

干渉計型重力波検出器TAMA300

開発の現状 V (干渉計開発)

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

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

This Talk

- 干渉計型重力波検出器TAMA300

- 低周波防振装置SAS

現在Test massのひとつにインストールを進めている

⇒ 腕共振器の制御ができるようになった

- SASで期待される効果

アラインメント雑音の低減

⇒ SASで測定された鏡の角度ゆらぎから、

アラインメント雑音の低減を見積もった

Noise hunting

● 低周波帯(DC~200Hz)

地面振動 (DC~20Hz)

アライメント制御により混入する雑音 (20Hz~200Hz)

● 中間周波数帯

基本的には雑音源不明 (200Hz~2kHz)

散乱光雑音 (真空槽内・外)

電気系雑音

変調系雑音

● 高周波帯

~ 散乱雑音 (2kHz~50kHz)

レーザー一周波数雑音 (50kHz~)

Noise hunting

● 低周波帯(DC~200Hz)

地面振動 (DC~20Hz)

アライメント制御により

● 中間周波数帯

基本的には雑音源不明

散乱光雑音 (真空槽内)

電気系雑音

変調系雑音

● 高周波帯

~ 散乱雑音 (2kHz~50kHz)

レーザー周波数雑音 (50kHz~)

Recycled Michelson実験

Dark Port真空槽

真空対応Photo Detector

防音シールドの導入

Signal Whitening-Dewhitening

Oscillator Phase/Amplitude noise

高安定発信器

Noise hunting

● 低周波帯(DC~200Hz)

地面振動 (DC~20Hz)

アライメント制御により混入する雑音 (20Hz~200Hz)

SAS (Seismic Attenuation System)

● 中間周波数帯

基本的には雑音源不明 (200Hz~2kHz)

散乱光雑音 (真空槽内・外)

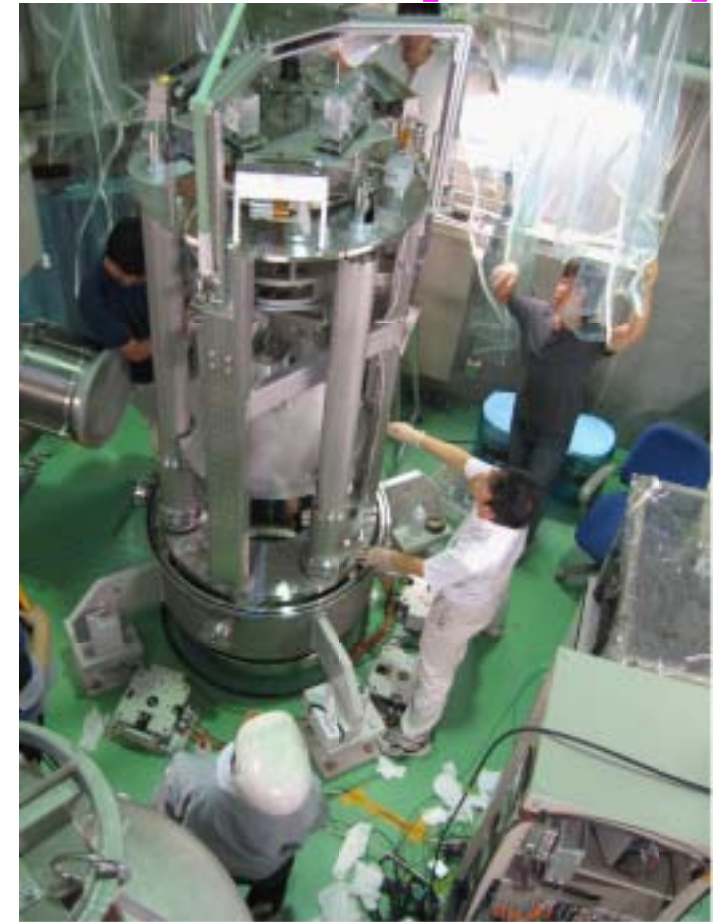
電気系雑音

変調系雑音

● 高周波帯

~ 散乱雑音 (2kHz~50kHz)

レーザー周波数雑音 (50kHz~)

