

ねじれ振り子型重力波望遠鏡 TOBAの開発(9): 0.1 Hz付近周波数帯の雑音の低減

高野哲, 下田智文, 有富尚紀, 道村唯太, 正田亜八香^A,
麻生洋一^A, 高橋竜太郎^A, 山元一広^B, 安東正樹
東大理, 国立天文台^A, 富山大^B

概要

- ねじれ振り子型重力波望遠鏡TOBAの開発を行っている
- 現在はプロトタイプを製作し，感度を制限しうる雑音元の特定と低減に向けた研究を行っている
- 本研究では，これまで未評価だった環境磁場変動からの寄与を測定した
 - 現在の感度を十分制限しうるレベルの雑音

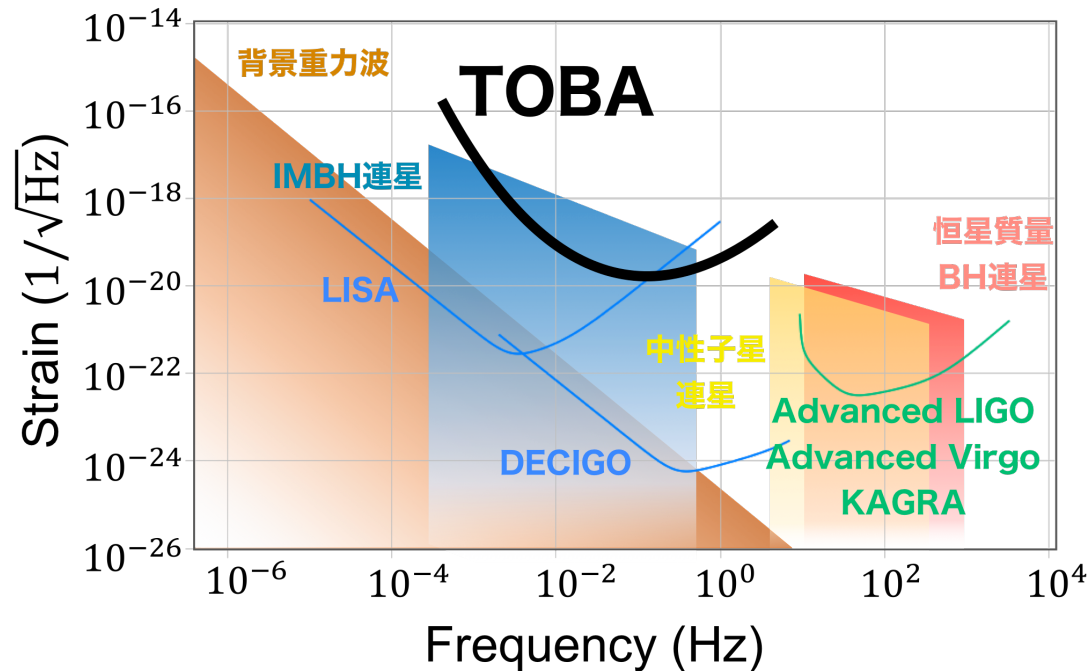
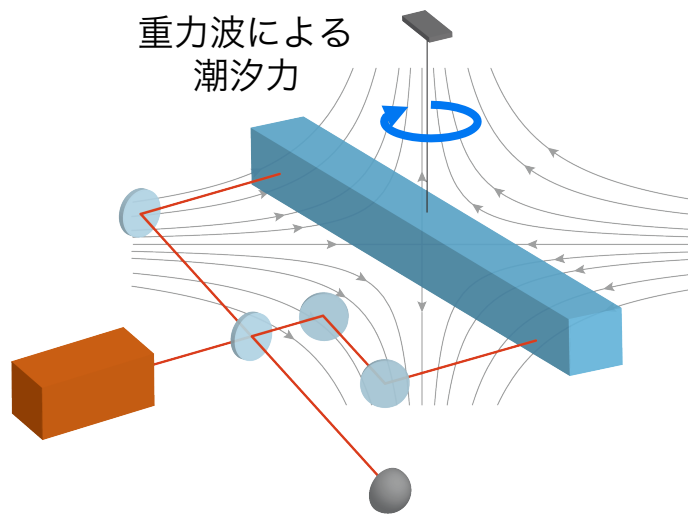
Contents

- TOBAについて
 - Overview
 - 現在のセットアップ
- これまでに評価された雑音
- 環境磁場変動に由来する雑音
- まとめ, 今後の展望

TOBA (Torsion Bar Antenna)

ねじれ振り子型重力波望遠鏡TOBA

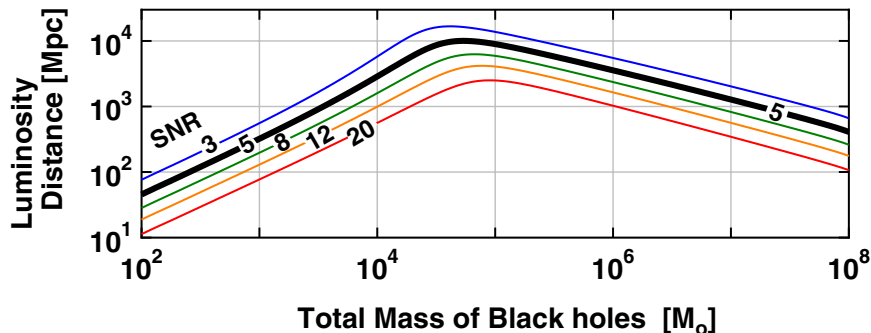
- 水平に懸架した棒状マスのねじれ回転を検出
- 共振周波数 \sim mHz \rightarrow 0.1-10Hzの**低周波重力波の地上観測**が可能
- 地上で観測可能(宇宙に打ち上げる必要がない) \rightarrow 低コスト
- 目標：10mスケールで $h \sim 10^{-19} / \sqrt{\text{Hz}}$ @0.1Hz



