

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

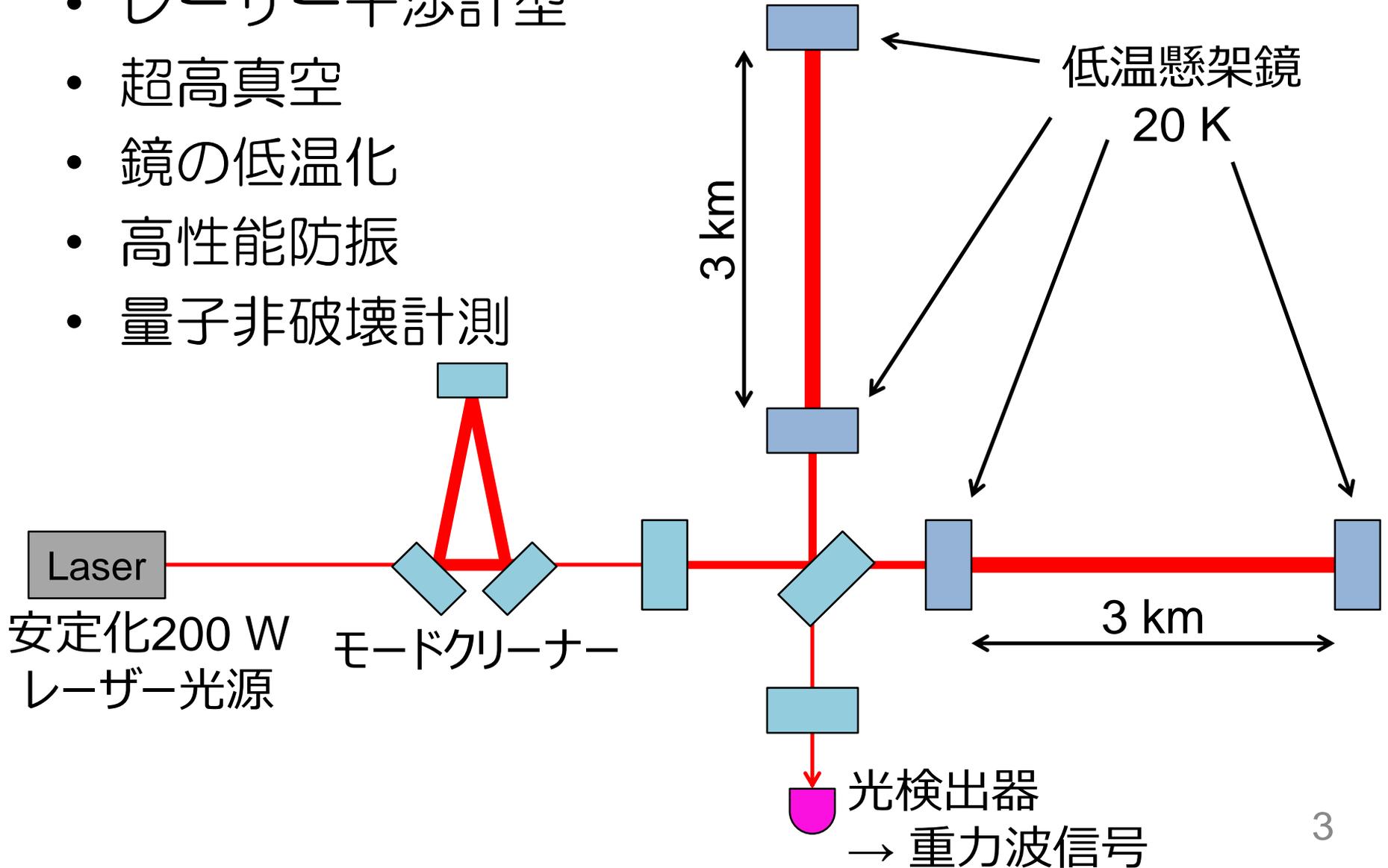
- 岐阜県 神岡鉱山地下に建設中
- 2015年末に試験
運転開始予定
- 2017年末に本格
運転開始予定
- 150 Mpc先の
中性子星連星
からの重力波

KAGRA



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

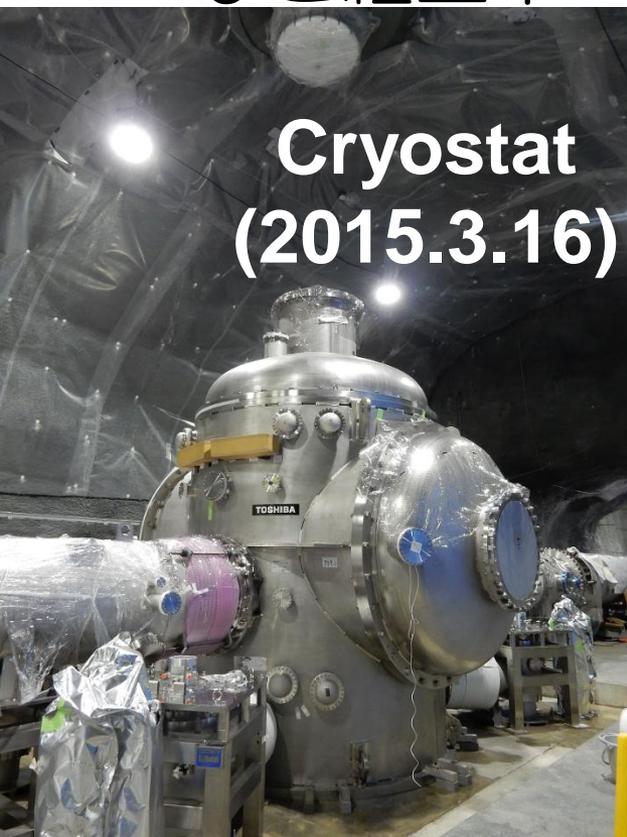


KAGRA建設状況

- 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



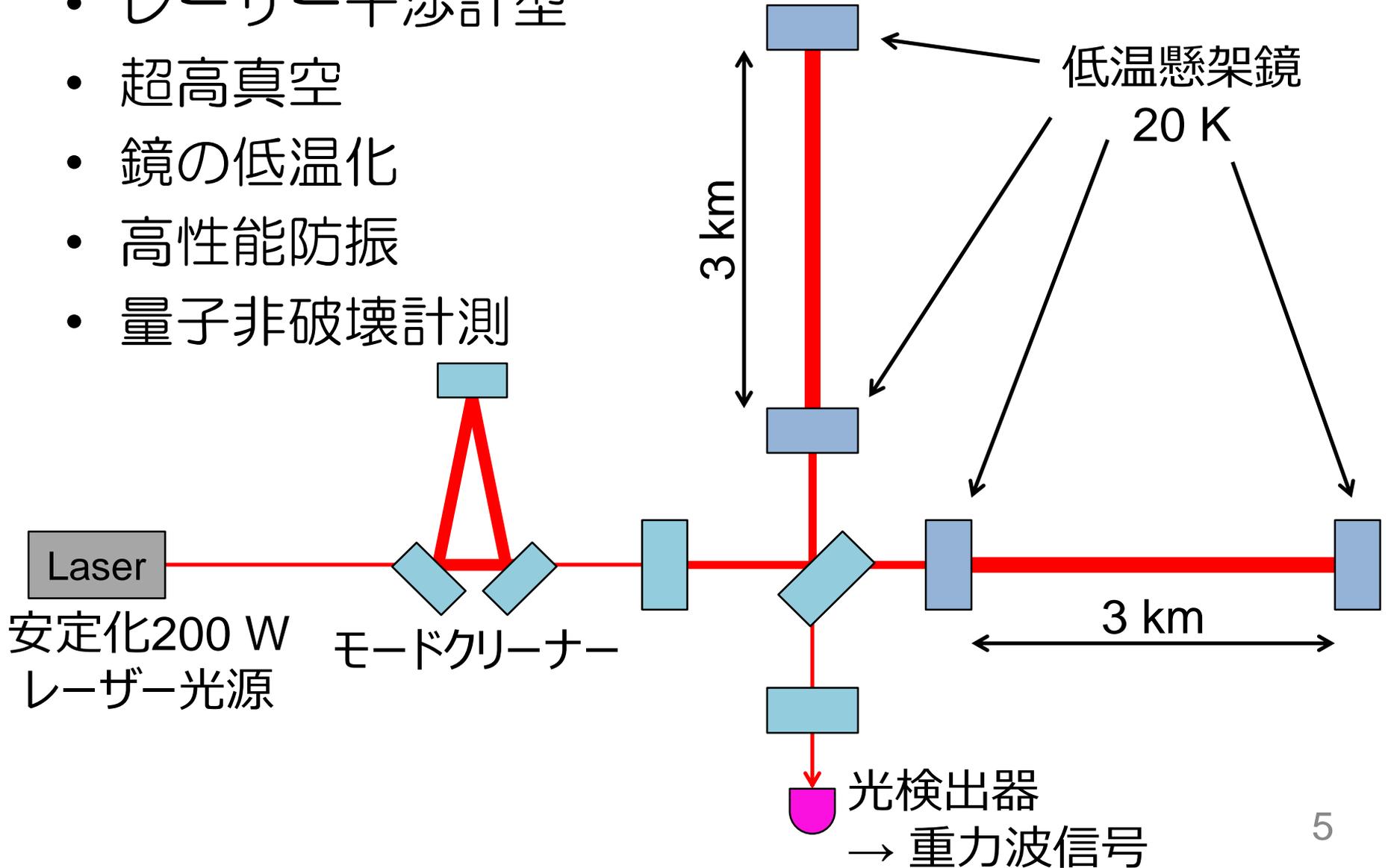
**Cryostat
(2015.3.16)**



Beam tube in Y arm (2015.3.10)

