

第12回日本加速器学会年会

2015/08/05 - 07

プラザ万象、あいあいプラザ

福井県敦賀市

FROM01

電気光学サンプリングによる THz-FELのマイクロパルス時間構造測定

川瀬 啓悟、加藤 龍好、入澤 明典、藤本 將輝、

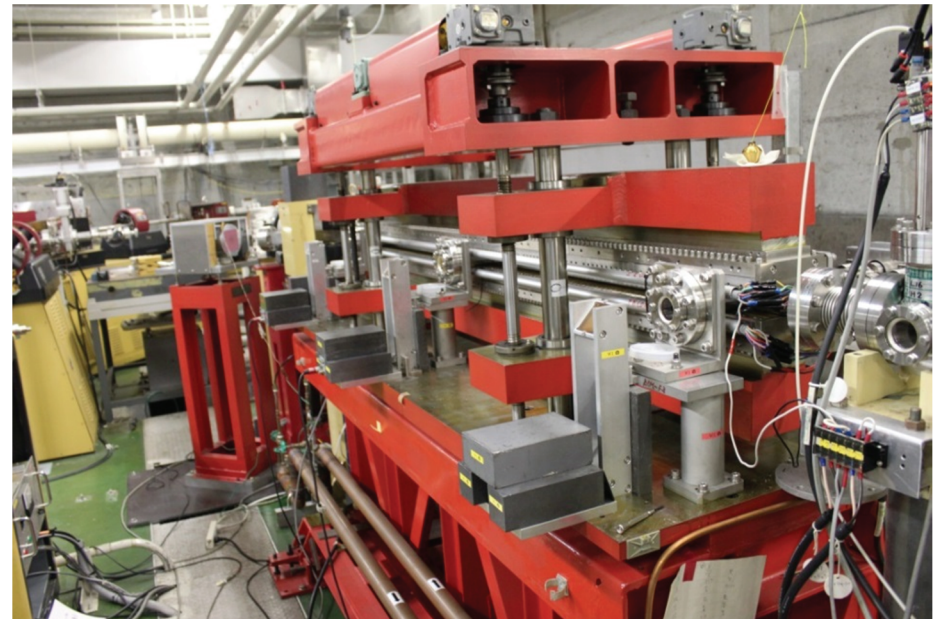
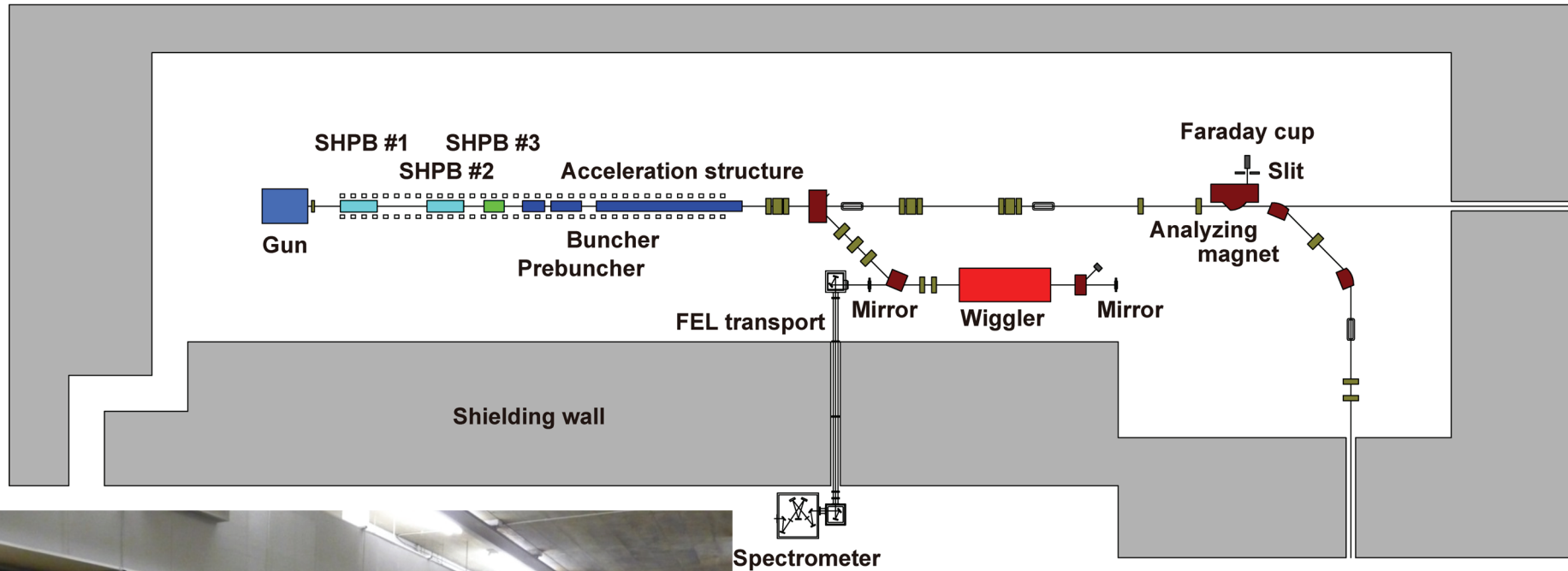
古川 和弥、久保 久美子、磯山 悟朗

大阪大学 産業科学研究所

発表内容

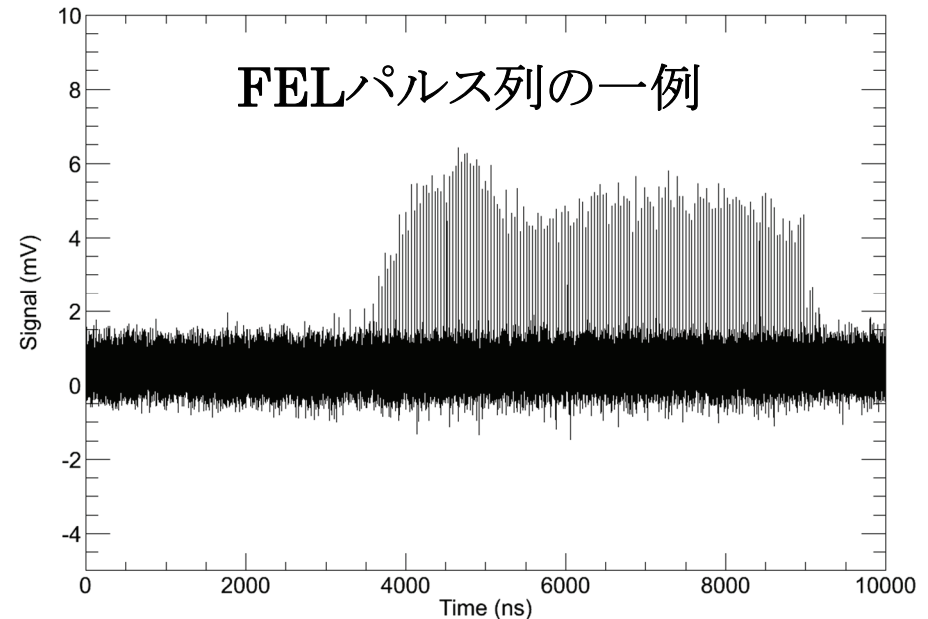
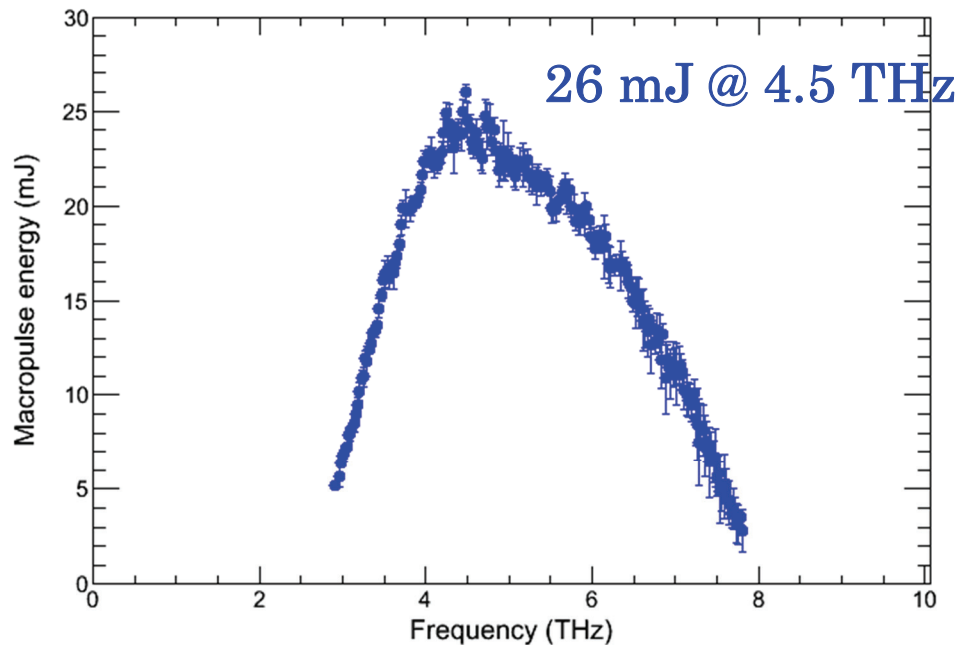
- 阪大産研THz-FELの概要と現状
- THz-FELパルスの時間構造評価の足跡
- EO効果によるTHzパルス構造の評価
 - 実験概要
 - 結果
- まとめ

