

EOタイミング制御によるHHGシードFELの持続的発振

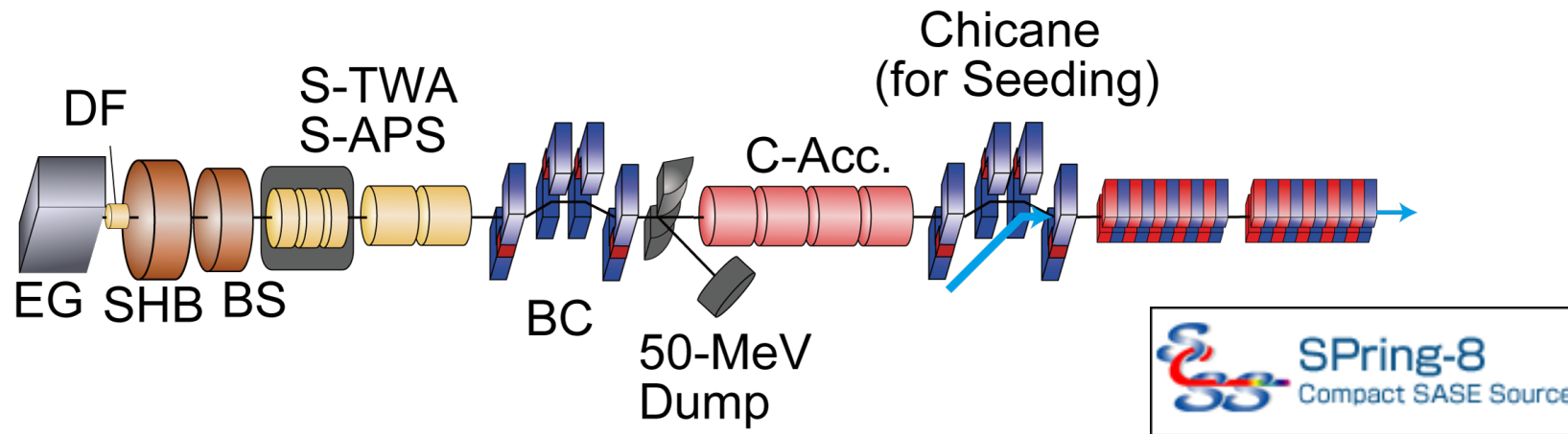
渡部貴宏^{A),B)}, 青山誠^{C)}, 岩崎純史^{D)}, 大竹雄次^{B)}, 大島隆^{B)}, 岡安雄一^{A),B)},
小川奏^{B)}, 大和田成起^{D)}, 佐藤堯洋^{D)}, 富樫格^{A)}, 渡川和晃^{B)}, 原徹^{A),B)},
田中隆次^{B)}, 富澤宏光^{A)}, 松原伸一^{A)}, 高橋栄治^{B)}, 緑川克美^{B)},
矢橋牧名^{B)}, 山川考一^{C)}, 山内薫^{D)}, 田中均^{B)}, 石川哲也^{B)}

