

# SACLA加速器における 電子バンチ振り分けシステムの開発

原 徹、武部 英樹、稲垣 隆宏、大竹 雄次、田中 均

RIKEN SPring-8 Center

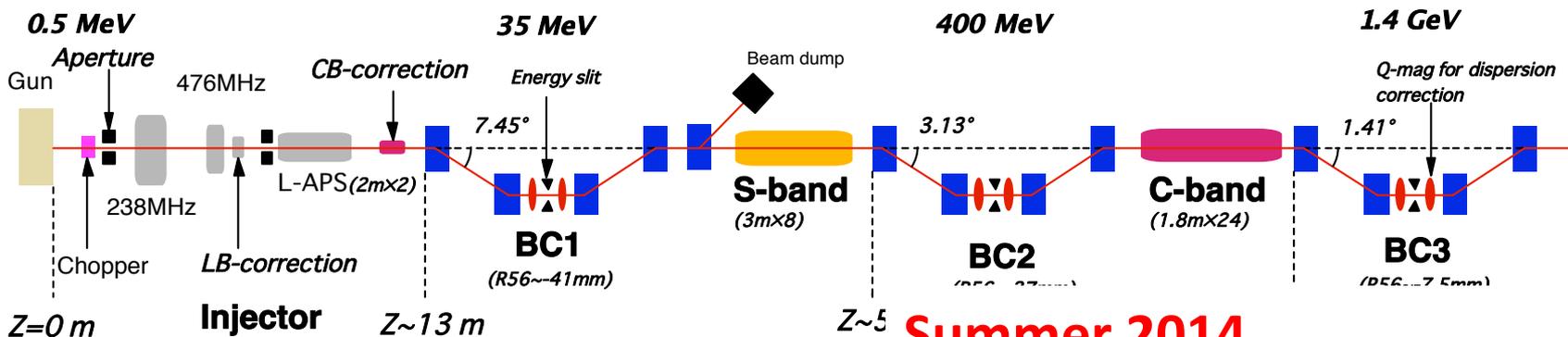
深見 健司、近藤 力

JASRI

# SACLA電子バンチ振り分け運転

- XFELはシングルユーザー施設であるが、複数BL運転は、実験装置入れ替え時間などのデッドタイムをなくし、電子バンチ振り分けによるBLの同時運用で利用効率向上が可能。
- 但し複数BL運転では、各利用実験で異なる波長のレーザーを使うことが予想されるため、電子バンチエネルギーの制御が不可欠。
- 将来のSPring-8アップグレード計画において、SACLAを低エミッタンス入射器として用いる場合にも、電子バンチ振り分け技術の確立は必須。

