

# bKAGRA phase2 に向けた入射光学系の開発(II)

---

富山大学

中野雅之 on behalf of the KAGRA  
collaboration



# 概要

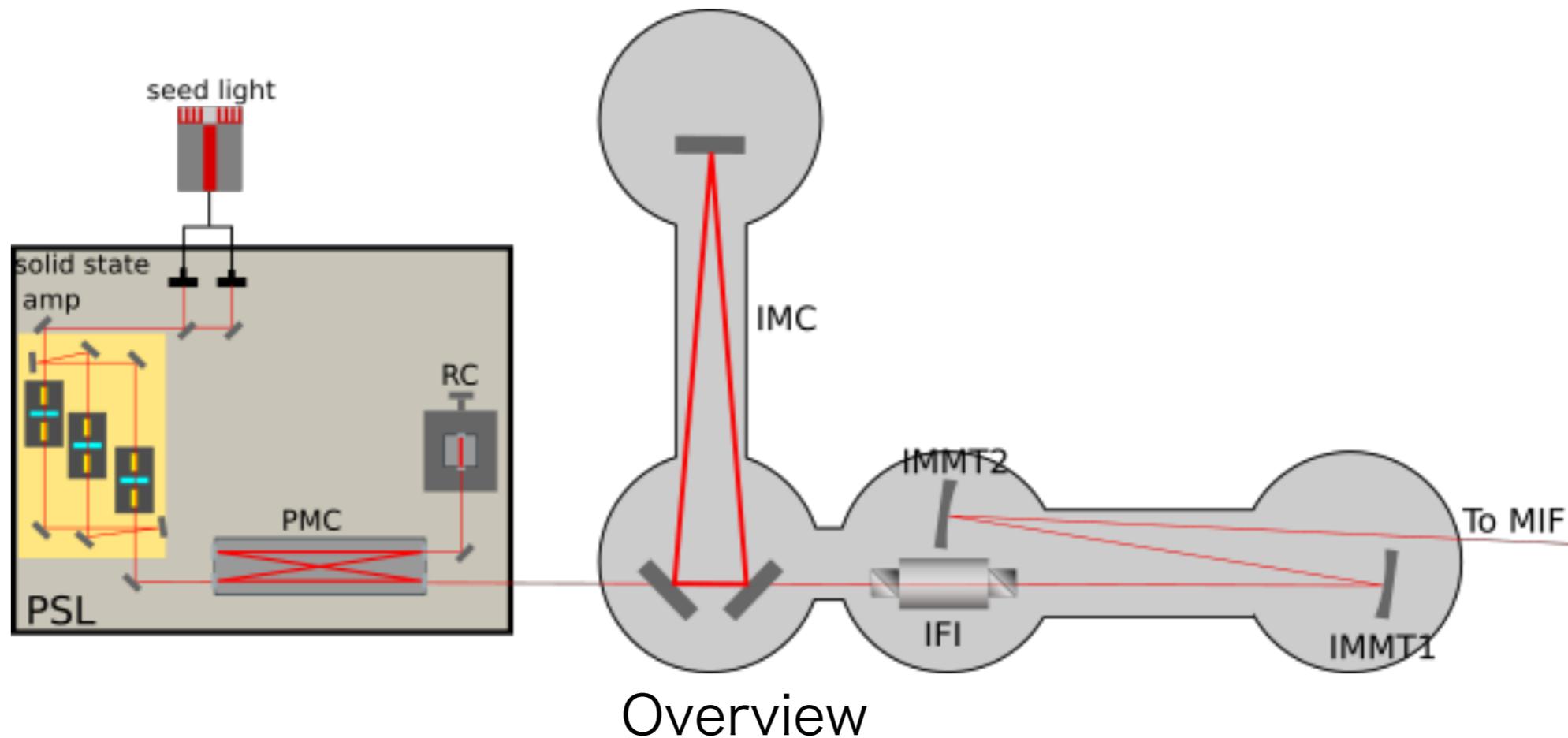


# KAGRA入射光学系の役割

## 入射光学系の役割

主干涉計に安定化された高品質の光を届ける。

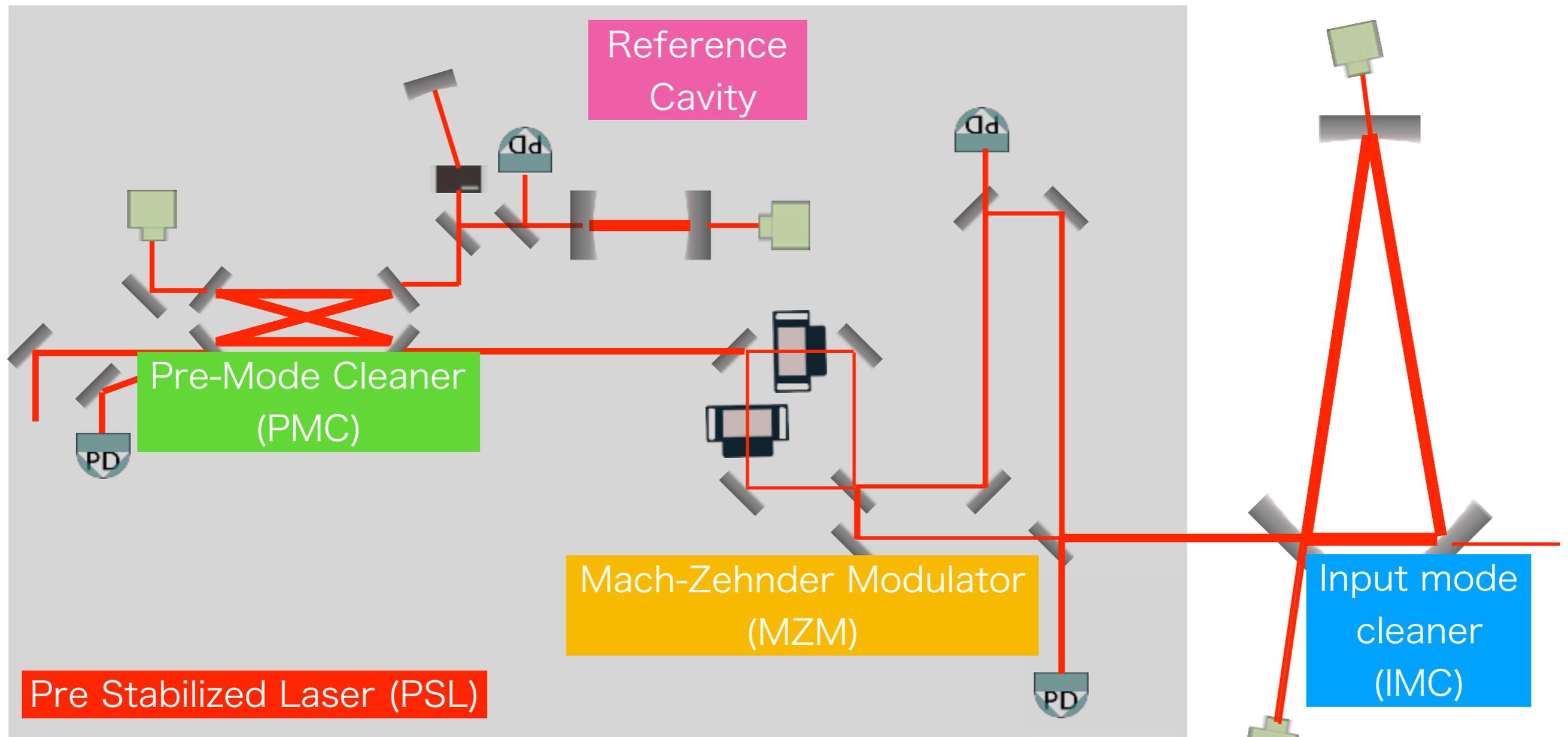
- ✓ 周波数安定化
- ✓ 強度安定化
- ✓ ビームジッター(ビームの揺れ) 低減
- ✓ 空間モード整形



# 入射光学系における安定化システム

- 周波数安定化
  - ✓ 光共振器を周波数参照機として使い安定化する
- 強度安定化
  - ✓ 光の強度をフォトディテクタ(PD)を使い測定、これを強度アクチュエーターにフィードバックすることで安定化する
  - ✓ 光共振器を使つてのパッシブな安定化も行われる
- ビームジッター低減
  - ✓ 光共振器が持つパッシブなビームジッターフィルタリングを利用して低減される
- 空間モード整形
  - ✓ 光共振器が持つモード選択性を使い整形する。