TOBAのサイエンス

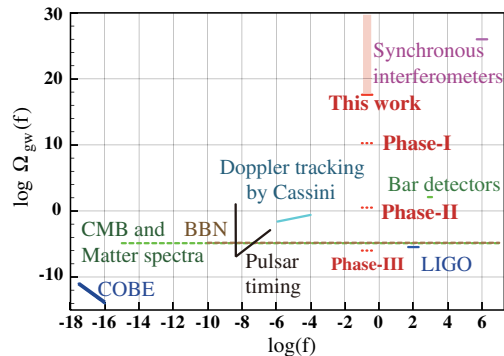
低周波 (~0.1 Hz) の重力波

- 中間質量BH連星の合体
 - 大質量BH形成過程の解明



M. Ando et al., PRL, 105, 161101(2010)

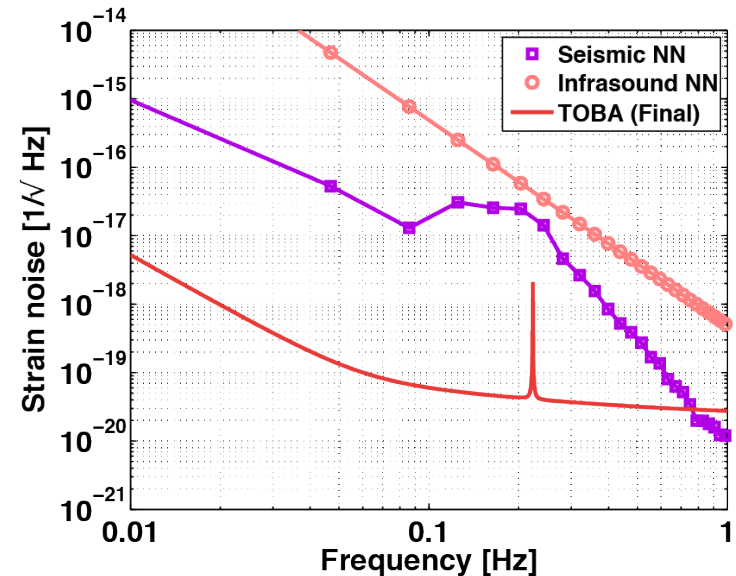
- 背景重力波への制限
 - 初期宇宙の直接探査



K. Ishidoshiro et al., PRL 106, 161101 (2011)

重力偏差計としての活用

- Newtonian Noise
 - モデル検証,
 - 第3世代重力波干渉計のR&D



J. Harms et al., PRD, 88, 122003(2013)

- 地震の即時アラート
 - 社会, 産業への大きな貢献

研究計画

次講演

原理実証

次段階

最終目標

Prototypes
Phase-I (2009)
Phase-II (2015)

Now
Here

Phase-III (Next)
- 40cm 試験マス
- シリコンワイヤ
- 低温 (**4K**)
目標: $10^{-15} / \sqrt{\text{Hz}}$
@ 0.1 Hz

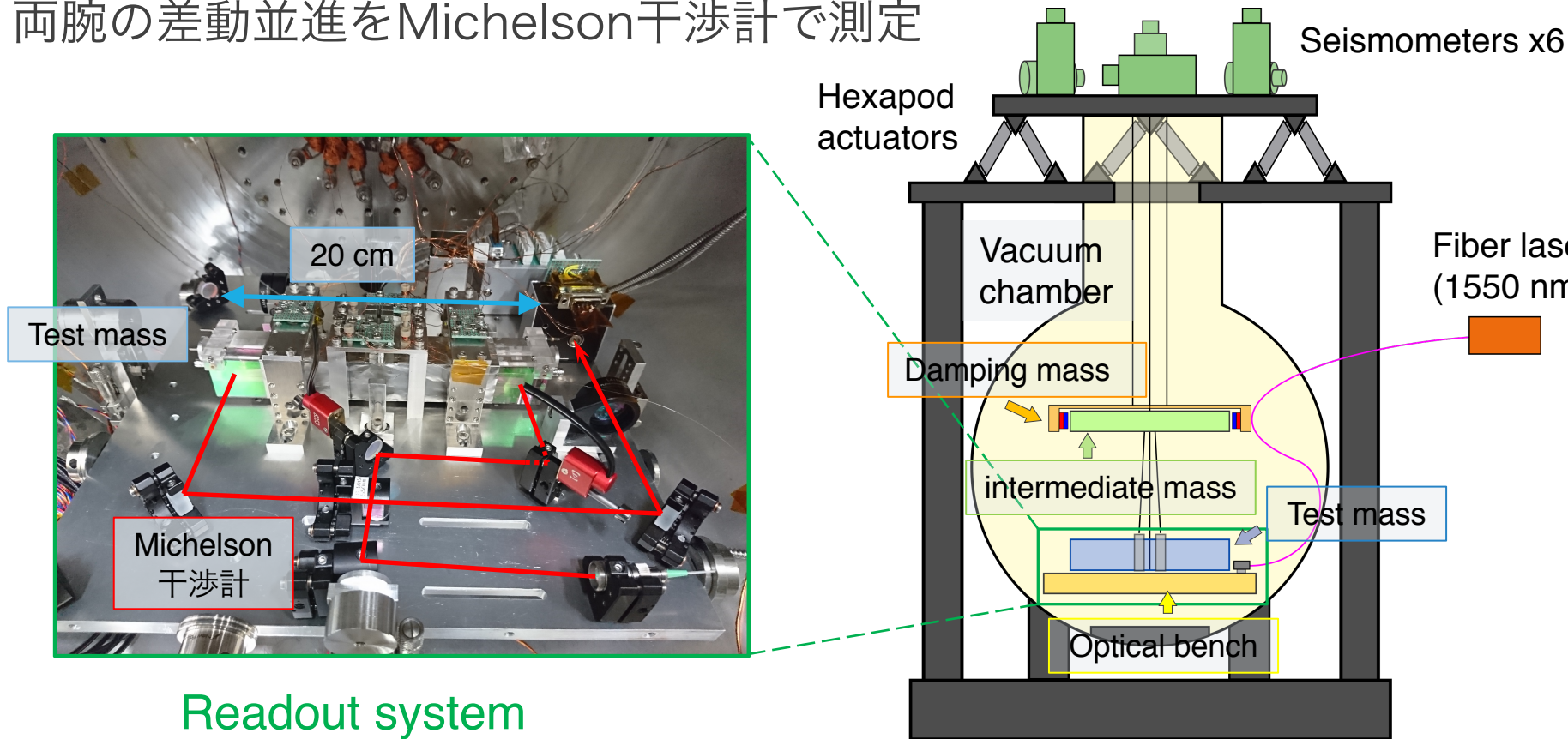
Final TOBA
- **10m** 試験マス
- シリコンワイヤ
- 低温 (**4K**)
目標: $10^{-19} / \sqrt{\text{Hz}}$
@ 0.1 Hz

