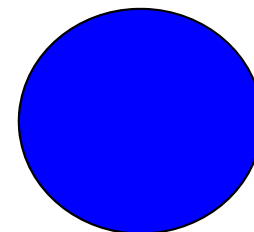


KAGRA用 アウトプットモードクリーナ の開発III

物理学会@宮崎大学
Sep. 2016

東工大
宗宮 健太郎, 粕谷順子
and KAGRA Collaboration

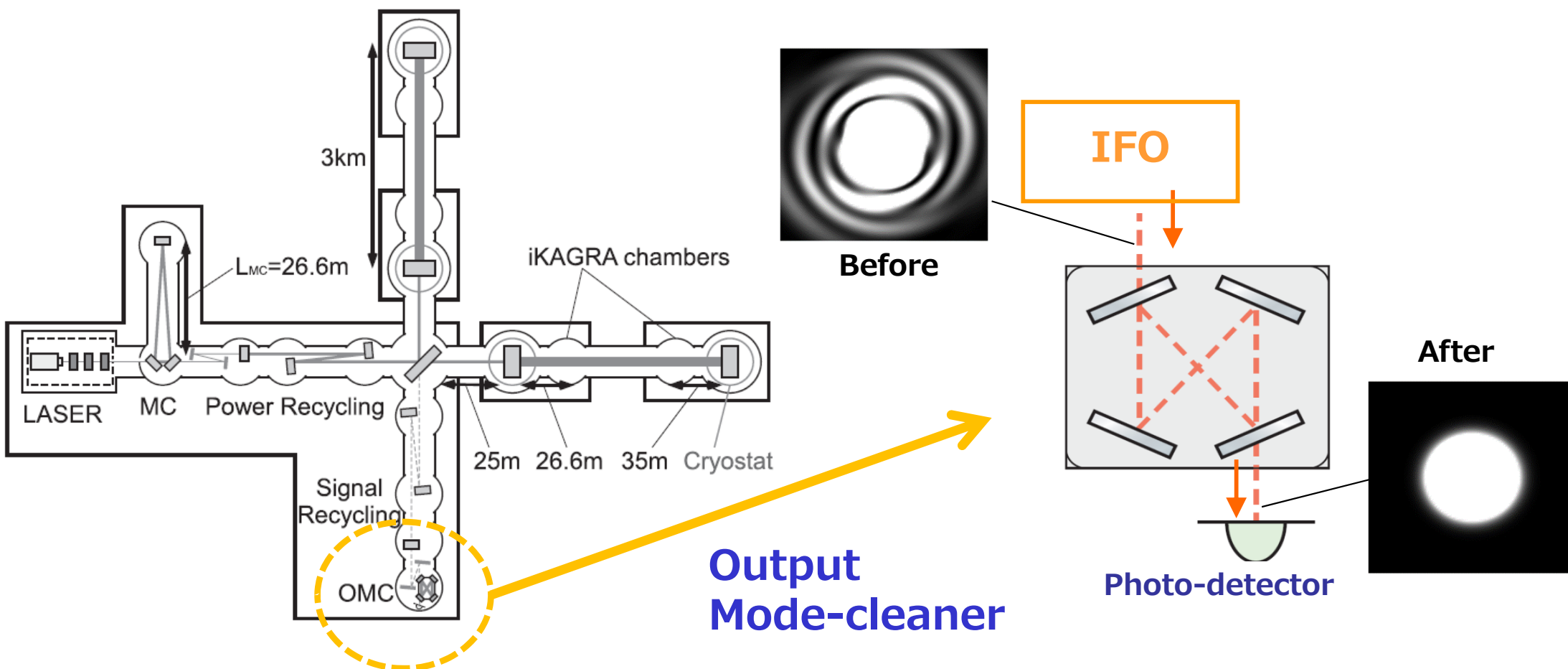


K.Somiya

目次

- **イントロ**
- **光学系の設計**
- **懸架系の設計**
- **制御系の開発 ⇒ 粕谷さんのTalk**

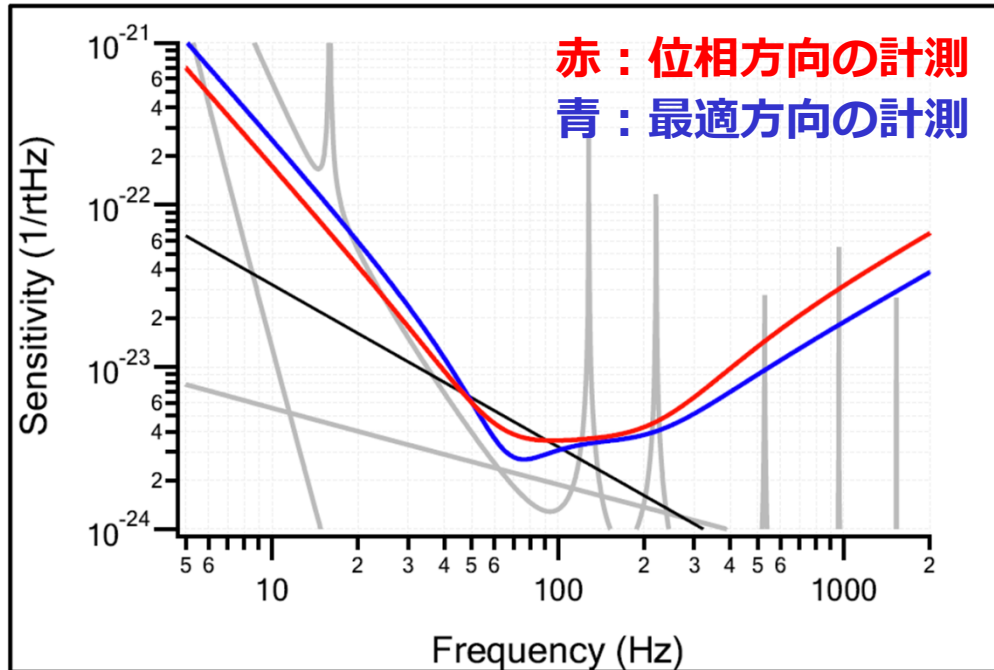
出力モードクリーナ(OMC)とは



- 重力波信号と参照光(キャリアの基本モード)を透過
- RF Sidebandをフィルター
- キャリアの空間高次モードをフィルター

OMCへの要求値

KAGRA感度 (detuned RSE)



