

TAMA300検出器

国立天文台

新井宏二

- TAMA300検出器の概要
- 感度
- 観測～Data Taking 6
- パワーリサイクリング実験

TAMA300 検出器の概要

●光源

レーザー・モードクリーナー

●光学系

ミラー・テレスコープ

●防振系

アクティブ防振システム・防振スタック・2段振り子

●真空系

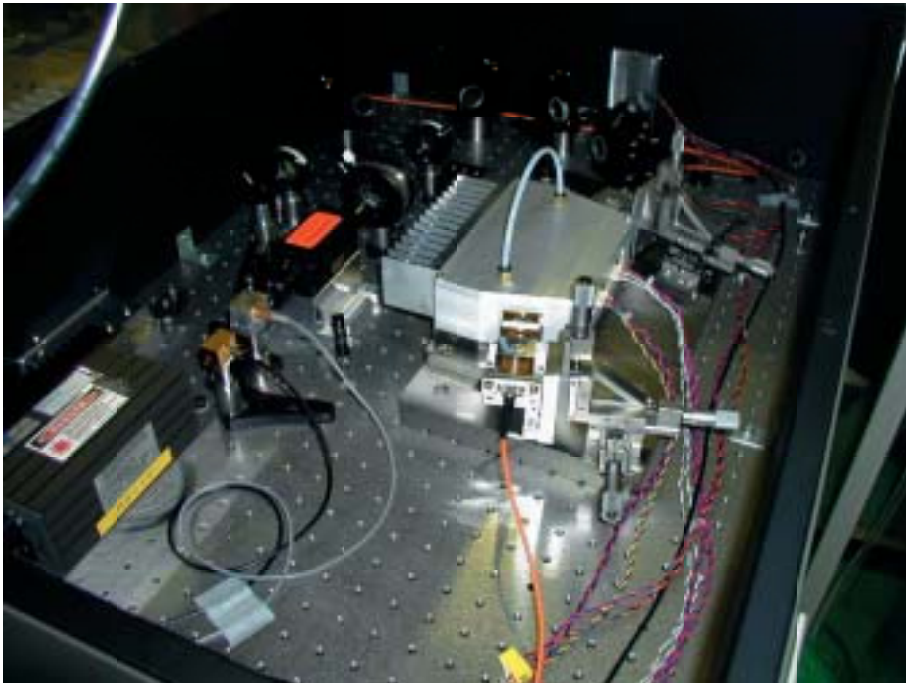
●制御系

光路長制御・アライメント制御

強度安定化・ドリフト制御

光源

- SONY 10W 注入同期型
Nd:YAGレーザー

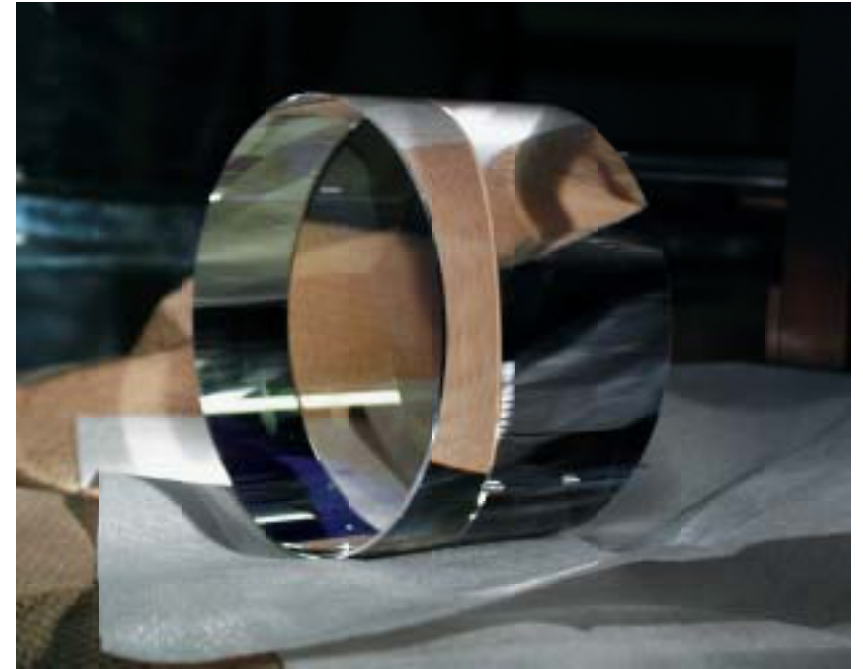
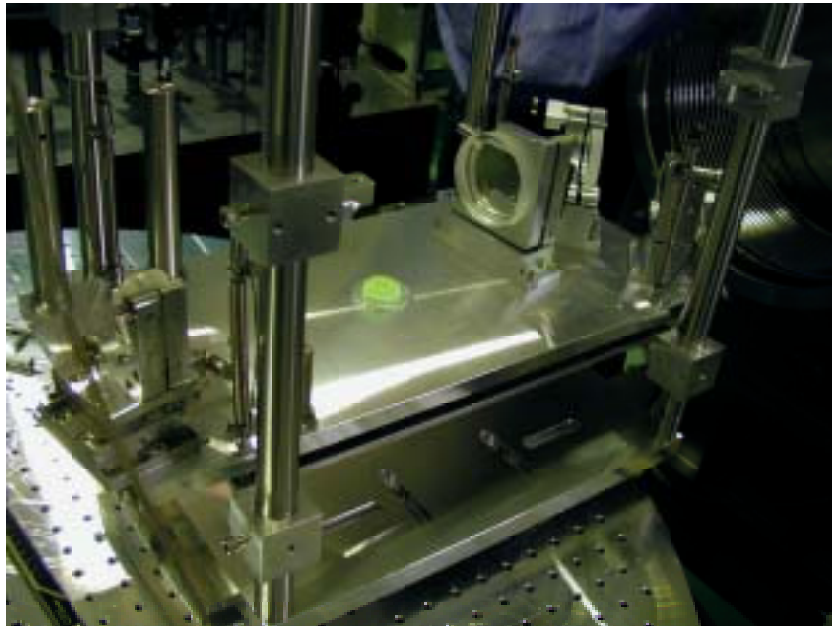


- 10m モードクリーナー
独立懸架リング共振器



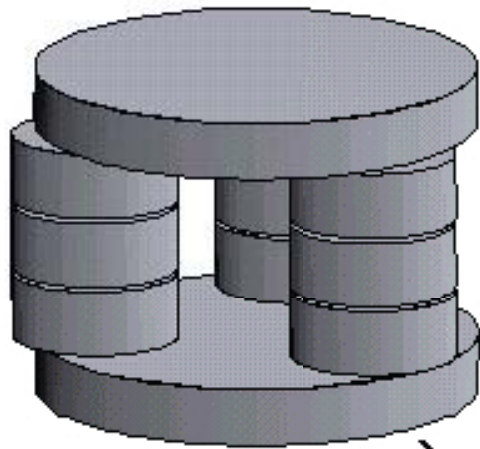
光学系

- 軸外し放物面鏡
(Canon)による反射
型望遠鏡
(ビームエキスパンダ)



- 熔融石英鏡
 ϕ 100x60mm
(JAE)

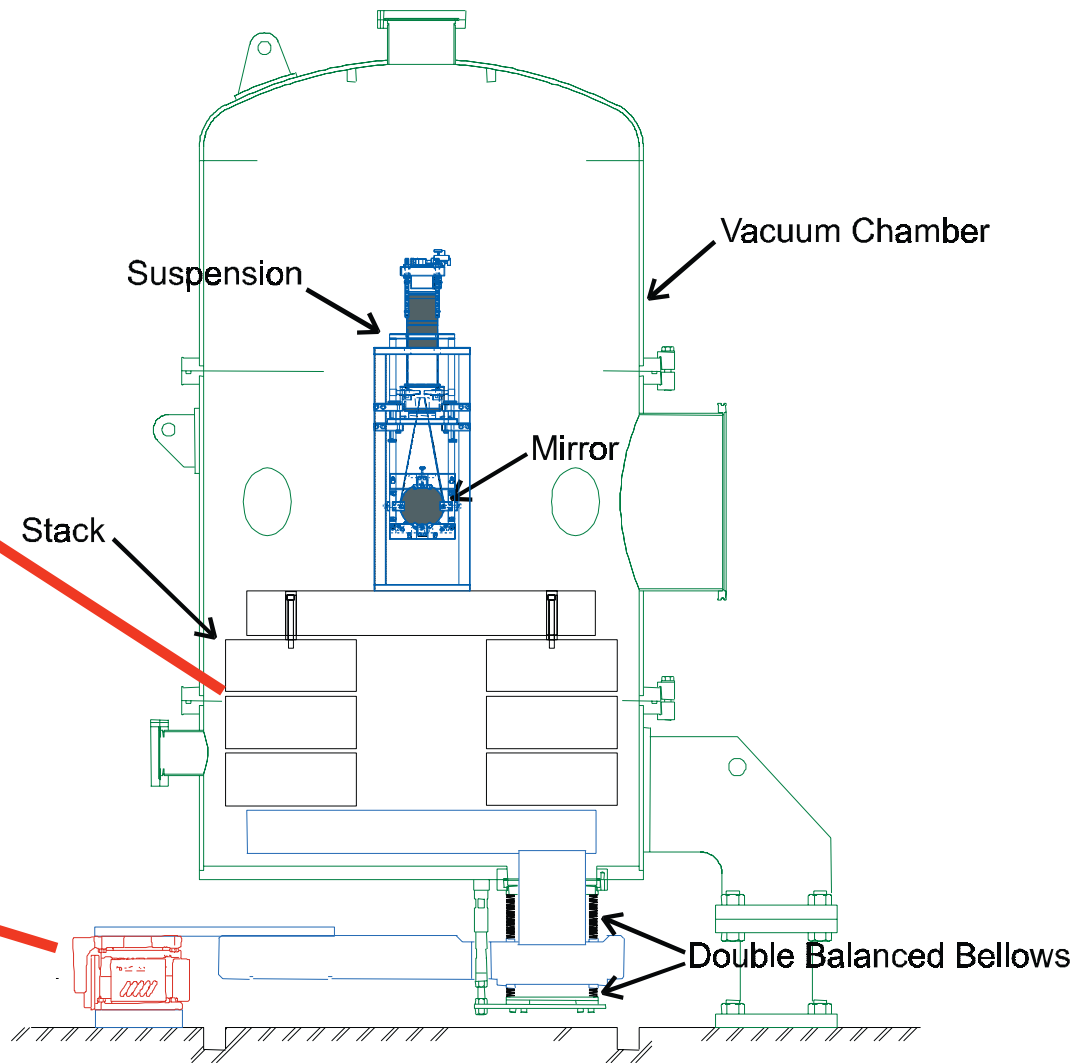
防振系



● 防振スタック



● アクティブ防振装置
(特許機器 α 2)



