

KAGRA重力波検出器防振系における クラックリングノイズの研究(3)

桐井 真

東京大学

宇宙線研究所, 国立天文台^A

理学系研究科物理学専攻

共著者: Liu Yingtao, 川村 静児, 高橋竜太郎^A

目次

1. イントロダクション
2. クラックリングノイズ研究の計画
3. プロトタイプ実験のレビュー
4. クラックリング測定装置の開発状況
5. まとめと今後の計画

目次

1. イントロダクション
2. クラックリングノイズ研究の計画
3. プロトタイプ実験のレビュー
4. クラックリング測定装置の開発状況
5. まとめと今後の計画

イントロダクション

1. 今年2月、アメリカの重力波観測器LIGOにて、世界初の重力波観測が報告された。それに伴い、重力波天文学の発展のため日本のKAGRAでも、世界の重力波検出ネットワークに加わるため早急な目標感度の達成の必要性が叫ばれている。
2. KAGRAは基線長が長く地球の曲率が有意に影響する、また排水のための勾配もあるため、ミラーの縦方向の振動が感度を制限する。従って縦方向の防振が非常に重要となり、それを担っているのがGASフィルターである。
3. GASフィルターにパルス状のノイズ(クラッキングノイズ)が入ることが予想されるため、KAGRAのノイズ低減のためには、クラッキングノイズ低減法の開発が非常に重要となってくる。
4. 本講演では、クラッキングノイズ低減法開発研究の過程での、クラッキングノイズ測定実験の装置開発の進捗状況について述べる。

目次

1. イントロダクション
2. クラックリングノイズ研究の計画
3. プロトタイプ実験のレビュー
4. クラックリング測定装置の開発状況
5. まとめと今後の計画

クラックリングノイズ研究の計画

1. テーブルトップでのクラックリングノイズの測定
 - 1.1 測定手法の開発とプロトタイプの開発
 - 1.2 改良型の測定器の開発
 - 1.3 クラックリングノイズの測定
2. KAGRAのノイズへのクラックリングノイズの影響を考察
3. KAGRAにおけるクラックリングノイズ低減法の開発

クラックリングノイズ研究の計画

1. テーブルトップでのクラックリングノイズの測定

1.1 測定手法の開発とプロトタイプの開発

1.2 改良型の測定器の開発 

1.3 クラックリングノイズの測定

2. KAGRAのノイズへのクラックリングノイズの影響を考察

3. KAGRAにおけるクラックリングノイズ低減法の開発

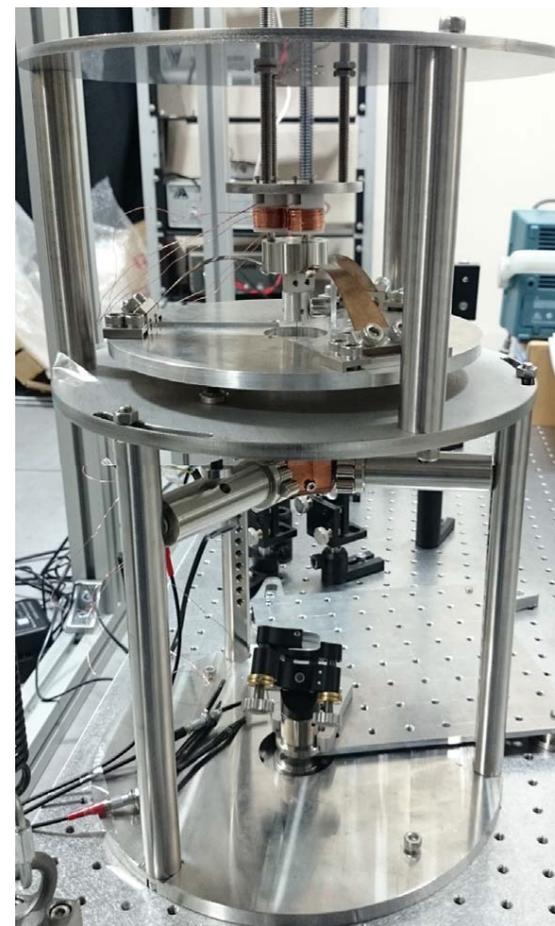
目次

1. イントロダクション
2. クラックリングノイズ研究の計画
3. プロトタイプ実験のレビュー
4. クラックリング測定装置の開発状況
5. まとめと今後の計画

大まかな実験手法

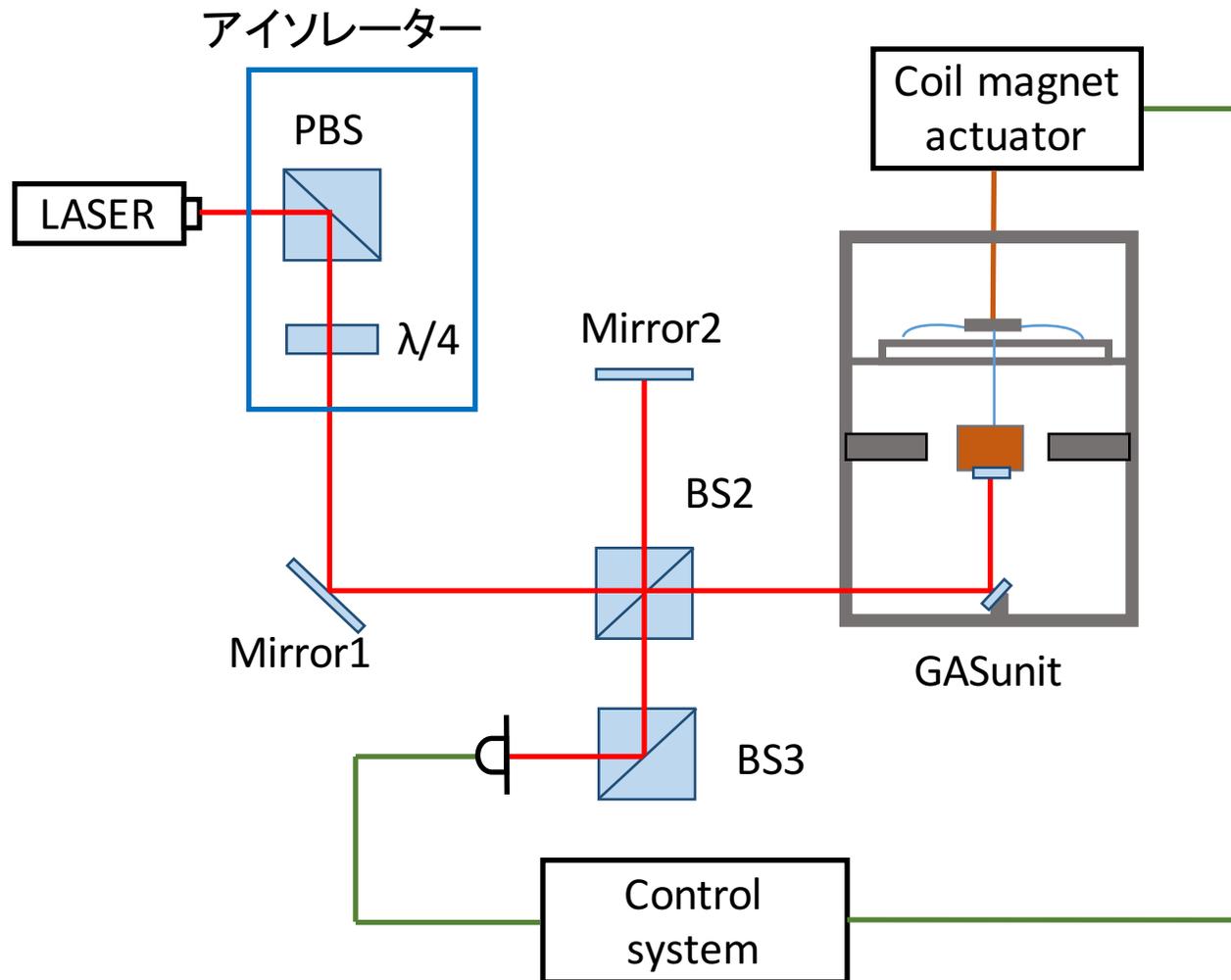
1. テーブルトップサイズのGASフィルターでミラーが取り付けられたテストマスを懸架したものとビームを鉛直方向に折り曲げるミラーを合わせたGASユニットを製作。
2. テストマスのミラーをエンドミラーとしたマイケルソン干渉計を組み、GASフィルター上部に取り付けたアクチュエーターを用いて干渉計からの信号をフィードバックし、ミッドフリンジにロック。
3. さらにアクチュエーターからGASに大きな信号を付加し、それを測定することでクラックリングノイズを計測する。

テーブルトップサイズのGASユニットプロトタイプ

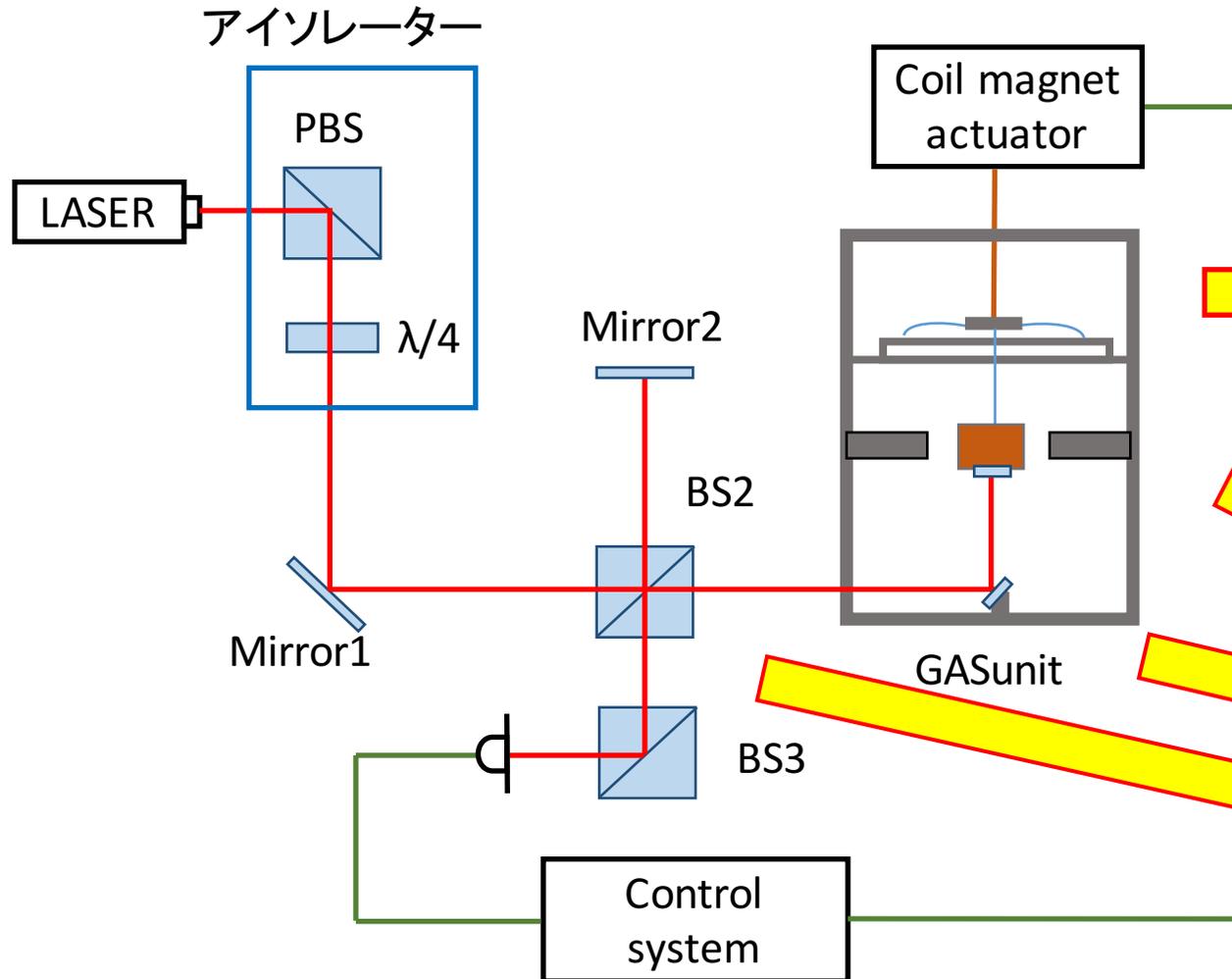


by Yamanaka-san's thesis

プロトタイプ



プロトタイプ



小型にアレンジされたGASフィルターにテストマス兼ミラーを取り付け、PDからの信号を制御系を通してコイルマグネットアクチュエーターでフィードバックし制御している。