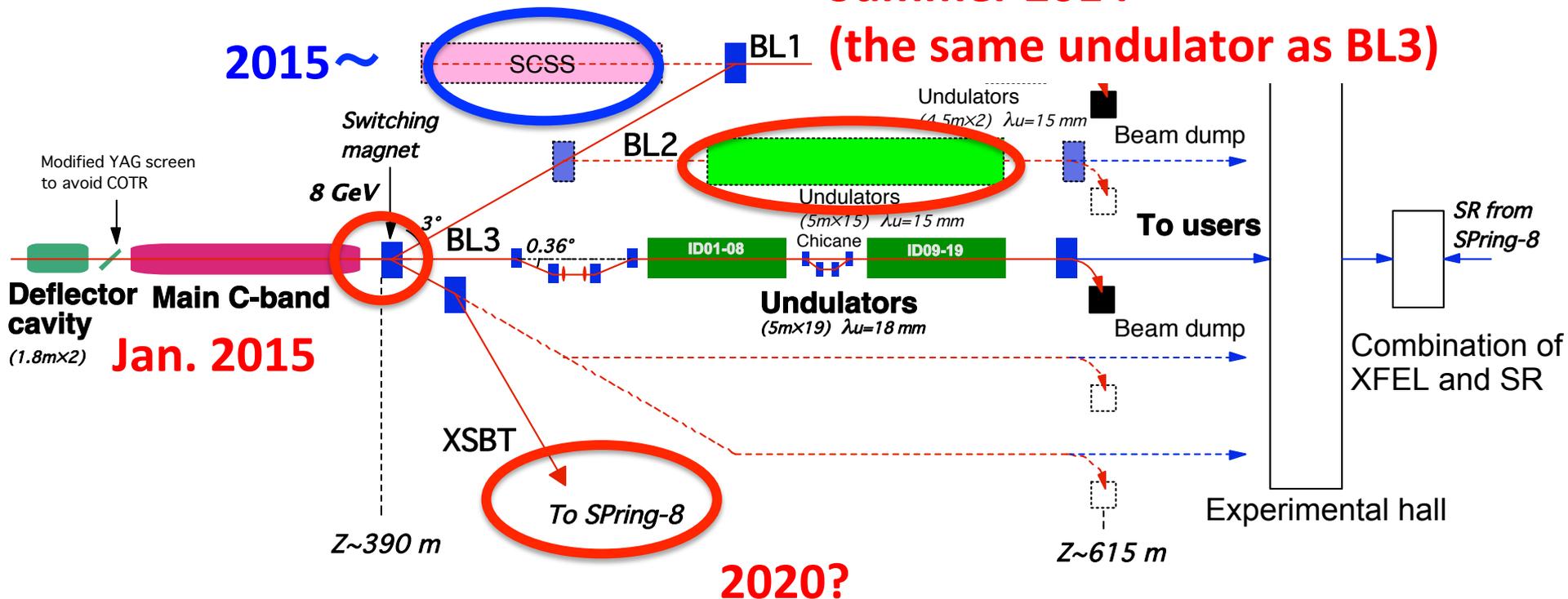
# Near future plans of SACLA



**Summer 2014**

**(the same undulator as BL3)**

**2015~**

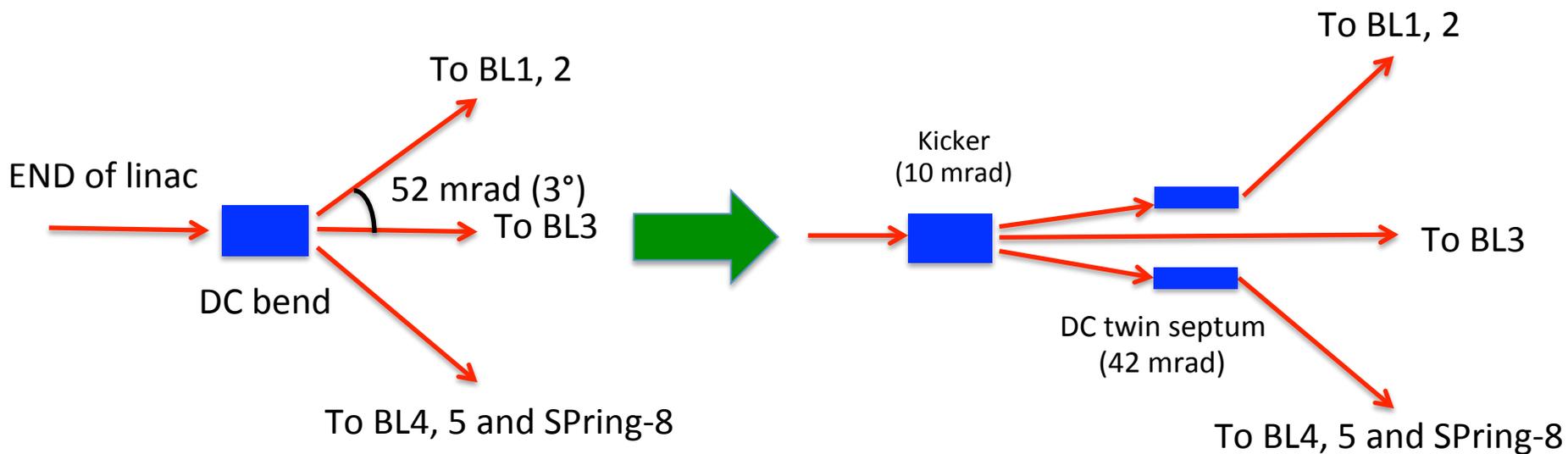


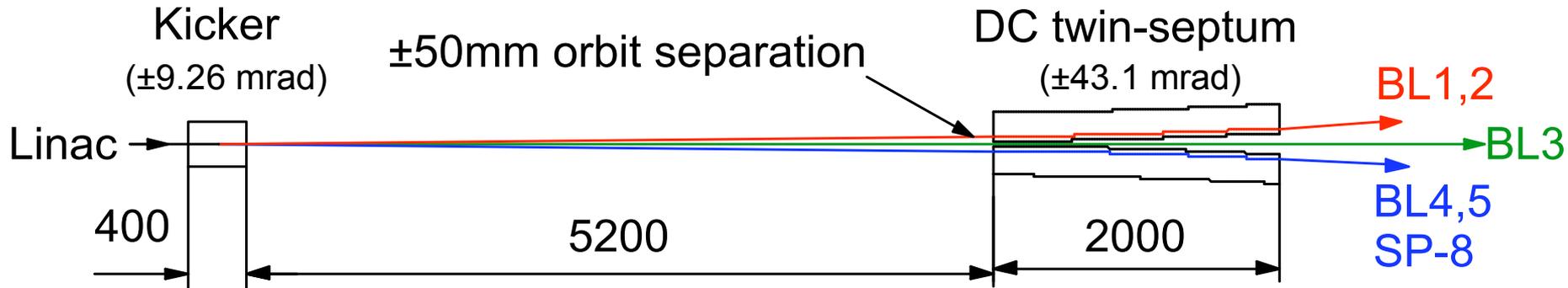
**Jan. 2015**

**2020?**

# 電子バンチ振り分けシステム

- 線型加速器終端にあるDC偏向電磁石を用いてビーム軌道を $\pm 3^\circ$ 偏向させることにより、現在はBLを切り替えている。
- 2015年1月より、DC偏向電磁石をキッカー+DCツインセプタム電磁石に置き換え、最大60 Hzの電子バンチを各BLへ振り分ける。





## Stability of power supplies (p-p)

- Kicker magnet  $3 \times 10^{-5}$  (target  $1 \times 10^{-5}$ ) =  $0.3 \mu\text{rad}$  ( $0.1 \mu\text{rad}$ )
- DC septum  $1 \times 10^{-5}$  =  $0.4 \mu\text{rad}$  (design)
- DC bend of BL2  $3 \times 10^{-6}$  =  $0.15 \mu\text{rad}$  (achieved)

Orbit stability  $1 \mu\text{rad}$  @BL3  $\rightarrow$   $1.13 \mu\text{rad}$  (p-p) @BL2