A) JASRI, B) 理研, C) JAEA, D) 東京大学

1. SCSS試験加速器
2. SASE vs シードFEL
3. HHGシードFEL & EO実験体系
4. 結果・まとめ

SCSS試験加速器 (SPring-8) におけるFEL実験

250 MeV Linac + In-vacuum undulator



熱電子銃



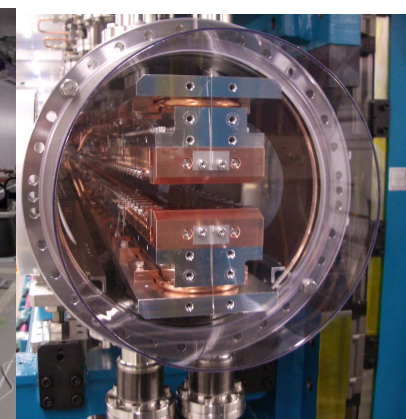
バンチ圧縮器



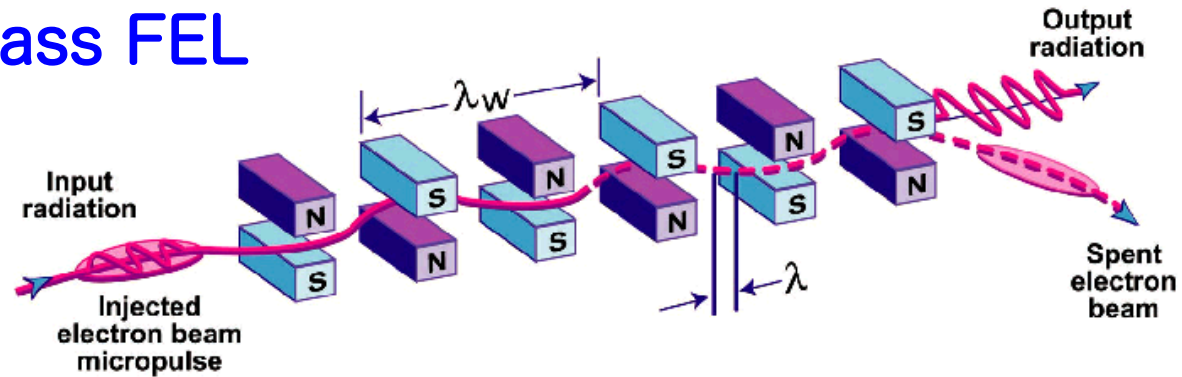
C-band加速管



真空封止
アンジュレータ

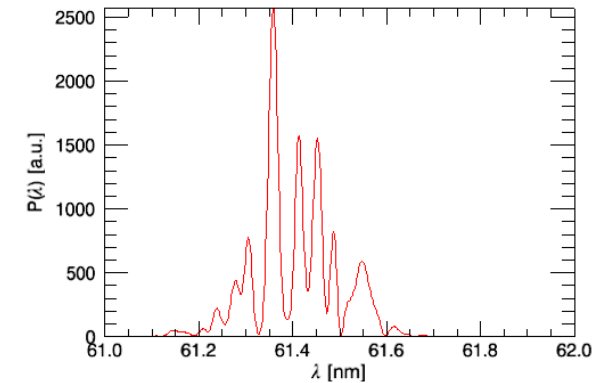


Single pass FEL



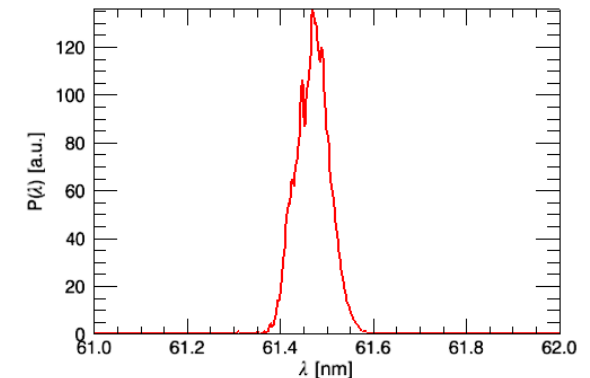
SASE

- Spontaneous emissionを増幅
- Transverse方向:コヒーレント
- Longitudinal方向:部分コヒーレント
- ショット毎に揺らぐ



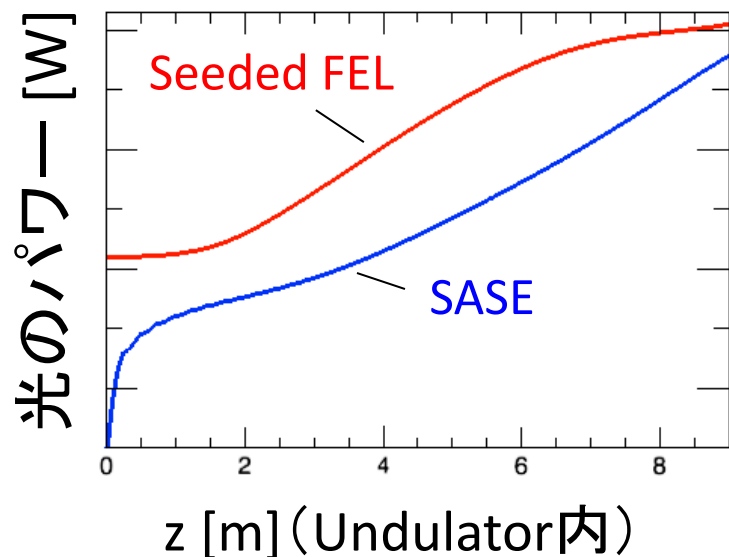
Seeded FEL

- 外部レーザー(コヒーレント光)を増幅
- Transverse方向:コヒーレント
- Longitudinal方向:コヒーレント
- ショット毎に揺らがない(原理的には)



SASE vs Seeded FEL

Gain curve (一例)



Pierce parameter:

$$\rho = \left[\frac{1}{16} \frac{I_e}{I_A} \left(\frac{K[JJ]}{1 + K^2/2} \right) \frac{\gamma \lambda_r^2}{\Sigma_A} \right]^{1/3} \approx 10^{-3}$$

Gain length (1D):

$$L_{G0} = \frac{\lambda_u}{4\pi\sqrt{3}\rho}$$

Saturation power:

$$P_{sat} = \rho P_{e-beam}$$

原理的にはSeeded FELは長所多数。実験的には課題あり。

課題1: 短波長領域のコヒーレント光をどうやって出すか?

