

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IV

東京工業大学

原田健一, 小田部荘達, 宗宮健太郎

目次

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

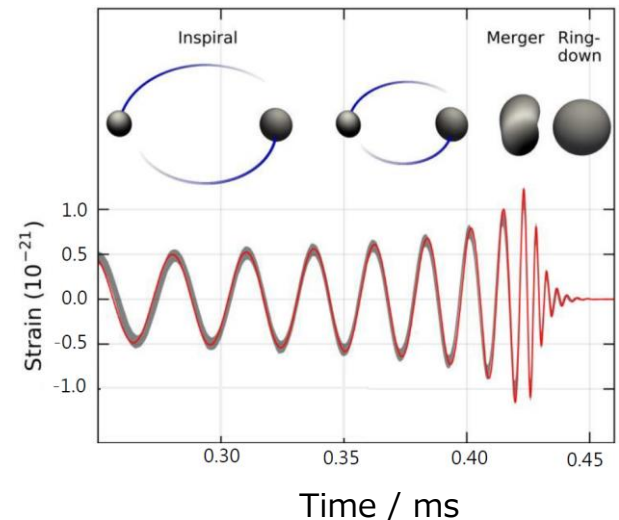
レーザー干渉計型重力波検出器によって重力波が検出された。

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

高周波数帯域で観測可能となると

超新星爆発
より軽い星の合体現象
パルサーグリッチ
一般相対論のさらなる検証



高周波数帯域での検出感度を向上させたい

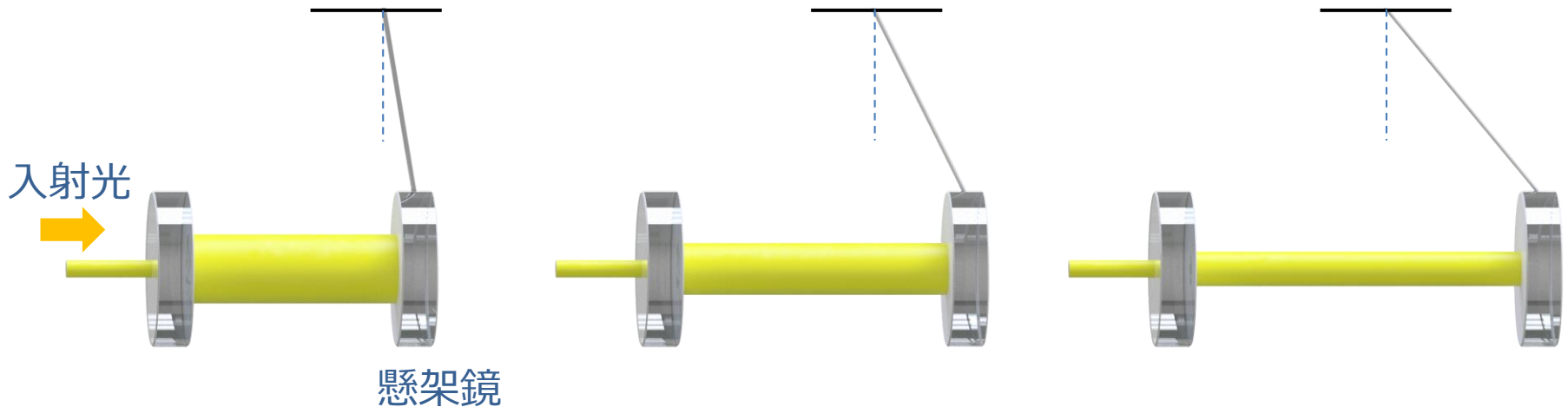
原理

高周波数帯域の検出感度向上

➡ 光ばねと非線形光学効果とを組み合わせる

光ばね

光の輻射圧を用いたばね(共振位置より離調)