阪大産研Lバンド電子ライナック・遠赤外(THz)自由電子レーザー



産研 THz FELの現状

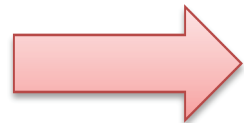
エネルギー15 MeV、マクロパルス長8 μs (バンチ数220 (27 MHz) or 880 (108 MHz))の電子ビームを用いて、最大マクロパルスエネルギー26 mJ、発振領域3~7.5 THz (波長40~100 μm)のTHzパルスを供給



これまでの足跡

THz-FELのマイクロパルス時間構造評価

マイケルソン干渉計を用いた1次の自己相関測定により
FELパルス幅を評価



- FELの動作条件(デチューニング)により、
相関図形の幅・構造が変化
- パルス列の時間発展

古橋君 (2009)
大角君 (2013)
矢口君 (2014)

一般にパルス幅・構造に任意性

別の手法も必要

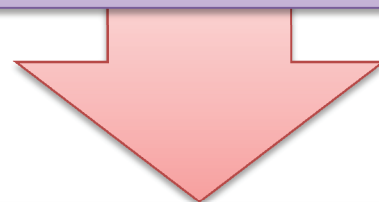
- 高次の自己相関
- **クロスコリレーション**

先行研究例

LiTaO₃, LiNbO₃, ZnTeにおけるTHz輻射のEO検出
C. Winnewisser et al., Appl. Phys. Lett. 70, 3069 (1997).
チタンサファイアレーザーで生成したTHzパルスのEO計測

THz FELへの応用

G.M.H. Knippels et al., Phys. Rev. Lett. 83, 1578 (1999).
波長150 μm でマクロパルス全体の時間構造をZnTeによるEO計測

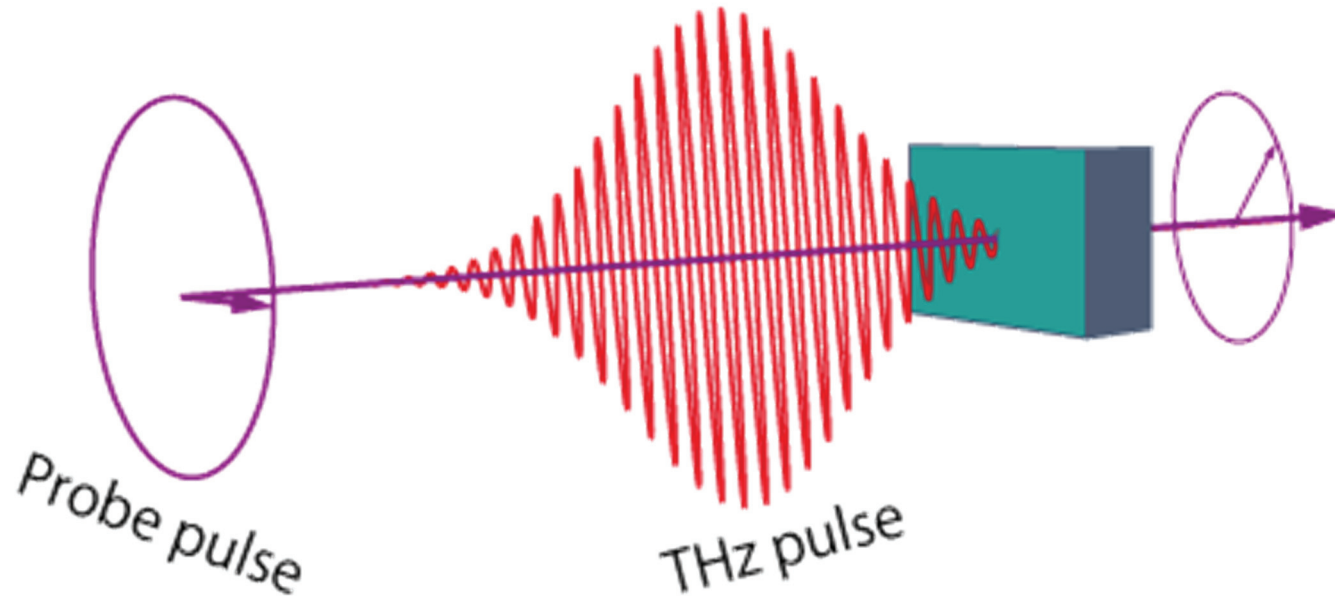


産研THz FELのマイクロパルス構造の詳細研究

パルス構造の時間発展
動作条件 (detuning) 依存
波長依存とEO結晶依存

EO効果によるTHz検出

(参考) C. Winnewisser et al., APL 70, 3069 (1997).
福井大 谷・山本:月刊オプトロニクス8号(2011)特集



$$\Delta n = n_0^3 r_{41} E_{THz} \quad \Delta \Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n d \quad \frac{\Delta I}{I_0} = \sin^2 \left(\frac{\Delta \Gamma}{2} \right)$$

- THzパルスの電場によるEO結晶中でのポッケルス効果により屈折率が変化
- プロブ光の偏光が屈折率変化に従い変化
- 透過プロブ光をポラライザで分析
- THzパルスとプロブ光のタイミングを変えることでTHzパルスの時間構造を取得

