

干渉計型重力波検出器TAMA300

開発の現状 XX (干渉計開発)

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

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

Overview

● 低周波防振装置SASを用いた干渉計稼働

TAMA300の短期的目標と現状

SAS性能出し・RFPMI干渉計のロック => done

制御系切り替え・感度だし => not yet

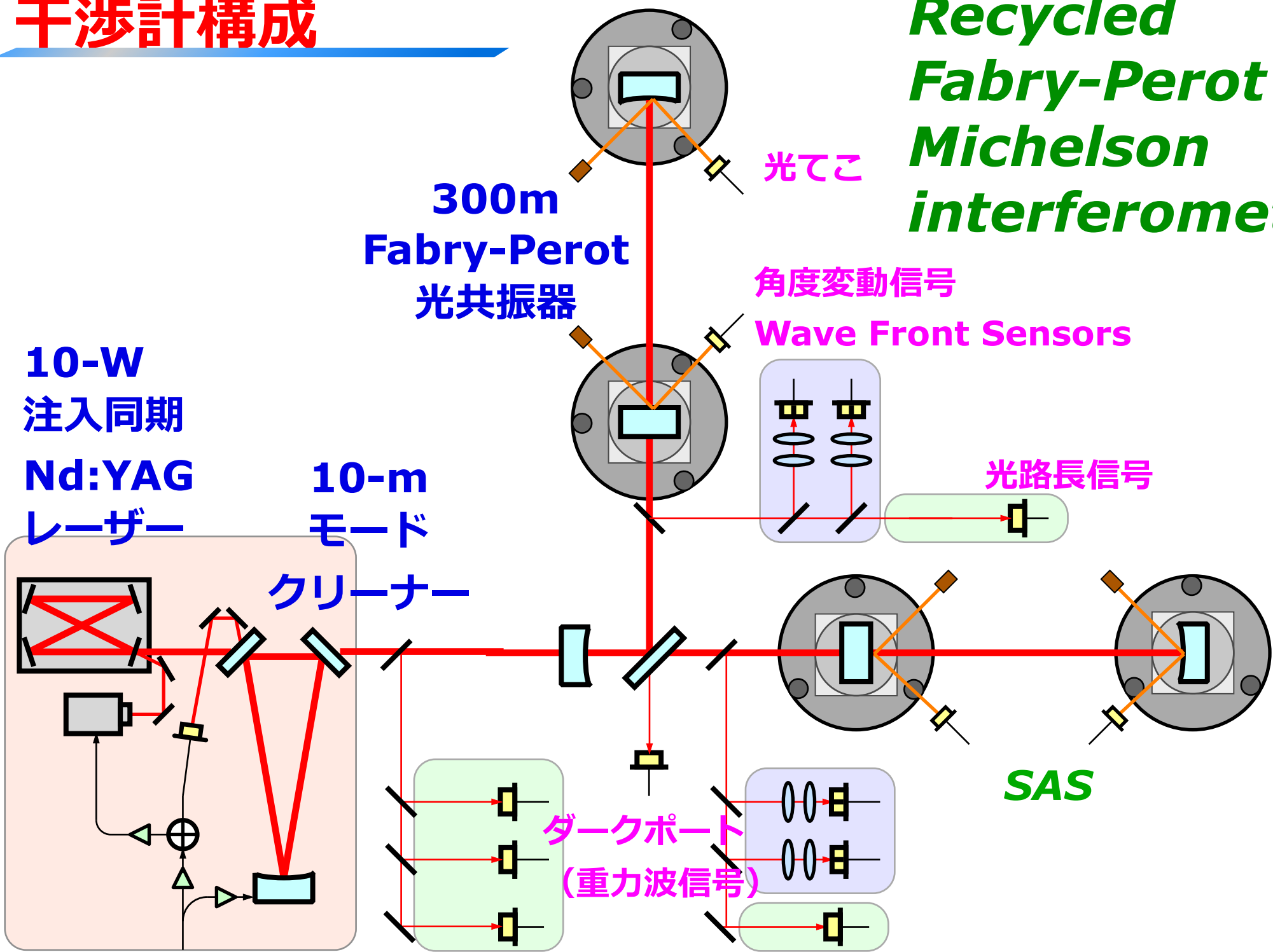
WFS制御トポロジーの更新

同相差動アラインメント制御

方針と設置状況

干渉計構成

Recycled Fabry-Perot Michelson interferometer



