

# DBAを用いたCSR効果の抑制

原 徹<sup>1</sup>, 稲垣 隆宏<sup>1</sup>, 近藤 力<sup>2</sup>, 渡川 和晃<sup>1</sup>, 深見 健司<sup>2</sup>,  
中澤 伸侯<sup>3</sup>, 長谷川 太一<sup>3</sup>, 森本 理<sup>3</sup>, 吉岡 正倫<sup>3</sup>,  
前坂 比呂和<sup>1</sup>, 大竹 雄次<sup>1</sup>, 田中 均<sup>1</sup>

1) 理化学研究所 SPring-8センター

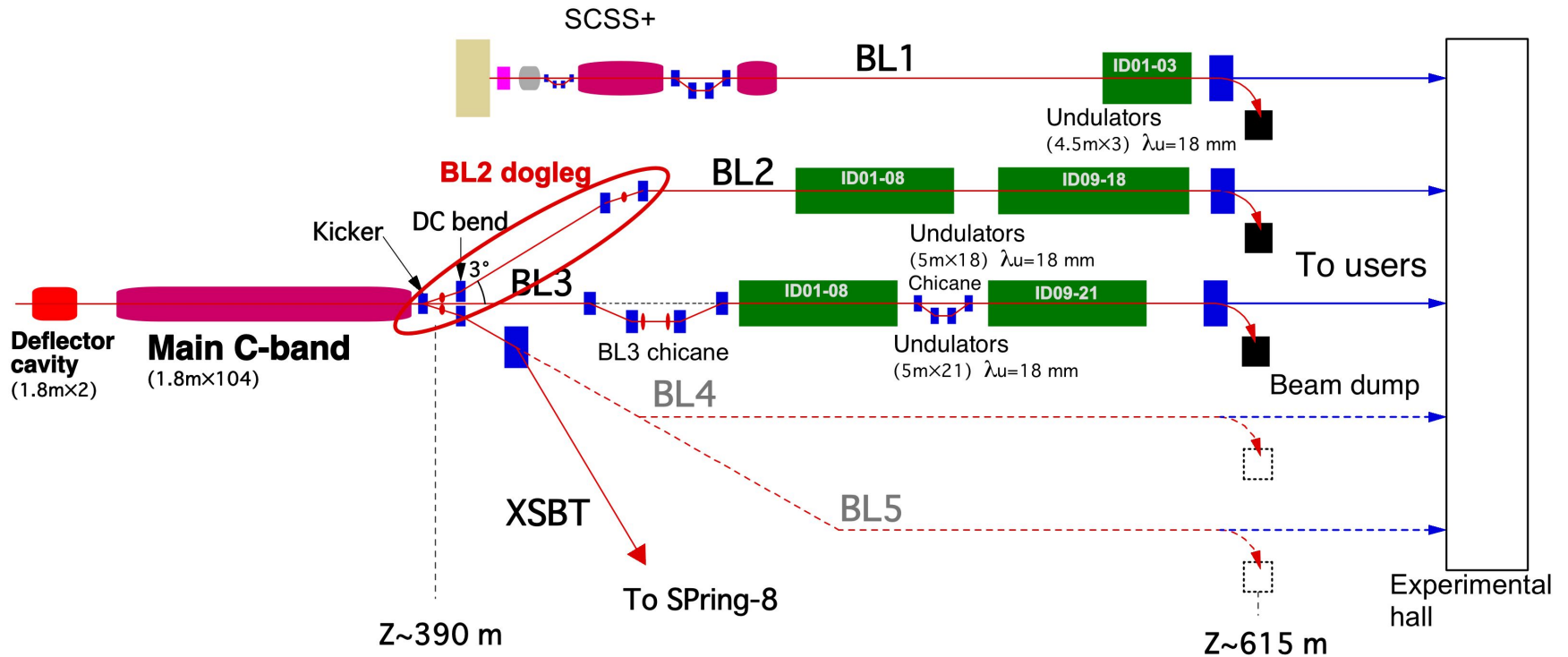
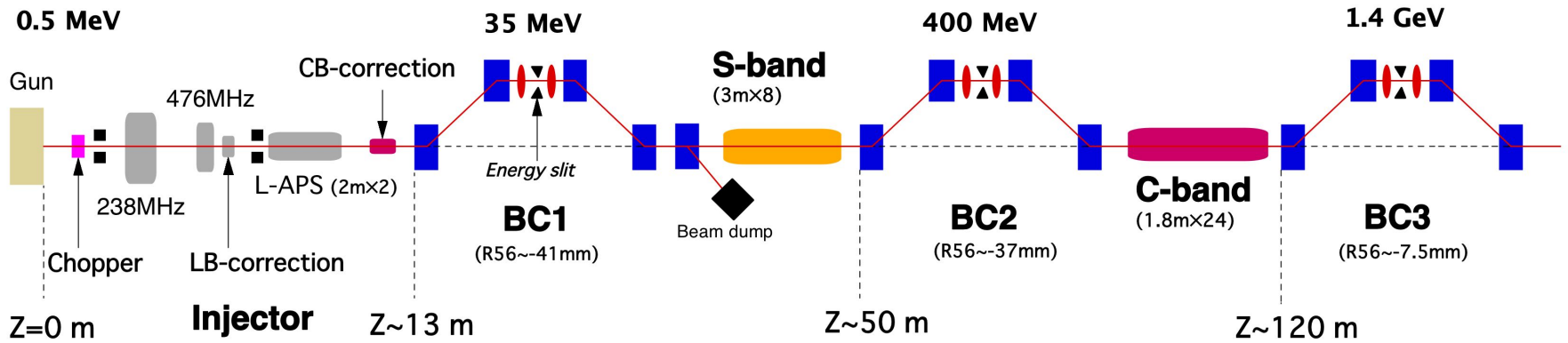
2) JASRI

