

AA/AI filter伝達関数測定 インジェクションスタディ

CAL meeting

2017/01/20

Takaaki Yokozawa

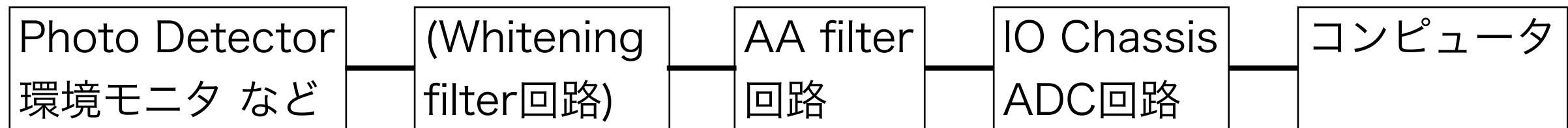
AA/AI filter回路の伝達関数測定

目的

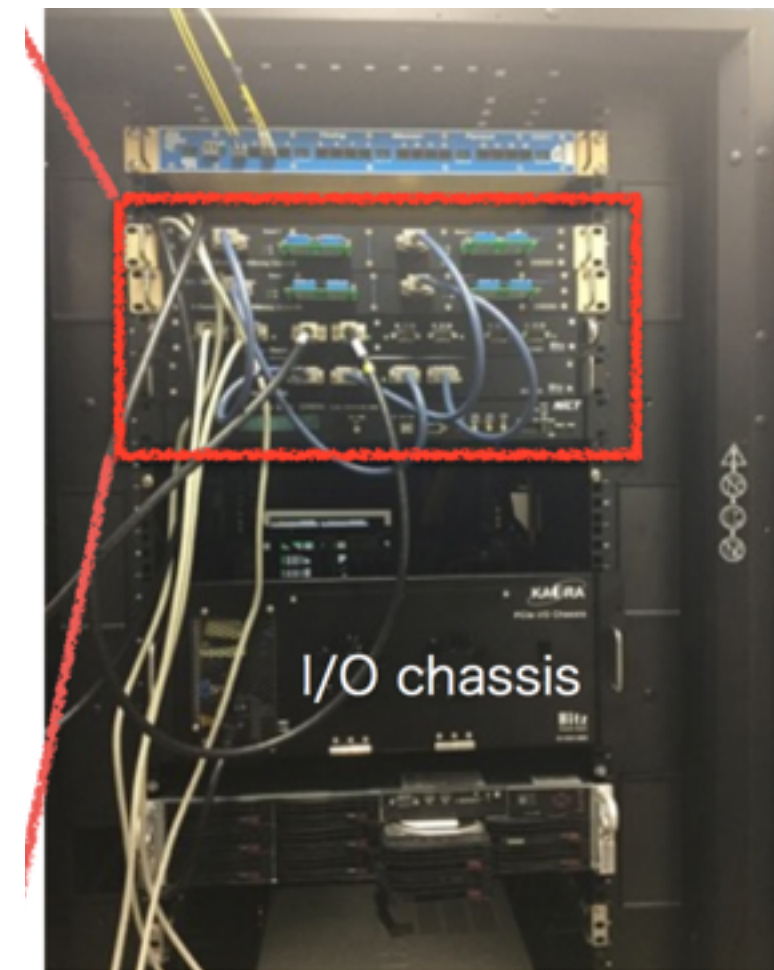
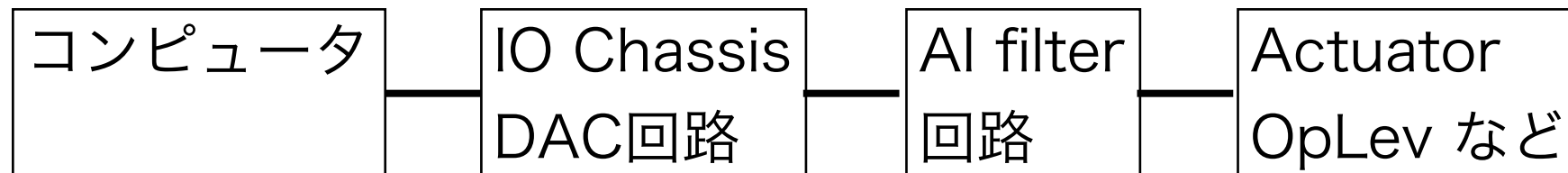
- Anti-Alias(AA) filter回路とAnti-Imaging(AI) filter回路は全てのADC、DACに使用されている。Whitening filter回路は信号ゲイン増幅や信号の周波数特性を変化させるために使用されることがある。
- 重力波チャンネルに関わるハードウェア回路の個体値、環境依存性による伝達関数の変化は $h(t)$ calibrationに影響する可能性がある。
- そのため、12月にKAGRAで使用予定のAA, AI, Whitening filterの伝達関数やノイズスペクトルを測定できるようなセットアップを組んできた。

データ取得系のサマリー

ADC(Analog to Digital Converter)



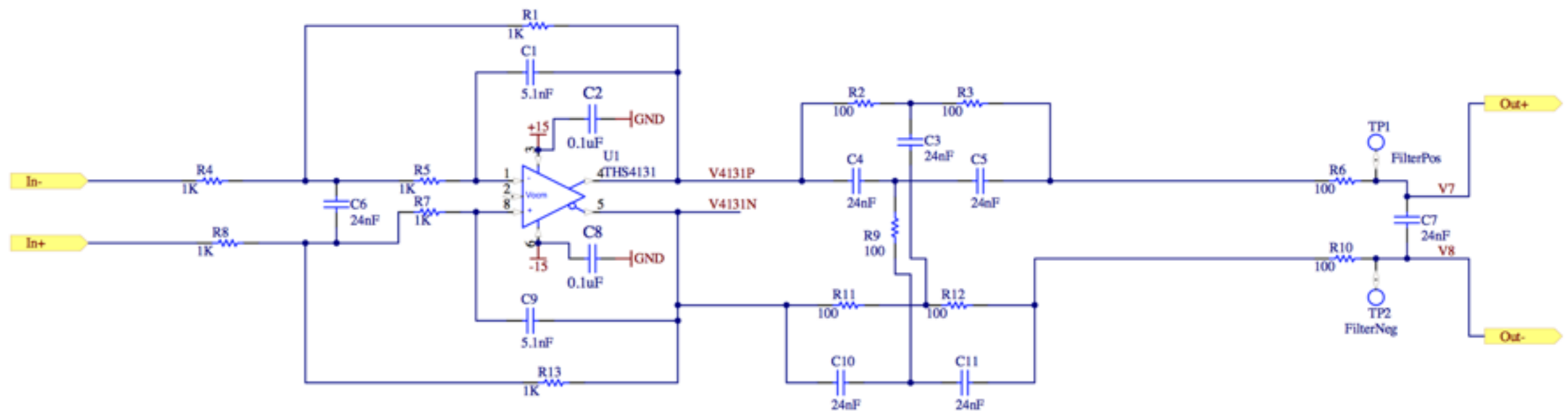
DAC(Digital to Analog Converter)



AA/AI filter回路

ADC(DAC)は64kHz samplingでデータ进行处理するため、エイリアス(イメージング)効果を防ぐために10kHzのローパスフィルタをかけるための回路(すみません、ノッチフィルターの存在理由は勉強不足で分かっておりません。。)