● 防振比 $<10^{-8}@150\text{Hz}$

ミラー懸架システム

- 2段振り子防振装置
(ニコン技術工房製作)

防振支持された永久磁石
による受動ダンピング



真空系

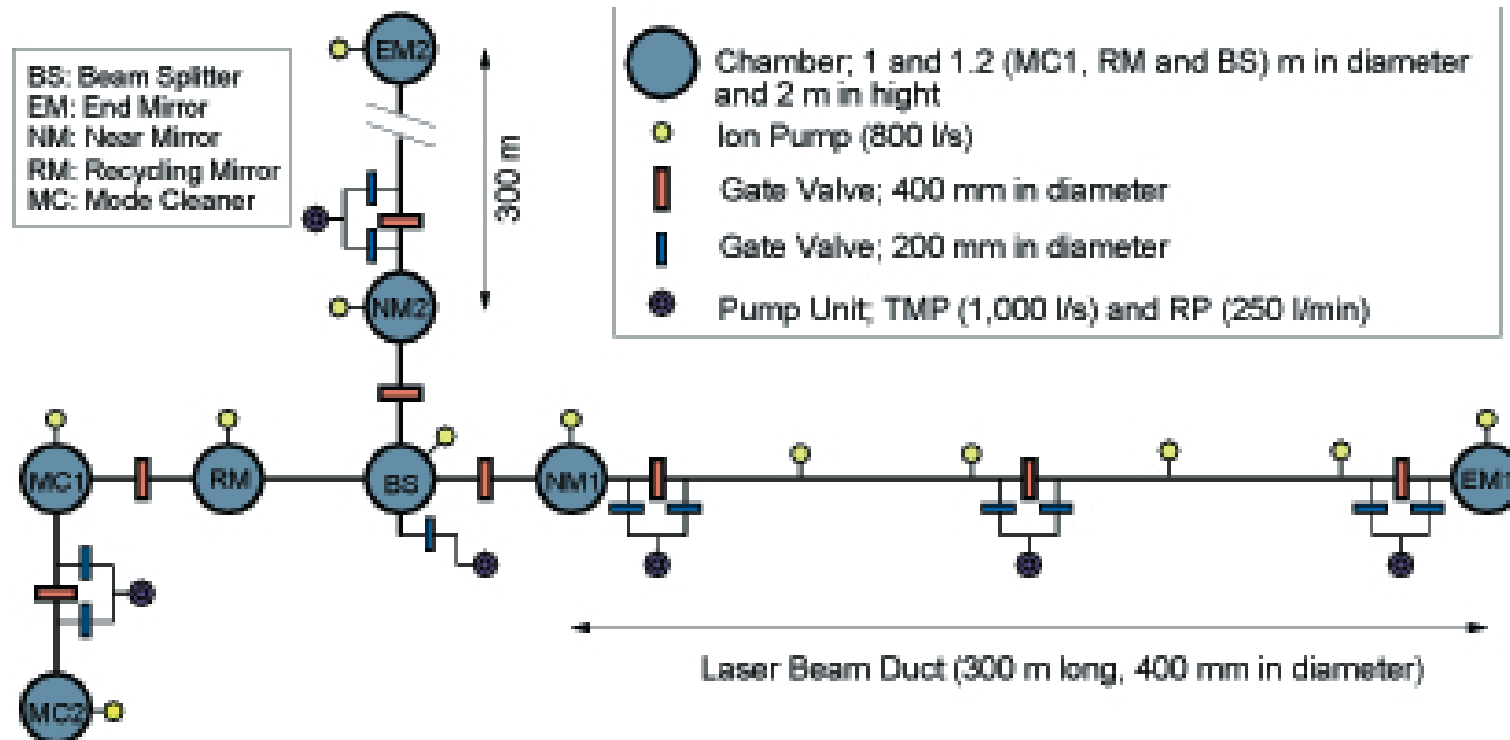
ECB処理

(Electro-chemical buffing by日造精密研磨)

⇒ベーキングなしで

2×10^{-8} torr (Duct)

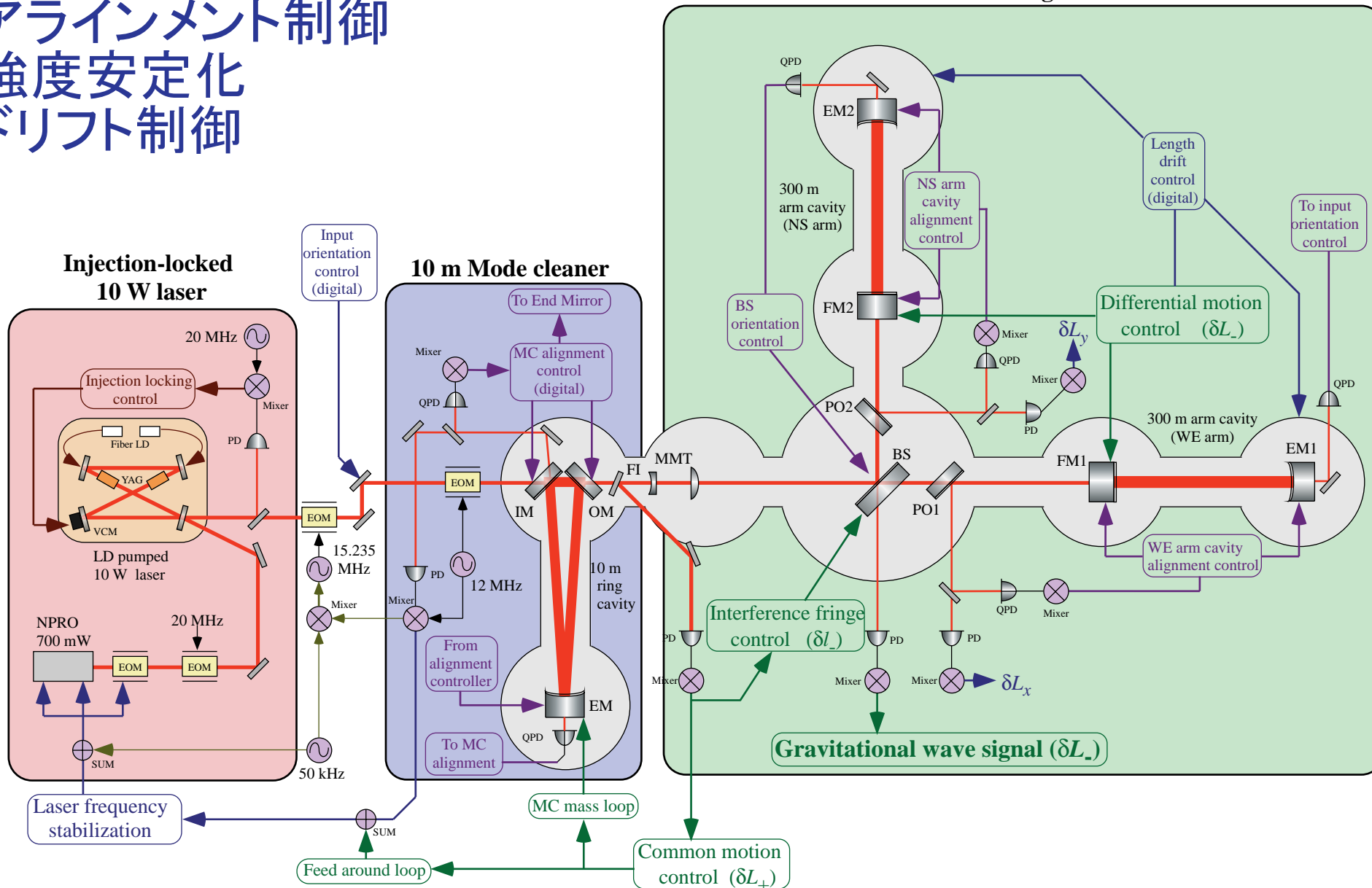
1×10^{-7} torr (Chamber)



