

# 産総研・物性研における レーザーシステム開発の進捗状況

---

---

伊藤 功<sup>1</sup>、中村典雄<sup>1</sup>、

吉富 大<sup>2</sup>、鳥塚健二<sup>2</sup>、本田洋介<sup>3</sup>

1東京大学物性研究所、2産業技術総合研究所、

3高エネルギー加速器研究機構

# 発表内容

- レーザー開発のこれまでの経緯
- レーザーシステムの概略
- レーザー増幅器の開発
  - Ybファイバーレーザー増幅器
  - 増幅光の特性評価
- 第二高調波発生の実証実験
  - 実証実験のセットアップ
  - 第二高調波変換効率
- レーザー発振器の開発
  - EO変調器によるモード同期
  - EO変調器型Ybファイバーレーザー発振器
  - パルス発生(66MHz, 421MHz)
- まとめと今後の課題

# レーザー開発のこれまでの経緯

2007.4 産総研とKEKとの間でERL電子銃励起用レーザーの共同開発の協定を締結。

- 当時存在しなかった1.3GHzのYbファイバーレーザー発振器の開発を開始。

2008.12 cERL入射部の設計・開発開始。

- KEKにおいては、電子銃開発のために製品をベースにレーザーシステムを立ち上げた。
- ERL実機の仕様を満たすためには別途開発が必要である。

- レーザー発振器

- PriTel社(USA)により1.3GHzのYbファイバーレーザー発振器が製品化されたが、ブラックボックスである。

- レーザー増幅器

- パルス光を高出力で増幅する製品がない。

- 波長変換(パラメトリック増幅)

- 製品として存在しない。

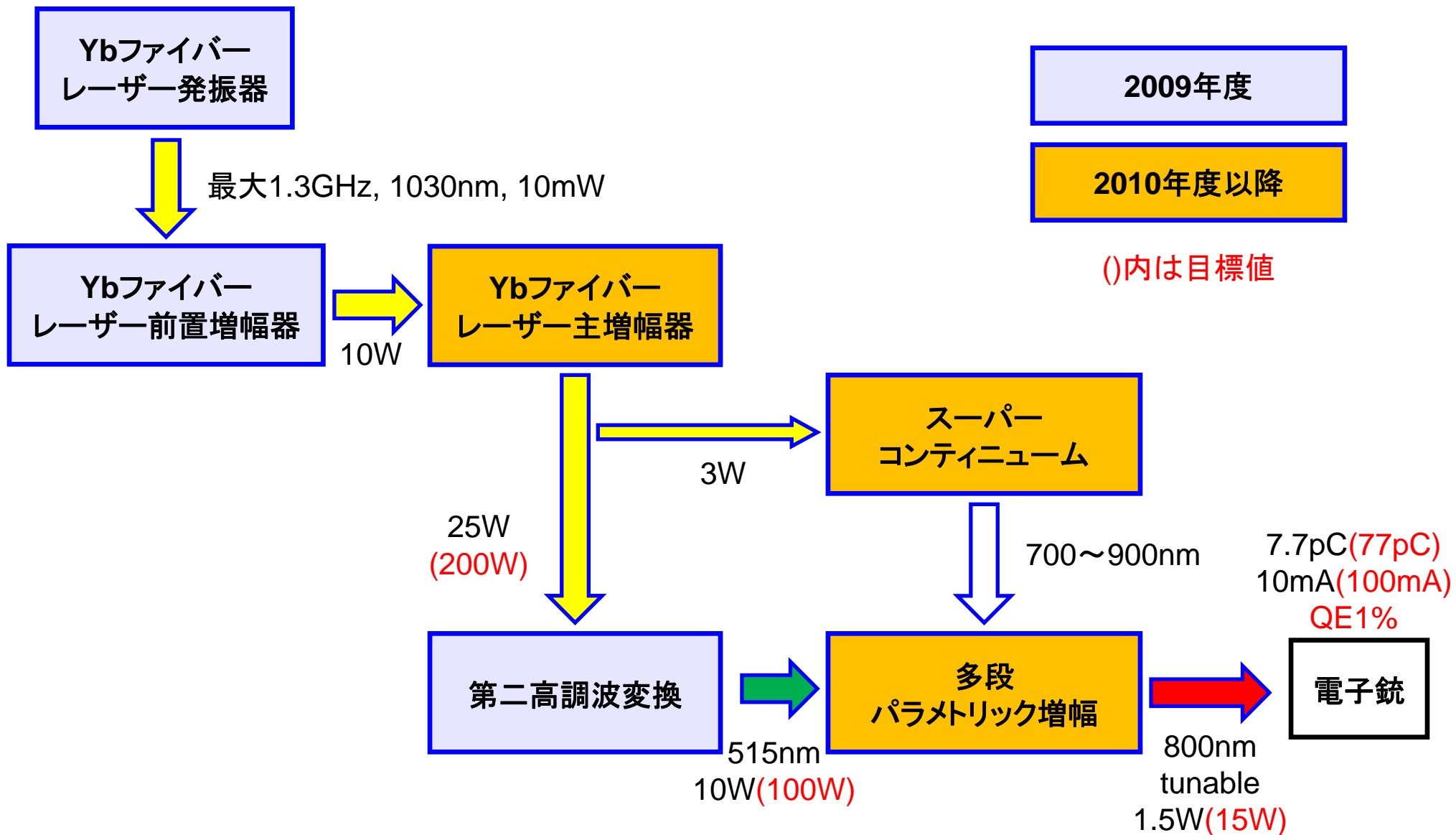
2009.4 川崎から伊藤に交代(物性研と産総研との間で共同研究の協定を締結)。

