

# SACLAマルチビームライン運転 に向けての取り組み

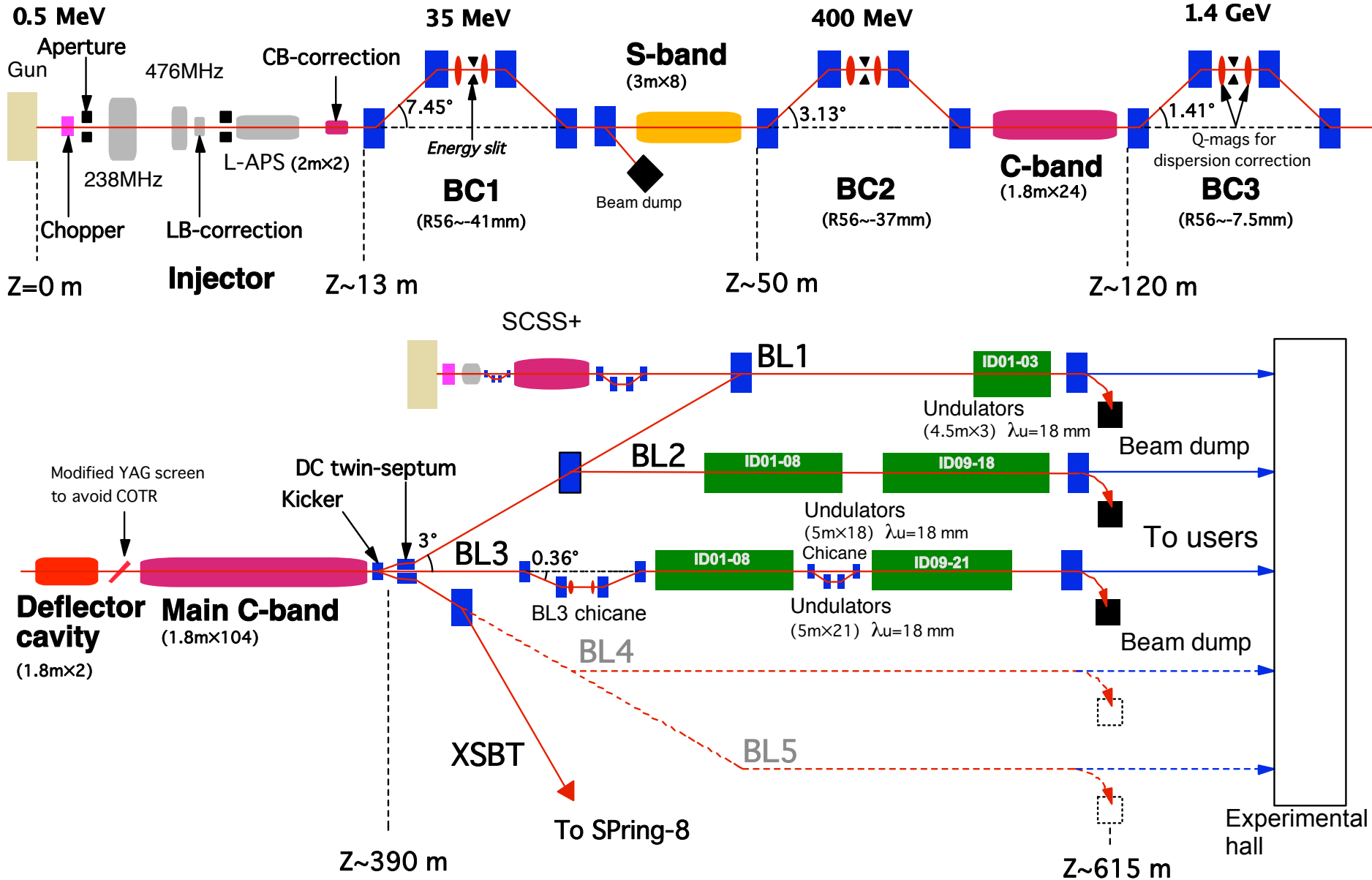
原 徹<sup>A)</sup>, 稲垣 隆宏<sup>A)</sup>, 近藤 力<sup>B)</sup>, 渡川 和晃<sup>A)</sup>,  
深見 健司<sup>B)</sup>, 中澤 伸侯<sup>C)</sup>, 大竹 雄次<sup>A)</sup>, 田中 均<sup>A)</sup>

