

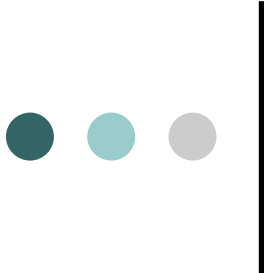


ERLのパルス当たり光子数と FELオプション

羽島

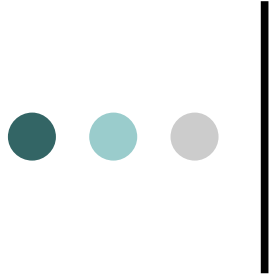
ERLビームダイナミクスWG

2008年4月10日



フラックス(光子数)が少ない？

- 3月のERL研究会で、「ERLではパルスあたりの光子数が少ない」との指摘があった。
- これに対して、加速器側からの回答が必要。
 - 現状の設計の確認
 - 可能なオプションの提示
 - FELの可能性



フラックスの近似計算

X-ray data booklet <http://xdb.lbl.gov/>

$$F_n [\text{ph./s/0.1\%}] = 1.431 \times 10^{14} N_u Q_n(K) I [\text{A}]$$

$$Q_n(K) = nK^2 [JJ]^2 / (1 + 0.5K^2)$$

$$[JJ] = J_{(n-1)/2}(\xi) - J_{(n+1)/2}(\xi) \quad \xi = nK^2 / (4 + 2K^2)$$

5 GeV ERL として、100 pC、 $\lambda u = 1.5$ cm、 $N_u = 270$ 、 $K = 1.05$ などを仮定すると

$$F_n [\text{ph./pulse/0.1\%}] = 2 \times 10^6 \quad \text{for 10 keV X-ray}$$

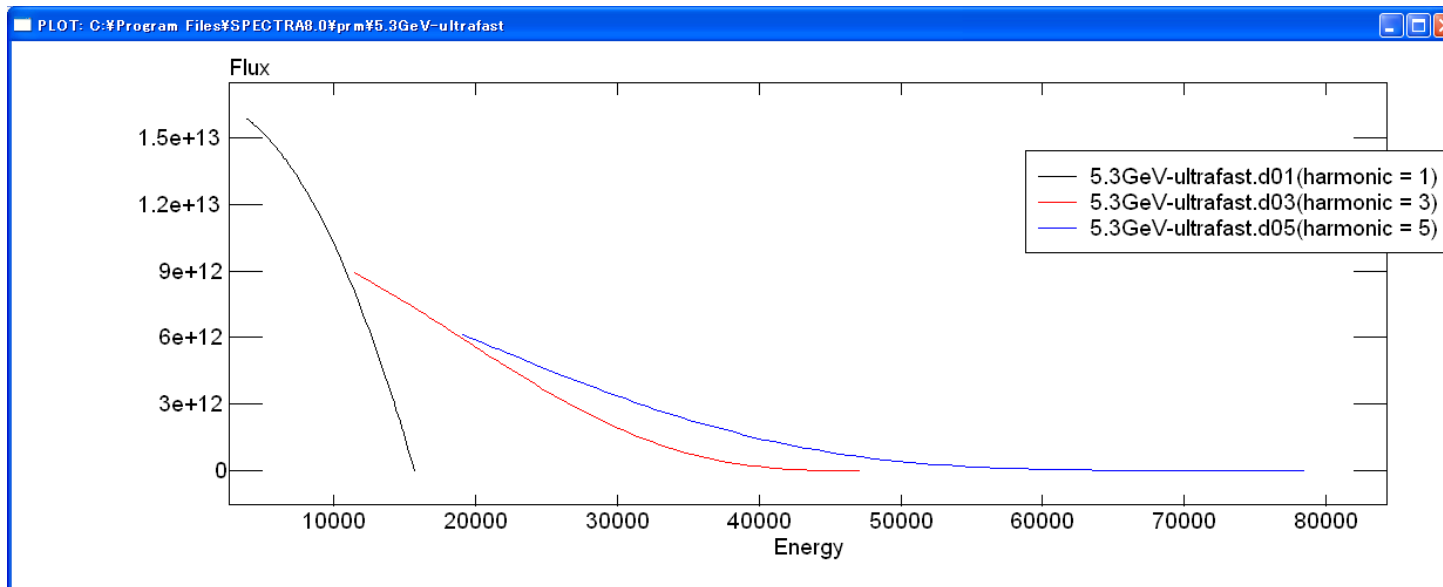
5.3 GeV ERL ^[1]として、1 nC、 $\lambda u = 1.7$ cm、 $N_u = 240$ 、 $K = 1.34$ では