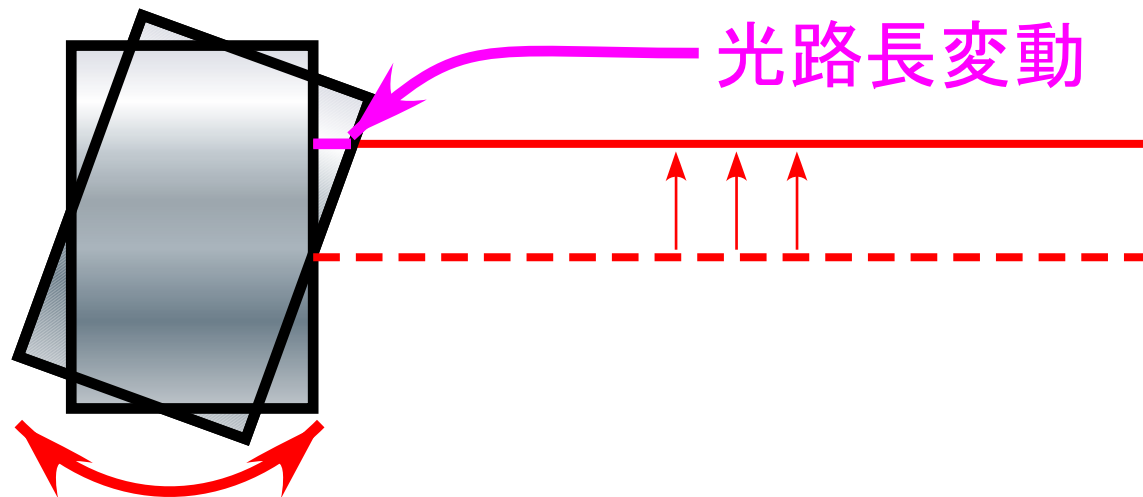


Alignment noise

●鏡の角度揺れによる光路長変動

ビームが回転中心からずれている

⇒ 角度揺れが光路長変動に変換されてしまう



●アライメント制御とアライメント雑音の関係

本来、アライメント制御で光路長変動は減るはず!?