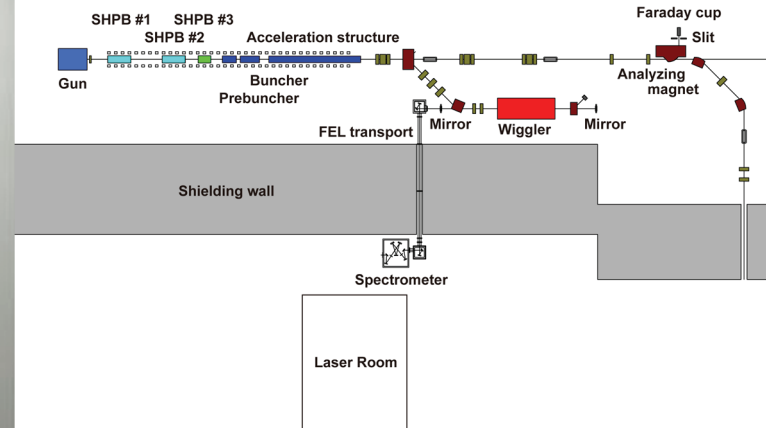
プローブ光源

チタンサファイアレーザーシステム

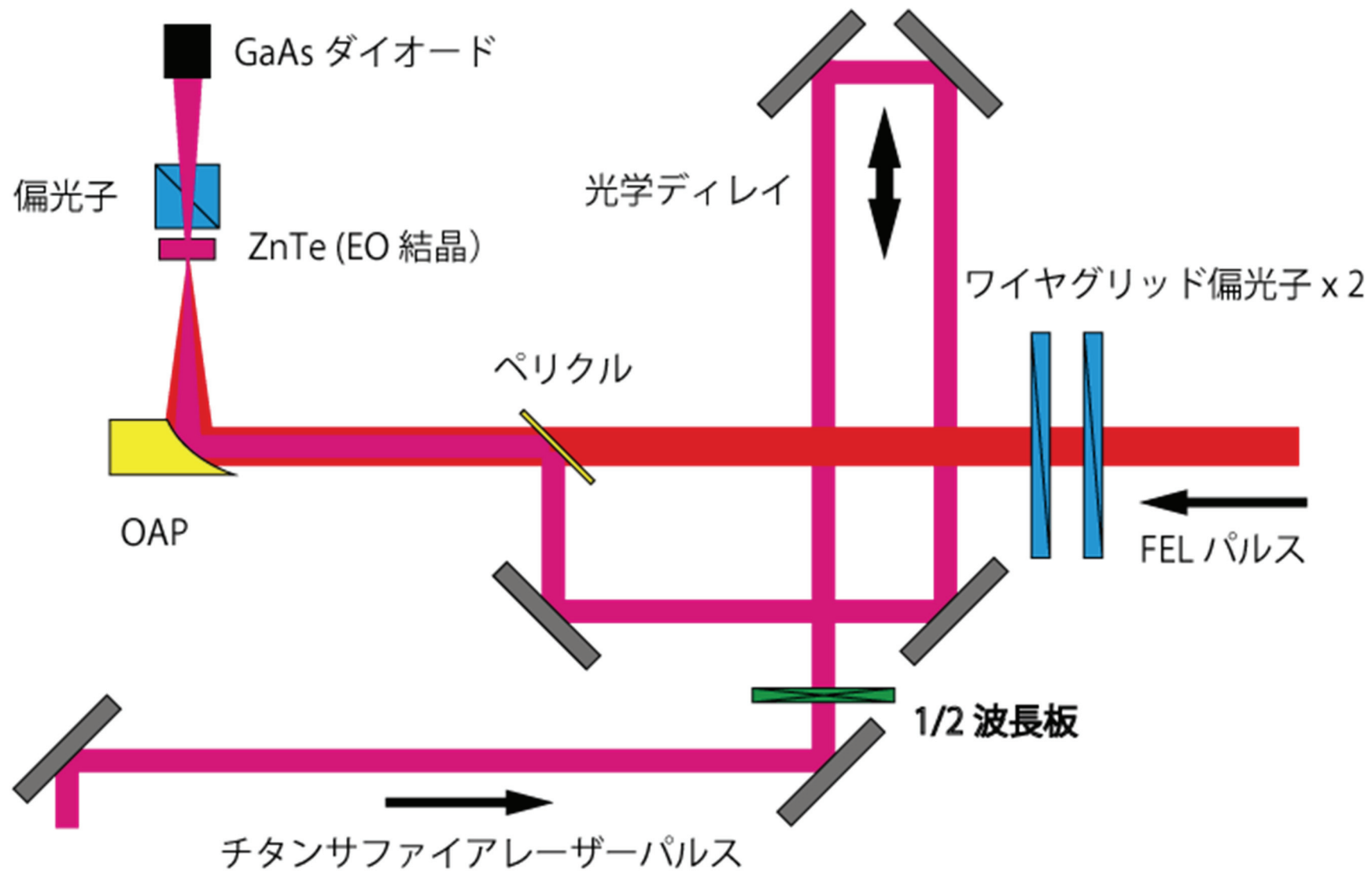
RF同期81 MHz
フェムト秒発振器
(SP, Tsunami)

パルス幅: ~100 fs

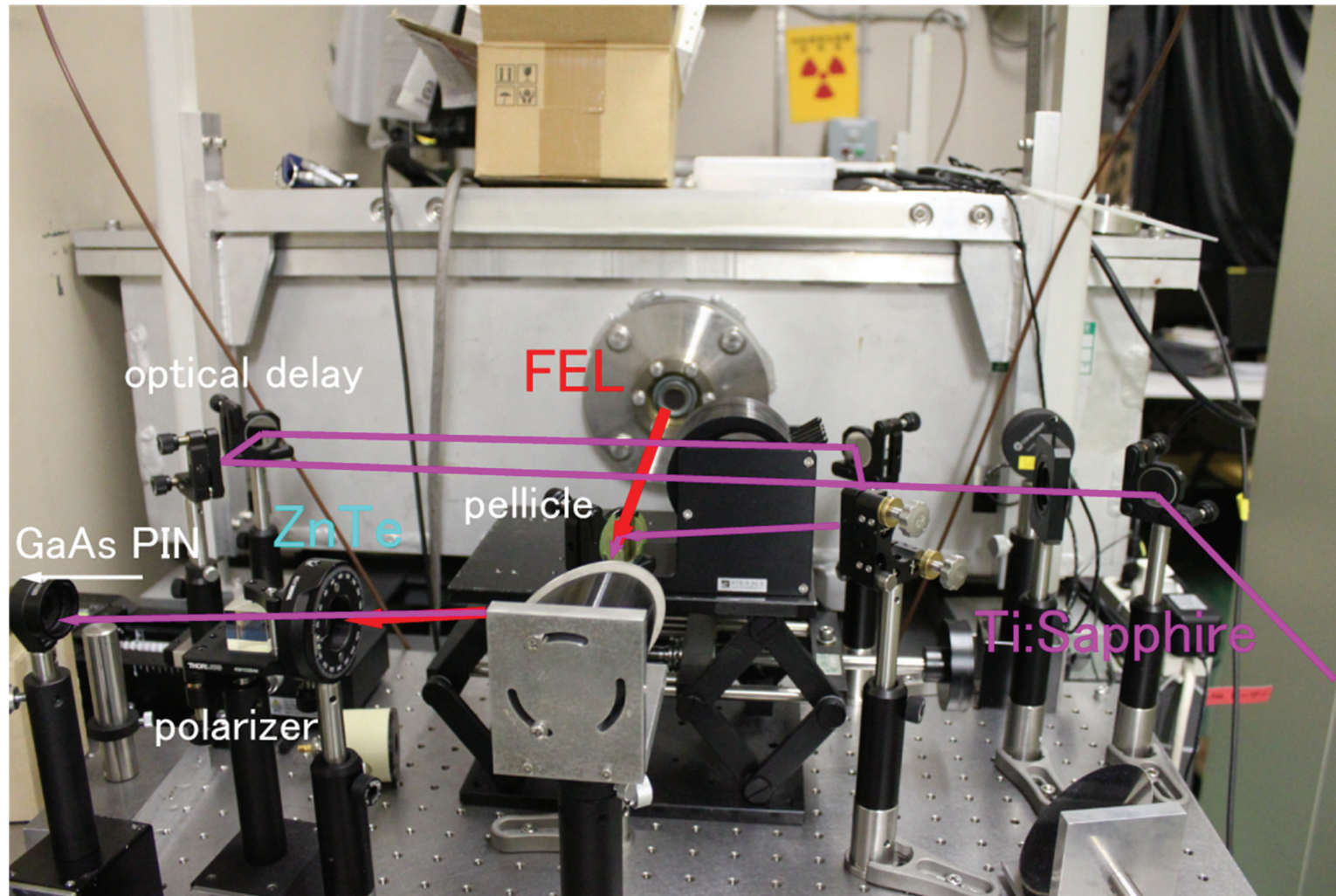
960 Hz, 1 mJ
再生増幅器
(SP, Spitfire)



