

# 重力波望遠鏡KAGRAの 主干涉計制御設計

道村唯太

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻

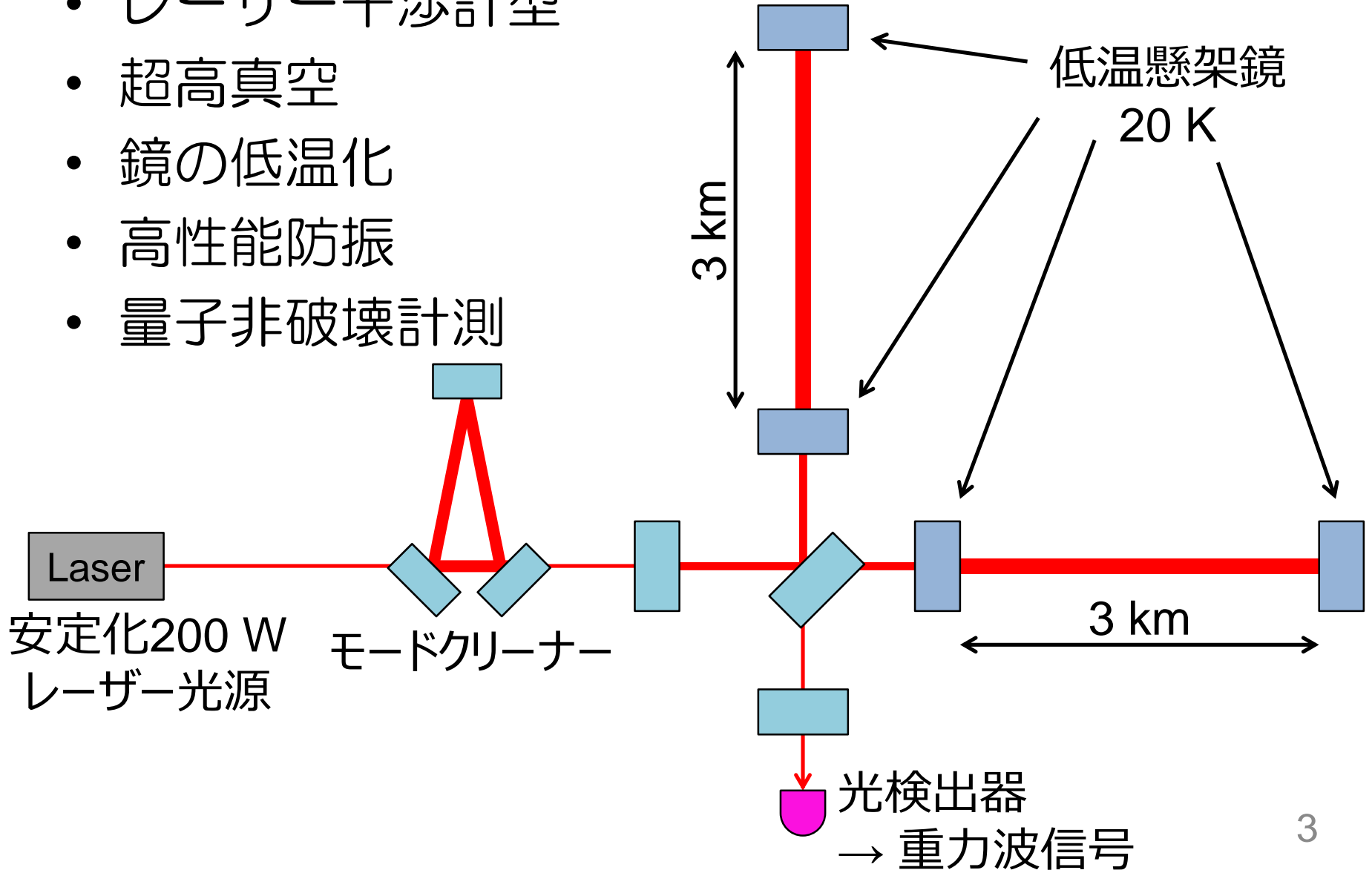
# 大型低温重力波望遠鏡KAGRA

- 岐阜県 神岡鉱山地下に建設中
- 2015年末に試験  
運転開始予定
- 2017年末に本格  
運転開始予定
- 150 Mpc先の  
中性子星連星  
からの重力波



# KAGRAの構成

- レーザー干渉計型
- 超高真空
- 鏡の低温化
- 高性能防振
- 量子非破壊計測

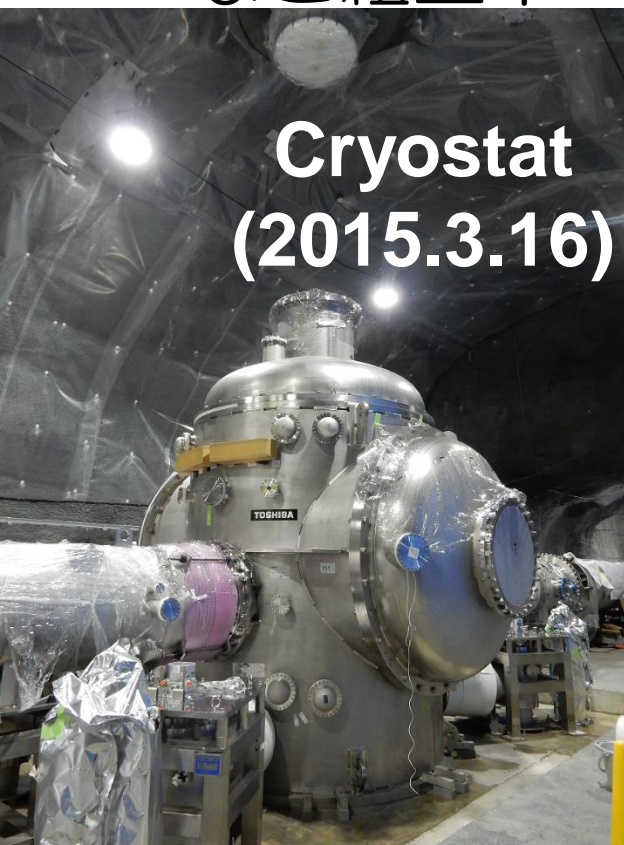


# KAGRA建設状況

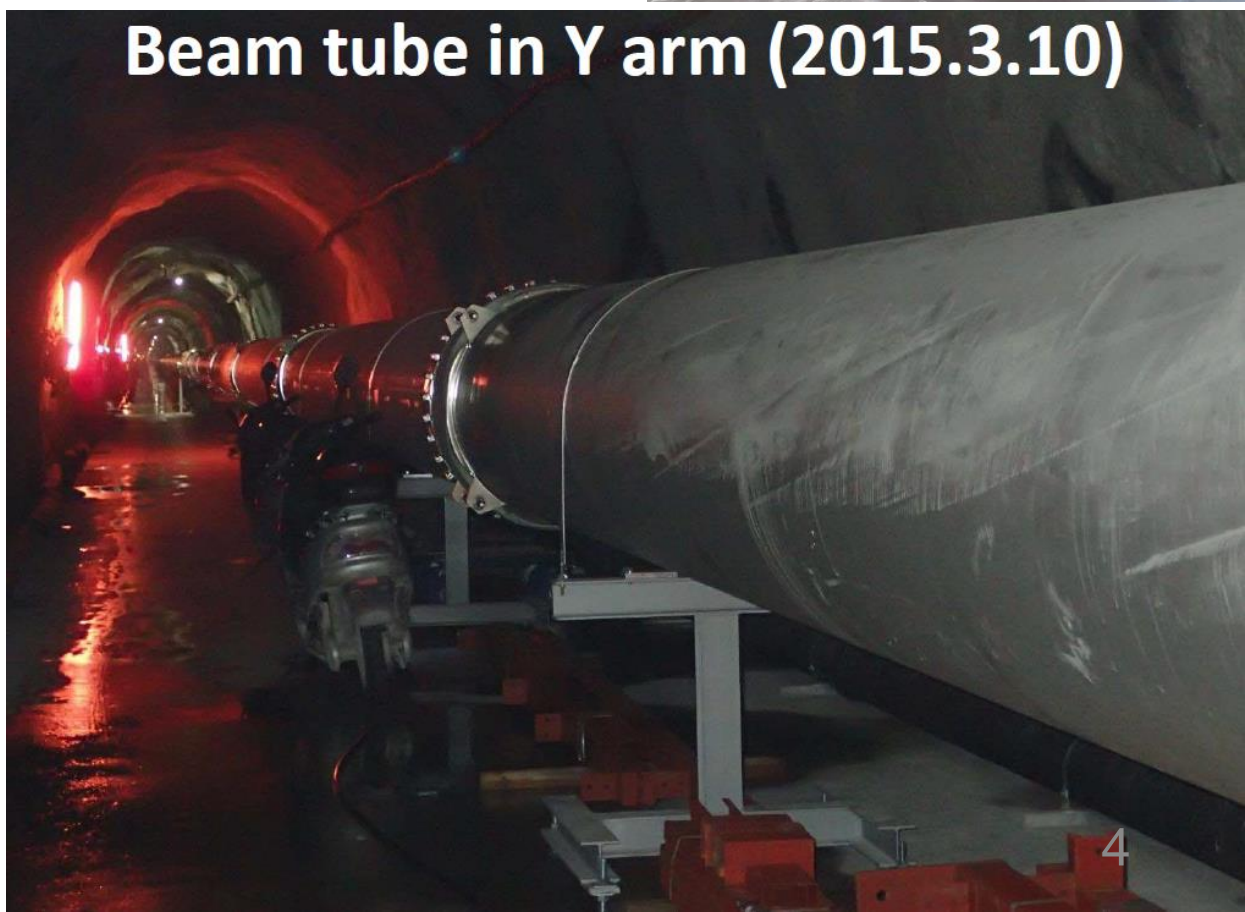
- トンネル掘削完了
- 3 km真空パイプ接続完了
- 安定化レーザー、低温真空槽  
など組立中



