

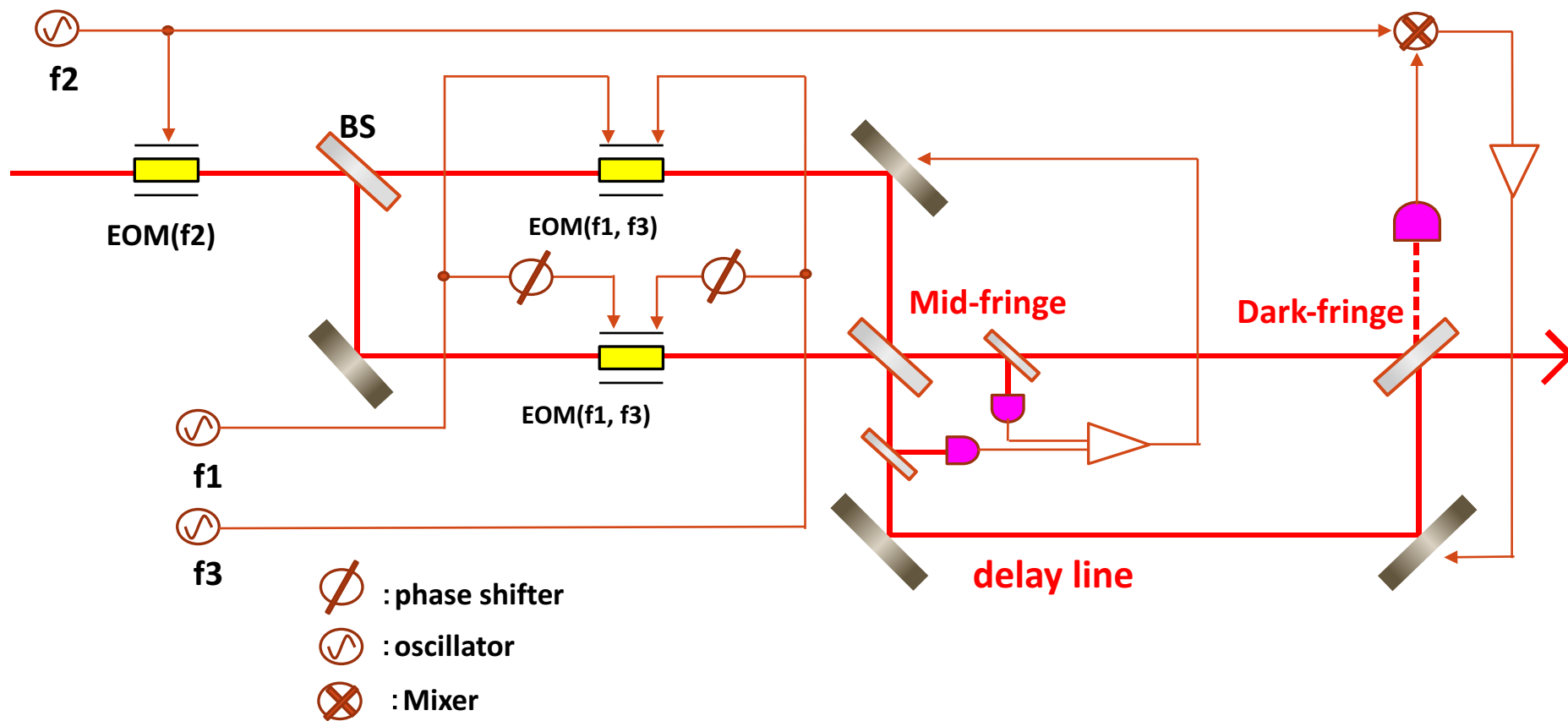
MZIを用いた変調システム

～現状報告 Jan 29. 2018～

KOHEI YAMAMOTO

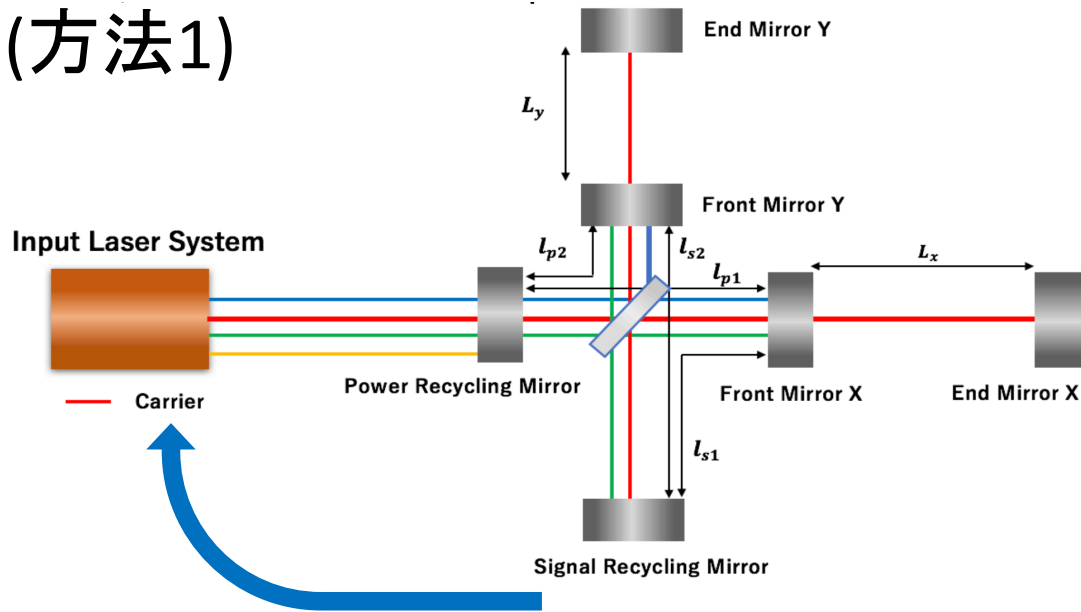
前回までの復習

現在変調システムとして用いるMZIのシミュレーションを行っている.
具体的には考えられるMZI内のエラーの要求値を導くことが目的である

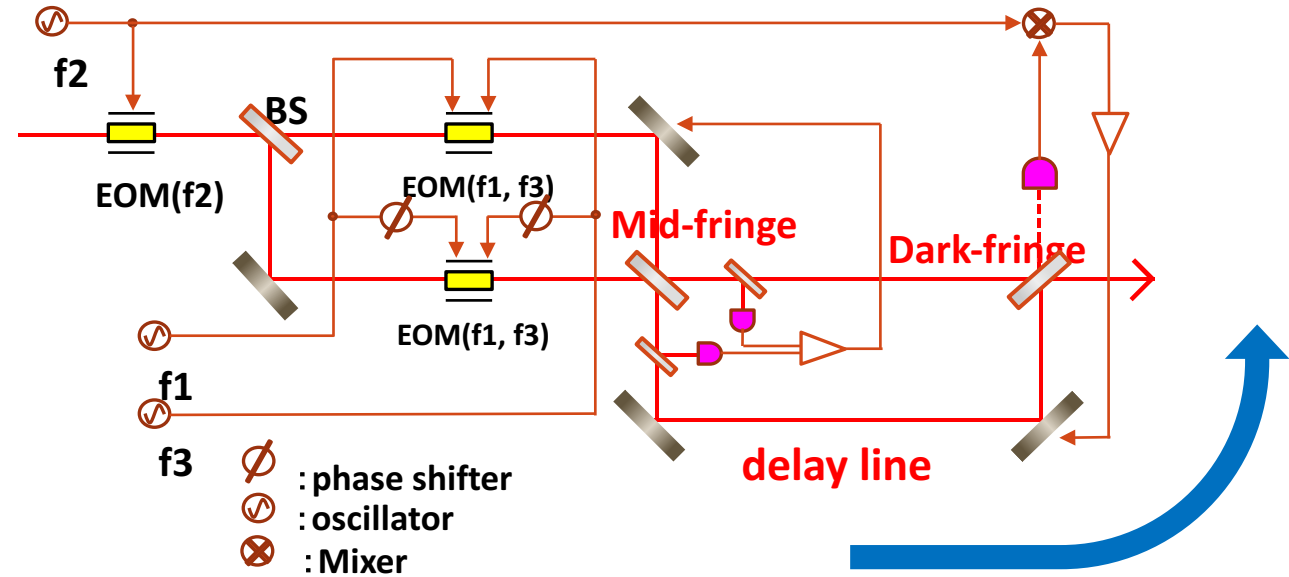


*15Jan2018スライドより再掲

これまで... (方法1)



DARMから, RFサイドバンド雑音に対する
要求値を導出(文献[1])



MZIの各要素からoutputのサイドバンド
までの伝達関数を導出



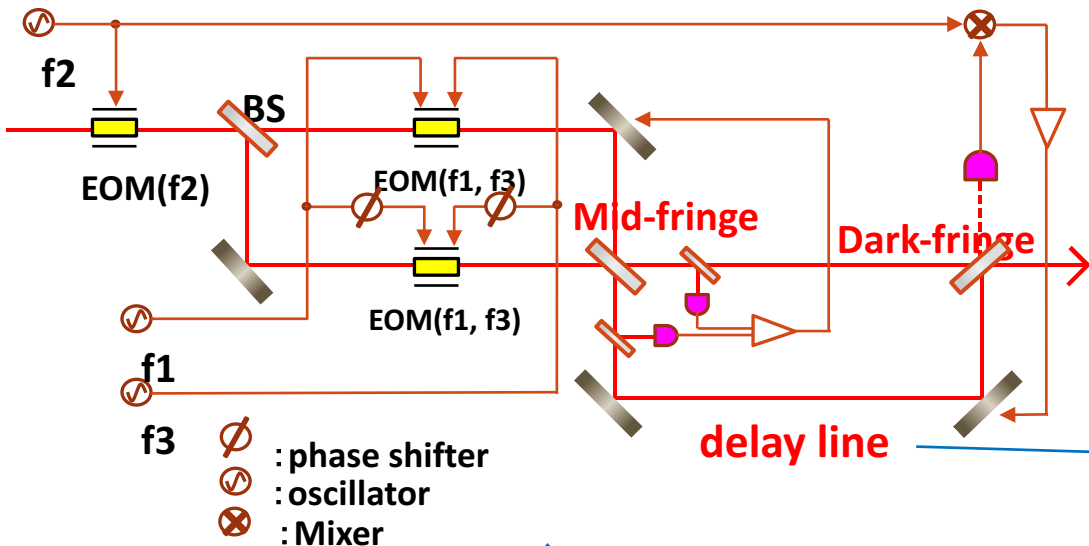
MZIの各雑音に対する要求値を導出

*15Jan2018スライドより再掲