# Overview of the input optics





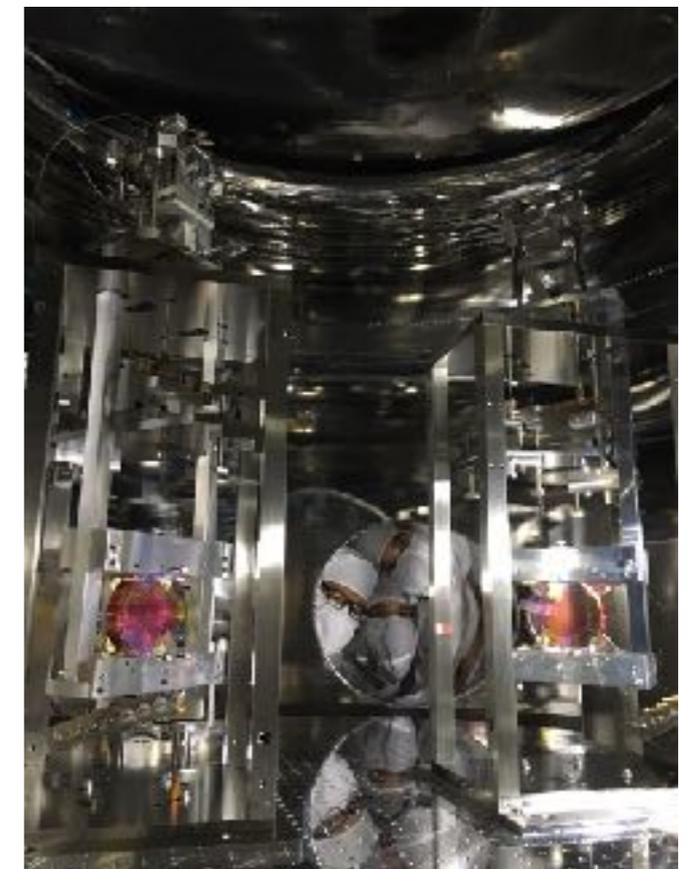
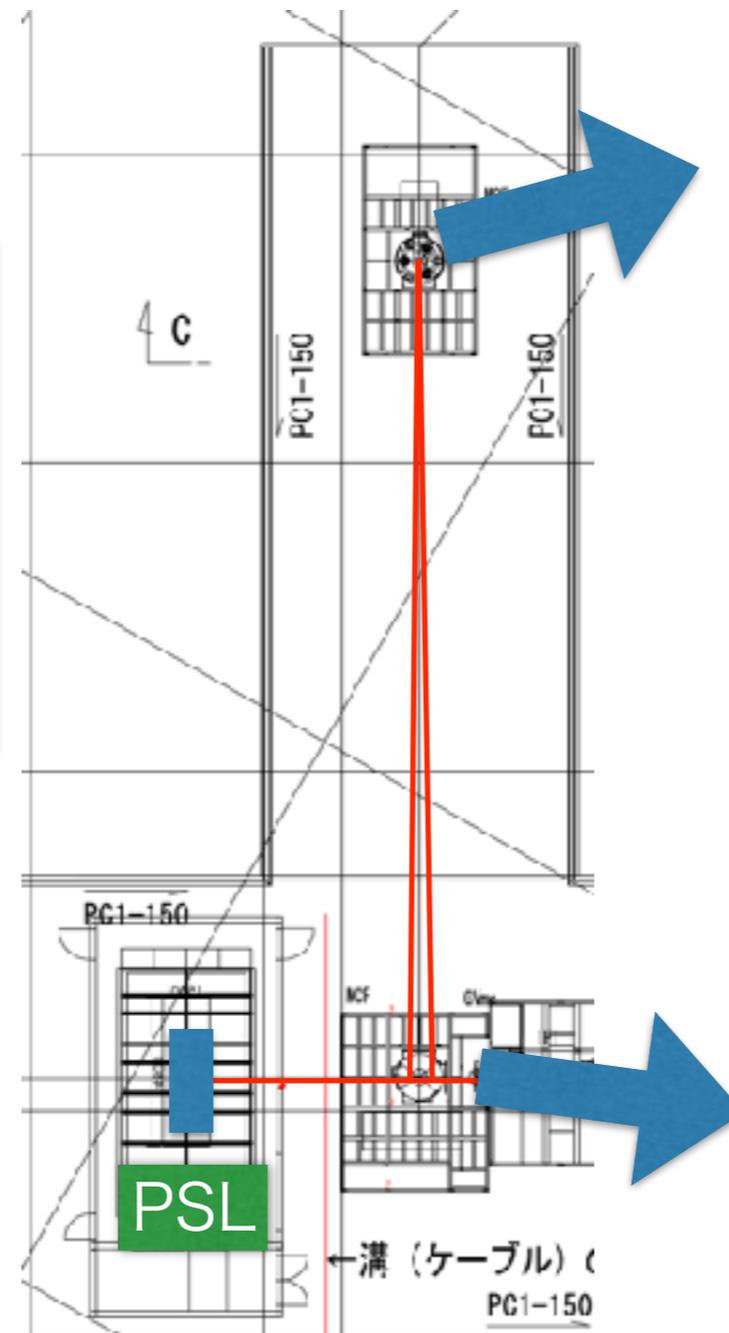
MZM

FSS

PMC

# Input Mode Cleaner (IMC)

- ✓ 共振器長さ : 26.6 m
- ✓ Finesse : 540
- ✓ FSR : 5.62 MHz
- ✓ Cavity pole : 6 kHz



# 概要

- PSLおよびIMCのインストールは完了し、主干涉計の制御実験などにおいては問題なくレーザー光を供給できている。
- 現在はCommissioning作業が問題なく進めるよう、メンテナンスをメイン作業とし、空き時間を使って様々なインテグレーションを行なっている。
- 本公演の主なトピックは以下の通り
  - ✓ 腕共振器を使った周波数安定度測定
  - ✓ IMCのアライメント制御
  - ✓ レーザーのハイパワー化

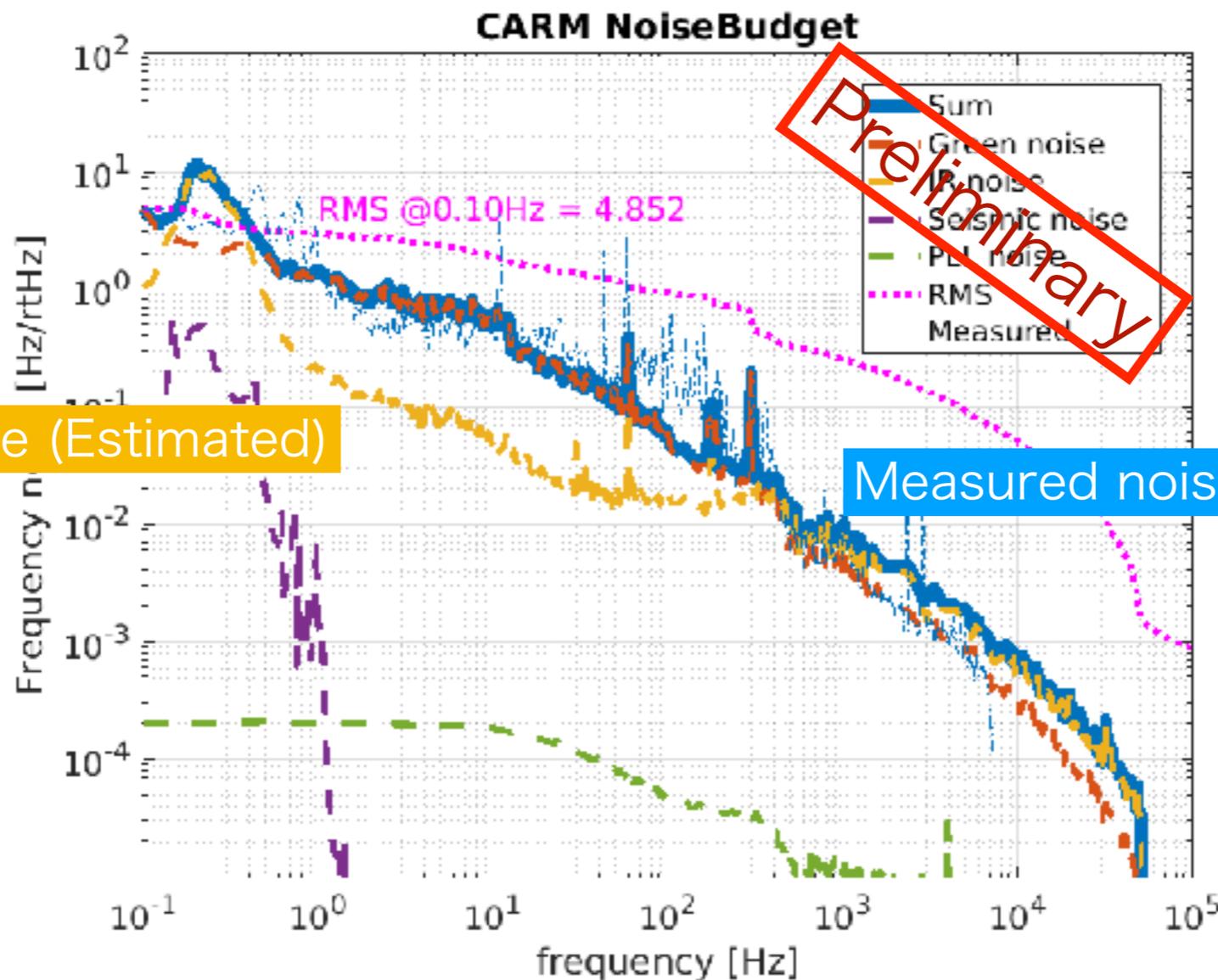


# 周波数安定化



# Frequency Noise

- Xarm共振器を使うことで、周波数雑音の測定が可能となった
  - ✓ 周波数安定化ループ内のフィードバック信号から見積もられたもの（橙）と実際に測定されたもの（青破線）を比べると、見積もりは2倍ほどoverestimatedであることがわかる。
  - ✓ 今後際測定予定