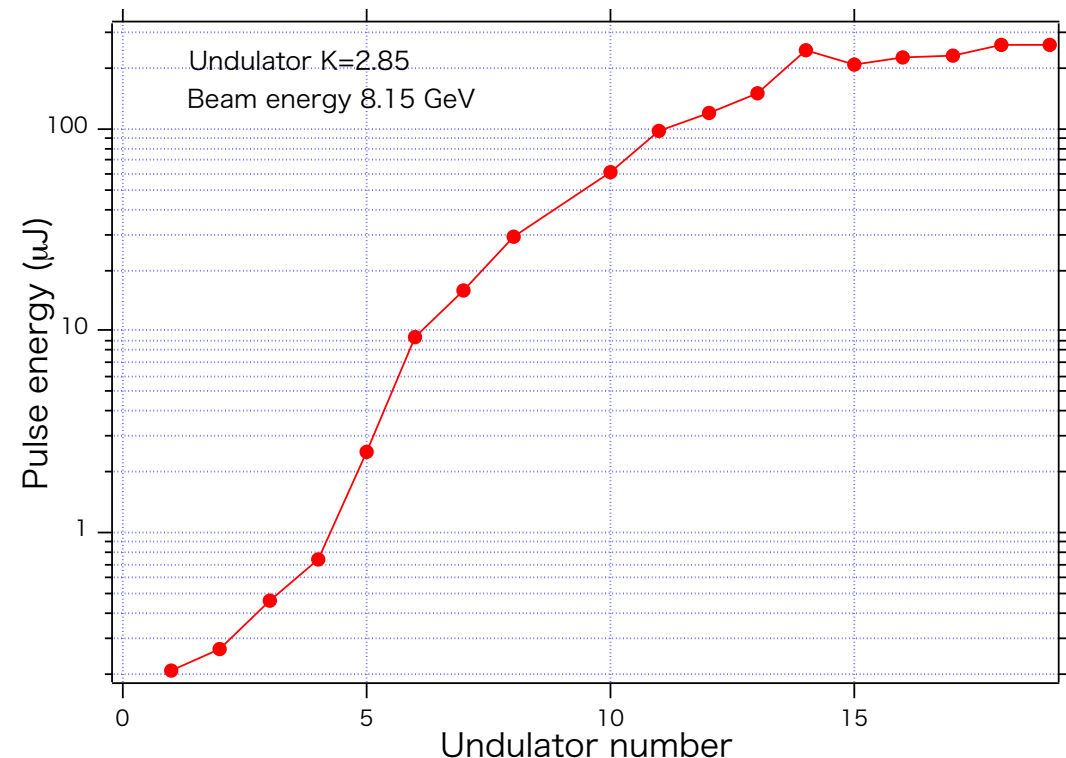
A) RIKEN SPring-8 Center

B) JASRI

C) SPring-8 Service CO., Ltd.

# SACLA Facility





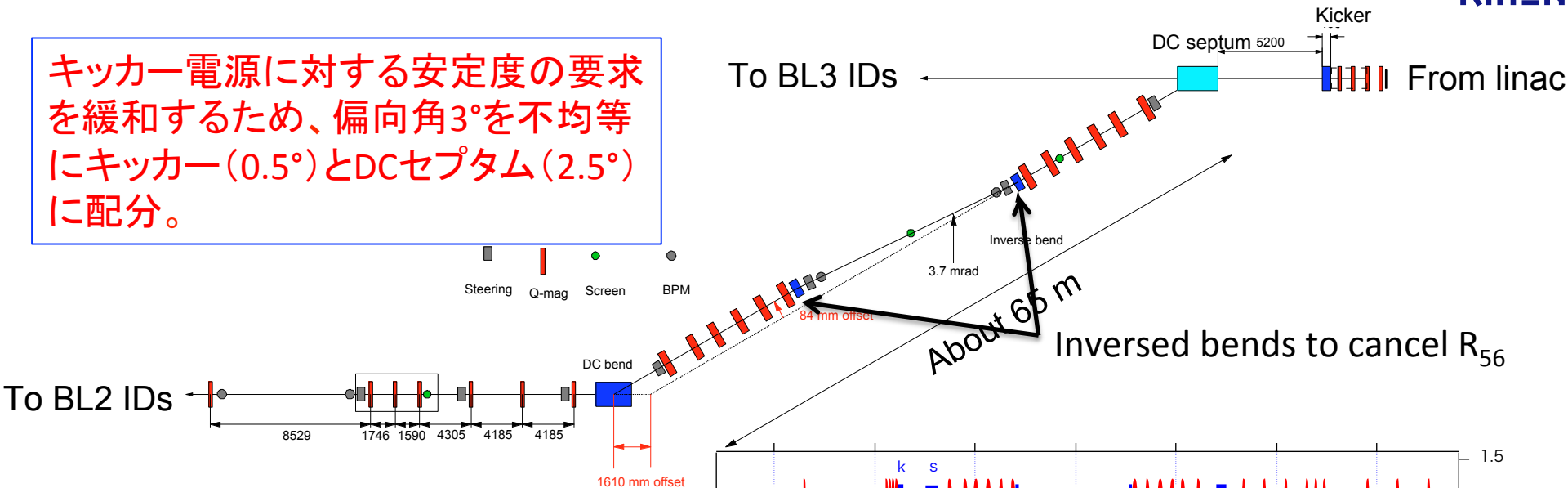
- ✓ BL2とBL3の2本のBLを使ったマルチビームライン運転で安定なレーザー発振を達成。
- ✓ BL毎にバンチbyバンチでビームエネルギーを変えるマルチエネルギー運転にも成功。
- ✓ BL2を使ったユーザー実験(光電子分光)を実施。
- ✓ しかしBL2のレーザーパルス出力は  $300 \mu\text{J}@6.8 \text{ keV}$  とBL3の約半分。

