

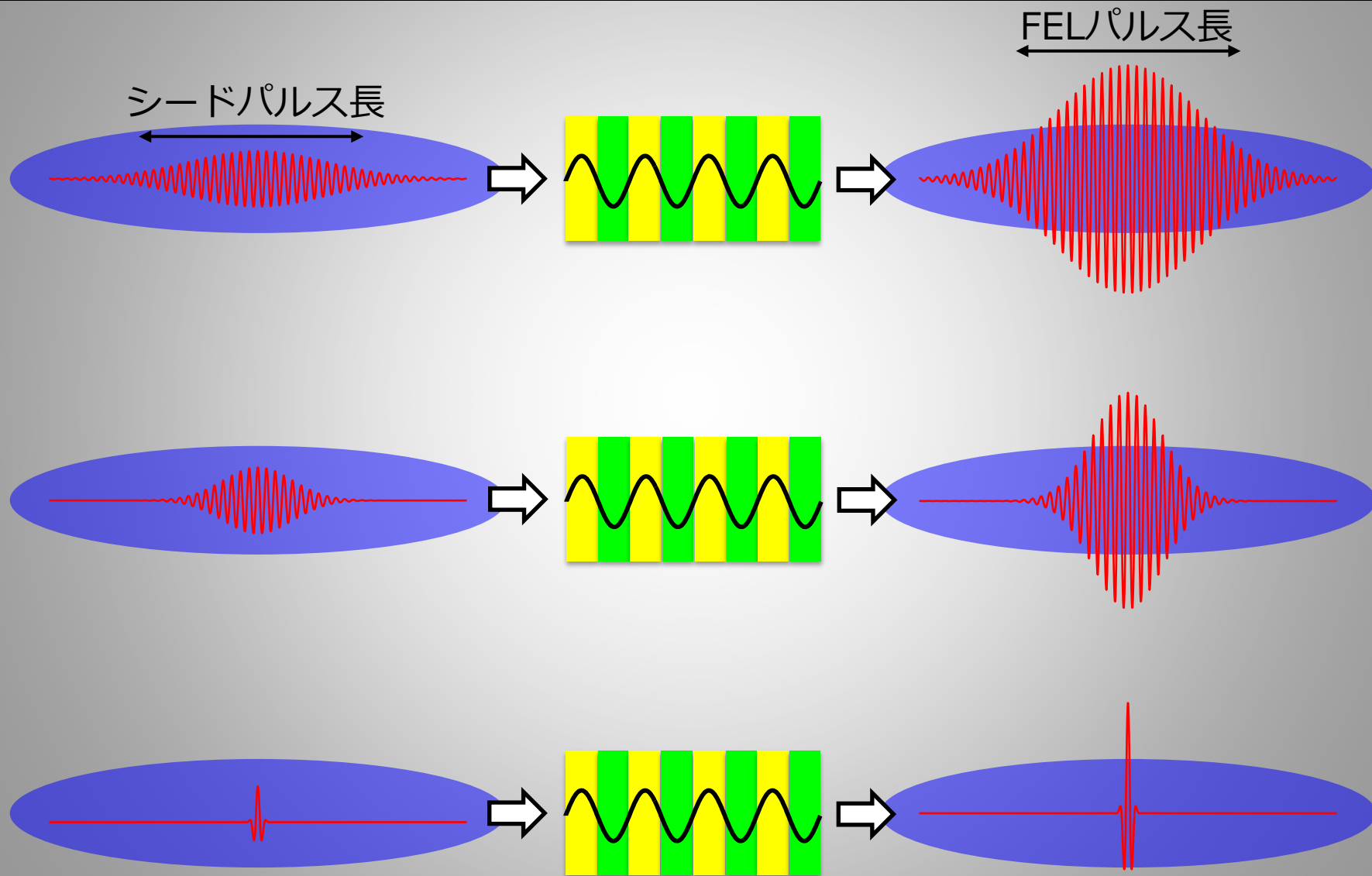
単一サイクル自由電子レーザー発振を 可能とする基本原理の実証

田中隆次^A, 貴田祐一郎^B, 橋本智^C, 宮本修治^{C,D}, 富樫格^{B,A},
富澤宏光^{B,A}, 後長葵^E, 金島圭佑^E, 田中義人^E

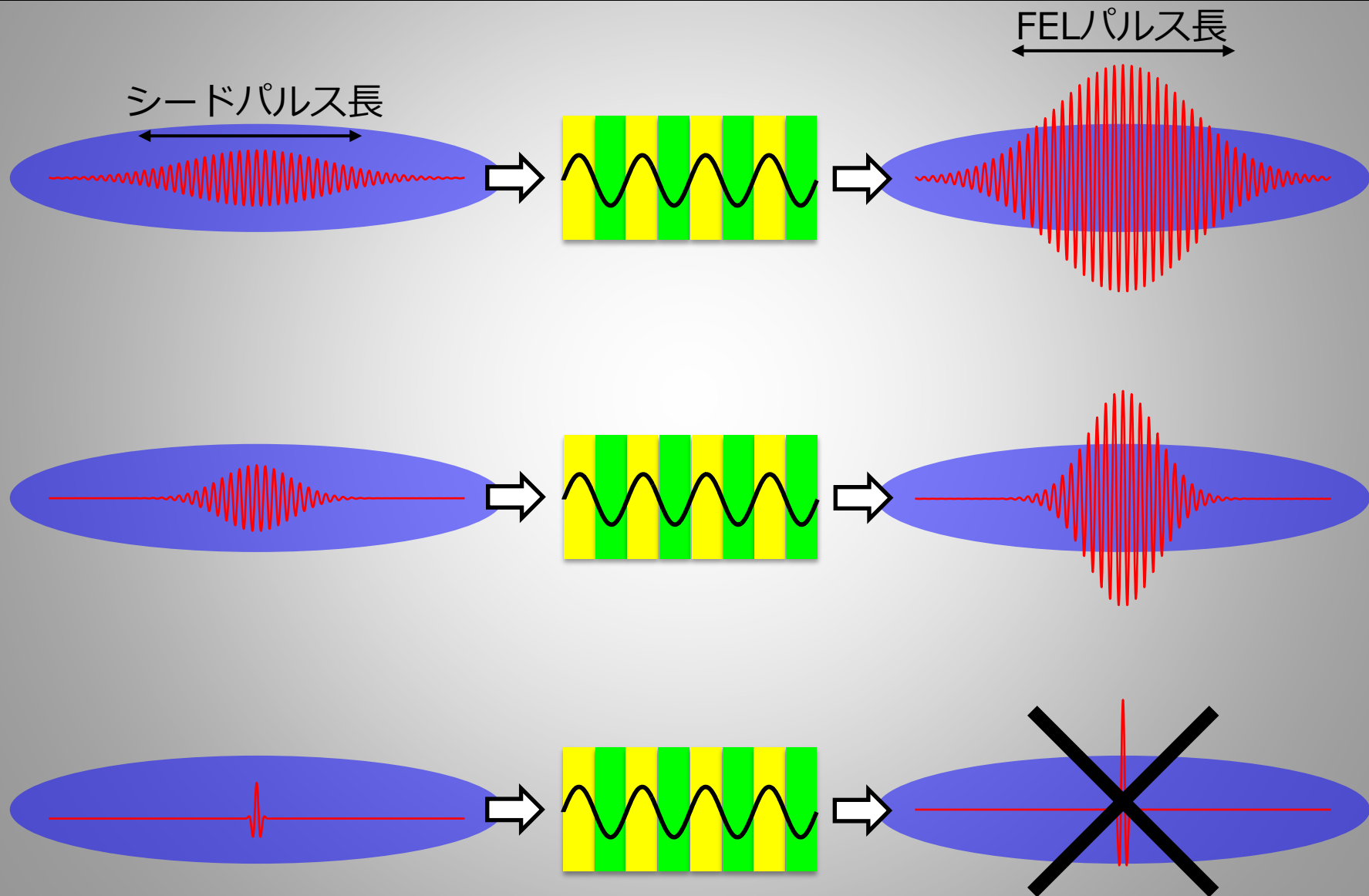
^A理研放射光センター, ^B高輝度光科学研究センター,
^C兵庫県立大高度研, ^D阪大レーザー研, ^E兵庫県立大物質理学