↑
Phase-III実現に向けて、障害となる雑音元の特定とその低減手法の確立が目的

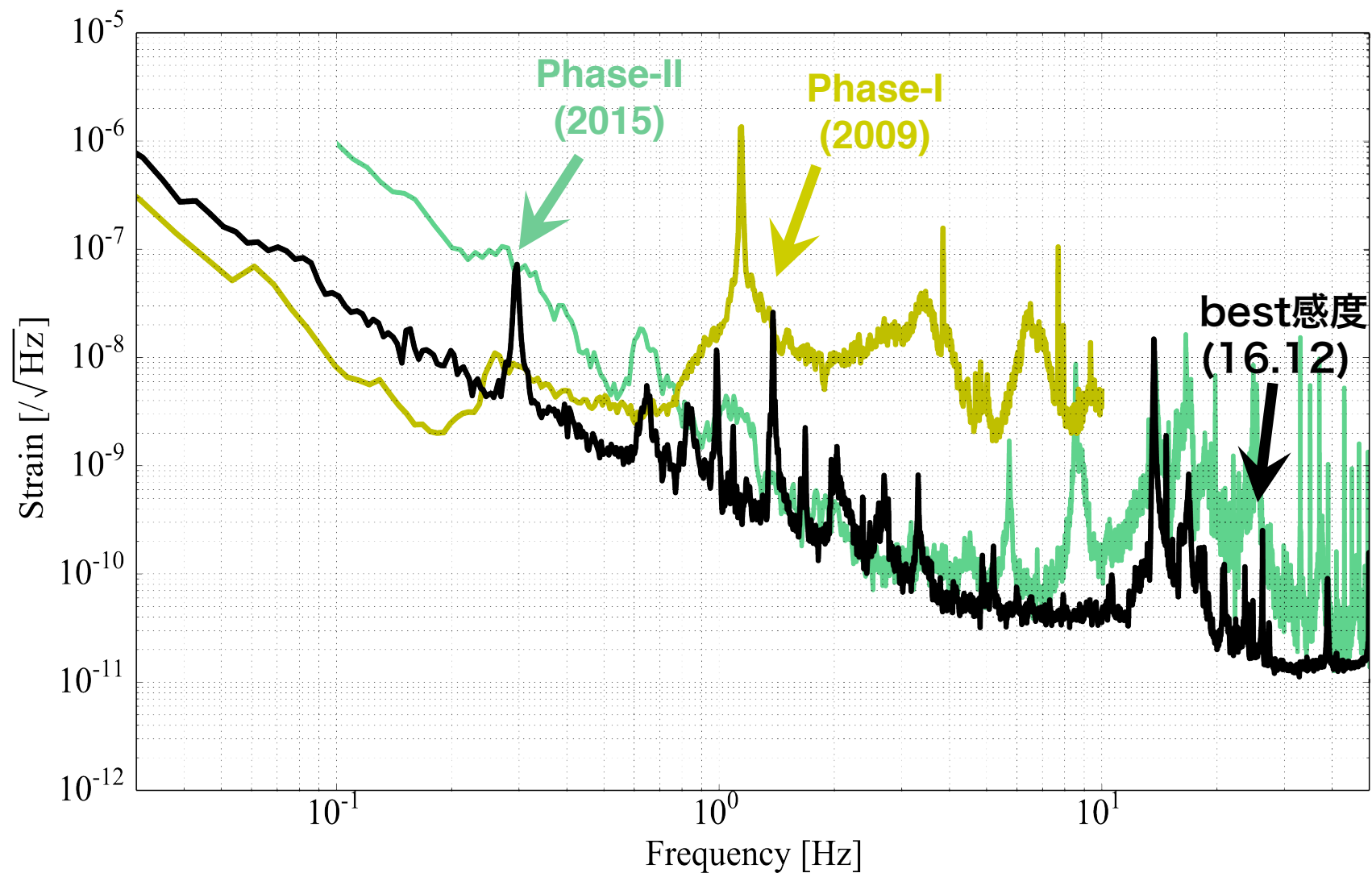
本講演

現在のセットアップ

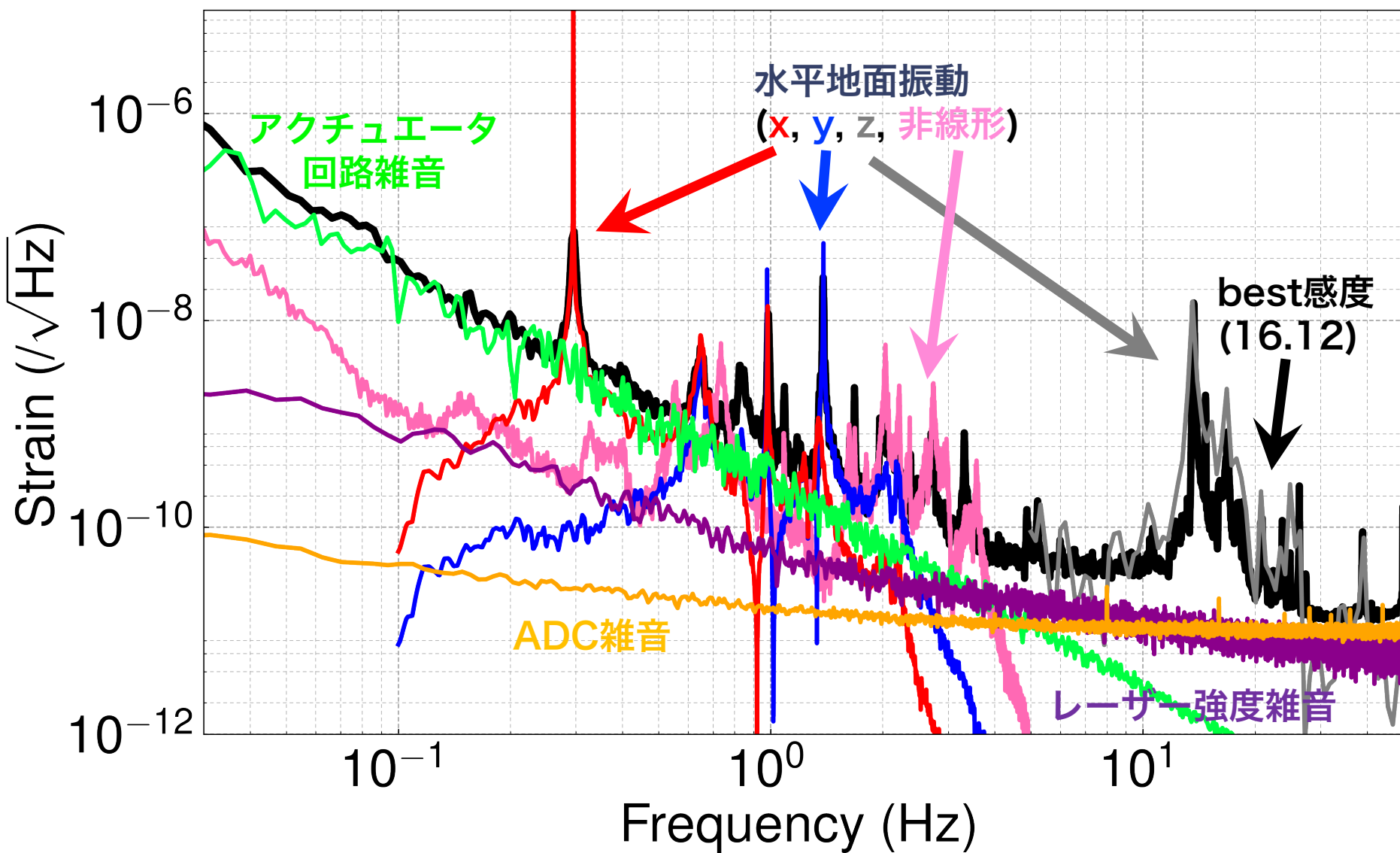
20cm試験マス, 2段ねじれ振り子懸架系
両腕の差動並進をMichelson干渉計で測定



