

# 次世代重力波検出器に向けた 非線形光学効果を用いた 信号増幅システムの開発VI

東京工業大学

原田健一，小田部荘達，宗宮健太郎

# 発表内容

研究目的

原理

光ばね  
光パラメトリック増幅(OPA)

実験セットアップ

実験結果

まとめ

# 研究目的

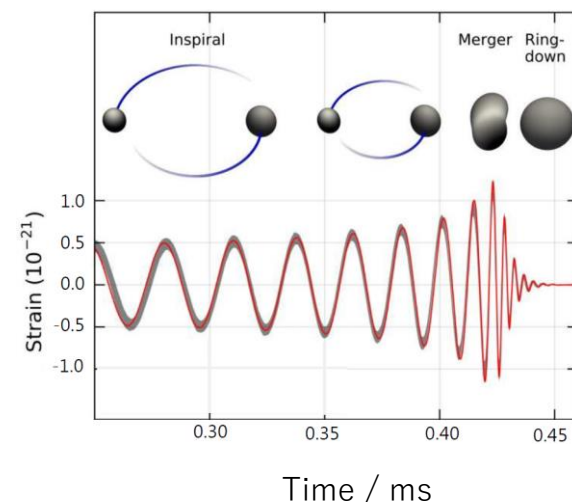
レーザー干渉計型重力波検出器によって重力波が検出された。

重力波検出の意義

一般相対性理論の正しさに対する新しい証拠  
天文学への応用

現在の検出器

数100 Hz帯に感度のピークを持つ。  
(数 kHz帯の重力波を検出することは難しい)



数 kHz帯の重力波検出感度を向上



中性子星連星合体, スーパーノバなど

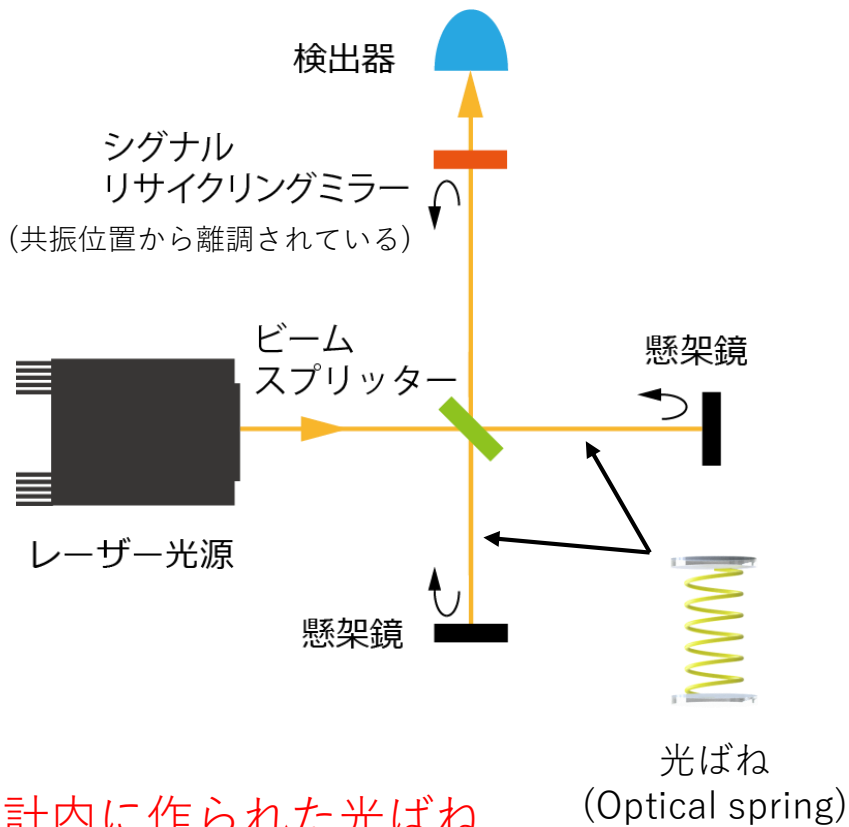
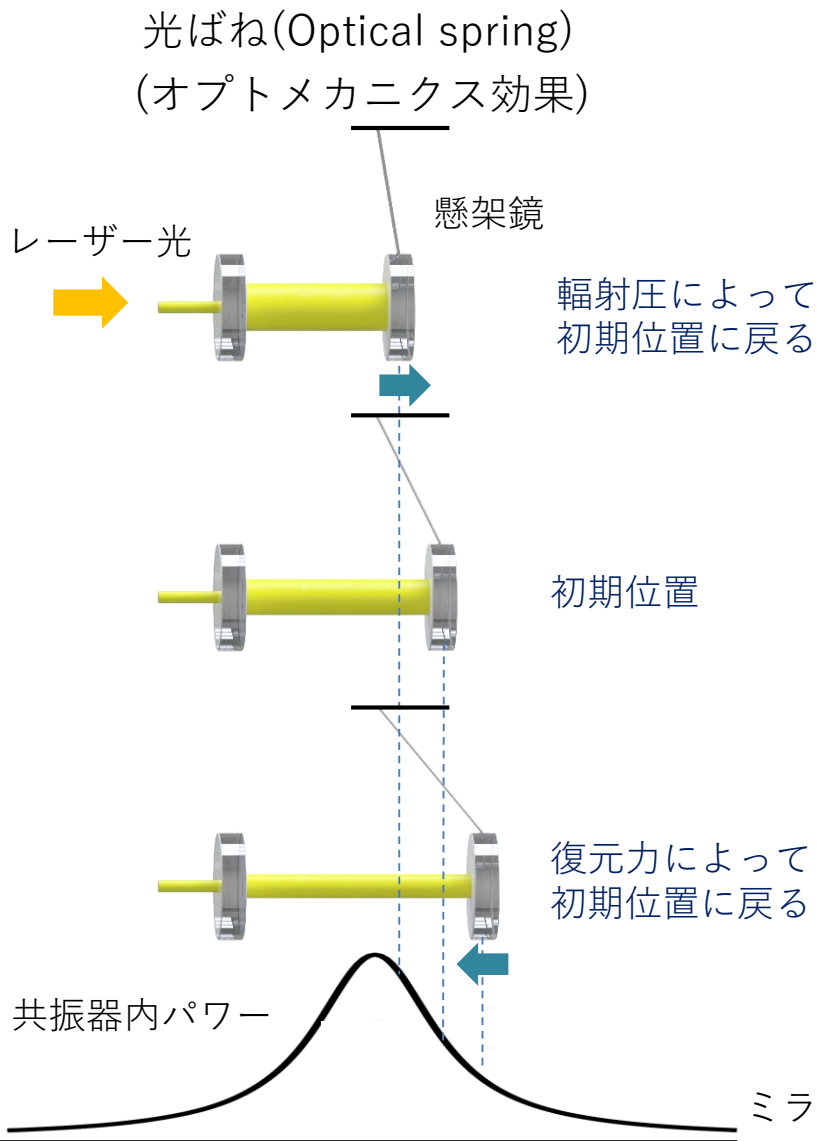
宇宙における物理現象を深く理解することが可能  
(重力波天文学)