実験レイアウト



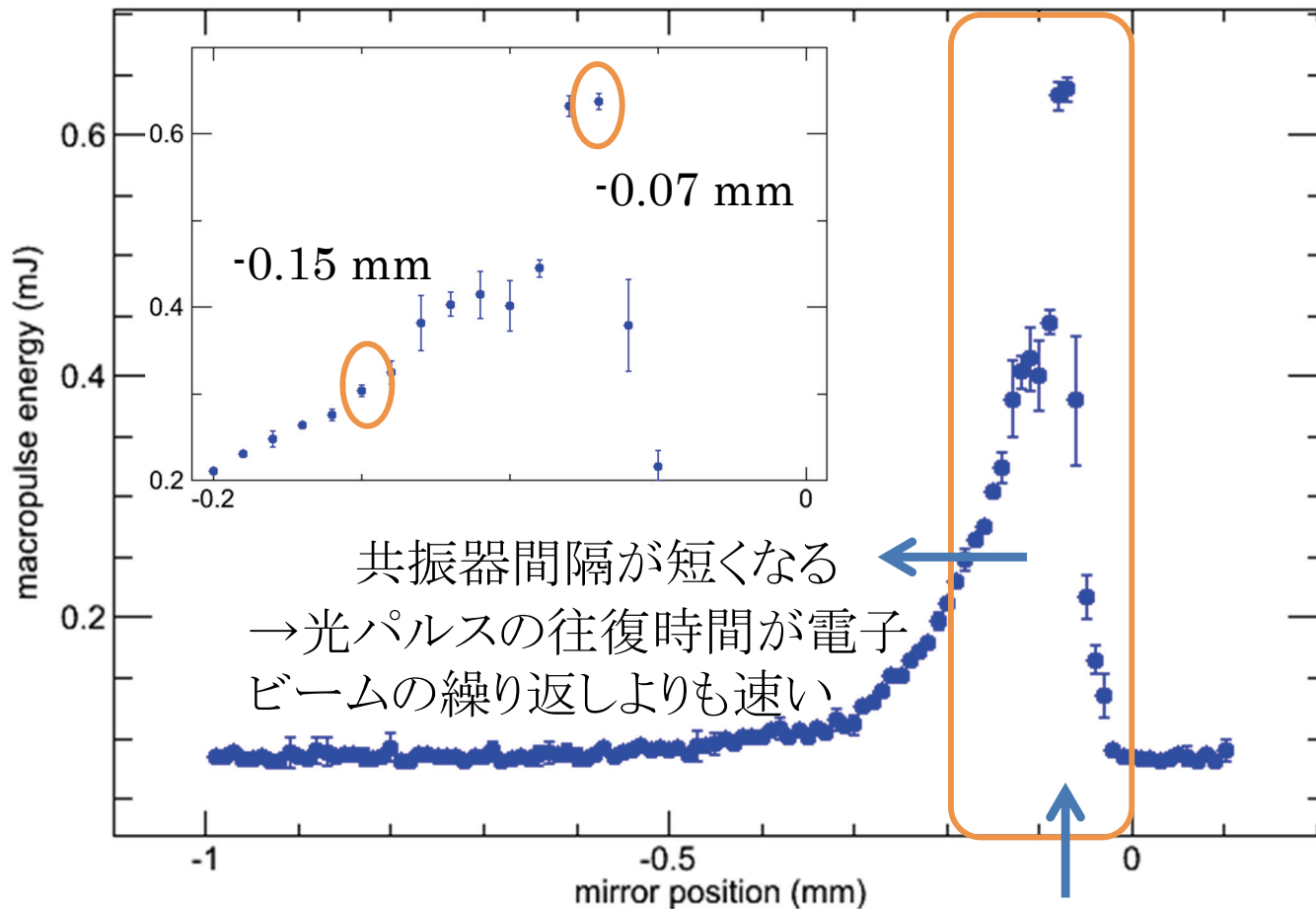
実験レイアウト



EOクロスコリレーションによるTHzパルスの時間構造評価

Detuning curve

パルスビーム発振型FELの場合、光共振器ミラーの間隔を変えると、FEL動作の状態が変わる

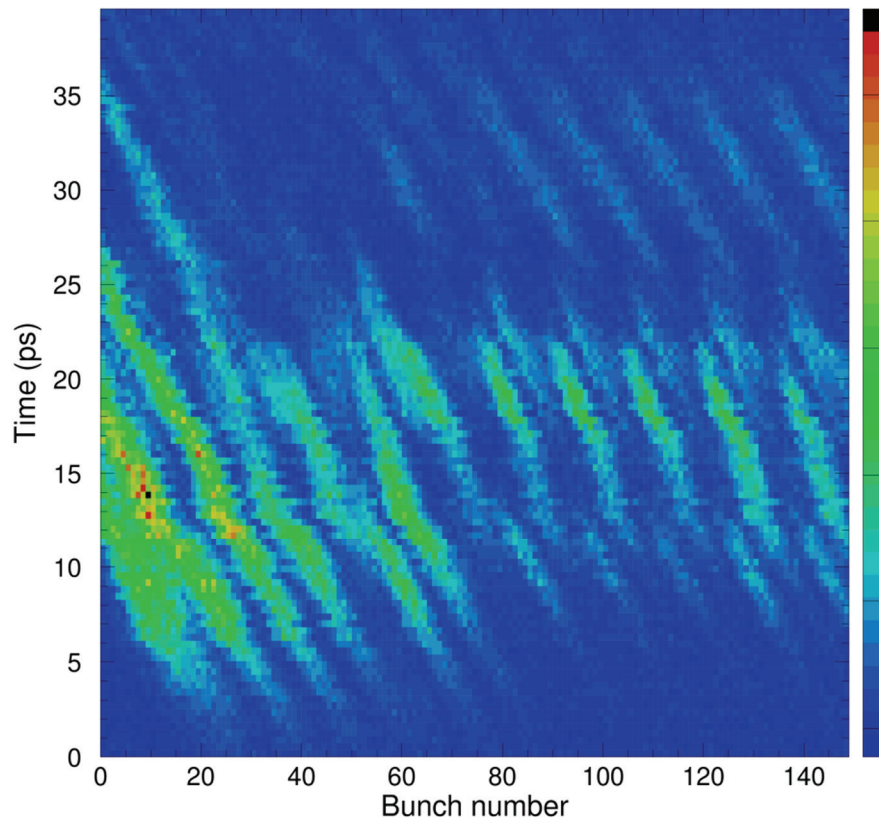
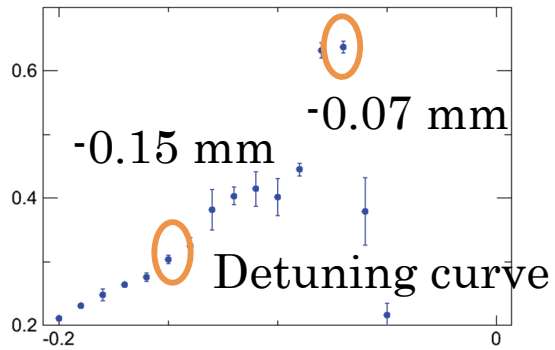