# キッカー電磁石および電源の開発

- キッカー電磁石および電源は製作済み



0.35 mm silicon steel

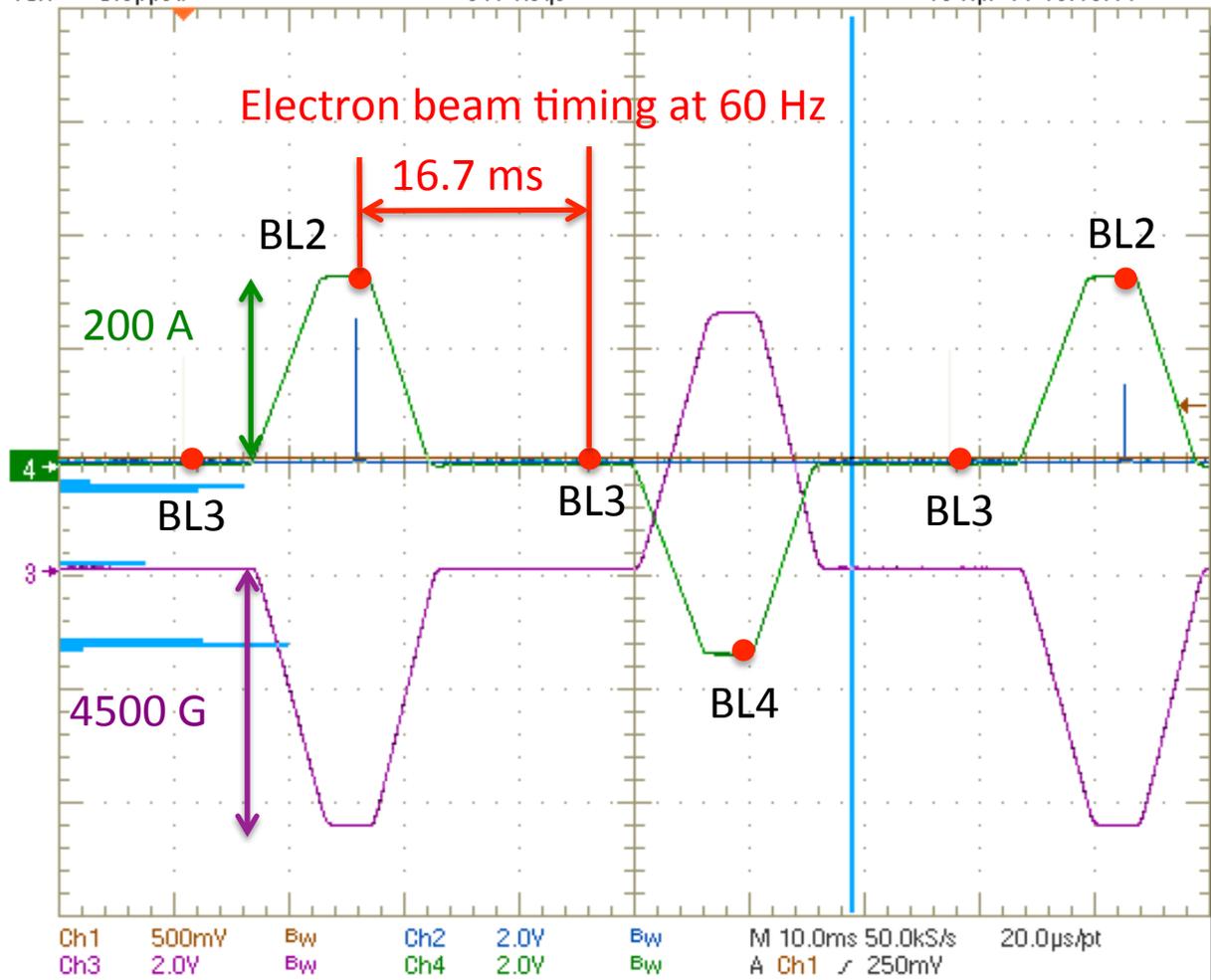
H. Takebe et al., SUOL01



PWM (Pulse Width Modulation) type,  
320 A-150 V,  
60 Hz trapezoidal waveform,  
FET 8-unit in parallel,  
made by Nichicon Kusatsu.

# 台形波駆動による任意振り分け

File Edit Vertical Horiz/Acq Trig Display Cursors Measure Masks Math MyScope Utilities  
 Tek Stopped 847 Acqs 18 Apr 14 16:19:41



Kicker current pattern measured by DCCT.

Distribution pattern to BL2, BL3 and BL4

Kicker field measured by a hall probe.

H. Takebe et al., SUOL01

# ゲート型NMRを用いたパルス磁場測定



- A gated NMR for the measurements of pulsed fields.
- Resonant frequency is scanned within 0.6 ms.
- Gate timing can be synchronized to an external trigger.
- Readout every 0.5 sec.
- Accuracy  $2 \times 10^{-6}$ .