⇒ 観測帯域(100Hz~)付近では

センサーの雑音で、鏡の角度が読み取れないため
フィードバック制御により余計に角度が揺らされる

Reduction of alignment noise

● アライメント雑音の低減

1. ビームの回転中心からのずれを減らす

⇒ 0.1mmの精度で調整されている / 現在の限界

2. センサーの雑音レベルを下げる

⇒ 現在使用している角度センサー: Wave Front Sensing法

⇒ 100Hzで散射雑音レベル($5 \times 10^{-13} \text{rad/Hz}^{-1/2}$)より3~10倍悪い

3. 角度制御フィードバックを帯域制限し、高周波で制御しないようにする。

⇒ 鏡の角度変動量から、安定動作に必要な帯域が決まる

⇒ 現在: 制御帯域10Hz / 90Hz 4次バターースLPF

現在のアライメント雑音レベル

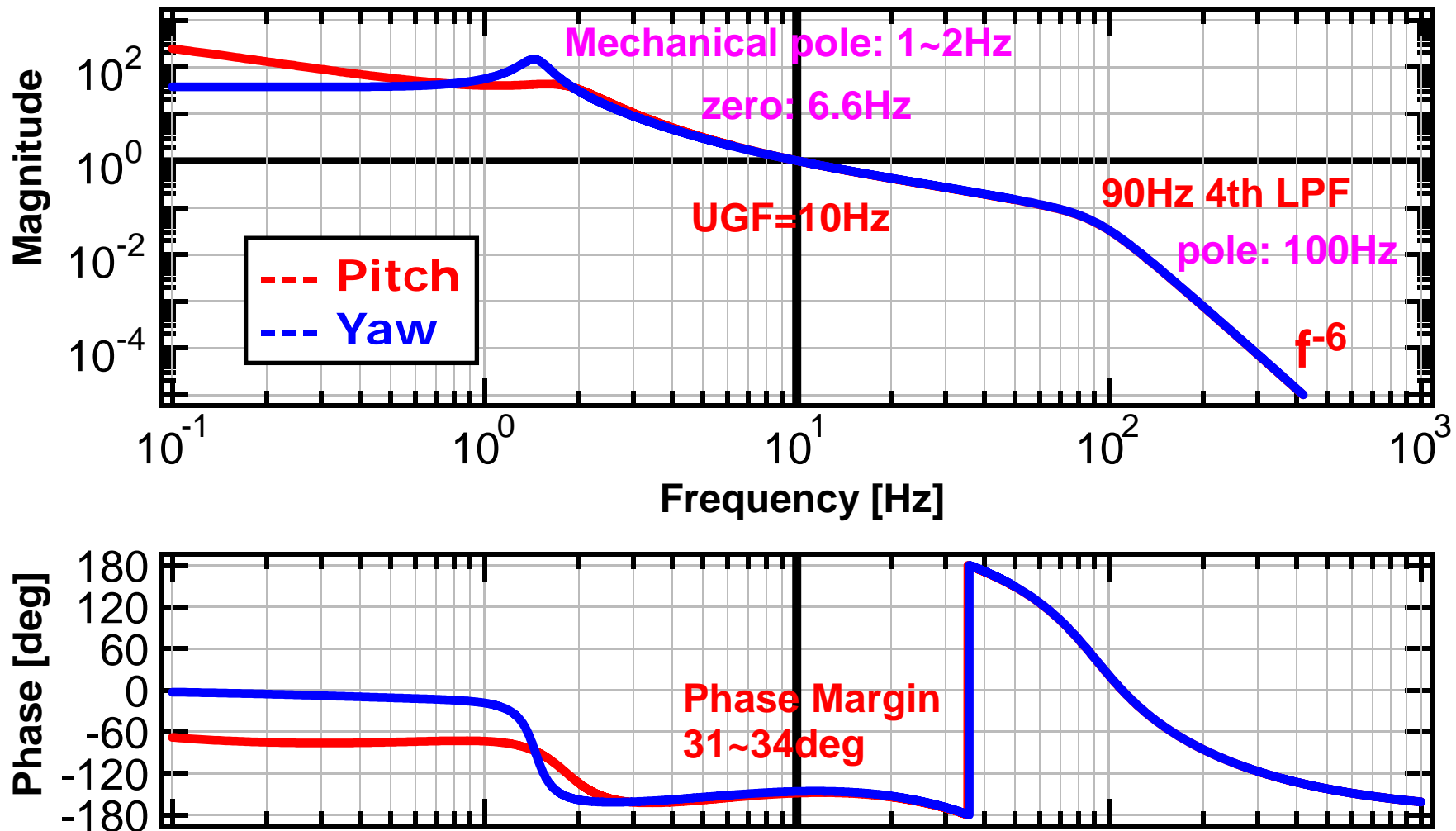
$$dx_{\text{align}} = 10^{-3}/f^6 \text{ m/Hz}^{1/2}$$