- 吉富さん(産総研)と共同で、本田さんと密に連携を取りながら開発を進めている。

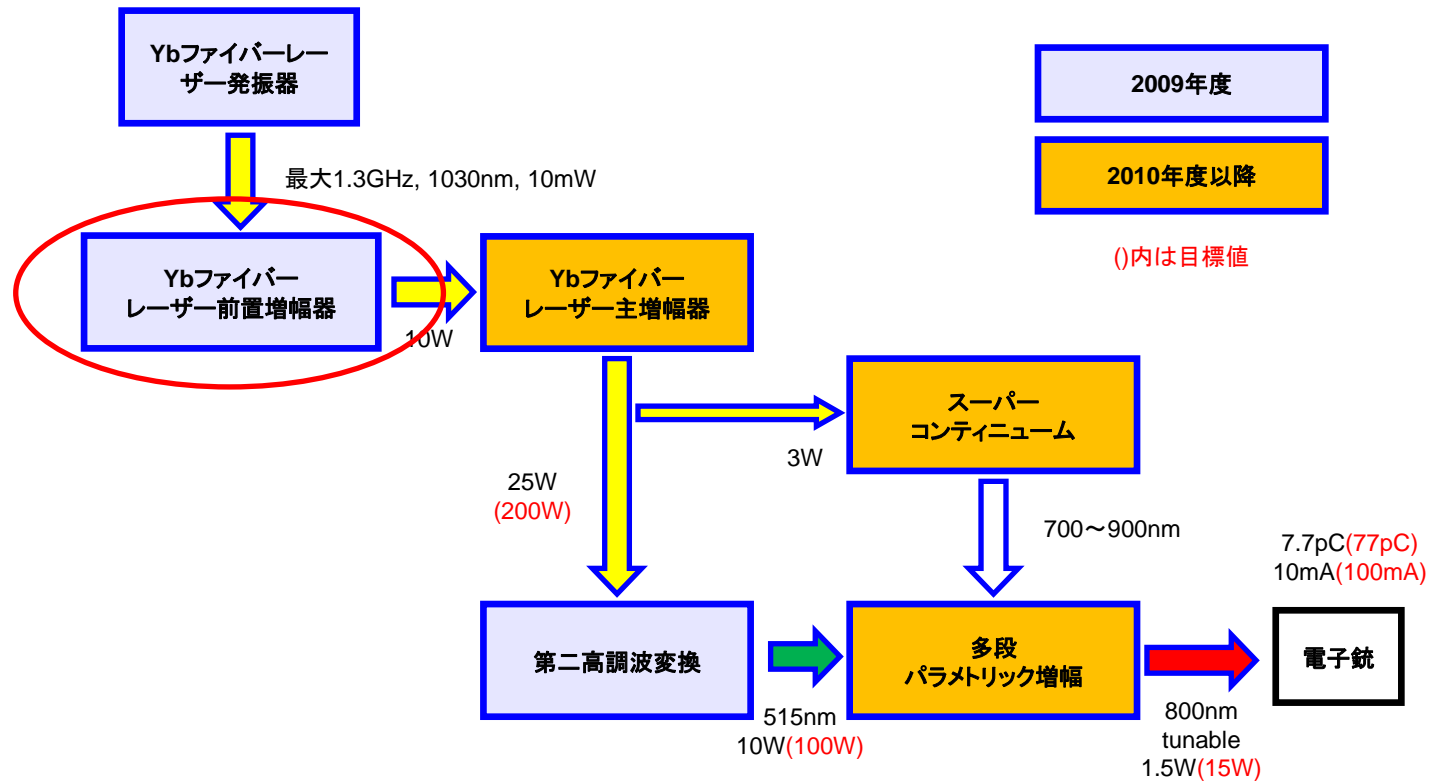
- パルス光用のレーザー増幅器

- Ybファイバーレーザー発振器

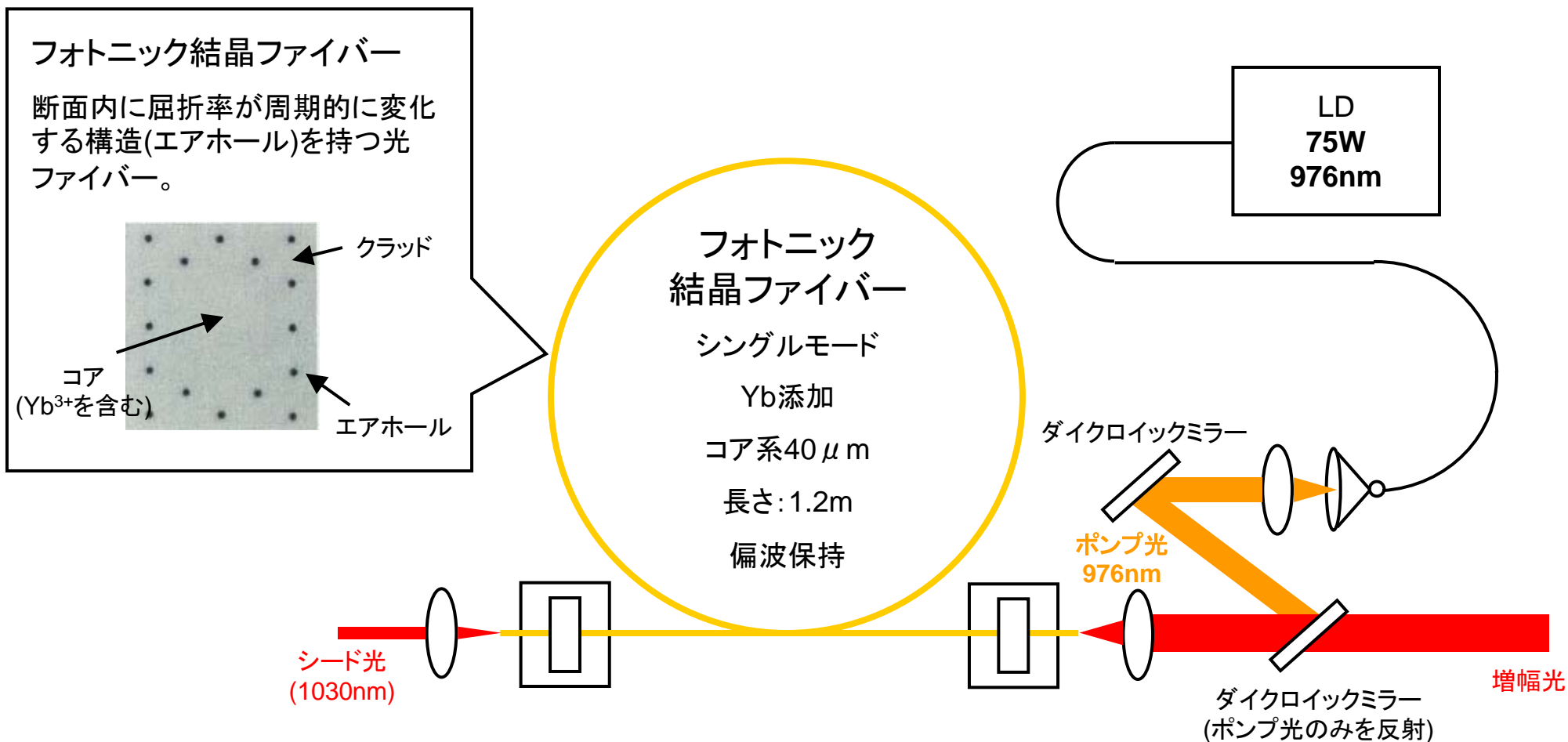
# レーザーシステムの概略



# レーザー増幅器の開発



# Ybファイバーレーザー増幅器

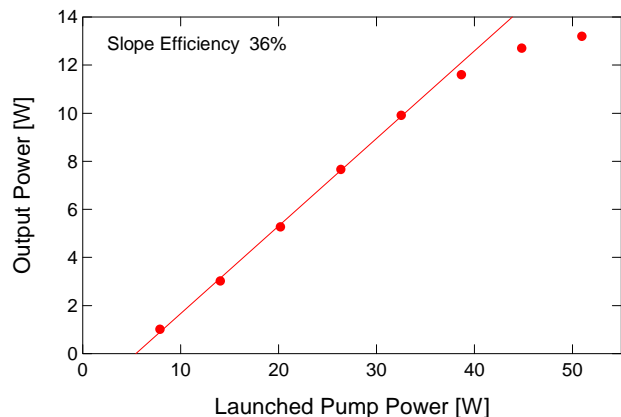


フォトニック結晶ファイバーによって自己位相変調による  
パルス幅、スペクトル幅の増大を抑制できる。

# 増幅光の特性評価

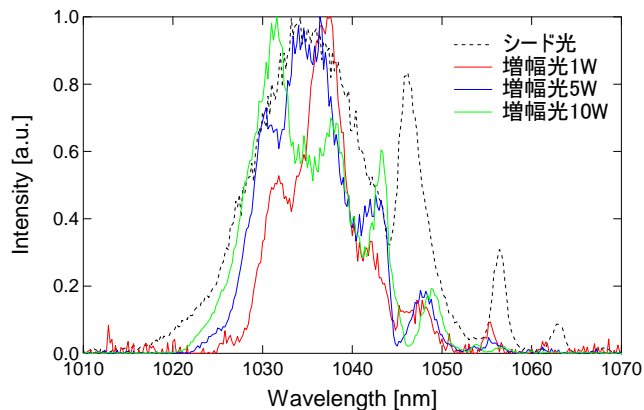
繰り返し周波数85MHz、パルス幅500fsのシード光を増幅して  
レーザー増幅器の増幅効率、スペクトル、パルス幅を評価した。