3) スプリングエイトサービス(株)

# はじめに

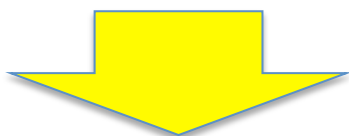
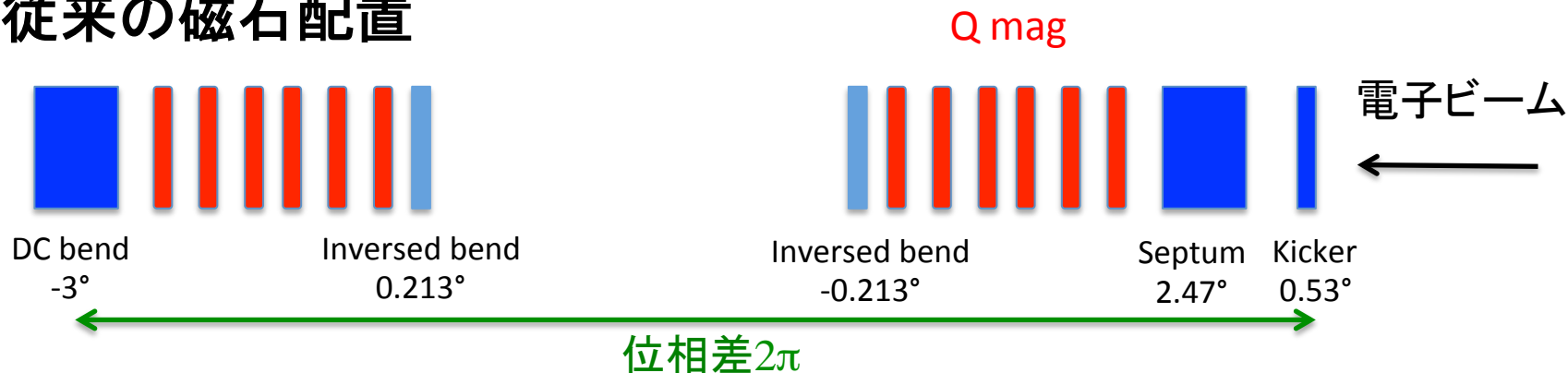
- SACLAではこれまで、BL3(またはBL2)1本のビームラインを使ってXFELユーザー実験を実施。
- 増加するユーザー実験数に対応するため、BL2とBL3を同時利用するマルチビームライン運転を2015年より試験。
- ピーク電流が10 kAを超え、バンチ長10~20 fs(FWHM)のSACLAのビームでは、BL2ドッグレッグ部のCSR効果でビームが不安定に。BL2ではピーク電流を3 kA以下に抑えて運転。
- BL2においても、高ピーク電流バンチを用いたフル性能のレーザーパルスが安定に出せるよう、2017年1月にBL2ドッグレッグ部のビーム光学系を大幅に変更してCSR効果を抑制。

# SACLA accelerator



# BL2ドッグレッグ部の改造

## ● 従来の磁石配置



2017年1月に改造

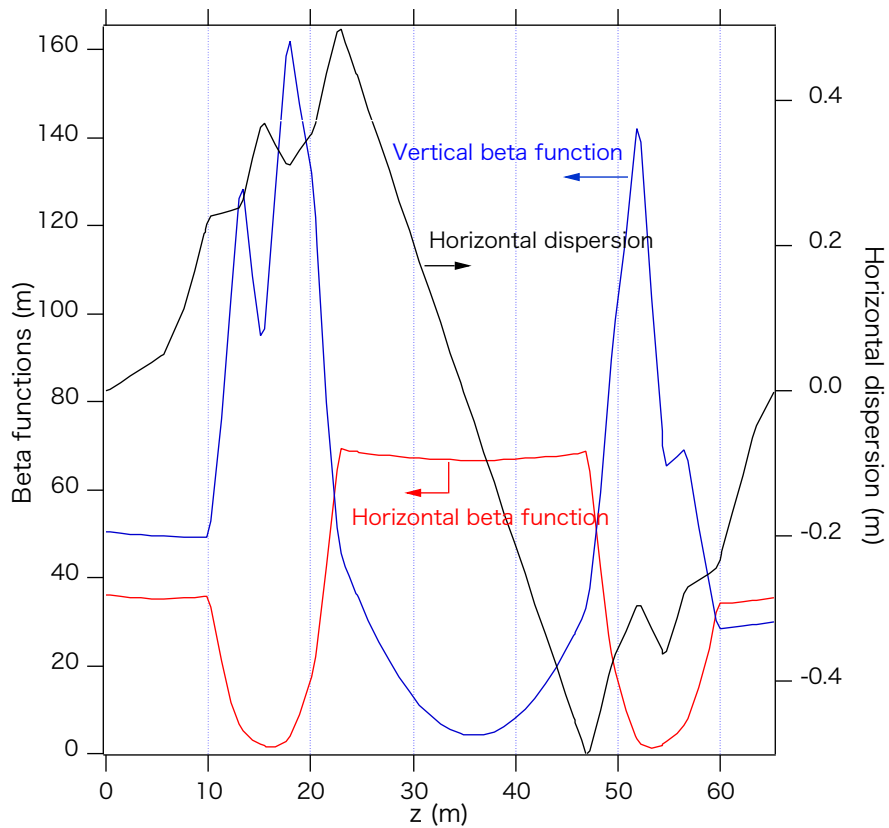
## ● 新配置 (Double DBA)



