

cERLビームラインにおける
同期システムの設計

放射光第二研究系
特別助教

野澤俊介

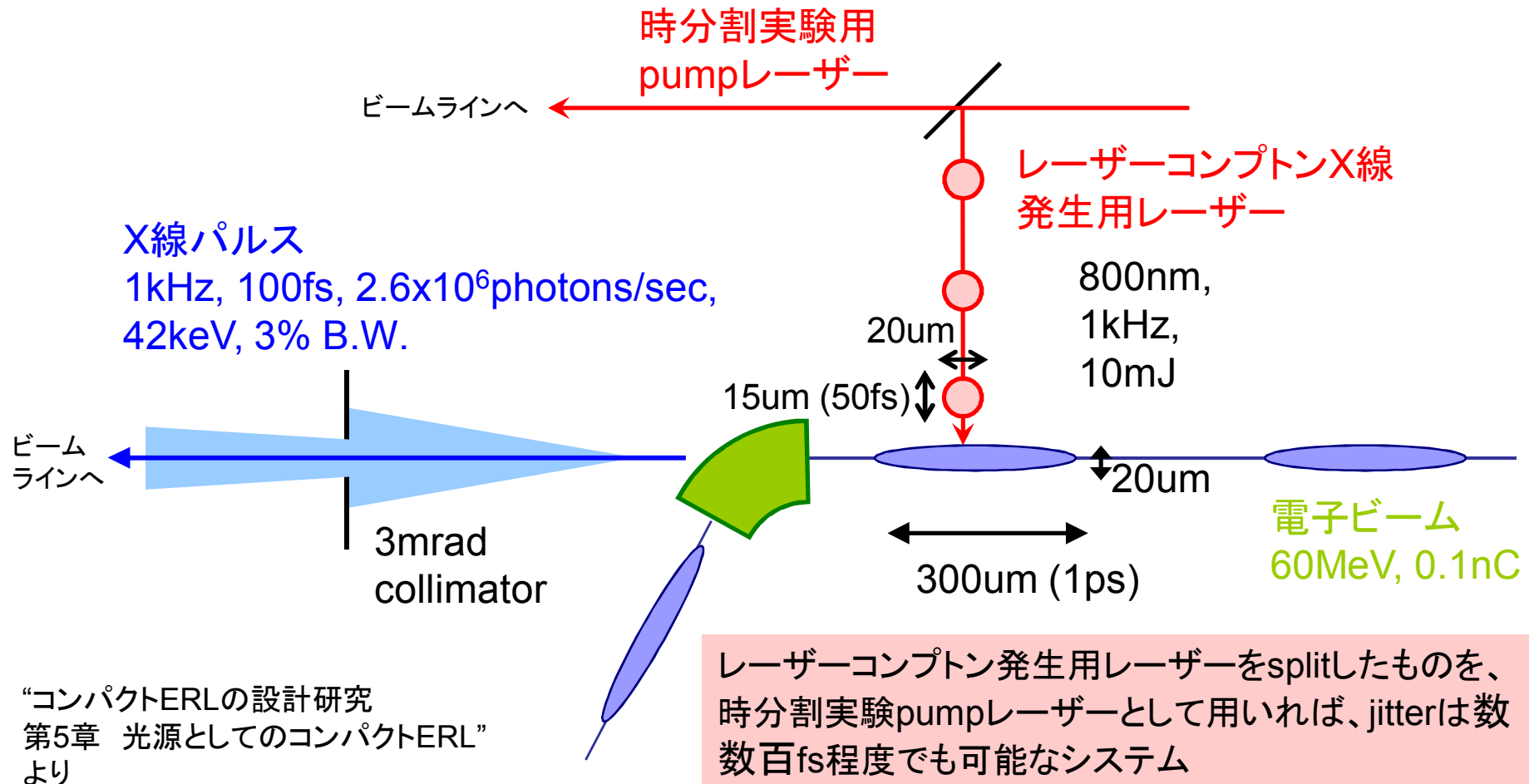
発表の流れ

- cERLにおける時分割X線実験ビーム
ライン用の同期システム
(jitter < ~ 300 fs)
- 5GeV ERLにおける高精度同期技術
開発
(Jitter < ~ 20 fs)

cERLにおける レーザーコンプトンX線

フェムト秒X線時分割測定

低い繰り返し(1kHz)でパルス当たりのX線光子数が多いultrafast mode



cERLにおける時分割X線実験ビームライン用の同期システム

電子バンチとレーザーとの衝突によるレーザーコンプトンX線発生によって、100fs-X線を発生させ、ビームラインにおいて100fs-X線時分割測定を行う

レーザーコンプトンX線発生のための条件

- ・フェムト秒レーザーと電子バンチのジッターは数百fs
- ・非常に高出力のレーザーが必要(~10mJ/pulse)
- ・マスターオシレーターと衝突点との距離は~30m

