

Xiangyu Zhou, Dai Yoshitomi, Yohei Kobayashi, and Kenji Torizuka

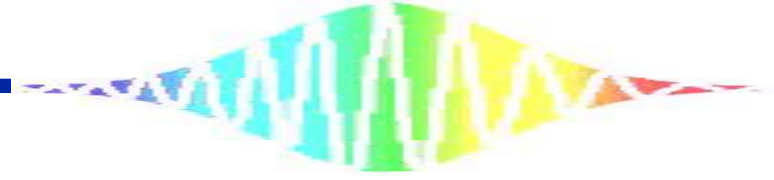
# **Generation of 28-fs pulses from a mode-locked ytterbium fiber oscillator**

**「モード同期イッテルビウムファイバー発振器  
による28fsパルスの生成」**

Optics Express, Vol. 16, pp.7055-7059 (2008)

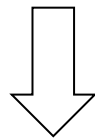
H25 前期雑誌会 (6/19)

B4 厚田 耕佑

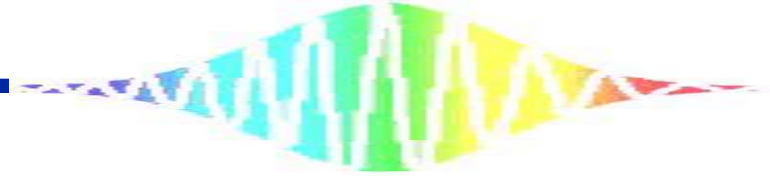


## ファイバーレーザーについて

- コンパクトなサイズ
- 高い安定性
- アライメントの利便性



**固体レーザーの実用的な代替品  
として注目される**



# ファイバーレーザーについて

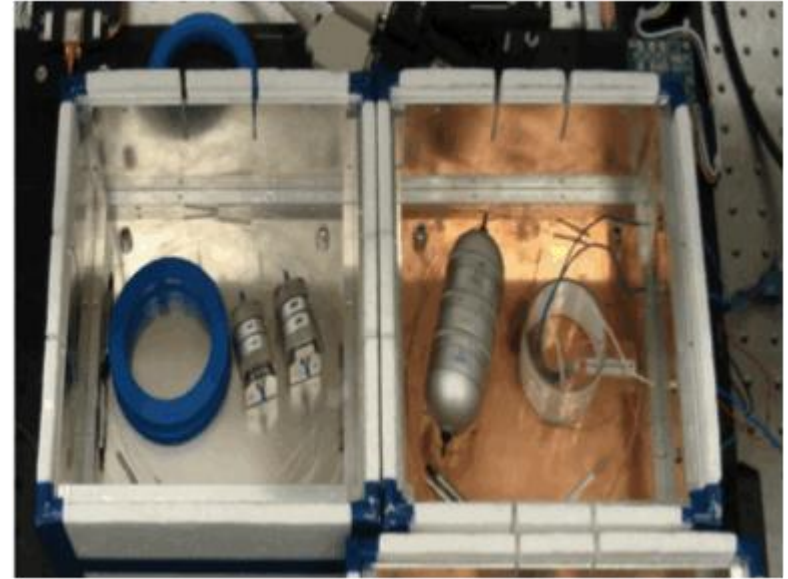
エルビウム(Er)添加ファイバーレーザー

→ 最初に実用化されたファイバーレーザー

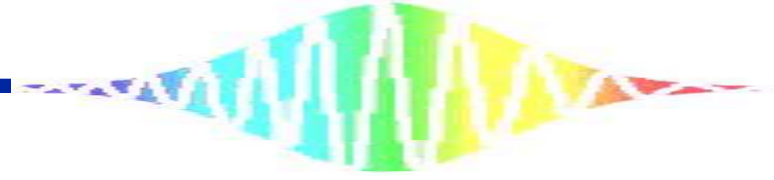
現在では超短パルスレーザーの分野で  
小型化、安定化が進み手のひらサイズの  
SHG光源に。