プロジェクトの概要

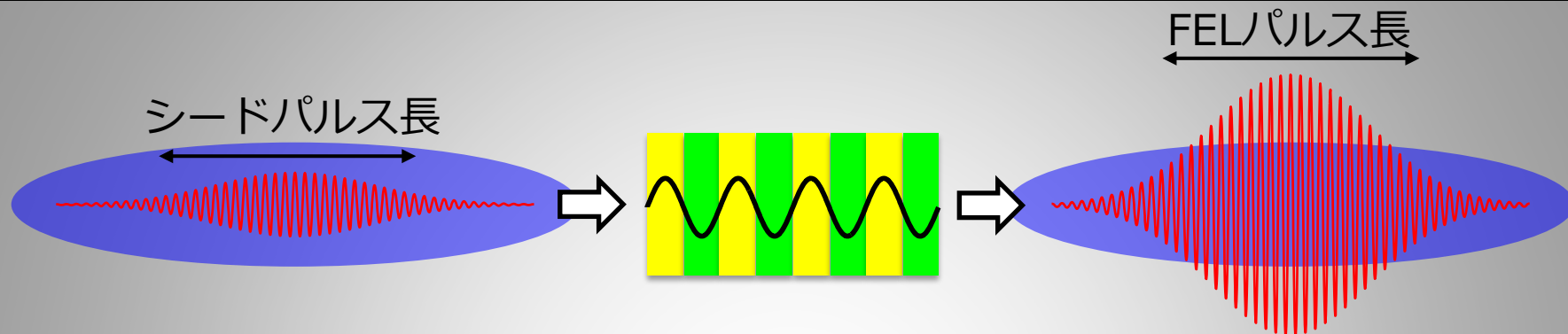
シード型FELのパルス長



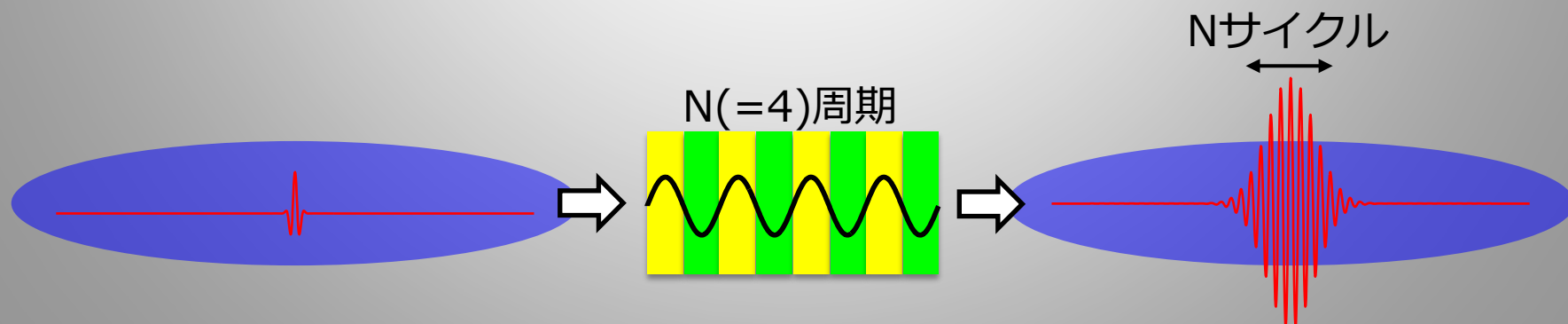
シード型FELのパルス長



シード型FELのパルス長

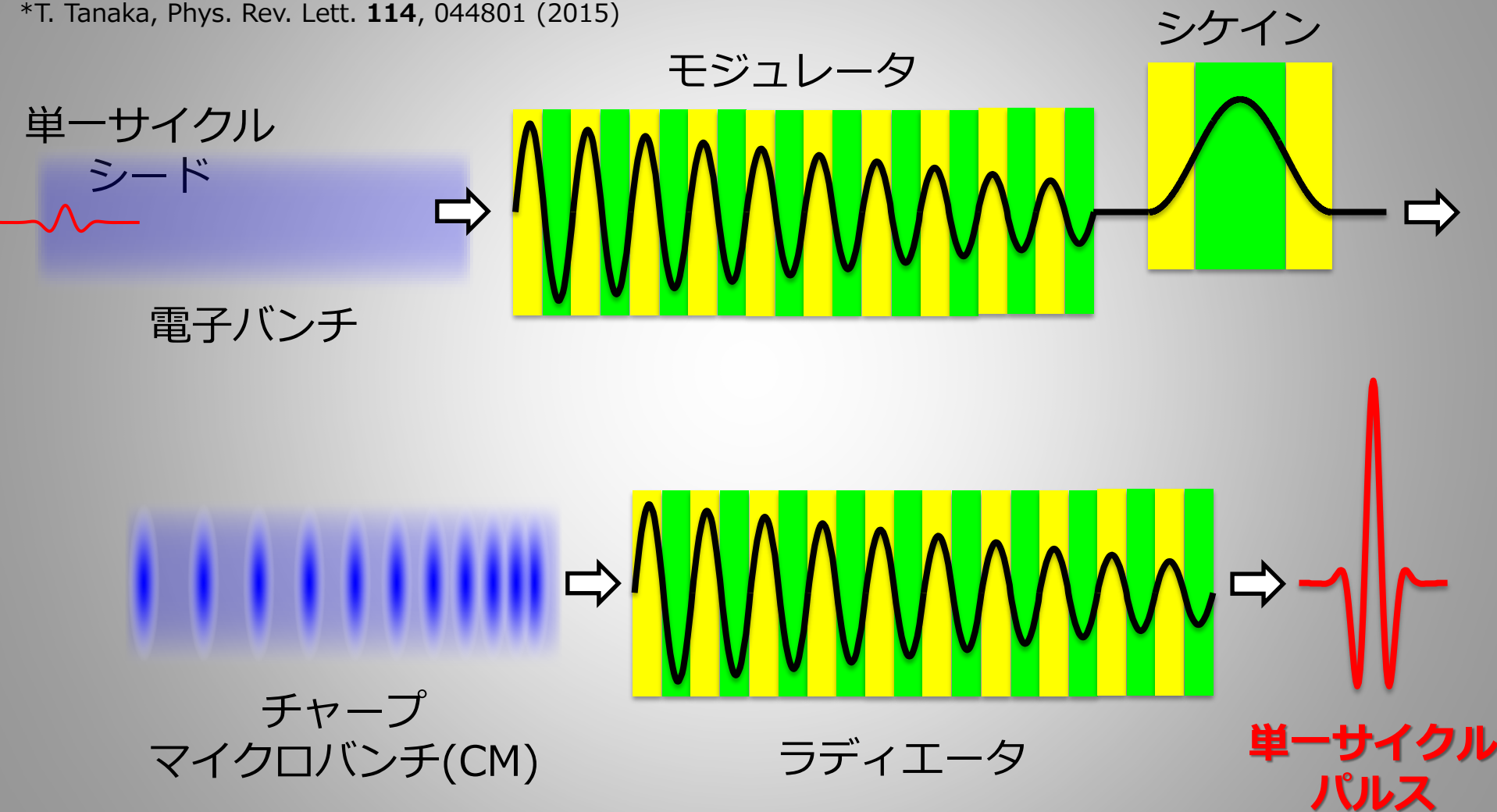


極短パルス条件ではスリッページが
FELの短パルス化を阻害



単一サイクルFELの基本概念*

*T. Tanaka, Phys. Rev. Lett. **114**, 044801 (2015)