TAMA300の短期目標と現状

●現在の光学構成での目標

○ SASの性能出し

ハードウェアの改良
IP制御のチューニング

○ 干渉計安定動作

ロックアキュイジション
制御系切り替え・アラインメント制御系

○ 全帯域での感度向上の実証

各種雑音対策
デジタル制御系雑音対策

○ 観測運転

観測システム/自動化/自動調整 => AstroWatch

これらを達成=>High-gain recycling/RSEなどが可能に

TAMA300の短期目標と現状

●現在の光学構成での目標

○ SASの性能出し

ハードウェアの改良
IP制御のチューニング

○ 干渉計安定動作

ロックアキュイジション

制御系切り替え・アライメント制御系

○ 全帯域での感度向上の実証

各種雑音対策
デジタル制御系雑音対策

○ 観測運転

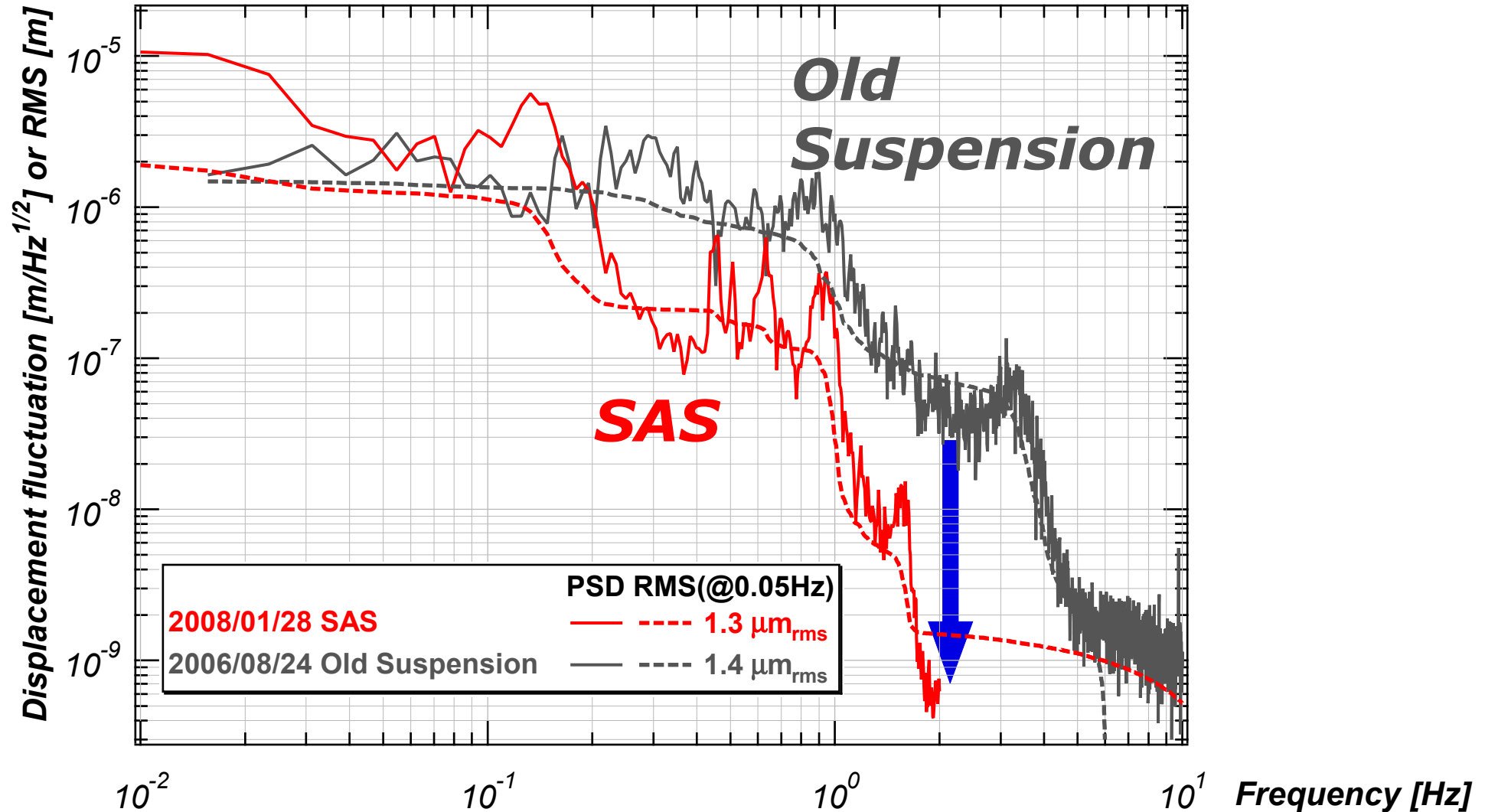
観測システム/自動化/自動調整 => AstroWatch

これらを達成=>High-gain recycling/RSEなどが可能に

SASの性能

● 低周波での光路長変動

Laser結晶長をリファレンスとした300m FP共振器長変動の測定



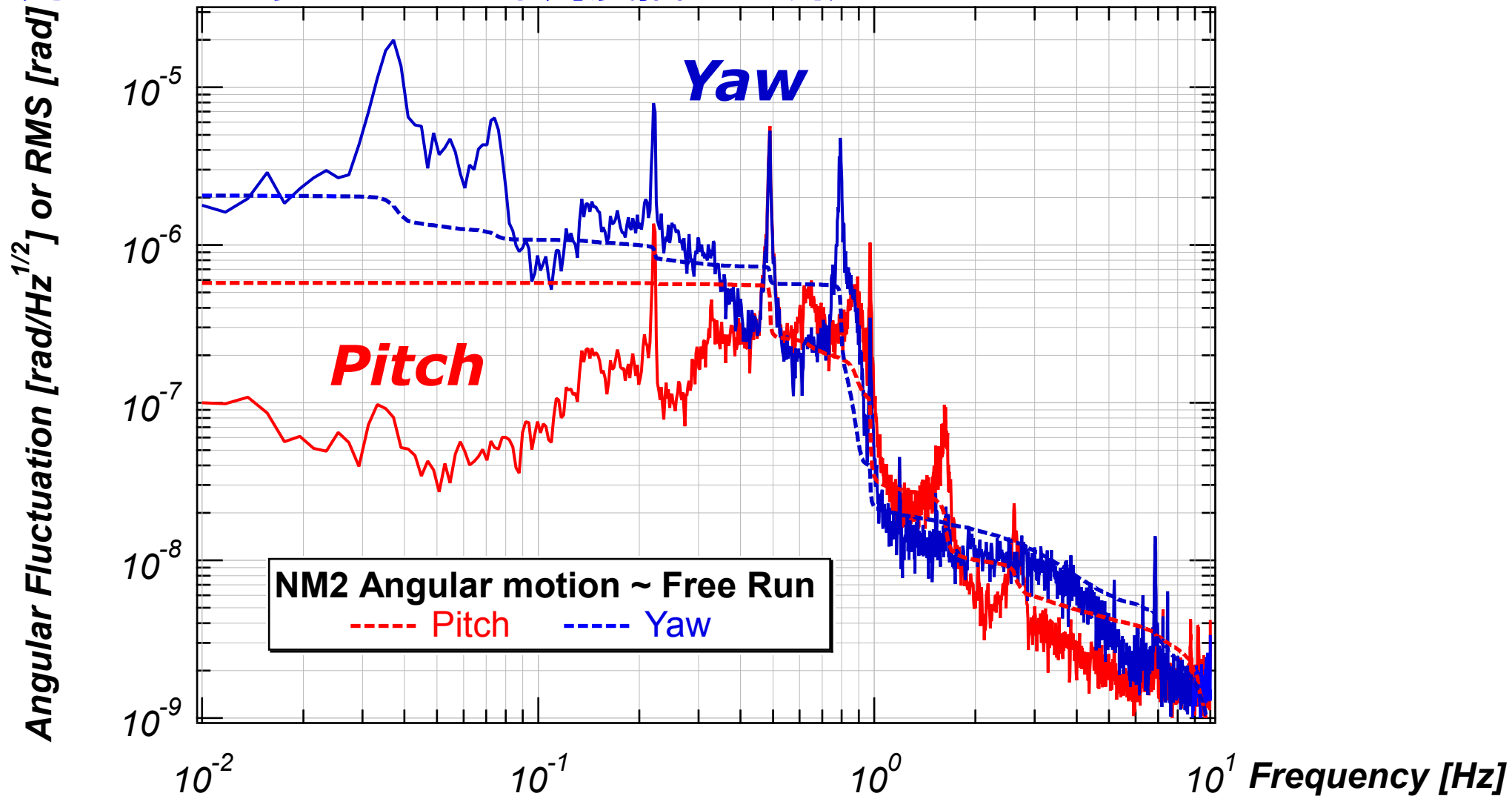
0.2Hz以上で~1桁のスペクトル改善

RMS振幅1μm台 (0.1-0.2Hzで制限)を実現

SASの性能

● テストマスの角度変動

光てこによりローカルな角度揺れを測定



低周波に変動パワー集中できている
1Hz以上のRMS振幅は10nrad台

干渉計の動作状況

- ロック・アクイジション → ○

波浪の状況の悪いとき以外はOK

- アラインメント制御 → △