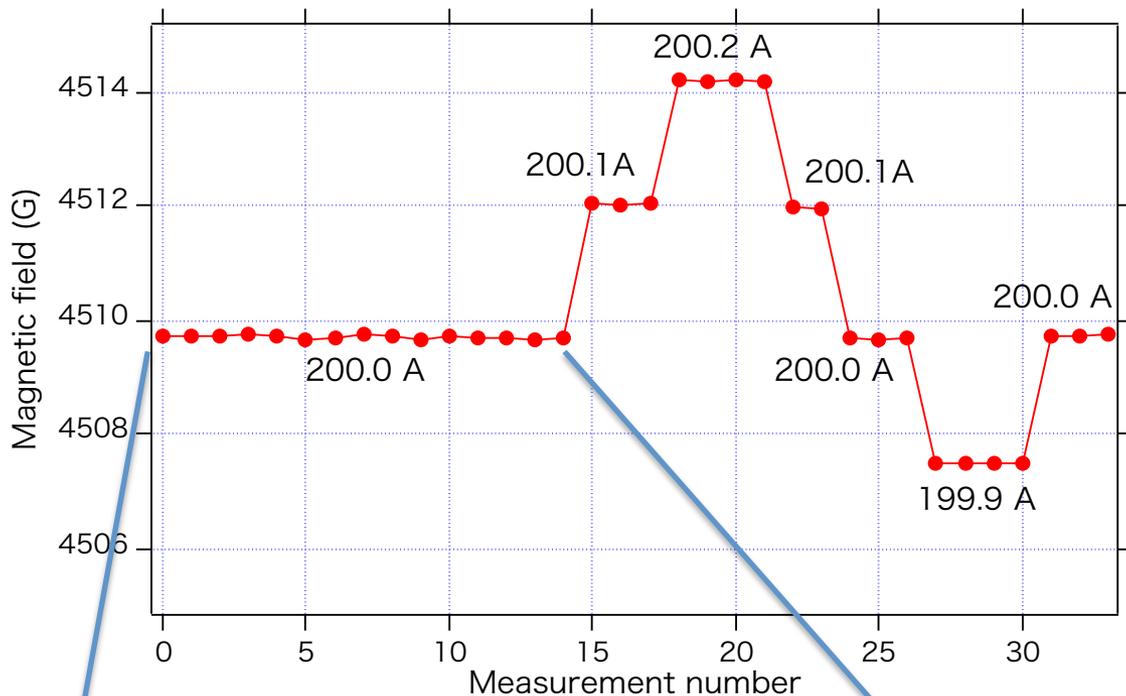


Gate opens for 0.6 ms

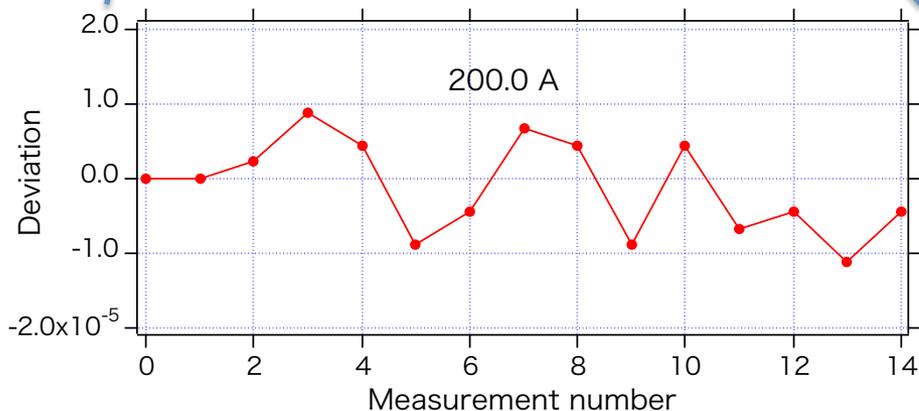


Developed by Echo Denshi.

# キッカー電磁石の磁場安定性

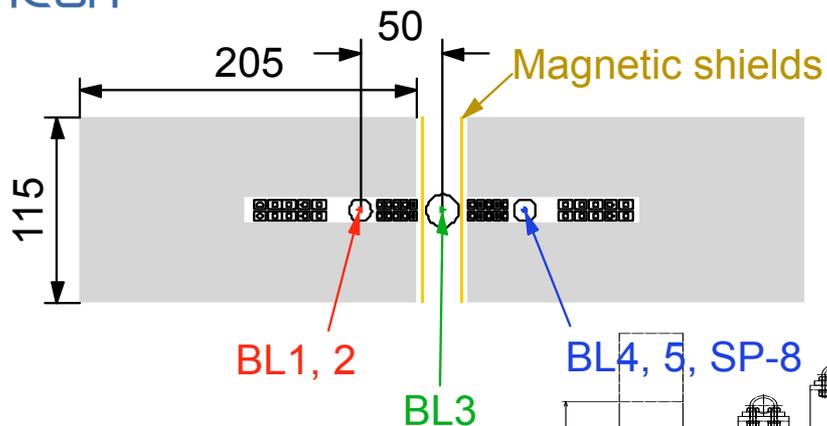


磁場安定性は  
±15 ppm以内



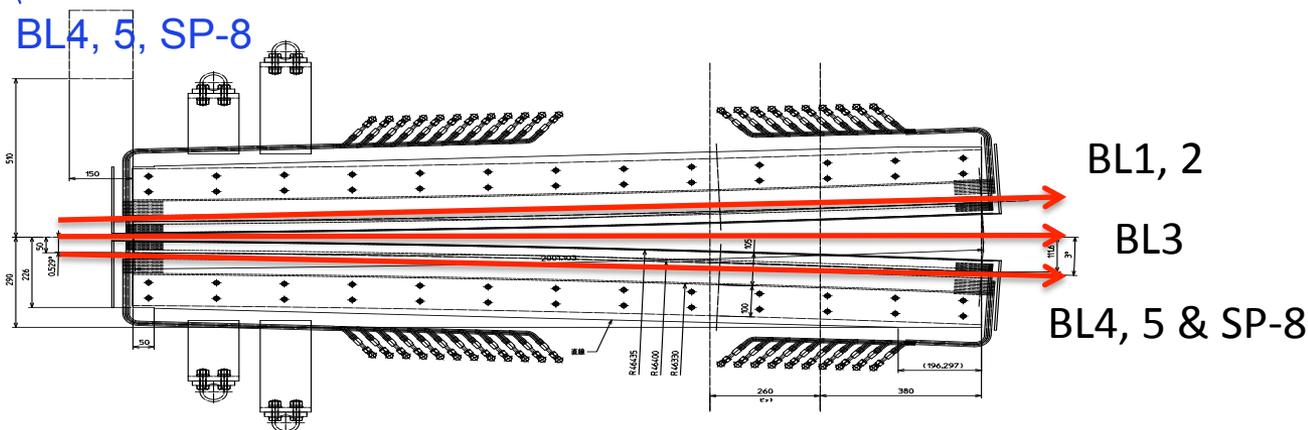
- Kicker was operated at 15 pps.
- Each data point represents the average of 7.5 shots.