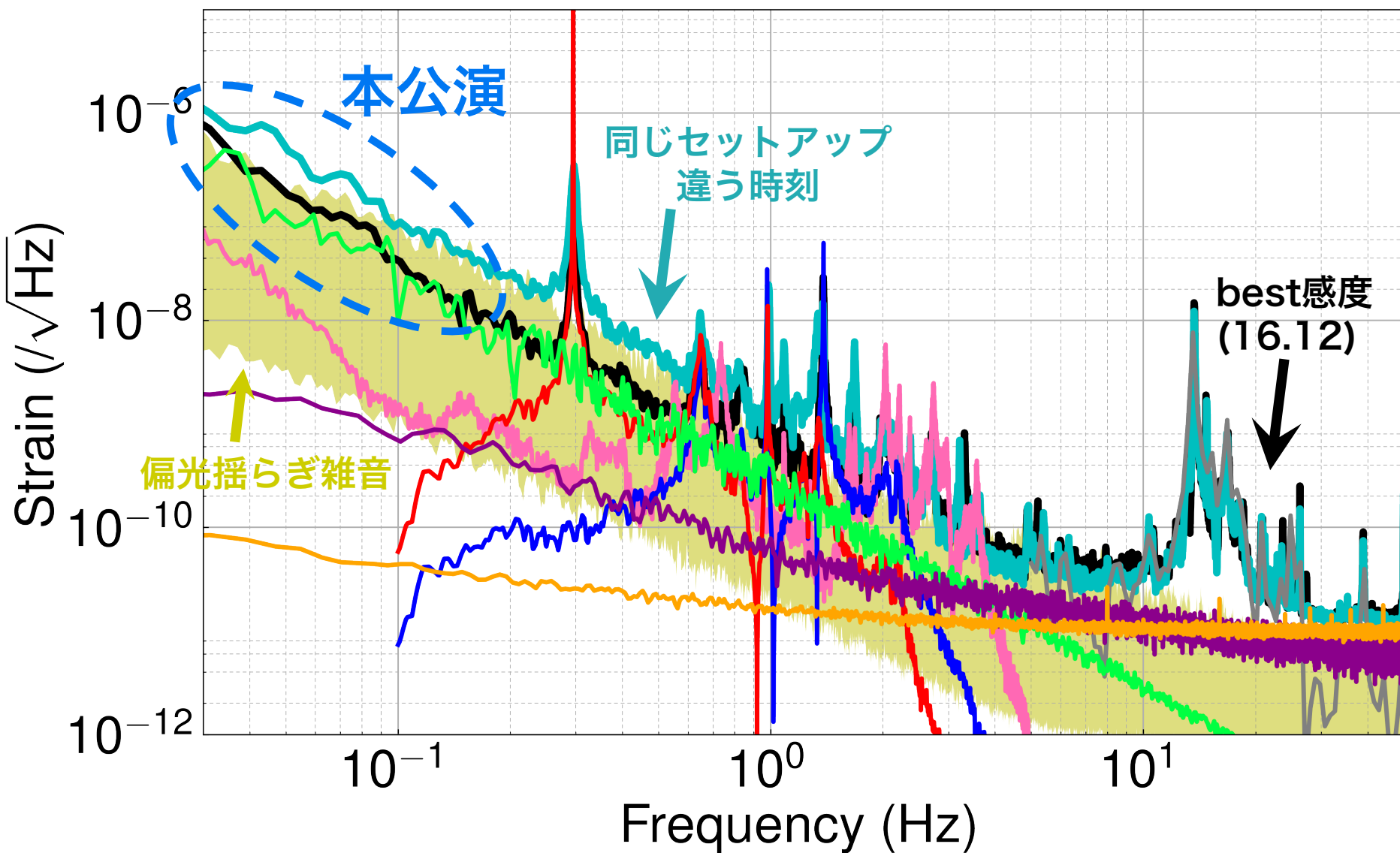
現在の感度



既知の雑音元



感度の時間変動



低周波の雑音源

これまでに予想されている低周波の雑音源

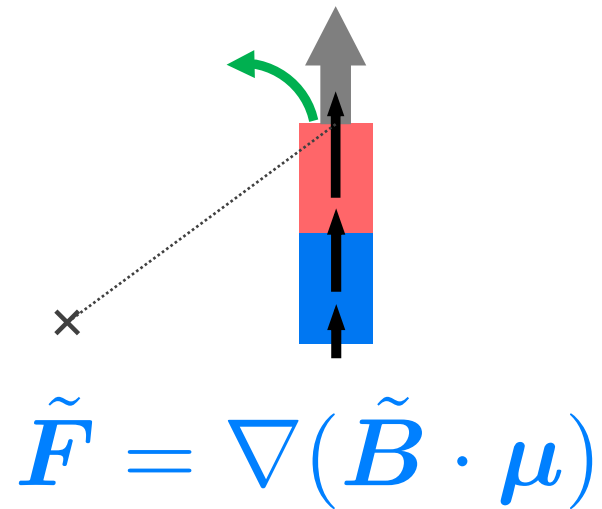
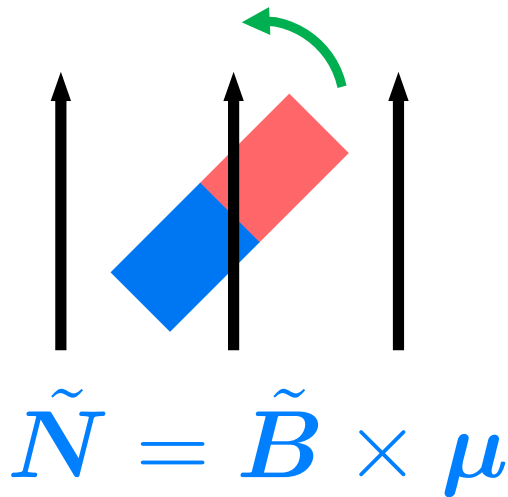
雑音源	トルク雑音		センサー雑音	
	アクチュエータ回路	環境磁場変動	偏光揺らぎ	周波数揺らぎ
カップルする部分	アクチュエータ	アクチュエータ, 光学ベンチ	光源	光源
定量的評価	○	×	○	○
感度への寄与	○	?	×	×

