

DECIGO/DPF 用の 周波数安定化光源の開発 (3)

電気通信大学
レーザー新世代研究センター

中村 真大*、堀内 慎也、武者 満、中川 賢一、植田 憲一

2009年 9月 10日 於 日本物理学会 秋季大会

目的

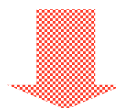
DECIGO / DPFの光源開発

DECIGO PathFinder (DPF)・・・DECIGO の技術実証機

DECIGO と DPFの要求性能

	DECIGO	DPF
光強度	10 W	100 mW
波長	532 nm (or 515 nm)	1064 nm (or 1030 nm)
強度安定度	$\delta I / I \leq 10^{-8} / \sqrt{\text{Hz}}$	$\delta I / I \leq 10^{-8} / \sqrt{\text{Hz}}$
周波数安定度	$\delta f \leq 0.5 \text{ Hz} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1 \text{ Hz}$ @532 nm	$\delta f \leq 1 \text{ Hz} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1 \text{ Hz}$ @1064 nm

DECIGO と DPF の強度・周波数安定度の要求は同レベル



強度・周波数安定度の要求達成を目指す

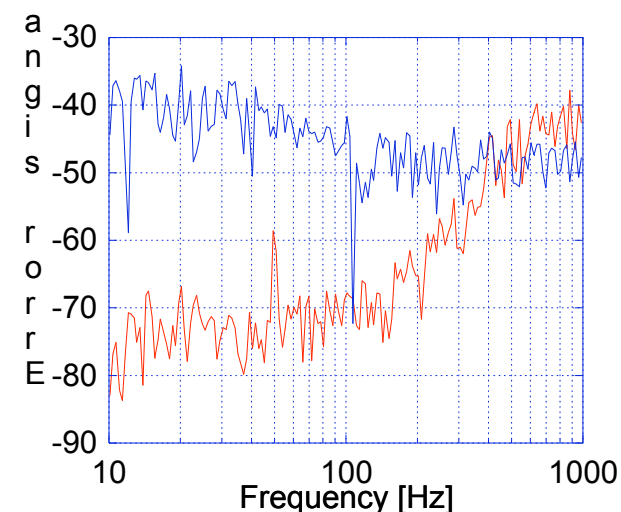
前回の発表 (1)

1. DPF用光源として

ヨウ素の飽和吸収線によるYb:NPROの周波数安定化

- ・ **ファイバ結合導波路型PPLNで、安定・高出力な第2高調波発生**
⇒ 第2高調波の強度が 10 mW から 20 mWへ向上
- ・ **I_2 -光の相互作用長を40 cm から200 cmに延長**
⇒ 周波数弁別信号のS/N向上
- ・ **I_2 -光の相互作用時間を延ばすためセル中ビーム径を拡大**
⇒ 飽和吸収線の飛行時間拡がりを抑制
- ・ **偏光調整により光のフレネル反射を抑制**
⇒ 光散乱雑音が減り信号のS/Nが向上

これらの改善により弁別信号のS/Nが向上
その信号でYb:NPROを周波数安定化



前回の発表（ 2 ）

2. DECIGO用光源の検証として* ファブリ・ペロー共振器による Nd:NPROの周波数安定化を行った

- ・ 機械振動が周波数安定度へ与える影響
（1 Hz/rtHz以下の実現には加速度が 10^{-5} m/s²以下）
- ・ 共振器の温度ゆらぎが周波数安定度に与える影響
（1 Hz/rtHz以下の実現には温度ゆらぎが 3 μ K以下）