**Sapphire mirror**



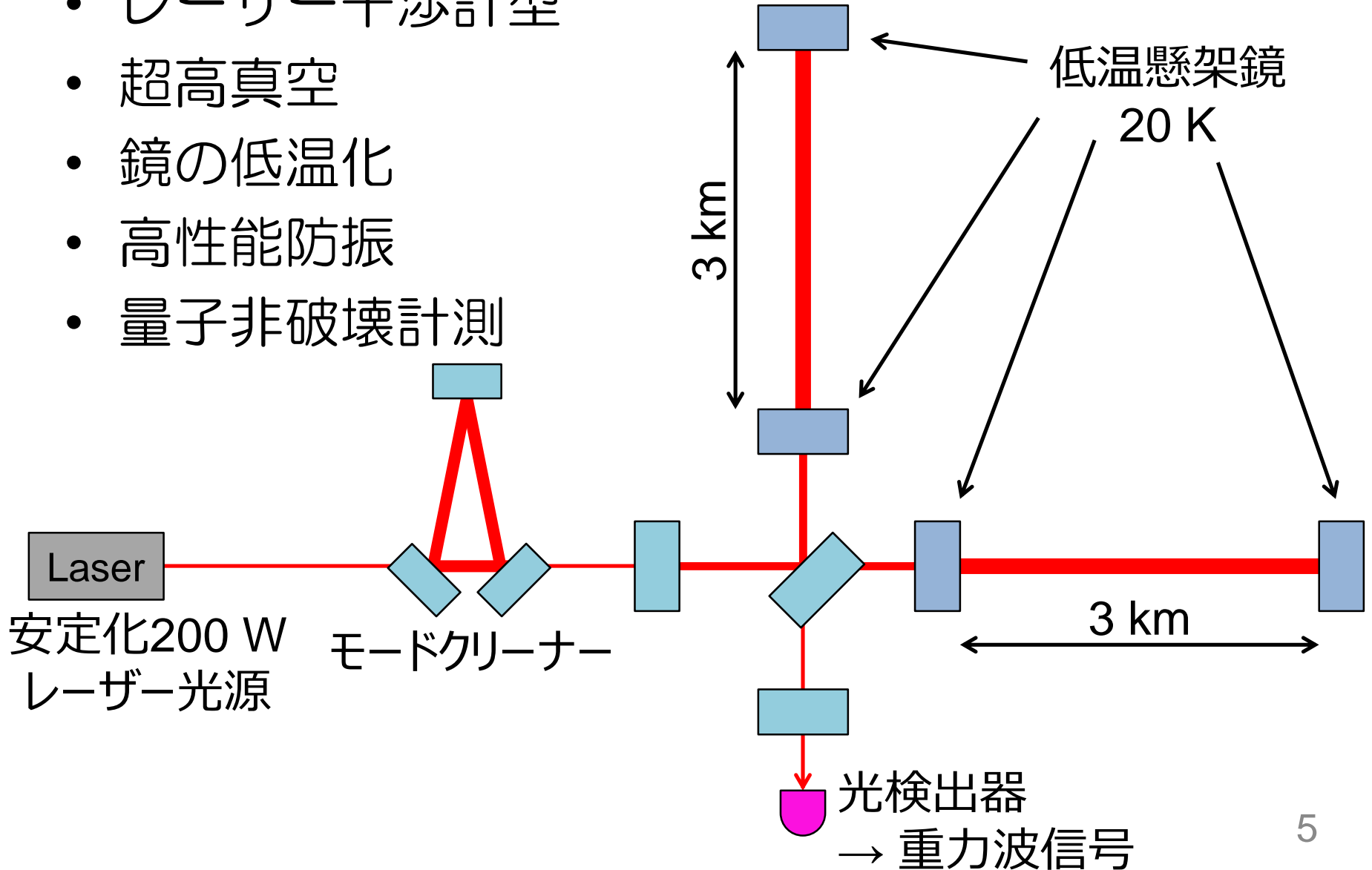
**Cryostat  
(2015.3.16)**



**Beam tube in Y arm (2015.3.10)**

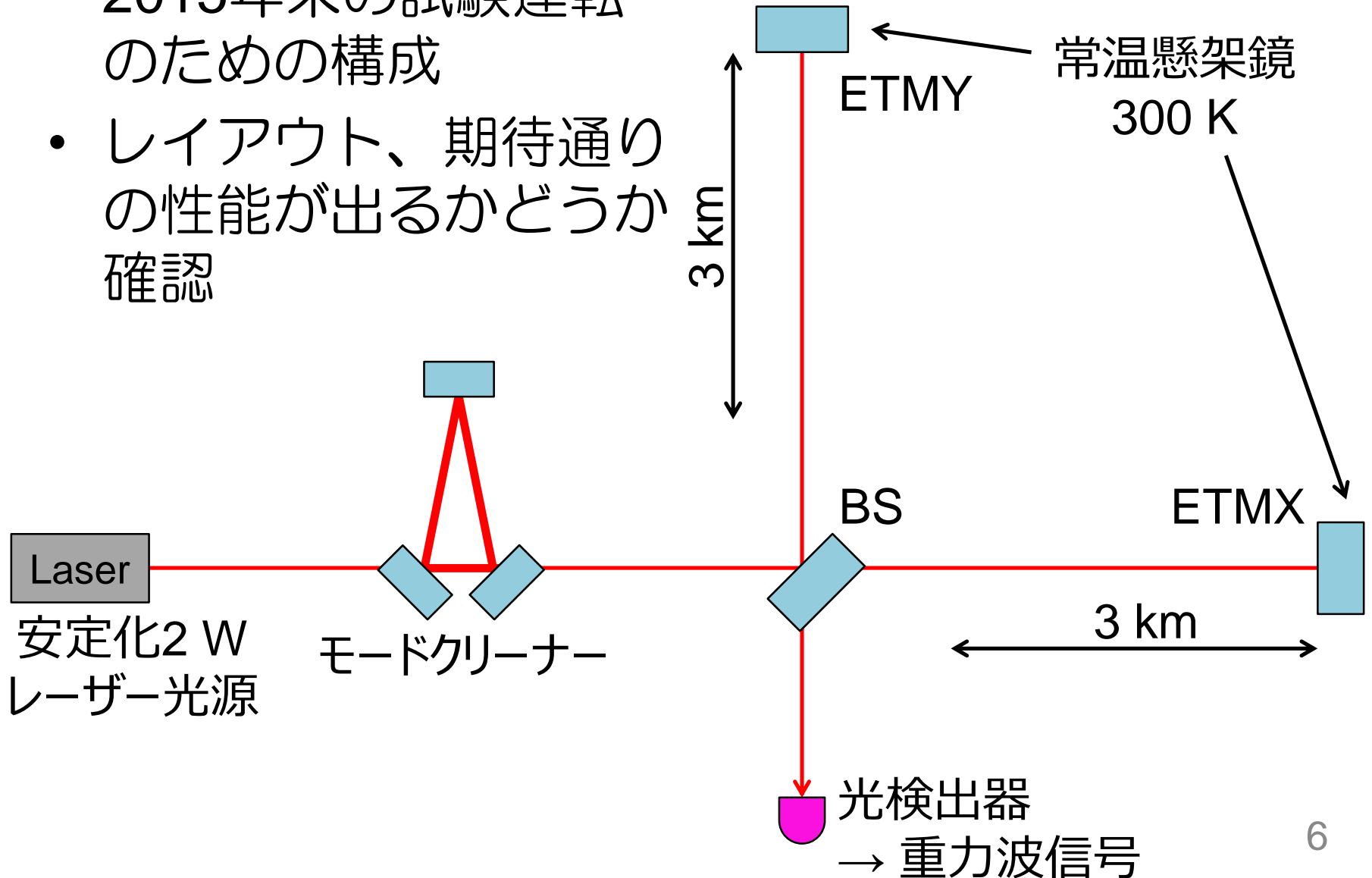
# KAGRAの構成

- レーザー干渉計型
- 超高真空
- 鏡の低温化
- 高性能防振
- 量子非破壊計測



# iKAGRAの構成

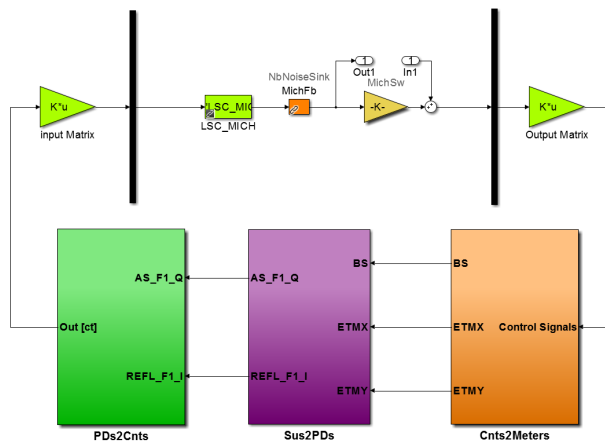
- 2015年末の試験運転のための構成
- レイアウト、期待通りの性能が出るかどうか確認