波長 $1.5\mu\text{m}$  帯で発展

中心波長  $1550\text{nm}$  の信号光への増幅作用



Er ファイバーレーザー

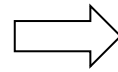


## ファイバーレーザーについて

近年...イッテルビウムが  $1\mu\text{m}$  において短パルス、高エネルギー伝播が判明。

⇒ イッテルビウム(Yb)添加ファイバーレーザー

波長  $1.0\mu\text{m}$  帯で発展  
中心波長  $1050\text{nm}$



生体顕微鏡  
内視鏡などにも応用が可能

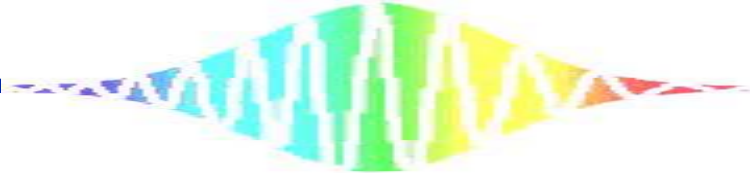
$650\sim 1300\text{nm}$  は人の肌での吸収が小さい

### ○長所

- 超短パルスレーザーをつくりやすい
- 高平均出力・高繰り返し
- エネルギーの蓄積能力が高いなど

### ×短所

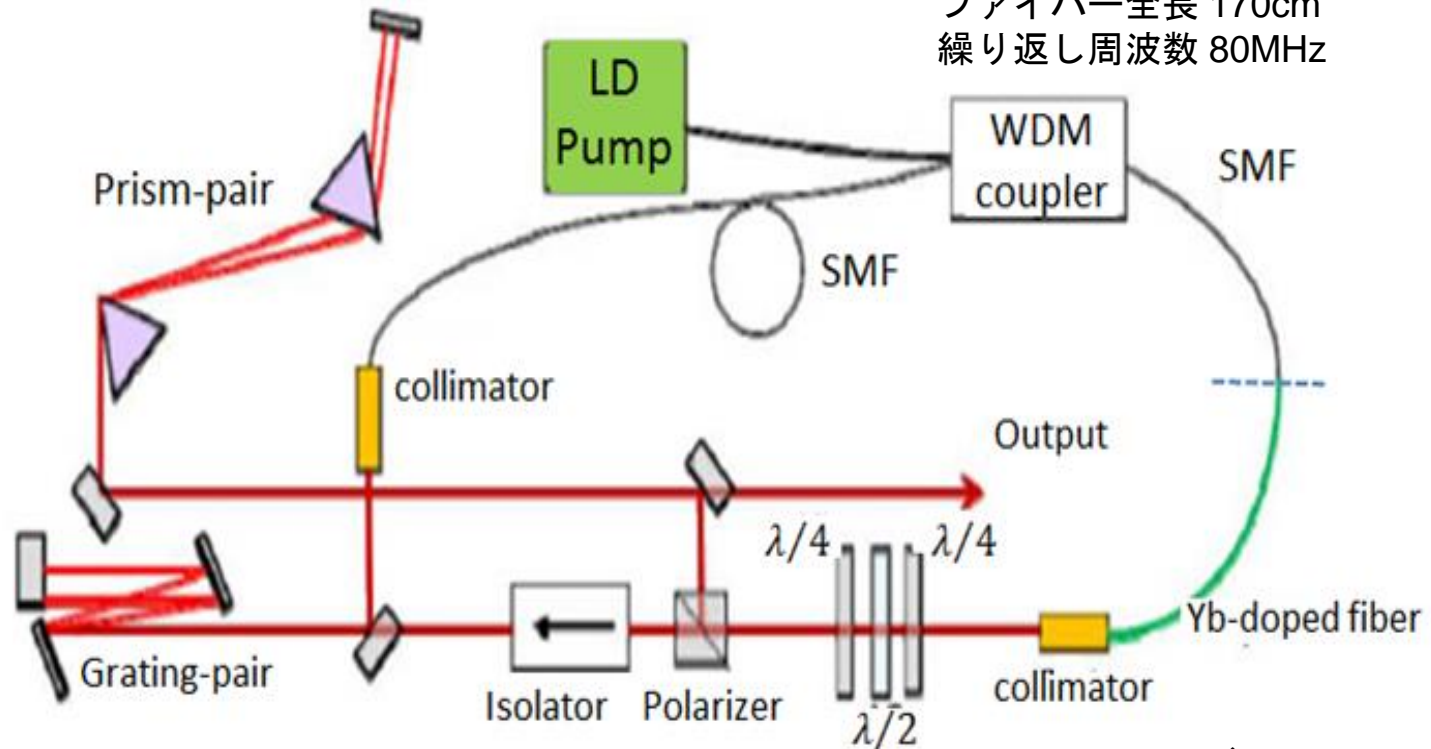
- 分散補償が必要



# セットアップ

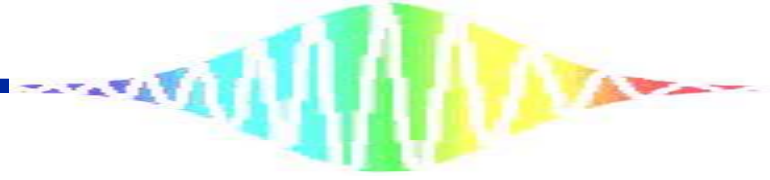
976nmにおいて300mW