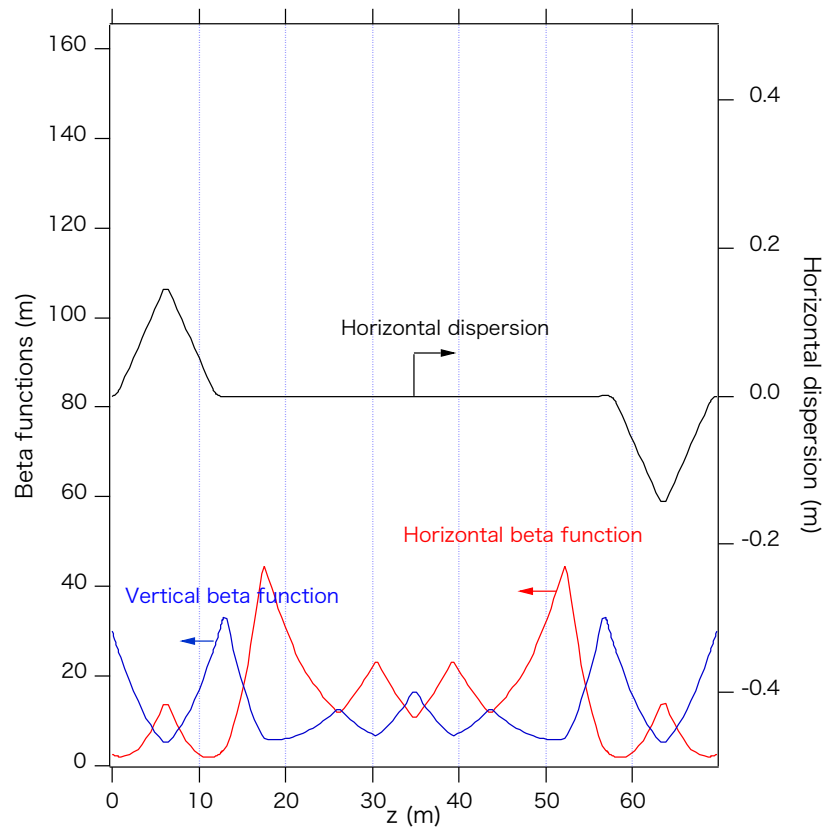
CSR効果をキャンセルするには、バンチ長一定が条件。  
 DBAセンターのQ-magのオフセンターにビームを通し $R_{56}$ を0に調整。



# 改造前後のラティス



旧ビーム光学系



新ビーム光学系

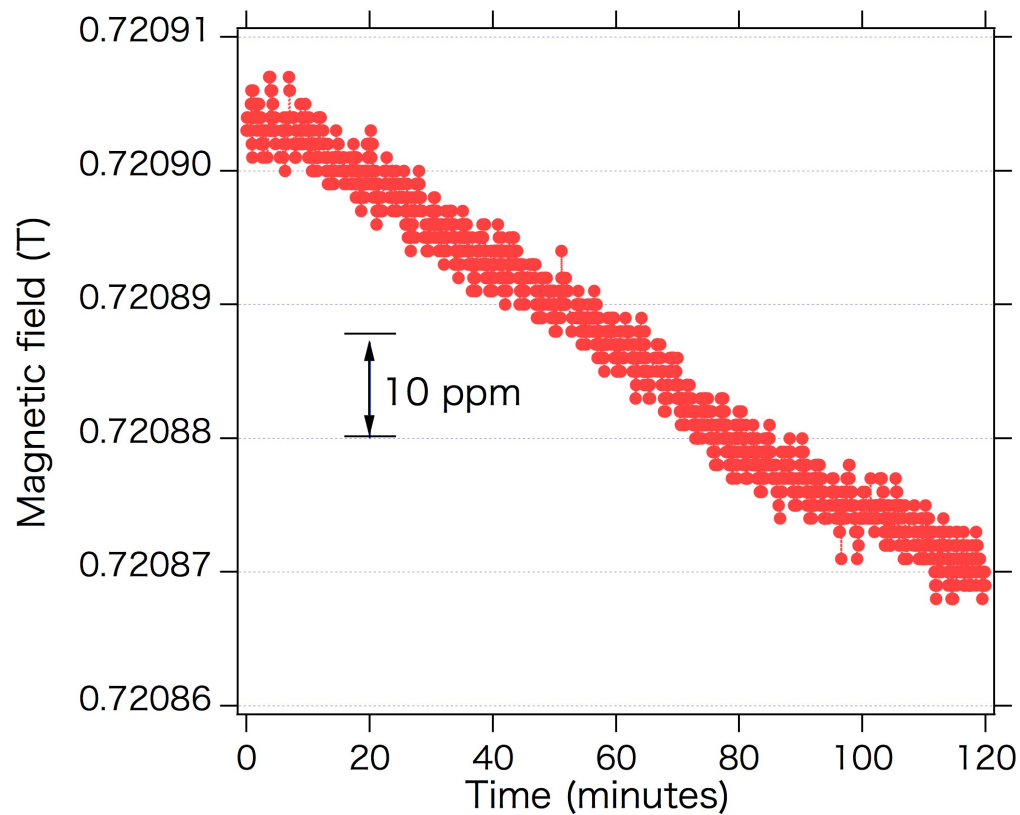
# キッカー電磁石用パルス電源



キッカー電磁石  
(ヨーク長0.95 m, 最大磁場 0.9 T)