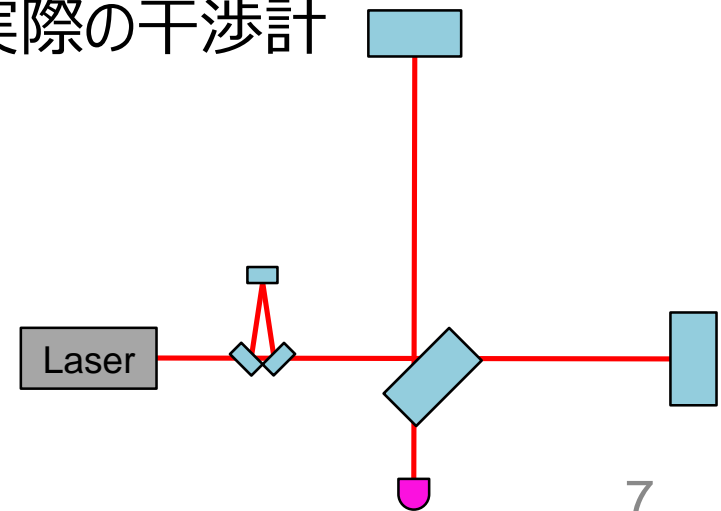
# 「期待通りの性能」とは？

- 干渉計の重力波に対する感度がモデルで説明つく
- 干渉計の雑音シミュレーションモデルが予言する感度と実測の感度が一致する
- 干渉計の雑音シミュレーションモデルが必要  
→ Simulink NoiseBudget ツール

シミュレーションモデル



実際の干渉計



# Simulink NoiseBudget

- LIGO の Chris Wipf らが開発
- MATLAB Simulink上のライブラリ
- NbNoiseSink <sup>NbNoiseSink</sup> での測定データをもとに



NbNoiseCal  における感度に較正し、

MichMeters  
NbNoiseCal

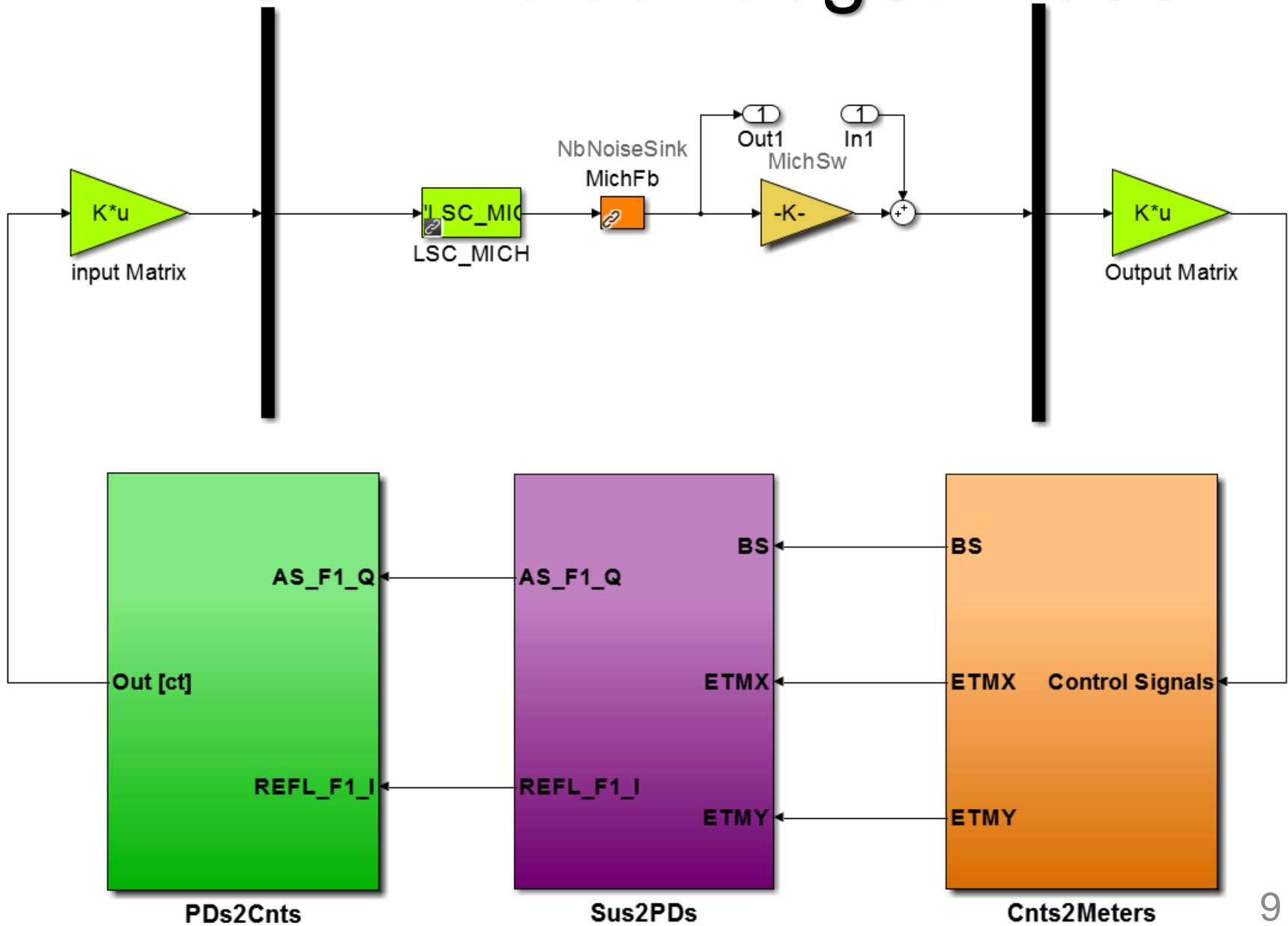
その際に NbNoiseSource  
くる雑音の寄与を計算



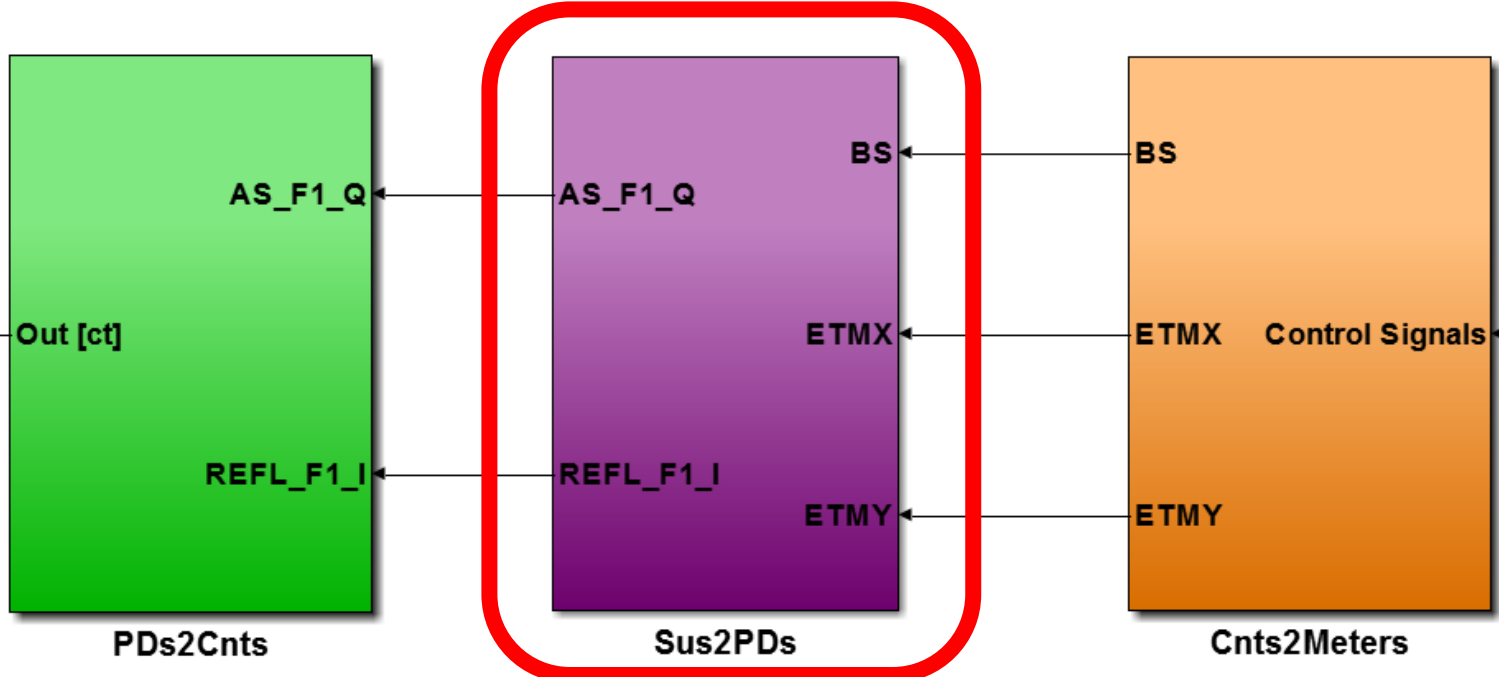
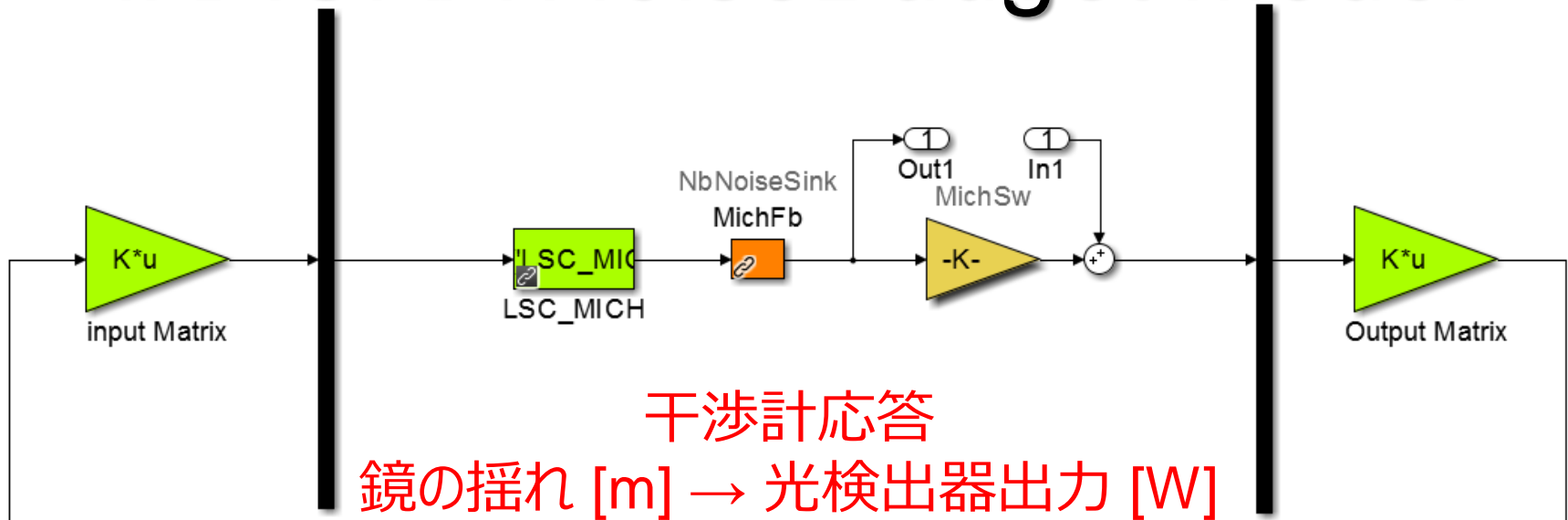
から入って



