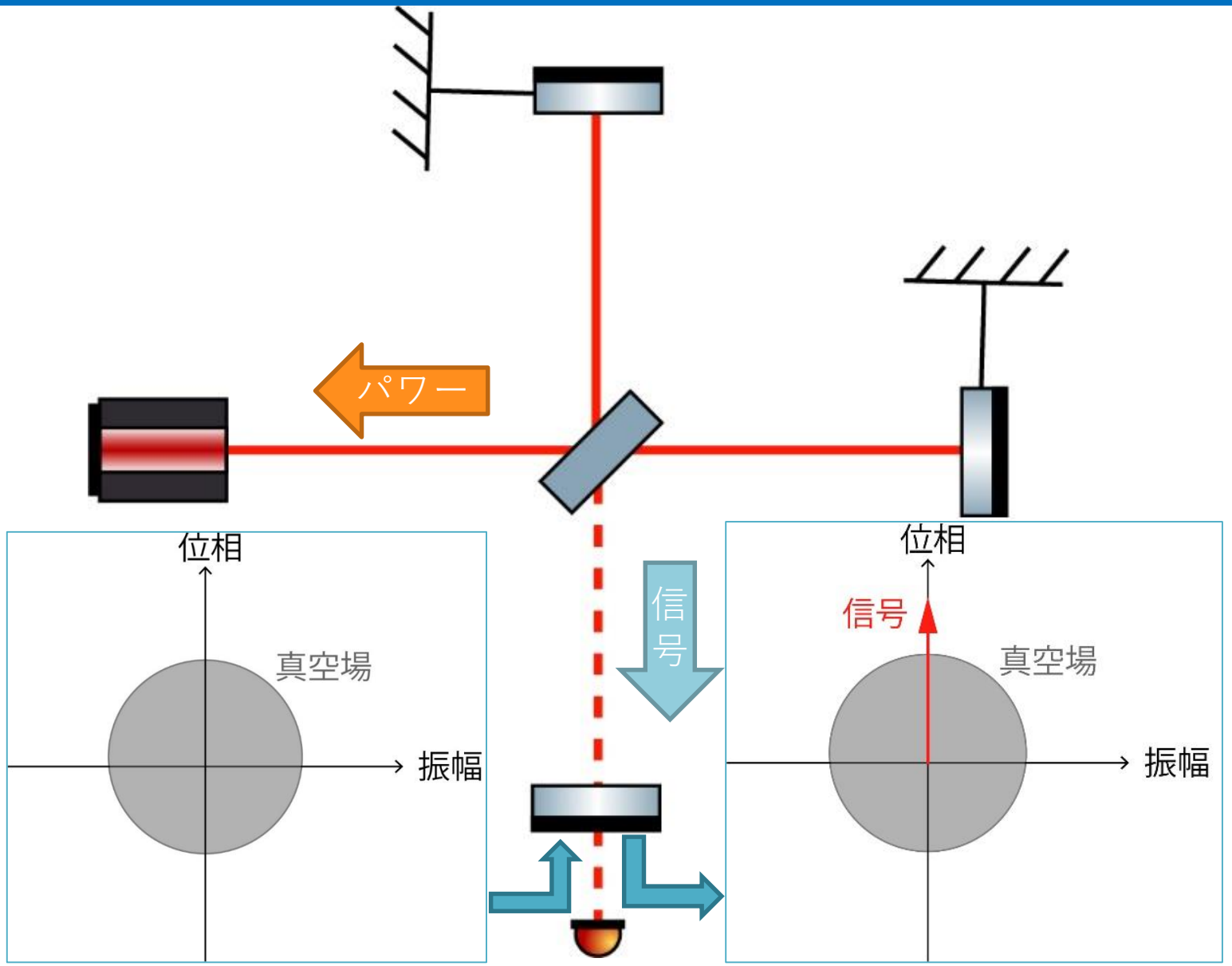
次世代重力波検出器に向けた非線形光学効果を用いた信号増幅システムの開発III

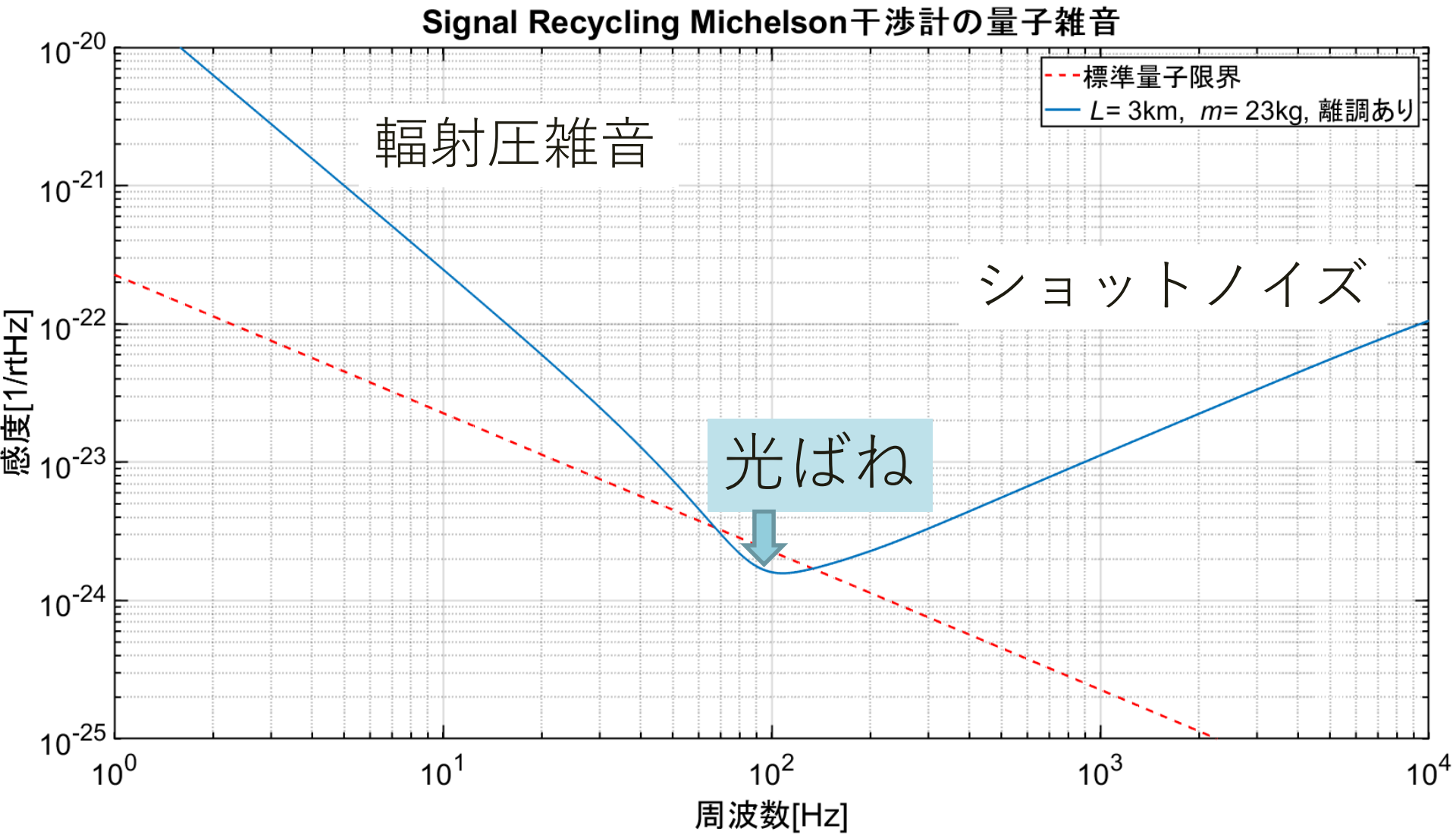
小田部 荘達, 宗宮 健太郎, 原田健一