## 現状の問題点

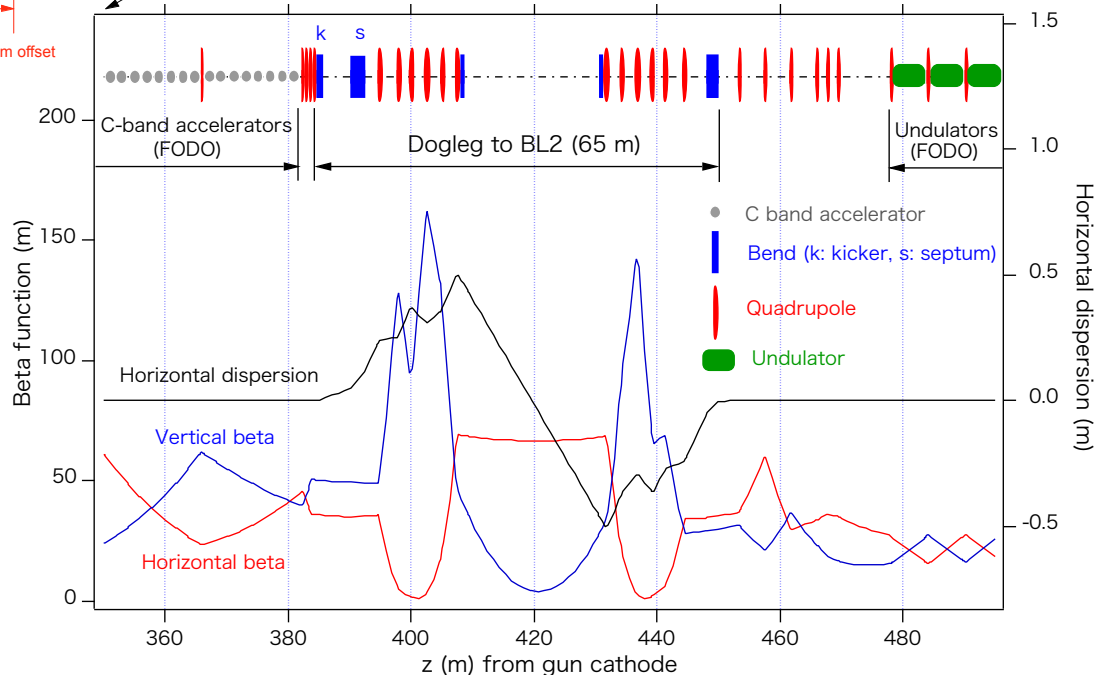
ピーク電流が3 kA以上になると、BL2へのdogleg電子ビーム輸送部におけるCSR効果が顕著となり、安定したレーザー発振が得られない。

# Doglegビーム輸送部

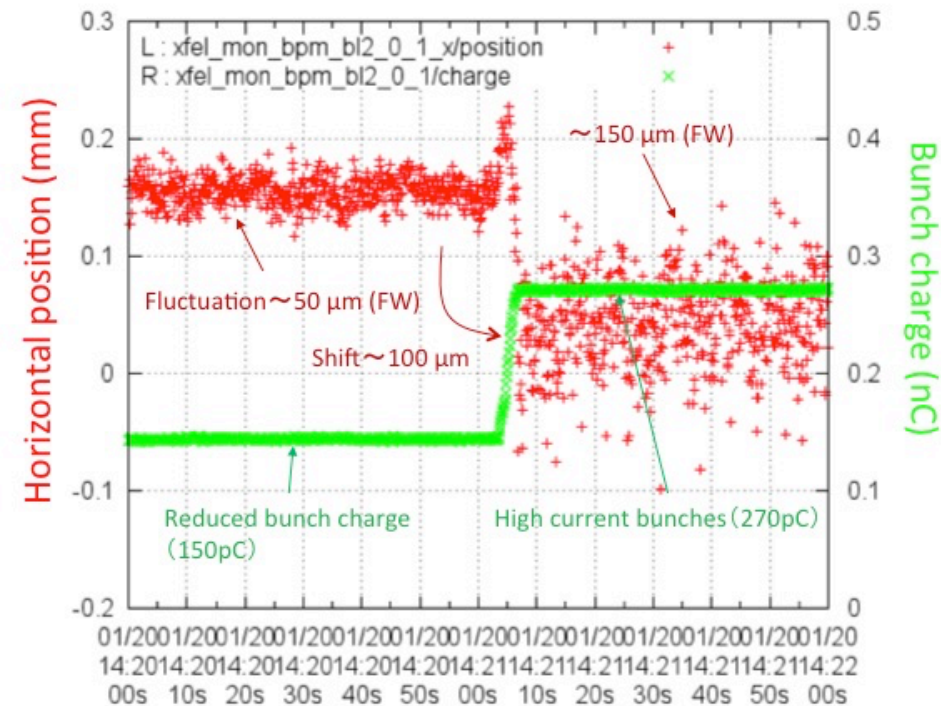
キッカー電源に対する安定度の要求を緩和するため、偏向角 $3^\circ$ を不均等にキッカー( $0.5^\circ$ )とDCセプタム( $2.5^\circ$ )に配分。