輻射圧 > 復元力

輻射圧 = 復元力

輻射圧 < 復元力

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

高周波数帯域の検出感度向上

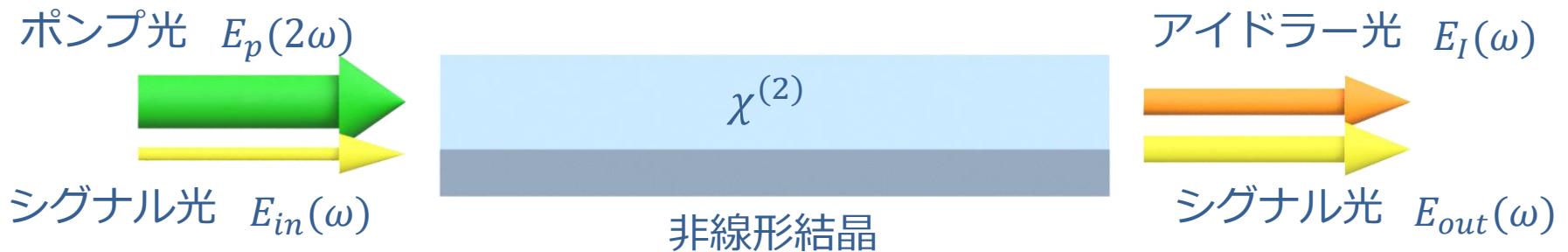
➡ 光ばねと非線形光学効果とを組み合わせる

光パラメトリック増幅(OPA)

非線形光学効果の一つで信号増幅や波長変換等に用いられる

非線形結晶に強いポンプ光と微弱なシグナル光(ない場合もある)を入射

2次の非線形効果によってシグナル光が増幅される



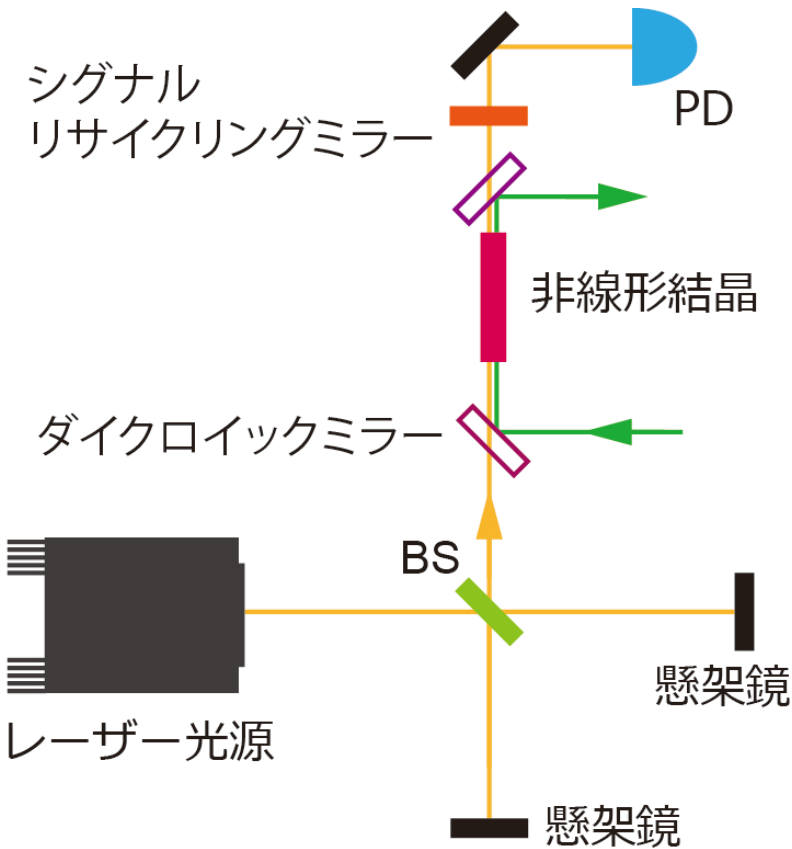
干渉計内の信号が増幅されることで

➡ 光ばねが硬くなり、高い周波数での検出を可能とする

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)

