

干渉計型重力波検出器TAMA300

開発の現状 XIII (干渉計開発)

国立天文台, 東大宇宙線研^A, 東大天文^B, 東大地震研^C, ピサ大^D,
カリフォルニア工科大^E, コロンビア大^F, 東工大^G, 情報通信研^H,
東大理^I, 東大新領域^J, 阪市大^K, 電通大^L, **TAMA Collaboration^M**

新井宏二, 辰巳大輔, 高橋竜太郎, 中川憲保^A, 我妻一博^A, 荒瀬勇太^B,
福嶋美津広, 山崎利孝, 高森昭光^C, **A.Bertolini^D, R.DeSalvo^E**, 佐藤修一,
麻生洋一^F, 阿久津智忠^B, 常定芳基^G, 長野重夫, 安東正樹^I, 三代木伸二^A,
森脇成典^J, 神田展行^K, 武者満^L, 藤本眞克, 川村静児, 三尾典克^J,
大橋正健^A, 黒田和明^A, 坪野公夫^I, **TAMA Collaboration^M**

Overview

● 低周波防振装置SASのインストール

4台のSASのインストールが完了

⇒ 干渉計実験が可能になった

● Locked Fabry-Perot干渉計

Locked FPの動作に成功

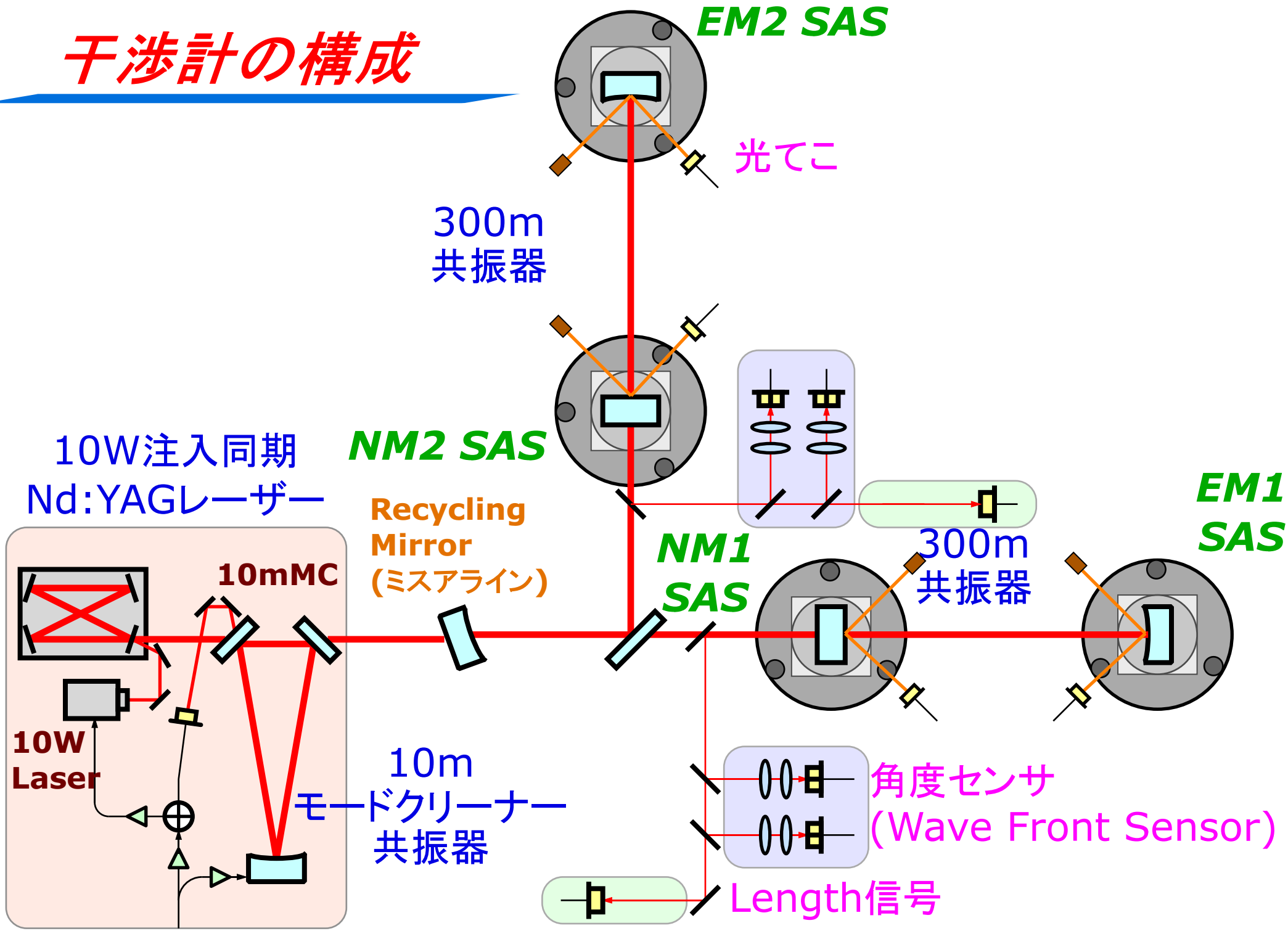
現在の干渉計の構成と性能について報告

ロック手順

感度

低周波性能の評価(変位・速度)

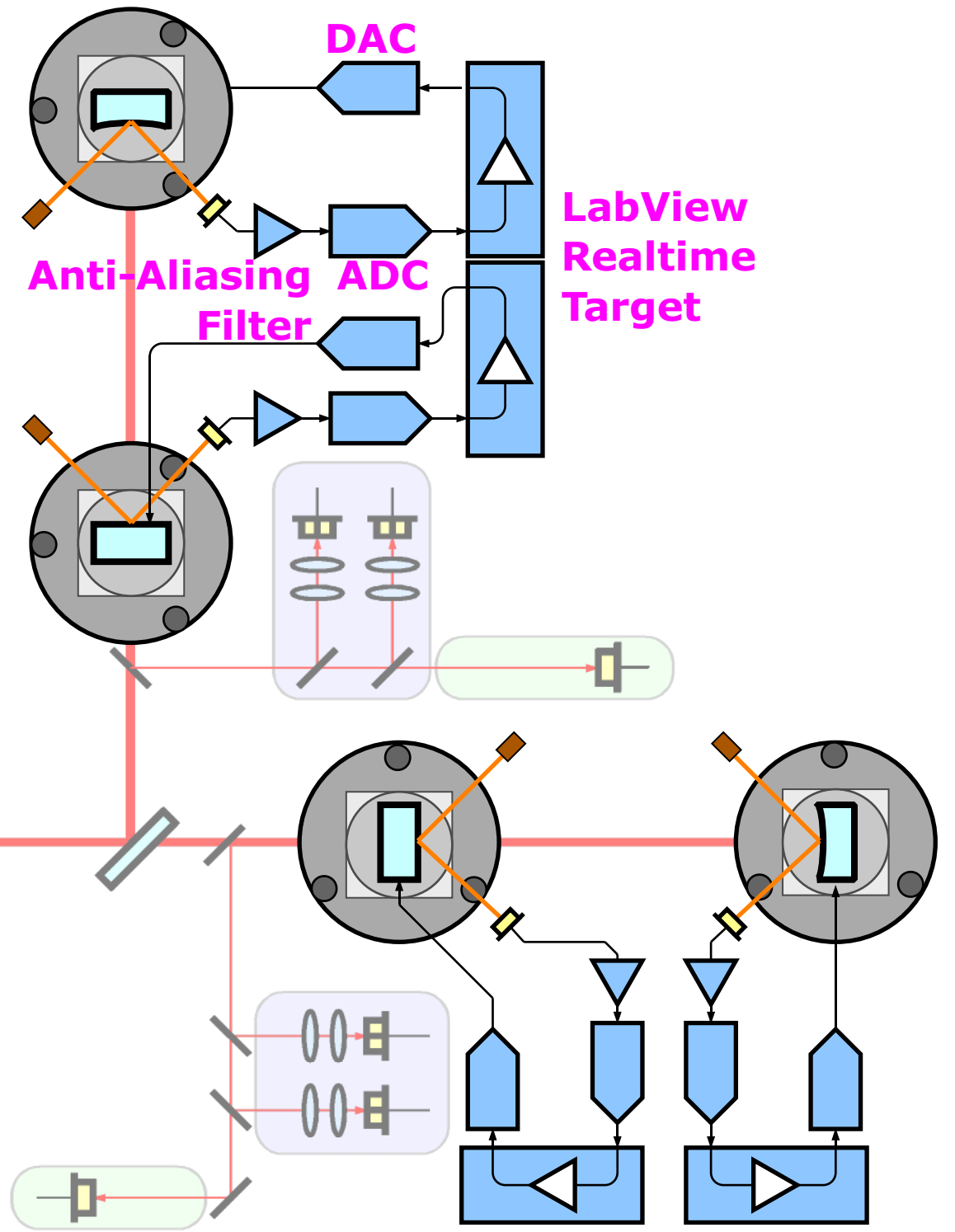
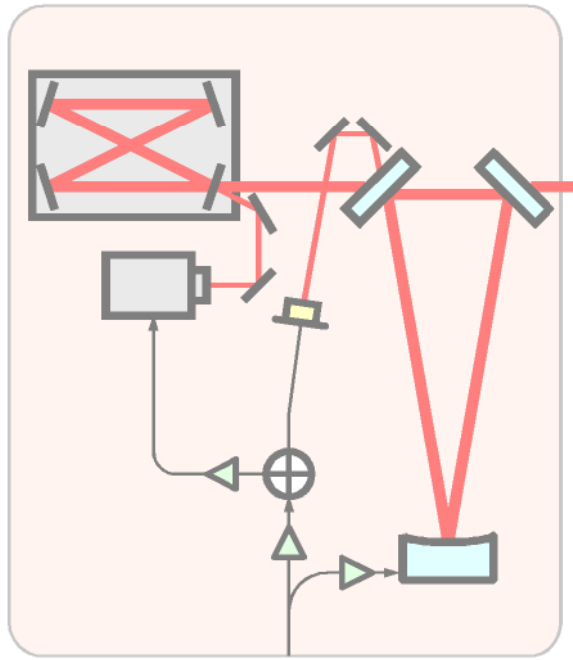
干渉計の構成



干渉計ロック(1)

