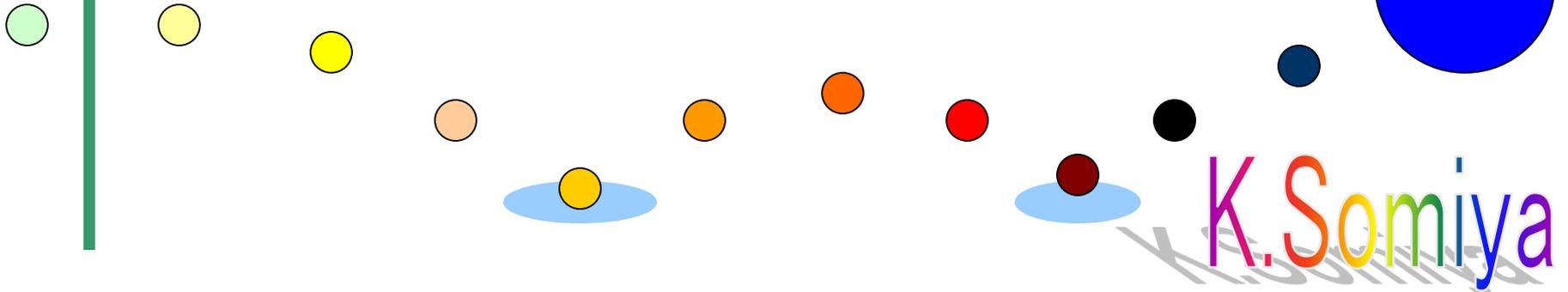


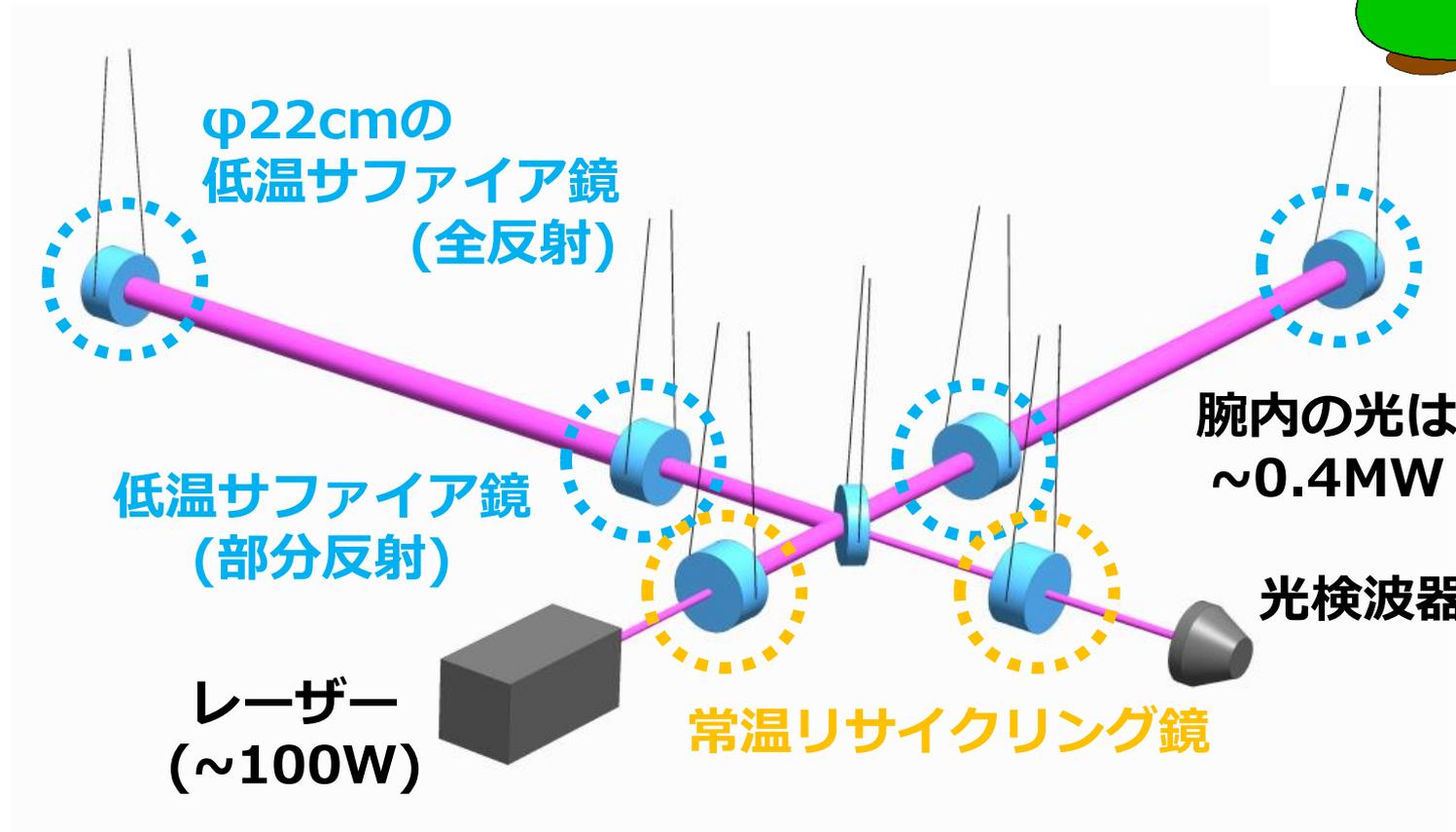
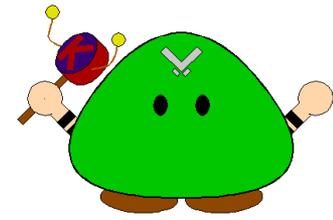
重力波望遠鏡における部分反射鏡の 基材内部の非一様性が引き起こす問題の検証