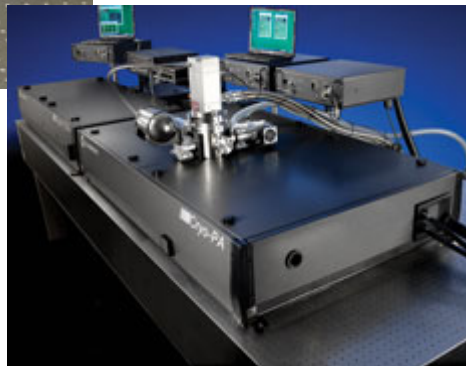
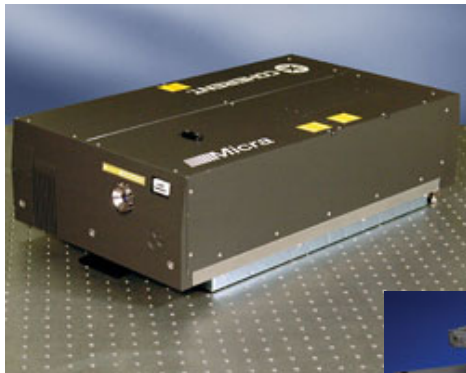


•現状において、必要とされるレーザー出力にはTi:サファイアレーザー+増幅器でないと到達不可能

•~30mの距離であれば、タイミング伝送を行わなくて真空レーザーパス+位置フィードバックによってレーザーを衝突点まで導くことが可能

レーザーコンプトンX線発生に 必要なレーザースペック

- 300um(1ps)の電子バンチに90度衝突
⇒ jitter < ~300fs
- レーザーパワー 10mJ / pulse
⇒ Ti:サファイアモードロックレーザー + 再生増幅器

