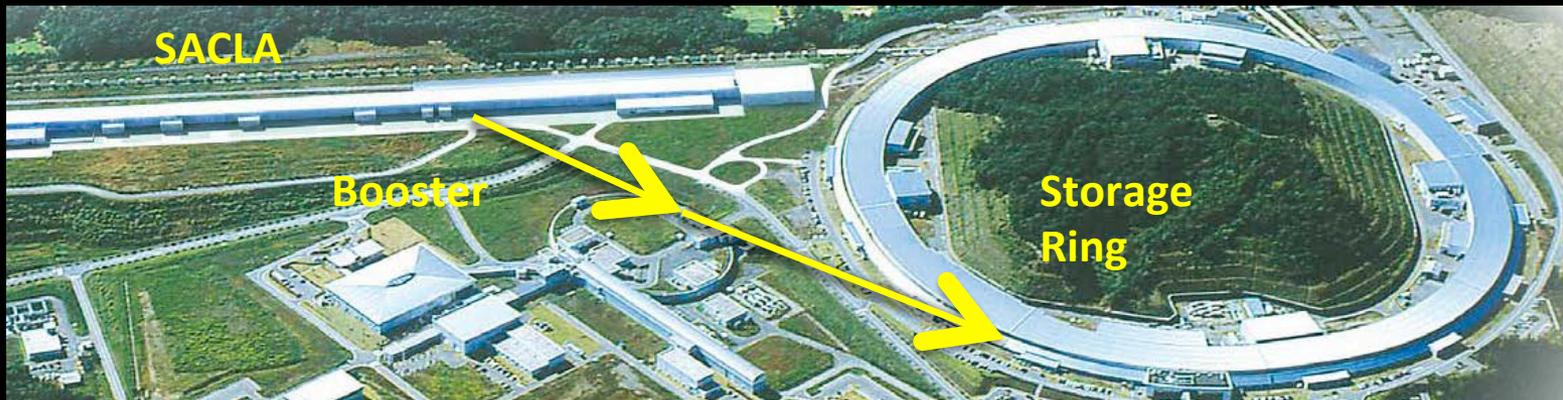
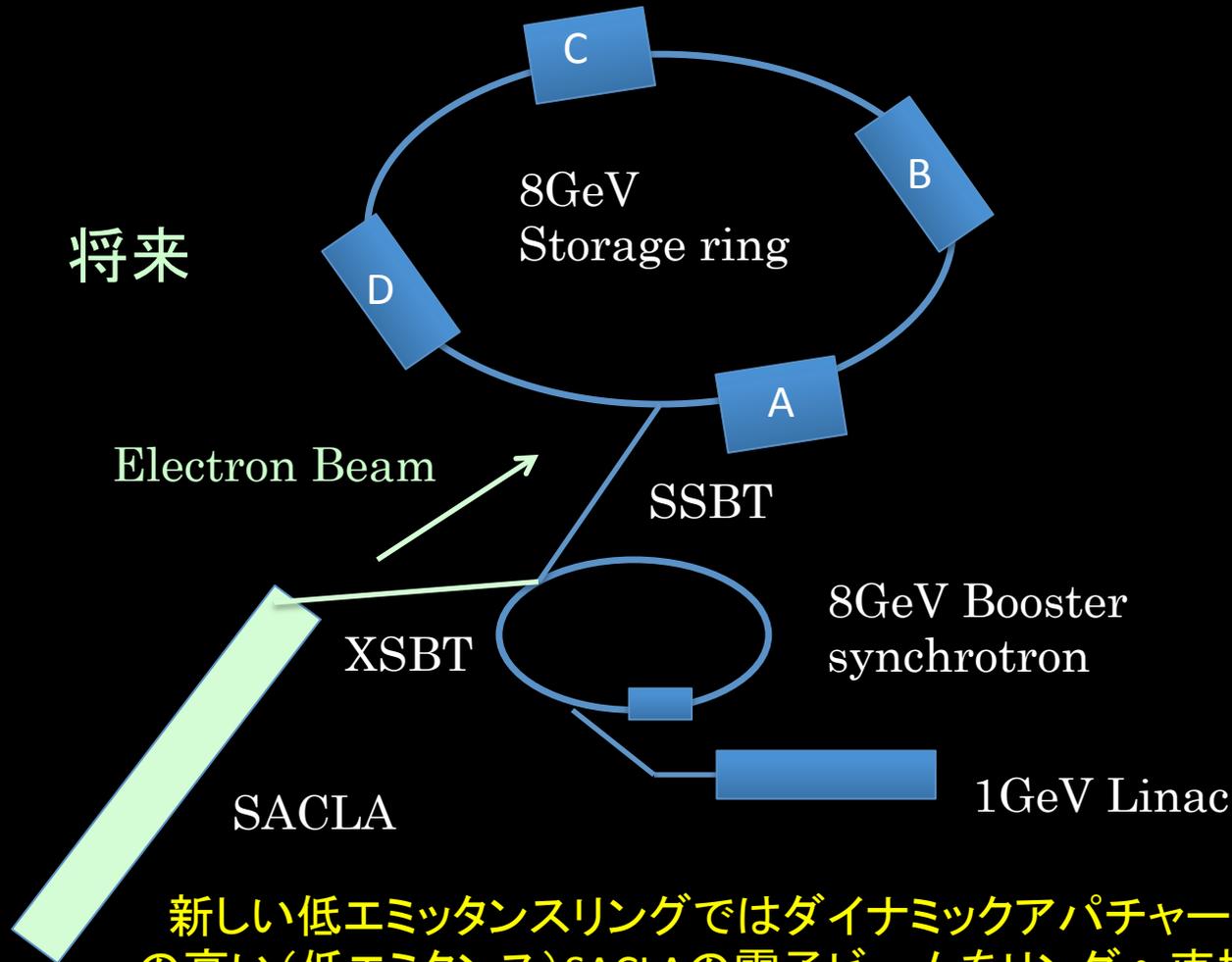


