

KAGRA検出器における 音響雑音の影響

14aK106-9

東京大学宇宙線研究所

田中大生, KAGRA collaboration

目次

- KAGRA
- Physical Environmental Monitor (PEM)
- 雑音評価実験
- 雑音評価測定①、②、③
- まとめと今後

KAGRA

■ レーザー干渉計型重力波検出器^[*]

- 基線長 : 3km
- 地下 : 200 m
- 極低温 : 20 K



■ 現在の状況

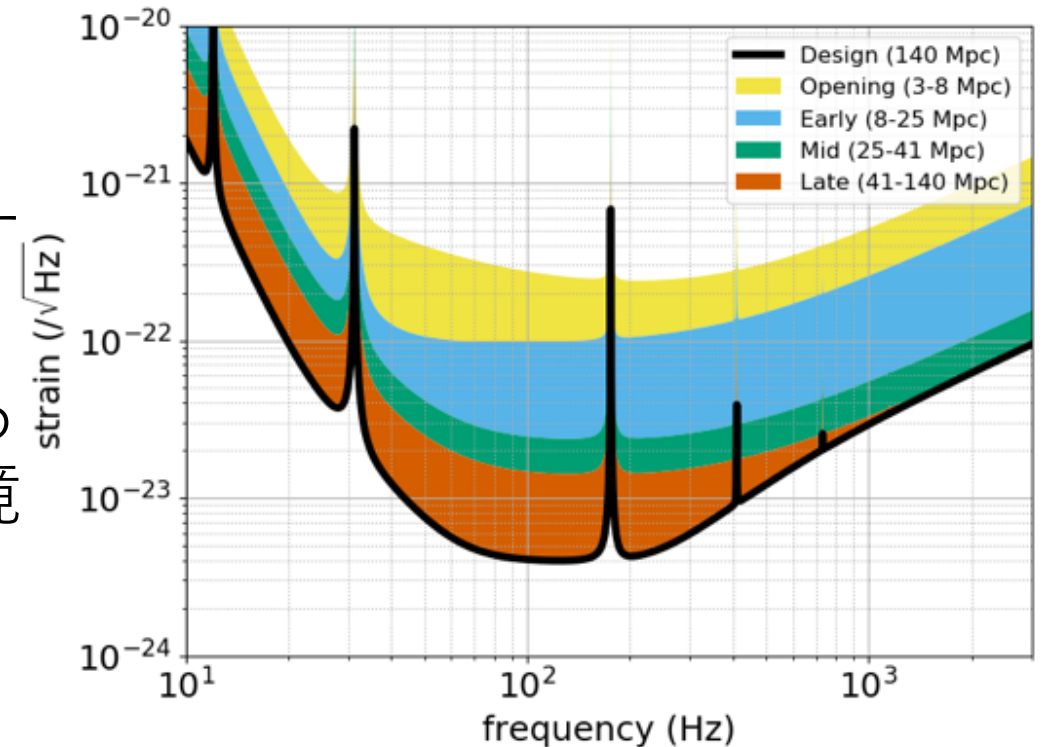
- 干渉計制御の調整
- 秋からのLIGO, Virgoとの同時観測に向けて感度向上

[*] Prog. Theor. Exp. Phys. 2018, 013F01

KAGRA

■感度向上

- KAGRAのデザイン上減らすことの出来ない原理雑音以外の、散乱光雑音や電源雑音、環境雑音を減らす必要がある
- それぞれの雑音について、対処するグループが存在するが、今回は環境雑音について発表する



Living Rev Relativ (2018) 21:3, Fig.1

Physical Environmental Monitor (PEM)