概略図

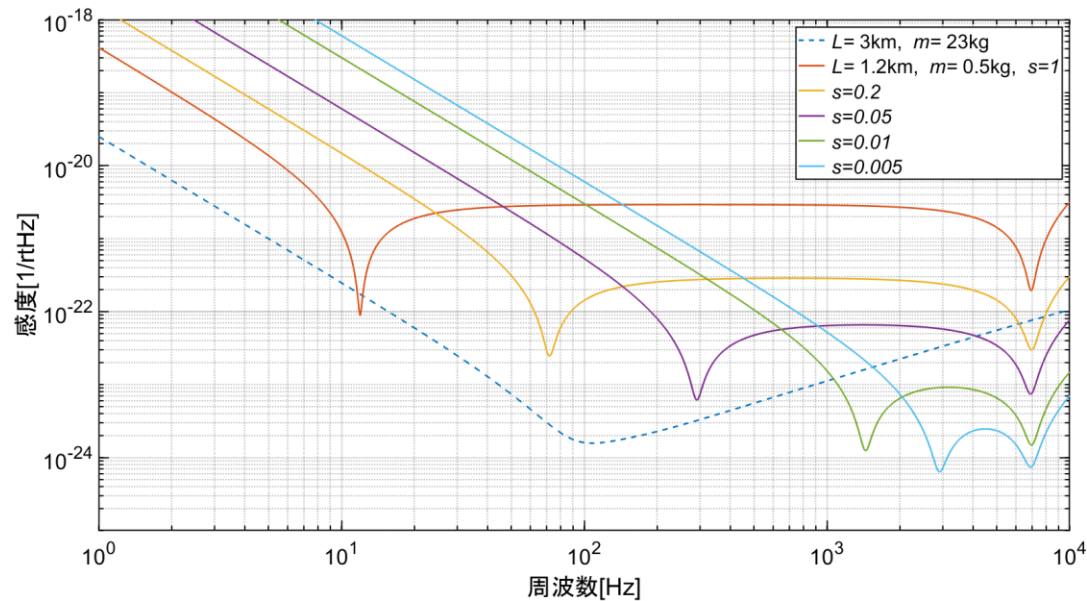


シグナルリサイクリングミラーの離調

➡ 干渉計のダイナミクスを変更

SRMIの内部に結晶を挿入

➡ 信号増幅をおこなう



実験の目標

光バネの共振周波数の変化を測定することで信号増幅を確認

(量子雑音レベルまで雑音を下げるのは難しい)

現在までに光ばねの効果を観測することはできていない.....

OPAによる増幅効果が小さい.....