各SASの鏡を光でこで制御
鏡のゆれ: 数 μ ~10 μ rad_rms
=>sub μ radまで制御

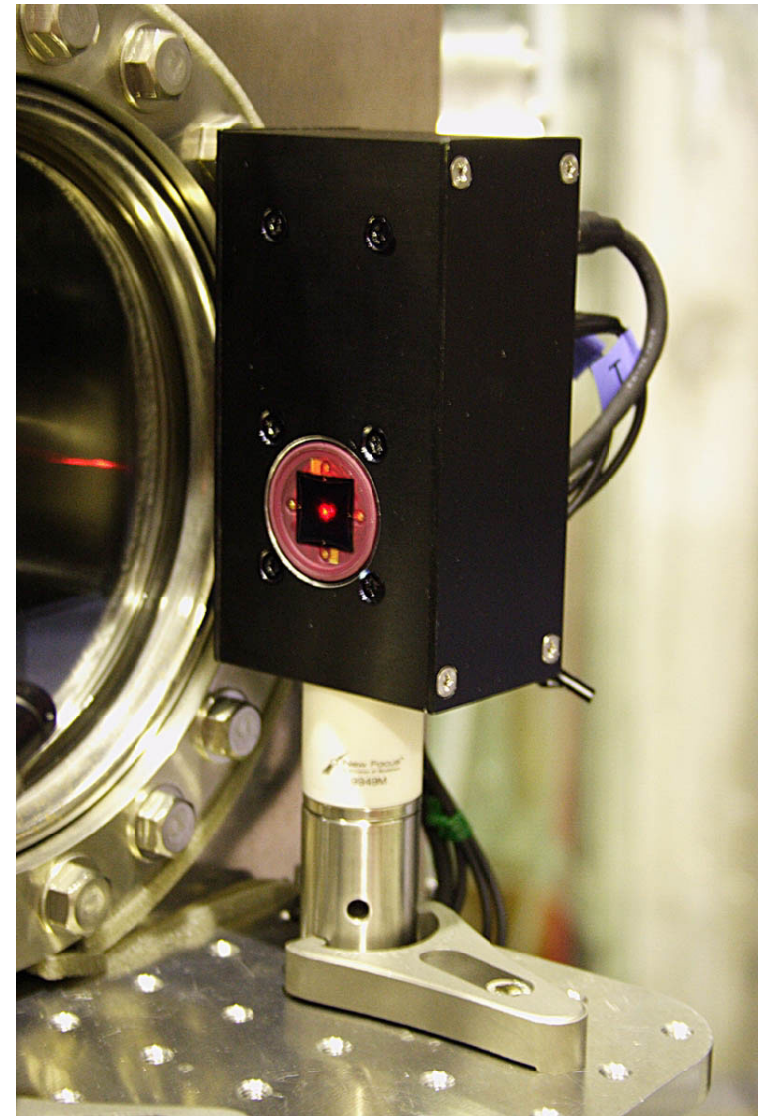
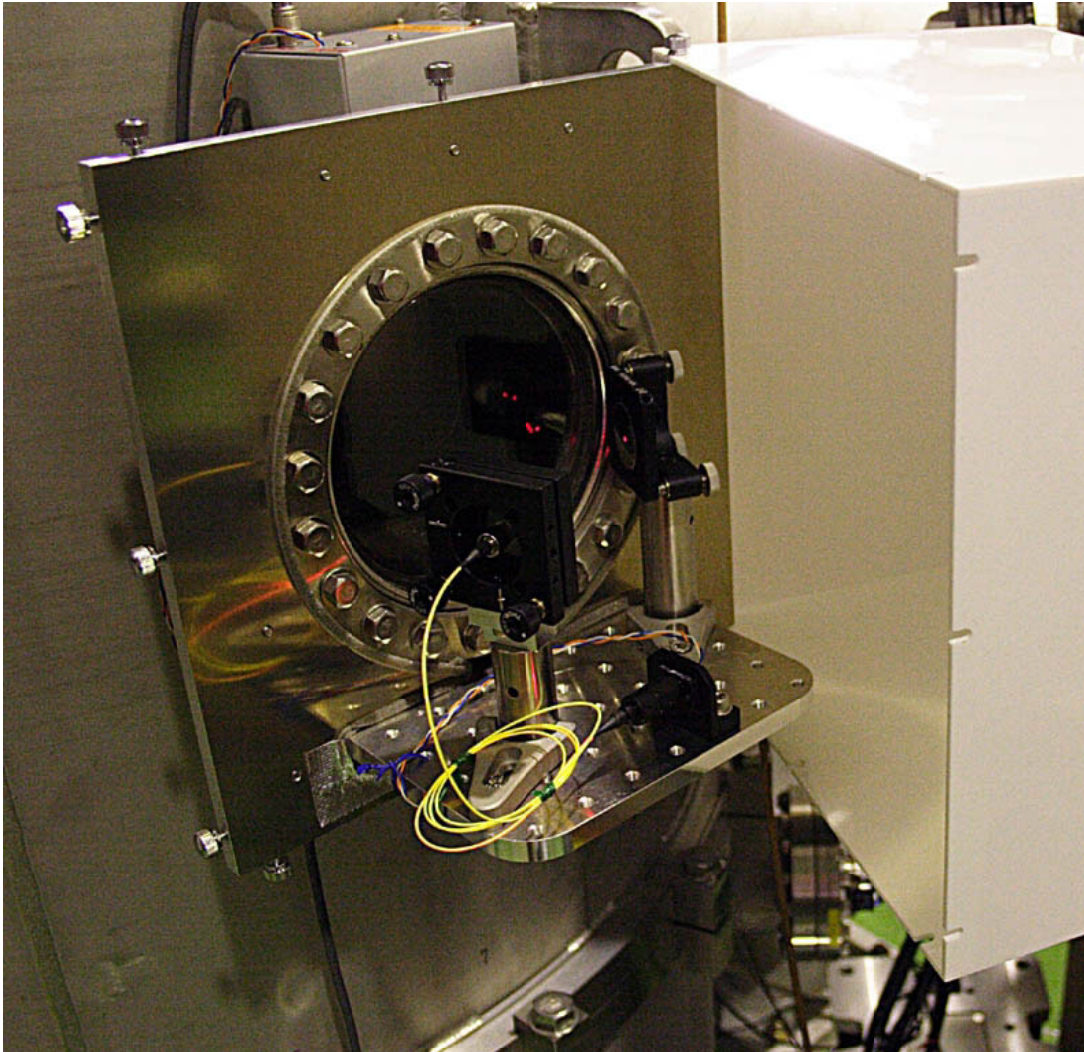
共振するようにアライメント



Optical Lever System

● Fiber-Pigtailed Diode Laser

窓フランジ光学台 + 風防



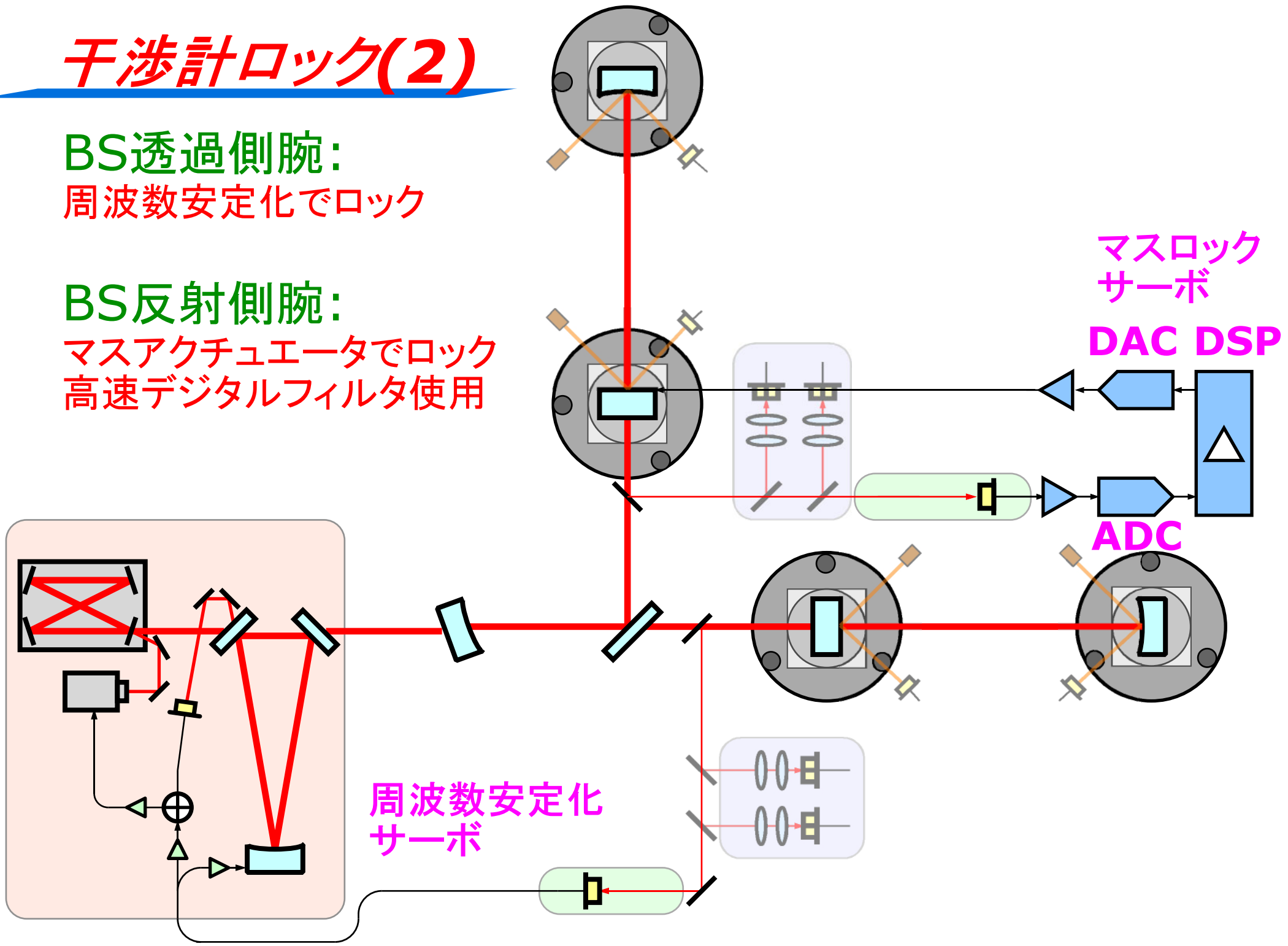
● Position Sensitive Detector

受光面12mm x 12mm

干渉計ロック(2)

BS透過側腕:
周波数安定化でロック

BS反射側腕:
マスアクチュエータでロック
高速デジタルフィルタ使用



Digital mass lock filter

● DSPを用いたデジタルフィルタ

アナログのmass lockフィルタに匹敵する速度

サンプリング周波数 200kHz

干渉計制御帯域 ~800Hz

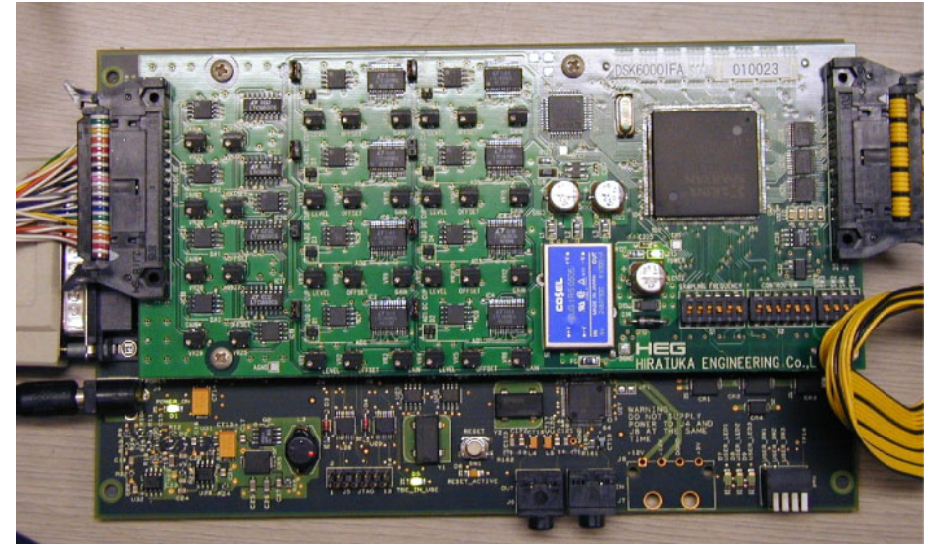
● 透過光量によるerror信号演算

共振付近でのみフィードバック

高次モード・サイドバンドが引き起こす不要信号を除去

透過光によるerror信号規格化

error信号の線形領域を拡張(約3倍)



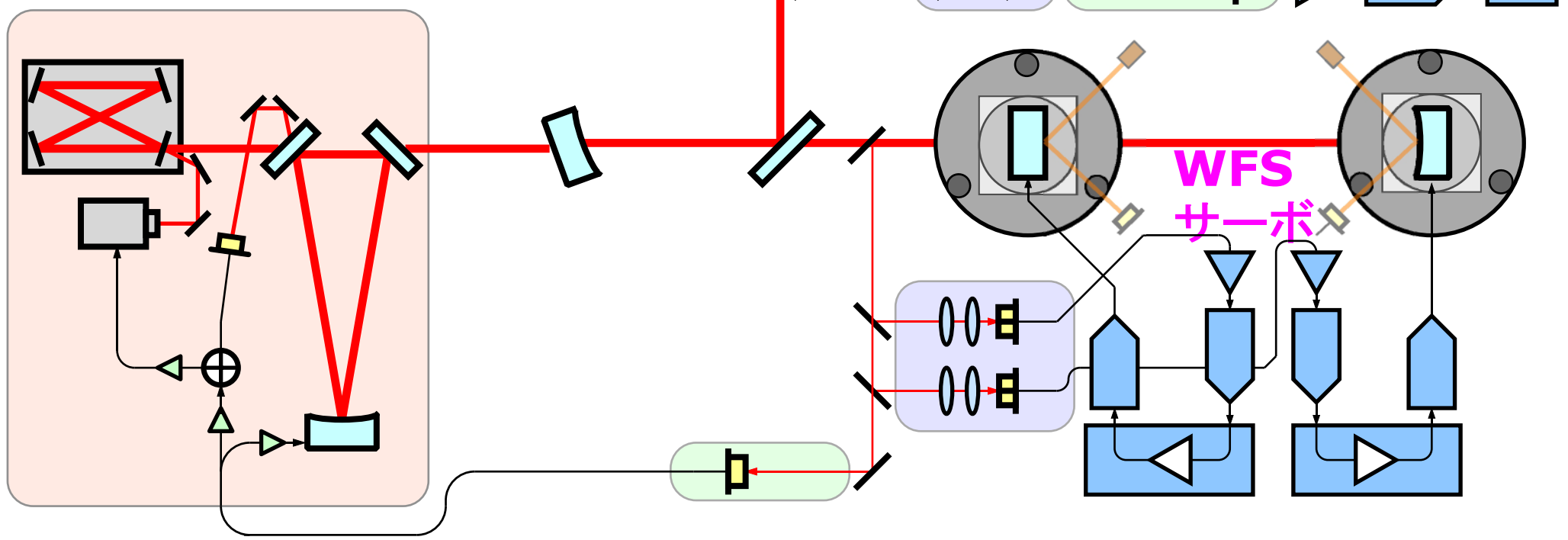
中川
JPS Talk 2005秋
JPS Talk 2006春

⇒ SASのアクチュエータ(従来比4倍弱い)でもロックが可能に

干渉計ロック(3)