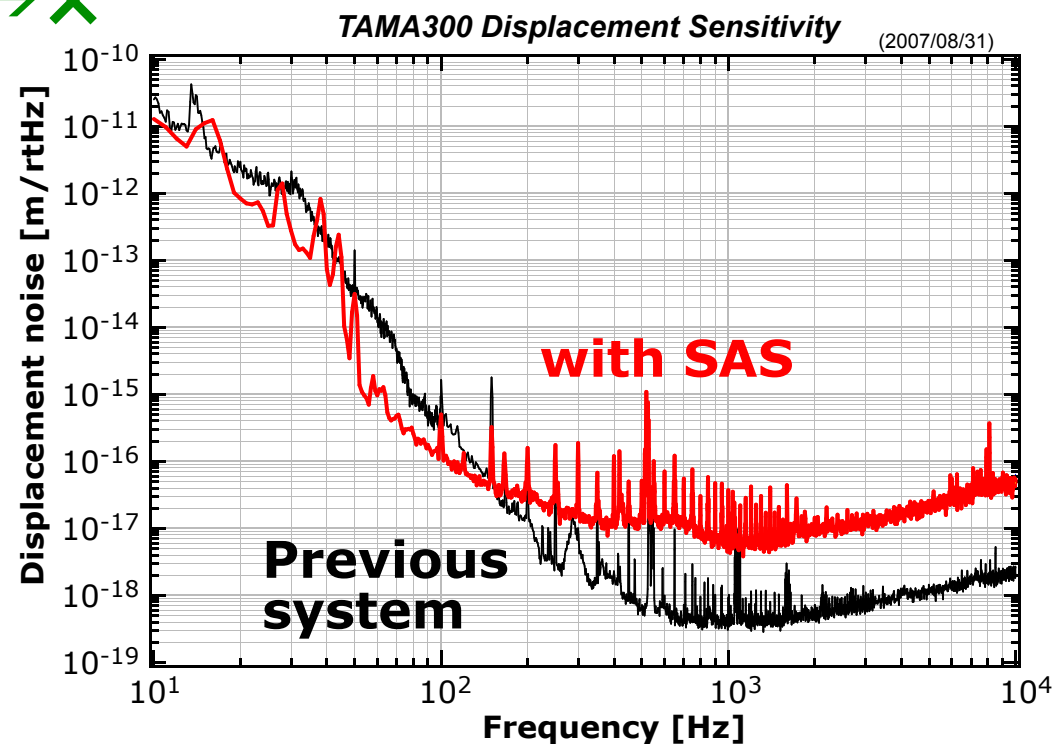
光てこによる制御

コントラスト・パワーが安定しない

=> 安定なロックは10分程度

- 光路長制御系の切替

→ ×



干渉計の動作状況

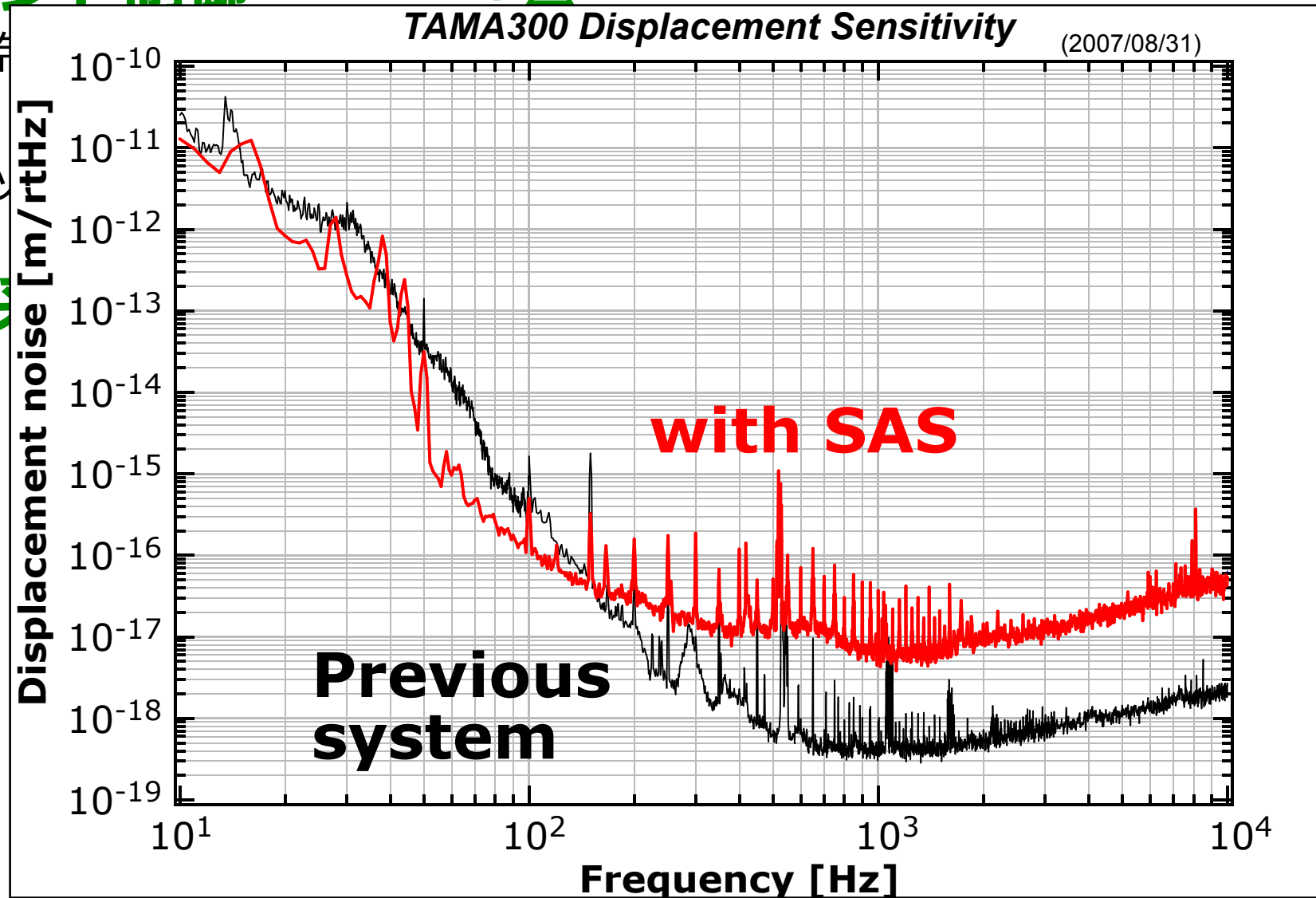
● ロック・アクイジション → ○

波浪の状況の悪いとき以外はOK

● アラインメント制御 → △

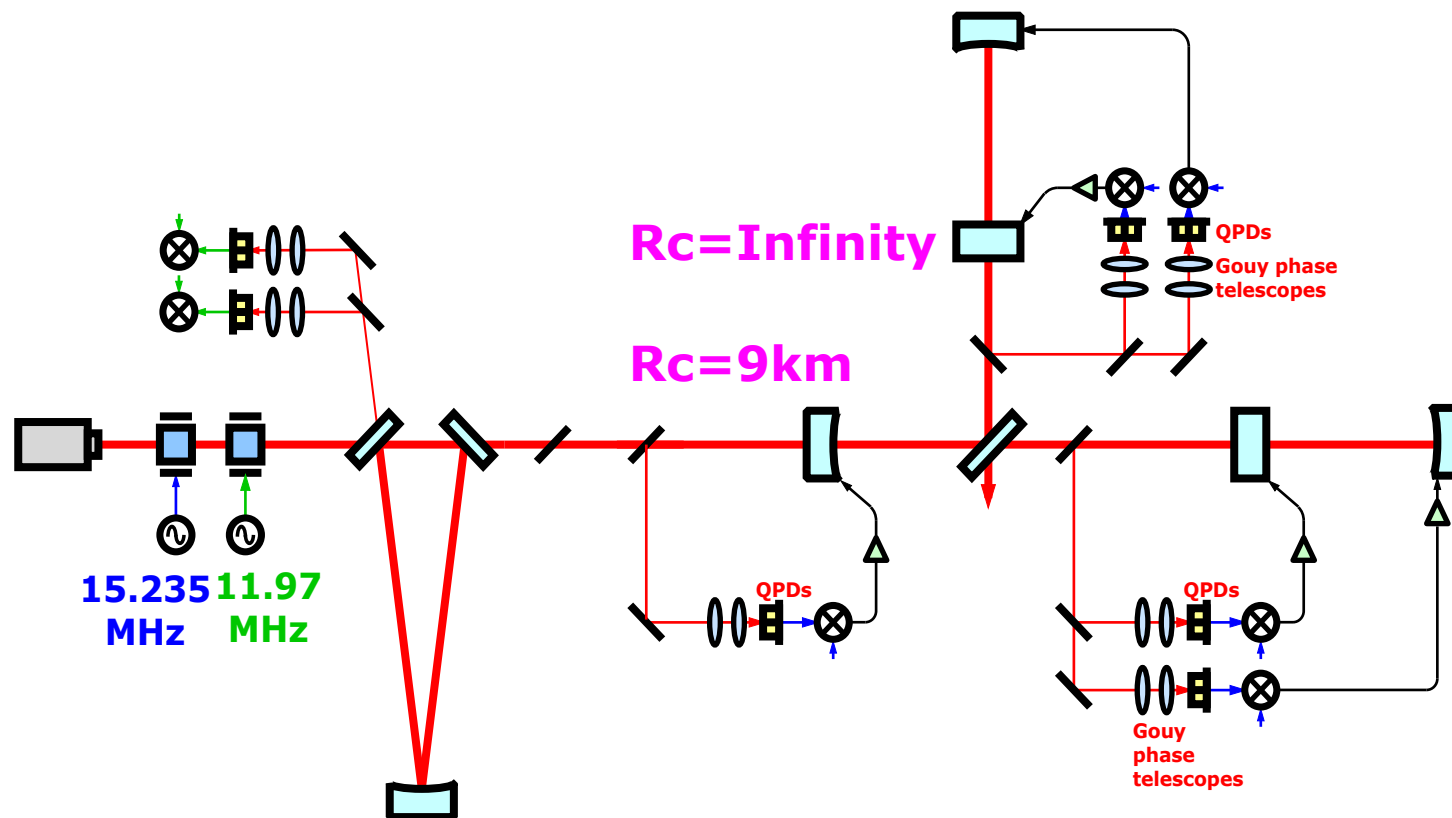
光てこによる
コントラスト
=> 安定なロック

● 光路長制御



WFSアライメント制御のrenewal

- **アライメント制御** : 干渉計自体の光を使いたい
- **従来のWave Front Sensing** : テストマスにフィードバック



問題点