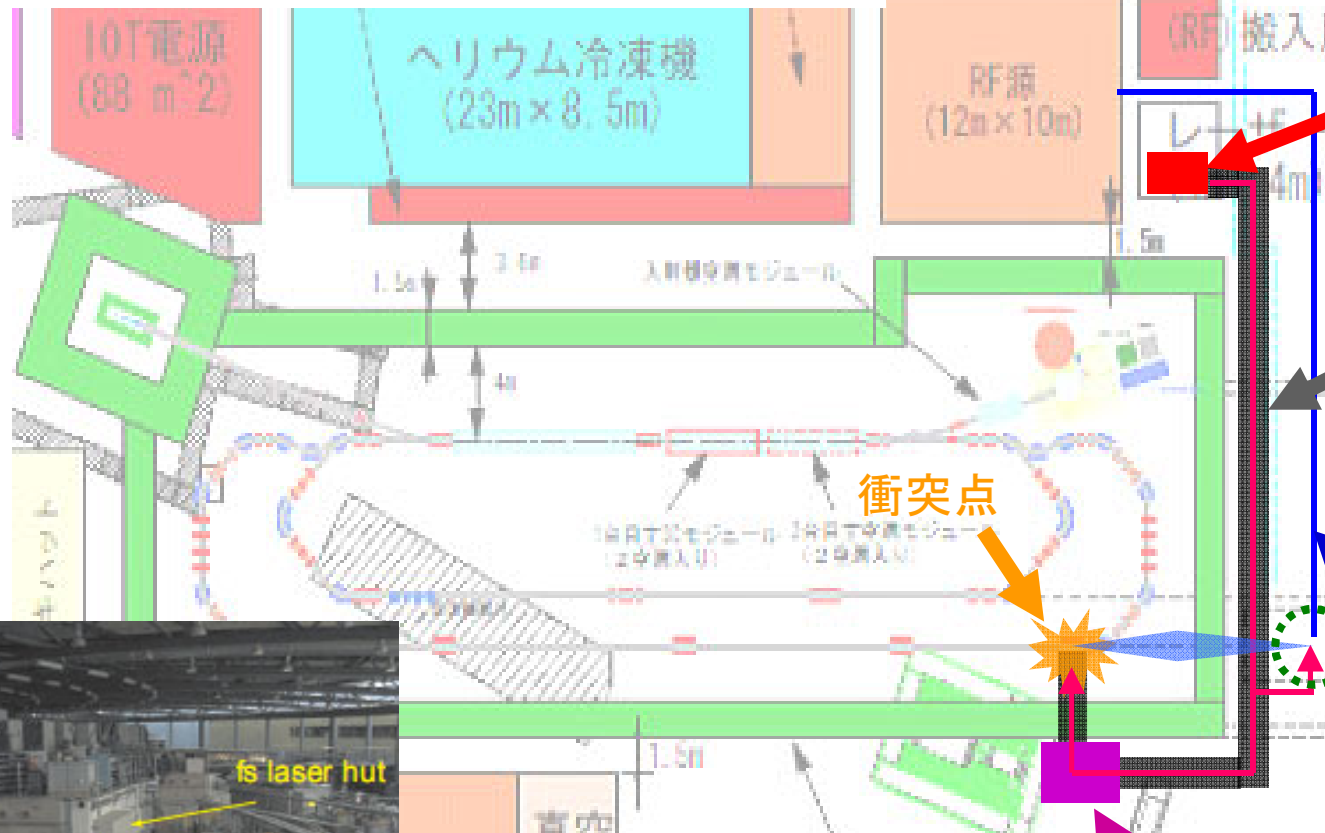


例えば

Ti:サファイア モードロックレーザー
(Coherent, Micra)
+
再生増幅器
(Coherent, Legend Elite)

- 10 mJ/pulse, 1 kHz, 800 nm
- Jitter ~ 250 fs

レーザーコンプトンX線による 100フェムト秒時間分解X線実験



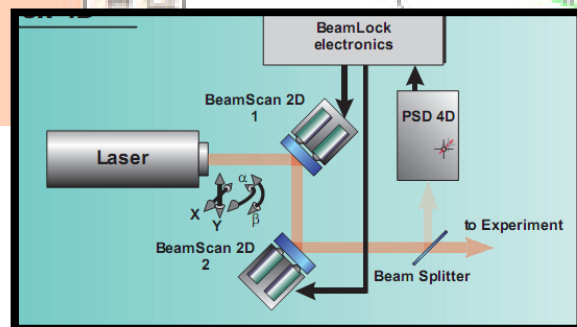
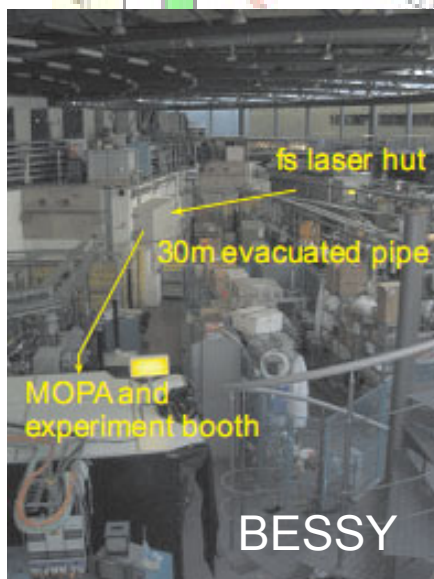
Ti:Sapphire Laser
(800nm, 1kHz, 10mJ,
Jitter: 250fs)
RFシグナルで共振器長を
フィードバック制御

Vacuum pipe
(~30m)
・パワー損失を軽減
・空気揺らぎや
温度勾配を除去

MasterClock
同軸ケーブル(~30m)
による分配
検出器トリガー等に利用

100フェムト秒
時間分解X線実験

BeamLock
ピエゾ素子による位置フィードバック
・光学部品のサーマルエフェクト
・テーブルの振動
等を補正
[BESSYにおけるLaser Bunch Slicing BL
(>30m laser path)においても実績有り]