# 原理 -光ばね-

高周波数帯域の検出感度向上



光ばねと非線形光学効果の組合せ



干渉計内に作られた光ばね



干渉計のダイナミクスを変えられる。

輻射圧を強くすることで共振周波数を高くすることが可能

# 原理 -OPA-

高周波数帯域の検出感度向上



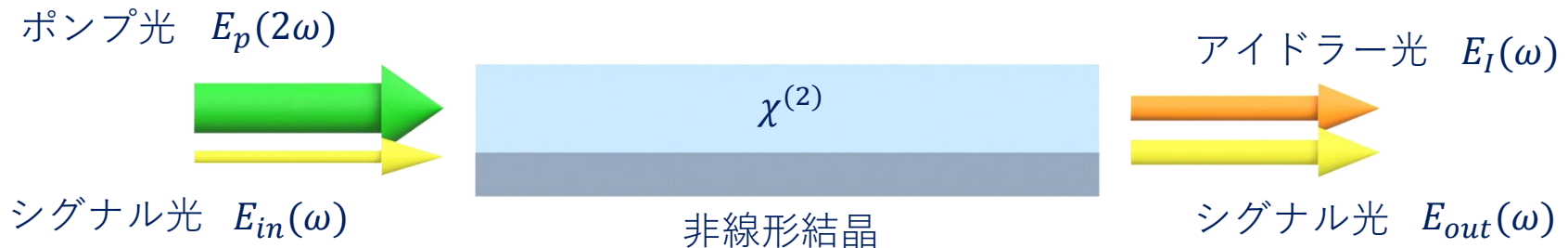
光ばねと非線形光学効果の組合せ

## 光パラメトリック増幅(OPA)

信号増幅や波長変換等に用いられる非線形光学効果

非線形結晶に強いポンプ光と微弱なシグナル光を入射

2次の非線形効果によってシグナル光が増幅



干渉計内の信号が増幅されることで



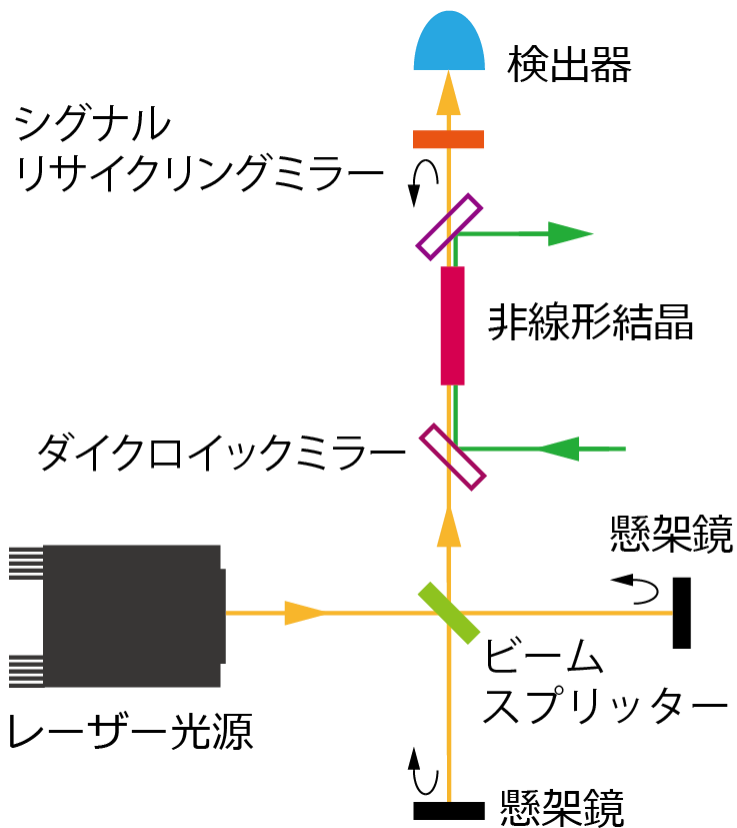
光ばねが硬くなり、高い周波数での検出を可能

# 感度の見積り

非線形結晶が挿入されたシグナルリサイクリング干渉計(SRMI)