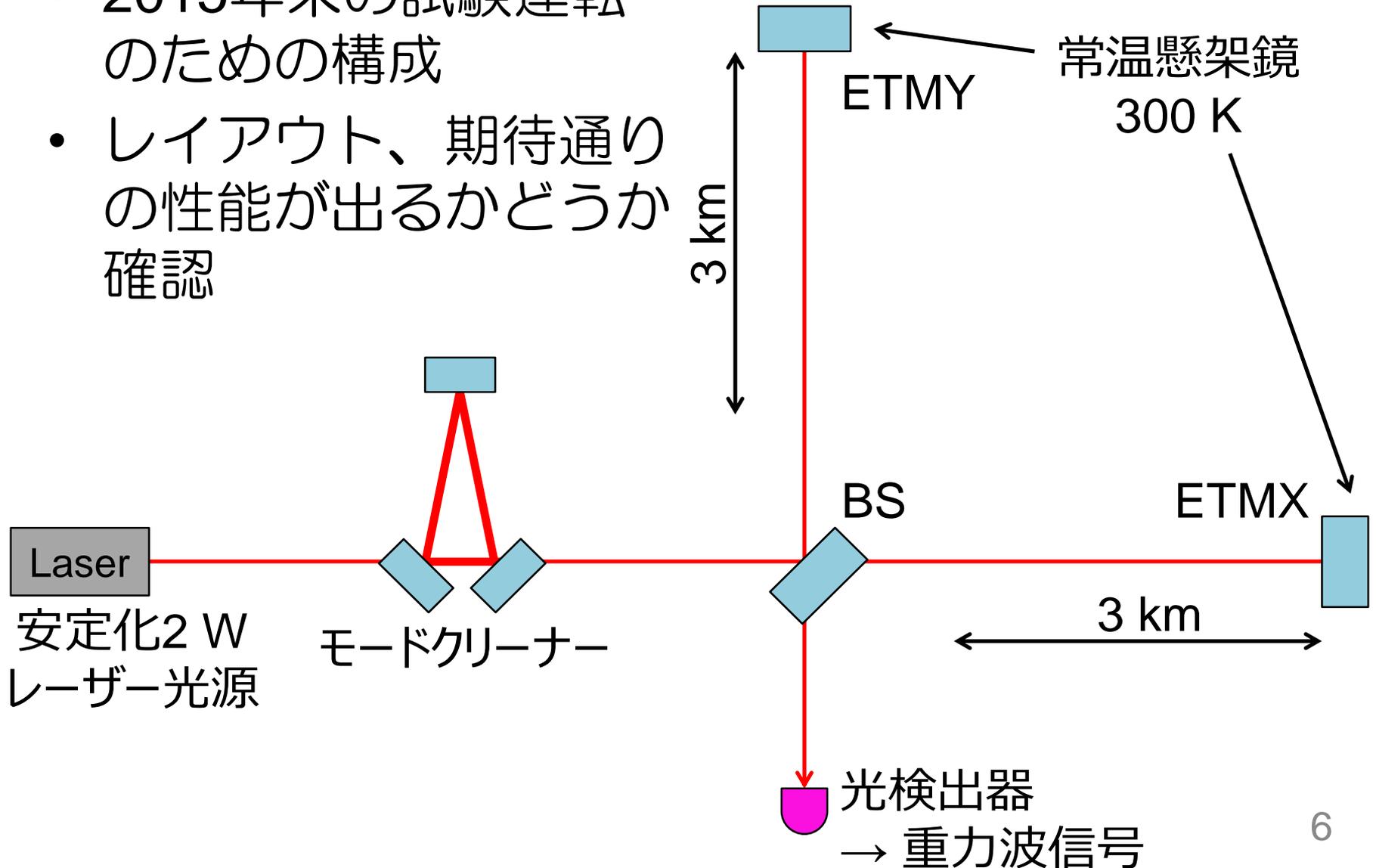
KAGRAの構成

- 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

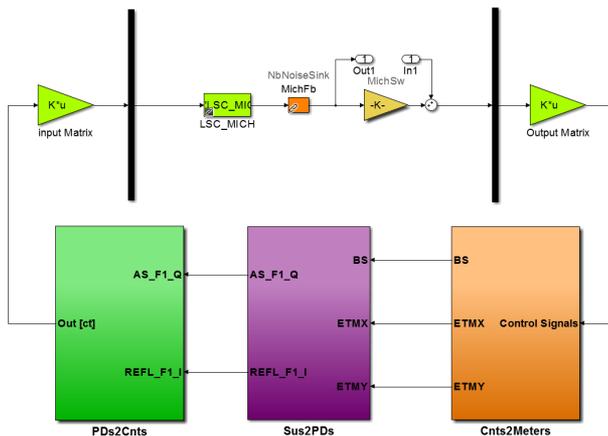
- 2015年末の試験運転のための構成
- レイアウト、期待通りの性能が出るかどうか確認