ファイバー全長 170cm  
繰り返し周波数 80MHz



光ファイバ中に光パルスが伝播  
⇒ 非線形偏波回転

Ybファイバー  
有効断面積  $30\mu\text{m}^2$   
 $1.3 \times 10^4$  ppm でドーブ  
長さ 30cm



## 分散補償について

分散  $\Rightarrow$  パルス幅の拡がり

### 考慮すべき分散

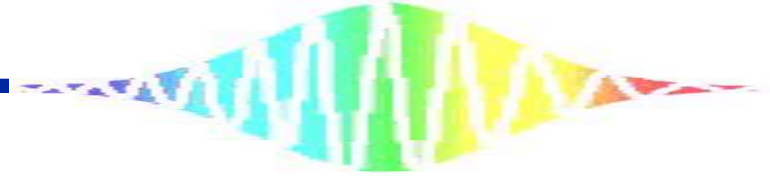
群速度分散 (GDD)  $\Rightarrow$  周波数依存の分散

1.0 $\mu\text{m}$ では、ファイバーでの分散は全て正の分散  
 $\Rightarrow$  ファイバー以外の部分で負の分散が必要

回折格子対およびプリズム対にて分散補償

三次分散(TOD)  $\Rightarrow$  位相依存の分散

自己位相変調(SPM)によるTODの補償



## 分散補償について

### GDDの補償

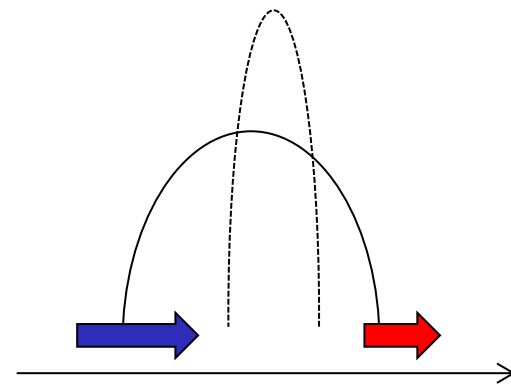
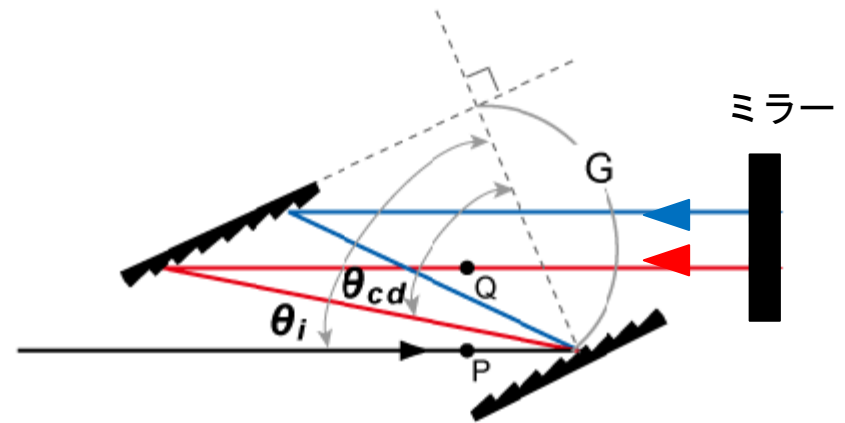
#### 回折格子対による分散補償