シグナルリサイクリングミラーの離調

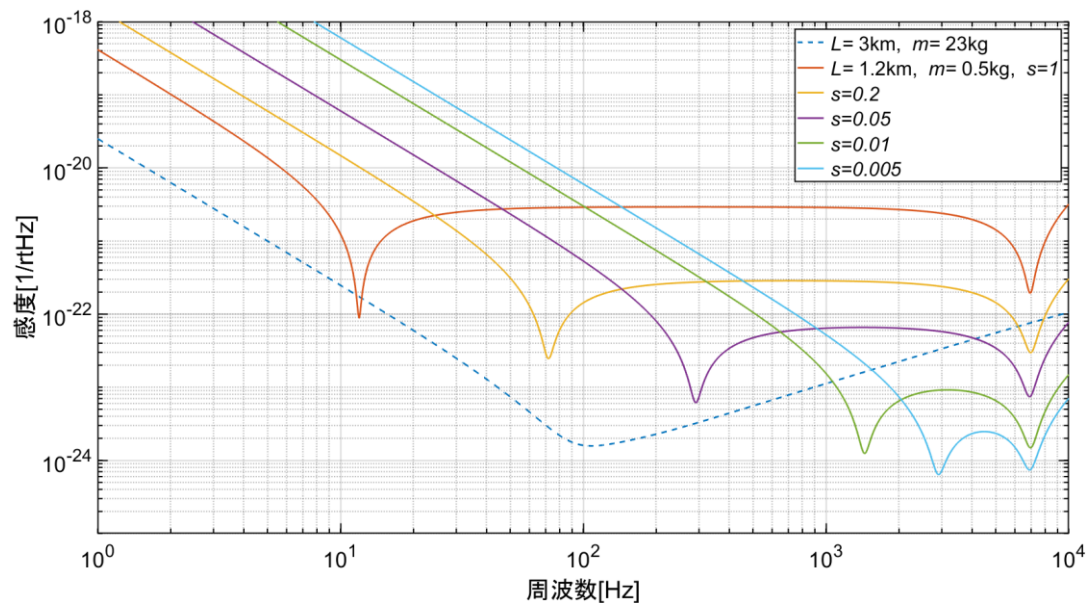
セットアップ図



➡ 光ばねの生成

SRMIの内部に結晶を挿入

➡ 信号増幅による硬い光ばね



# 実験の方法

伝達関数によって光バネの共振周波数の変化を測定

➡ 信号増幅の効果を確認

この系において光ばねの効果を観測することはできていない.....

## 信号増幅効果を確認するまでの手順

2次高調波発生(SHG)共振器の製作と  
高強度ポンプ光の生成



光パラメトリック増幅(OPA)の確認



シグナルリサイクリング干渉計(SRMI)とOPAの統合



伝達関数の測定

懸架鏡を用いたマイケルソン干渉計  
(MI)の構築と制御



シグナルリサイクリング共振器  
(SRC)の構築と制御

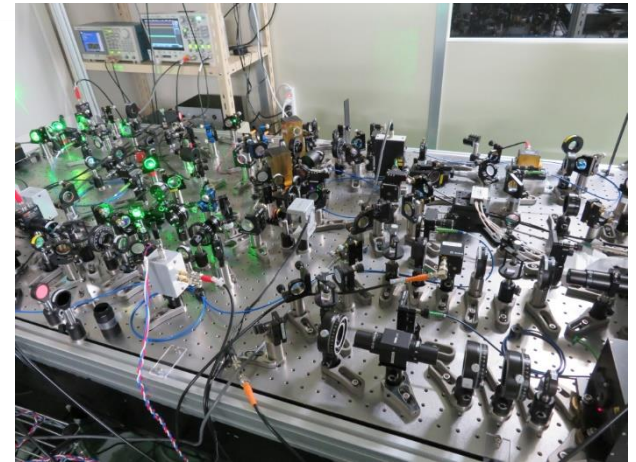
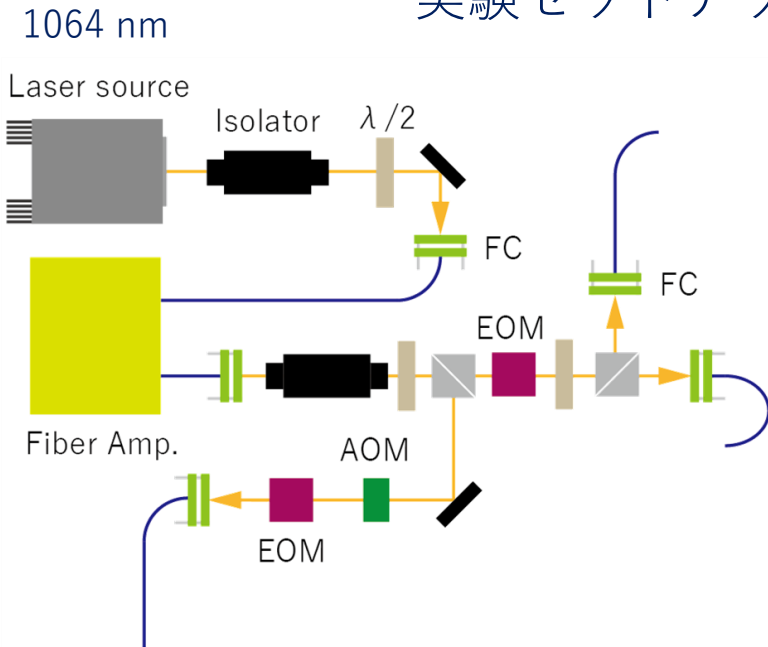