■雑音の特徴付け

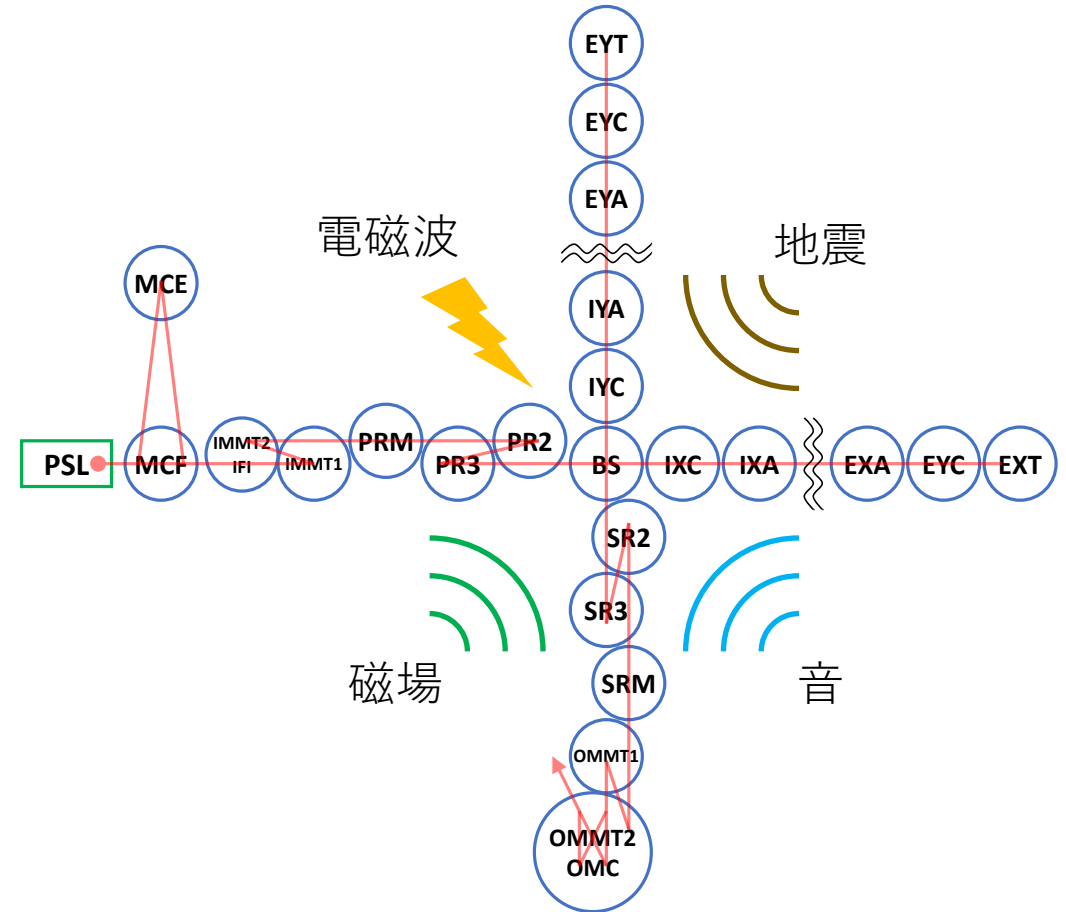
- 環境雑音とKAGRA内の諸装置とのカップリングの調査

■環境雑音注入試験

- シェイカーやスピーカーやコイルを用いて雑音を注入

■環境モニターデータの data quality flagへの提案

- 環境モニターデータを探索パイプラインへの適用により信号誤認率の削減

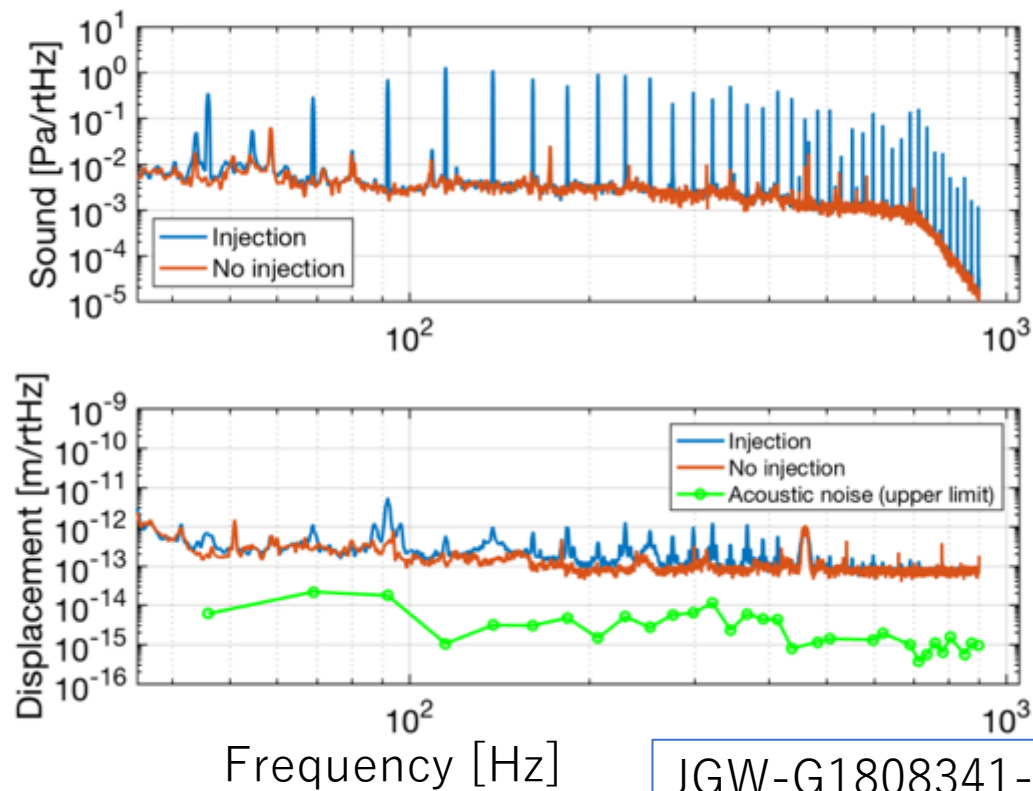


KAGRAの様々な機器について周辺環境（地震、音、磁場、電磁波、温度、湿度など）が影響を与える

Physical Environmental Monitor (PEM)

■環境とのカップリング

- 環境信号は干涉計の諸装置に実際にカップリングし、環境雑音として検出される
- 音は様々な機器を揺らし環境雑音として検出される



JGW-G1808341-v5

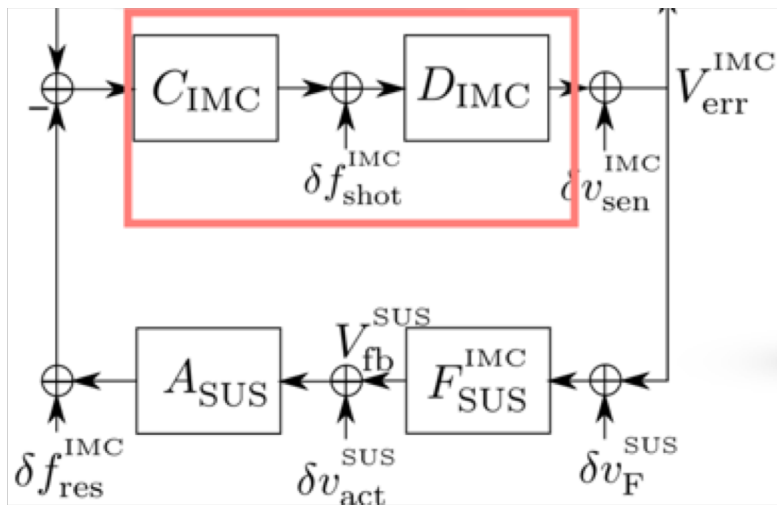
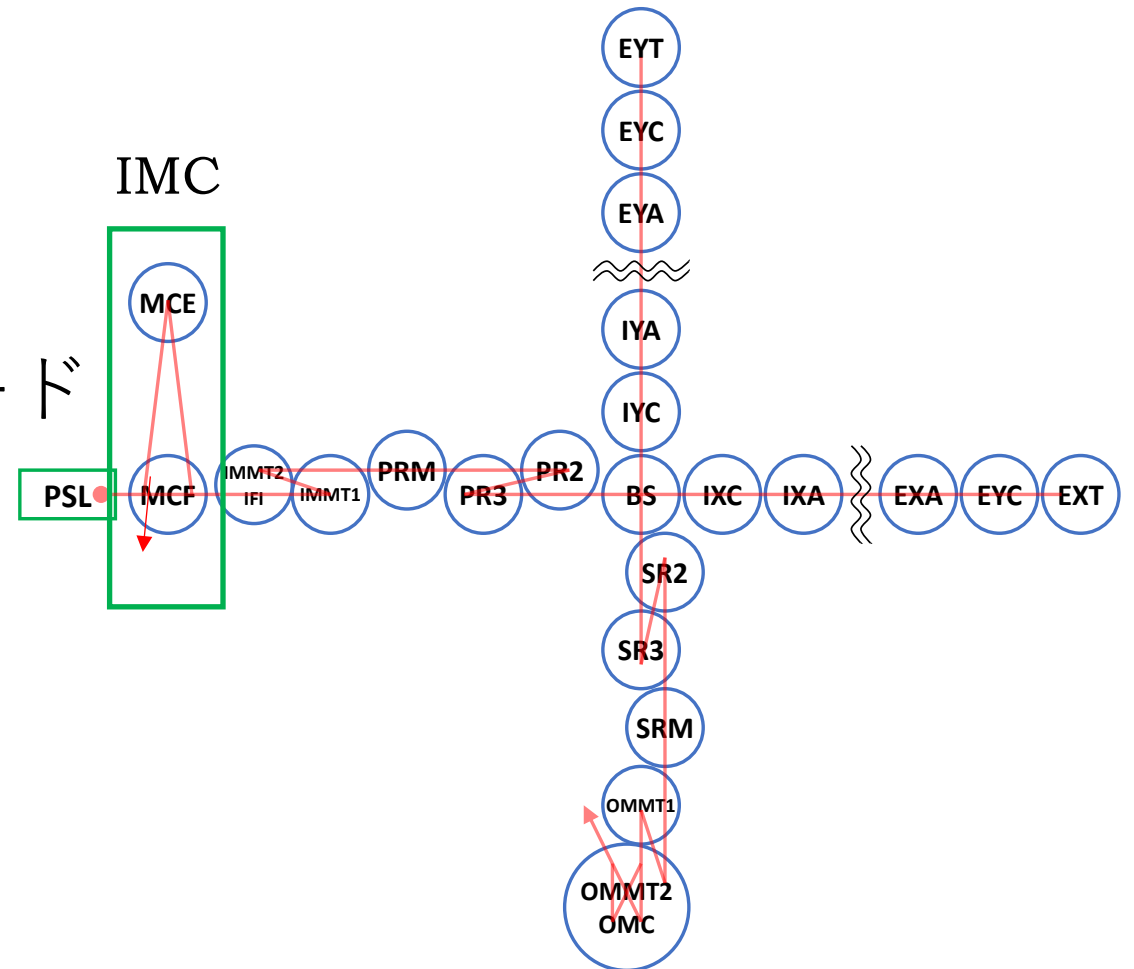
諸装置の雑音レベルの要求値を上回る可能性がある
環境雑音は出来るだけ除去しなければならない