## 増幅効率



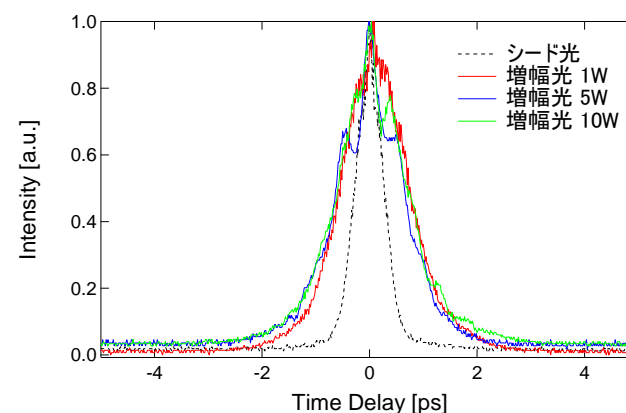
Slope Efficiency ~36%  
最大増幅13W

## スペクトル



増幅によるスペクトル幅  
の変化はわずか。

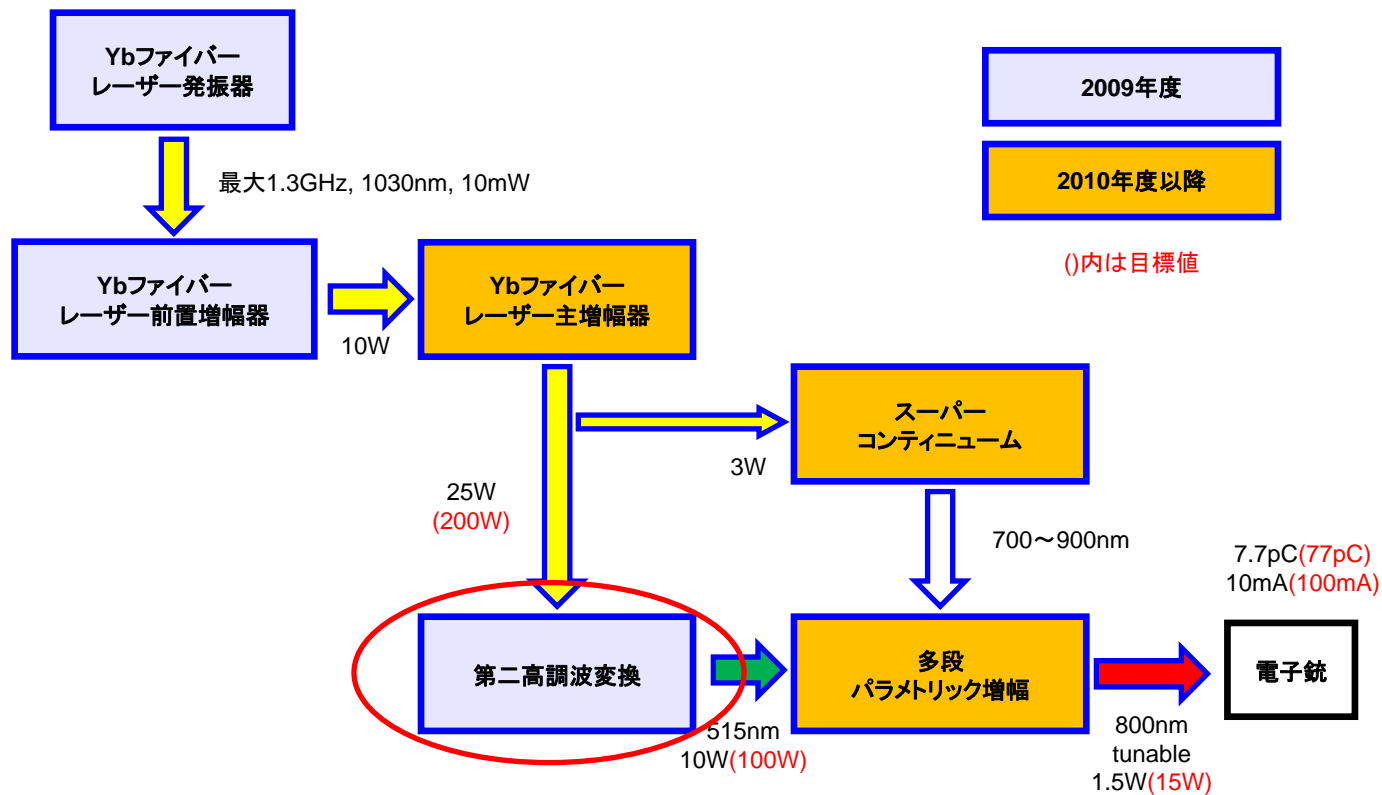
## 自己相関波形



増幅によるパルス幅の  
変化はほとんどない。

前置増幅器の目標10Wを実現できた。  
さらに自己位相変調によるパルス光の劣化は小さい。

# 第二高調波発生の実証実験





# 実証実験のセットアップ

## レーザーシステム実機

1パルスあたりのエネルギー

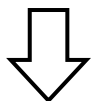
$$\frac{200W}{1.3GHz} = 1.54 \times 10^{-7} J = 150nJ$$

(ビーム電荷77pCに相当)