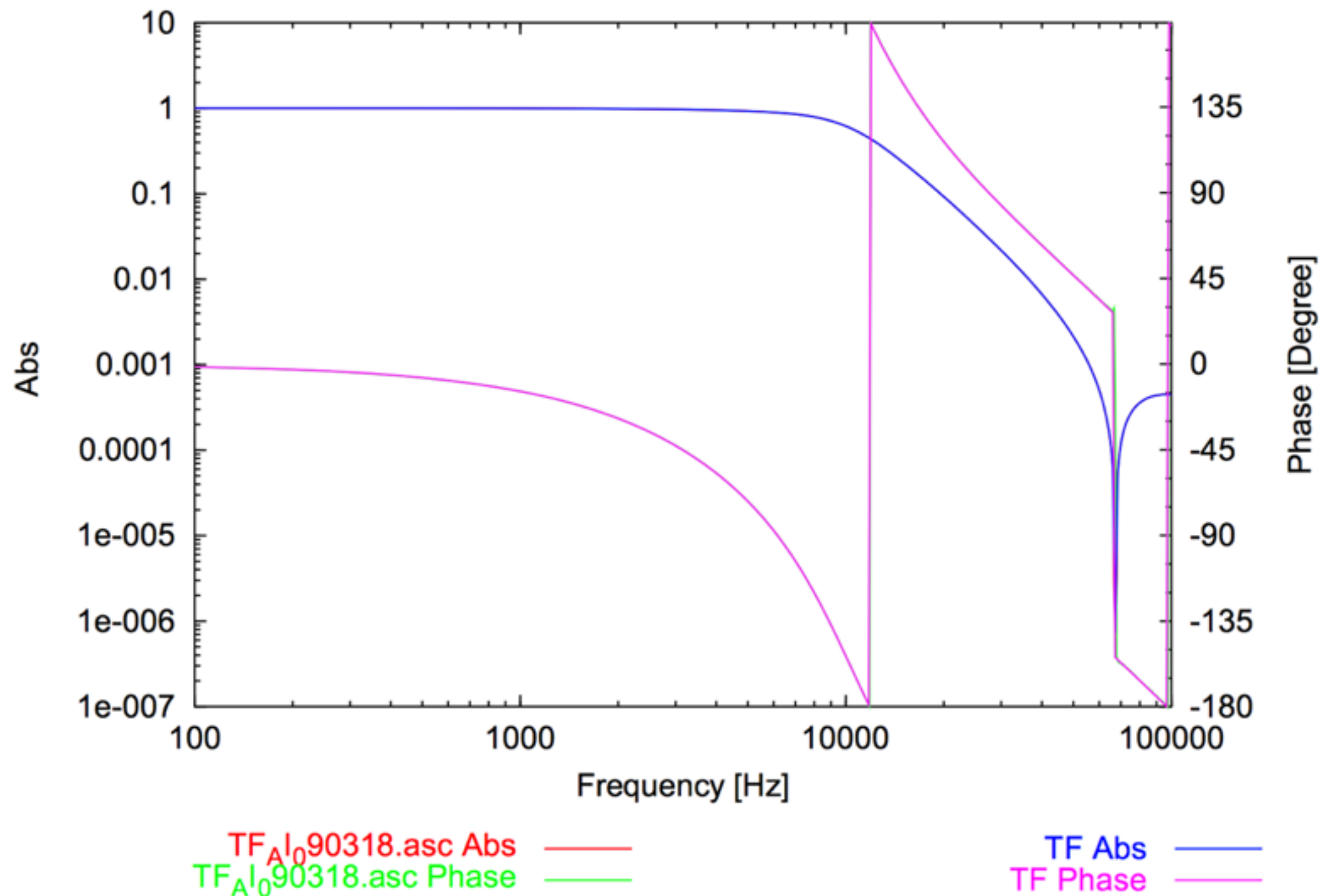
3rd order Butterworth, 10KHz, notch at 65536Hz



Title AdL AA and AI Filter			LIGO Project California Institute of Technology Massachusetts Institute of Technology		
Size: B	DCC Number: D070081	SCH / PCB Revision: 01	Engineer: J. Heefner	Date: 7/2/2007	
File: C:\Documents and Settings\jay\Desktop\AA_AI_Filter\AA_AI_Filter.SchDoc					Time: 9:26:29 AM
					Sheet 2 of 2

AA/AI filter回路

過去、Caltechや製造業者によって伝達関数が測定されている。



AA/AI filter回路

また、LISO(program for Llinear Simulation and Optimization of analog electronic circuits)でfilter fittingも行われている。

AI

```
pole 10.304784k 1.0159584 #### fitted (name = pole0)
pole 51.53319k #### fitted (name = pole1)
pole 7.8430016k #### fitted (name = pole2)
pole 346.96389k #### fitted (name = pole3)
zero 67.205279k 68.668973M #### fitted (name = zero0)
delay 660.9014n #### fitted
factor 1.0001177 #### fitted
```

```
param pole0:f 1k 100k
param pole0:q 0.01 100
param pole1:f 1k 100k
param pole2:f 1k 100k
param pole3:f 1k 100M
param zero0:f 1k 1000k
param zero0:q 0.1 1G
param factor 1e-1 1e1
param delay 1e-20 1
```

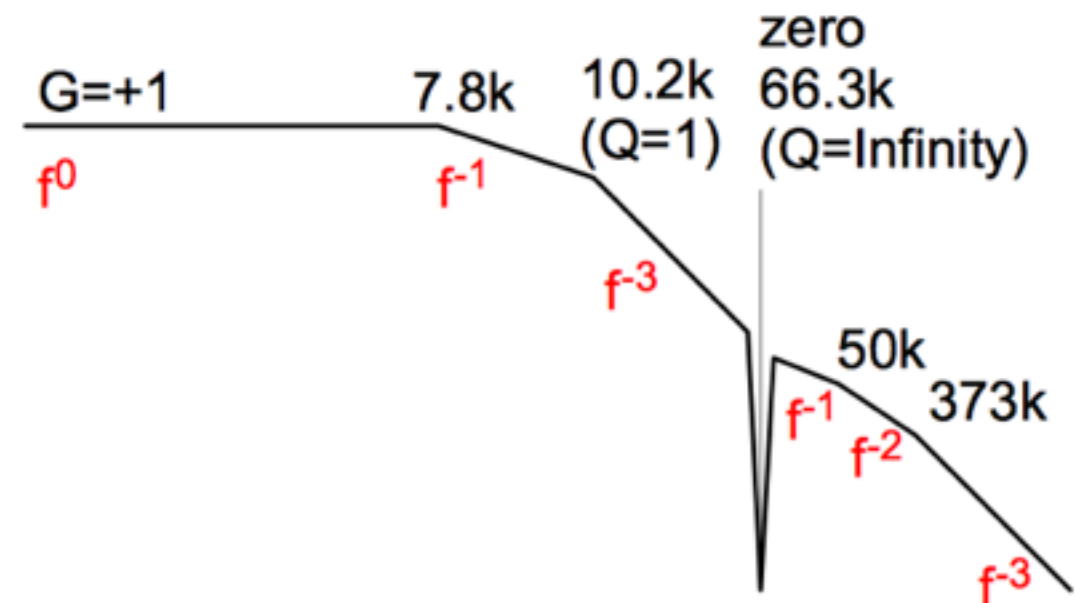
```
fit TF_AI_090318.asc dbdeg rel
rewrite samebetter
```

```
#gnuterm cps
```

```
tfoutput abs:deg
```