共振器間隔が短くなる
→ 光パルスの往復時間が電子
ビームの繰り返しよりも速い

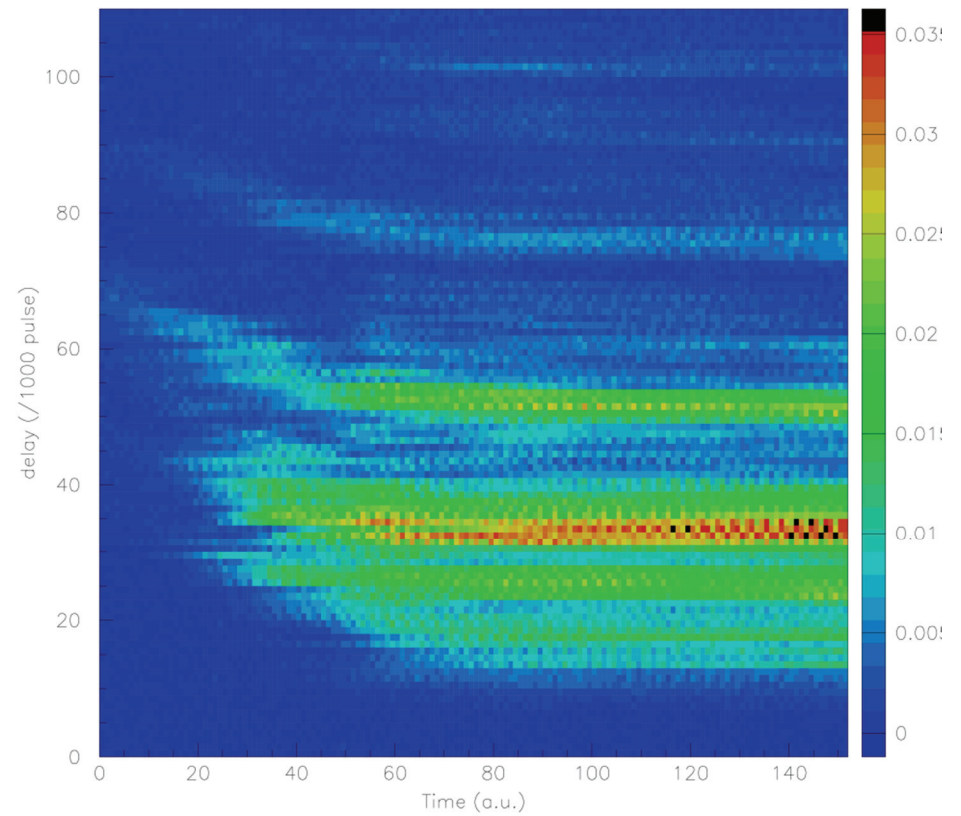
完全同期: 光の往復時間が
電子ビームの繰り返し間隔と一致

EOクロスコレーションによるTHzパルスの時間構造評価

(Preliminary result)



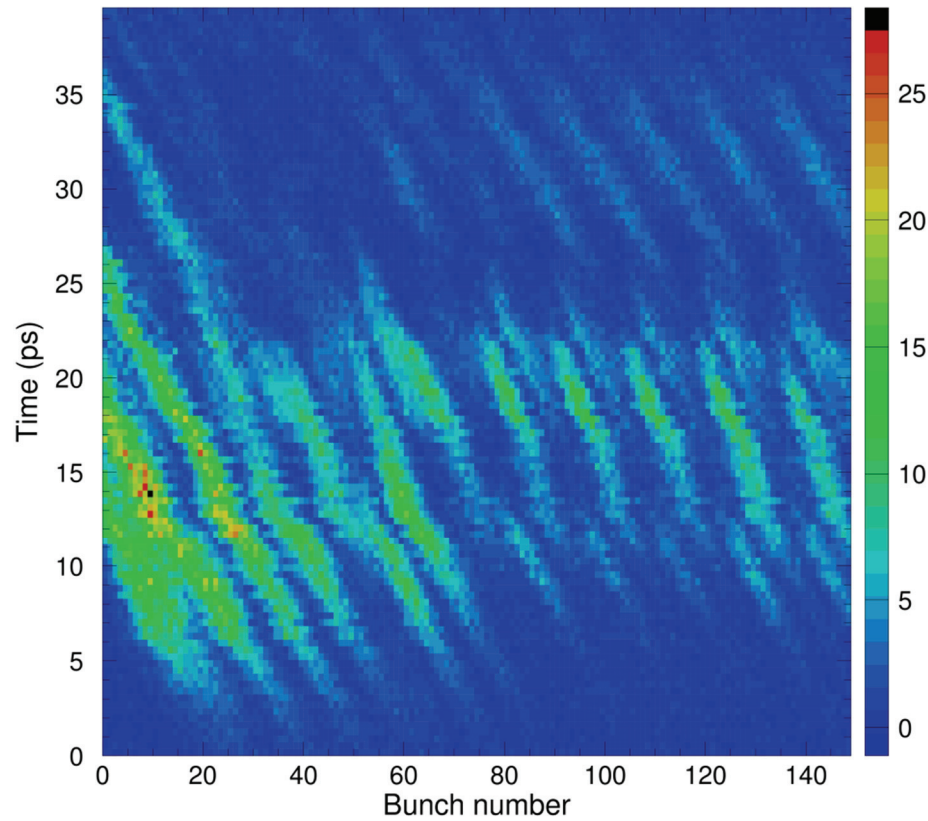
Mirror position = -0.15 mm



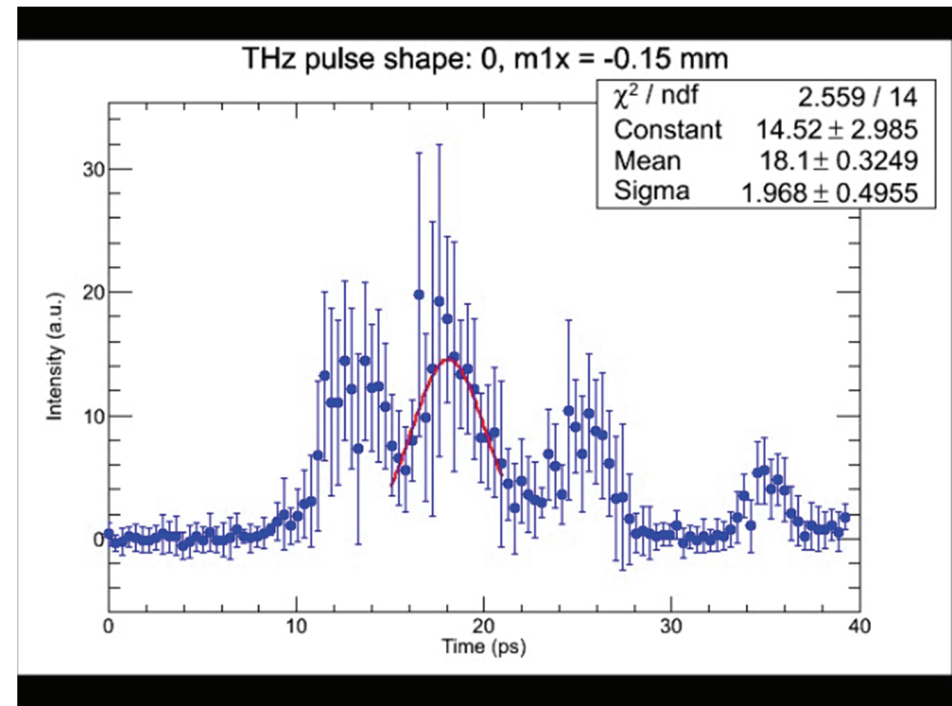
Mirror position = -0.07 mm

EOクロスコレーションによるTHzパルスの時間構造評価

(Preliminary result)