東工大理

2019/9/20

Michelson干渉計と量子雑音



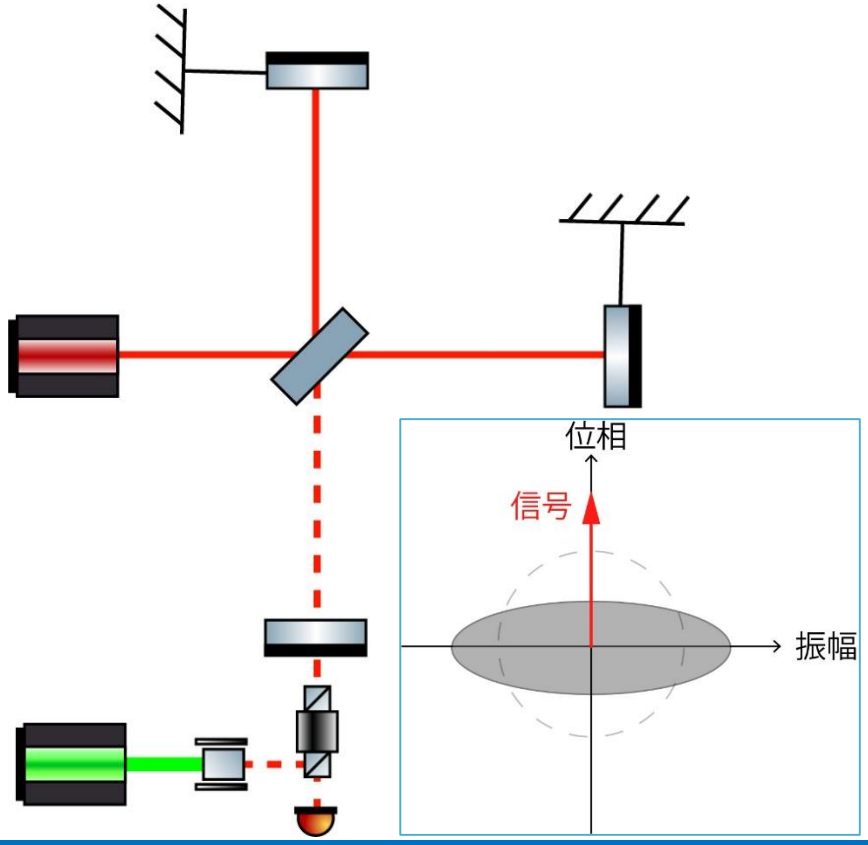
感度曲線


Signal Recycling Michelson干渉計の量子雑音
標準量子限界
L= 3km, m= 23kg, 離調あり
輻射圧雑音
ショットノイズ
光ばね
感度[1/rtHz]
周波数[Hz]
10^-20
10^-21
10^-22
10^-23
10^-24
10^-25
10^0
10^1
10^2
10^3
10^4