⇒ $\sim 10^{-16} \text{ m/Hz}^{1/2}$ @150Hz

⇒ $10^{-19} \text{ m/Hz}^{1/2}$ まで1000倍低減したい

Current alignment servo

- 現在使用しているアライメント制御のopenloop伝達関数

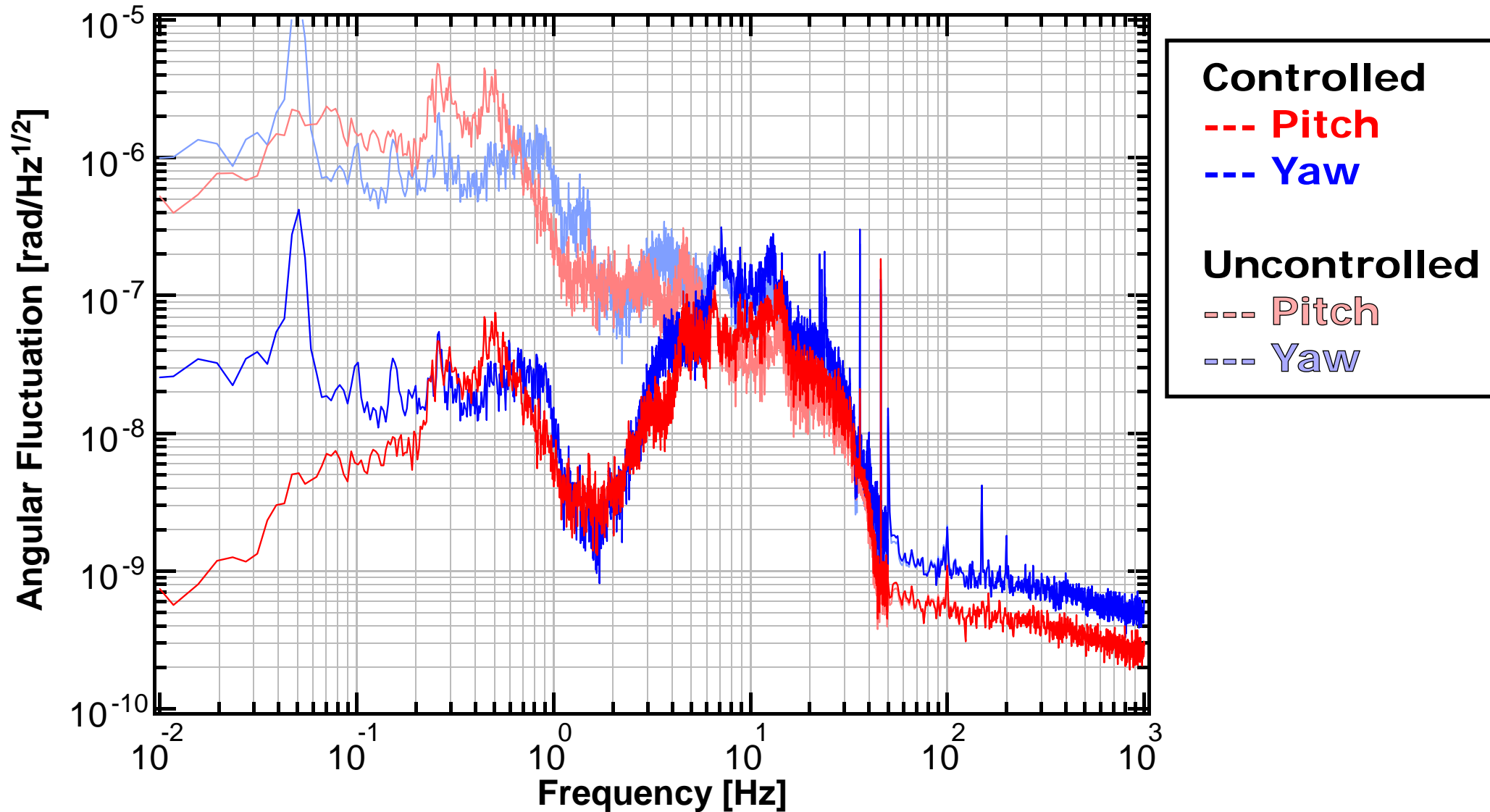


制御帯域10Hz / 位相余裕30deg強

90Hz次バターースLPFを使用・観測帯域で f^{-6}