最初の原理提唱以降、様々な発展型の提案あり

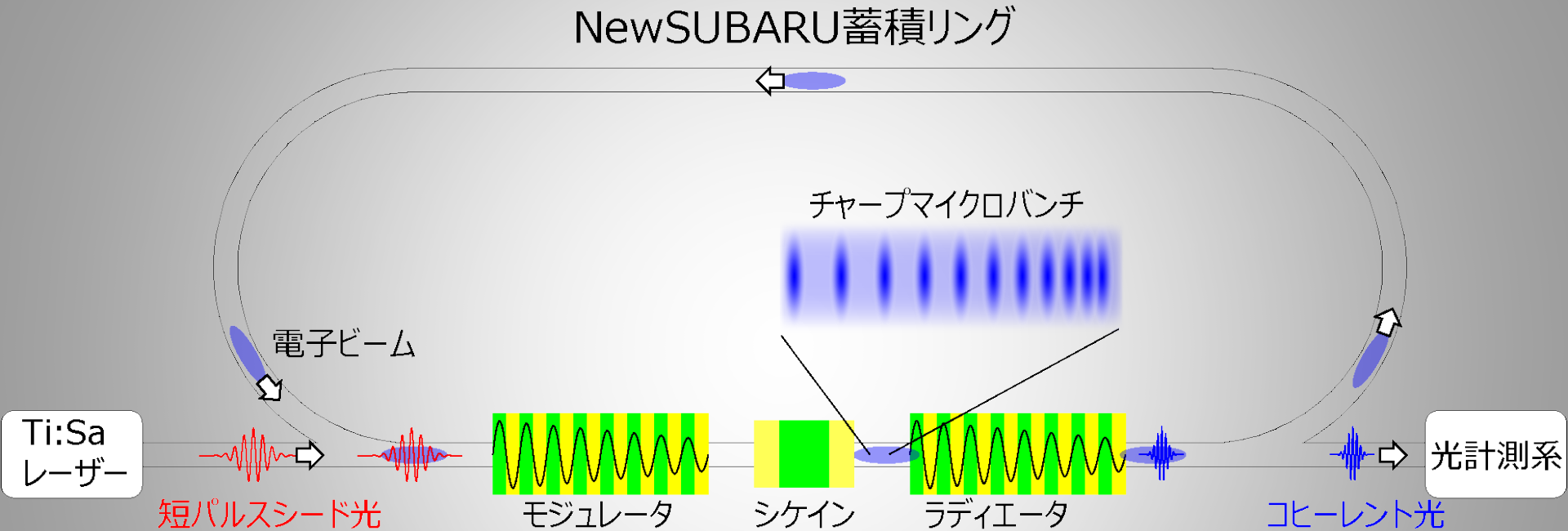
ニュースバル蓄積リング



周長	118 m
エネルギー	1 GeV (1.5, 0.5)
エミッタンス	37 nm.rad
エネルギー広がり	4×10^{-4}
バンチ長	33 psec

規模、場所、ビーム特性、レイアウト(長直線部&レーザー導入ポート)等の点で原理実証に最適な施設

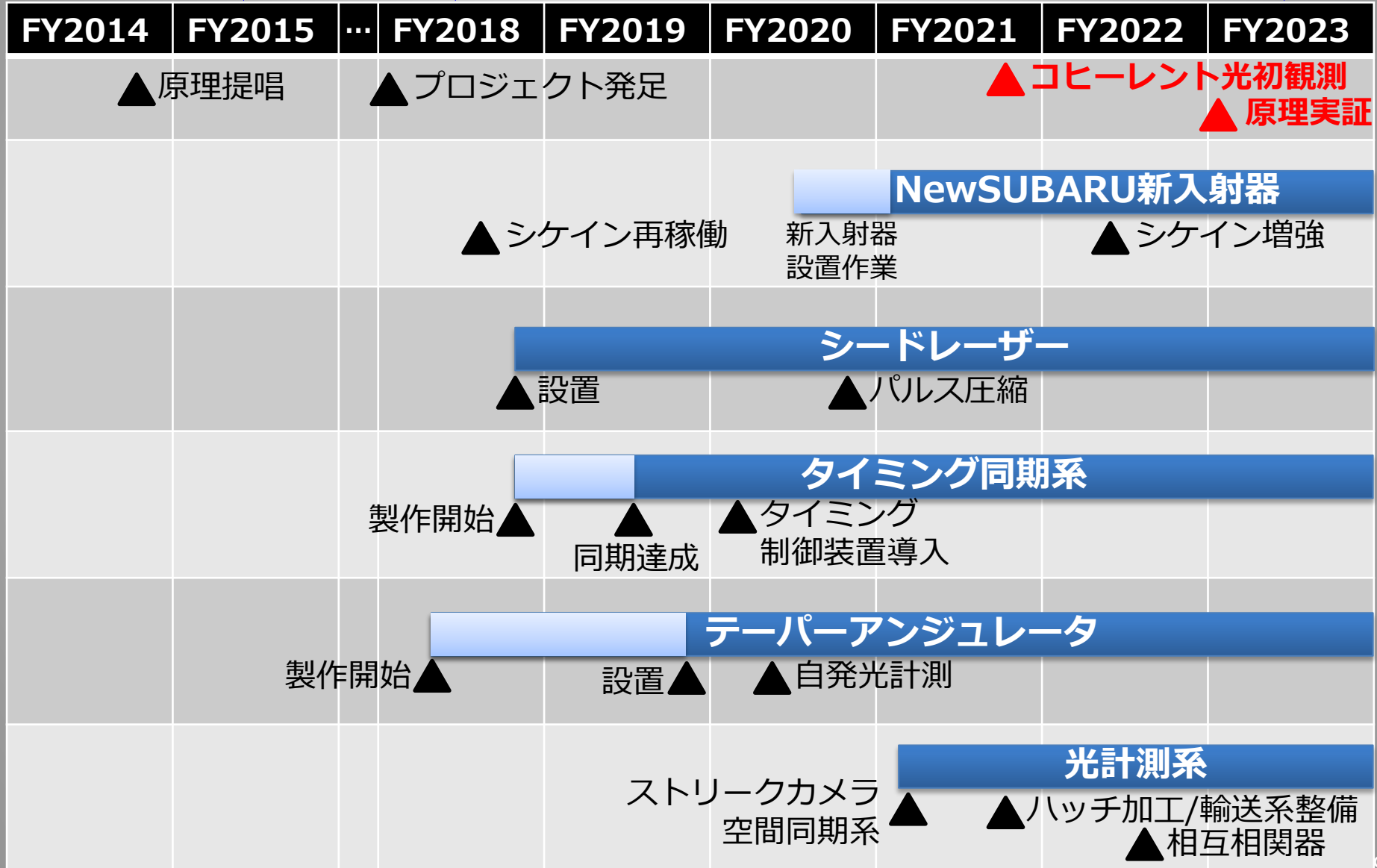
実証実験セットアップ



- HGHG-FELと類似も、以下の点で相違
- ✓シード光が極短パルス(<5サイクル)
 - ✓モジュレータ・ラディエータがテーパアンジュレータ

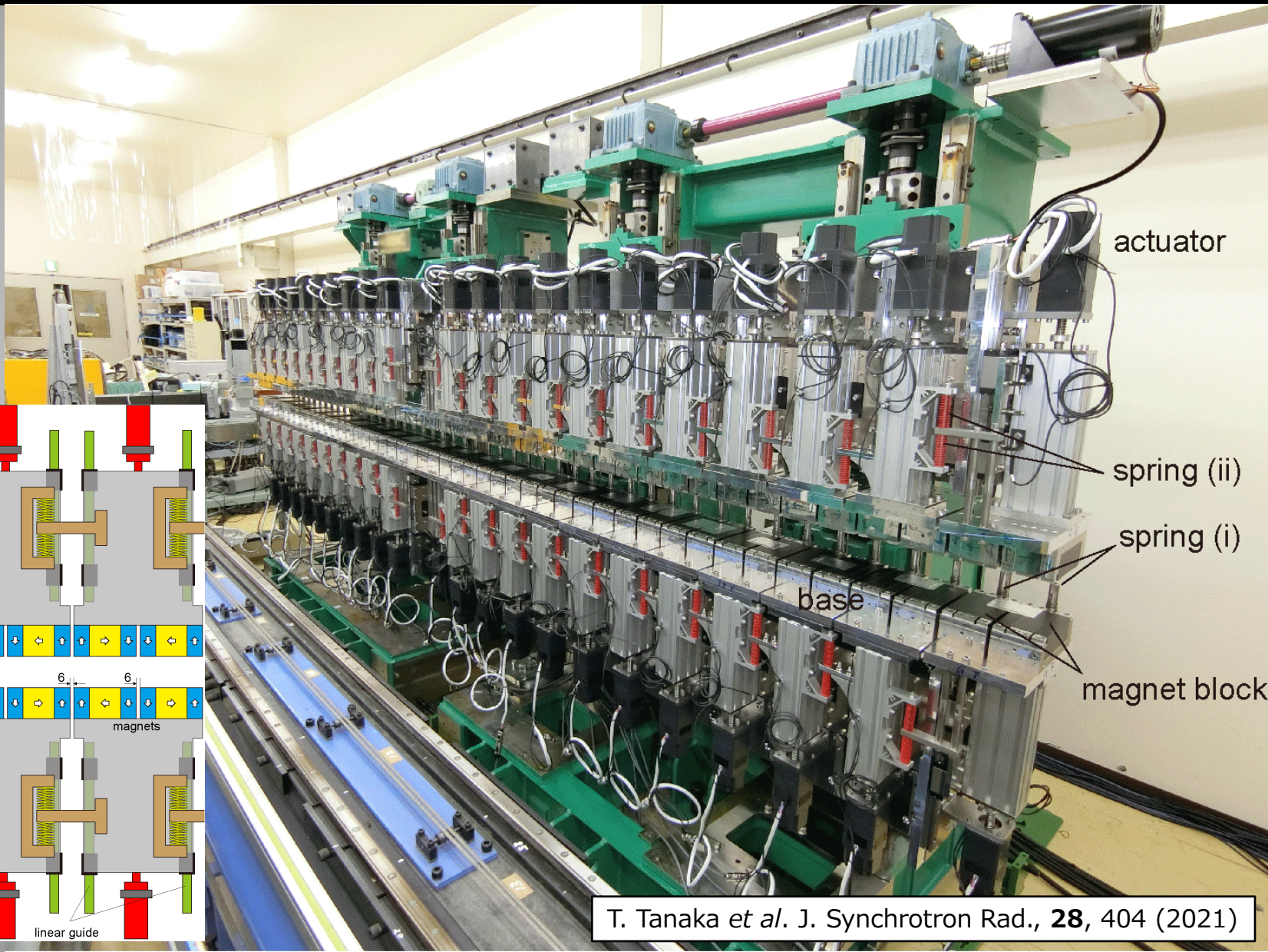
プロジェクトの経緯

年会報告 ▼



各機器要素の開発

テーパアンジュレータ



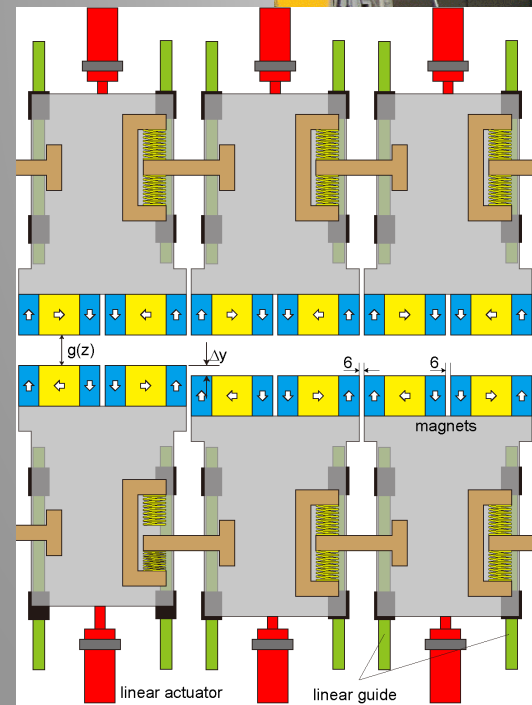
actuator

spring (ii)

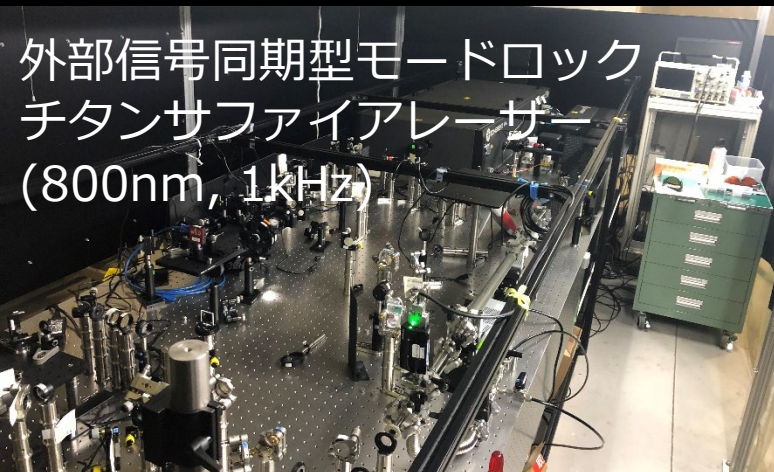
spring (i)

base

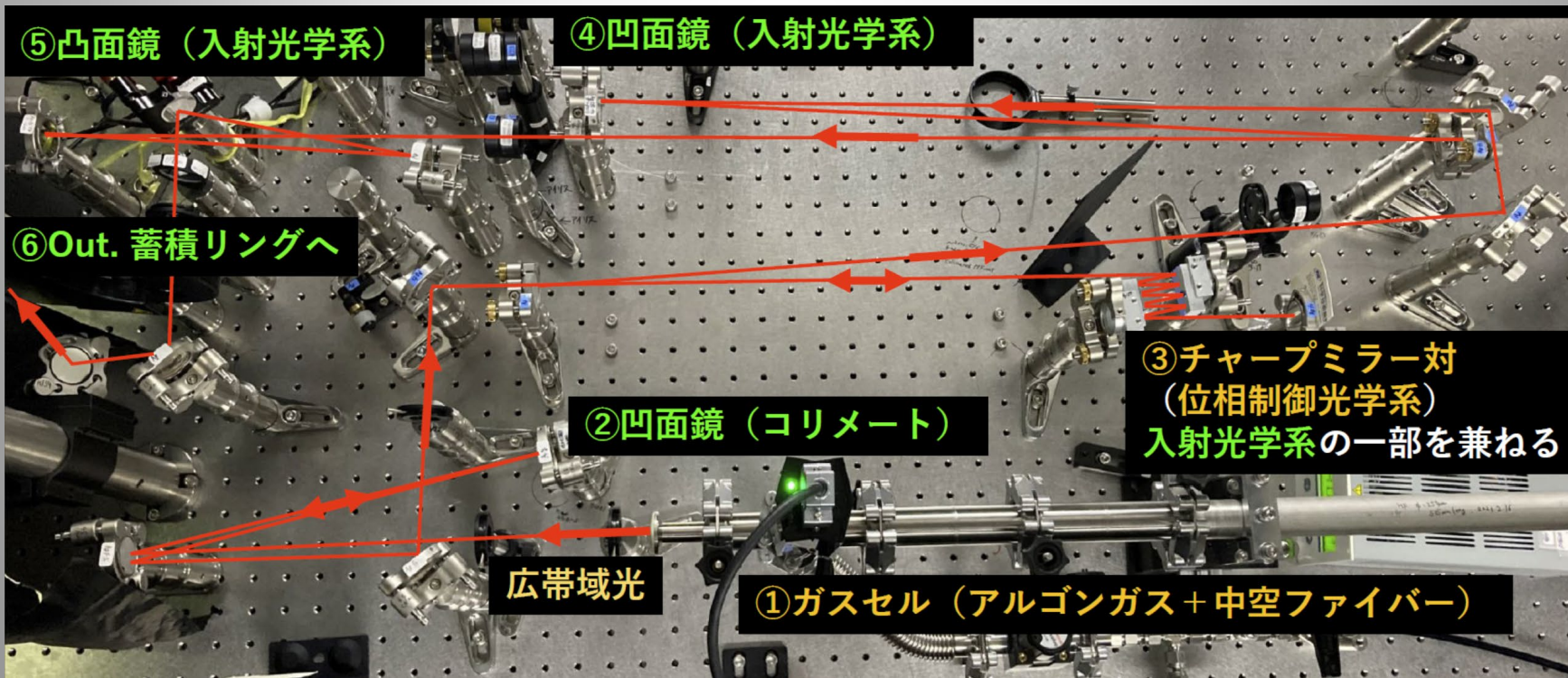
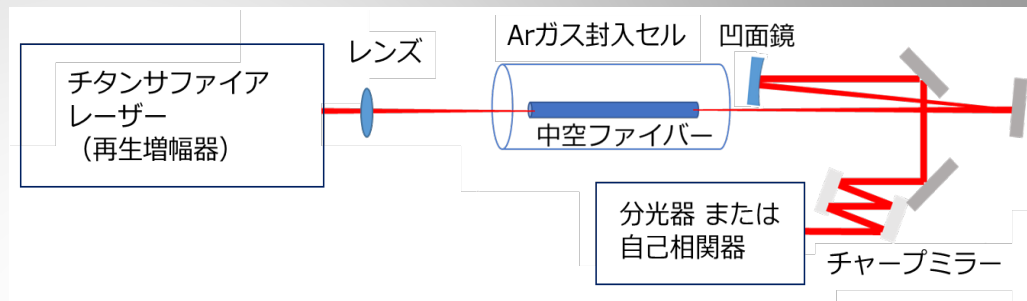
magnet block



