

氏 名 Demin Zhou

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1452 号

学位授与の日付 平成 23 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 Coherent Synchrotron Radiation and Microwave
Instability in Electron Storage Rings

論文審査委員 主 査 客員教授 横谷 馨

教授 大見 和史

教授 鎌田 進

教授 中村 典雄

准教授 陳 栄浩

グループリーダー 羽島 良一

(日本原子力研究開発機構)

論文内容の要旨

This thesis work was dedicated to investigating coherent synchrotron radiation (CSR) and microwave instability (MWI) in electron rings. CSR is an important issue in modern electron/positron storage rings, where short bunch length and/or low emittance are usually desired for particle physics or light sources. To better understand the physics of CSR, we developed a new computer code, CSRZ, for calculating CSR impedance for an arbitrarily curved chamber. The chamber has rectangular cross section. The CSR impedance can be calculated with boundary conditions of perfectly conducting walls or resistive walls. With low-level numerical noises and minimal numerical damping, the code is well suitable for the task of calculating CSR impedance in a series of bending magnets. With a tiny approximation on the geometry of the chamber, which was assumed to be wiggling in the code, CSRZ can also be used to calculate the longitudinal impedance due to coherent radiation in an undulator (CUR). Therefore, CSRZ fulfills another mission of calculating the CUR impedance in the wiggler sections of KEKB and SuperKEKB.

An analytic method originated by Y.H. Chin was available to calculate the longitudinal impedance due to CUR with rectangular chamber. The method used dyadic Green functions in electromagnetic theory and was rigorous for the case of straight chamber. Substantial alterations were, however, required in Chin's discussion in order to make it applicable to calculate the imaginary part of CUR impedance. Therefore we re-derived the theory and found the full expressions for CUR impedance. With shielding of chamber, the CUR impedance indicated resonant properties which were not seen in the theory for CUR in free-space. The analytic work also provided excellent benchmarking to the CSRZ code.

The last part of this thesis addresses MWI (Microwave Instability) in the KEKB low energy ring (LER), SuperKEKB LER and damping ring (DR). For each ring, the impedance of various components, including CSR, were collected and used to survey the MWI. A brief discussion was also presented to the code development for simulating MWI.

博士論文の審査結果の要旨

Demin Zhou氏の提出論文は、電子貯蔵リングにおけるコヒーレントシンクロトロン放射の計算、およびその応用としてマイクロ波不安定性への影響の評価にかかわるものである。貯蔵リングにおいても線形加速器においても、近年では従来にくらべて非常に短いバンチが要求されるようになっており、コヒーレントシンクロトロン放射の効果は避けて通れない問題となっている。Zhou氏の研究は、

- 1) 近軸光線近似に基づく独自の計算機コードの開発、
- 2) 単独の磁石、連なった磁石配列、ウィグラー磁石の場合についてのインピーダンスの計算、
- 3) 他の計算方法との比較、
- 4) 磁石の長さの効果・磁石間の干渉効果の議論、
- 5) 電子貯蔵リングにおけるマイクロ波不安定性に対するコヒーレントシンクロトロン放射の影響の考察

などにわたっている。

計算機コードのアルゴリズムは基本的にはすでに知られていたものであるが、種々の改良がなされている。結果は、他の方法で計算できるものについてはよく一致している。インピーダンスの計算においては、複数の磁石を通過する際に、別の磁石中で出されたコヒーレントシンクロトロン放射間の干渉効果が無視できないことを示した。磁石の数が増加するにしたがい共鳴の幅が磁石数に反比例して狭くなる現象がみられる。共鳴の位置はすでに知られている解析的公式とよく一致する。ウィグラーの場合についても、磁極の数が増加するにしたがって、インピーダンスは線スペクトルに近づく。

SuperKEKBにおいては、マイクロ波不安定性は重要な課題であり、コヒーレントシンクロトロン放射のインピーダンスからの寄与が主要部分を占めることが予想されている。Zhou氏は、KEKBの低エネルギーリングおよびSuperKEKBの減衰リングについて計算したインピーダンスを用いて不安定性を評価した。評価方法としては、シミュレーションによる方法と、不安定性の閾値の解析的公式を用いる方法がある。KEKB低エネルギーリングについては観測値が存在するが、計算結果はそれとは十分に一致していない。これは、知られているもの以外のインピーダンス源があることを示唆している。減衰リングにおいては閾値電流が設計電流の4分の1にしかならないことを示した。

本論文は、上記のようにいくつかの新しい結果をふくみ、かつ実際の加速器の設計・運転にも有用な寄与をすると考えられる

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