# DCツインセプタム電磁石



DCセプタム2台のセプタム側を  
対向させて配置。

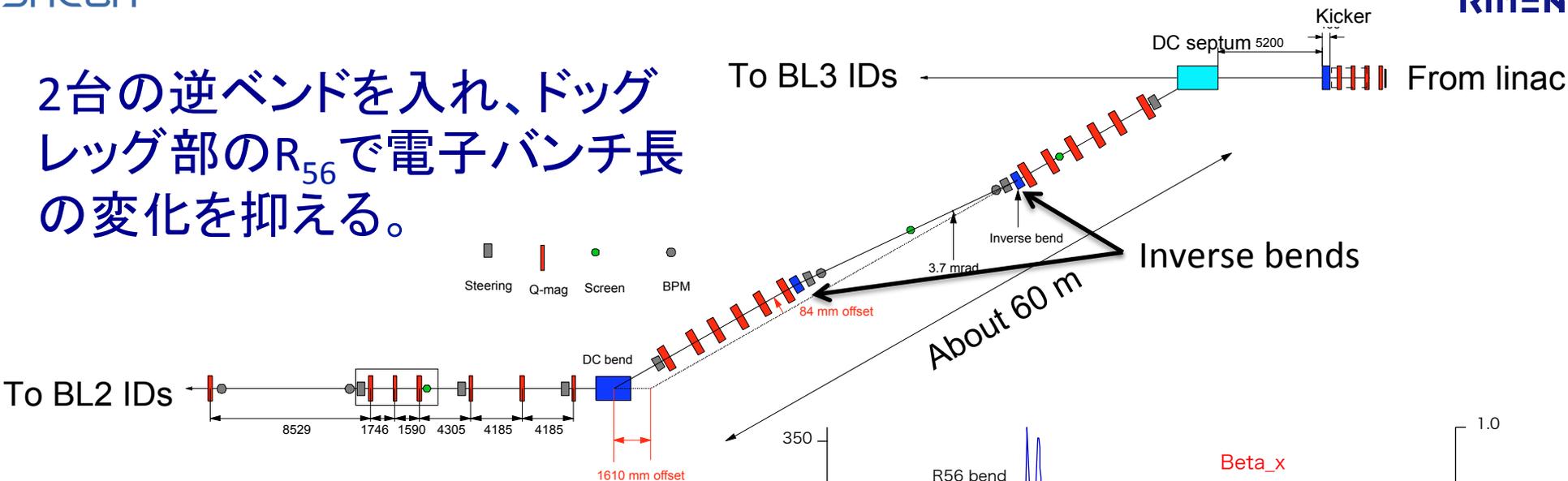
From kicker  
 $\pm 50$  mm orbit  
separation



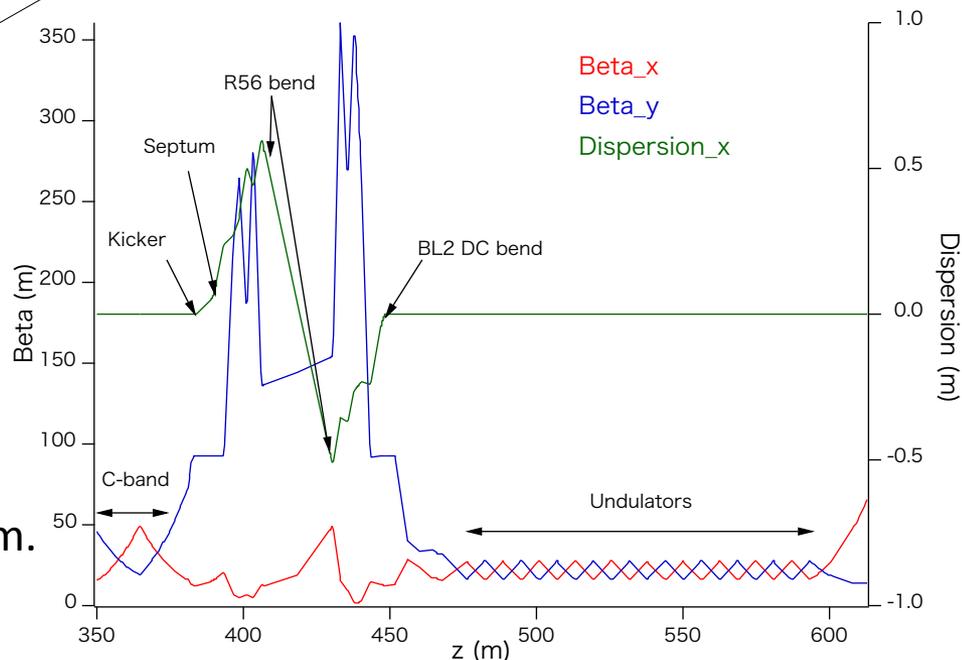
- 930 A-10 turns for one septum with the maximum field 7400 G.
- Expected leakage fields are about 0.2 G and 3 G with and without magnetic shield plates, when one septum is on. They can be further reduced with both septums on.
- DC twin-septum is currently under fabrication.