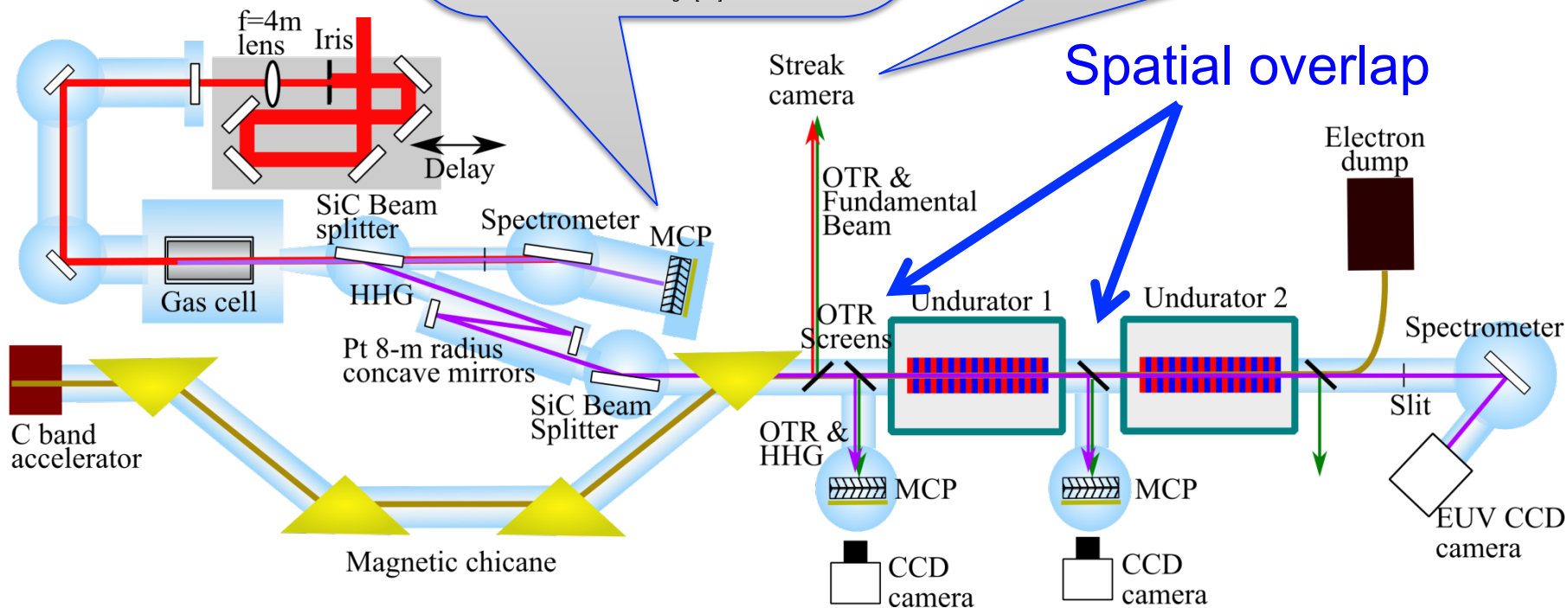
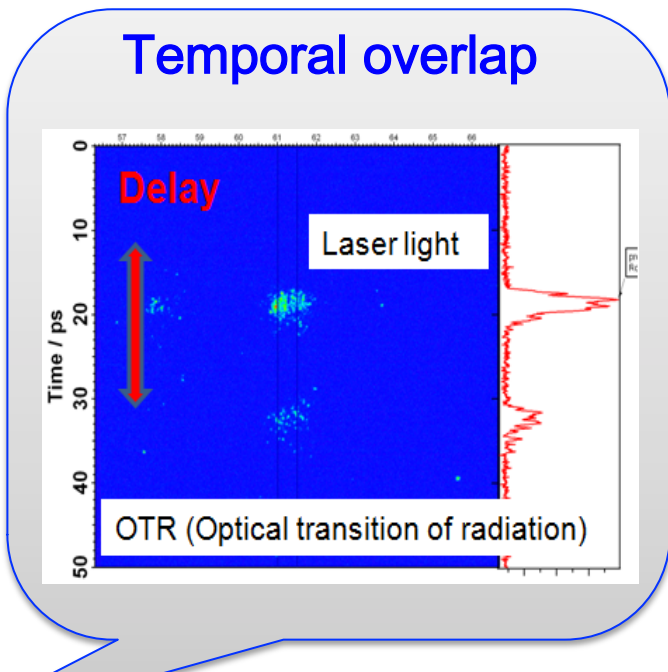
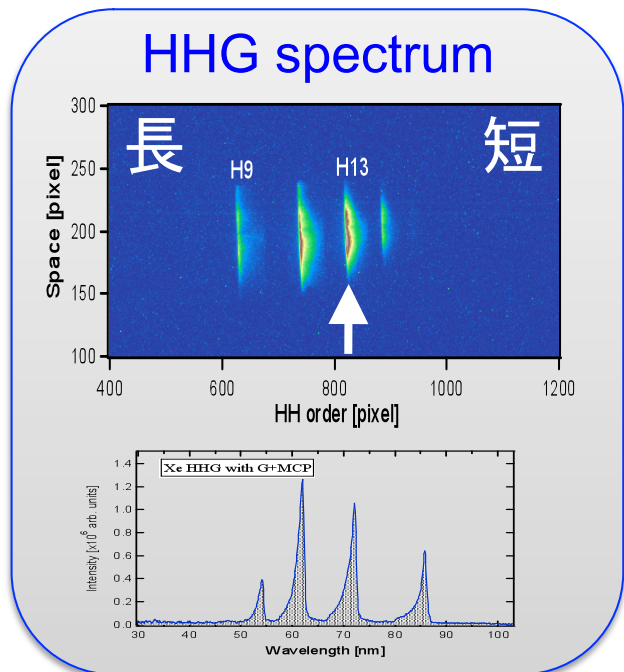
→ Self-seeding or HHG (今回の発表)

課題2: 実験的な不安定性(揺らぎ)をどう抑制するか?

