

氏 名 Puneet JAIN

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1379 号

学位授与の日付 平成 22 年 9 月 30 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 加速器科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 NUMERICAL ANALYSIS OF THE MEASUREMENT
OF NEAR BEAM ELECTRON CLOUD DENSITY AT
KEKB LOW ENERGY RING

論文審査委員 主 査 教授 大見 和史
教授 福間 均
教授 金澤 健一
教授 鎌田 進
准教授 末次 祐介
教授 加藤 政博

論文内容の要旨

Title of Document: **NUMERICAL ANALYSIS OF THE MEASUREMENT OF
NEAR BEAM ELECTRON CLOUD DENSITY AT KEKB
LOW ENERGY RING**

Puneet Jain, PhD, 2010

Supervised By: Professor Hitoshi Fukuma, Department of Accelerator Science,
Sokendai

A large number of electrons called an electron cloud are accumulated in beam chambers in positron storage rings. These electrons interact with the beam and can make it unstable. The density information of the electron cloud near the beam is therefore fundamental for studying the beam instabilities and mitigation techniques related to the electron cloud. Recently a method to measure the density of the electron cloud near the beam is proposed by Kanazawa et al.. The method measures high energy electrons selectively by a retarding field analyzer located on a chamber wall, noting that the electrons near the beam get a strong kick by the beam. They calculated the density of the electron cloud simply assuming that the electrons that receive a kick are stationary.

We examined the measurement technique by a new computer code developed by us. The analysis showed that the volume near the beam occupied by the detected electrons, i.e. the observed volume, was strongly deformed due to the horizontal velocity of the electrons and nevertheless the observed volume calculated assuming the stationary electrons can still be used for calculating the density of the electron cloud in their measurement conditions. The modeling of electron cloud generation in a field-free region of KEKB LER (Low Energy Ring), analysis of the measurement, comparison of the measured density with simulations and a possible improvement in the design of electron monitor are presented in details.

博士論文の審査結果の要旨

Puneet Jain氏の博士論文が取り扱うのは、陽電子蓄積リングKEKB-LERにおける電子雲形成に関する、特にビーム周辺の電子雲密度評価とその実験的測定方法について注目した、シミュレーションに基づいた研究である。

KEKB-LERではビームパイプ壁で、陽電子ビームの発生する放射光により生成される光電子がビームにまとわりつきビームを不安定にするという現象が観測され、性能向上の阻害要因になった。この不安定性はビーム近傍の電子密度が、ある閾値を超えた際に生じる現象である。一定のビーム条件およびビームチェンバー環境(形状、光電子放出係数、2次電子放出係数)における、ビーム周辺の電子密度の測定方法を確立することは、SuperKEKB、ILCなど今後の加速器に大変有用と期待される。

陽電子ビームの通過時に、ビーム近傍の電子は著しく強く蹴られ、高エネルギーに加速される。KEKB-LERに設置された電子雲測定装置は、グリッド電極に電圧を掛けることで、高エネルギー電子(例えば1keV以上)のみを選択して測定することができる。この電子をビーム近傍で強く蹴られた電子と同定できれば、その数によりビーム近傍の電子密度を推定できる可能性がある。シミュレーションでビーム近傍のどれだけの領域(体積)の電子がモニターに捕捉されるかをしらべた。測定された電子量をシミュレーションで求めた体積で割れば、ビーム近傍の電子雲密度が判ることになる。このシミュレーション+測定から求めた電子雲密度と、ビーム条件およびビームチェンバー環境を考慮して、シミュレーションのみから求めた電子密度との比較から、電子雲の生成モデルおよび測定装置の動作原理に関する理解に矛盾が無いか確認できる。

シミュレーションは、マクロ粒子の運動方程式を解く手法で行われた。従来から行われているように、ビーム通過ごとに生成された光電子が電子雲自身の空間電荷力の影響を受けつつ陽電子ビームに引き寄せられる様子を再現している。いくつかのビーム条件およびビームチェンバー環境に対して電子密度を計算した。

次にビームキックによりビーム近傍の電子がモニターに捕捉される位相空間体積を同じシミュレーション手法により求めた。密度の推定に際して、位相空間体積は実空間体積に射影される。その射影作業では速度分布を積分するが、ビームが蹴る前の速度分布モデルに依存する可能性がある。その射影作業に関するモデル依存度を評価し、体積への寄与は10%程度であることを示した。

これらの研究はシミュレーションの測定への応用として、内容的に新しい点があり、本研究に関する論文が最近JJAPにアクセプトされている。

KEKB-LERにおいて、モニターに捕捉されるビーム電流毎の電子量測定値と、

シミュレーションにより求められた体積とを元に、電子雲密度が評価された。電子雲除去用ソレノイド磁石がない、ビームライン上の偏向磁石から23m下流のドリフトスペースにおいて、バンチ間隔6 ns、バンチ電流 1mAの条件で電子雲密度は 10^{12} m^{-3} 程度であることがわかった。全周にわたってこの密度であった場合、不安定性を引き起こすレベルであり、推測されていた電子雲密度と一致している。今後この方法を使い、リング内各部でビーム近傍電子雲密度を測定すれば、不安定性への対処に向け大きく寄与するであろう。

以上により審査委員全員が、Puneet Jain氏の研究は博士論文に値すると、判断した。