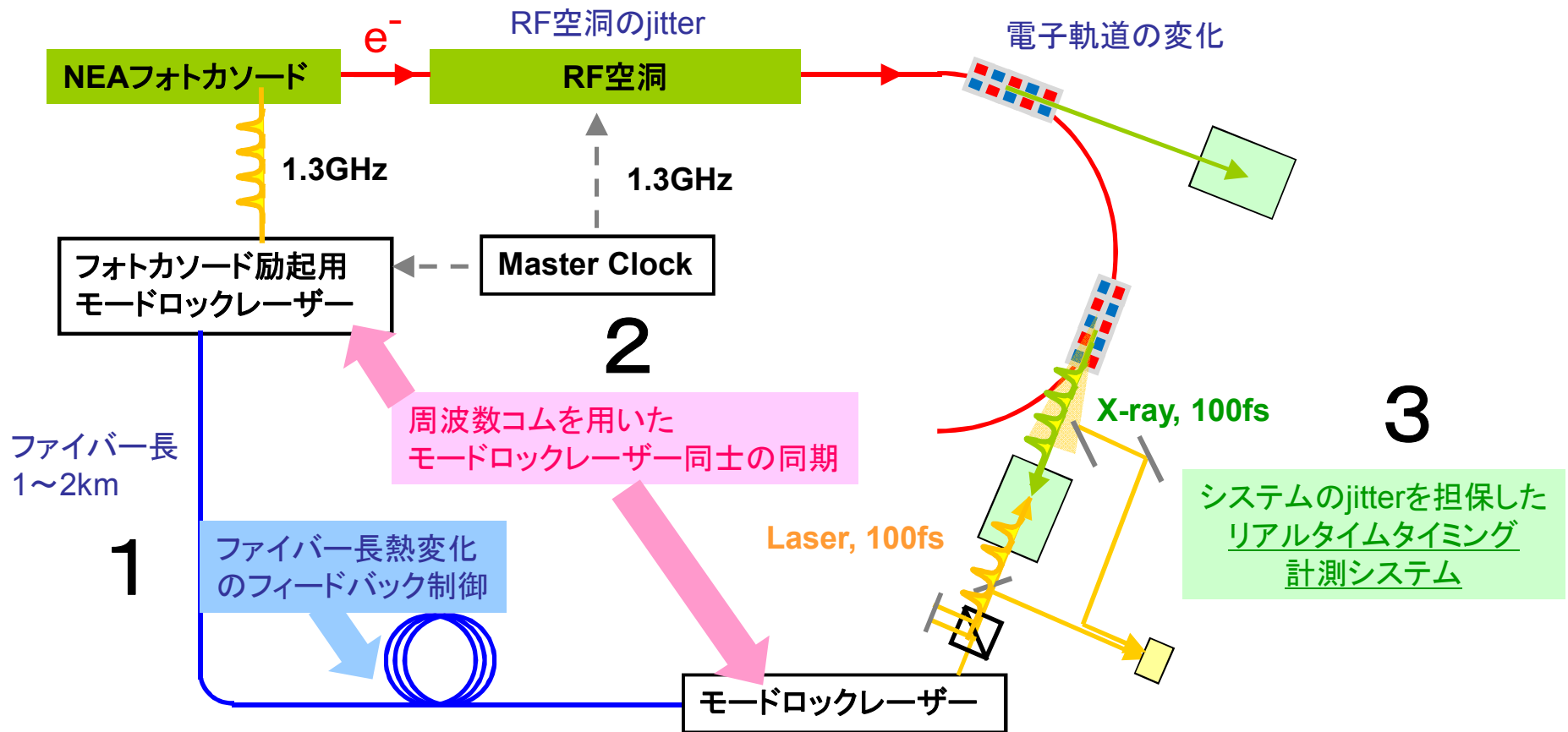


－ 将来計画 －

**5GeV ERLにおける
高精度同期技術開発
(jitter < ~ 20 fs)**

-- 将来計画 --

5GeV ERLにおける時分割実験用同期システム

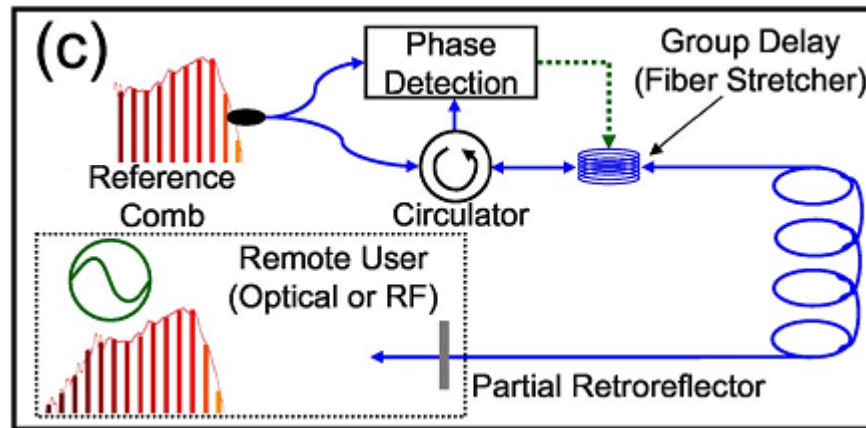


サンプル励起レーザーとX線との高精度な同期 ($\text{jitter} < 20\text{fs}$)