▶ 未評価の**環境磁場変動**の雑音について評価を行う

環境磁場雑音

磁場変動から干渉計へのカップリング経路：

- 一様磁場変動
 - 直接トルクとして寄与
- 磁場勾配変動
 - 力→トルクとして寄与



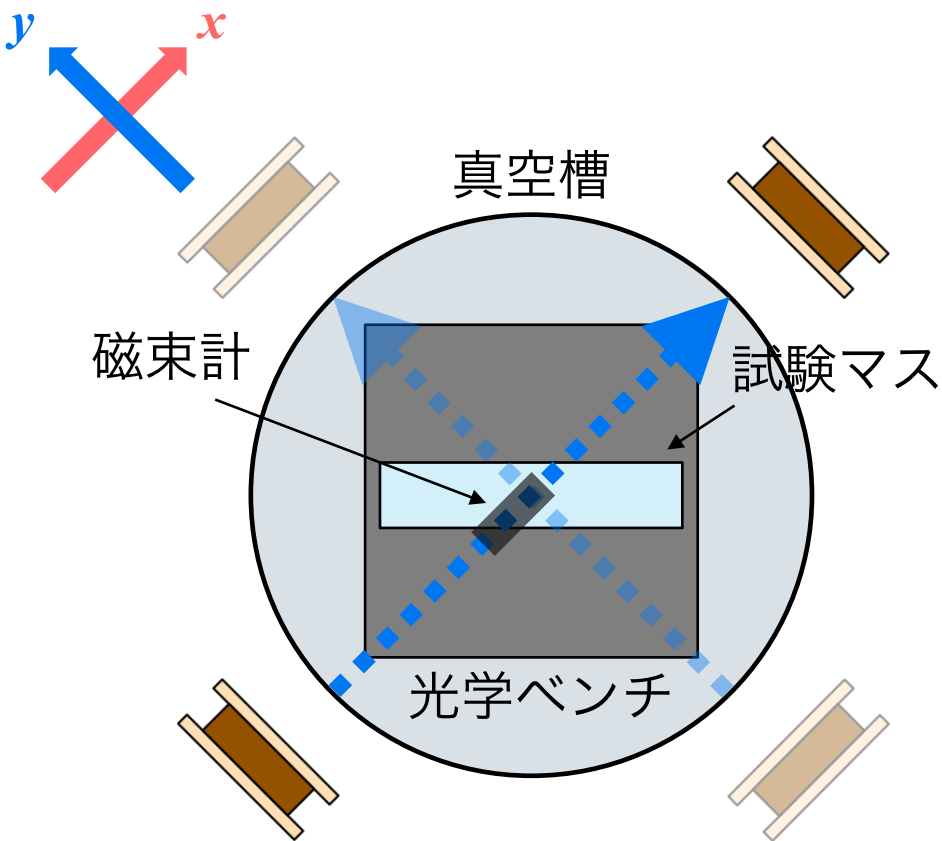
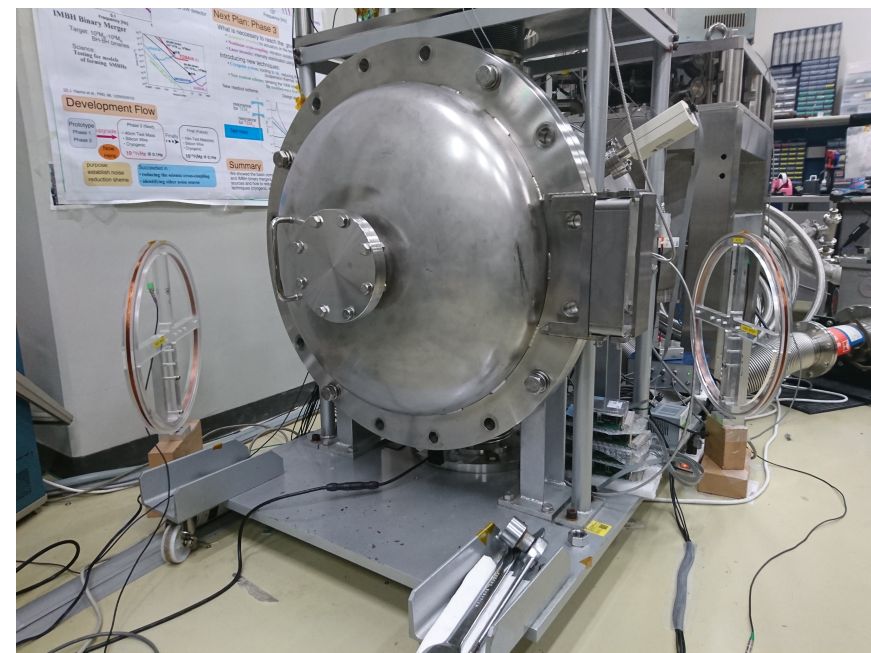
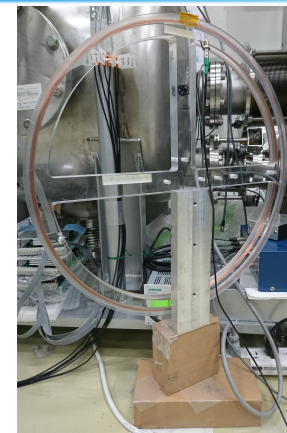
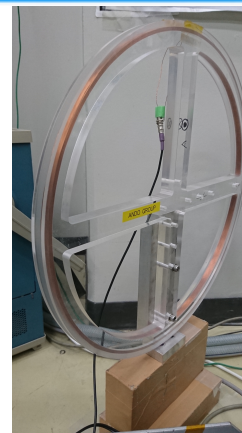
いずれも磁気モーメントの時間変動は無視
今回は一様磁場変動からの寄与を測定