ワイヤーはテストマス上部に固定されている

GASユニット下部のビーム折り曲げミラーおよび、BSは固定されている。

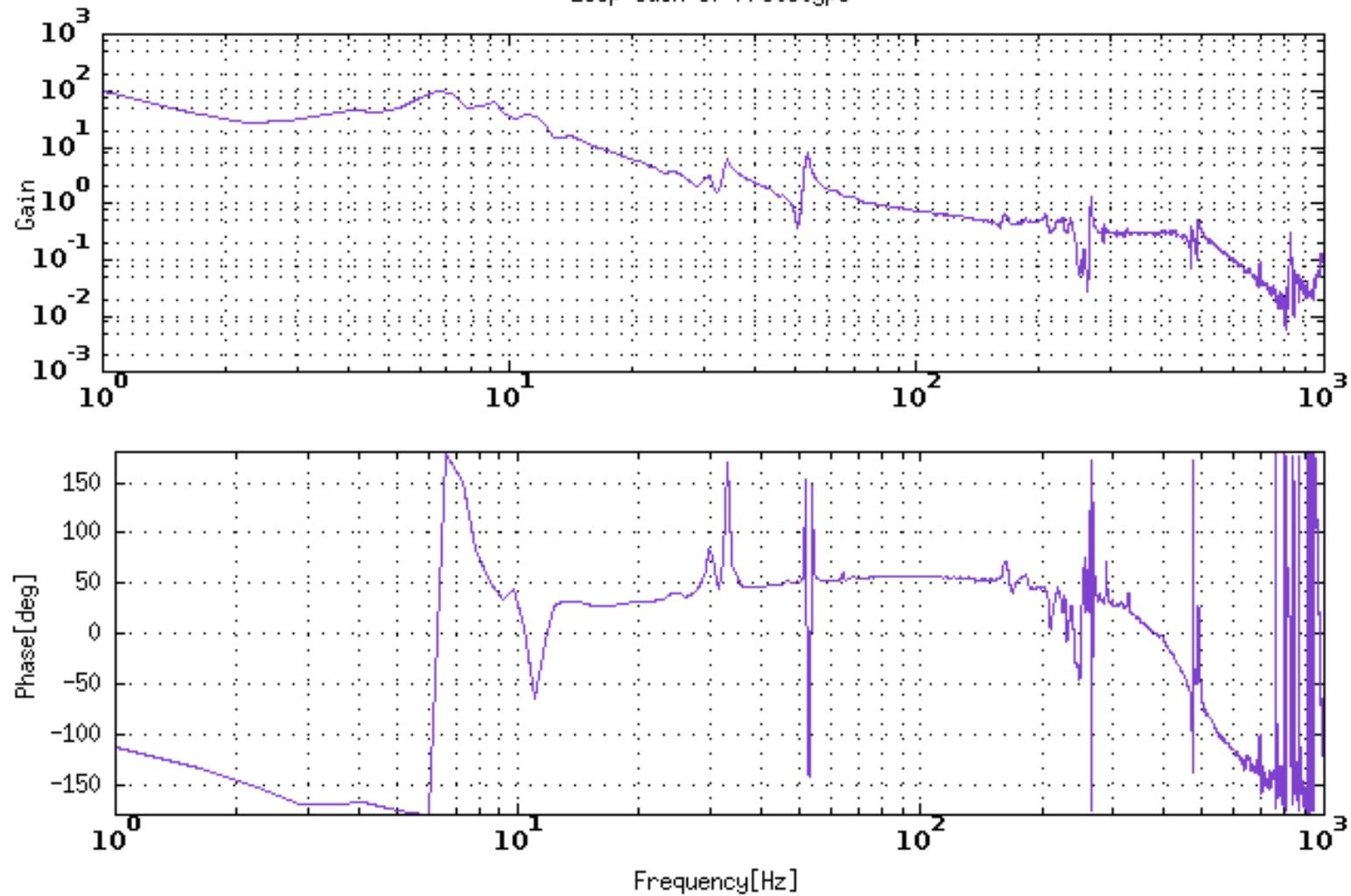
光学系、GASユニットの全体が懸架されている

プロトタイプ実験での達成事項

- プロトタイプGASユニットの開発及びそれを用いたマイケルソン干渉計のミッドフリンジロックの達成
- 伝達関数やノイズの測定、および見積もりを行い装置の性能を評価した
- **問題点の洗い出し**
 - ワイヤーがテストマスの上部に取り付けられているため、テストマスの傾きモードの振動が高周波数帯でノイズにカップルしている。
 - 220Hz周辺に共振が存在
 - ノッチフィルターの位置がゲインの直前で電氣的なノイズが増幅されている
 - 各ケーブルの配置が悪く、その振動が装置に流れている可能性がある など...

プロトタイプのループゲイン

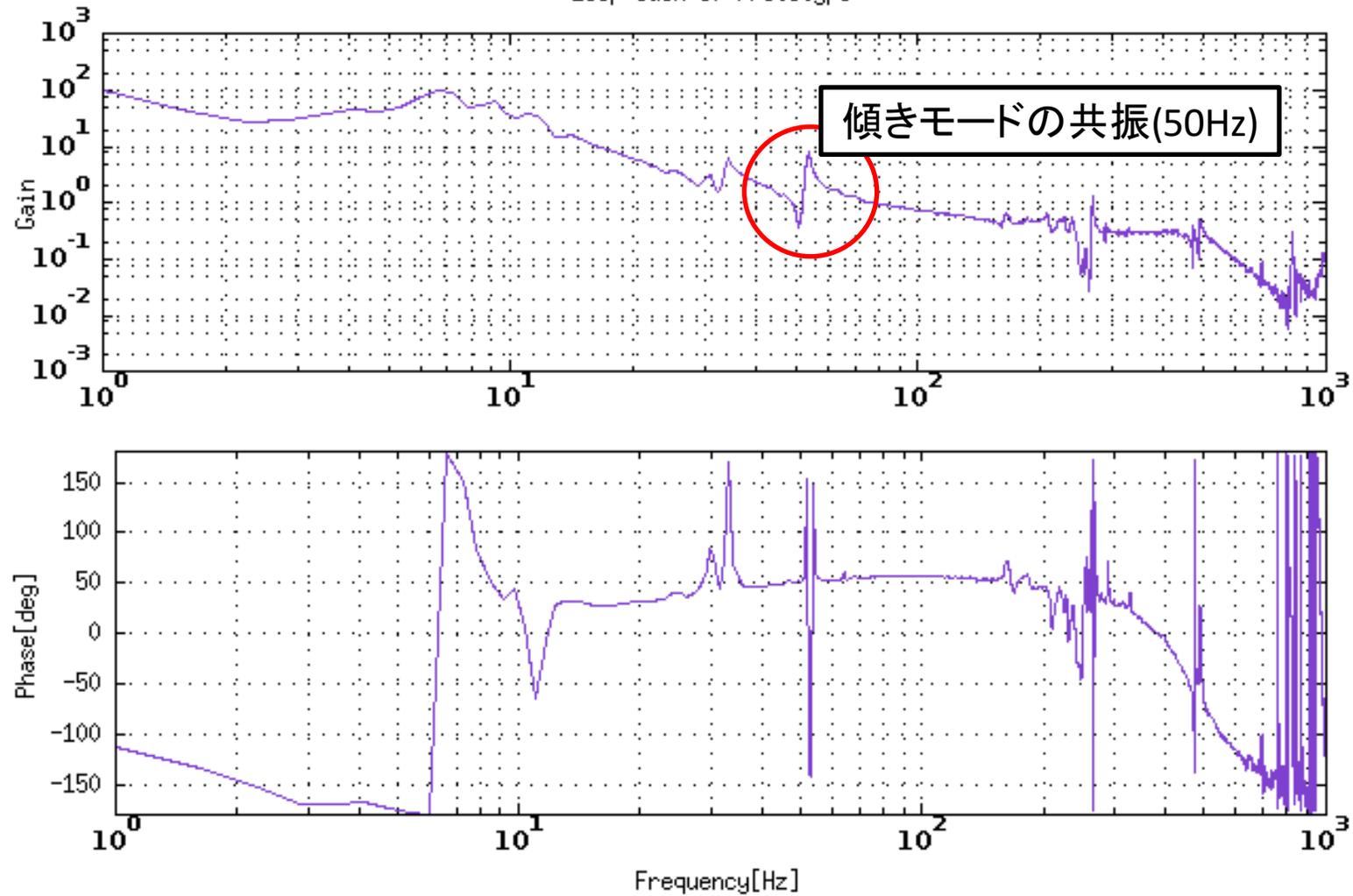
Loop Gain of Prototype



by Yamanaka-san's thesis

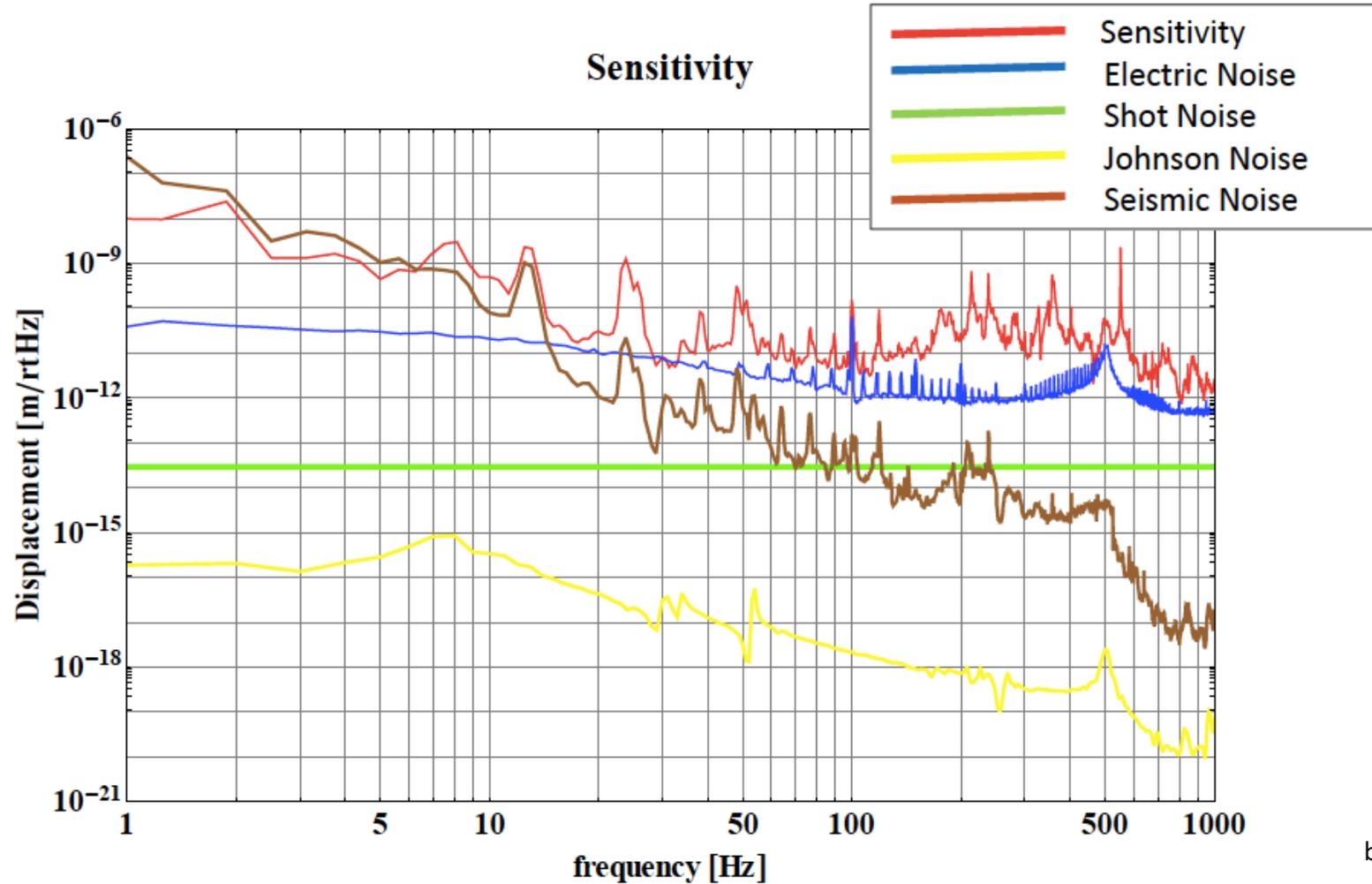
プロトタイプのリニアゲイン

Loop Gain of Prototype



by Yamanaka-san's thesis

プロトタイプのご感度



by Yamanaka-san's thesis

目次

1. イントロダクション
2. クラックリングノイズ研究の計画
3. プロトタイプ実験のレビュー
- 4. クラックリング測定装置の開発状況**
5. まとめと今後の計画