# IMCのアライメント制御



# IMC alignment sensing & control (ASC)

- IMCのアライメント制御の自由度は全部で5  
自由度×2方向

- ✓ 共振器軸 (3自由度×2方向)

→基底:

M<sub>Ci</sub>, M<sub>Co</sub>の同相/逆相の動きによる軸変動, M<sub>Ce</sub>の動きによる、M<sub>Ce</sub>表面でのビーム位置

→共振器軸によって、主干渉計へ入社する光の軸が決定される

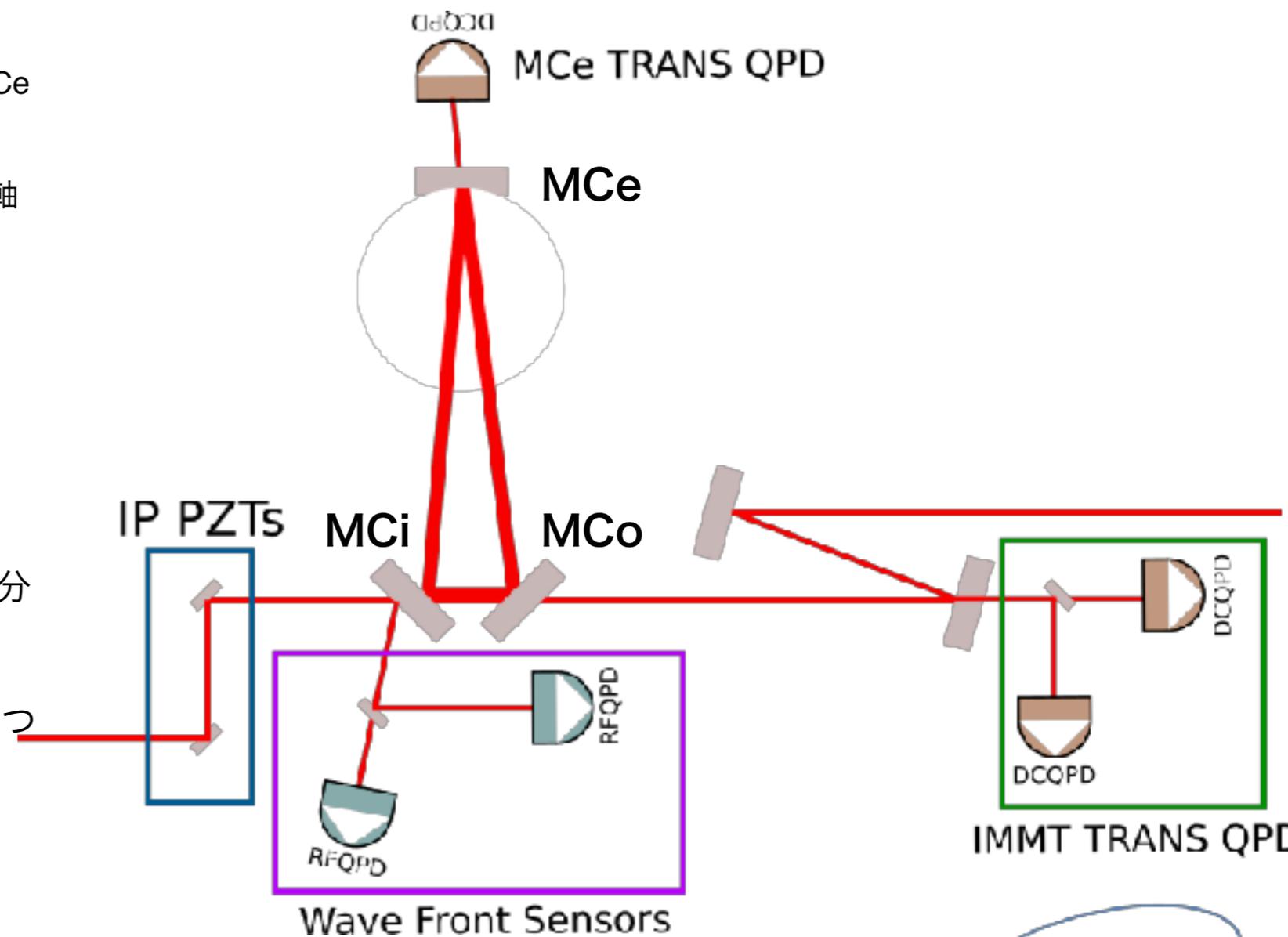
- ✓ 入射軸 (2自由度×2方向)

- 制御用のセンサー (5 sensors)

- ✓ IMCの反射光を使ったWave front sensor (WFS)
- ✓ M<sub>Ce</sub>からの透過光の位置をモニターする4分割フォトダイオード(QPD)
- ✓ M<sub>Co</sub>からの出射光をモニターするQPDが2つ

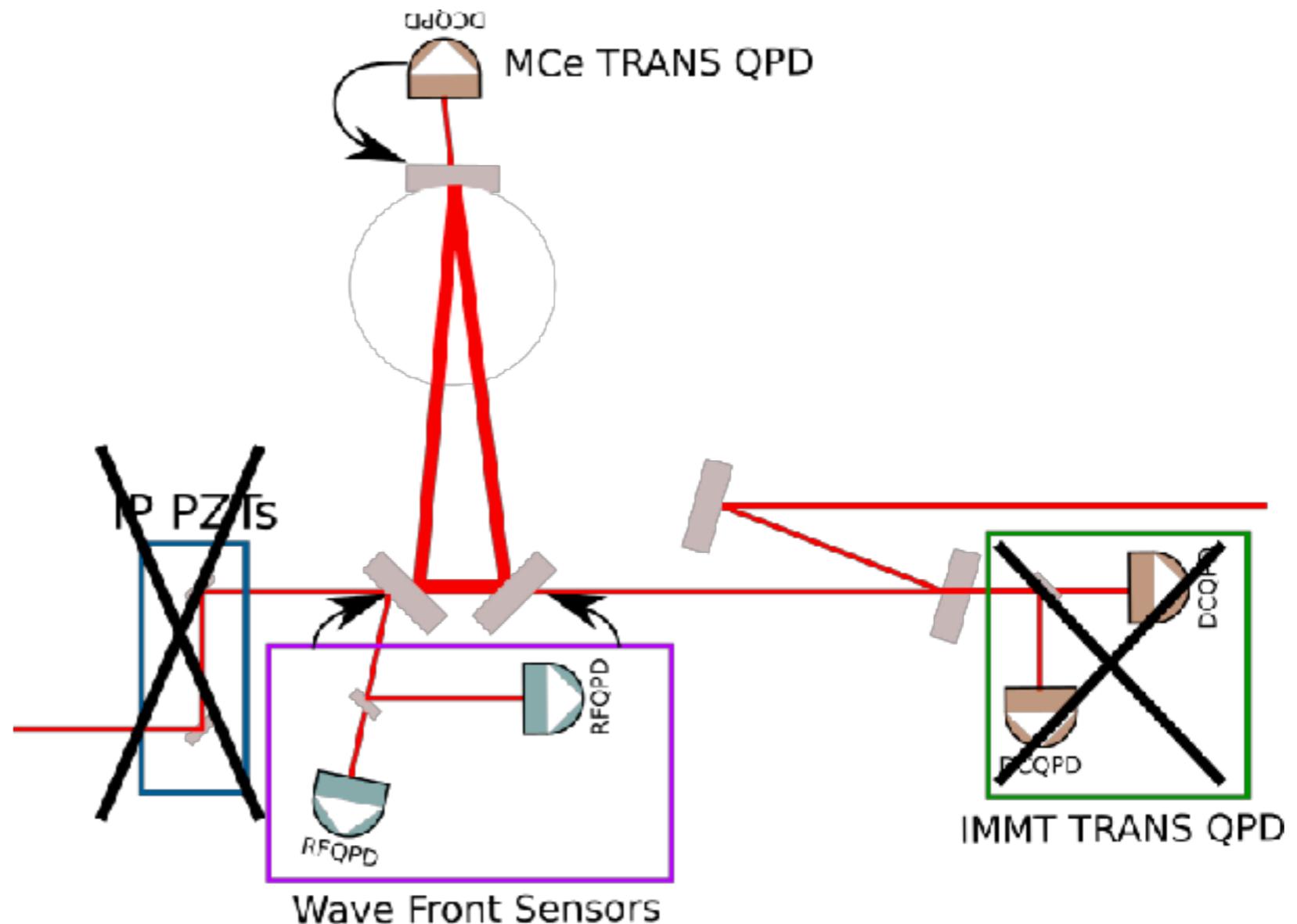
- 制御用アクチュエーター(5 actuators)