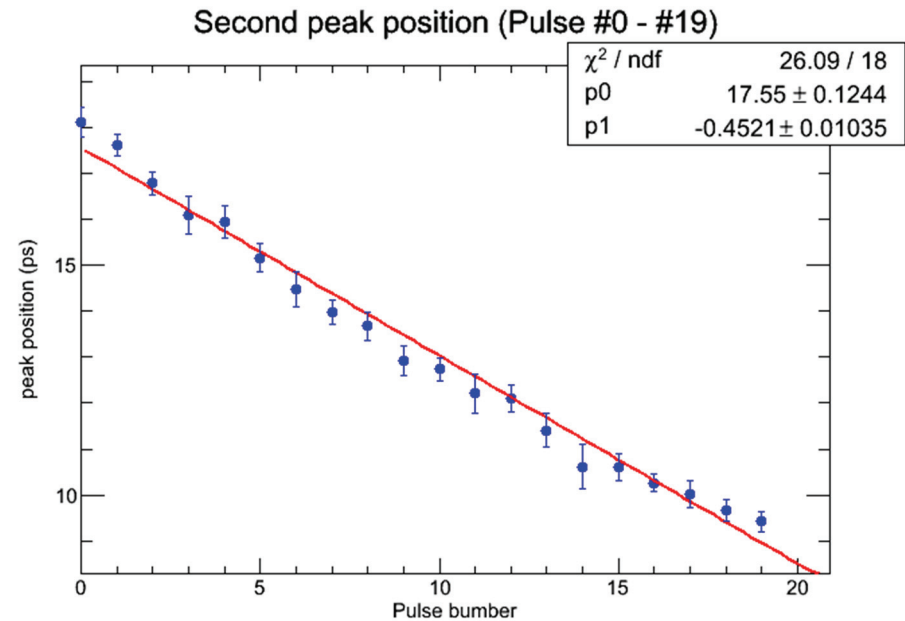
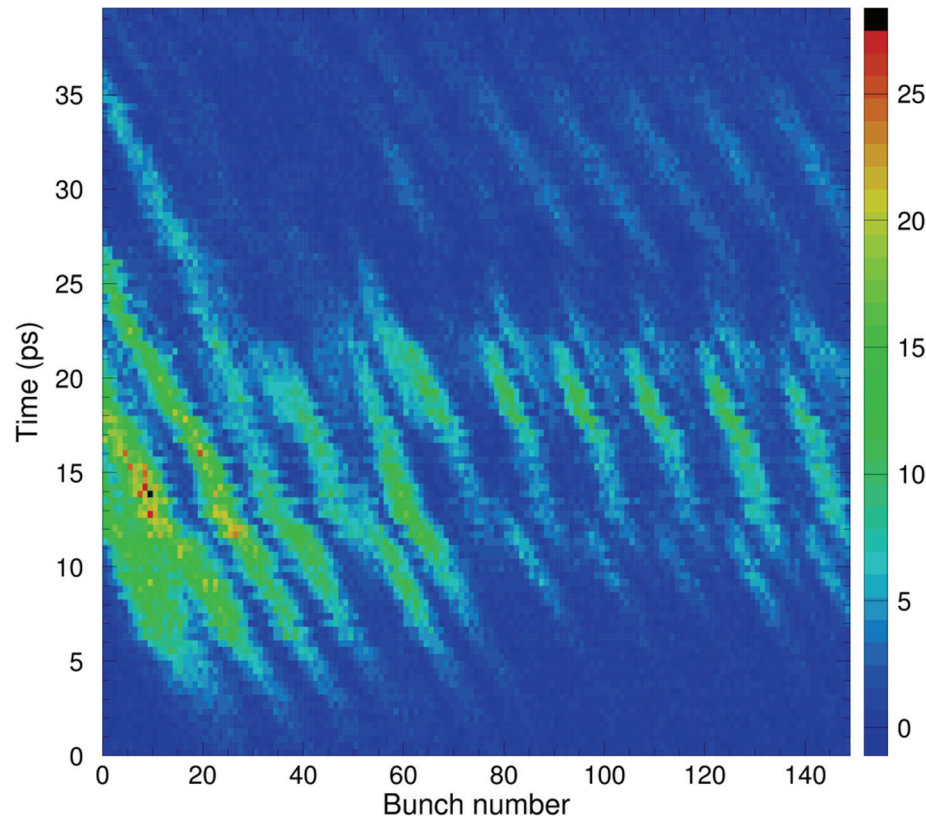
$m1x = -0.15 \text{ mm}$



RMS pulse duration : 2 ps

EOクロスコレーションによるTHzパルスの時間構造評価

(Preliminary result)



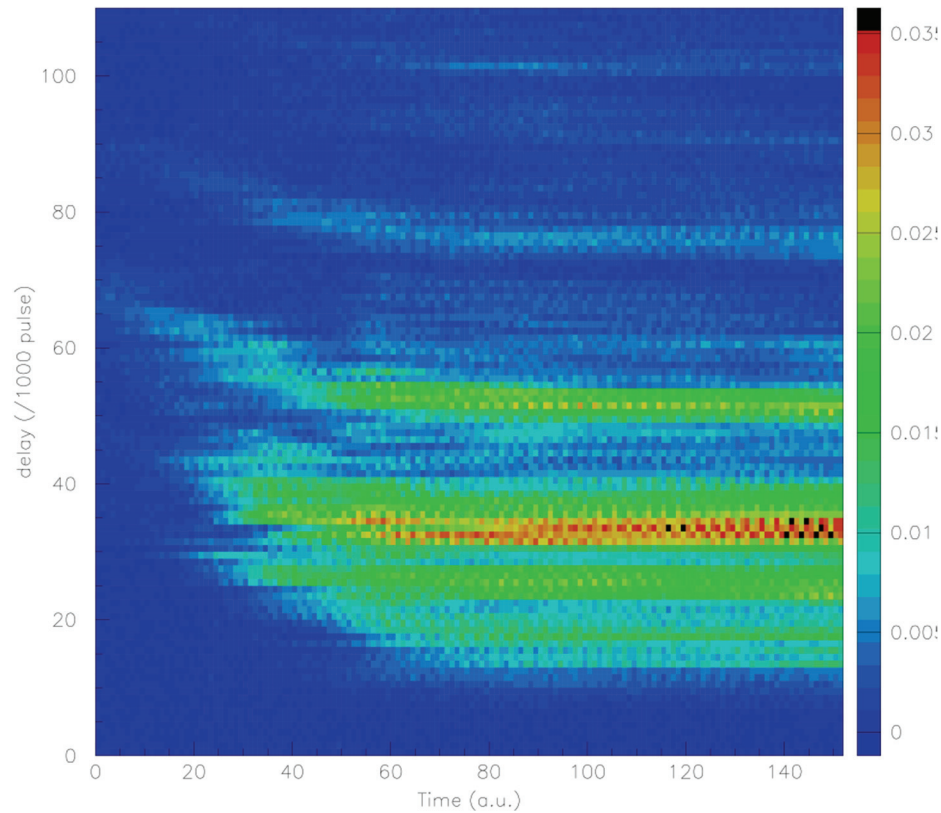
Detuning($80 \mu\text{m}$)に対応する周回時間差 $\sim 0.53 \text{ ps}$