クラックリング測定装置の開発状況

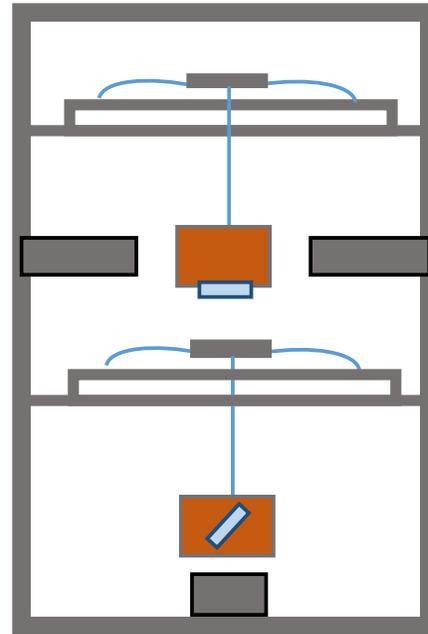
1. プロトタイプで明らかになった問題点のいくつかを改善し、干渉計をミツドフリンジにロックした。
2. ロックは完了したが、制御系のゲインを上げすぎると40Hz付近の発振が見られたので発振が起こる直前のゲインでロックし、現段階での装置の性能を評価した。
3. しかしコントラストは14.8%と低い

改善点①

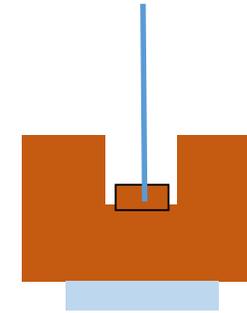


by Liu-san's thesis

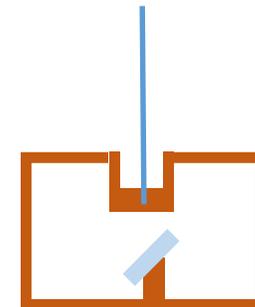
ワイヤーがテストマスの重心近くに取り付けられている



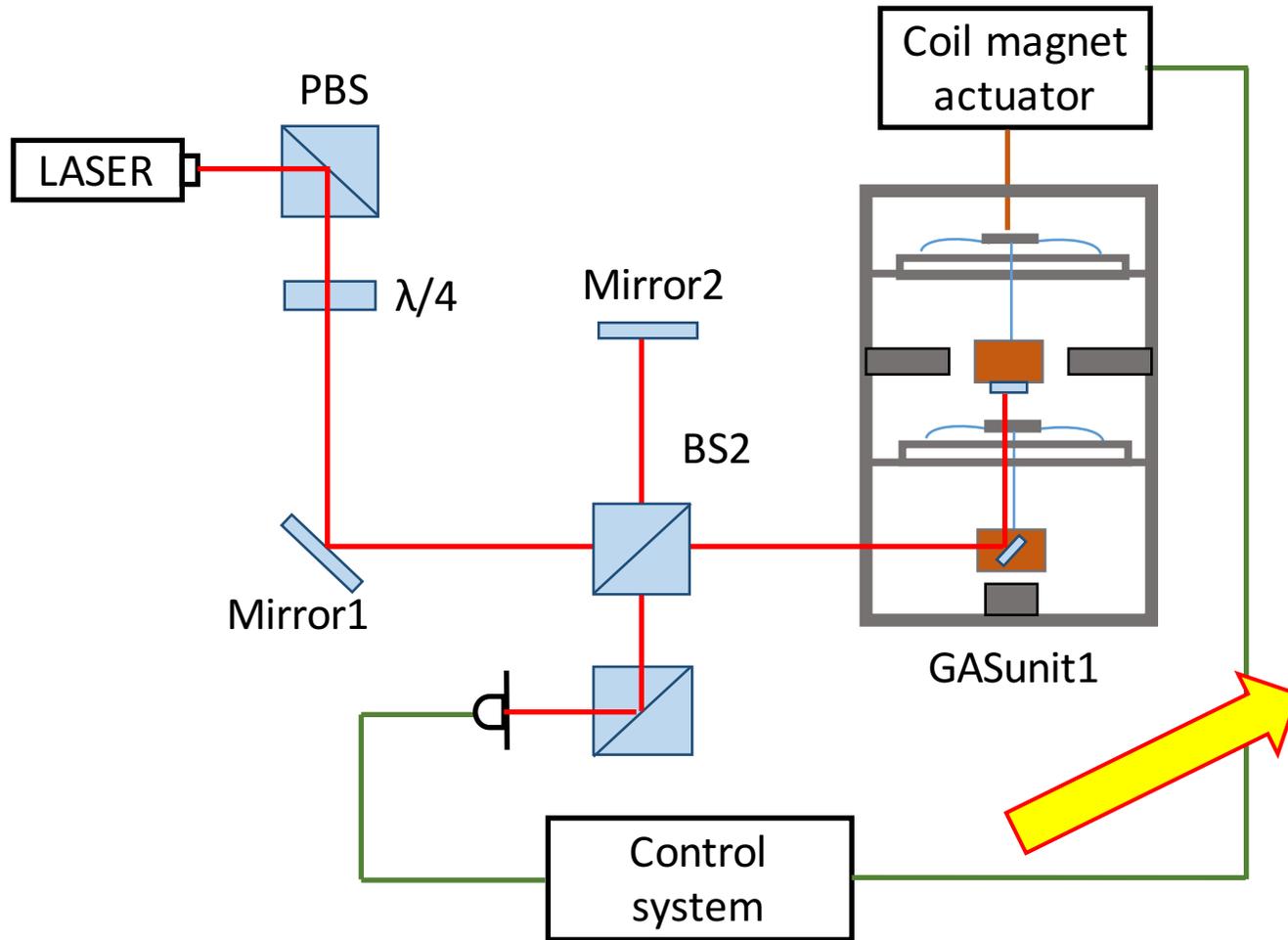
新たなGASユニットの導入



ビーム折り曲げミラーがGASフィルターにより懸架されている。

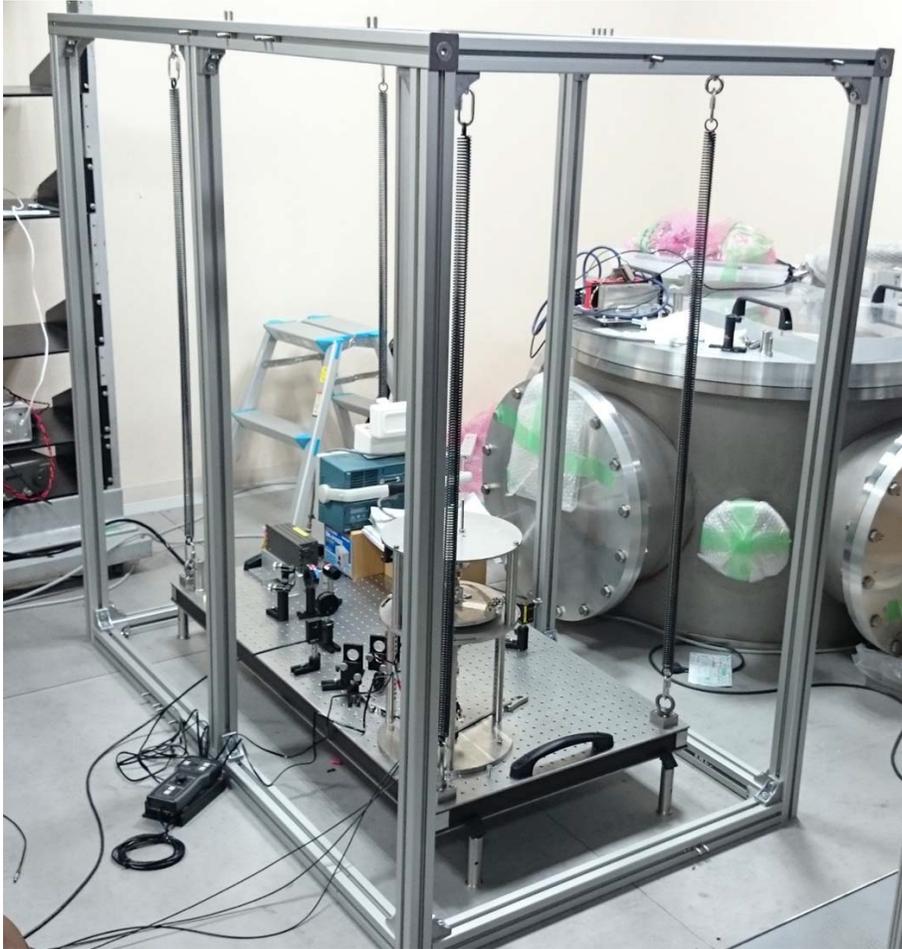


改善点②

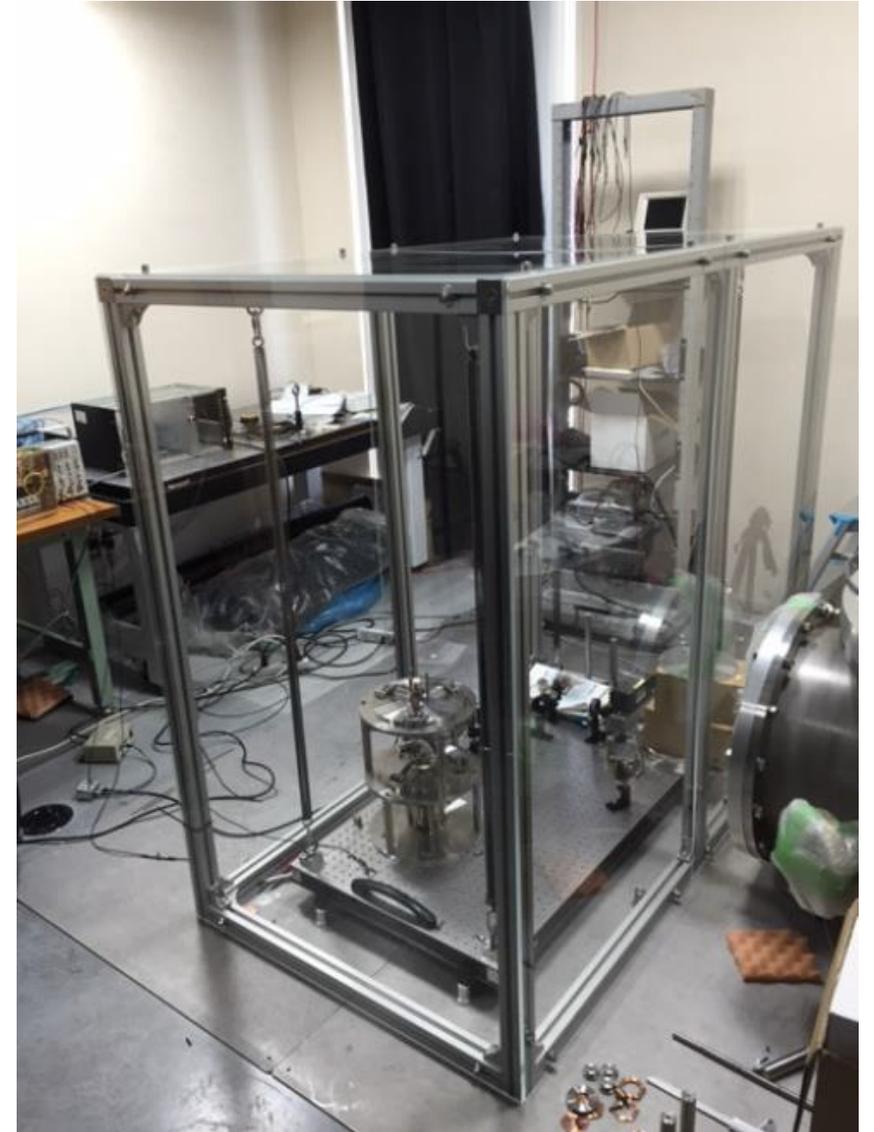
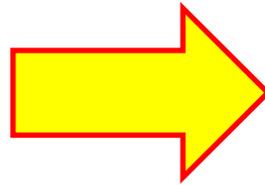