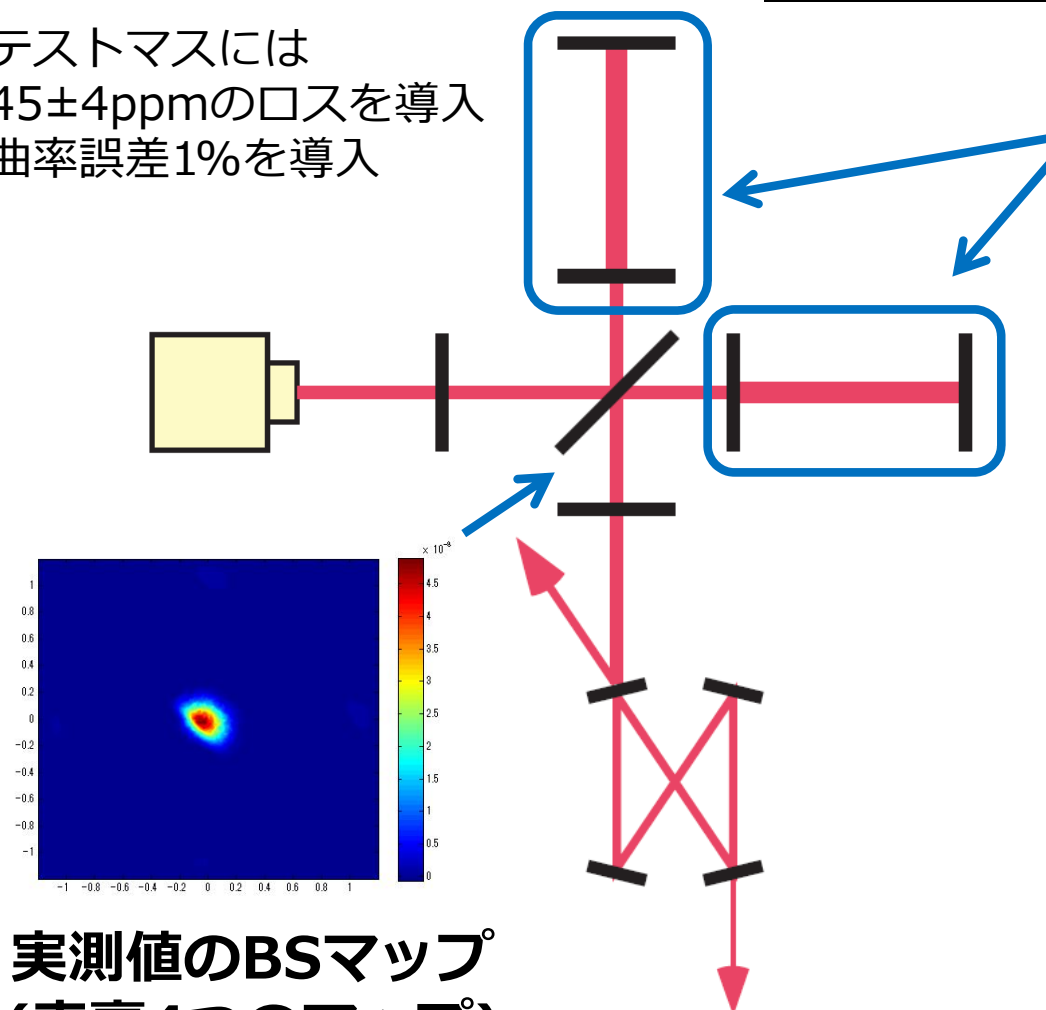
中性子星連星の観測可能距離

	最適	位相
non-detune	128 Mpc	116 Mpc
detune	147 Mpc	136 Mpc

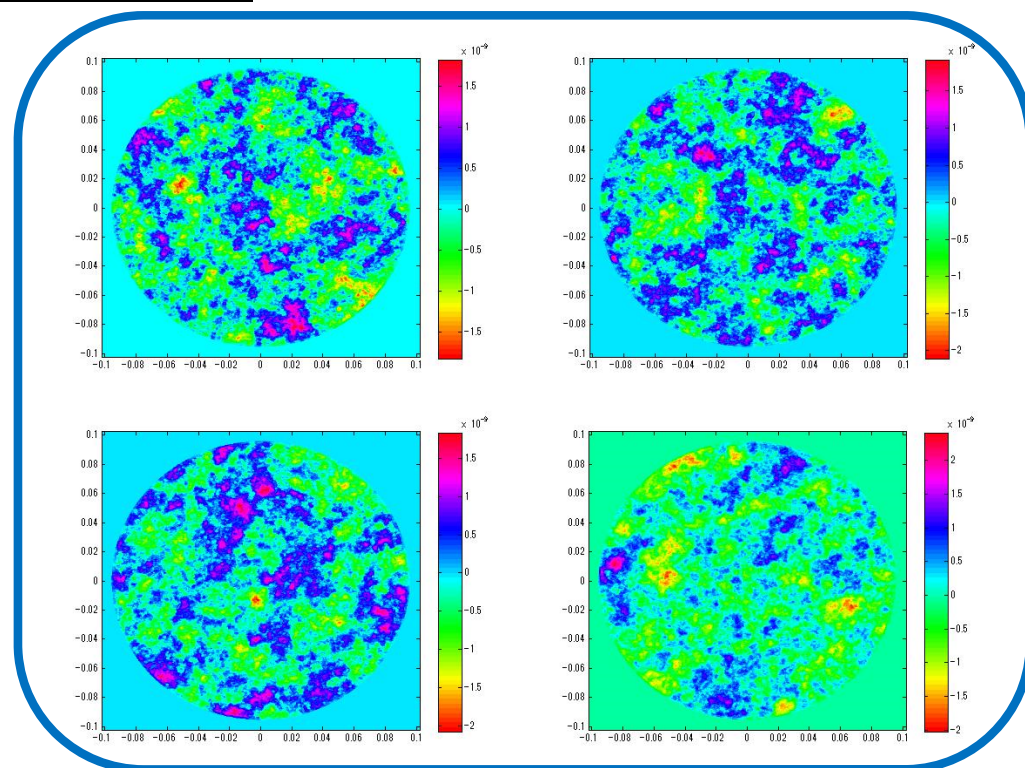
- 重力波信号 = 位相信号
 - ⇒ 通常は位相方向に参照光を合わせて計測
 - ⇒ 輻射圧がある場合だと最適方向が異なる
- 信号取得の方向は両腕の反射率差と制御のオフセットの比で決まる
 - ⇒ OMCの要求値は両腕の反射率差で決まる

