

ビームスクレーパによる電子蓄積リングのビーム寿命評価

金安達夫, 高林雄一, 岩崎能尊, 江田茂
九州シンクロトロン光研究センター

SAGA-LS の 1.4 GeV 電子蓄積リングのビーム寿命を理解することを目的として, ビームスクレーパを用いた実験研究を進めている. 一般的に蓄積リングを周回する電子は, 残留ガス分子との衝突散乱(真空寿命), Touschek 効果, 量子寿命によって失われる. SAGA-LS 蓄積リングはエミッタンスが比較的 low, かつ, ビームエネルギーもそれほど高くはないため, ユーザー運転時のビーム寿命は Touschek 効果が支配すると推定されている. 要因別ビーム需要の評価は蓄積リングの運転状況に対する認識の検証に加え, 汎用的な加速器診断ツールとしても有用性が高いと期待される.

ビームスクレーパは四本の円筒形状ロッドで構成され, 水平・垂直方向のアパーチャを自在に制限することができる. 本研究では電子損失レートのアパーチャサイズ依存が要因ごとに異なることを利用し, スクレーパ挿入時のビーム寿命の減少曲線から要因別のビーム寿命を評価した. 本手法の大きな特徴は, 各種真空寿命の評価に加え, 水平方向スクレーパによる蓄積リングの運動量アクセプタンスの縮小を利用して Touschek 寿命の実験的評価を実現したことである. 寿命評価実験の結果, スクレーパを用いた手法はビーム寿命の分離評価へ有効とわかった. またユーザー運転時のビーム寿命は Touschek 効果が支配的であった. 真空寿命の寄与は少ないが, その中では制動放射による電子損失が主要とわかった.

(メモ)

ビームスクレーパによる電子蓄積リングのビーム寿命評価

金安達夫, 高林雄一, 岩崎能尊, 江田茂
九州シンクロトロン光研究センター

はじめに

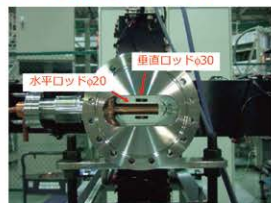
SAGA-LSの1.4 GeV電子蓄積リングのビーム寿命を理解することを目的として、ビームスクレーパを用いた実験研究を進めている。SAGA-LS蓄積リングはエミッタンスが比較的低く、さらにビームエネルギーもそれほど高くないことから、ユーザー運転時のビーム寿命はTouschek効果が支配すると推定されている。

本研究ではビームスクレーパを用いて、ビーム寿命に対する各種の電子損失要因の寄与を評価した。要因別ビーム寿命の評価は、蓄積リングの運転状況に対する認識の検証に加え、汎用的な加速器診断ツールとしての有用性も高いと期待される。

研究目的

- SAGA-LSリングの寿命制限要因の理解
- 要因別ビーム寿命の評価手法の確立

ビームスクレーパ



- 四象限タイプ：水平・垂直方向のロッド4本で構成
- ロッド挿入によりリングのアーバチャを制限
- リング直線部LS6に設置

スクレーパの影響

ビーム寿命のモデル関数

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_M} + \frac{1}{\tau_B} + \frac{1}{\tau_T}$$
$$= \frac{A_R P}{\theta_c^2} + \frac{A_M P}{\theta_c^2} + A_B P \left\{ \frac{4}{3} \ln \frac{1}{(\Delta p/p)_c} - \frac{5}{6} \right\} + \frac{1}{\tau_{T0} F(a_\kappa)}$$

定数項(A_{R,M,B})

残留ガス分析結果を用いて決定

臨界散乱角と運動量アクセプタンス
デザインパラメータで評価

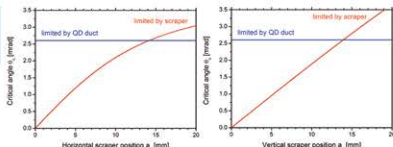
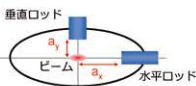
フィッティングパラメータ

ロッド引き抜き時のタウ
シエック寿命： τ_{T0}
平均圧力： P
ロッドオフセット

臨界散乱角

- ロッド引き抜き時はQDダクトが臨界角を制限

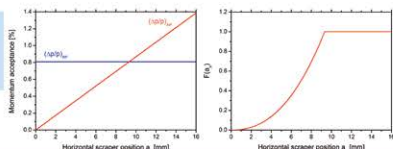
$$\frac{1}{\theta_c^2} = \max \left[\frac{\beta_x \beta_y(s)}{2a_x(s)^2} + \frac{\beta_y \beta_x(s)}{2a_y(s)^2} \right]$$



運動量アクセプタンス

- ロッド引き抜き時はRFバケットハイトがアクセプタンスを制限
- 横方向の運動を通じて水平ロッドが運動量アクセプタンスを制限

$$(\Delta p/p)_{\text{acc}}(s) = a_\kappa \tilde{H}(s)$$
$$\tilde{H}(s) = \sqrt{\frac{\eta(s)^2 + (\alpha_x(s)\eta(s) + \beta_x(s)\eta'(s))^2}{\beta_x(s)}} + \eta$$



ビーム寿命の評価方法

電子ビームの損失要因と寿命

タウシエック効果・・パンチ内電子・電子散乱
ガス散乱・・・残留ガス分子との衝突

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{\text{gas}}} + \frac{1}{\tau_T}$$

τ : ビーム寿命, τ_{gas} : ガス散乱寿命, τ_T : タウシエック寿命

寿命測定と解析方法

測定

- ロッド位置の関数としてビーム寿命を測定
- 水平(左右), 垂直(上下)ロッドを使い4セットのデータ

寿命解析

- ロッド挿入の影響を設計パラメータをベースにモデル化
- モデル関数を用いて寿命測定値を曲線フィット

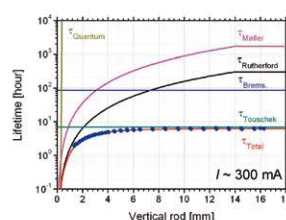
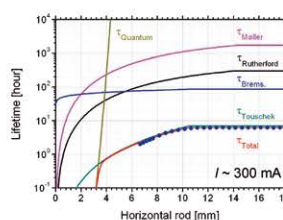
スクレーパによる寿命の制限

損失過程		スクレーパロッドによる制限
ガス散乱	Rutherford散乱	臨界散乱角 (水平・垂直ロッド)
	Møller散乱	
	制動放射	運動量アクセプタンス (水平ロッド)
タウシエック散乱		

測定結果

要因別ビーム寿命

- 水平ロッド挿入時はタウシエック効果により寿命減少
- 垂直ロッド挿入ではガス散乱による寿命減少が主要
- タウシエック寿命のカップリング依存性を確認



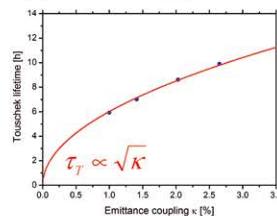
ユーザー運転条件のビーム寿命

損失要因	寿命 [hour]
Rutherford散乱	290
Møller散乱	1600
制動放射	80
Touschek効果	7.0
Total	6.3

*ビーム電流~300 mA

*エミッタンスカップリング~1.4%

カップリング依存性



まとめ

- ガス散乱寿命とタウシエック寿命の寄与を決定
- SAGA-LSのビーム寿命はタウシエック効果が支配的
- リング真空やマシンパラメータの理解へも有用