実験へ向けた課題

光源の強度を増強することで、輻射圧や増幅率を上げる

安定な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)の制御

強くて安定なポンプ光の生成

➡ 2次高調波発生(SHG)共振器の製作

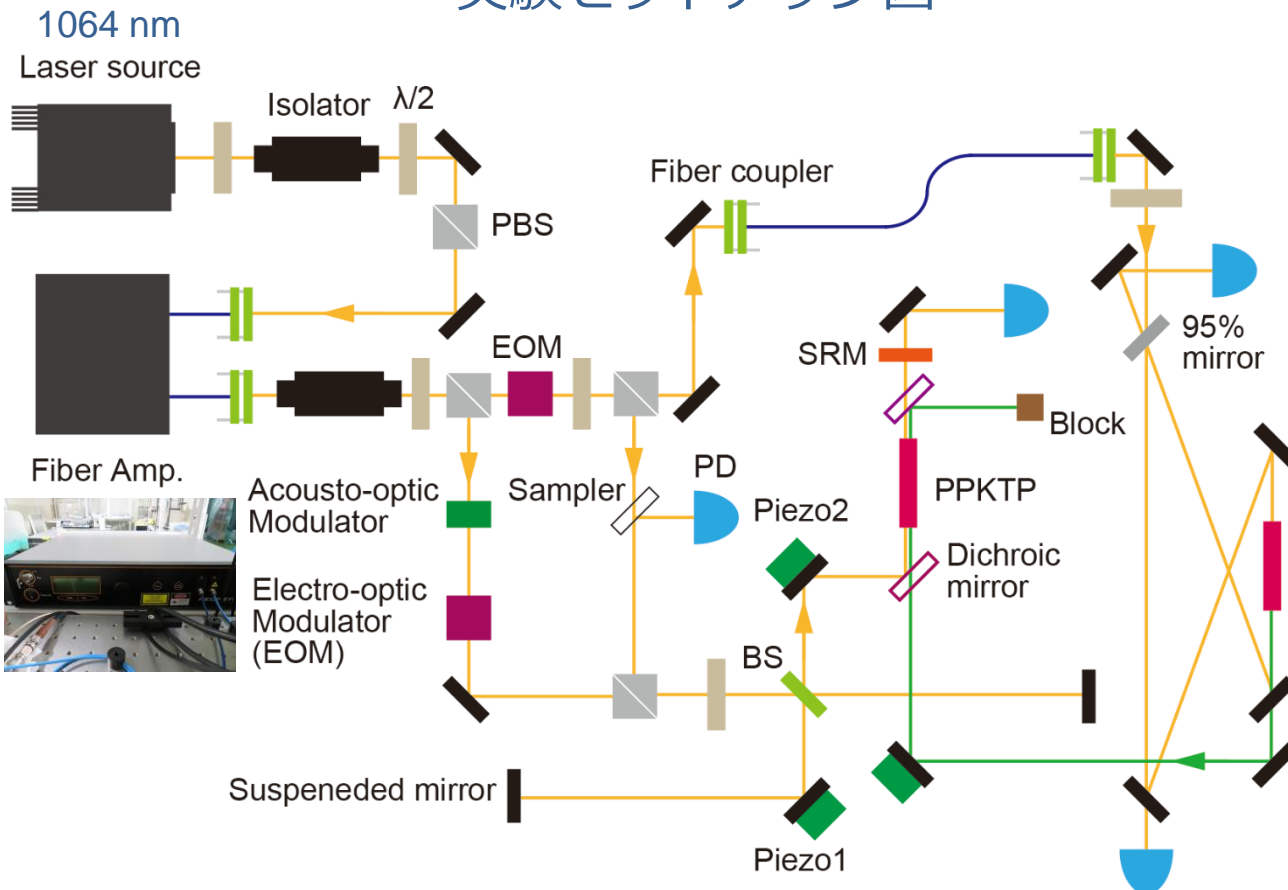
OPAの確認

干渉計とOPA部分の統合

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



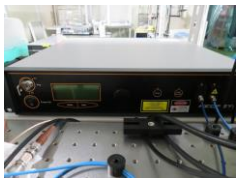
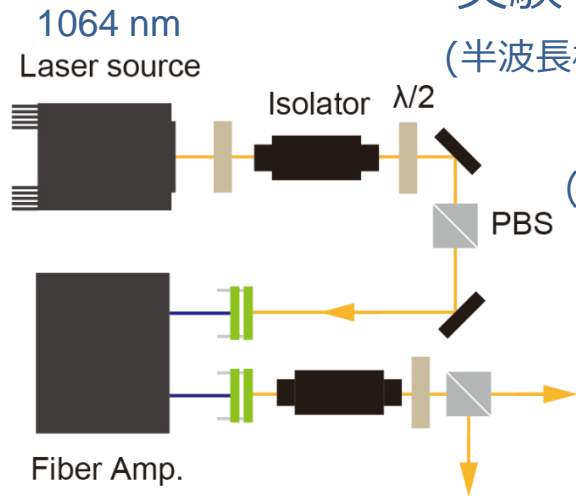
実験系

SRMIの開発

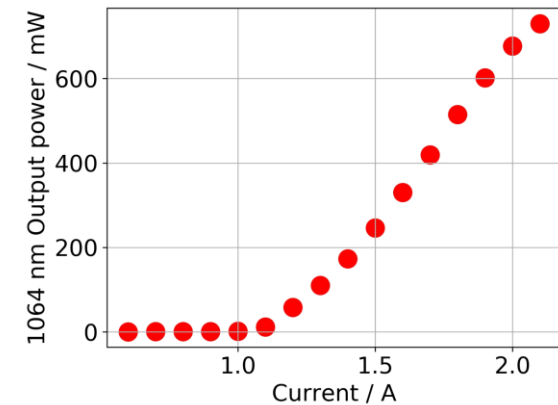
実験セットアップ図

(半波長板)