- ✓ PSL内に設置された入射光軸制御用PZT
- ✓ IMCを構成する鏡を動かすmagnet-coilアクチュエーター



# IMC ASC (現状)

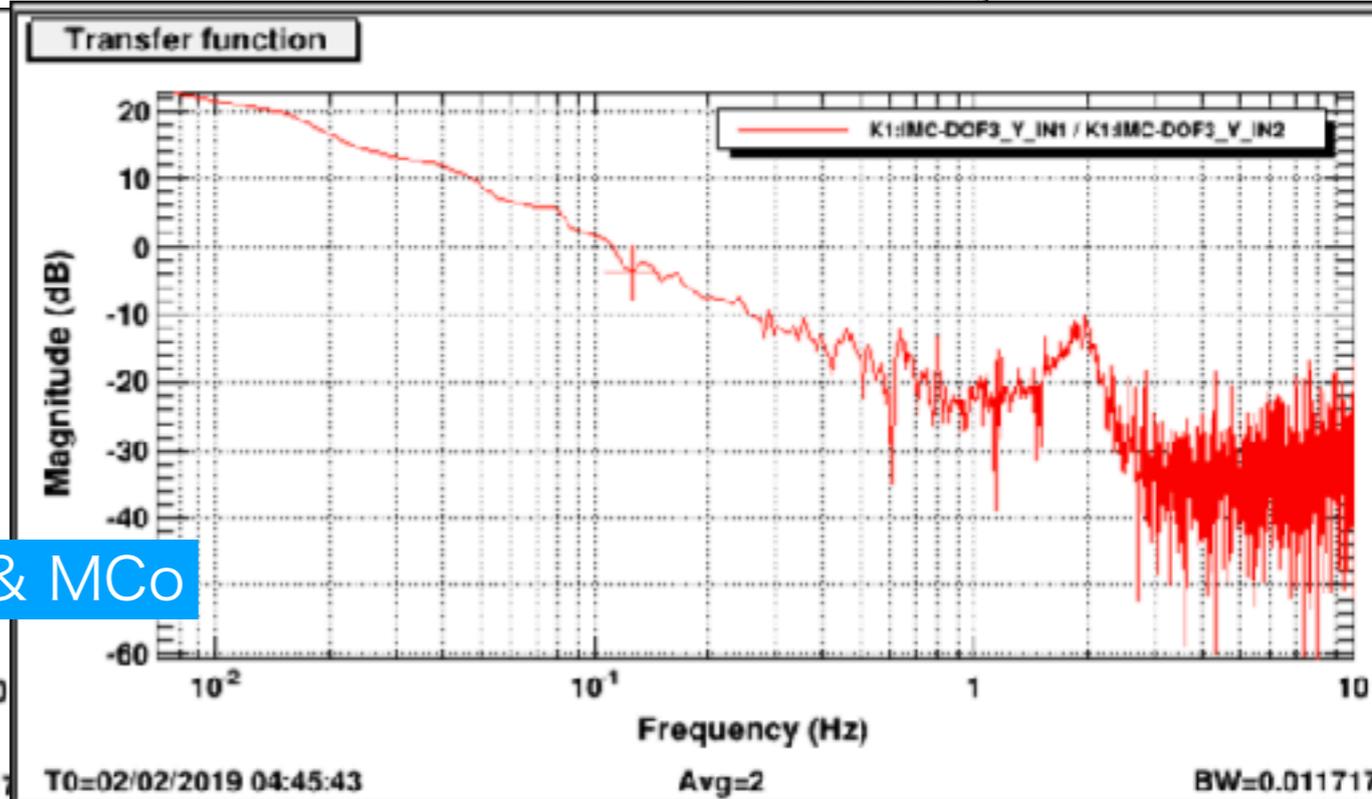
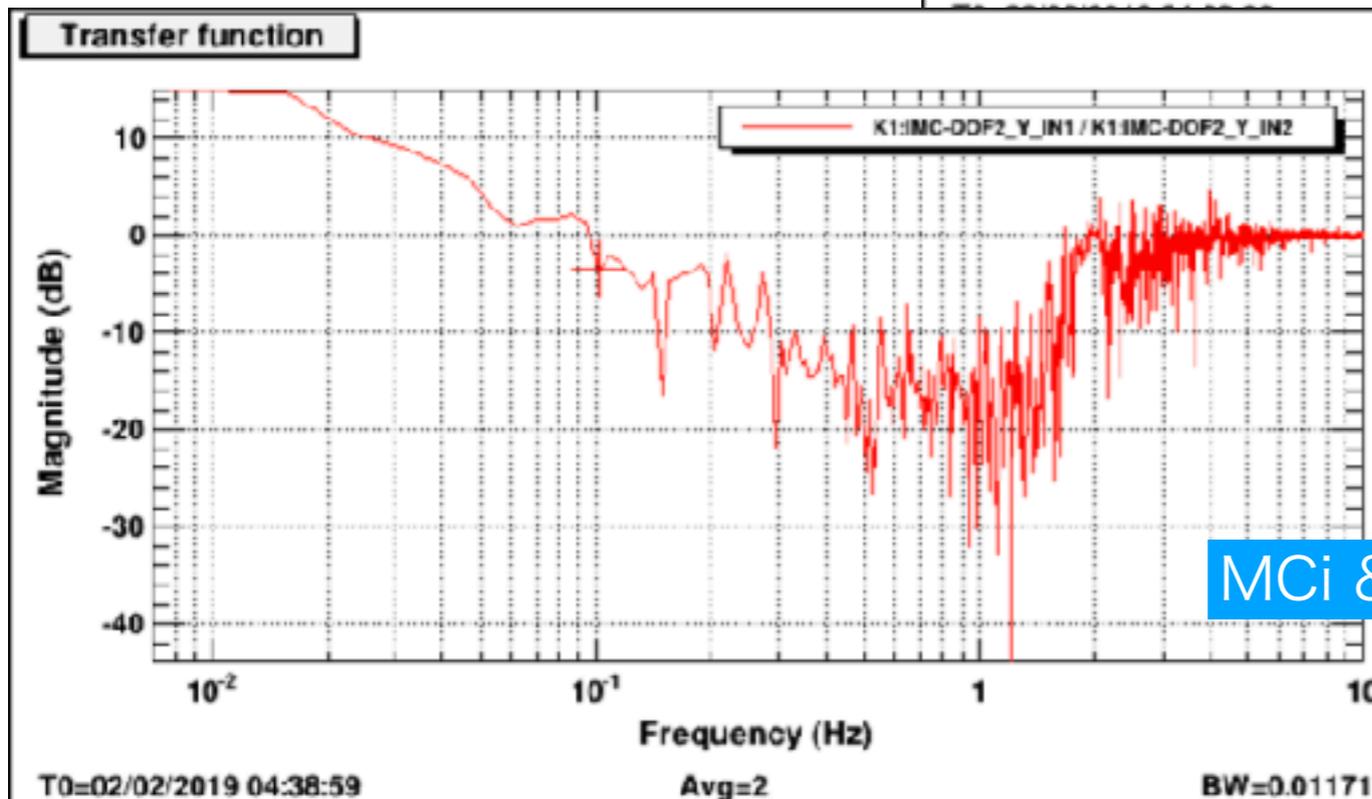
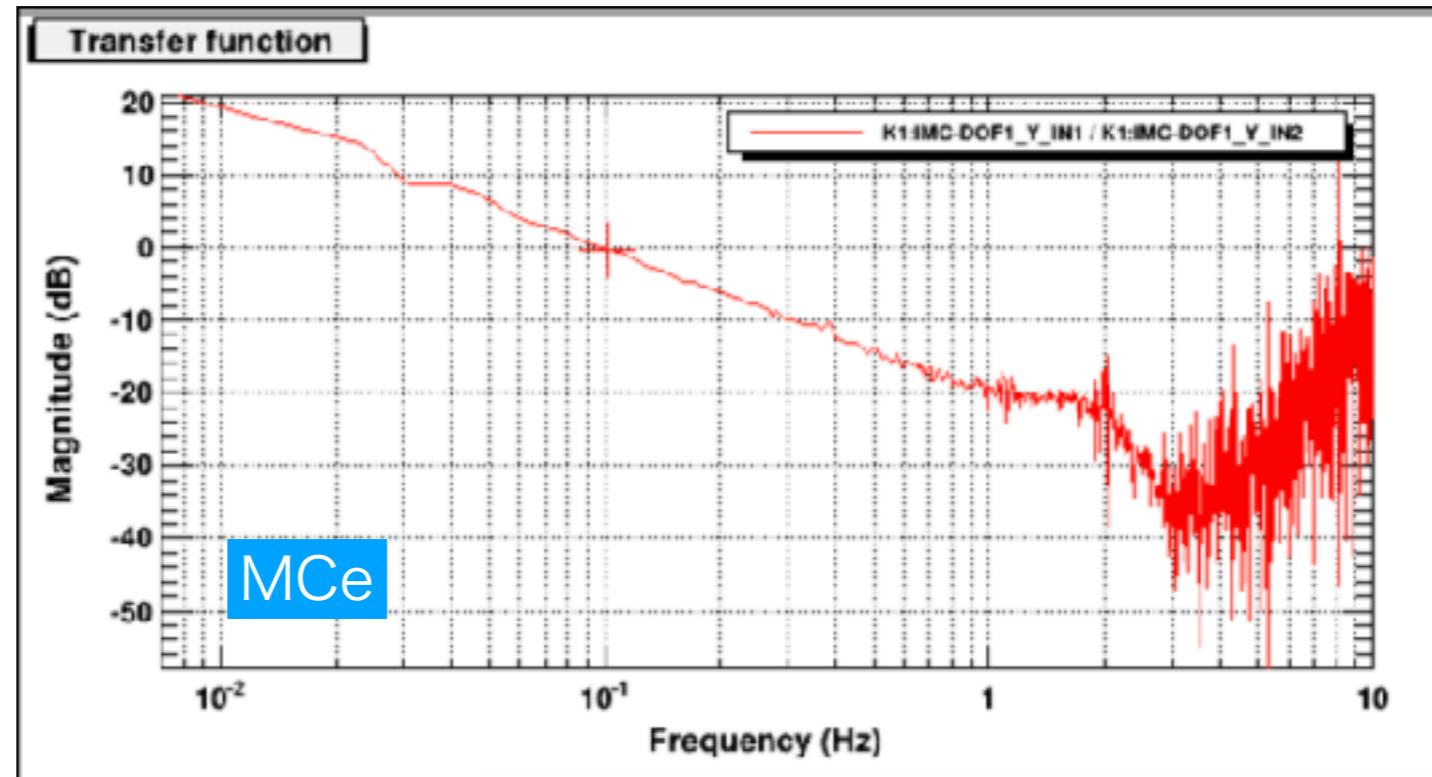
- 現在3自由度の制御がされている。
  - ✓ MCe上でのビーム位置
  - ✓ 共振器軸と入射光軸を一致させるための制御
- IMCからの出射光軸は制御されていない。
  - ✓ 設置されたセンサーの位置が適切ではなく、自由度の分離ができていないため
  - ✓ センサーのレイアウトの再デザインが必要
- 現状では主干渉計の制御は長くても1日程度であったため、3自由度の制御でも実験に影響は無かったが、今後の長期運転を考えると5自由度の制御が必要である。