# SPring-8 II へのSACLAからの の直接入射

理化学研究所  
大竹雄次、スプリング8を代表して



# SACLAからSPring-8-IIリングへの 電子ビームの入射



新しい低エミッタンスリングではダイナミックアパチャーが狭いので、輝度の高い(低エミッタンス)SACLAの電子ビームをリングへ直接入射することを想定している。

# 入射システムの設計にあたって

## 目的

SACLAレーザー運転と共存しつつ、SPring-8 II蓄積リングへビームを安定に入射できるシステムの構築。

## 条件・要求性能

- SACLAのレーザー性能を維持する。
- 0 mAからの通常入射は10分程度で行う。  
例えば、蓄積リングの総電荷量は約500 nCの場合、100 pC-10 Hzの入射で500 secが必要になる。
- トップアップ入射時の入射効率99%以上にする。  
蓄積電流100 mA、ライフタイム10時間で、トップアップには13 pC/sec必要である。

# リング入射時の電子ビームの条件 XSBT,SSBTのビーム輸送に課せられるもの

- 輸送でビームを落とさず入射する(ロスの低減)。
- エミタンスなどのビームの質を、SACLAからの出射とリングへの入射まで可能な限り維持する。
- リングの任意バケットへSACLAの単バンチビームを入れる事ができるようにする。リングの加速高周波とSACLAの加速高周波の同期が必要(タイミング同期)。

# 入射効率を99%以上にするための条件(暫定)

蓄積リングのダイナミックアパーチャ

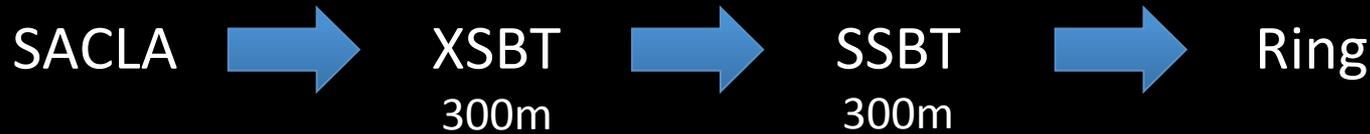
入射点の水平ベータが25 mの時、最大許容入射ビーム振幅は $\pm 10$  mm.

但し以下の余裕を考慮する必要がある。

- 入射点ベータが小さくなるかもしれない。
- 入射ビームベータ mismatch による広がり。
- エネルギー広がり と誤差 に対する余裕。
- ダイナミックアパーチャ計算値や機器の設置誤差に対する余裕。
- セプトム壁設計に対する余裕。
- 入射ビーム軌道のふらつきに対する余裕 (0.1 mm程度)。

以上を勘案し、当面は目標入射ビーム振幅は最大値の1/3である $\Delta x < \pm 3.3$  mmとする。

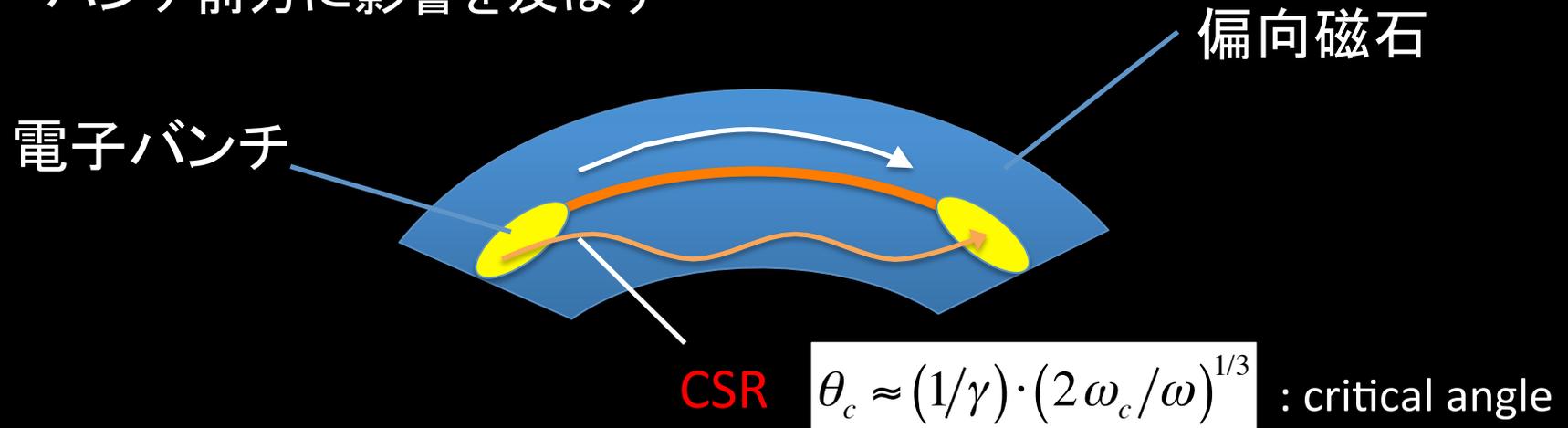
# SACLAからリングまでのビーム品質劣化検討項目



電子バンチに  
影響を与える効果

- Wakefield
- Space charge
- Incoherent synchrotron radiation (ISR)
- **Coherent synchrotron radiation (CSR)**
- Misalignment etc...