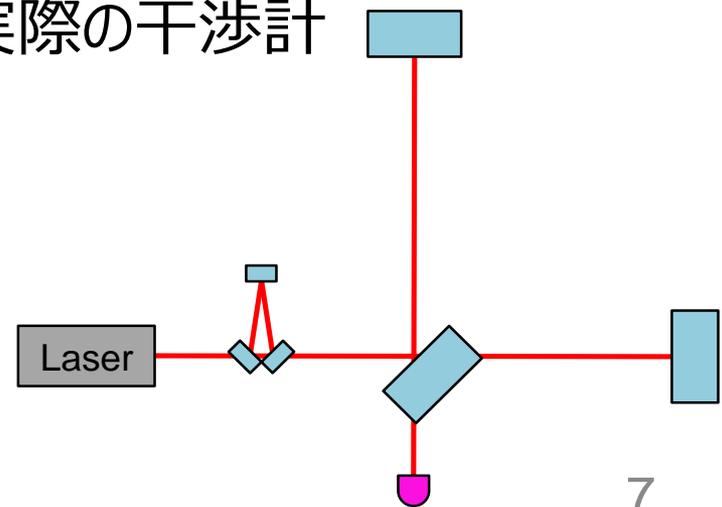
「期待通りの性能」とは？

- 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  での測定データをもとに



NbNoiseCal  における感度に較正し、

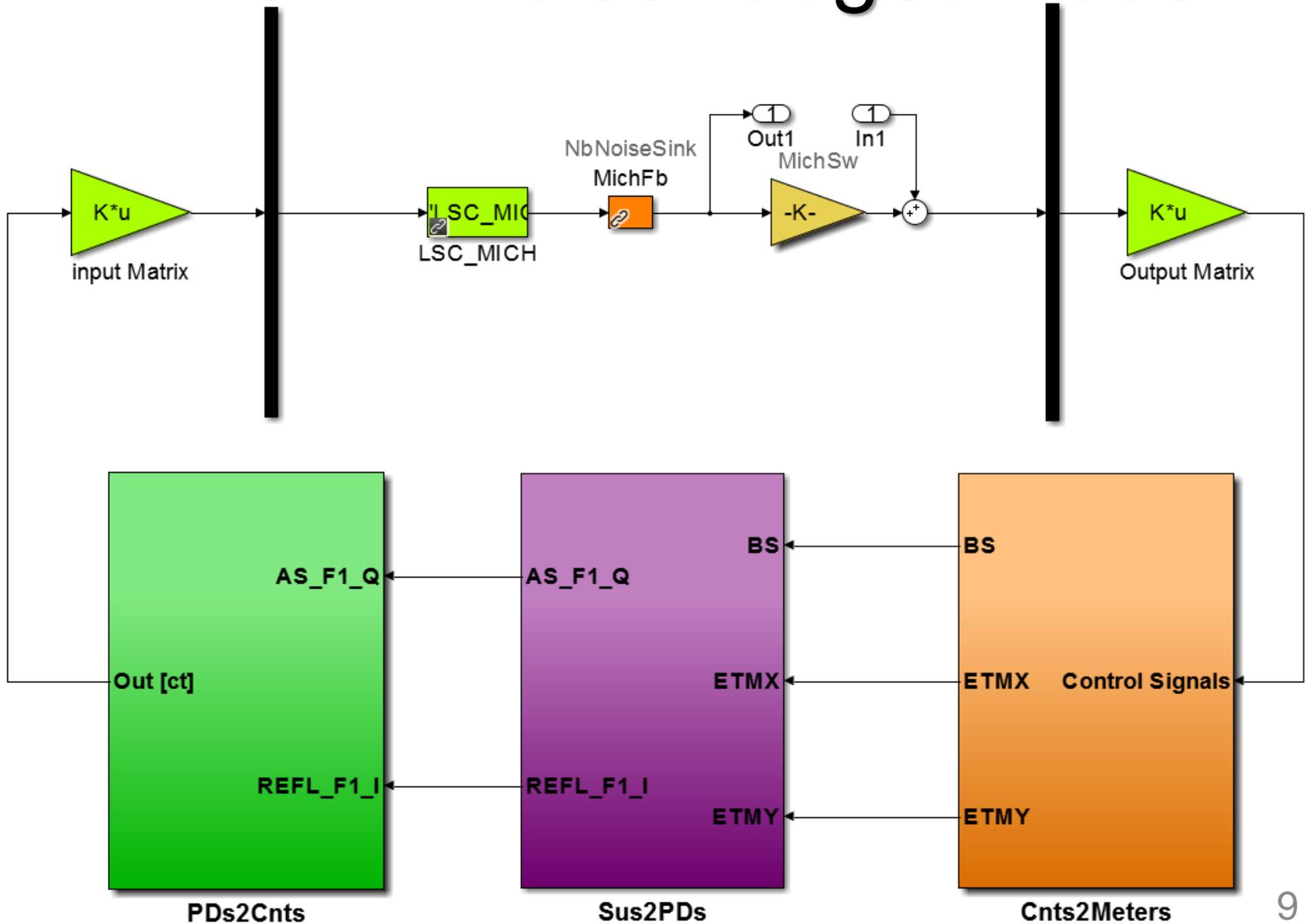
MichMeters
NbNoiseCal

その際に NbNoiseSource
くる雑音の寄与を計算

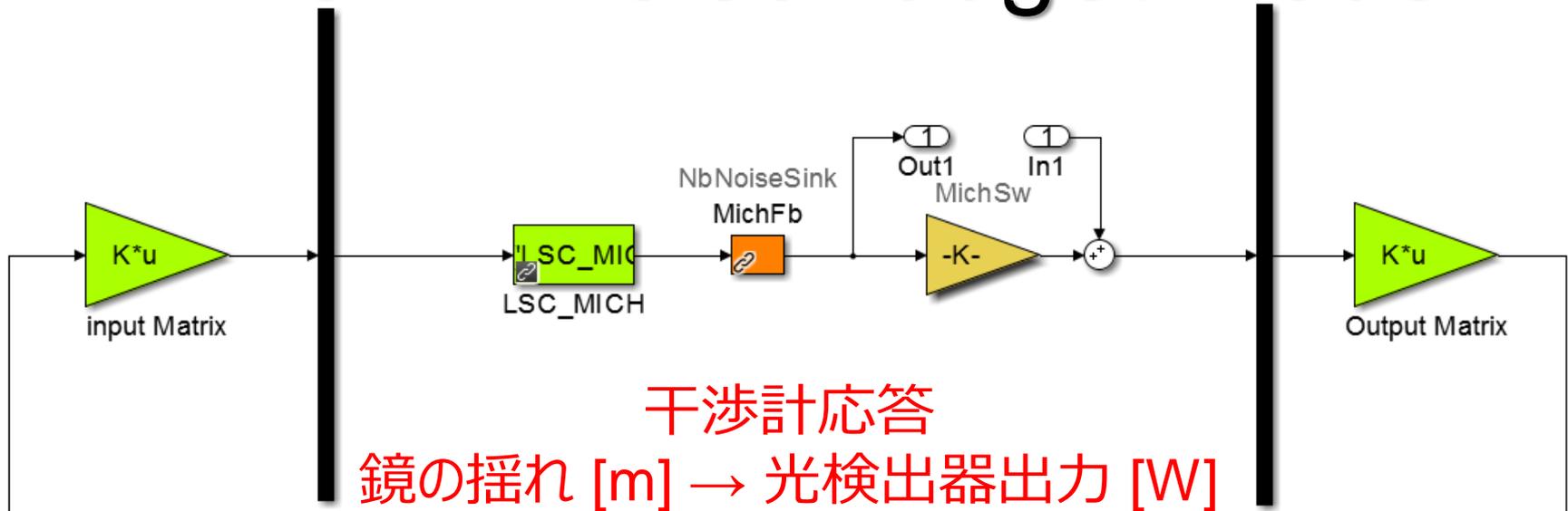


から入って

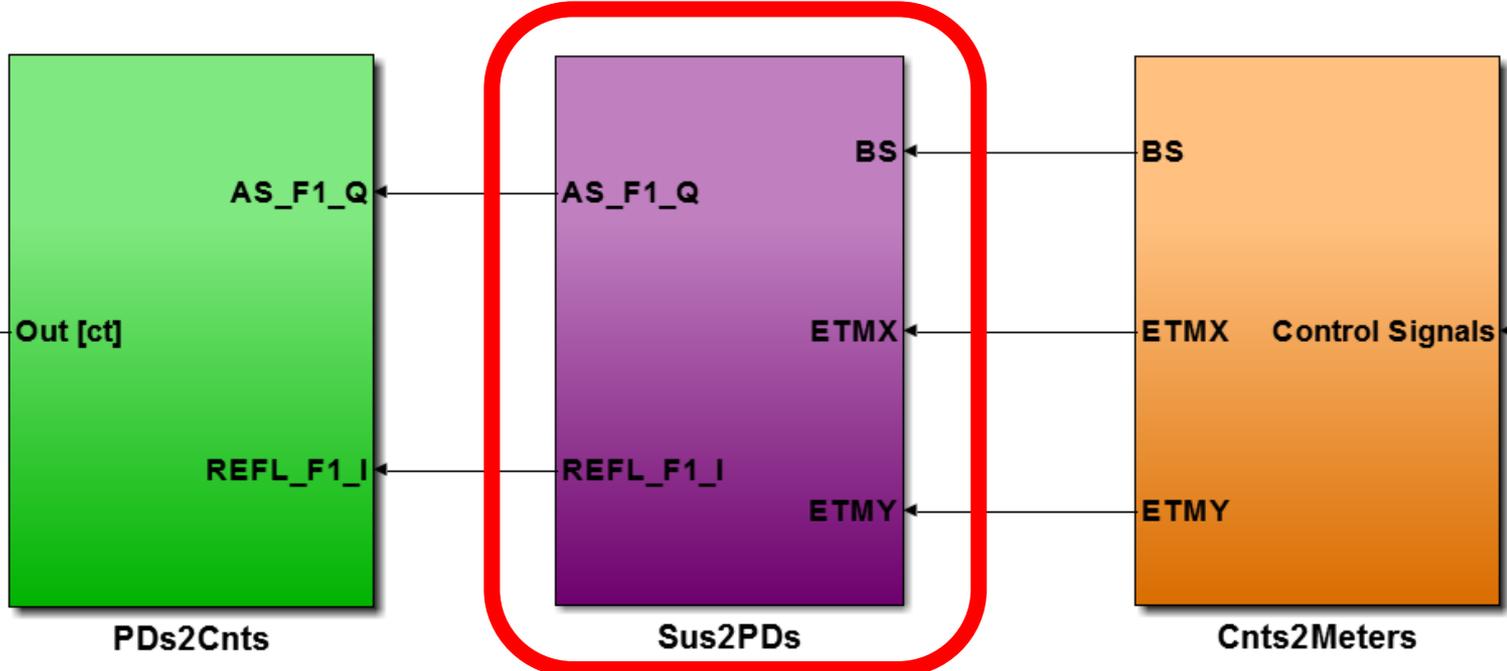
iKAGRA NoiseBudget Model



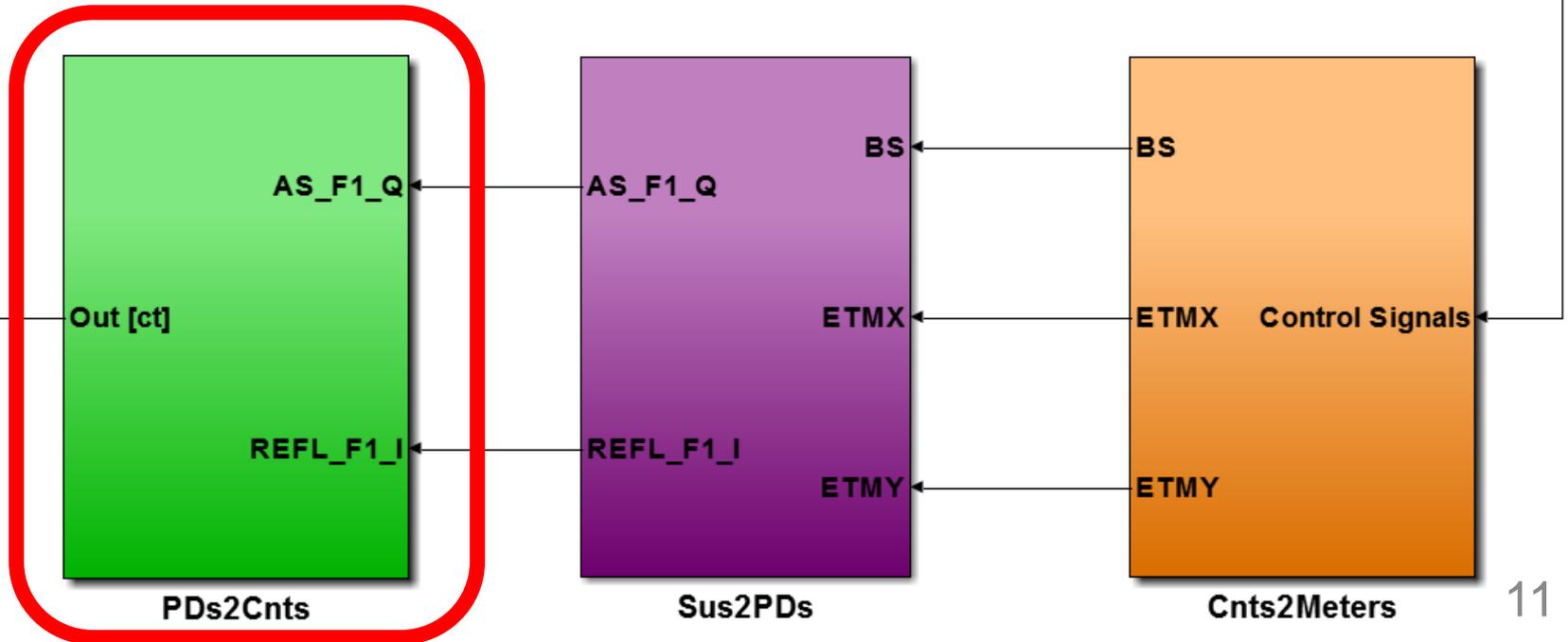
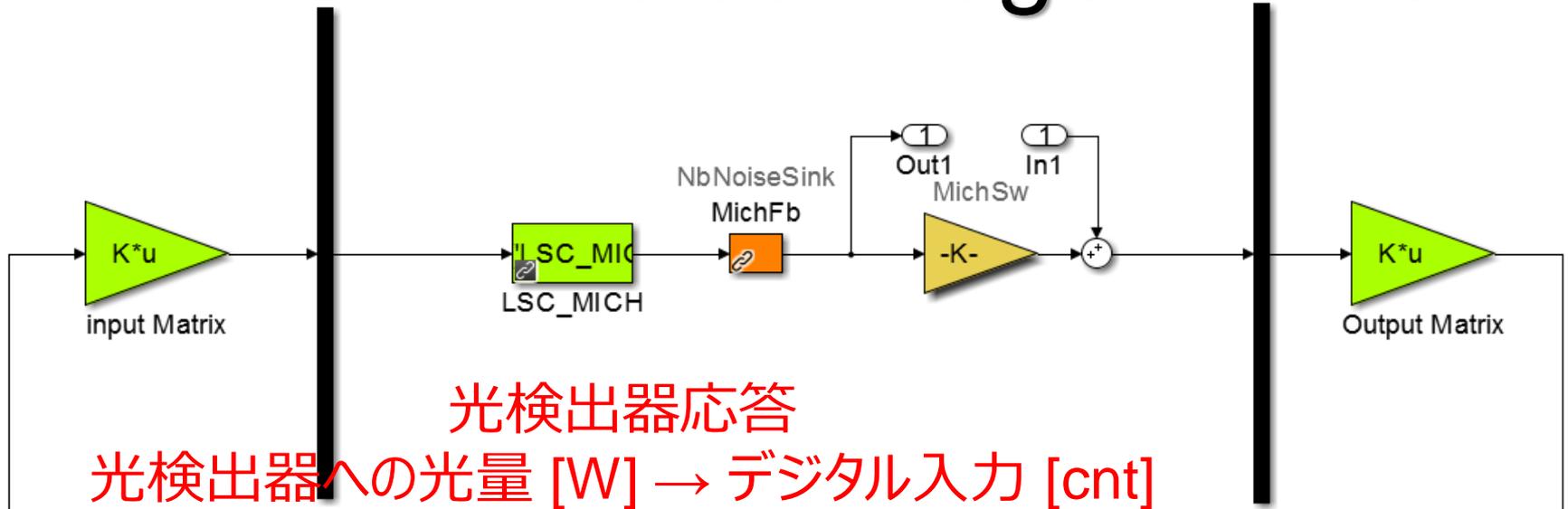
iKAGRA NoiseBudget Model