光てこからWFSへ
制御引渡し

マスロック・ループの
preemphasis



Digital Alignment Control

● LabView RealTimeターゲット

500Hz sampling
制御帯域 ~10Hz

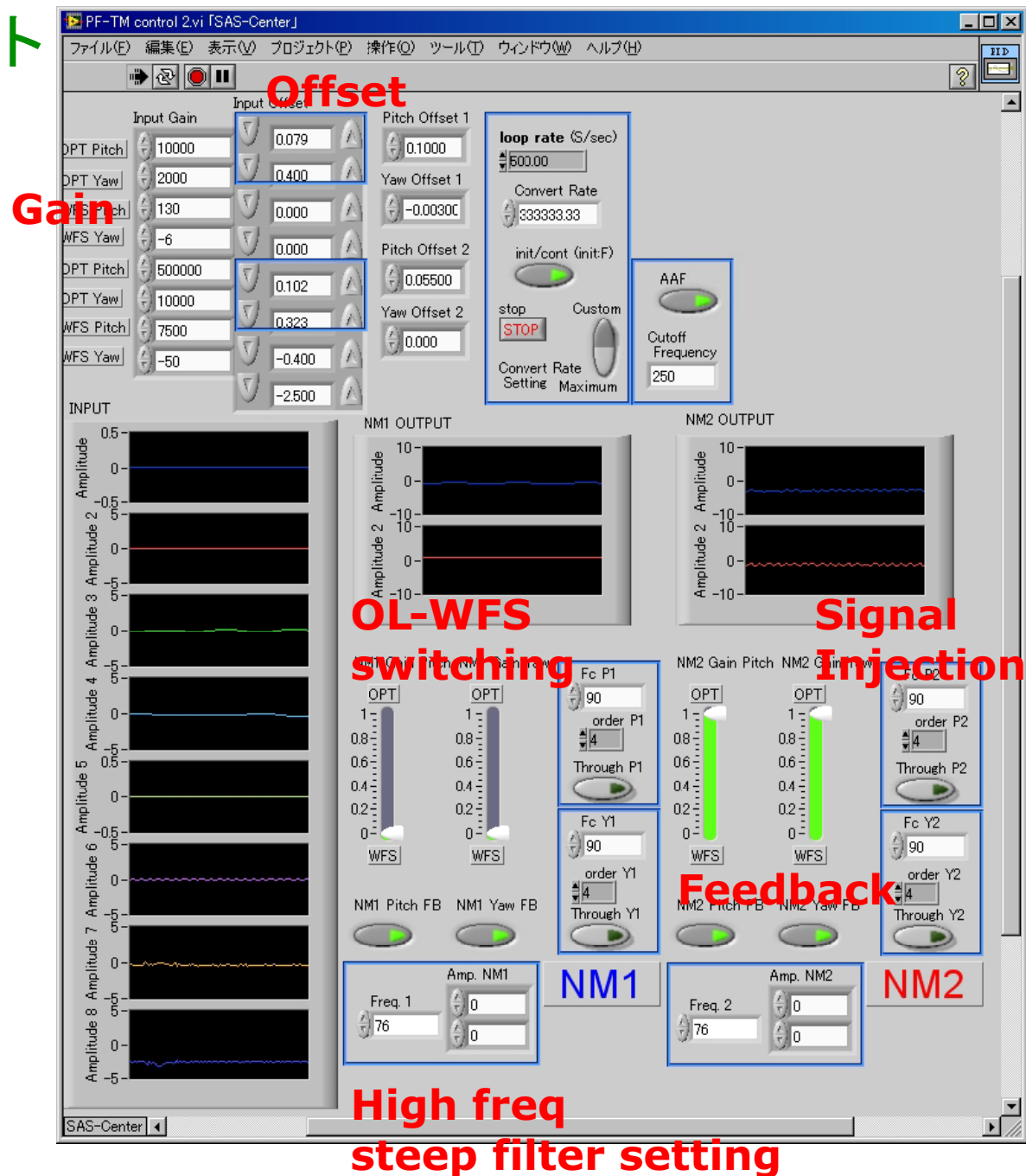
超低周波数pole/zeroの実現

OL->WFS シームレスに移行

信号注入

動的特性変更

X 時間遅延による位相遅れ
10Hzで20-25deg

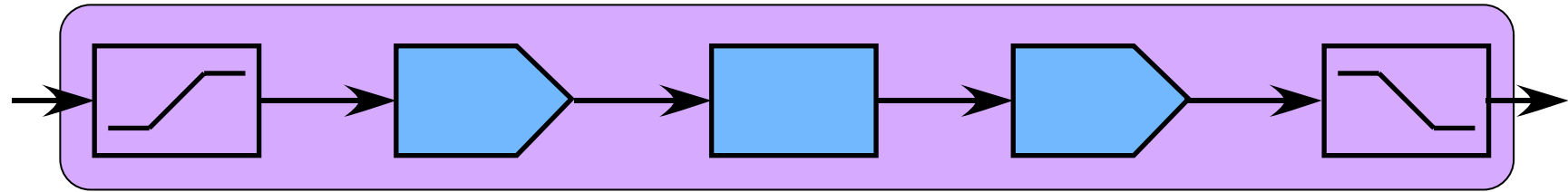


Pre-emphasis / De-emphasis

● 制御ループ内に相殺する伝達関数ペアを挿入

pre-emphasis filter / de-emphasis filter

信号レベルをアップ



pre-emphasis *ADC* *Digital* *DAC* *de-emphasis*
System

フィルタで挟まれた部分では雑音耐性が上がる

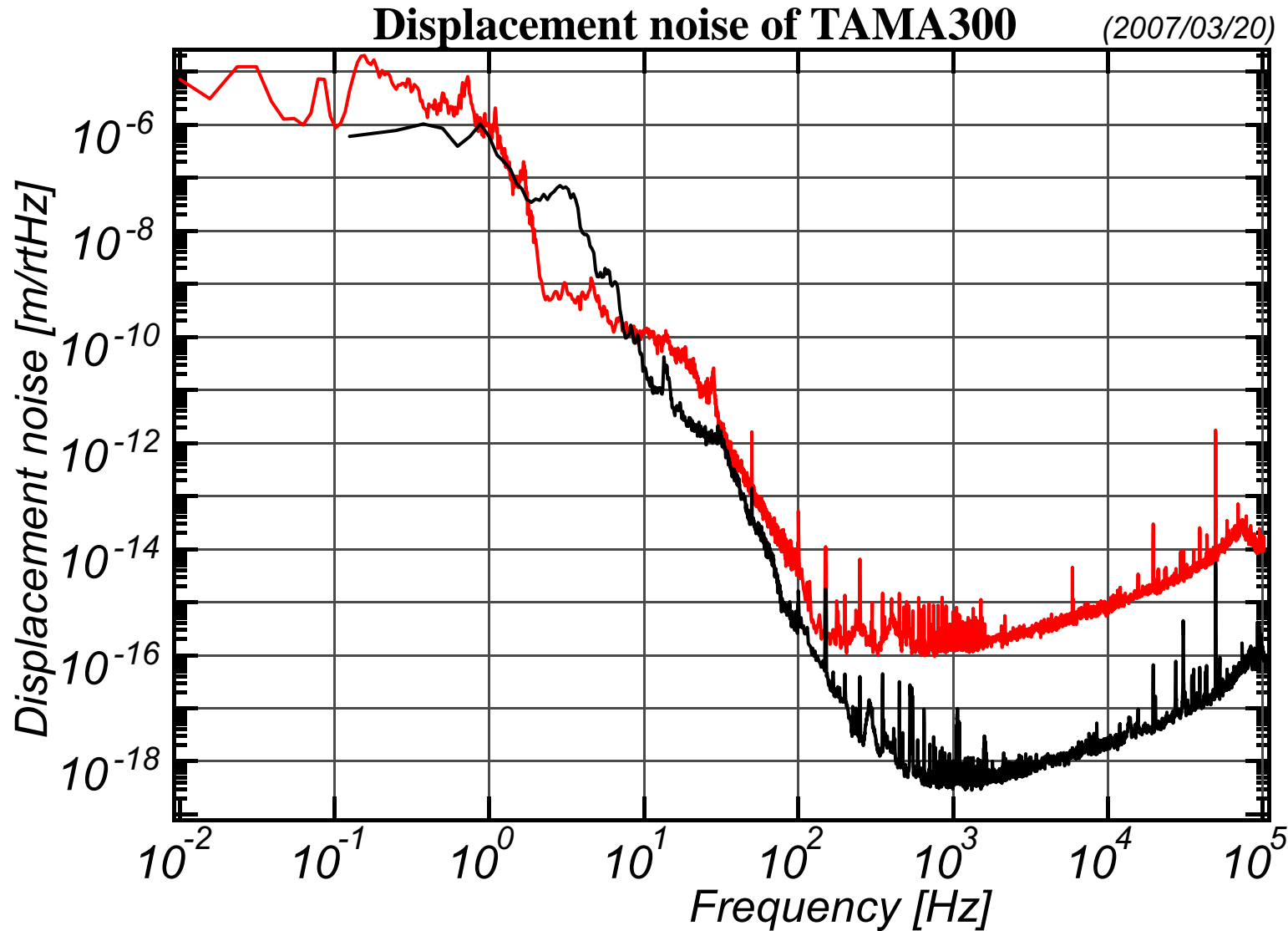
pre-emphasis: AD雑音を低減

de-emphasis: DA雑音を低減

※現在はLength filterで10倍のpre-emphasisのみ実施

Sensitivity

● Locked FP干渉計の感度



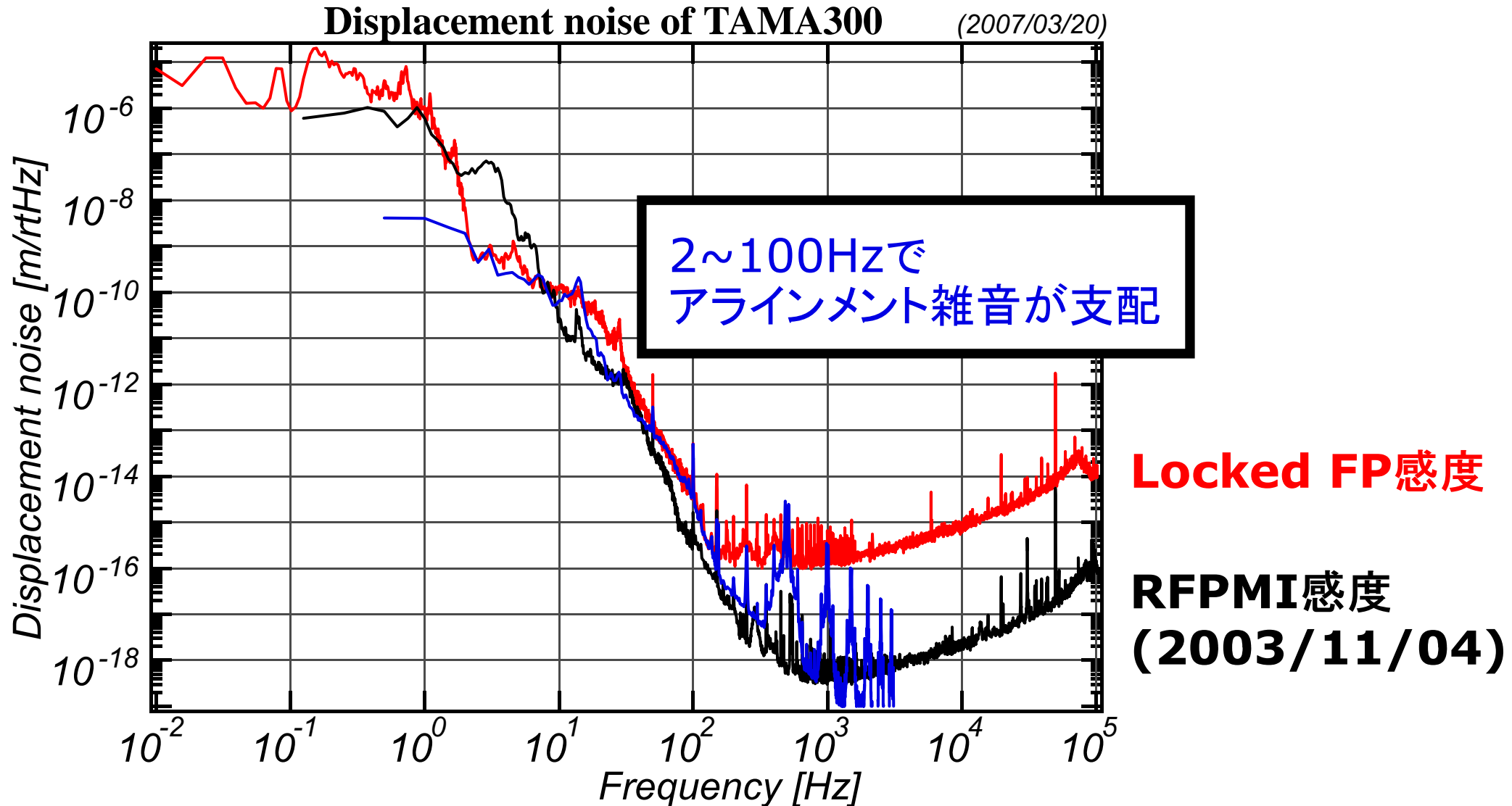
Locked FP感度

**RFPMI感度
(2003/11/04)**

フロアレベル: 1.5×10^{-16} m/rtHz@200Hz~1.5kHz

Sensitivity

● Locked FP干渉計の感度



フロアレベル: 1.5×10^{-16} m/rtHz@150Hz~1.5kHz