日本物理学会 第74回年次大会
九州大学

東工大, 東大宇宙線研^A
宗宮健太郎, 廣瀬栄一^A



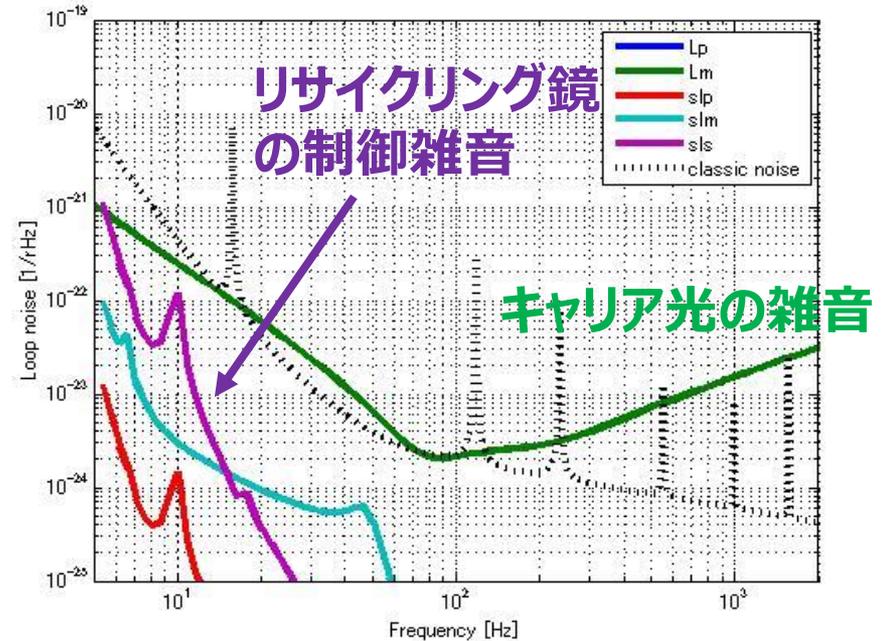
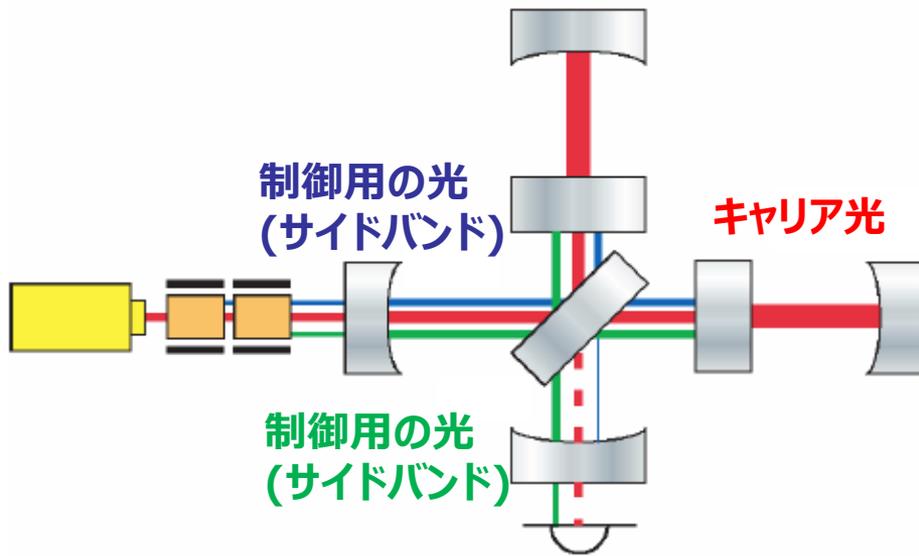
重力波望遠鏡KAGRA



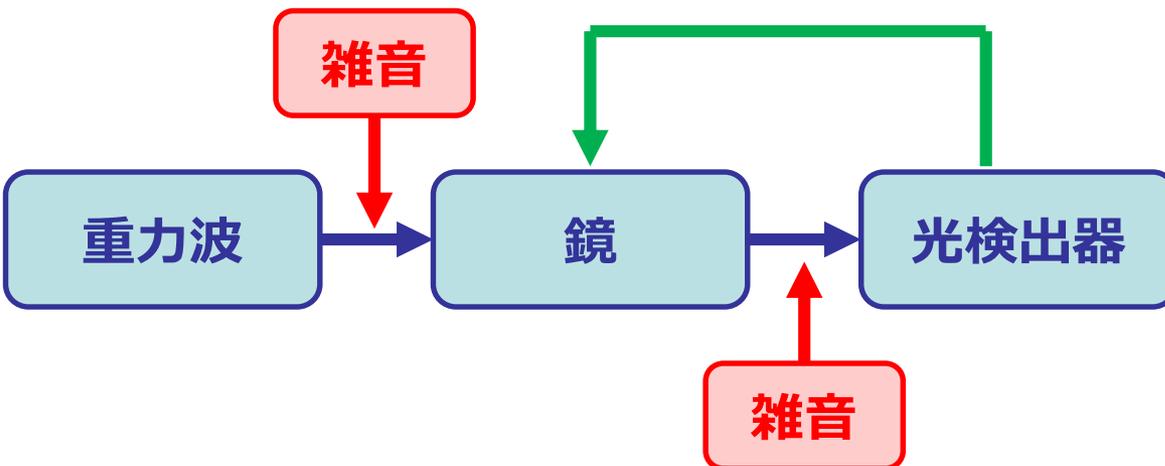
重力波の観測に特に重要なのが

- 光干渉計の精密制御
- 高品質な鏡の開発

干渉計のシミュレーション



フィードバック制御



鏡の位置と姿勢を正確に把握することが重要
 → 輻射圧の影響
 → 鏡の表面形状の影響

基材内部の非一様性

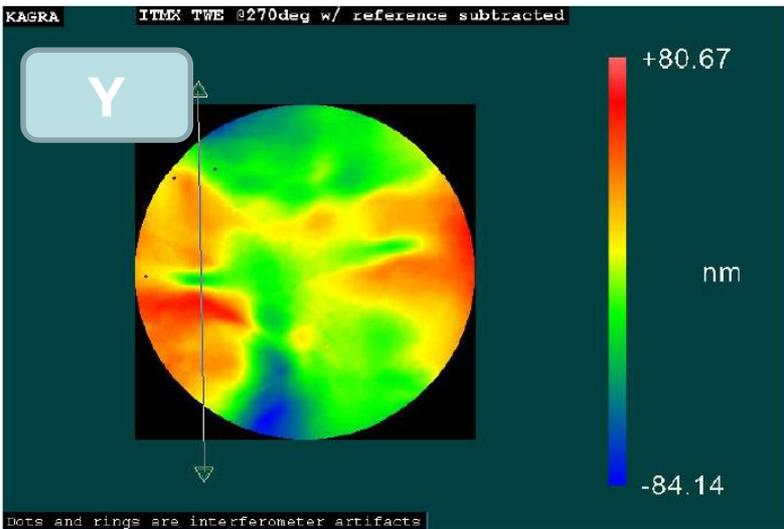
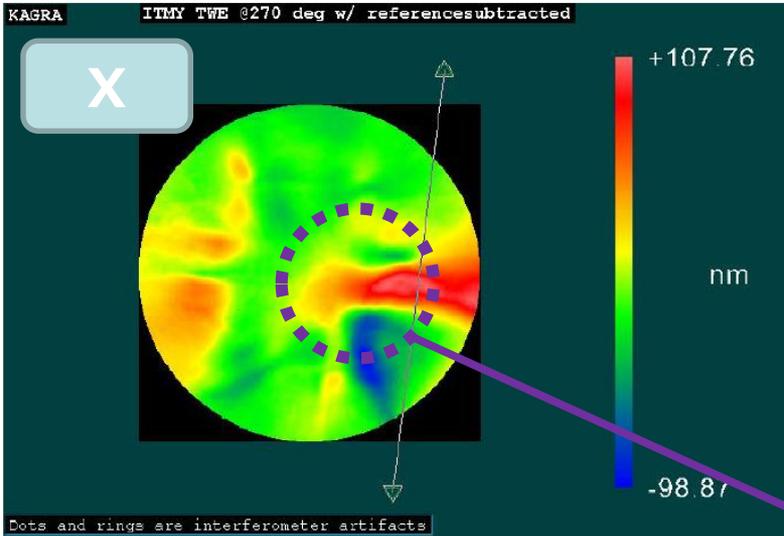
2018年、KAGRAの部分反射鏡の内部で屈折率の非一様性が顕著に見られることが分かった。