光学系の設計

テストマスには
 $45 \pm 4 \text{ ppm}$ の口スを導入
曲率誤差1%を導入



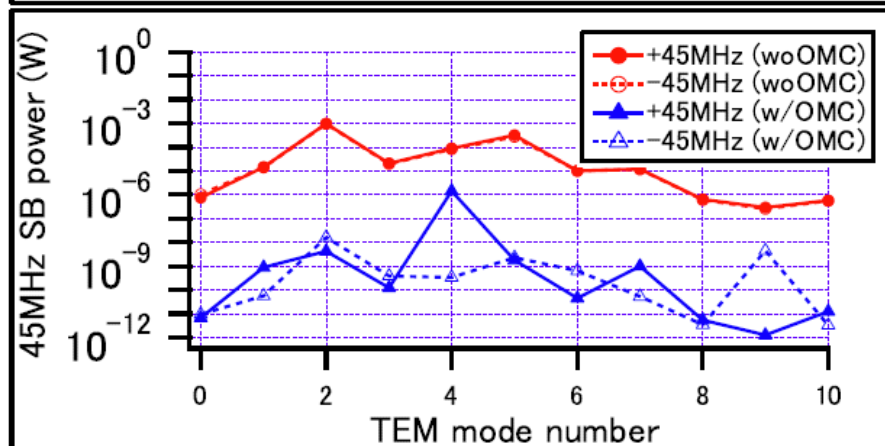
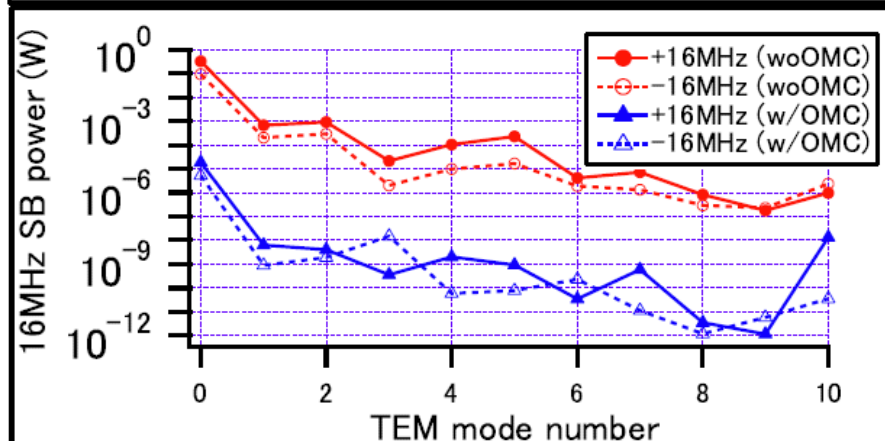
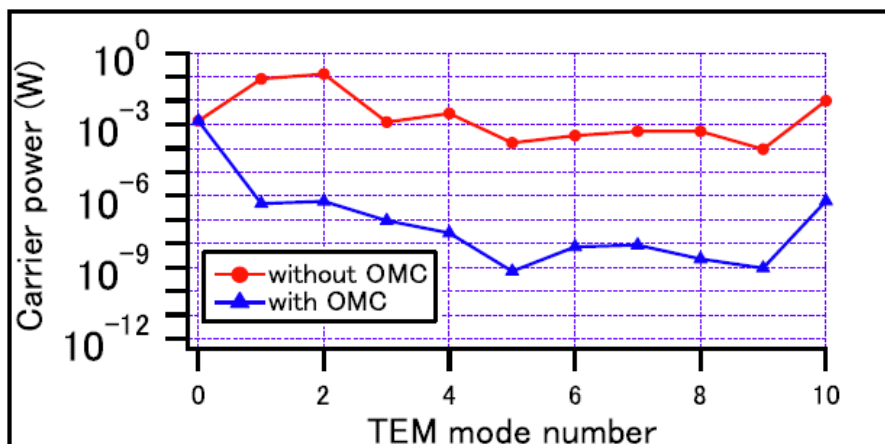
実測値のBSマップ
(表裏4つのマップ)



RMS 0.5nmという条件で
乱数で作成したミラーマップ
(24通りの結果を平均)

DC readout によるショットノイズ悪化
を5%以内に抑えることを目標に設計
⇒ $F=780$, $L=75\text{cm}$, $\eta=55.4$ 度を選択

光学系の設計



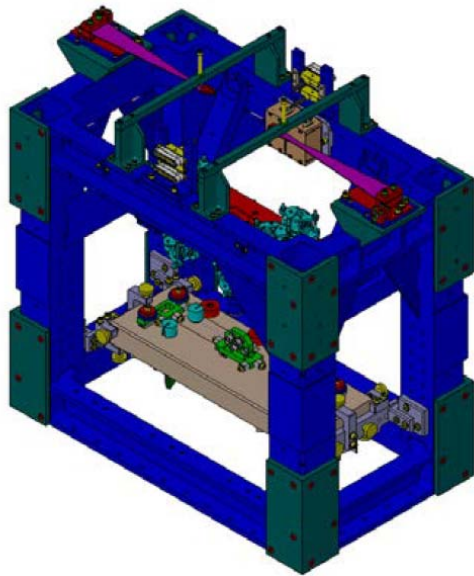
シミュレーションソフトFINESSE による計算結果(10次まで)

- 24通り中、6番目に悪い組合せで計算
- 重力波信号を最大透過するようOMMTの距離をチューニング
- ジャンク光をOMCのガウスモードで展開
- DC readout位相が最適になる腕のoffsetを選択