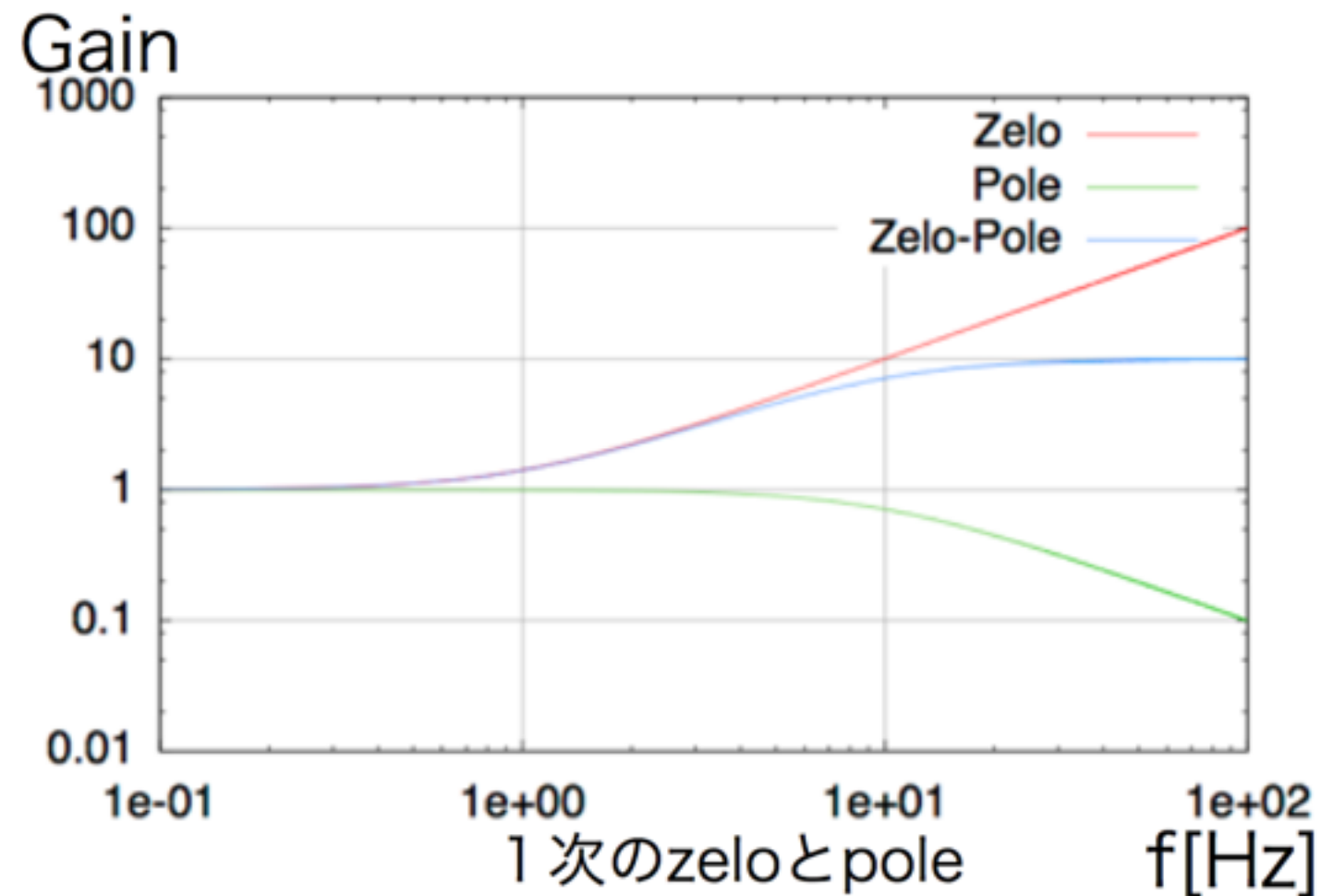
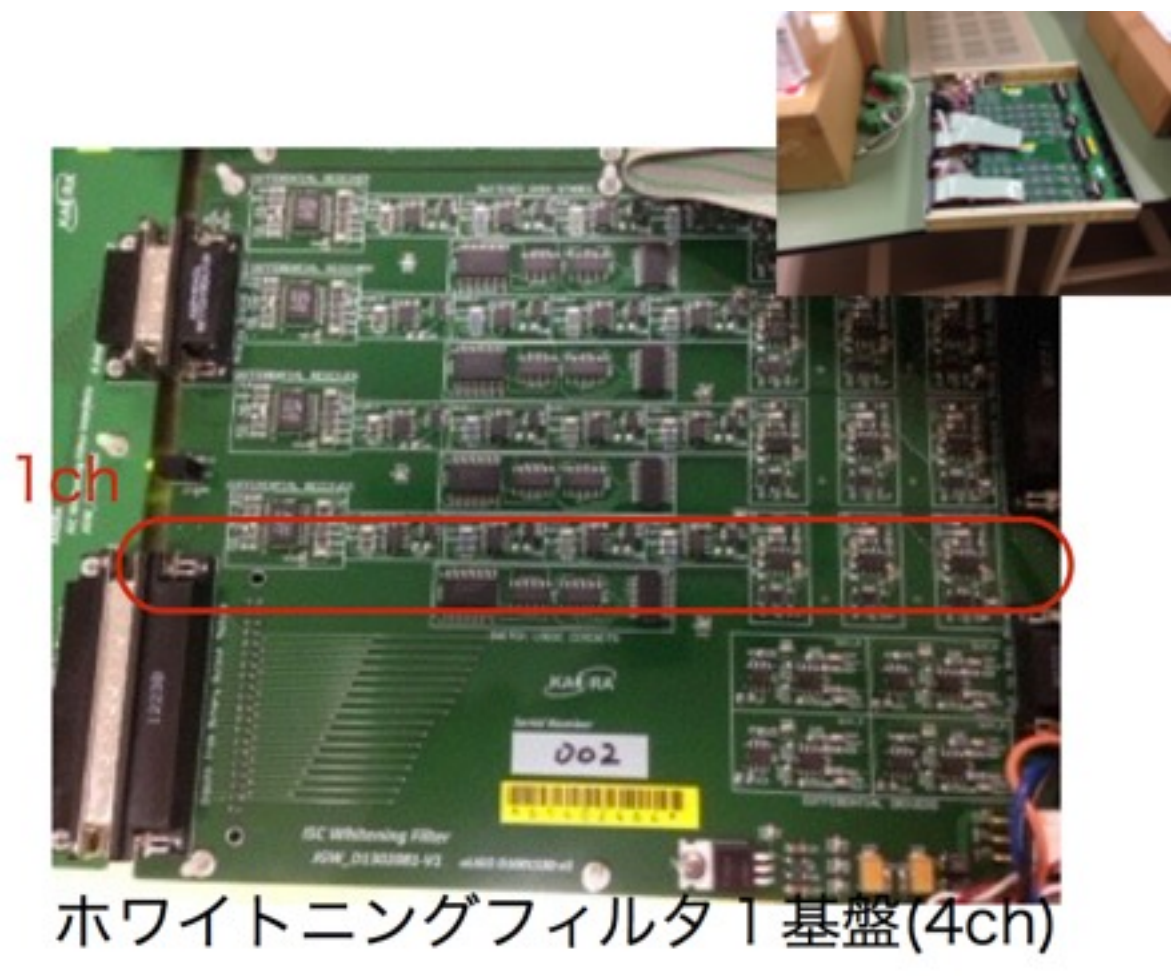
```
freq log 100 100k 400 #### from data file
```