雑音評価実験

■今回はInput Mode Cleaner (IMC) で実験を行なった

■IMCの役割、位置

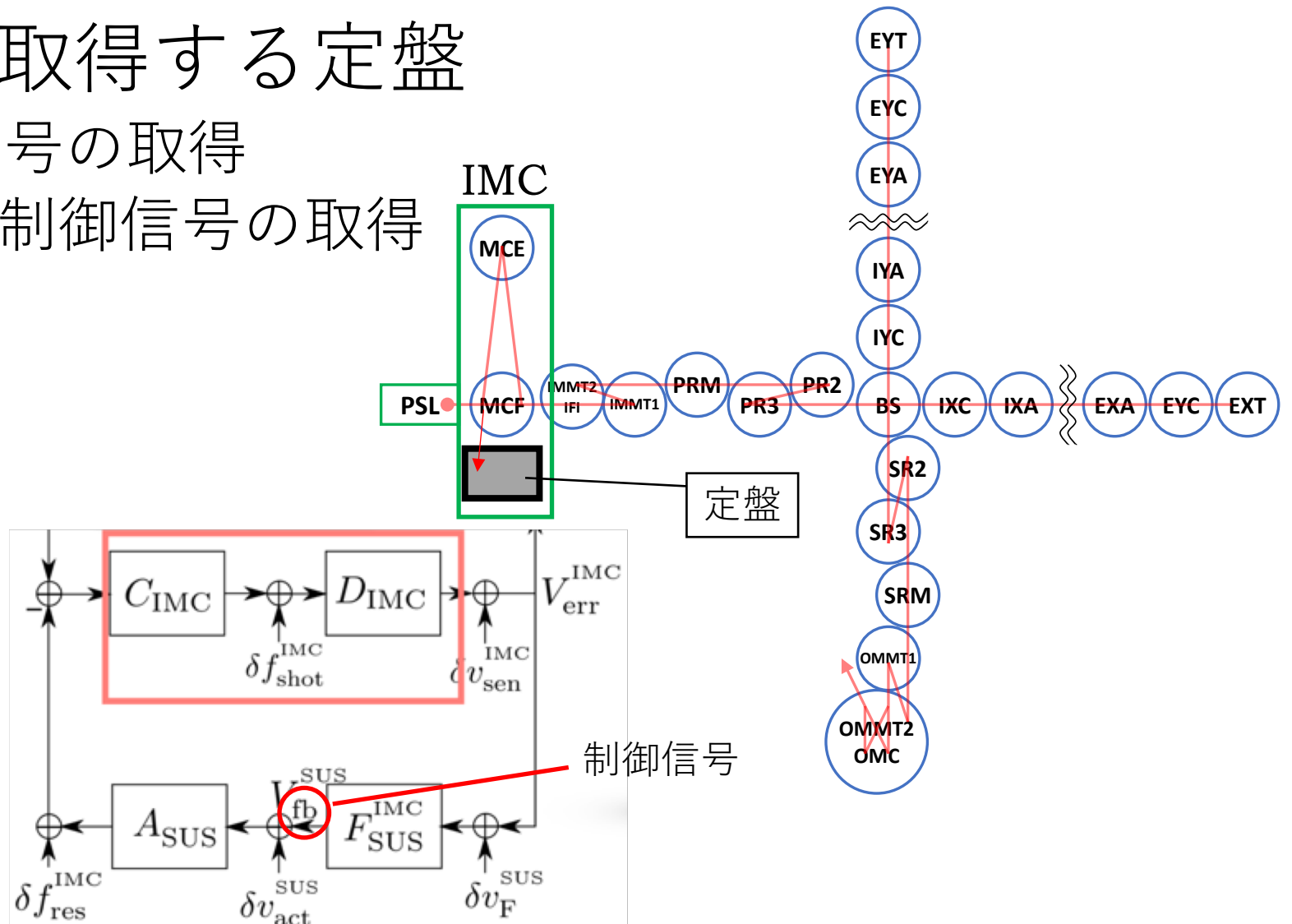
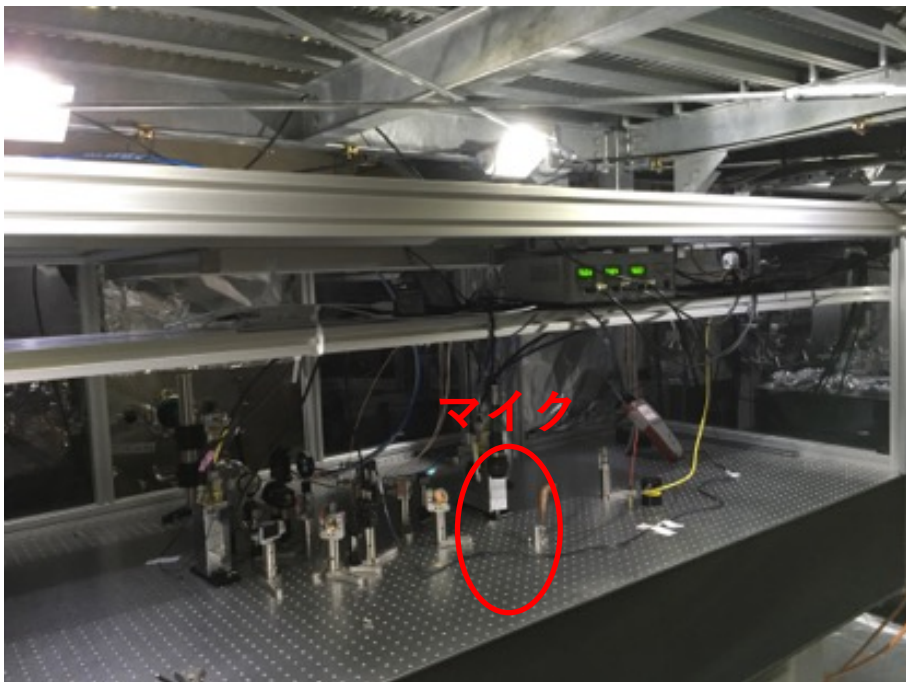
- 入射レーザーから gaussian モードの光のみを通す
- 周波数の安定化



