

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高強度荷電粒子ビームの縦方向圧縮動力学に関するスケーリング実験
Title(English)	
著者(和文)	酒井泰雄
Author(English)	yasuo sakai
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10428号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:堀岡 一彦,河野 俊之,小栗 慶之,長谷川 純,河村 徹
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10428号, Conferred date:2017/3/26, 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

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	酒井 泰雄	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	堀岡 一彦	教授	河村 徹	講師
	審査員	河野 俊之	教授		
		小栗 慶之	教授		
長谷川 純		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「高強度荷電粒子ビームの縦方向圧縮の動力学的スケールリング実験」と題し、6章で構成されている。

第1章「序論」では、最近進展が著しい高エネルギー密度科学の分野において高強度の荷電重粒子ビームの応用が検討されていることを述べている。また、標的内に高エネルギー密度状態を発生させる荷電粒子ビームにはフラックス（電流密度）の増大が要求されることについて述べている。さらには、加速器最終段における荷電粒子ビームの縦方向圧縮が重イオン慣性核融合（Heavy Ion Fusion:HIF）のドライバー級の高強度重イオンビームの生成に不可欠な操作であるにもかかわらず、圧縮過程に伴うビーム品質劣化の程度が明らかにされておらず、縦方向圧縮の動力学を解明することが重要な課題であることを指摘し、本研究の位置づけと目的を明確にしている。

第2章「高強度ビームのスケールリング則」では、最初にビームの品質を表す重要な指標であるエミッタンスをはじめとする高強度ビームの基本的な物理を振り返るとともに、縦方向圧縮においては圧縮のためにビームに付与したコヒーレントな速度勾配が、多粒子の集団的な運動によって形成される空間電場を介した散逸機構により緩和し、エミッタンスを増大させる可能性があることを指摘している。また、ビームの縦方向エンベロープ方程式を基にして荷電粒子ビームの縦方向動力学における相似則を定義し、パービアンズと初期エミッタンスで定義される係数を相似パラメーターにとることによって、高強度重イオンビームの縦方向圧縮における振る舞いをスケールダウンした小型の電子ビームを用いたシミュレーター装置で模擬する手法を提案している。

第3章「速度変調電圧の発生：高精度誘導電圧重畳装置」では、小型シミュレーター装置の速度変調器（誘導電圧重畳装置）の開発に関して述べている。光ファイバーで絶縁された自爆型構造の多段 MOSFET (Metal Oxide Field Effect Transistor) ゲート回路を用いることで、ナノ秒以下のジッターでパルス電圧を発生できるドライバーを構築できることを示している。また、誘導電圧重畳装置の出力特性と再現性を磁性体コア特性も含めて評価している。これにより、ビーム動力学を評価するのに十分な高い再現性と波形制御性を持つ速度変調器を構築したことについて述べている。

第4章「電子源の開発：レーザー駆動プラズマカソード」では、シミュレーター装置に不可欠な高輝度電子銃の開発に関して述べている。また、レーザーアブレーションプラズマを電子源として用いる新しい電子供給源を提案し、ビーム引き出し方向に大きな速度成分を持つプラズマ源からは、通常の静止プラズマで得られるビーム電流密度よりも1桁以上高い供給電流が得られることを示すとともに、プラズマパラメーターと供給可能な電流密度の相関を明らかにしている。

第5章「縦方向圧縮動力学的評価」では、4章までに述べた小型のビームシミュレーター装置を用いて縦方向圧縮下におけるビーム電流波形の時間発展を実験的に観測した結果について述べている。また、得られた実験結果を、近似モデルを用いた数値シミュレーション結果と比較検討することにより、空間電荷に支配される縦方向圧縮に伴うビームの速度分布の緩和過程を考察している。その結果、観測されたビームは、付与された速度分布から少しだけ緩和した極度に非平衡な状態にあること、電流波形は明らかに空間電場の影響を受けること、さらには、電流値の増大とともにビーム圧縮率が急激に低下することなどを明らかにしている。加えて、位相平面上での粒子の分布の発展を基にして、空間電場の影響のレベル（初期電流値）の増大に伴って圧縮率の低下率が焦点距離に依存する領域、さらには圧縮が停滞する領域があることを示している。さらには、これらの影響はビームパンチの縦方向に伝搬する空間電荷波による可能性が大きいことを指摘している。これらの結果を基に、高強度重荷電粒子ビームの生成に不可欠な最終段縦方向圧縮過程において、ビーム自身が形成する空間電場による縦方向速度分布の緩和（縦エミッタンスの増加）を評価することが、重粒子ビームの電力密度を向上させ HIF のドライバー級の高強度加速器システムを構築するうえで、重要であることを明らかにしている。

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、本論文は空間電場の影響を受ける荷電粒子ビームの物理に関する相似則を定義するとともに、スケールダウンした小型電子ビームシミュレータを用いて、高強度ビームの縦方向圧縮に伴う空間電場の影響を電流波形と位相平面上の粒子分布の進展を基に論じたものであり、高強度ビーム物理の分野の発展に大きなインパクトが期待され、理学的貢献するところが大きい。よって本論文は博士（理学）の論文として十分な価値があると認められる。