* DECIGOの安定化光源は、
光共振器と飽和吸収分光法のどちらを利用するか検討中である

今回の発表

- Yb:NPRO の強度安定化を行い、
強度安定度と周波数安定度を向上させた
- 周波数安定化に最適な
ヨウ素の飽和吸収線を特定した

レーザー強度安定化

観測帯域 (1Hz帯) での強度安定化

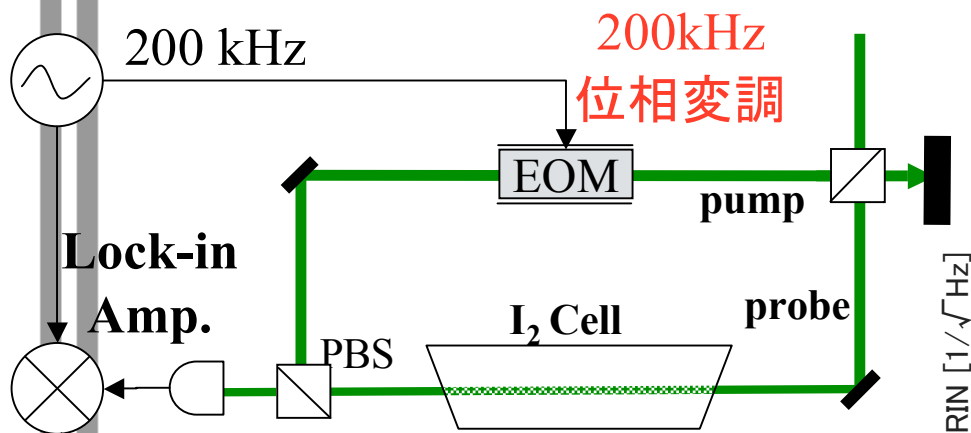
… 重力波検出器の感度向上

変調帯域 (200 kHz帯) での強度安定化

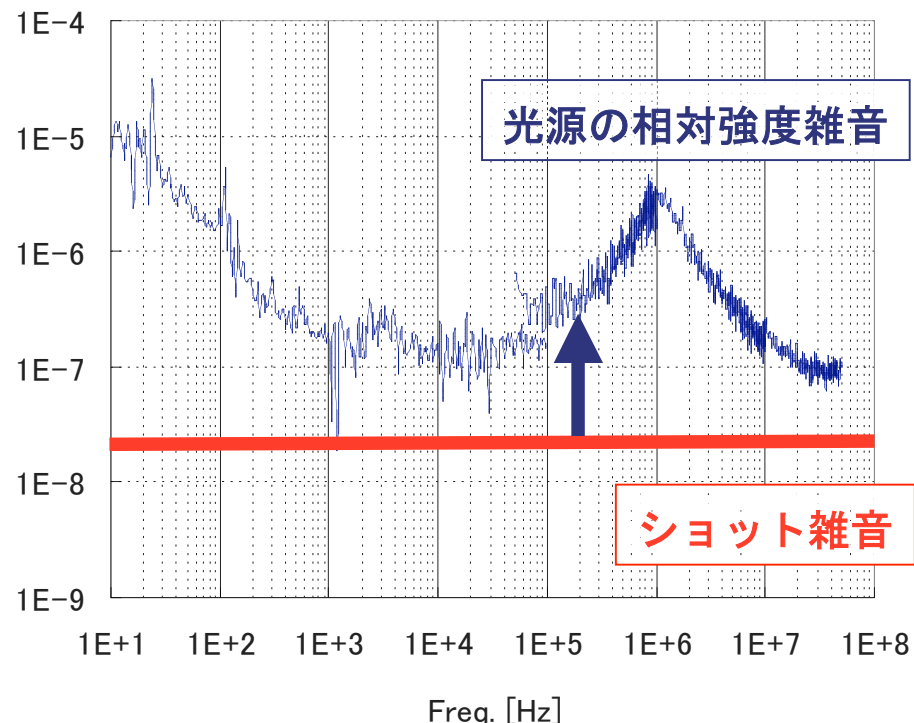
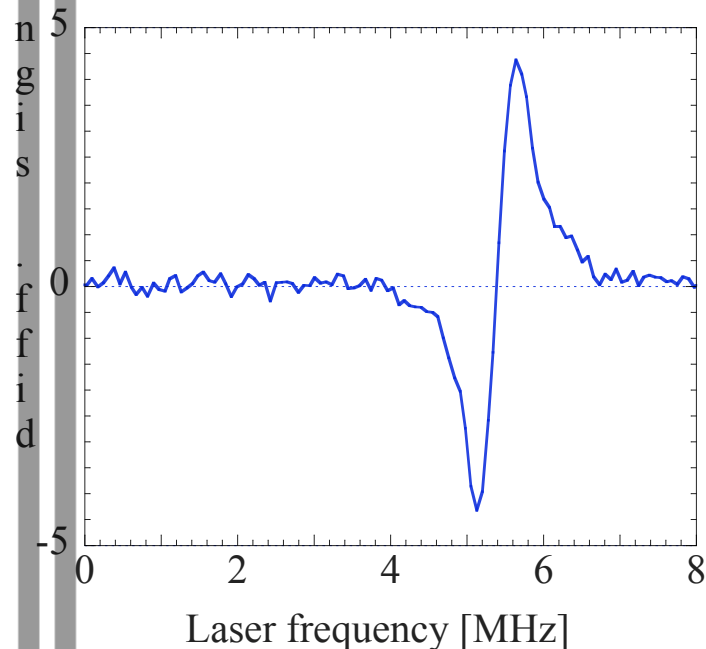
… レーザー周波数安定度の向上