雑音評価実験

■IMCの制御信号を取得する定盤

- マイクを設置し音信号の取得
- IMCのキャビティの制御信号の取得



雑音評価測定①

■IMCカバーの設置

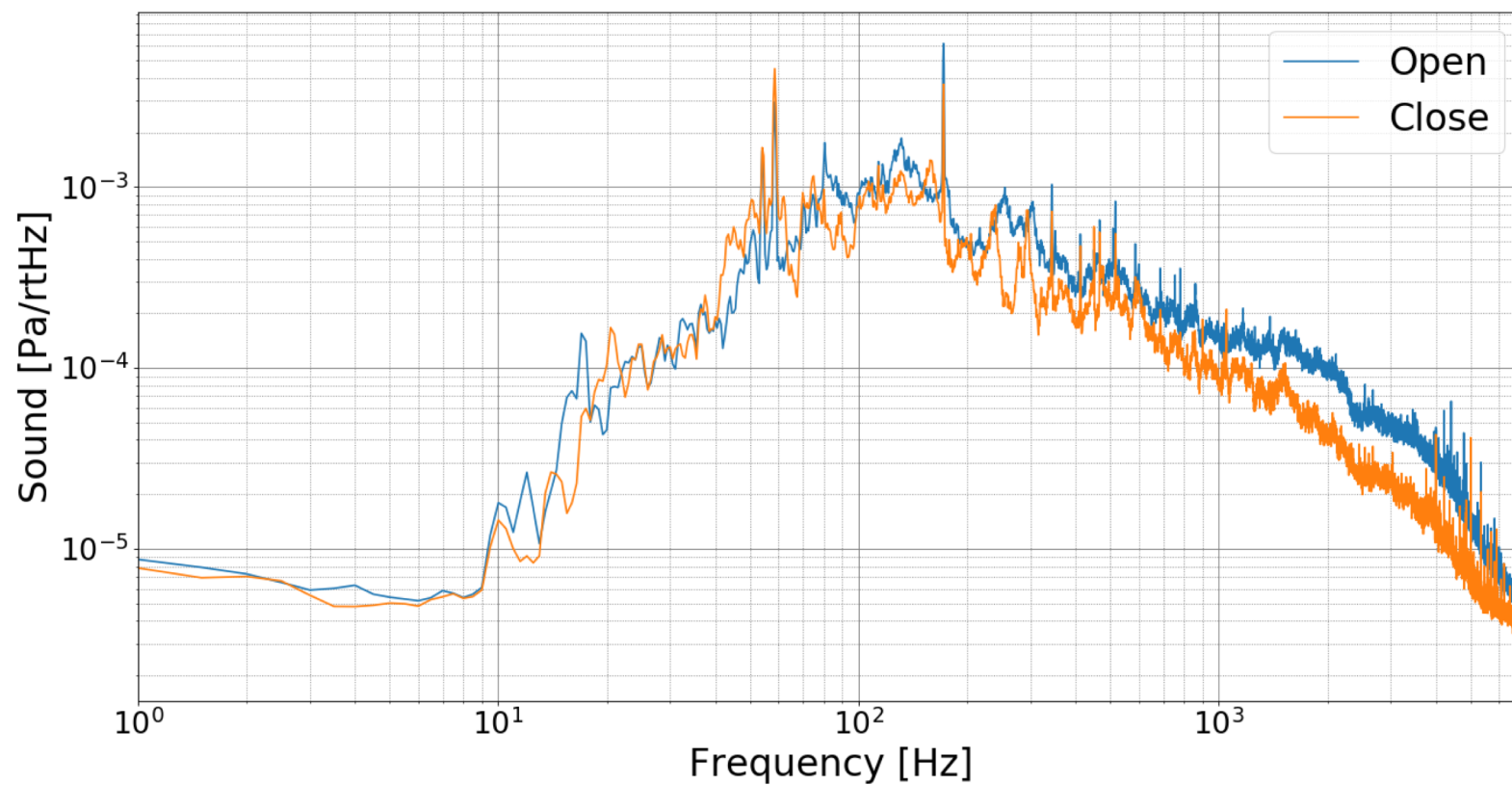
- 主に防塵目的のカバーであるが防音効果を期待してカバーの隙間を埋めた
- カバーの扉を開けた状態と閉めた状態で測定を行なった



