



t-ACTS電子銃の光陰極化に向けた レーザーシステムの構築

○工藤滉大, 柏木茂, 日出富士雄, 武藤俊哉, 南部健一, 長澤育郎,
高橋健, 柴田晃太郎, 山田悠樹, Anjali Kavar, 安彦颯人, 濱広幸

東北大学先端量子ビーム科学研究センター(RARiS)
電子光理学研究部門

本研究はJSPS科研費挑戦的研究(開拓)23K17306の助成を受けたものです

目次

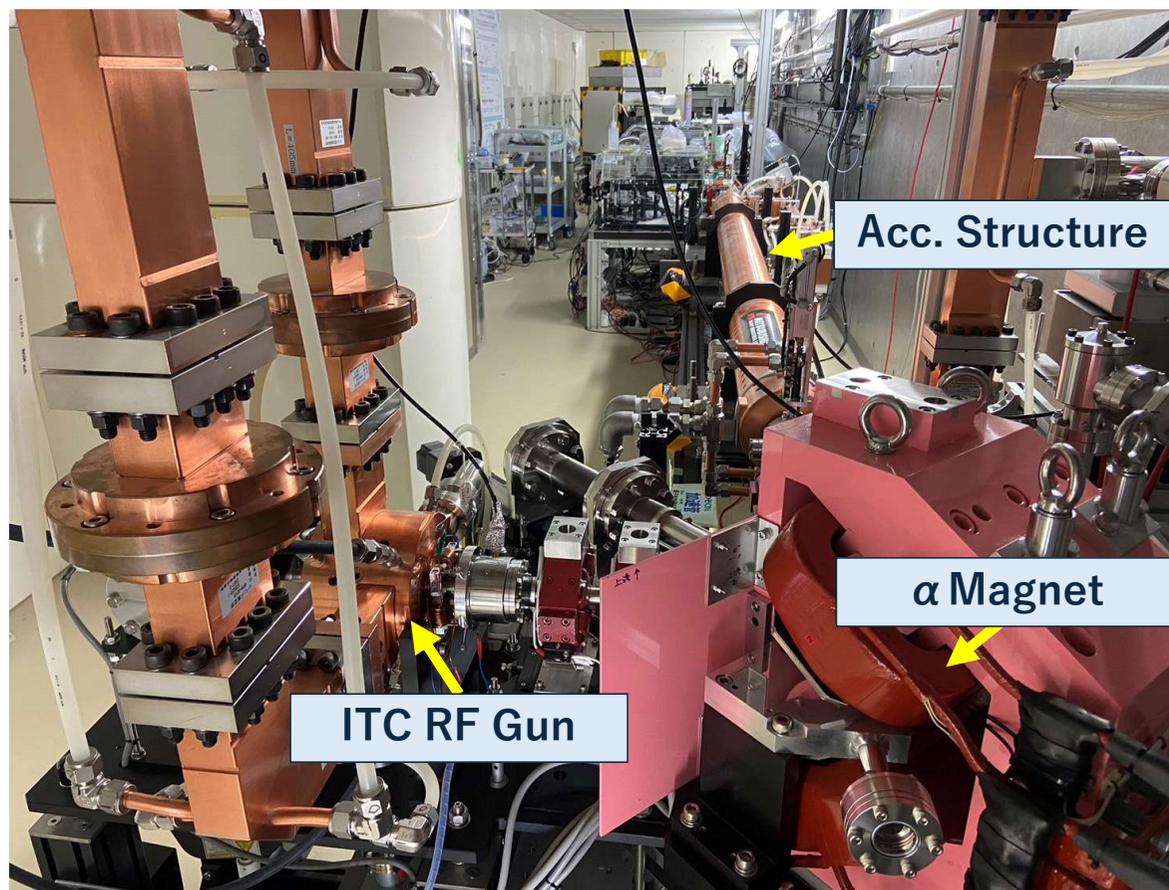
- ◆ 研究背景
- ◆ 研究目的
 - ◆ 光陰極化にあたって
 - ◆ GPTによるシミュレーション
 - ◆ 要求されるレーザーシステム
- ◆ 全体システム
 - ◆ Ybファイバーレーザー発振器
 - ◆ レーザー同期システム (714 MHz)
- ◆ レーザー開発状況
- ◆ まとめと今後の予定