スクイージング技術

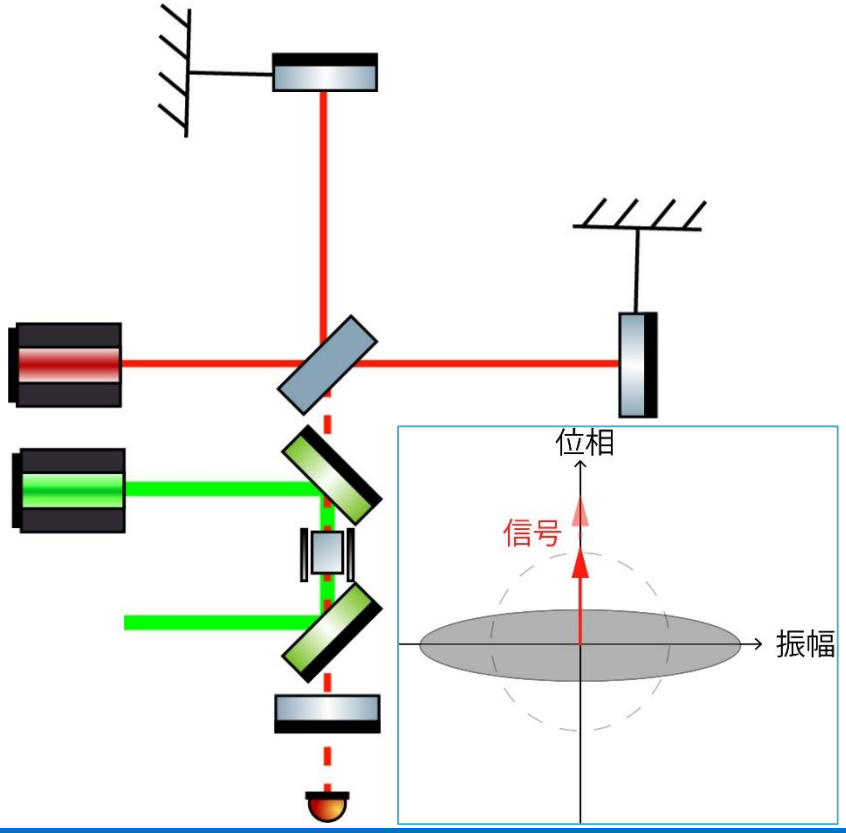
外部スクイージング

- 入射される真空場を
  スクイーズしておく
- ある程度は実証済み



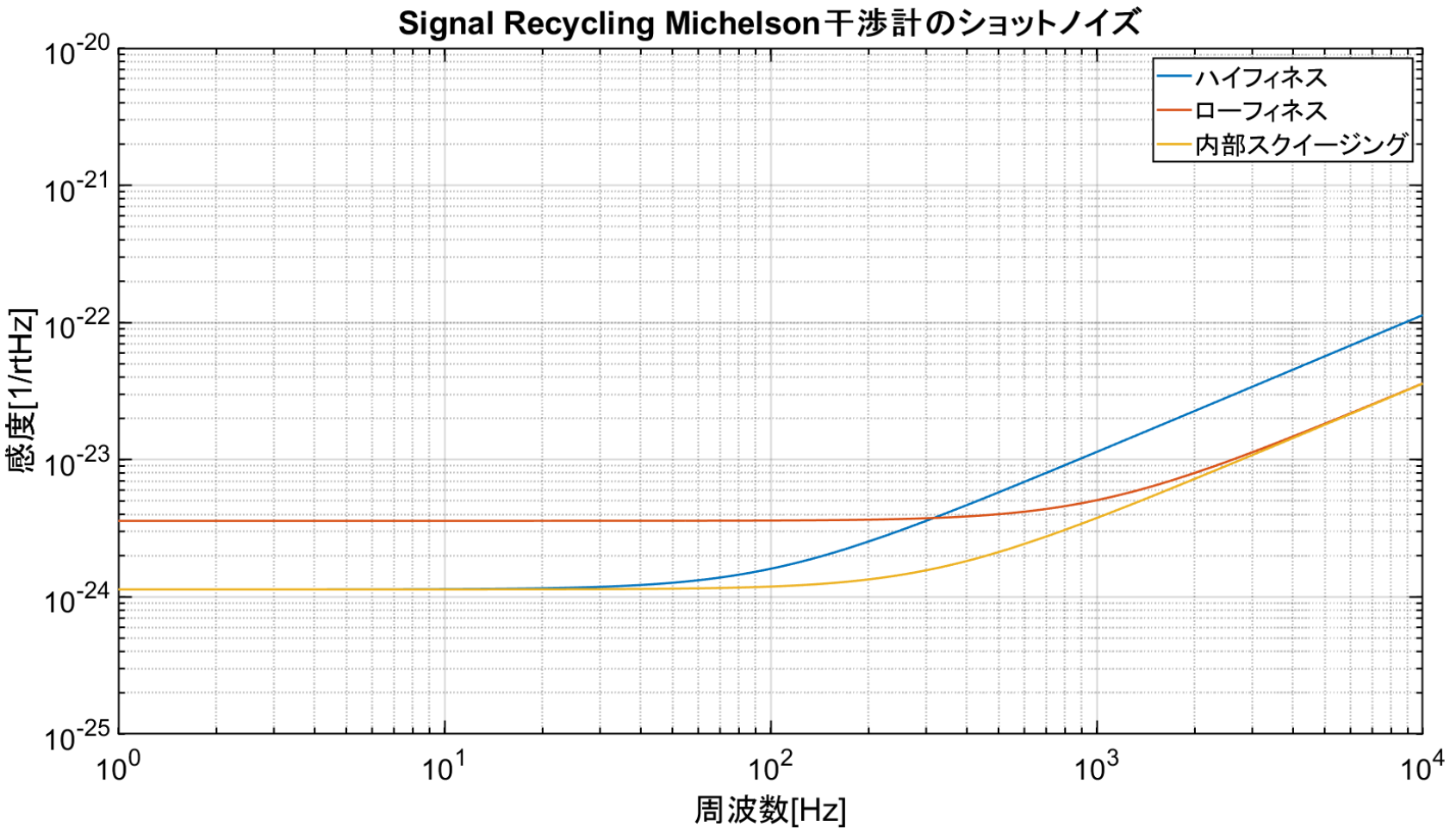
内部スクイージング

- 真空場と信号の
  減衰率の違いで感度向上
- 実験的検証が乏しい



内部スクイージング効果

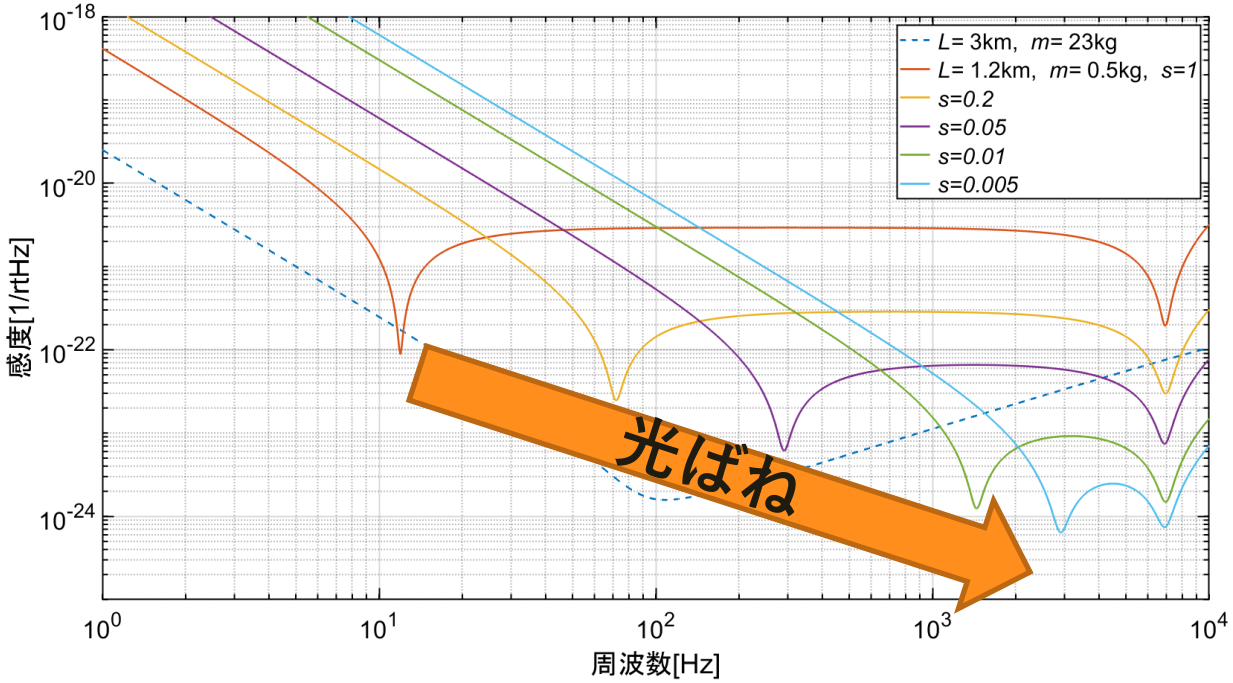
周波数依存スクイージング＋信号減衰
→帯域幅拡張と同等である(M.Korobko *et al.* 2017)



＋オプトメカニクス

内部スクイージングはカップリング定数も変化させる

→**オプトメカニカルな現象と合わせると面白い！**



＋光ばね

K.Somiya *et al.* (2014)

他にも様々な現象と組み合わせた理論提唱が盛ん

- ＋レーザー冷却(M.Asjad *et al.* 2019)
- ＋OMIT(W.A.Li and G.Y.Huang 2019)
- ＋Mechanical Squeezing(G.S.Agarwal and S.Huang 2018)