雑音評価測定①

■IMCカバーの設置

- おおよそ100 Hz以上では音を減らすことができています

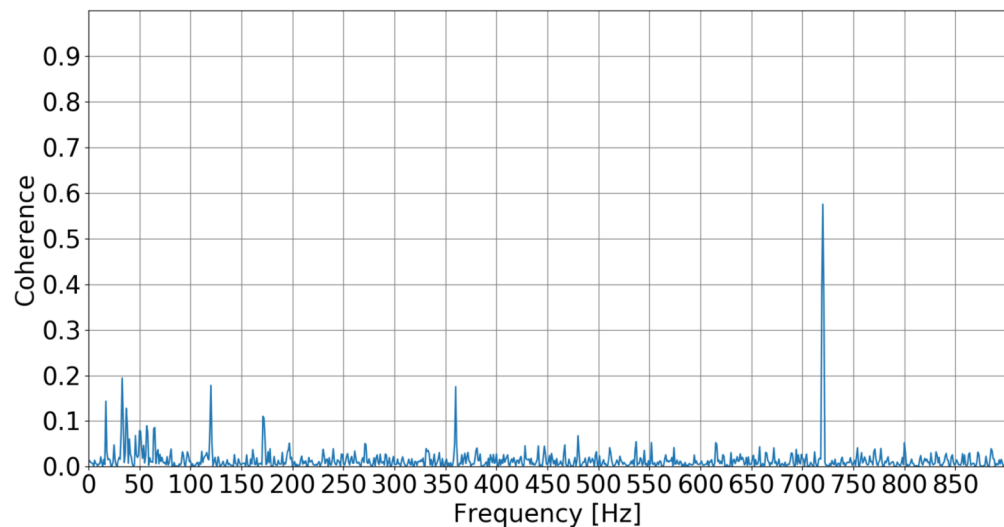


雑音評価測定②

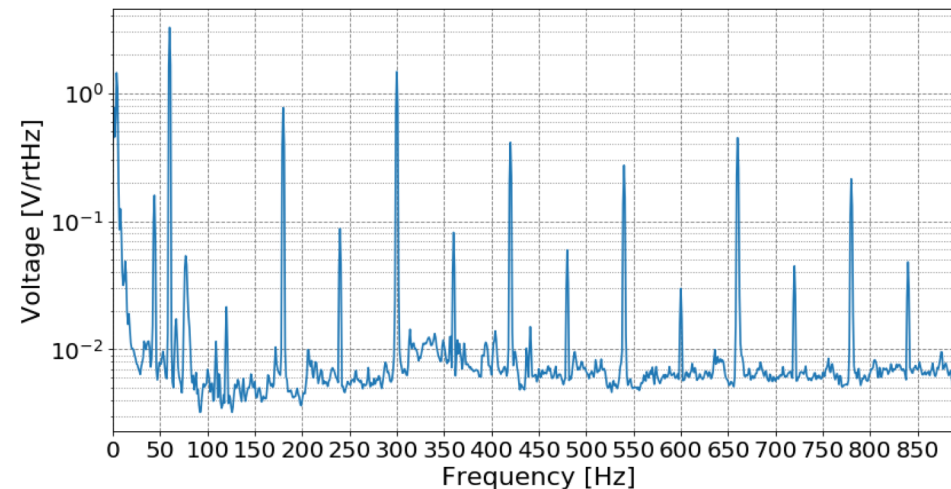
■ コヒーレンスのある周波数の雑音探索

- 音と制御信号に高いコヒーレンス
音響とIMCの多くの信号とで720 Hzに
高いコヒーレンスが見つかった。

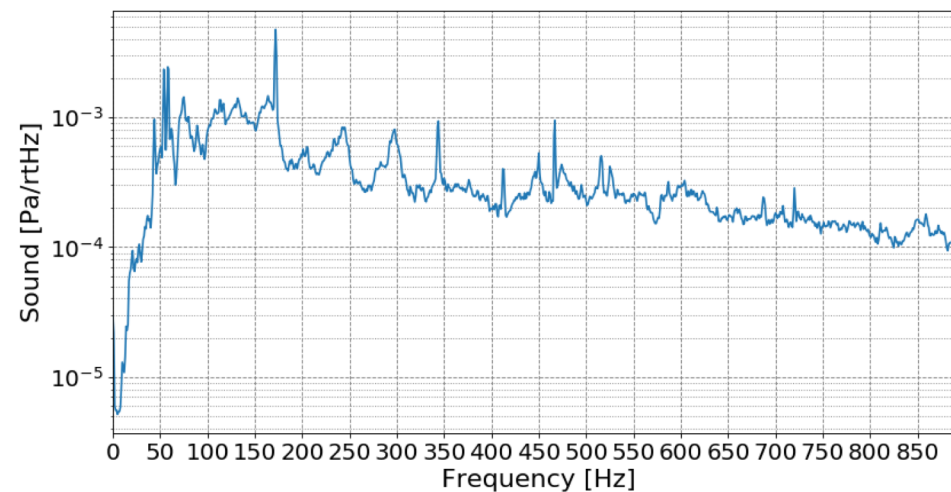
$$\text{コヒーレンス: } \gamma_{xy}^2(\omega) = \frac{|X^*(\omega)Y(\omega)|^2}{X^*(\omega)X(\omega) \times Y^*(\omega)Y(\omega)}$$



IMCの制御信号: $X(\omega)$



マイクの信号: $Y(\omega)$



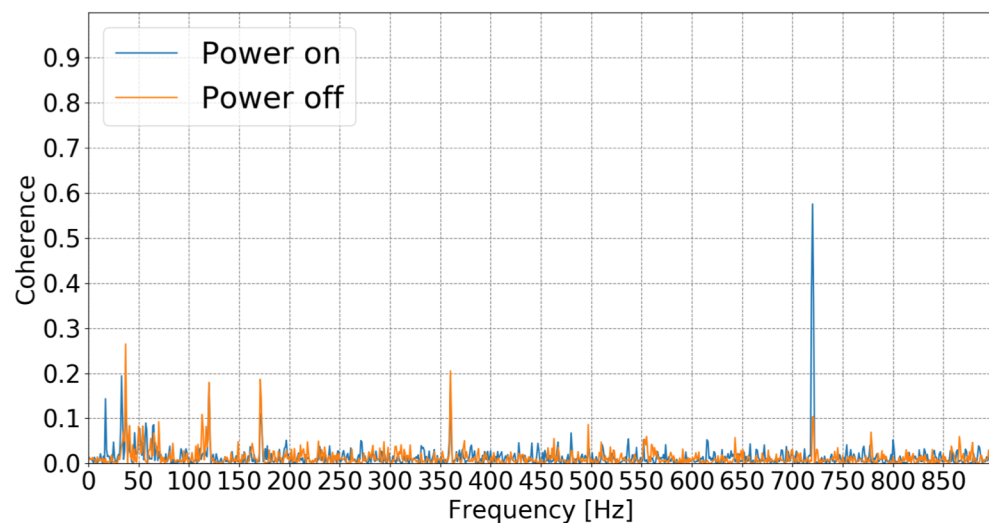
雑音評価測定②

■コヒーレンスのある周波数の雑音探索

- 720Hz に高いコヒーレンス

音響とIMCの多くの信号とで720 Hzに高いコヒーレンスが見つかった。

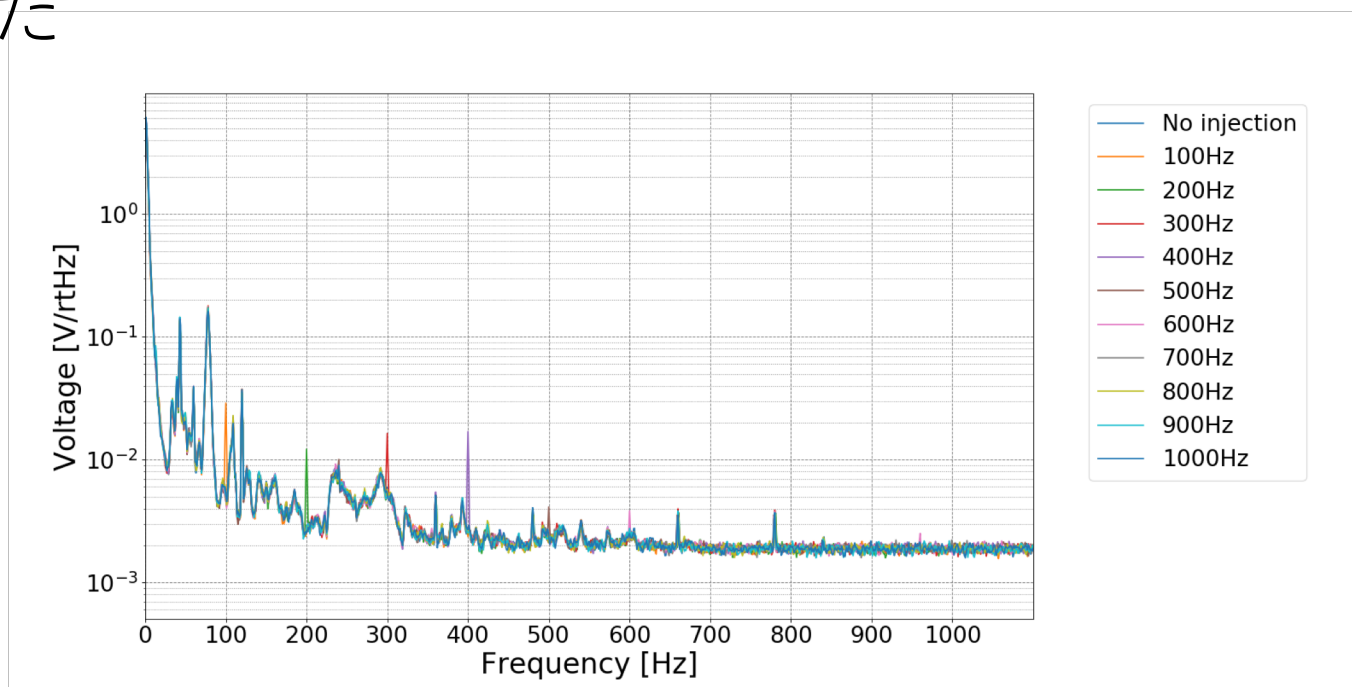
周りの装置で720 Hzの音を出しているものが無いか調べたところ、送風機が720 Hzの音を出していることが判明した。