研磨業者が鏡を透過する際の波面の乱れを補正する作業を行った際に使用した光が円偏光だったことが原因と考えられる。

影響が大きそうなのはこのあたりか

表：透過したときの波面の乱れのRMS

	仕様	レポート	測定値
X腕の鏡	<6nm	3.47nm	26nm
Y腕の鏡	<6nm	4.07nm	30nm

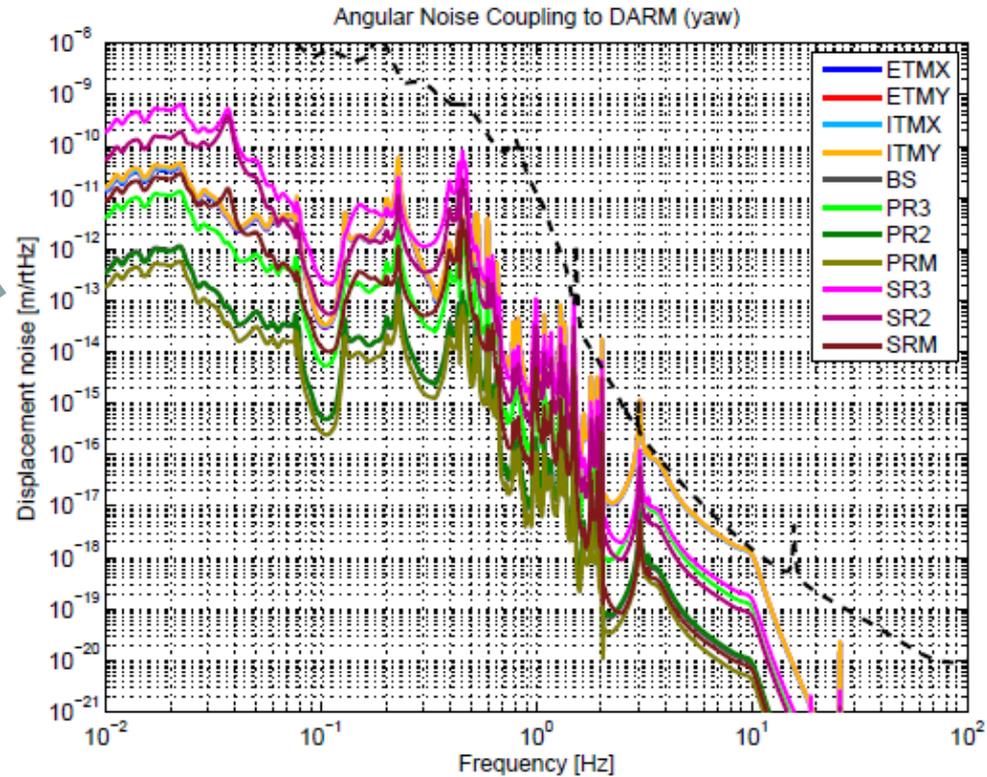
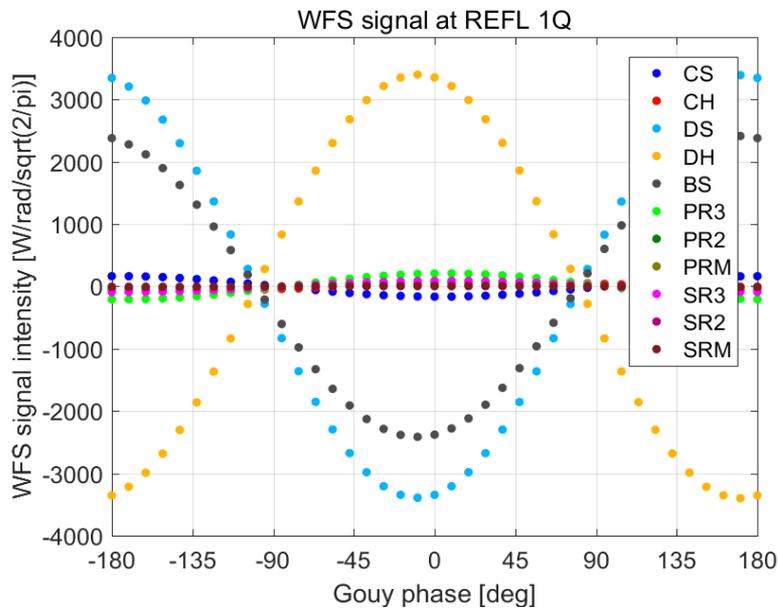
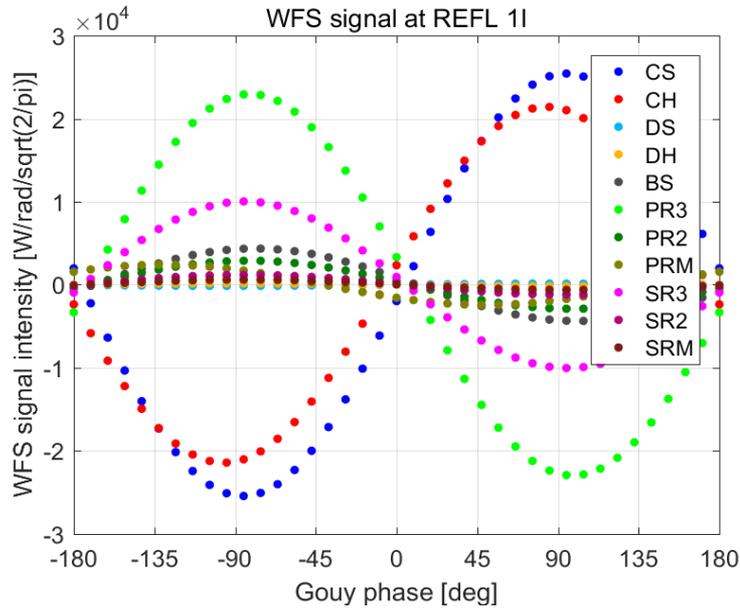


懸念される非一様性の影響

- 信号光の波面が乱れることによる散射雑音の増加
 - 周波数雑音の増加
 - 出力モードクリーナ雑音の結合定数の増加
- ◎ 姿勢制御信号の変形

姿勢制御信号の計算

[Michimura, 2014]