一様磁場のインジェクション

一様磁場変動を外部からインジェクション

- 2つ1組のコイル, 2方向

2つのコイルの中心軸上では一様な磁場

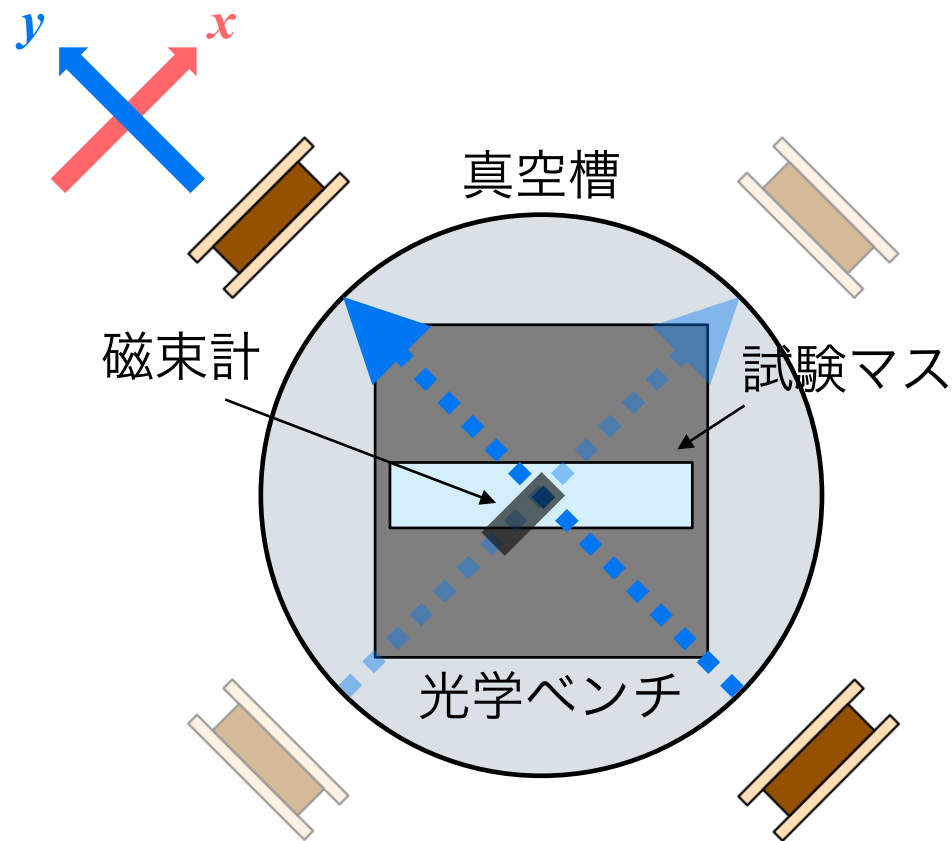
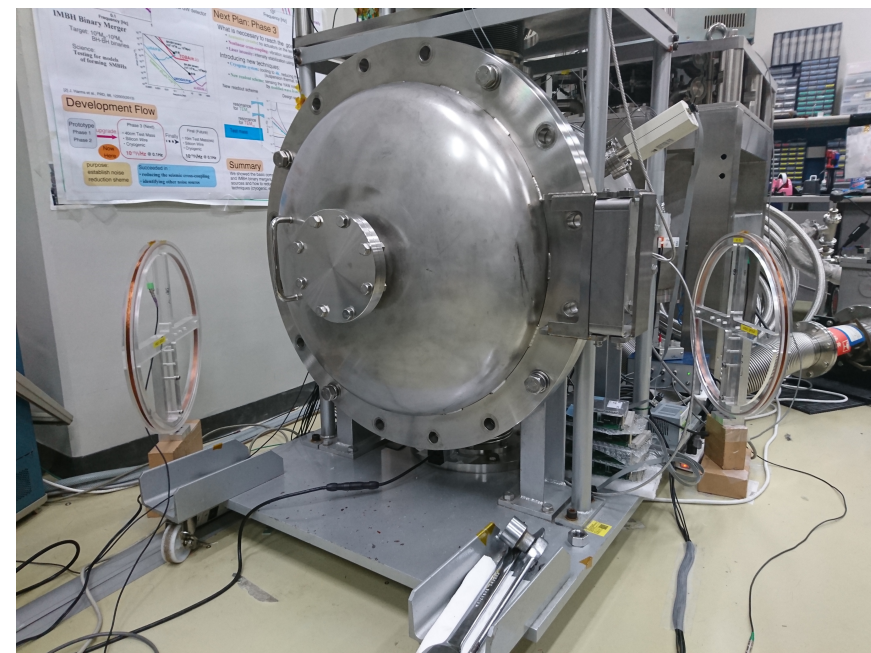
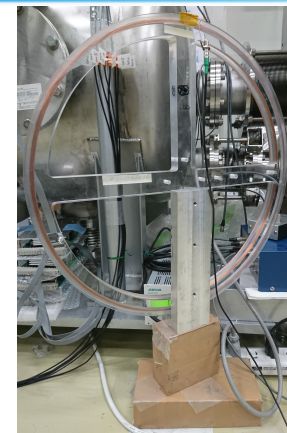
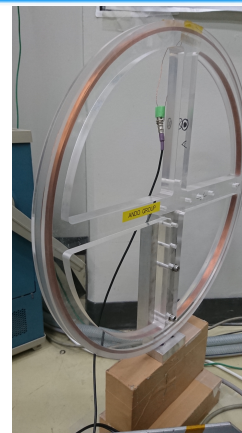