- Dogleg部におけるバンチ長変化を抑えるため、 $R_{56}$  (約4 mm)を2台の逆ベンドで平均的に補正。
- Opticsはachromaticかつisochronousになっているが、非対称。
- CSRによる横方向運動量変化のcancellationについては考慮していない。



# Dogleg部のCSR効果



	Horizontal (pm-rad)	Vertical (pm-rad)
BL2 high current (10 kA)	16.3	0.74
BL2 low current (1 kA)	2.7	0.64
BL3 high current (10 kA)	1.4	0.27
BL3 low current (1 kA)	0.83	0.24

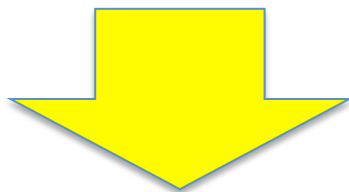
BL2アンジュレータへの入射ビーム軌道のふらつき

SACLA BL3のゲイン長から推定されるスライスエミッタンスは30-40 pm-rad程度。

# Dogleg部におけるCSR効果

電子バンチが偏向電磁石通過時に発生するCSRが電子バンチに与える影響

1. CSR効果の縦方向成分によるコヒーレントな電子バンチ内のエネルギー変化
2. 偏向電磁石内で発生するエネルギー変化に対応したバンチ内横方向の運動量変化(キック)
3. CSR効果の横方向成分によるバンチ内の横方向の運動量変化

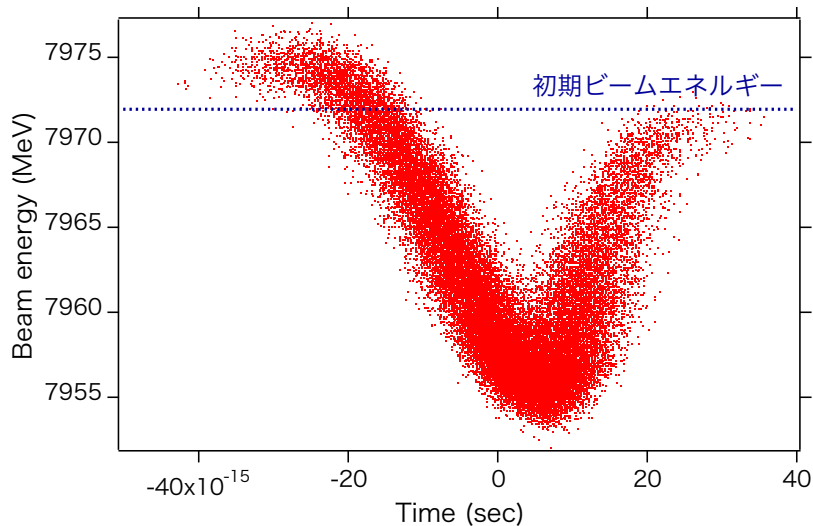


投影エミッタンスや  
エネルギー Spredd が増加