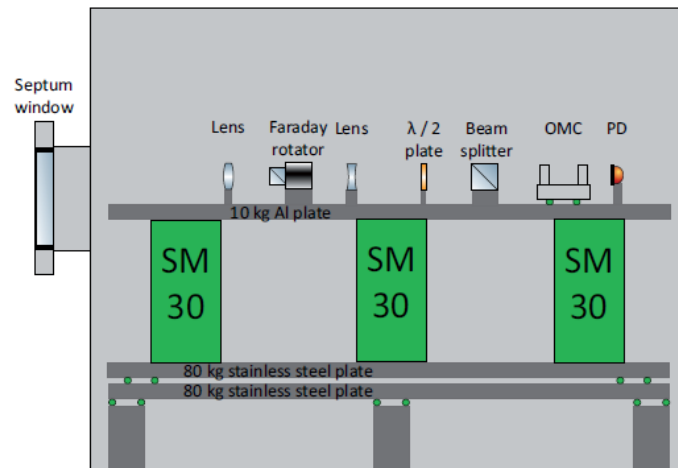
RFによるショットノイズの悪化は2%程度
OMC内の光学ロスが2%程度
高次モードによるショットノイズは1%以下

懸架系への要求

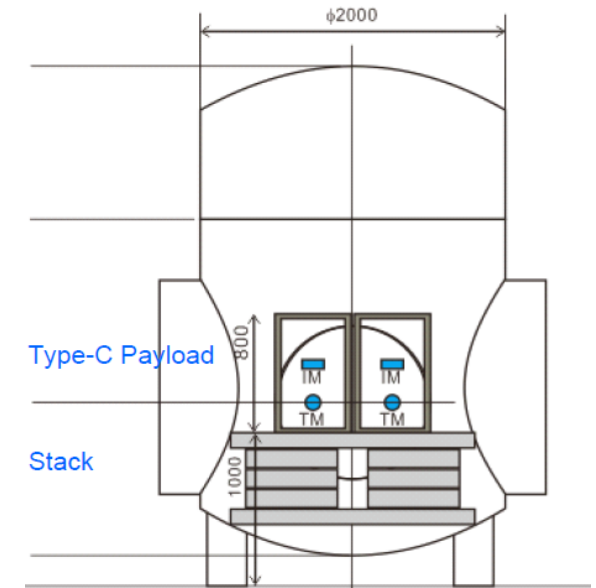
aLIGO OMC



GEO OMC



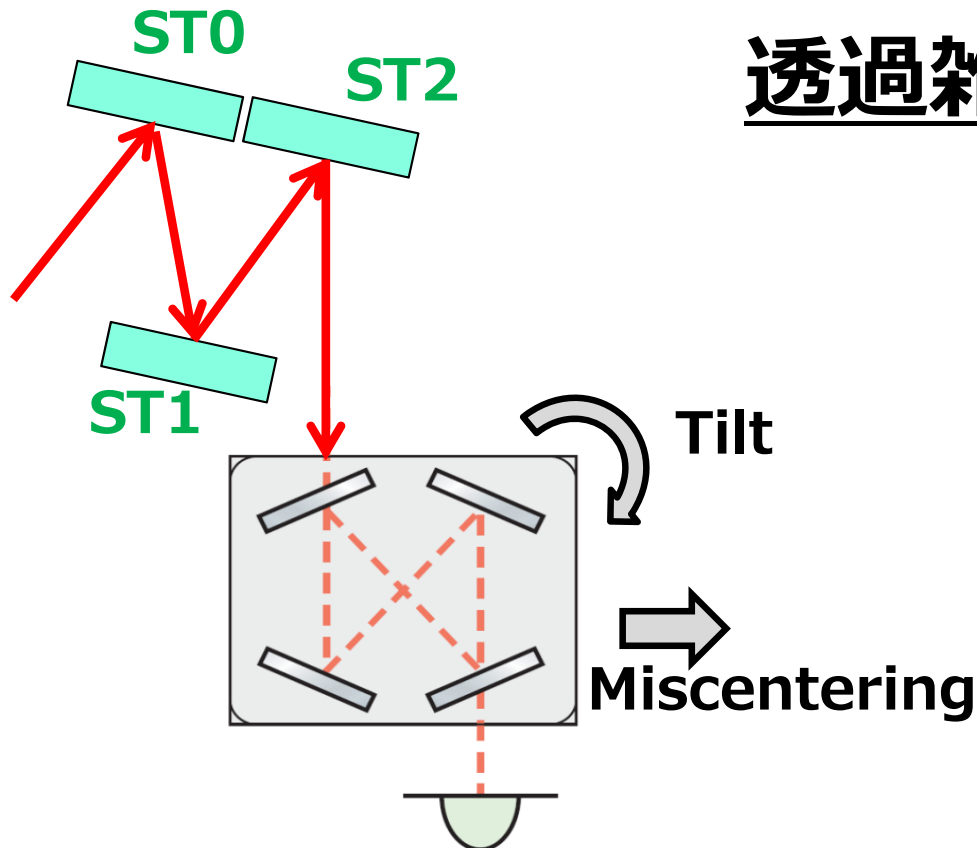
KAGRA type-C



OMCが揺れると...

