

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	守 屋 克 洋
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
<p>論 文 題 目</p> <p>Experimental Study of Low-Order Resonant Beam Instabilities in Circular Accelerators Using a Linear Paul Trap</p> <p>(線形ポールトラップを用いた円形加速器における低次共鳴不安定性に関する実験的研究)</p>			
<p>論文審査担当者</p> <p>主 査 教 授 岡 本 宏 己</p> <p>審査委員 教 授 世 良 正 文</p> <p>審査委員 教 授 栗 木 雅 夫</p> <p>審査委員 准 教 授 檜 垣 浩 之</p>			
<p>[論文審査の要旨]</p> <p>加速器が生み出す様々な種類の荷電粒子ビームは今日、多くの分野で積極的に活用されるに至っている。これに伴ってビーム利用者側からの要求が必然的に高度化しており、各方面で加速器の性能向上が喫緊の課題となっている。質の高い次世代ビームの安定供給を実現するには、加速器技術の発展は元より、ビームそのものの物理的性質に対する深い理解が必要不可欠である。しかしながら、荷電粒子ビームは非常に複雑な非線形多体系の一種で、その物理的性質の究明は理論的にも実験的にも難しいことが知られている。本論文の著者は、広島大学で開発された国際的にもユニークな小型実験システム“S-POD”(Simulator of Particle Orbit Dynamics)を用い、高性能ハドロン加速器で問題となる複数のビーム不安定化現象を詳しく調べた。加速器のパフォーマンスを強く制限する可能性の高い低次共鳴不安定性に着目した系統的实验を展開している。具体的には、次の二つのテーマに対して興味深い成果を上げている：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 円形加速器中の大強度ハドロンビームが示す、半整数チューン近傍での特異な集団運動の解明 ・ 円形加速器の動作点が整数共鳴不安定帯を横断する際のビーム損失過程モデリングとビーム損失量のパラメータ依存性評価 <p>前者は本論文の第5章、後者は第6章で議論されている。冒頭第1章で研究背景に触れた後、第2章で標準的なビーム力学の基礎を概観し、第3および4章はS-PODシステムの動作原理や主要構成要素の解説に充てられている。</p> <p>半整数共鳴は古くからよく知られた概念で、標準的な加速器の教科書には「ビーム収束用四重極磁石の磁場勾配誤差が原因で発生する」と書かれていることが多い。他方、過去のS-POD実験のデータから、半整数チューン近傍には発生機構が本質的に異なる二種類の</p>			

不安定性が存在するらしいことが指摘されていた。本論文において、著者は未解決だったこの問題に最終的な解答を与えている。それによると、観測された不安定帯の奇妙な二重構造は、通常の半整数共鳴（四重極振動モードの不安定性）に集団的な双極振動の不安定性が重なることによって形成される。この解釈の妥当性は、S-POD を使って得た様々な物理情報（ビーム断面の実空間形状や粒子損失率の時間発展、不安定帯のビーム密度依存性など）を通じ、疑問の余地なく確認されている。これら第 5 章の研究成果は米国のフィジカルレビュー誌に “Editors’ suggestion” として掲載された。

第 6 章の研究も高い一般性を有するが、著者はとくに非スケール型の固定磁場強収束加速器（NS-FFAG）を念頭に置いて議論を進めている。著者は、摂動的な高周波双極電場を付加的に導入することにより、整数共鳴横断現象のパラメータ依存性を多角度から検証した。まず整数共鳴上でのビームの振る舞いについて調べた後、加速器動作点が単一および複数の整数共鳴帯を横断した場合の粒子損失率のパラメータ依存性を明らかにしている。外部摂動の強度および共鳴横断速度と粒子損失率の関係、多重共鳴横断の際に一定の条件下で発生する不安定性の抑制効果、非線形外場によるチューンシフトの影響、理論的予言との比較など、今後の実機設計に役立つであろう多くの知見が得られている。

以上のように、本論文の著者は S-POD システムを駆使し、円形加速器における低次共鳴ビーム不安定性の理解に大きく貢献した。本研究のように極めて広いパラメータ領域をカバーした系統の実験は大型加速器に頼った従来の手法ではほぼ実行不可能で、この意味でも、著者が上げた成果は高く評価するに値する。よって、この著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。