$$F_n [\text{ph./pulse/0.1\%}] = 2.5 \times 10^7 \quad \text{for 10 keV X-ray}$$

論文中の値は 7.65×10^6

[1] Expected Performance of the Proposed Cornell ERL X-ray Source
Qun Shen (CHESS) April 14, 2004.

フラックスの数値計算 (SPECTRA 8.08)



5.3 GeV、1 nC x 1 MHz = 1 mA、 $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 1\text{nm-rad}$ 、 $\sigma_t = 100\text{ fs}$ 、 $\sigma_E/E = 0.0023$
 $\lambda_u = 1.7\text{ cm}$ 、 $N_u = 240$

1×10^{13} @ 10 keV $\rightarrow 1 \times 10^7$ ph/pulse/0.1%



5GeV ERLのフラックス

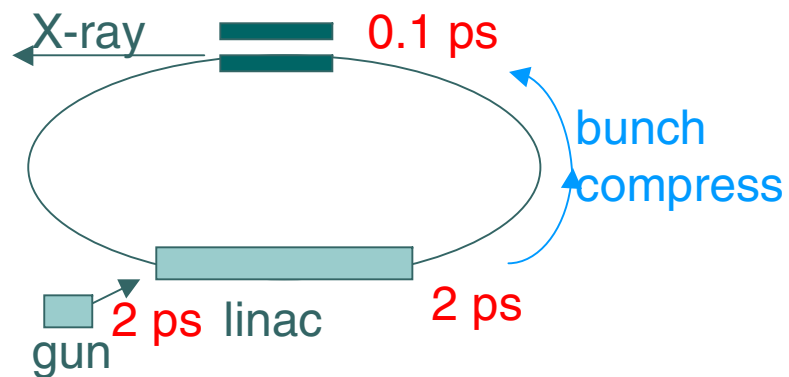
- パルスあたり光子数 (4mアンジュレータ)
 - $\sim 10^6/\text{pulse}/0.1\%$ @ 10 keV (100 pC)
 - $\sim 10^7/\text{pulse}/0.1\%$ @ 10 keV (1 nC)
- 光子数を増やすには
 - バンチ電荷を増やす
 - アンジュレータ周期数を増やす
 - FELの利用



ERLの長所の積極的な利用

- PF-ARの40 nCバンチと比較するとパルスあたりの光子数で劣るのはしかたない
- ERLの長所を積極的に利用する
- 短パルス (PF-AR=50 ps → ERL=0.1 ps)
- 高輝度＝微小領域への集光
 - X線と物質の相互作用増大＝S/N向上
 - 局所構造の解析

フェムト秒X線発生的方式



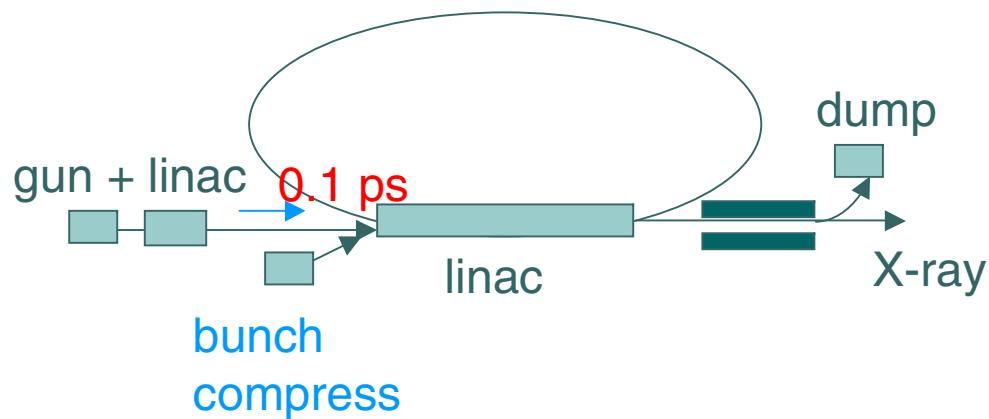
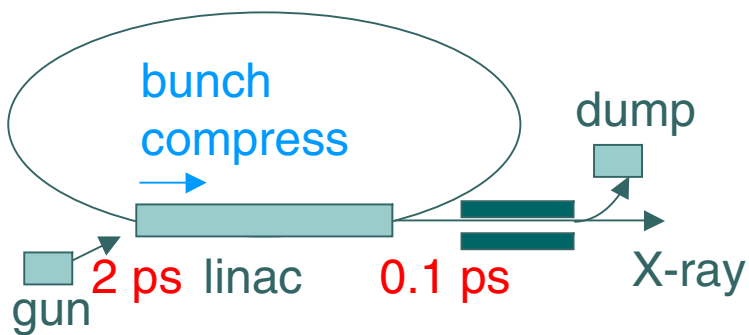
バンチ圧縮の場所