研究背景

t-ACTS (test-Accelerator as Coherent THz Source)

- ◆ 熱陰極RF電子銃 + α 電磁石 + 3 m進行波型加速管による速度圧縮で短バンチを生成
- ◆ THz領域における様々なコヒーレント光の研究(アンジュレータ放射、チェレンコフ回折放射、スミス=パーセル放射など)

RF周波数	2856 MHz
ビームエネルギー	22 MeV
マクロパルス長	2 μ s
バンチ電荷量	5 pC/bunch
バンチ長	~80 fs
カソード	CeB ₆



研究背景

THz領域におけるプリバンチドFELの原理実証

- ◆ 放射波長程度に集群したバンチによるFEL
 - ◆ 通常のFELと比べ、高い増幅率が得られる可能性が期待される

原理実証のためには…

- ◆ **波長以下のバンチ長** (1 THzの光の周期は 1 ps \gg バンチ長)
- ◆ **バンチ電荷量** (現在5 pC/bunch \rightarrow 20 pC/bunch以上)
- ◆ **FEL共振器に対応する繰り返しの電子バンチ** (RF周波数2856 MHz \rightarrow 40 MHz程度)

研究背景

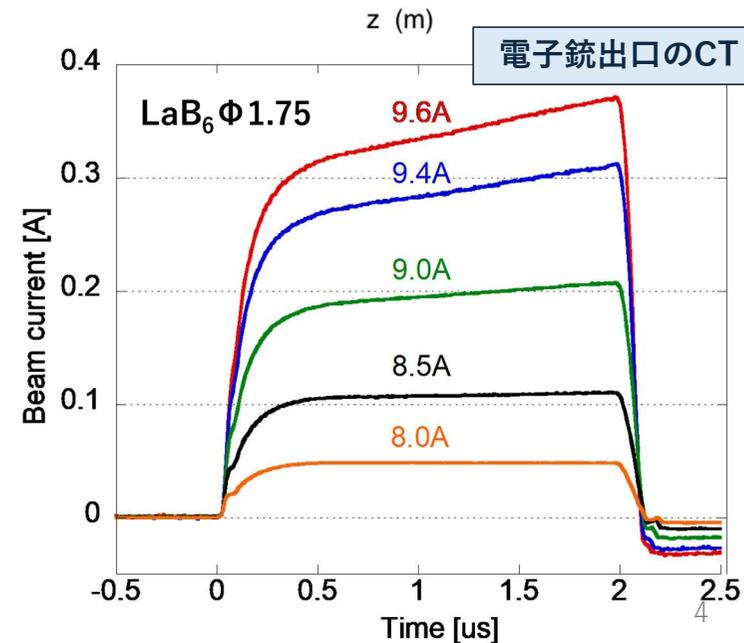
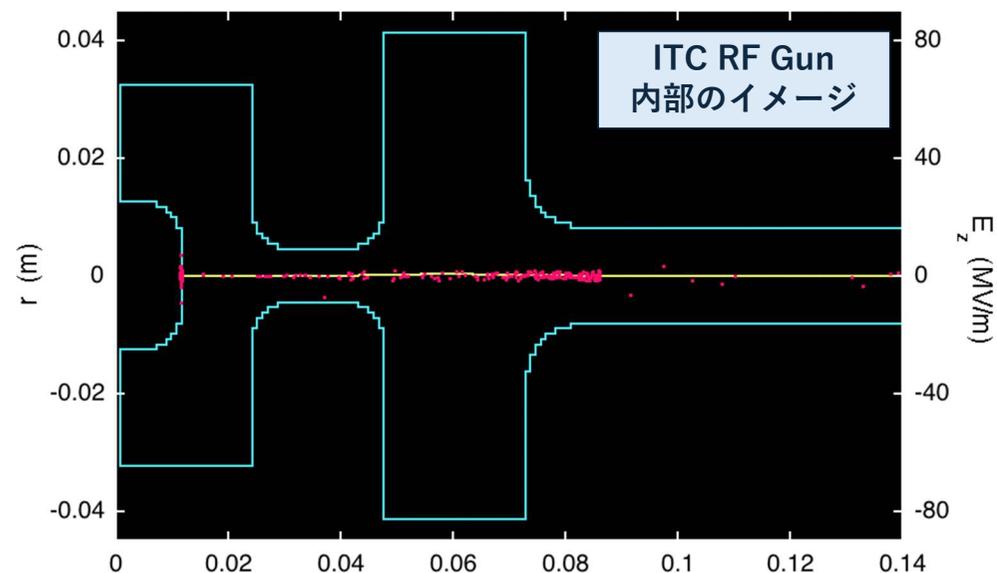
バックボンバードメント