# BL2ドッグレッグ部

2台の逆ベンドを入れ、ドッグレッグ部の $R_{56}$ で電子バンチ長の変化を抑える。

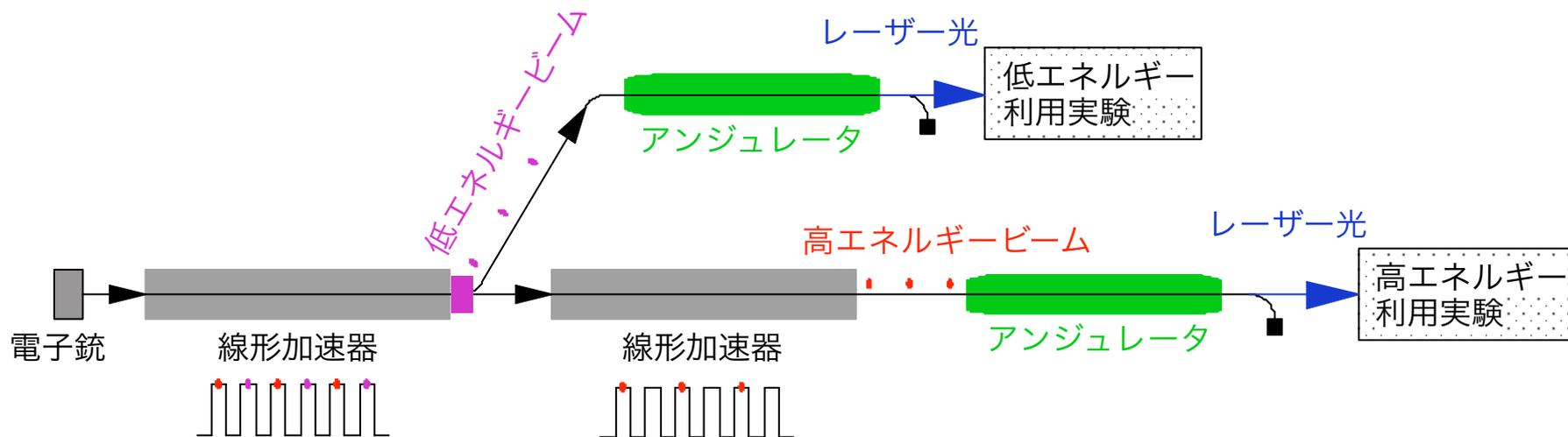


$R_{56}$  of dogleg:  
 DC switching magnet 1.6 mm,  
 kicker + septum without correction 4.0 mm,  
 kicker + septum with correction  $0.07 \pm 0.4$  mm.