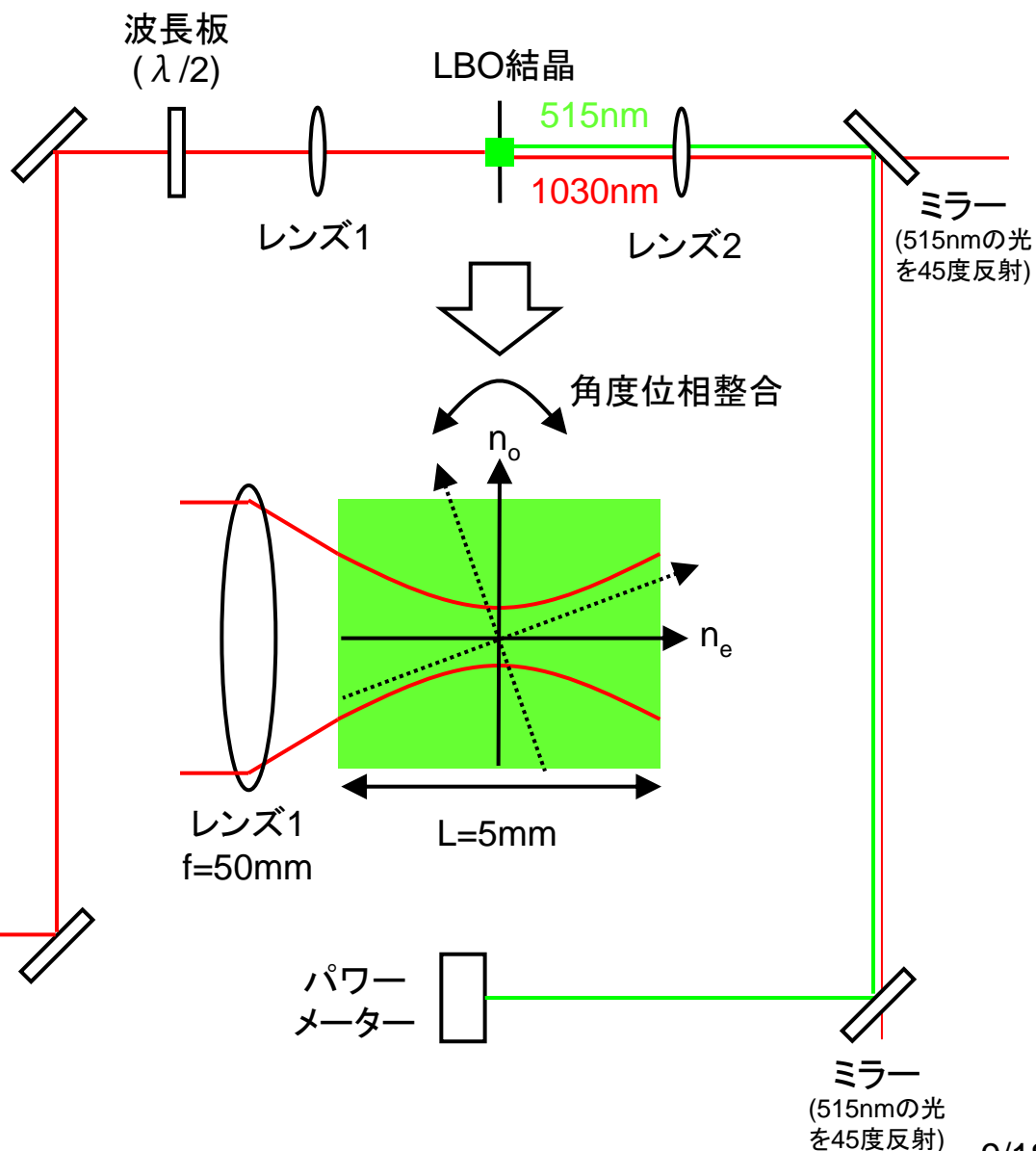
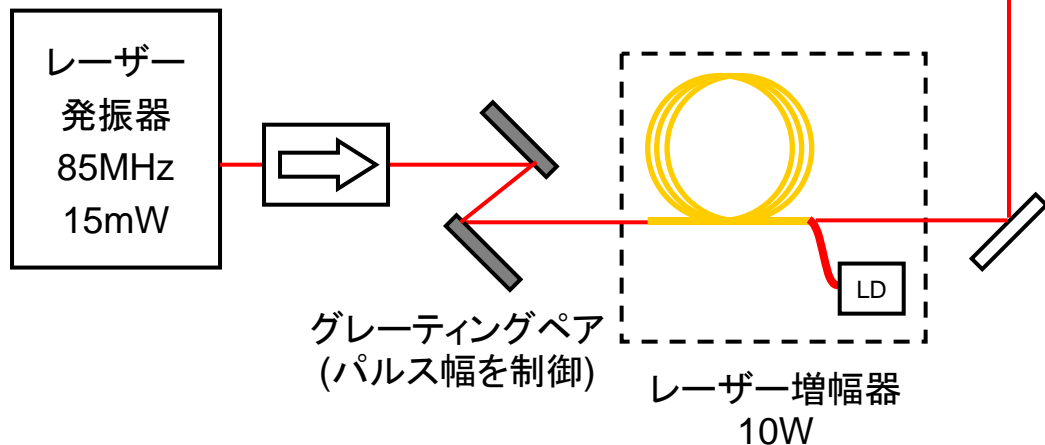
## レーザー前置増幅器