# 実験系

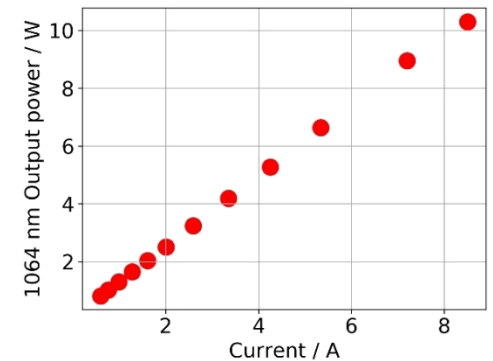
## シグナルリサイクリング干渉計(SRMI)の開発

### 実験セットアップ図

EOM: 電気光学変調器  
AOM: 音響光学変調器  
FC: ファイバーカップラ



ファイバーアンプ後の出力強度



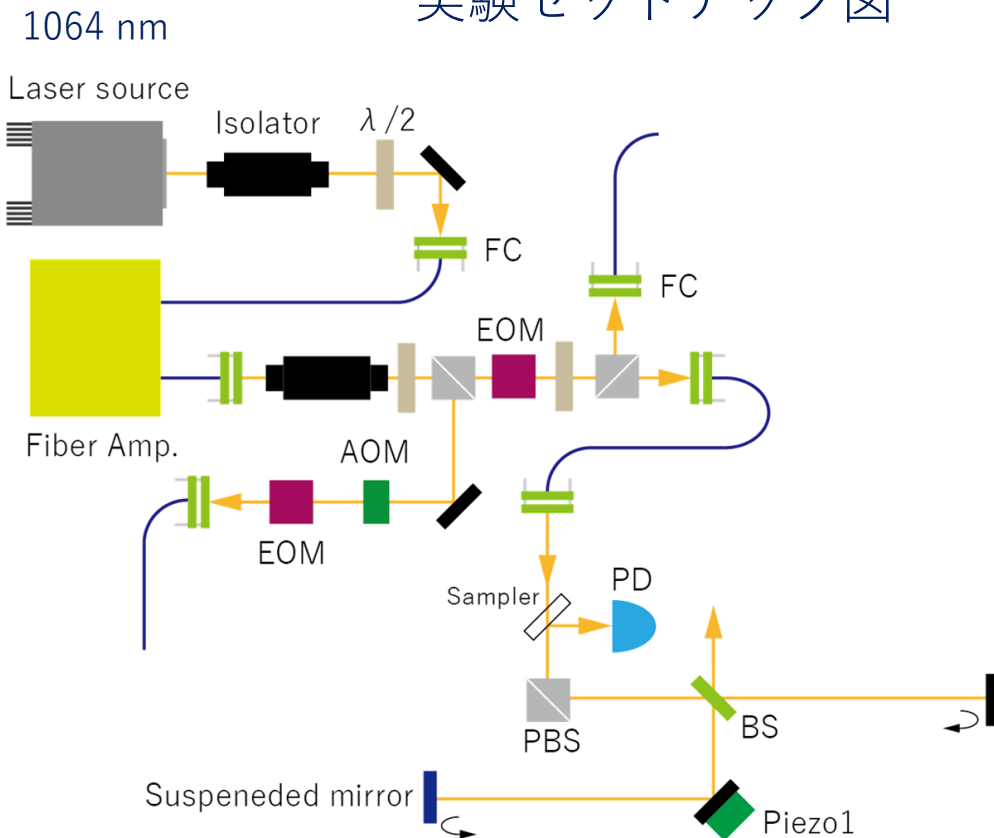


# 実験系

## SRMIの開発

懸架鏡で構成されたマイケルソン干渉計はPiezo1で制御

実験セットアップ図



EOM: 電気光学変調器  
AOM: 音響光学変調器  
FC: ファイバーカップラ  
BS: ビームスプリッタ  
PBS: 偏光ビームスプリッタ  
PD: 光検出器