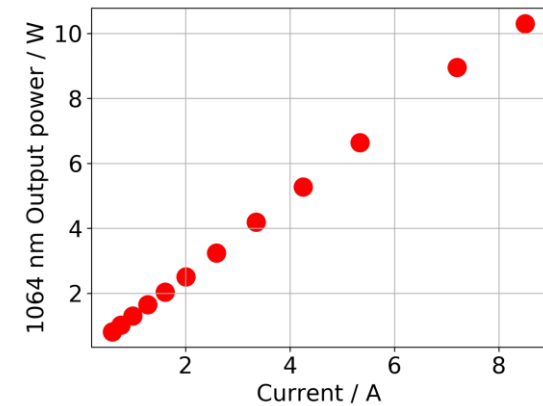
(偏光ビームスプリッタ)



レーザー光源の出力強度



ファイバーアンプ後の出力強度

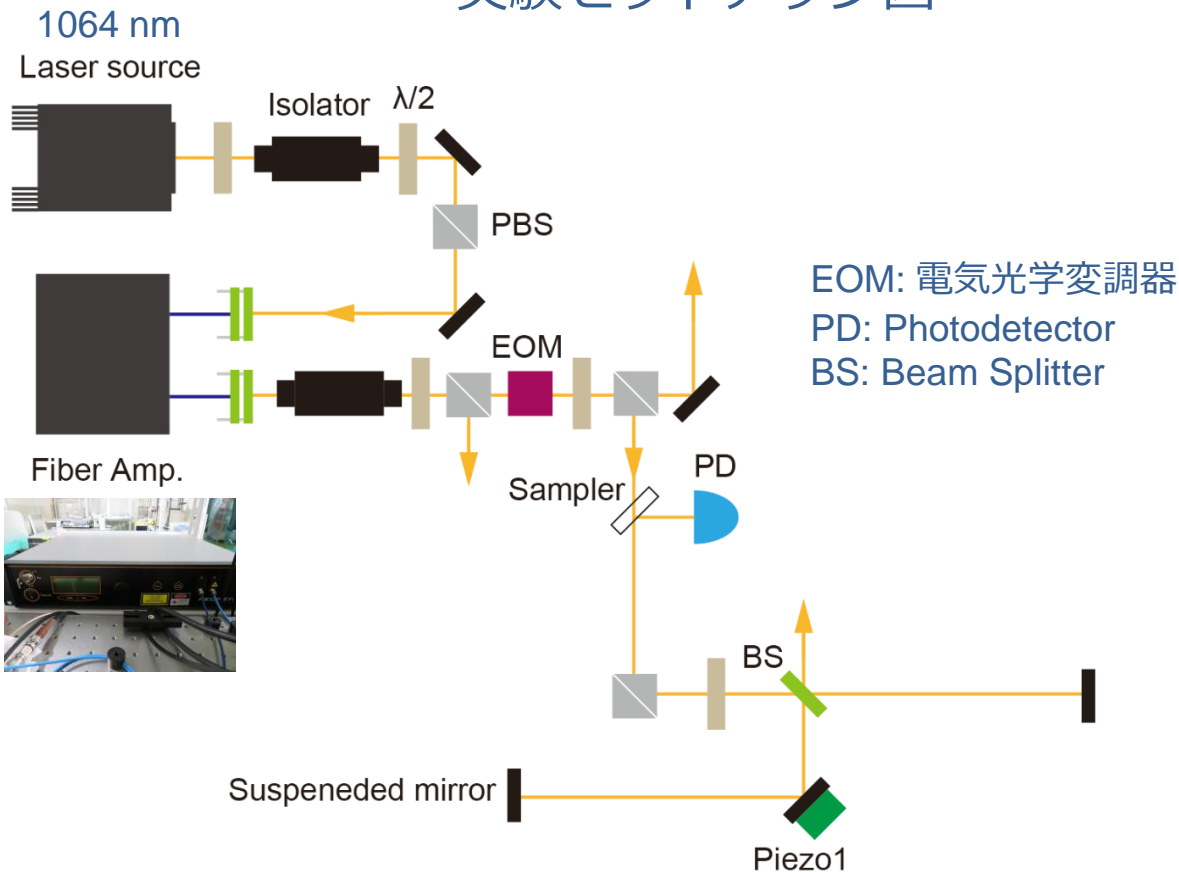


実験系

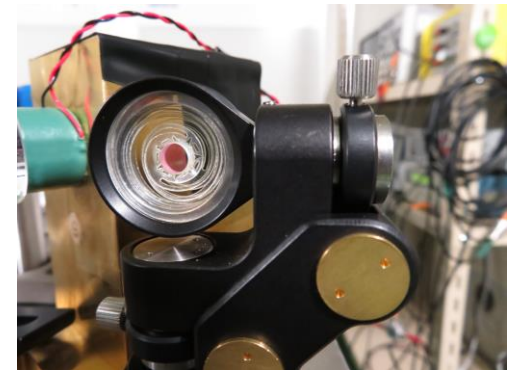
SRMIの開発

干渉計はPiezo1によって制御されている

実験セットアップ図