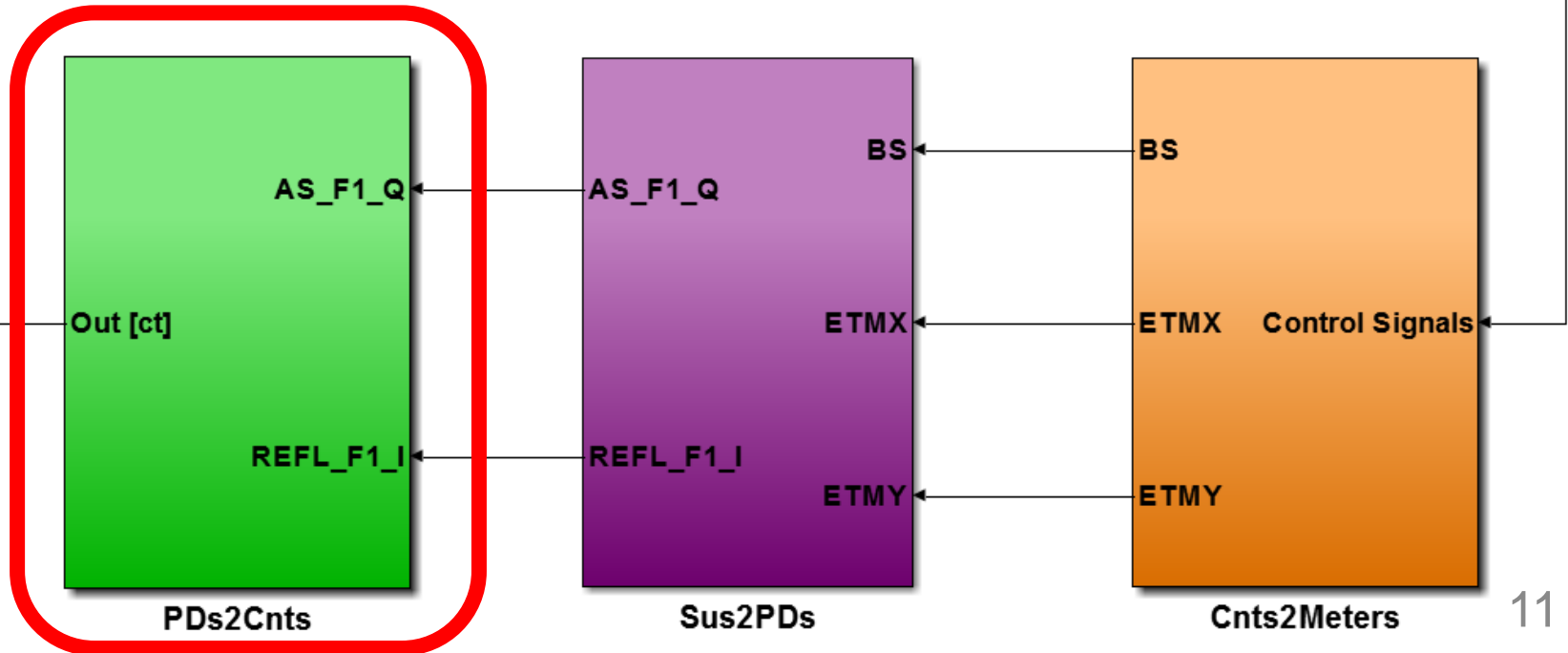
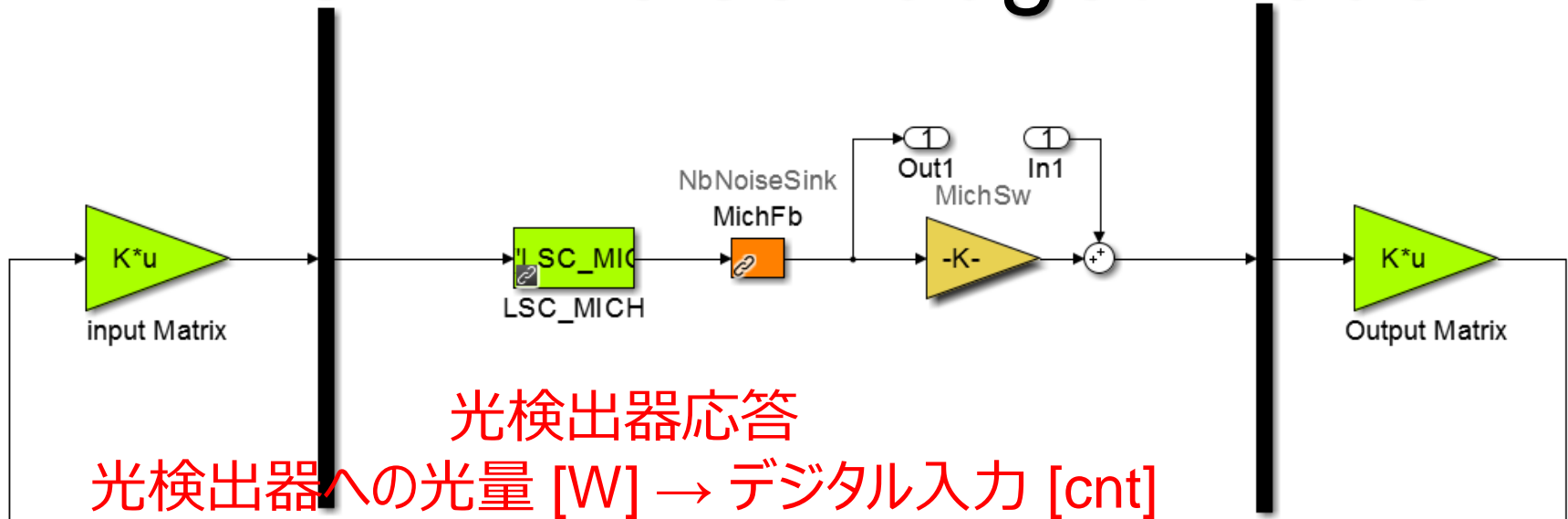
# iKAGRA NoiseBudget Model