重力波検出の観点: naiveすぎる構成

Degeneracy: RMとFront Mirrorの動きの区別がつかない

信号のクオリティ: 10Hz付近でWFSが光てこよりうるさい(未解決問題)

同相差動分離アライメント制御

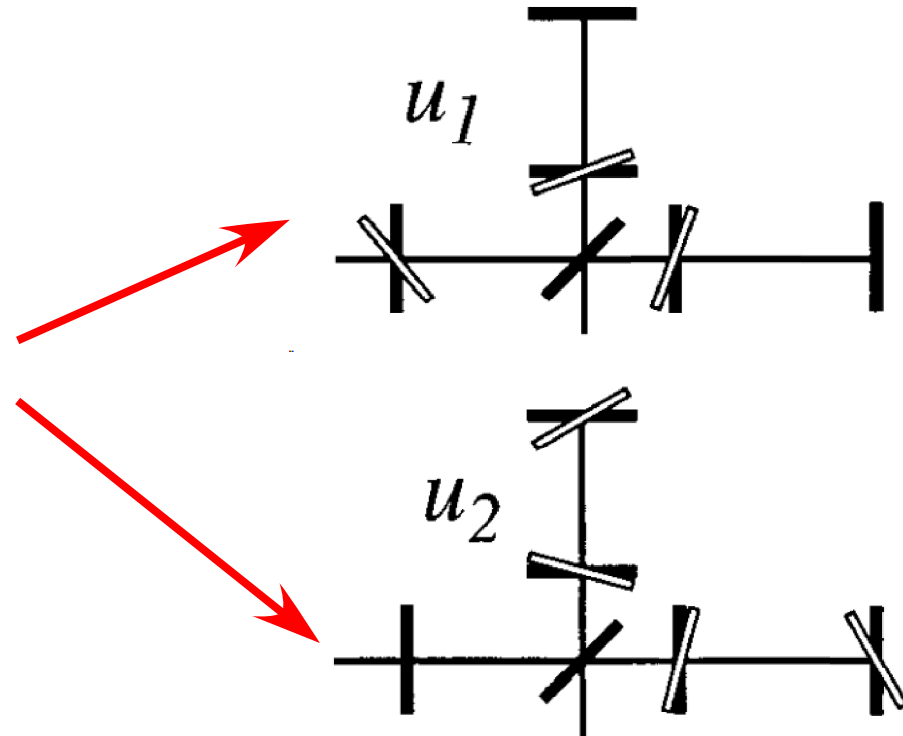
●アライメント要求値：

ミスアライメントの組み合わせによって変わってくる
 P. Fritschel, et al, Appl. Opt. 37 (1998) 6734

Table 1. Eigenvalues and Eigenvectors of the Five-Dimensional Misalignment Variance Ellipsoid for the Shot-Noise-Limited Signal-to-Noise Ratio of the Interferometer^a

<i>i</i>	Eigenvalue σ_i^2	Eigenvector (Ellipsoid Axis)				
		ΔETM	ΔITM	$\overline{\text{ETM}}$	$\overline{\text{ITM}}$	RM
1	0.00061	0	0	0	-0.58	0.81
2	0.00050	0.91	0.42	0	0	0
3	0.12	-0.42	0.91	0	0	0
4	0.83	0	0	0.92	0.32	0.23
5	6.4	0	0	-0.39	0.75	0.54

^aThe eigenvalues are in units of (the square of) the beam divergence angle. Significant values are in boldface.



