

## SAGA-LS 電子蓄積リングのビーム寿命の制限要因

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 Light Source (SAGA-LS)の 1.4 GeV 電子蓄積リングのビーム寿命の理解を目的として, ビームスクレーパを用いた研究を進めている. 一般的に蓄積リングを周回する電子は残留ガスとの衝突(真空寿命)やタウシェック効果によって失われる. SAGA-LS 電子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無いため, 放射光ユーザー利用時のビーム寿命はタウシェック効果が支配すると推定されていた.

ビームスクレーパは蓄積リングの直線部に設置されており, 四本の円筒ロッドを用いて水平・垂直方向のアーチャーを制限することができる. ロッド挿入時の電子損失率の増加傾向が要因毎に異なることを利用し, ビーム寿命の減少曲線から各種要因の寄与と蓄積リングの残留ガスの平均圧力を求めた.

ビーム寿命の実験的評価は蓄積電流数十 mA から 300 mA の範囲で行った. ユーザー運転条件のビーム寿命はタウシェック効果が支配的であり, 真空寿命の寄与は少ないが, その中では制動放射による損失が主要であった. 寿命解析で求めた蓄積リングの平均圧力は, 真空計による平均測定値に比べファクター 2 程度高い値となったが, ビーム電流に対しては概ね比例している. また要因別寿命のビーム電流依存性には, 真空寿命とタウシェック寿命の特性の違いが明確に現れた. 真空寿命の測定値は  $\tau$  (ビーム電流と寿命の積) が一定の曲線に乗るのにたいし, タウシェック寿命についてはビーム電流の増加に応じて  $\tau$  一定の関係から外れる. これはバンチ体積がビーム電流に依存する効果として理解される.

---

# SAGA-LS電子蓄積リングのビーム寿命の制限要因

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 1.4 GeV電子蓄積リングのビーム寿命の制限要因の理解を目的として、ビームスクレーパを用いた実験研究を進めている。SAGA-LSリングはエミッタンスが比較的低くビームエネルギーも高くはないため、ビーム寿命はタウシェック効果が支配的と推定されていた。スクレーパロッドの挿入による電子損失率の増加傾向が要因毎に異なることを利用し、ビーム寿命の減少曲線から各種要因の寄与と蓄積リングの平均圧力を求めた。

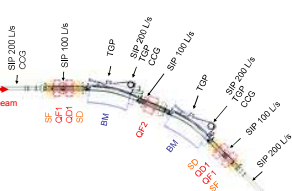
### 研究目的

- SAGA-LSリングのビーム寿命の制限要因の理解
- 電子蓄積時の真空特性の理解

## SAGA-LS電子蓄積リング

主要パラメータ	
最大エネルギー	1.4 GeV
周長	75.6 m
Natural emittance	25.1 nm-rad
初期ビーム電流	300 mA
ビーム寿命	$i\tau \sim 1500$ mA-h
真空計	CCG (24)
Main pumps	SIP (56), TGP (32)

### 1セルの構成



## スクレーパの影響

### ビーム寿命のモデル関数

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

$$= \frac{A_R P}{\theta_c^2} + \frac{A_M P}{\theta_c^2} + A_T P \left[ \frac{4}{3} \ln \frac{1}{(\Delta p/p)_c} - \frac{5}{6} \right] + \frac{1}{\tau_{vac} F(a_s)}$$

### フィッティングパラメータ

ロッド引き抜き時のタウシェック寿命:  $\tau_{T0}$   
平均圧力:  $P$

### 臨界散乱角 $\theta_c$ と運動量アクセプタンス $(\Delta p/p)_c$

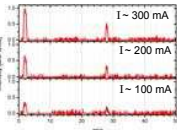
- 蓄積リングのラティス関数(設計値)を用いて決定

### 定数項 $(A_R, M, T)$

- 散乱断面積(理論式)と分圧比(測定値)を用いて決定

### 残留ガス分析

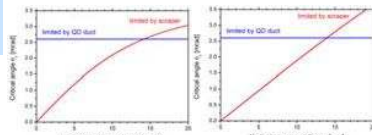
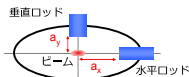
- 四重極質量分析による測定
- ビーム蓄積中の残留ガス分圧  $H_2:CO=7:3$



### 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

$$\frac{1}{\theta_c^2} = \max \left[ \frac{\beta_x \beta_y(s)}{2\alpha_x^2(s)}, \frac{\beta_x \beta_y(s)}{2\alpha_y^2(s)} \right]$$

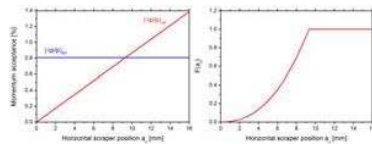


### 運動量アクセプタンス

- ロッド引き抜き時はRFバケットハイトが制限
- ロッド挿入時には横方向の運動を通じて水平ロッドが制限

$$(\Delta p/p)_c(s) = a_x/H(s)$$

$$H(s) = \sqrt{\beta_x \frac{d^2(a_x^2 + \alpha_x^2)}{ds^2} + \beta_x \frac{(da_x/ds)^2}{\alpha_x^2} + \gamma(s)}$$



## ビーム寿命の評価方法

### 電子ビームの損失要因とビーム寿命

タウシェック効果・バンチ内電子・電子散乱  
ガス散乱・電子と残留ガス分子との衝突

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

$\tau$ : ビーム寿命,  $\tau_{gas}$ : ガス散乱寿命,  $\tau_T$ : タウシェック寿命

### スクレーパによるビーム寿命の減少



損失過程		ロッド挿入による制限
ガス散乱	Rutherford散乱	臨界散乱角 (水平・垂直ロッド)
	Moller散乱	
	制動放射	運動量アクセプタンス (水平ロッド)
タウシェック散乱		

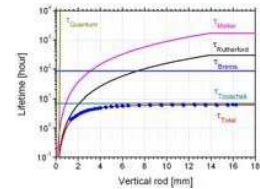
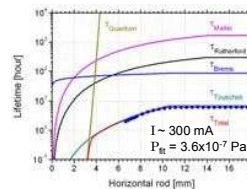
### 電子損失要因と平均圧力の解析

- 水平・垂直ロッド位置の関数としてビーム寿命を測定
- 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ビーム寿命の測定値を曲線フィット

## 測定結果

### ユーザー運転条件

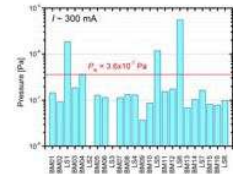
- $i \sim 300$  mA, マルチバンチ100/126 filling,  $\kappa \sim 1.4\%$
- モデル関数は測定結果をよく再現。タウシェック効果が支配的。



### ビーム寿命内訳

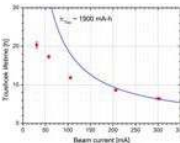
損失要因	寿命 [hours]
Rutherford散乱	170
Moller散乱	980
制動放射	50
Touschek効果	6,6
Total	5,6
Touschek効果(計算値)	22

### 平均圧力とCCG測定値の比較

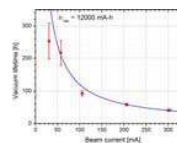


### ビーム電流依存

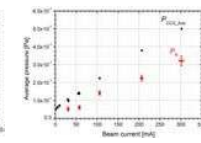
#### タウシェック寿命



#### 真空寿命



#### 平均圧力



### まとめ

- タウシェック寿命と真空寿命の寄与を特定
- 蓄積リング平均圧力はビーム電流に対しては概ね比例
- タウシェック寿命と真空寿命のビーム電流依存性