制御系

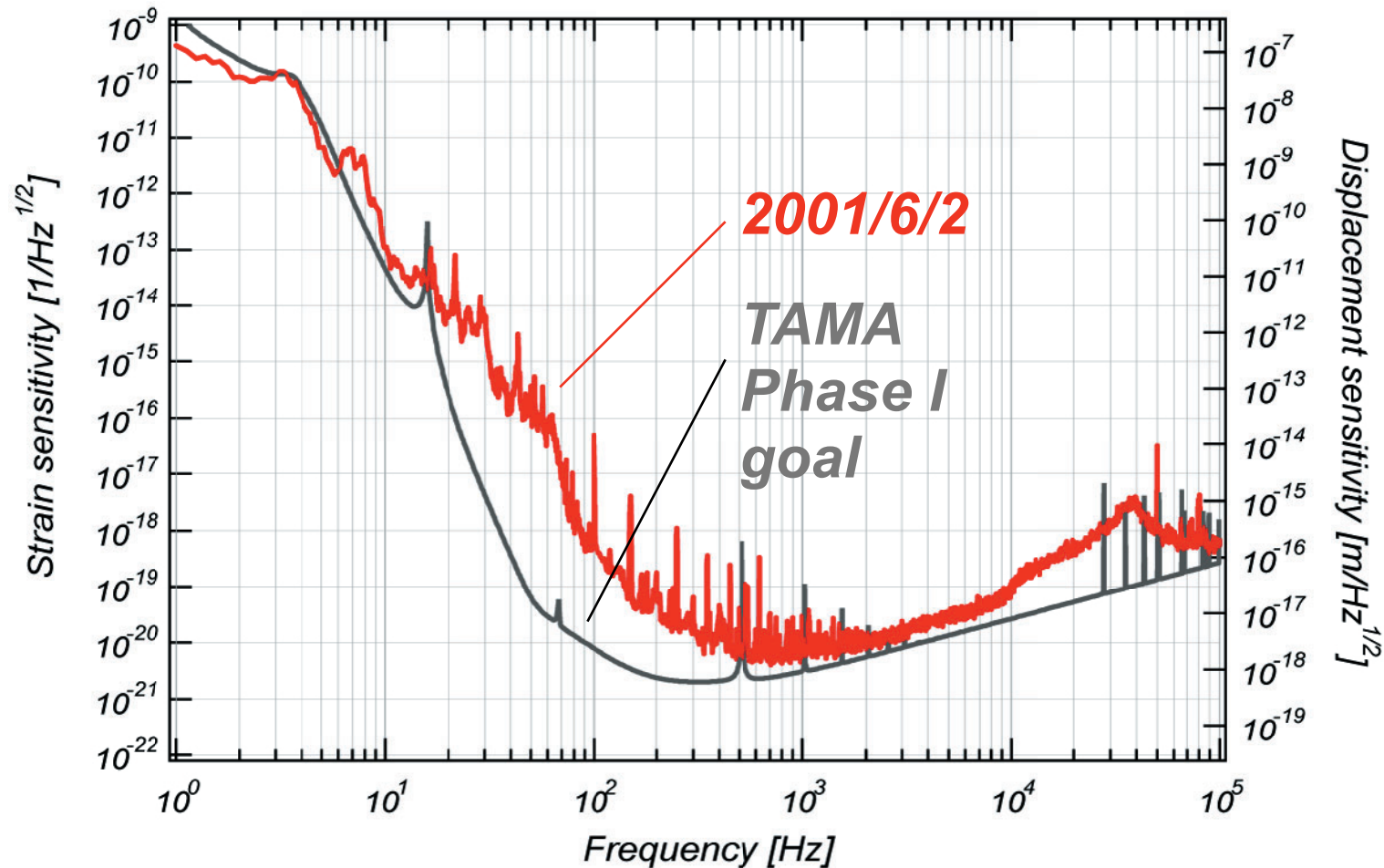
光路長制御
アライメント制御
強度安定化
ドリフト制御

Fabry-Perot-Michelson interferometer
with an arm length of 300 m



TAMA300が到達した感度

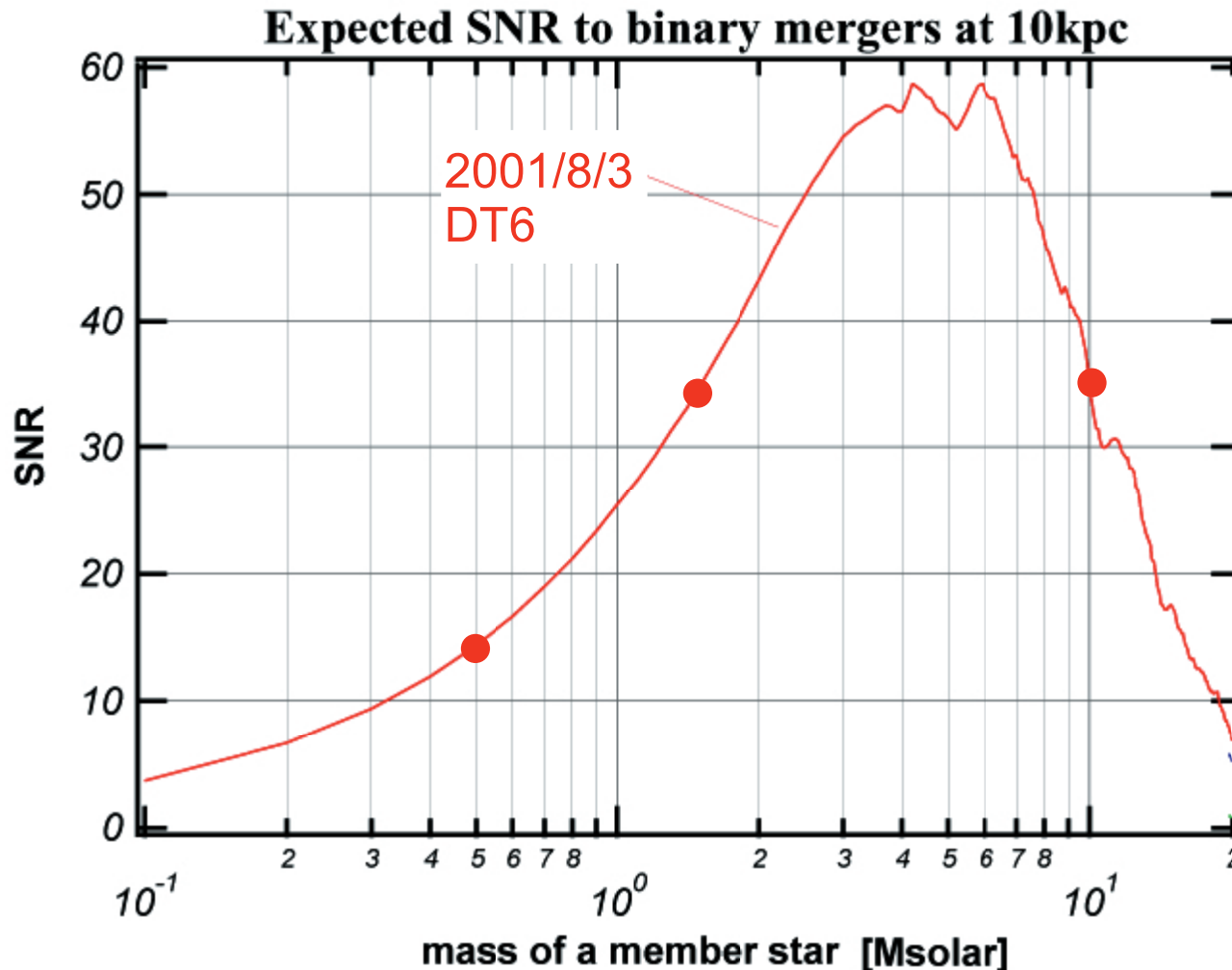
- 歪み感度: $5 \times 10^{-21} / \sqrt{\text{Hz}}$
- 変位感度: $1.5 \times 10^{-18} \text{ m} / \sqrt{\text{Hz}}$



