

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高エネルギー加速器研究機構デジタル加速器における重イオンビームの生成、伝搬、誘導加速の研究
Title(English)	Production, Transport , and Induction Acceleration of Heavy Ion Beams in the KEK Digital Accelerator
著者(和文)	劉星光
Author(English)	Xingguang Liu
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10025号, 授与年月日:2015年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高山 健,堀岡 一彦,肖 鋒,長谷川 純,林崎 規託,菊池 崇志
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10025号, Conferred date:2015/12/31, 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	劉 星光 (Xinggung Liu)	
論文審査 審査員		氏名		職名	氏名	職名
	主査	高山 健		連携教授	林崎 規託	准教授
	審査員	堀岡一彦		教授	菊池 崇志	准教授
		肖 鋒		准教授		
長谷川純			准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Production, Transport, and Induction Acceleration of Heavy Ion Beams in the KEK Digital Accelerator」と題し、デジタル加速器における重イオンのイオン源での生成からリングでの加速まで、ビームコミショニングの結果を実験とシミュレーションの両面から解明し、その研究成果をまとめたものであり、本文は英文で書かれている。

第1章では、高周波シンクロトロンを越える円形加速器として提案された誘導加速シンクロトロンの一般的特徴を説明する。速い繰り返しの誘導加速シンクロトロンとしての KEK デジタル加速器の概要とビームコミショニング時に見出された課題について整理し、本研究の背景と目的を明らかにしている。

2章ではシンクロトロンでの粒子の運動を記述する力学方程式を2Dの Hamiltonian から演繹し、6章で議論するマクロ粒子のトラッキングに必要な位相空間での伝搬行列を求めている。高周波シンクロトロンではないバリアーケット加速に特有な縦方向運動を高周波加速との対比で議論し、運動を記述する不連続加速方程式を演繹し、3Dでのトラッキングに必要な数学的道具を完成させている。

第3章では、論文主題として取り上げた重イオンビームの生成、伝搬、リング内ビーム振る舞いに関するハードウェアを中心に解説している。

第4章では、不可欠となる安定なビーム供給を阻害する要因であったイオン源での放電の原因把握、その対処法について実際に筆者の工夫を記述している。

第5章では、ビームの特性(エミッタンス、運動量偏差)を正確に把握する手法と実験結果を議論している。前者はビームトランスポートライン上の4極磁石の強さを変えて下流のビームモニターでビーム断面情報を得てエミッタンスと Lattice 関数を同時に求める手法で適切な結果を得たと主張している。後者は時間軸方向の情報を入手する目的で、既存モニターの信号処理回路を独自に改造している。運動量分散関数の大きな領域に置いた改造モニターの時間軸上の信号情報を使い、イオン源で生成される4 m sec のビームの前半部、後半部で運動量差がある事をつきとめ、これがイオン源引き出し部(14 kV)とポスト加速部(186 kV)でのビーム負荷の影響である事を同定している。高圧電源補償回路の導入で運動量差が解消された事により、その正しさを証明した。一方、Einzel lens chopper で1/1000に切り出した chopped beam (4 μsec) の head と tail に逆符号の運動量差の存在を同定している。今回、初めて直接リングに入射する前に観測された事になる。運動量分散関数の大きな領域に置くモニターの時間軸上での信号情報取得の一般的効用を強く主張している。

第6章では、ビームが周回する金属の容器の様々な断面から正確に決まる疑似3D空間電荷ポテンシャルをポアソン方程式を有限要素法で解く自主開発した「空間電荷 Solver」の計算手法を詳述している。解析解との比較により計算パラメーターの最適化に成功している。粒子のリング周りに沿って最適に分割した位置での不連続キックを加える手法によりリアルタイムで変動する空間電荷効果を取り込んだマクロ粒子トラッキングコードの全体像を記述している。

第7章では、リング上流の条件(位相空間分布とビーム電流)を変化させ、様々な入射条件でリングに入射し、ビームの周回電流量を周回数関数として観測した結果を、「生き残り率」を指標に整理し、前章で議論した3D粒子トラッキングコードでその説明を試みている。初期ロスが入射エラーに起因するもの、それ以降は空間電荷効果由来がその一端を担う事を明らかにしている。システムティックにビームロスを引き起こす要因の同定に迫っている。

第8章では、本研究で得られた成果を総括し結論としている。

以上を要するに、本論文は誘導加速シンクロトロンでのビームダイナミクスについて創意工夫をした道具立てを使った実験とシミュレーションの両面から明らかにしており、学術上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

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。