雑音評価測定③

■雑音注入試験によるカップリングの評価

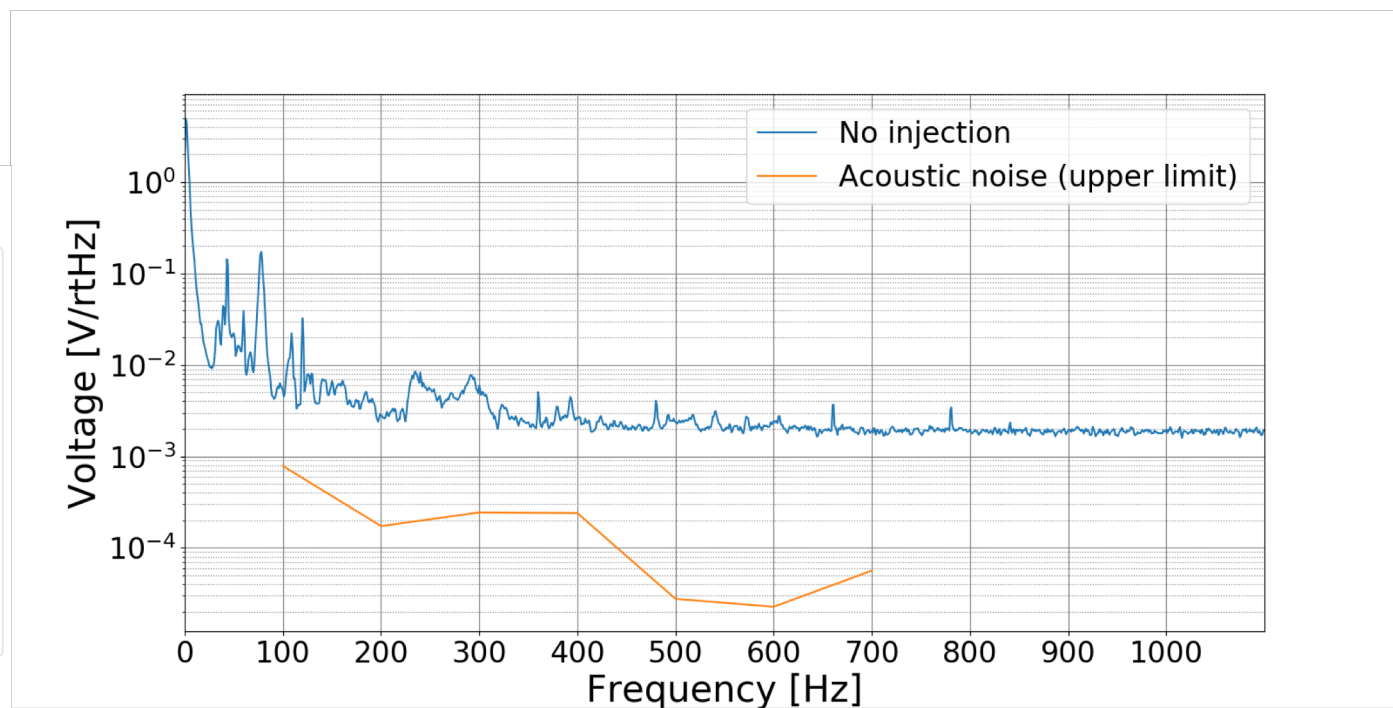
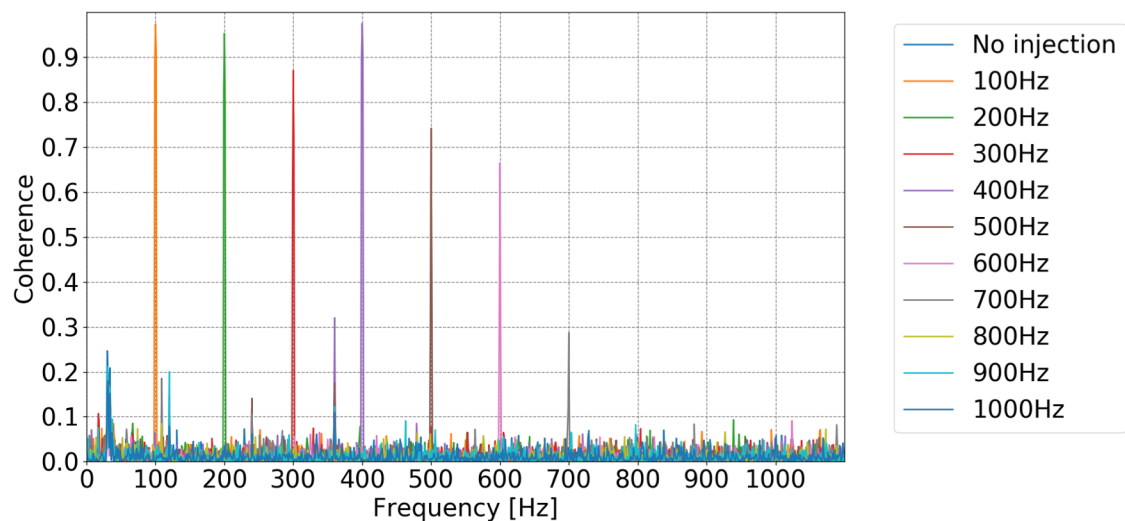
- 音響の様々な信号に対する影響を調べるためにIMCに音響注入試験を行なった
- 100~1000 Hzで100 Hz毎の周波数をスピーカーでIMCに向かって音を注入した



