

# ALS用ファイバーの位相雑音測定

榎本 雄太郎

# 内容

- 測定の目的・目標
- 測定系の構成
  - 測定法
  - 光学系
  - 制御系
  - ノイズの見積もり

# 測定の目的・目標

= 測定の目的 =

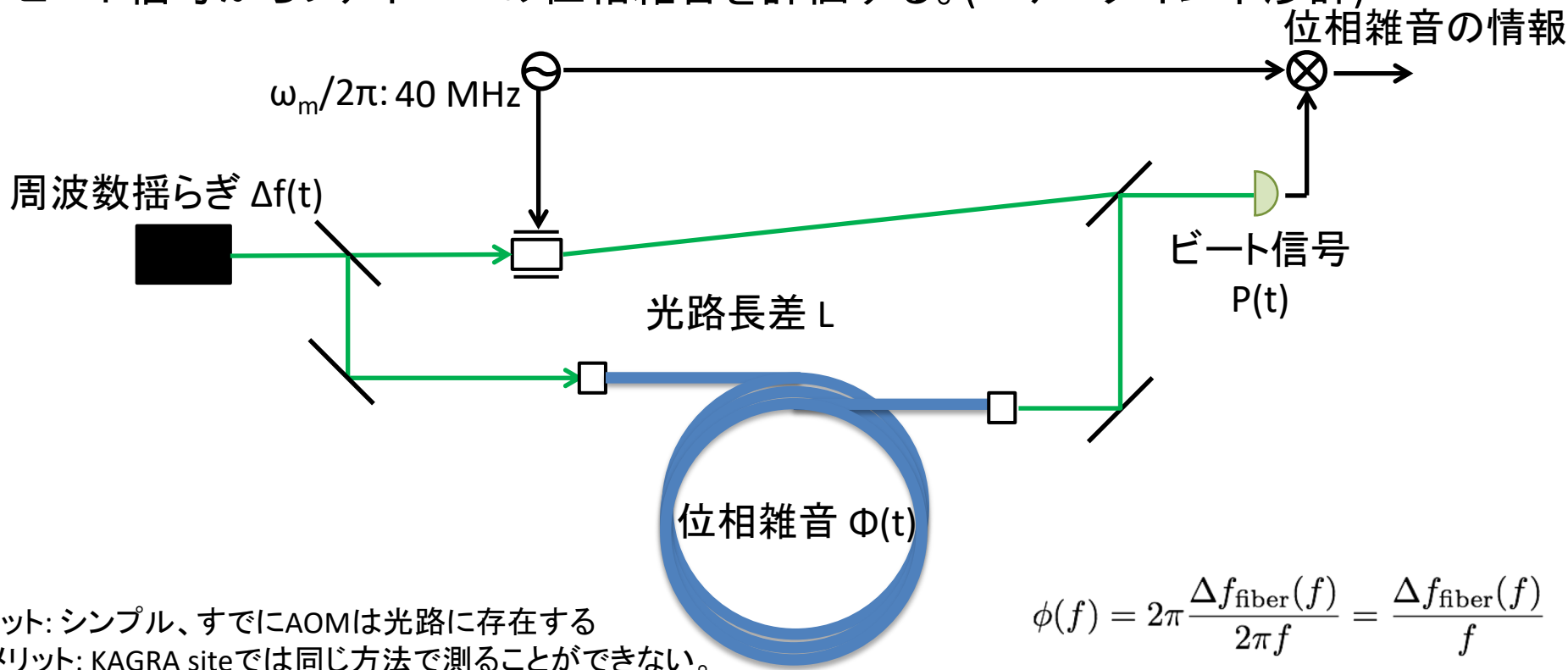
- グリーンの50 m ファイバーの位相 (周波数) 雑音は、最終的にそのままALS (あるいはグリーンロック)のセンシングノイズになる。
- テスト用5mファイバーを用いてこれを評価することで(@富山大)、ALSのノイズバジェットに組み込み、ALSの到達可能な安定度 (周波数RMS) を評価する。

= 測定の目標 =

- **0.1 Hz/sqrt(Hz)** より良い精度で測定する/上限値をつける (5 m では**0.03 Hz/sqrt(Hz)**相当)。
  - ALSの目標安定度は 0.8 Hz rms、ALSのRMSに効くのは1 Hz以下の帯域なので、0.1 Hz以下ということがわかれば、RMSを汚さないことがわかる。
- 参考: LIGOの4 km の IR用ファイバーは、1-10 Hz/sqrt(Hz) (LIGO-T0900376-v1) 単純に長さでスケールさせると、50mファイバーは 0.1 - 1 Hz/sqrt(Hz)か?