Current alignment servo

● 制御無 / 制御時のアライメント揺れスペクトル

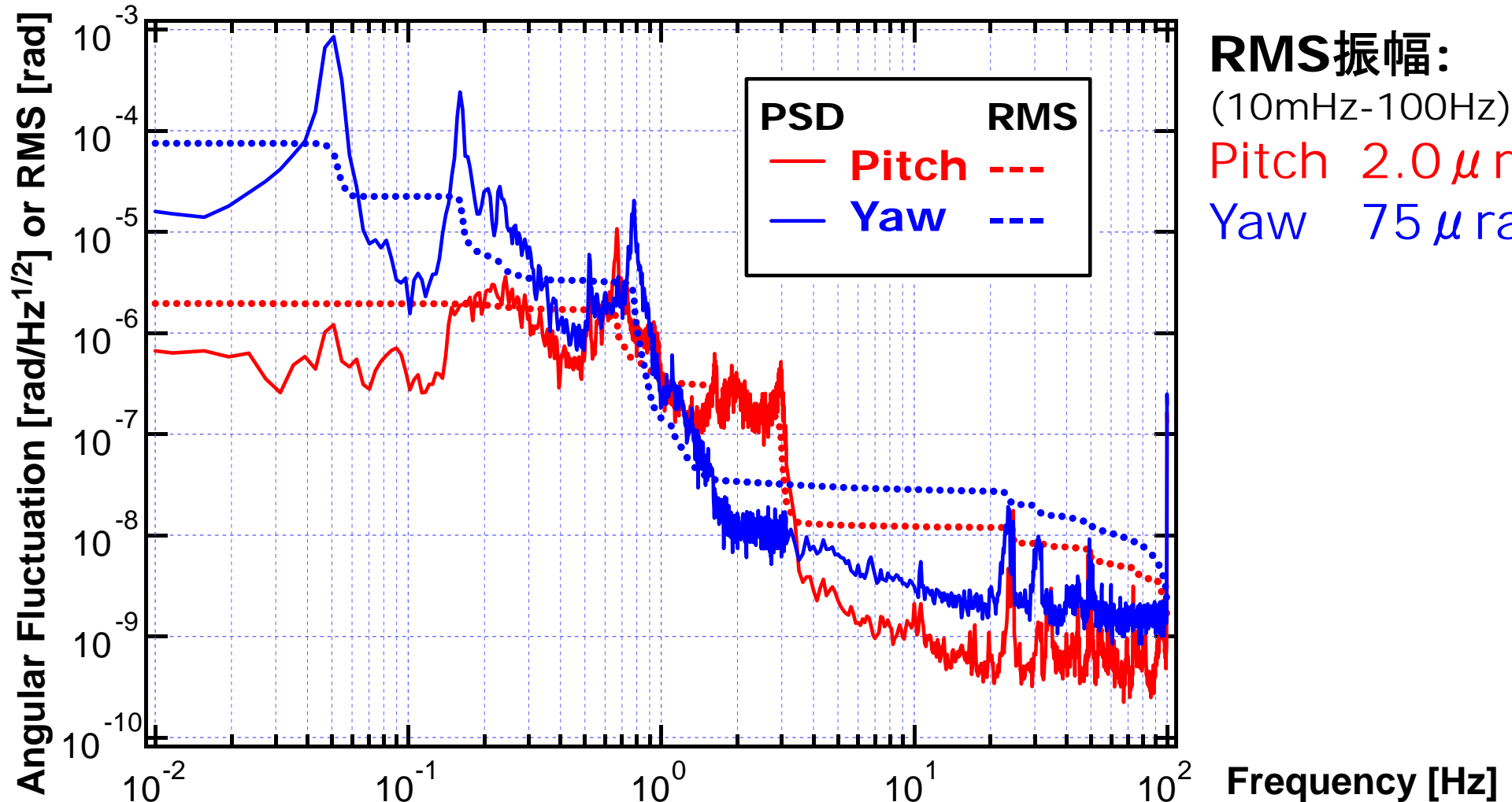


RMS振幅: Pitch 1.8 μ rad \rightarrow 0.3 μ rad

Yaw 1.8 μ rad \rightarrow 0.5 μ rad まで制御

Alignment Fluctuation of SAS

● 光てこで測定したSASの角度変動(非制御)