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



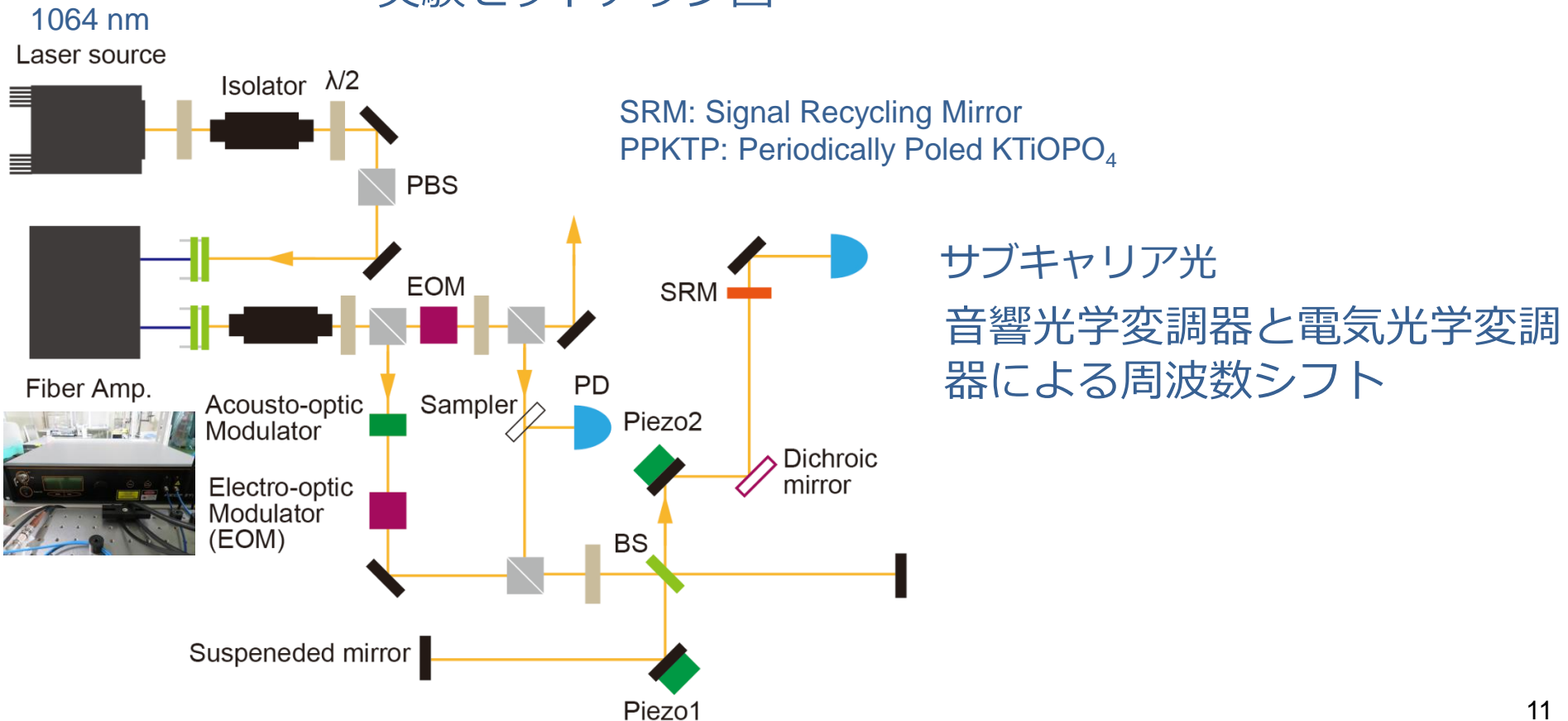
実験系

SRMIの開発

干渉計はPiezo1によって制御されている

SRCはサブキャリア光を用いてPiezo2で制御されている

実験セットアップ図



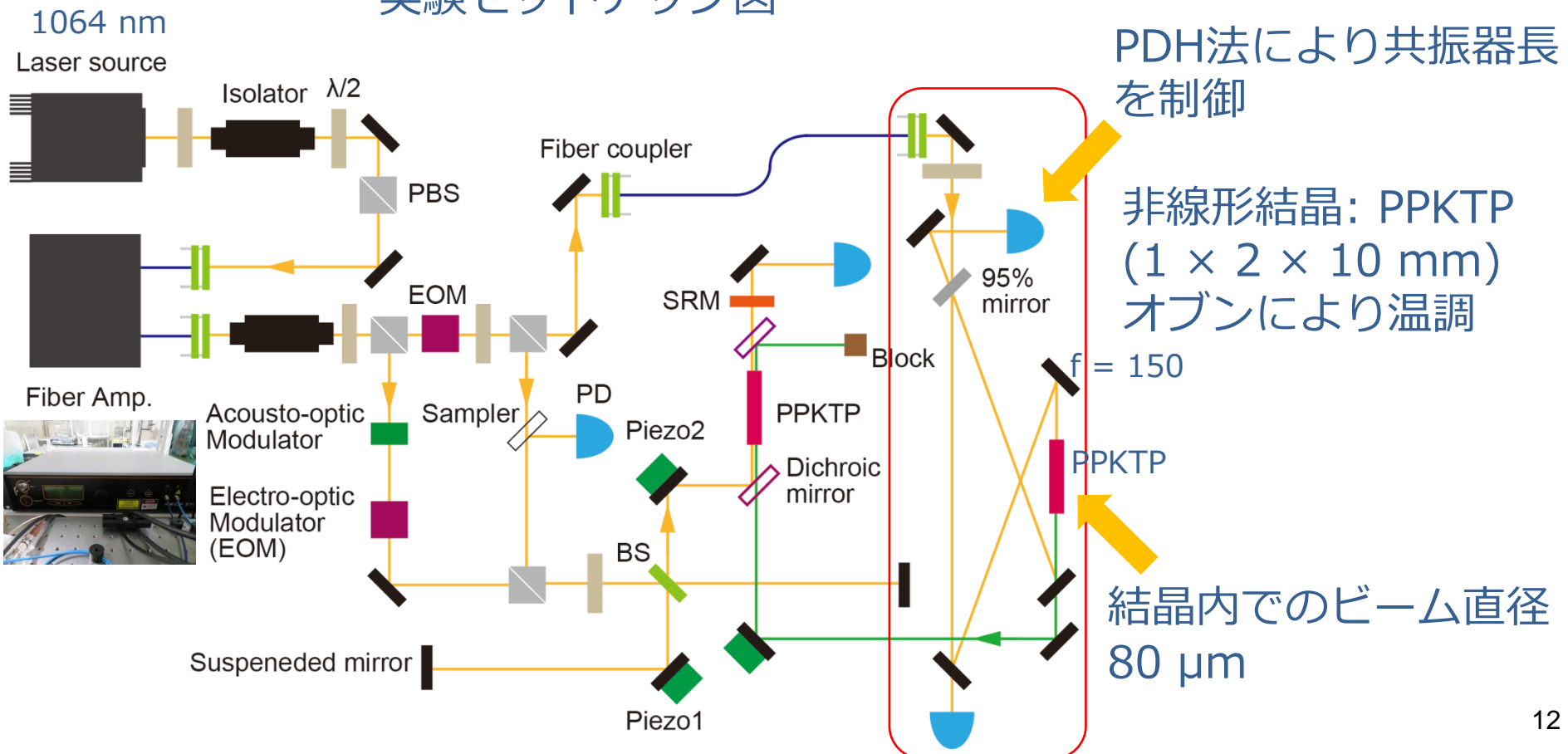
