氏　名(本　籍)	横山　稔(愛媛県)
学位の種類	博　士(理　学)
学位記番号	博乙第 1,177 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
審査研究科	物理学研究科
学位論文題目	Studies on the Storage Ring NIJI-Ⅳ Dedicated to Free Electron Laser (自由電子レーザー専用蓄積リング NIJI-Ⅳの研究)
主　査	筑波大学教授　理学博士　玉野輝男
副　査	筑波大学教授　理学博士　谷津　潔
副　査	筑波大学教授　理学博士　福谷博仁
副　査	筑波大学教授　理学博士　古野興平

論文の要旨

本論文で述べる自由電子レーザー（FEL）専用の小型電子蓄積リング NIJI-Ⅳは，可視から紫外域の FEL 発振を目的としている。NIJI-Ⅳは6.3 m のオプティカルクライストロン（OK）が設置された7.2 m の長い直線部を有し，OK の長さとリングの周長比が非常に大きいので，小型でありながら高い FEL ゲインを得ることができる。最初，装置の運転開始に際して，蓄積リングの運転モードを確立するために，運転しやすい四極電磁石の磁場勾配が弱い設定値で運転し，次に，ビームの質が良いダブルアクロマティックな磁場勾配の設定に移行した。ここで四極電磁石の設定値は，OK 磁場を考慮してトランスファー行列を計算して決定されたもので，リング上でのベータートロン関数の測定値は，計算値と良く一致した。さらに四極電磁石の勾配値と OK の磁石間距離との関係の計算値と実験値が良く合うことを示し，OK 磁場がリングに与える影響を明らかにした。ビーム不安定性に関して，ビームサイズとバンチ長の測定から，運転条件を考慮し，単バンチ運転において蓄積電流値 8 mA 以下ではマイクロウェーブ不安定性は起こっていないことを，フルバンチ運転においてはカップルドバンチ不安定性によりビームサイズ，バンチ長ともに増大していることを明らかにした。ビーム寿命に関してフルバンチ運転においては残留ガスとの衝突によるビーム損失が，単バンチ運転においてはタウシェック効果によるビーム損失が主原因となっていることを示した。このタウシェック効果によるビーム減衰率は，一つの方法として，タウシェック効果の理論計算式を用いてビーム減衰率を算出して求め，もう一つの方法として，測定された全減衰率から残留ガスによる減衰率を差し引くことにより求めた。この二つの方法によりほぼ等しい値を得ている。また，FEL 発振中は，FEL 発振により平均的なビームエネルギー分散が増加し，バンチの電子密度が低下することによりビーム寿命が長くなることも明らかにした。

リングへの電子ビーム蓄積効率を向上させる可能性のある単バンチ入射法の研究のために，単バンチ入射システムを，リングへのデンシビーム入射器であるリニアックに設置した。このシステムはリング内の16の RF バケットの一つに短パルスビームを入射することができ，単バンチ入射により 1 回の入射で数パルスのビームを入射することができる。蓄積効率が最適なパルス数はトランスファー行列を用いた計算で求め，NIJI-Ⅳでは従来の 1 μs のビームを用いた場合の蓄積効率と比較して非常に高い蓄積効率を得た。しかしながら，単バンチ入射法による蓄積電流値は 1 mA で，これは RF ノックアウトを用いた単バンチ運転における最大蓄積電流値15 mA と比較して非常に小さい。この原因としてヘッドテイル不安定性が考えられ，NIJI-Ⅳの条件で放射光減衰の減衰率

とヘッドテイル不安定性の成長率から求めた制限電流値は約1 mAで，測定値と良く一致する。これから単バンチ入射による蓄積電流値の制限はヘッドテイル不安定性によると結論した。他方，フルバンチ運転においては，この電流値制限が観測されておらず，カップルドバンチ不安定性によるランダウ減衰により，ヘッドテイル不安定性の成長率が抑えられているものと結論した。

審　査　の　要　旨

本論文は，自由電子レーザー専用蓄積リングNIJI-Ⅳのビーム特性と，レーザー発振特性を明らかにしている。まず，装置立ち上げに当たって，最初運転しやすい磁場勾配の弱い条件で運転し，次に本来の磁場勾配の設定に移行する方法により，比較的容易に蓄積リングの運転モードを確立することができた。この後，この方法は他の装置でも採用されている。次に，ビームの到達電流値ならびにビーム寿命がビームの不安定性により決められていることと，その不安定性を明らかにした。さらに，ビーム蓄積効率を向上させる可能性のある単バンチ入射法の研究を行い，蓄積効率の向上は達成したが，最大蓄積電流値は期待した値より小さかった。この原因として，ヘッドテイル不安定性により電流値が制限されたものであることを明らかにした。本論文の装置設計手法と，実験，解析結果は，NIJI-Ⅳの運転パラメータの向上に貢献するばかりでなく，他の蓄積リングを用いたFEL装置の設計，ならびに性能向上に大きく貢献するものと高く評価される。

よって，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。