一様磁場のインジェクション

一様磁場変動を外部からインジェクション

- 2つ1組のコイル, 2方向

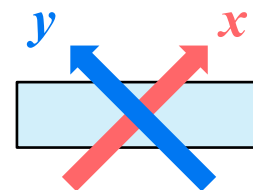
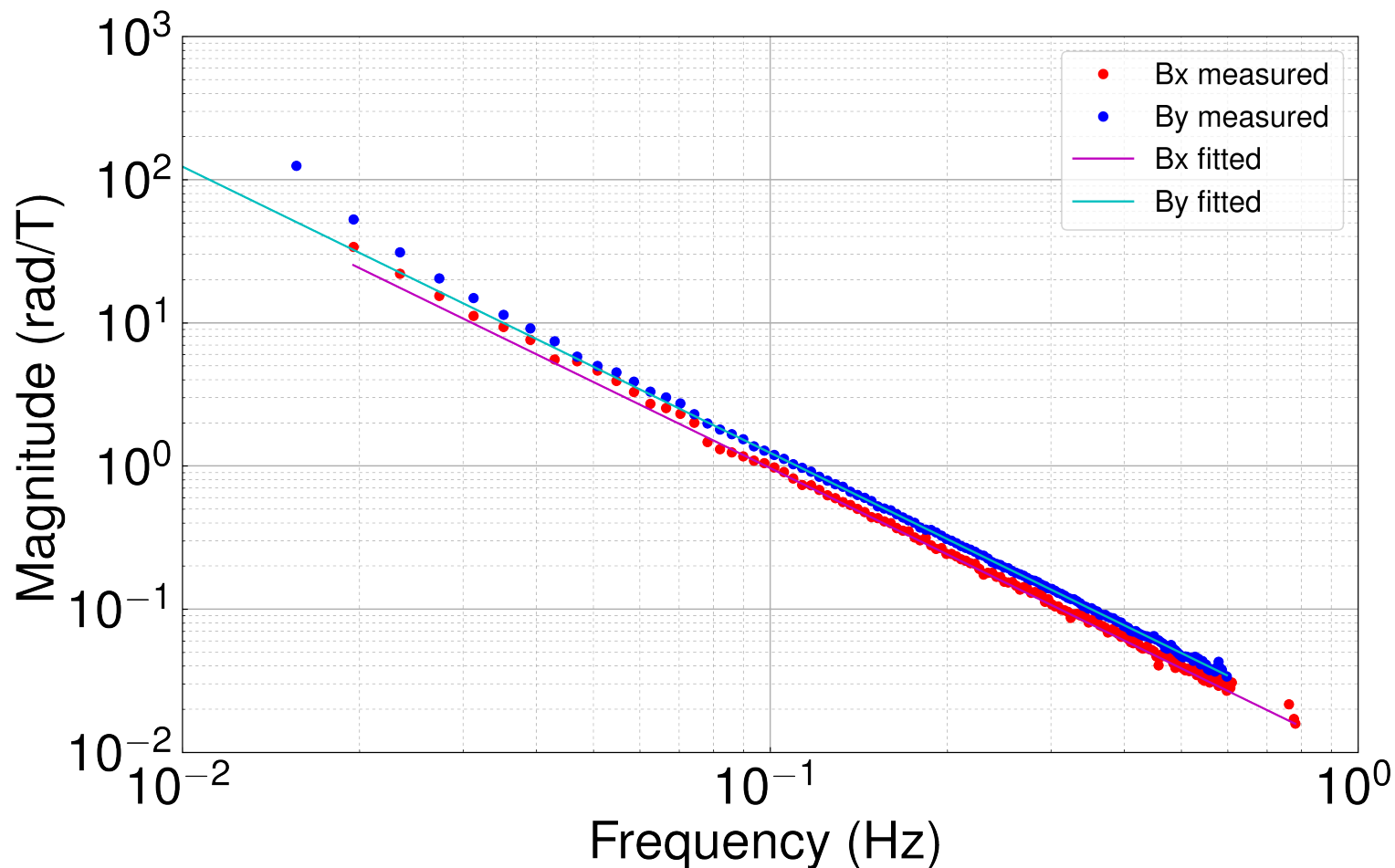
2つのコイルの中心軸上では一様な磁場



一様磁場から干渉計への応答

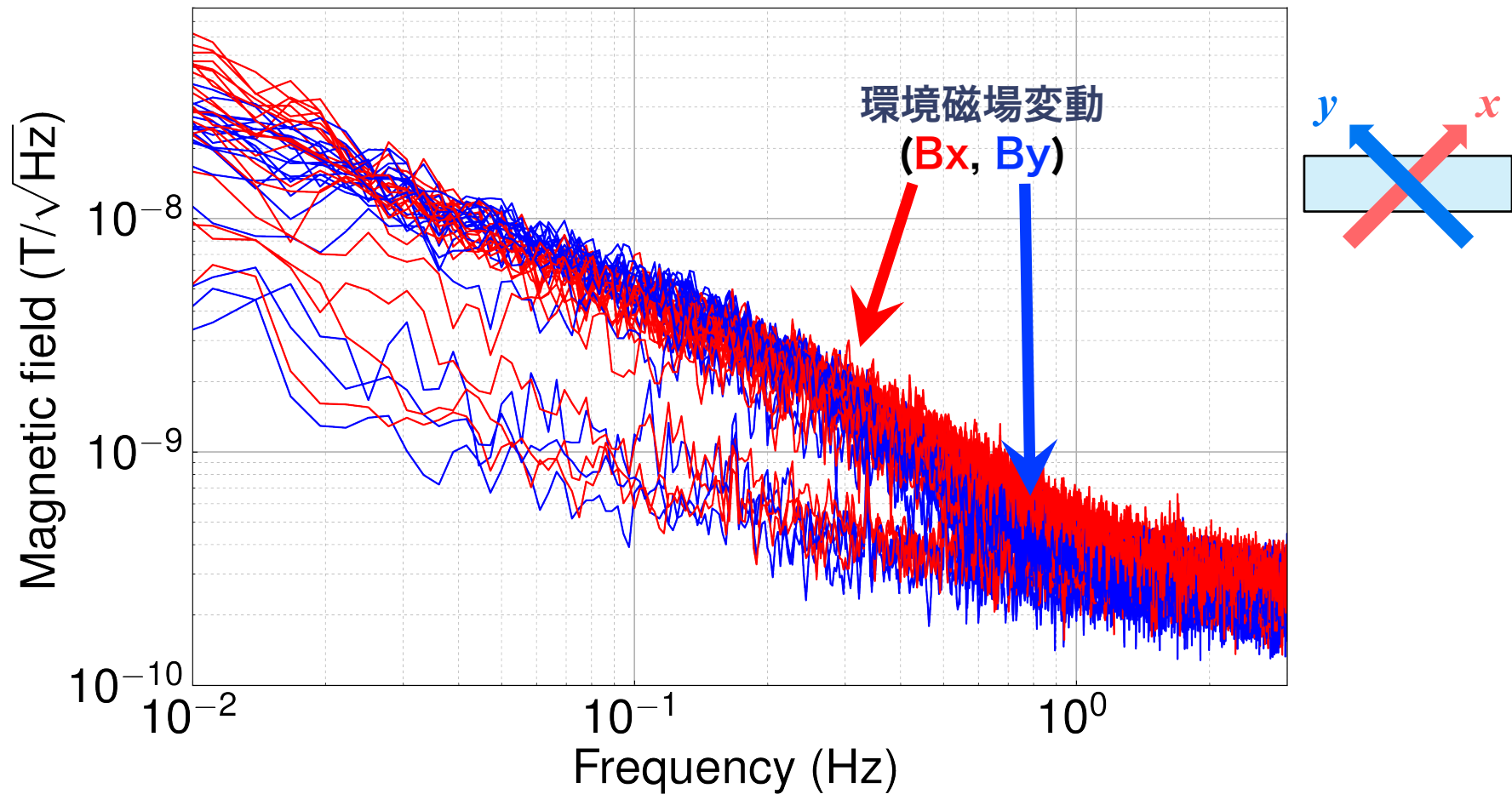
Bxからの寄与: $9.6 / f^2 \text{ mrad} \cdot (\text{Hz})^2 / \text{T}$