**CSR:** バンチ後方の電子が発したCSRが偏向磁石内で  
バンチ前方に影響を及ぼす



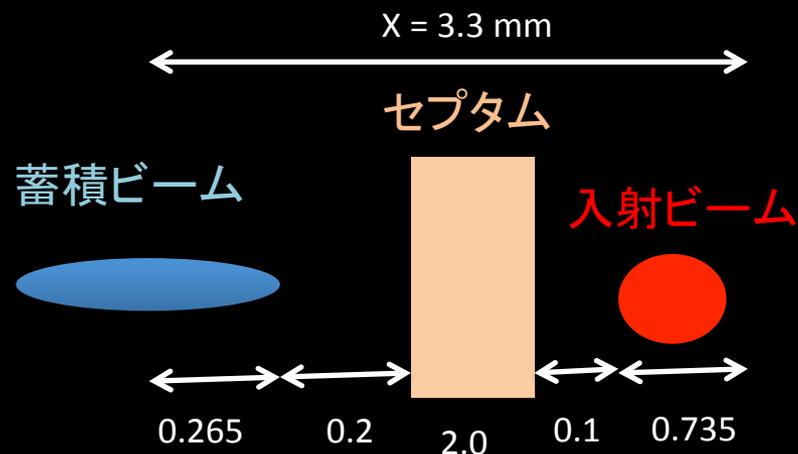
# 入射時の損失低減のためのエミッタンスに対する要求

セプタム壁を2 mm、蓄積ビーム側余裕(セプタム長さに対し)0.2 mm、入射ビーム側余裕(合流点)0.1 mm、蓄積ビームエミッタンス150 pm-radを仮定。

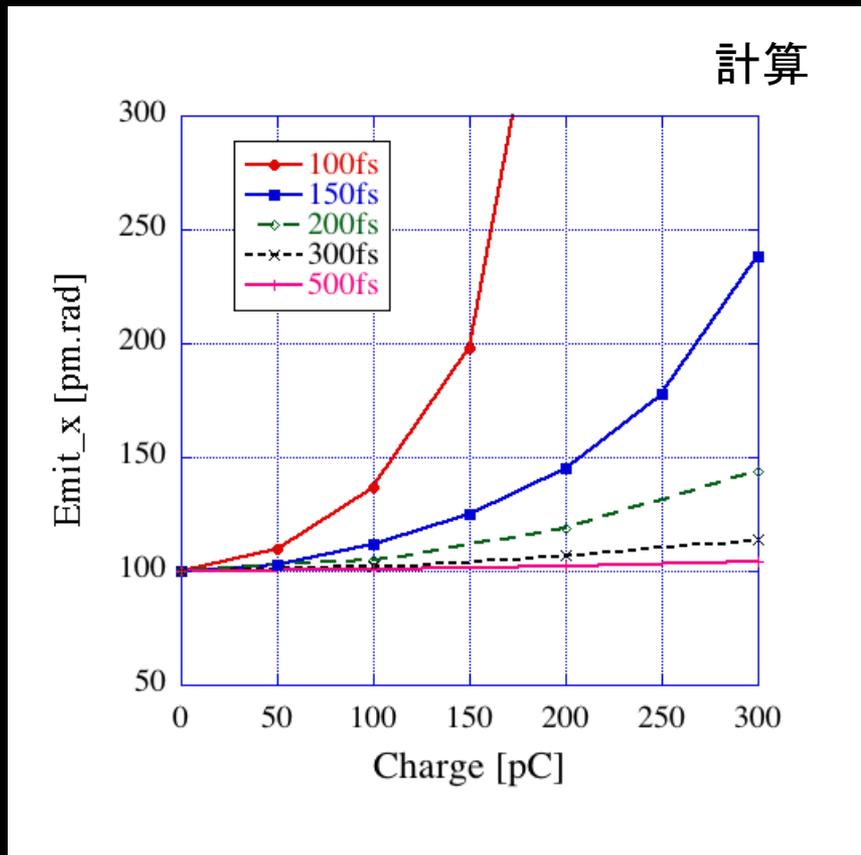
入射バンチ電荷量を100 pC、蓄積ビームバンパ軌道の時間幅1 $\mu$ s、入射時にバンパ軌道を約500バンチ(125nC)が通過する条件で、

1. 蓄積ビームのロスを1 pC以下に抑えるためには、 $1 \text{ pC}/125 \text{ nC}=8 \times 10^{-6}$ 以下の損失にしなければならない。セプタム壁に衝突することによる蓄積バンチのロスを1 pC以下するためには  $\rightarrow$  ビームサイズの片側で  $\sigma > 4.32$  までビームを通さなければならない。
2. 入射バンチのロスを0.1 pC以下に抑えるためには、 $0.1 \text{ pC}/100 \text{ pC}=10^{-3}$ 以下の損失にしなければならない。セプタム壁に衝突することによる入射ビームのロスを0.1 pC以下にするには  $\rightarrow$  ビームサイズの片側で  $\sigma > 3.1$  までビームを通さなければならない。