なぜ 200 kHz の強度雑音が
周波数雑音と結合するのか？

強度雑音と周波数雑音の結合



周波数安定化系



光源の相対強度雑音スペクトル

変調帯域200 kHzの強度雑音は
光検出器のショット雑音より大きい
⇒ 周波数雑音に強度雑音が結合している

強度安定化の4方式

- ・ 光源の励起用LDの電流変調

原理的には制御帯域が広いが、
光源の制約で100 kHz以上は対応できない

- ・ EOM (電気光学変調器)

応答が速く、200 kHz帯の安定化も可能
ただし動作に高いDC電圧が必要

- ・ AOM (音響光学変調器)

応答が遅く、200 kHz帯の安定化はできない

- ・ 同相雑音除去

信号から電氣的に雑音を除去
feed forwardであり利得が1

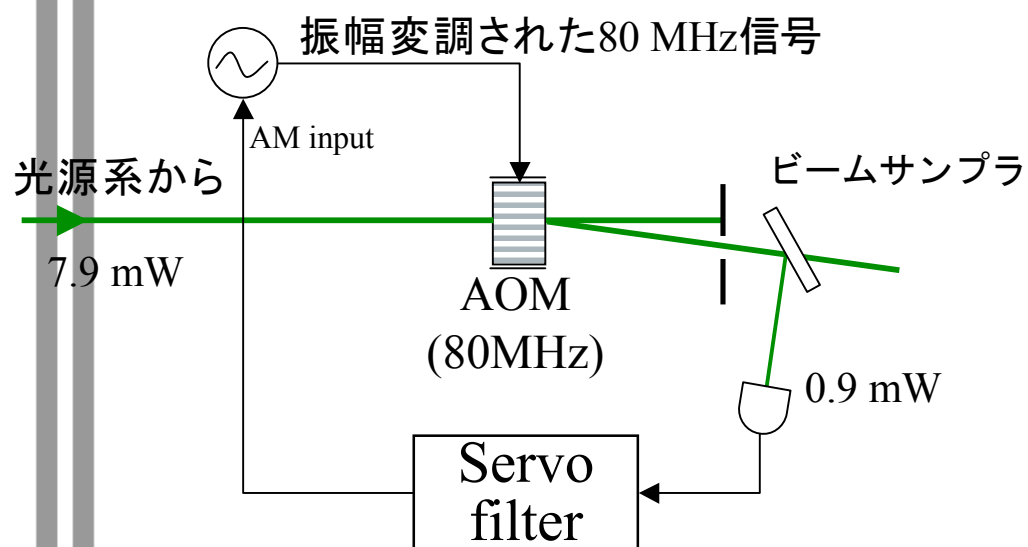
今回はこの2方式について報告を行う

観測帯域 1 Hz の強度安定化 (AOM)