# Control bandwidth

- 全ての自由度において、制御帯域は0.1Hz以下

Open loop transfer functions for 3 DOFs



# ハイパワー化

# レーザーのハイパワー化の現状

- 現状最大パワーはIMCの出射光で5W程度。
  - ✓ O3稼動時のパワーは20Wでありさらなるハイパワー化が必要
  - ✓ 現在PSLでの制御が不安定になるために最大パワーまで上げることができていない。
  - ✓ また、IMCでもパワーを上げていくと、ロックした際に共振点からずれていくことが確認されている。
    - ➡信号取得ポートにおける偏光が問題ではないかと考えられており、改良が行われた。今後実際にハイパワー化しテスト予定
- 安全面でも準備が進んでいる
  - ✓ すでに準備完了：
    - 1.ハイパワー用ビームダンプ
    - 2.サスペンションのハイパワーシールド
  - ✓ 今後準備予定：
    - 1.インターロックシステム
    - 2.パワーモニター
- スケジュール上では6~7月にハイパワー化が予定されており、それまでに準備、テストなどを順次行なっていく。

# まとめ

- 安定化された光を使い、主干涉計コミッショニング作業が進められている。
- 腕共振器を使い周波数安定度の測定が可能となった
  - ✓ 周波数安定化用の制御信号からの見積もりと比べると、大きく違わないまでも、2倍程度の over-estimation
  - ✓ 周波数安定度の評価は1年ほど前に行われたままなので、現状での再評価が必要である
- IMCのアライメント制御も稼働している
  - ✓ 全自由度の制御は達成していない。
  - ✓ IMC出射光をモニターするセンサーの改良が必要
- 現状の最大パワーは5W
  - ✓ 要求値にはまだ達成しておらず、インテグレーション作業が進んでいる。
  - ✓ 6~7月を目処にハイパワー化を進めていく。

# Appendix



# 光共振器

- 強度雑音、周波数雑音のパッシブフィルタリング
  - ✓ 共振器内部では光が積分され平均化される。したがって、光の滞在時間よりも早い成分の強度雑音や周波数雑音は低減される。この時のカットオフ周波数をcavity poleと呼ぶ。
- 周波数参照機
  - ✓ レーザー光の周波数揺らぎに比べ、共振器の共振周波数が安定であれば、周波数参照機として使える。
  - ✓ この場合、レーザー周波数を制御し、共振器の共振周波数に合わせることで安定化する。
  - ✓ 周波数安定度は共振器長の変動で決まる。
- 空間モード選択性
  - ✓ 周波数と同じように、共振器はレーザーの空間モードに対しても共振モードを持ち、その他のモードは通さない。
  - ✓ この性質を利用して、レーザー光に含まれる高次モードをフィルタリングする。
  - ✓ ビームジッターは1次モードの混入とみなすことができるため、この性質を利用すれば、ビームジッターの低減も行える