周回軌道でバンチ圧縮
 主加速器初段でバンチ圧縮
 専用入射器でバンチ圧縮

X線発生の場所 $3 \times 2 = 6$ 通り

周回軌道
 専用軌道(低繰り返し限定)

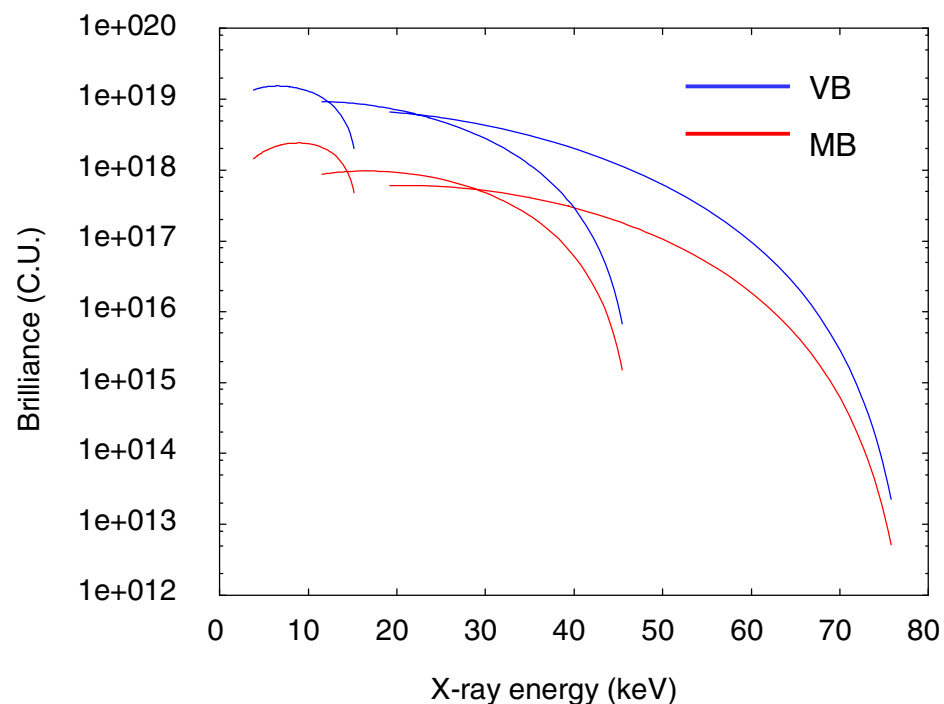
フラックス、輝度、運転モード、...



