

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	炭素イオンビームのレーザーアブレーション生成とKEKデジタル加速器での加速研究
Title(English)	
著者(和文)	宗本尚也
Author(English)	Naoya Munemoto
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11110号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:長谷川 純,小栗 慶之,奥野 喜裕,河村 徹,林崎 規託
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11110号, Conferred date:2019/3/26, 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

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	宗本 尚也	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 長谷川 純	准教授	林崎 規託	教授
	奥野 喜裕	教授		
	小栗 慶之	教授		
	河村 徹	講師		

本論文は、「炭素イオンビームのレーザーアブレーション生成と KEK デジタル加速器での加速研究」と題し、以下の6章で構成されている。

第1章「序論」では、シンクロトロンおよびレーザーアブレーションイオン源(LAIS)の歴史的背景について述べた後、重粒子線がん治療用の誘導加速シンクロトロンの開発において、LAISにより生成された完全電離炭素イオンを加速器リングに直接入射する技術の確立が必要であることを指摘し、本論文の位置づけと目的を明らかにしている。まず、粒子線治療施設の普及を推進する上で装置の小型化とともに施設の建設費や運転維持の低コスト化が重要な課題であることを指摘し、周回周波数に対する制約がなく、加速と閉じ込めの機能が分離されている誘導加速シンクロトロンを基盤とした重粒子線治療システム Energy Sweep Compact Rapid-Cycling Therapy (ESCORT)が提唱されていることを述べている。ESCORTでは、高周波四重極線形加速器やドリフトチューブ線形加速器等の大型ビーム入射器が必要ない代わりにイオン源の段階で完全電離の炭素イオンを生成・供給する必要があり、その要求を満たすコンパクトで安価なイオン源として LAIS の採用を提案している。一方、保守性に優れるパルスエネルギー1 J 以下の小型レーザーにより生成されるプラズマから高価数炭素イオンを引き出した例は過去になく、その特性を明らかにする必要性を指摘している。LAIS から供給される高価数炭素イオンビームを誘導加速シンクロトロンに直接入射し、バリアーバケットにより閉じ込める技術を実証することにより、ESCORT の実現可能性を論じることを本論文の目的としている。

第2章「原理と実験手法」では、LAIS の原理について述べた後、KEK デジタル加速器施設に導入された LAIS の構造および動作条件、LAIS から供給される炭素イオンの価数分析手法、引き出された炭素イオンビームのエミッタンス測定手法について解説している。

第3章「KEK LAIS 高価数イオン生成」では、KEK LAIS で生成される炭素イオンの価数分布において4価以上の高価数イオンが支配的であり、なかでも C^{4+} イオンが最も大きなドリフトエネルギーで供給されることを明らかにしている。さらに、KEK LAIS から引き出される炭素イオンビーム電流のソレノイドガイド磁場への依存性から、プラズマイオン電流と空間電荷制限電流のバランスで決まる最適なガイド磁場条件があることを指摘している。

第4章「炭素ビーム 200 kV 加速実験」では、200 kV 高圧ターミナル内に設置された KEK LAIS から引き出された炭素イオンビームの諸特性について述べており、高価数の炭素イオンを最も効率的に供給できるアイツェルレンズおよびガイド磁場の最適な条件があること、 C^{4+} および C^{5+} イオンのエミッタンスが現状では KEK デジタル加速器のアクセプタンスを大きく上回ることを明らかにしている。シミュレーションコード I-GUN により、炭素プラズマの密度とドリフトエネルギーをパラメータとして、引き出された炭素イオンビームの軌道解析を行い、アイツェルレンズ部の非線形な電場の影響によりエミッタンスの増大が引き起こされること、イオン放出面の変動の影響を時間的に積分することがエミッタンスの過大評価をもたらしていることを指摘している。さらに、KEK LAIS の構造に由来する引き出し電圧の降下の問題について、その原因と対策を論じている。

第5章「KEK-DA におけるビーム閉じ込め」では、LAIS から引き出された高価数炭素イオンビーム(C^{6+} , C^{5+} , C^{4+})を KEK デジタル加速器リングに入射し、ビームを自由に周回(Free run)させた場合とバリアーバケットによる閉じ込めを行なった場合について、リング内でのビームの挙動を論じている。Free run 実験の結果から LAIS から引き出される炭素イオンが元来持っている運動量広がり性を明らかにしている。また、ビーム閉じ込め実験の結果を粒子シミュレーションにより再現することにより、バリアーバケット内のイオンは運動量偏差の大小により共鳴島に捕捉される場合とバリアーバケットに捕捉される場合の2通りがあることを指摘している。さらに、高価数炭素ビームの寿命と加速器リングの真空度の関係を残留分子・原子との相互作用の観点から論じている。

第6章「結論」では、本研究により得られた以上の結果を総括し、結論としている。

以上を要するに、本論文はレーザーアブレーションイオン源(LAIS)から供給されるプラズマおよびイオンビームの特性を明らかにし、LAISからのイオンビーム引き出し技術、誘導加速シンクロトロンへの直接入射技術、バリアーバケットによるビーム閉じ込め技術を実証しており、工学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。