

# 学位論文要旨

氏名 渡邊 祐介



論文題目

「高線量率小線源治療におけるステレオ方式3次元計測による  
自動リアルタイム線源追跡システムの開発」

指導教授承認印

五味 勉



# 「高線量率小線源治療におけるステレオ方式3次元計測による

## 自動リアルタイム線源追跡システムの開発」

渡邊 祐介

### 論文要旨

#### 【背景と目的】

高線量率小線源治療 (high-dose-rate brachytherapy: HDR brachytherapy) は、遠隔操作式後充填法 (remote after-loading system: RALS) を用いて線源 (密封放射性同位元素) を腫瘍内部やその近傍に輸送して近接照射する。放射線の影響は、線源停留範囲の周辺に限定され、正常組織に損傷を与えずに腫瘍に大線量を投与できる。同時に、治療効果は線源の輸送精度に大きく影響されるため、精度の高い照射技術と精度管理が必要となる。処方線量の最適化は、放射線治療計画装置 (treatment planning system: TPS) により、複数の線源位置を指定し、治療時の線源強度に応じた停留時間を算出して行われる。現在、定期的に治療装置の品質管理が行われ、RALS に登録した線源位置の正確性は±1mm、停留時間の測定精度は±1%を保証している。しかし、治療中の人体内での線源の動きは確認されていない。もし人的ミスや装置の誤作動などが起こった場合、腫瘍に対する線量不足による治療効果の低下や正常組織への過線量による重篤な障害が発現する危険性がある。そのため、HDR brachytherapy の安全性を確保するため、治療中の線源輸送エラーを検知する必要がある。本研究では、HDR brachytherapy の治療中に人体内で移動する線源を非侵襲的に追跡し、線源移動情報である線源位置と停留時間の測定が可能なシステムを開発する。

#### 【方法】

開発システムは、鉛製ピンホールコリメータ、テルビウム添加・硫酸化ガドリニウム蛍光体 ( $Gd_2O_2S:Tb$ ) である GOS シンチレータ、および電荷結合素子 (charge-coupled device: CCD) カメラで構成した。2つの直径 1.0 mm の円錐形状ピンホールを有するデュアル・ピンホールコリメータをシンチレータの前に配置し、シンチレータ発光点の2次元情報であるステレオシフト画像から平行2眼ステレオ法による三角測量にて、 $^{192}Ir$  線源の3次元位置測定を行った。また、リアルタイムによる線源追跡のために、シンチレータ発光を CCD カメラによりシャッター速度 2 s で連続画像を取得した。さらに、自動化のためテンプレートマッチング法によりシンチレータ発光点を追跡した。停留時間は、発光量に対応した一連の CCD 画像の積算ピクセル値から測定した。システムの追跡精度は、子宮頸癌に対して実施される HDR brachytherapy を想定したファントム実験によって検証した。 $^{192}Ir$  線源を臨床で実施される線源位置 (14 点) と停留時間 (10 s) の照射条件により、水中に配置したタンデム・オボイドアプリーケータ内へ輸送した。システムの測定値は、模擬線源を X 線透視装置により撮影して求めた線源位置と RALS に設定した停留時間を基準値として比較した。

## 【結果と考察】

子宮頸癌に対する HDR brachytherapy を想定したファントム実験において、3次元線源位置と停留時間の測定精度は、それぞれ  $1.5 \pm 0.7$  mm、 $0.8 \pm 0.4$  s 以内であった。本システムにおけるテンプレートマッチング法による線源位置の測定に必要な画像処理時間はシャッター速度 2 s に対して 0.4 s であり、自動リアルタイムの線源追跡に成功した。また、最大 2.5 frames per second (fps) によるリアルタイム計測の可能性が示唆された。シンチレータ発光量は、線源強度、線源-シンチレータ間距離およびピンホール形状に依存する。そのため、それぞれの特性から求めた補正関数を用いて、積算ピクセル値から停留時間を測定した。ただし、本システムでは十分なシンチレータ発光量を確保するため、シャッター速度 2 s 以上での線源追跡に制限された。長いシャッター速度の延長は時間分解能を低下させる。しかし、典型的な子宮頸癌の HDR brachytherapy での数十秒の停留時間に対して、線源位置の偏差を検出するのに十分に短いと考える。今後、本研究の最終的な目標である体内の線源移動の監視による線源輸送制御と線量分布の可視化のため、システムの測定値と解剖学的情報とを関連付ける必要がある。

## 【結語】

本研究では、デュアル・ピンホールコリメータ、GOS シンチレータ、および CCD カメラを用いて低コストでコンパクトなシステムを開発し、臨床で実施される線源輸送条件において 3次元空間の線源追跡が可能であることを実証した。また、テンプレートマッチング法によるシンチレータ発光点の追跡により自動リアルタイム化を実現した。本システムは、人体内における  $^{192}\text{Ir}$  線源の移動を高精度で追跡する可能性を有し、線源輸送エラーを治療中に検知することで、短時間に大線量を投与する HDR brachytherapy の医療事故を防止し、安全性を確保できる有用なツールとして期待できる。