→ 今回の発表

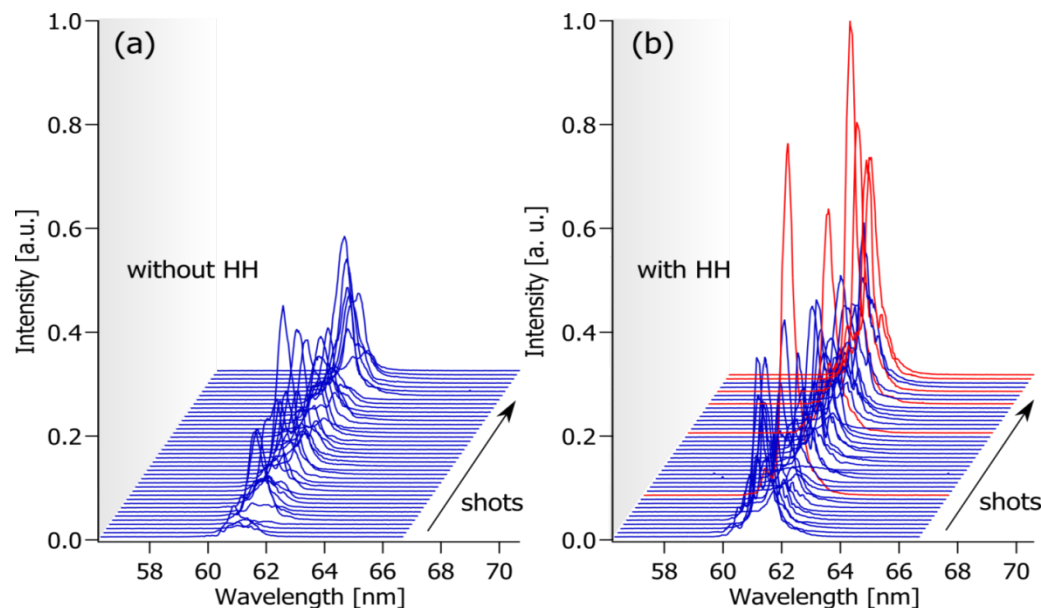
シードFEL + EO
実験体系と
6次元位相空間
オーバーラップ

13次光 = 61.5nm

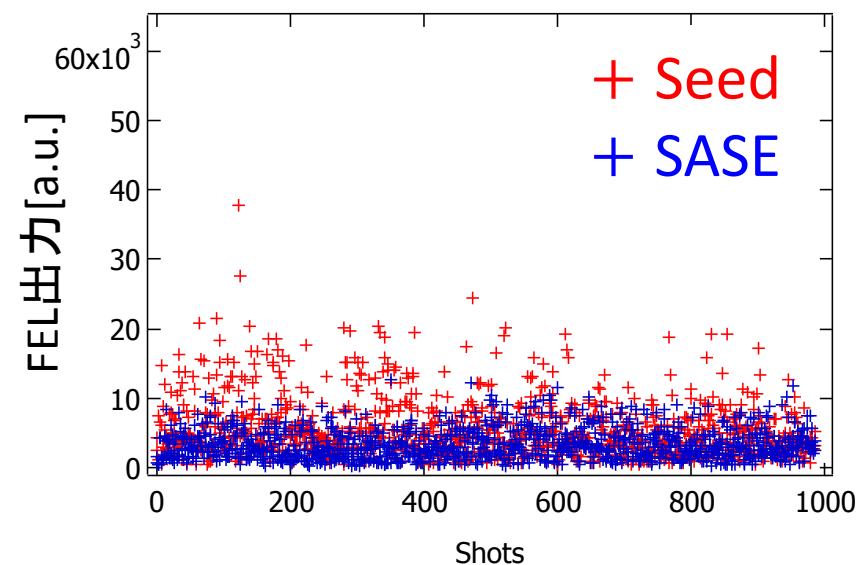


2010年 61.2nm シードFEL実験結果

50ショットのスペクトル



ショット毎のFEL出力

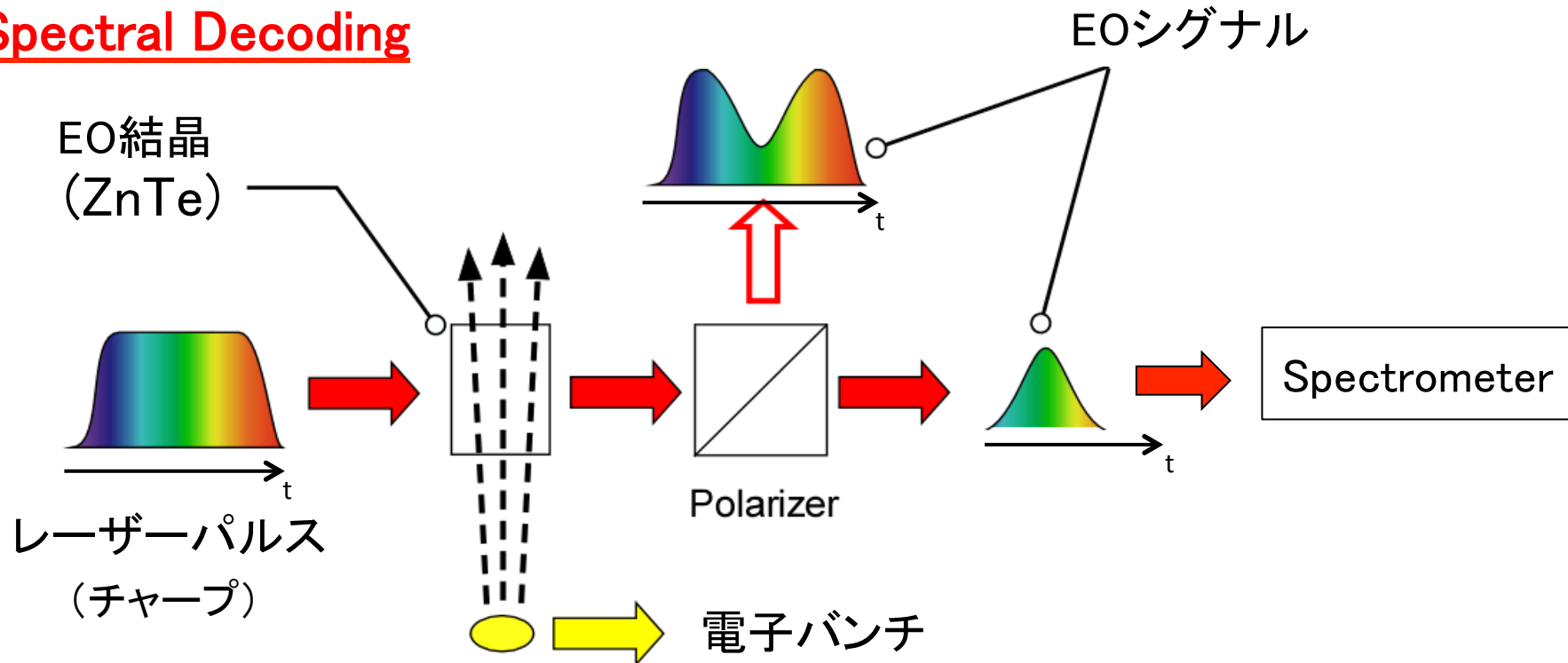


Seeded FEL: 1.3 μ J
Gain (HH seed pulse 2 nJ): x650
有効ヒット率 (4σ) : 0.3 %

61nmという短波長でのシード発振は1つの成果
一方で、持続的な発振／より高いゲインという課題も確認

EOサンプリングによるタイミング制御

Spectral Decoding