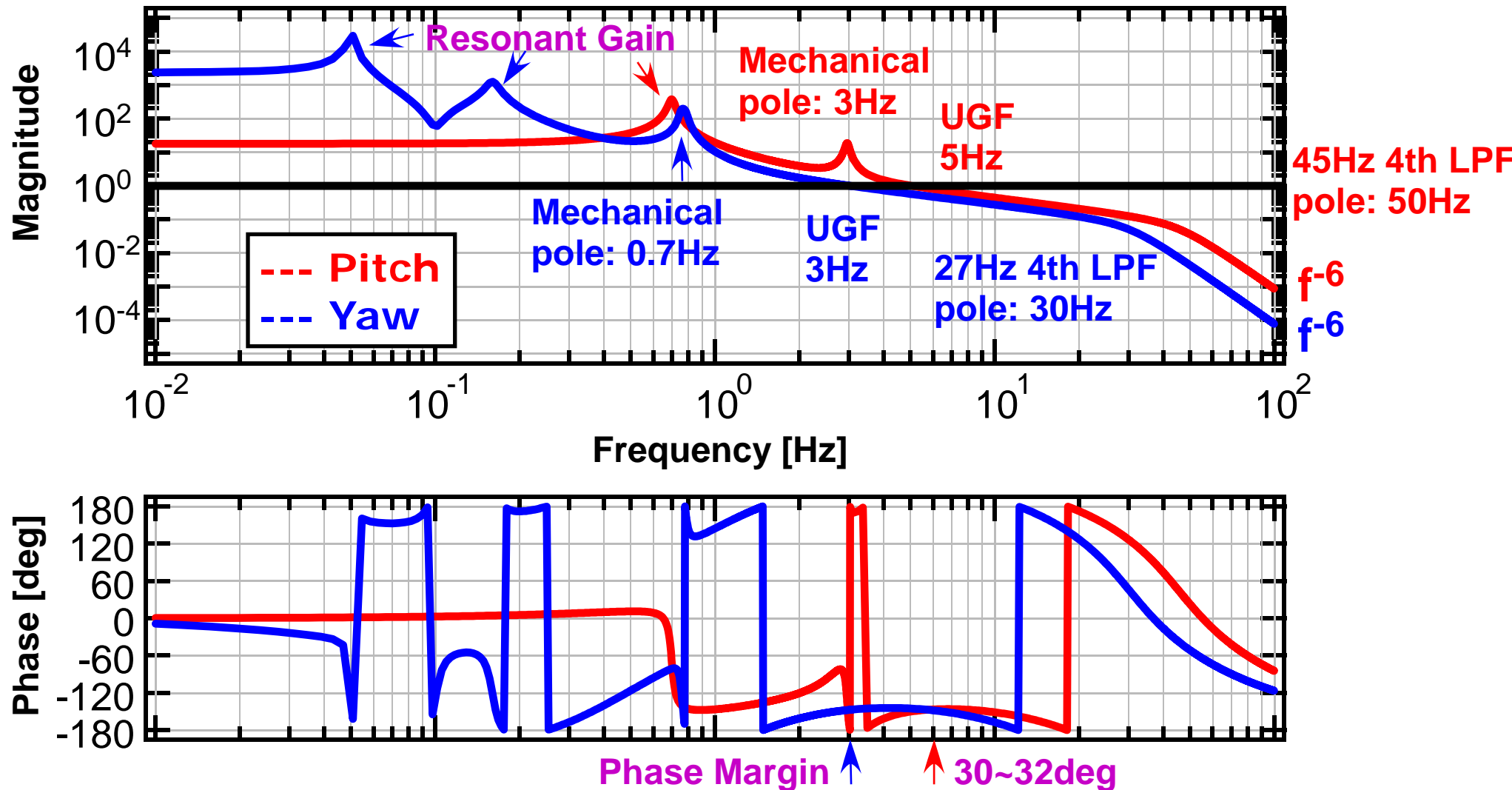
RMSは増大しているが(特にYaw)