# 測定法

-- AOMで周波数シフトした光と、ファイバーを通った光を干渉させて、ビート信号からファイバーの位相雑音を評価する。(ヘテロダイン干渉計)



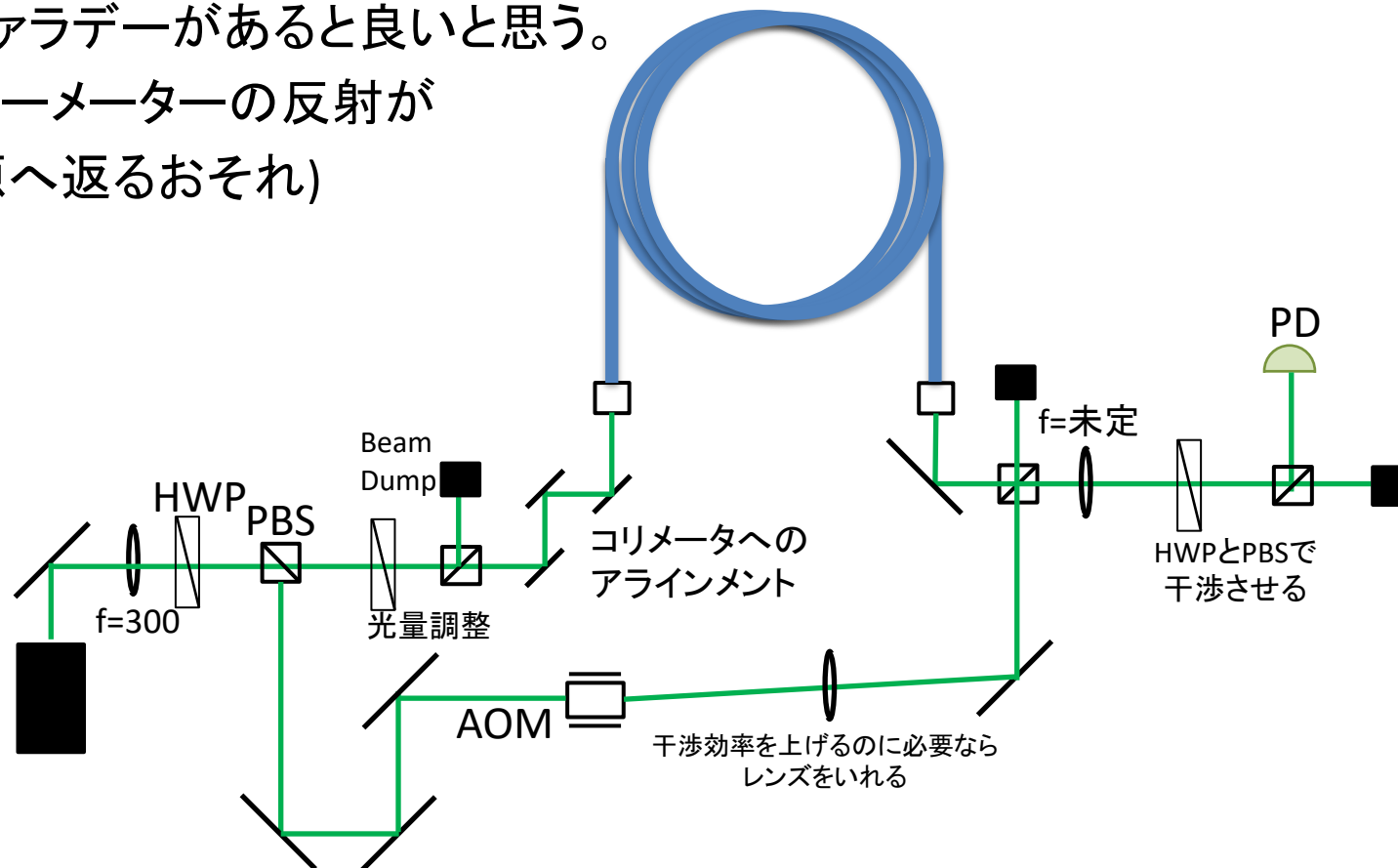
メリット: シンプル、すでにAOMは光路に存在する  
 デメリット: KAGRA siteでは同じ方法で測ることができない。  
 (AOMがダブルパス、ファイバーを往復させる必要性)