入射ビームサイズは $\sigma_x=0.118 \text{ mm}$ 以下、エミッタンスは562 pm以下、6 GeVで規格化エミッタンスは6.6 mm-mrad以下となる。



# 電子の電荷量・バンチ幅に対するエミッタンスの増加



入射エミッタンスは100pm.radに保ちつつ、バンチ長と電荷量を変えた場合のEmittance growth (SACLA → Syダンプ)

100pC/bunchの場合、バンチ長が100fsでもエミッタンスは2倍にもならない

バンチ幅の長くすることは、エミッタンスの悪化を防ぐためには有効である。

エミッタンスの増加原因は、マイクロバンチ構造、マイクロチャープ構造の影響の可能性 etc

この事実を検証するためには

➡ 実験、解析の両者から検討の精度を高める必要がある。

# 電子ビームの質を維持するための案

尖塔電流を減らすことがビームのエミタンスの劣化を防ぐための処方箋であるとした場合。

- SACLAにおける6 GeV低ピーク電流バンチ生成する。
  - SBの1ユニットをoffにする(SACLAのバンチ圧縮を低減)。
  - RF位相を入射バンチに対して変える(SACLAのバンチ圧縮を低減)。
  - XSBT上流でR56を発生させバンチを伸ばす。
- XSBTの最適化
  - CSRや自発放射の影響を最小にする。
  - R56を変えてバンチ長制御の自由度を増やす。
  - システムティックなエネルギー偏差に対する影響を最小にする。

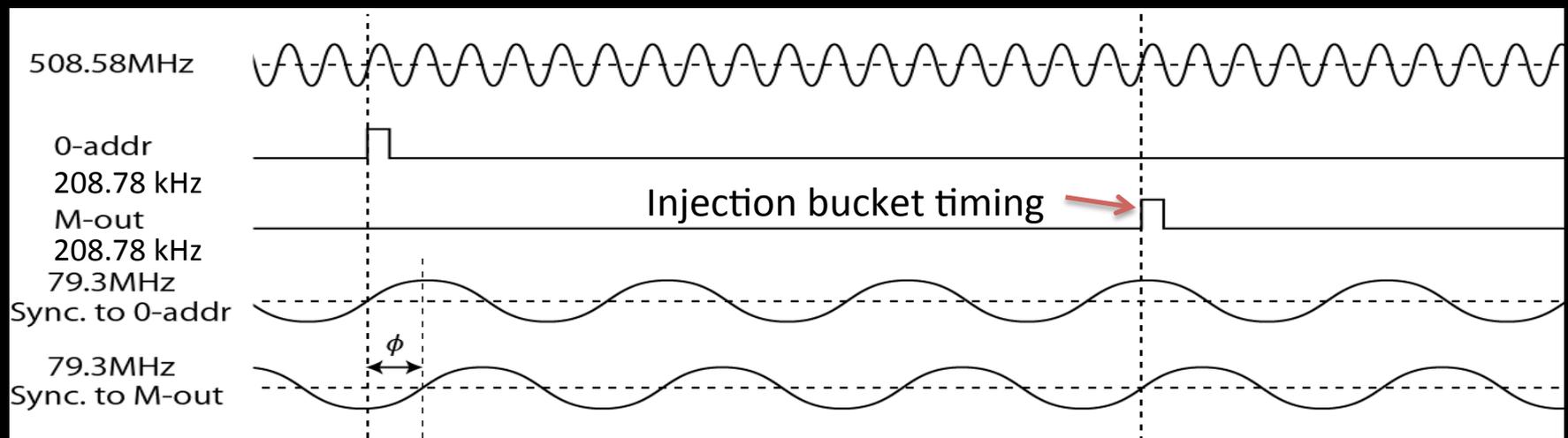
# SPing8-II と SACLAのタイミング関係

## SACLA リニアック

- 加速周波数は、79.3 MHz (79,333,320 Hz)の整数倍である.  $5712\text{MHz} / 72 = 79.3\text{ MHz}$
- 機器のトリガーパルスは、商用電源の周波数(60 Hz) と主リニアックの加速周波数5712 MHzに同期している。