雑音評価測定③

■雑音注入試験によるカップリングの評価

- 800 Hz以上の音は十分なコヒーレンスが出ておらずほとんどカップリングしていなかった



まとめと今後

■定盤カバー

- 防塵のほか100 Hz以上で遮音効果がある

■送風機

- コヒーレンス解析で雑音源の特定ができた
- 同様の解析手法を用いて他の雑音源の特定を行う

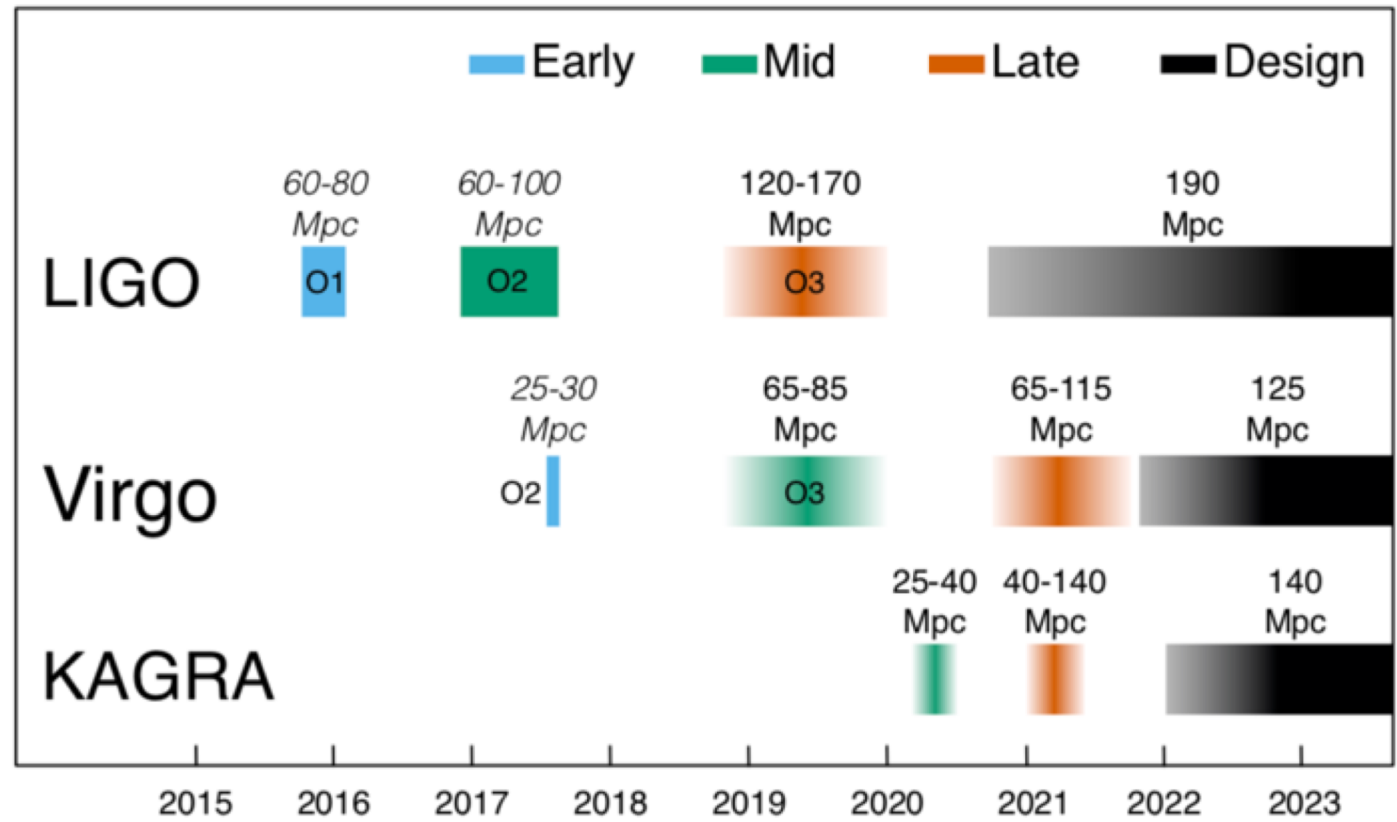
■IMCに置ける音響カップリング

- IMCにおける音響カップリングの評価ができた
- 他の干渉計のシステムのカップリングを調べる

ご静聴ありがとうございました

25-30 Mpc
65-85 65-115 Mpc Mpc
02 03
25-40 40-140 Mpc Mpc
2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023
Fig. 2 The planned sensitivity evolution and observing run

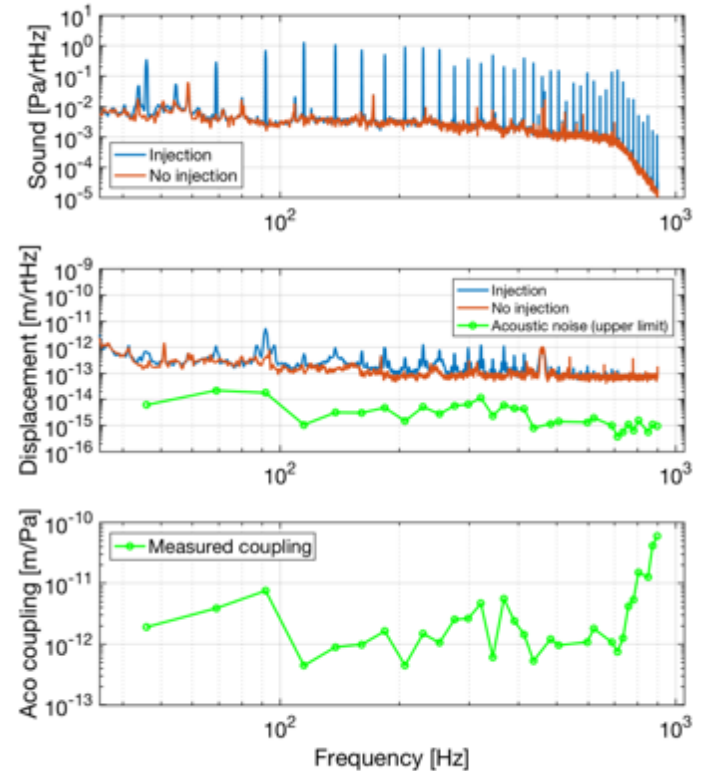
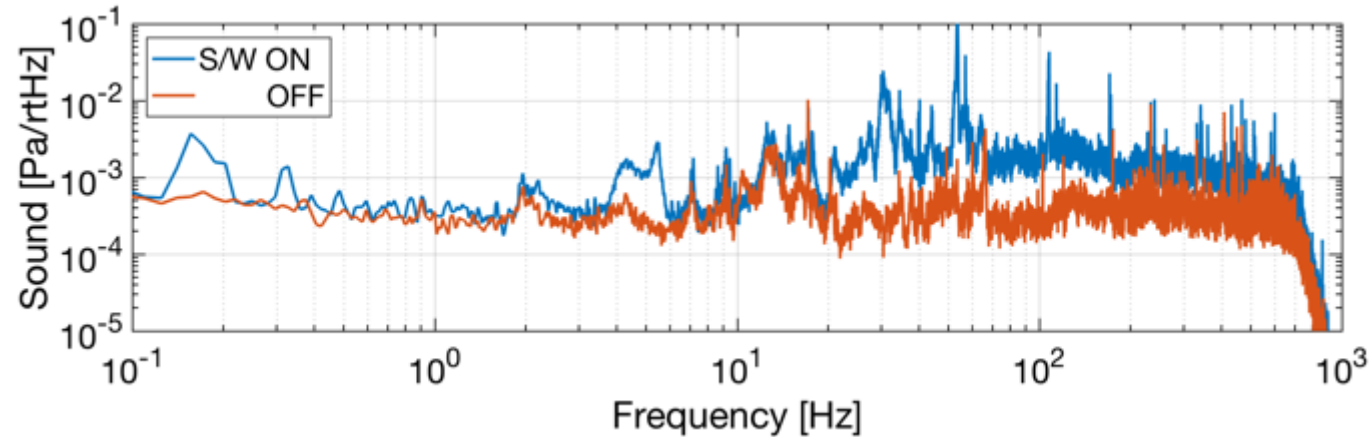
■ The KAGRA detector (K1; Somiya 2012; Aso et al 2013) is located at the Kamioka underground site. The first operation of a detector in an initial configuration is expected in March 2019. The detector will be cooled to its design temperature of 20 K in 2019 – and that of the Advanced LIGO and Advanced Virgo detectors is expected to be reached in 2020. The first observing run is expected to begin in 2020. The exact timing of the first observing run is intended to have a one-month run at KAGRA commencing in 2019.



and in March 2019. The detector will be cooled to its design temperature of 20 K in 2019 – and that of the Advanced LIGO and Advanced Virgo detectors is expected to be reached in 2020. The first observing run is expected to begin in 2020. The exact timing of the first observing run is intended to have a one-month run at KAGRA commencing in 2019.

