（様式6-A）A. 雑誌発表論文による学位申請の場合

藤　本　哲　也　氏から学位申請のため提出された論文の審査要旨

題　目　　Energy compensation of slow extracted beams with RF acceleration
（RF加速による遅いビーム取出しにおけるビームのエネルギー補正）

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A　812
68 ～ 72, 2016

藤本哲也，想田　光，取越　正己，金井　達明，山田　聡，　野田　耕司

論文の要旨及び判定理由

重粒子線治療では、炭素イオンを治療に適したエネルギーまでシンクロトロンで加速し、その後遅い取り出し法により約1秒かけてビームを取り出し患者に照射される。一般に遅い取り出しを行うために3次共鳴現象が利用されるが、本学重粒子線施設では、この過程でビームのエネルギーがわずかであるが変化し、このため体内飛程が変化する。拡大照射法ではこの変動は治療に影響しないが、現在治療利用に向けて開発が進められている3次元スキャニング照射では、この飛程変化を十分に抑制する必要がある。

エネルギー変動幅は最大2.6MeV/uであり、そのエネルギー補正のために、高エネルギー炭素イオンが物質中を通過した時に生じるエネルギーロスを利用してエネルギーを一定化する方法を考案し、理論的検討を経て、設計、試作機の製作と実証試験を行った。補正エネルギーは物質（吸収体）の厚さを制御することで行う必要があり、吸収体厚をビーム方向に対する角度を変えることで制御することとした。エネルギーは時間と共に非線形に変化するため、ビーム取り出し時の加速エネルギーを決める加速周波数に応じた回転角とする制御を行った。吸収体として1mm厚のアルミニウムを用いた。実証試験の結果、290MeV/nビームのBraggピーク変動は補正前の約1.5mmが補正後±0.1mm以下になることを確認した。

また、吸収体を通すことによるビームエミッタンスの増大の影響は、ビーム輸送ラインにおけるビーム焦点部分に吸収体を置くことで、アイソセンターでのビームサイズの拡大を抑制できることを理論計算にて確認した。以上の結果により、本学におけるビームスキャニングに対応したエネルギー変動の抑制が出来ることが実証的に確認できた。またそれに付随するビームサイズの増大も抑制できることは理論的に確認できた。

今回開発された方法は新規のものであり、特に医療用加速器においてはその実用性と、実施におけるコストの低さの観点から現実的なものと認められる。特に本学と同様のビーム取り出し方法が採用されているよう子線治療施設においては重要な高度化技術であると認められる。以上より、博士（医学）の学位に値するものと判定した。

（平成28年2月9日）

審査委員

主査　　群馬大学教授（医学系研究科）
放射線腫瘍学分野担任　　中　野　隆　史　　印

副査　　群馬大学　協力・連携講座教授（医学系研究科）
加速器物理学分野担任　　横　田　渉　　印

副査　　群馬大学　協力・連携講座教授（医学系研究科）
放射線科学分野担任　　神　谷　富　裕　　印

副査　　筑波大学教授（生体調節研究所）
医学物理学分野担任　　栄　　武　二　　印