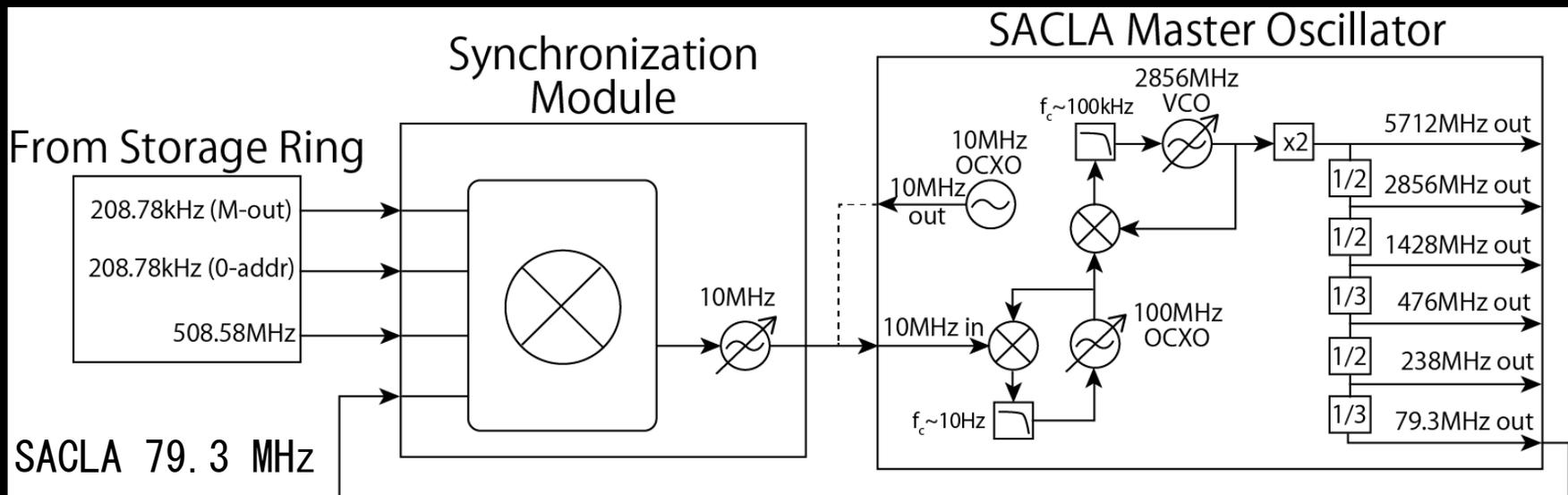
## SPring-8 蓄積リング

- 加速周波数は508.58 MHz. ビームの旋回周波数は208.78 kHz.  $508.58\text{ MHz} / 2436 = 208.78\text{ kHz}$
- 整数関係が乏しい.なので、電子ビームの入射のたびに能動的に同期させるしかない.ので難しい。要求される入射の時間精度は1 ps in rms である。



# SPing8-II と SACLAの入射タイミング同期

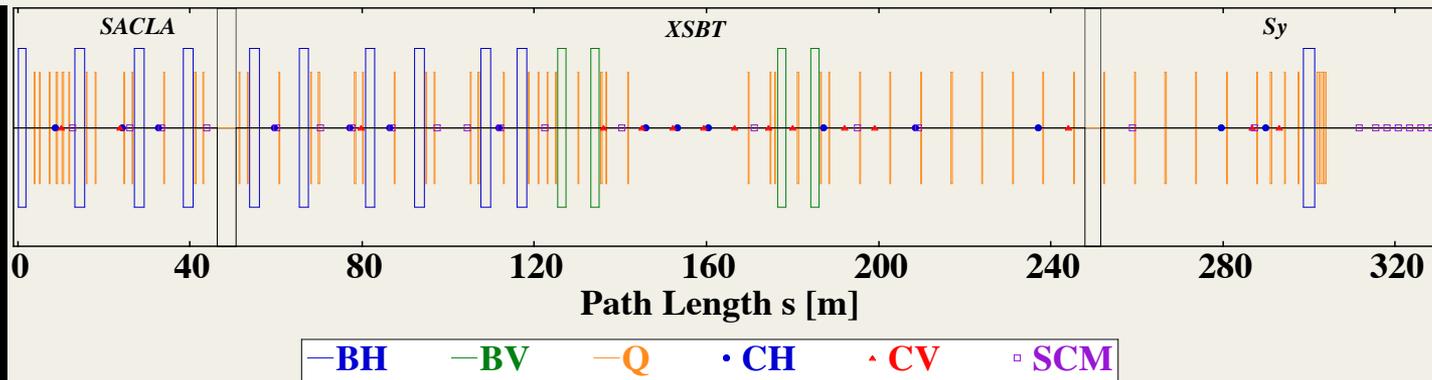
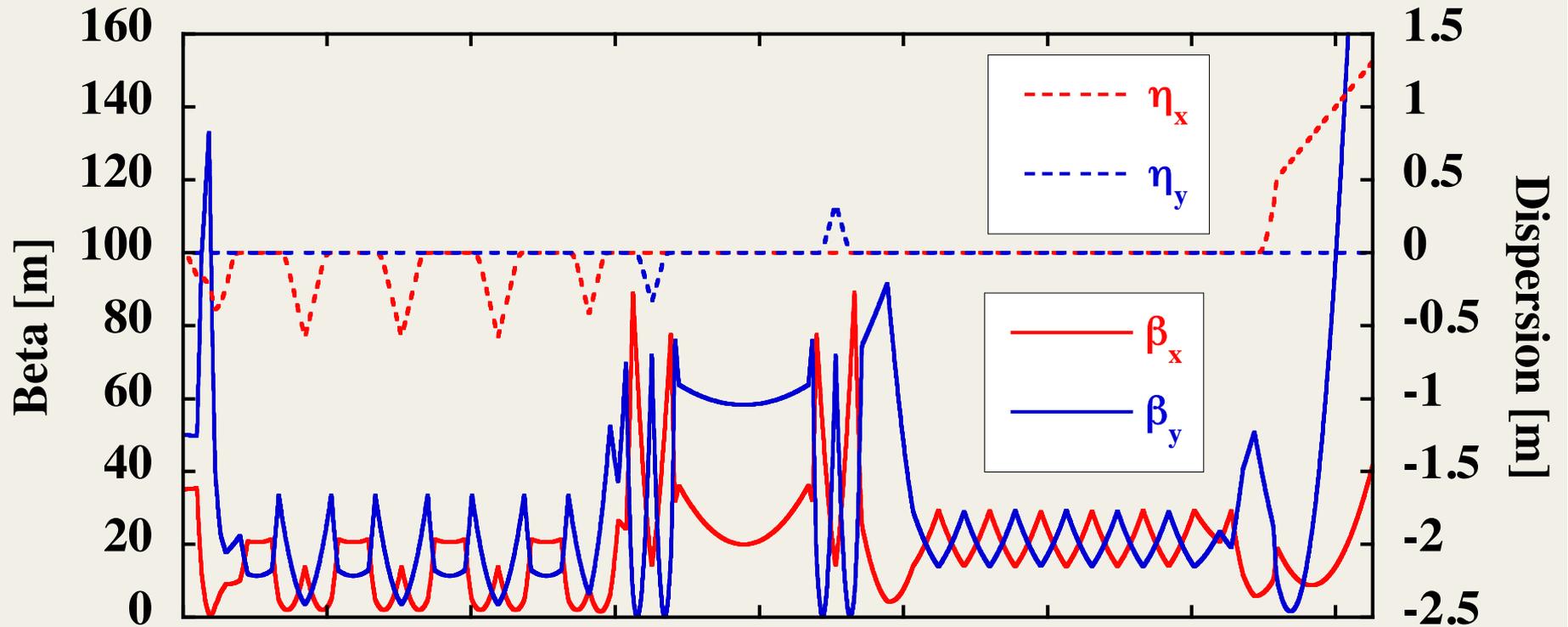
- 現状で、リングとSACLAで独立にあるマスターオシレータを大きく変更無く同期するためには、両者に存在する10MHzの同期信号入力を使用するのが簡便である。10MHzで両者を同期させ以下の手法で同期タイミング得る。
- 直接にSACLAのトリガーの基本周波数である79.3 MHz とSP8リングの巡回周波数である208.78 kHz (SP8) の位相を比較して、強制的にSACLAのマスターオシレータへの同期10MHzの位相を、ビームが入射出来るように合わせることを行う。
- リングとリニアックの加速高周波の目標の電子ビーム入射位相は、デジタル的にリングのバケット番号と巡回周波数から計算で決める。