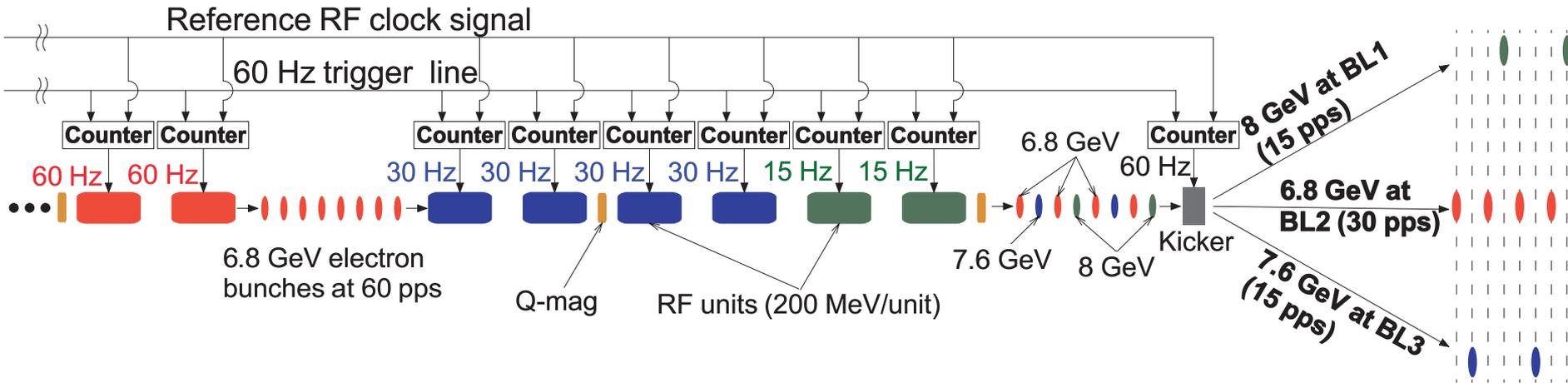


# 複数ビームラインの同時運転 (BL2+BL3)

- 利用実験で使用するレーザー波長がビームライン間で異なる場合、アンジュレータの波長調整範囲には制限があるため、電子バンチ毎にビームエネルギーを最適化する必要。

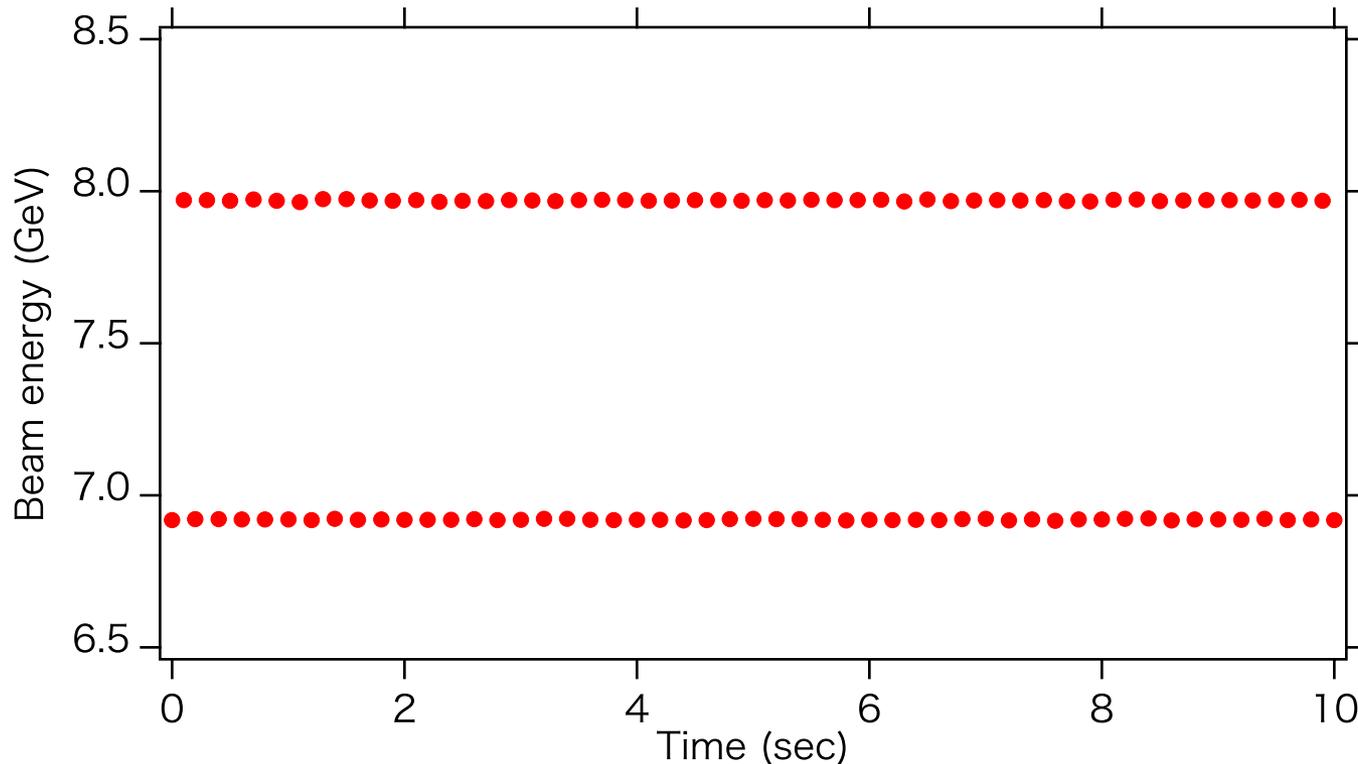


従来の施設デザイン (SwissFEL、PAL XFELなど)

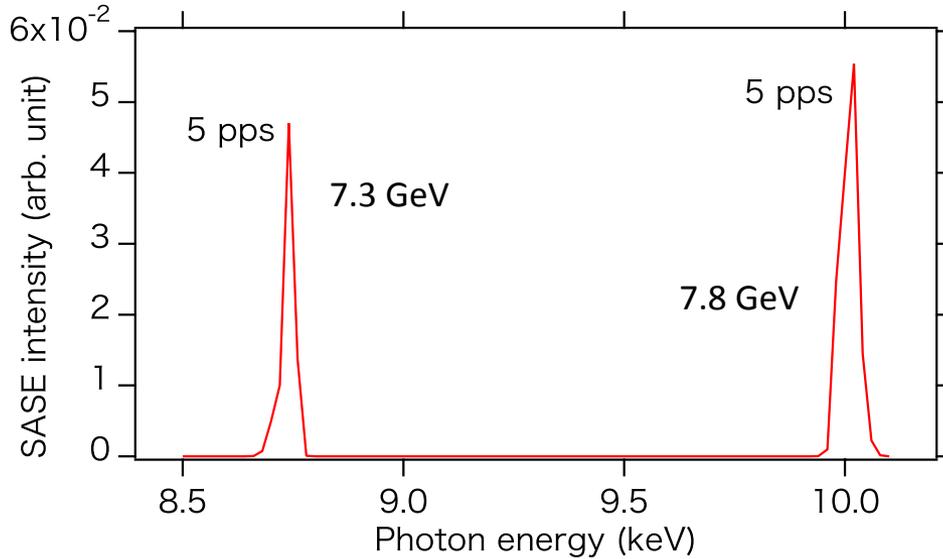


- 線型加速器のいくつかのRFユニットをビーム繰り返しと異なる周波数で動作させることにより、電子バンチ毎にエネルギーを制御。
- キッカー電磁石のバンチ振り分けと組み合わせ、最適なエネルギーを持つ電子バンチを各BLへ供給。

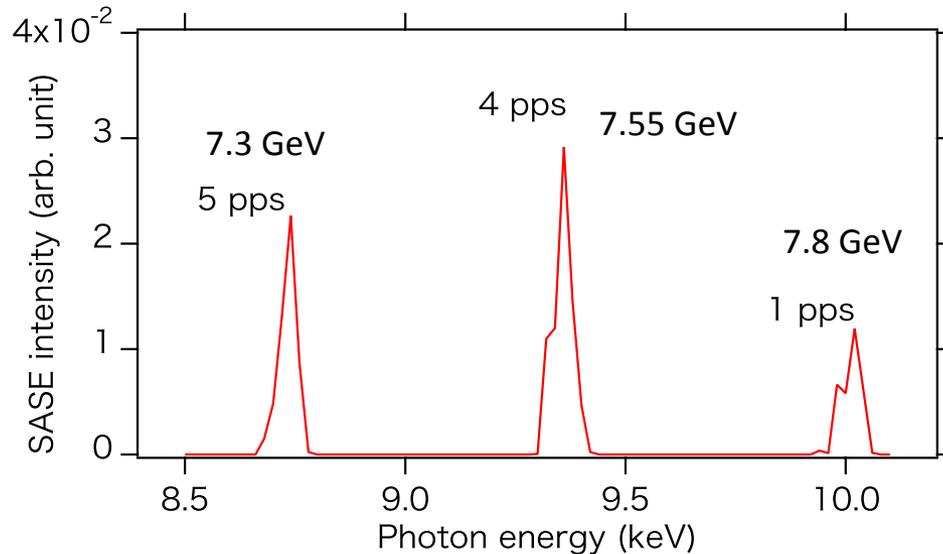
ビームエネルギーはBL3アンジュレータ上流のシケインで測定。



- Bunch repetition 10 Hz.
- 8 C-band RF units (16 accelerator structures) are operated at 5 Hz.