パルス電源 (60 Hz, 1 kV-299 A)

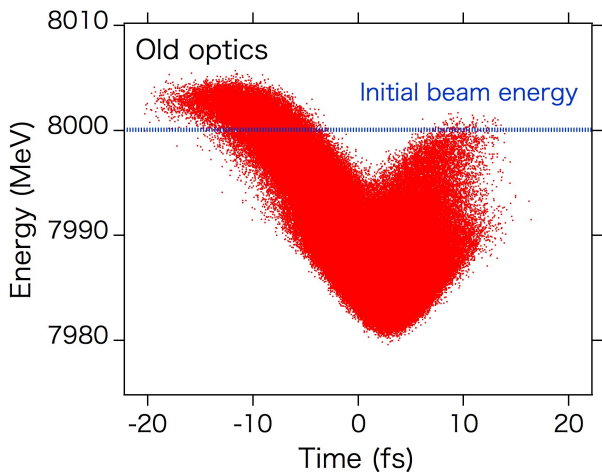


パルス磁場安定性

SiC素子を使用することで、安定性を保ったままパルス電源の高出力化に成功。  
(近藤他 TUOM03)。

# CSRの抑制 (simulation)

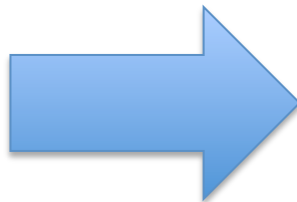
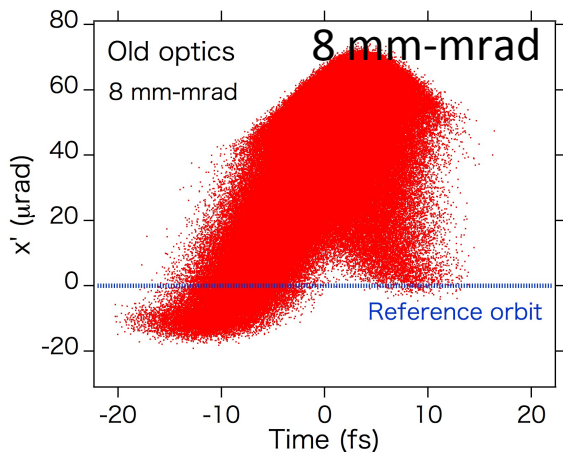
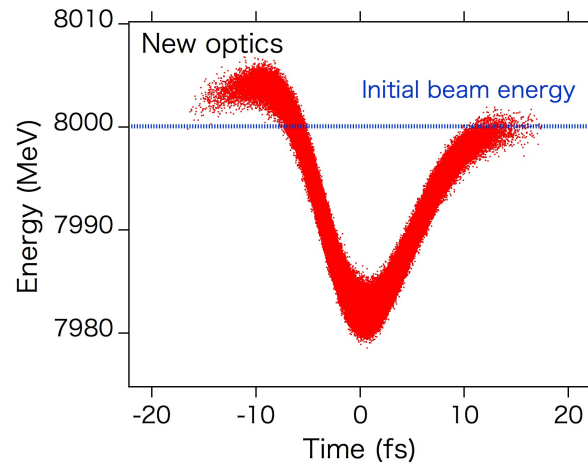
ドッグレッグ改造前 (旧ビーム光学系)



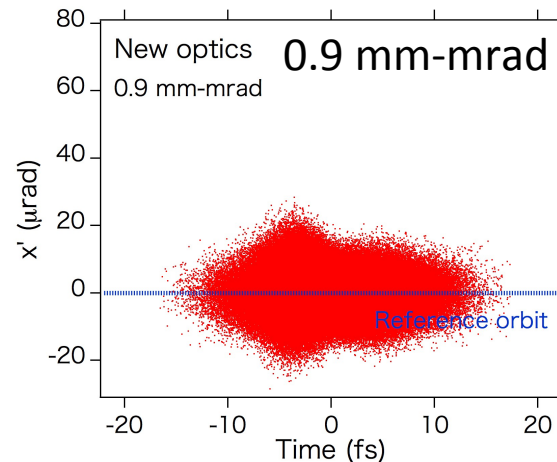
ドッグレッグ通過後の  
エネルギー変化

電子バンチ初期条件  
ガウス分布, 8 GeV,  
10 fs (FWHM), 10 kA  
0.8 mm-mrad.