Calculated TF



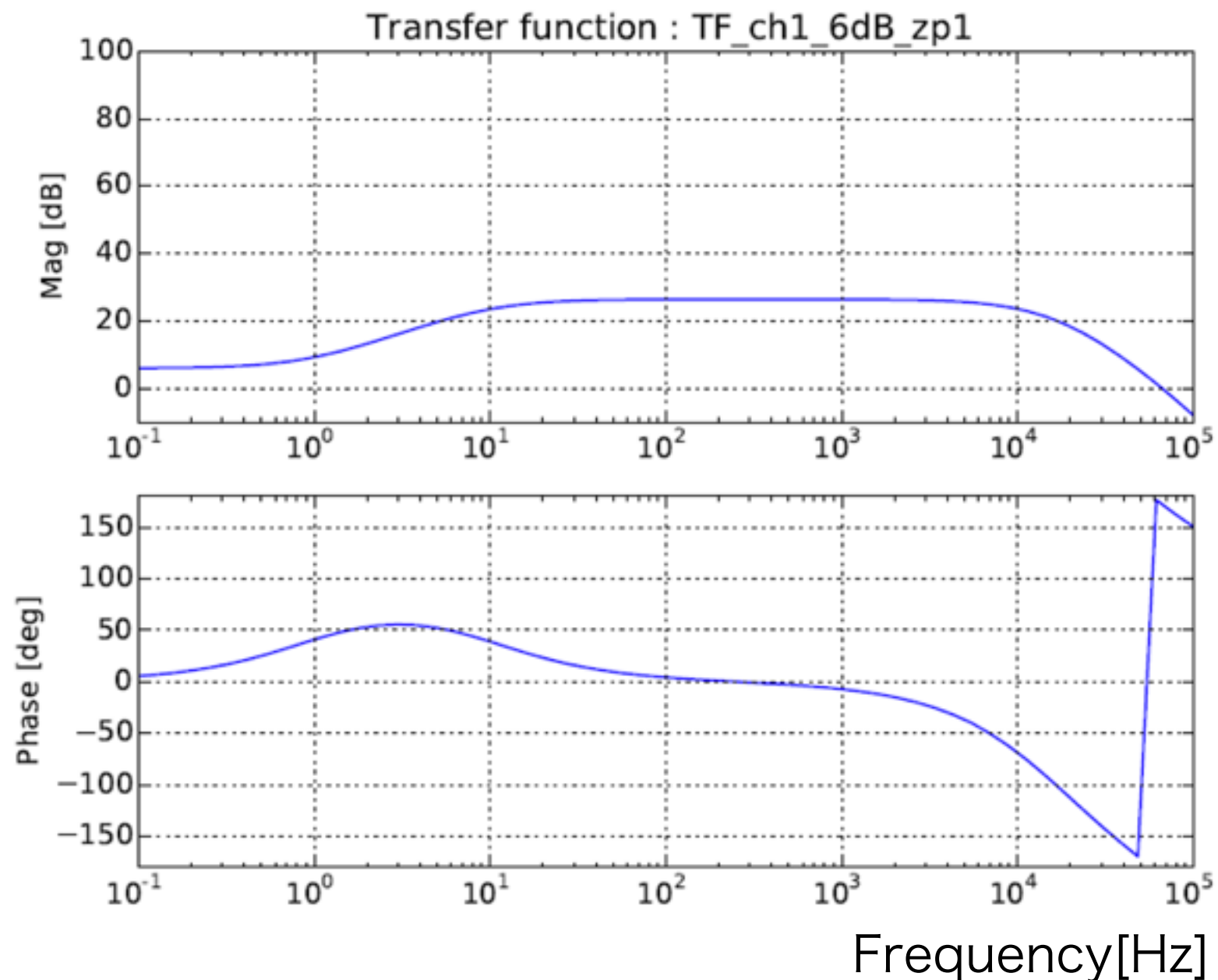
Whitening filter回路

Whitening filter回路はzero-pole filterの組み合わせによる周波数特性の変更や信号ゲインの増幅を行うための回路である。



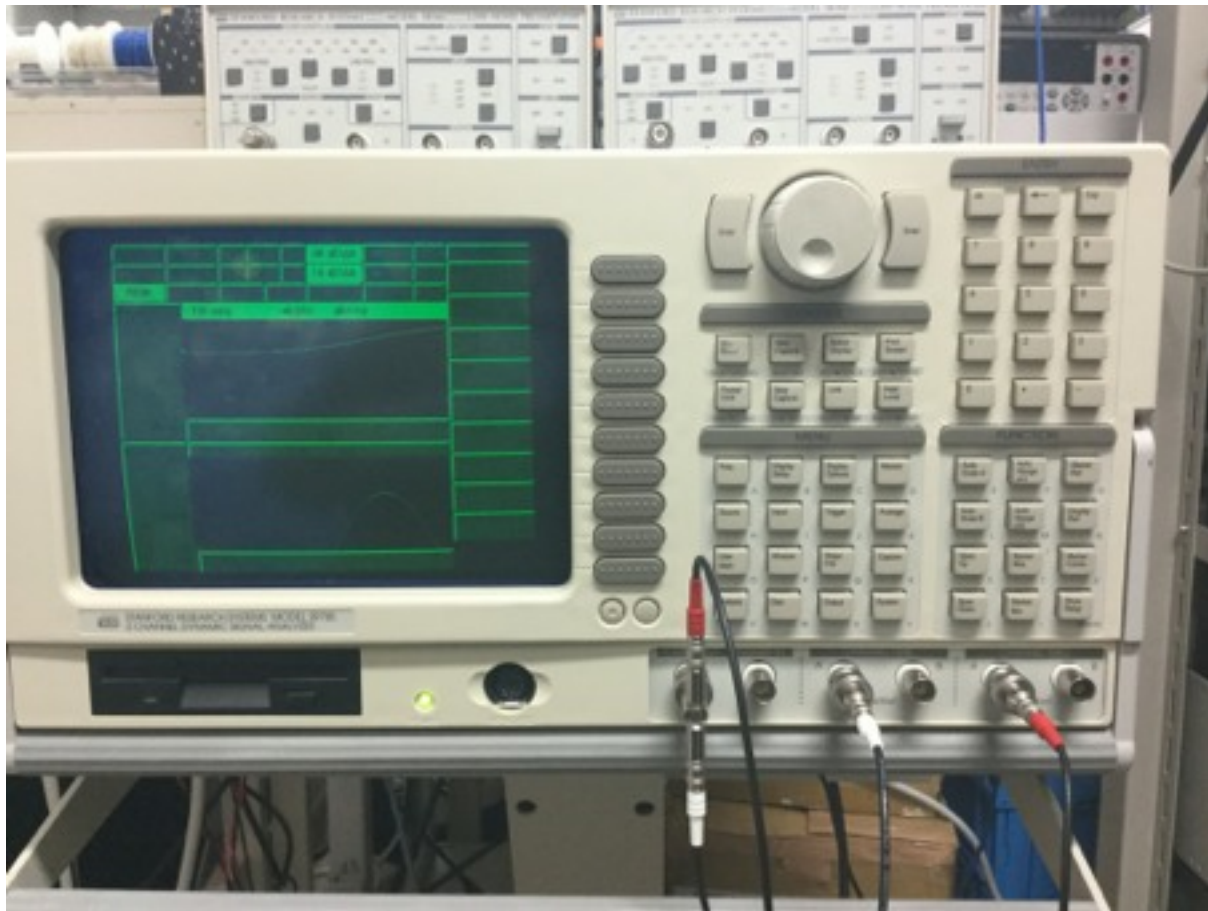
Whitening filter回路

Whitening filter回路の伝達関数、ノイズ測定は2014年に行ったが、追加製造を行ったため改めて測定する必要がある。



6dB gain
1次のzero-pole filter

AA/AI/Whitening filter回路 伝達関数測定

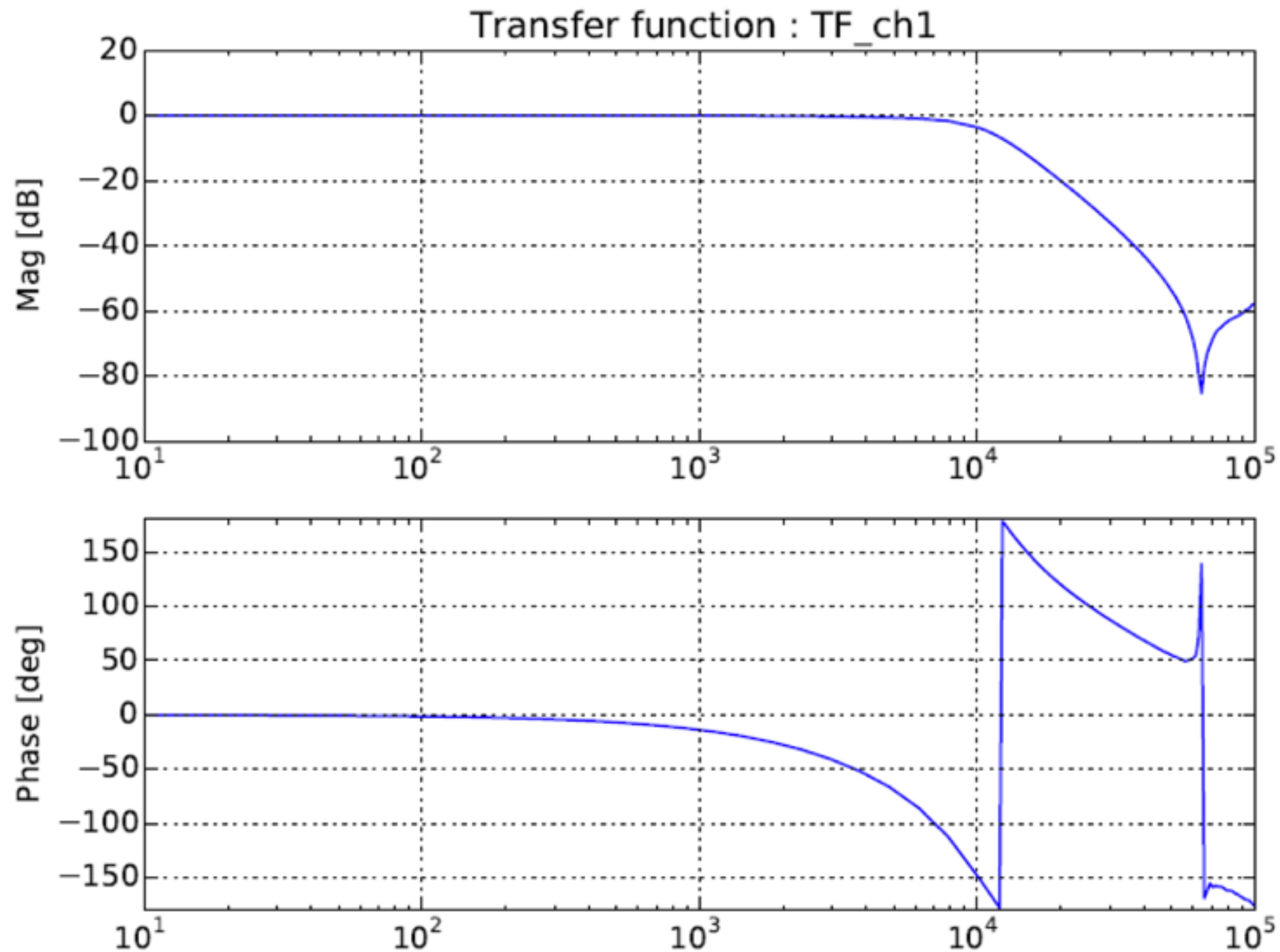


スペクトルアナライザSR785の伝達関数測定機能を用いて測定を行う。
python codeでコントロールすることができるのでクライアントPCから作業を行う。

現在、神岡スタッフの方々が測定を行ってくれている。

AA filter回路伝達関数測定

結果の一例->山本さんにデータを渡している。



インジェクションスタディ

将来インジェクションしたい波形に関して

- キャリブレーションが正しく行われているかを振幅・位相・時間差を確かめるためのインジェクション波形
- パルス信号、矩形波、サイン波、スエプトサイン波、サインガウス波等
- インスパイラル波形のような時間とともに振幅と周波数が変化していく波形がデータ解析で再構成できるかを確かめるための波形
- サインガウスチャープ波、EOB波形、IMRphenom波形
- 複雑な物理現象の波形
 - NS-NSシミュレーション波形、リングダウン波形、超新星爆発シミュレーション波形、その他その他
- 理論の方々とも協力して様々な波形を注入していきたい。
- 解析的に意味のある大きさを注入できるかの解析手法の確立
- 高周波の波はインジェクションしにくいので

前回からの更新

Pcalにおける鏡のdisplacementに関すること

例えば、10Wのレーザーを用意した場合、

5Wを中心に ± 5 Wを変位させるのに利用できるという計算で行っていた。

しかし、

transmitter module optical efficiency(ε , LIGOでは98.5%) や

AOM(Acousto-optic modulator) diffraction efficiency (LIGOの最新では96%という記述があるが、Pcal paperなどではpessimisticに50%と見積もられていることが多い)