1パルスあたりのエネルギー

$$\frac{13W}{85MHz} = 1.52 \times 10^{-7} J = 150nJ$$

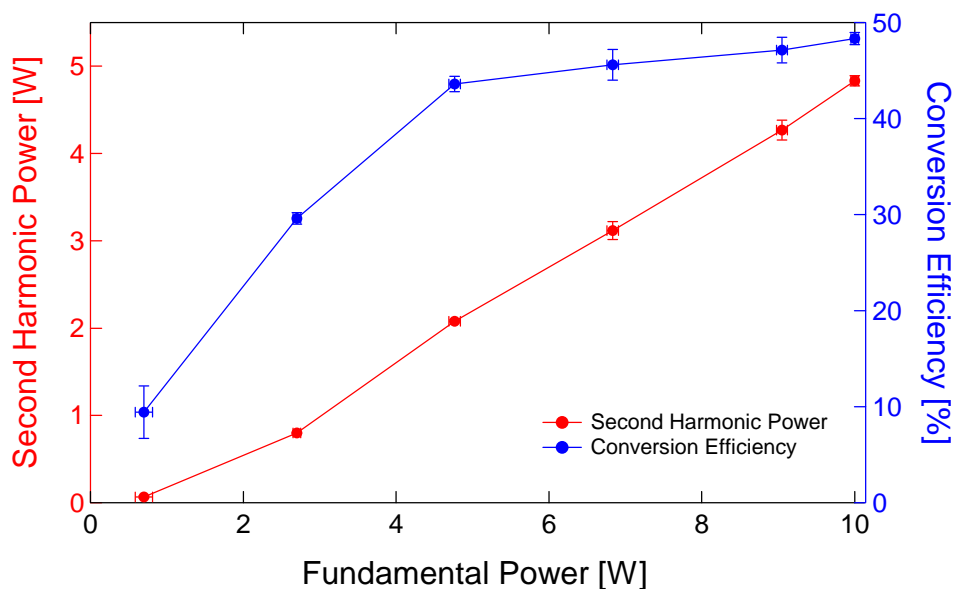


レーザーシステム実機における第二高調波変換  
(1030nm⇒515nm)の実証実験が可能。



# 第二高調波変換効率

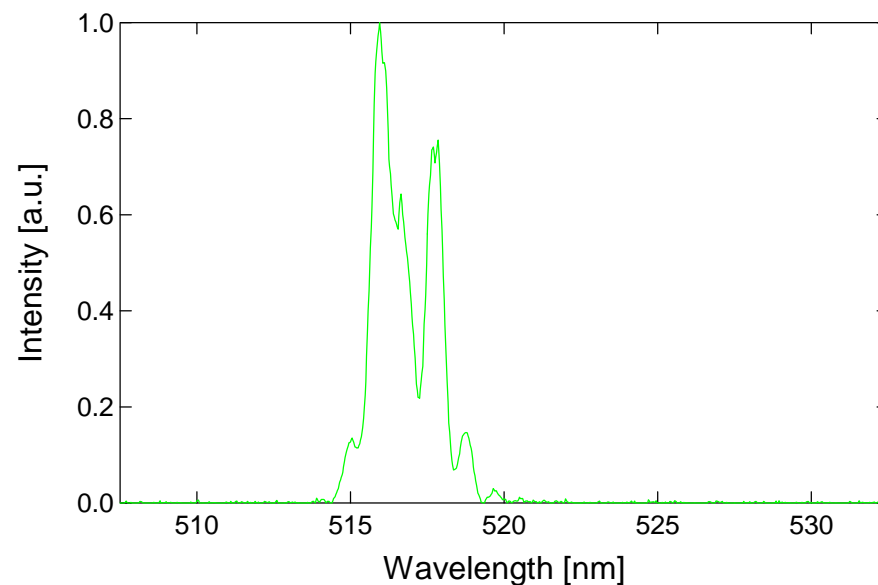
第二高調波変換効率



第二高調波4.8W@10W入力

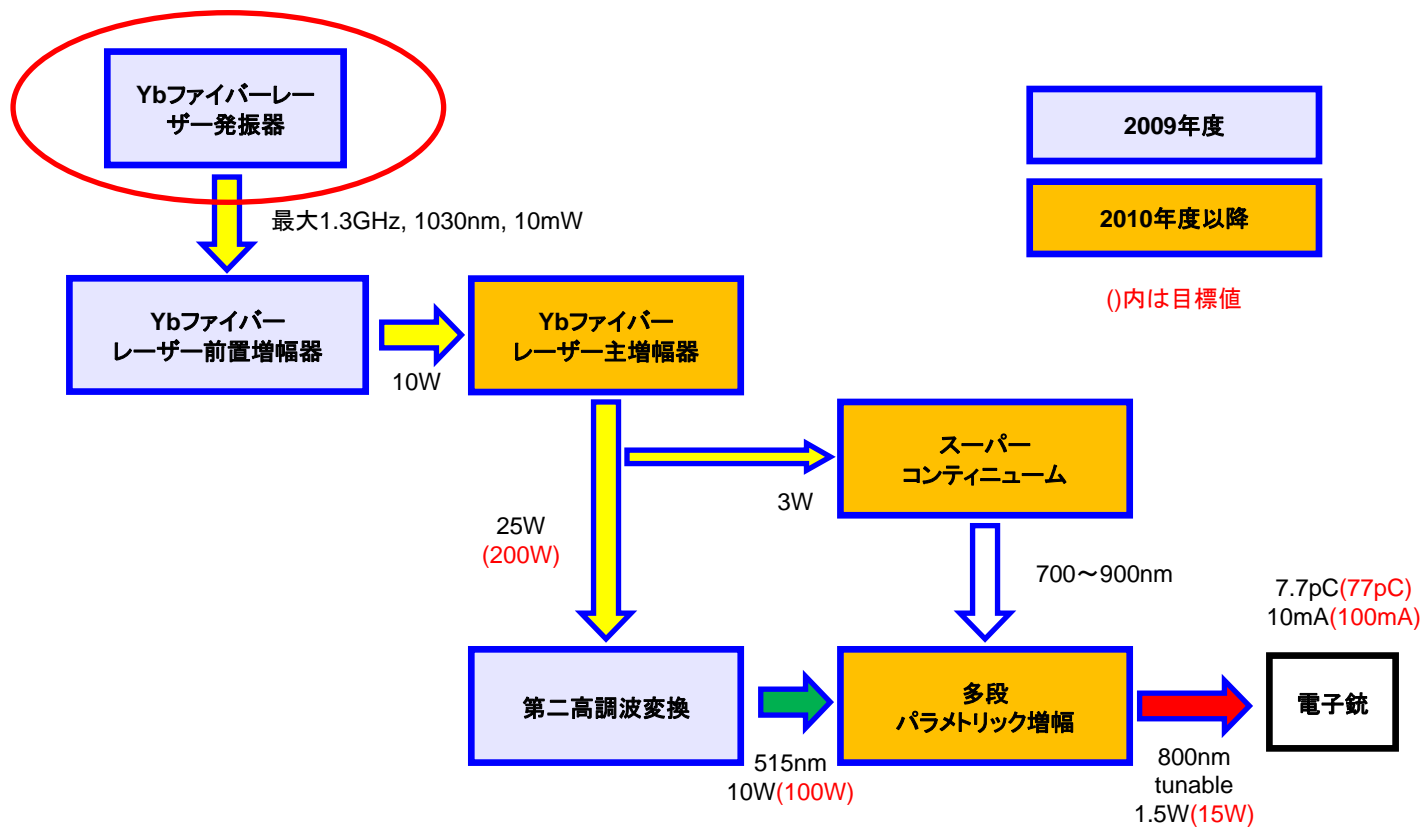
変換効率: 48%

スペクトル

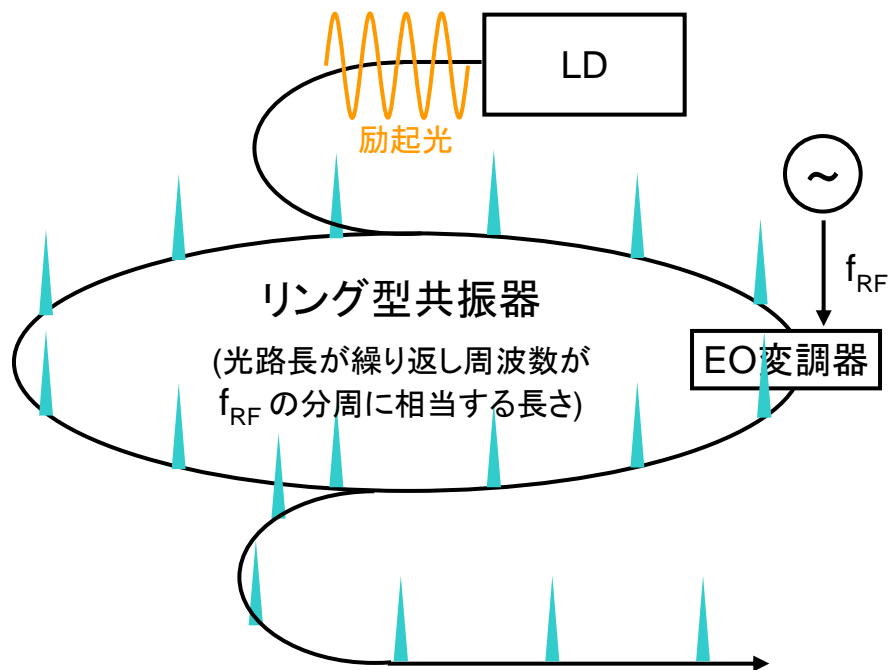