電子バンチがEO結晶付近を通過

→ 同時に通過していたレーザーの偏光が変調

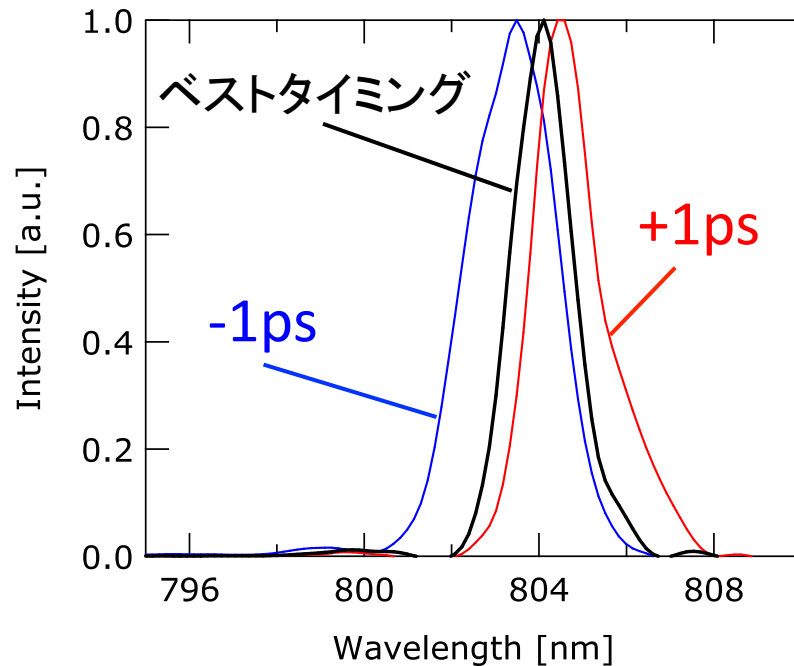
→ 変調を受けた波長から電子のタイミングを同定

8/5(月) 11:10~11:30 MOOS04 @ シンポジオン会議室

岡安雄一「有機ポッケルスEO結晶を用いた電子バンチ電荷分布測定(1)」

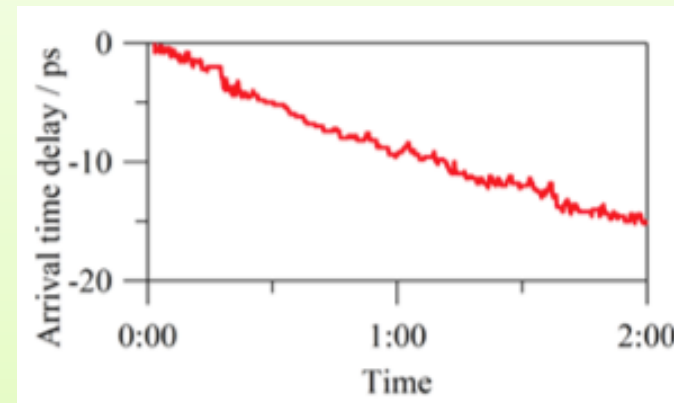
EOサンプリングによるタイミング制御

EOシグナル



$$1 \text{ ps} = 0.5 \text{ nm}$$

電子ビームとレーザーパルスの 相対的なタイミングのドリフト

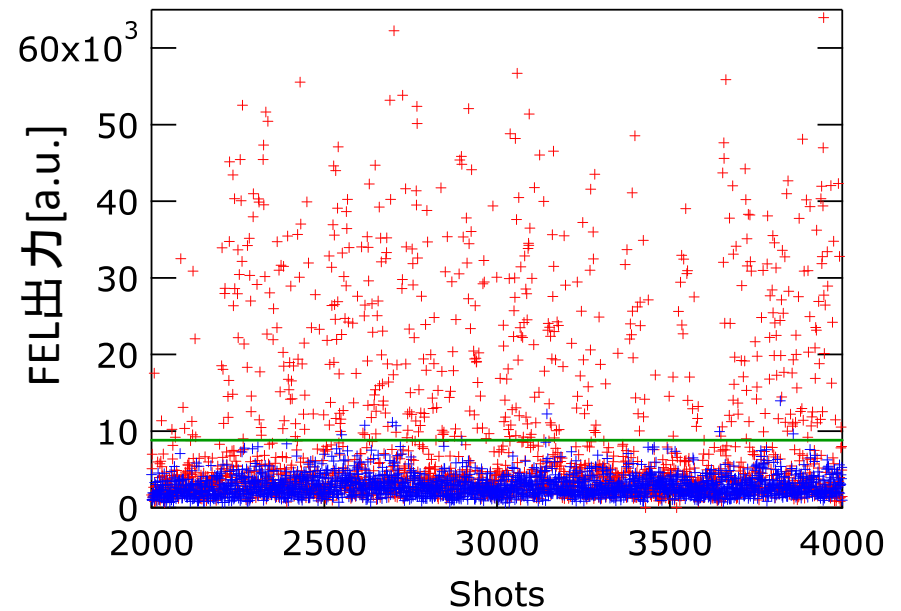
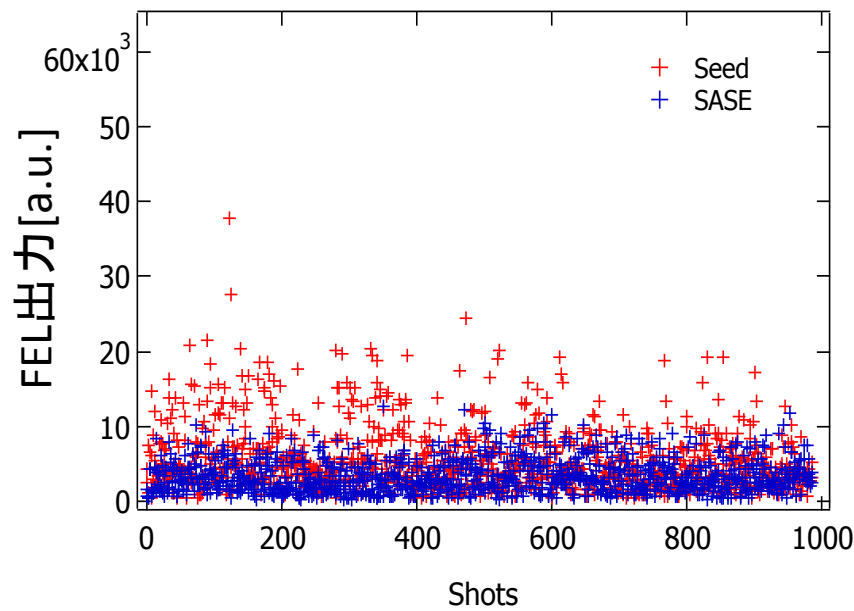