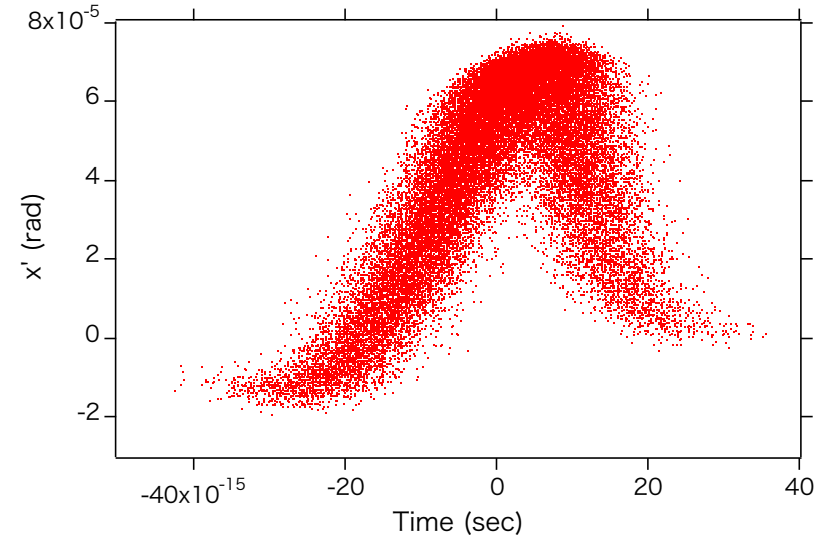
- 1.については真空ダクトの境界条件(カットオフ周波数)を利用して抑えることが考えられるが、SACLAのバンチ長20~30 fs(6~9  $\mu\text{m}$ )に対して現実的ではない。よって1.のエネルギー変化については許容する。
- 2.と3.については、複数の偏向電磁石間のベータatron振動位相差をうまく合わせればキャンセルすることができる。但し電子バンチの形状が変わらないことが前提。

電子バンチが偏向電磁石通過時に発生するCSRが電子バンチに与える影響

1. CSR効果の縦方向成分によるコヒーレントな電子バンチ内のエネルギー変化
2. 偏向電磁石内で発生するエネルギー変化に対応したバンチ内横方向の運動量変化(キック)
3. CSR効果の横方向成分によるバンチ内の横方向の運動量変化



電子バンチ内のエネルギー変化



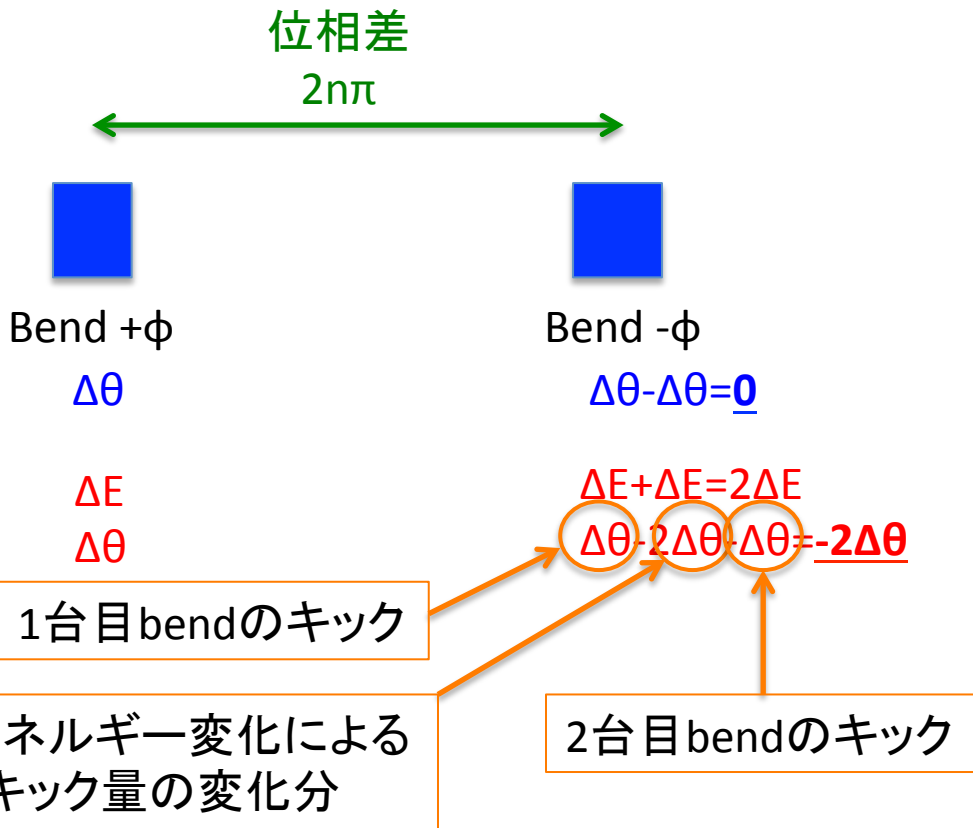
電子バンチ内の水平運動量変化

10 kA-8 GeVの電子バンチ(ガウス分布)が現状のdogleg部を通過した時のCSRの影響(Elegant計算結果)

# 横方向のCSR効果のキャンセル

- 2台の偏向電磁石から成るdoglegの場合、CSR効果の横方向成分によるキックは、2台の偏向電磁石間の位相差を $2n\pi$ にすればキャンセルできる。
- しかしCSRによるバンチ内エネルギー変化に伴うキックをキャンセルするには、最低4台の偏向電磁石が必要。