主加速器初段でのバンチ圧縮

主加速器初段での velocity bunching (速度集群):

- 偏向磁石を使わないのでCSRの影響なし
- 小さなエネルギー広がり → 高輝度



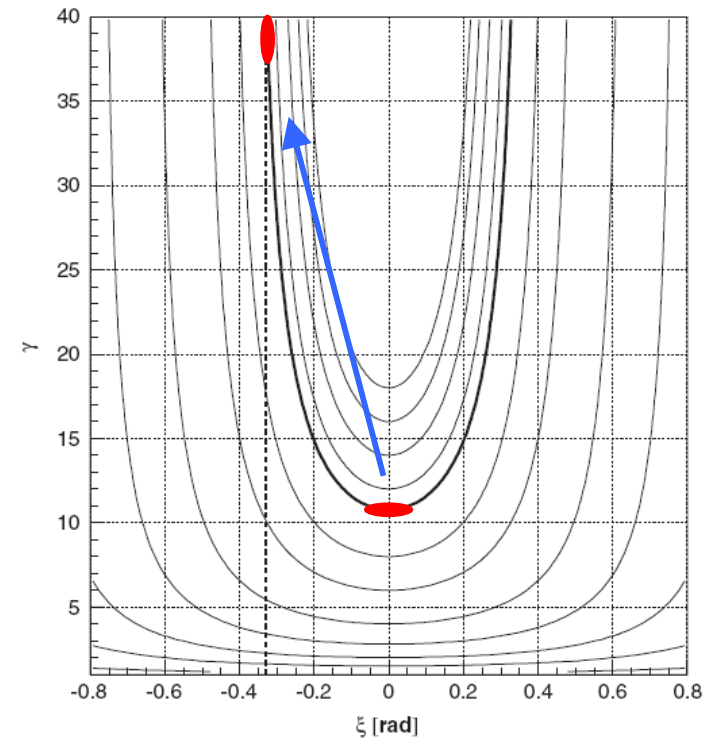
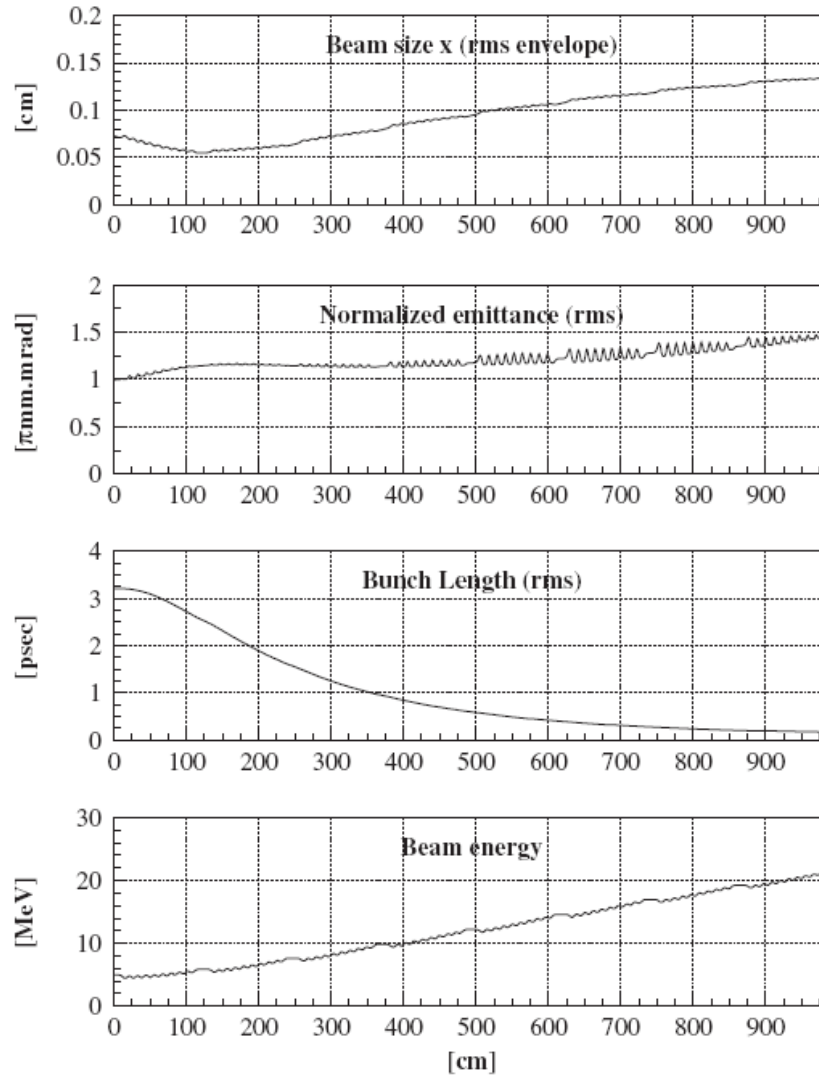
5 GeV, 100 pC x 1 MHz
100 pm-rad, 100 fs
 $\lambda_u = 1.5$ cm, $L_u = 20$ m