2時間で15psのドリフト(一例)

EOタイミング制御による持続的シードFEL発振

2010年 (EOタイミング制御なし)

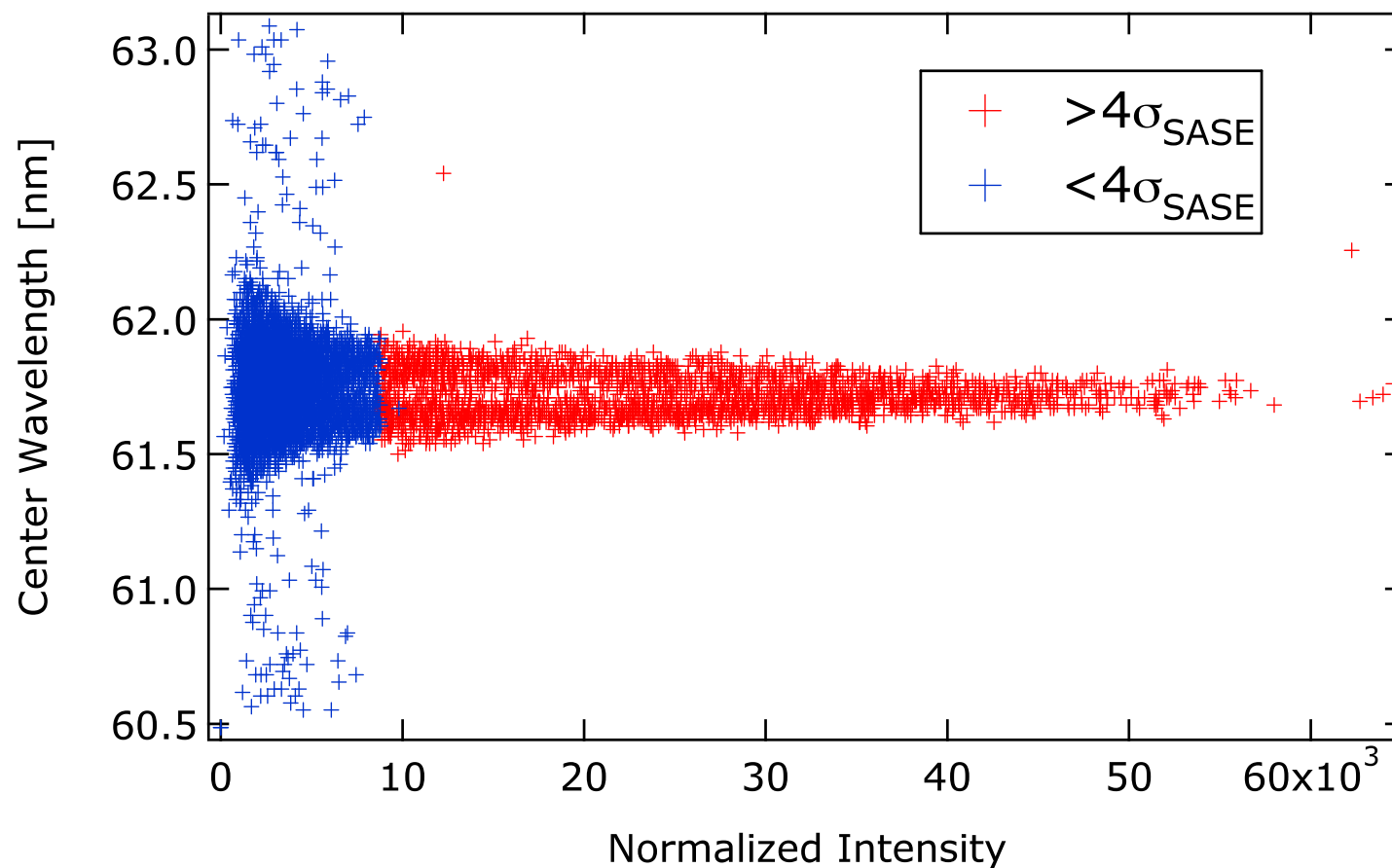
2012年 (EOタイミング制御あり)



	有効ヒット率 (4σ)	
0.3 %	→	24 %
1.3 μ J	最大出力エネルギー	20 μ J
(x650)	(ゲイン)	(x10 ⁴)