共振をノッチフィルターで落とした
ノッチフィルターの位置の改善
ケーブルの整理

実験室の様子

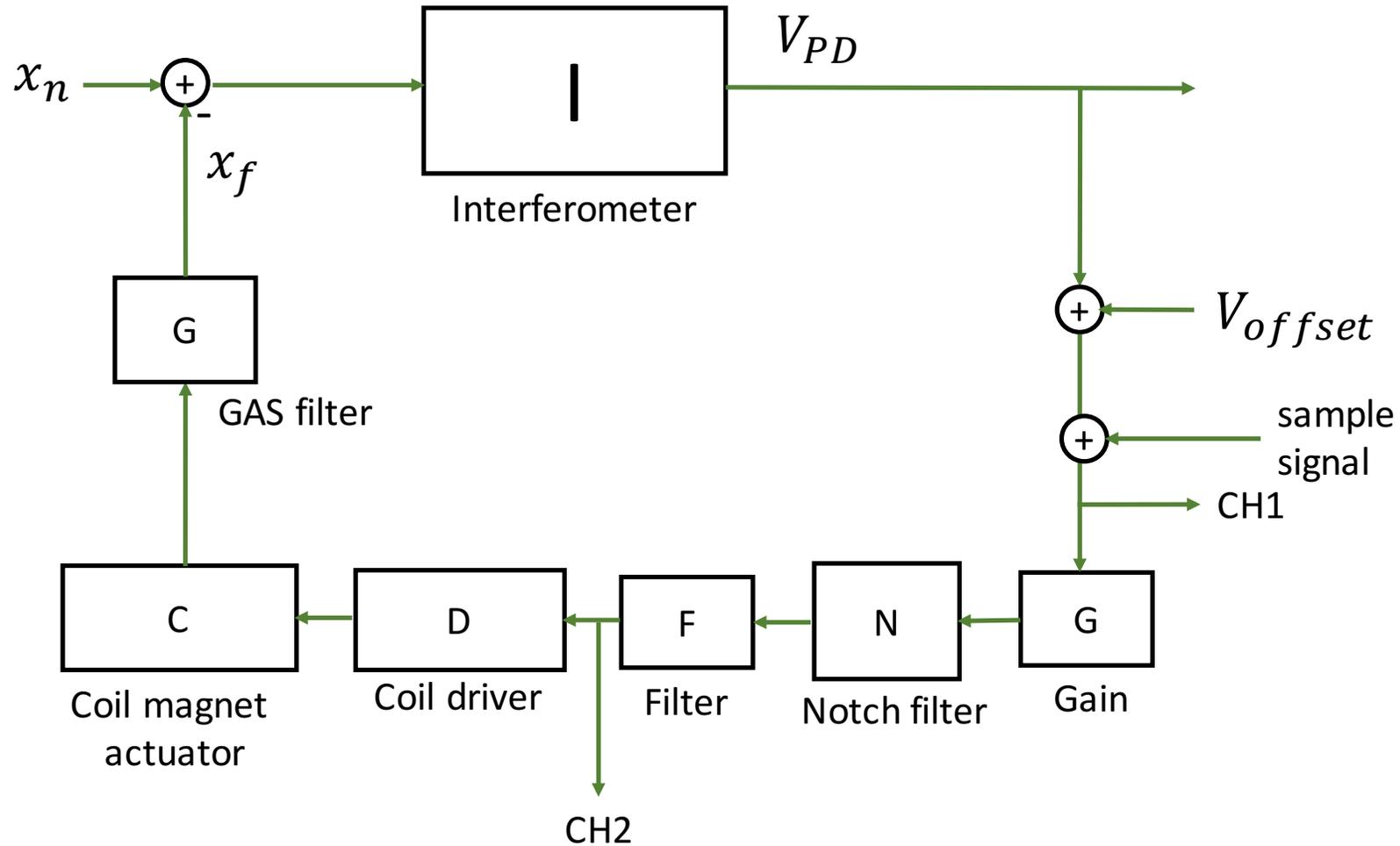


by Yamanaka-san's thesis

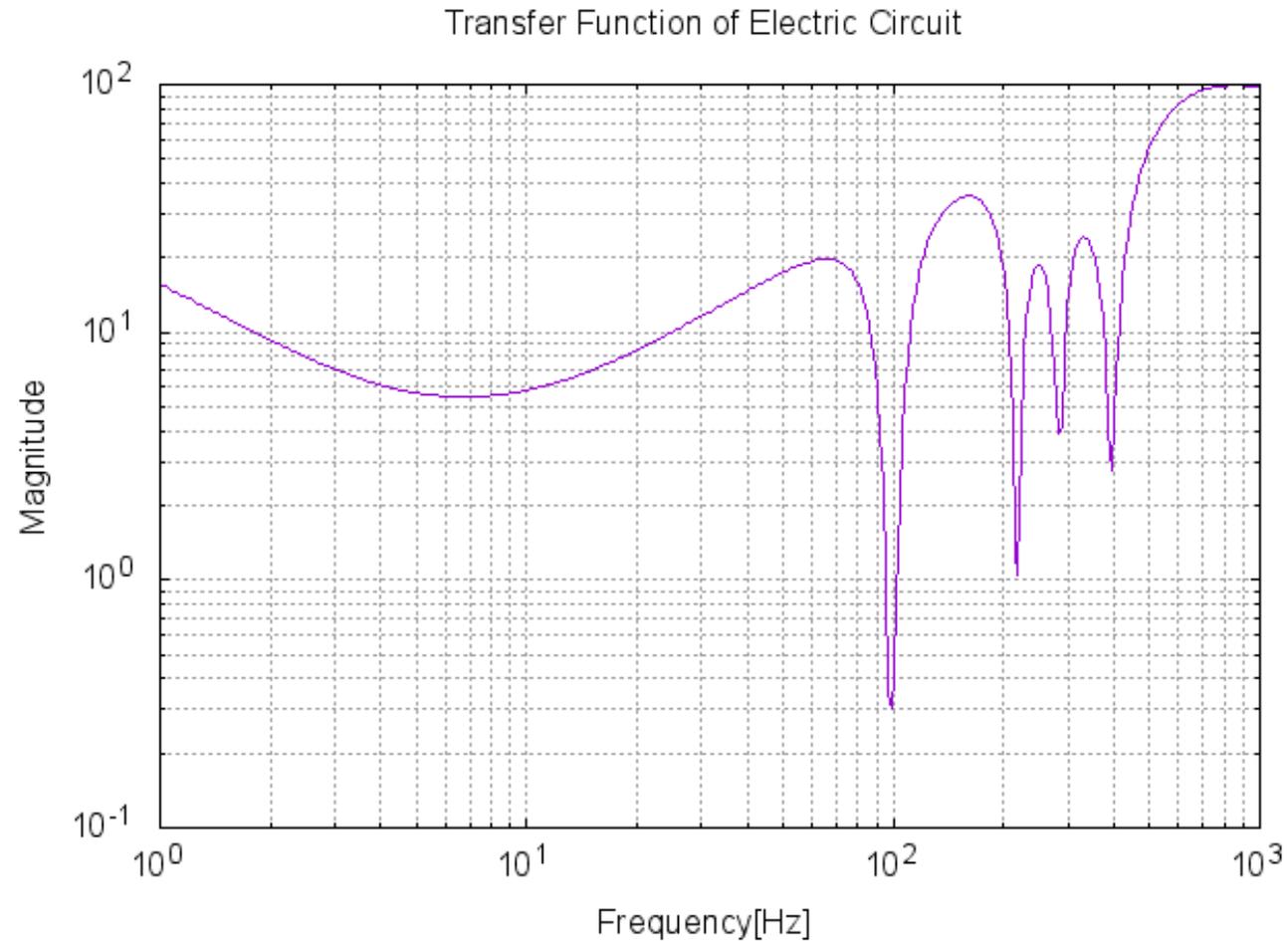


by Liu-san's thesis₂₁

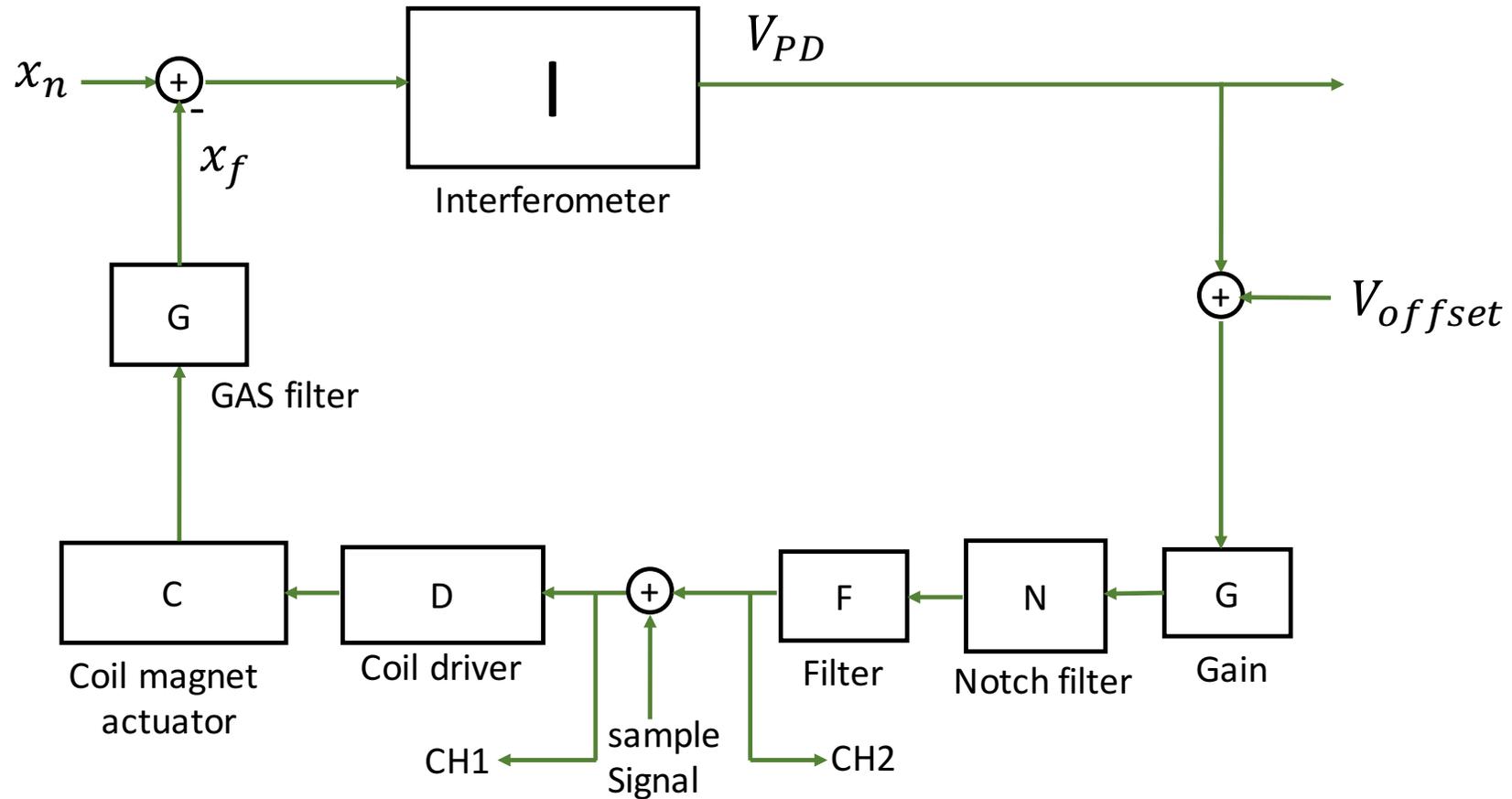
制御回路の伝達関数



制御回路の伝達関数