- 重力波信号の透過率が落ちてショットノイズが増える
- キャリアの透過光量が変化して直接ノイズになる
- OMCの散乱光が干渉計に再入射してノイズになる

透過雑音の計算



FINESSEは反射時に左右の位相差をつけることで鏡の回転を導入する



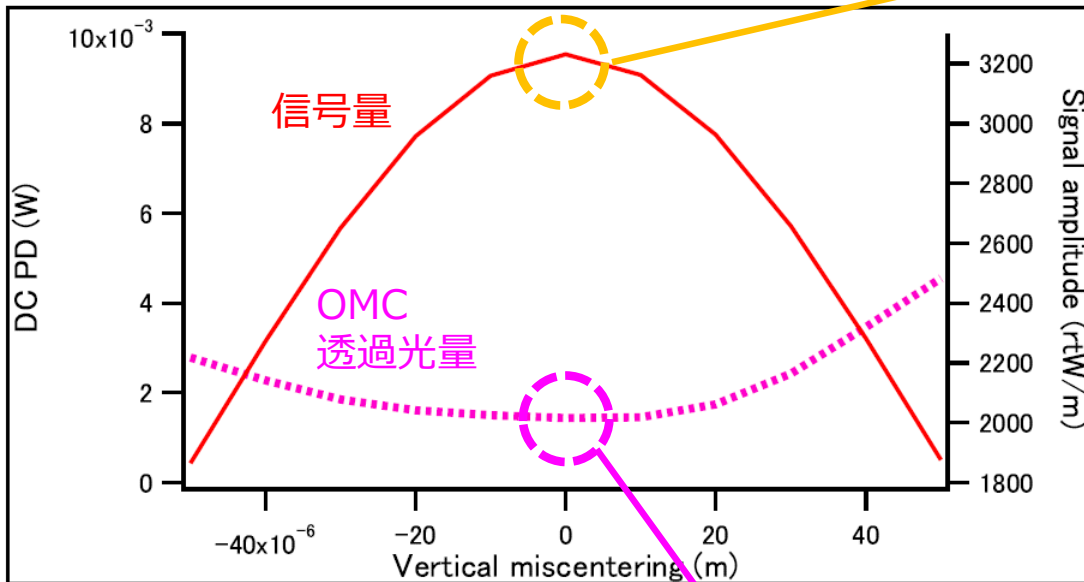
OMC全体を回転するような操作はできないので、OMC前の鏡を回す
(各STMの間隔は1mに設定)

ST0	ST1	ST2	結果
CWに1urad	CCWに1urad	CCWに1urad	Centerで入射がCCWに1urad tilt
操作なし	CWに1urad	CWに1urad	1um miscenterに直入射

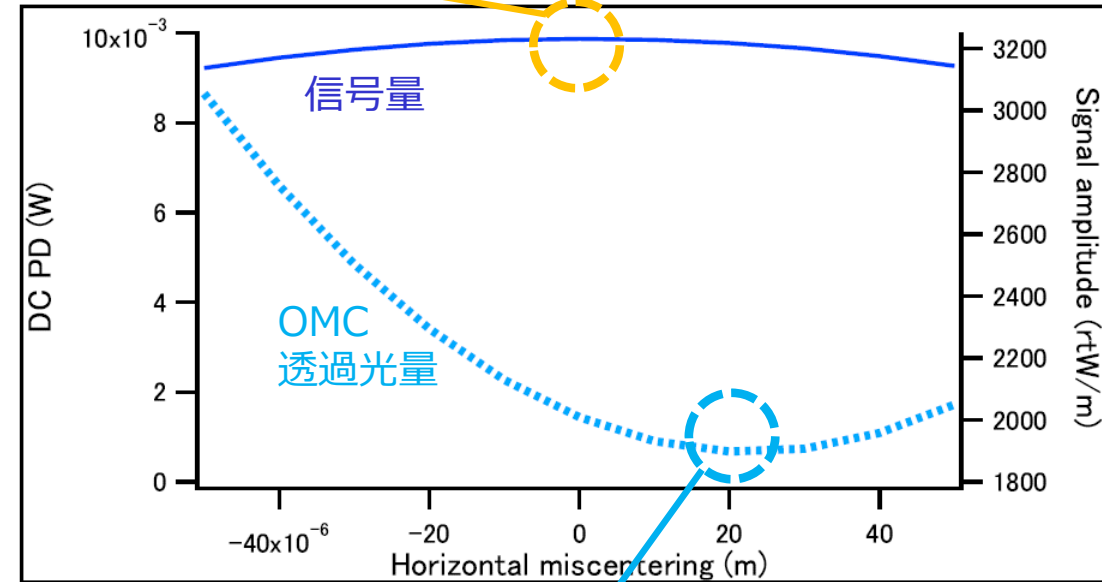
OMCの揺れ[m/rtHz] x OMCからPDへの伝達関数[W/m]
< KAGRA感度[m/rtHz] x 腕の差動信号からPDへの伝達関数[W/m]
を満たせばよい