VB: velocity bunching
 $\sigma_E/E = 0.01\%$
MB: magnetic bunching
 $\sigma_E/E = 0.3\%$

velocity bunching の計算例

H. Iijima, NIM A557, 231 (2006)

9-cell x 8 で圧縮
3.2 ps \rightarrow 0.17 ps
77 pC



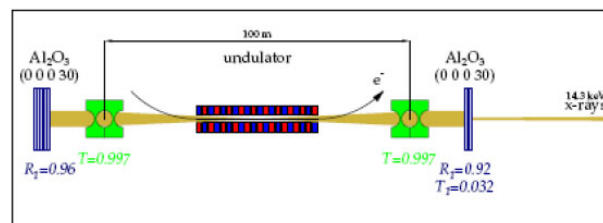
共振器型XFEL

10^9 photons from a 20 pC bunch
1-10 MHz rep.

Options for XFEL-O Cavities (Y. Shvyd'ko)

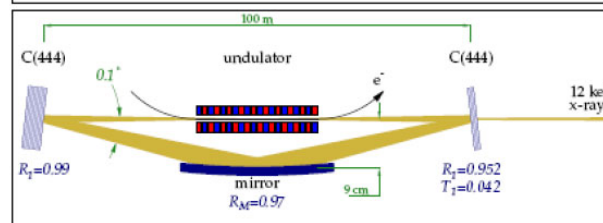
$\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Al}_2\text{O}_3$ @ 14.3 keV

$R_T=0.87$, $G_{\text{sat}}=15\%$, $T=3\%$



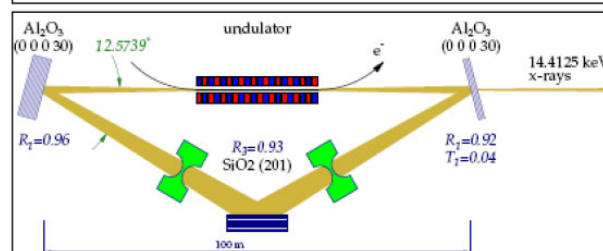
Cx Cx mirror @ 12.4 keV

$RT=0.91$, $G_{\text{sat}}=10\%$, $T=4\%$



$\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$ @ 14.4125 keV

$RT=0.82$, $G_{\text{sat}}=22\%$, $T=4\%$

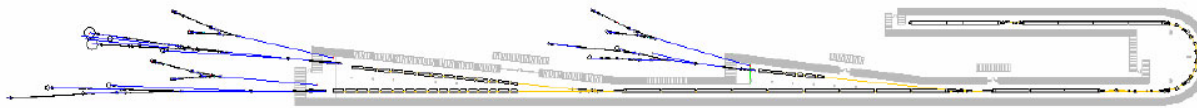


K-J. Kim et al., Frontiers in FEL 07.