[1] Y. Aso et al. "Interferometer design of the KAGRA gravitational wave detector". Phys.Rev.D 88, 043007(2013)
(Design document)

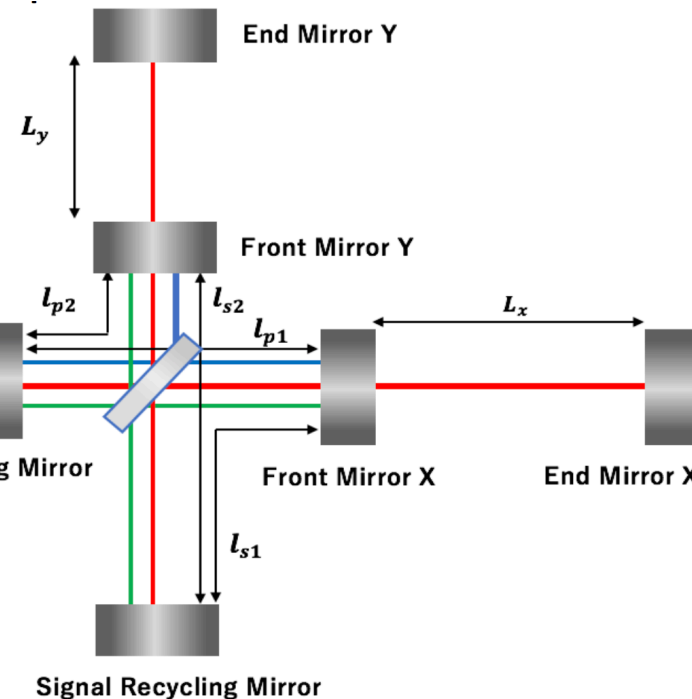
しかし...(方法2)

これまで用いていたサイドバンド要求値は、サイドバンドが純粋な位相変調の場合にのみ利用可能なので、KAGRA全体のLSCコードにMZIを組み込んで、直接要求値を計算することにした



Input Laser System

- Carrier
- f1(16.88MHz): PM and AM
- f2(45.02MHz): PM
- f3(56.27MHz): AM



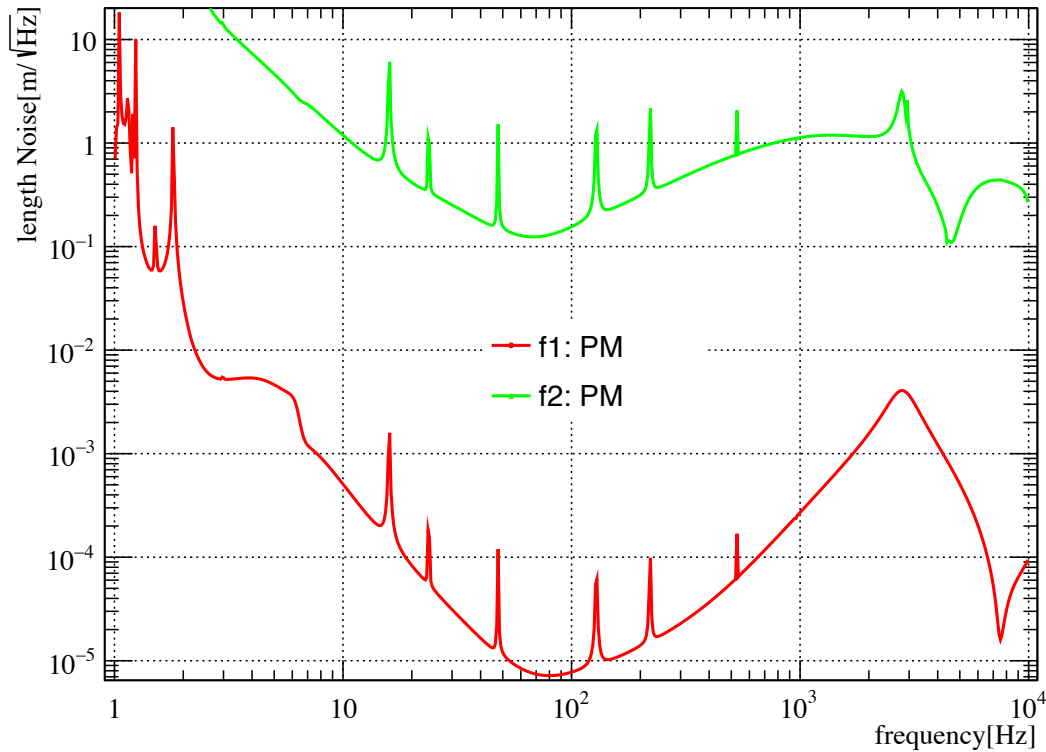
*15Jan2018スライドより再掲

MZIの雑音からDARMまでのカップルを直接計算することにより、MZIの雑音要求値を導く

方法1と方法2を比較してみても...

