

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Theoretical Analysis of Emittance Growth for Intense Charged Particle Beam with Thermal Equilibrium Distribution During Longitudinal Pulse Compression
著者(和文)	菊池崇志
Author(English)	Takashi Kikuchi
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:乙第4136号, 授与年月日:2017年3月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:堀岡 一彦,河野 俊之,小栗 慶之,長谷川 純,林崎 規託,河村 徹
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4136号, Conferred date:2017/3/31, Degree Type:Thesis 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

(論文博士)

論文要旨 (和文2000字程度)

報告番号	乙 第	号	氏 名	菊池 崇志
(要 旨) 次世代のエネルギー源として期待される熱核融合反応に基づいた発電システムとして、重イオンビームを用いた慣性閉じ込め方式(重イオン慣性核融合)が検討されている。重イオン慣性核融合においては燃料標的の爆縮時間スケールに合わせて大強度の重イオンビームを生成するため、加速器システムの最終段でビーム進行方向に対して急激なパルス圧縮を行う。このような状況下では、荷電粒子ビームの挙動はエミッタンス(熱的な運動)が支配的な状態から、空間電荷効果が支配的な状態へ短時間で移行するため、ビームパラメータが動的に変化するとともに、多数の構成粒子が集団的に関与した複雑な軌道を描くため、既存の理論では予測が困難であった。 荷電粒子ビームは、同じ極性の電荷を持つ多数の粒子の集合体である。粒子ビームへ電場や磁場を印加して軌道を制御し、半径方向の大きさを維持しつつ、標的までビームを輸送する。外部から印加される閉じ込め場と、ビームの持つ熱的な運動とクーロン相互作用による反発力とが釣り合うことで、ビーム半径と内部の粒子分布が決定され、平衡状態が形成される。一定の閉じ込め力の下で形成された平衡な粒子分布が非線形な場を持つと、擾乱が生じたときにビームの電磁エネルギーが熱エネルギーへ転換され、異なる平衡状態が形成されるとともにエミッタンスが増加する。 本論文は、空間電荷効果に支配される状況下での荷電粒子ビームのエミッタンス増加を理論的に見積もることを目的としている。特に、単粒子軌道として振舞いを記述できる領域から空間電荷効果が支配的な状態へ動的に移行するビームの物理を理論的に取り扱うことを検討し、大電流ビームのパルス圧縮に伴うエミッタンス増加を解析的に見積もる方法を提案する。 第1章では、本論文の背景を述べる。重イオンビームの照射による慣性閉じ込めを利用する重イオン慣性核融合において、必要とされるビームのパラメータを紹介し、本論文で扱う荷電粒子ビームの特徴や重イオン慣性核融合システム実現に向けた問題点を示す。 第2章では、重イオン慣性核融合の最終段パルス圧縮過程を例として、粒子コードを用いた数値シミュレーションでビーム動力学を検討し、進行方向パルス圧縮に伴うビーム挙動やエミッタンス増加についての概要を示す。 第3章では、熱平衡が仮定できる粒子分布での潜在的なエミッタンス増加の解析的なモデルの構築について述べる。ビーム内部の熱的な運動エネルギーと空間電荷が作る電磁的なポテンシャルエネルギーとのバランスによって、平衡な粒子分布が決まる。空間的に非一様な粒子分布から生じる非線形な場が作る自由エネルギーを介して、ビームが持っている電磁エネルギーが熱的なエネルギーへ移行し、エミッタンスが増加するモデルを構築する。 第4章では、前章で導出した熱平衡分布での潜在的なエミッタンス増加モデルの近似解(フィッティング関数)を、空間電荷効果の度合を示す指標の関数として求める。得られた近似解より、空間電荷効				

果が支配的なビームパラメータにおいて、潜在的なエミッタンス増加が最大になる点を示す。

従来の潜在的なエミッタンス増加モデルは、ビーム半径が一定であることを条件に導出されてきた。一方で、重イオン慣性核融合の最終段パルス圧縮過程では、パルス圧縮に伴うビーム電流と電荷密度の増加によってビーム半径が増す。このため、第5章ではビーム半径が一定であるという仮定を用いずに、潜在的なエミッタンス増加を導出する。結論として、潜在的なエミッタンス増加はビーム半径の増加を考慮した場合でも従来モデルと変わらず、これまでに用いられてきている近似モデルで十分に見積もれることを示す。

前章まではビームの空間電荷効果の影響を表す指標によって、あるビームパラメータのときの潜在的なエミッタンス増加をモデル化してきた。一方で、重イオン慣性核融合の最終段では、パルス圧縮に伴い動的に空間電荷効果に変化する。このため、第6章では、動的に空間電荷効果の度合が変化する条件で、エミッタンスの発展を求める。また、見積もった動的なエミッタンス増加を、第2章で示した粒子コードを用いて算出した数値シミュレーション結果と比較する。

第7章では、前章で扱った動的なエミッタンス変化に対し、第3章と第4章で構築した熱平衡分布による潜在的なエミッタンス増加モデルを適用し、進行方向パルス圧縮過程で想定される動的な潜在的エミッタンス増加を見積もる。また、第2章で示した重イオン慣性核融合の最終段パルス圧縮過程での粒子コードを用いて求めた数値シミュレーション結果や、以前に行われた実験結果との比較を行い、本論文で提案したモデルの有効性を示す。

第8章では、空間電荷効果が動的に変化する状況下での荷電粒子ビームのエミッタンス増加に関する結果を総括し、本論文の結論を述べる。

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 1 copy 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).

(論文博士)

論文要旨 (英文)

(300語程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	菊池 崇志
(要 旨) Since space charge dominated beams are a many body system with strong interactions, the particles inside the beam behave complexly due to the Coulomb interactions with the applied external confinement force. For this reason, it is difficult to predict the particle orbits for the collective and the complex motions. Also, the beam parameters are changed with the beam manipulation by the longitudinal pulse compression in the final stage of particle accelerator complex for heavy ion inertial fusion. In this study, the possible emittance growth with a thermal equilibrium particle distribution is modeled theoretically. The statistical emittance is increased with the balance between the thermal and the electromagnetic energy densities of the beam, because the thermal equilibrium state is changed into another thermal equilibrium state during the beam parameter change. The emittance growth is driven by the nonlinear electromagnetic field induced by the nonuniform charged particle distribution. The static analysis of the possible emittance growth is described with the thermal equilibrium distribution. The possible emittance growth is indicated by the tune depression and the nonlinear field energy factor. The calculation procedure is also described without a constant radius approximation. The dynamic analysis of the possible emittance growth is carried out by using the nonlinear field energy factor at each initial particle distribution, and the estimations are compared to the numerical simulation results. The dynamic estimation of the possible emittance growth is modeled with the thermal equilibrium distribution. In comparisons with the numerical simulation and the experimental results, the proposed theoretical model is suitable to estimate the emittance growth during the longitudinal pulse compression.				

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).