角度揺れの変動パワーが低周波側に寄っている

⇒アライメント制御帯域より狭くできる可能性

New alignment servo

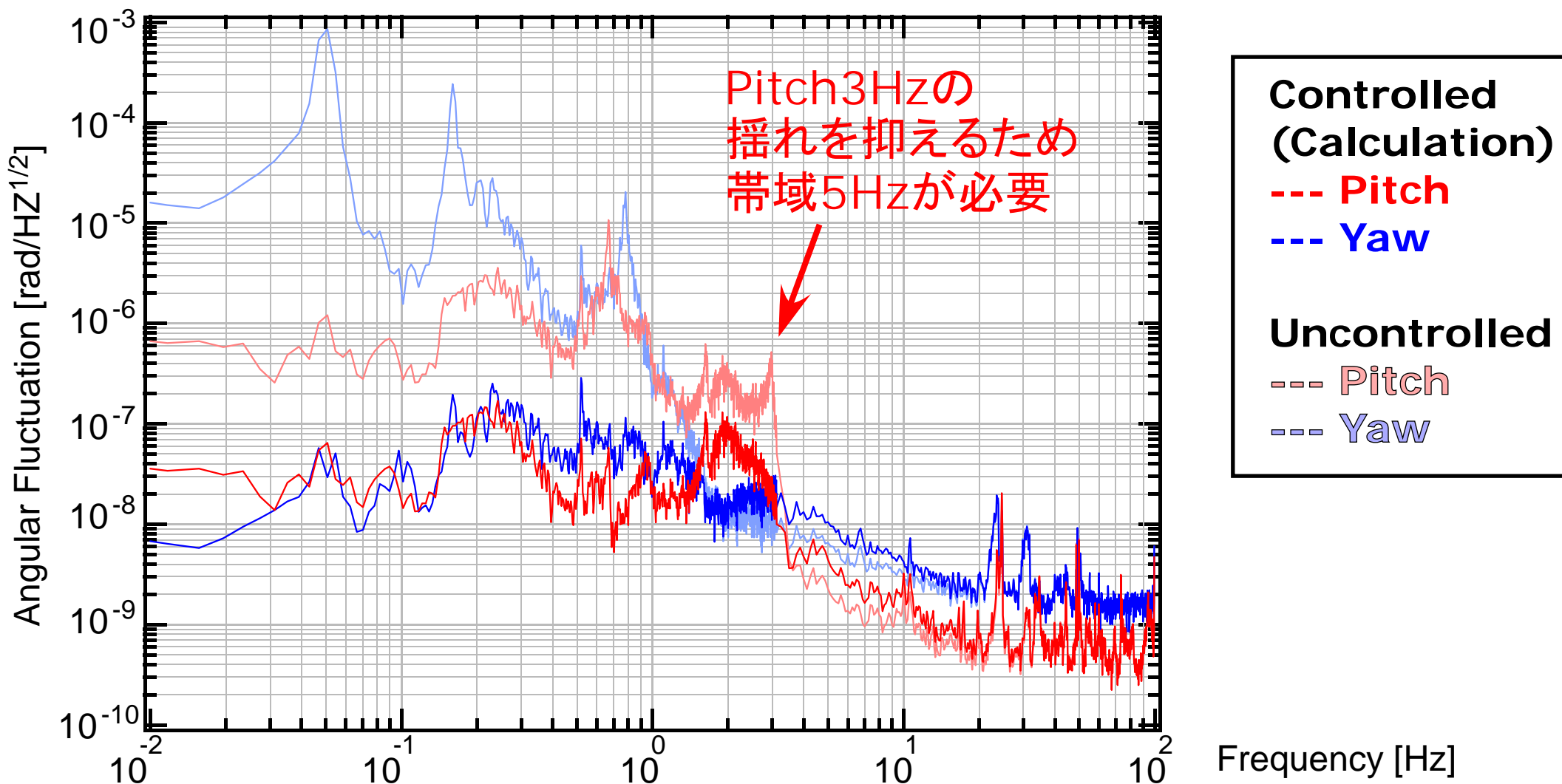
- 0.1 μ radを目標にサーボ系を設計



制御帯域 5Hz(P) / 3Hz(Y) / 位相余裕 30deg強
45Hz(P) / 27Hz(Y) 4次バターースLPFを使用

Expected performance

● 制御時のアライメント揺れスペクトルを予測

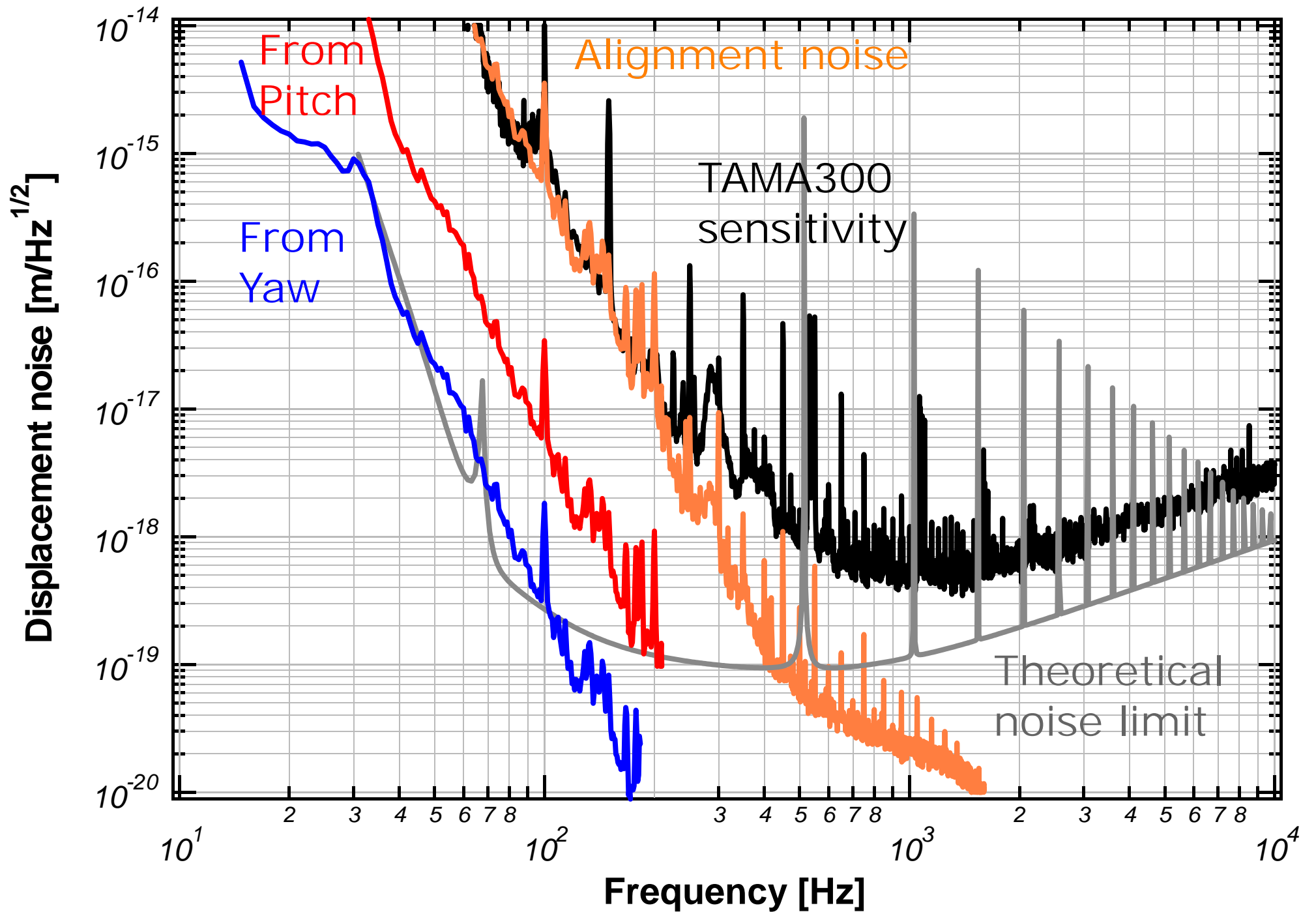


RMS振幅: Pitch 2.0 μ rad -> 1.0 μ rad

(10mHz~1kHz) Yaw 75 μ rad -> 1.0 μ rad

と予測される

Expected performance



Discussion

- 1~3HzのPitch揺れ

制御帯域を5Hzまでしか下げることができない。

- かなりテクニカルなフィルタを使用する(特にYaw)

非定常な入力に対する過渡特性が悪くなる懸念

⇒ Pitch/Yawともさらなる安定化が必要

機械系の改良・Test mass制御と独立な制御での抑圧

- Wave Front Sensorの信号と光てこの信号

同じスペクトルになるかどうか自明ではない。

- WFS系自体の雑音

電気雑音・WFS検出系でのジッターとのカップリング

- 入射ビームジッター

光てこはローカルな測定であり、
入射光軸の揺れの影響が考慮されない

Conclusion

- レーザー干渉計型重力波検出器TAMA300

雑音低減実験

- SASによるアライメント雑音低減の見積もり

残留RMS振幅0.1uradを目標にサーボ系設計

Pitch 帯域5Hz 期待される雑音低減2桁

Yaw 帯域3Hz 期待される雑音低減3桁

- SASメカ改良もしくは制御改良

Pitch 1-3Hzの振動をなくす

Yaw 低周波のピークのダンプ