

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	前立腺がん治療用注射針型陽子線励起X線源の線量分布の評価方法の開発
Title(English)	Development of evaluation method of the dose distribution of a syringe-needle type proton-induced X-ray source for prostate cancer brachytherapy
著者(和文)	胡宇超
Author(English)	Yuchao Hu
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10648号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小栗 慶之,千葉 敏,松本 義久,片淵 竜也,林崎 規託
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10648号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	胡 宇超	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小栗慶之	教授	林崎規託	准教授
	審査員	千葉 敏	教授		
		松本義久	准教授		
片渕竜也		准教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Development of Evaluation Method of the Dose Distribution of a Syringe-Needle Type Proton-Induced X-Ray Source for Prostate Cancer Brachytherapy” (「前立腺癌治療用注射針型陽子線励起 X 線源の線量分布の評価手法の開発」) と題し、以下の 4 章より構成されている。

第 1 章“Introduction”では、本研究に関連する医療技術上の背景と問題点、及びその解決のために提案された新しい X 線源の概要を説明し、研究目的を明らかにしている。まず前立腺癌の診断、治療技術の現状を述べ、これらの特長と欠点を議論している。この中で放射性同位元素を用いたガンマ小線源の永久挿入法は、線量を腫瘍に集中できる反面、線源の紛失や挿入施術者に対する被ばくのリスクを有することを指摘している。一方、遠隔操作方式の高線量率小線源一時挿入法はこれらの欠点を排除できるものの、一般にガンマ線エネルギーが高いため腫瘍が小さい場合は周辺正常組織の線量が大きく、完全に永久挿入法の代替とはならないことを述べている。この現状を踏まえ、組織内照射の利点を継承しつつ、従来の小線源治療における腫瘍サイズの制限を克服するため、小型加速器からの MeV 陽子線を注射針内に通し、先端の金属標的に照射して特性 X 線を発生し、この注射針を腫瘍内に挿入して X 線治療を行う方法を提案している。金属の種類を変えることで X 線エネルギーが可変であり、また入射陽子線強度の調整により X 線強度を変更できるため、サイズの小さい腫瘍に適した低エネルギーかつ高線量率の線源が原理的に実現可能であることを述べている。一方、問題点として線源周囲の線量分布が未だ不明確なことを指摘し、前立腺癌治療用 X 線源としての線量の空間分布を定量的に評価する方法の確立を本研究の目的としている。

第 2 章“Experimental and Computational Methods”では、実験及び計算の原理、装置、及び方法について説明している。まず一次陽子線源として用いた 1.6 MV タンデムペレットロン加速器システムの概要を紹介し、イオン源による水素負イオンの発生から、タンデム加速器によるビーム加速、各種の電磁石を用いたビーム輸送系等について説明している。次に本研究で使用したモンテカルロシミュレーションツールである PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) と Geant4 (GEometry ANd Tracking) について、それぞれの機能や特徴について述べ、特に陽子線励起 X 線の取り扱いにおいて両者の異なる点を比較している。次に半導体検出器を用いた X 線エネルギースペクトル測定と注射針型線源周囲の X 線強度の角度分布測定実験、及び PHITS を併用したその数値計算の方法について説明している。また線量の 3 次元的空間分布を画像として一度に測定するため、注射針型線源を液体シンチレーター中に浸し、高感度 CCD カメラを用いてシンチレーターの発光の様子を撮影する実験について述べている。さらにペーパーポット法により一次陽子線のビームエミッタンスを測定し、その結果を Geant4 プログラムに入力することにより一次陽子線の挙動も考慮に入れて注射針型線源周囲の相対的線量分布を計算する方法を説明している。最後にこれらの実験、計算に注射針ホルダーによる陽子ビーム電流測定を追加して線量率分布の絶対評価を行う方法を提案している。

第 3 章“Results and Discussion”では、前章で説明した実験と計算の結果を示し、それらに対する考察を行っている。まず測定した X 線のスペクトルと相対的な放出角度分布を示し、これらが PHITS を用いた計算の結果と良く一致することを示している。次に高感度 CCD カメラで撮影したシンチレーターの発光画像を示すとともに、バックグラウンドやノイズを考慮した画像処理や画像上の絶対的な位置の特定について論じている。さらに一次陽子線のビームエミッタンス測定の結果、及びそれを基にした Geant4 シミュレーションによる注射針周辺の線量分布の計算結果を示し、これらが液体シンチレーターによる測定結果を再現したことを述べている。最後に陽子線のビーム電流測定に基づいた線量率の定量的評価を行っている。これらの手順により、実験条件下の線量率分布の絶対評価が可能であることを明らかにしている。

第 4 章“Conclusions”では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本研究は前立腺癌治療用の新しい注射針型陽子線励起単色 X 線源について、実験と計算を用いたその性能評価手法を提案し、その有用性を実証したものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本研究は博士 (工学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。