EX.1 ダークフリンジ

BRSE dark-fringe noise(phase noise)($\phi=0.0$)



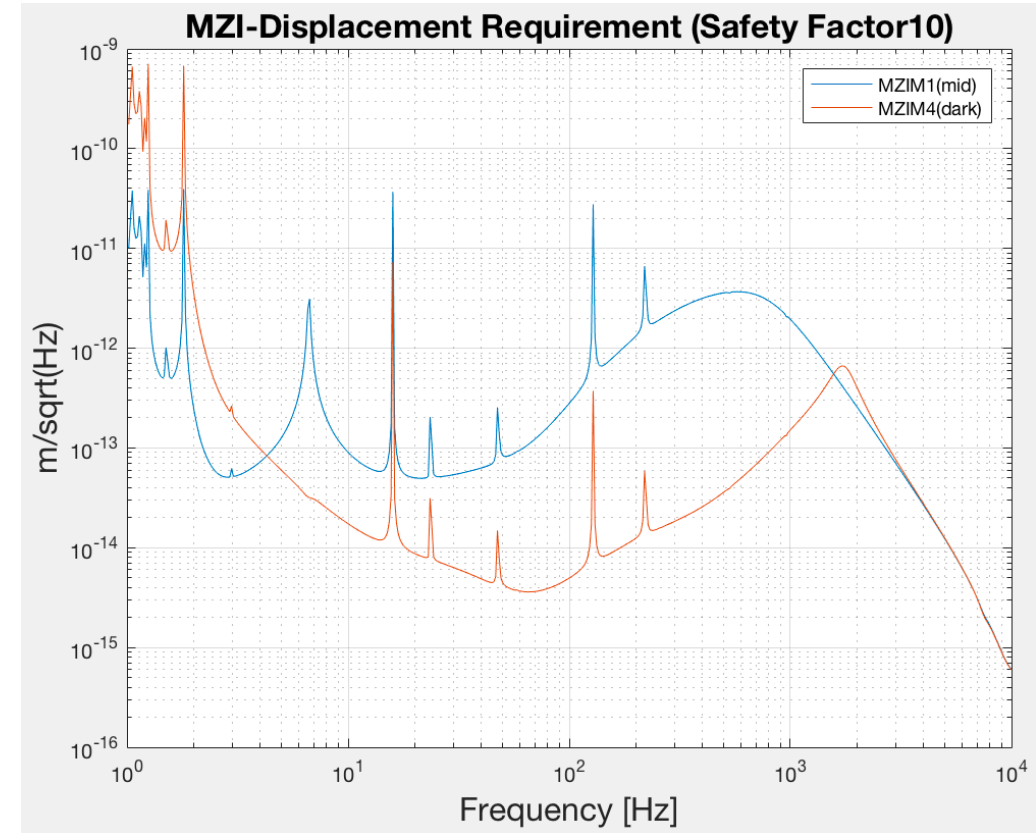
方法1: Phase noiseからの寄与(パワー1%ずれ)

*ISCモデルの結果の形から
ミッドフリンジ: f2 Amplitude noise

ダークフリンジ: f1 Phase noise

がそれぞれ支配的であることがわかるので、それらに的を絞る

10桁違う...



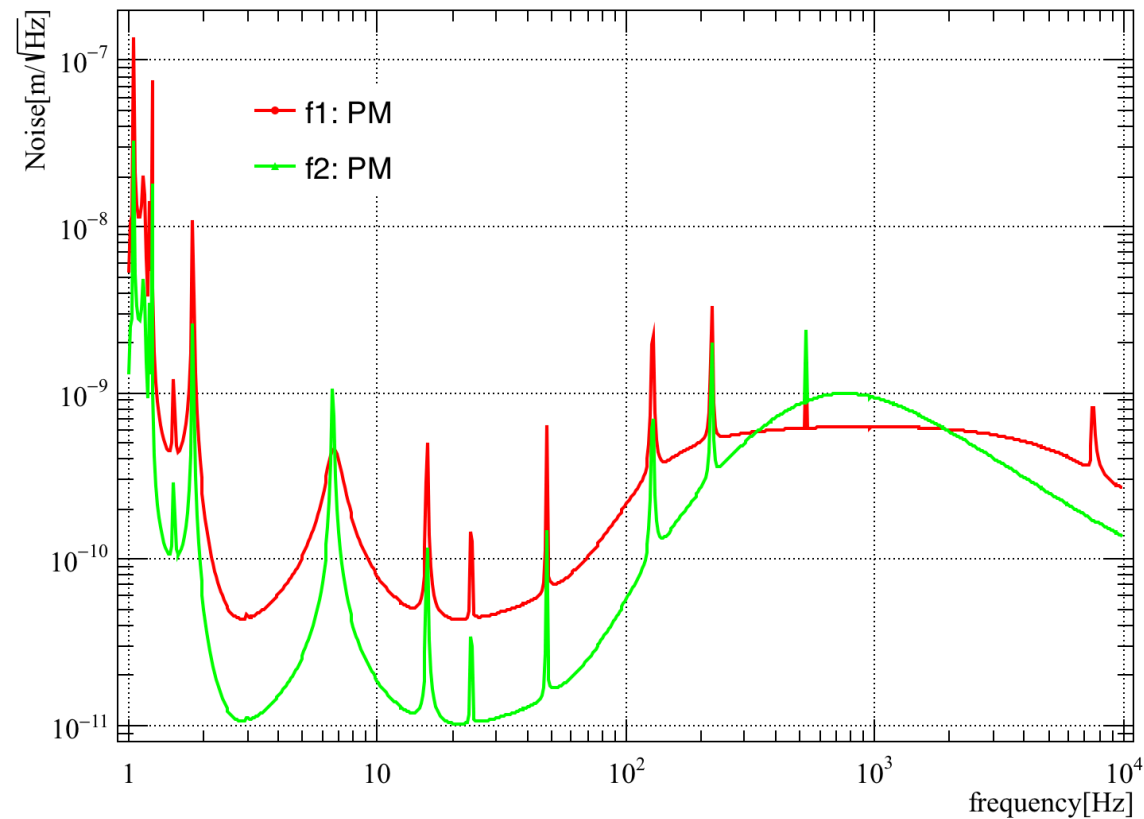
方法2

*15Jan2018スライドより再掲

方法1と方法2を比較してみても...