偏向電磁石2台で構成するdogleg

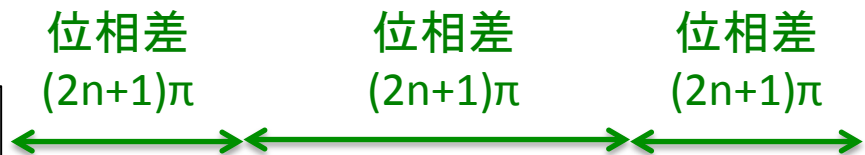




# 横方向のCSR効果のキャンセル

- 2台の偏向電磁石から成るdoglegの場合、CSR効果の横方向成分によるキックは、2台の偏向電磁石間の位相差を $2n\pi$ にすればキャンセルできる。
- しかしCSRによるバンチ内エネルギー変化に伴うキックをキャンセルするには、最低4台の偏向電磁石が必要。

偏向電磁石4台で構成するdogleg



CSR効果の横方向成分によるキック

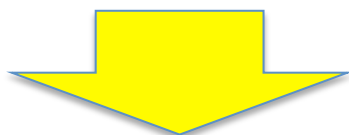
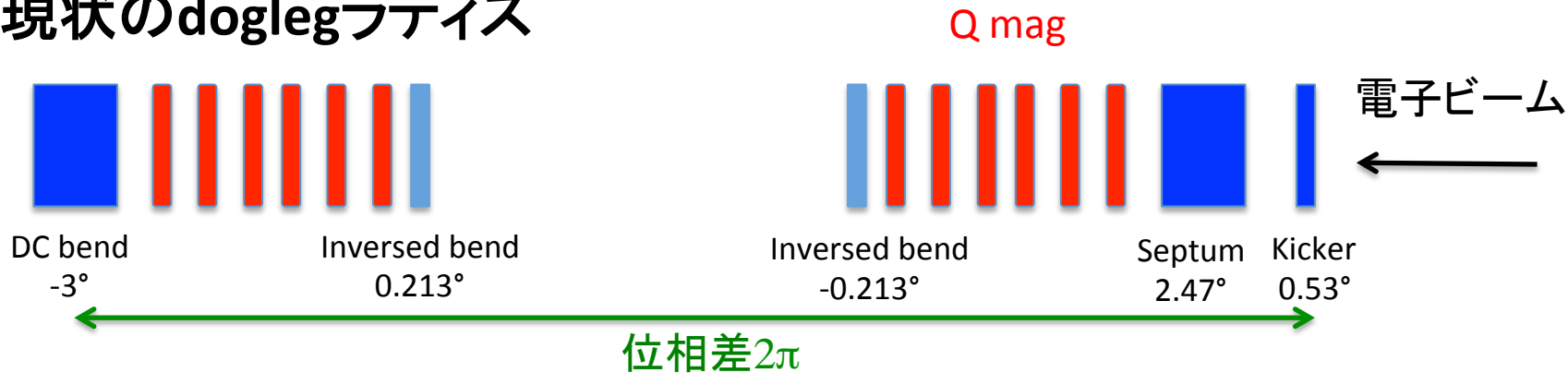
CSRによるエネルギー変化  
それに伴うキック

$\Delta\theta$	$-\Delta\theta + \Delta\theta = 0$	$-\Delta\theta$	$\Delta\theta - \Delta\theta = \underline{0}$
$\Delta E$	$\Delta E + \Delta E = 2\Delta E$	$2\Delta E + \Delta E = 3\Delta E$	$3\Delta E + \Delta E = 4\Delta E$
$\Delta\theta$	$-\Delta\theta + 2\Delta\theta + \Delta\theta = 2\Delta\theta$	$-2\Delta\theta - 4\Delta\theta - \Delta\theta = -7\Delta\theta$	$7\Delta\theta - 6\Delta\theta - \Delta\theta = \underline{0}$

