

# 放射線治療におけるリアルタイム同時多数点測定を目的とした半導体型光電子増倍管を使用した人工ルビー線量計の基礎特性について

国際医療福祉大学 放射線・情報科学科 ○玉山 聖己

柿沼 黎穂 阿部 星奈 水口 由貴 座間 佳男 松本 健希 前原 正義 細貝 良行

## 【はじめに】

我々は、人工ルビー線量計を用いたリアルタイム線量測定システムの研究を行っている。人工ルビーはX線吸収が少なく、照射野内に設置した状態で局所吸収線量のリアルタイム測定が可能である。人工ルビー線量計は、ルビーから発せられた光を光ファイバーで導光し、光電子増倍管で電気信号に変換・増幅後、光子計数ユニットからAD変換器を通じてPCへデータ転送を行うことで、光子数をリアルタイムに測定することが可能である。これまでの研究において、光電子増倍管を使用した人工ルビー線量計は電離箱線量計と同等の精度で水中深部線量を測定することができると判明した。しかし、人工ルビー線量計を構成する光ファイバー内で発生するチェレンコフ光が測定値に影響を及ぼし、正確な測定にはチェレンコフ光による影響の補正を行う必要があることが課題として挙げられた<sup>1)</sup>。そこで、複数の検出素子をもつ半導体型光電子増倍管(MPPC)に人工ルビー線量計と人工ルビーセンサを取り外した光ファイバーを同時に接続することで、チェレンコフ光の補正を行った高エネルギーX線の同時多数点測定が可能であるかを検討したため報告する。

## 【使用機器】

- 人工ルビー(Φ 1 mm)を設置した光ファイバー(長さ:10 m):3本
- 人工ルビーなし光ファイバー(長さ:10 m):1本
- MPPC:Type C13369-3050ED-04(浜松ホトニクス)
- リニアック:Synergy(Elekta)
- アクリル水槽:W35.9×D22×H26.2 cm
- 自作アクリルファントム

## 【方法】

### 1.各線量計の校正

それぞれの人工ルビーの感度を調べるため、Fig.1のように水槽内に自作アクリルファントムを設置し、深さ1 cmの測定点にそれぞれの線量計を挿入して、照射MU値と人工ルビー線量計の測定値の関係を調べた。照射条件は、エネルギー10 MV、照射野、10 cm×10 cm、線量率500 MU/minとし、MU値を

5、10、20、50、100、200、500 MUと変化させた。また、それぞれの線量計のMU値と測定値の関係から、感度の違いを補正する校正定数を算出した。

### 2.水中の同時多数点測定

深さ1 cm、2 cm、3 cmの測定点に人工ルビー線量計を1本ずつ挿入し、高エネルギーX線の水中同時多数点測定を行った。測定後、各線量計を3 cmずつ深い位置に移動させ、深さ24 cmまでの線量を測定した。また、得られた測定値から、PDDを求めた。照射条件は方法1と同様とした。

### 3.チェレンコフ光の検出

方法2の実験と並行して、人工ルビーのついていない光ファイバーをファントムに挿入し、光ファイバー内で発生するチェレンコフ光の検出を試みた。

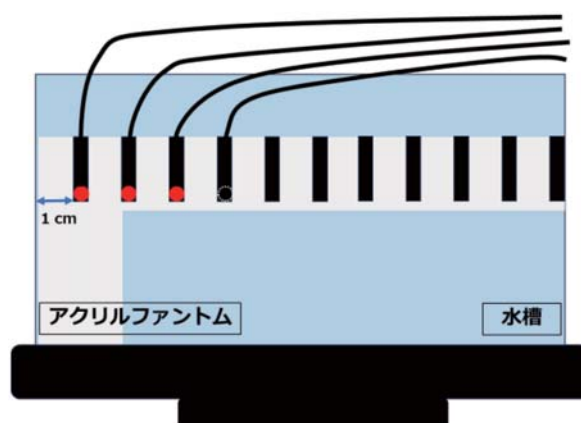


Fig.1 自作アクリルファントムの設置

## 【結果】

### 1.各線量計の校正

Fig.2に、各線量計を深さ1 cmの測定点に挿入し、MU値を変えて測定を行ったときの照射MU値

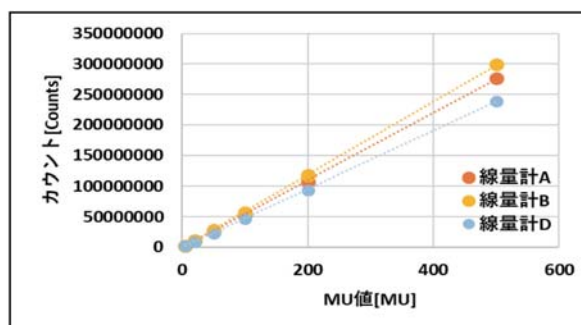


Fig.2 各線量計のMU値に対する測定値

と測定値との関係を、横軸を照射MU値 (MU)、縦軸を線量計のカウント (counts) とするグラフで示した。

いずれの線量計についても、照射MU値と測定値は決定係数0.999以上の強い相関をもつ直線関係になり、直線の傾きからそれぞれの線量計の校正を行うことができた。

## 2. 水中の同時多数点測定

Fig.3に、それぞれのMU値に対する同時多数点測定での測定値を、結果1により算出した校正定数で校正して得られたPDDを示した。グラフは、横軸を深さ (cm)、縦軸をPDD (%) とした。いずれの照射MU値でも、線量最大深は2 cmとなった。深さ4、7、10、13、16、19 cmのPDDが明らかに低い値となっており、これは特定の線量計での測定点であった。