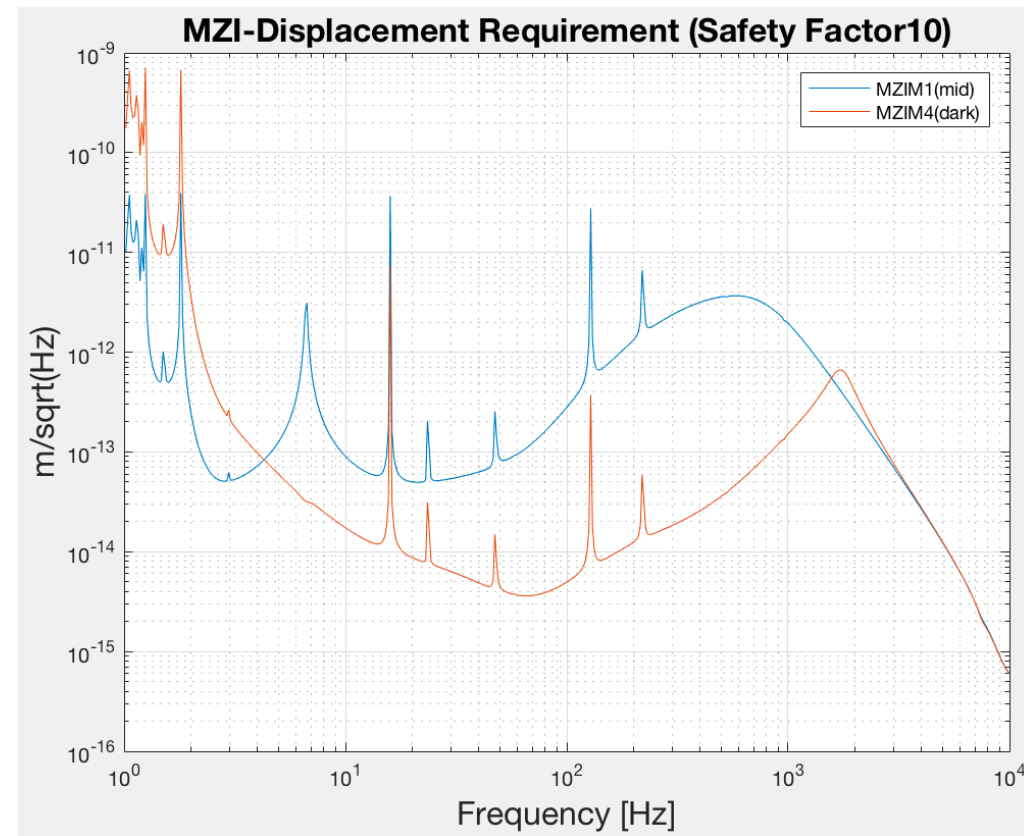
EX.1 ミッドフリンジ

BRSE mid-fringe noise requirement($\phi=0$)



方法1: Amplitude noiseからの寄与

二桁違う



方法2

*15Jan2018スライドより再掲

方法1と方法2の間に大きなギャップがあった. その後...

道村さん・榎本さんと確認したところ, 計算式などはあっているような気がする.

考えられることとして

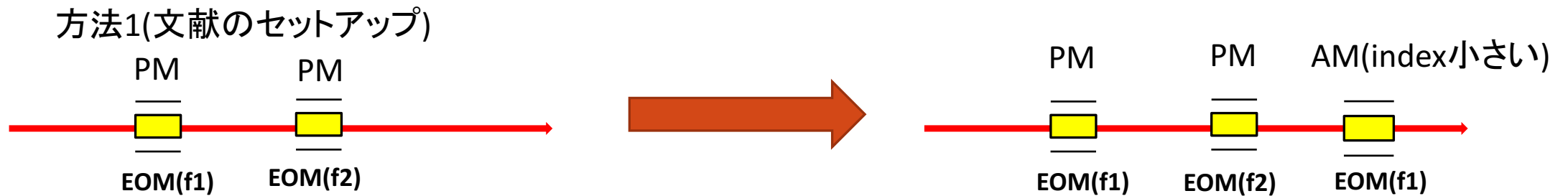


文献のRF変調器への要求値は, Amplitude noiseやphase noiseがRF変調器で生じようともPMについての雑音である.

しかし, MZIで発生する雑音はAMになりうる. 文献の要求値には含まれないこの **residual amplitude modulation(RAM)からの要求値が大きい**のではないだろうか?

文献のセットアップにAMを生成するためのEOMをくっつけることで, MZIのoutputに存在すると考えられるRAMへの要求値を確認することができる.

注意: RAMのamplitude noiseとphase noiseについての要求値を求めるため, EOMのmodulation indexは(本来0であるべきなので)限りなく小さくする.



*AMを実効的に0にするためにindexの符号が逆向きのEOMを並列に繋いでの計算も行ったが特に大きな違いはなかったので, このスライドではこの状態についての計算を載せる

ちょっと確認.

方法2の結果は, サイドバンドの様々な寄与の中で, 各周波数帯で最も制限の厳しいものとなるはず.

ここで考えられる様々な寄与とは

周波数 × **変調の種類** × **ノイズの種類**

f1: 16.88MHz

f2: 45.02MHz

Amplitude Modulation(AM)

Phase Modulation(PM)

Amplitude Noise

Phase Noise

Dark

Darkから各サイドバンドの相対振幅雑音までの伝達関数 $\frac{\delta Amp}{\delta l}$

sideband	type	TF [/m]
f1	AM	6.27686e+13
	PM	0.0900663
f2	AM	2.35346e+13
	PM	1.47447

Darkから各サイドバンドの位相雑音までの伝達関数 $\frac{\delta \beta}{\delta l}$

sideband	type	TF [rad/m]
f1	AM	5.63798e+13
	PM	0.0388901
f2	AM	2.31412e+13
	PM	0.100633

*位相雑音の伝達関数を計算するときのsweepの範囲が異なる(e-16~e-14)

Mid

Midから各サイドバンドの相対振幅雑音までの伝達関数 $\frac{\delta Amp}{\delta l}$

sideband	type	TF [/m]
f1	AM	3.59561e+06
	PM	3.834e+2
f2	AM	3.75491e+06
	PM	1.398e+4