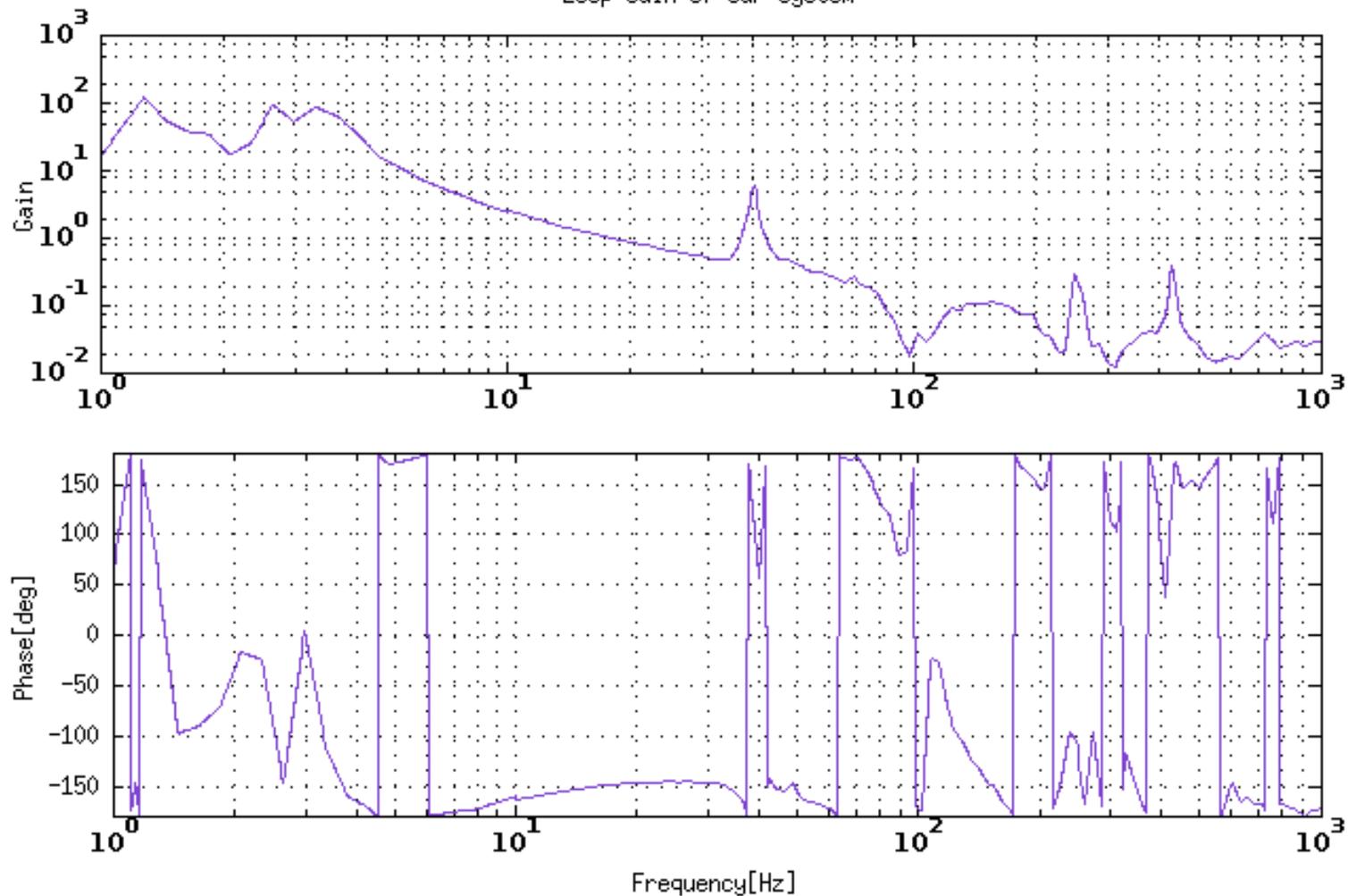


制御系のループゲイン



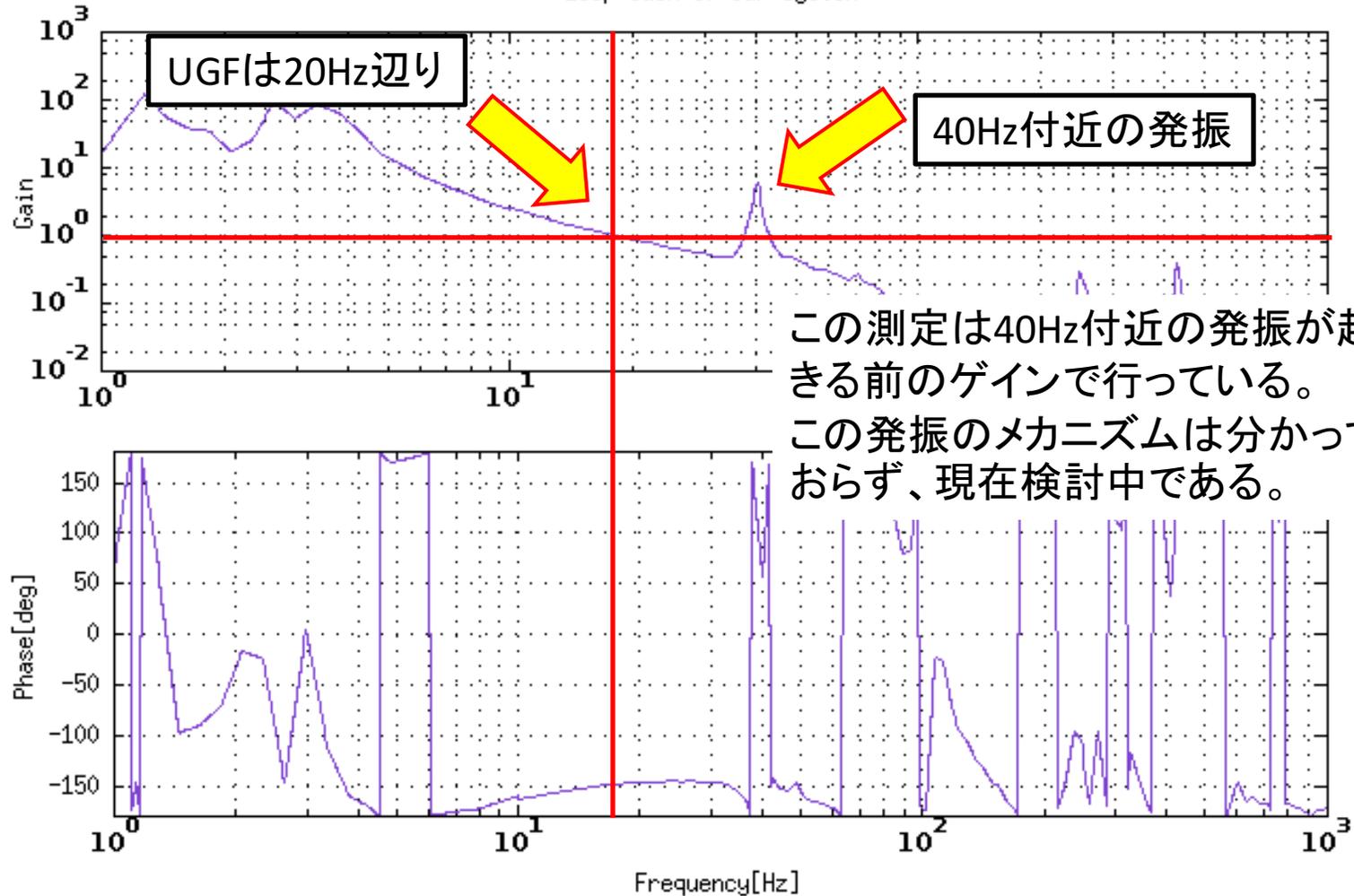
制御系のループゲイン

Loop Gain of Our System

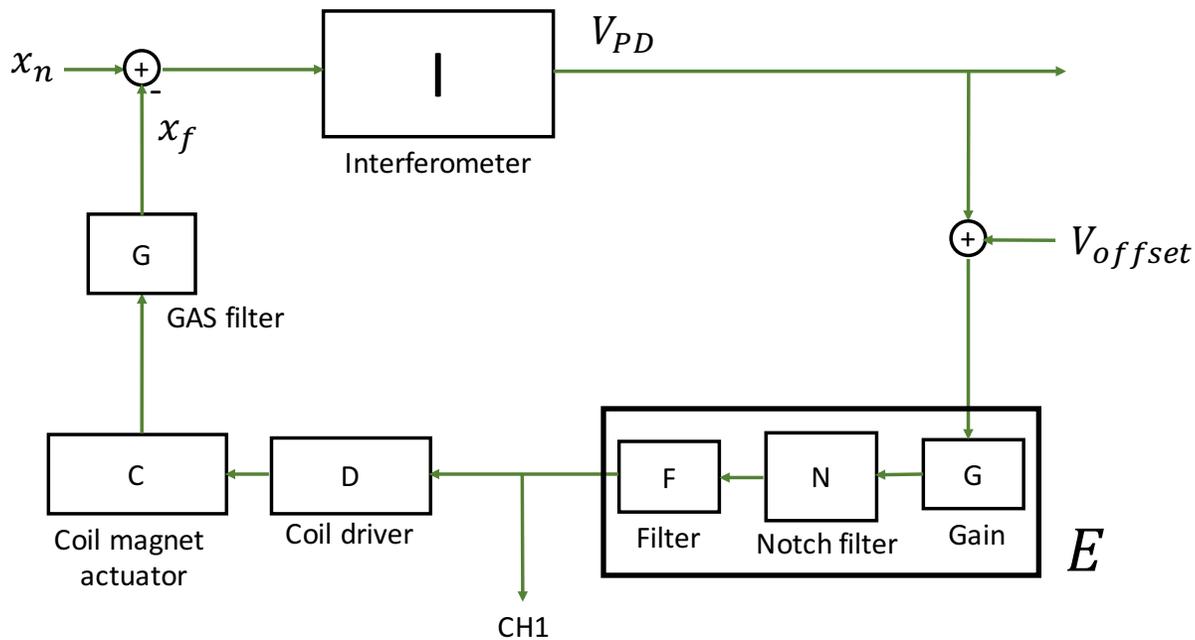


制御系のループゲイン

Loop Gain of Our System



制御系のループゲイン



キャリブレーション

ループゲイン

H

制御回路の伝達関数

E

CH1からFFTでとったデータ

V_S