- ◆ 電子が陰極に逆流する現象
 - ◆ 陰極の温度上昇
 - ◆ 不安定なビーム電流
 - ◆ エネルギー分布の悪化
 - ◆ バンチごとに共振波長が変化
 - ◆ 安定したビーム圧縮が困難

現状、電荷量を増やすことが困難

2024/7/31

第21回加速器学会年会



研究目的

光陰極の導入

- ◆ 加速位相に限定された光電子放出
 - バックボンバードメントの抑制によるバンチ電荷量の増加
- ◆ レーザーで電子バンチの時間構造が制御可能
 - FEL共振器に対応する電子バンチの生成

プリバンチドFELの原理実証において光陰極化が**必要**

→ レーザーシステムの構築

目標バンチ電荷量: **50 pC/bunch** (現在の10倍)

光陰極化にあたって

- ◆ ITC-RF Gunは、熱陰極からの電子をバンチ圧縮に適したビームを生成
- ◆ 高電荷量による空間電荷効果の増加

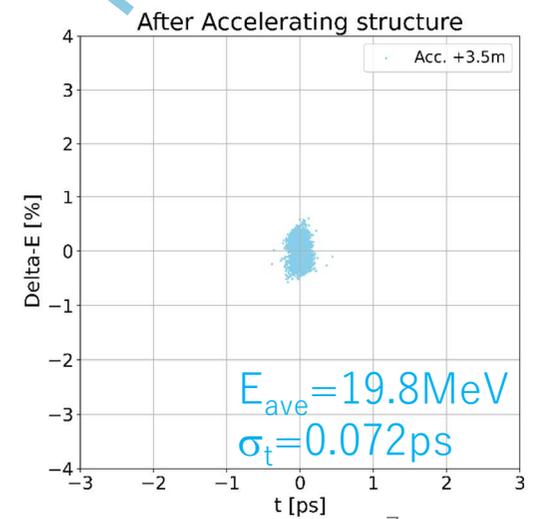
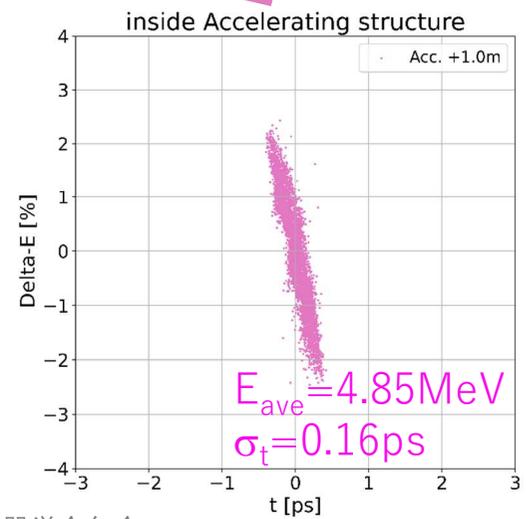
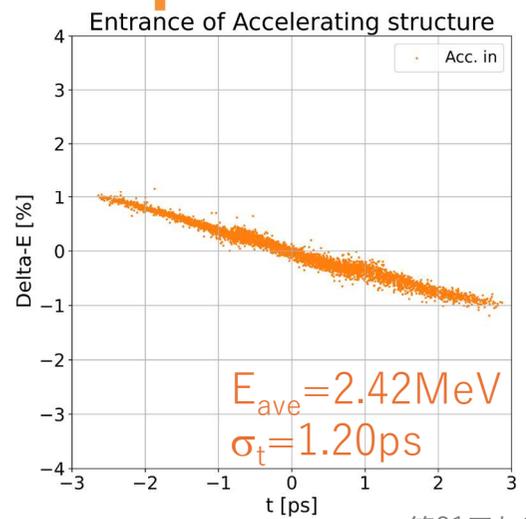
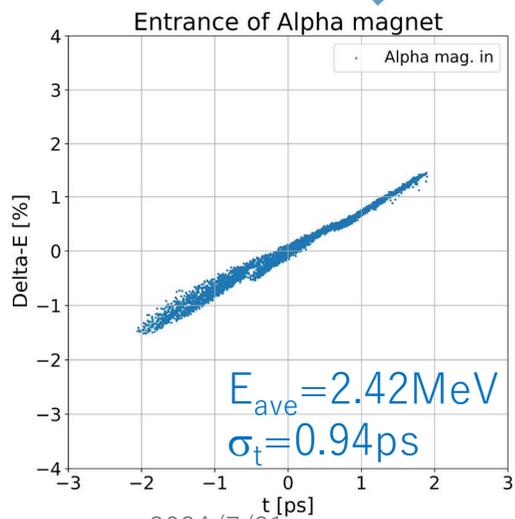
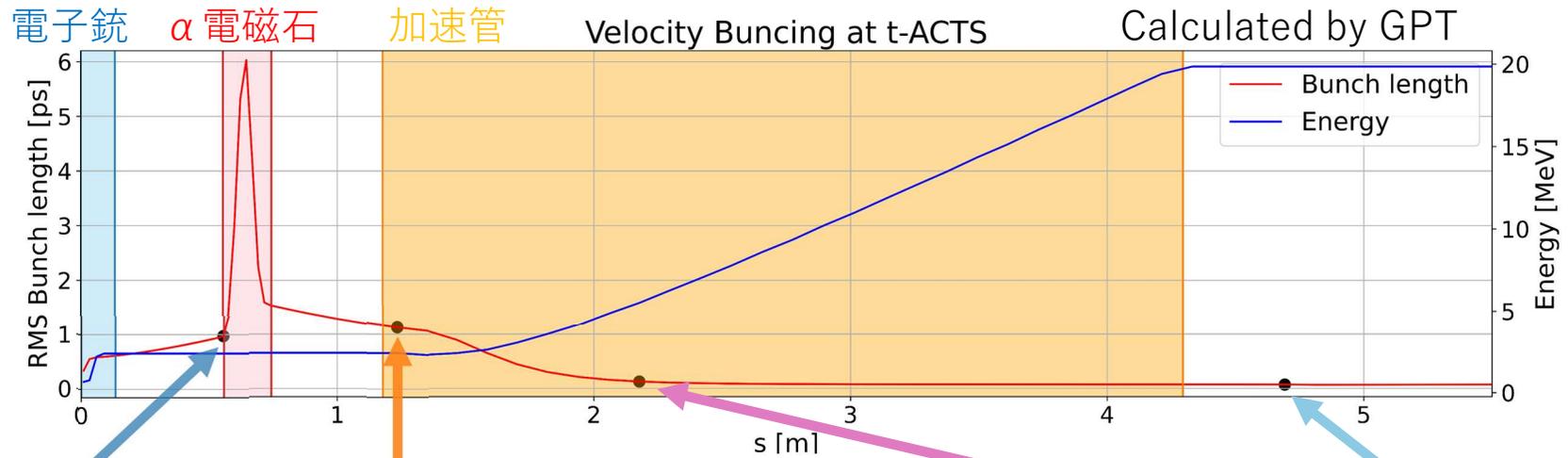