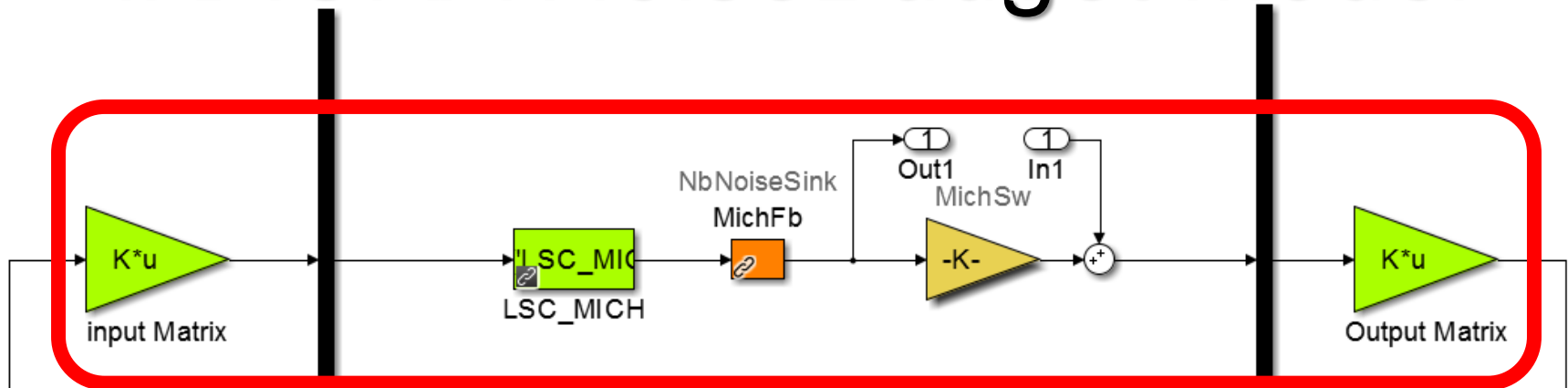
# iKAGRA NoiseBudget Model



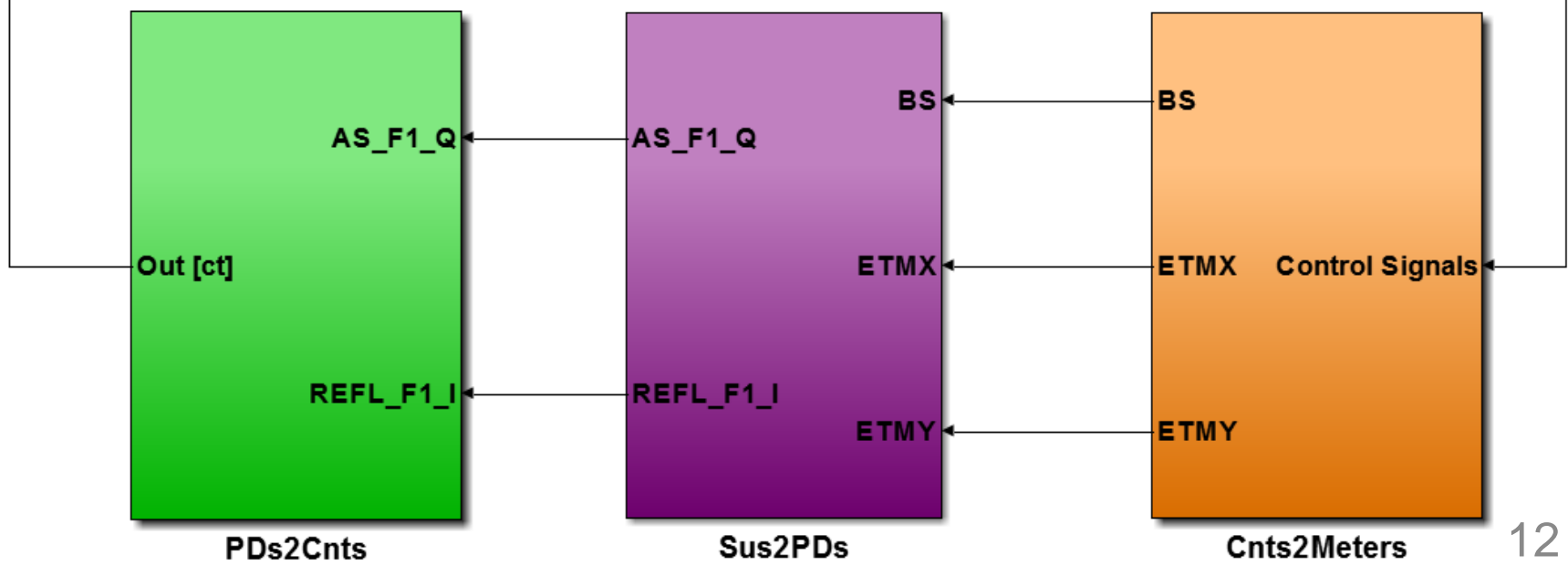
# iKAGRA NoiseBudget Model



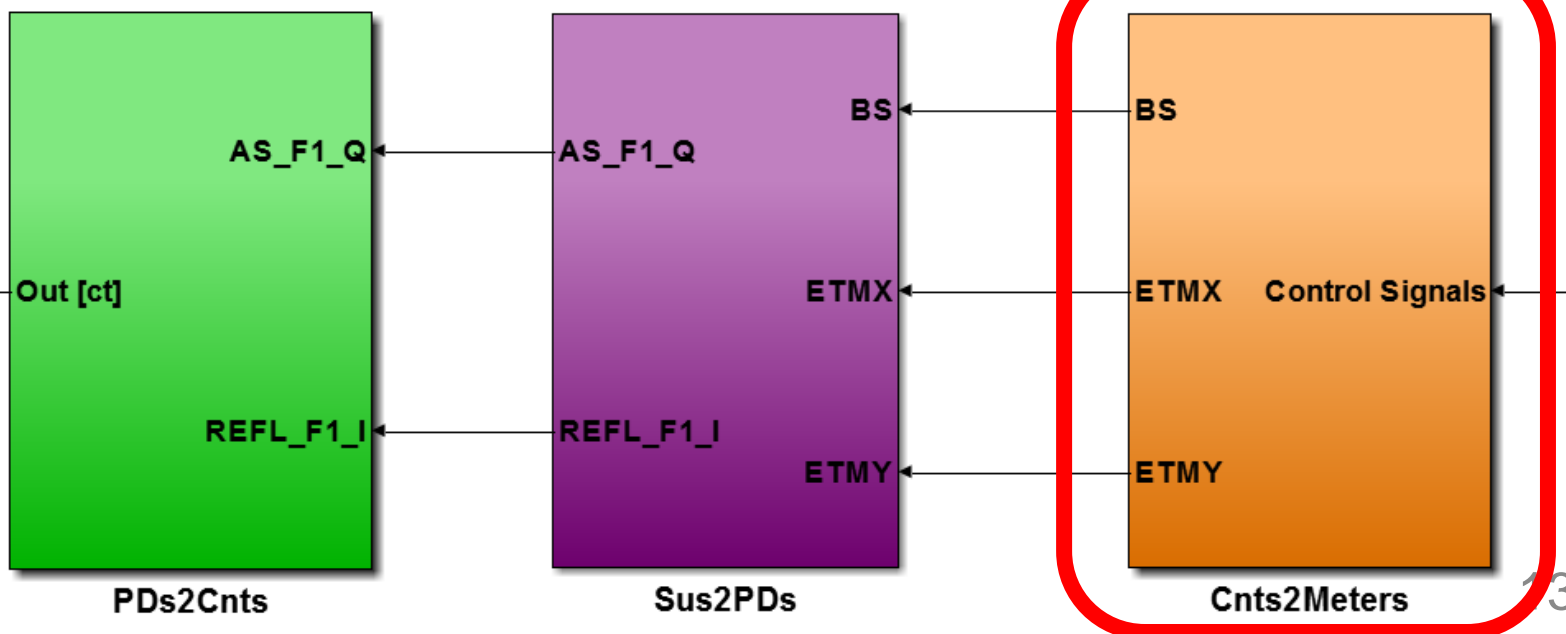
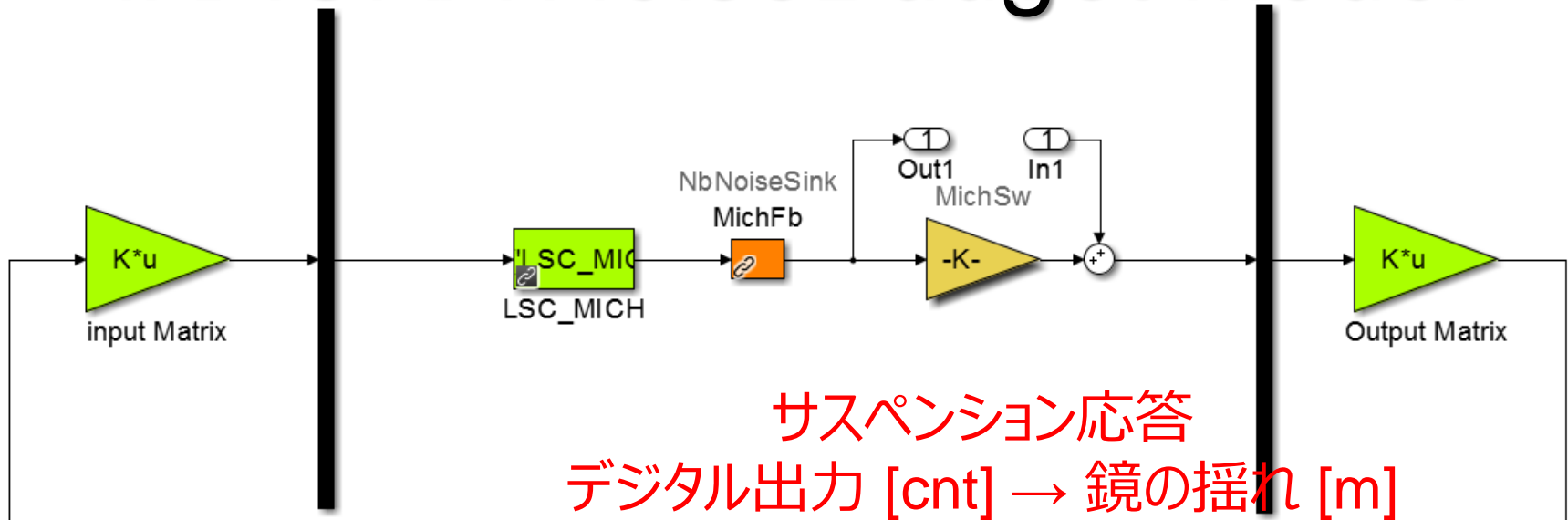
# iKAGRA NoiseBudget Model



デジタル系制御フィルタ行列  
 エラー信号 [cnt] → フィードバック信号 [cnt]