seeded / HGHG FELs

BESSY FEL

2.3 GeV, 2.5 nC, 1 ps, 1.5 mm-mrad, 1 kHz
 1.24 - 51 nm, < 20 fs, $2 \times 10^{11} - 7 \times 10^{13}$ ph/pulse



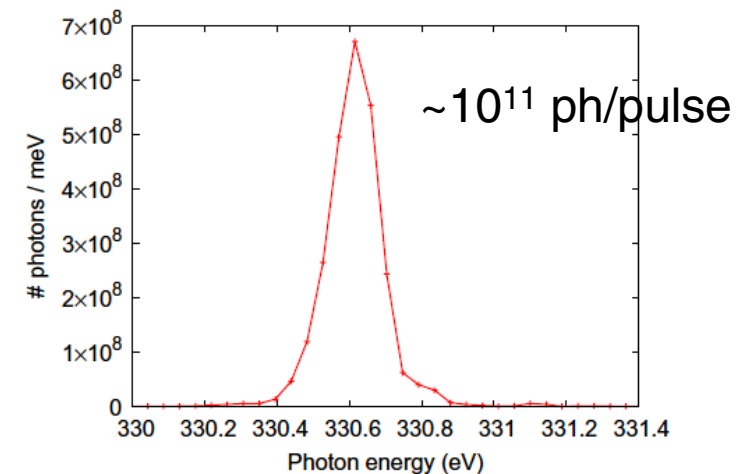
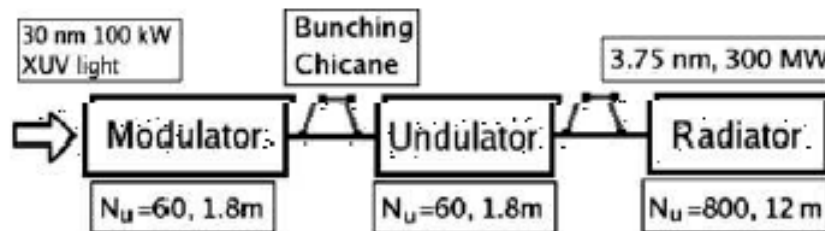
D. Krämer et al., FEL-2004.

Fig. 1: Foot print of the BESSY soft X-ray user facility with three independent FEL-lines serving three beam lines each. The total length of the facility is approximately 400 m.

LBNL proposal

M. Gullans et al., Opt. Comm. 274 (2007) 167.

1 GeV, $I_p=500$ A, 1.2mm-mrad, $\sigma_E = 75$ keV

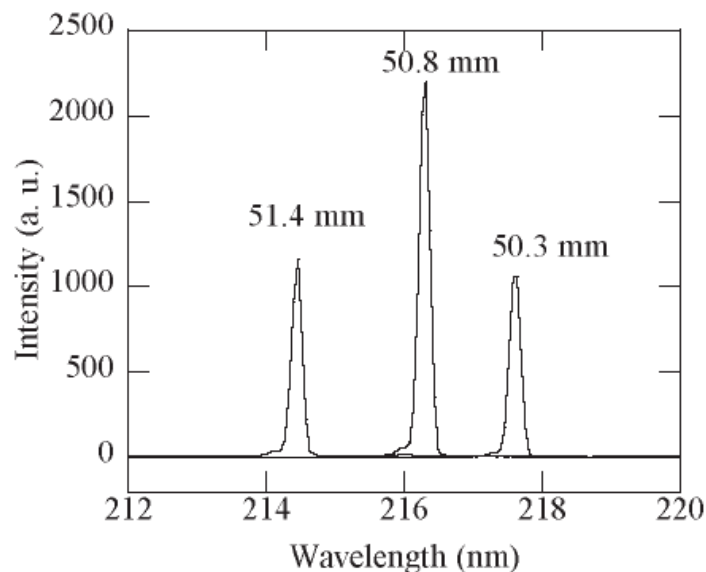


コンパクトERLでのFELの可能性

- 5 GeV ERL + 共振器型FELの準備
- ビーム品質・安定度の総合的な検証
- ユーザ利用実験

$E=200$ MeV, $l=4$ cm, $a_w=1 \rightarrow \lambda \sim 250$ nm

20 pC, 2 ps, $\varepsilon_n=0.5$ mm-mrad, $\sigma_E/E=0.1\%$, $N_w=100 \rightarrow \text{Gain} \sim 10\%$



M. Hosaka et al., FEL-2006

DUV-FEL @ UVSOR-II

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ multi-layer mirrors
round trip = 97.8 %



まとめ

- ERLのパルス当たり光子数は、10 keVで 10^6 - 10^7 ph/0.1% (4mアンジュレータ)
- 短パルス＋高輝度の特長を引き出すような設計が必要。(例えば速度集群)
- FELを使えば、パルス当たり光子数は増やせる。
- “5 GeV リニアック”は大きな資産であり、様々な方式のFELオプションを受け入れる余地がある。
- FELのパルス当たり光子数の例として、
 - 10^9 ph/pulse – 12 keV X-FELO
 - 10^{11} ph/pulse – 300 eV seeded FEL
- コンパクトERLにおけるFELの可能性
 - 共振器型DUV-FEL (200 MeV アップグレード)
 - seeded FEL (専用入射器?)