Alignment noise現状

●調整不十分

制御帯域10Hz / 4次バターースLPF 90Hz ...周波数高すぎ

カップリング $10^{-3} \sim 10^{-4}$ (スポットずれ1mm \sim 0.1mm) ...0.1mmに均一に

●WFS自体の問題

光てこよりうるさい帯域

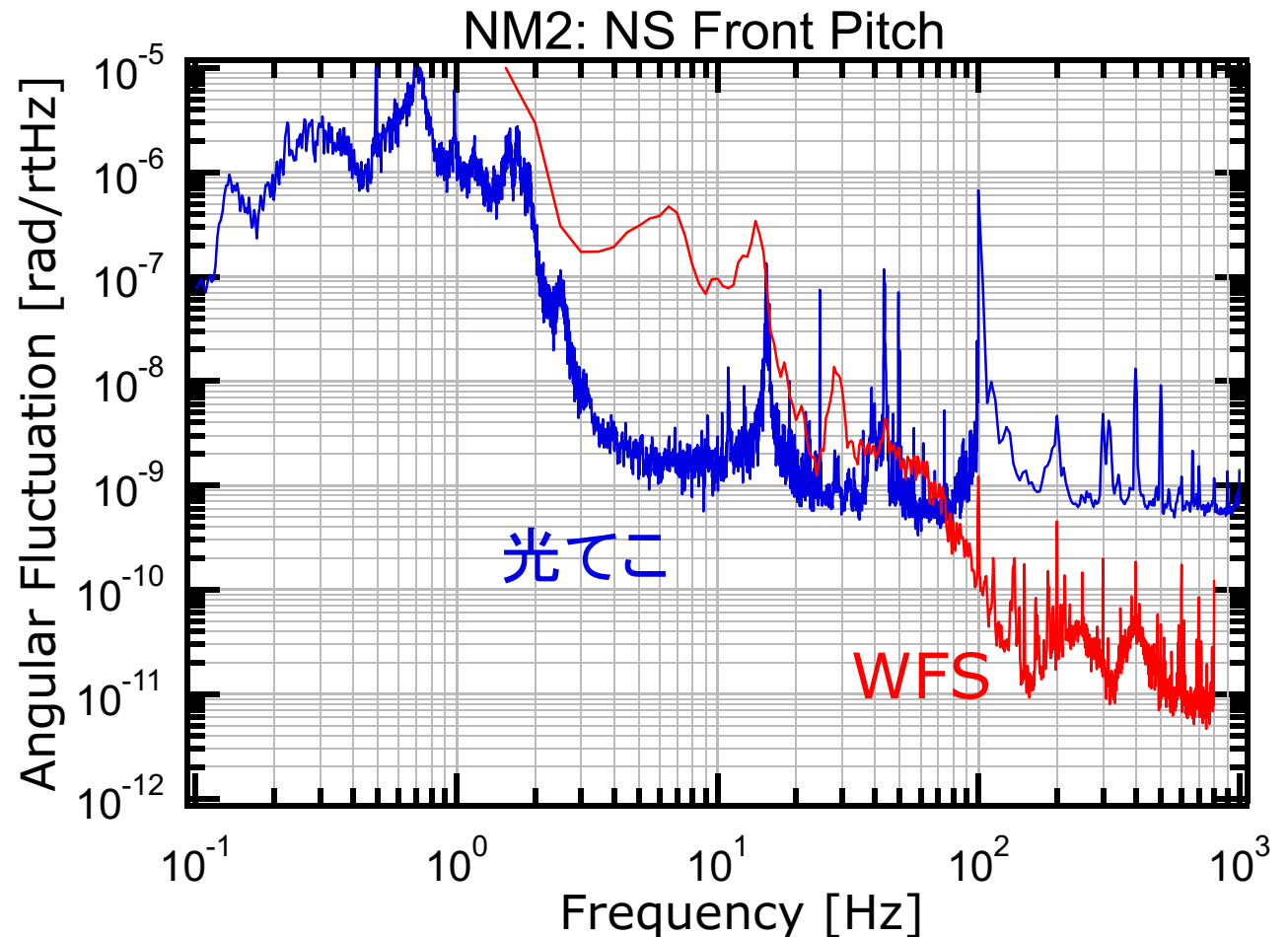
散乱?(Recycling Mirror)

Beam Jitter?

アライメントポロジの刷新

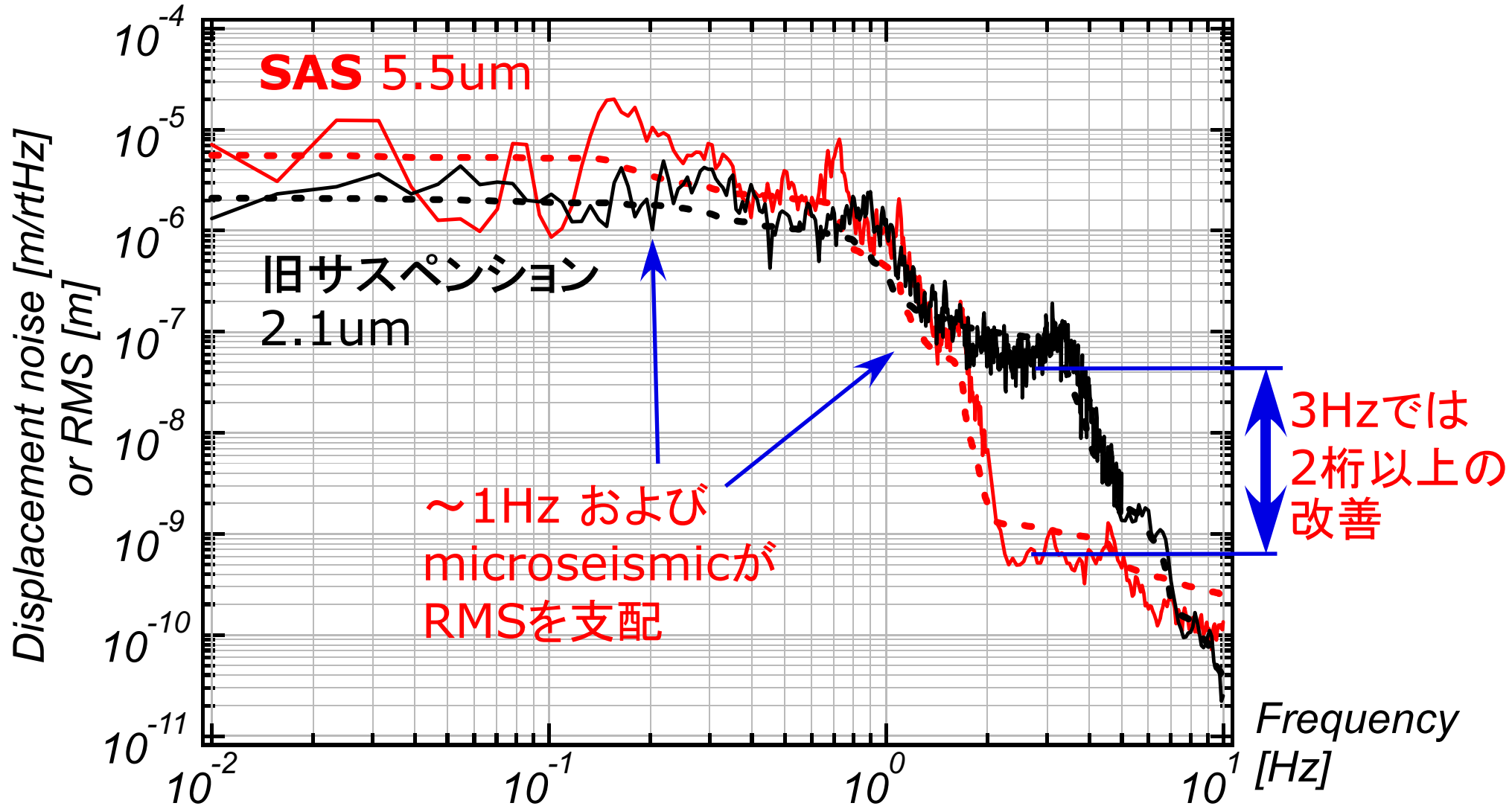
MCでのBeamjitterの

安定化制御など



SASの評価～低周波領域

● 変位RMS ～ ロックアクイジションに関わる



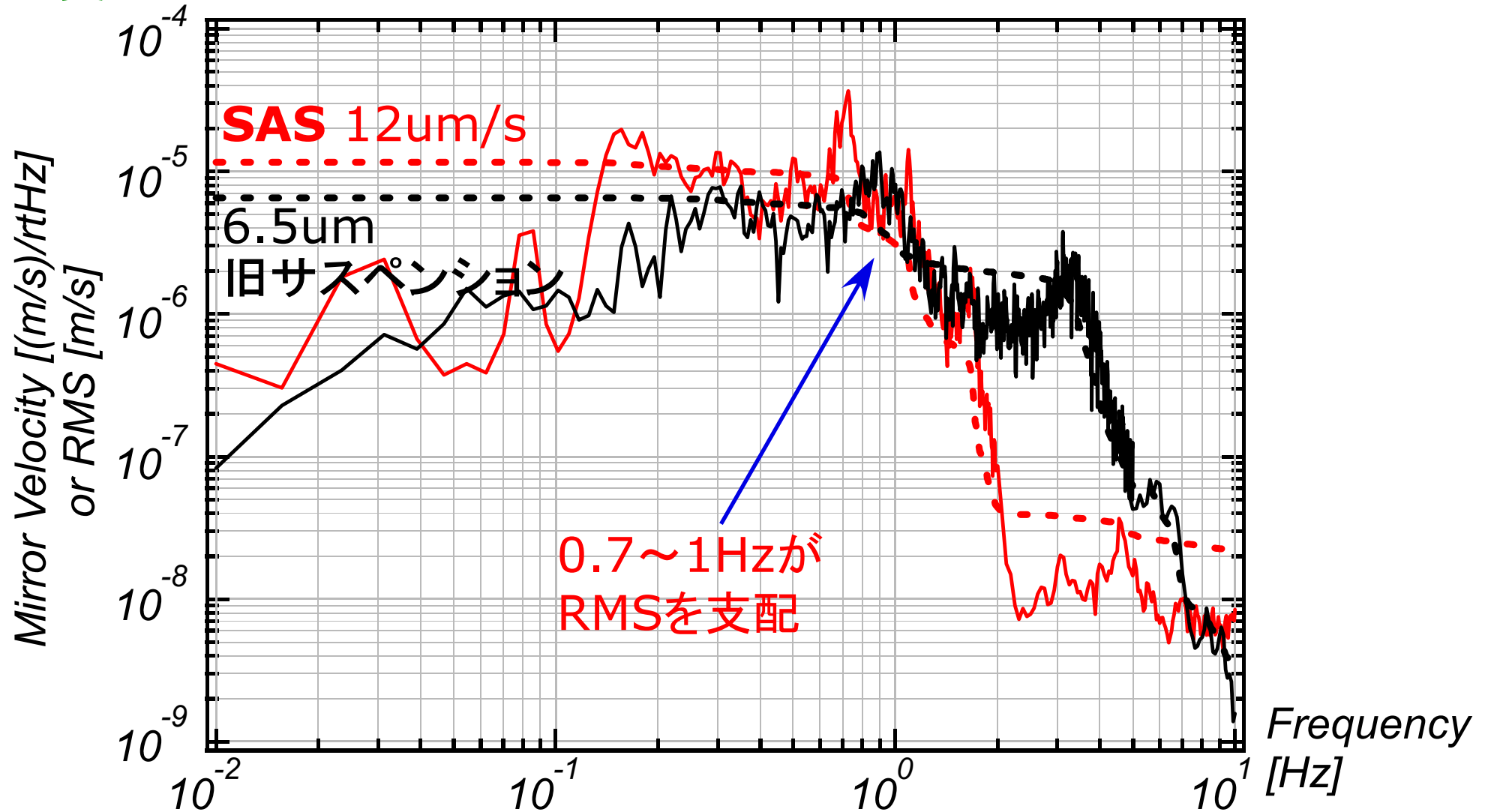
アクチュエータレンジ: $4.5\mu\text{m V/m} \times 20\text{V} = 90\mu\text{m}$ (per SAS)

ドリフトコントロール無しで2-3時間連続ロック

今後はIP制御(加速度計制御など)によりRMS低減を図る

SASの評価～低周波領域

●速度RMS ～ ロック後の安定度に関わる



デジタルフィルタの使用によりロック可能なレベルだが
今後のリサイクリング実験などを考えると、
IP制御の調整などでより落としていく必要がある。

Summary

●4台のSASでの300m共振器のLocked FP動作

周波数安定化以外にはデジタルサーボ使用

感度: 1.5×10^{-16} m/rtHz@150Hz~1.5kHz

●アライメント雑音に関して

アライメント帯域が広すぎた(~10Hz, バタワース90Hz)