ピーク位置の傾き 0.45 ps

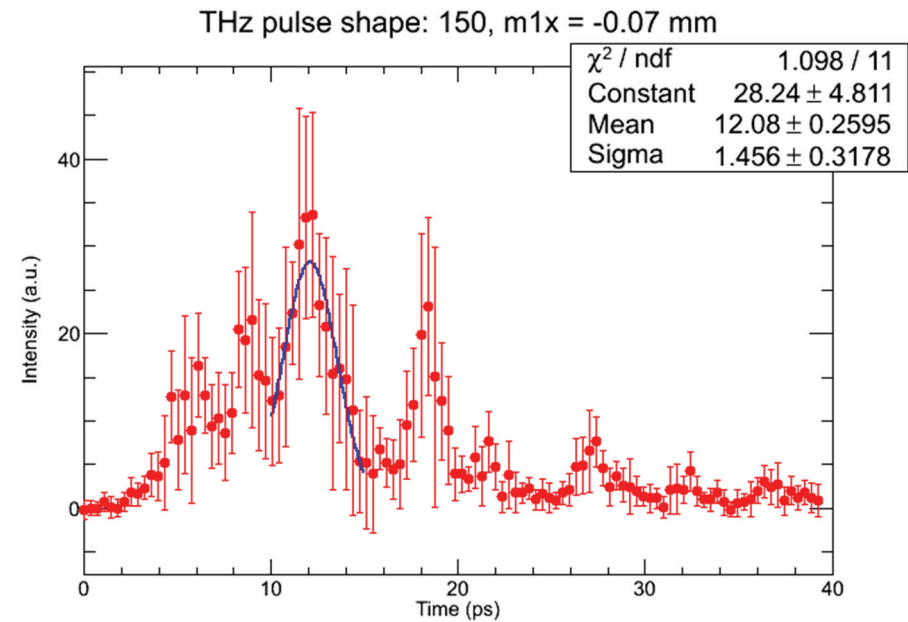
おおよそ一致

EOクロスコレーションによるTHzパルスの時間構造評価

(Preliminary result)



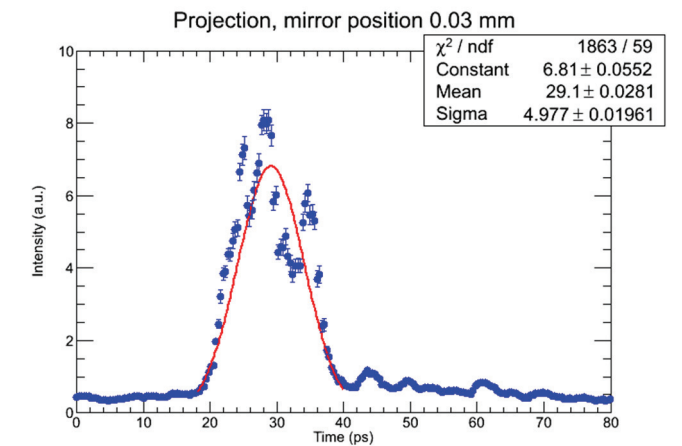
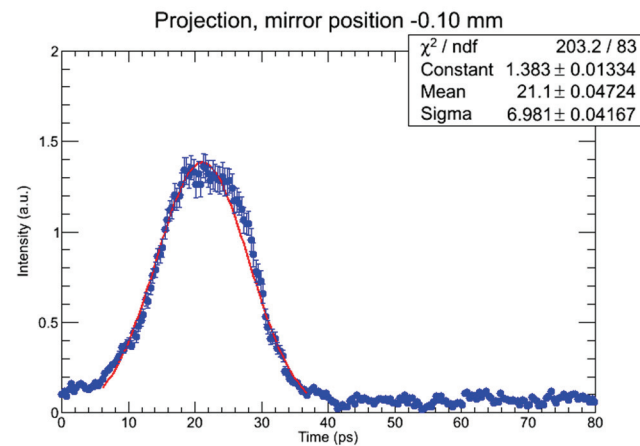
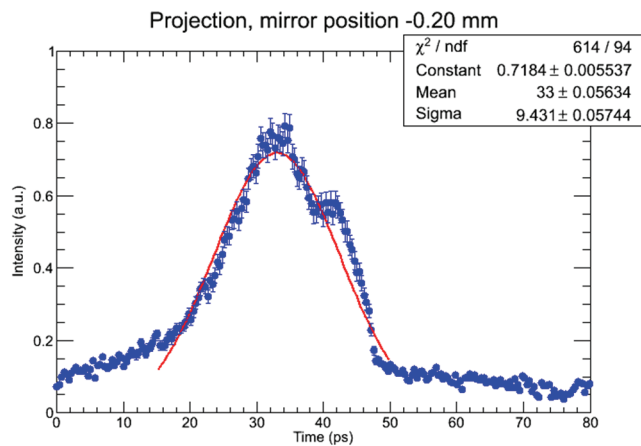
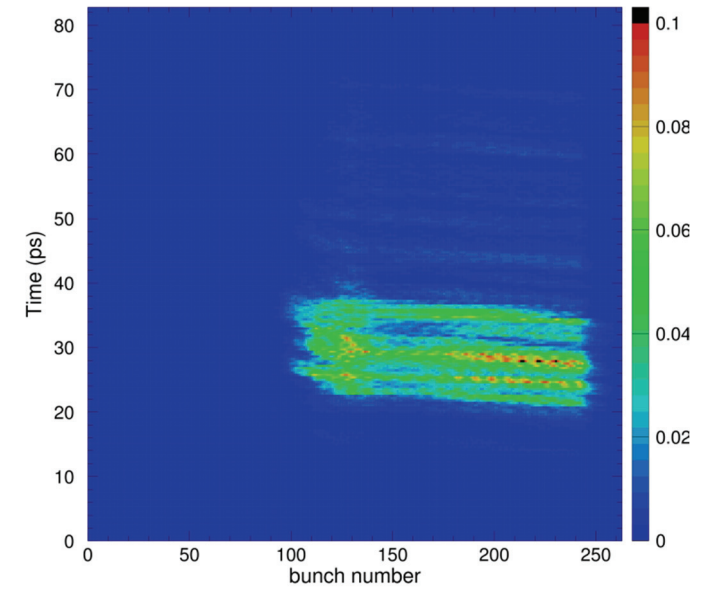
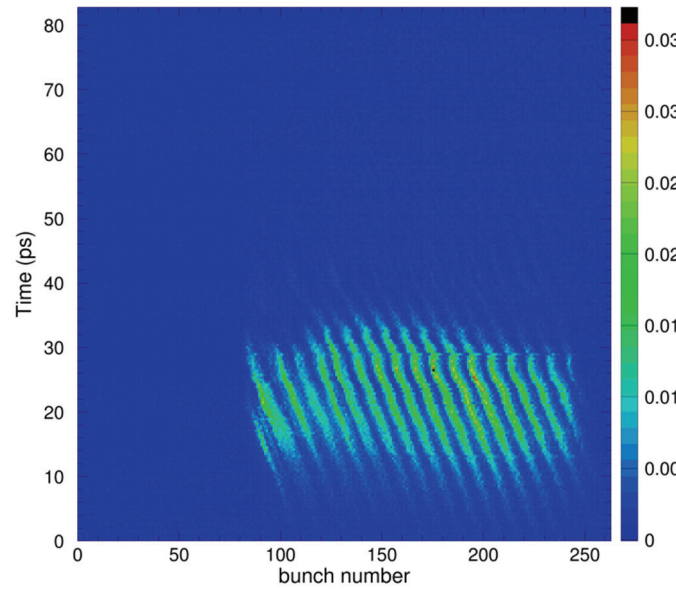
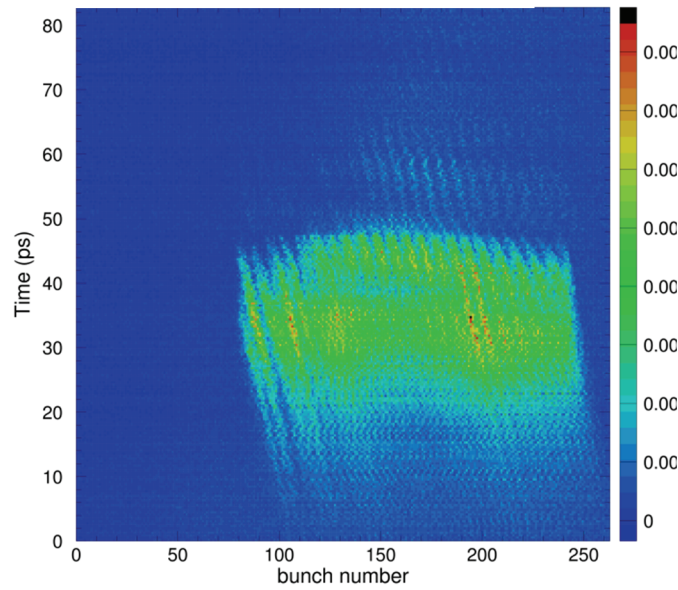
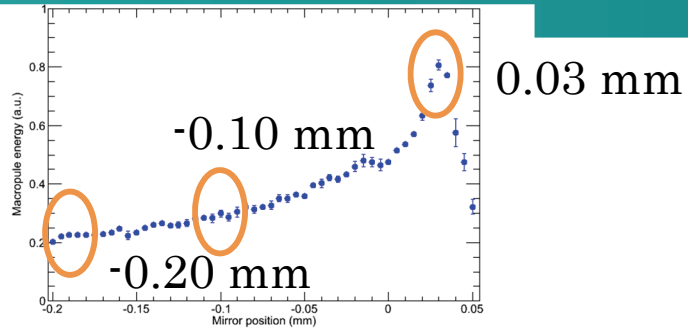
$m1x = -0.07 \text{ mm}$