の考慮をしていなかったため、やり直した計算では、

10Wのレーザーを用意した場合、5Wを中心に ± 2.5 Wを変位させるのに利用できるというもとで行いました。

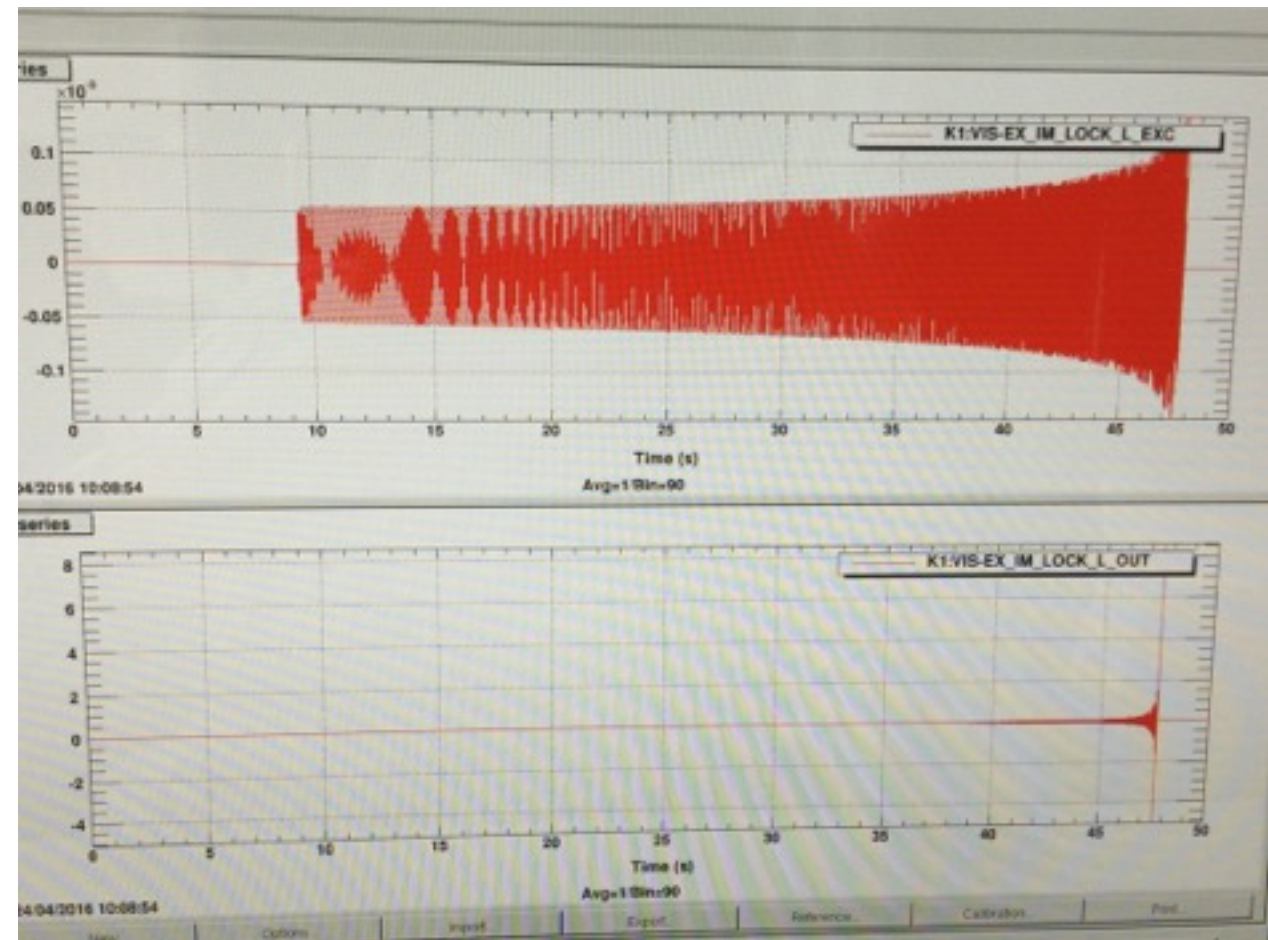
CBCInjection

前回の報告では、簡単な近似におけるインスパイラル重力波のインジェクションの議論を行いました。

コンパクト連星合体からの重力波は

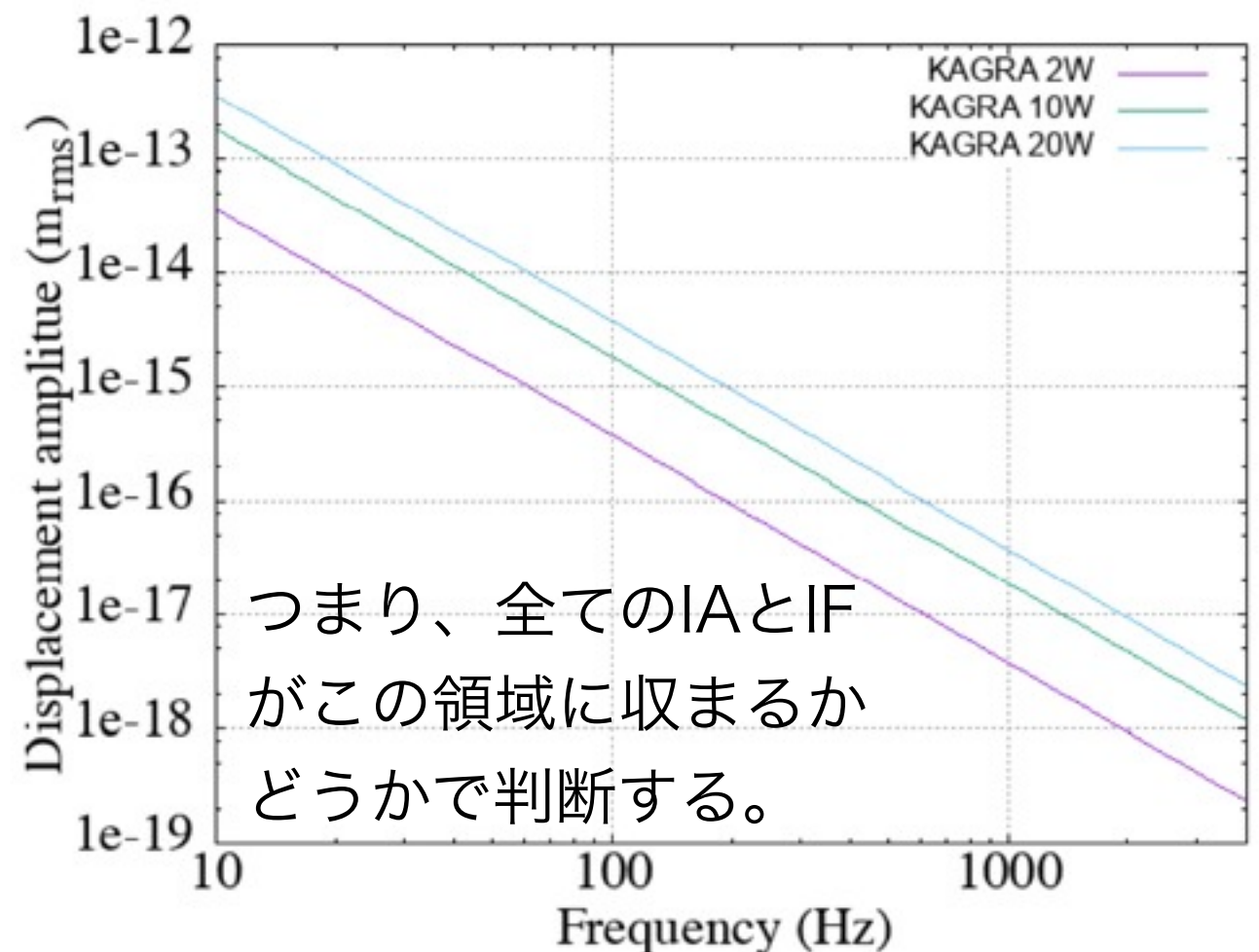
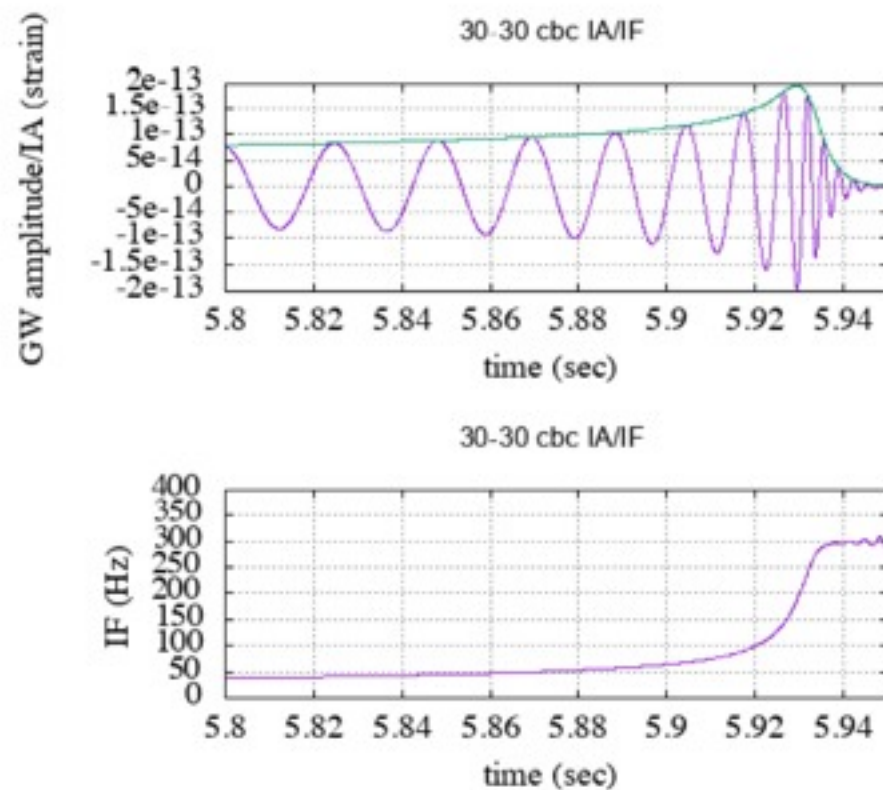
BH-BHの場合はInspiral-Merger-Ringdownと解析的に波形を記述することができるが、NS-NSの場合は、合体部分にEoS依存が大きかったり、潮汐効果を考慮しなくてはならない、merger後のhyper massive neutron starからの重力波を考えなくてはならない等の理由から、数値相対論シミュレーションの結果を利用していることが多い。しかも、合体付近の重力波が高周波で振幅が大きい。