一部の帯域(~1kHz)で目標感度をほぼ達成

連星系合体に対し期待されるSN比

- 銀河中心付近(10kpc)でのイベントに対して期待される信号雑音比 ~ matched filtering解析



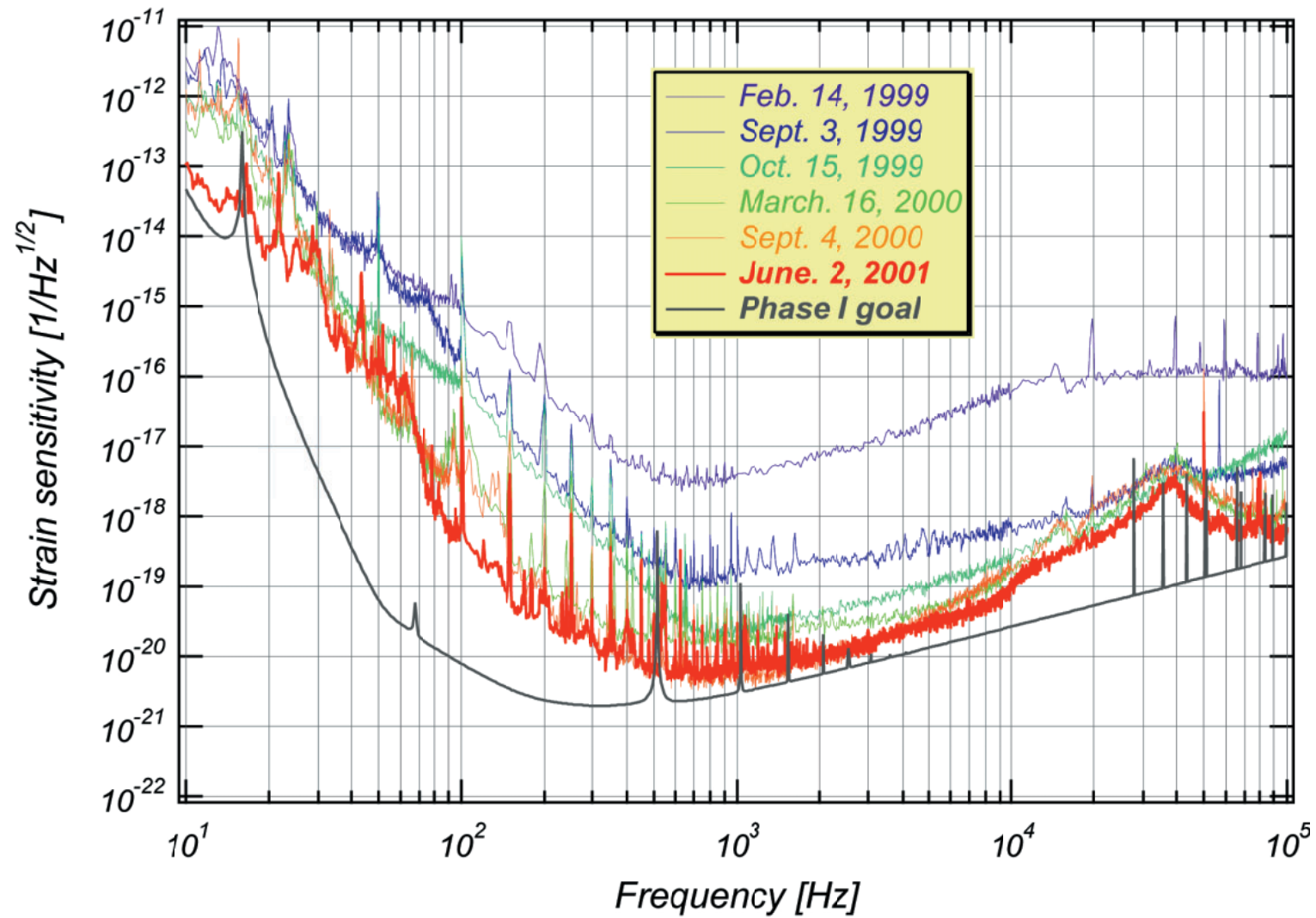
Macho binary:
0.5M \odot ~17

NS binary:
1.4M \odot ~33

BH binary
10M \odot ~34

検出可能なレベル

感度の推移



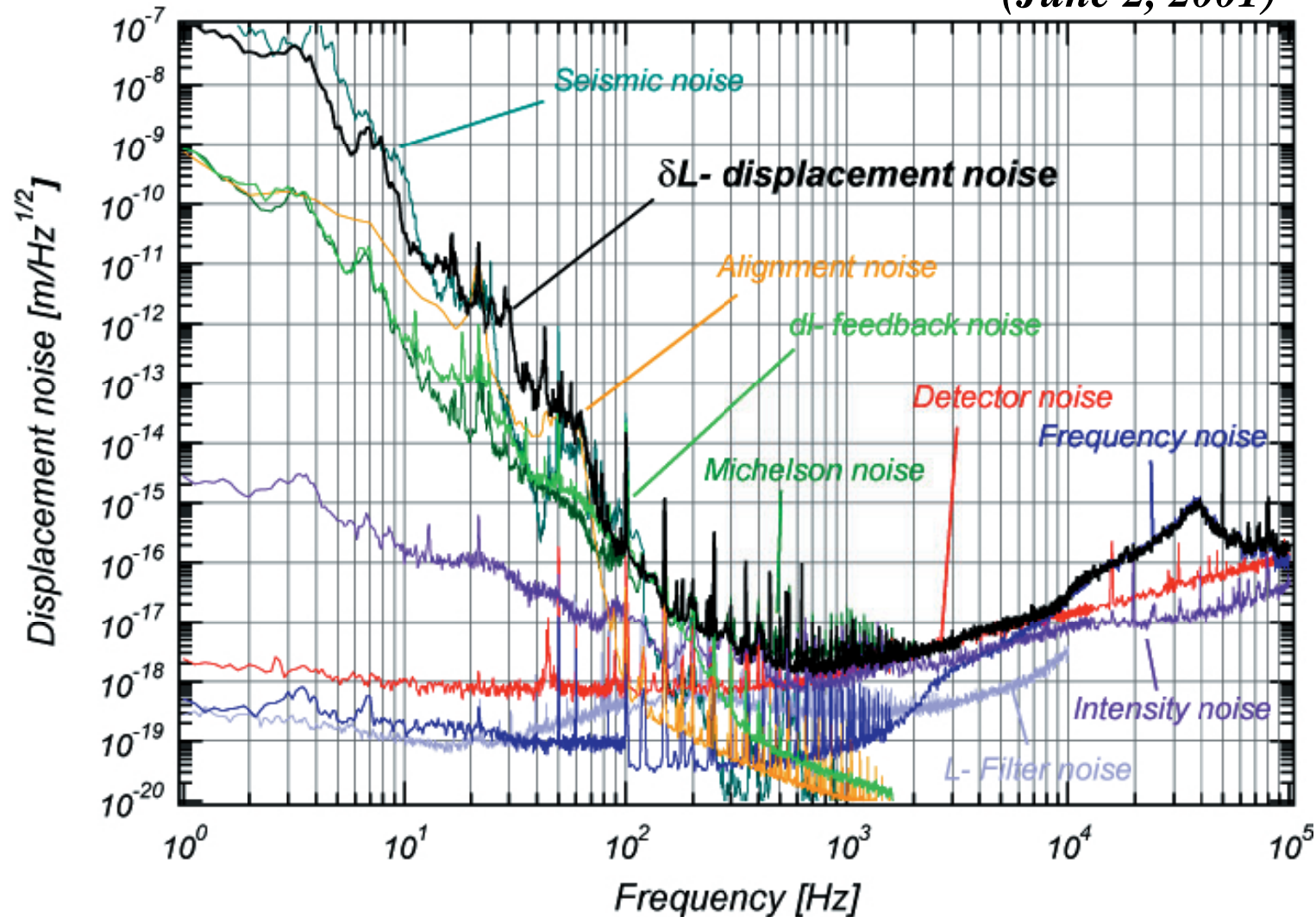
1999/2 ⇒ 2001/6 全帯域で2~3桁の改善

雑音源

- ほぼすべての雑音源が同定されている

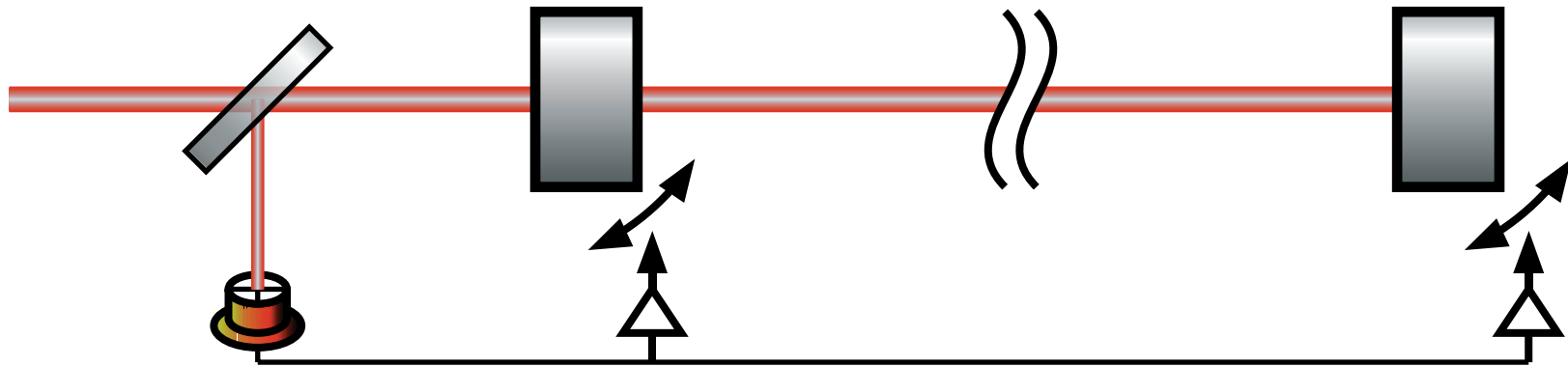
Displacement noise level of TAMA300

(June 2, 2001)

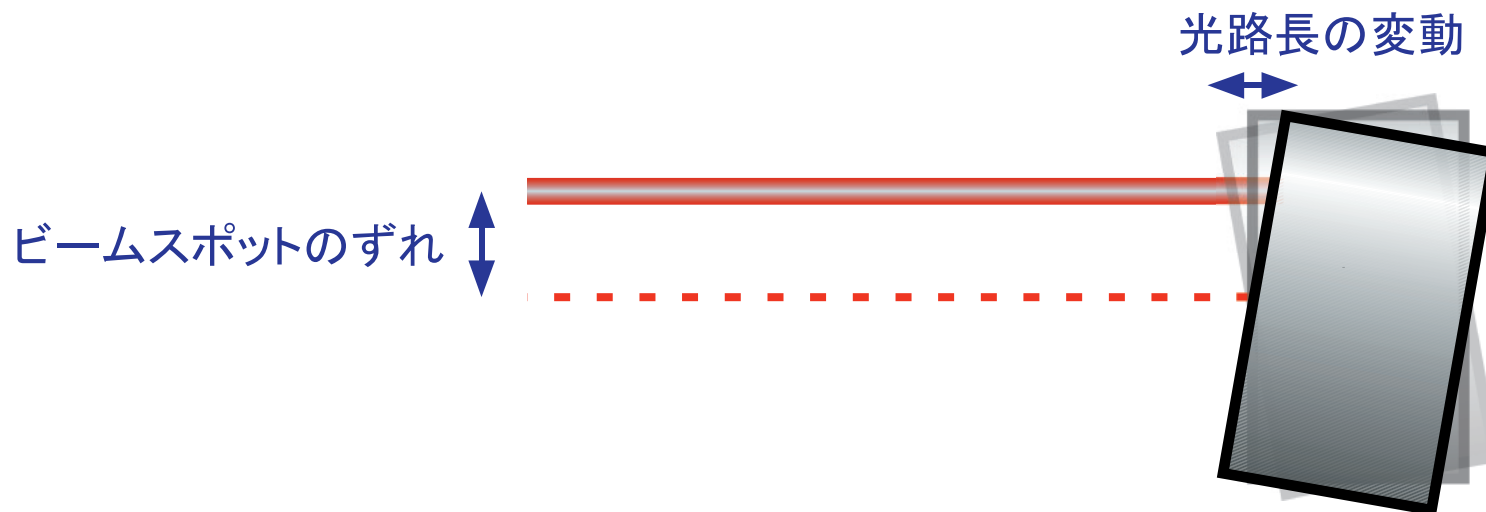


感度の向上の例～アライメント制御系(1)