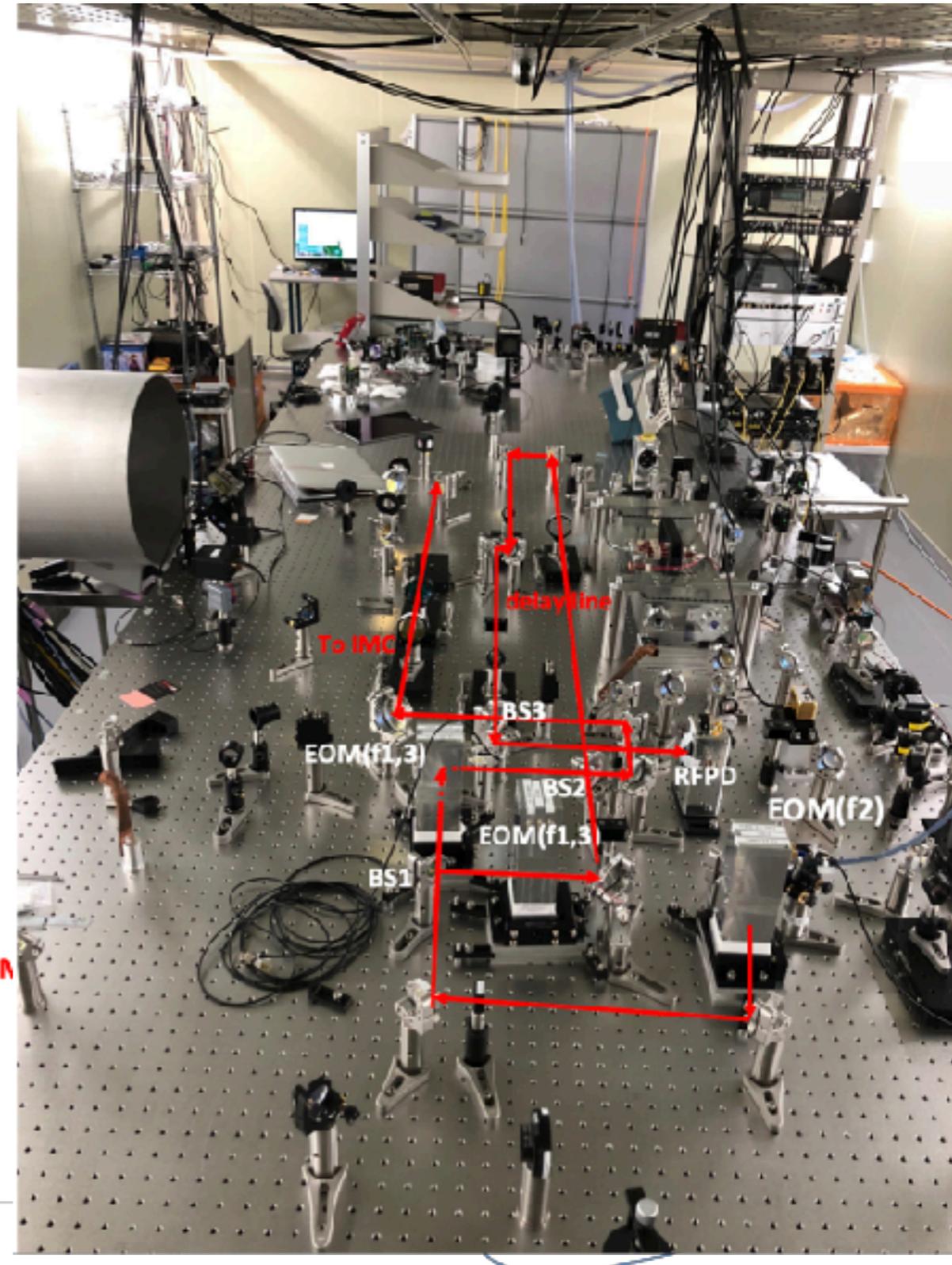
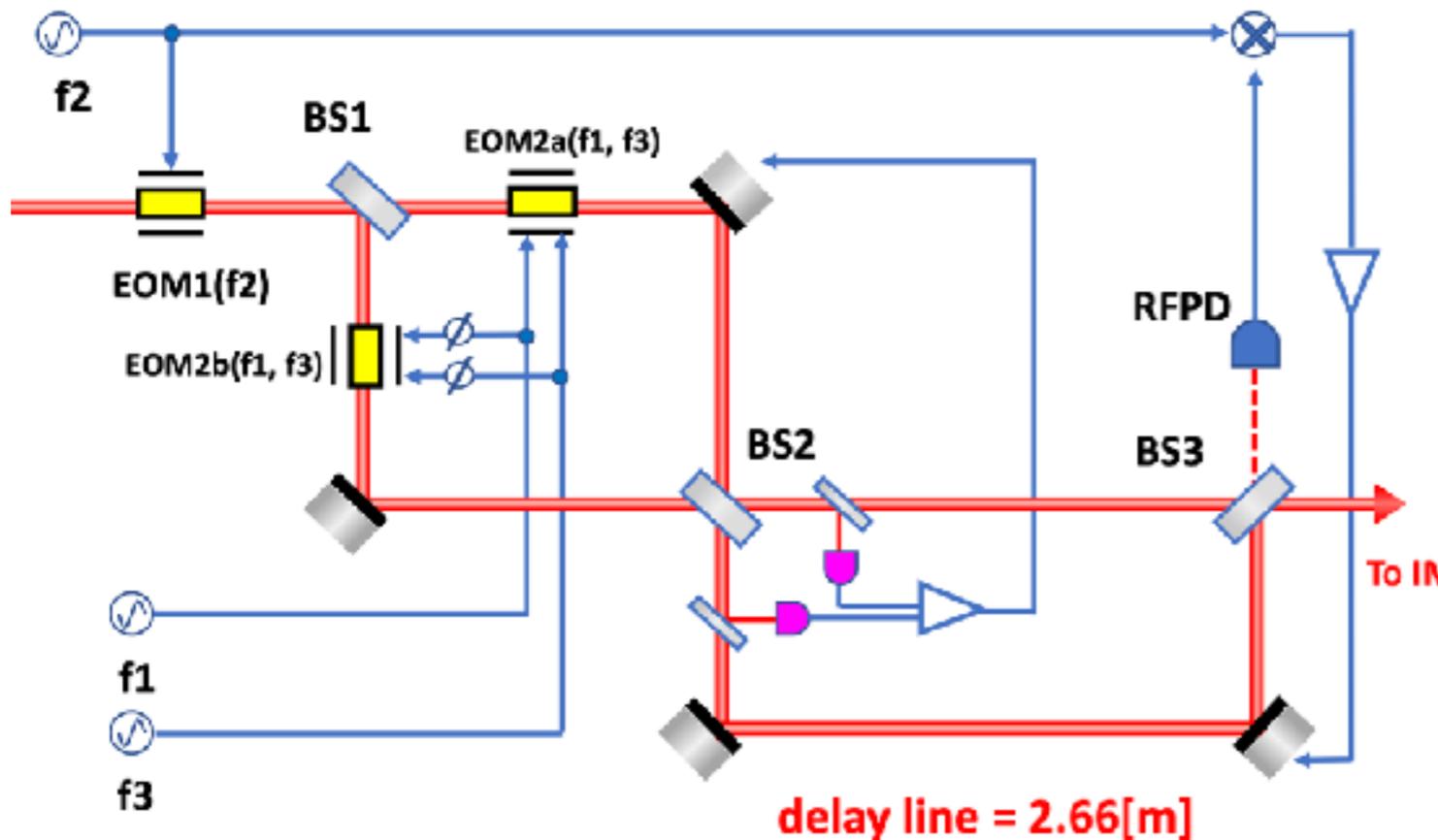
MZM



# Mach-Zehnder Modulator (MZM)

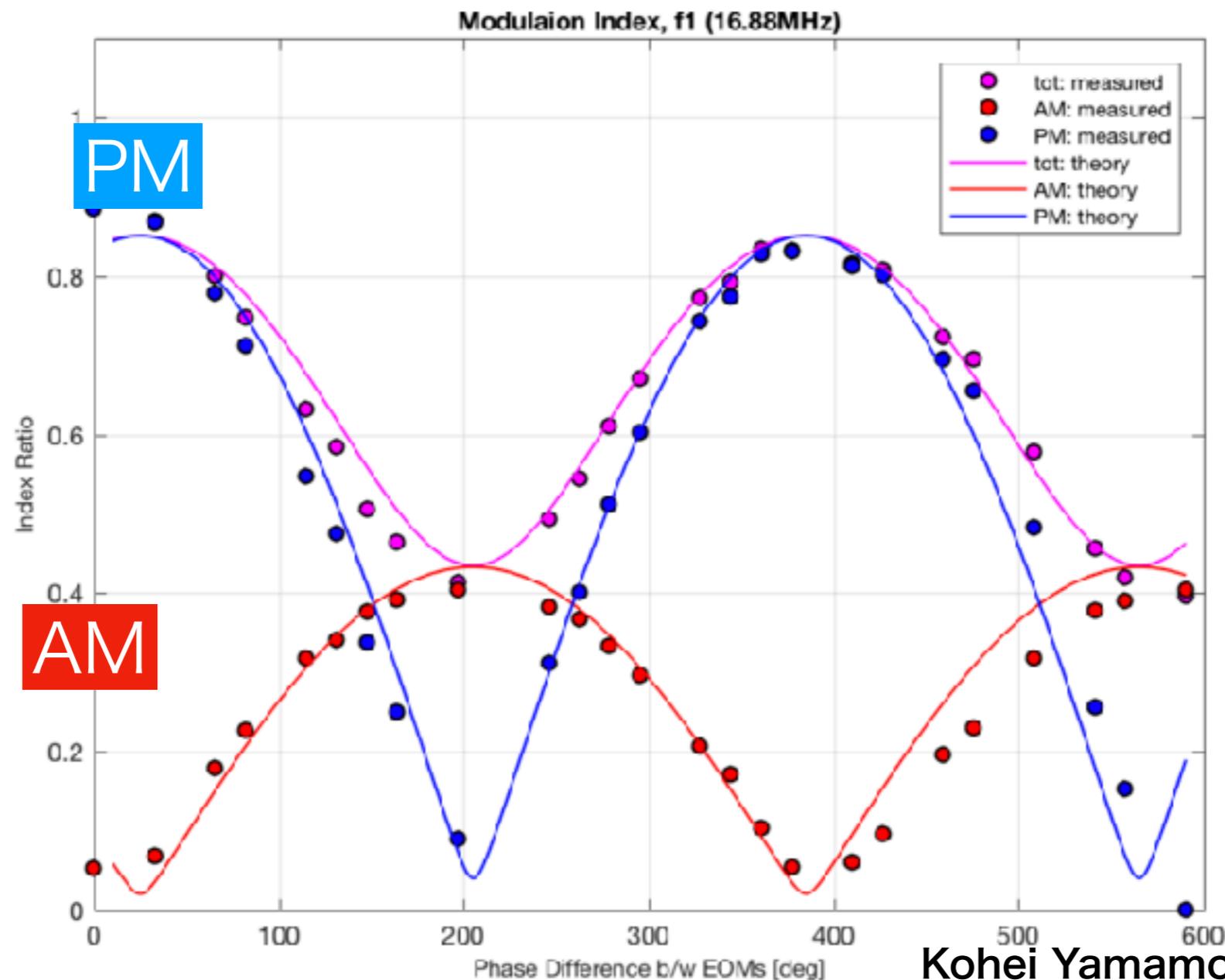
Kohei Yamamoto, JGW-G1909583

- MZM can generate the tunable AM
  - ✓ To cancel the AM generated by the detuning of the RSE interferometer
  - ✓ To generate the AM for the lock acquisition
- MZM has been installed on the PSL.