WFSが光てこよりうるさい帯域がある

=>今後の調整およびサーボポロジの検討

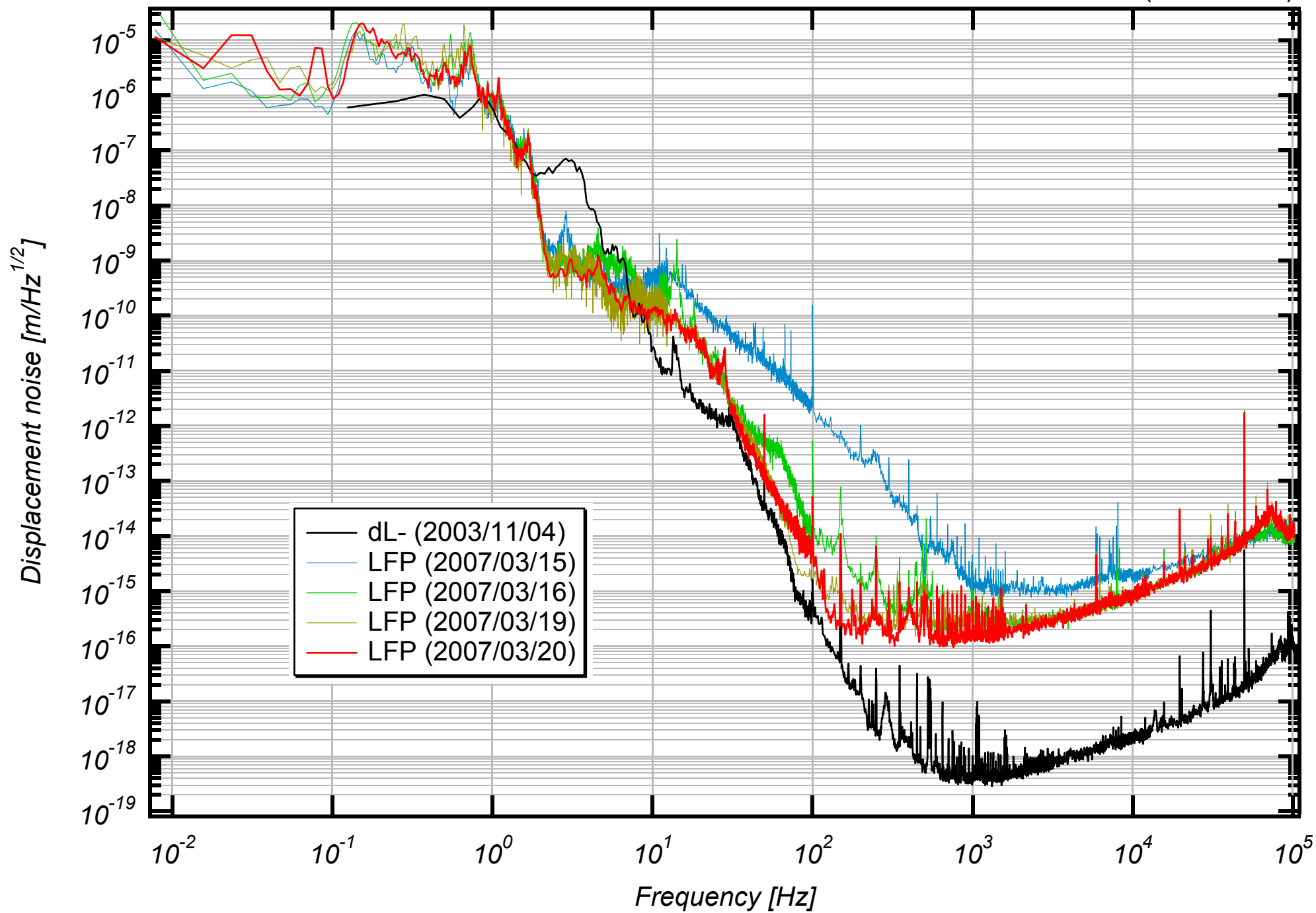
●低周波でのRMS変動

変位: 5.5um 速度: 12um/s

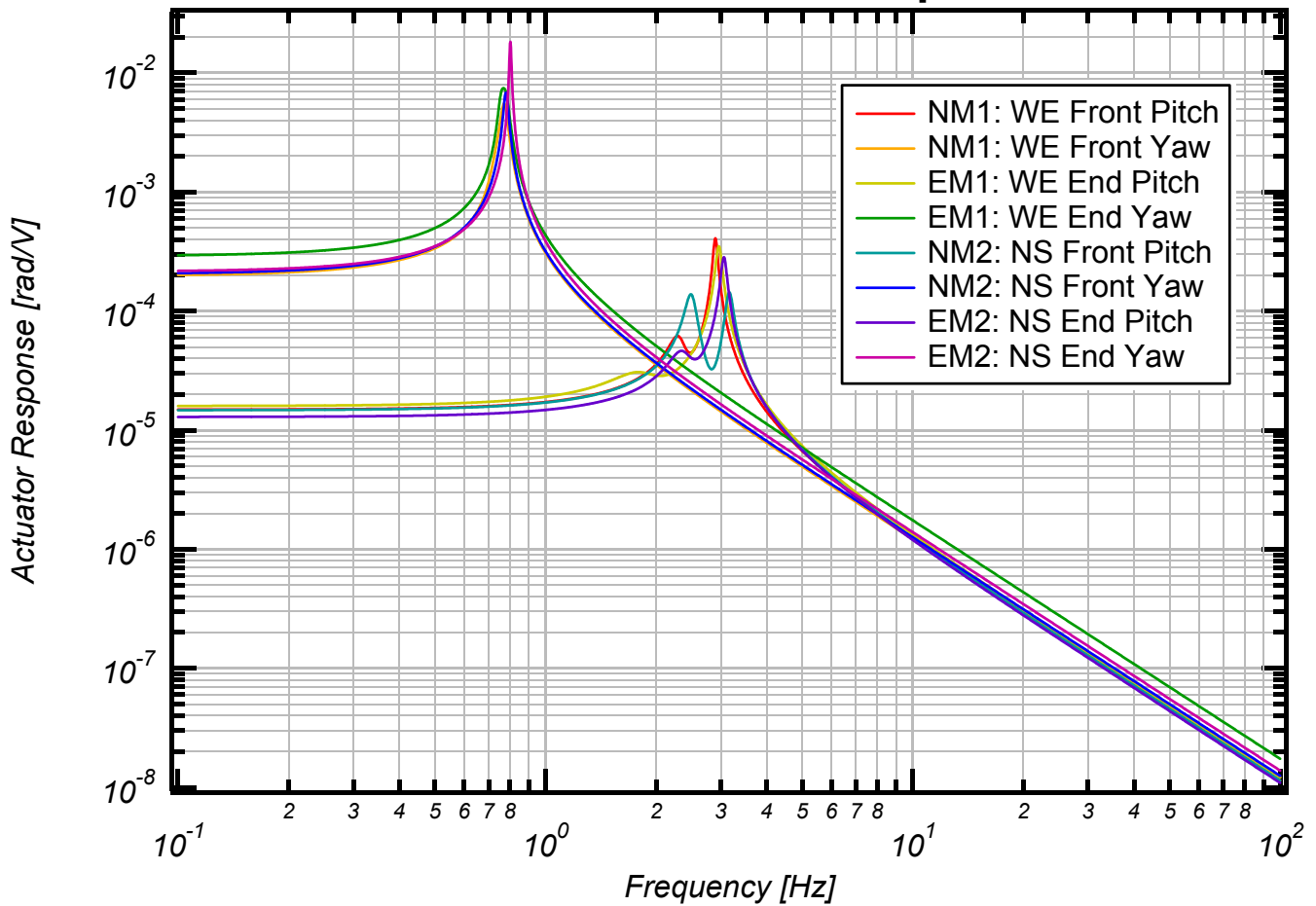
=>IPチューニング・加速度計制御等で対処

Locked Fabry-Perot: Displacement Sensitivity

(2007/03/20)



Test Mass Actuator Response



NM1: WE Front Pitch

factor -14.84u
 pole 2.903 35.04
 pole 2.317 9.109
 zero 2.428 6.981

NM2: NS Front Pitch

factor -14.69u
 pole 3.165 21.03
 pole 2.498 13.92
 zero 2.840 7.481

NM1: WE Front Yaw

factor 197.7u
 pole 773.4m 22.17
 pole 734.7m 8.451
 zero 727.4m 6.540

NM2: NS Front Yaw

factor 204.7u
 pole 781.0m 33.35

EM1: WE End Pitch

factor -15.93u
 pole 2.968 26.79
 pole 1.837 3.063
 zero 1.973 2.569

EM2: NS End Pitch

factor -12.89u
 pole 3.063 27.21
 pole 2.366 6.555
 zero 2.494 4.826

EM1: WE End Yaw

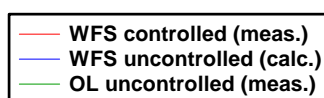
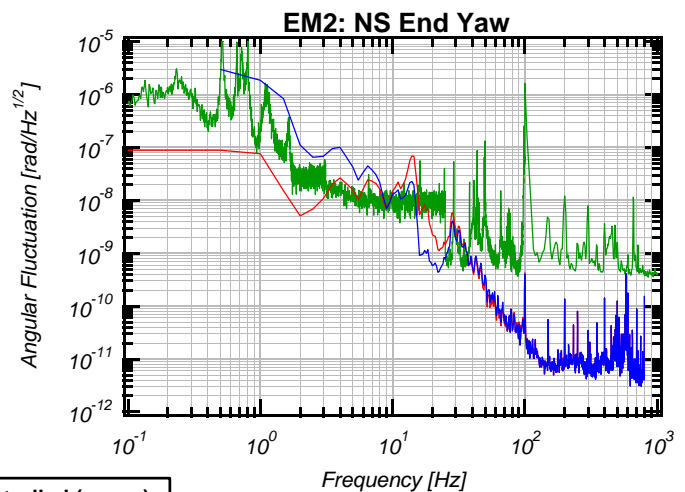
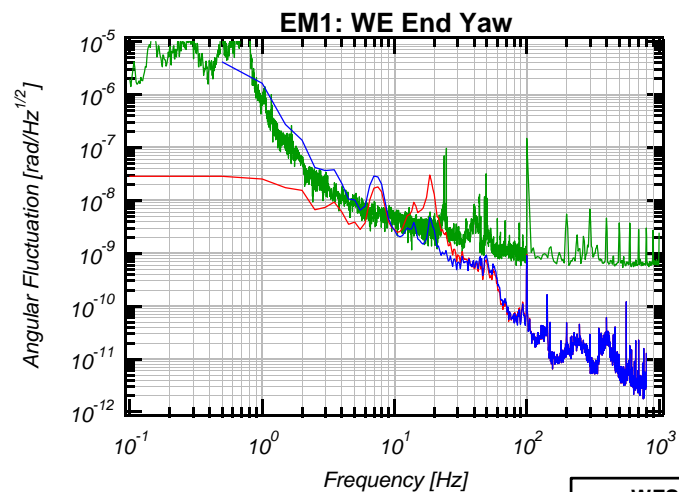
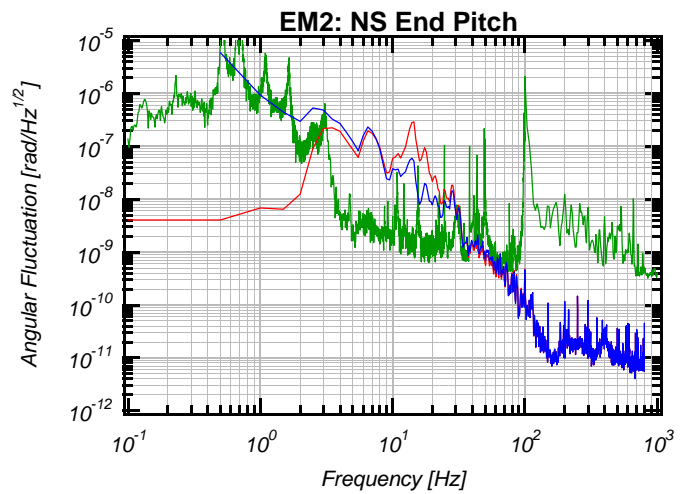
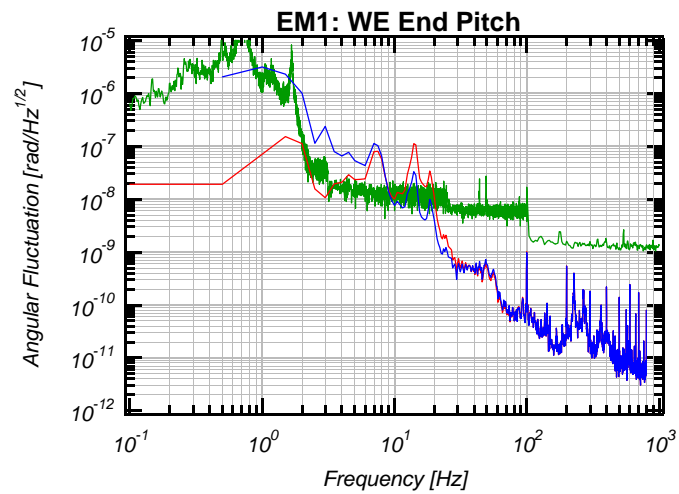
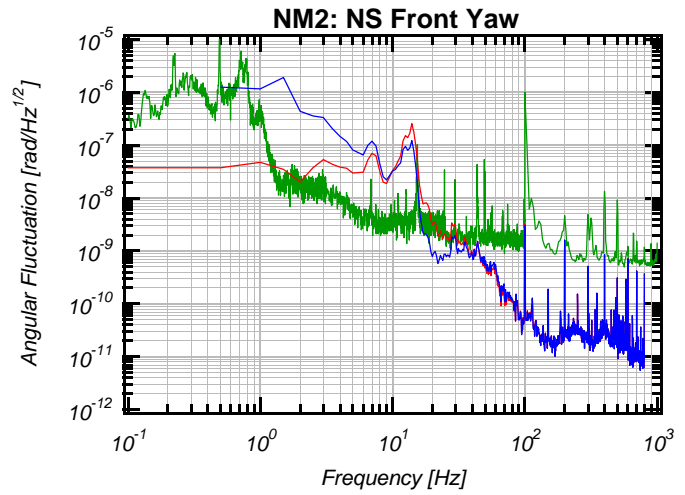
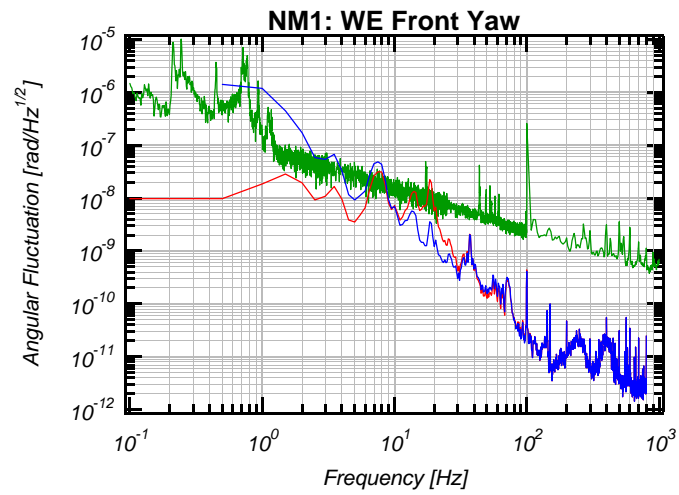
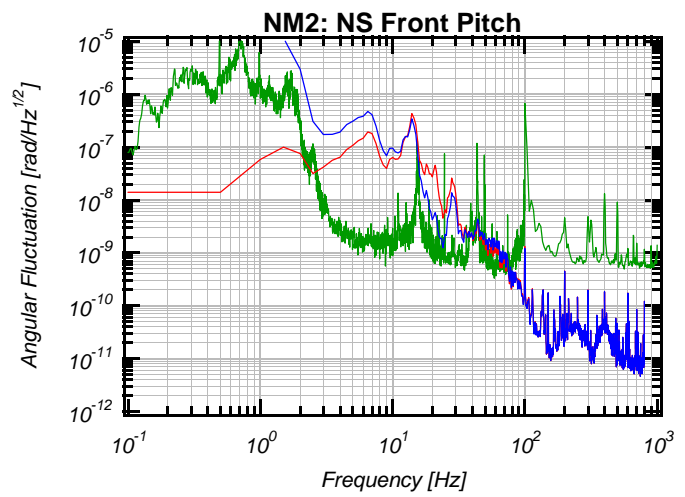
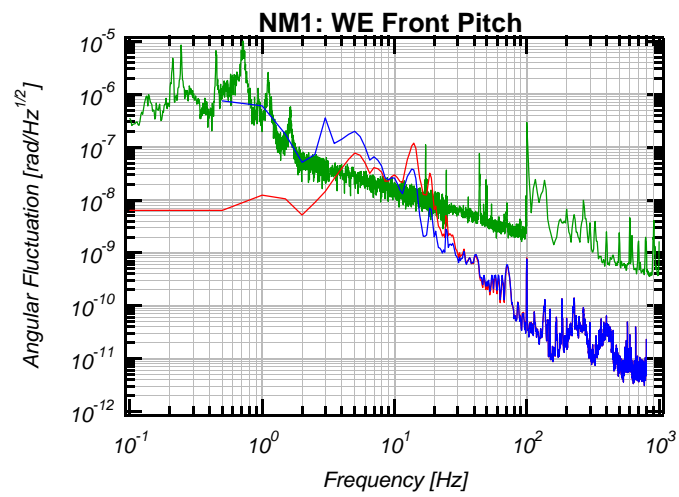
factor -289.2u
 pole 781.1m 19.67
 pole 757.5m 22.34
 zero 763.6m 12.33