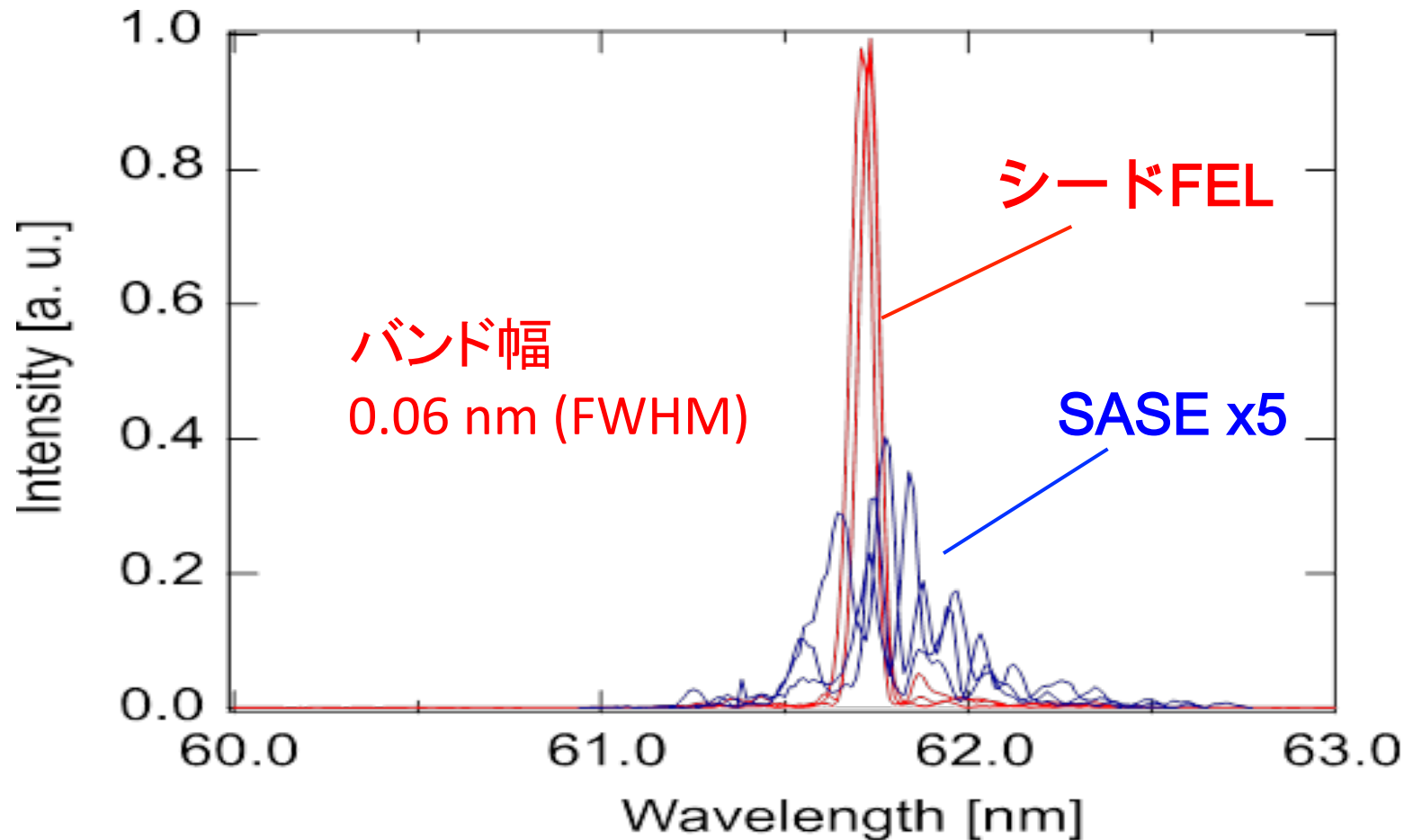
* Seed pulse energy ~ 2 nJ

出力FELパルス ショット毎の揺らぎ



SASE : 広い波長領域で揺らぐ
Seeded FEL: 狭い波長領域で揺らぐ

スペクトル ～ シードFEL vs. SASE ～

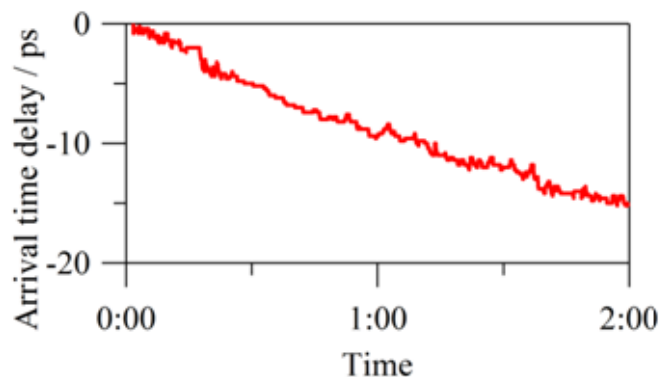


シードFEL: 1スパイクで、強度が強く、バンド幅が狭い

SASE FEL: スパイクが多数あり、強度が弱く、バンド幅が広い

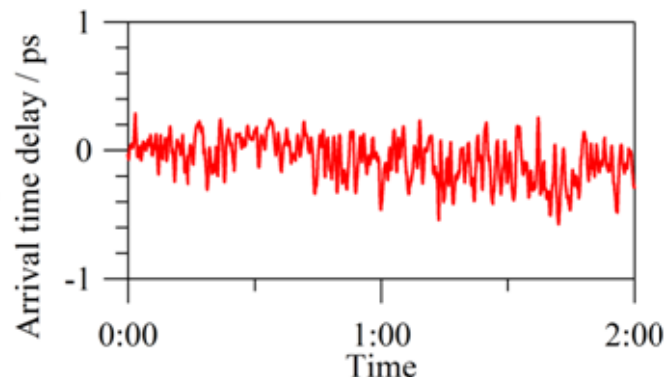
EOサンプリングによるタイミング制御

フィードバックなし



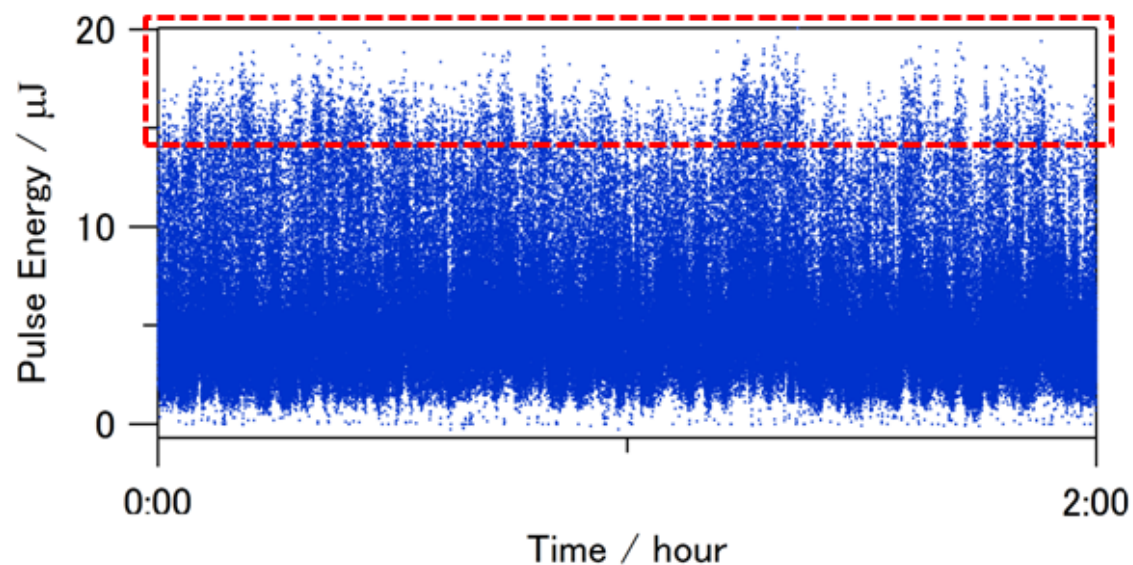
Timing drift > 15 ps

フィードバックあり



Timing drift < 1 ps

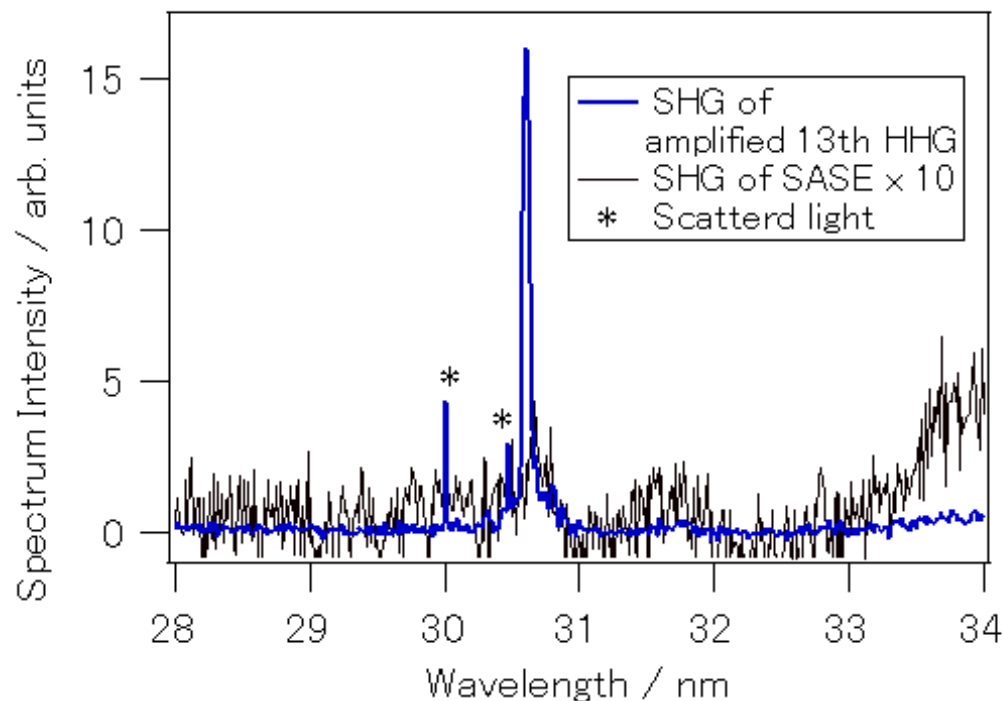
Output energy of amplified 13th-order harmonic pulses



高次高調波FEL発振