$$\phi(f) = 2\pi \frac{\Delta f_{\text{fiber}}(f)}{2\pi f} = \frac{\Delta f_{\text{fiber}}(f)}{f}$$

$$P(t) = P_0 \left[ \cos \omega_m t + \sin \omega_m t \left( \phi(t) + \frac{2\pi L}{c} \Delta f(t) \right) \right]$$

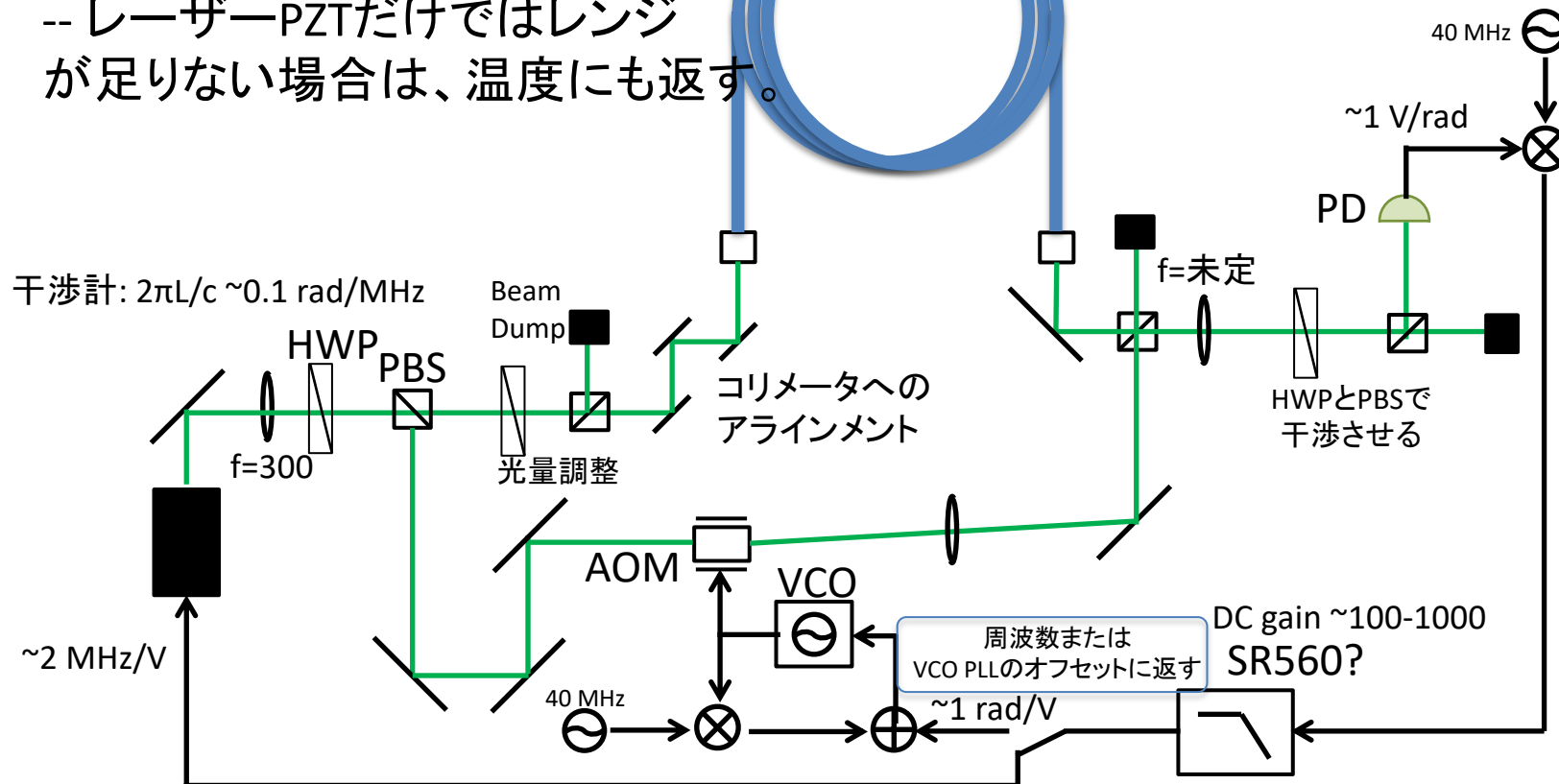
# 光学系

- PBSが4つ、HWPが3つ必要。
- BSがあれば、PBS2つ → BS1つに置き換えられる。
- ファラデーがあると良いと思う。  
(コリメーターの反射が光源へ返るおそれ)