# iKAGRA NoiseBudget Model



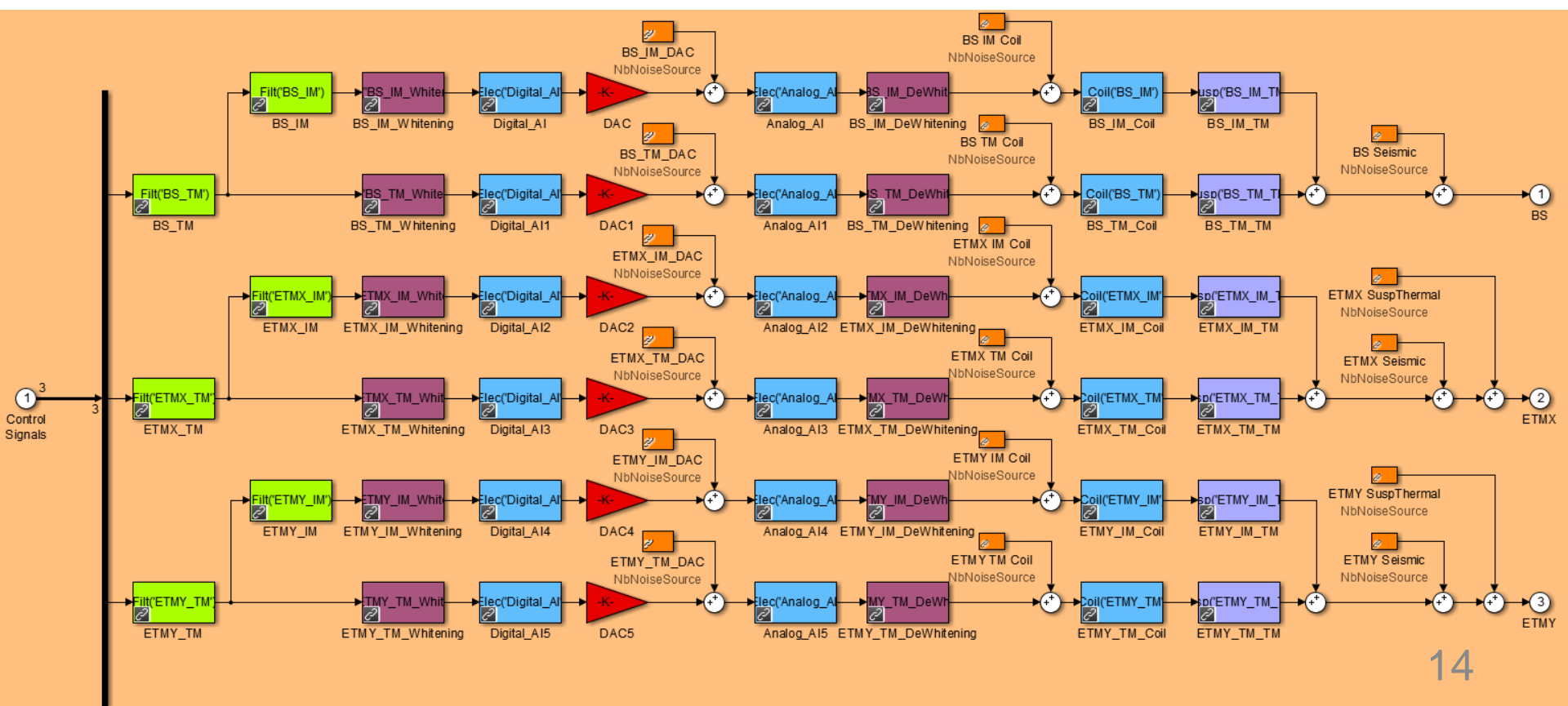
# サスペンション応答

階層制御用  
デジタルフィルタ

DAC, AI,  
Whitening/Dewhitening  
[V/cnt]

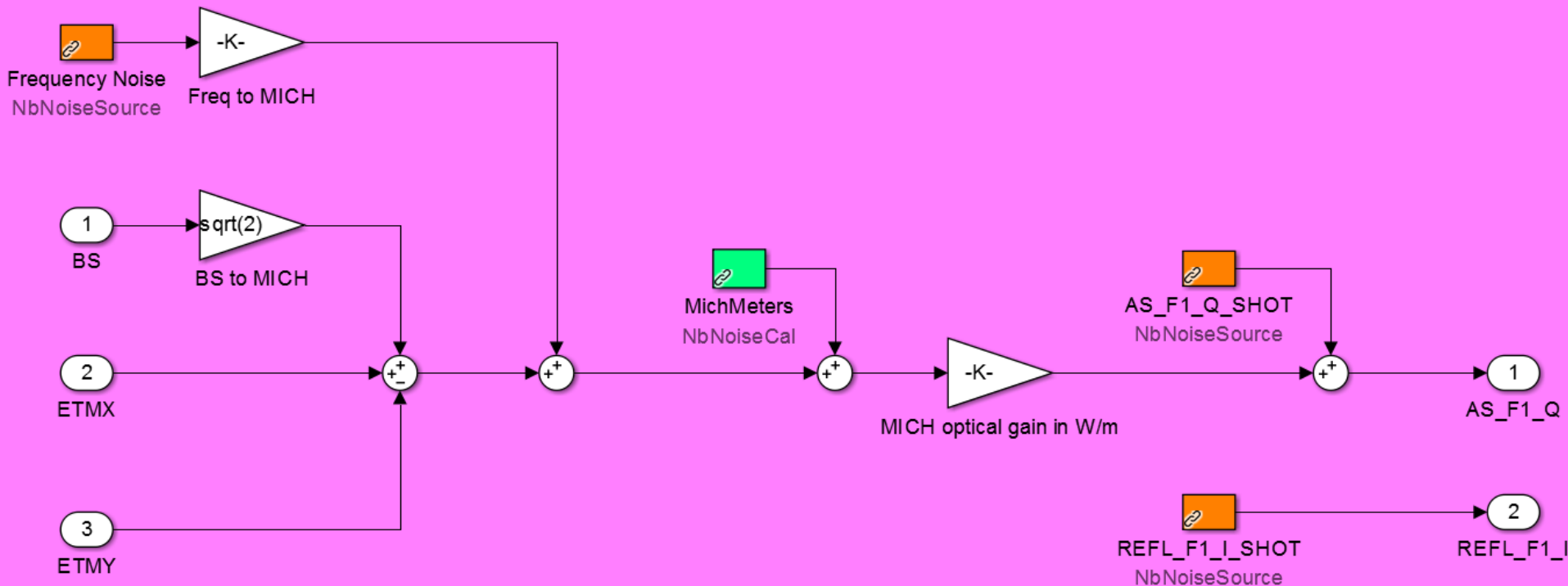
Coil [N/V]

Suspension TF  
[N/V]



# 干渉計応答

- MATLAB上で動く干渉計シミュレーションソフト  
Optickleを組み込むことも可能



# 光検出器応答

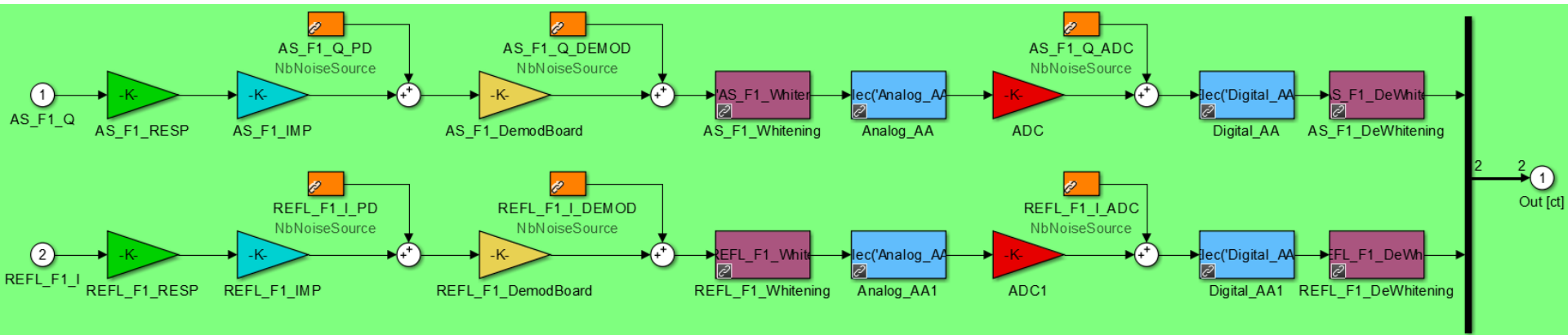
光検出器応答

[V/W]

復調器応答

[V/V]

ADC, AA,  
Whitening/Dewhitening  
[cnt/V]