1. ファイバー長熱変化のフィードバック制御
2. モードロックレーザー間の同期
3. システムのjitterを担保したリアルタイムタイミング測定システム

ファイバー長のフィードバック制御

熱揺らぎに起因するファイバー長の変化のフィードバック制御



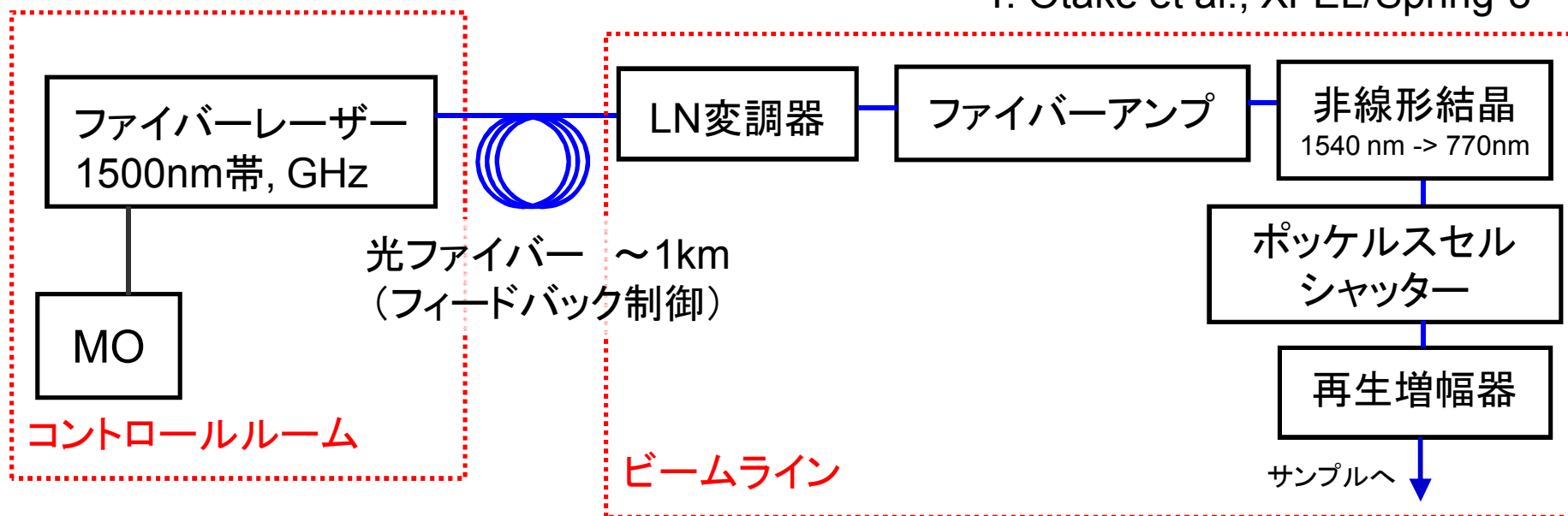
S. M. Foreman *et al.*,
Rev. Sci. Inst. 78, 21101 (2007).

三菱電機研究所 と開発打合せ中

- ・水冷ファイバーラックによるファイバー温度の安定化
- ・位相安定化ファイバーの使用
- ・2つの周波数シグナルによるフィードバック制御

電気同期化回路を使用しない ポンプレーザーシステム

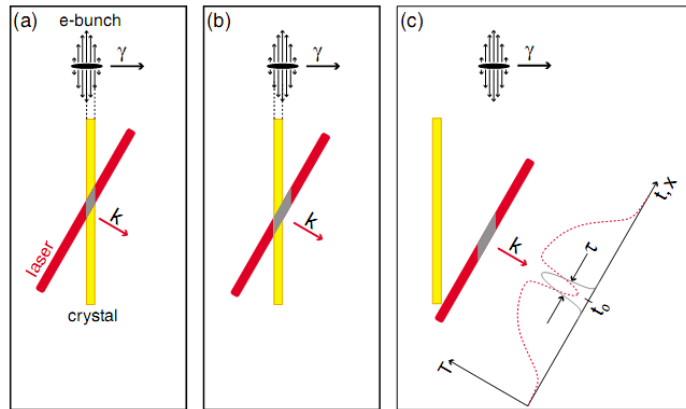
Y. Otake et al., XFEL/Spring-8



- ・電気の能動素子を使用しないポンプレーザー光を用いる
- ・タイミング伝送はせずに、光ファイバーを通ったモードロックレーザーをそのまま再生増幅器に入れる
- ・1500nm帯のファイバーレーザーを用いることで情報通信で使われている光学部品が使用可能