- アライメント制御＝鏡の姿勢制御

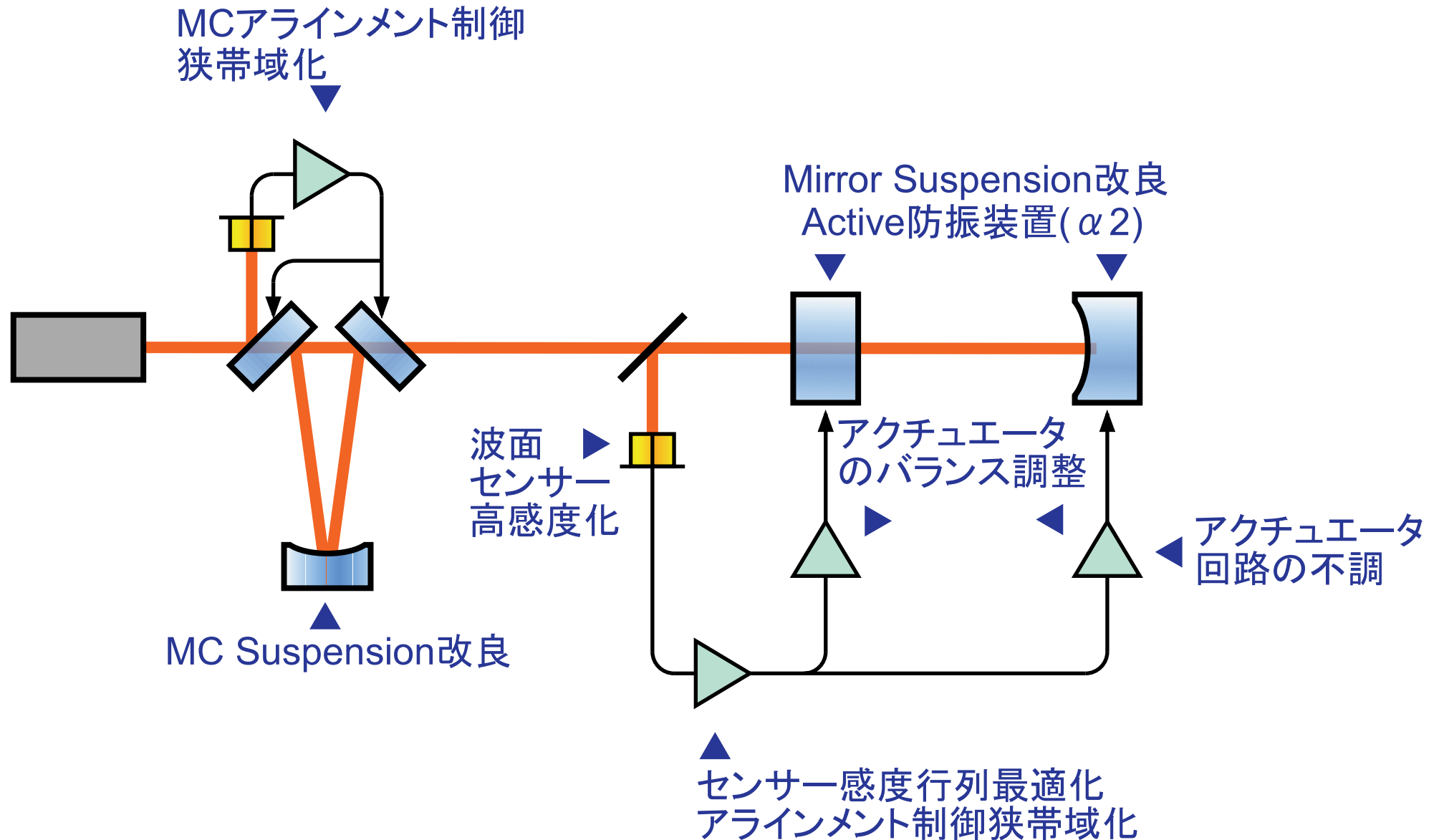


- 雑音のメカニズム～角度揺れから光路長へのカップリング

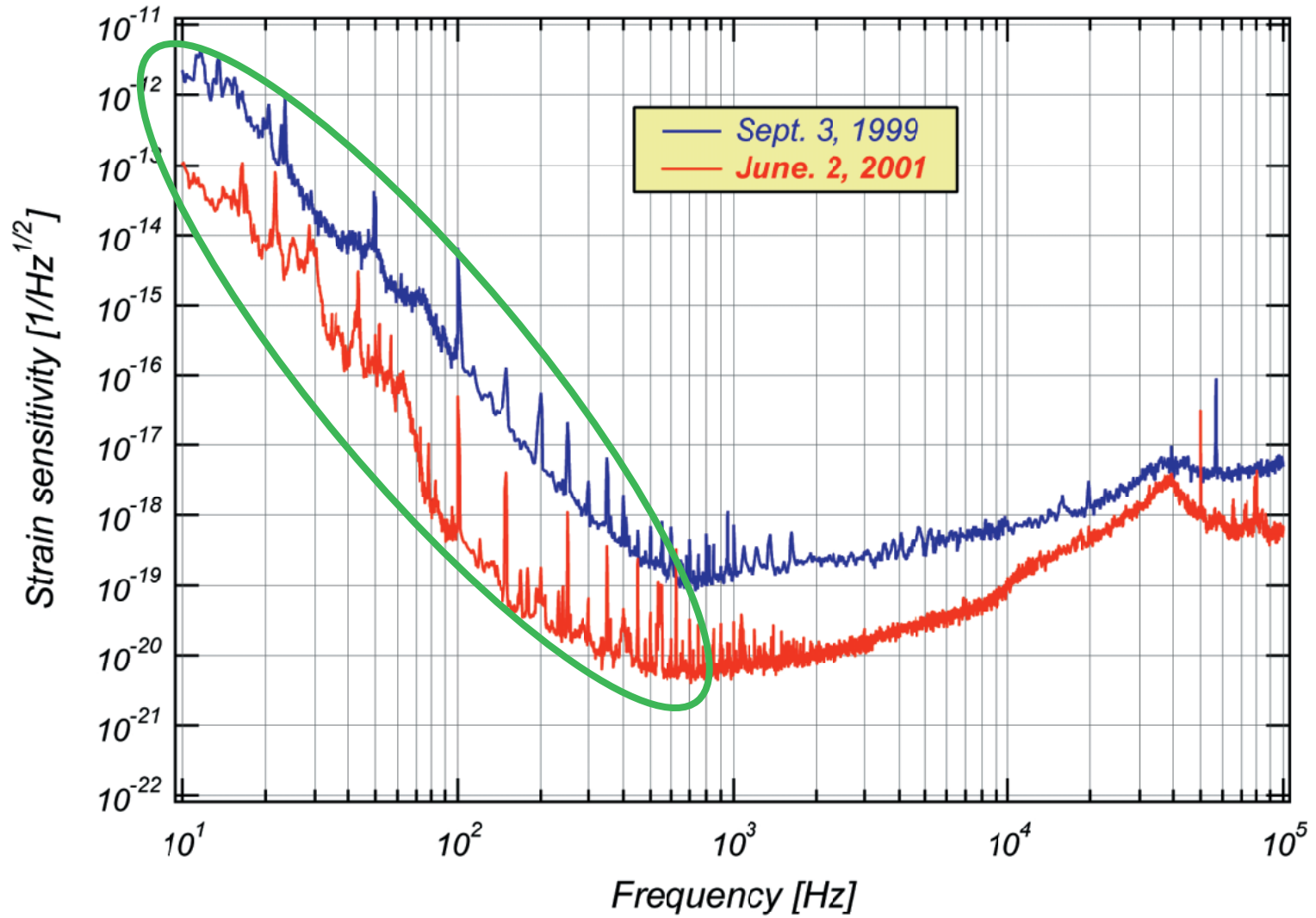


感度の向上の例～アライメント制御系(2)

● アライメント雑音低減のための改良



感度の向上の例～アライメント制御系(3)



TAMA300による観測

● 第6次観測 Data Taking 6

8/1~9/20 (50days) で、
重力波探査に堪える高品位データを
1000時間分 取得すること

● 長期観測で干渉計になにが要求されるか

干渉計の性能

よりよい感度

感度の安定度 (平均感度・定常性)

安定度

終日運転 (duty比=83%以上)

完全自動化

瞬間的な感度を得るよりも厳しい要求が課される

DT6の成果

銀河系内でのイベントを検出できる感度

連続運転に耐える干渉計 ～高いduty比・ロックの自動化

総ロック時間(調整中を含む) 1107時間 (92.3%)

総観測データ量(調整中を含まない) 1038時間 (86.5%)

干渉計診断オンラインモニター

～干渉計をベストの状態に常時保つ体制

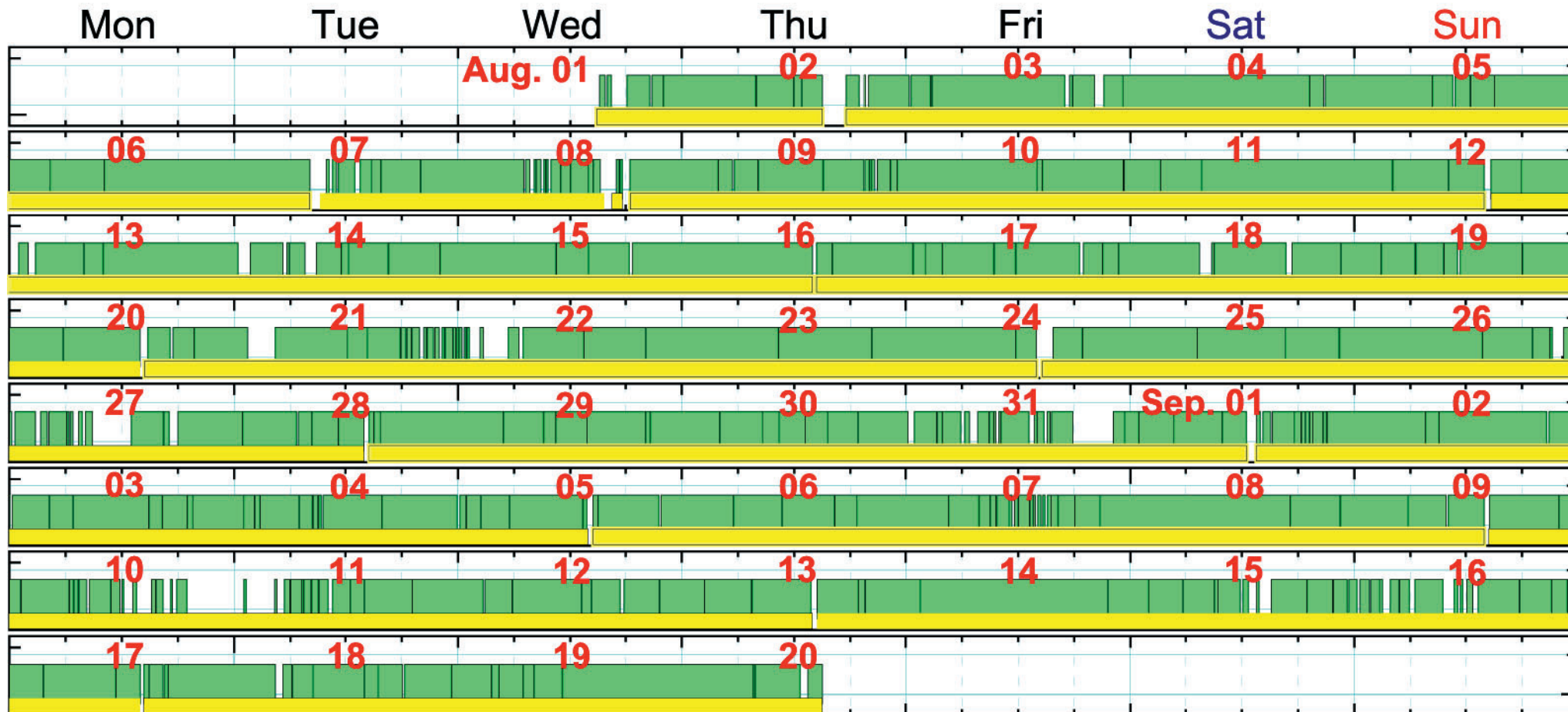
LISM 神岡20m干渉計との同時観測

～同時ロック時間 709時間 (59.1%)

DT6 ~ 干渉計動作

● 干渉計の動作状況

Date in JST



Operated (over 10min)