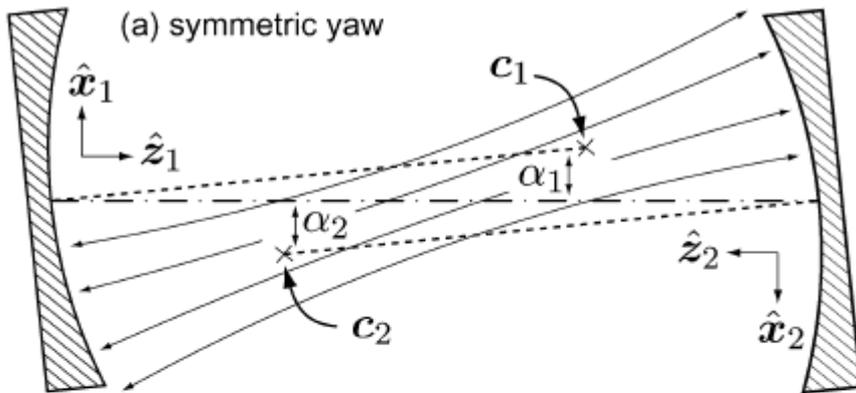
干渉計の4つのポートから制御信号を取得。

- ・ 光学的な位相遅れ：Gouy位相
 - ・ 電氣的な位相遅れ：復調位相
- をチューニングする。

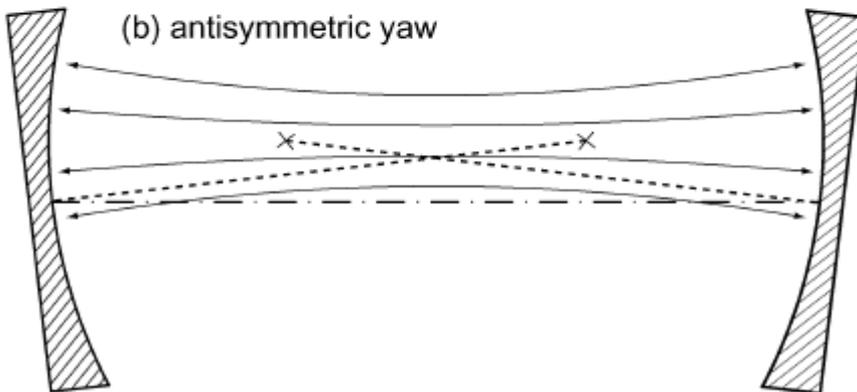
→ 10Hz以下では感度を制限する

ハードとソフト

[Sidles and Sigg, 2006]



(a) 輻射圧が光の正バネを生む
→ 元の振り子より硬くなる
(ハードモード)



(b) 輻射圧が光の反バネを生む
→ 元の振り子より柔らかくなる
(ソフトモード)

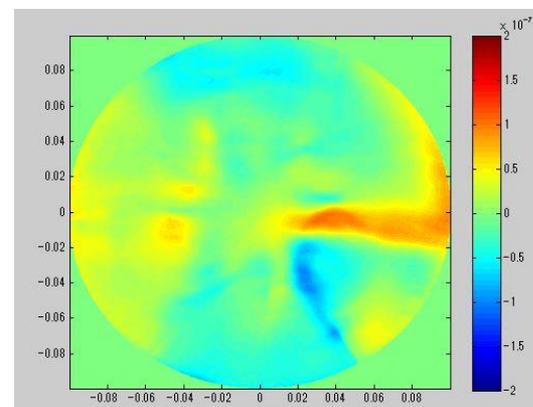
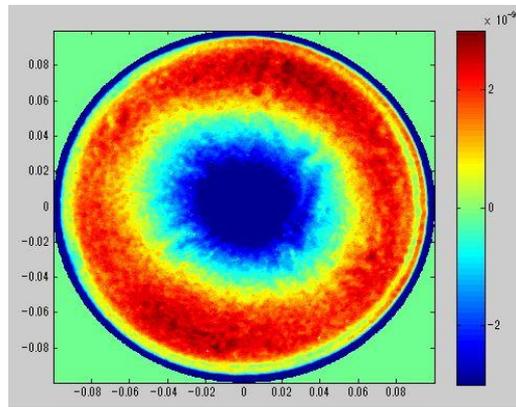
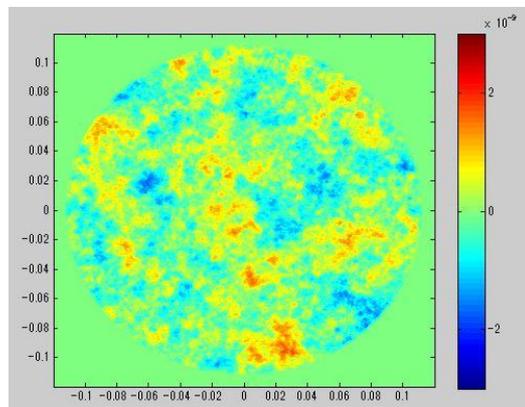
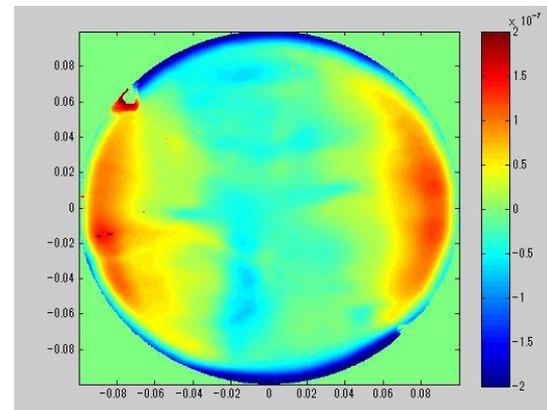
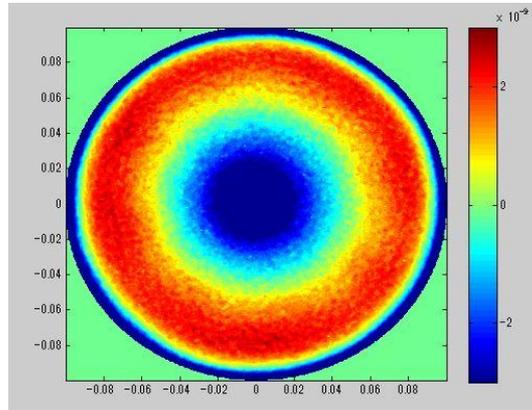
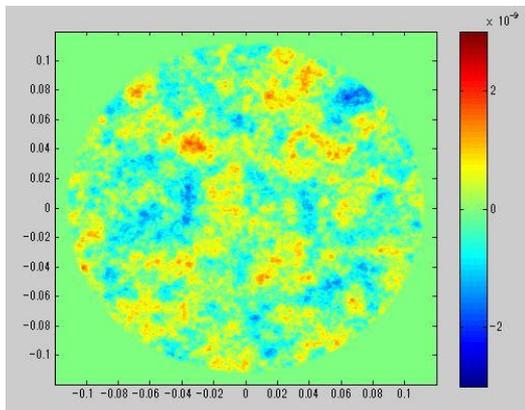
XとYでCommonな成分とDifferentialな成分がある
→ CH, CS, DH, DSの4つのモードに分解して考える

従来の計算と今回の計算の比較

	従来の計算	今回の計算
シミュレーション	Optickle	FINESSE
これまでの用途	位置・姿勢制御	出力モードクリーナ
輻射圧の影響	◎	◎ → △ (割愛)
鏡形状の影響	×	◎
Gouy位相依存性	◎	◎
制御信号の線形性	×	◎

どちらもモダルデコンポジションを用いた計算エンジンだが、FINESSEは鏡の表面形状マップを導入できる

サファイア鏡の表面形状マップ



疑似マップ
(鏡納品前に使用)