TAMAのdivergence angle、S/N 0.5%変動の許容値

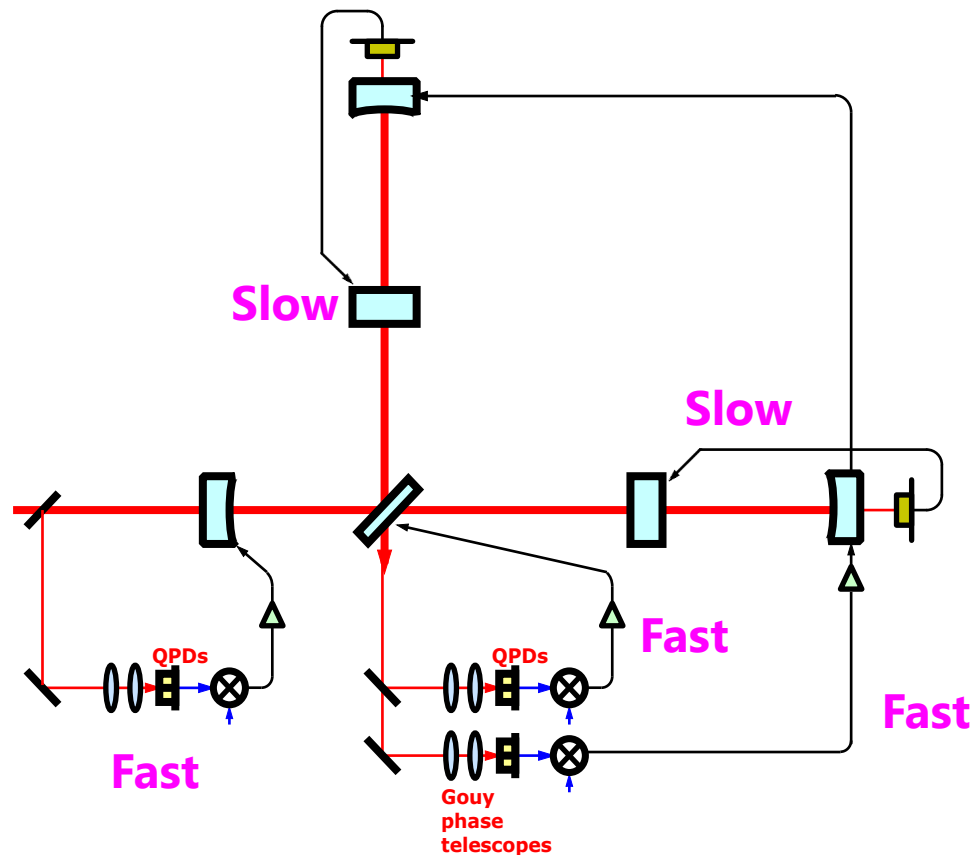
RM+Front Com, FP Diff. $\rightarrow 4 \times 10^{-8}$ rad

その他 $\rightarrow 5 \times 10^{-7}$ rad $\sim 3 \times 10^{-6}$ rad

一番厳しいものと緩いもので100倍も差がある

同相差動分離アライメント制御

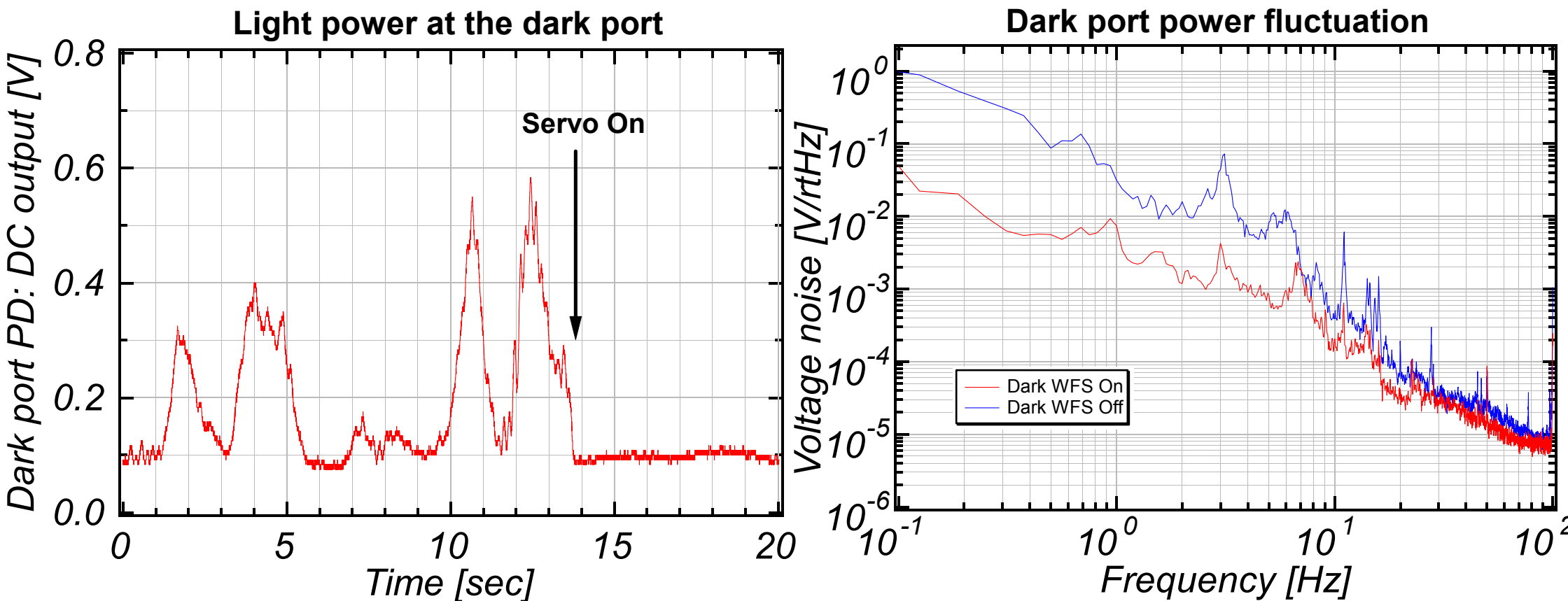
- 要求値の厳しい自由度 ⇒ 広帯域に制御
可能な限りテストマス以外(BS/RM)をアクチュエート