# 制御系

- G&H製のVCO (AOMドライバー)は、 $0.3-0.9 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度のノイズレベルなので (klog 3767)、PLLで安定化させる必要あり。
- レーザー周波数 または VCOのPLLのオフセットにフィードバックする。どちらにしても1次のLPFでよいはず。
- レーザーPZTだけではレンジが足りない場合は、温度にも返す。



# ノイズの見積もり

-- PDやSR560の雑音:  $\sim < 1e-6 \text{ V}/\sqrt{\text{Hz}} \rightarrow \sim 1e-6 \text{ rad}/\sqrt{\text{Hz}} \rightarrow \sim 1e-6 * (f/1 \text{ Hz}) \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$

-- 周波数雑音:  $100 * (100/f) \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}} \rightarrow \sim 1e-3 * (1\text{Hz}/f) \text{ rad}/\sqrt{\text{Hz}} \rightarrow \sim 1e-3 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$

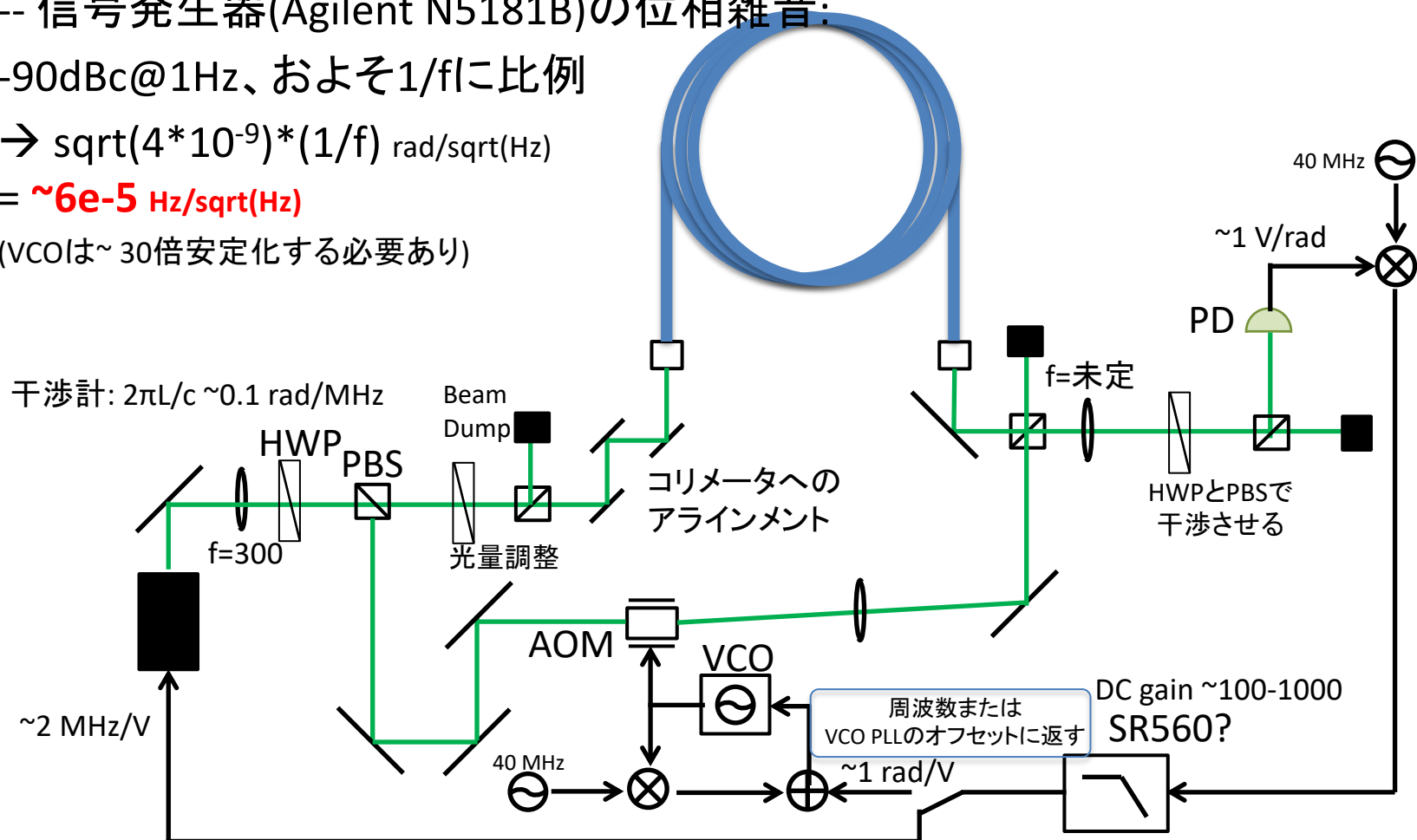
-- 信号発生器(Agilent N5181B)の位相雑音:

-90dBc@1Hz、およそ $1/f$ に比例

$\rightarrow \sqrt{4 * 10^{-9}} * (1/f) \text{ rad}/\sqrt{\text{Hz}}$

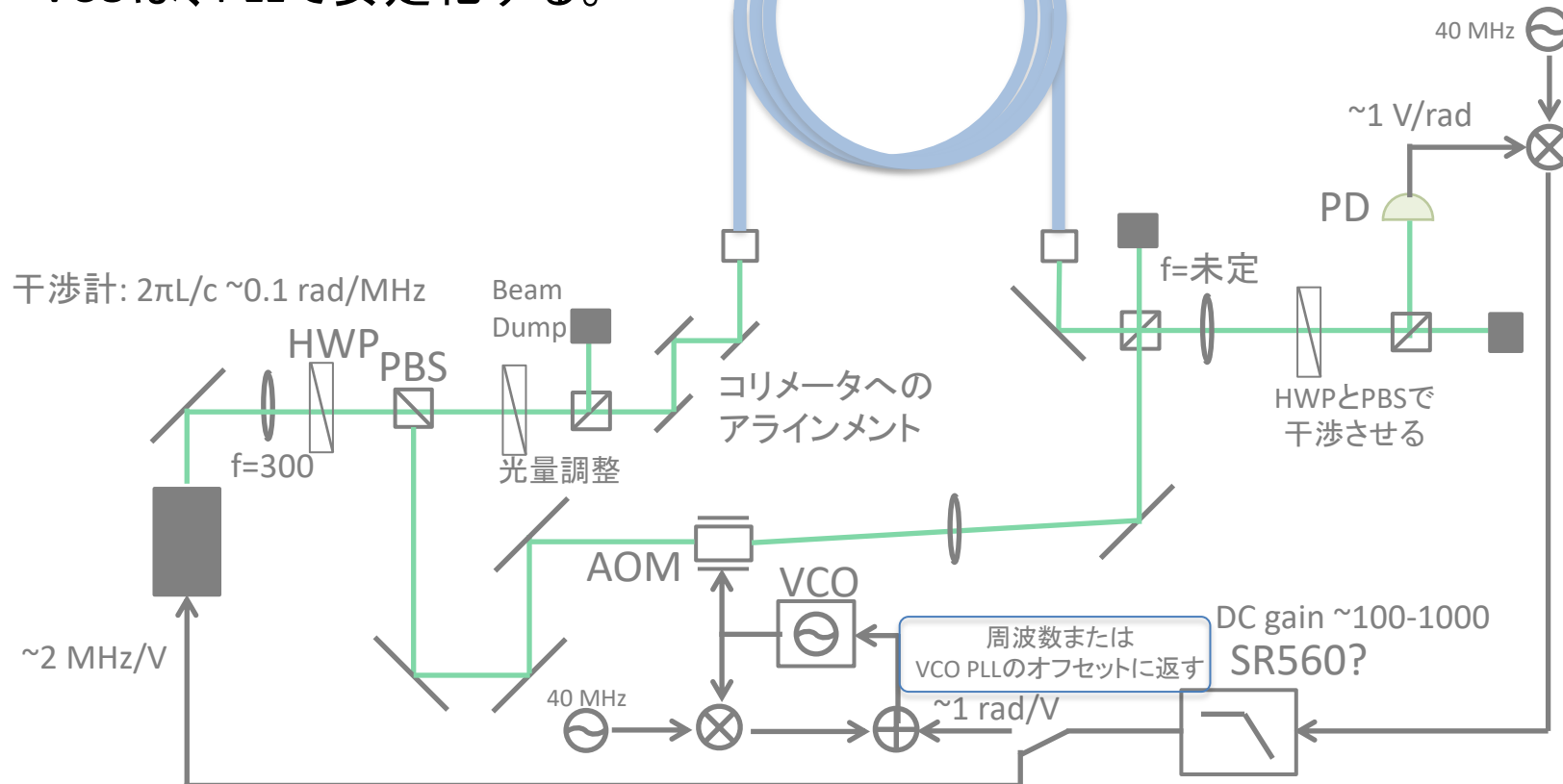
$= \sim 6e-5 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$