帯域: 514nm~520nm

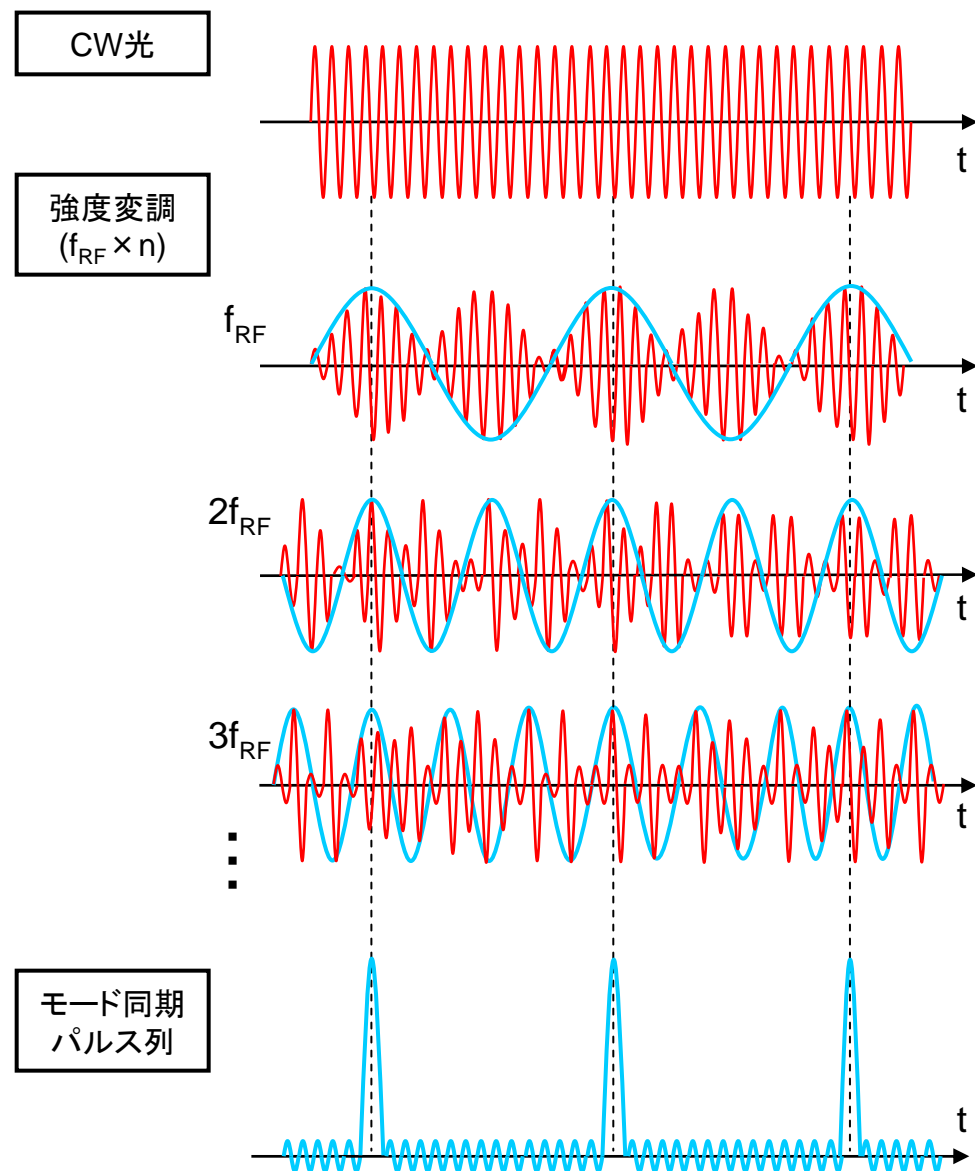
# レーザー発振器の開発



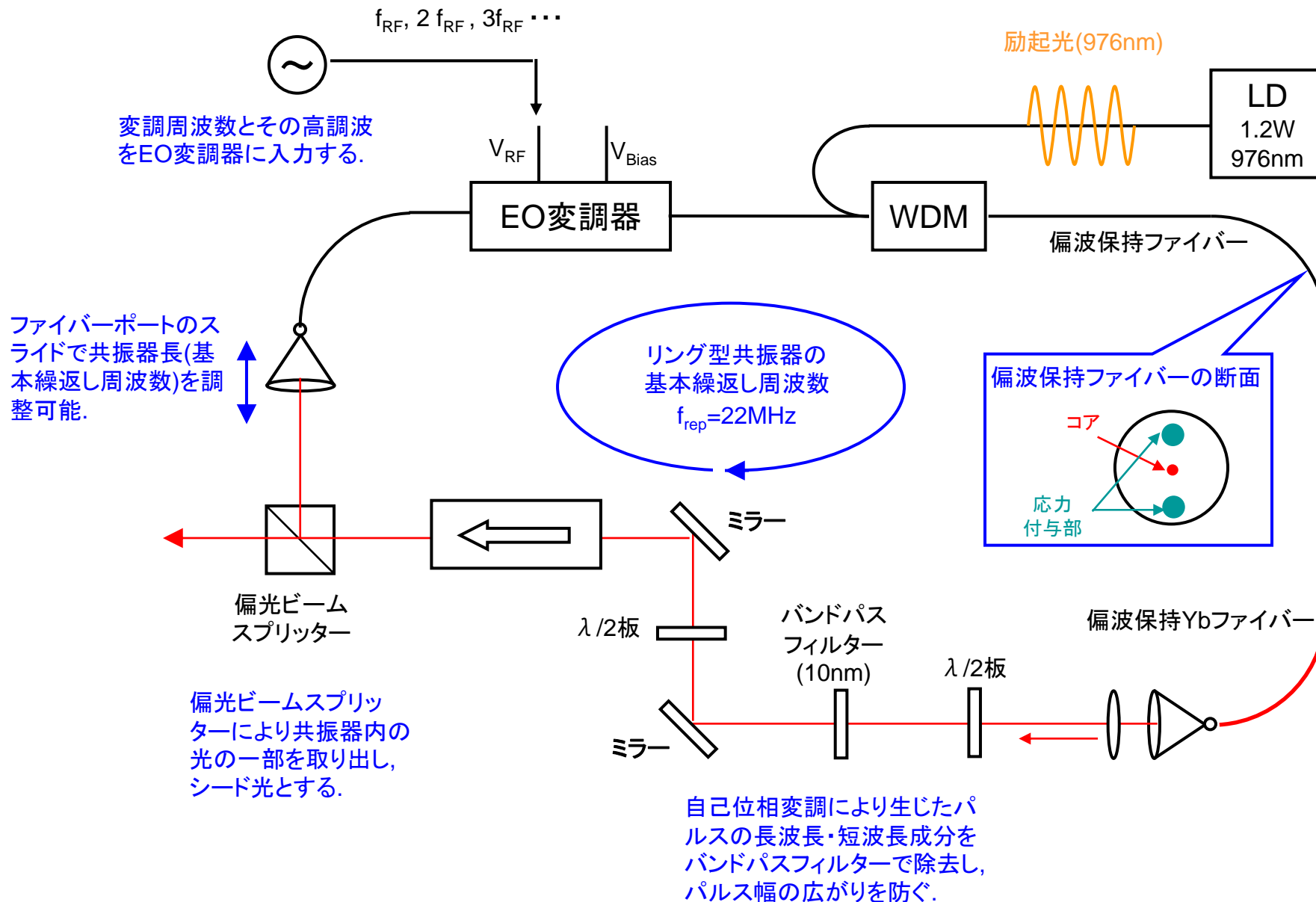
# EO変調器によるモード同期



- EO変調器: 外部電界の一乗に比例して屈折率が変化するポッケルス効果を利用して、CW光に強度変調をかける。
- リング型共振器内に挿入したEO変調器により、CW光に基本繰り返しの整数倍の周波数の強度変調を加えて、能動的にモード同期を行う。
- Erファイバーレーザー(1.5 $\mu\text{m}$ )で盛んに研究開発が行われている。PriTelのYbファイバーレーザー発振器(1.0 $\mu\text{m}$ )も同様の方式と思われる。