さらに、日本の理論屋さんでこの辺の計算が強い方が多いので将来、merger付近の重力波解析に向けてインジェクションを行いたいと思っている。



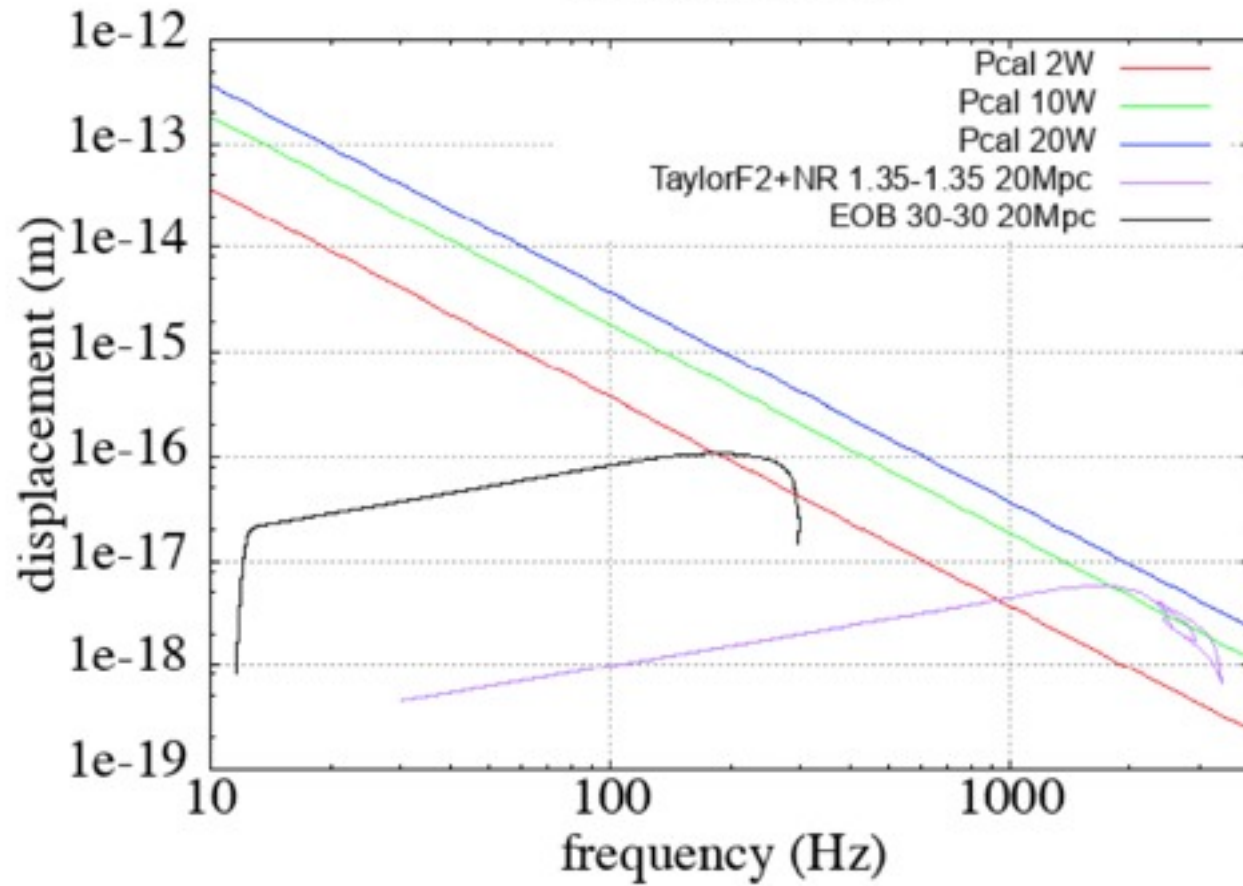
CBCInjection

式で解けない波形をインジェクションできるかどうか判断する方法として、
瞬時周波数と瞬時振幅を求める手法であるHilbert Spectral Analysis(HSA)という
手法の導入を行い、解析を行った。
(が今週もっとシンプルで分かりやすい方法があったのでこの方法では以降は解析
しないので説明は省きます。)