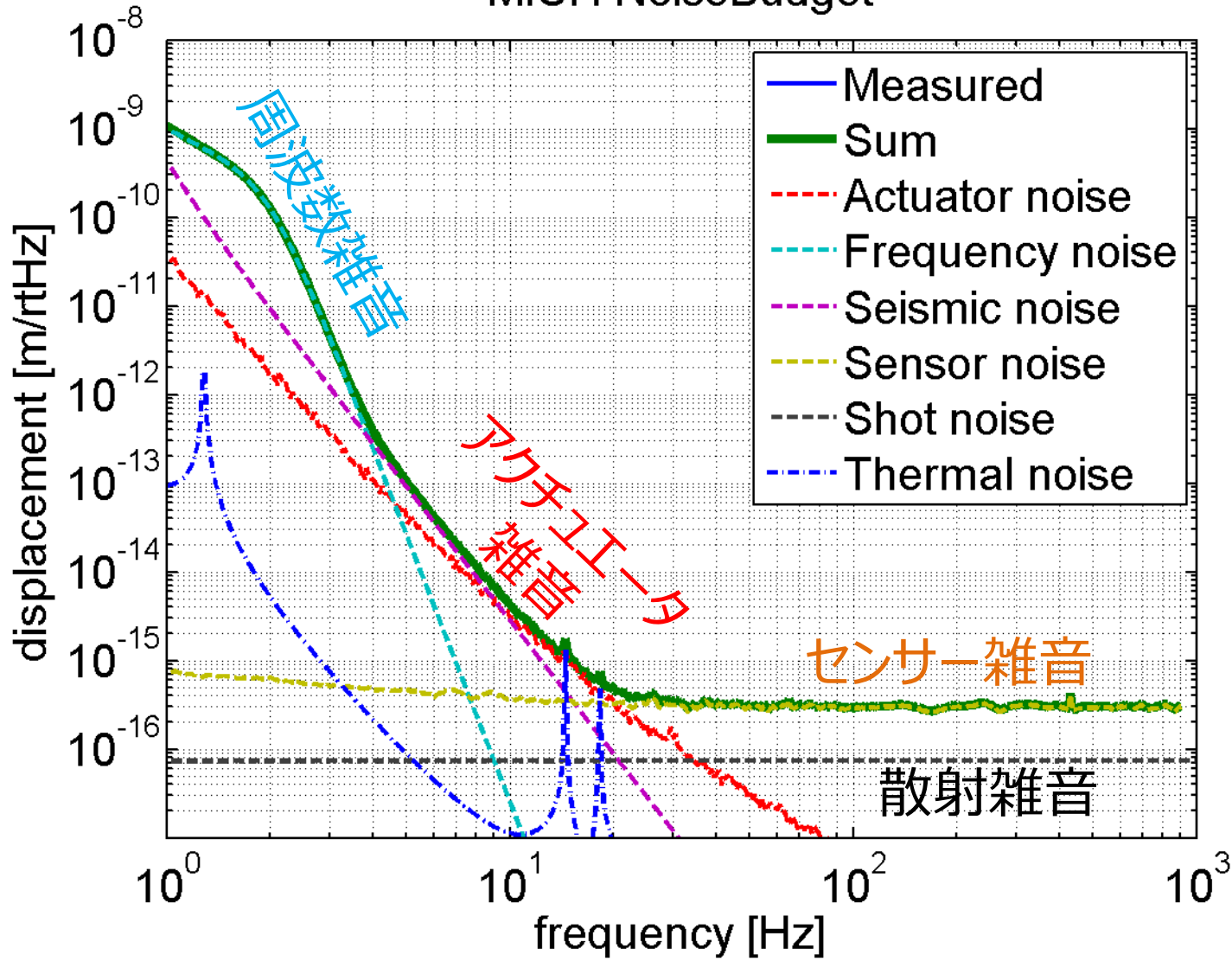




# 予想感度曲線

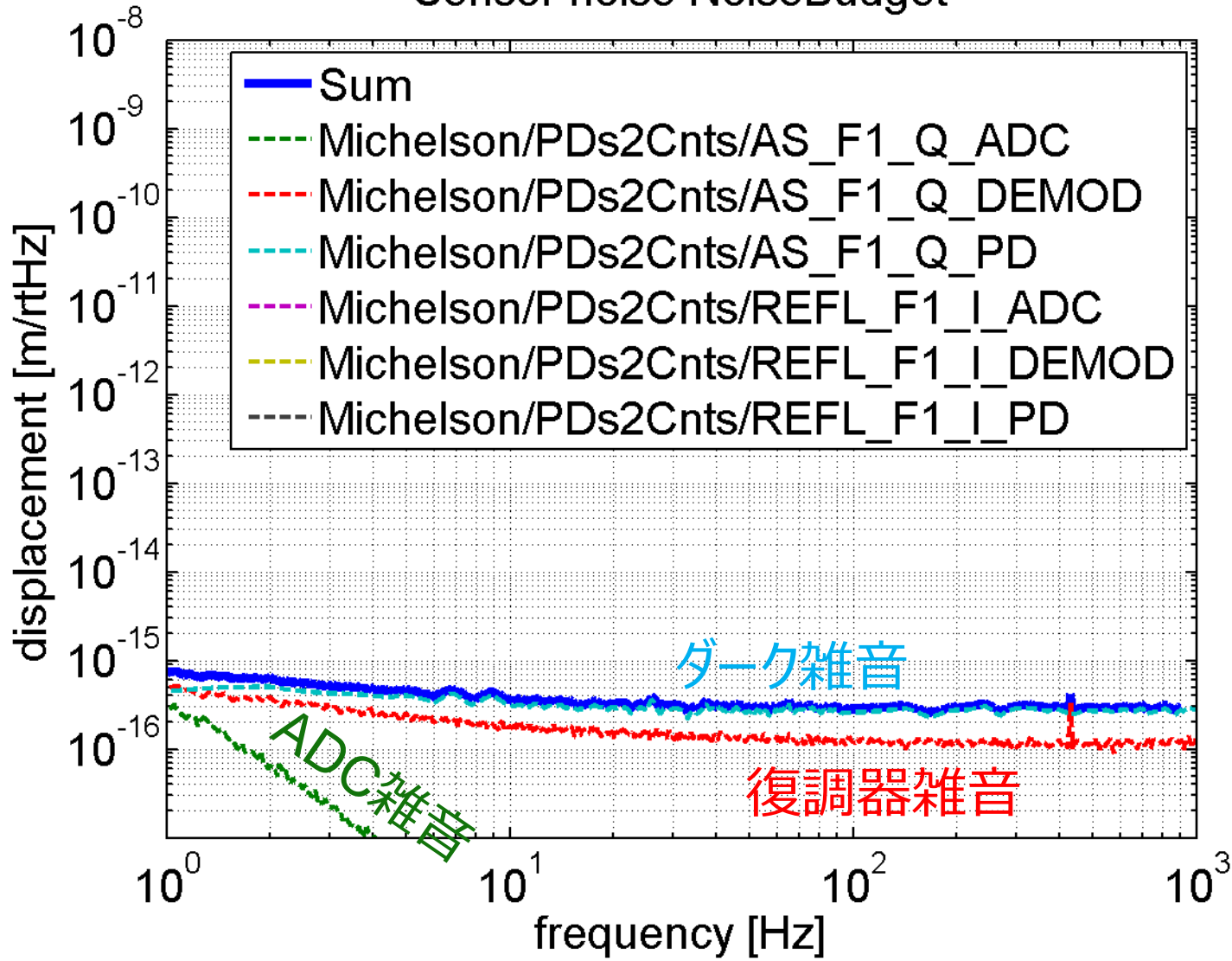
- 原理雑音では制限されない

MICH NoiseBudget



# センサー雑音の内訳

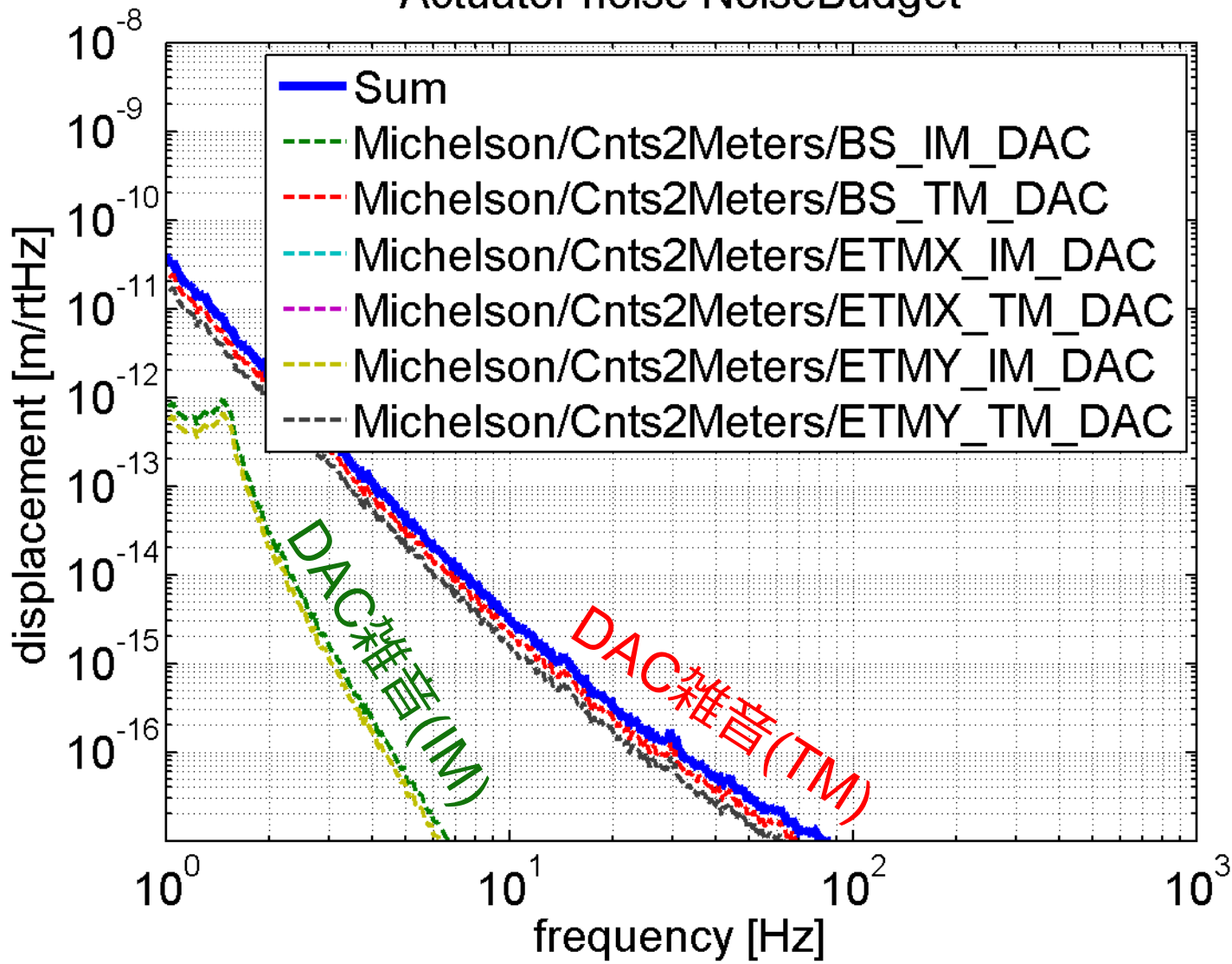
- 光検出器のダークノイズが支配的  
Sensor noise NoiseBudget