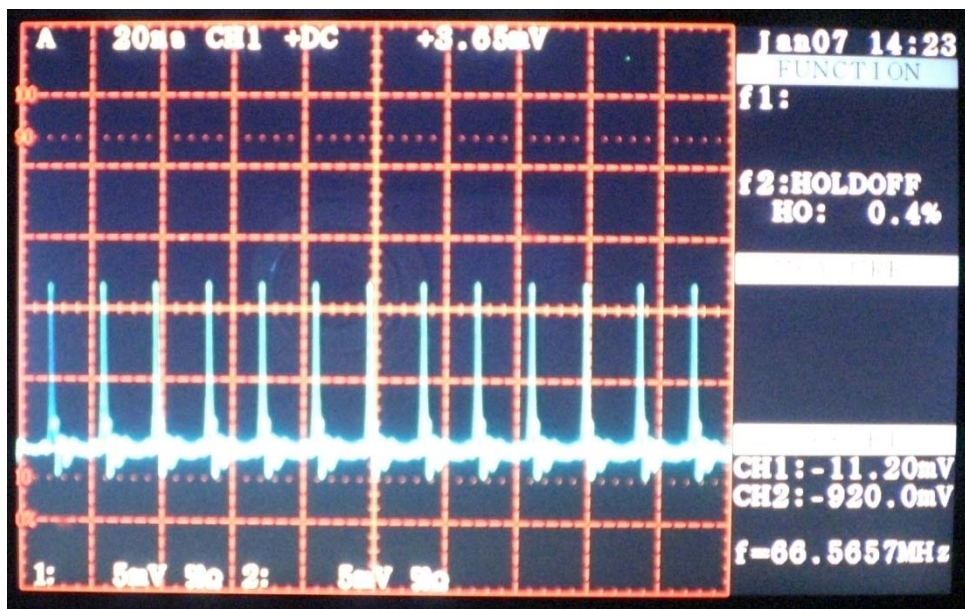
# EO変調器型Ybファイバーレーザー発振器



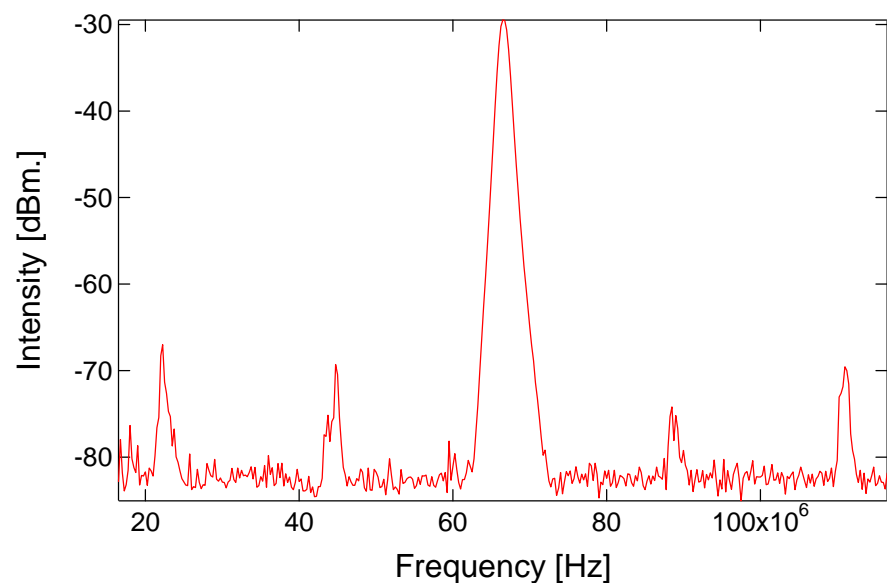
# 66MHzモード同期パルス列

EO変調器に $f_{RF}=66\text{MHz}$ を入力して、66MHzモード同期パルスを発振。

パルス列



RFスペクトル



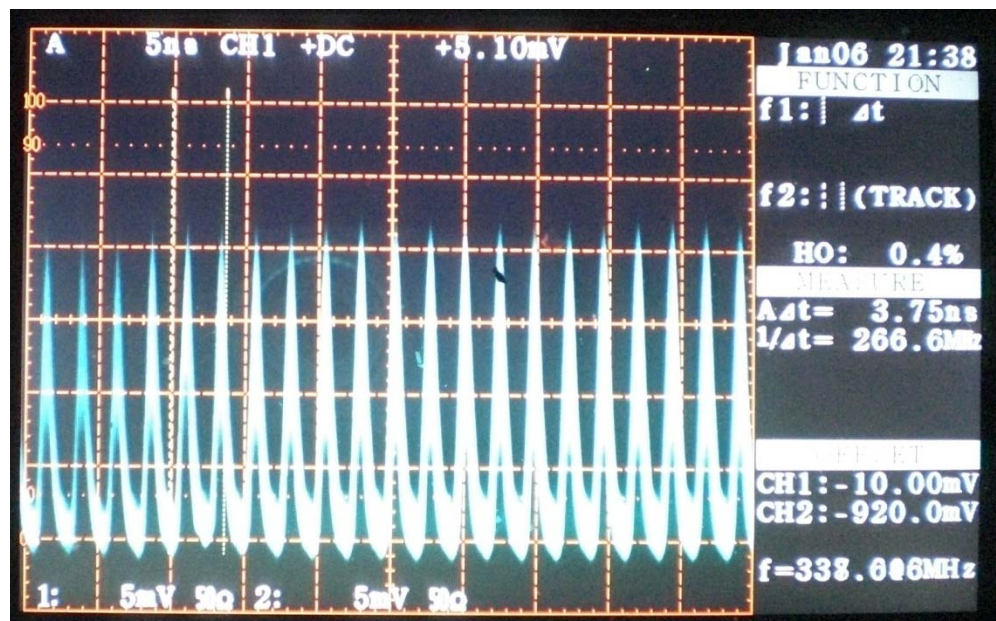
66MHzの高調波⇒モード同期パルスを形成。

22MHzの高調波⇒スーパーモードノイズ(共振器モードに起因)。

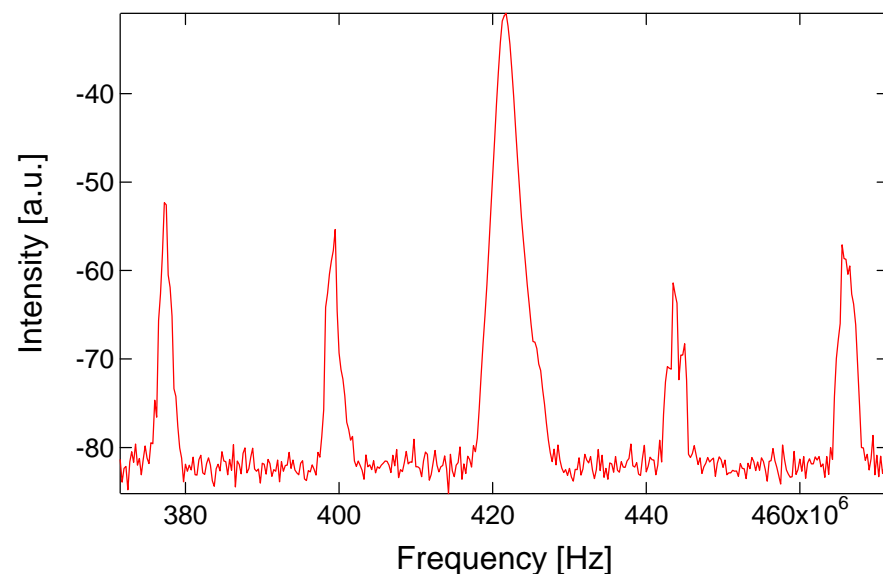
# 421MHzモード同期パルス

EO変調器に $f_{RF}=421\text{MHz}$ を入力して、421MHzモード同期パルスを発振。

パルス列



RFスペクトル

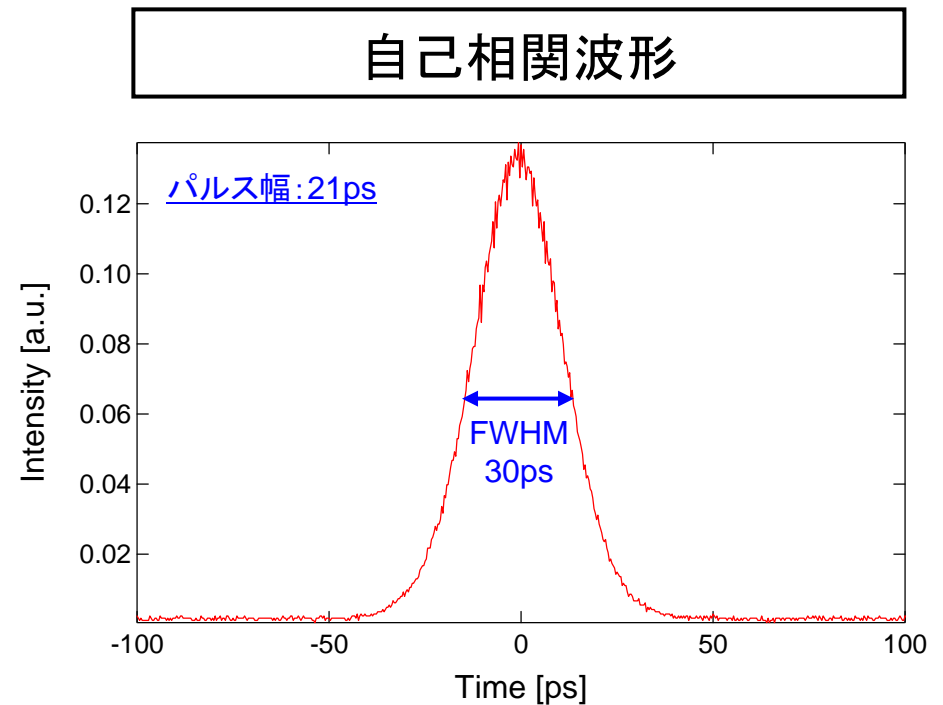
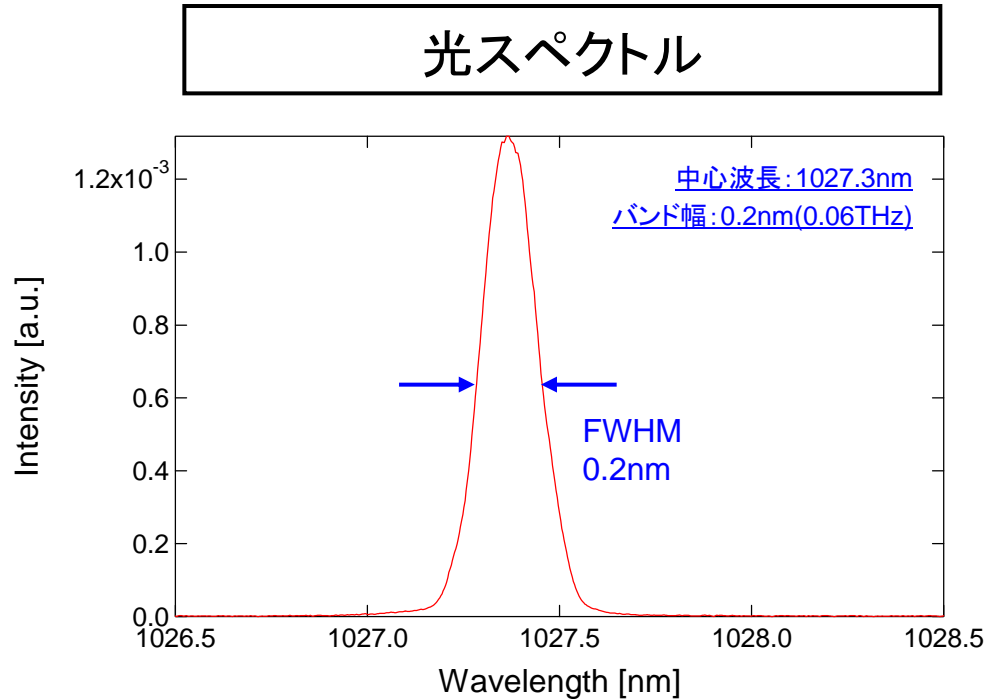


421MHzの高調波に対して1/100(-20dB)のスーパーモードノイズが発生し、  
ジッターや強度変動を引き起こしている。

⇒高繰り返し実現のためにはスーパーモードノイズを抑制する必要がある。