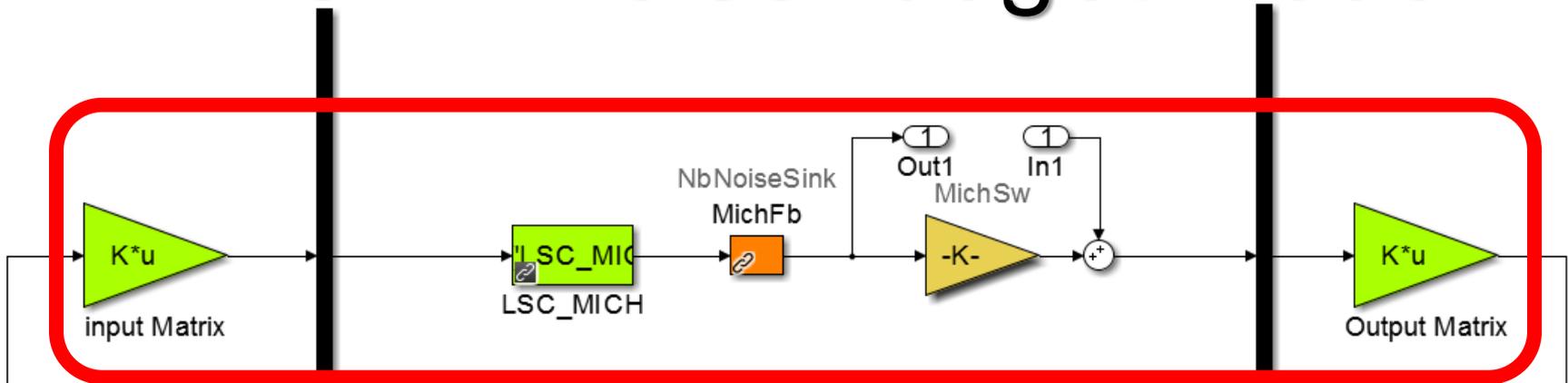
干涉計応答
鏡の揺れ [m] → 光検出器出力 [W]