RMS pulse duration : 1.5 ps

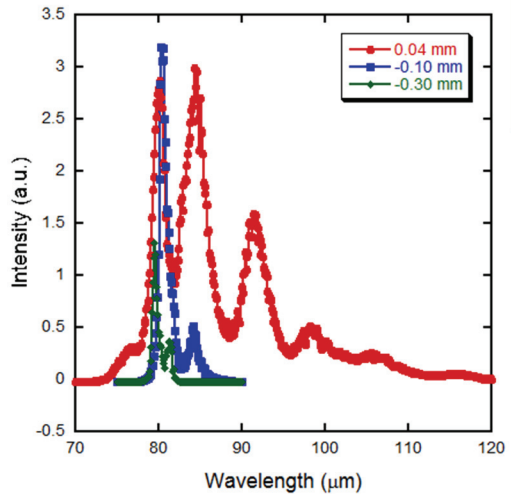
EOクロスコレーションによるTHzパルスの時間構造評価

(Preliminary result)

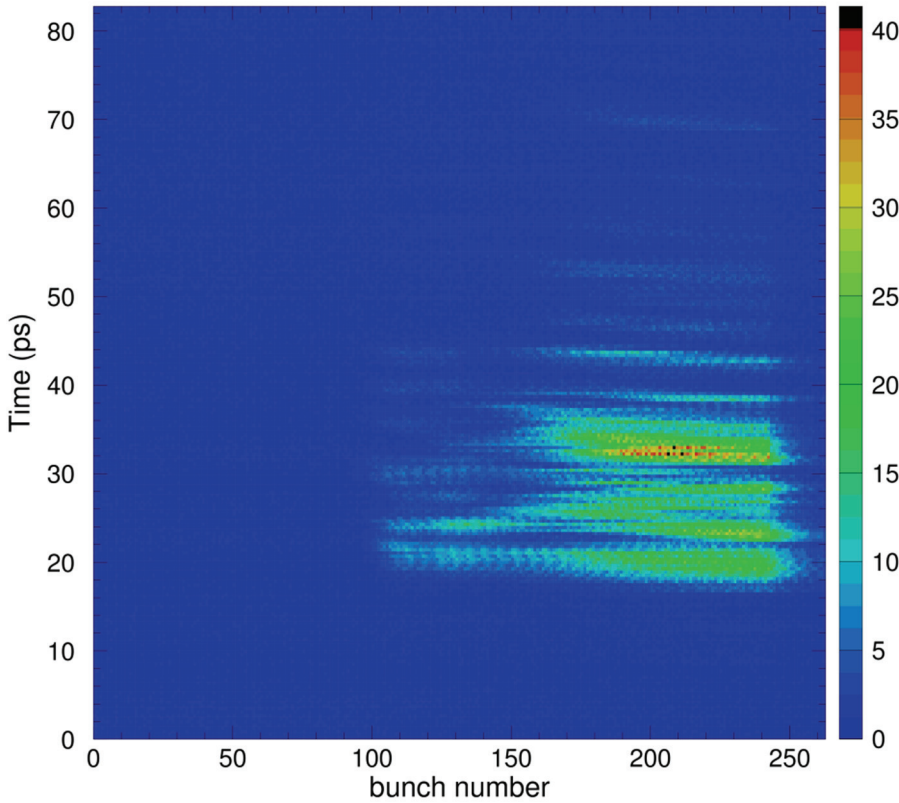


ZnTe/GaP

(Preliminary result)

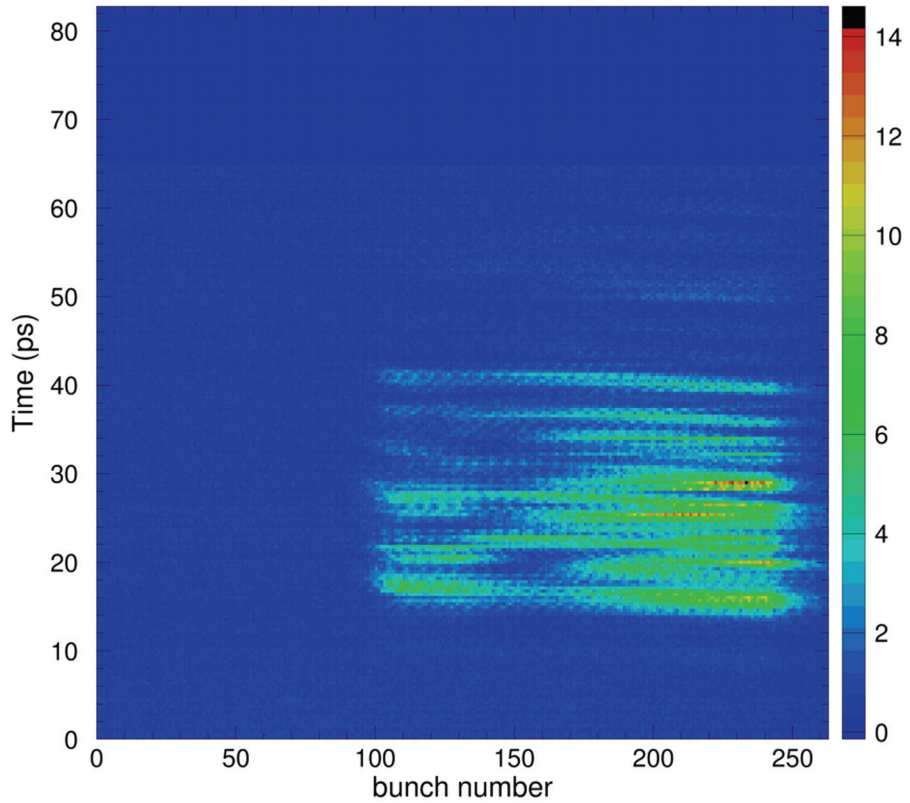


ZnTe, Gap 34 mm, m1x 0.04 mm



ZnTe 0.5 mm

GaP, Gap 34 mm, m1x 0.04 mm



GaP 0.3 mm

まとめ

- ZnTeを用いて70 μm から100 μm の領域でFELのマイクロパルス構造を観測
- FELの動作条件(デチューニング)で異なる相関図を取得
- 光パルスのデチューニングに対する時間変化を観測
- GaPでも同様の相関が得られることを確認

今後の展望

- EO信号のTHz強度依存
- EO信号の波長依存とZnTe, GaPの詳細比較
- 別の手法(高次自己相関など)との比較
- THz-FELのマイクロパルス構造の完全理解

謝辞

本研究の一部は科研費補助金(No. 24310069, 15K13407)による助成を受けております。
また、現在産研ライナックのモジュレータ電源が故障しており、KEKのご厚意により借用させて頂いております。関係者の皆様に謝辞を申し上げます。

GaP結晶は阪大基礎工の永井博士からお借りしております。