4台の偏向電磁石間で縦方向のバンチ形状が変化しないことが前提

# 偏向電磁石4台でdoglegを構成

## ● 現状のdoglegラティス



2016年度冬に改造予定

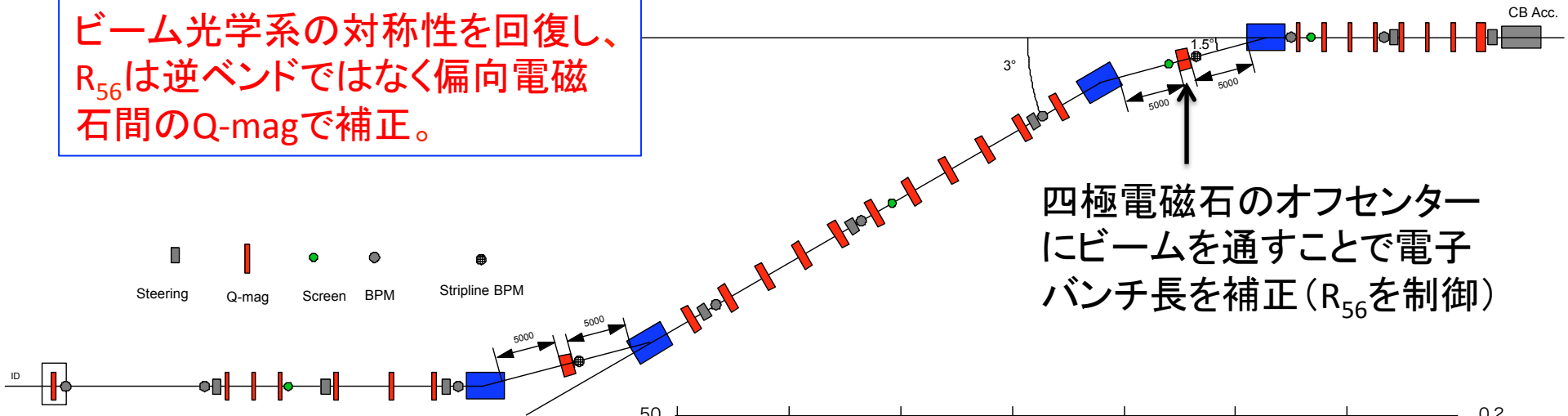
## ● 4ベンドdoglegラティス



キッカーの偏向角が約3倍になるためパルス電源安定性への負担が大

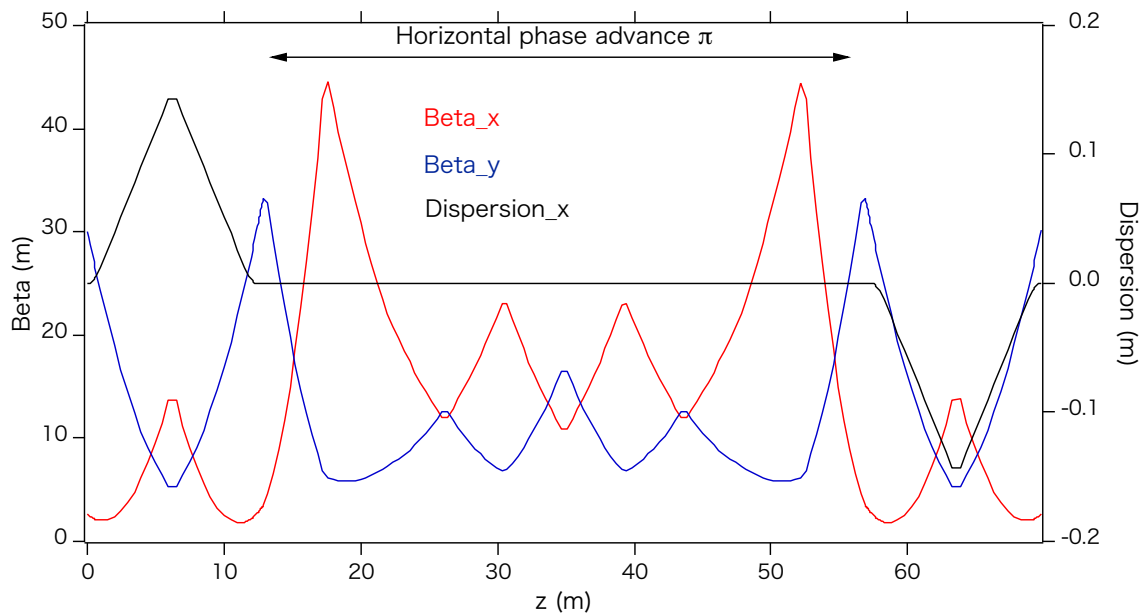
# 改造後のDoglegビーム輸送部

ビーム光学系の対称性を回復し、 $R_{56}$ は逆ベンドではなく偏向電磁石間のQ-magで補正。



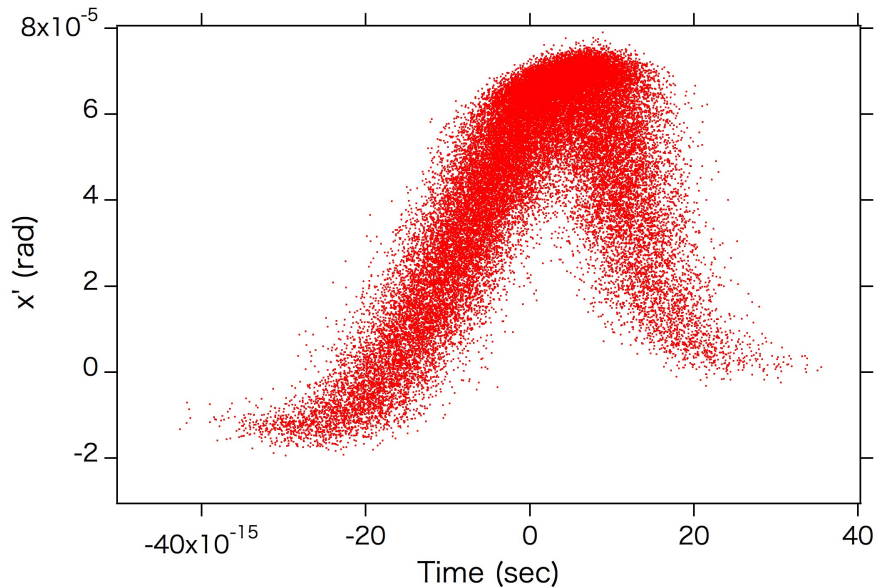
四極電磁石のオフセンターにビームを通すことで電子バンチ長を補正 ( $R_{56}$ を制御)