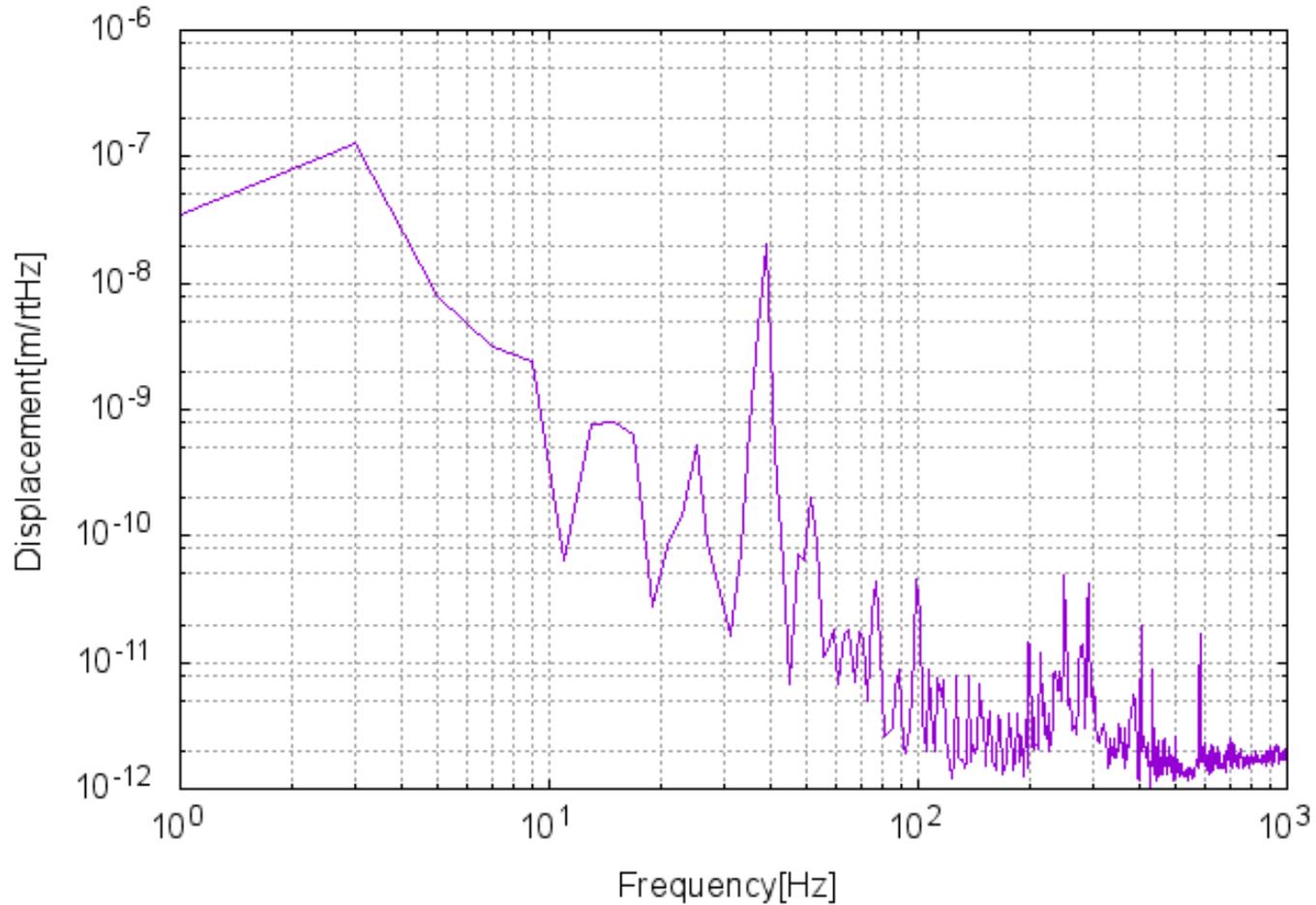
干渉計の伝達関数(計算値)

I

$$x_S = \left| \frac{1 + H}{IE} V_S \right|$$

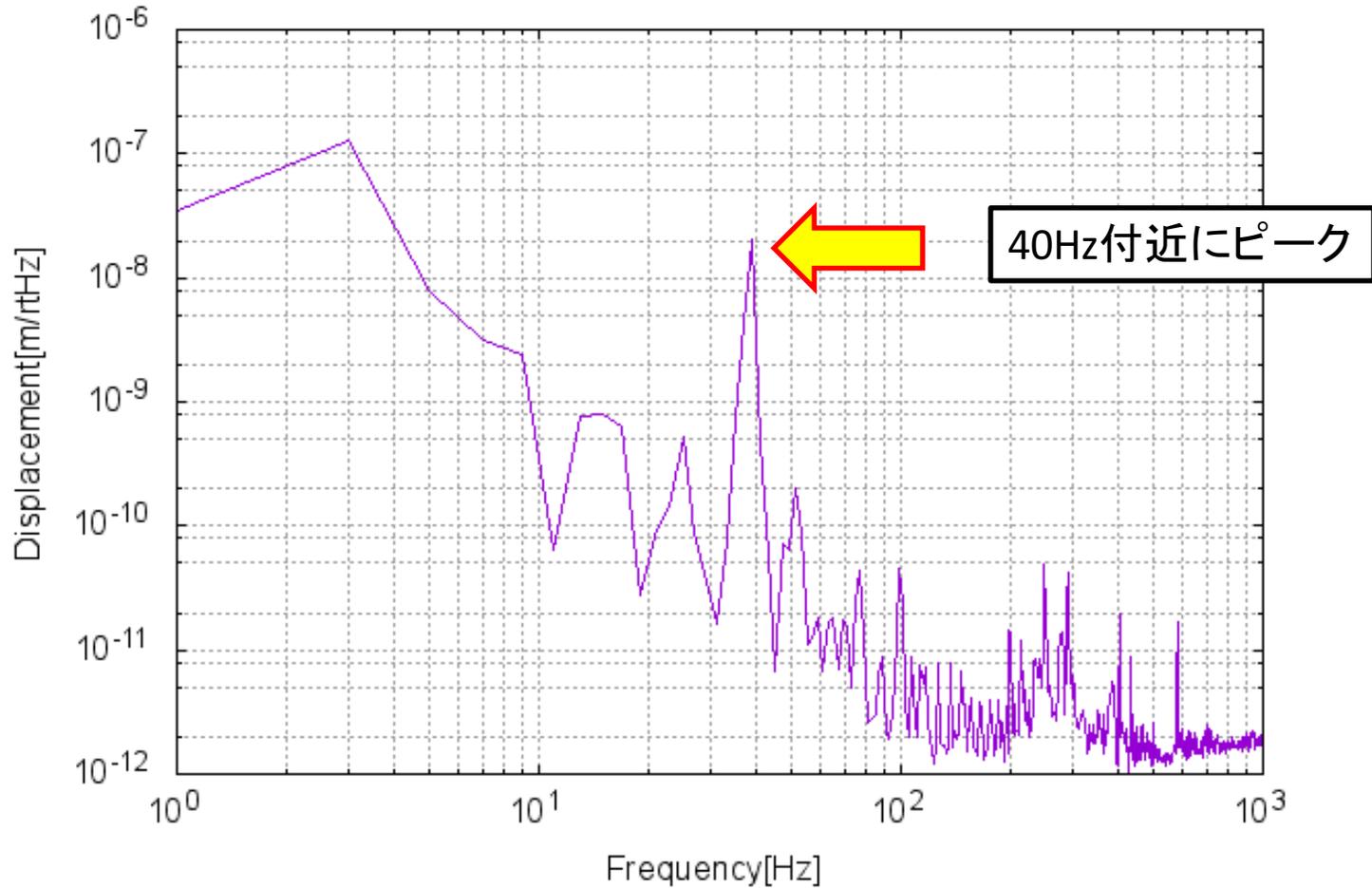
現段階の感度

Seismic Motion (vertical)

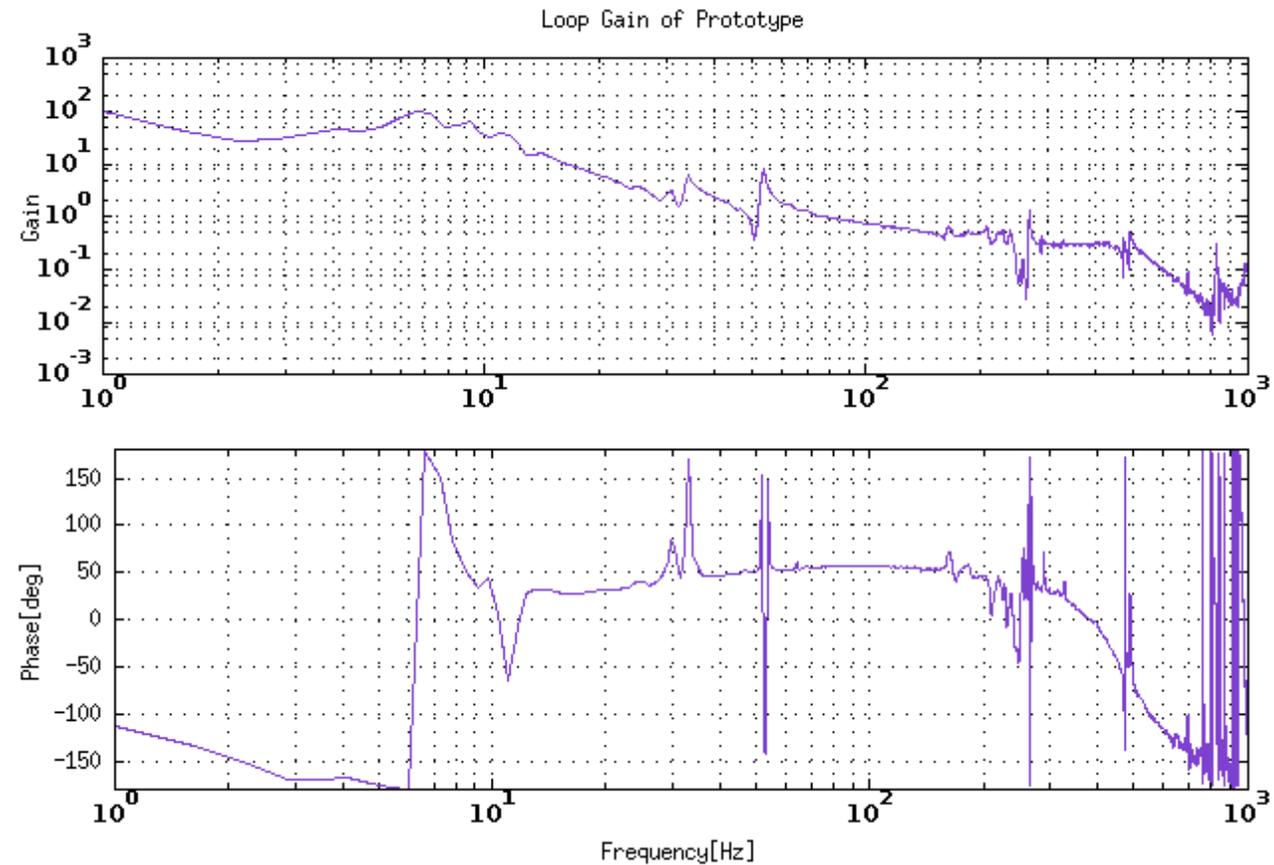
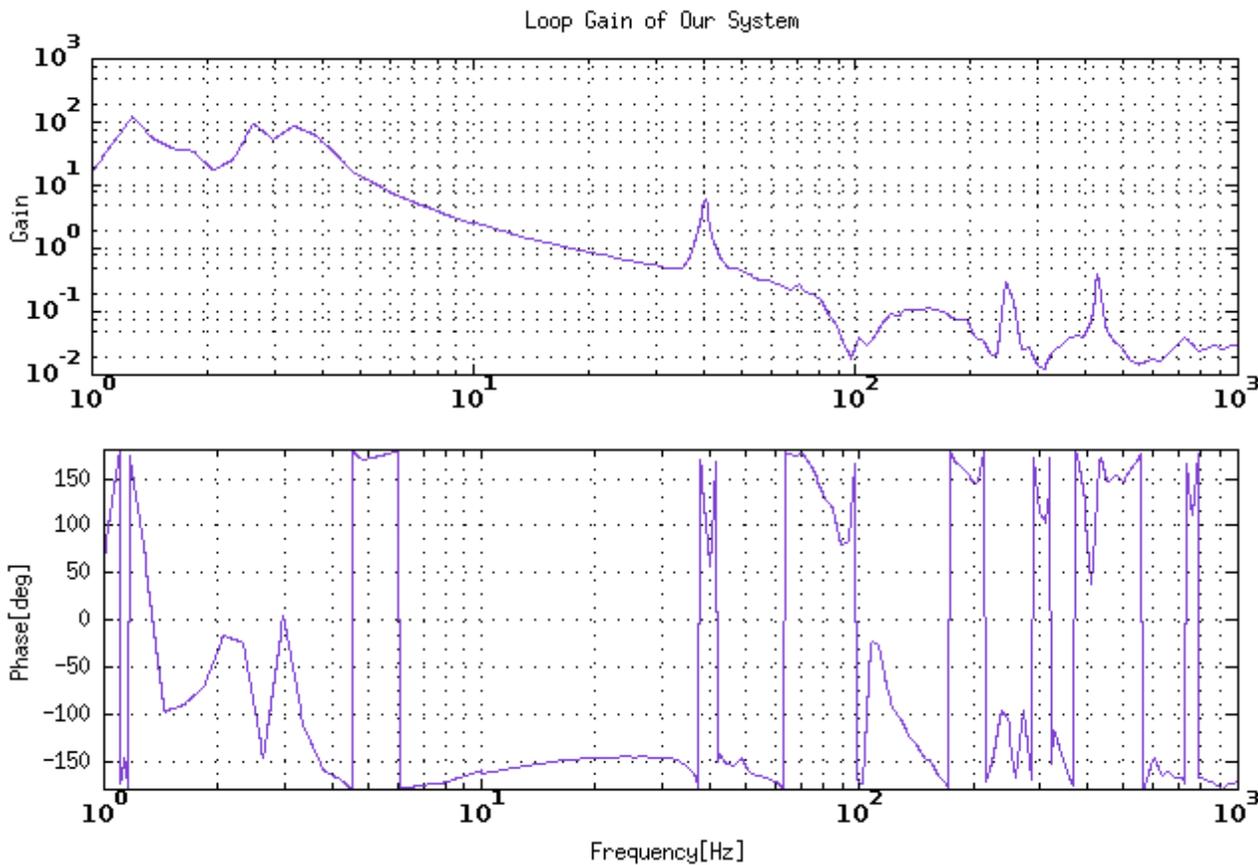