*Midのパワー0.1%に対応した, 常に存在するエラー 1.6934×10^{-10} [m]が存在すると仮定した

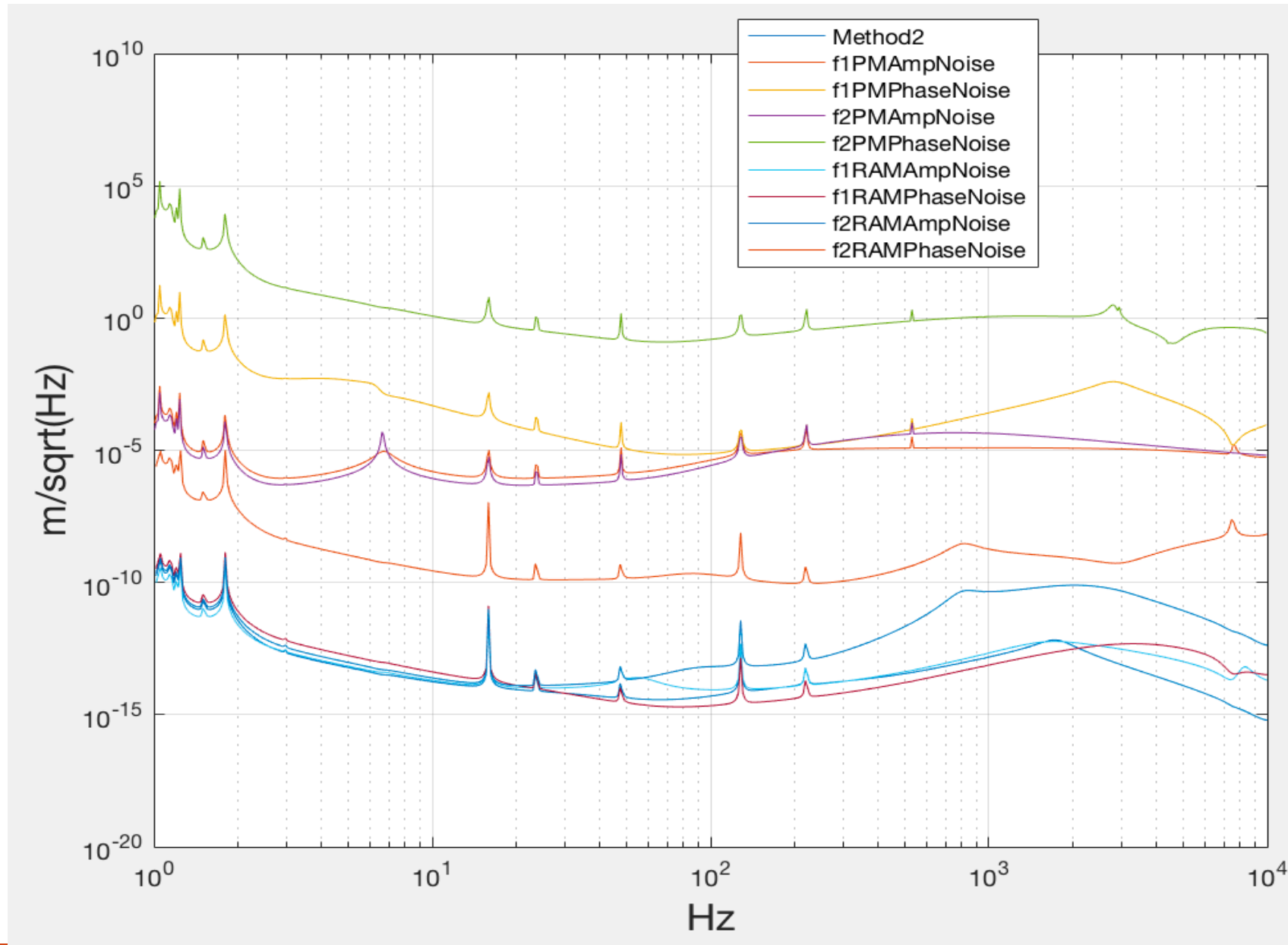
**f1PM: 1.13203e+12, f2PM: 4.12672e+13

Midから各サイドバンドの位相雑音までの伝達関数 $\frac{\delta \beta}{\delta l}$

sideband	type	TF [rad/m]
f1	AM	5.79087e+06
	PM	1.50454e+06
f2	AM	9.78035e+05
	PM	9.07027e+06