基本波: $\lambda_r = \frac{\lambda_u(1 + K^2/2)}{2\gamma^2}$ \rightarrow 高次高調波 $\lambda_r/2, \lambda_r/3, \dots$

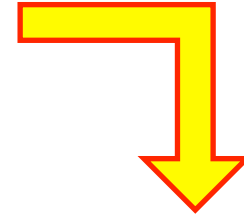
2次高調波 @ 30.8nm
(off-axis emission)



SASEの100倍以上の出力エネルギー
短波長化の1つの手法として期待

まとめ

- 61nmのシードFEL実験
- 持続的な発振のため、EOタイミング制御を導入
- 結果、持続的発振 & ゲイン上昇
- 一方、ジッター (< 1ps) が残った



	2010 (w/o feedback)	2012 (w/ feedback)
最大出力エネルギー	1.3 μ J	20 μ J
有効ヒット率	0.3 %	20 – 30 %
FELゲイン	x 650	x 10^4
発振持続時間	< 10 min.	> ½ day

- 2次高調波FEL (@30nm) の発振も確認

トピック

1. SCSS試験加速器
2. SASE vs シードFEL
3. HHGシードFEL & EO実験体系
4. 結果
 - 持続発振／有効ヒット率の増大
 - 出力パルスエネルギーの増大
 - 2次高調波発生

謝辞

SCSSのセットアップ、調整、実験に関わった運転員等、多くの方々