EM2: NS End Yaw

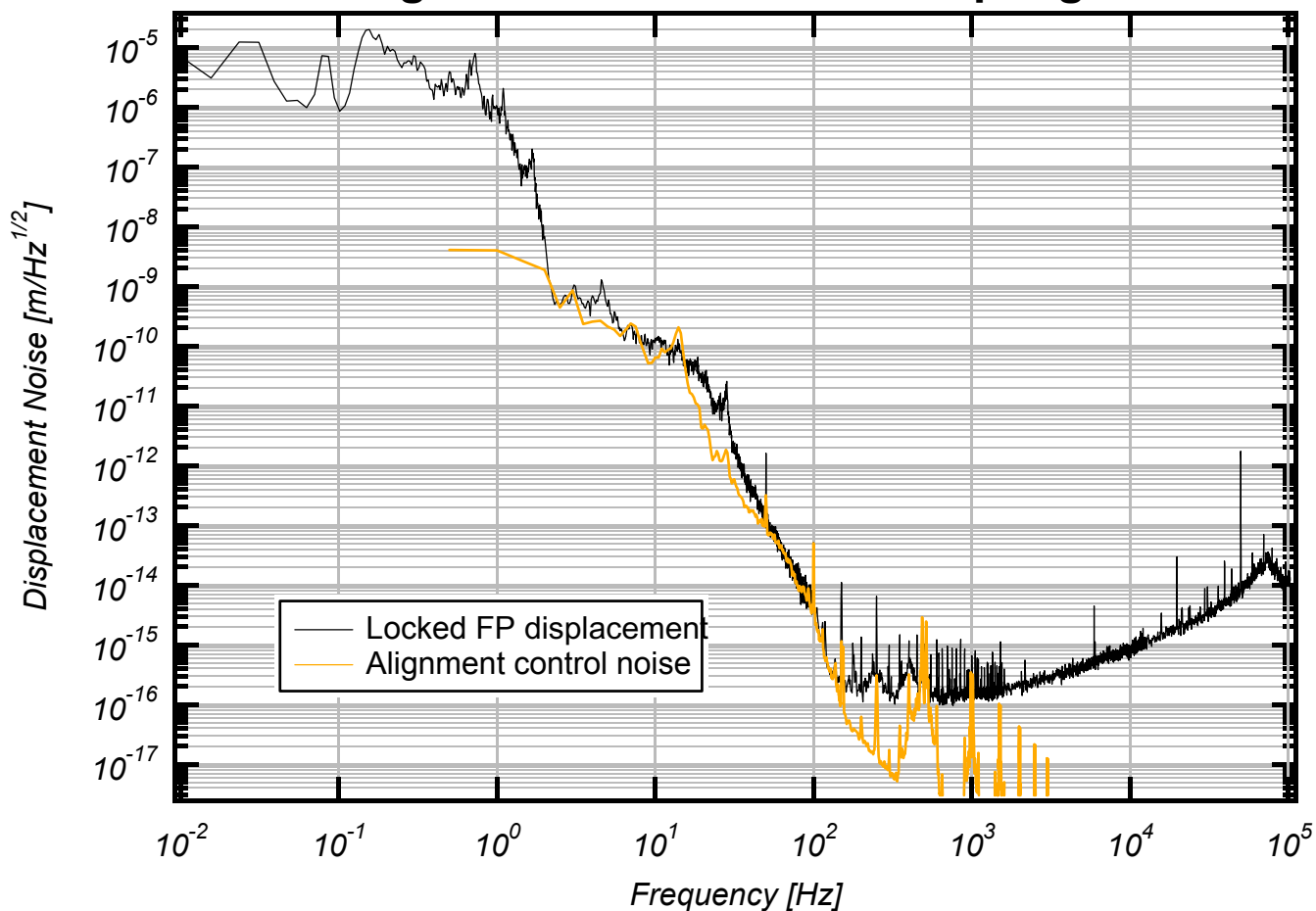
factor -214.1u
 pole 803.0m 85.77

Remarks:

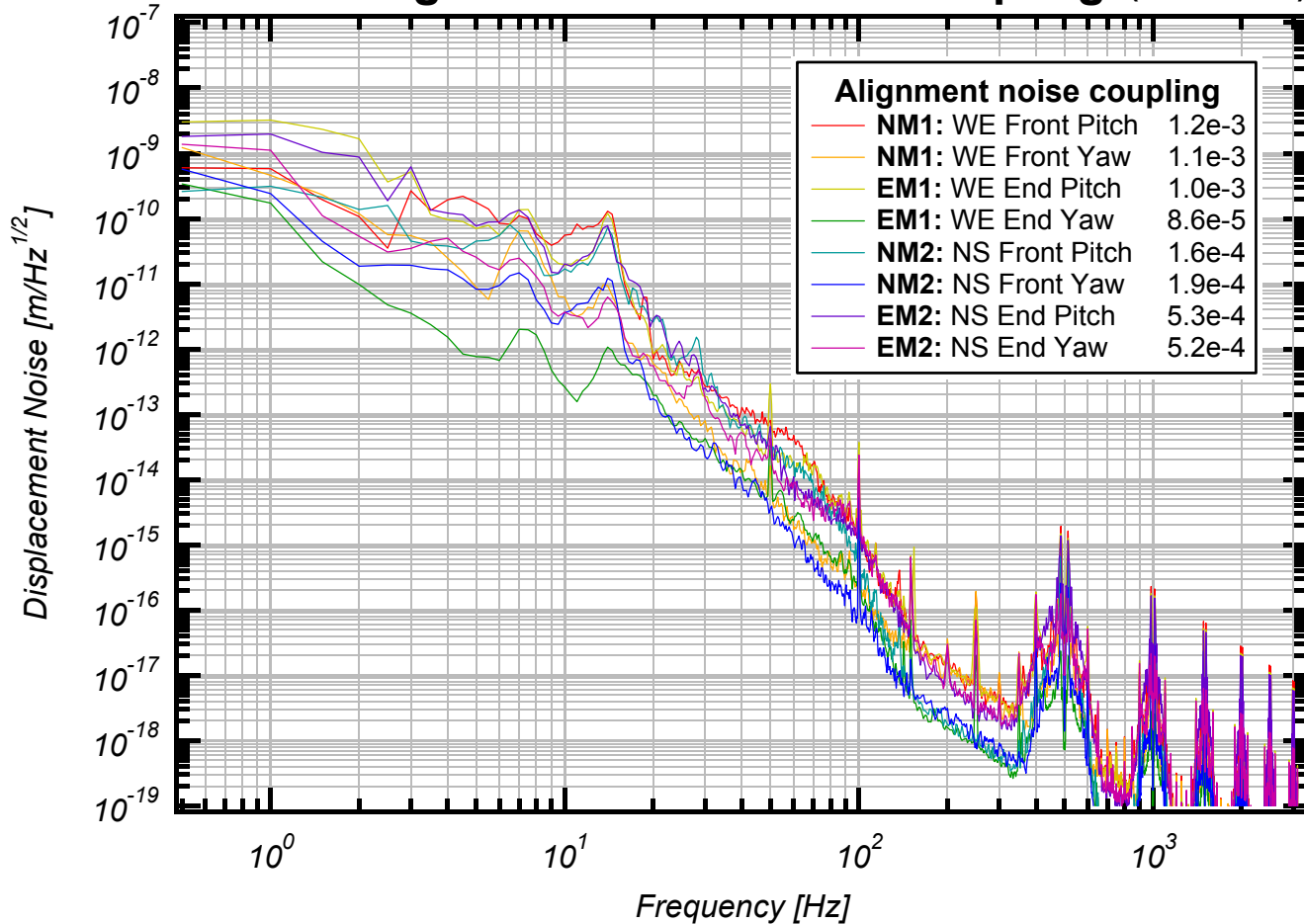
- pole/zeroはf,qの並び * m=10⁻³ u=10⁻⁶
- EM2は磁石が折れた分を回路で補正しているので現状もこのままとして良い



Alignment control noise coupling (2007/03/20)

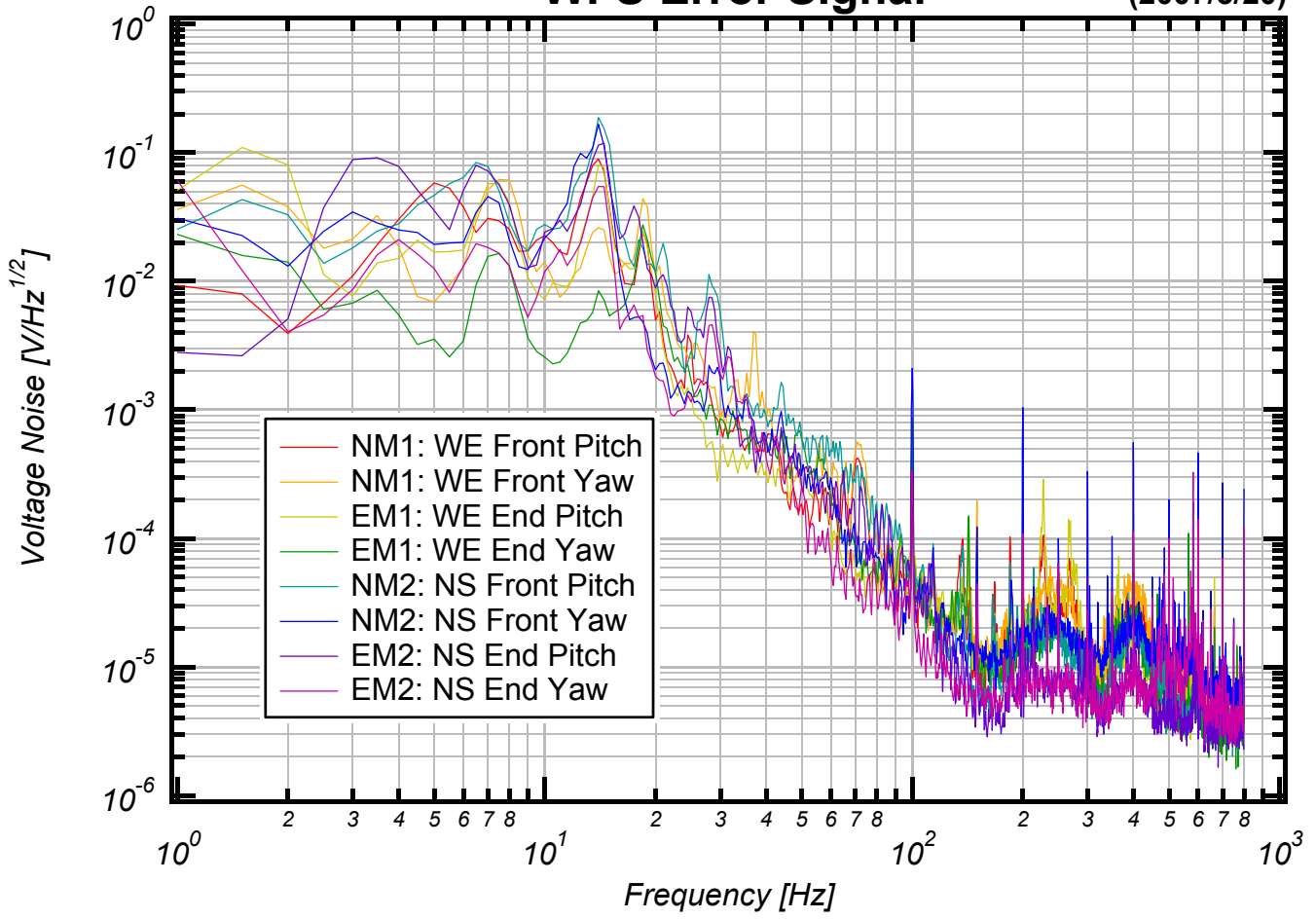


Alignment control noise coupling (2007/03/20)