方法1におけるそれぞれの寄与と方法2のプロット

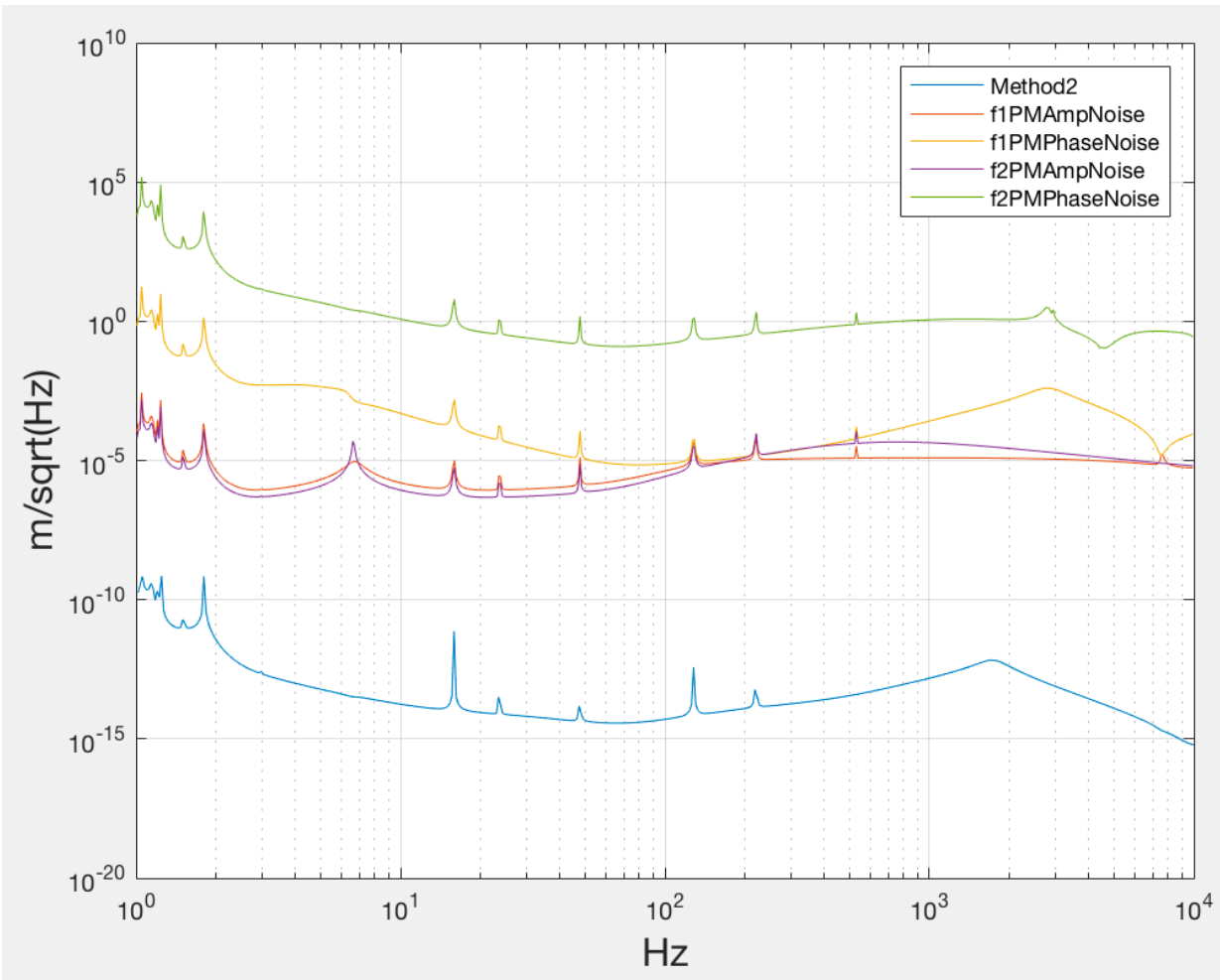
Dark



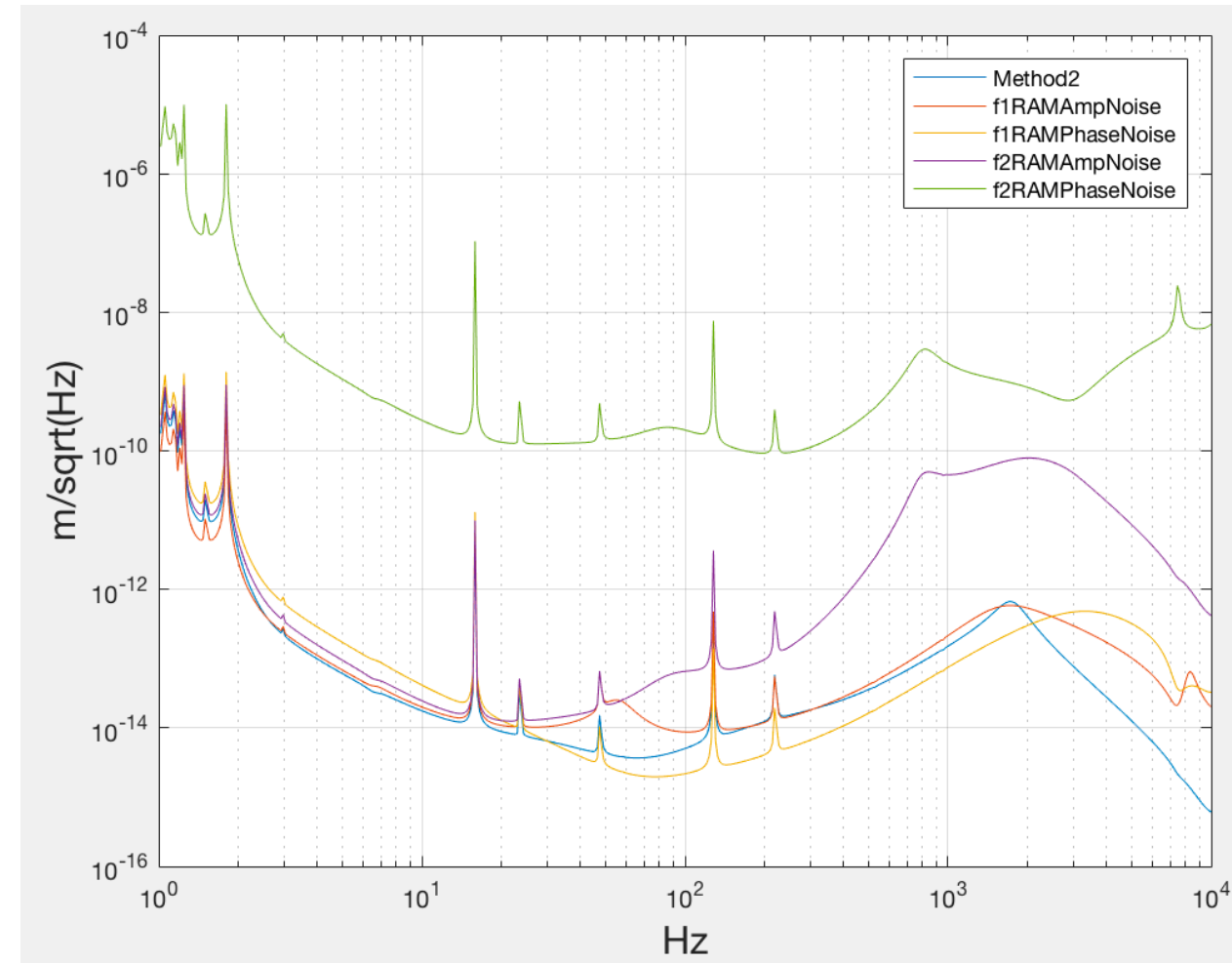
*RAMのindexは1e-8

Dark