光陰極化によって十分なバンチ圧縮が可能か？

GPTによるシミュレーション

- ◆ バンチ電荷量 50 pC/bunch
- ◆ レーザーパルス長 $\sigma_t = 1.0$ ps (ガウス分布)
- ◆ スポットサイズ $\phi = 3$ mm (一様分布)

GPTによるシミュレーション



2024/7/31

第21回加速器学会年会

要求されるレーザーシステム

- ◆ レーザー波長 $< 267 \text{ nm}$ → UV
 - ◆ Cuカソード(仕事関数 4.6 eV (267 nm)、量子効率 4×10^{-5})
- ◆ RF(2856 MHz)との同期
- ◆ FEL共振器長 $\sim 4 \text{ m}$
 - レーザーの繰り返し 39.67 MHz
 - ◆ RF周波数の72分周信号
 - ◆ 対応するFEL共振器長 → 3.8 m

必要レーザーパワー
 $> 6 \mu\text{J}/\text{pulse @UV}$

全体システム

RF System

Master Oscillator
2856 MHz

RF Switch
4 μ s

Preamp

Klystron
50 MW

t-ACTS

Synchronization System
714 MHz

ITC RF Gun

FEL Cavity

Laser System

Accelerating Structure

Yb Fiber Laser
Oscillator

AOM
39.67 MHz

Multipath Amp

4th Harmonic Generator
IR \rightarrow UV

既存のRFシステムに
新たに**同期システム**と
レーザーシステムを導入