信号の透過量と透過雑音の関係

ビームセンタリング時に信号量は最大



鉛直方向は
センタリング時に
透過光量の変化がゼロ



水平方向は
透過光量が最小となる点が
センタリング時からずれている

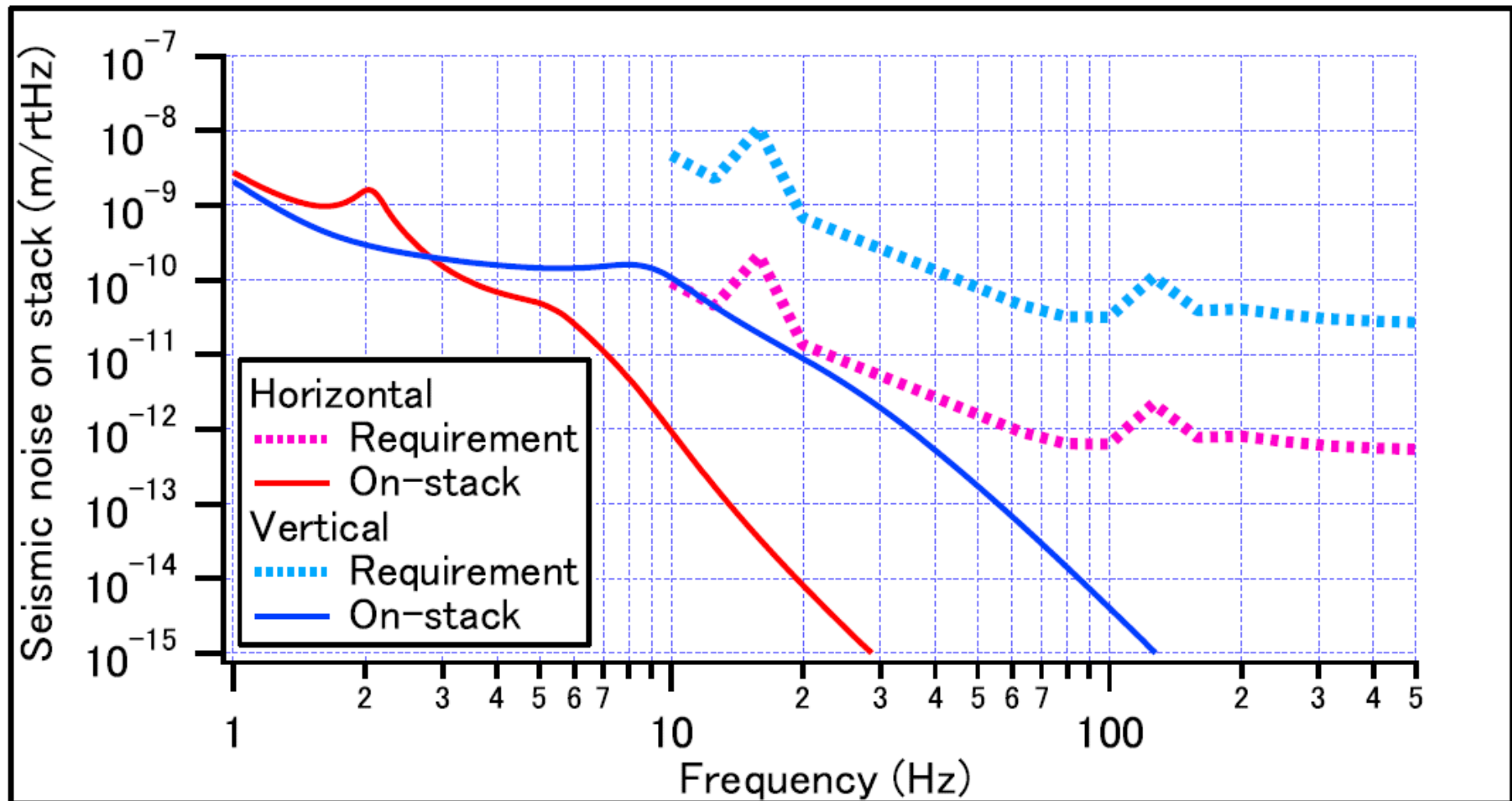
- BSマップによる影響と考えられる
- 水平方向の要求値が厳しくなる

水平方向の透過雑音の係数

計算したガウス モードの最高次数	テストマスの ミラーマップのみ	テストマス+BS のミラーマップ
5	1.155303	67.54784
6	1.144368	66.97745
7	1.219903	70.04583
8	1.222085	69.97672
9	1.222004	69.96060
10	1.191391	68.08784

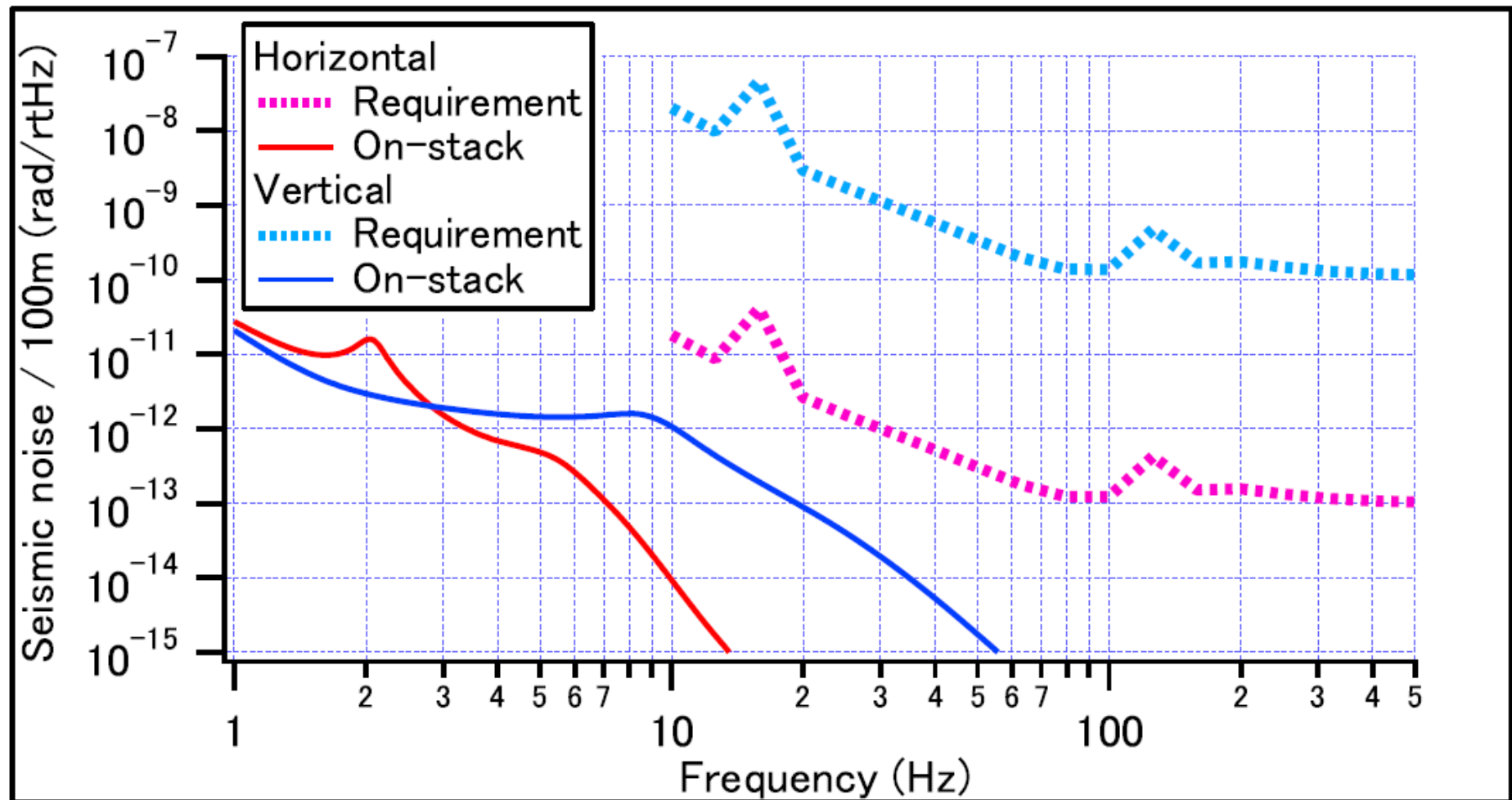
- **BSマップによる影響であることが分かる**
- **次数的には十分収束している**