# 421MHzモード同期パルスのバンド幅とパルス幅

パルス光の光スペクトルと自己相関波形を計測。



TB product:  $\Delta t \Delta \nu = 21\text{ps} \times 0.06\text{THz} = 1.26 > 0.441$  (ガウス分布の場合)  
フーリエ限界まで到達していないので、パルス圧縮でさらに短くできる。



# まとめ

ERL実機に向けたレーザー開発を行っている。

- レーザー増幅器

Yb添加フォトニック結晶ファイバーによる10W級レーザー増幅器の開発に成功した。

- 第二高調波変換

第二高調波発生の実証実験を行い、10Wの基本光を入力で、4.8Wの第二高調波が得られた。変換効率は48%まで到達した。

- レーザー発振器

EO変調器によるYbファイバーレーザー発振器を開発し、繰り返し周波数421MHz、パルス幅21psの発振に成功した。

# 今後の課題

- レーザー増幅器

- 1.3GHzのシード光を増幅する。

- 出力安定性、スペクトルの安定性、タイミングジッター、パルス波形歪を評価する。

- レーザー発振器

- 1.3GHzの高繰り返しを実現するためエタロンまたは狭帯域フィルターを入れて、スーパーモードノイズを抑える。

- 安定性を向上させるため自由空間の光学系をファイバー化する。

- 2010年度新規

- レーザー主増幅器の開発。

- 多段パラメトリック増幅器の開発。