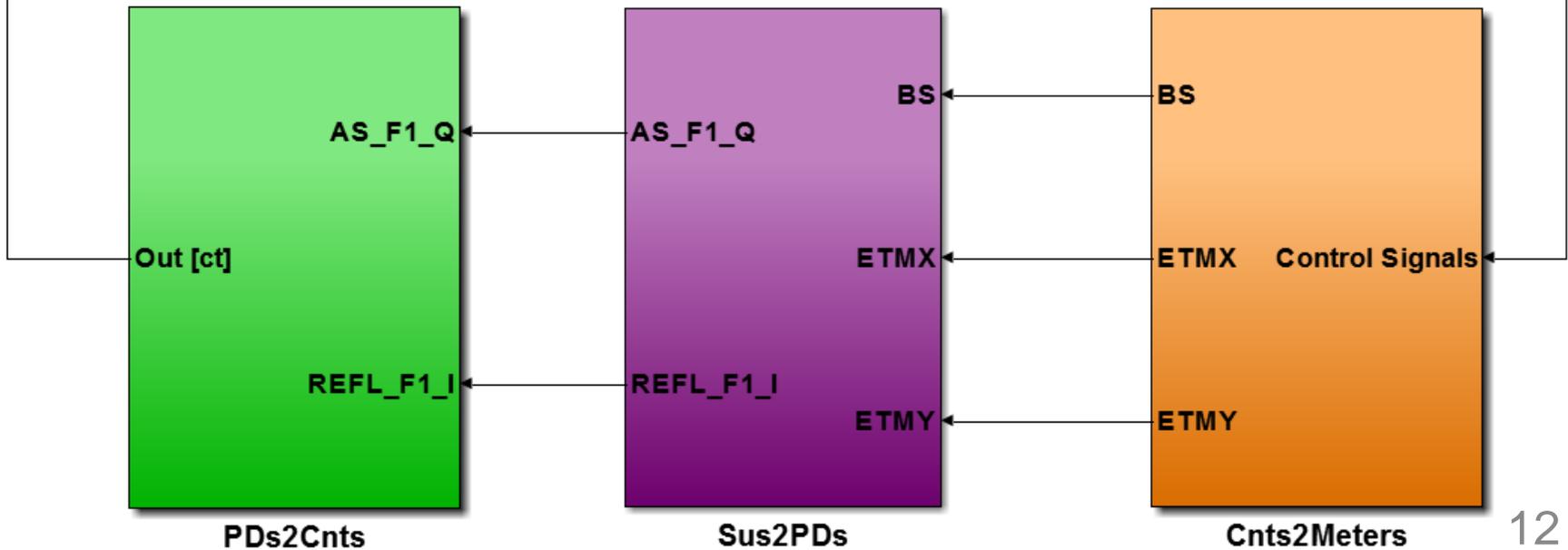
iKAGRA NoiseBudget Model



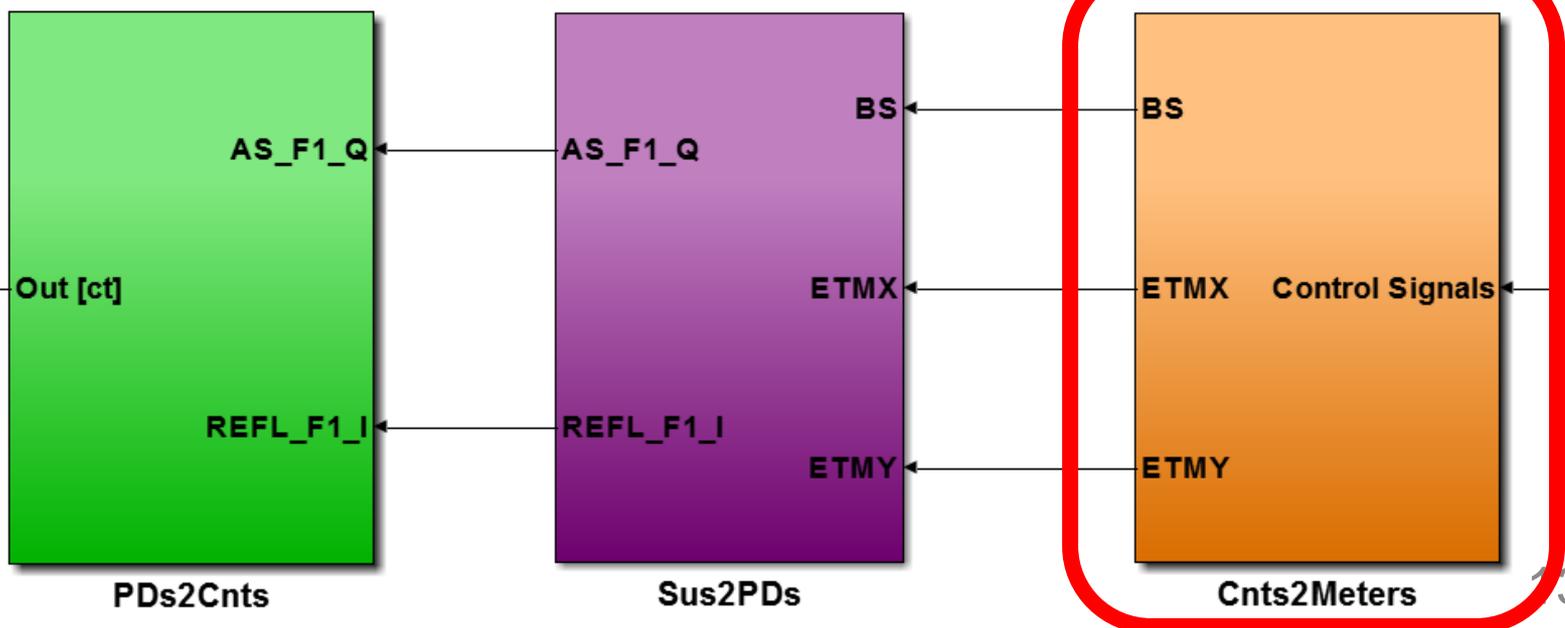
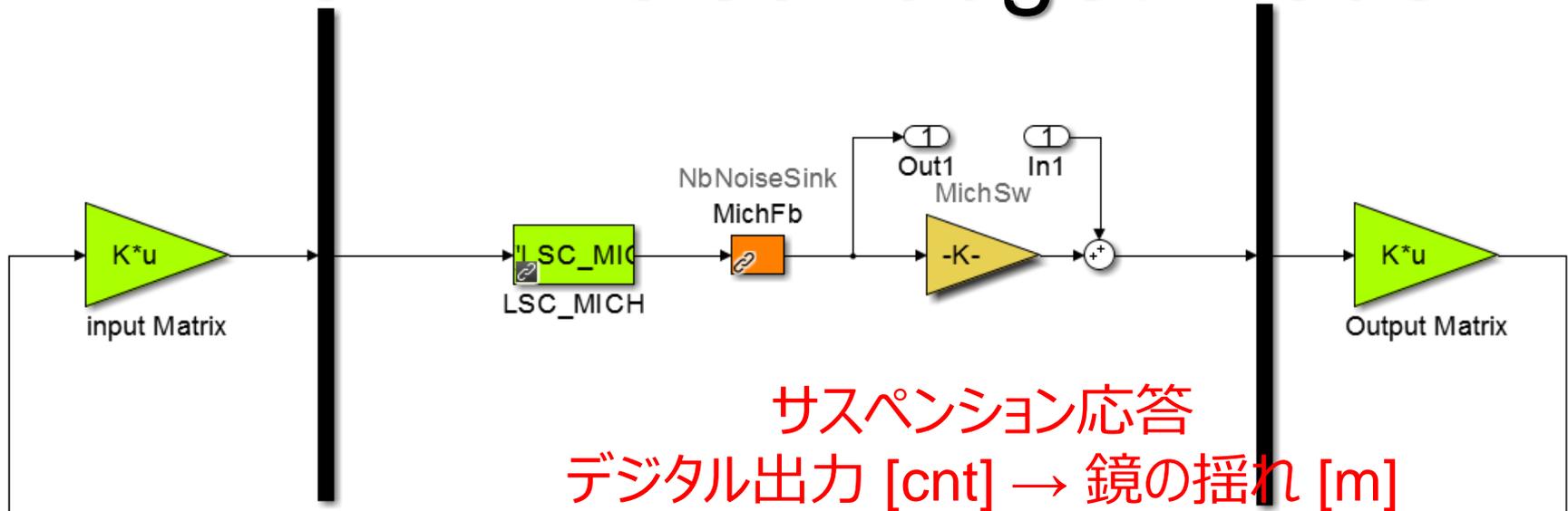
iKAGRA NoiseBudget Model



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



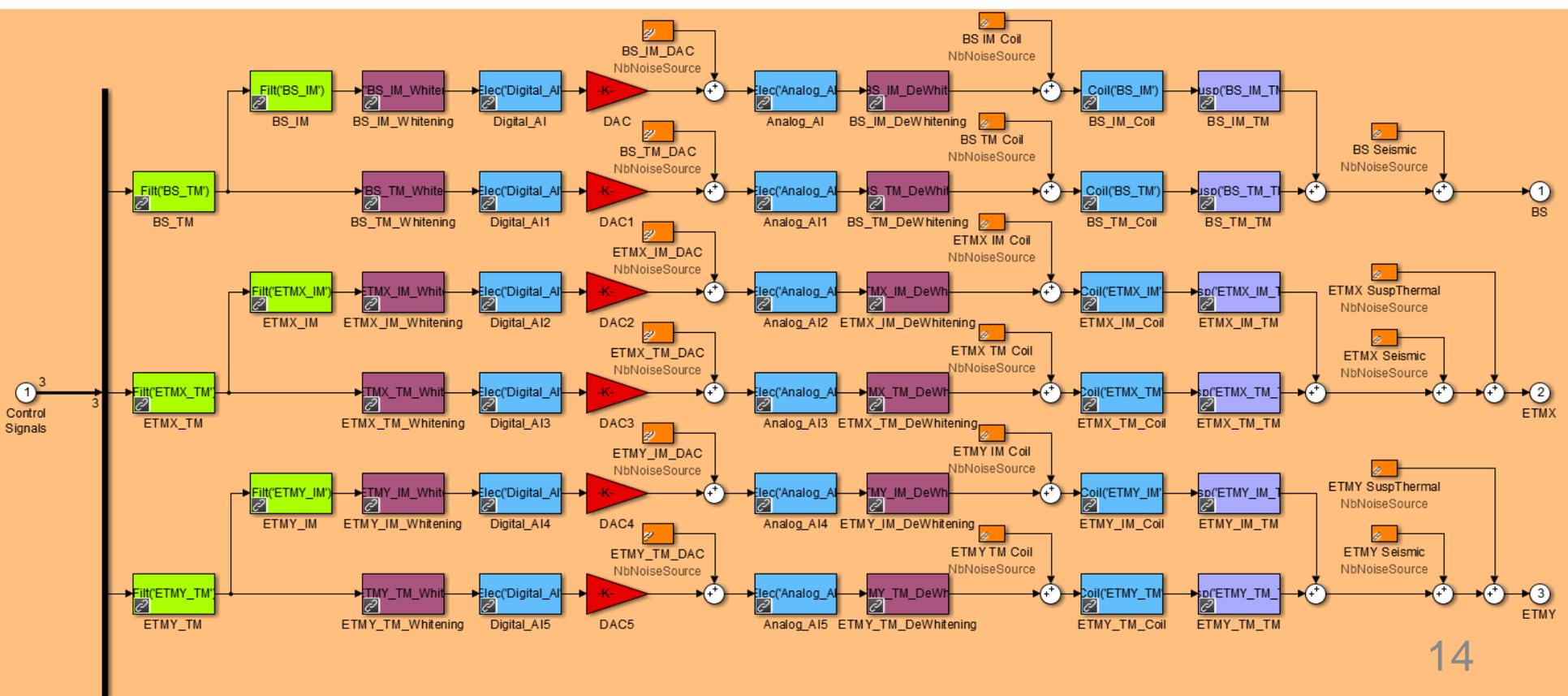
サスペンション応答

階層制御用
デジタルフィルタ

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

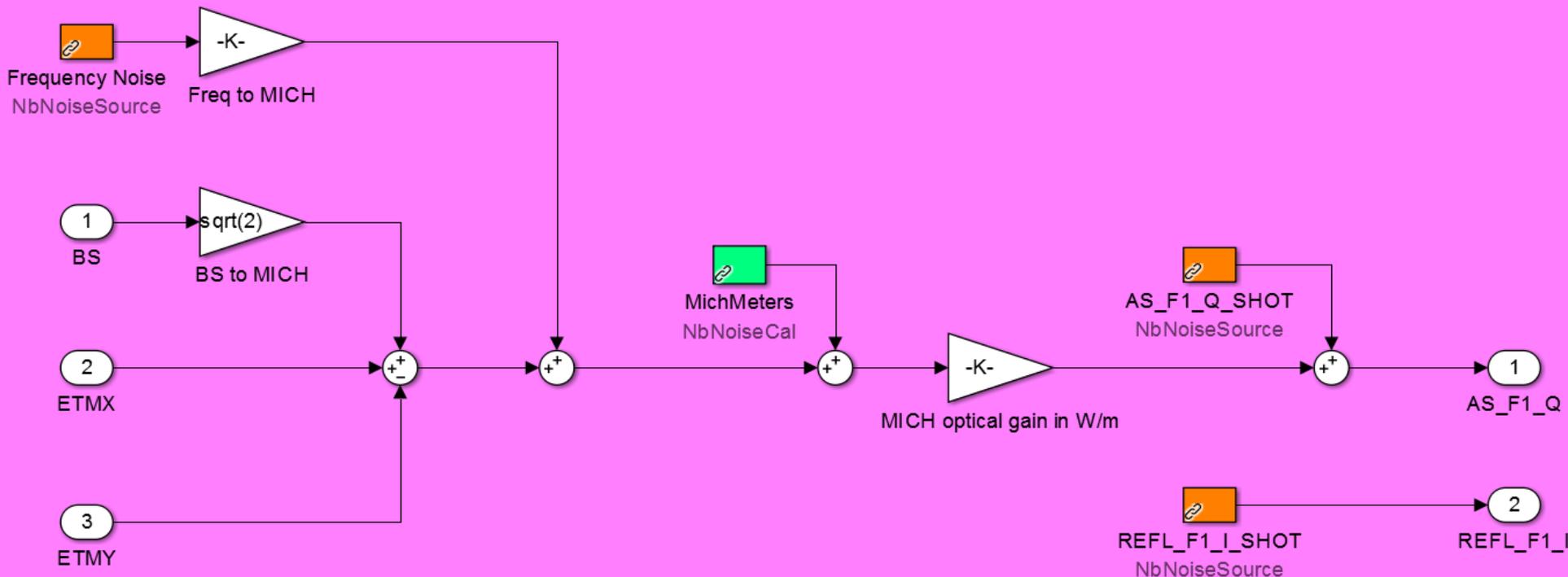
Coil [N/V]

