

TAMA 干涉計報告

国立天文台

新井 宏二

and

the TAMA collaboration

干渉計型重力波検出器TAMA300

K. Arai
02/02/22
YITP Meeting

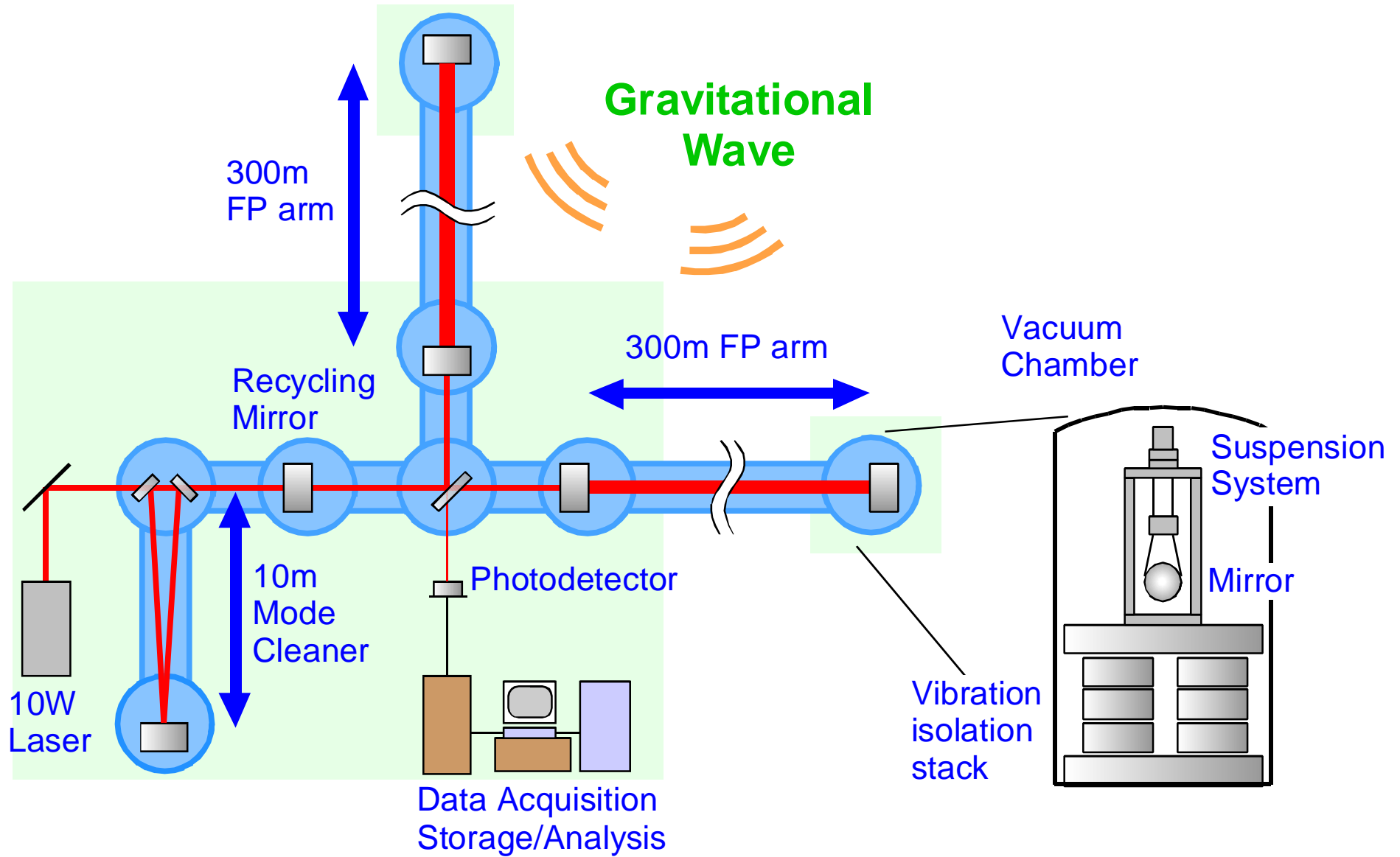
TAMA300検出器の概要