AOM: acousto-optic modulator

2024/7/31

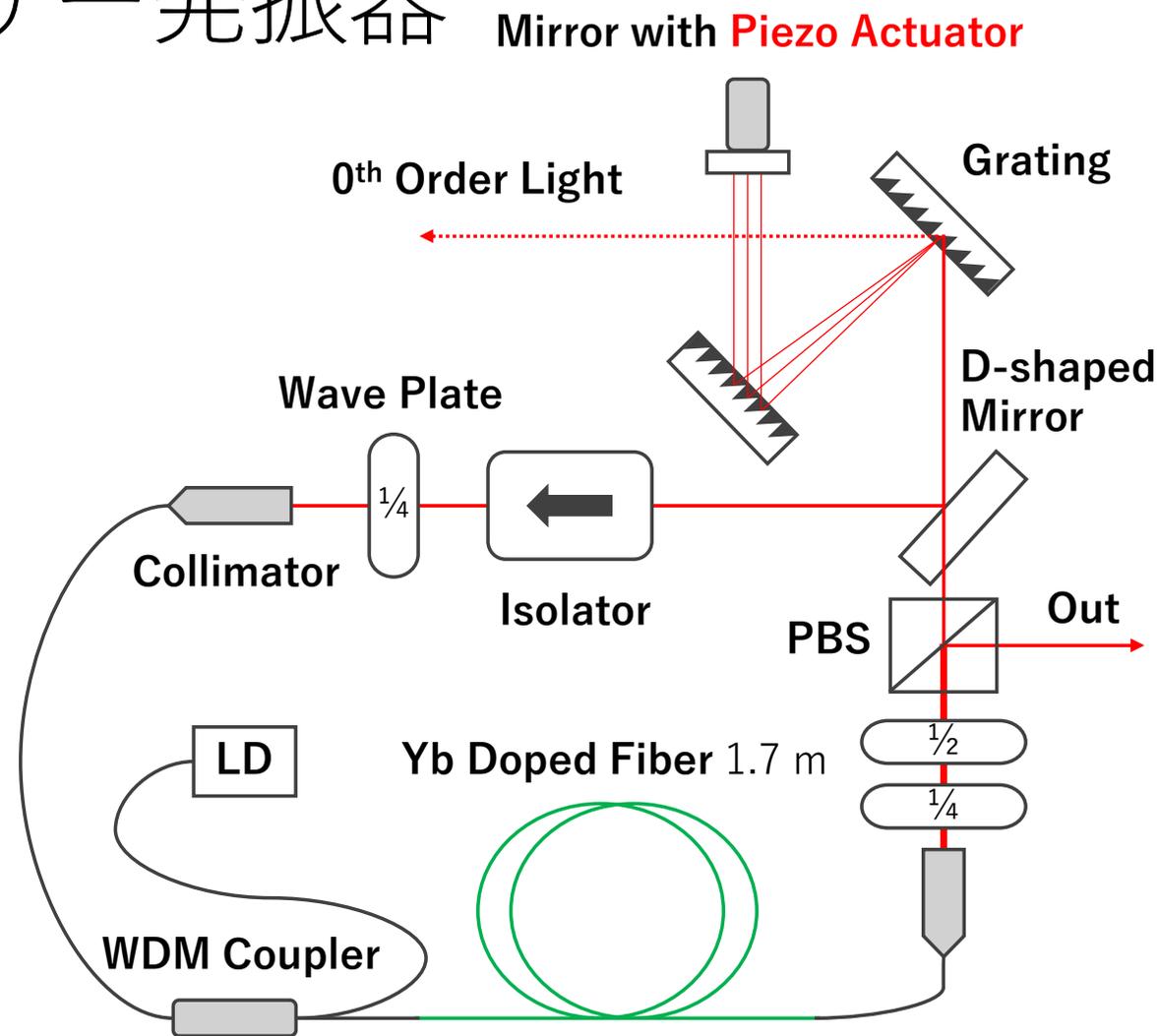
第21回加速器学会年会

Ybファイバーレーザー発振器

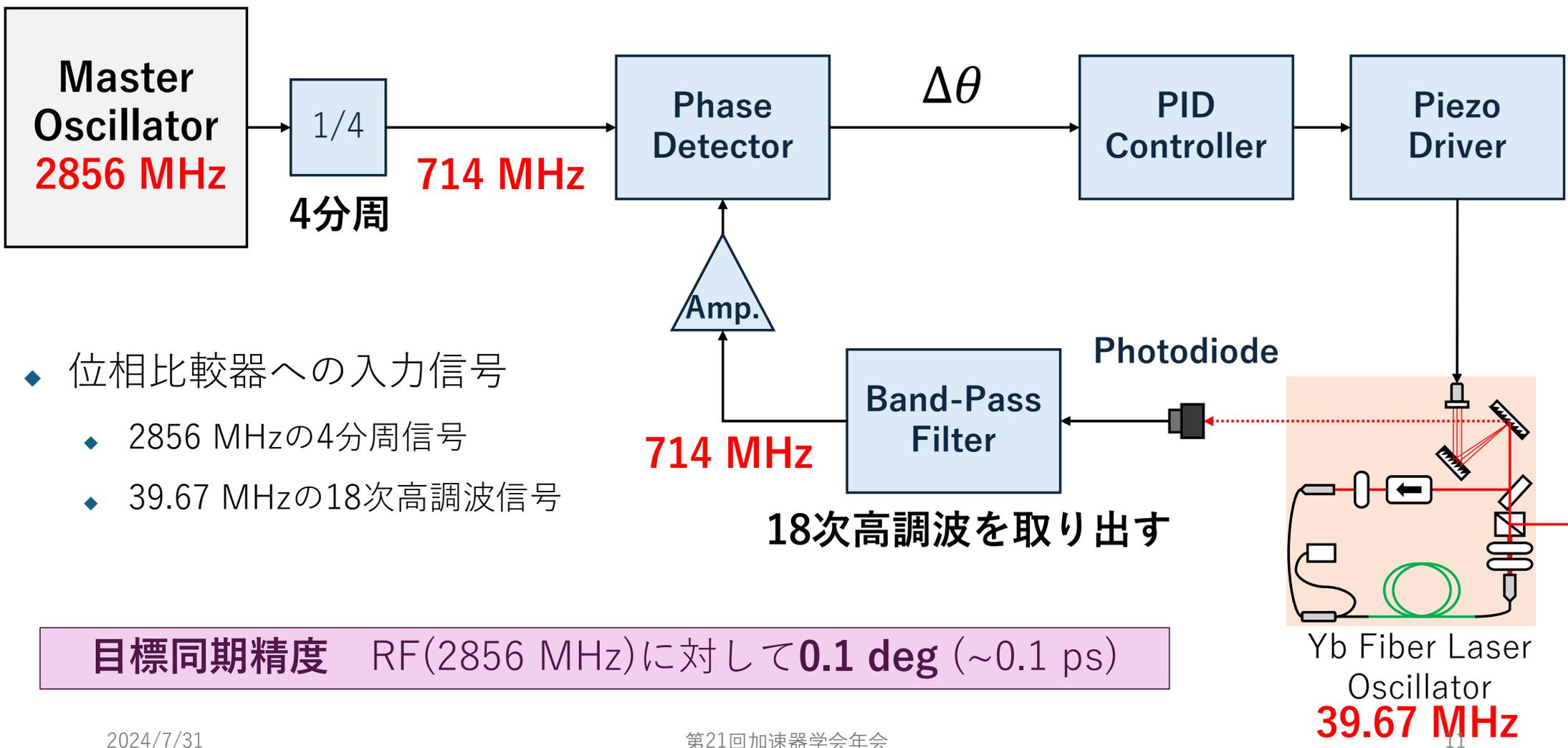
- ◆ 中心波長 ~1035 nm
- ◆ 繰り返し 39.67 MHz

- ◆ 光路の大半がファイバー
- ◆ 回折格子による分散補償
- ◆ 0次光をモニターに使用可能
 - ◆ RF同期システムに使用し、
 ピエゾ素子にフィードバック

LD: Laser Diode
WDM: Wavelength Division Multiplexing
PBS: Polarizing Beam Splitter



レーザー同期システム (714 MHz)