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
- 今回は解析計算で求めたものを使用
BSに1 W入射、Schnupp Asymmetry 3.33 m



光検出器応答

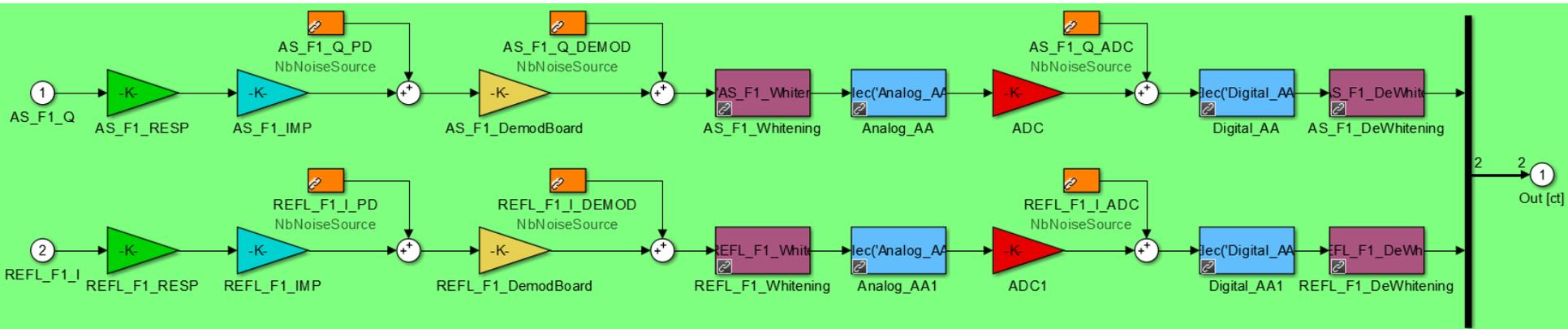
光検出器応答

[V/W]

復調器応答

[V/V]

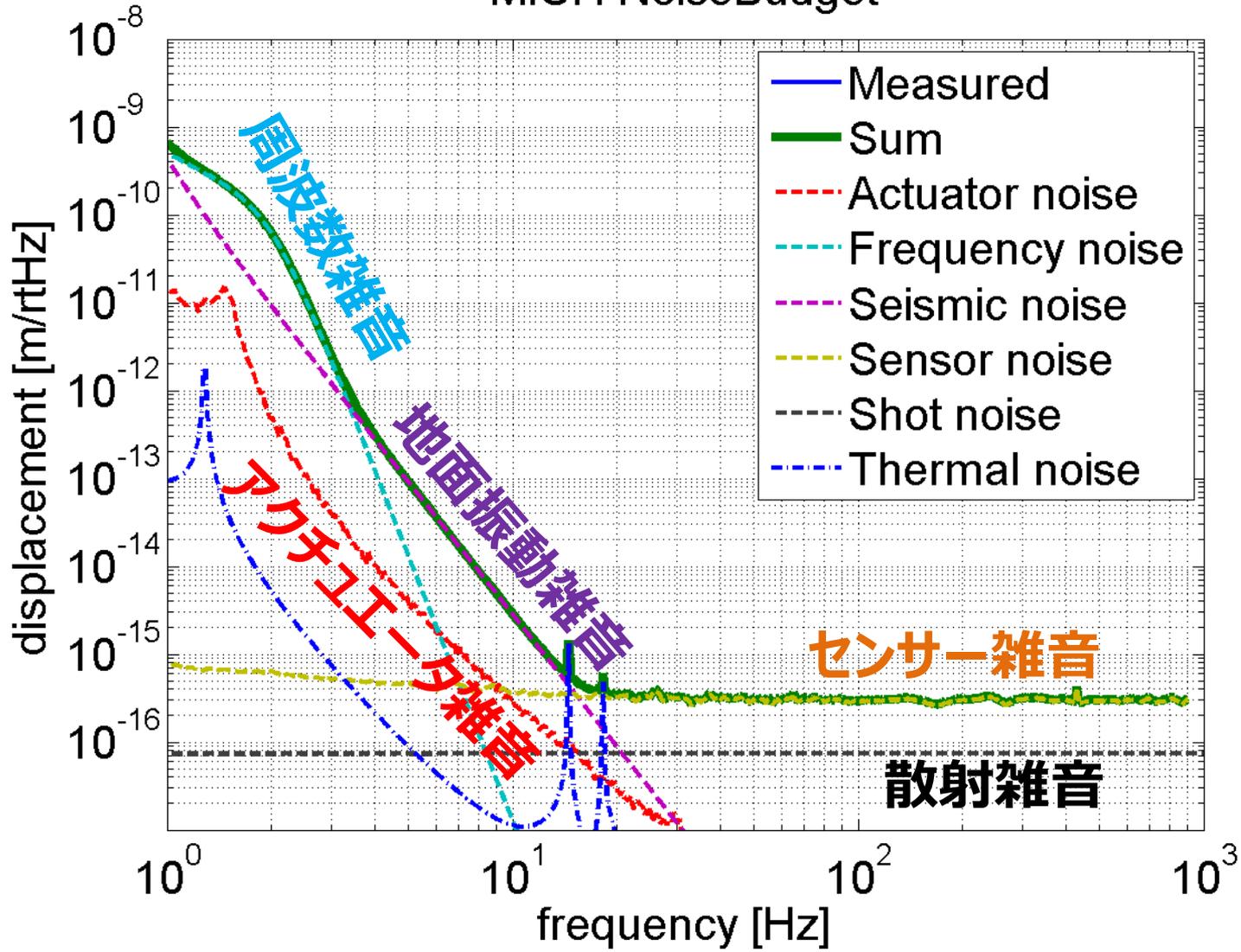
ADC, AA,
Whitening/Dewhitening
[cnt/V]