改造後 (新ビーム光学系)



水平方向の  
バンチのねじれ

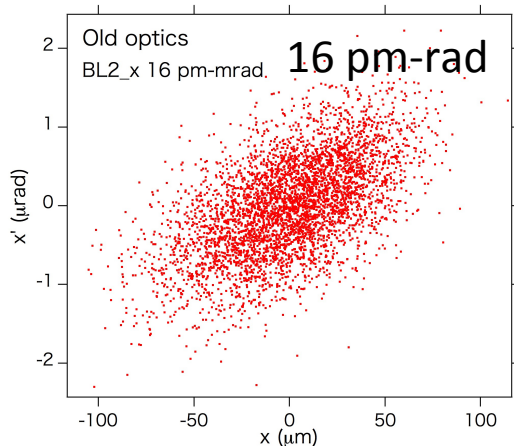


CSRによるエネルギー Spreed は避けられないが、  
水平投影エミッタンスの増加は10%程度に抑えられる。

# CSRの抑制(測定結果)

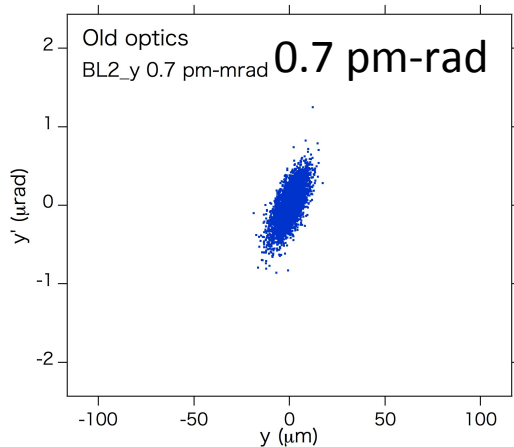
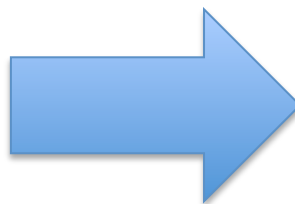
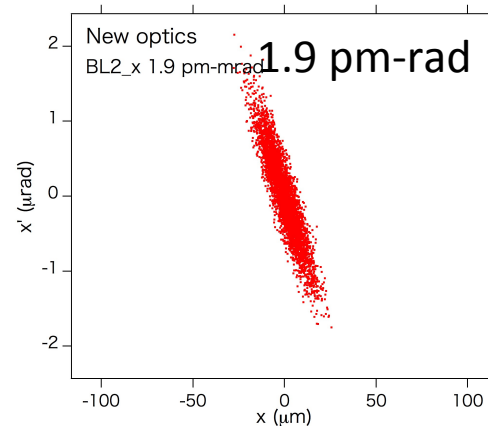
ドッグレッグ改造前(旧ビーム光学系)

改造後(新ビーム光学系)



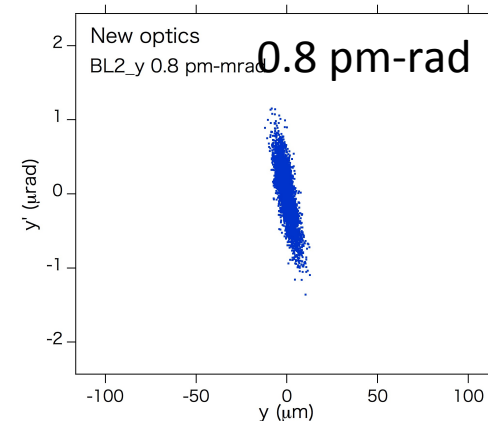
ドッグレッグ通過後の  
水平方向軌道変動

ビームエネルギー7.9 GeV,  
30 Hz振り分け運転



垂直方向軌道変動

ドッグレッグのないBL3の  
軌道変動は、水平0.8 pm-rad、  
垂直0.5 pm-rad.