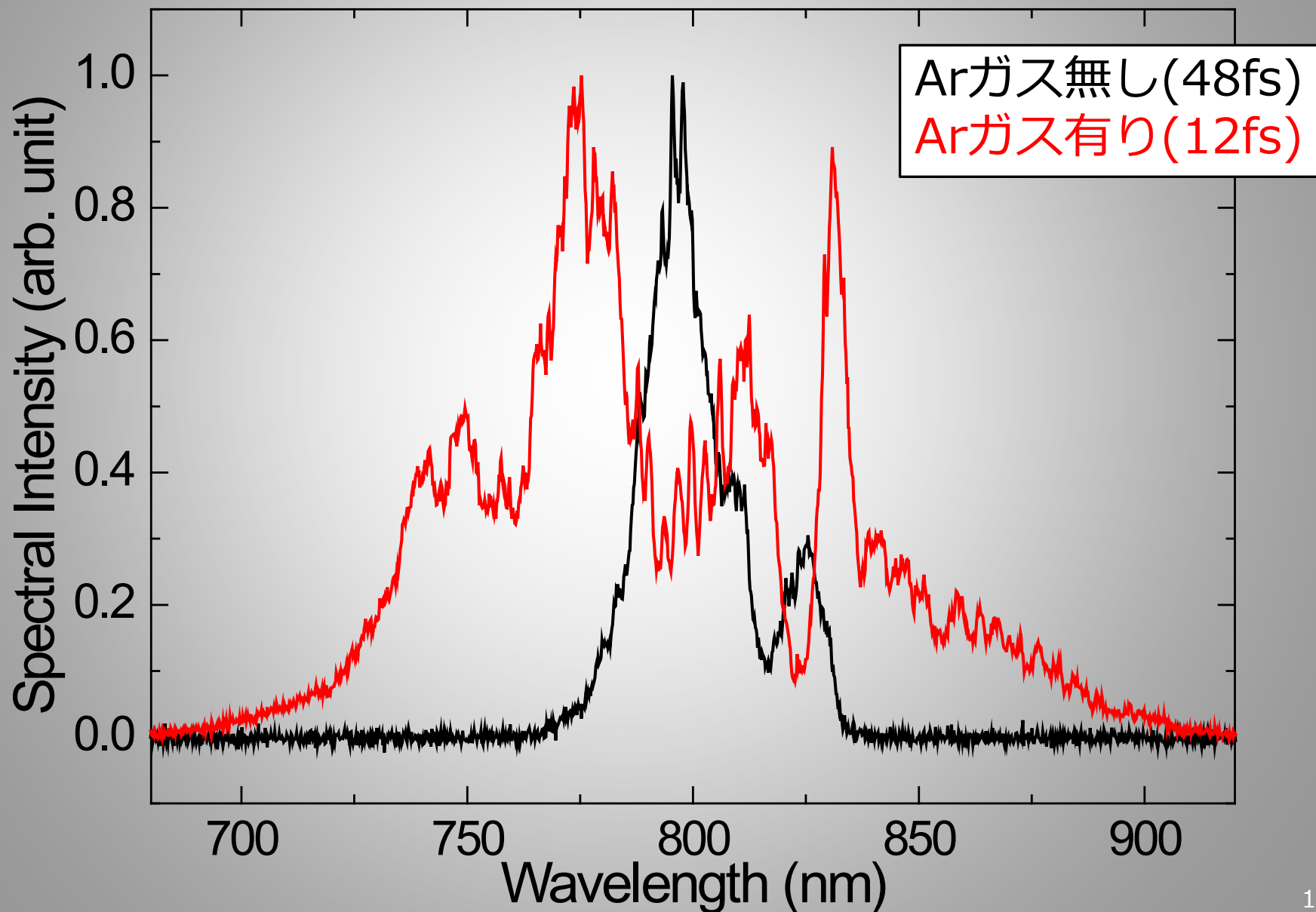
シードレーザー



貴田他, “単一サイクルFEL原理実証用超短パルスレーザー光源の開発”, 加速器学会年会(2022)

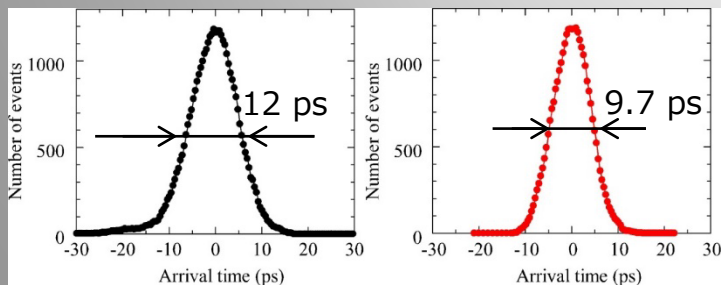
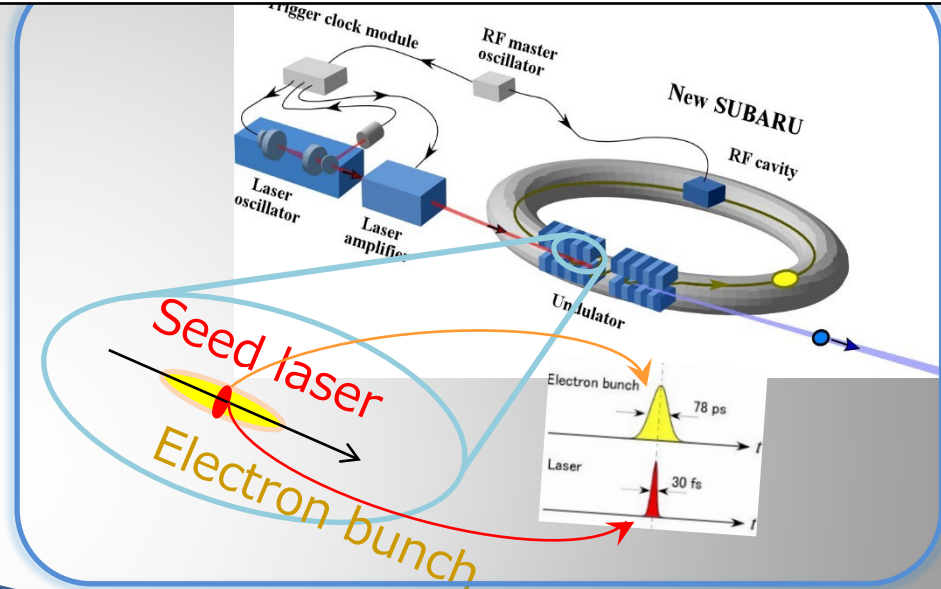
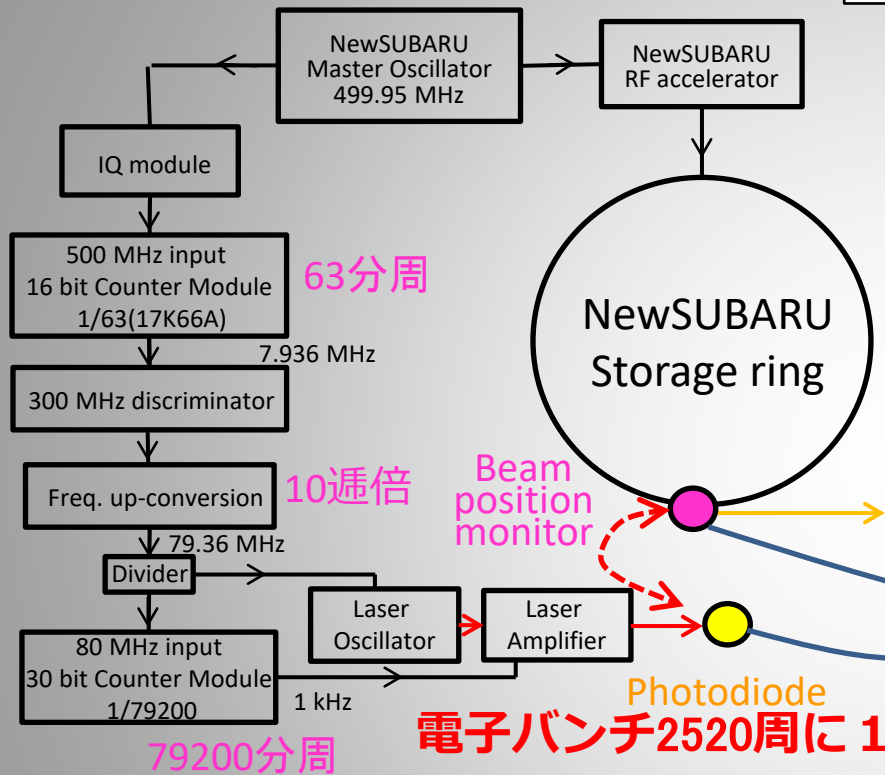


シードパルスのスペクトル測定結果



時間同期系

田中義人他, "ニュースバルにおけるレーザーシーディング法を用いたコヒーレント短パルス光の発生", ニュースバルシンポジウム(2023)

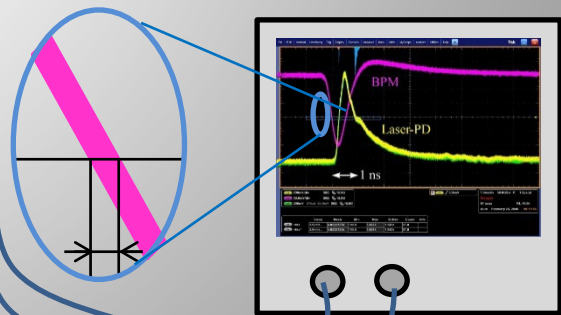


Histogram of the timing getting across the horizontal axis

Timing jitter of the PD signal divided just before input to the oscilloscope

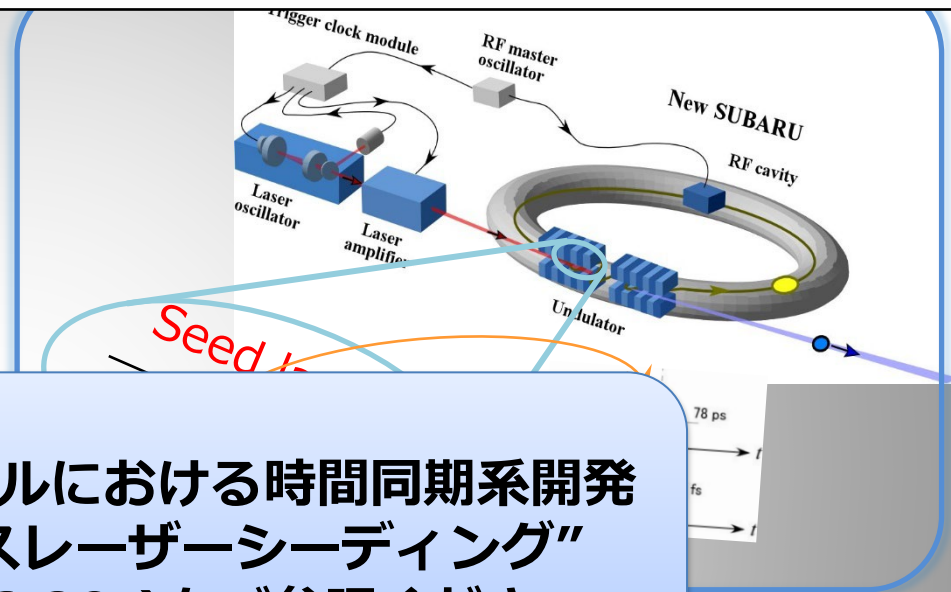
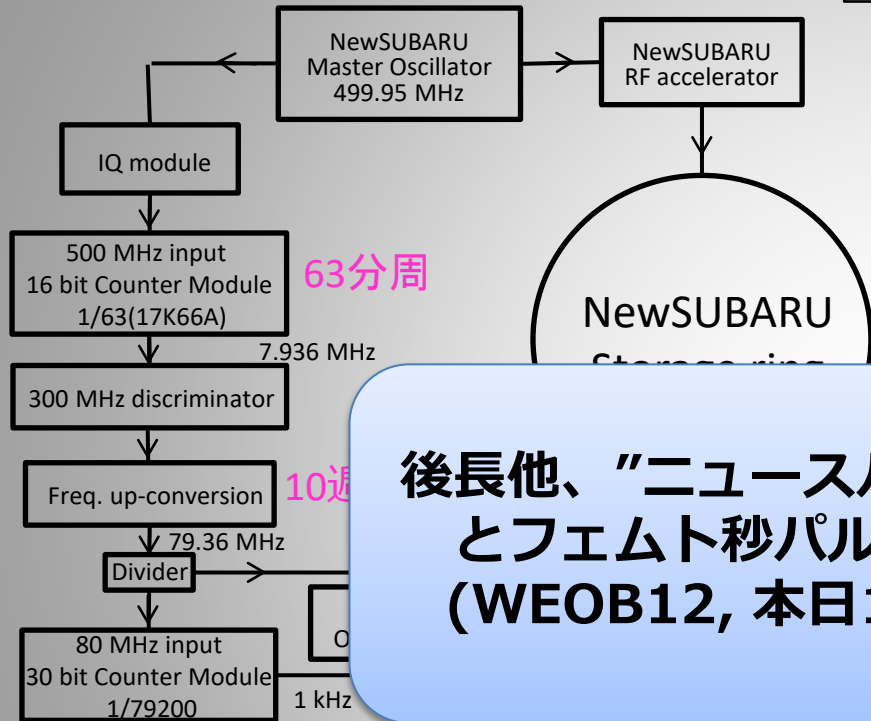
$$\sqrt{12.0^2 - 9.7^2} = 7.1 \text{ ps} < 80 \text{ ps}$$