実験系

2次高調波発生(SHG)共振器の開発

Bow-tie型の共振器によるポンプ光(532 nm)の高効率発生

共振器長: 1.2 m

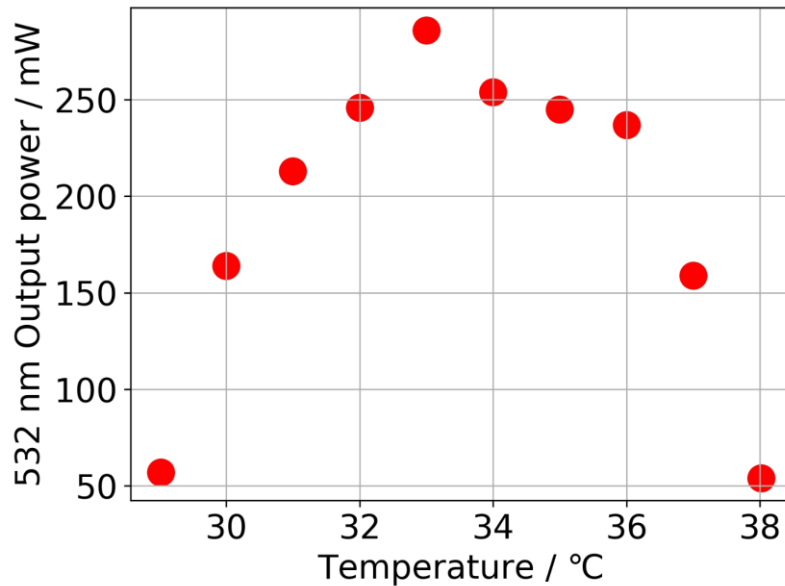
実験セットアップ図



実験結果

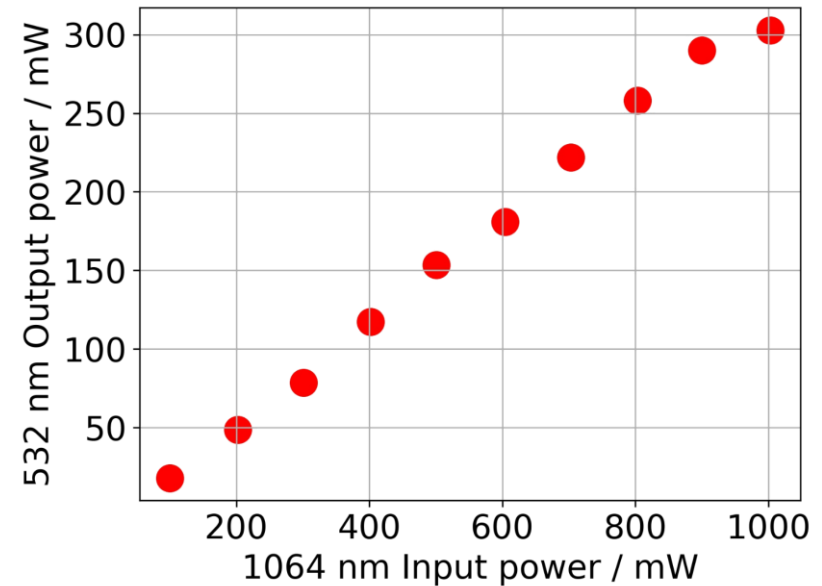
PPKTP結晶の温度と入射ポンプ光強度を変えて532 nm光強度を測定

結晶温度依存性



33°Cで強度が最大

ポンプ光強度依存性



300 mW以上の出力

まとめ

光ばねの効果を観測し、共振周波数の変化を確認

光強度を増強するためファイバーアンプを導入

10 W以上の出力を達成

SHG共振器により532 nmの光を発生

300 mW以上の出力を達成

今後の展望

高強度パワーのレーザーを入力して光ばねの効果を観測

非線形結晶にポンプ光を入射し、OPA効果の確認