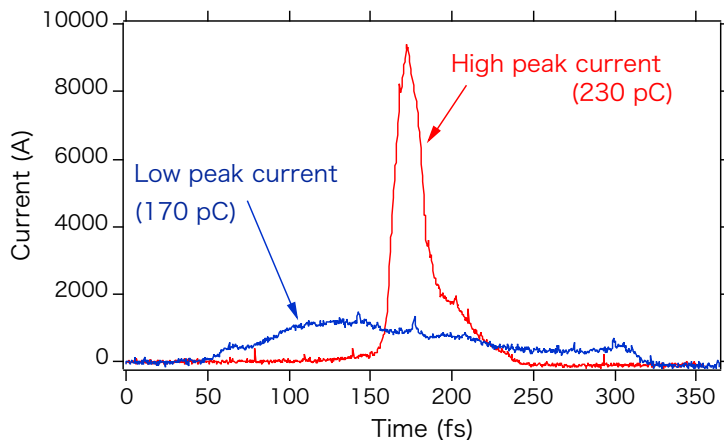
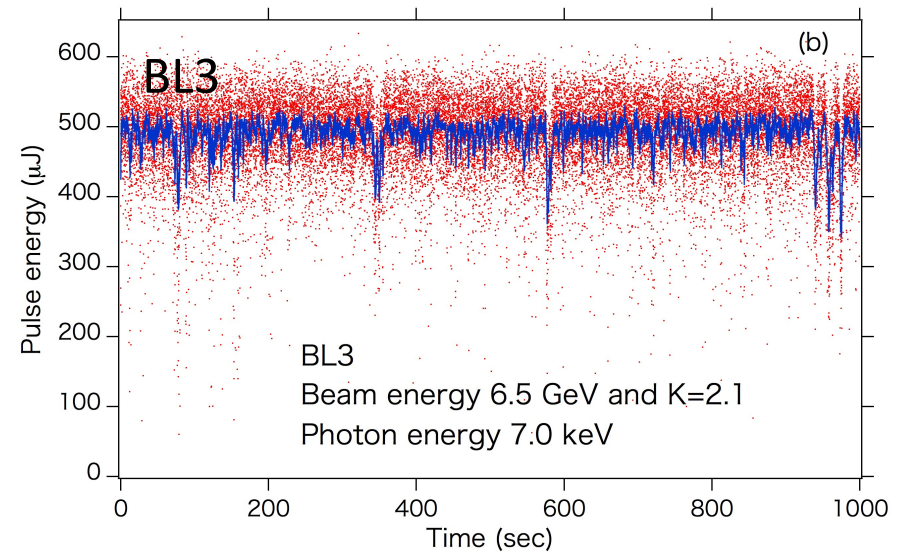
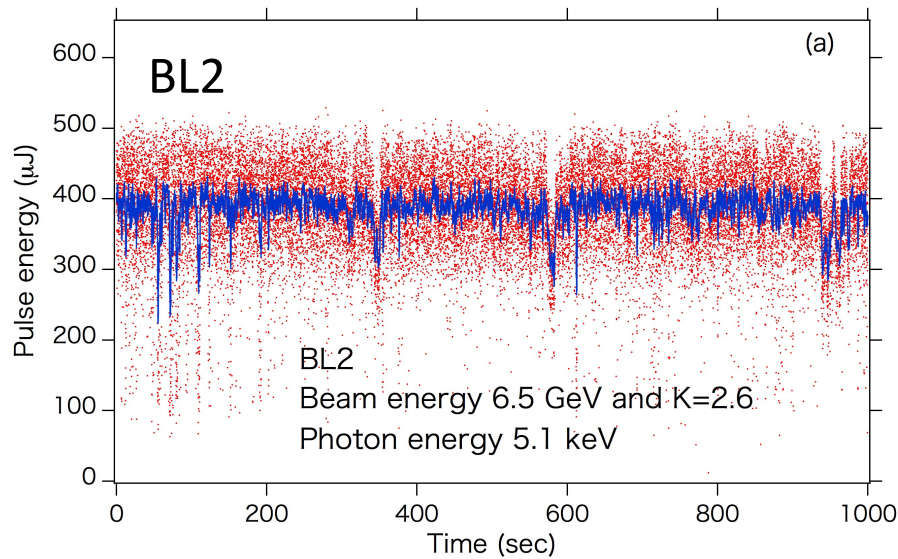


水平方向の軌道変動が約1桁減少、SACLAの10 kA  
ビームを安定にBL2へ輸送することに成功。



# マルチビームライン運転

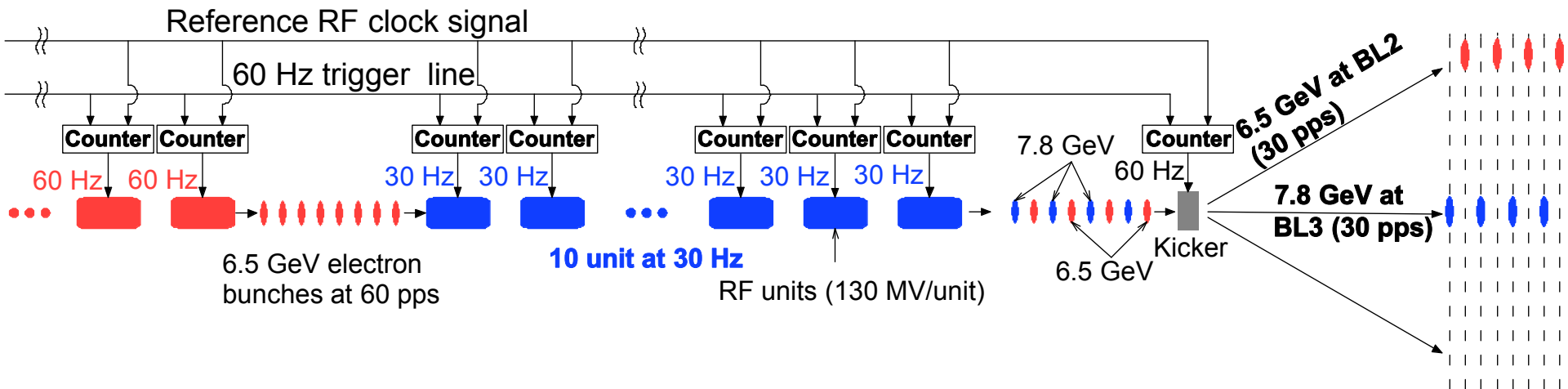
## BL2とBL3を使用した60 Hzマルチビームライン運転



- 従来BL2はピーク電流を3 kA以下抑えないと安定したレーザーが得られなかったが、ドッグレッグ部の改造により、10 kAのビームでも安定した発振を達成。
- ピーク電流が上がったことにより、レーザー出力も2倍以上に増加。
- 各BLの波長はK値で独立に調整可能。