(VCOは $\sim 30$ 倍安定化する必要あり)



# まとめ

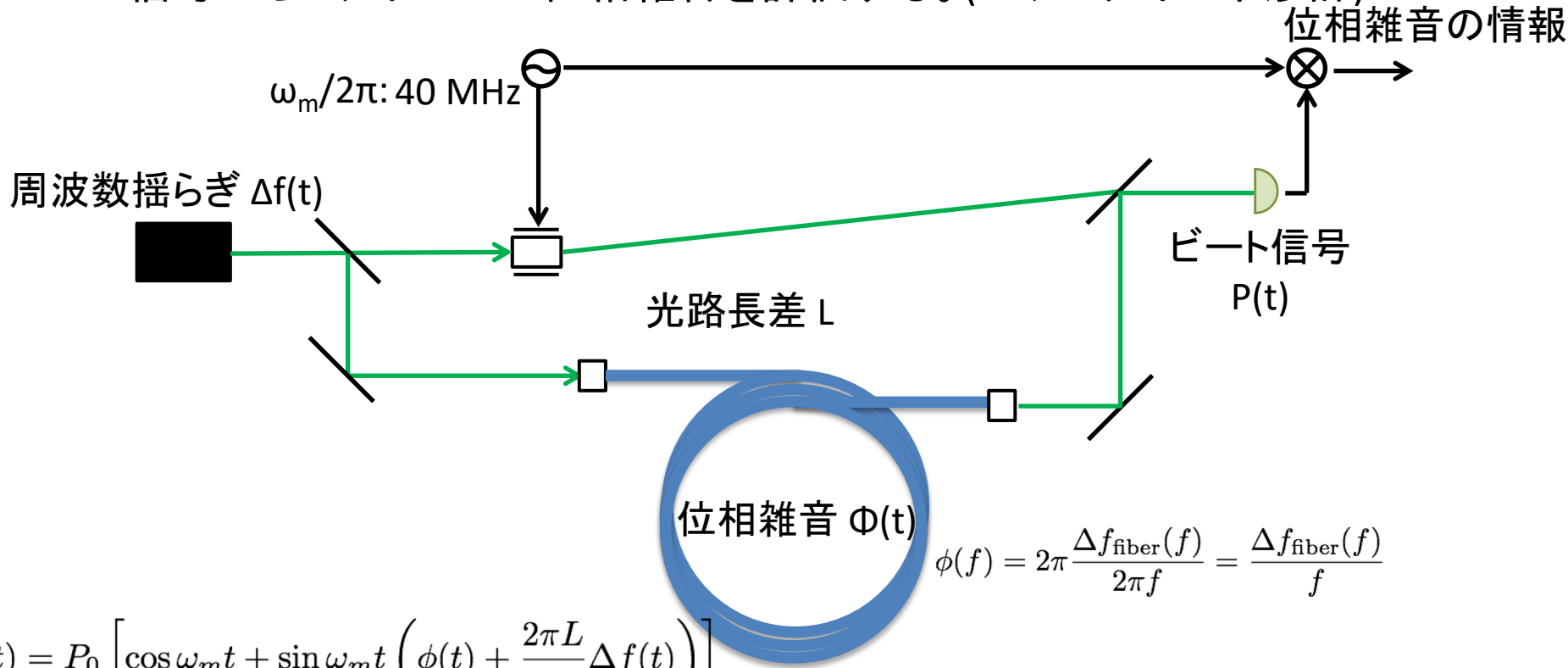
- ヘテロダイン干渉計でグリーン用ファイバーの位相 (周波数)雑音を評価する。
- 目標感度は、(5 mのファイバーで) **30 mHz/sqrt(Hz)**
- ビート信号を復調したのち、レーザー周波数(またはPLLオフセット)に返す。
- 一番大きな雑音はレーザー周波数雑音 **~1 mHz/sqrt(Hz)** と予想される。
- VCOは、PLLで安定化する。