懸架鏡  
(Suspended mirror)  
直径: 6 mm  
重量: 0.2 g  
共振周波数: 16 Hz  
マウント: ポリエステル

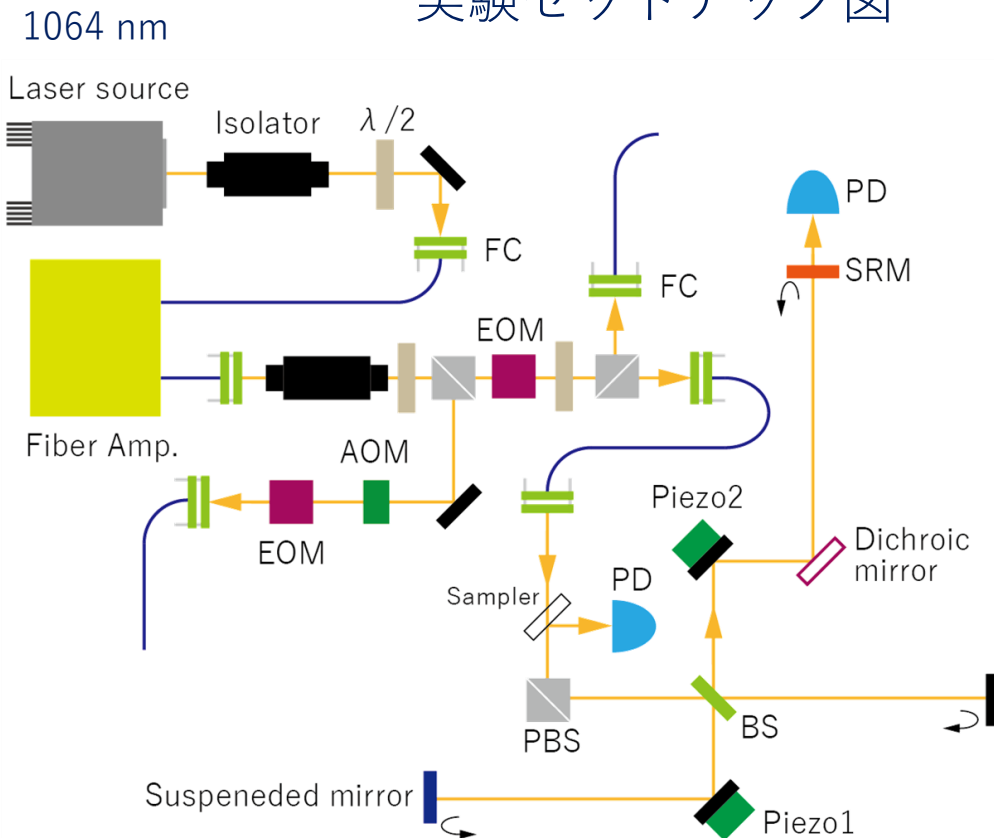


# 実験系

## SRMIの開発

懸架鏡で構成されたマイケルソン干渉計はPiezo1で制御  
シグナルリサイクリング共振器(SRC)はPiezo2で制御

実験セットアップ図



EOM: 電気光学変調器  
AOM: 音響光学変調器  
FC: ファイバーカップラ  
BS: ビームスプリッタ  
PBS: 偏光ビームスプリッタ  
PD: 光検出器  
SRM: シグナルリサイクリングミラー

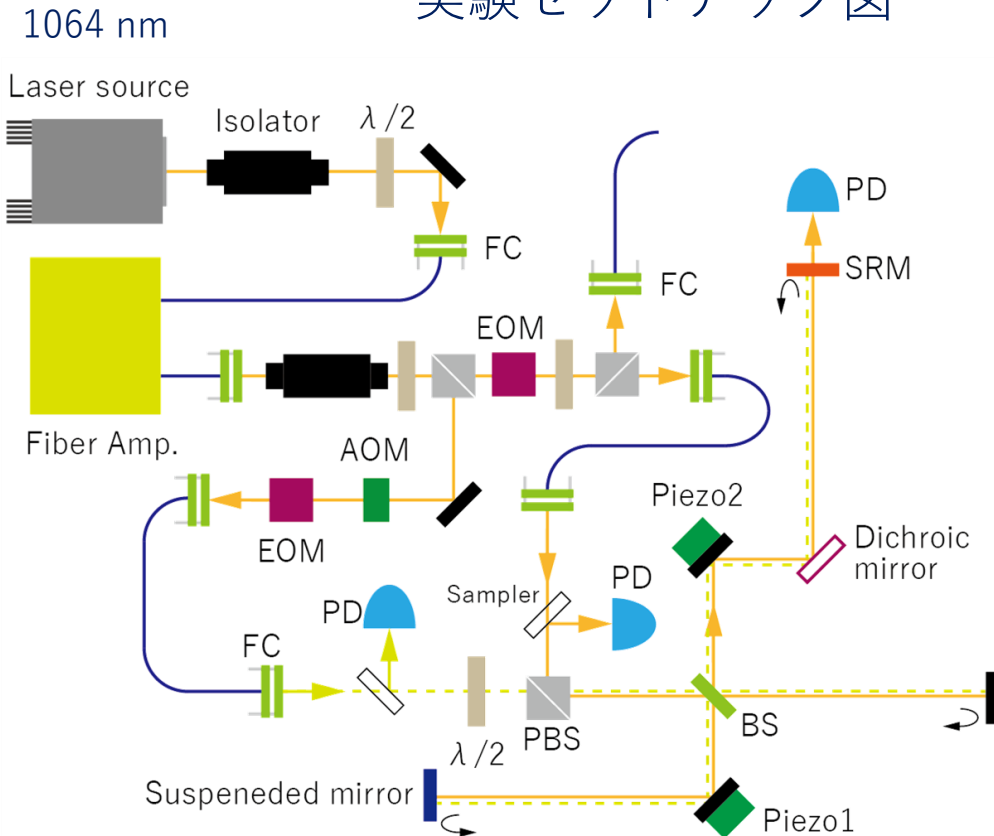
# 実験系

## SRMIの開発

懸架鏡で構成されたマイケルソン干渉計はPiezo1で制御

SRCはサブキャリア光を用いてPiezo2で制御

実験セットアップ図



- EOM: 電気光学変調器
- AOM: 音響光学変調器
- FC: ファイバーカップラ
- BS: ビームスプリッタ
- PBS: 偏光ビームスプリッタ
- PD: 光検出器
- SRM: シグナルリサイクリングミラー