# マルチエネルギー運転

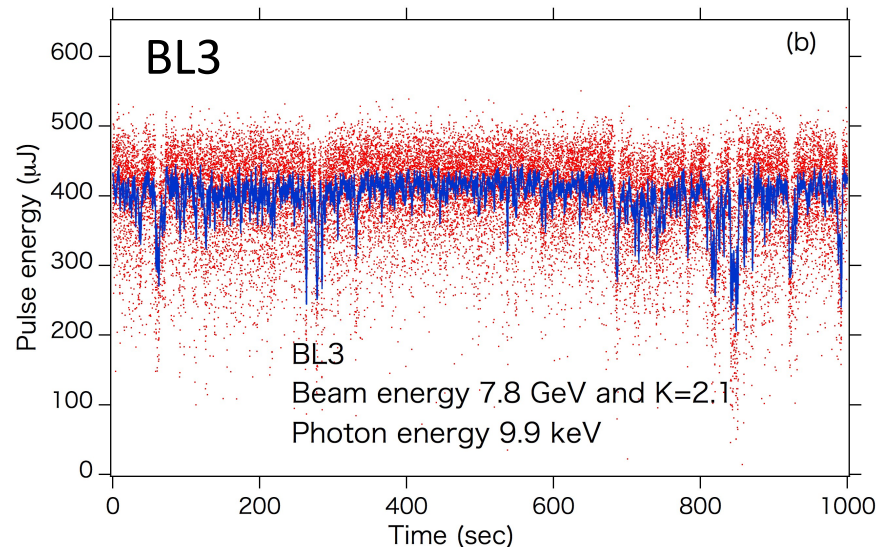
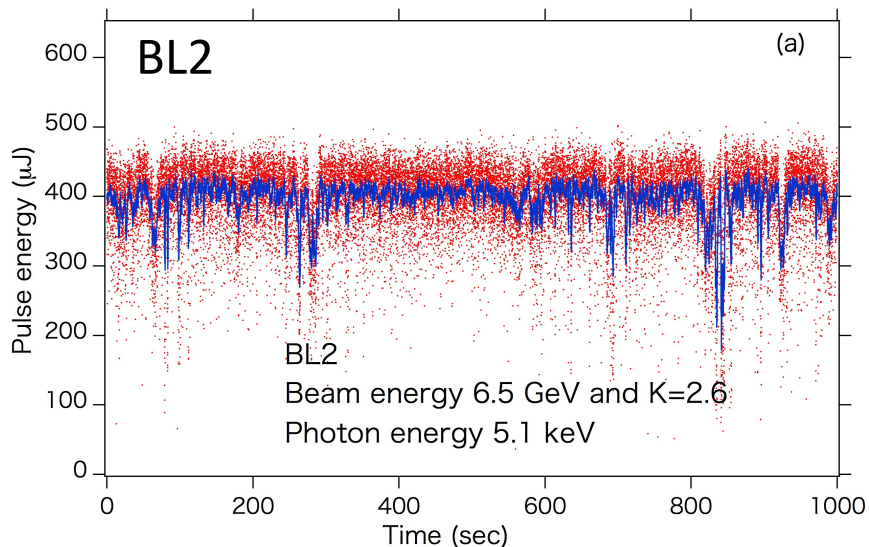
より広い波長可変範囲を実現するため、  
K値に加えてBL毎にビームエネルギーを調整。



- BC3下流のCバンドクライストロン52台中、10台のクライストロン(加速管20本)を30 Hzで運転。
- 60 Hz電子バンチのうち、半数は6.5 GeVまで、残り半数は7.8 GeVまで加速。
- キッカー電磁石で6.5 GeVバンチをBL2へ、7.8 GeVバンチをBL3へ振り分け、マルチビームライン運転においても広い波長可変性を確保。

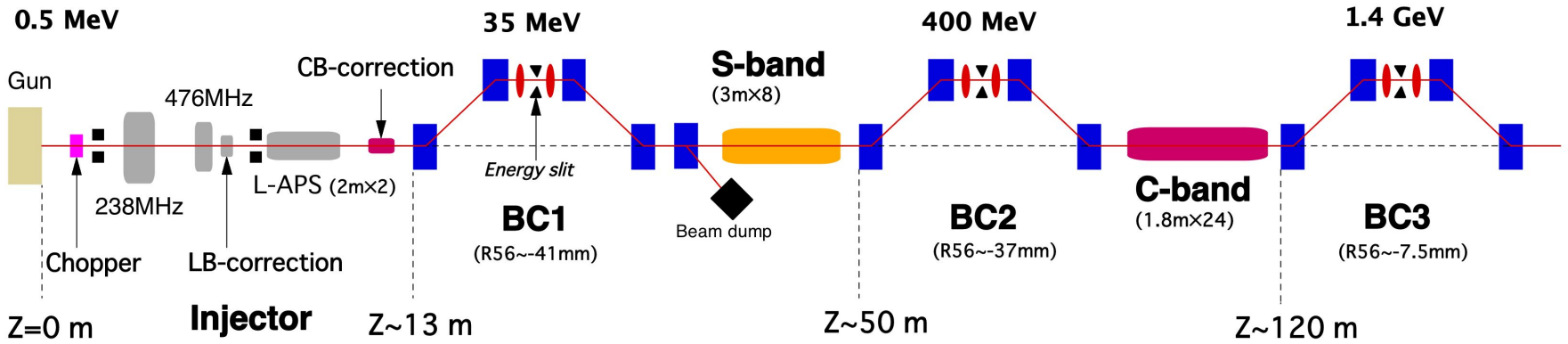
# マルチビームライン運転

ビームエネルギーはBL2が6.5 GeV、BL3が7.8 GeV



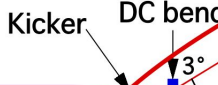
- BL2のビームエネルギーはそのまま、BL3のエネルギーを6.5 GeVから7.8 GeVへ上げることでレーザー波長は7.0 keVから9.9 keVに。
- ビームライン毎にビームエネルギーを変えるマルチエネルギー運転においても、安定なレーザーが得られている。