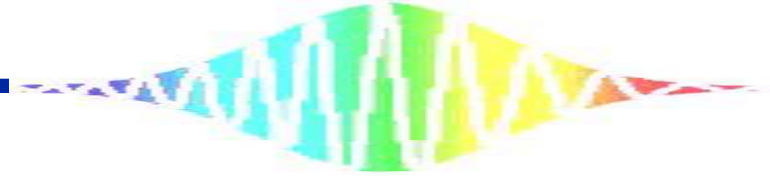
パルス内の異なった周波数成分は、異なった方向に回折される。

図より、青の成分が赤の成分よりも短い時間で進む。

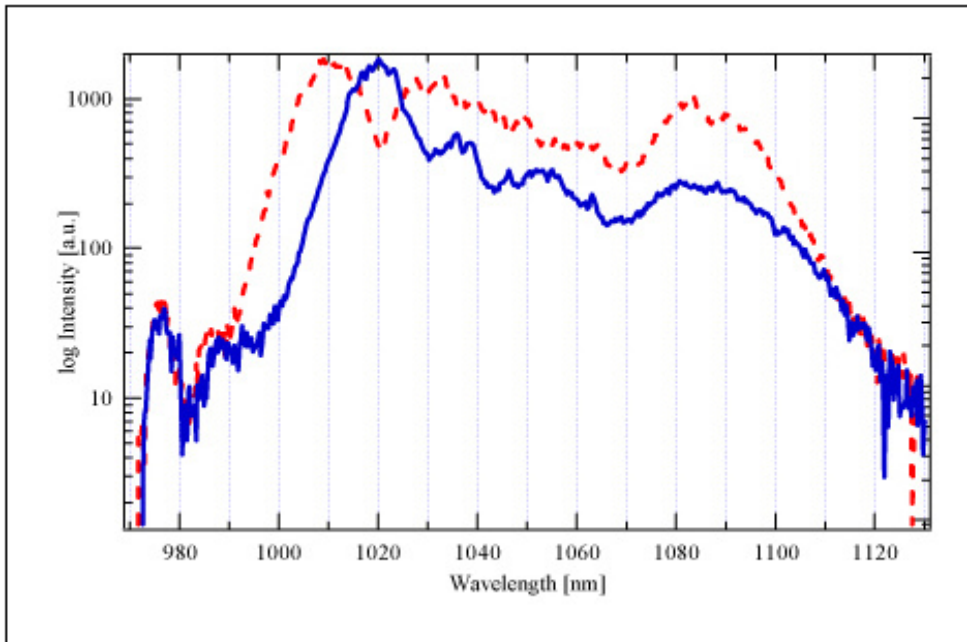
パルスの後端側(青)が前端側(赤)に近づく動き

パルス圧縮 ⇒ 負の分散





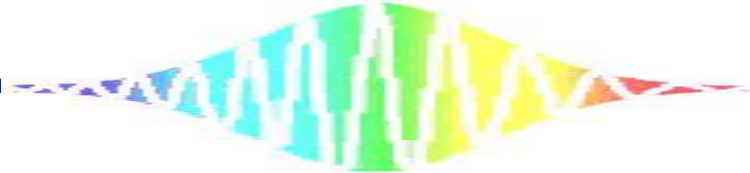
## 回折格子対による分散補償



破線：最も広いスペクトル  
格子間隔 30mm

実線：最短パルスが得られた  
スペクトル(= 零分散に近い)  
格子間隔 28mm





# 分散補償について

## GDDの補償

### プリズム対による分散補償

#### プリズム 1

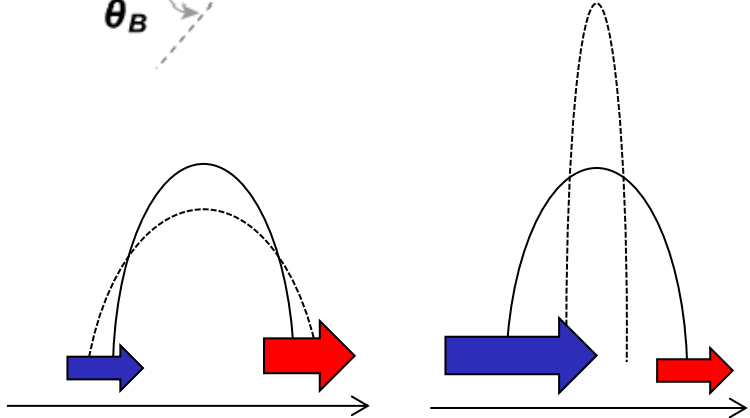
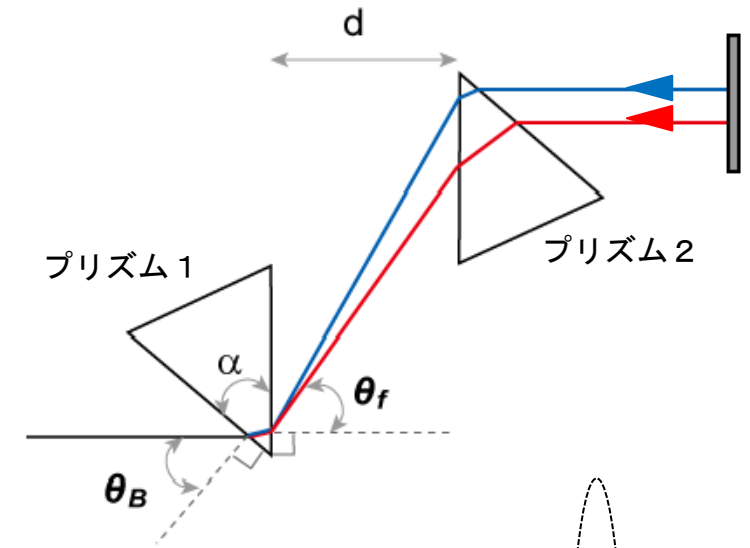
パルスが空間的に分散  
パルスの短波長成分が長波長成分よりも大きく回折することで短波長成分がより長い光学距離を伝播