Byからの寄与: $12 / f^2 \text{ mrad} \cdot (\text{Hz})^2 / \text{T}$



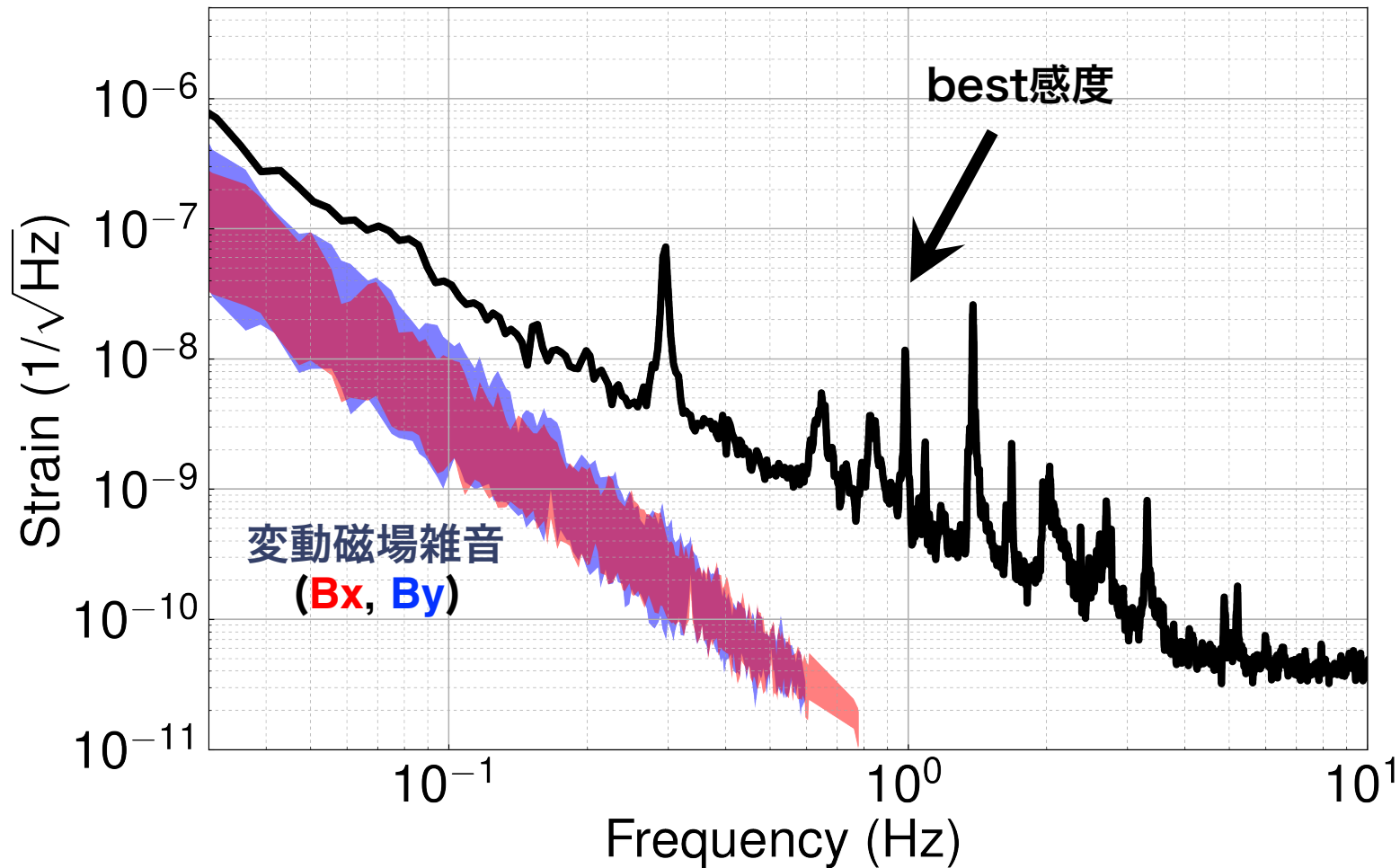
環境磁場変動

時間帯によって大きく変化，深夜は昼間と比べて5倍程度小さい



変動磁場雑音

- 変動磁場雑音 = 磁場変動 × 磁場変動から干渉計への応答



Conclusion

- TOBAの低周波(< 0.1 Hz)の感度を制限している雑音の評価, 特に環境磁場変動による雑音の評価を行った
 - ▶現在のベスト感度よりも数倍低いレベルにいる
 - ▶将来的に感度を制限する可能性がある
- どの素子からの寄与が大きいのかの特定を行う
磁気モーメントの小さい素子に変更
- 外部から磁場をフィードフォワードして環境磁場を打ち消す
- 小さなコイルで磁気モーメントを打ち消す

本講演での結果をもとに, Phase-IIIの設計に生かす (次講演)