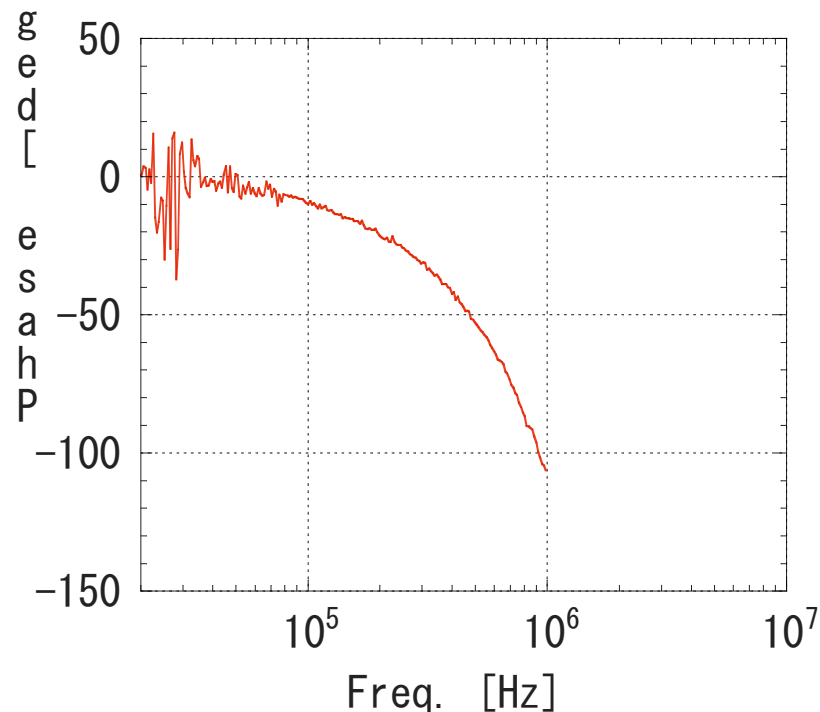
AOM とは、特定周波数の音響振動によって光を散乱させる素子

AOM を利用した強度変調...

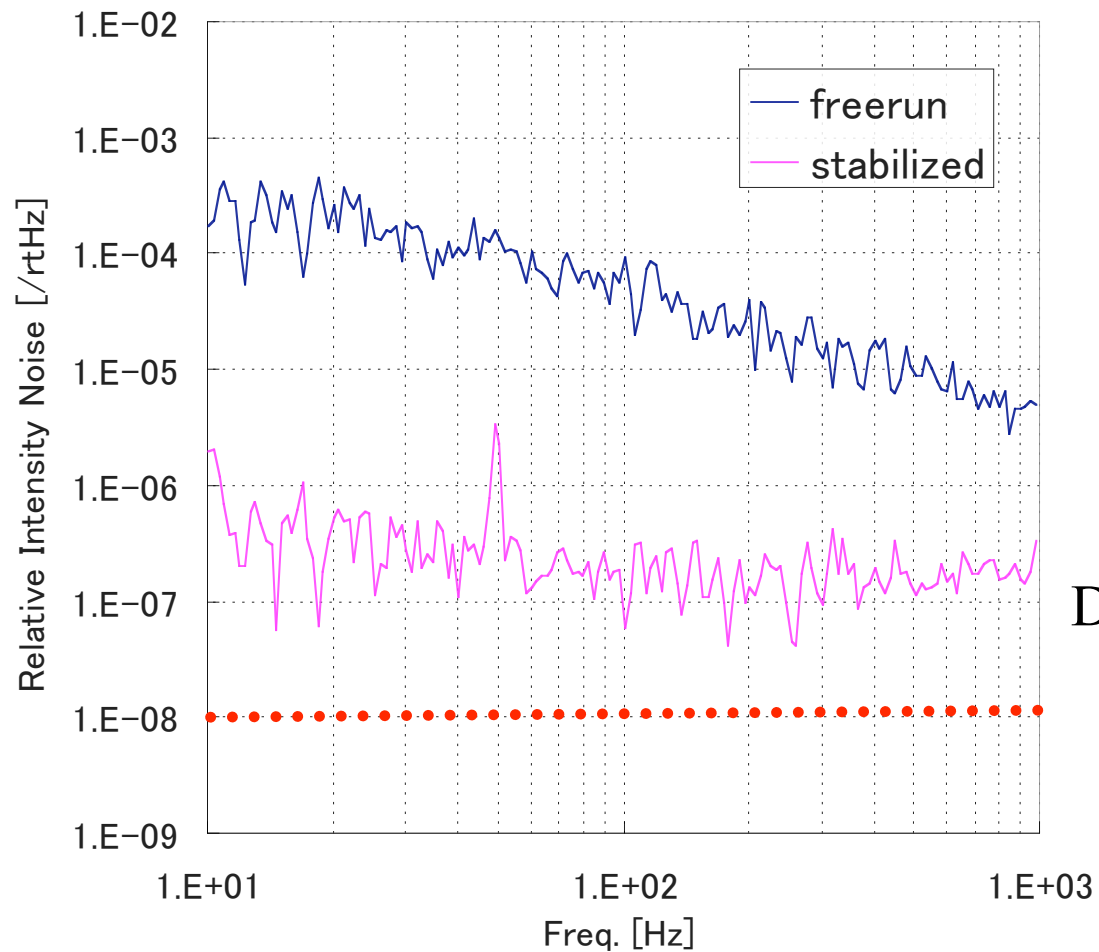
AOM 駆動信号 (80 MHz 正弦波) を強度変調し、AOM 回折効率を変調