# SACLA accelerator



BL2ドッグレッグは $R_{56}=0$

BL2 dogleg



BL3シケインは $R_{56}=-0.8$  mm

Deflector cavity (1.8m×2)

Main C-band (1.8m×104)

XSBT

BL5

Undulators (4.5m×3)  $\lambda_u=18$  mm

Undulators (5m×18)  $\lambda_u=18$  mm

Chicane (5m×21)  $\lambda_u=18$  mm

ID01-03

ID01-08

ID09-18

ID01-08

ID09-21

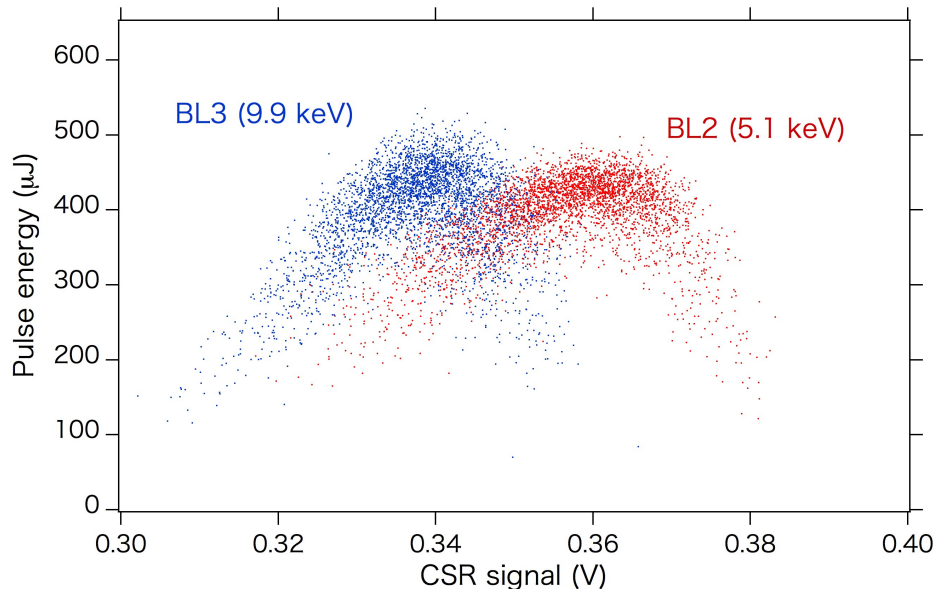
To users

Beam dump

2本のBLで最適なバンチ圧縮のパラメータ(RF位相)が少しずれる。



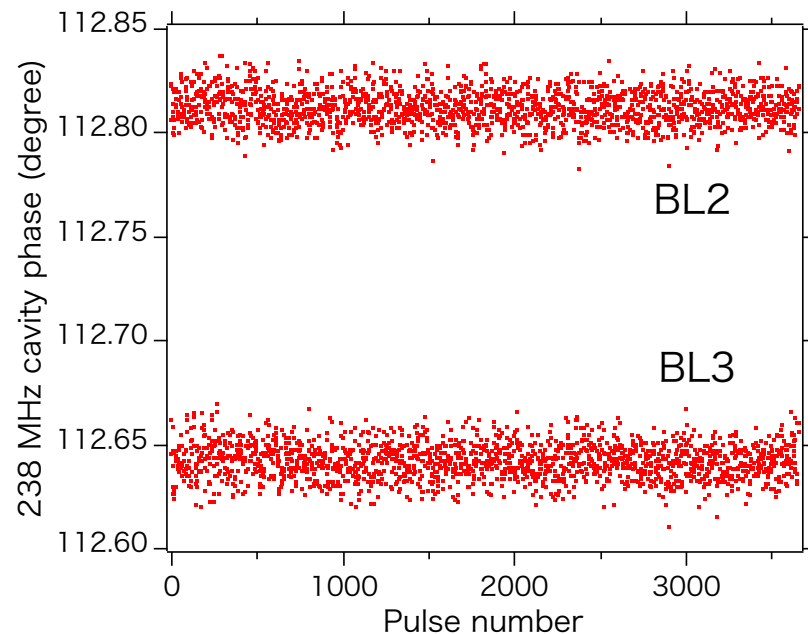
# BL毎にRF位相を調整



BC3 CSRモニター(バンチ長に相関)の出力

ビームエネルギー	BL2 6.5 GeV
	BL3 7.8 GeV
アンジュレータK値	BL2 2.6
	BL3 2.1
加速器繰り返し	60 Hz
BL2繰り返し	30 Hz
BL3繰り返し	30 Hz

入射部238 MHz cavityの位相



- SACLAでは、BL2ドッグレッグ部の改造によりCSR効果の抑制に成功、10 kA以上の60 Hz電子バンチを2本のBLに交互に振り分け同時レーザー発振を達成。ピーク電流の増加により、従来150-200  $\mu$ Jだったレーザーパルス出力が400-500  $\mu$ Jに。
- 線型加速器のビームエネルギーをバンチ毎に制御することで、広い範囲でBL毎にレーザー波長を変えることに成功。更にバンチ毎にRF位相を変え、バンチ圧縮パラメータを最適な値にすることで、BL毎に $R_{56}$ が異なっても常にレーザー出力を最大化。
- SCSS+線型加速器で駆動するBL1と合わせ、SACLAでは3本のBLの同時運転を2017年秋よりユーザー実験に供用し、ユーザータイムの大幅な拡大を目指す。