

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	低エミッタンス電子銃システムのビームダイナミクス解析手法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	水野明彦
Author(English)	Akihiko Mizuno
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9524号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:堀田 栄喜,堀岡 一彦,長谷川 純,高山 健,林崎 規託
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9524号, Conferred date:2014/3/26, 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	水野 明彦	
論文審査員	氏 名	職 名	氏 名	職 名
	主査 堀田 栄喜	教 授	高山 健	連携教授
	堀岡 一彦	教 授		
	長谷川 純	准教授		
	林崎 規託	准教授		

本論文は「低エミッタンス電子銃システムのビームダイナミクス解析手法に関する研究」と題し、電子線形加速器の電子銃近傍におけるビームダイナミクス解析手法に関する研究成果についてまとめたもので、全7章から構成されている。

第1章「緒言」では、研究の背景と目的について述べている。すなわち、放射光源には低エミッタンスの電子源が要求されるため、電子銃部分の3次元ビームダイナミクス解析が非常に重要であるにも関わらず、これまで解析手法が十分には確立されていないことを指摘し、本論文の目的が、ビームエミッタンスを精度良く計算する新たな解析手法を開発し、今後のビームダイナミクス研究に資することであると述べている。

第2章「ビームダイナミクス解析の基礎理論」では、第3章以後で展開されるビームダイナミクス解析法に関し、RF電子銃を対象として、その基礎理論について論じており、本論文で扱っている相対論的電子ビームは、電子銃近傍の比較的低エネルギーかつ短バンチのビームであるとしている。

第3章「シミュレーションコードの開発」では、SPRING-8のRF電子銃用に新規に開発した3次元ビームトラッキングコードについて述べている。このコードは短パルス、高輝度電子源用に開発したものではあるが、任意の低エネルギー電子ビームに適用可能である。また、PIC (Particle in Cell) 法を採用し、マクスウェル方程式を有限要素法を用いて直接解く場合、3次元空間での大規模なシミュレーションには大量のメモリが必要で計算時間も長くなるが、このコードではPoint-to-Point法を採用し、各マクロ粒子間の相互作用を全て計算することにより計算時間を短縮しているとしている。さらに、カソードでの鏡像効果等を含んだビーム発生時の計算モデルを工夫することで、現実に即した計算を可能としている。

第4章「シミュレーションコードによるRF電子銃装置のビームダイナミクス解析」では、第3章で述べたシミュレーションコードを用いた解析により、電子銃空洞内部に関しては、エネルギーの初期RF位相依存性やバンチ圧縮の原理などの基本特性を明らかにしている。また、電子銃空洞下流のソレノイドコイル部では、エミッタンス補償原理が成り立っていることを示している。さらに、加速管によるビーム集束効果について述べている。次いで、高輝度低エミッタンス電子銃であるSPRING-8のRF電子銃について、電子銃空洞の構造的な非対称性およびレーザーの斜め入射がエミッタンスの非対称性およびその増大に与える影響を解析し、そのメカニズムを明らかにしている。また、加速管空洞でのRF電磁場によるエミッタンス増加のメカニズムはビームエネルギーに依らないことを明らかにしている。

第5章「多元連立ビームエンベロープ方程式」では、より正確なエミッタンスの計算を行うため、シミュレーション的手法と解析的手法を組み合わせた多元連立ビームエンベロープ方程式によるビームダイナミクス解析の新手法を提案している。ここで用いた手法は、電子バンチを長手方向および径方向に格子状に分割し、その各交点に電子を置き、各電子の軌道をエンベロープ方程式で解くものである。本手法とシミュレーションコードを相補的に用いることにより、粒子数依存性を排除しつつ、エミッタンスを2桁程度高速、かつ高精度で計算することを可能にしている。

第6章「多元連立ビームエンベロープ方程式を用いたスライスエミッタンス減少メカニズムの解析」では、電子銃直後のビームエミッタンスが空間電荷効果によって減少することを見出し、この現象について第5章で開発した多元連立ビームエンベロープ方程式を用いて解析し、そのメカニズムを明らかにしている。すなわち、ある条件下において、カソード直後では、カソード鏡像効果によってエミッタンスが減少し得ることを明らかにしている。また、RF電子銃空洞出口以降において、空間電荷効果を伴う非線形集束場によりエミッタンスの減少が起り得ることも明らかにしている。

第7章「まとめと今後の展望」では、研究成果を総括すると共に、今後の展望について述べている。

以上を要するに本論文は、低エミッタンス電子銃システムの開発に必要な不可欠なビームダイナミクスの解析のための3次元ビームトラッキングコードを新規に開発し、さらに新たな手法により高精度なビームエミッタンスの計算を可能としたもので、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価値あるものと認められる。