16 GHz Oscilloscope



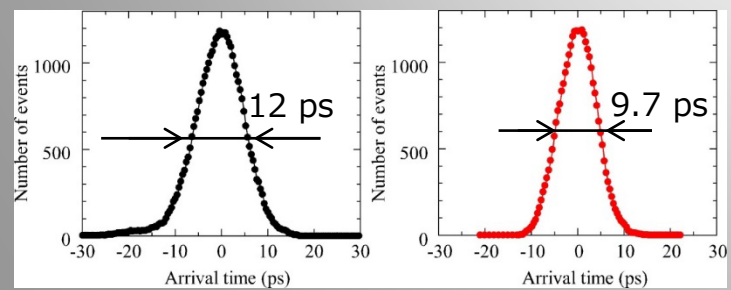
時間同期系

田中義人他, "ニュースバルにおけるレーザーシーディング法を用いたコヒーレント短パルス光の発生", ニュースバルシンポジウム(2023)

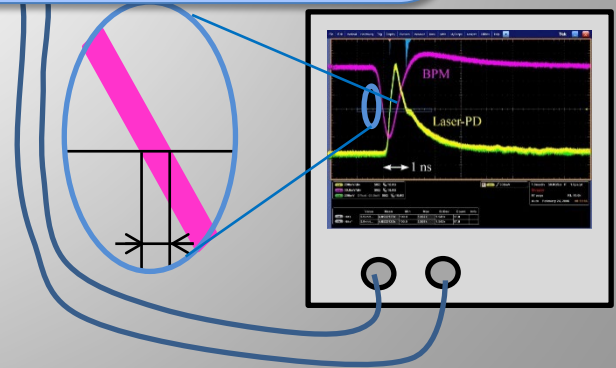


後長他, "ニュースバルにおける時間同期系開発とフェムト秒パルスレーザーシーディング" (WEOB12, 本日16:20-)もご参照ください

電子ハンダ2520周に1回の割合



$$\sqrt{12.0^2 - 9.7^2} = 7.1 \text{ ps} < 80 \text{ ps}$$

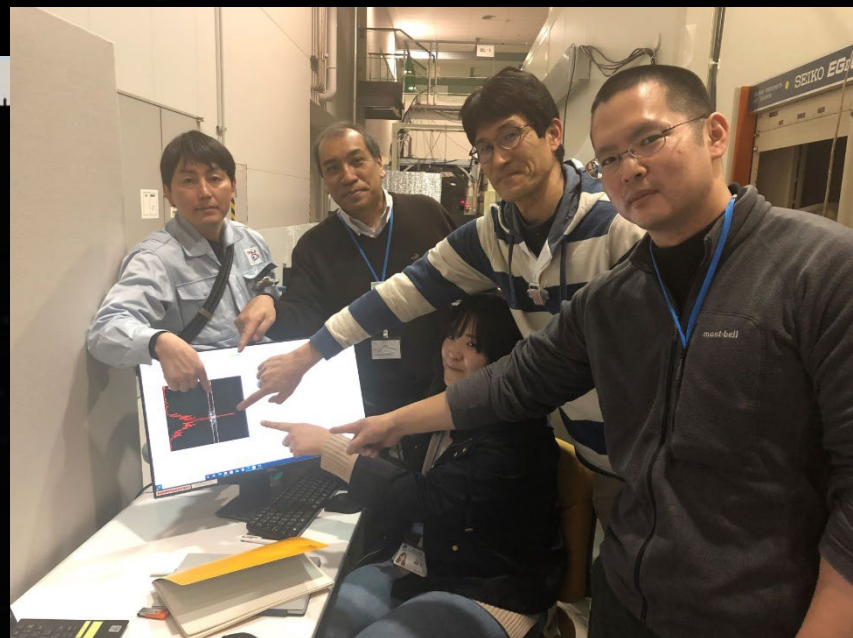
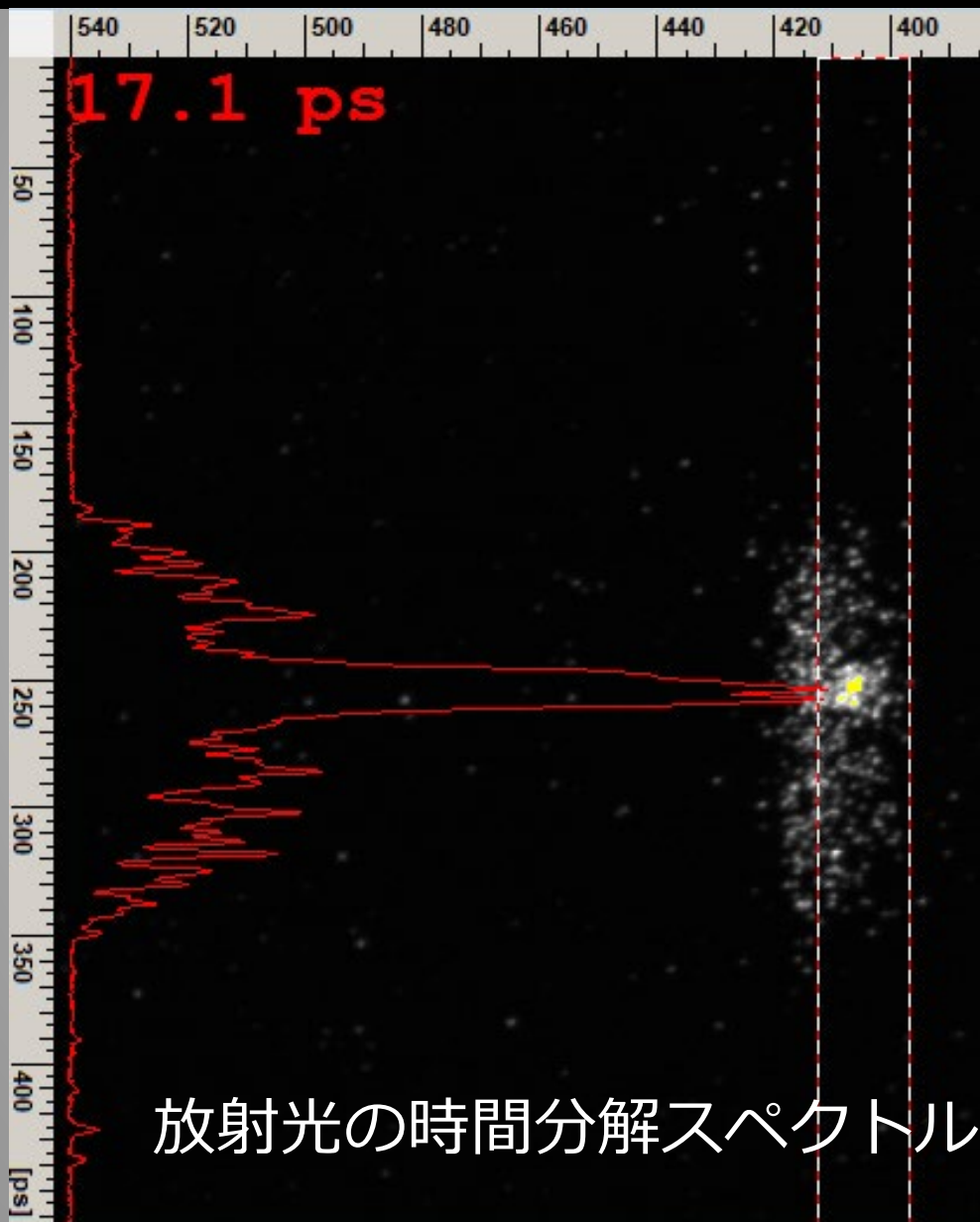


Triggered by Laser-PD

Histogram of the timing getting across the horizontal axis

Timing jitter of the PD signal divided just before input to the oscilloscope

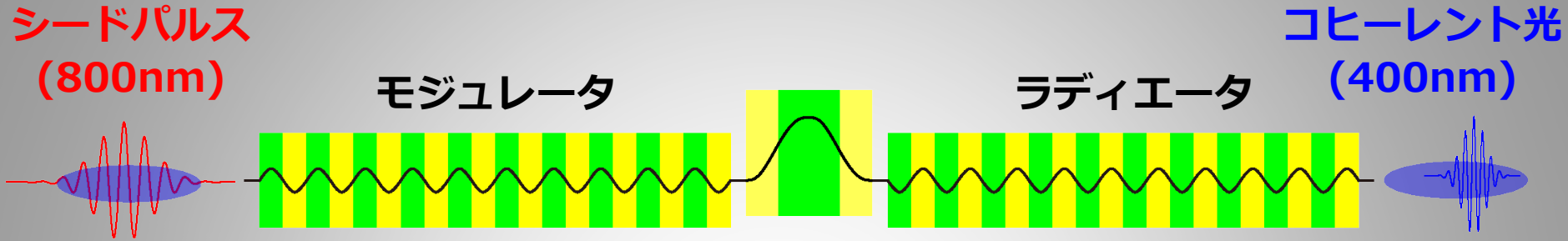
コヒーレント光初観測(2022/02)