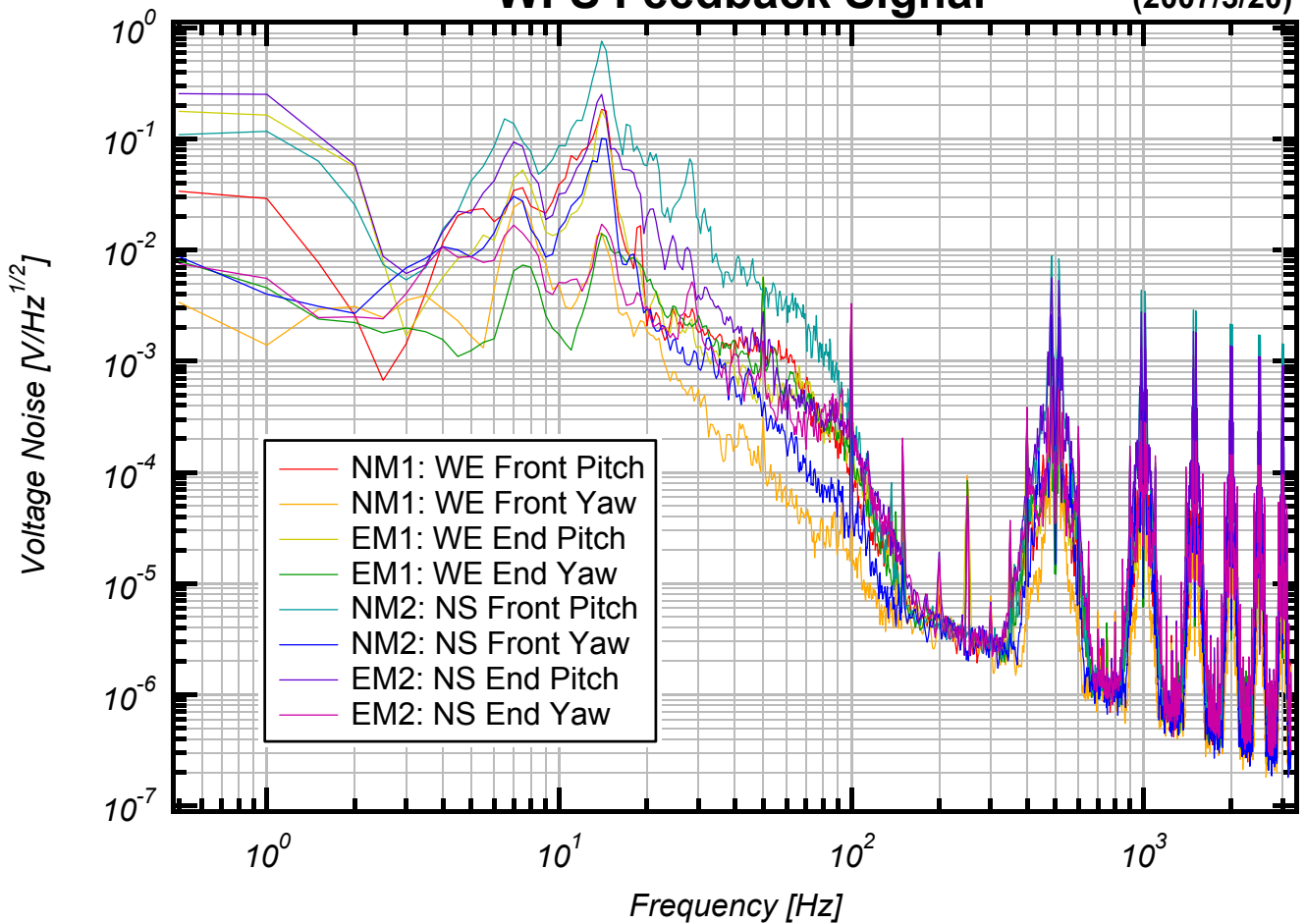
WFS Error Signal

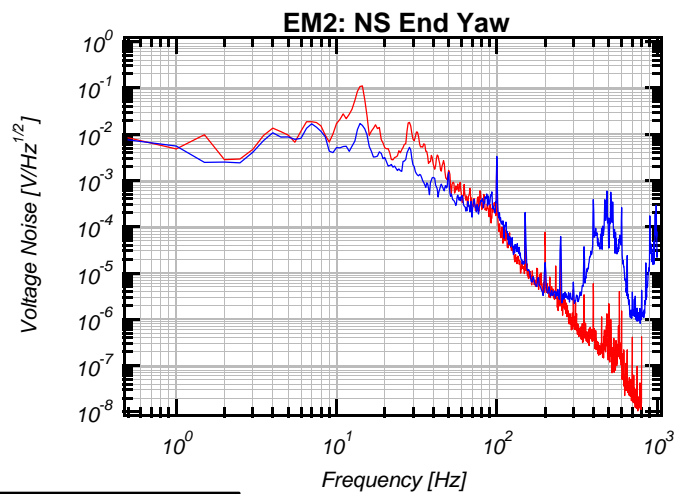
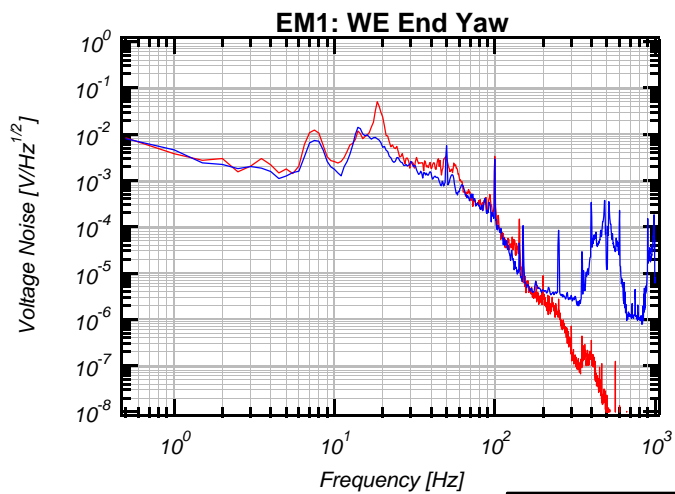
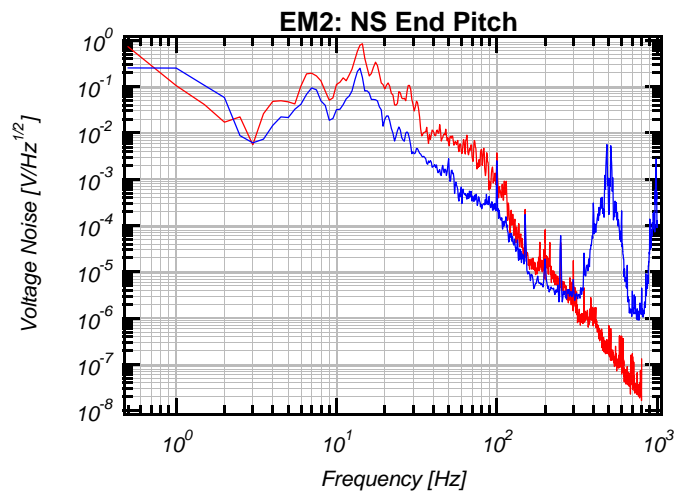
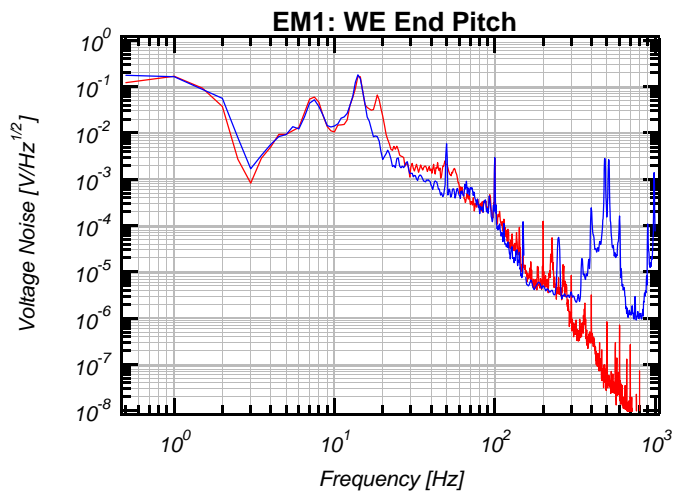
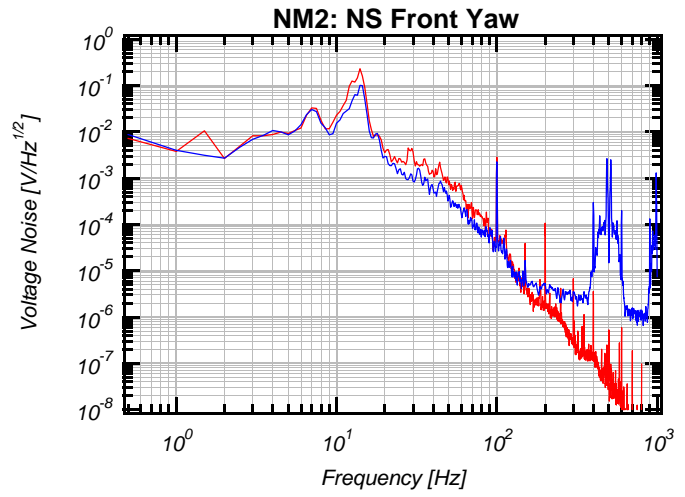
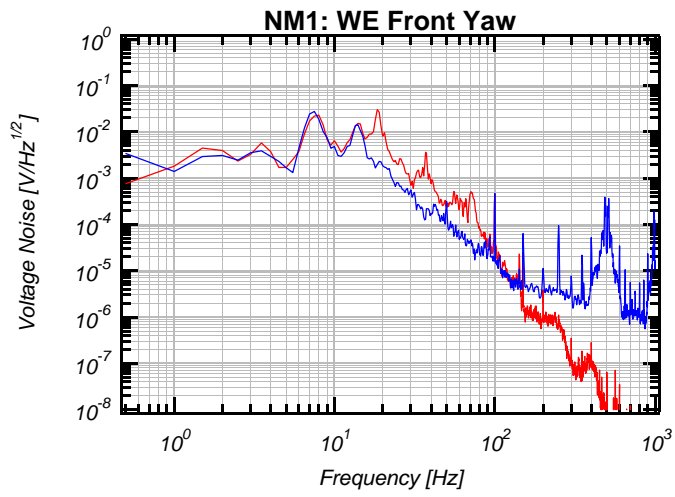
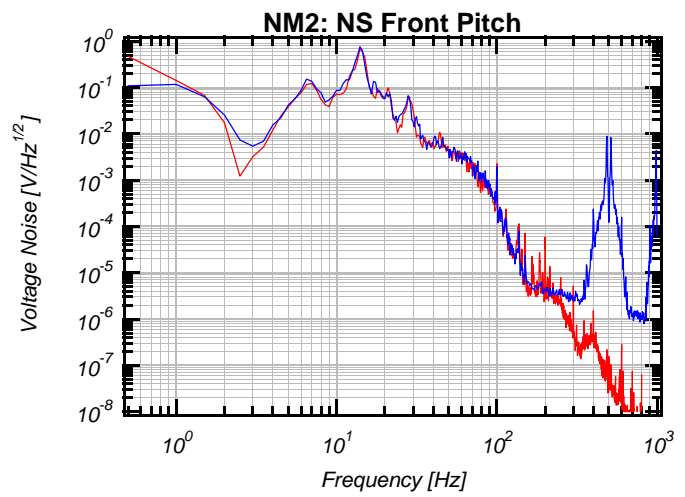
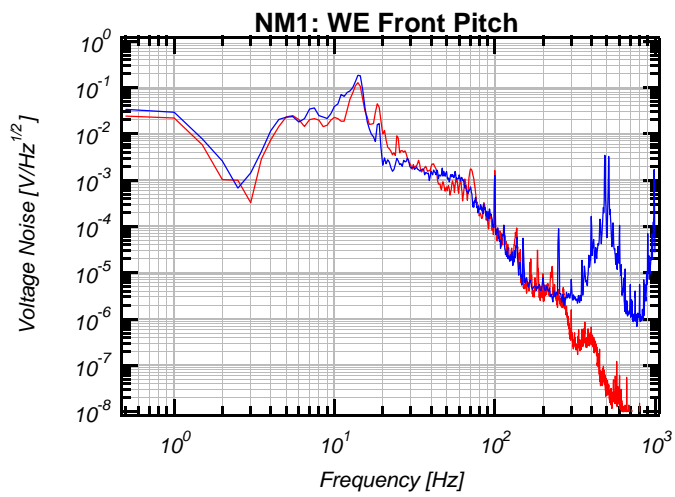
(2007/3/20)