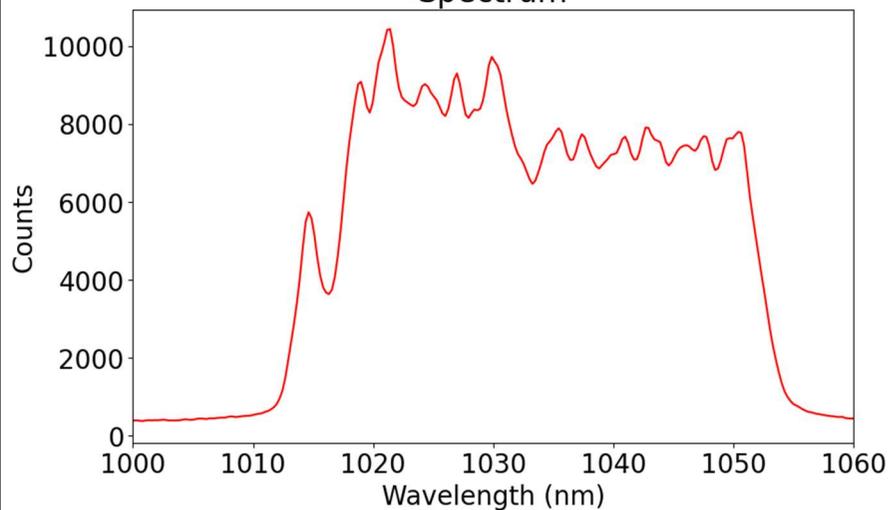


レーザー開発状況

発振器の組み立て

- ◆ 39.67 MHzの繰り返し
- ◆ 可動ステージによる微調整

Spectrum



2024/7/31

Movable Stage

Mirror with Piezo Actuator

Out

- ◆ スペクトル幅
37 nm (FWHM)
- ◆ 中心波長
1033 nm

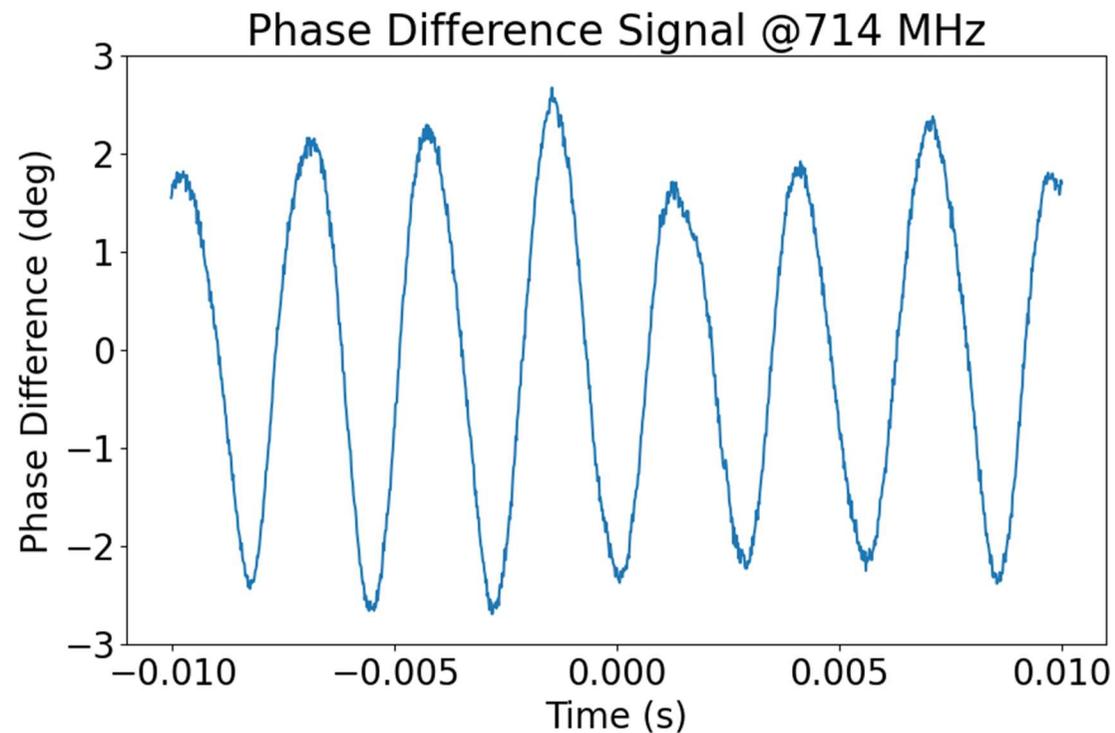
第21回加速器学会年会

12

レーザー開発状況

同期システムの動作確認

- ◆ 機器の準備の都合上SGから714 MHzを直接出力
- ◆ 同期システムの動作は確認
- ◆ 位相差が大きい
 - ◆ フィードバックのパラメータの調整が不十分か



各機器を調整して目標精度を目指す

まとめと今後の予定

- ◆ プリバンチドFELの原理実証に向け、t-ACTS電子銃の光陰極化のためのレーザーシステムを構築している。
- ◆ レーザー発振器を組み立て、同期システムを構成する各機器の動作確認を行った。
- ◆ レーザー発振器との同期は確認したが、目標精度には達していないので、今後向上を図っていく。
- ◆ マルチパス増幅器や4倍高調波発生用の光学素子などレーザーシステムに必要な機器は既に保有しており、同期精度の向上に平行して発振器以降の組み立てを進めていき、レーザーシステムの完成とビーム生成を目指す。

謝辞

本研究において、

早稲田大学 鷺尾方一 教授

東京大学 坂上和之 准教授

にご協力をいただいたことを感謝いたします。