リアルタイムタイミング測定システム (XFEL, SLAC)

非線形結晶(ZnTe, 200um)を用いた電子バンチ
とフェムト秒レーザーとのタイミング測定



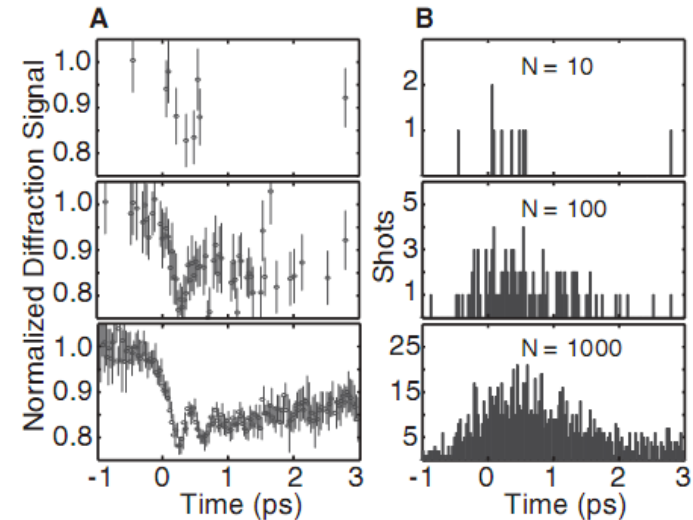
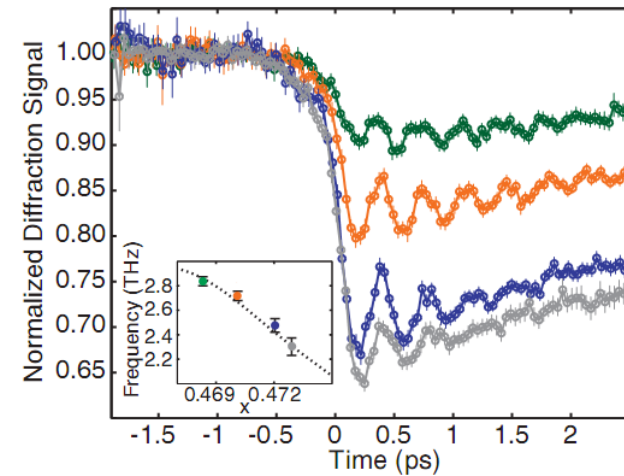
A. L. Cavalieri *et al.*, PRL **94**, 114801 (2005)

- sub-20 fsの精度のタイミング測定
- 電子バンチ-レーザー間のジッターは ~ 1 ps
にも関わらず、時分割X線測定システムの時間分解能は100fsに(X線の時間幅)



コヒーレントフォノン振動の観測に成功

- 高速反応の時間プロファイル測定
- △ ある時間におけるスペクトル、散乱・回折像の測定



D. M. Fritz *et al.*, Science **315**, 633 (2007)

まとめ

cERLにおける時分割X線実験ビームライン用の同期システム (jitter<~300fs)

- 光ファイバを用いたタイミング伝送は行わなくても要求される同期精度が実現可能
- 電気信号によって共振器長にフィードバックをかける、商用のTi:サファイアレーザー同期システムを使用
- 真空レーザーパスによって衝突点までレーザーを導き、終端付近において位置フィードバックをかける
- 同軸ケーブルによってマスタークロックをビームラインに伝送し、検出器等のトリガーシグナルに用いる

5GeV ERLにおける高精度同期技術開発 (Jitter<~20fs)

- R&Dとしてファイバー長のフィードバック制御、タイミング伝送、同期システムの開発、リアルタイムタイミング測定システムの開発、等を行う必要がある
- cERLの同期システム開発と平行してR&Dを行っていく
(ファイバー長のフィードバック制御:三菱電機研究所と開発打合せ中)