実験の目標

内部スクイージングとオプトメカニカル効果の相互作用を実証したい

STEP3

量子雑音低減の観測

- 標準量子限界到達が必須で極めて難しい

STEP2

信号増幅効果の確認

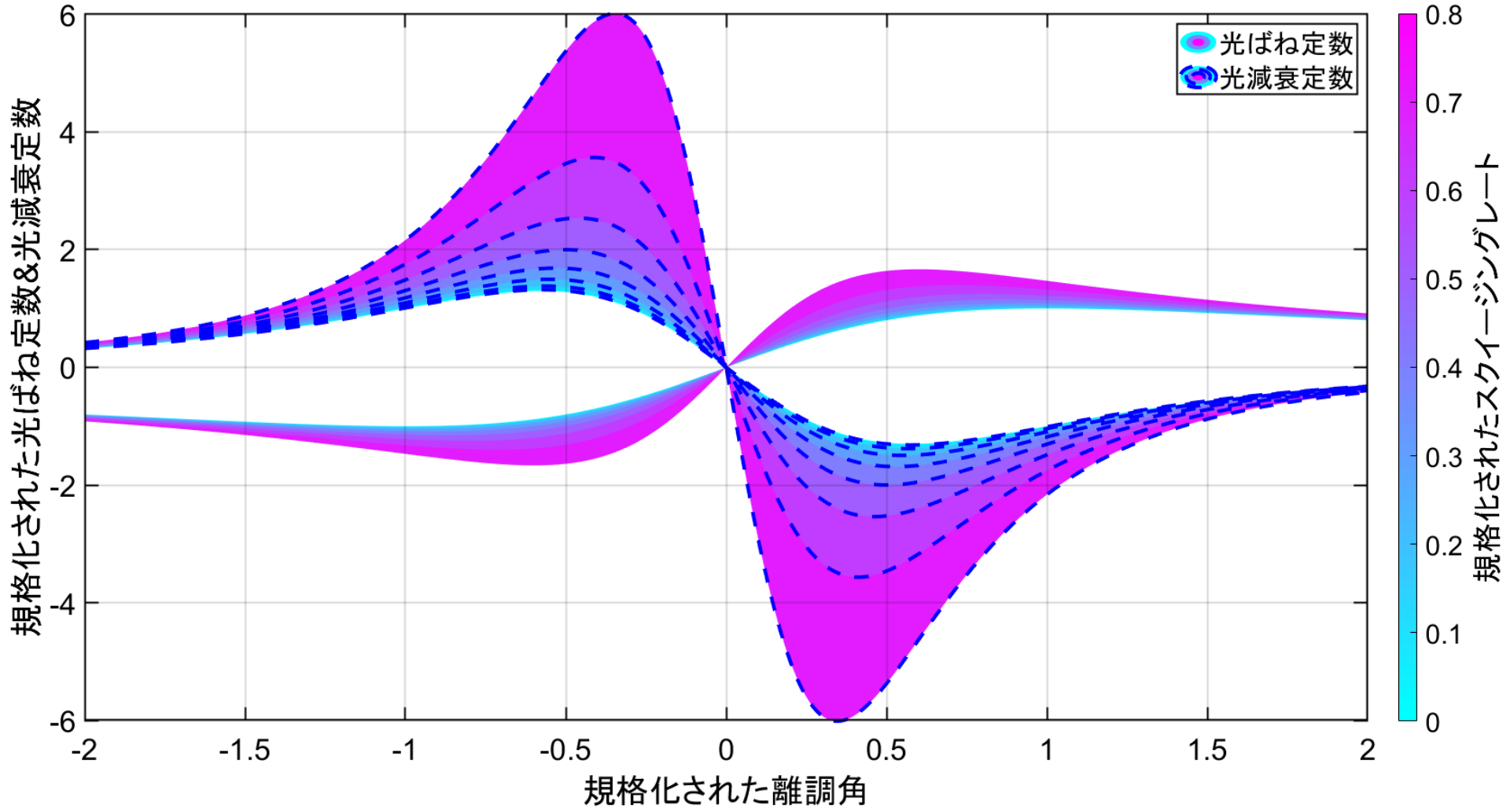
- 入射揺らぎと信号の増幅度を比較

STEP1

光ばね強化の確認

- 感度向上の必要が無く比較的容易

Signal Recycling共振器の光ばね



強いスクイージング⇒強い光ばね

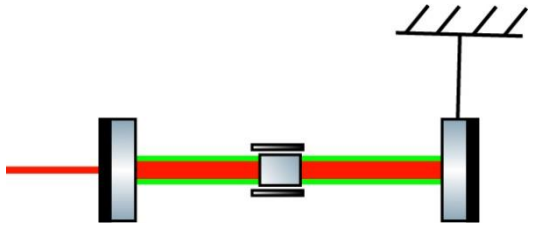