AOM の位相-周波数特性



観測帯域 1 Hzの強度安定化 (AOM)

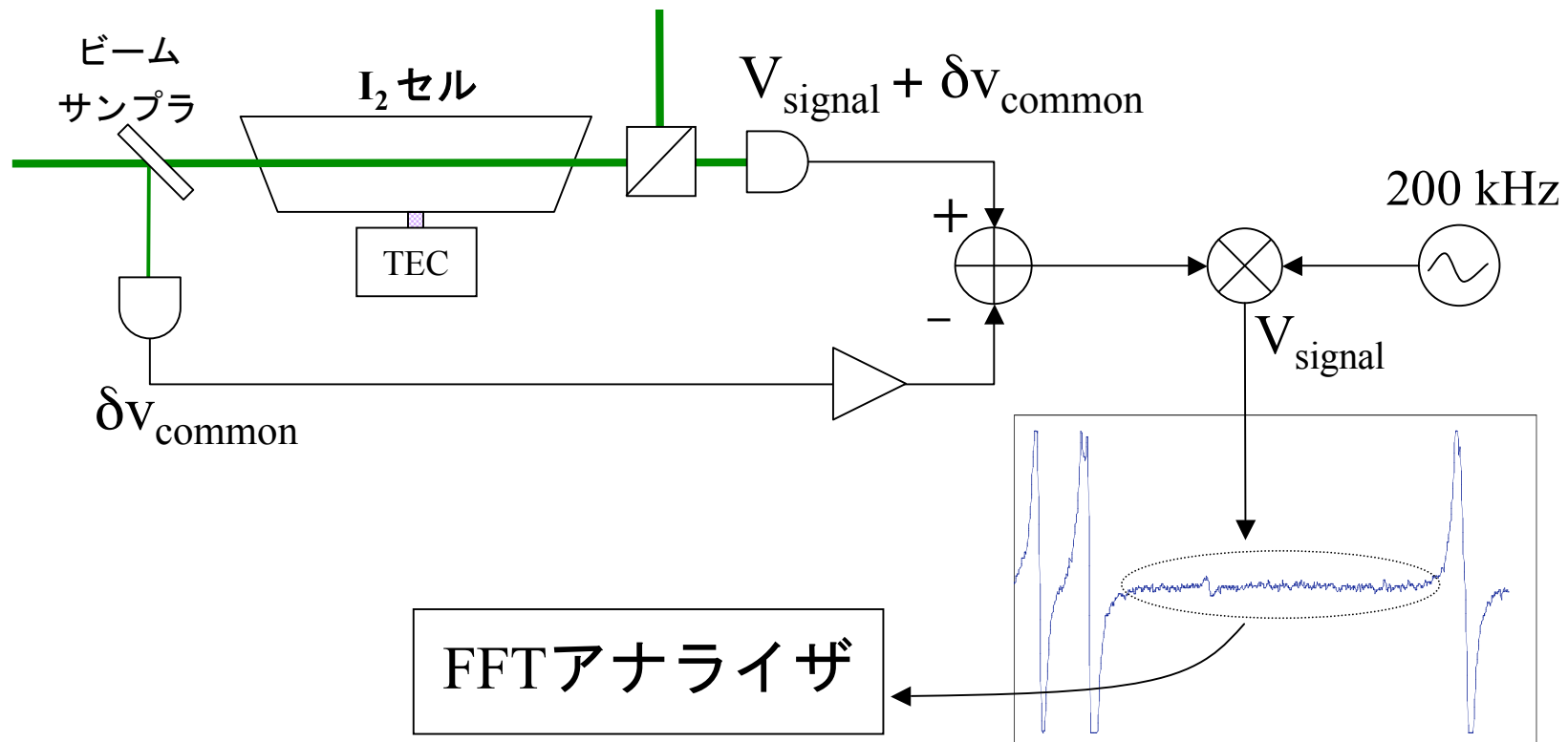


DECIGO要求値

$$\frac{\ddot{a}I}{I} = 10^{-8}$$

1Hz帯での強度安定化を行った (unity gain 10 kHz)
低域ゲインを増せば要求達成が可能

変調帯域 200 kHzの強度安定化(同相雑音除去)