長波長成分が早く伝播⇒(正の分散)

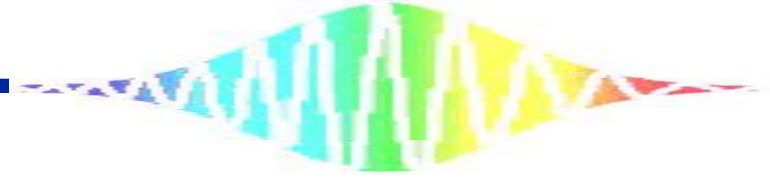
#### プリズム 2

プリズム 1 と逆向きに配置することによりパルスの長波長成分をより長くプリズムに挿入することにより長波長成分がより長い光学距離を伝播

短波長成分が早く伝播⇒(負の分散)



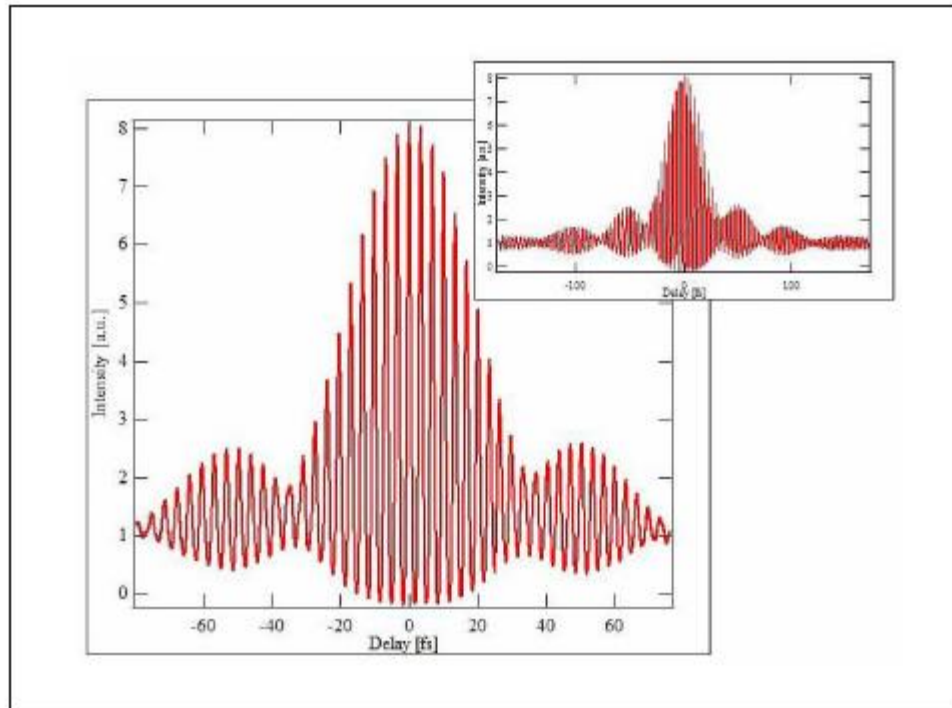
プリズム対全体ではパルス圧縮 ⇒ 負の分散



## 分散補償について

### TODの補償

TODの発生が発生しているか？

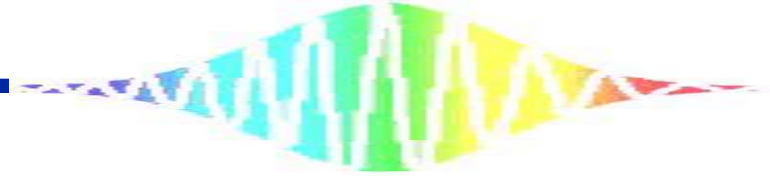


### 自己相関波形

両端に翼のような小さい構造

⇒ 三次の情報 = 三次分散

TODの発生が見られる



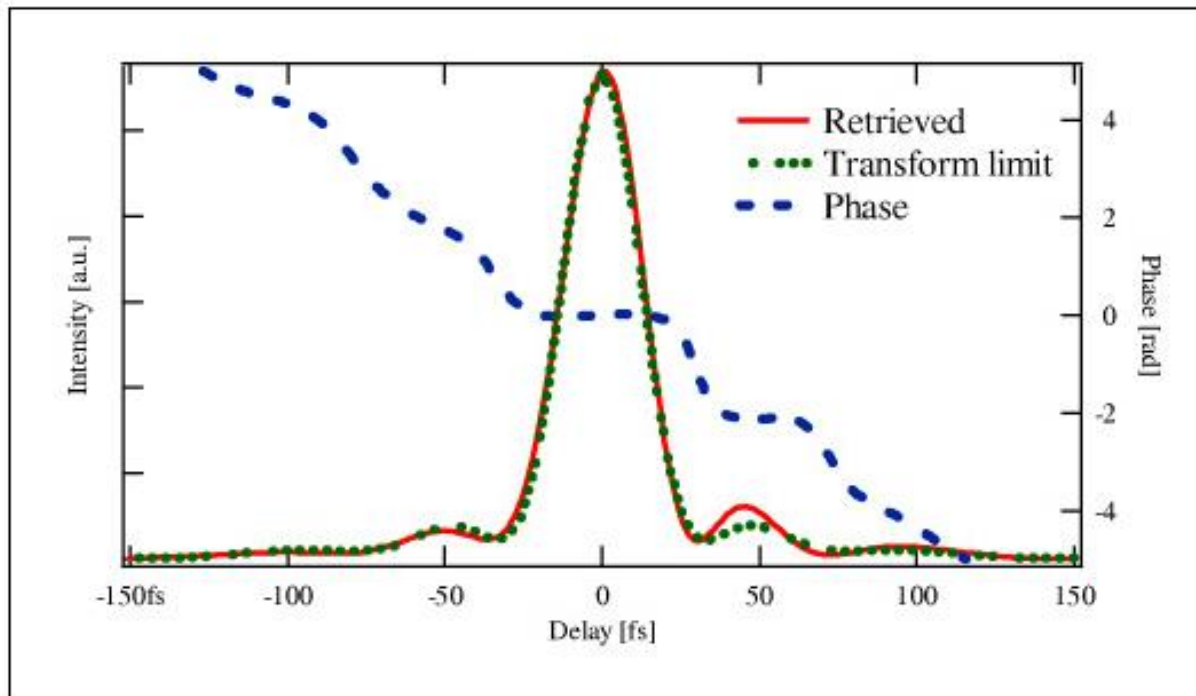