- 偏向電磁石部の水平ベータ関数をなるべく小さくすることで、CSR効果によるキックの方向に位相空間上のビーム分布を伸ばし、エミッタンスの増加を抑える。

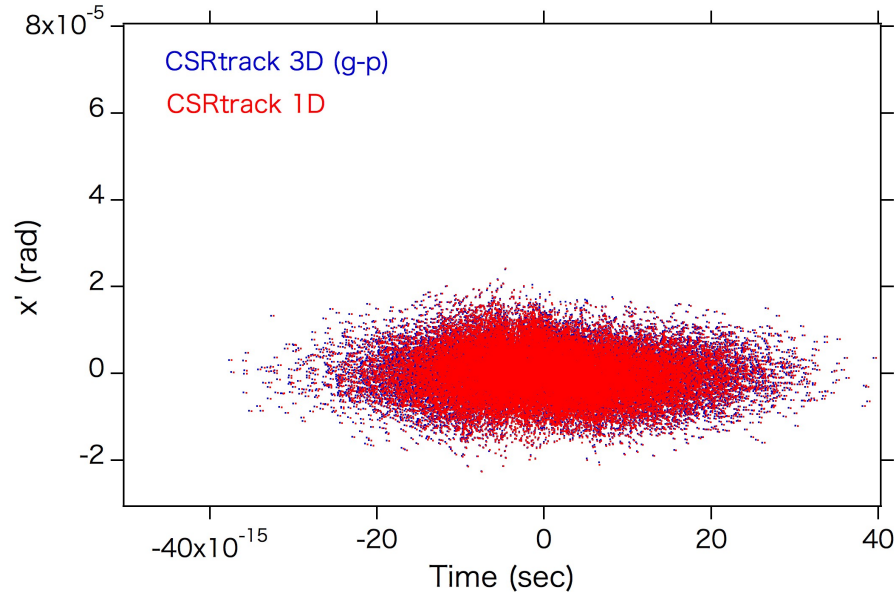


# Dogleg部における投影エミッタンスの増加

初期条件: ピーク電流10 kA、バンチ長20 fs、規格化エミッタンス0.8 mm-mrad  
 ビームエネルギー8 GeV



現状のdoglegラティス  
 9.4 mm-mrad



4バンドdoglegラティス  
 0.82 mm-mrad

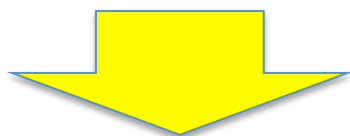
Dogleg通過後のt-x'位相空間上の電子バンチ分布

# キッカー電磁石用パルス電源開発

- 現状のキッカー電磁石用電源はFETユニット8並列で構成するPWM制御の非共鳴型のパルス電源



最大出力電流、電圧	320 A-150 V
最大繰り返し	60 Hz
出力波形	台形波
出力安定度	10 ppm (p-p)



- 新規キッカー電磁石用電源は、SiCパワーモジュールを用いたPWM制御の電源

最大出力電流、電圧	300 A-1000 V
目標出力安定度	10 ppm (p-p)

# まとめ

- SACLAでは、ビームエネルギーの異なる30 Hzの電子バンチを2本のビームライン(BL2, BL3)へ振り分け、同時レーザー発振を達成。
- しかしながらBL2へのdoglegビーム輸送路におけるCSR効果が無視できず、ピーク電流を2 kA以下に抑えて運転。
- マルチビームライン運転においてもSACLAのフル出力が出せるよう、2016年度冬にdogleg部ビーム光学系の改造を行う。
- マルチビームライン運転のみならず、将来のSPring-8蓄積リングへのビーム入射まで考えると、電子ビームの目的地に応じてバンチ毎にエネルギーやバンチ長などのパラメータを変える必要がある。SACLA線型加速器の中に、ビーム目的地毎にパラメータ制御を行う複数の仮想加速器を構築するような制御系の開発を進める。