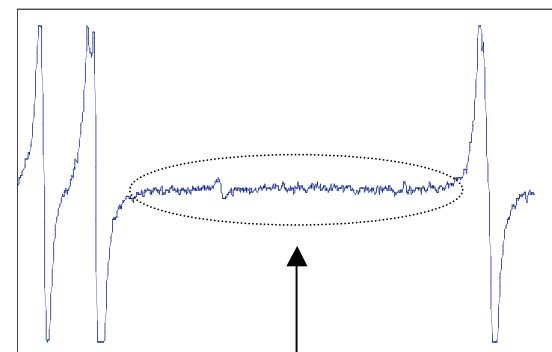


1. 飽和吸収信号の光源強度雑音成分を、減算回路で除去
2. 弁別信号のS/Nが向上し、周波数安定度も向上する

$$\text{周波数雑音限界 } \delta f = \frac{df}{dV} \delta V$$

変調帯域 200 kHzの強度安定化(同相雑音除去)

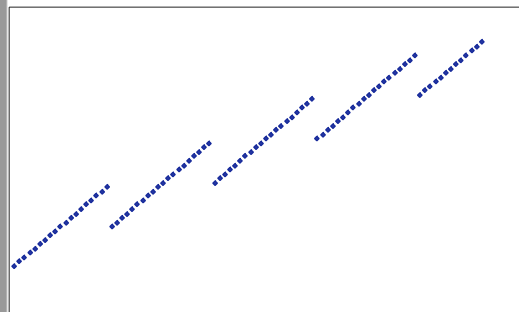
復調後の雑音パワースペクトル
(周波数安定度と比例)



弁別信号に重畳した
雑音のスペクトル

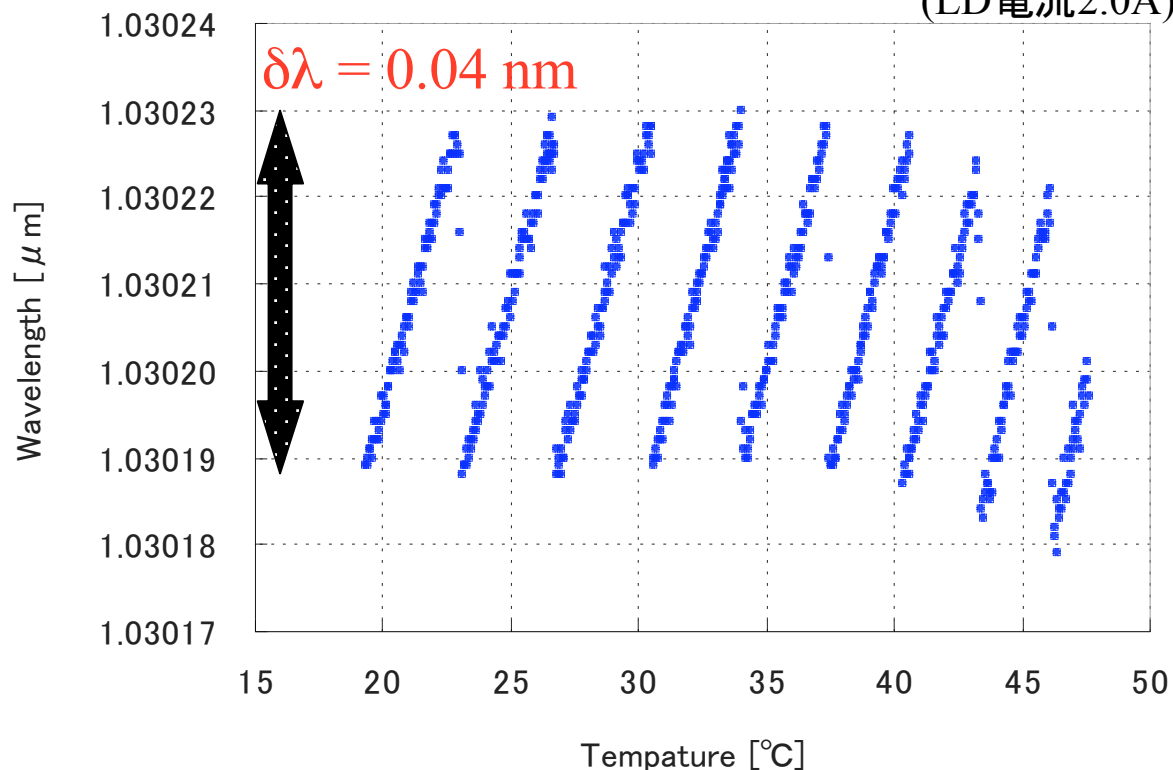
光の同相雑音を除去し、周波数安定度が向上した

飽和吸収線の評価 (光源の波長掃引特性)