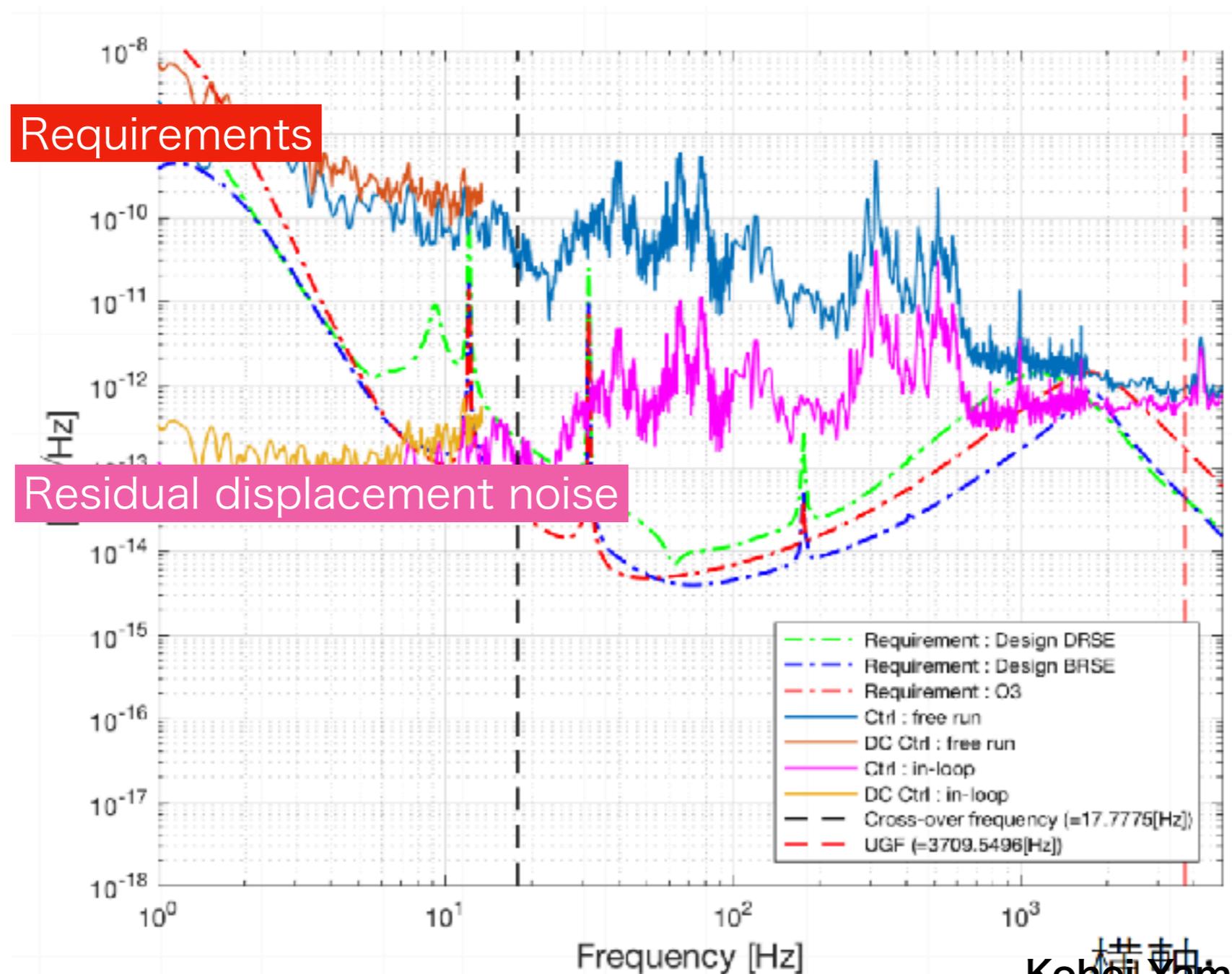
# Mach-Zehnder Modulator (MZM)

- The AM can be tuned by tuning the phase difference between the EOMs
  - ✓ Demonstrated by the experiment



# Displacement noise of the MZM

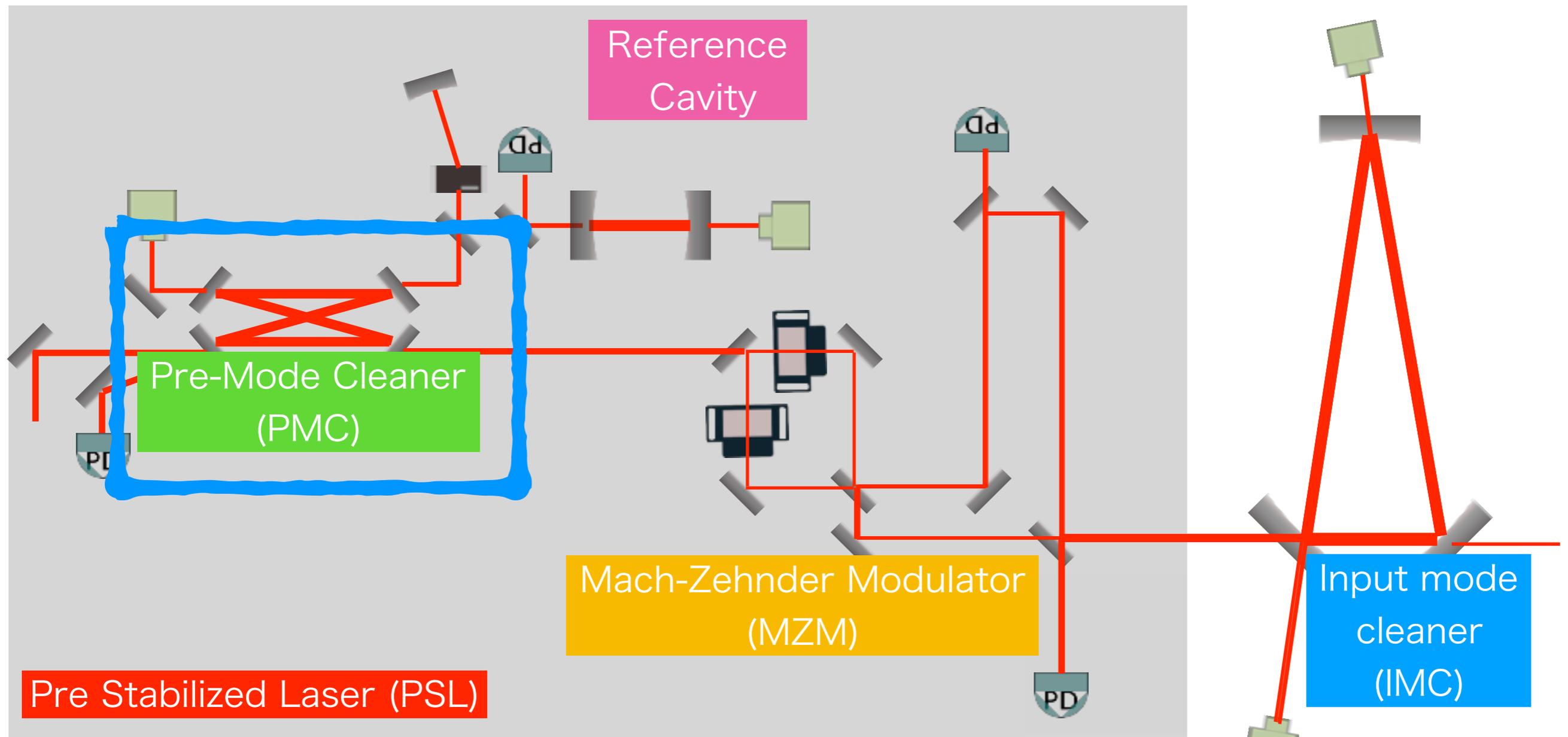
- The displacement noise couples with the GW signals via the modulations.
- The displacement noise has not met the requirement
  - ✓ We decided not to use the MZM for the O3.



