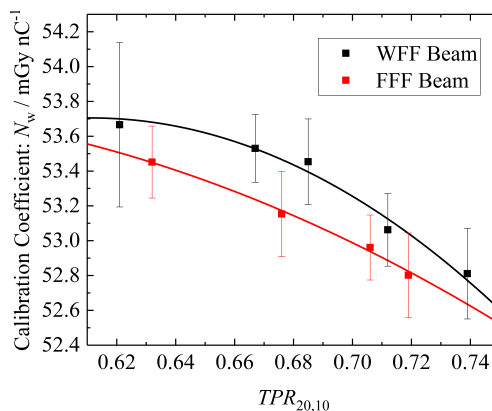


図3 高エネルギー光子線(WFF Beam)およびFFF高エネルギー光子線(FFF Beam)の水吸収線量校正定数の評価結果

とができた。

開発したコンパクトグラフィットカロリメータと一次標準器のグラフィットカロリメータで同一の電離箱線量計を校正し、その結果を比較したところ、コンパクトグラフィットカロリメータで得られた校正定数は一次標準器のグラフィットカロリメータによる値に比べ0.4%ほど大きい値となったが、比較の相対標準不確かさ0.6%の範囲内であり、良く一致していることが分かった。また、0.4%ほど大きいコンパクトグラフィットカロリメータの値は水カロリメータを一次標準器として使用している他国の値に近く、今後はこの結果を詳細に分析することで、水カロリメータおよびグラフィットカロリメータの正確性に関する議論について結論を導く。

次に、開発したグラフィットカロリメータによってファーマ形電離箱線量計のFFF高エネルギー光子線水吸収線量校正定数を求めた結果を図3に示す。図から分かるように、従来の平坦化された高エネルギー光子線に対し、FFF高エネルギー光子線は線質指標TPRに対して、系統的に校正定数に差が見られることが分かり、全体に0.2~0.4%ほどFFF高エネルギー光子線水吸収線量校正定数が小さくなることが分かった。また、図3にはElekta社製のリニアック装置とVarian社製のリニアック装置の2つの方式の異なるリニアック装置における結果が含まれているが、リニアック装置の方式に依存して校正定数の差に系統的な差は見られなかった。

本研究期間中に得られた成果は今後、速やかに論文などにまとめ投稿を行う予定である。さらに、これらの成果をもとに水吸収線量校正定数の供給範囲をFFF高エネルギー光子線に拡大することを検討しており、確実に研究成果が国民に還元されるように関連学会や二次校正事業者と連携して、

標準供給体制の整備を進める。

該当無し

参考文献

沼崎穂高，手島昭樹，安藤裕ら，全国放射線治療施設の 2012 年定期構造調査報告(第 1 報)，日本放射線腫瘍学会，2016.

(3)連携研究者
該当無し

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(4)研究協力者
該当無し

〔雑誌論文〕(計 0 件)

該当無し

〔学会発表〕(計 4 件)

清水森人，FFF 光子線の一次標準について，第 96 回 JSRT 東京支部セミナー，2015.6.27，駒澤大学，東京

清水森人，FFF 光子線の一次標準について，第 100 回 JSRT 東京支部セミナー，2015.10.31，首都大学東京，東京

清水森人，高エネルギー光子線の一次標準について，中部放射線治療セミナー，2016.3.12，東芝メディカルシステムズ株式会社，愛知県

清水森人，森下雄一郎，齋藤則生，現場校正用コンパクトカロリメータの開発，2016.9.9，第 112 回日本医学物理学会学術大会，沖縄県宜野湾コンベンションセンター，沖縄県

〔図書〕(計 0 件)

該当無し

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

該当無し

取得状況(計 0 件)

該当無し

〔その他〕

産業技術総合研究所公式ホームページ
<https://www.aist.go.jp>

計量標準総合センターホームページ
<https://www.nmij.jp>

放射線標準研究グループホームページ
<https://unit.aist.go.jp/rima/ioniz-rad/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

清水 森人(Shimizu Morihito)

産業技術総合研究所・分析計測標準研究部門・主任研究員

研究者番号：20613988

(2)研究分担者