PMからの寄与

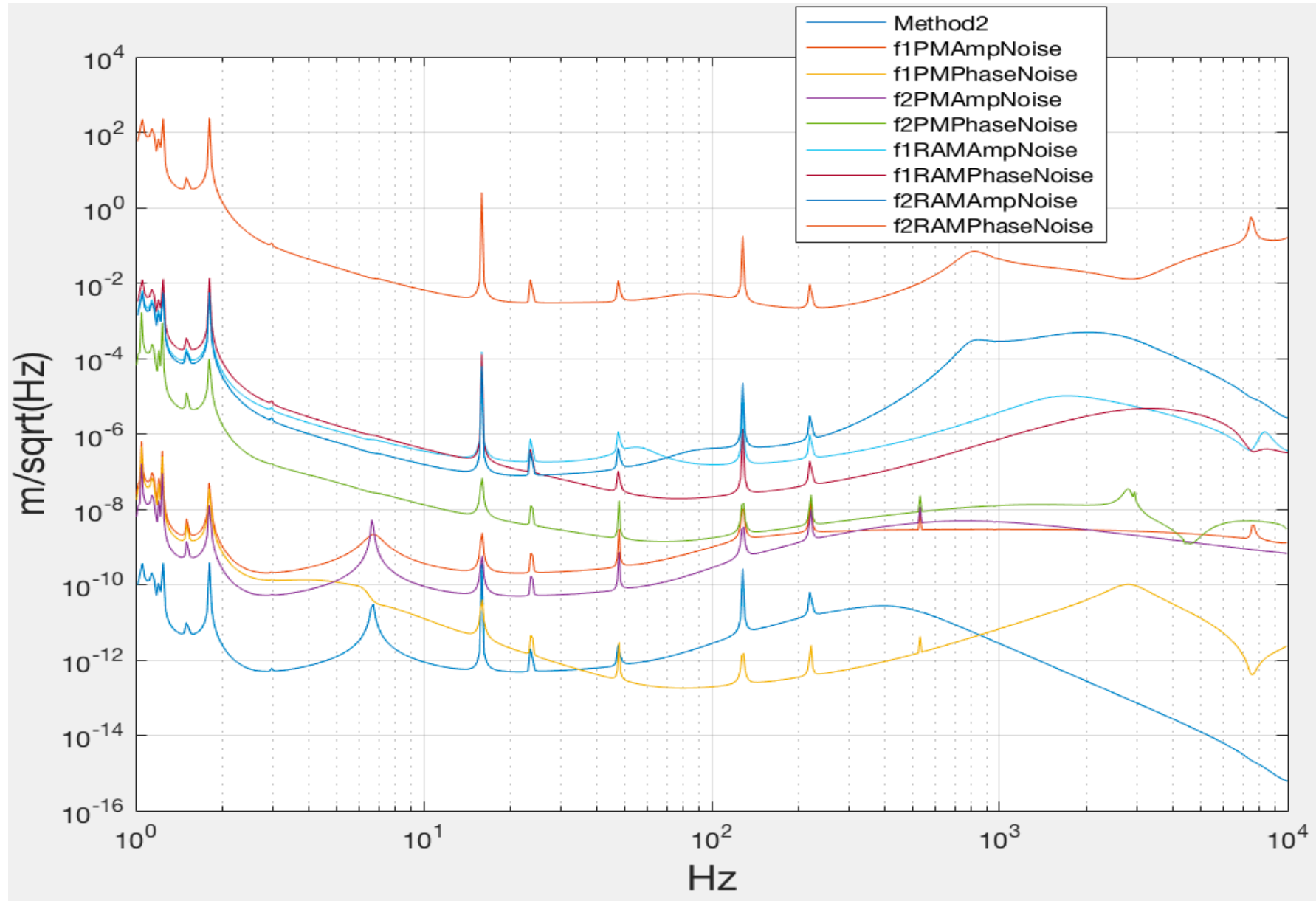


RAMからの寄与



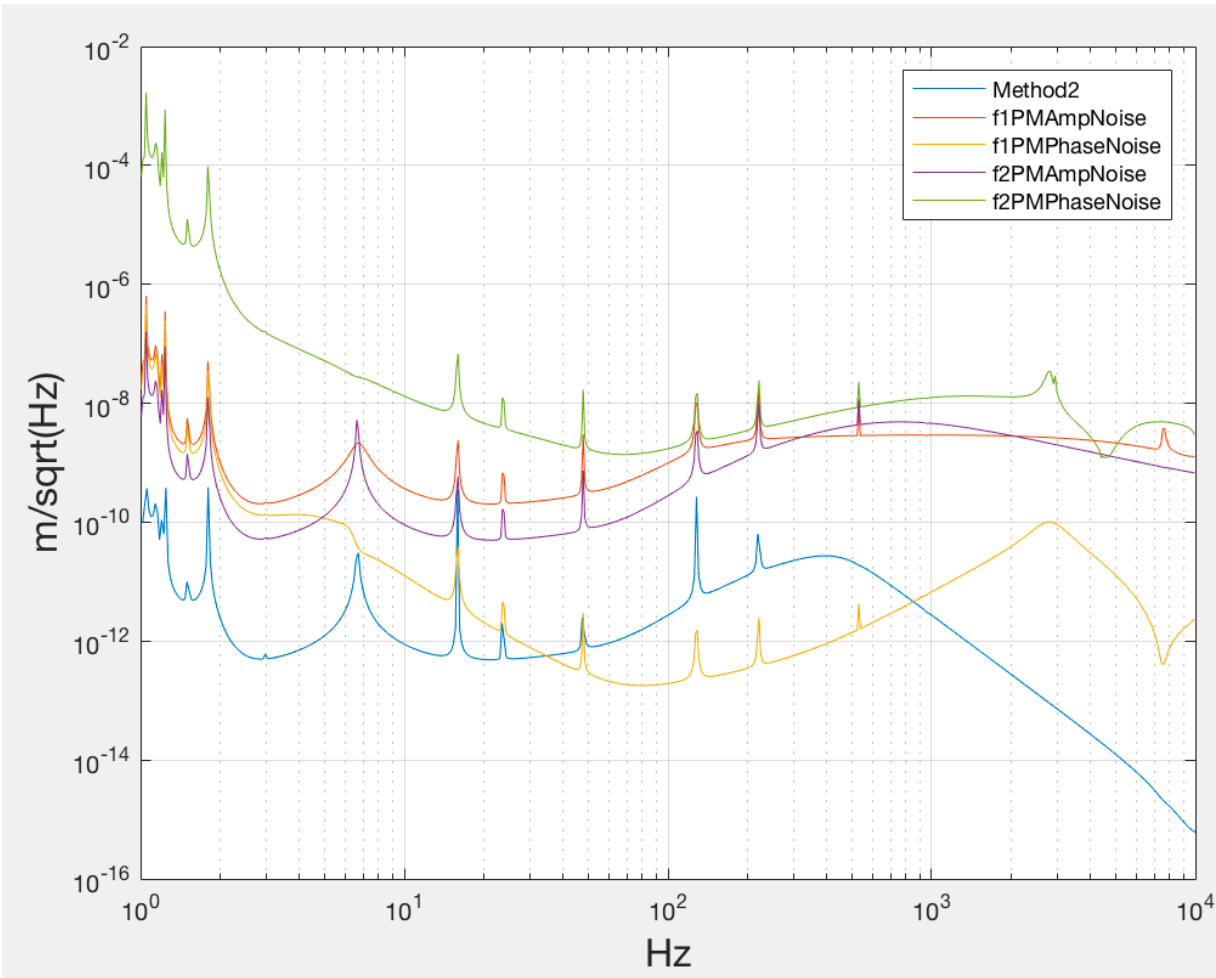
15Jan2018はPMのみ考慮していたので, 前回は差が大きかった!!