リアル反射マップ

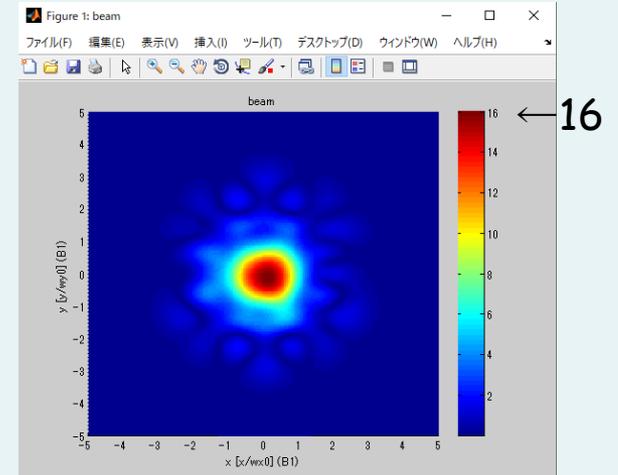
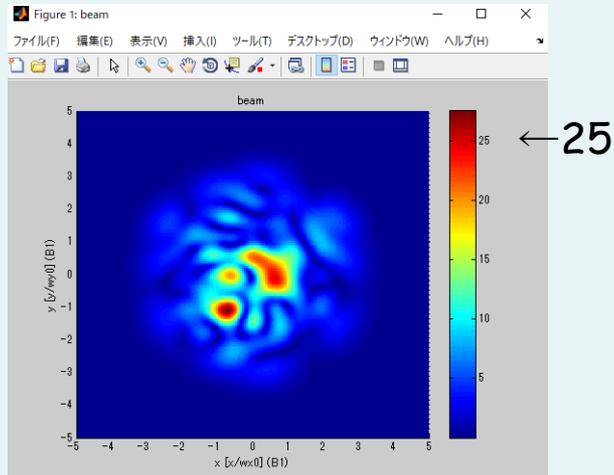
リアル透過マップ

重力波信号出力ポートの光

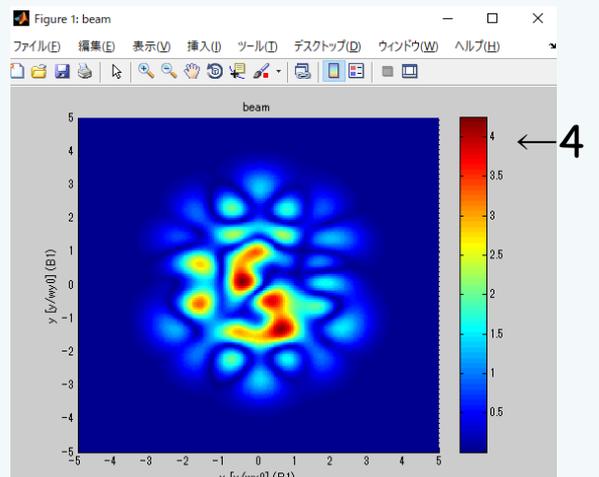
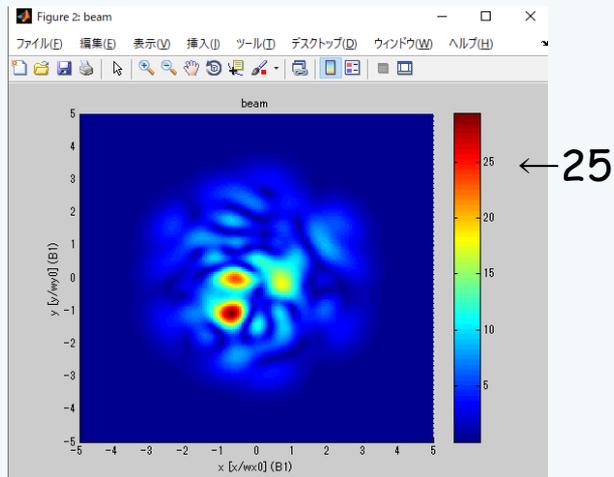
部分反射鏡の透過マップを含む

部分反射鏡の透過マップを含まない

全ての
キャリア
光



基本
モードを
除去

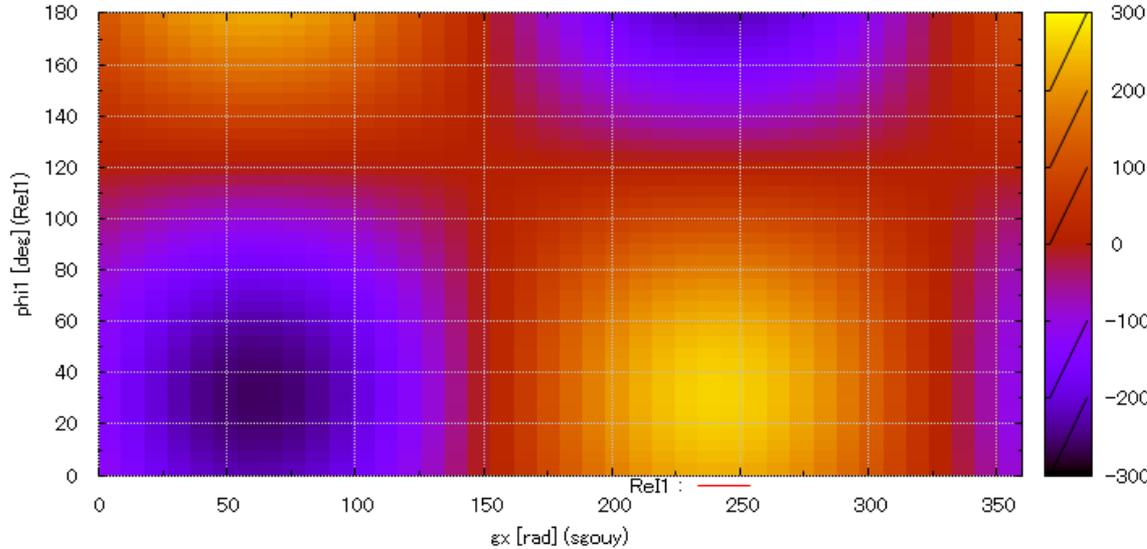


姿勢制御信号の計算手順

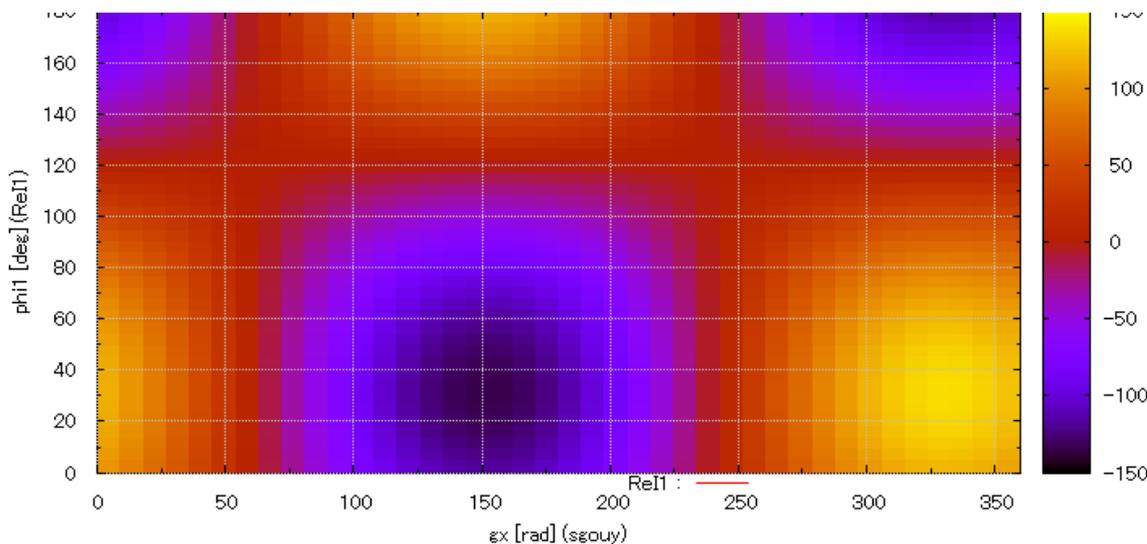
- 1) リサイクリング鏡なしで計算し、直観と比較
- 2) リサイクリング込みで従来計算と比較
- 3) 反射マップのみ入れて計算
- 4) 透過マップも入れて計算