### サブキャリア光

音響光学変調器と電気光学変調器による周波数シフト

MIの腕の長さの非対称性によって、サブキャリア光はASポートより出射

# 実験系

## SRMIの開発

Bow-tie型の共振器によるポンプ光(532 nm)の高効率発生

Piezo4により共振器長を制御

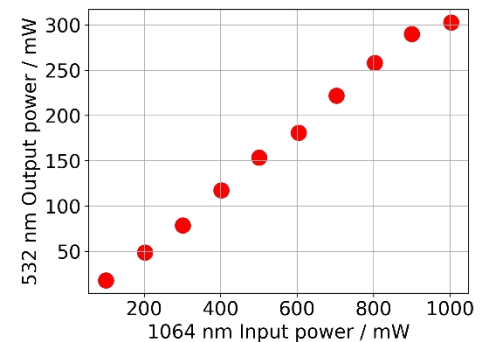
実験セットアップ図

PPKTP: Periodically Poled KTiOPO<sub>4</sub>

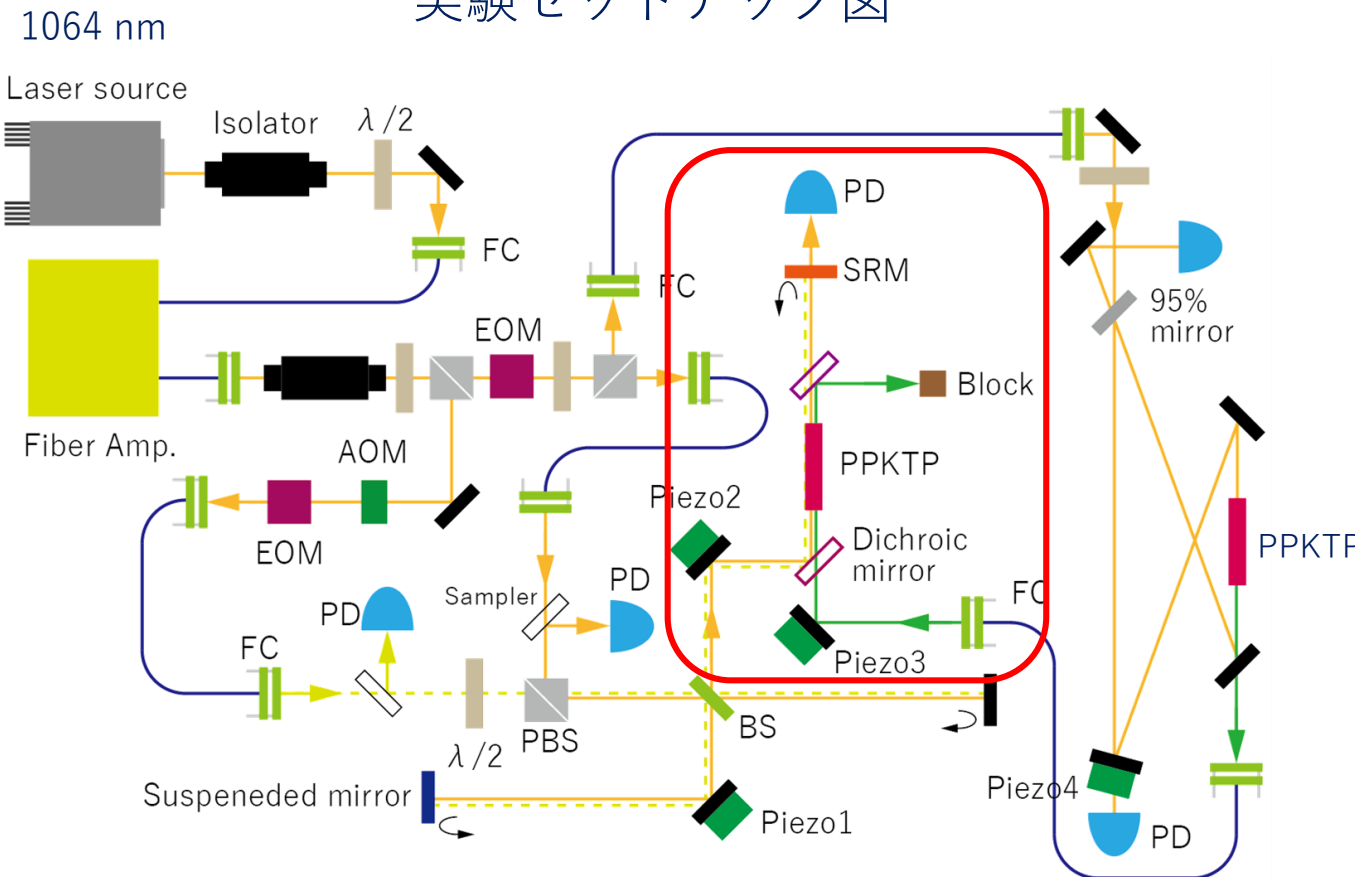
共振器長: 1.2 m

非線形結晶: PPKTP  