方法1におけるそれぞれの寄与と方法2のプロット

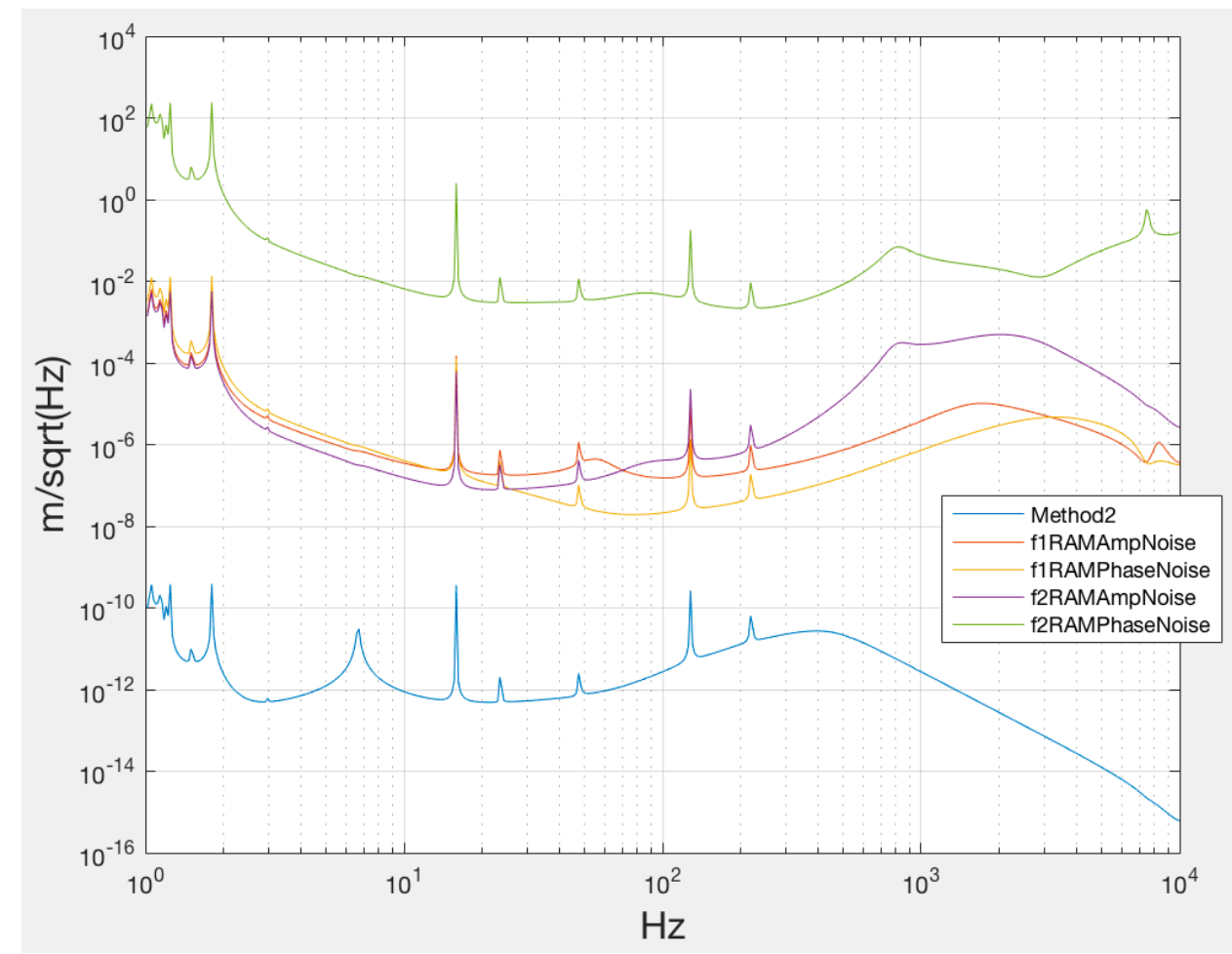


Mid

PMからの寄与



RAMからの寄与



15Jan2018でRAMを考慮せずとも, 方法2に近い値が得られた!

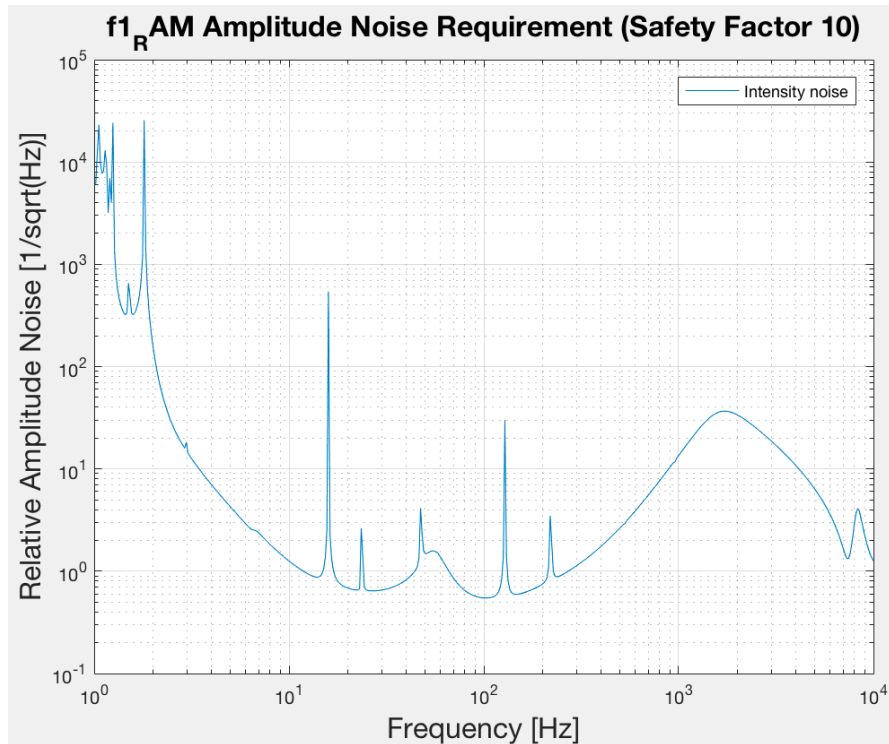
結論・考察

- ・二つの方法は再現できない点がいくつかあるので完全に一致することはない。
(e.g. 方法1での”MZIのアウトプットへの要求値”はEOMを直列につないでるが、この状況は実際のMZIのアウトプットを再現してはいない
RAM用のEOMのindexに不定性がある)
←→オーダーの評価がある程度できた(まだ気になるところがあるのでいくつか確認したいが)
ミッド $\sim O(10^{-12}[m])$, ダーク $\sim O(10^{-14}[m])$
*ショットノイズを考えると $10^{-15}[m]$ あたりまでいけるらしい
- ・15Jan2018のスライドで提起した, 方法1の伝達関数に変に周波数依存してしまっている問題はちょっと保留している(依存性の求め方に問題があるだけな気がするが)
- ・どの成分がどれだけ寄与しているのかを知ることができるので実際の実験でうまく使うことができるだろう.

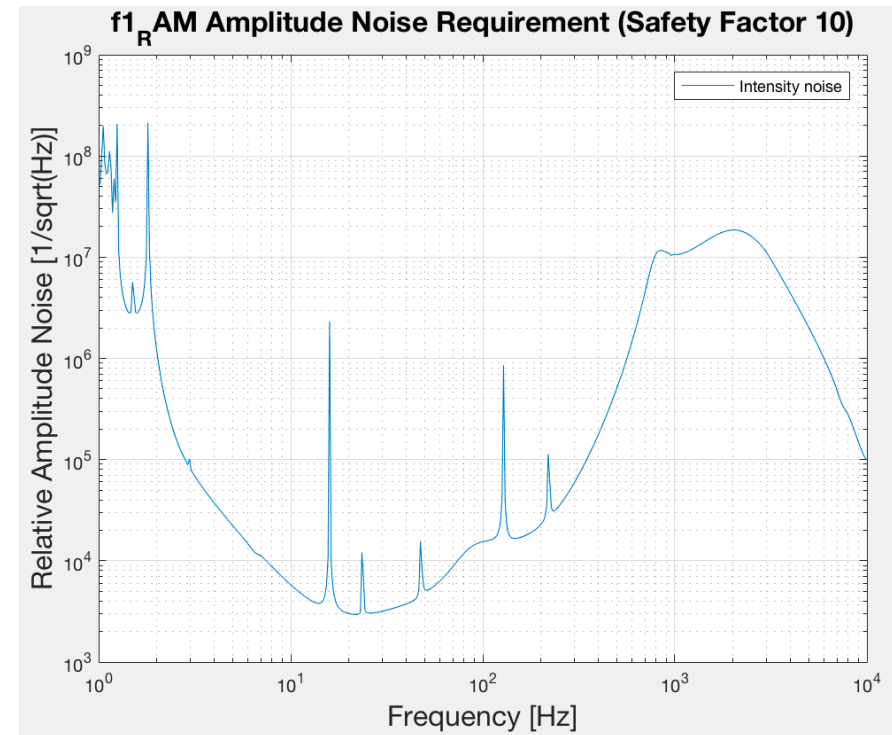
RAM用のEOMのindex

一桁変えると要求値も同様に一桁変わる...

今回はたまたま $1e-8$ としたら一致がよかったが...(逆にこの一致から, MZIのアウトプットでのRAMの強度がその程度だと言っていることができるだろうか?)



1e-8, f1RAM, amplitude



1e-12, f1RAM, amplitude

その前に...

方法2のf2のmodulation indexを130%くらいにしたら、f2への要求値が麻生さんのものと一致するのを確認してみよう。
――>別に合わないが、まあRAMの過程を考えたら、だからと言ってコンシステンと出ないわけではないだろう。むしろ厳しくなって当然なのでは。