リサイクリングなし

~Fabry-Perot Michelson Interferometer

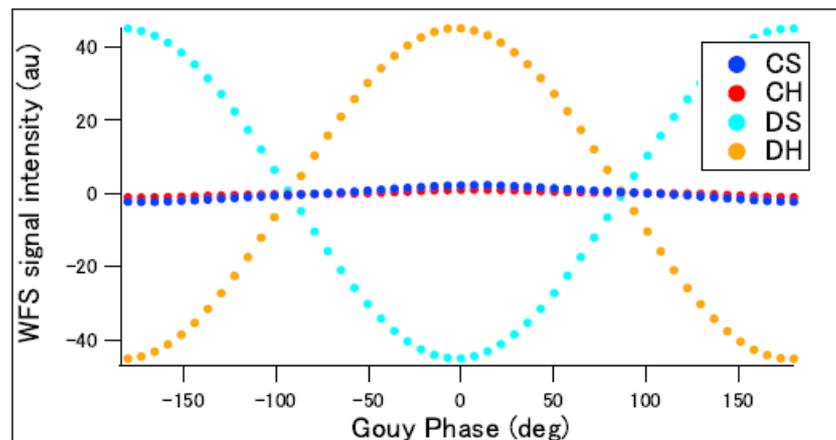
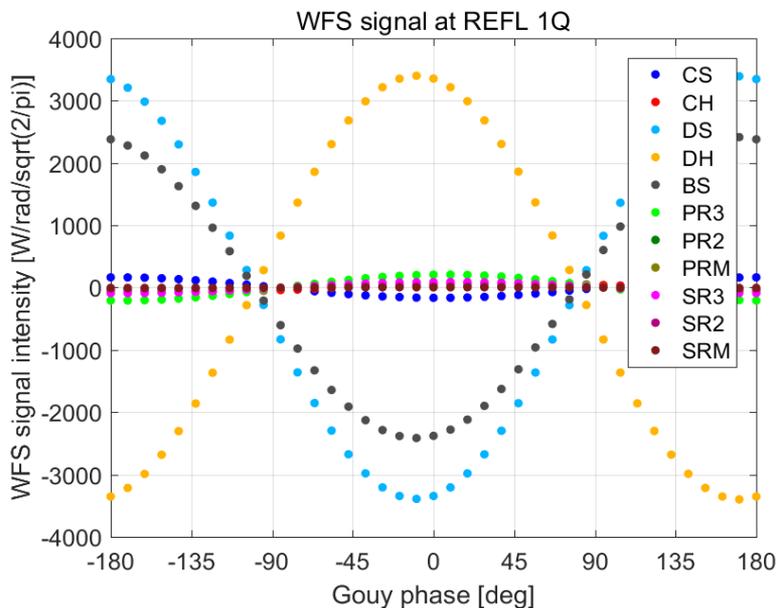
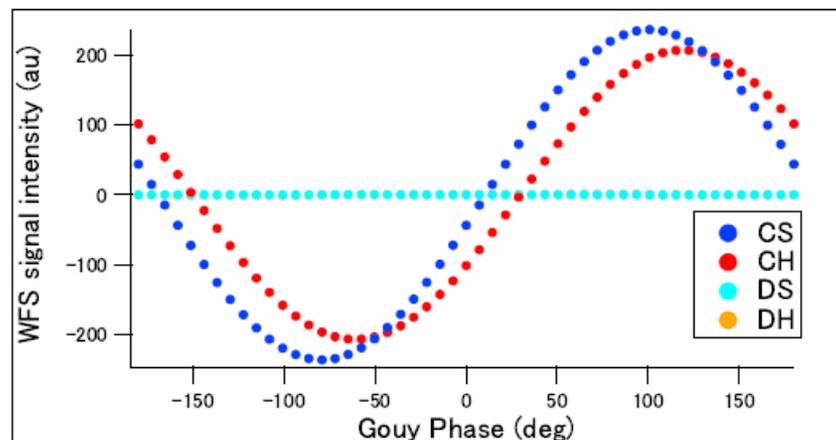
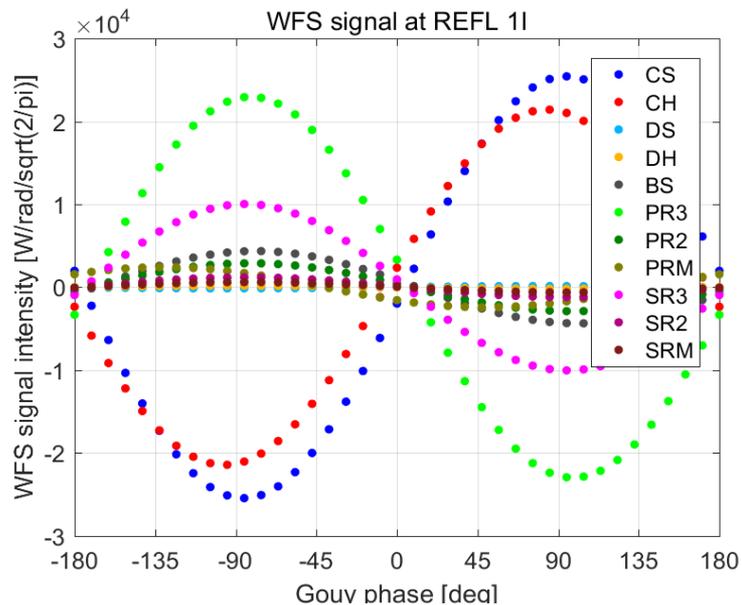