ミスセンタリングへの要求値



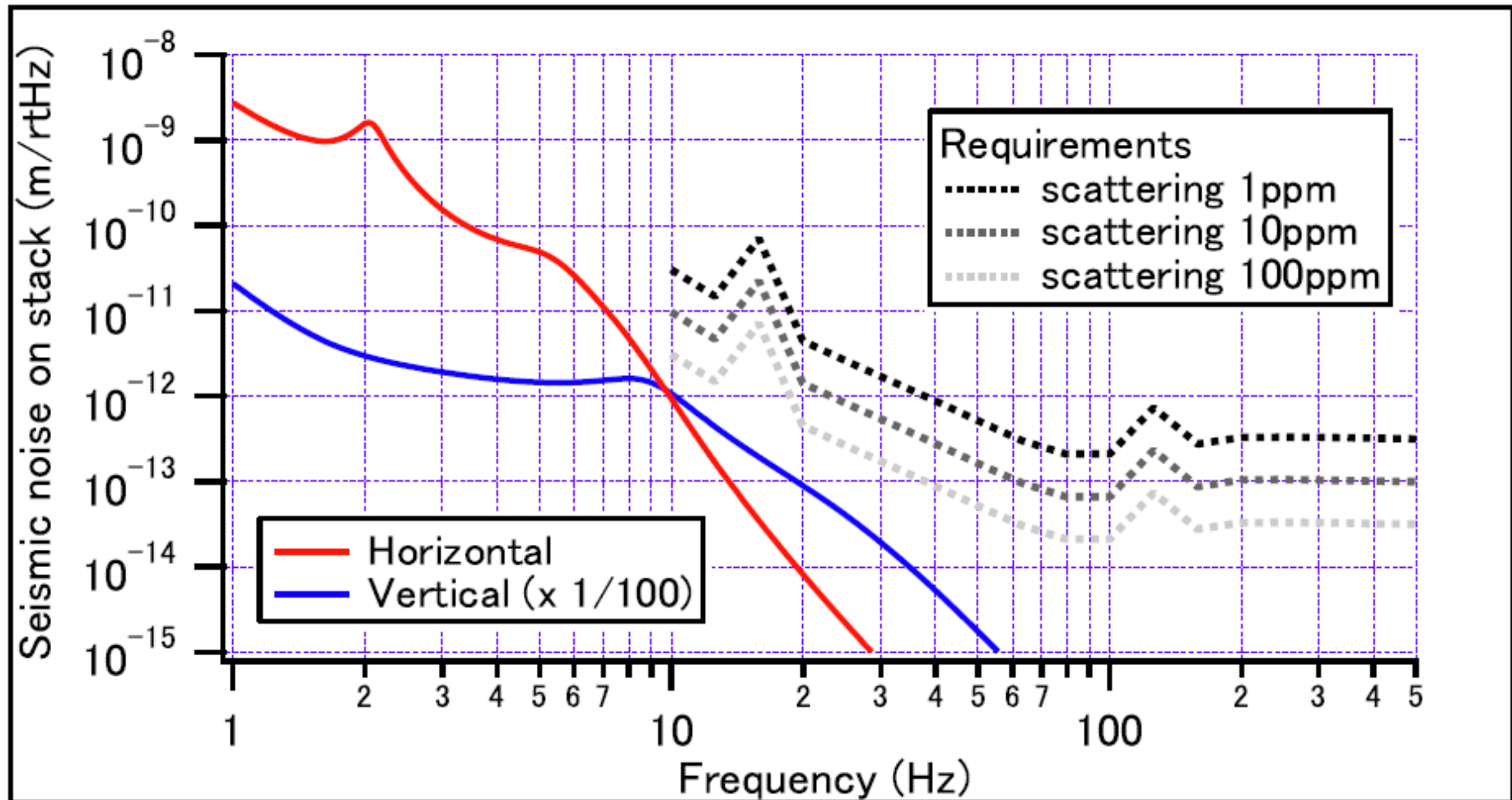
- 地面振動は鉛直が大きく要求値は水平が厳しい
⇒ スタックの上に直置きでもよいように見える
- ただし他のマップで鉛直が厳しくなる可能性も

ティルトへの要求値



- 水平方向からティルトへのカップリングを 1/100mとして計算したもの
- OMMTへの要求値もこれらから計算できる

OMCからの散乱光



OMC上の光学素子への立体角は $1e-6$ [sr]程度
⇒ BRDFを0.1として0.1ppm程度の散乱光
⇒ OFIなし×スタック直置きでも大丈夫だが...