Dark port WFS x2:	End Mirror Differential	/ BS	Fast
Bright port WFS:	Recycling Mirror		Fast
他(従来のWFS):	End Mirror Common		Slow
End透過光:	Front Mirror		Slow

同相差動分離アライメント制御の実装

● Dark port WFS x2の設置 ~FPMIでのテスト



Dark port光量(コントラスト)の変動を抑えることができた

Recyclingで同様の効果を得るべく調整を進める

Summary

● TAMA300の干渉計動作

- 定常的な感度測定には至らず
- WFS系の設計と設置を進めている

同相差動アライメント制御

要求値に合わせて帯域を使い分け

Dark WFS x2の設置・テスト中

Simulated horizontal sensing matrix for RFPMI, TEM=4, according to file RFPMI_align03.kat, with telescopes being tuned for minimum coupling of respective mirrors in FPMI case. Each value is the response to unity misalignment. Demod phases have been chosen (for each QPD) for max. signal in relevant channels. Bold numbers just emphasize 'strong' couplings. Red numbers belong to 'noisy' mirrors (i.e. not on SAS).

	QPD1 (east end, set to min. sens. to front mirror in hor. FPMI)	QPD2 (east front)	QPD3 (north end, set to min. sens. to front mirror in hor. FPMI)	QPD4 (north front)	QPD5 (bright port, no telescope) 0.5% power	QPD6 (bright port, set to min. sens. to PRM) 0.5% power	QPD7 (dark port, no telescope) 2.5% power	QPD8 (dark port, set to min. sens to BS in hor. FPMI) 2.5% power
EFM	-48	-318	-51	-181	341	-41	-12	202
NFM	-53	-171	-51	-318	314	-38	13	-202
EEM	-167	-29	46	8	98	155	126	-598
NEM	45	8	-170	-29	97	155	-126	598
BS	35	55	-113	-249	148	56	-1034	-34
PRM	112	393	113	400	-512	4	0	0
MC3	-30	-3	-31	-4	48	60	0	0
MC1	10	-14	10	-14	4	-26	0	0
MC2	-11	-16	-11	-17	38	17	0	0

Simulated vertical sensing matrix for RFPMI, TEM=4, according to file RFPMI_align03.kat.

Demod phases as in hor. case, but have been checked to be OK.

Telescopes tuned as in horizontal. This makes different signals for some channels, due to astigmatism in far beam telescopes onto QPDs.

	QPD1 (east end, set to min. sens. to front mirror)	QPD2 (east front)	QPD3 (north end, set to min. sens. to front mirror)	QPD4 (north front)	QPD5 (bright port, no telescope) 0.5% power	QPD6 (bright port, set to min. sens. to PRM) 0.5% power	QPD7 (dark port, no telescope) 2.5% power	QPD8 (dark port, set to min. sens to BS) 2.5% power
EFM	24	-318	-22	-181	341	-41	-12	156
NFM	-22	-171	-19	-318	314	-37	13	-156
EEM	-178	29	48	8	98	155	126	499
NEM	48	8	-178	-29	97	155	-126	499
BS	18	39	-43	-176	104	40	-731	-314
PRM	40	393	43	400	-512	4	0	0
MC3	-27	-3	-28	-4	48	60	0	0
MC1	9	-10	9	-10	3	-18	0	0
MC2	-5	-11	-5	-12	27	12	0	0