# Pre-Mode Cleaner (PMC)

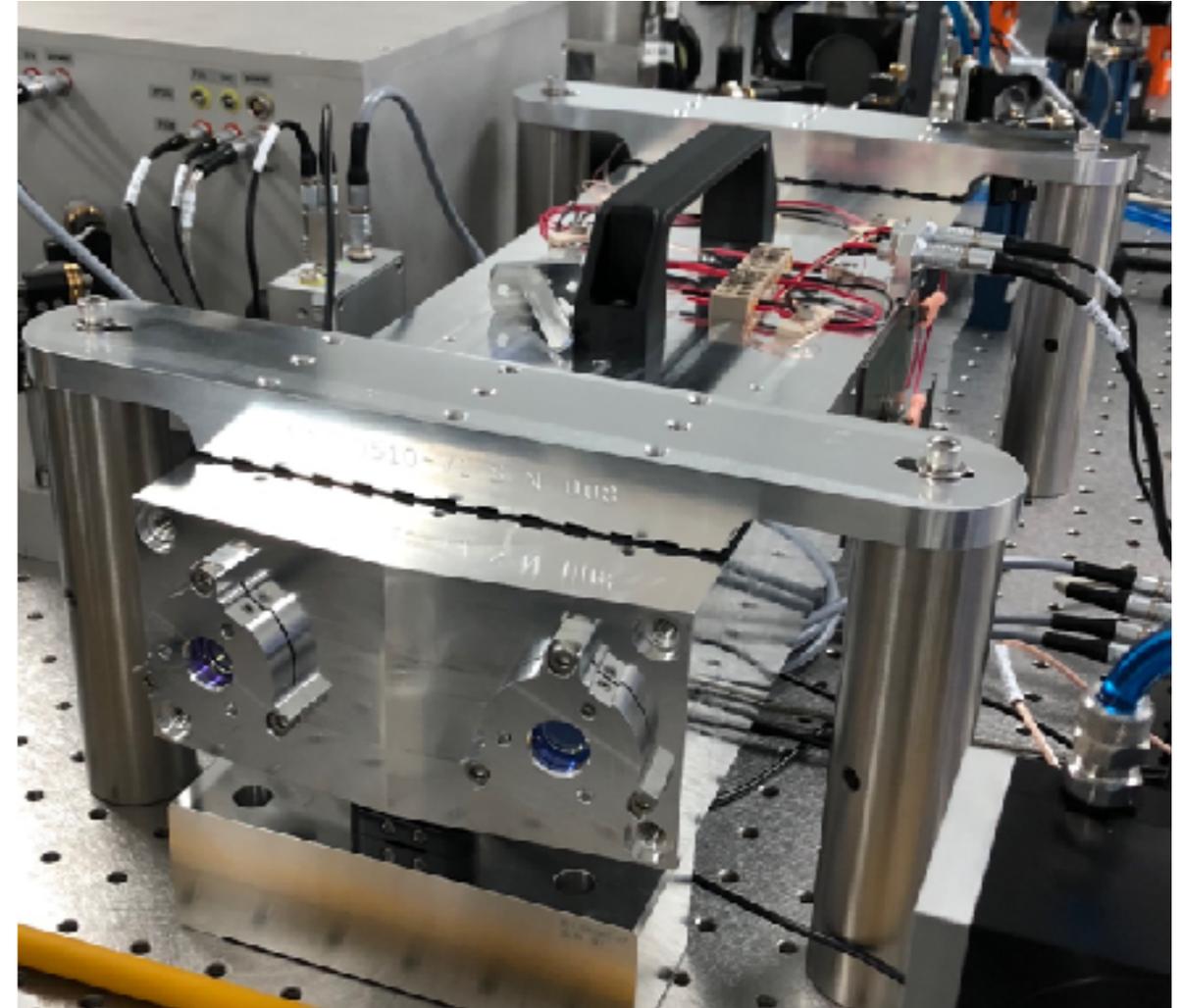


# Pre-Mode Cleaner

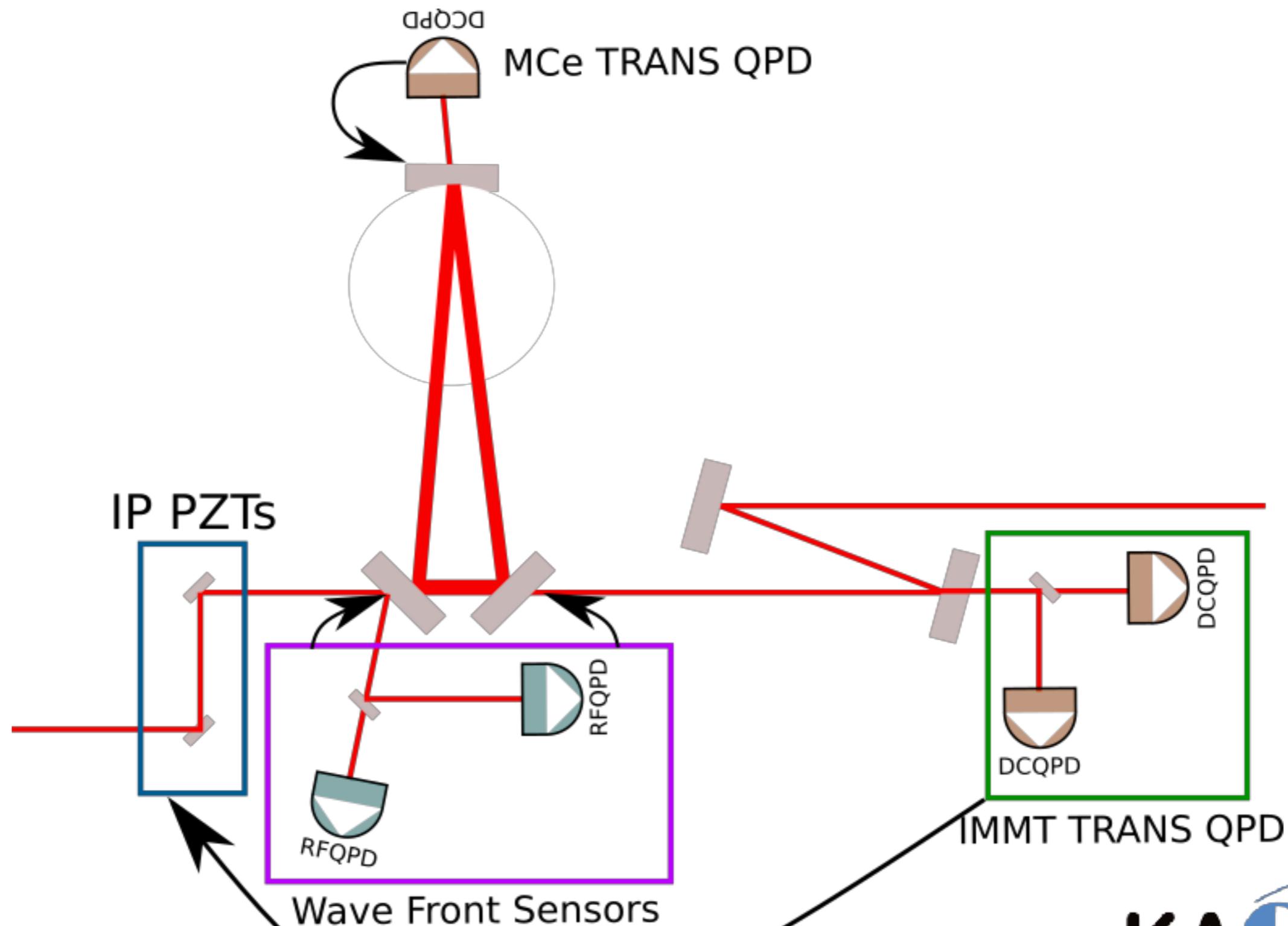


# Pre-Mode Cleaner (PMC)

- 2-m long bow-tie shaped cavity.
- Objectives:
  - ✓ Spatial mode cleaning
  - ✓ Beam jitter reduction
  - ✓ RF RAM noise suppression
- Control the Cavity length to follow the laser frequency.
- The control is so stable that once it get locked, it can continue to lock for more than several weeks.



# IMC ASC (final configuraion 1)



# IMC ASC (final configuration 2)