放射光の時間分解スペクトル

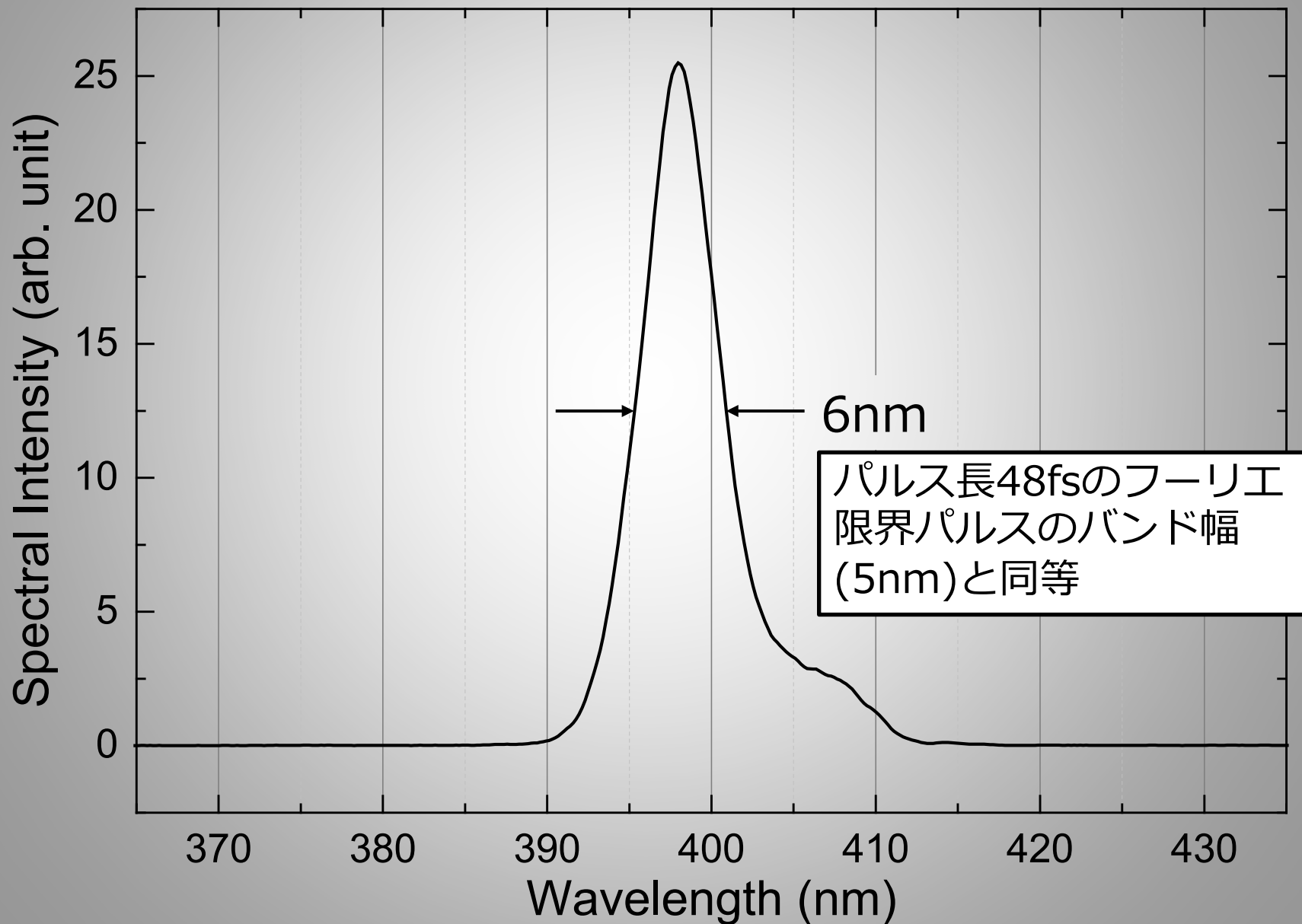
実証実験の概略と結果

原理実証の方針

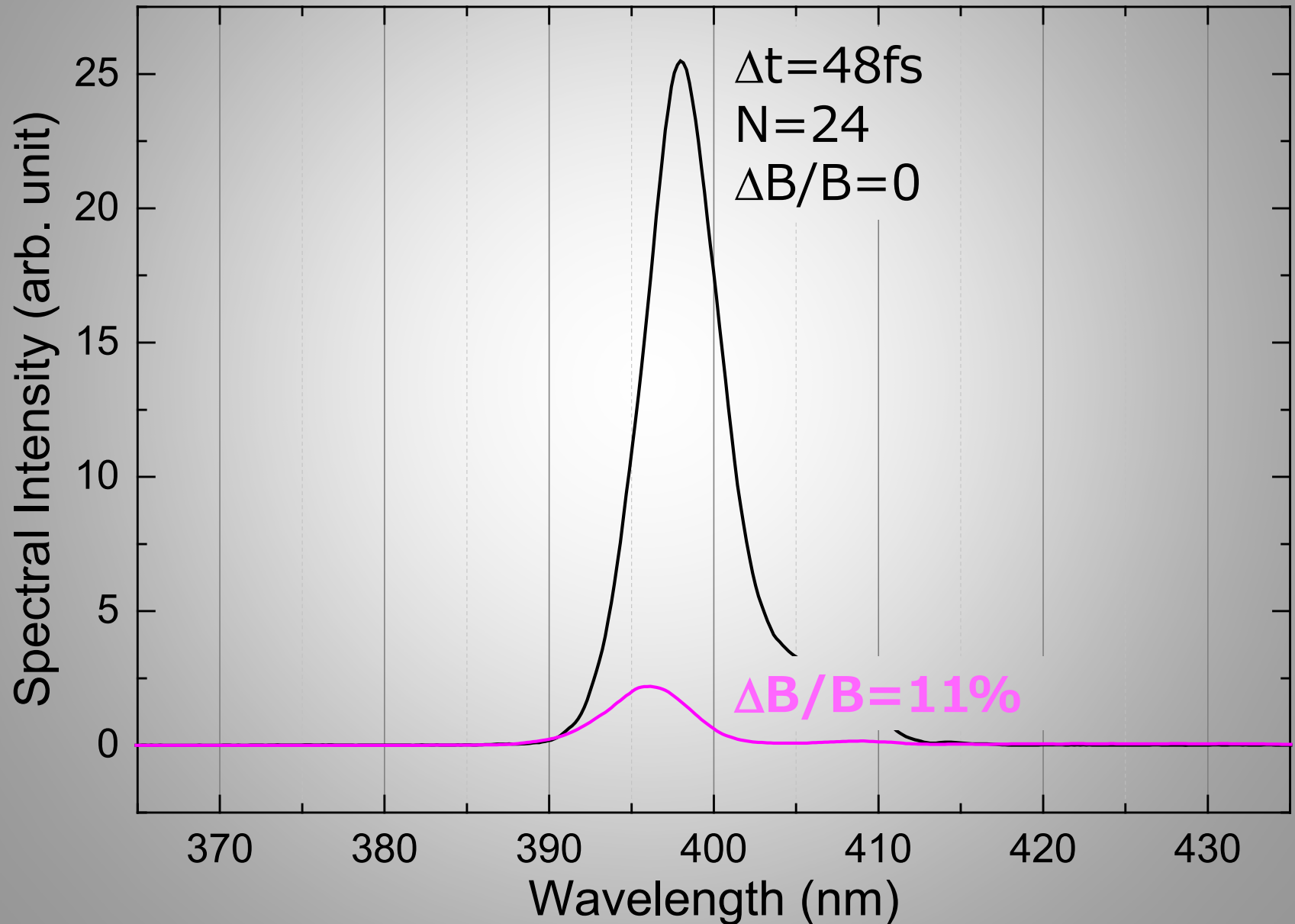


- 400nm(2次光)でコヒーレント光を生成
 - 同一波長ではシード光との分離が困難
 - 高次光でも基本原理が動作することの実証
- 各種条件でスペクトル実測
 - ✓シードパルス長($\Delta t=48\text{fs}$, 12fs)
 - ✓アンジュレータ周期数($N=24$, 12 , 6)
 - ✓テーパー磁場勾配($\Delta B/B=0$, 11%)

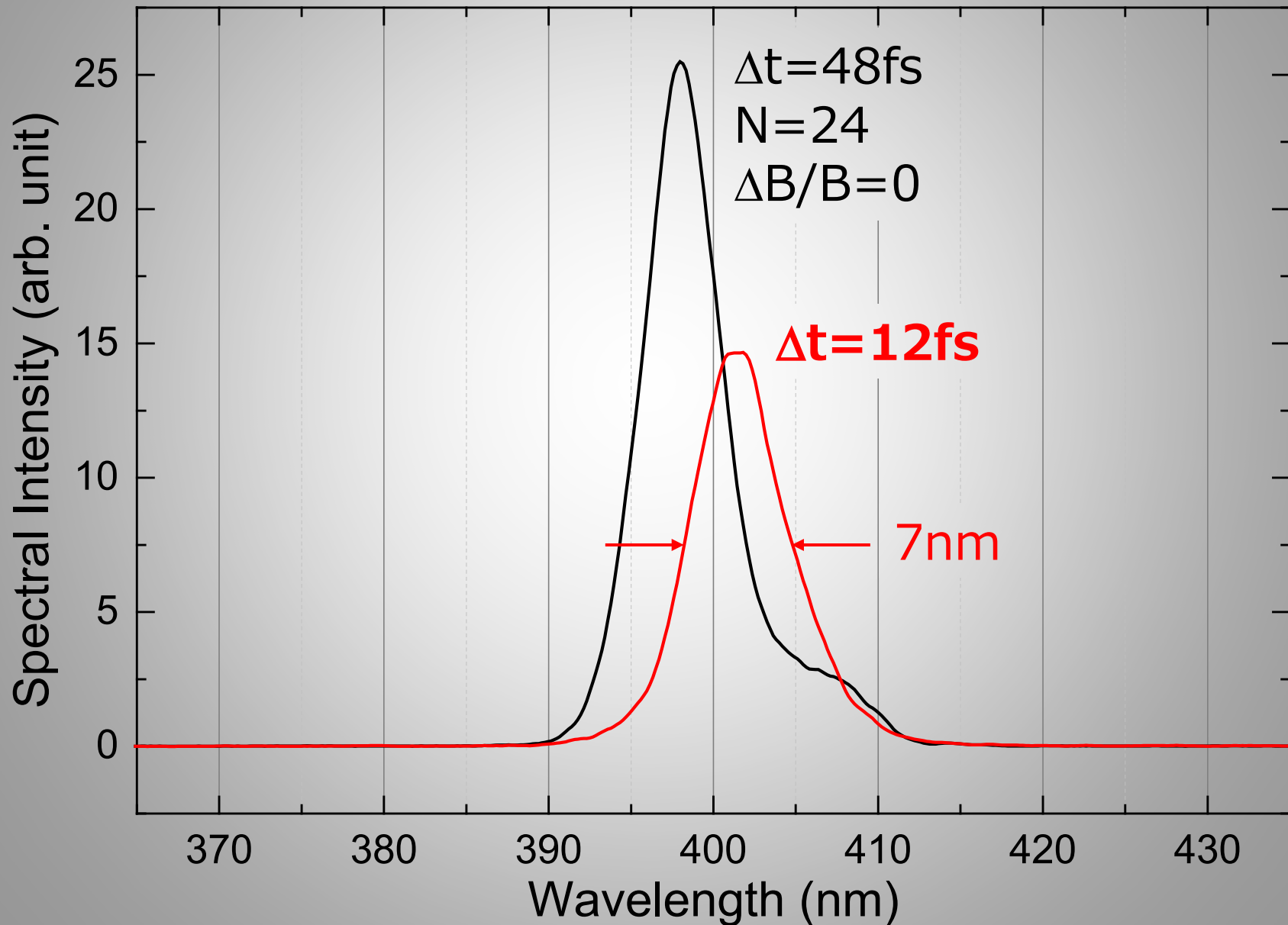
基本条件($\Delta t=48\text{fs}$, $N=24$, $\Delta B/B=0$)