予想感度曲線

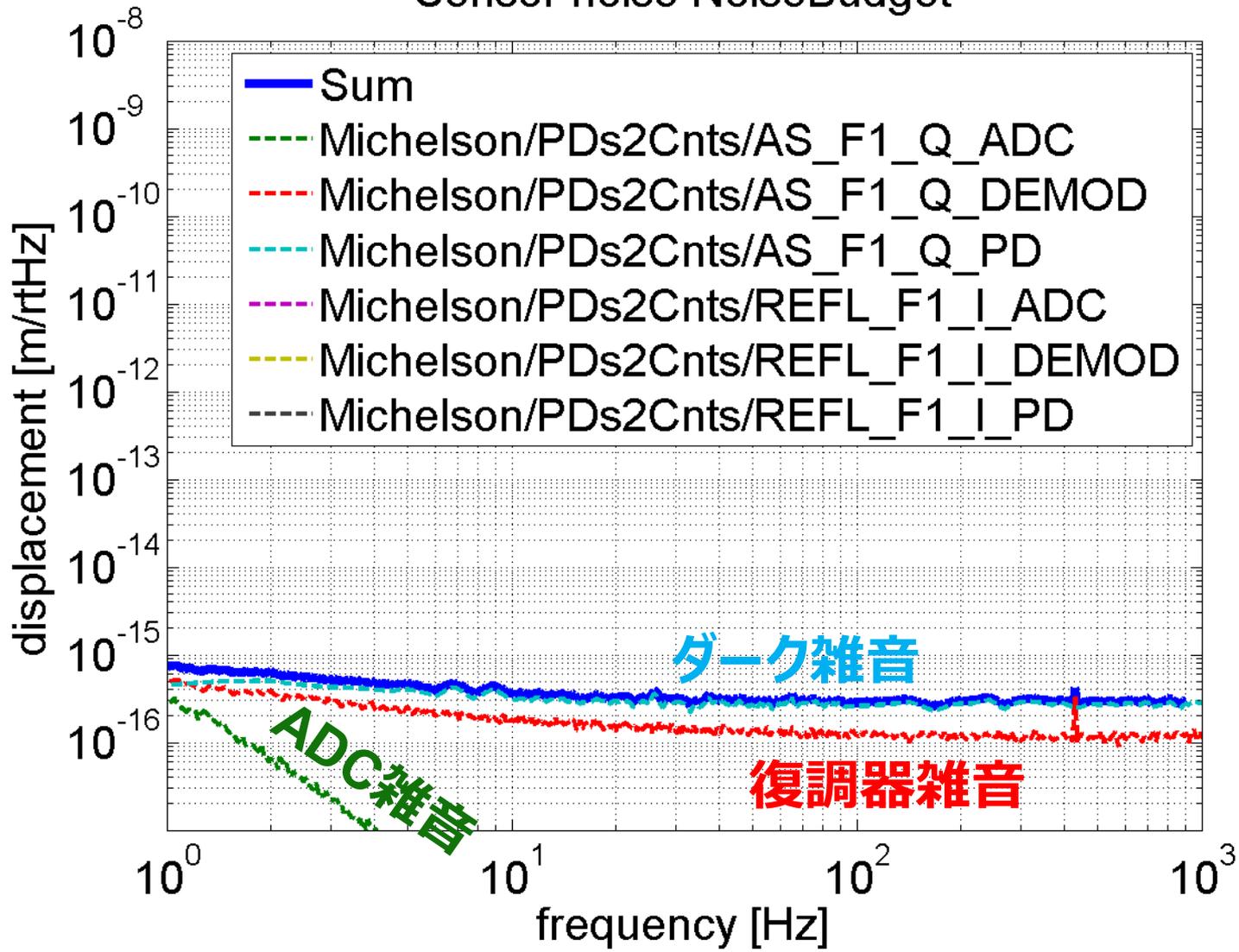
- 原理雑音では制限されない

MICH NoiseBudget



センサー雑音の内訳

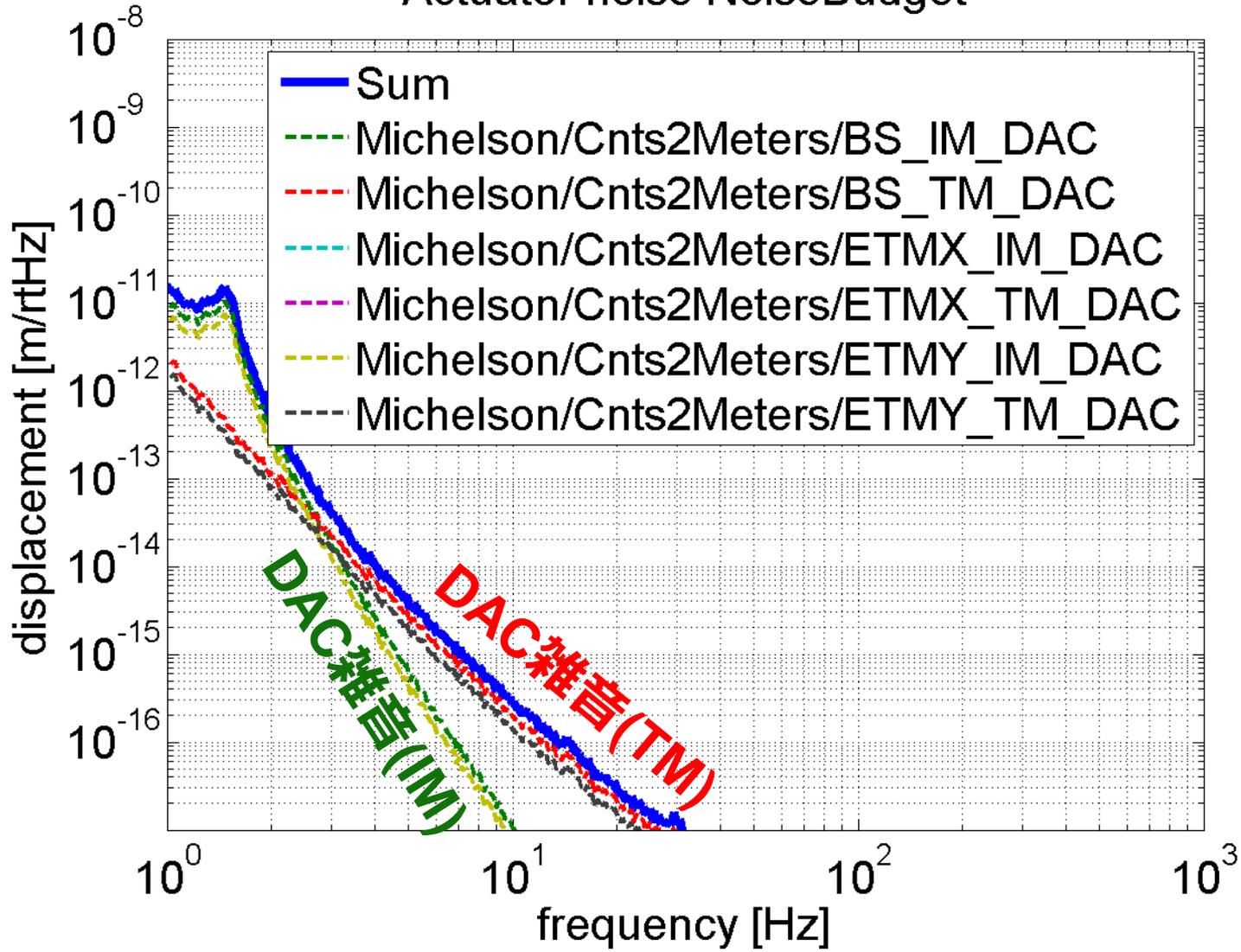
- 光検出器のダークノイズが支配的
Sensor noise NoiseBudget



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
KAGRA最終形の要求値は満たさない
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