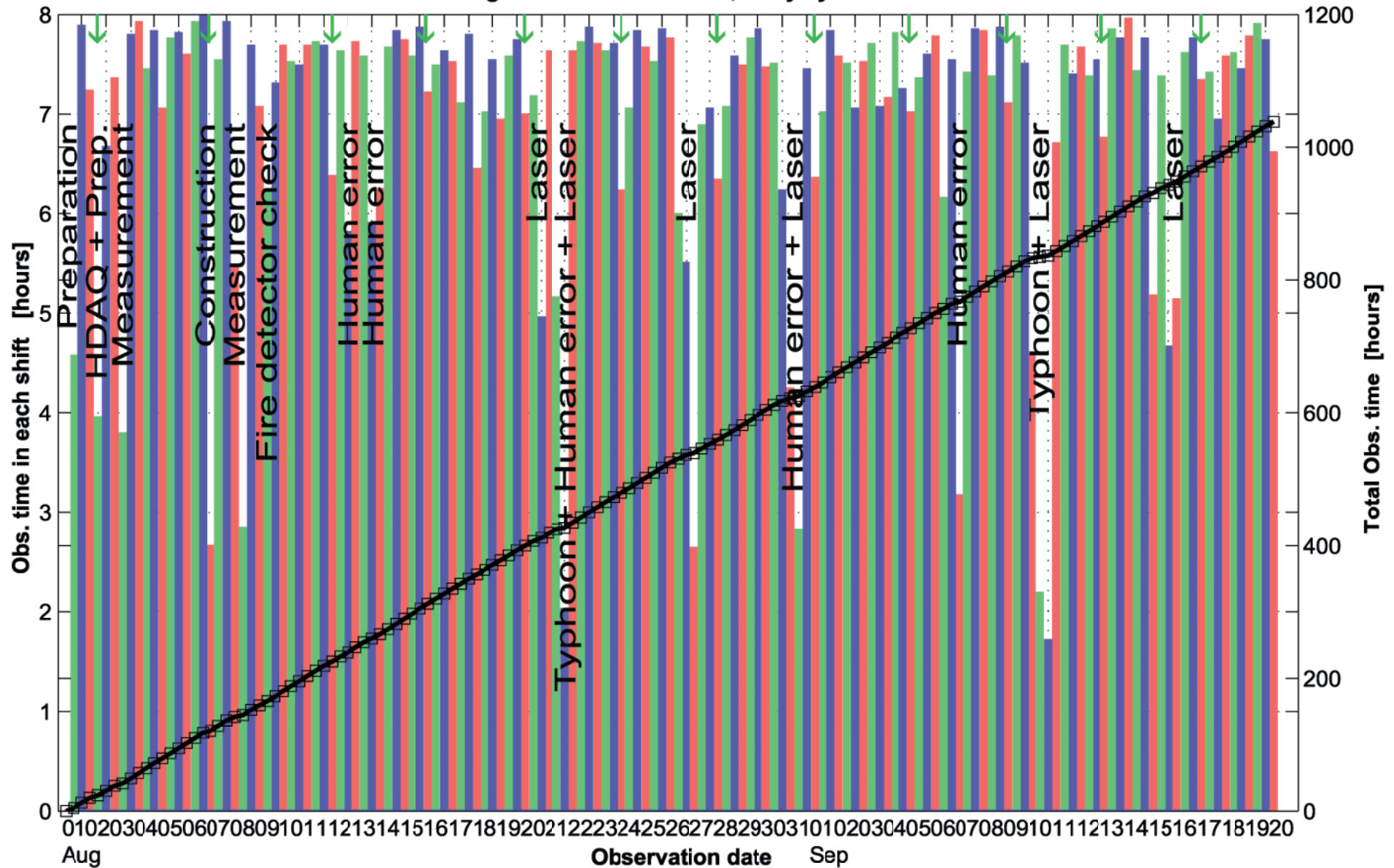
High-freq. data taking

DT6 ~ 干渉計動作

● Duty比を下げる主な要因

Start: Aug 01, 2001, Wed, 15:00:00 JST, End: Sep 20, 2001, Thu, 15:00:00 JST (Total run time: 1200:00:01)
Total long obs. time: 1038:07:35, Duty cycle: 86.5105%

Tape
exchange

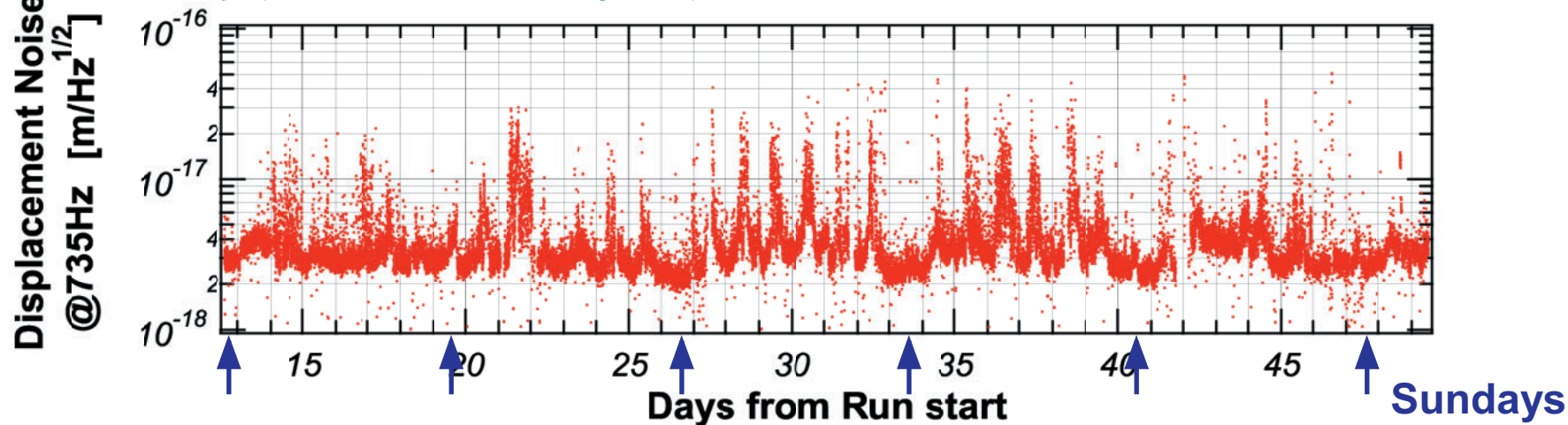


DT6 ~ 1000hours

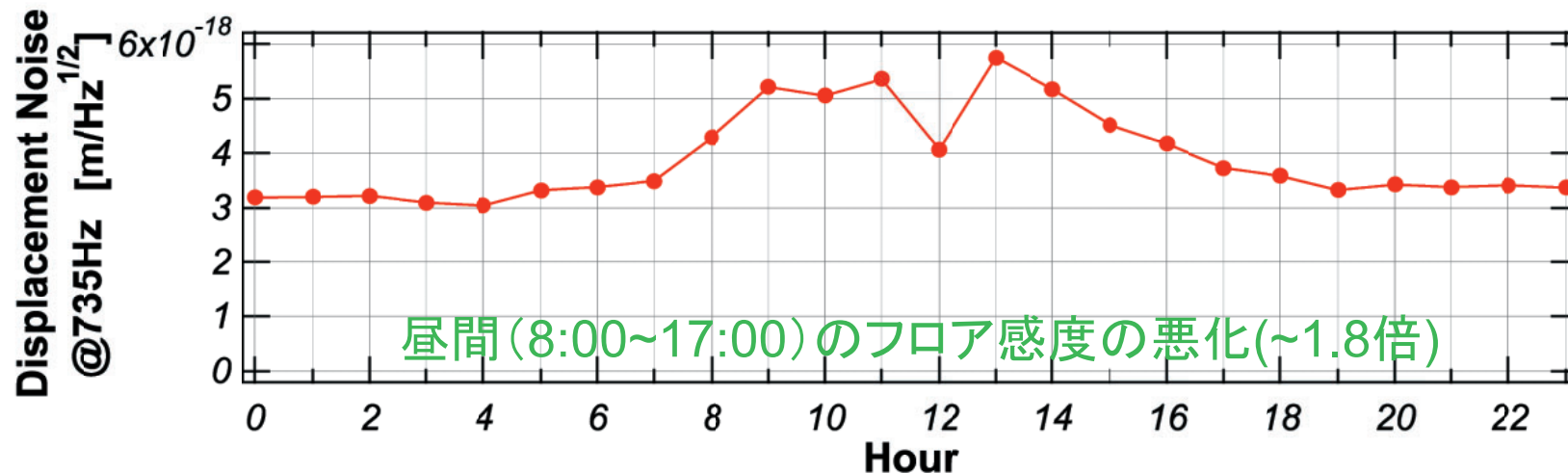


DT6 ~ 感度の安定度

● 平均感度(@735Hz)の変動



▼ 時刻ごとの平均感度



オンライン干渉計診断の帰結:

定常性・感度ともよい部分~全データの75%

TAMA300リサイクリング実験

● TAMA300リサイクリング 2001/10~

● 目的

リサイクリングで感度の改善 ⇒ 観測

これまでの R&D ⇒ TAMAに集結 ⇒ 将来に活かす

● 現状

リサイクリングした干渉計の動作に成功

リサイクリングゲイン ~ 4

連続動作 ~ 46分

フロントルモジュレーション法による光路長制御の実現

テストマスへのアライメント制御の適用

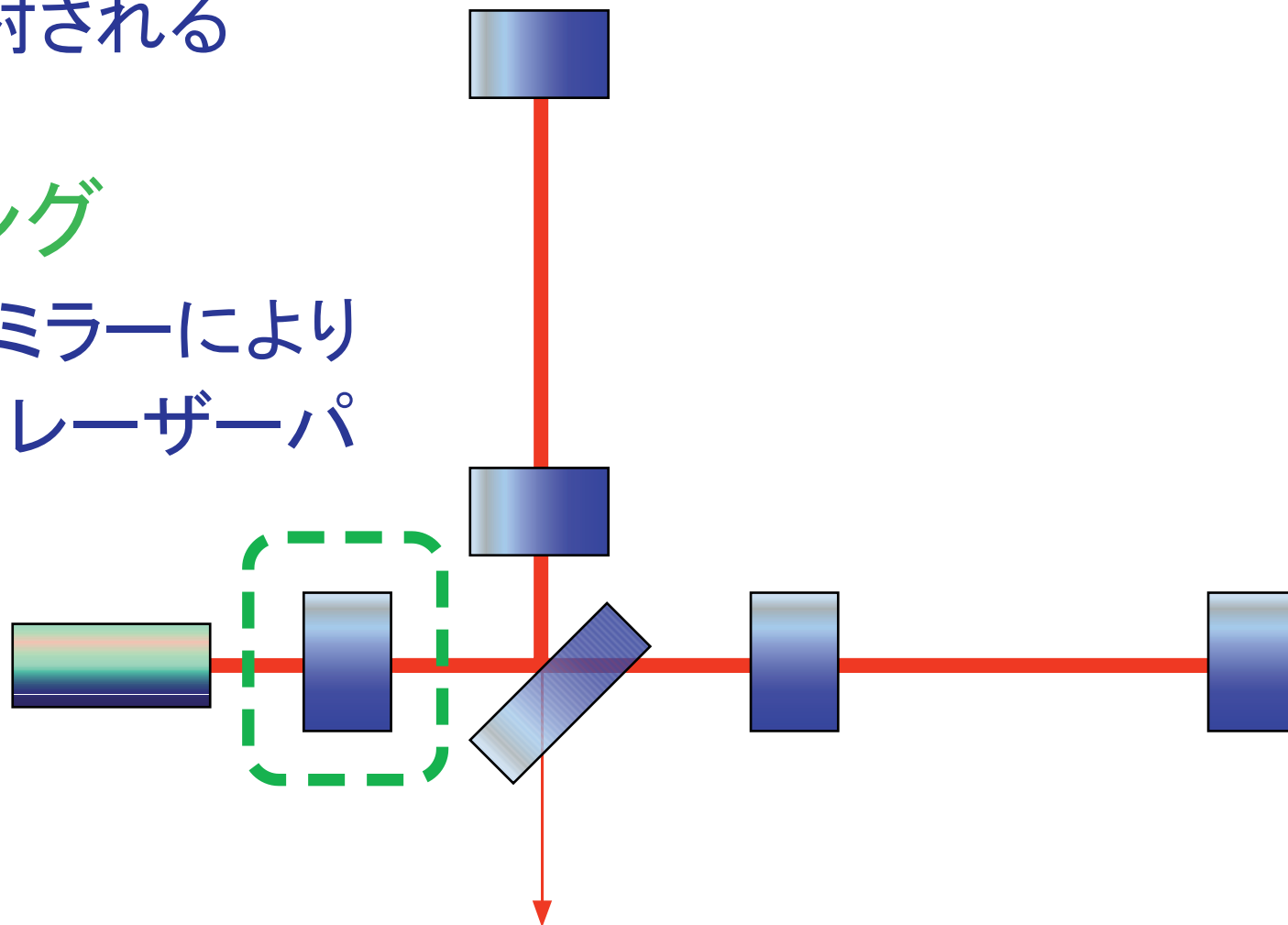
パワー・リサイクリング

- ダークフリンジ条件

入射パワーのほとんどが
レーザー側に反射される

- リサイクリング

リサイクリングミラーにより
共振器を形成し、レーザーパ
ワーを蓄積する



リサイクリングの目的

● TAMA300リサイクリング

リサイクリングで感度の改善

改善した感度での観測

● 1st step: 低ゲインリサイクリング (RRM~48%, G~4.6)