## 分散補償について

### TODの補償

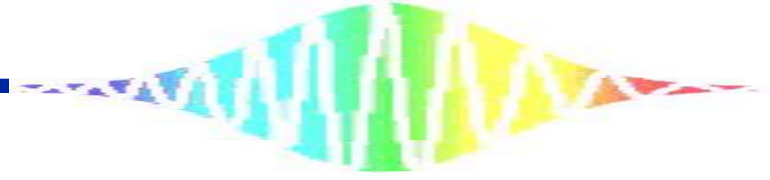
SPMによる分散補償

自己位相変調 (SPM) : 光がファイバーを通過するとき、自身の強度による屈折率変化により位相がシフトする現象

⇒ TODを補償するチャープパルスの位相シフトを誘導



パルス形状



## まとめ

◎80MHzの繰り返し周波数で0.7nJ、中心波長1050nm

変換限界 28.3fsのパルスを生成するモード同期Ybファイバー  
発振器を開発

これは Ybファイバーレーザーから得た最短のパルス  
である。(2008年当時)

◎推定された正味のGDDおよびTODは

$0 \pm 1 \times 10^3 \text{fs}^2$  および  $1.55 \pm 0.02 \times 10^5 \text{fs}^3$  であった。

共振器内の分散は回折格子対のみで補償した。  
SPM効果は適度に発生し、位相の補償にはたらいっている。