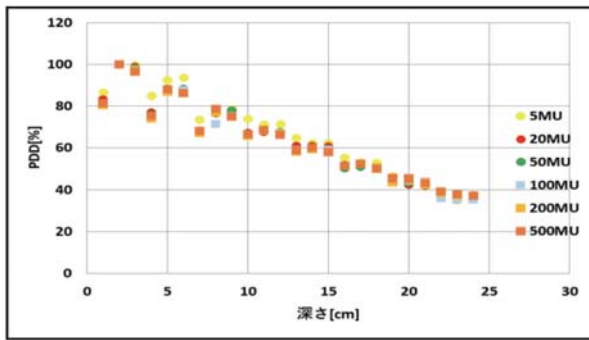


Fig.3 5~500 MU照射時のPDD

## 3. チェレンコフ光の検出

Fig.4、Fig.5に深さ1~16 cmならびに深さ17~19 cmの測定点におけるチェレンコフ光結果を示した。両グラフとも、横軸を照射MU値 (MU)、縦軸を測定値 (counts) とした。深さ1~16 cmでは、カウントが照射MU値の2次式に従って増加した。しかし、深さ17~19 cmでの測定点では、照射MU値と測定値との間に有意な関係性は見出せなかった。

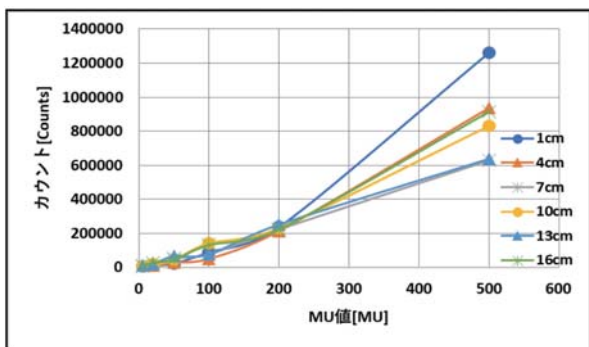


Fig.4 深さ1~16 cmでのチェレンコフ光の検出

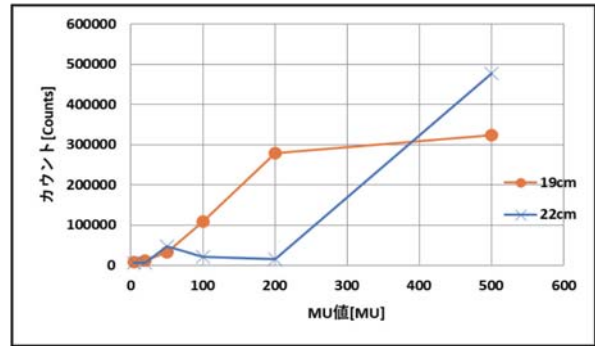


Fig.5 深さ19~22 cmでのチェレンコフ光の検出

## 【考察】

5~500 MUの照射で、各線量計測の定値が照射MU値に対して直線的な関係になり、人工ルビー線量計は高線量の測定においても測定値は飽和せず、正確な線量を測定できることが示唆された。同時多数点測定では、特定の線量計による測定値が明らかに低い値を示したが、線量計とMPPCの接続不良により光の検出収率が低くなったためと考えられ、線量計とMPPCの接続方法の改良が必要である。また、水槽側方から高エネルギーX線を照射したが水槽壁の影響を考慮していないため、水槽壁の影響を無視することが可能な測定方法を再検討することによって、今回の測定における幾何学的な問題を解決できると考える。

チェレンコフ光は、水深1~16 cmでの測定結果から線量の2乗に比例して発生することが示唆された。しかし、深さ19~22 cmではMU値と関係をもたない測定値が得られたが、カウントが非常に少ないためデータ処理の際にMPPCの電気的なノイズと区別ができなかったことが原因と考えられる。今後はより精度の高いデータ解析の手法をとる必要がある。

## 【まとめ】

ファントムおよび線量計の幾何学的な問題とデータ解析の手法を再検討し、より正確な高エネルギーX線の測定を試みて、詳細な報告を行う予定である。

## 【参考文献・図書】

- 1) Kenki Matsumoto, Characteristics of a real-time radiation exposure dosimetry system using a synthetic ruby for radiotherapy, 2022