目標: 迅速な干渉計動作の確立

> 早期の全制御系動作 / 早期の観測

> 高ゲインリサイクリングへの情報のフィードバック

> 干渉計の診断・解析法の確立

● 2nd step: 高ゲインリサイクリング (RRM~90%, G~10)

目標: 干渉計動作・感度の最適化

● 3m プロトタイプ(東京大学) (G_{achieved}: 2.9~5.5)

◆ 鏡を吊ったFPM干渉計のリサイクリングに始めて成功*1

◆ 光路長制御法に関する研究

> 変調サイドバンドの光学パラメータ設定による消去*2 *3

> 高調波復調法 *4

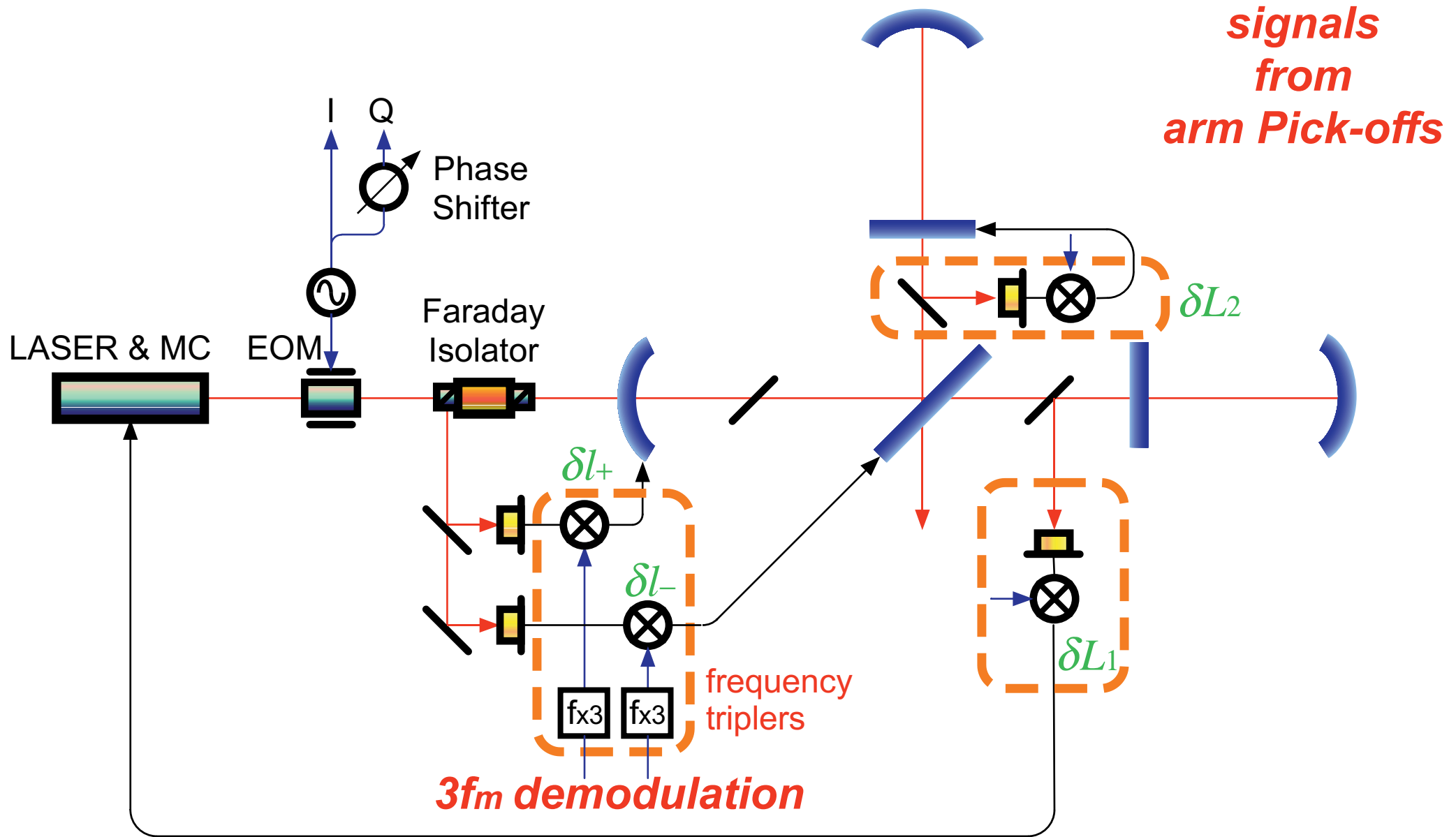
● 20m プロトタイプ(国立天文台) (G_{achieved}: 8~12)

◆ TAMA光学素子の評価*5

◆ 高AMリサイクリング時の光路長・アライメント制御

動作状態への引き込み～ロック (1)

