

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	創造エネルギー	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （理学）
学生氏名： Student's Name	酒井 泰雄		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	堀岡 一彦
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年の大電流粒子加速技術の進歩により高エネルギー密度科学と呼ばれる分野が大きく発展しつつある。バルク物質へのエネルギー付与によって高エネルギー密度状態を形成するには、ビームの運動エネルギーよりもフラックス(電流)を増加させることが重要になるため、大電流化を目指した新しい加速器科学が展開されようとしている。その中でも、縦方向圧縮はエネルギー付与ドライバーとしての荷電粒子ビームの大電流値化において重要なビーム操作である。ドライバーとしての荷電粒子ビームのパラメーターは、従来核物理実験などに用いられてきている高エネルギー加速器で生成・輸送されるビームと大幅に異なり、その振る舞いには空間電荷効果が大きく影響を及ぼす。これまでに構築されてきた希薄かつ準定常ビームの振る舞いを記述するビーム物理の枠組みを超えることが予測されてきた。特に、加速器最終段におけるバンチングによってビームの短パルス・高フラックス化をなす縦方向圧縮では、多くのビーム粒子が空間電場を介して複雑に相互作用することによるビーム品質の劣化（エミッタンス増大）と到達可能な圧縮率の低下が重要検討課題であると指摘されてきた。本研究ではスケーリング則に基づく小型の電子ビーム圧縮装置を用いた高強度荷電粒子ビーム縦方向圧縮動力学評価実験を提案するとともに、小型装置を構築した。小型装置における実験では、縦方向圧縮下のビームの時間発展をビームパービアンسと圧縮焦点距離の関数として調べた。パービアンスの増大によりビームの進展様式が明らかに変化すること、また、ピーク圧縮率の減少率が圧縮焦点距離に依存することが明らかとなった。また、実験的に得られた粒子フラックスの時間発展を粒子コードによる数値シミュレーションと比較検討することにより圧縮の動力学を分析した。ビームパービアンスの増大に伴う空間電場の増大が圧縮率を低下させることを明らかにするとともに、空間電荷効果の影響はパービアンスの関数として要素分解が可能なことを指摘した。

本論文は高強度の荷電粒子ビームの縦方向圧縮の動力学を明らかにすることを目的とし、本文は日本語で記述され全6章で構成されている。第1章では、高エネルギー密度科学分野と高強度荷電粒子ビームとの関連、検討課題を述べるとともに、本研究の位置付けを明確にする。続く第2章では、圧縮の動力学を検討するために必要な理論を示すとともに、大出力重イオンビームの生成に不可欠な操作である縦方向圧縮においては速度非平衡の緩和に伴うビーム品質の劣化が検討課題であることを指摘する。また、荷電粒子ビームの動力学はビームエンベロープ方程式を基盤にスケーリングパラメーターを選ぶことにより、電子ビームを用いた小型装置で模擬できることを示す。第3章、4章では、小型ビーム装置開発に関連し本研究で新たに構築した高精度誘導電圧重畳装置とレーザー駆動プラズマカソードに関して論じる。第3章では、ビームの速度変調器として高い再現性と波形制御性を両立した、ナノ秒以下のジッターでのパルス電圧発生を可能とした自爆型構造の固体スイッチを用いたパルス駆動電源回路の設計と、誘導電圧装置の繰り返し動作時出力特性を磁性体のコアヒステリシス特性と関連づけて議論する。第4章では、電子ビーム源として新規に開発した大電流かつ高品質電子ビーム源であるレーザー駆動プラズマカソードの設計を示す。また、通常の静止プラズマで得られるビーム電流密度より1桁以上高い供給電流が得られることを示すとともに、アブレーションプラズマの非等方な速度分布がイオン・電子ビームそれぞれの供給電流を決定づけていることを示す。第5章では、縦方向圧縮におけるビームの動力学を考察する。実験では、縦方向ビームパービアンスが1 - 30 mmの電子ビームの圧縮過程におけるビーム電流波形の発展を観測した。電流波形は明らかに空間電場の影響を受けるとともに、パービアンスの増大とともに圧縮率が低下することが明らかとなった。加えて、粒子コードシミュレーション結果との比較検討により位相空間上におけるビーム粒子分布の発展を分析した。空間電場が圧縮下のビームの振る舞いと圧縮率に及ぼす影響は、パービアンスの関数としてエンベロープの変調が支配的な領域と、バンチコア部の変調が支配的な領域に分類できうることを示す。第6章では、本研究により得られた結果をまとめ、結論とする。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 創造エネルギー 専攻
Department of
学生氏名： 酒井 泰雄
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (理学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 堀岡 一彦
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

Longitudinal compression is one of the most essential techniques for applications of the intense heavy ion beams to the high energy density sciences. However, degradation of the beam quality due to a beam interaction through the space charge field is a critical issue. In this study, we proposed a scaled down experiment based on a scaling law with beam envelope equation, and constructed a beam device based on a stacked induction voltage adder and a laser ablation plasma cathode. In the experiment, we investigated the intense electron beam dynamics during the longitudinal compression as a function of the beam longitudinal perveance and the focal length of the compression. We observed that the beam current waveforms clearly depends on the longitudinal perveance where the space charge parameter levels over unity. A numerical simulation based on a quasi one dimensional PIC code were also carried out, and the beam particle dynamics were also investigated. The results revealed that the space charge waves propagate into the beam bunch and dissipation process due to the plasma oscillation dominates the pulse duration and pulse shape of the beam bunch as a function of the perveance.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).