CH(上)とCS(下)で最大値をとるGouy位相が90度異なる



並進と回転でGouy位相が90度異なるのは直観と合う

リサイクリングあり・マップなし

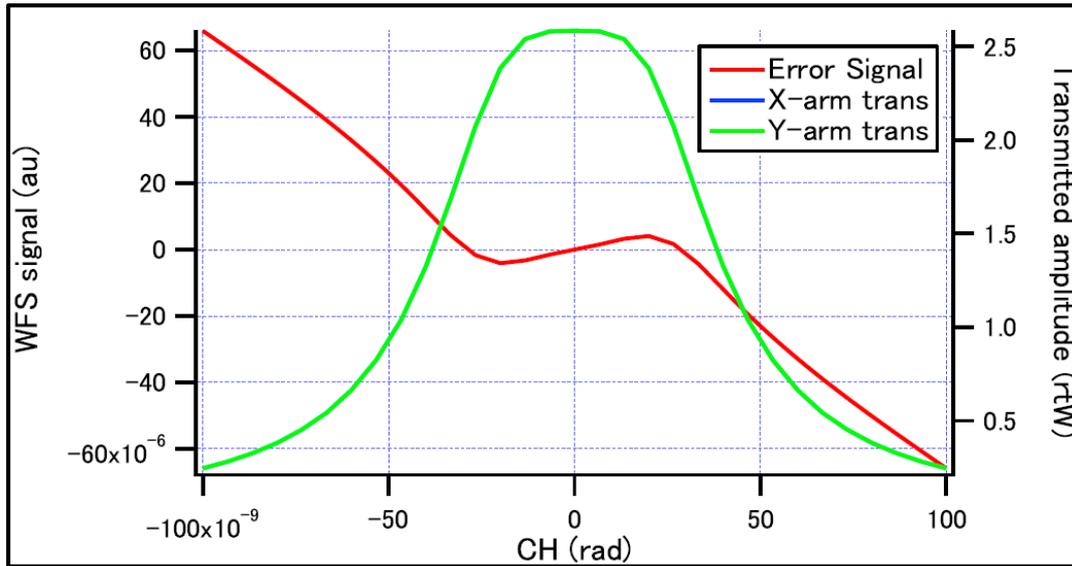


Optickelを用いた計算(左)と
FINESSEを用いた計算(右)を比較
してGouy位相依存性が合っている

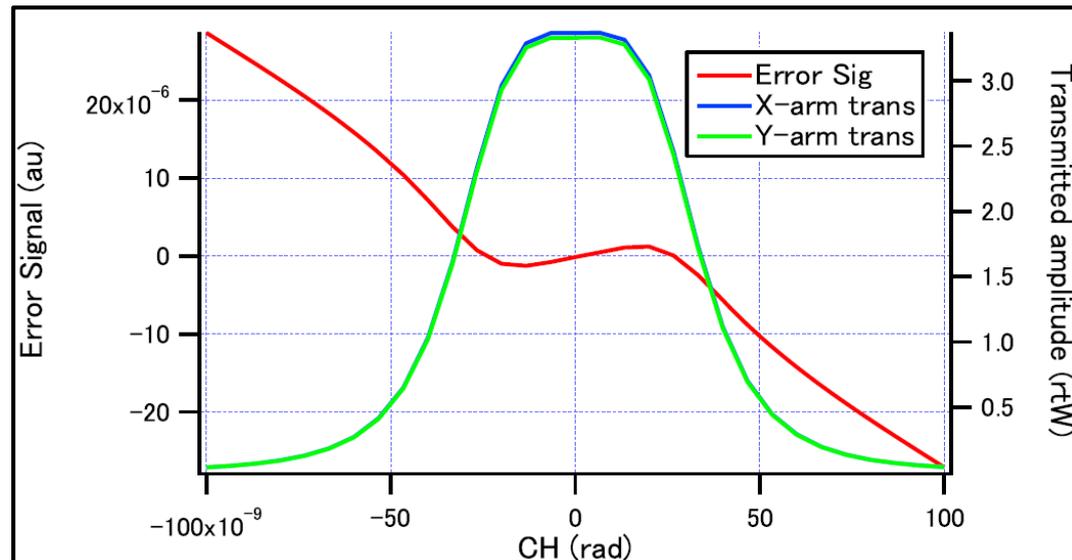
姿勢制御信号

※鏡マップなしの方の入射パワーが
55Wになっていました。すみません

鏡マップなしの誤差信号

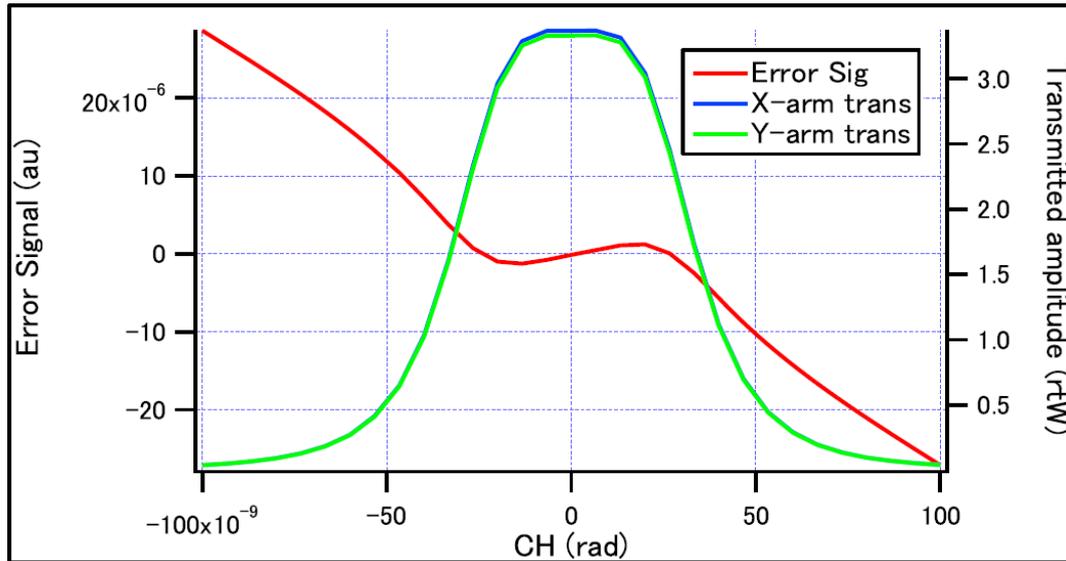


反射マップあり、 透過マップなしの誤差信号

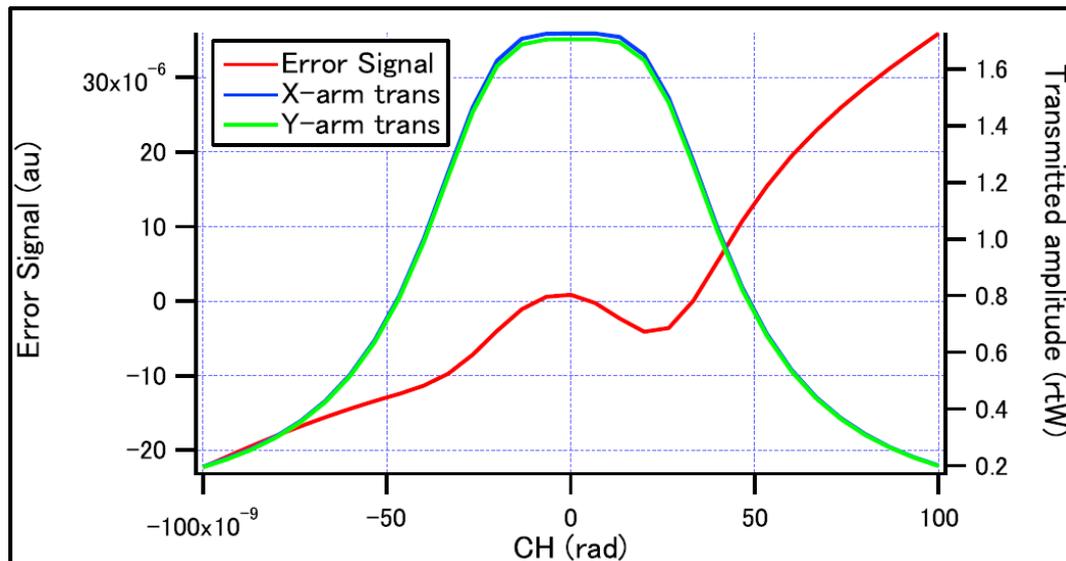


動作点のオフセットもなく
線形領域も変わらない

姿勢制御信号



反射マップあり、
透過マップなしの誤差信号



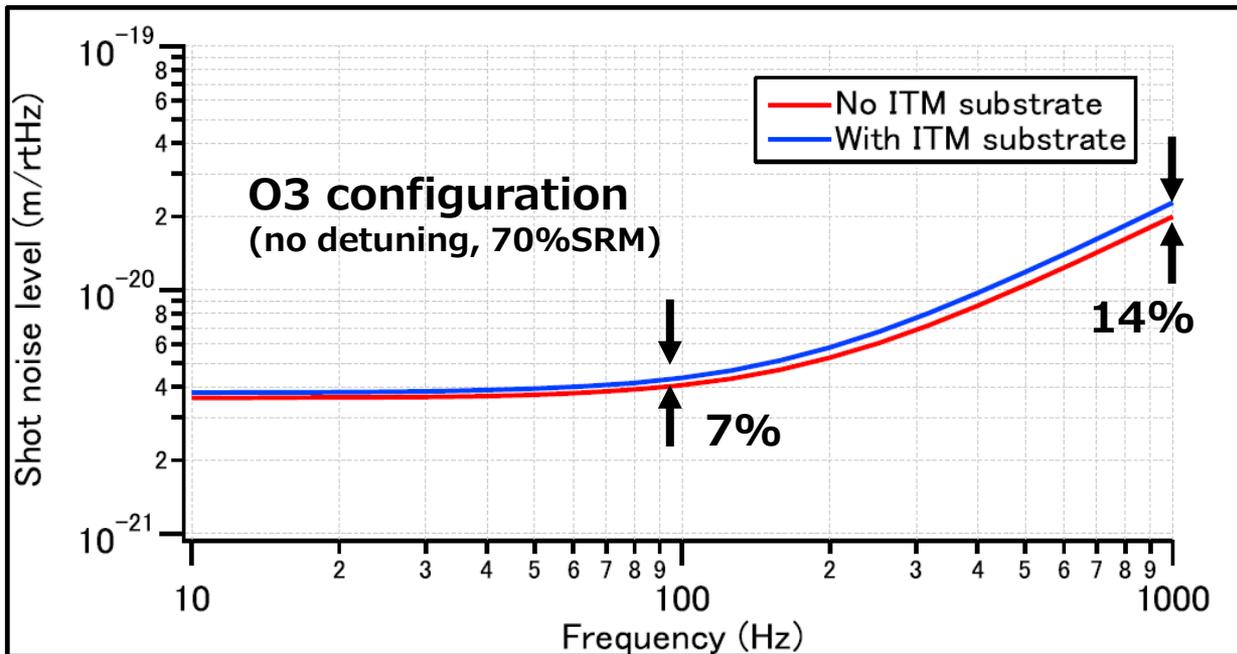
反射マップあり、
透過マップありの誤差信号

動作点にオフセットがのり
線形領域も減っている

まとめと今後の課題

- **KAGRAの部分反射鏡に存在する屈折率の非一様性について調査をしており、今回は特に姿勢制御信号への影響を調べた**
- **これまで鏡の表面形状をいれずに姿勢制御信号を計算していたので、新しいコードを書いて計算した**