(1 × 2 × 10 mm)  
オープンにより温調

ポンプ光強度依存性

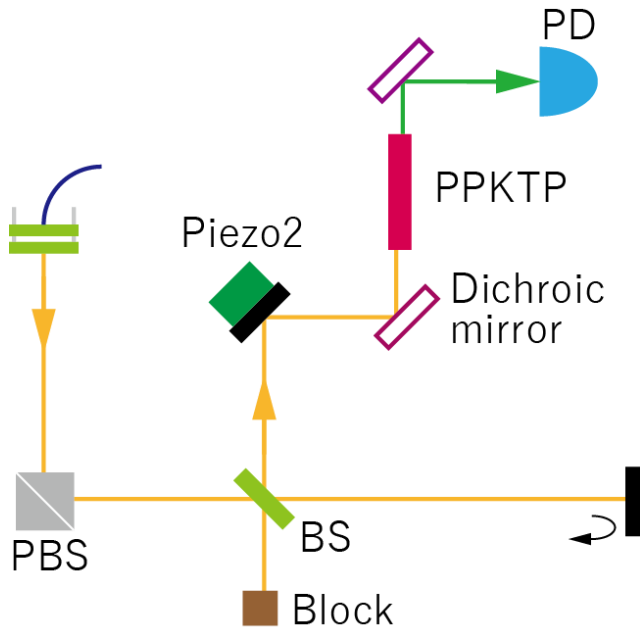


300 mW以上の出力

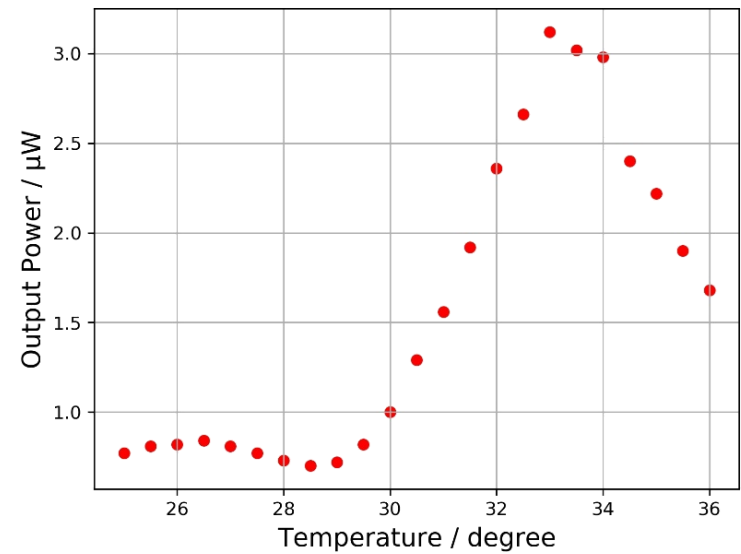


# 実験結果

結晶の温度と変えて532 nmの光強度を測定  
1064 nm光をPPKTP結晶に入射(220 mW)



PPKTP結晶の温度依存性



32.5°Cに設定

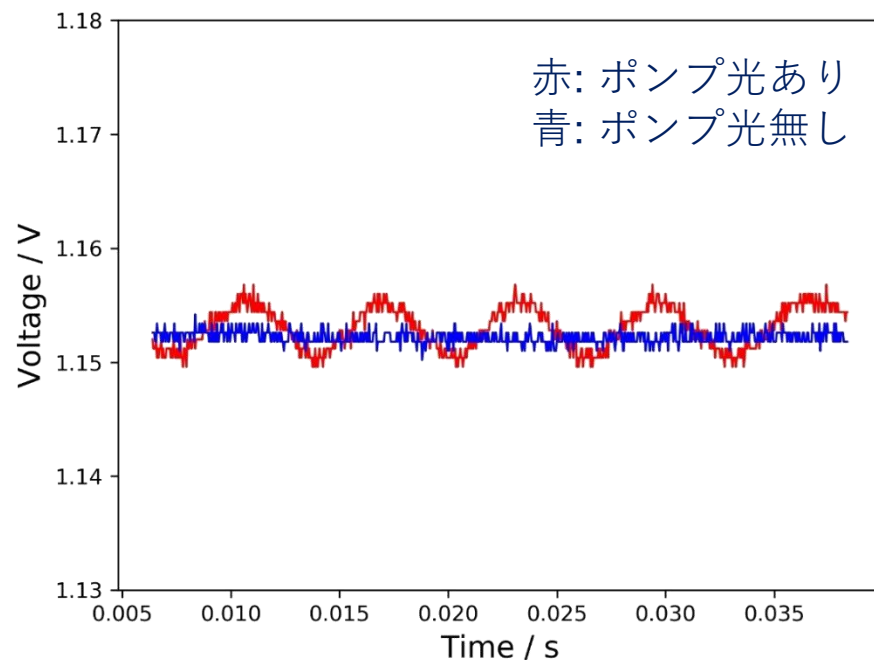
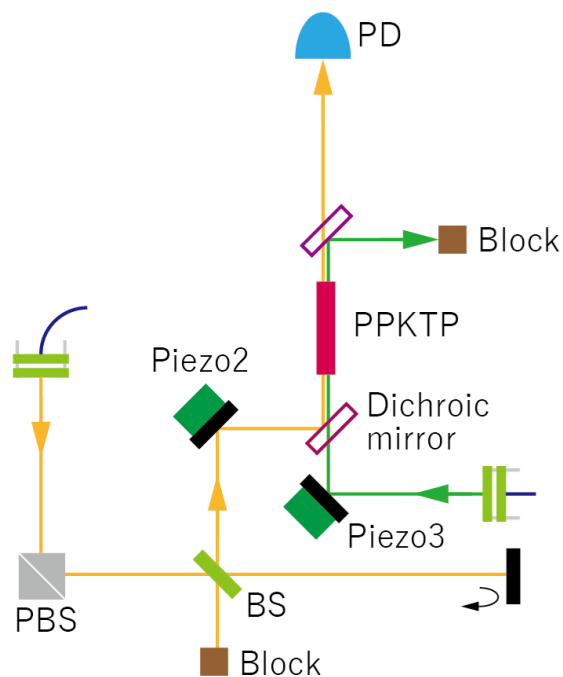
# 実験結果