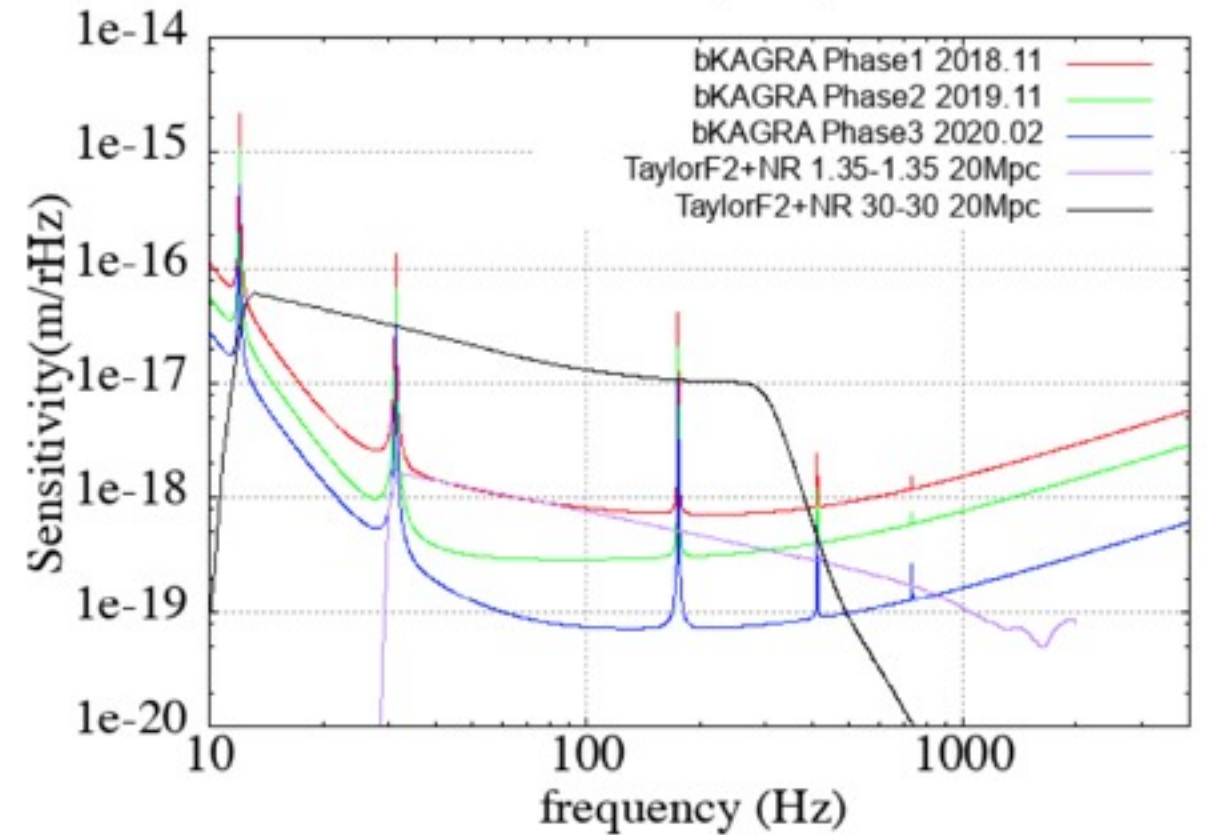


CBC Injection

For CBC displacement



For CBC sensitivity curve phase1



$$\rho_{\text{opt}} = G^{5/6} c^{-3/2} \frac{M^{5/6}}{r \pi^{2/3}} \left(\frac{5\eta}{6} \right)^{1/2} \left[\int_{f_{\text{min}}}^{f_{\text{max}}} df \frac{f^{-7/3}}{S_n(f)} \right]^{1/2}$$

Phase	NS-NS(1.35-1.35 $M_{\odot}$) 20Mpc	BH-BH(30-30 $M_{\odot}$) 20Mpc
Phase1	2.25	21.0
Phase2	6.83	71.5
Phase3	21.7	182.2
Phase4	36.2	303.7

もっとシンプルに評価できる

変位に使用できるレーザーパワーを $\pm P$ として注入できる最大振幅は、

$$\frac{2P \cos \theta}{cM \omega^2}$$

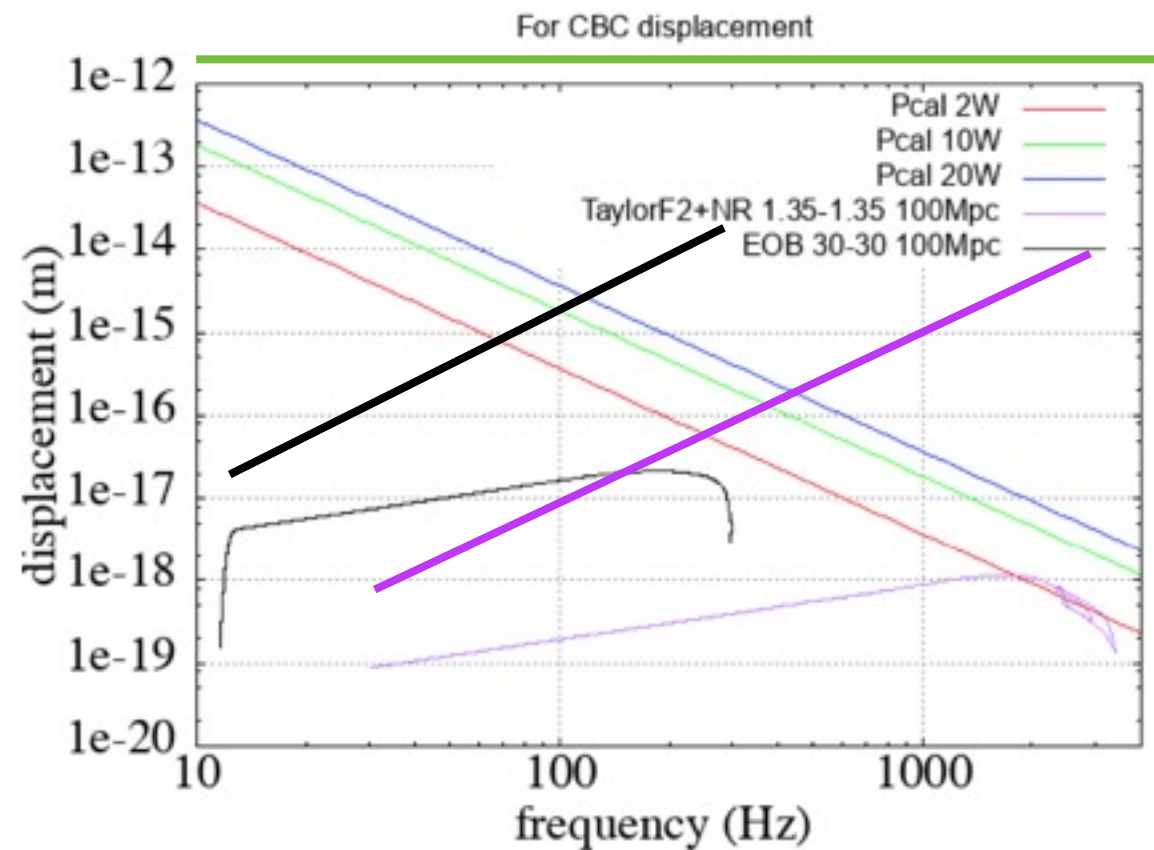
この式にKAGRA Pcalの値を代入すると、

$$7.4P \times 10^{-12} / f^2 \quad [\text{m}]$$

動かすことができる。これを3000で割ってstrainにする。

つまり、用意した波形に2次のhigh boost filterをかけて(これはインジェクションのときにも必要)、その後の波形の最大値が、 $2.5P \times 10^{-15}$ 以下になるようにスケール倍した重力波振幅を注入することができる。

もっとシンプルに評価できる



つまり、左図のようにしてから評価を行えば良い。どの周波数でもリミットが一定値になったので、時系列上で判断することができる。(iKAGRAではリアルタイムソフト上で評価していたことを、オフラインで評価できるようにする。)

インジェクションのときは、filter bank+FOTONで行ってくれたが、自分で実装すれば、いつでもチェック&スケーリングできる。そして、解析で得られる信号雑音比を計算すれば、意味ある信号をインジェクションできるか評価できる。バースト波形にも使用できる。

今週は別件で出張中ですので週末から取り組んでいきます。

今後の予定

- Injection judge toolの作成
 - 与えられた信号に対して、 $P_{cal} \cdot W$ を使用して何倍のスケールまでの信号を注入できるかを判定してくれるツール。つまり、2次のhigh boost filterの作成
- 上記が作成できれば、バースト解析も可能となる。
- calibration lineとその大きさの評価
 - calibration lineを何本、どの大きさで入れることができるかを評価するためのツール作成、
 - 周波数、信号雑音比、積分時間を与えると必要なワットが帰ってくるようなツール
- 最小振幅の議論

最小振幅の議論

- これまでは注入可能な最大振幅に着目して解析を行ってきたが、最小振幅に関する議論もしたい。
- 最小振幅はPcalのsystematic errorとradiation pressure noiseによって決まってくると思いますが、データ解析においては大きい信号と同時に小さい信号の解析というのも重要となってきます。(リアルタイムモデルのLSB(Least Significant Bit)に寄るかもしれません。)
- 特に連続波などの小さい波形を長時間注入できると解析ツールの確認に大きく貢献できると考えております
- 今後とも議論をよろしくお願いします。