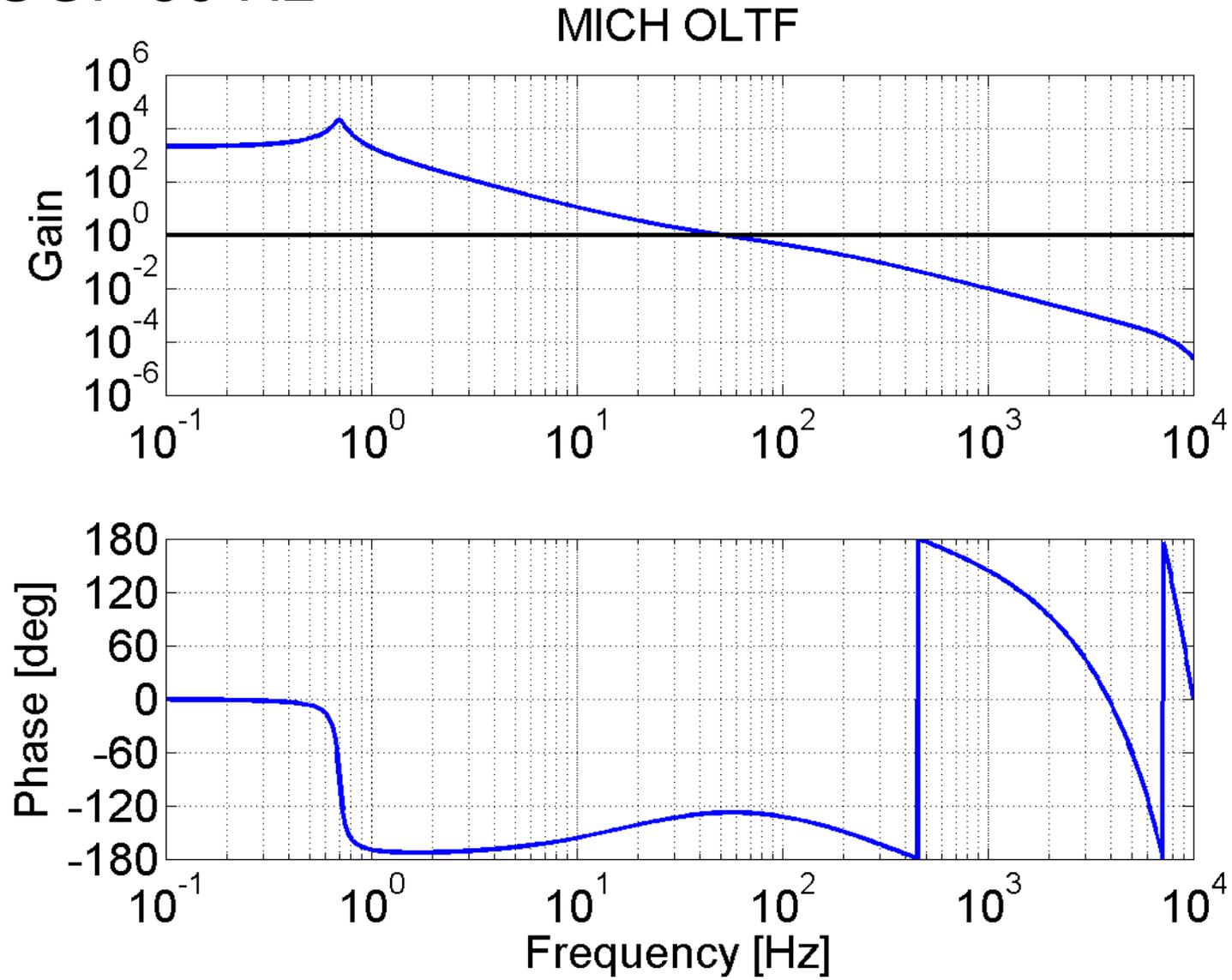
まとめ

- 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

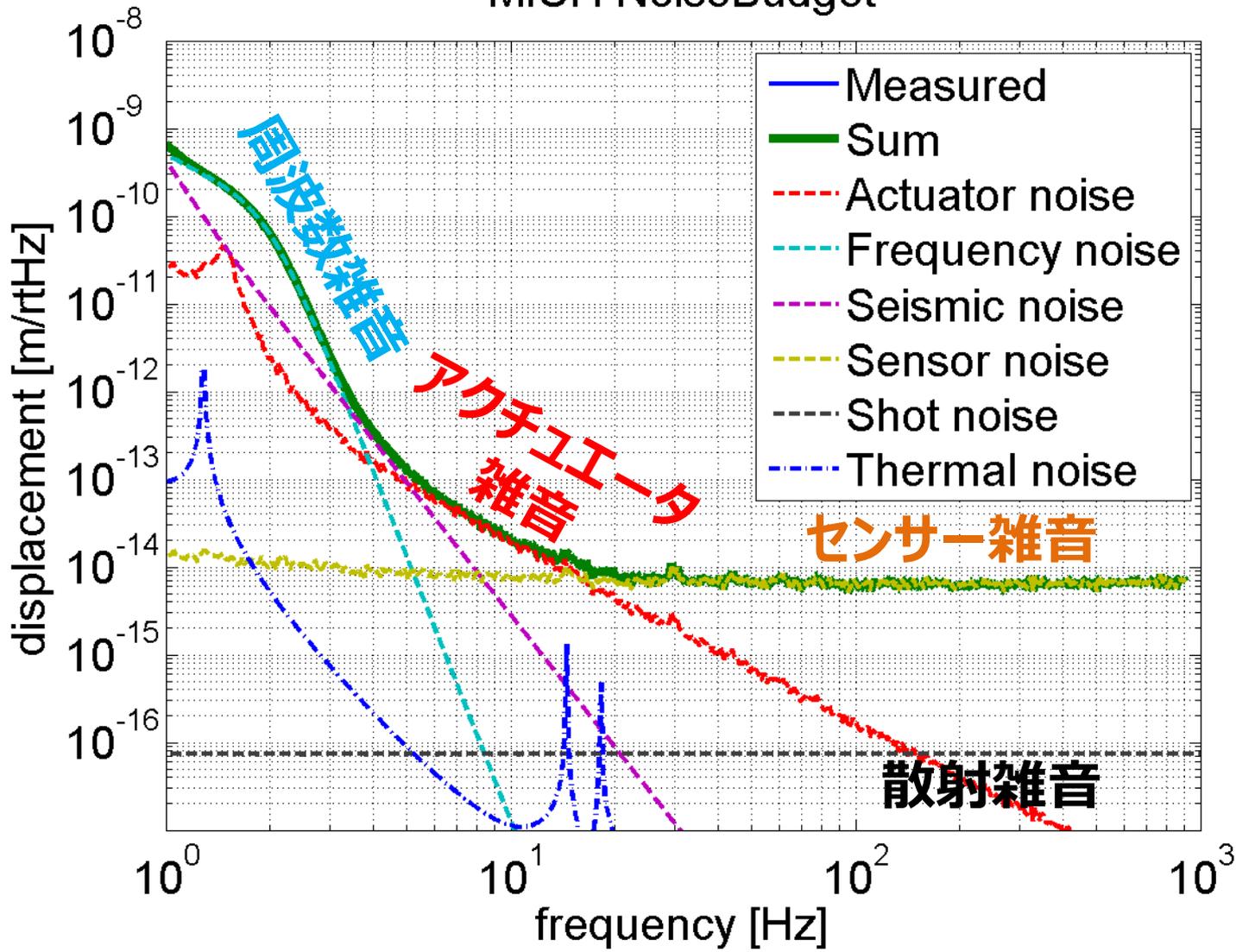
- UGF 50 Hz



Whitening/Dewhitingなし

- 感度はADC/DAC雑音により大きく悪化

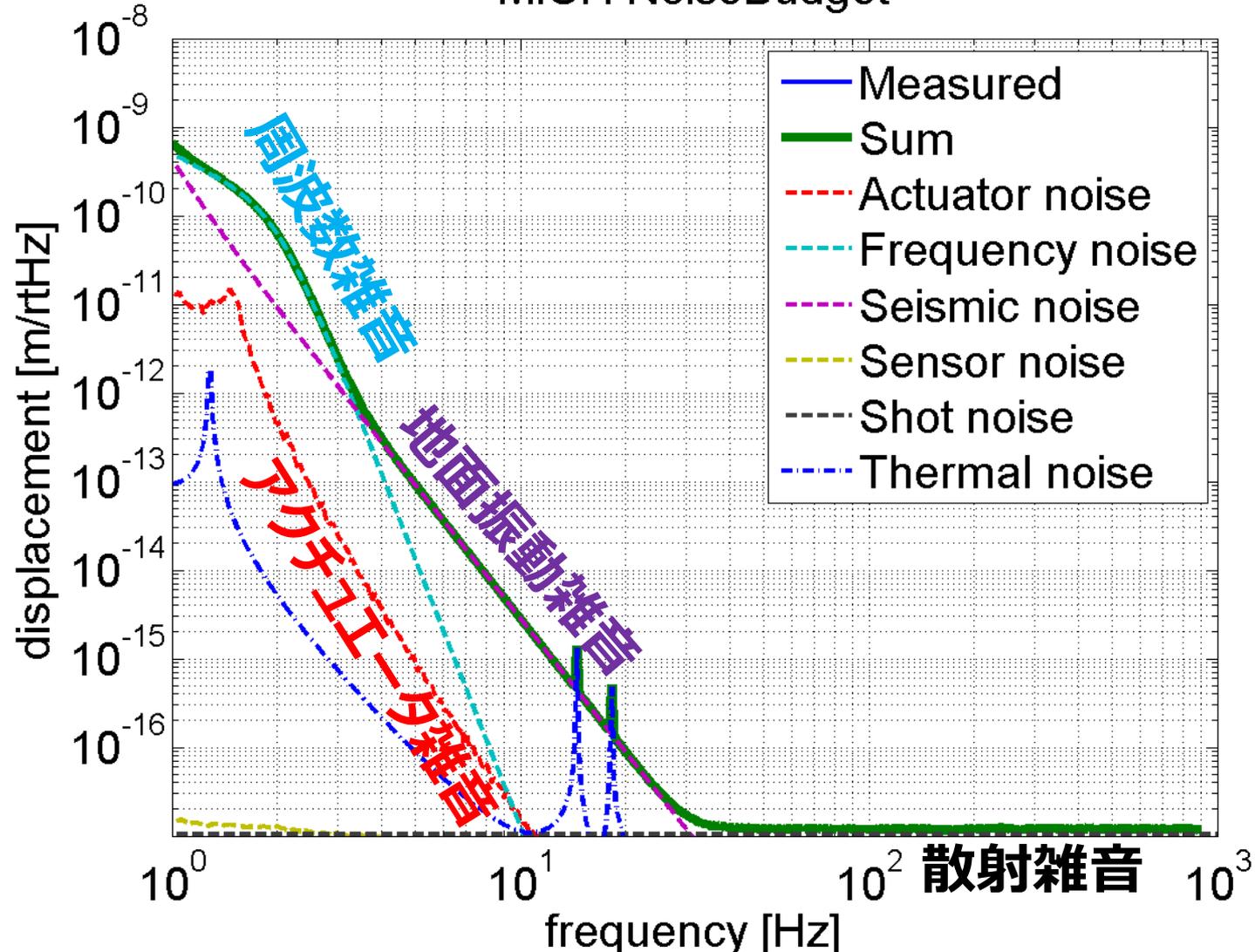
MICH NoiseBudget



50W入射、アクチュエータ効率1/50

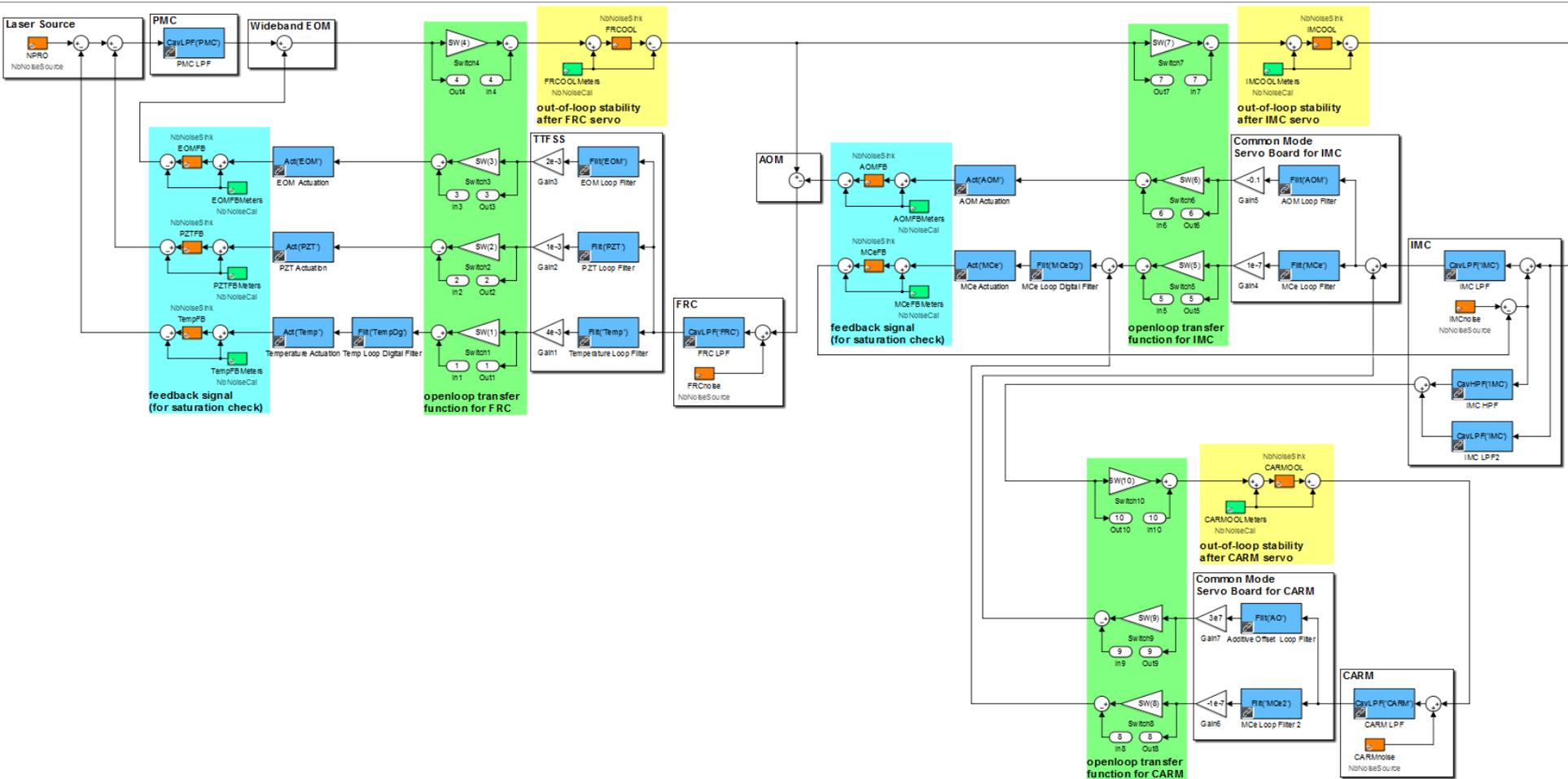
- 原理雑音に制限されるようになる

MICH NoiseBudget



周波数雑音

- 周波数安定化モデルにより見積もった



周波数雑音の内訳

- 周波数安定化モデルにより見積もった