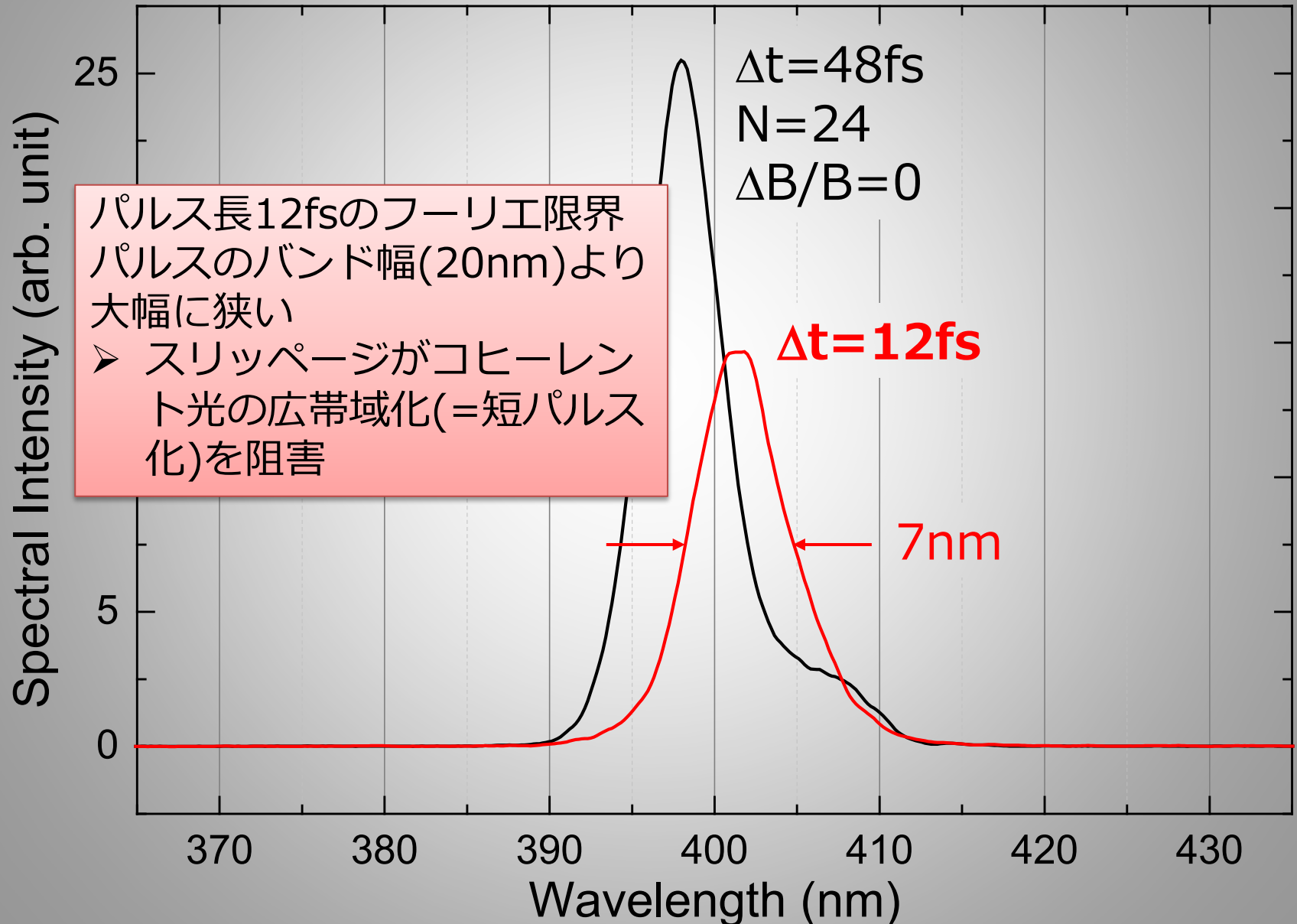
テーパー導入



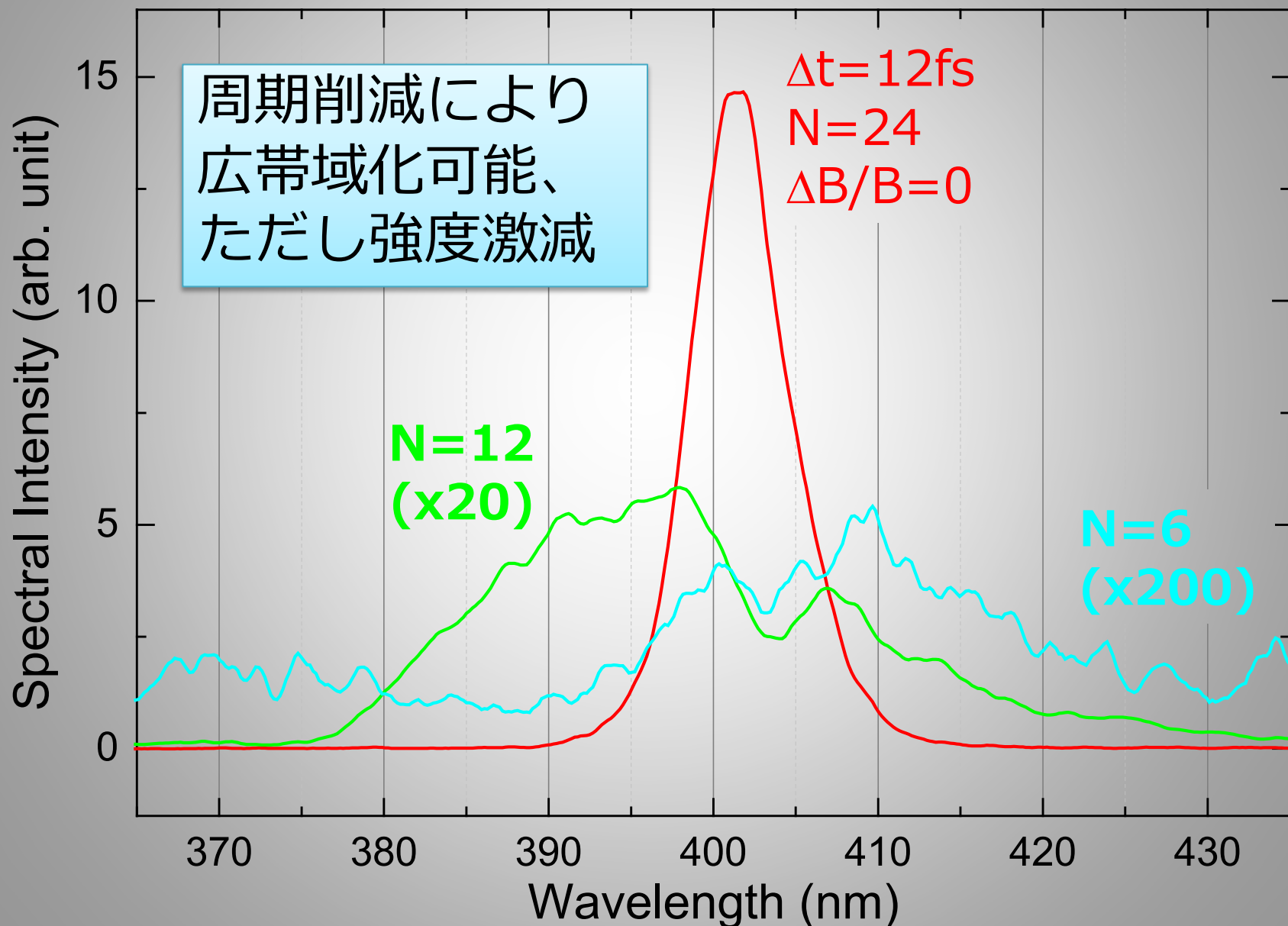
シード短パルス化



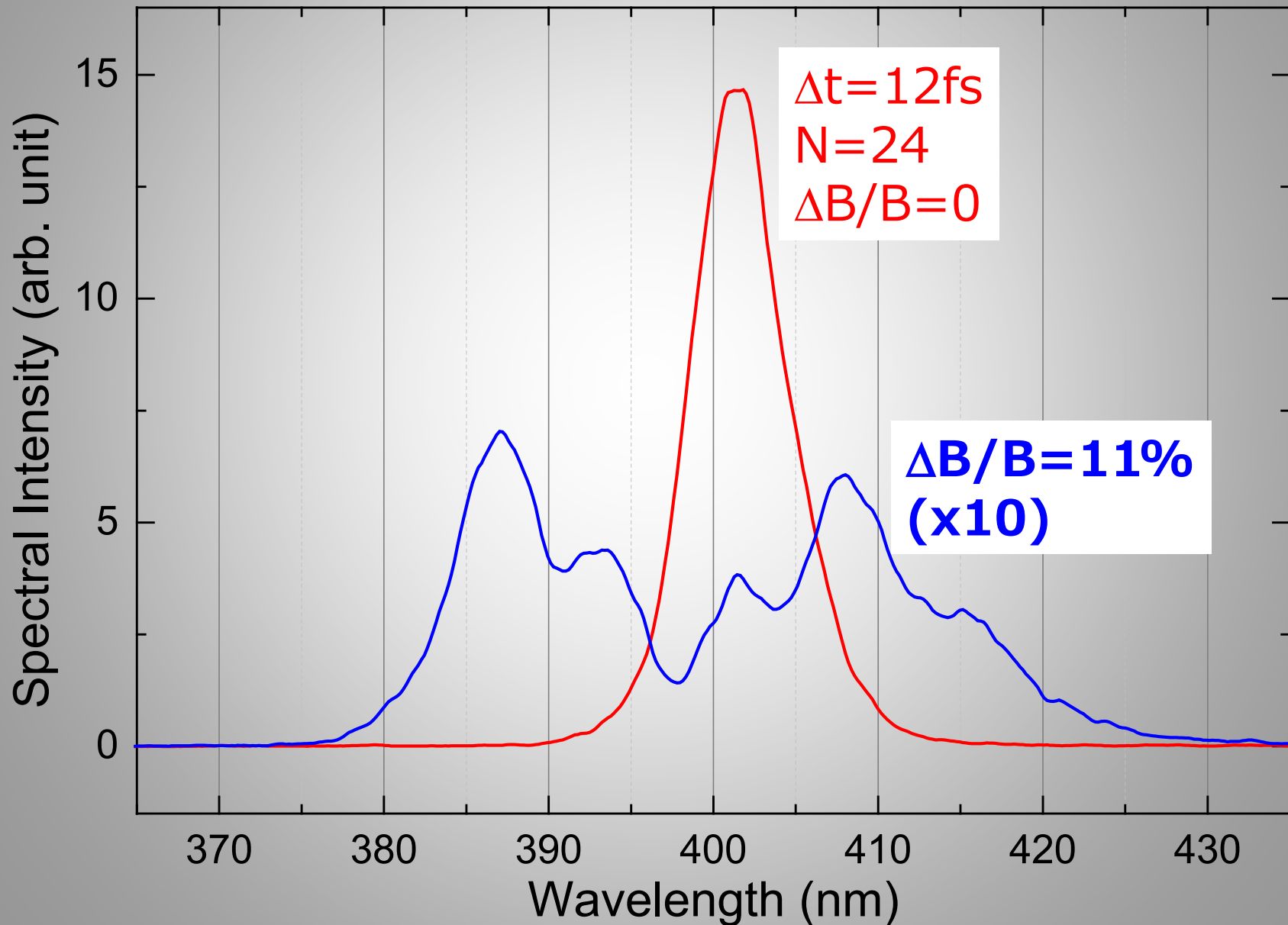
シード短パルス化



シード短パルス化&周期削減



シード短パルス化&テーパー導入

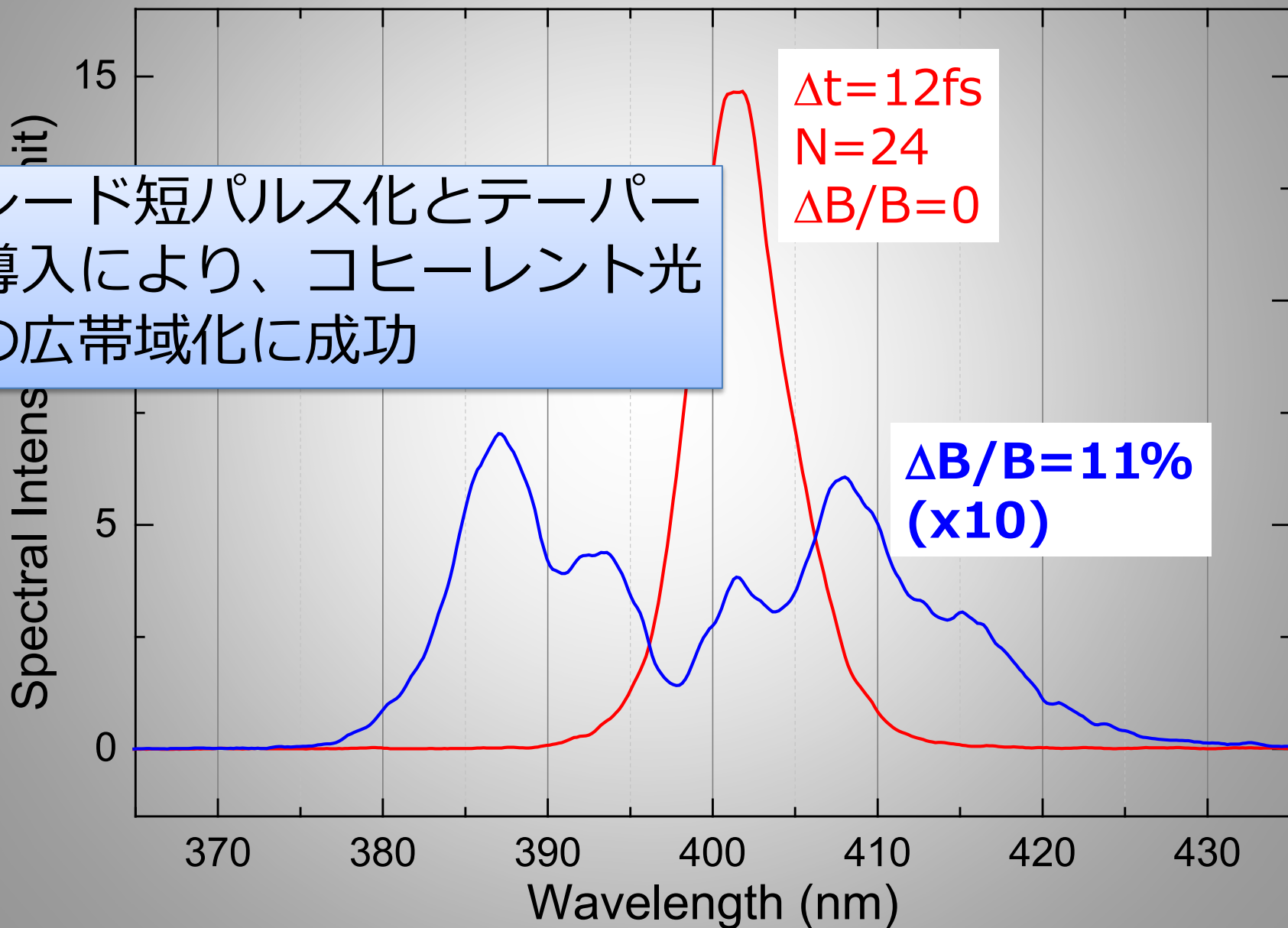


シード短パルス化&テーパー導入

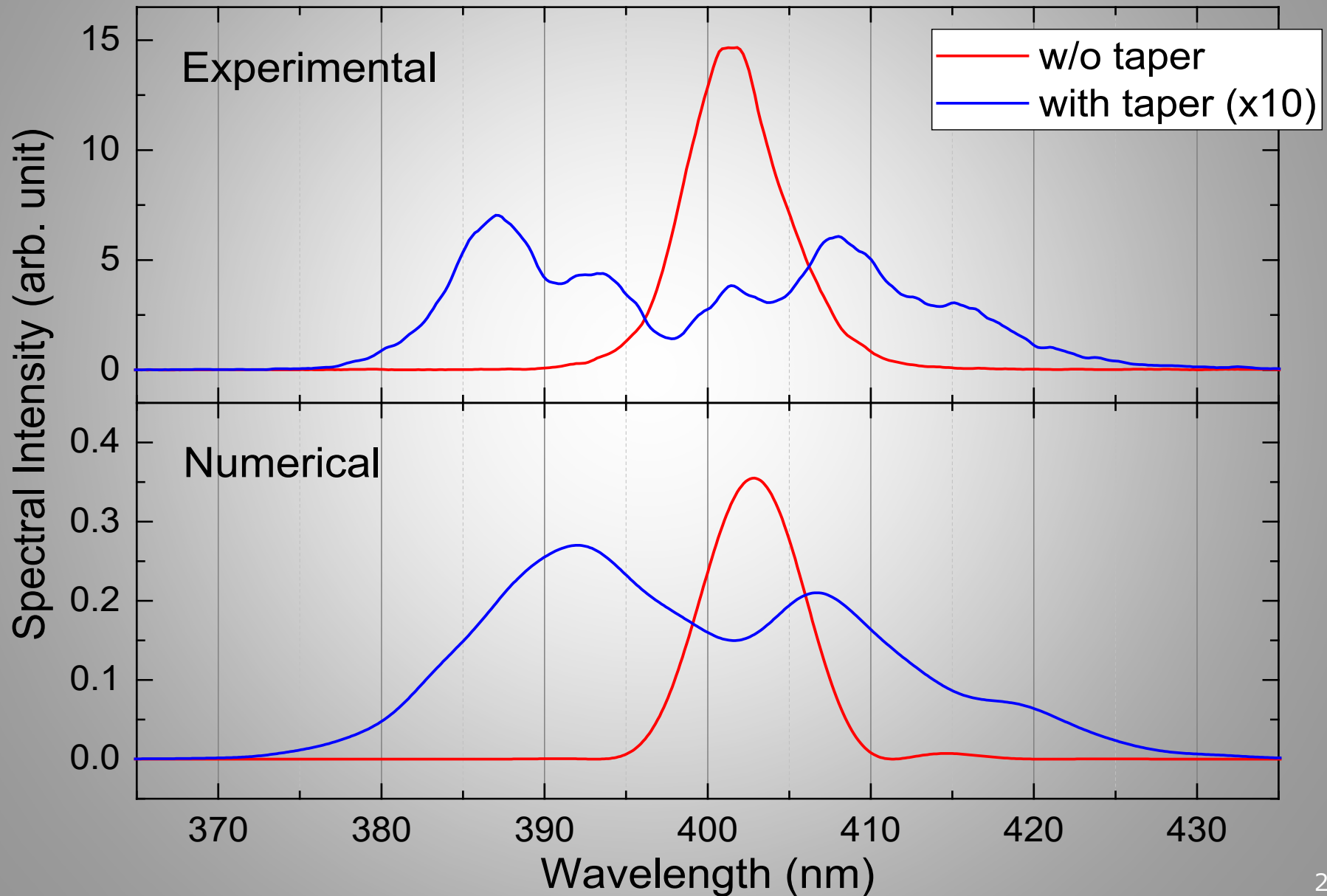
シード短パルス化とテーパー導入により、コヒーレント光の広帯域化に成功

$\Delta t = 12\text{fs}$
 $N = 24$
 $\Delta B/B = 0$