● ロック用の光路長制御系



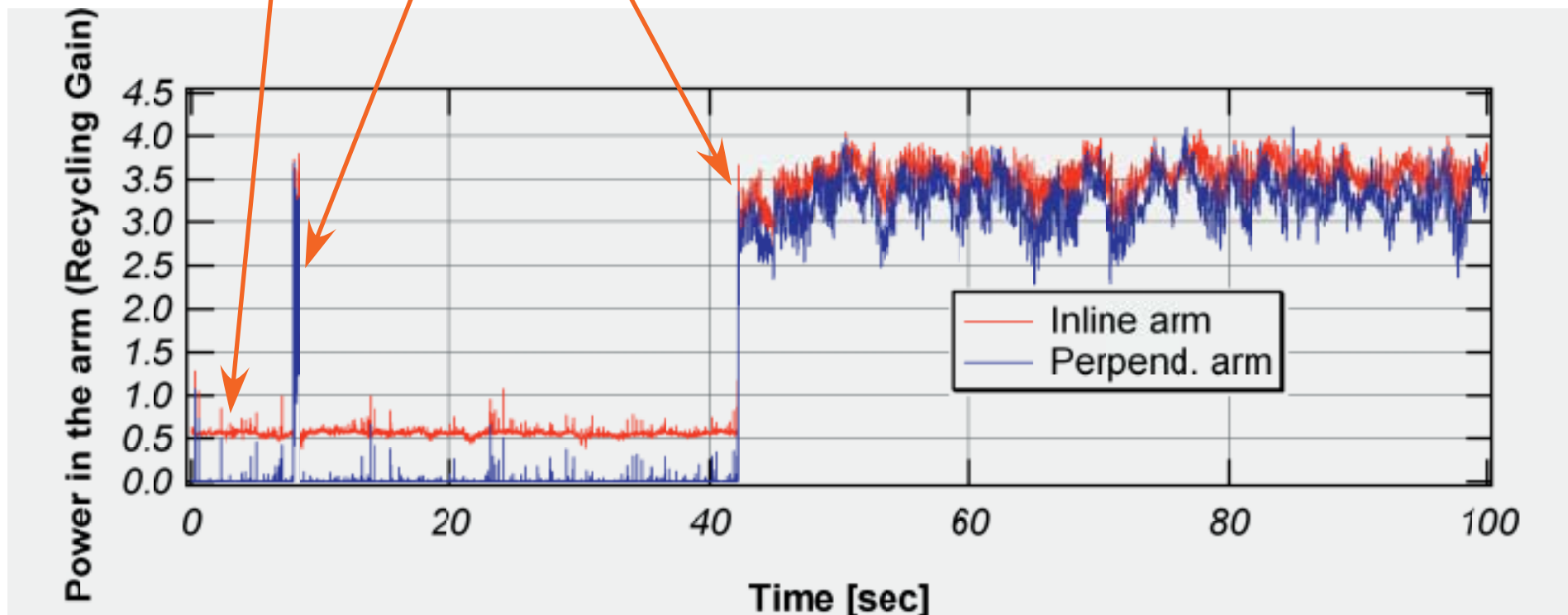
動作状態への引き込み

● ロック時の時系列データ

片方の腕以外は既にロックされた状態
ロックしていない腕の制御を試行中

一瞬だけロック

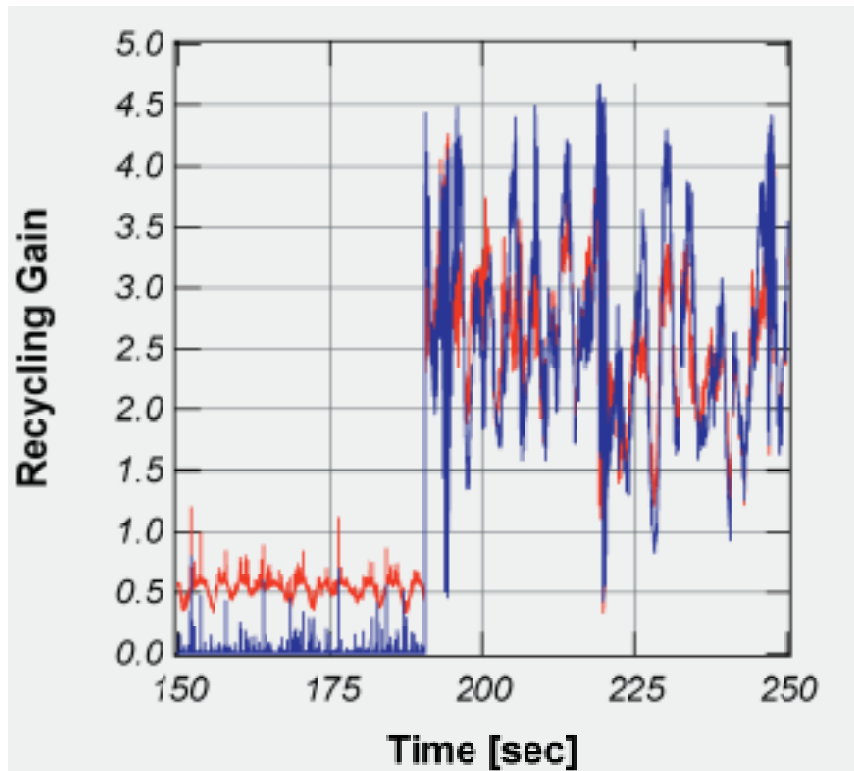
安定にロックへ引き込んだ



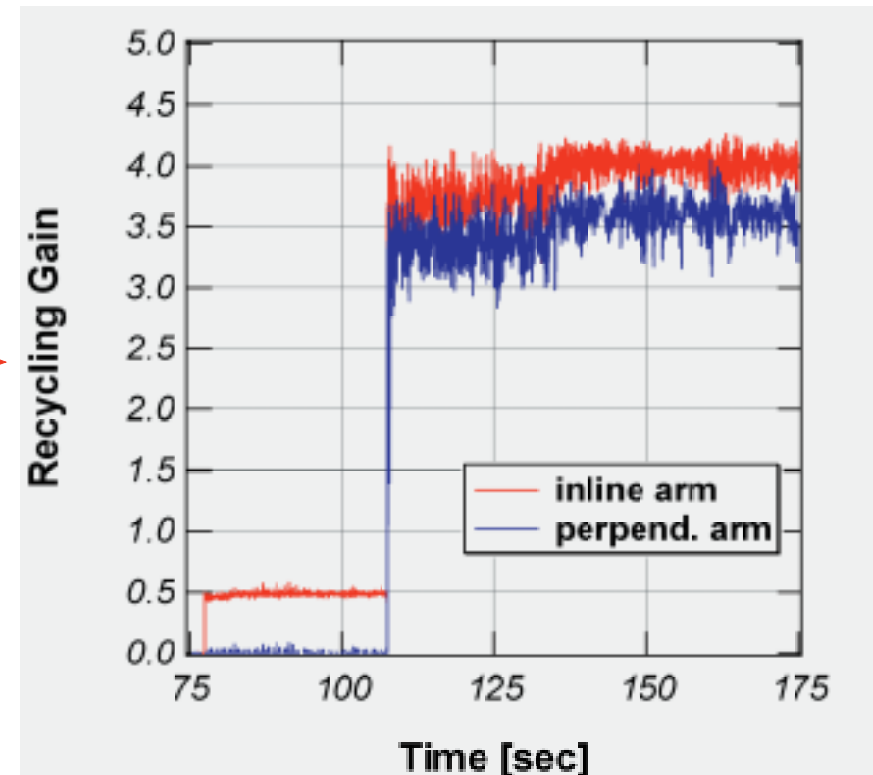
自動アライメント(姿勢)制御

- 波面検出器 (RF4分割フォトディテクター) を用いた鏡姿勢の能動制御

◆ 安定化なし

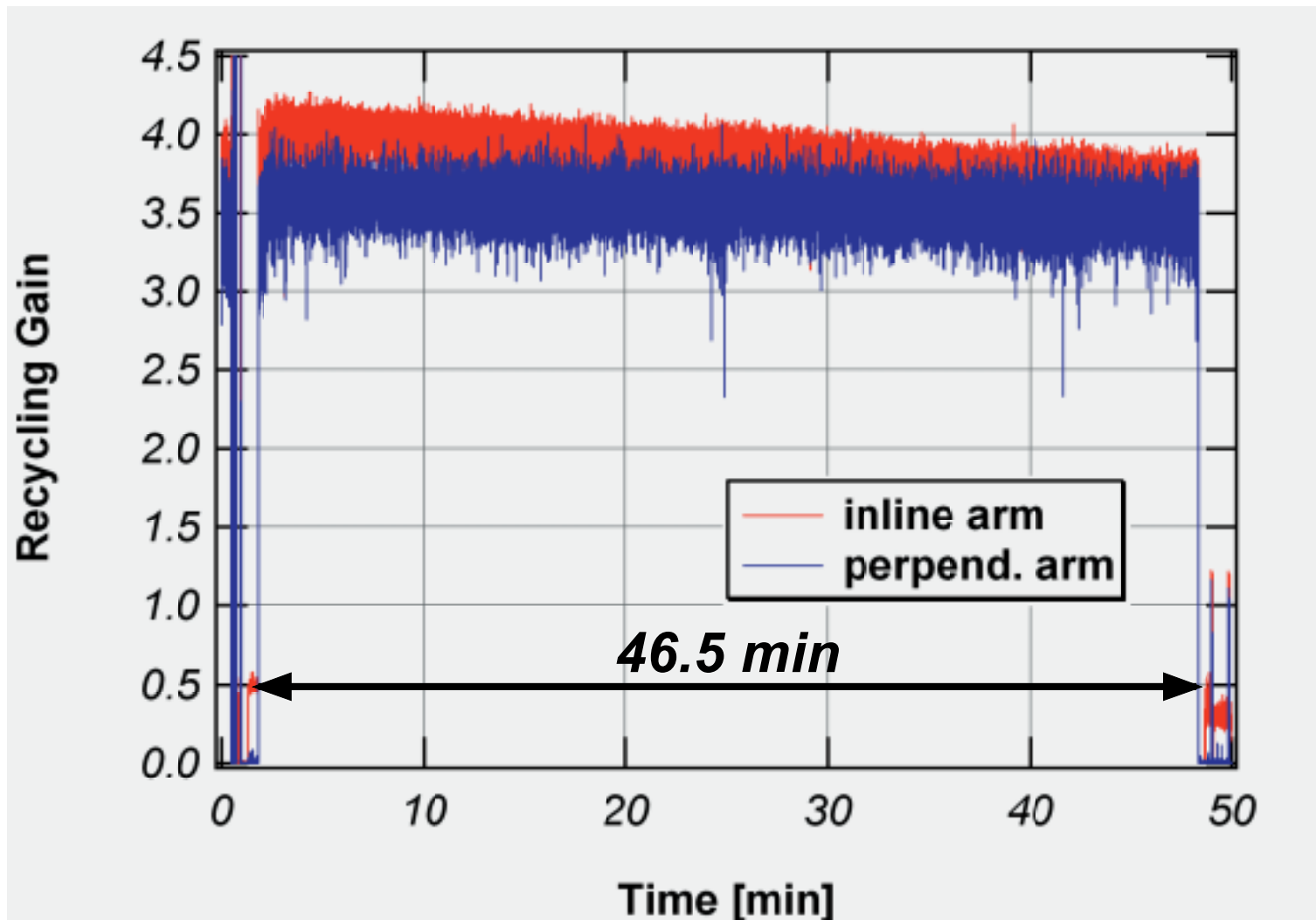


◆ 安定化あり



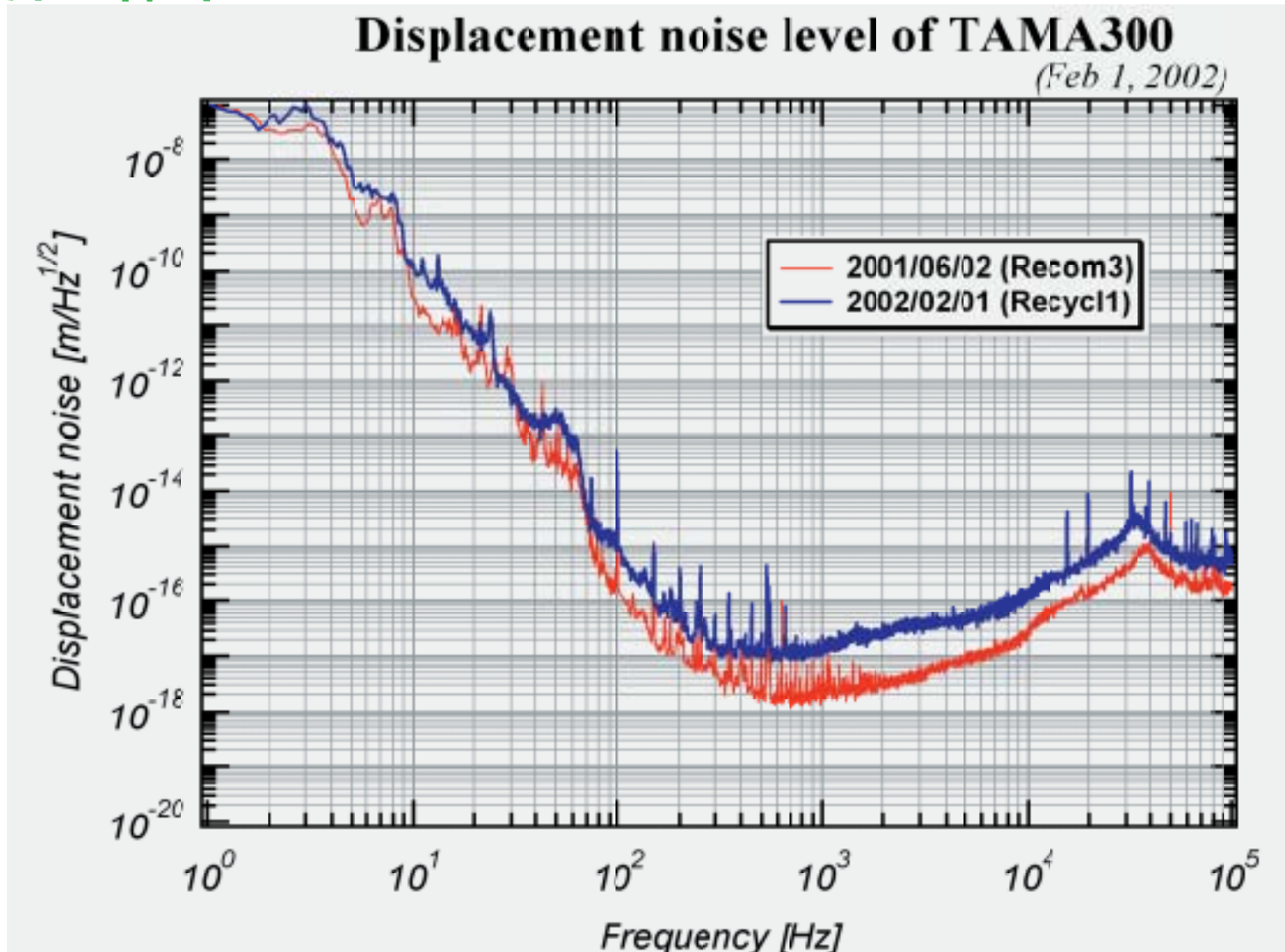
動作の安定度

- 最長連続動作時間: 46分



干渉計の感度

● 変位雑音レベル



1×10^{-17} m/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ~ TAMAベストより7倍悪い値

リサイクリング実験の現状

- 2001/10に実験スタート
- 2001/12にリサイクリング状態で初動作
- TAMA独自の技術
 - ◆ 腕のロック・アライメント制御に
ピックオフからの光を使用する手法
 - ◆ 干渉計反射光を変調の3倍波で復調する手法
- 干渉計の安定度
 - ◆ 現在の最長連続動作 46分
- 感度～雑音低減の作業中
 - ◆ リサイクリングなしの状態より7倍悪いレベル