1064 nmと532 nmの光と結晶に入射(一度だけ結晶内を通過)

Piezo3を掃引して光の位相差を変化

1064 nm: 60 mW

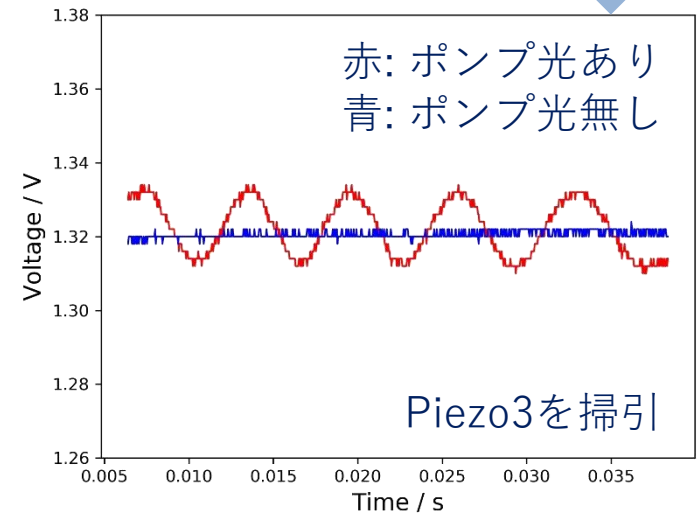
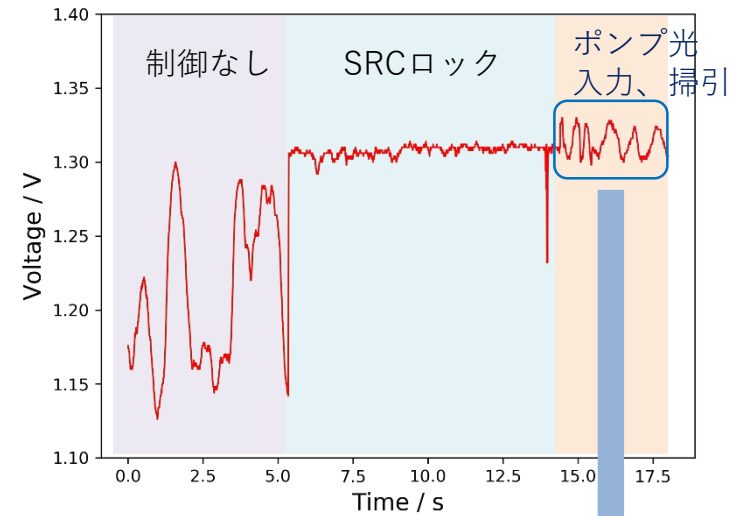
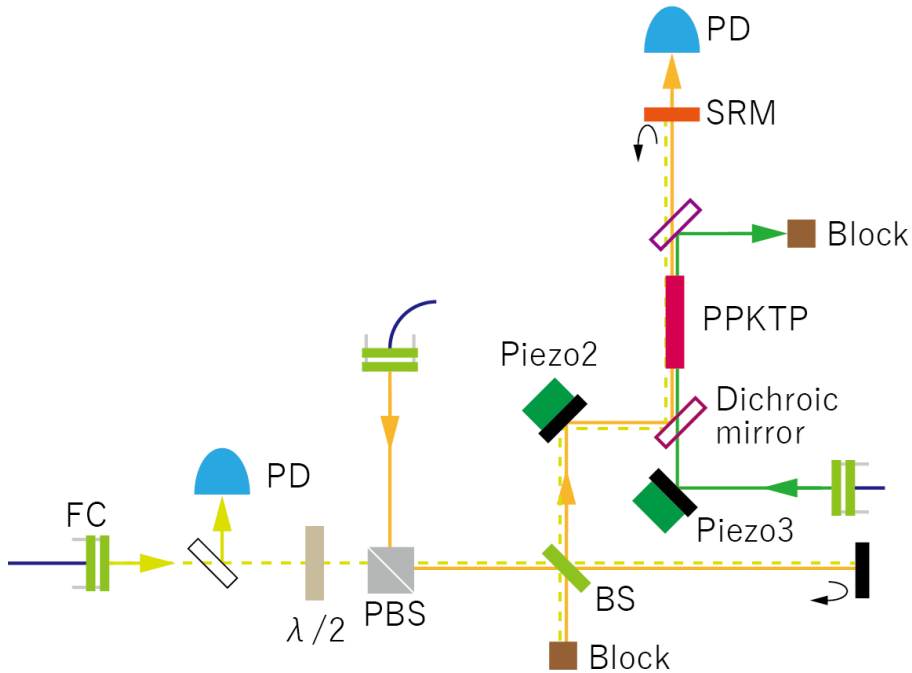
ポンプ光(532 nm): 200 mW



# 実験結果

SRCをロックしてOPAを観測

1064 nm: 60 mW  
ポンプ光(532 nm): 200 mW



# まとめ

高周波数帯域の検出感度に向けた、  
光ばねと非線形光学効果とを組合わせた実験系の開発

非線形結晶にポンプ光を入射し、OPA効果の確認

SRC中に非線形結晶を挿入してOPA効果の確認

# 今後の展望

OPAの増幅効果の改善

光ばねの効果を伝達関数を測定して観測

OPA効果によって光ばねの共振周波数の変化を確認