現段階の感度

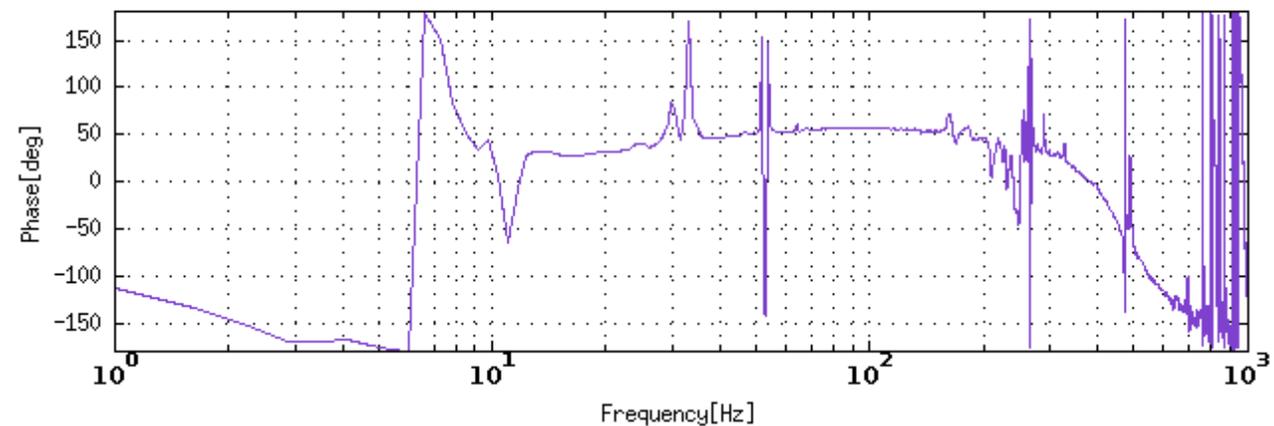
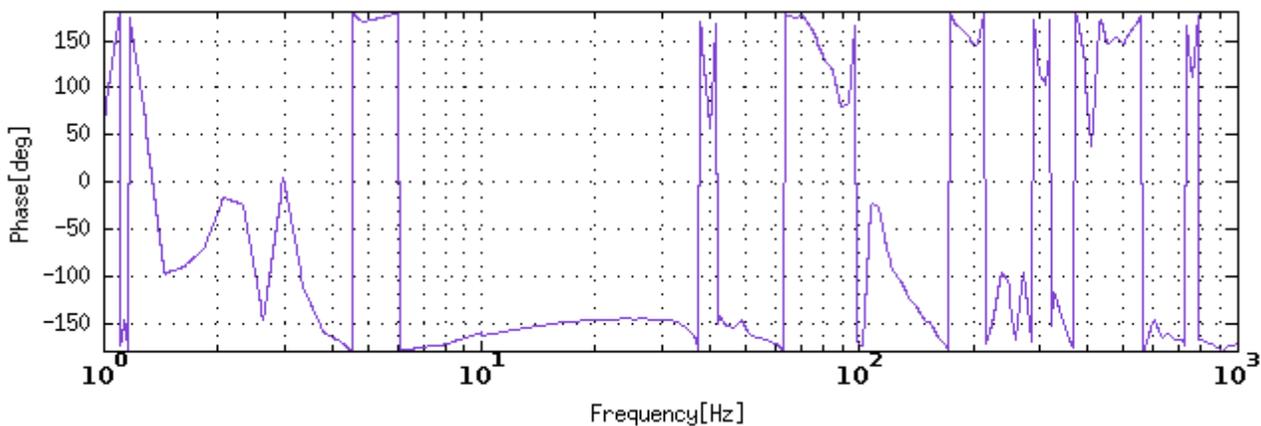
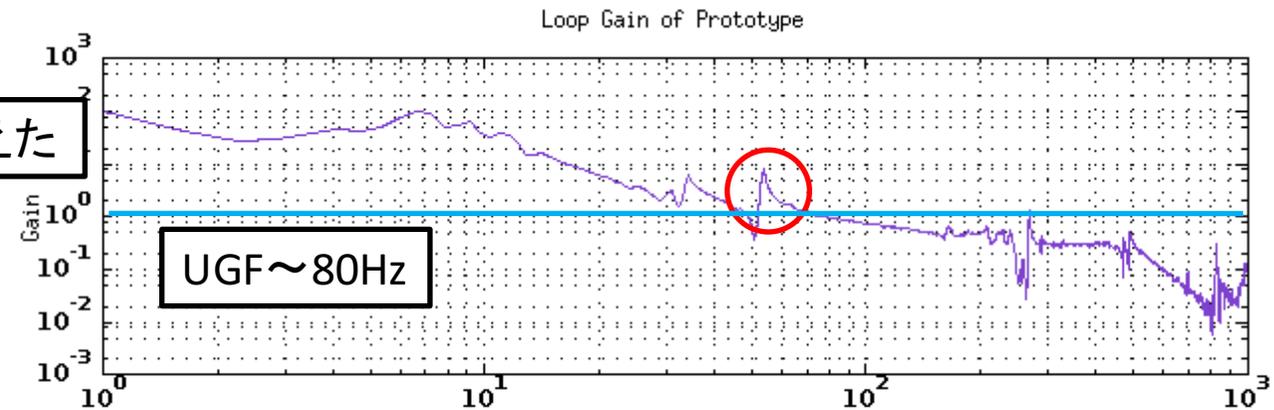
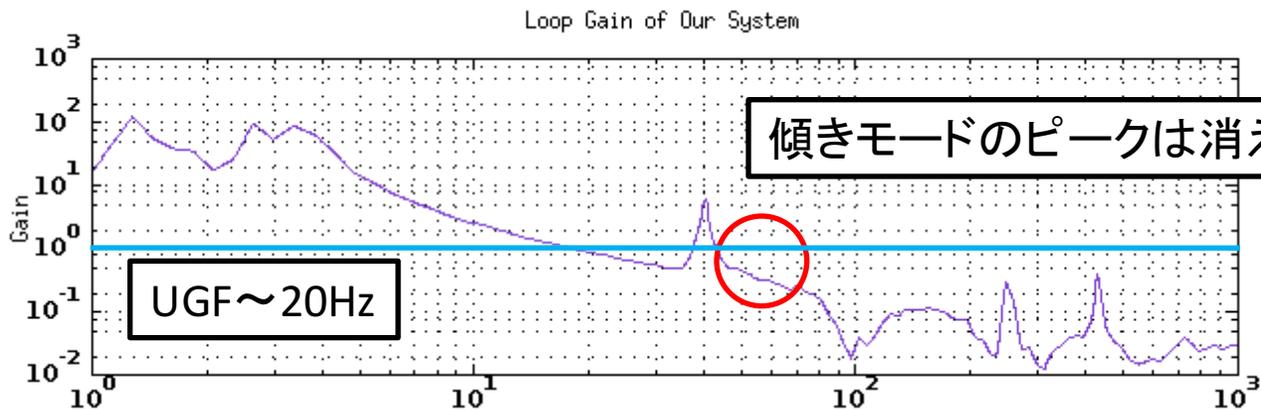
Seismic Motion (vertical)



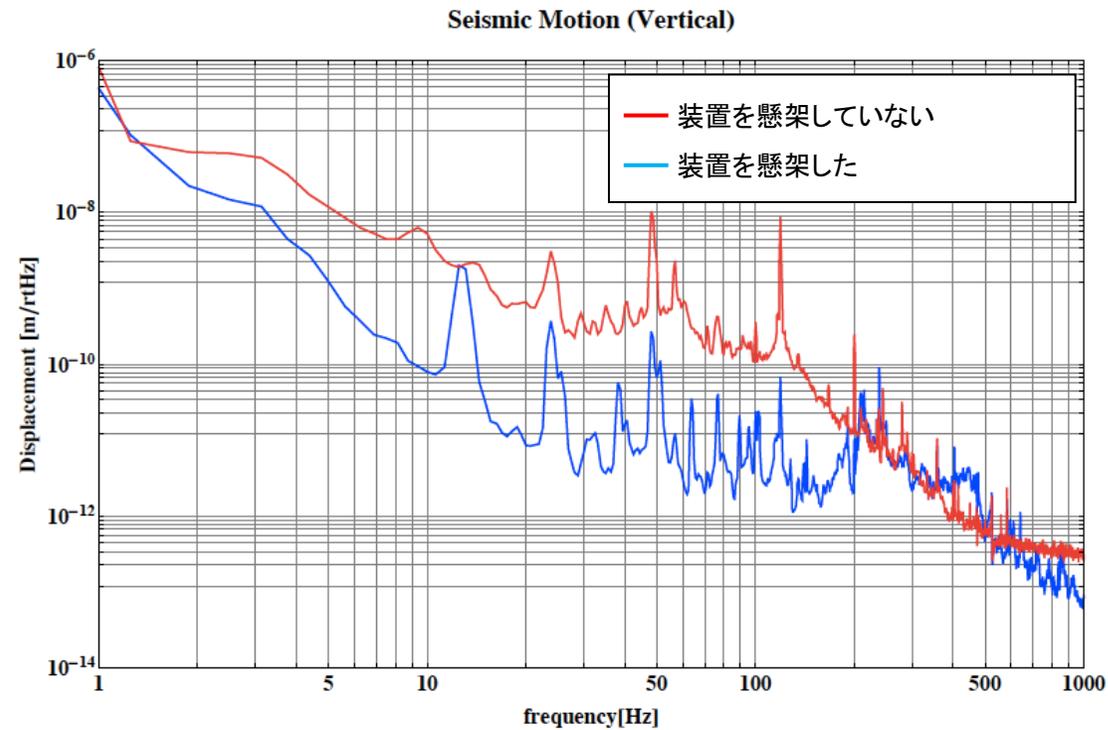
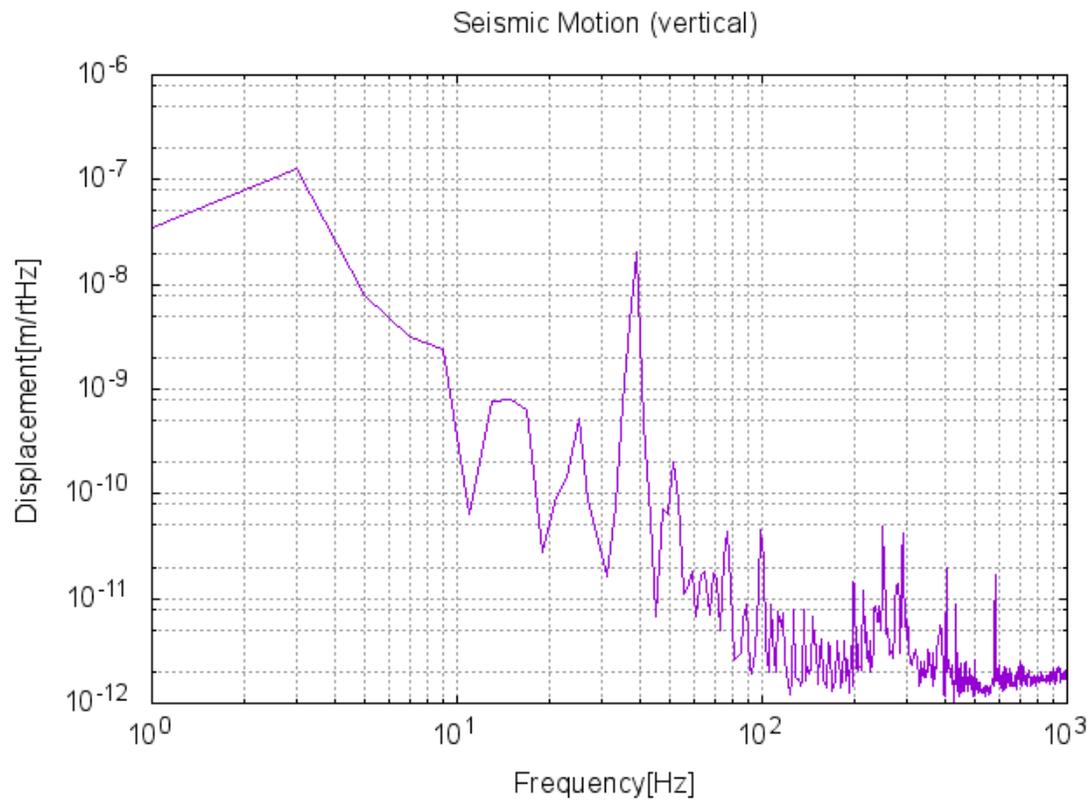
プロトタイプとの性能比較