# ヘテロダインの場合

-- AOMで周波数シフトした光と、ファイバーを通った光を干渉させて、ビート信号からファイバーの位相雑音を評価する。(ヘテロダイン干渉計)



$$\phi(f) = 2\pi \frac{\Delta f_{\text{fiber}}(f)}{2\pi f} = \frac{\Delta f_{\text{fiber}}(f)}{f}$$

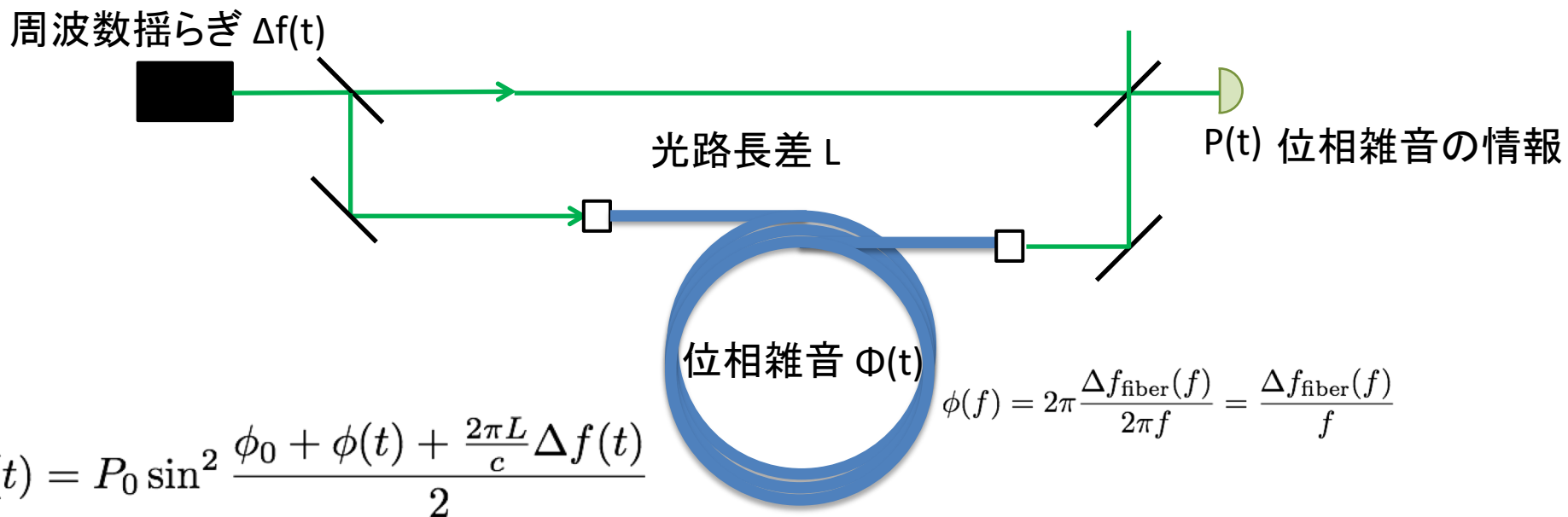
$$P(t) = P_0 \left[ \cos \omega_m t + \sin \omega_m t \left( \phi(t) + \frac{2\pi L}{c} \Delta f(t) \right) \right]$$

$\sin \omega_m t$  で復調 =>

$$V = V_0 \left( \phi(t) + \frac{2\pi L}{c} \Delta f(t) \right) \text{ エラー信号の表式}$$

# ホモダインの場合

-- はじめは、シンプルなMach-Zehnderで測定してみる予定。



ミッドフリンジ =>  $P(t) = \frac{P_0}{2} \left( \phi(t) + \frac{2\pi L}{c} \Delta f(t) \right)$  エラー信号の表式