光ばねの比較

光ばねの強さ・・・

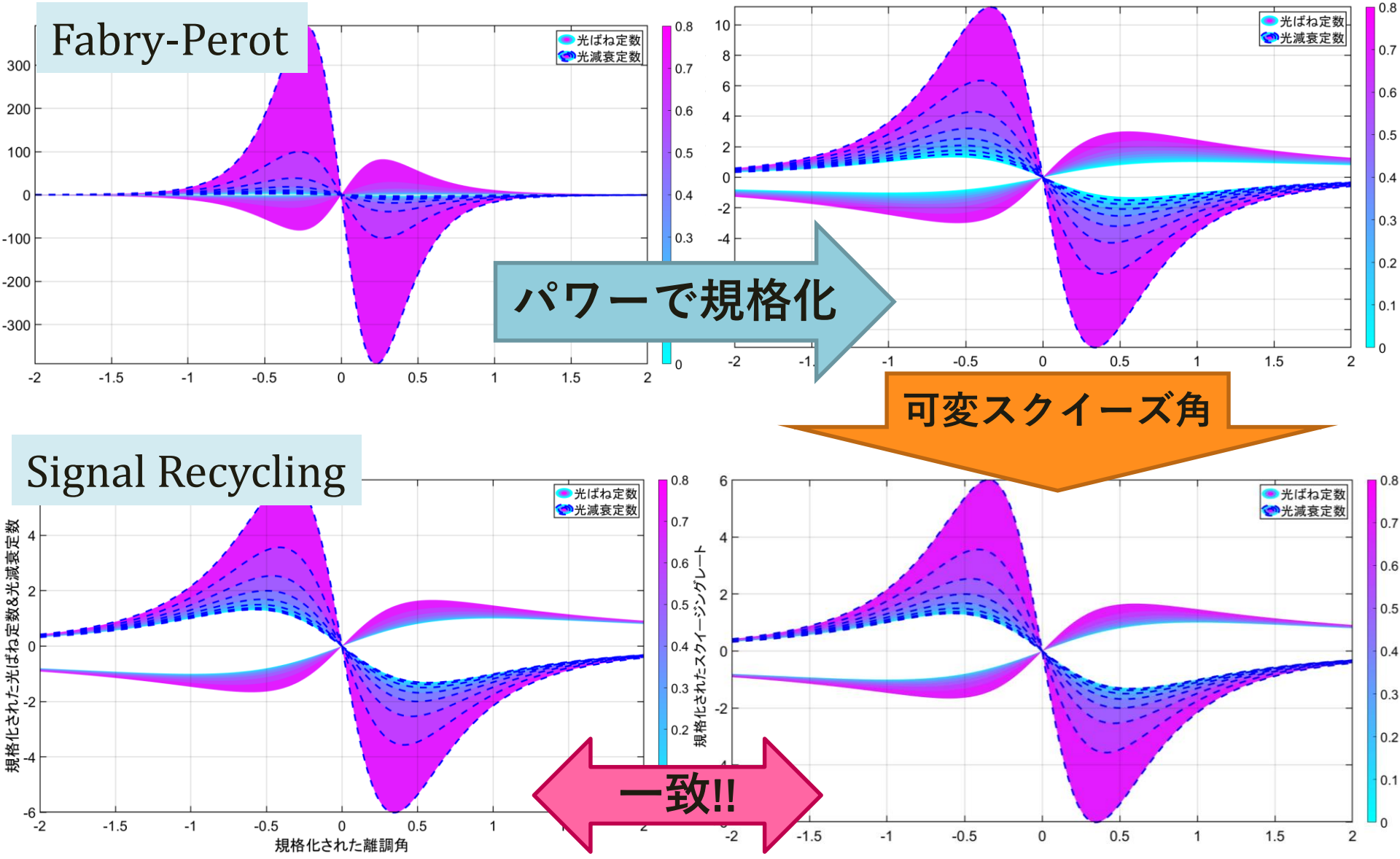
力÷変位＝共振器内レーザー強度×共振の鋭さ

	Signal Recycling共振器	Fabry-Perot共振器
共振器内強度	～1	～フィネス
共振の鋭さ	～フィネス	～フィネス
光ばねの強さ	フィネスの1乗	フィネスの2乗
共振ロス	コントラスト誤差	光学素子のロスのみ
質量スケール	**μgスケール**	**gスケール**
制御の自由度	**2自由度**	**1自由度**

