

Title	Periodic Structure of an Ion-Related Vertical Instability in the KEK Photon Factory Electron Storage Ring
Author(s)	持箸, 晃
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3183827
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	もち はし あきら 持 著 晃
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 5 9 5 4 号
学位授与年月日	平成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Periodic Structure of an Ion-Related Vertical Instability in the KEK Photon Factory Electron Storage Ring (KEK-PF 電子蓄積リングにおけるイオンに関連した鉛直方向ビーム不安定現象の周期的構造)
論文審査委員	(主査) 教授 佐藤 健次 (副査) 教授 土岐 博 教授 畑中 吉治 教授 下田 正 教授 能町 正治

論 文 内 容 の 要 旨

KEK-PF 電子蓄積型加速器では、多数個のバンチを同時に蓄積する多バンチ運転時において鉛直方向ビーム不安定現象が観測されている。その現象を緩和するために、バンチを蓄積しない RF バケットの列（バンチギャップ）を設けた運転が行われており、そのため電子ビームは多数個のバンチからなる一本の列（バンチ列）をなして加速器内を周回している。観測されている不安定現象の源について完全な理解は得られていないが、その現象は加速器内の真空条件に依存するという特徴を持つ。すなわち真空が悪化すると不安定現象が激しくなり、逆に真空が改善すると抑制される。このことから、この現象は加速器内の残留ガスに関連した現象であると考えられる。

残留ガスに関連した現象として、電子ビームとガス分子との衝突によって生成された正イオンが電子ビームと相互作用する現象が挙げられる。生成された正イオンは電子ビームの電場によってローレンツ力を受けて運動し、ある条件を満たすイオンは定常的にビーム軌道付近に留まる。これをイオン捕獲現象という。その現象では、ビームに捕獲されたイオン集団（イオン雲）が生成する電場によってビームがローレンツ力を受け、ビームのベータトロン振動数（チューン）が変化する現象が起こる。

不安定現象を観測するため、本研究では光学結晶を用いた高速光シャッターシステムを開発した。そのシステムは 2 ns 以下で動作可能なため、KEK-PF 多バンチ運転時において特定の 1 バンチの放射光パルス“切り出す”ことができる。それと同時に、多バンチから発せられる放射光を観測することで個々のバンチのベータトロン振動を観測可能な光学的個別バンチ診断装置を新たに開発した。その装置を用いて KEK-PF 多バンチ運転時において個々のバンチのチューンを測定したところ、バンチ列先頭ではチューンがバンチ列に沿って増加し、後方では減少するという結論を得た。

バンチ列に沿ったチューンの変化を引き起こす原因としてイオン捕獲現象が挙げられる。イオン捕獲によるチューンの変化は古典的なイオン捕獲現象の理論 [1] で扱われているが、バンチ列に沿ったチューンの変化は扱われていない。一方、バンチ列通過によるイオン生成により、バンチ列に沿ってチューンが変化する現象を議論した理論モデル (Fast Beam-Ion Instability [2]) はあるが、そのモデルではバンチ列先頭でチューンが増加し後方で減少するという実験結果を説明できず、また定量的な一致も見られない。

そこで、本研究ではバンチ列通過によるイオン雲の運動に着目し、捕獲イオンのバンチ列に沿った密度変調を与える理論モデルを新たに考案した。そのモデルから、バンチ列に沿ったチューンの変化の理論値を求めて実験結果と比

較したところ、理論と実験により一致が見られた。

本研究によって、バンチ列通過によってイオン密度に過渡的な変調が起こり、バンチ列に沿ってチューンの構造が現われることが明らかとなった。

参考文献

- [1] Y. Baconnier, G. Brianti, CERN Internal Report No. CERN/SPS/80-2 (DI), 1980.
- [2] T. O. Raubenheimer, F. Zimmermann, Phys. Rev. E52, 5487 (1995).

論文審査の結果の要旨

粒子加速器において、大強度ビームの安定な加速や蓄積は、近年の重要課題の一つである。本研究では、放射光源の電子蓄積リングの大強度電子ビームの不安定性の原因はイオン捕獲現象であり、電子ビームのバンチ列の周期的構造に付随した過渡現象としてイオン密度の変調が起こり、ベータトロン振動がバンチ毎に変化するという理論モデルを提唱した。その検証のために、新たに、高速光シャッターと光学的個別バンチ診断装置を開発してこの現象を観測し、理論モデルとの定量的な一致を得た。本論文は、単に不安定現象の原因を解明しただけではなく、理論的にも周期的構造という新しい知見を示した点、博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。