# アクチュエータ雑音の内訳

- DAC雑音が支配的

Actuator noise NoiseBudget



# 今後の計画

- アクチュエータの最適デザイン  
感度を悪化させず、かつ十分なレンジを持ったアクチュエータの設計
- より現実を反映したモデルへ  
より詳細なサスペンションモデル  
各種雑音の追加・実測定
  - 鏡のアライメント雑音
  - 散乱光雑音
- 事前の干渉計制御系設計  
NoiseBudgetモデルで作成したデジタル制御  
フィルタは実際の干渉計にそのまま利用可能

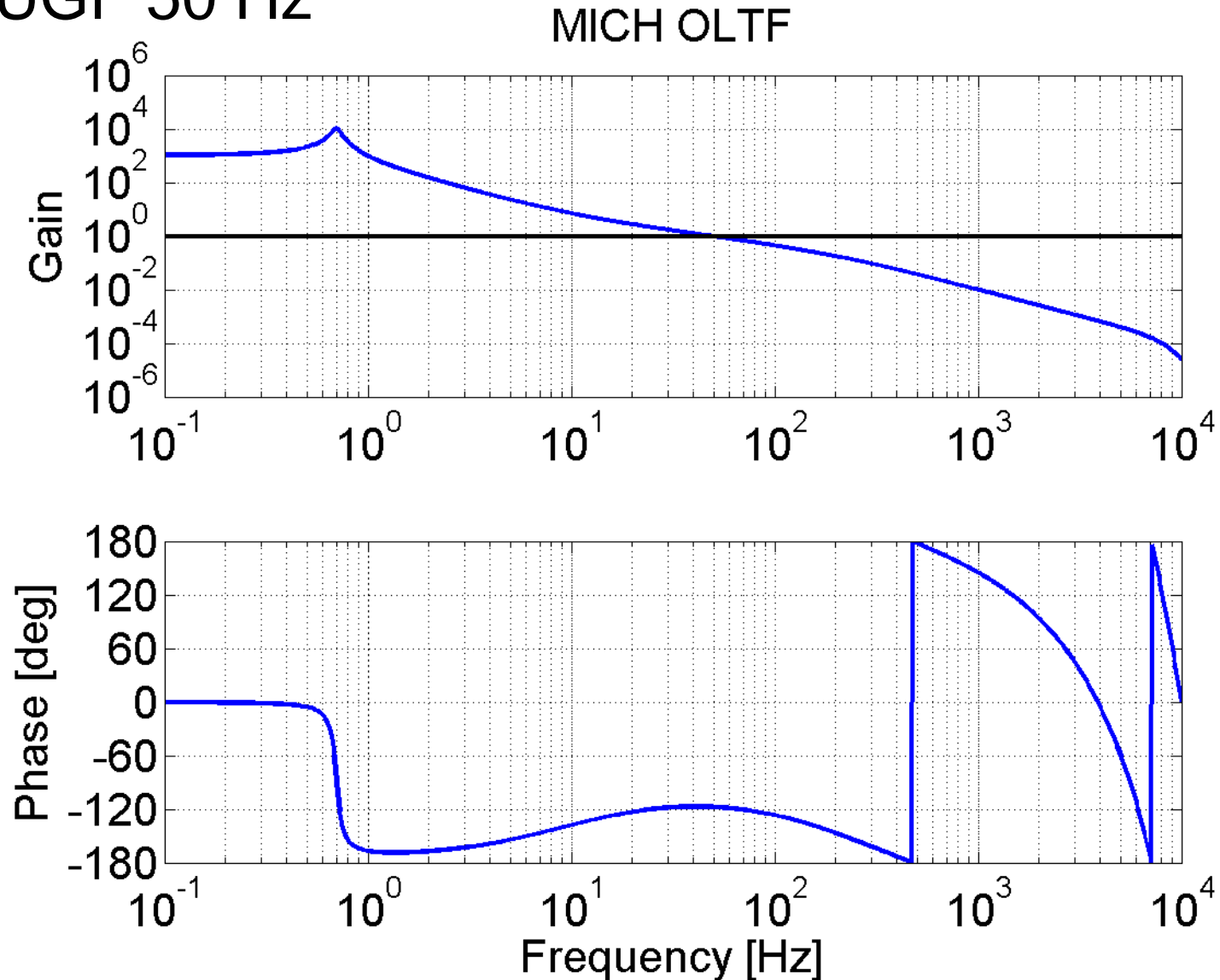
# まとめ

- 大型低温重力波望遠鏡KAGRAは目下建設中  
2015年末に試験運転開始予定  
2017年に本格運転開始予定
- KAGRAのあらゆる雑音の寄与を評価できるシミュレーションモデルを作った
- 要素開発  
事前の干渉計制御系設計  
雑音ハンティング                      に利用可能
- KAGRA SVNにあるので誰でも遊べます  
<https://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/svn/LCGT/trunk/kagranoisebudget>

おまけ

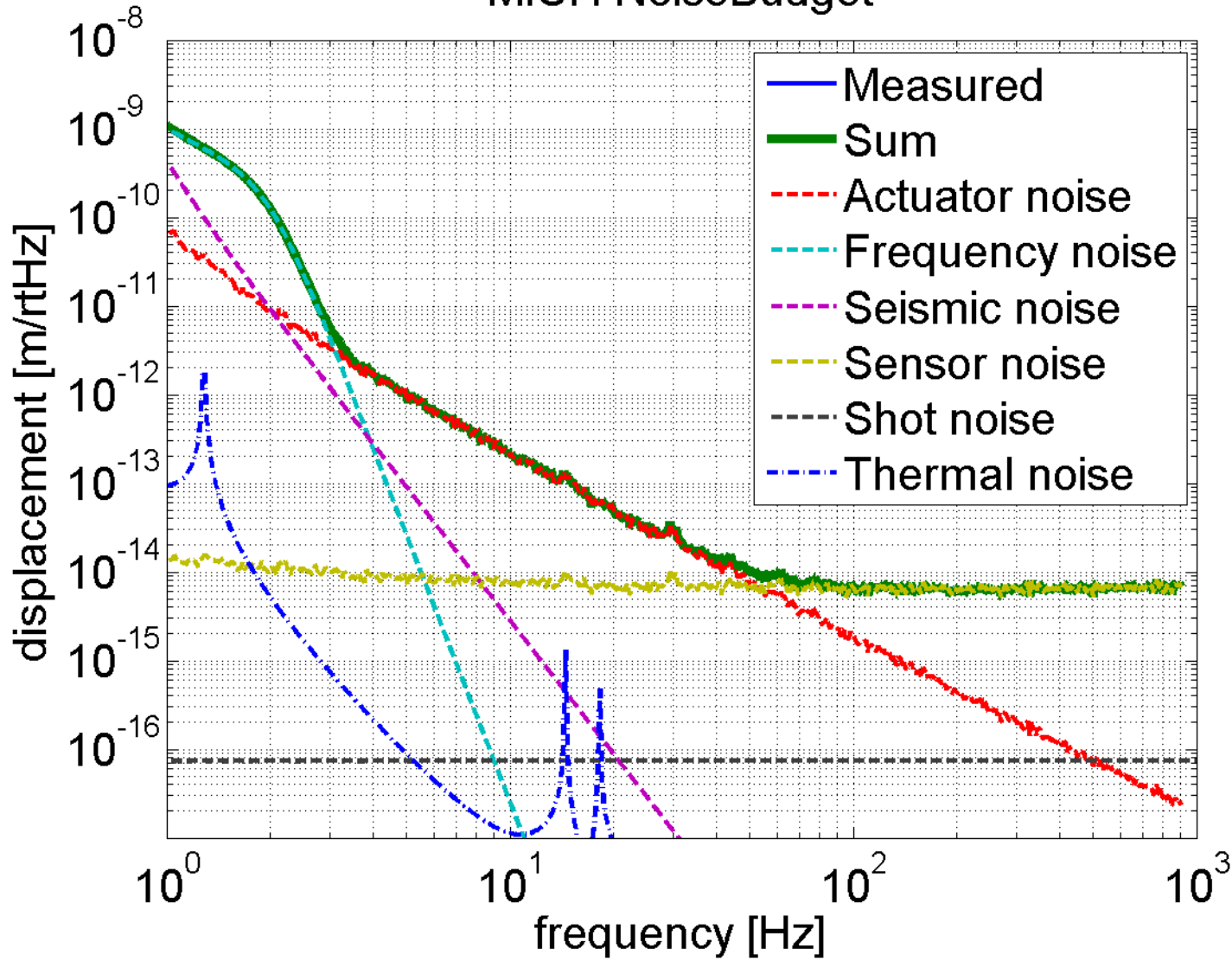
# オープンループ伝達関数

- UGF 50 Hz



# Whitening/Dewhitingなし

- 感度はADC/DAC雑音により大きく悪化  
MICH NoiseBudget





# 50W入射、アクチュエータ効率1/50

- 原理雑音に制限されるようになる

MICH NoiseBudget