WFS Feedback Signal

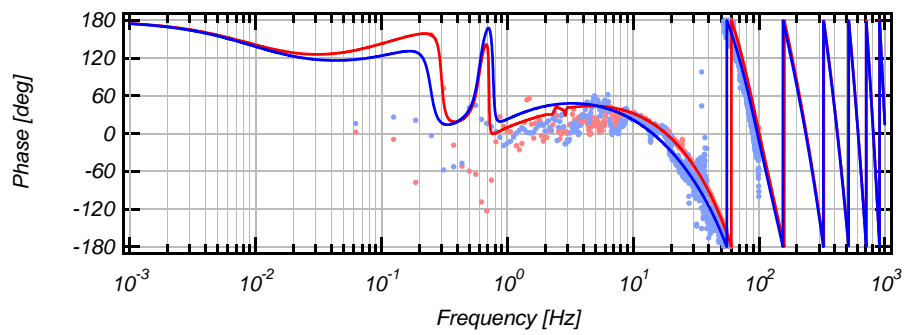
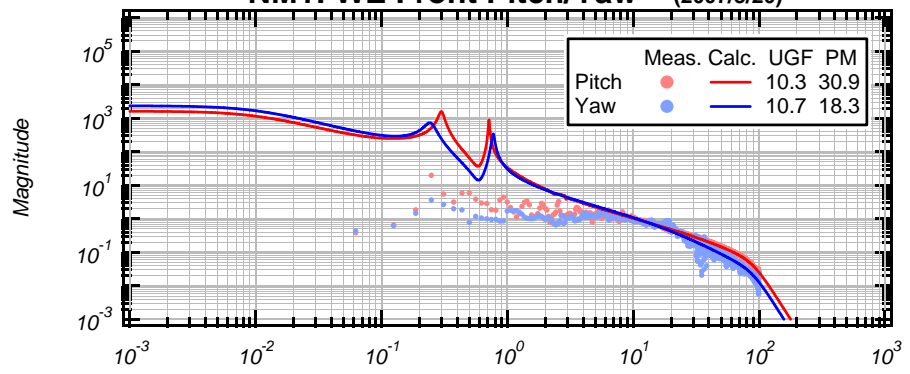
(2007/3/20)



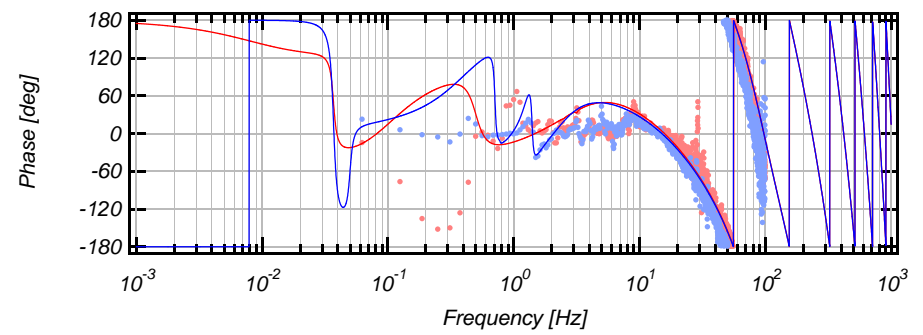
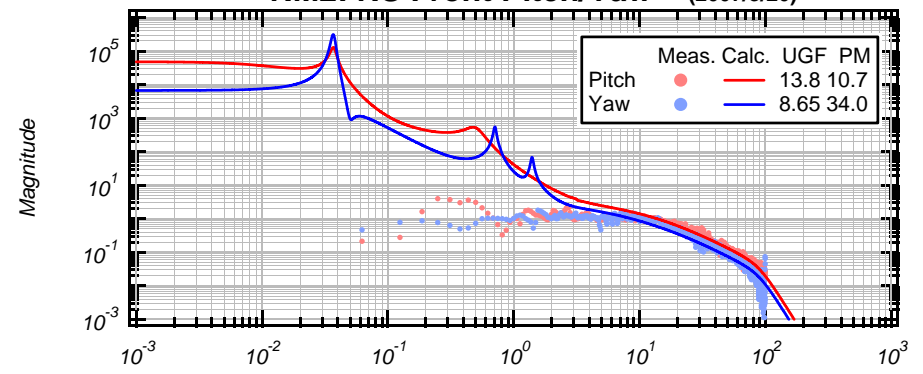


— Feedback signal (meas.)
 — Feedback signal (calc. from error sig)

NM1: WE Front Pitch/Yaw (2007/3/20)

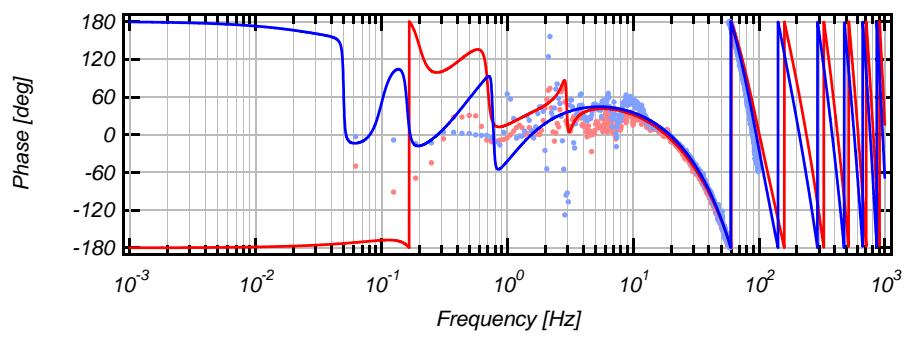
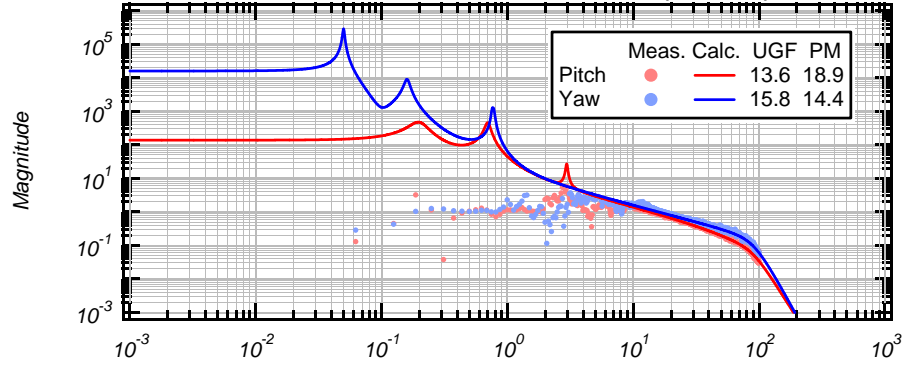


NM2: NS Front Pitch/Yaw (2007/3/20)

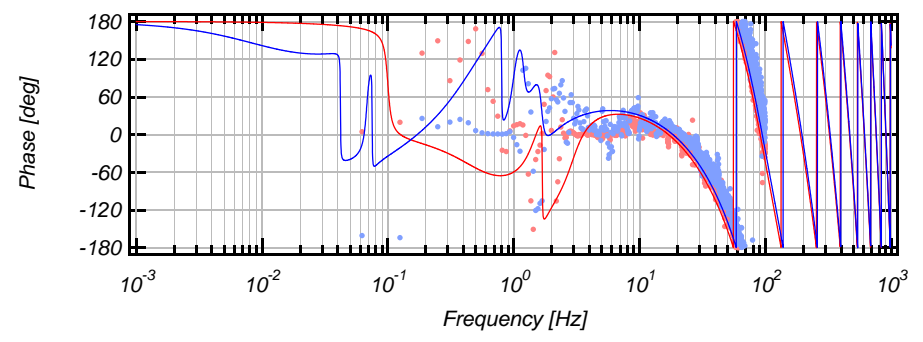
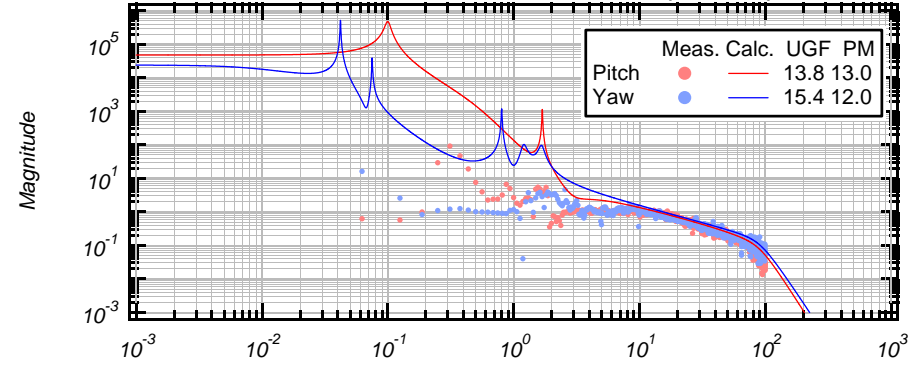


Delay incl. AAF
NM1: 5ms
EM1: 5ms
NM2: 5ms
EM2: 6.6ms

EM1: WE End Pitch/Yaw (2007/3/20)

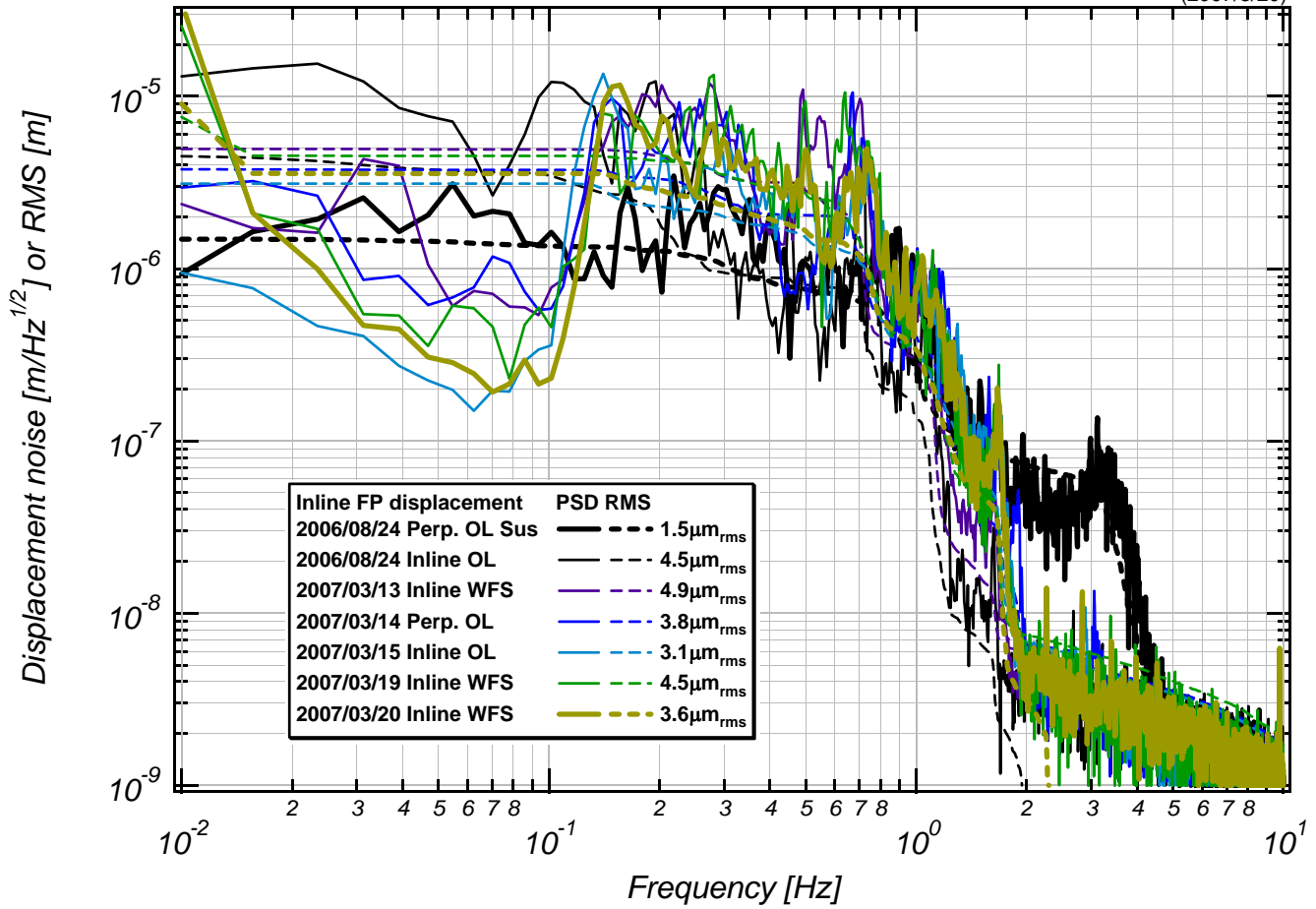


EM2: NS End Pitch/Yaw (2007/3/20)



Displacement Noise measured by MCPZTfb

(2007/3/20)



Mirror Velocity measured by MCPZTfb

(2007/3/20)