$\Delta B/B = 11\%$
(x10)



計算値との比較



実証実験のまとめと将来展望

- チャープマイクロバンチ法（短パルスシード&テーパー適用による広帯域化）の実証に成功
- 残務：パルス幅の実測
 - 輸送光学系の分散が大きく、ラディエータ直下(@真空)でのパルス幅の推定が困難
 - 分散補正無しでの相互相関による測定は理論予測とよく一致
- 将来展望
 - アト秒パルスの波形制御を可能にする新たなFELの実用化

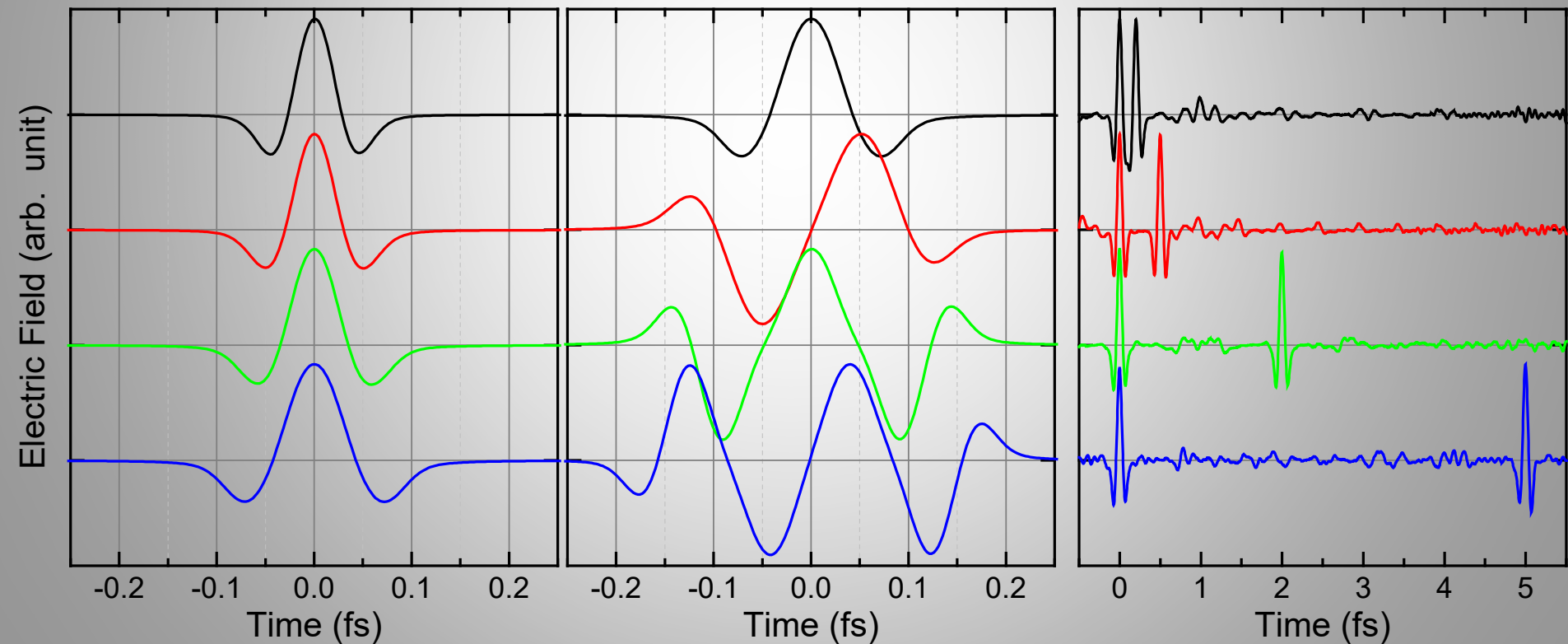
波形可変型アト秒FEL?

チャープマイクロバンチの応用で可能となる
アト秒FELパルスの波形制御(計算例)

中心波長とパルス幅

位相及びサイクル数

ダブルパルスの生成



ご清聴ありがとうございました