プロトタイプとの性能比較

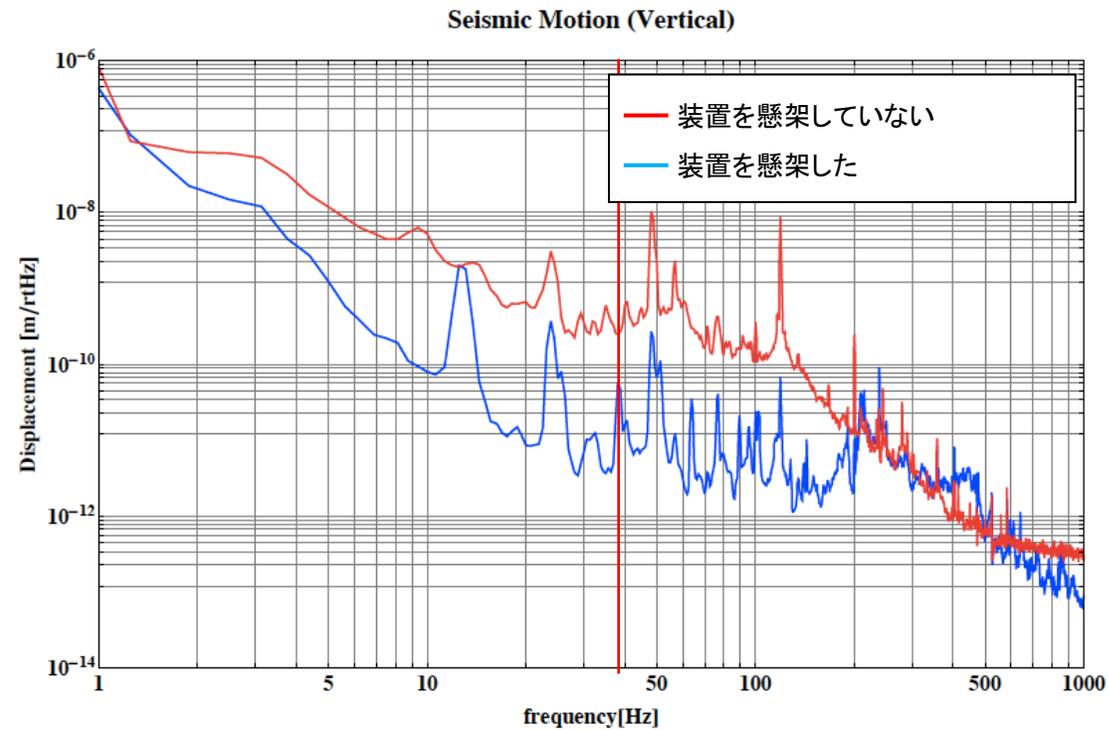
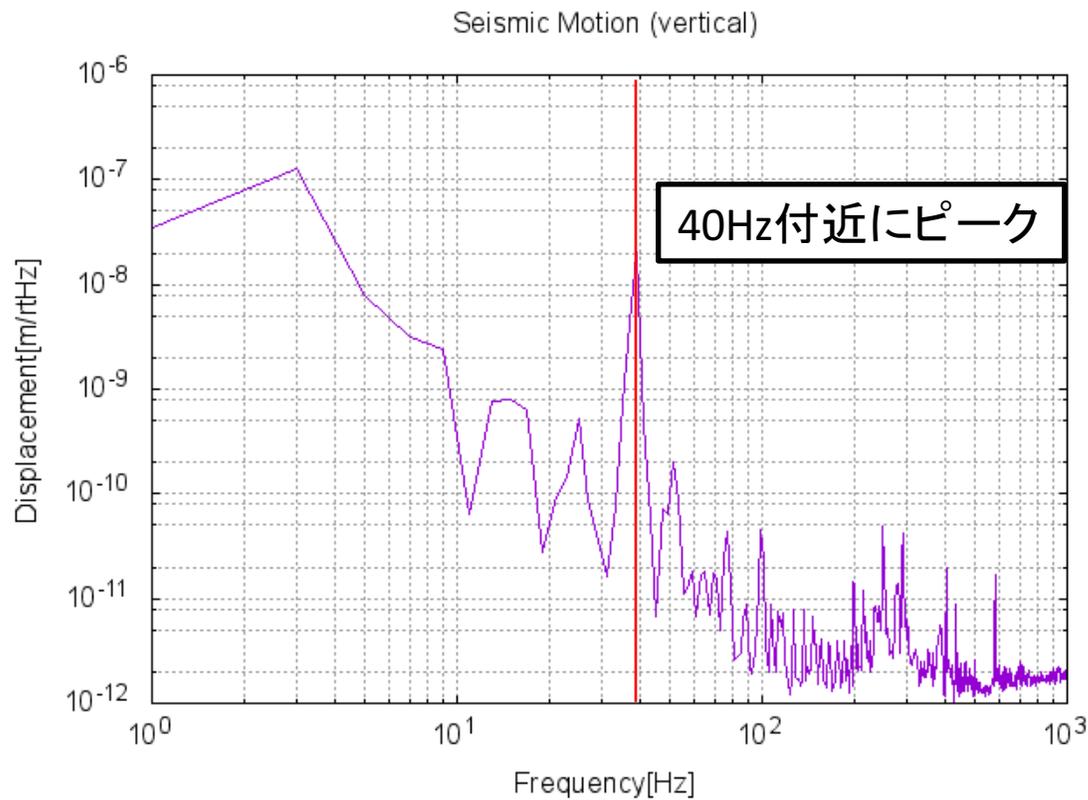


プロトタイプとの性能比較



by Yamanaka-san's thesis

プロトタイプとの性能比較



by Yamanaka-san's thesis

目次

1. イントロダクション
2. クラックリングノイズ研究の計画
3. プロトタイプ実験のレビュー
4. クラックリング測定装置の開発状況
5. まとめと今後の計画

まとめ

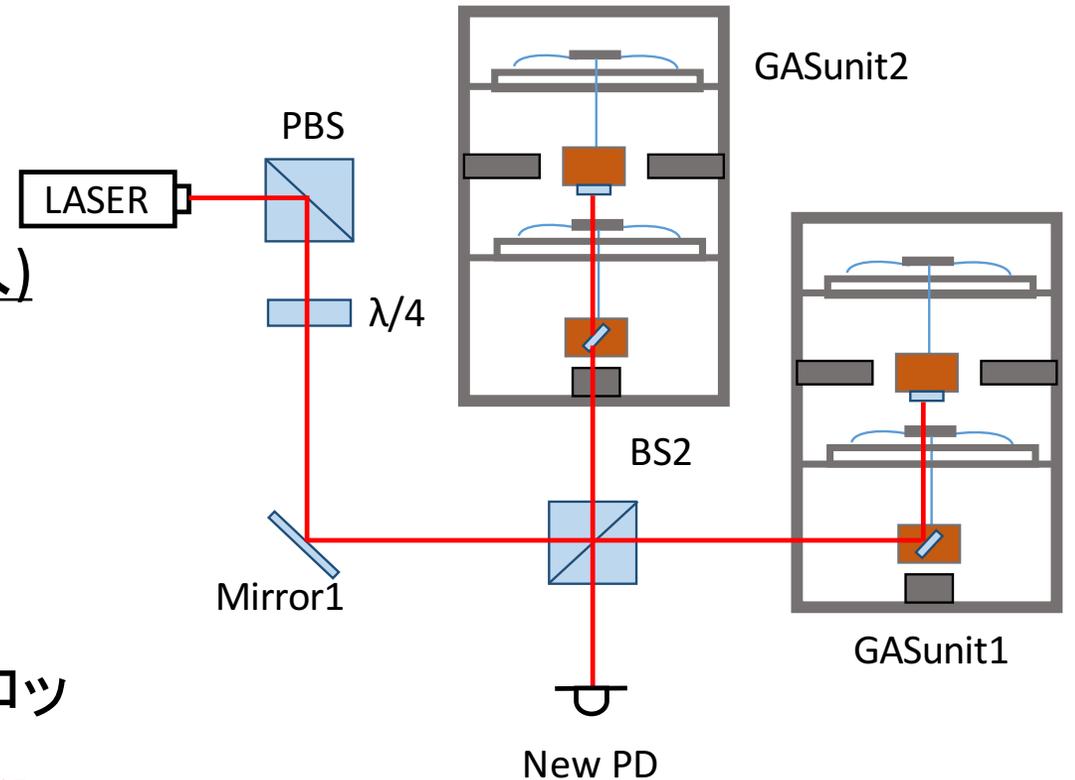
ループゲインのUnity gain frequencyは20Hz程度(プロトタイプは80程度)このときの位相は-150前後で比較的安定だと思われる。

40Hz前後で発振が見られ、感度を表すパワースペクトラムを見るとその近辺でピークが確認できる。この原因やメカニズムは未解明で今後検討する必要がある。

新たなGASユニットでの干渉計のミッドフリンジロックが成功したためこの設計でのクラックリングノイズ測定装置の製作準備が整った。

今後の計画

- 40Hz共振問題の解明
- 制御システムの最適化
- ビームスプリッターの懸架(角度の調整機能の導入)
- Mirror2を同様のGASユニットに入れ替える
- 電氣的なノイズを下げるため新たなPDを導入する
- このセットアップ(大気中)でマイケルソン干渉計をロックして、両方のGASユニットに大きな同相信号を加えてクラッキングノイズを測定する



ありがとうございました。