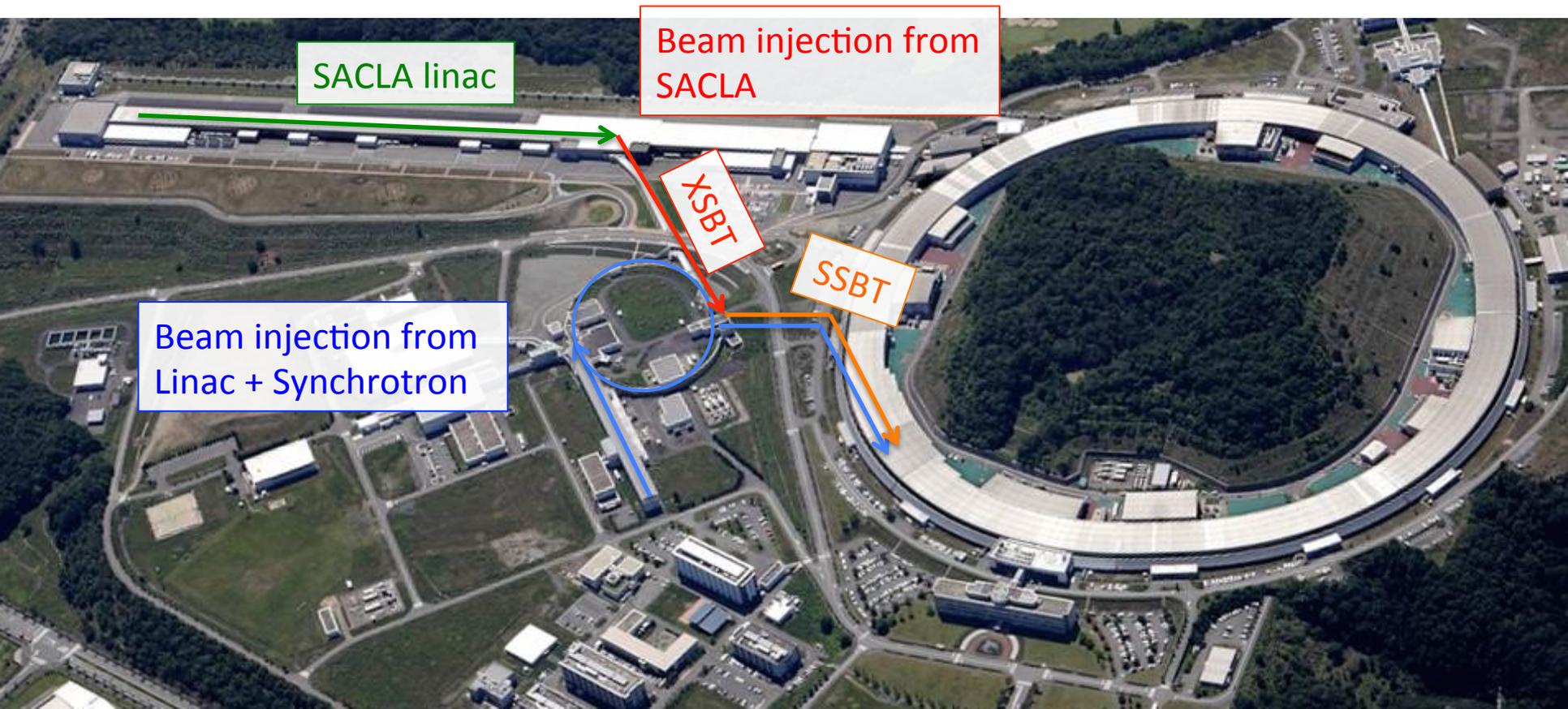
Bunch repetition            10 Hz  
 C-band 4 RF units        5 Hz



Bunch repetition            10 Hz  
 C-band 2 RF units        5 Hz  
 C-band 2 RF units        1 Hz

# SPring-8-IIへのビーム入射に向けて

- 電子ビームエネルギー6 GeV、電荷量100 pC程度。
- トップアップ時の入射器運転コストの削減し、高効率入射を達成する。
- SACLAからXBSTを通し、シンクロ出口までのビーム試験は終了。
- CSRによりエミッタンス悪化を防ぐため、ピーク電流の制御が課題。



# まとめ

- 2本目のXFELビームラインBL2を、2014年夏期停止期間に設置、秋よりDC偏向電磁石を用いてcommissioning。
- 2015年1月より、キッカーとDCツインセプタムを用いた電子バンチ振り分けおよびビームエネルギー制御の試験を開始。
- SPring-8-IIへのビーム入射に向けての課題
  - RFユニットのオンオフのみならず位相をバンチ毎に変え、ピーク電流を制御する技術の確立。
  - 任意のタイミングで行う必要。
  - 常時入射には、信頼性や再現性の向上が不可欠。