以上の懸架系要求値の計算に 含まれていないもの

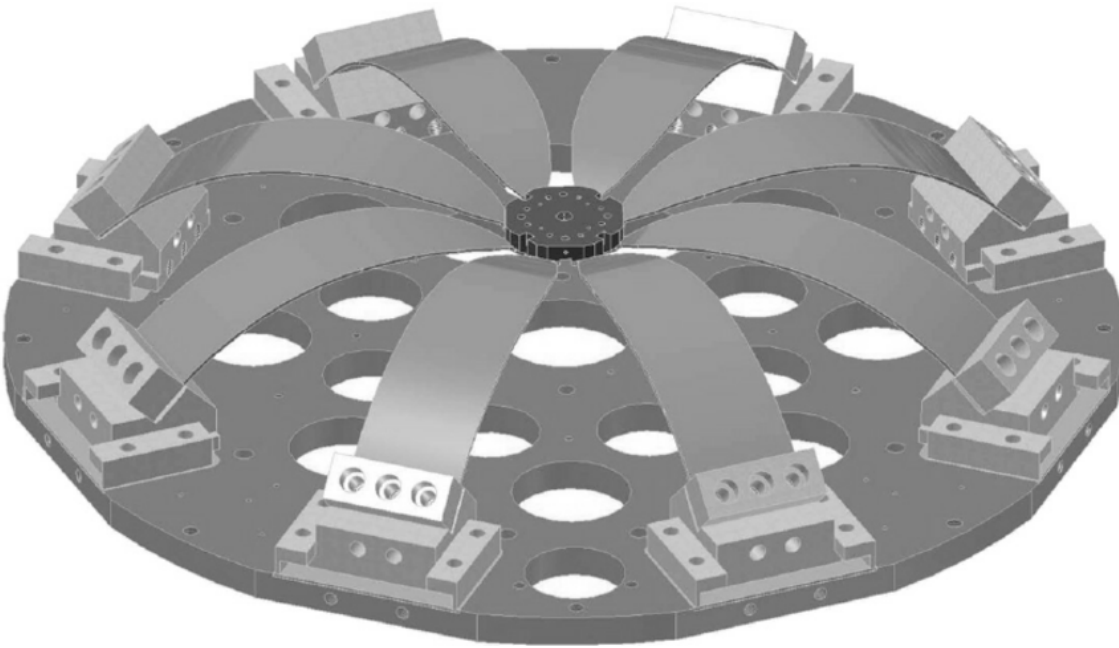
- 非線形な効果
- OMCの制御雑音
- ITMやOFIによる波面の崩れ

まとめ

- OMCの光学系は、 $F=780$, $L=75\text{cm}$, $\eta=55.4$ 度
- OMCの懸架系は、鉛直方向に1段の振り子が必要
と考える
⇒ どのような振り子にするか検討中
- OMCの制御系は、次の粕谷さんのTalkを参照

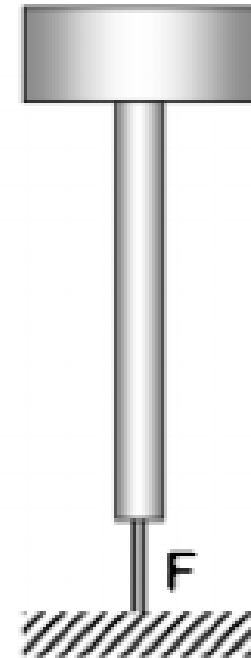
おまけスライド

Crackling Noise



低周波の縦防振を実現しようとすると、ドリフトが伴う。
ドリフトは金属内でdislocationが生じているものであり、非定常雑音を生じる危険性が高い
⇒ crackling noise

Crackling noiseを増やさないように低周波防振をするには、IPなどのように反バネを組み込むのが得策。
ただしシステムが複雑になる可能性がある。

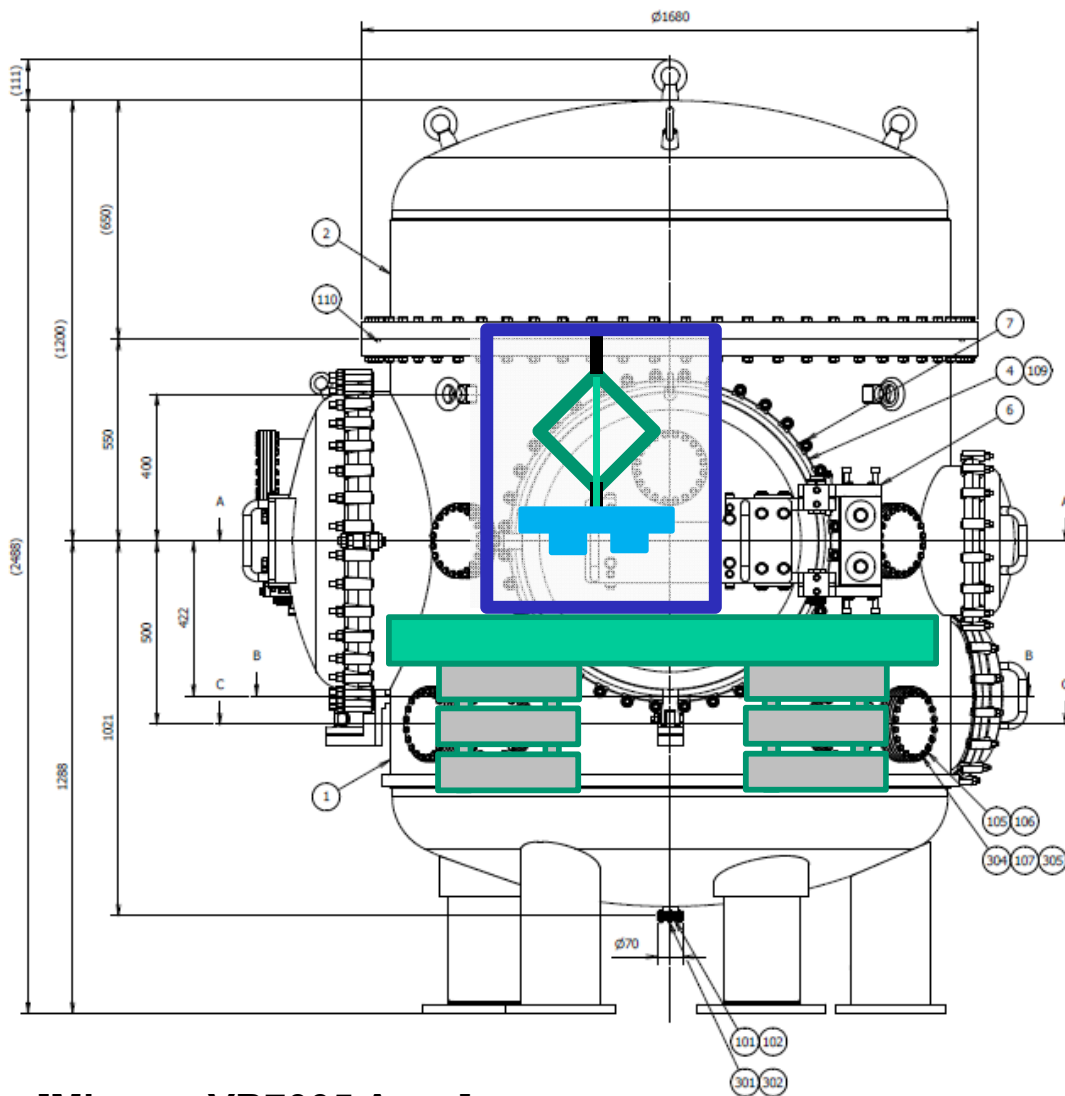


OMC振り子

案1: GAS+スタック

案2: UWAのオイラーバネ
+スタック

案3: GAS+IP



[Mirapro VB7005 Assy]



UWAで開発した
オイラースプリング