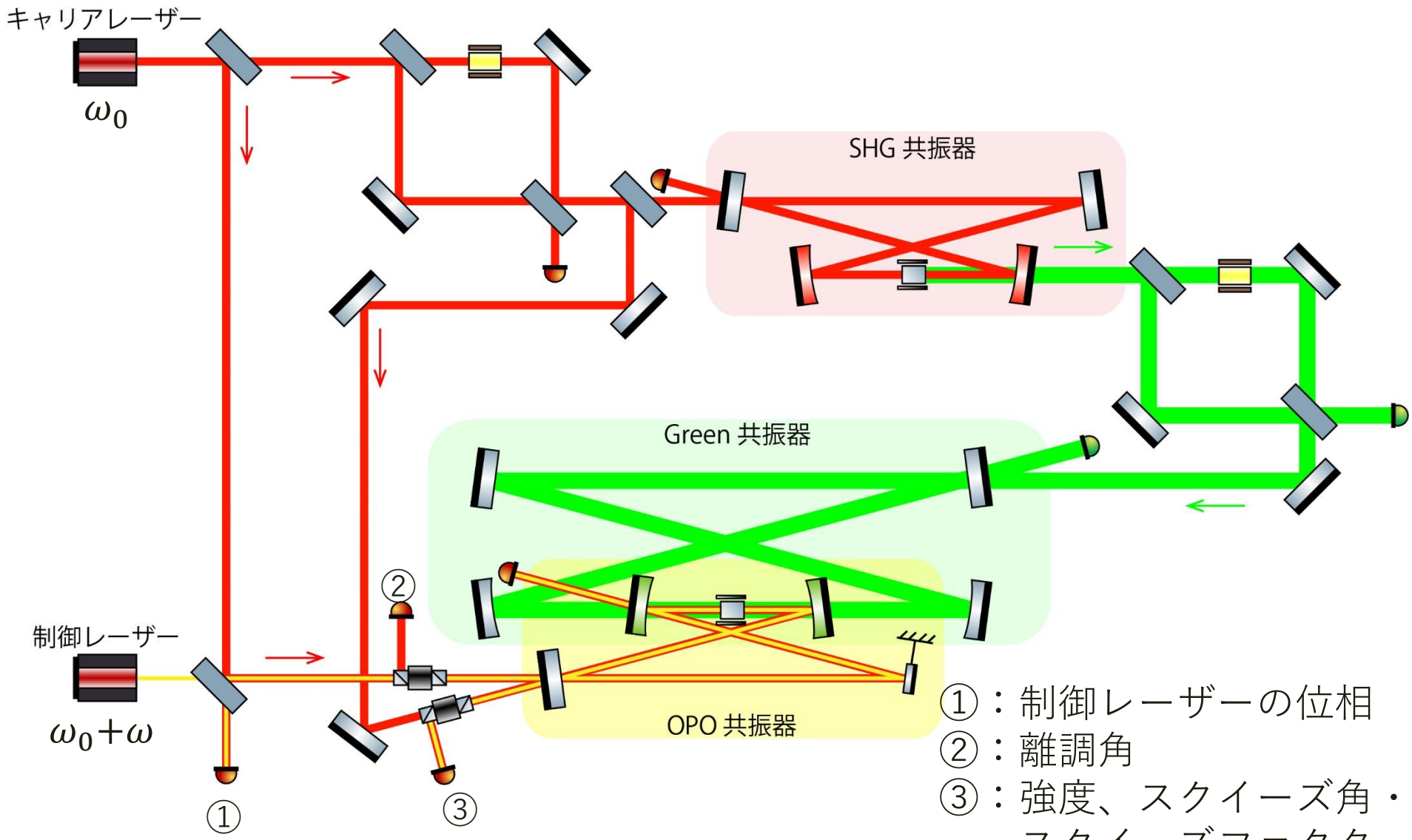
Fabry-Perot共振器で
実験できないのか？



共振器ごとの光ばねの振る舞い



実験系



①：制御レーザーの位相
②：離調角
③：強度、スクイーズ角・スクイーズファクター

実験の難点

- 光ばねは見えるか
  →共振器内強度～数Wで測定可
- 周波数測定精度は十分か
  →ベリリウム銅サスペンション
- 結晶のロスは少ないか
  →0.5%以下で要求値を満たす
- OPAとその制御はできるか
  →SRC実験でエラー信号取得に成功
- ポンプは十分か
  →シミュレーション上では十分

$\phi = 6\ \mathrm{mm}$
$m = 0.25\ \mathrm{g}$
$\omega_M = 2\pi \times 50\ \mathrm{Hz}$

まとめ

内部スクイージングとオプトメカニカル効果の相互作用を実証する

STEP3

量子雑音低減の観測

- 相当な技術革新が必要

STEP2

信号増幅効果の確認

- Signal Recycling共振器が必要

STEP1

光ばね強化の確認

- **Fabry-Perot共振器で可能！実験を準備中**