KAGRA

■KAGRAの感度向上のためにはノイズハ必要



Physical Environmental Monitor (PEM)

■現在の状況

- モニターのインストールは最低限は済んでいる
- 今後は環境雑音注入試験などを行い環境雑音の理解を深めるほか諸装置とのカップリングを調べていく予定

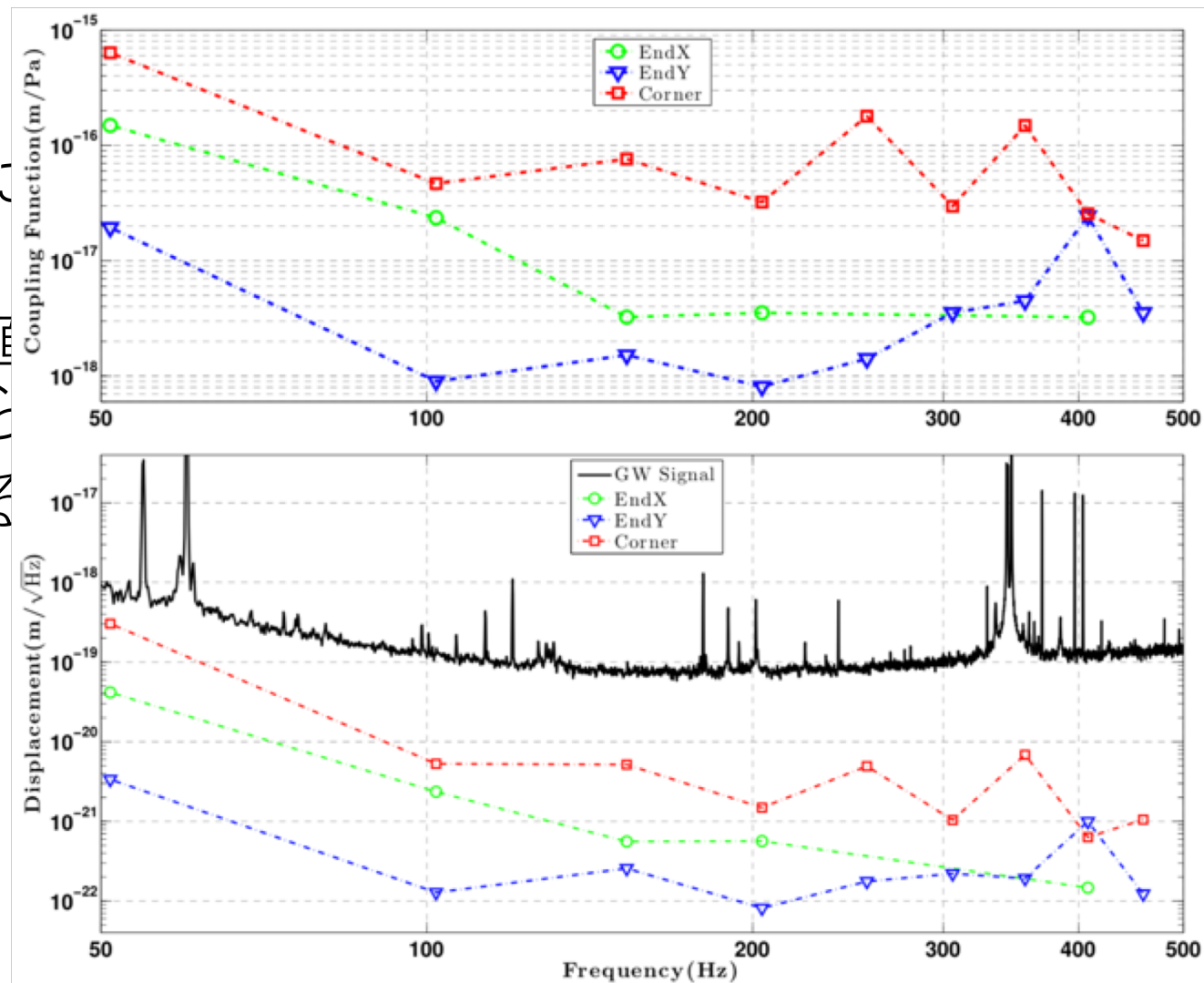
カップリング評価実験

- 設置したマイクや取得した重要チャンネル

Physical Environmental Monitor (PEM)

■環境とのカップリング

- 環境信号は干渉計の諸装置にして検出される
- 諸装置の雑音レベルの要求値来るだけ除去しなければなら
- 音場がどうカップリングする



Doctoral thesis of A. Effler, 2014, Louisiana State University, Figure 3.6

雑音評価測定

■ コヒーレンスのある周波数のノイズ探索

- コヒーレンスとは

二つの信号 $x(t), y(t)$ のフーリエ変換 $X(\omega), Y(\omega)$ を用いてクロススペクトル $S_{xy}(\omega)$ は

$$S_{xy}(\omega) = \overline{X^*(\omega)Y(\omega)}$$

と定義され、それを使って2乗コヒーレンス $\gamma_{xy}^2(\omega)$ は

$$\gamma_{xy}^2(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega)S_{yy}(\omega)}$$

と定義される。

コヒーレンスは各周波数について二つの信号間でどれだけ相関を持っているのか判断する指標となる。

雑音の特徴づけに有用。

今回の解析では $x(t)$ は音、 $y(t)$ はIMCの制御信号。

雑音評価実験

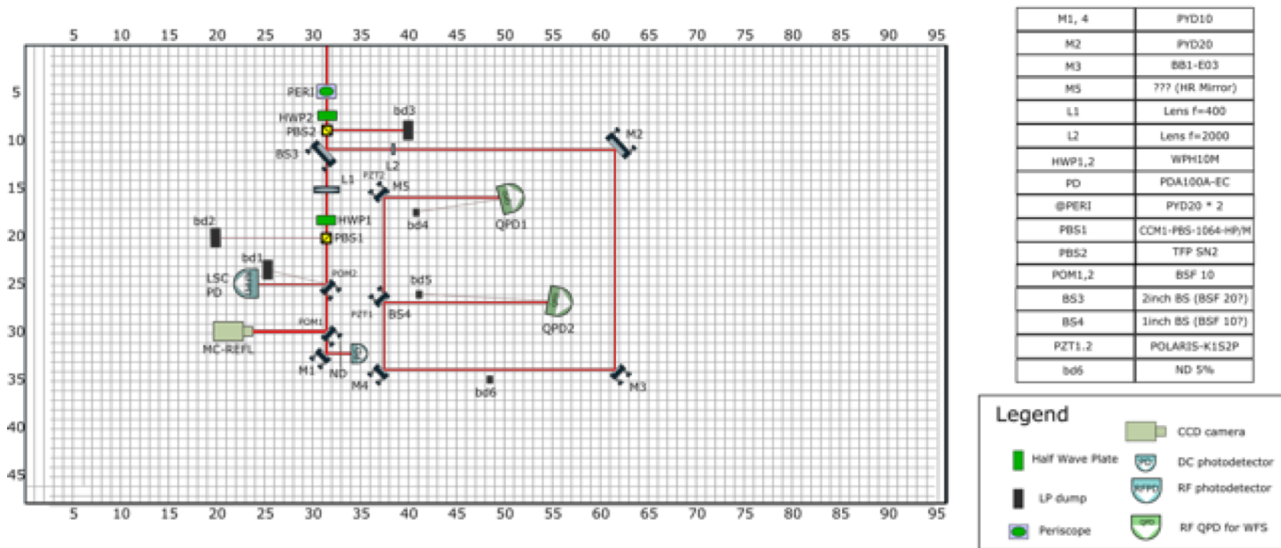
■ コヒーレンスのある周波数のノイズ探索

100(1 - α)%有意でコヒーレンスが無いという帰無仮説を棄却する場合の2乗コヒーレンスの信頼限界 $\gamma_{1-\alpha}^2$ は、

$$\gamma_{1-\alpha}^2 = 1 - \alpha^{N_e - 1}$$

となる。ここで、 N_e は等価自由度。

■ <https://gwdoc.icrr.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/private/DocDB/ShowDocument?docid=9175>



雑音評価測定

■GRAND

- 加速度計のgrand loop