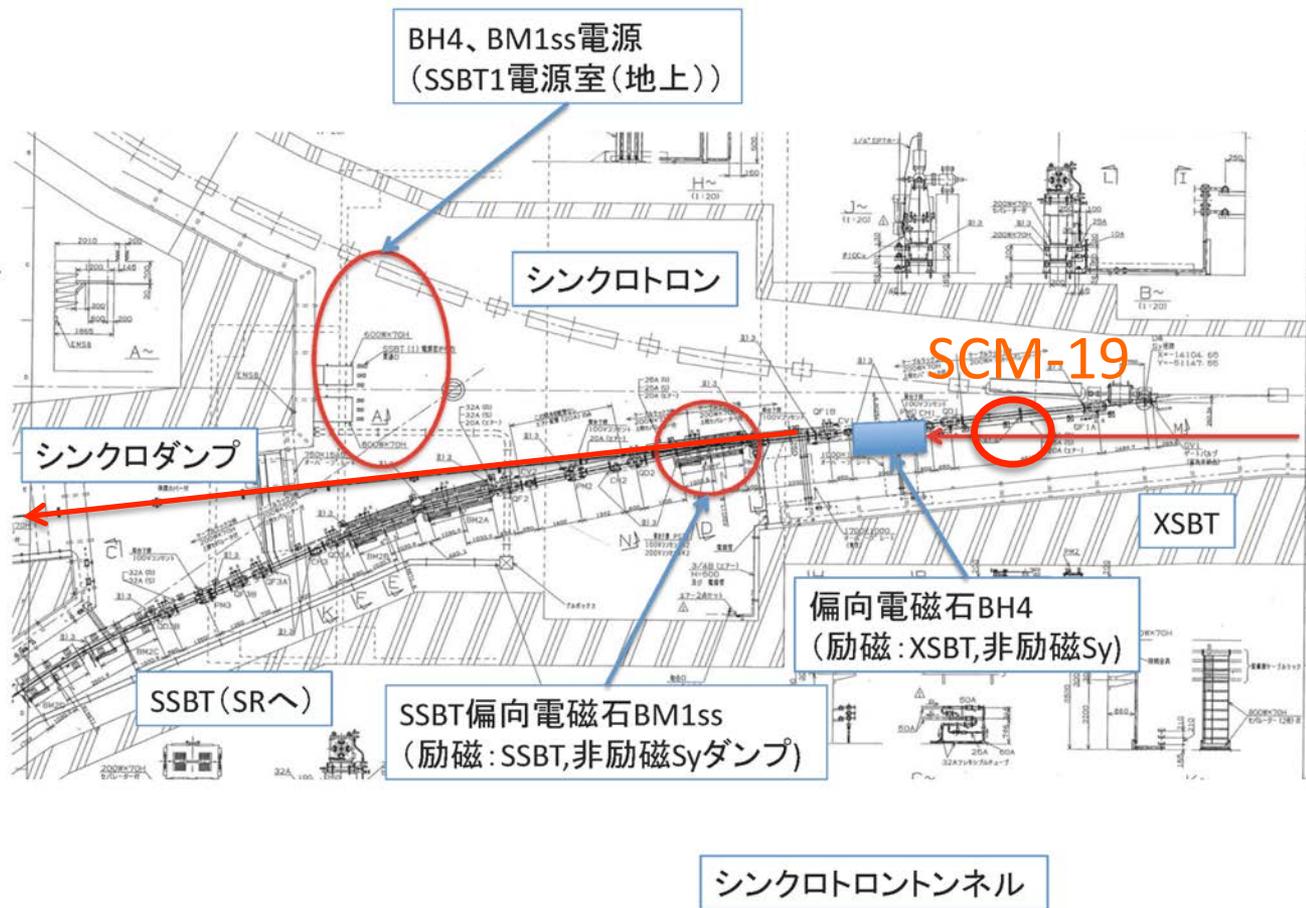
# XSBTを使用しての予備的な実験

- SACLAのビームを、XSBTを通してブースター・シンクロトロン<sup>1</sup>のビームダンプへ導いた。
- その時に予備的にエミタンスをQスキャン法で測定した。

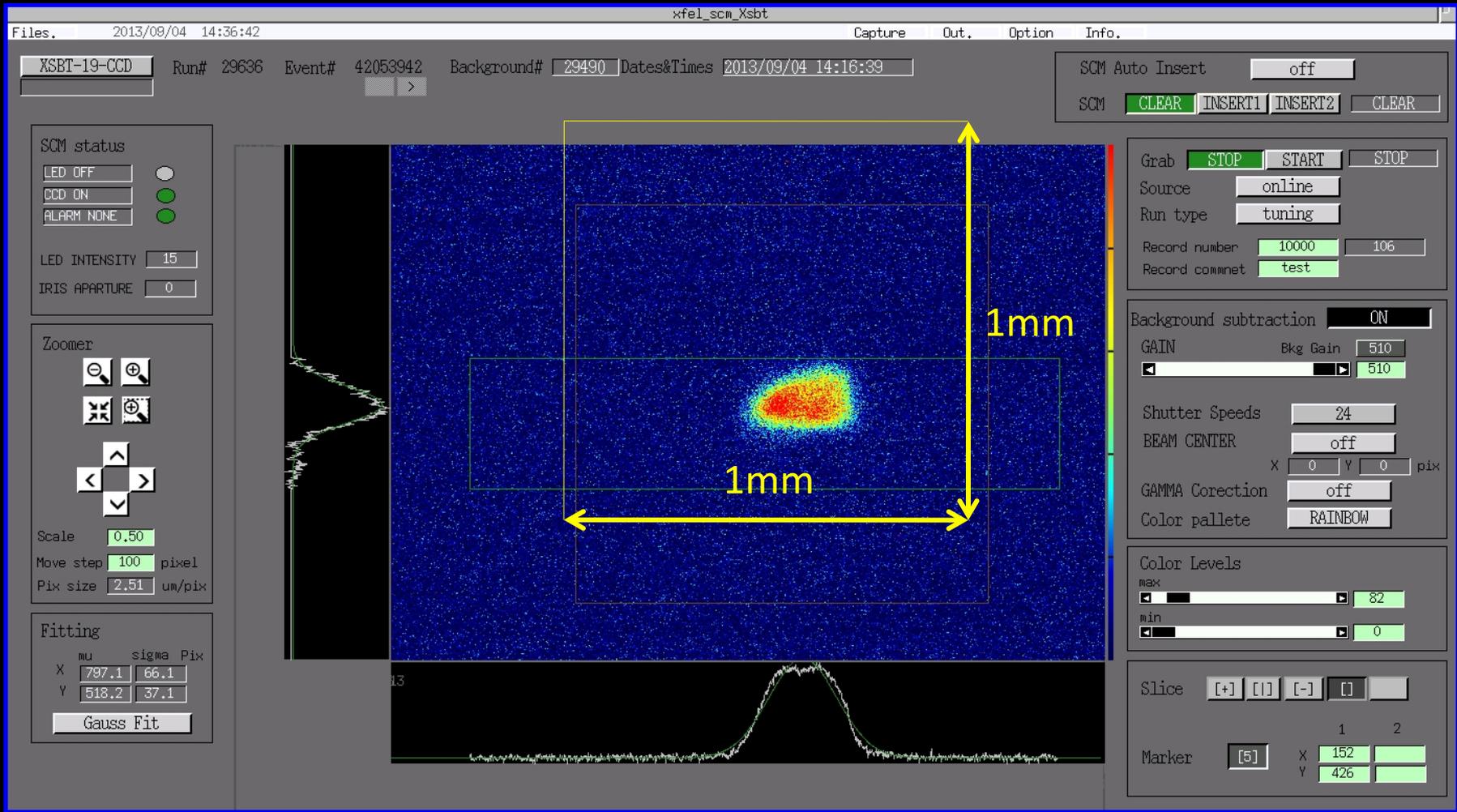
# SACLA 振り分け電磁石からSyダンプまでの機器配置およびビームオプティクス