理論による
波長掃引特性

Yb:NPRO結晶温度による波長掃引
(LD電流2.0A)



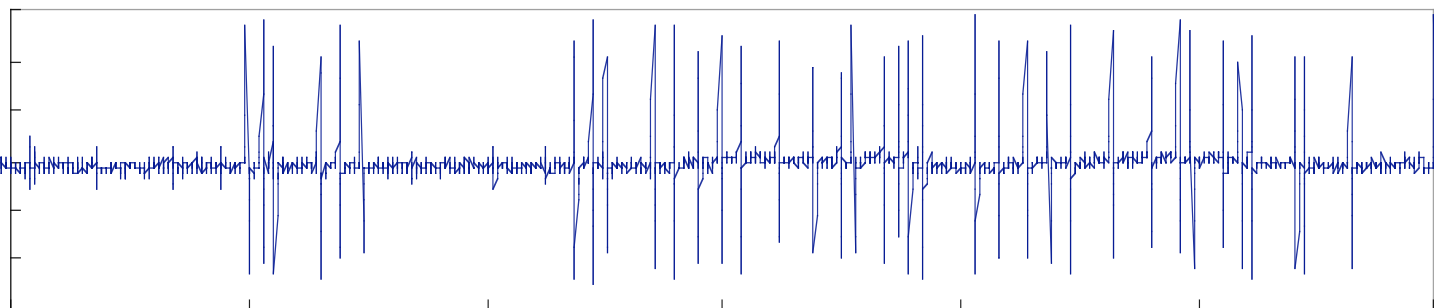
実測値はモードホップ後に、同じ波長範囲へ戻ってしまう
つまり波長の選択幅が小さく、吸収線の自由度が少ない
(我々のNPRO固有の問題?)

飽和吸収線の評価

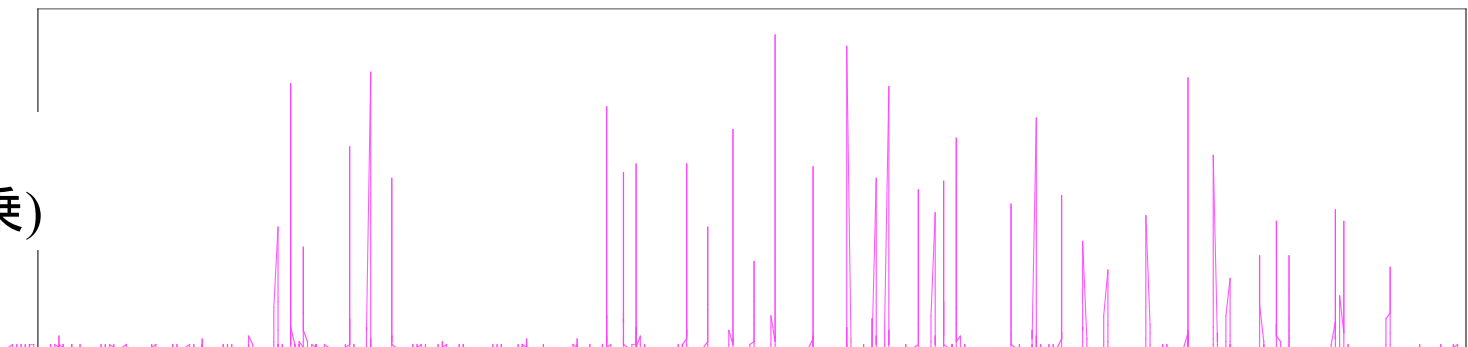
周波数安定化には**鋭い飽和吸収線**が有効

微分値が最大の信号 = 周波数安定化に最適

飽和吸収線
(1次微分)



飽和吸収線
(2次微分の2乗)



波長515.10085 nm

最適な吸収線

まとめ

- ・ 観測帯域 1HzでAOM強度安定化を確認
- ・ 変調帯域200kHzで同相雑音除去により
周波数安定度が向上することを確認
- ・ 周波数安定化に最適な吸収線を特定

今後の予定

- ・ 強度安定化のサーボを最適化する
- ・ 機械的信頼性の高い可搬式光源を構築中
通総研のモードロック レーザーと周波数安定度を評価する