- **非一様性の影響で、姿勢制御信号にオフセットが乗り、線形領域も減ることが分かった**
- **今後は、今回の計算が感度にどれほど影響するかを計算し、非一様性がもたらす他の影響についても計算する**

Shot noise increase with HOMs



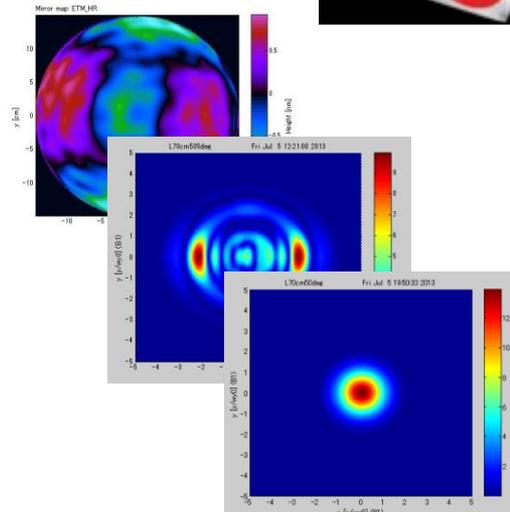
	no ITM	w/ITM
0 th	78mW	79mW
1 st	0.7mW	24mW
2 nd	0.3mW	4.6mW
3 rd	0.3mW	1.5mW
4 th	0.2mW	2.5mW
10 th	0.3mW	5mW

* Input power is set 55W, sorry.

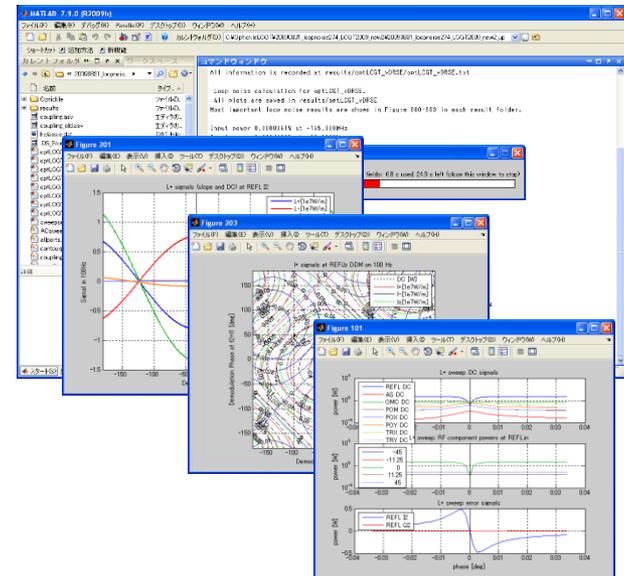
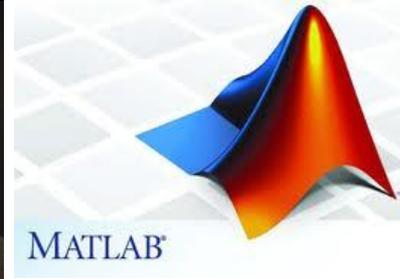
- **OMC filters out most of the HOMs but some remaining fields increase the shot noise level**
- **Alignment is not tuned with the ITM; it would be not so simple (signal max \neq HOM min?)**

シミュレーションエンジン

FINESSE



Optickle



- 共にモーダルデコンポジションを用いた計算
- 干渉計シミュレーションのシェアは半々くらいか