# エミタンス測定用スクリーンモニター位置



# ビームプロファイルの例



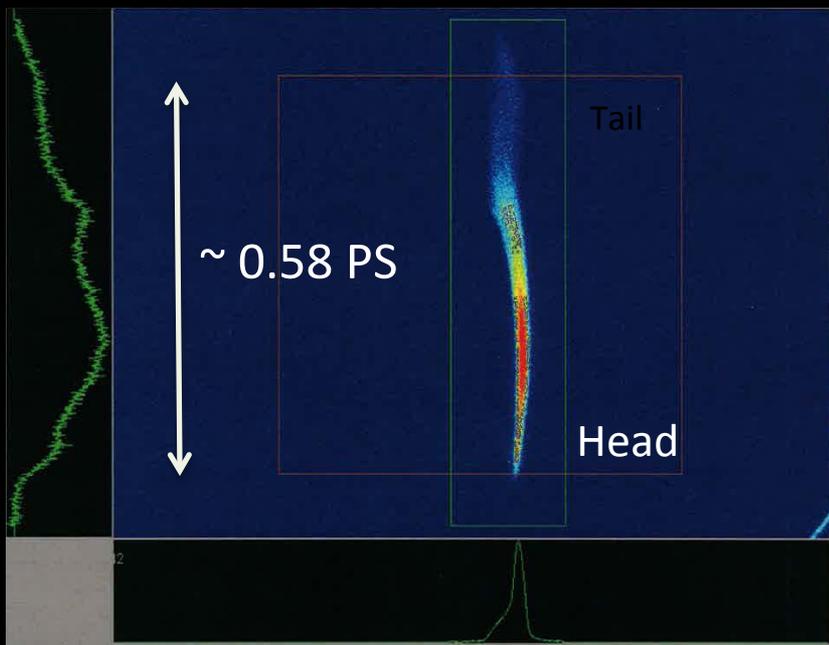
BH4上流のスクリーン SCM19 (YAG)

# XSBT の電子ビーム輸送によるエミッタンス増加の計測

(2013年12月1日)

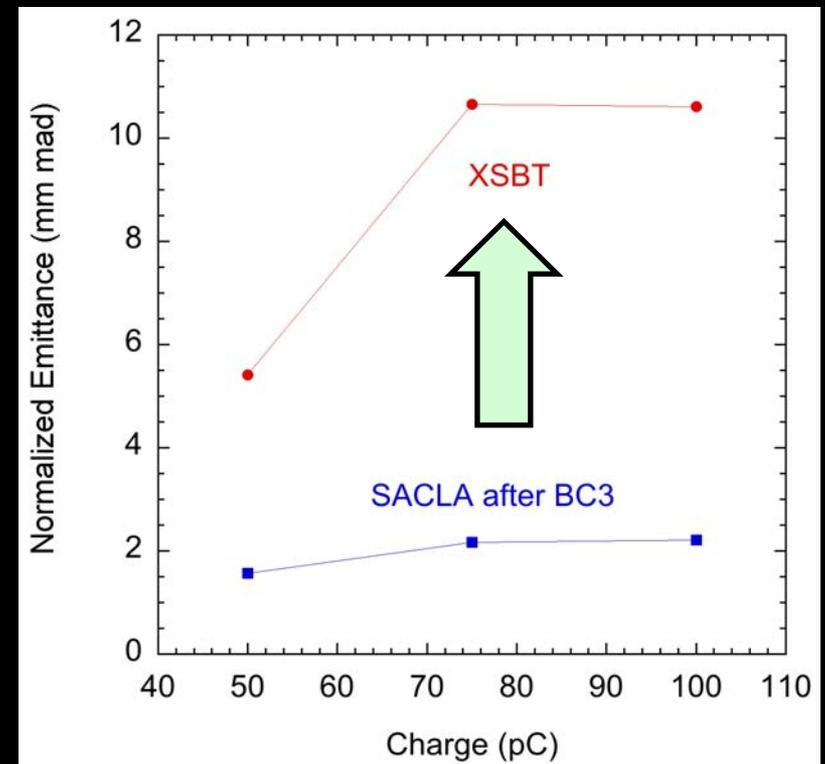
- SACLA出口の電荷量 = (a) 50, (b) 75, (c) 100pC。
- それぞれの規格化エミッタンス = (a) 1.5, (b) 2.0, (c) 2.0 mm.mrad。  
(電荷量はBC1のenergy filterで調整、BC3下流(1.4GeV)で測定)
- SACLA -> XSBT -> シンクロトン・ビームダンプの順でビームを輸送。
- エミッタンスは、XSBT上のSCM19(YAG)を用い、Q-scanにはQF17を使用して測定。

## RF Deflectorでのバンチプロファイル



CB01-03をクレスト加速にしてバンチを伸ばす。  
XSBTへのビームエネルギーは7.9 GeV。

## エミッタンス測定



# まとめ

- SACLAからSPring-8-IIリングに入射するための検討事項を述べた。
- 電子のバンチ幅は、現状のSACLAの値より伸ばした方が良いことが計算から判り、その方策も今後の検討課題になった。
- 予備的にXSBTに電子ビームを通して電子ビームのエミタンスを測定した。XSBTの調整は最適化されていないながら、**5～11 mmmrad**のエミタンス値がQ スキャン法で測定された。とんでもない事にはなっていないことが、予備的な実験で確認された。
- 今後は、今回述べた検討課題ほかを、XSBTでのビームを通す実験などで検証する形で、具体的な入射システムの設計を進めて行く予定である。