感度

観測 ~ Data Taking 6

パワーリサイクリング実験

TAMA300 detector



TAMA300 Bird's view

国立天文台三鷹キャンパス

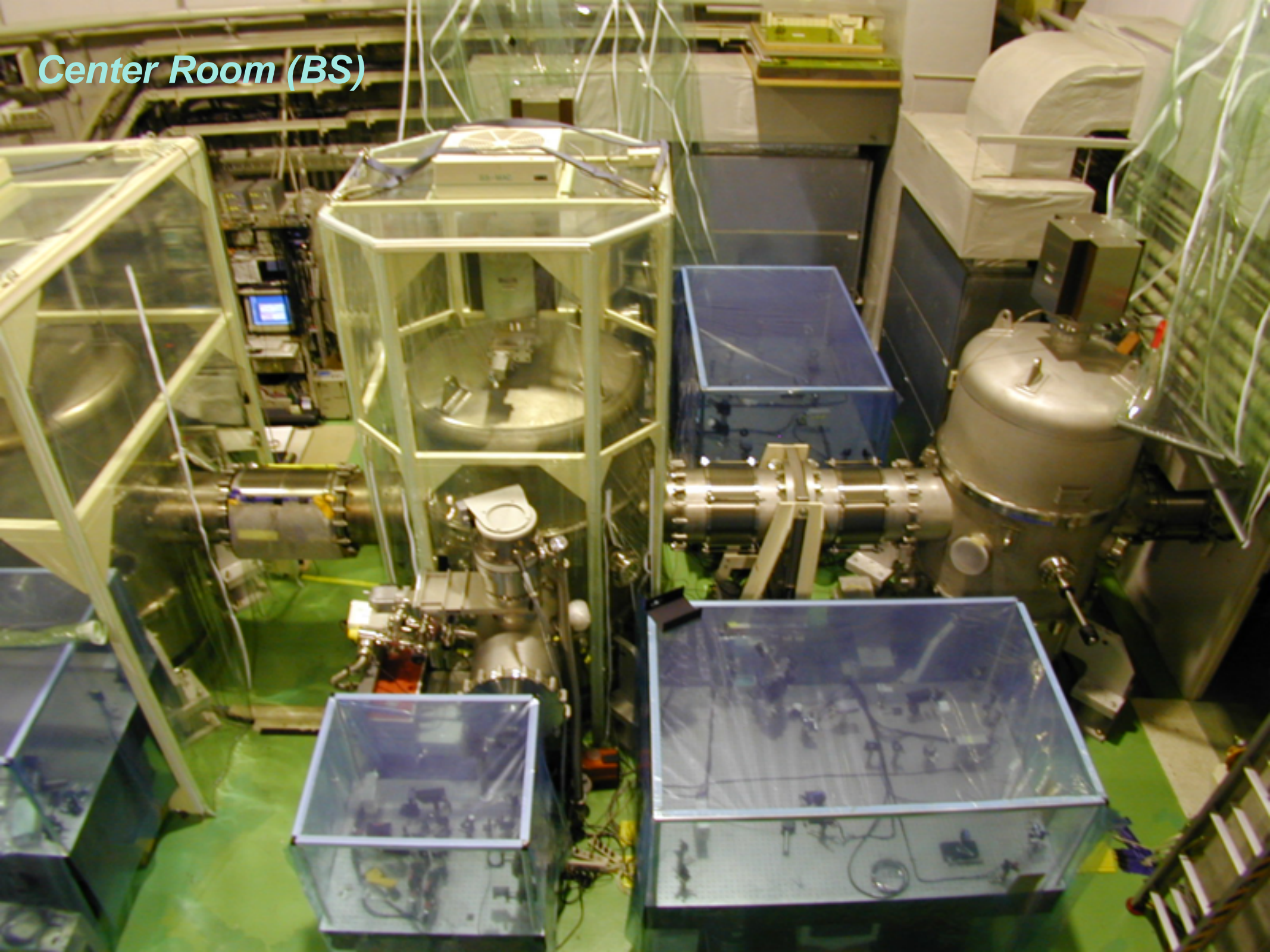
**West
End
Room**

**Center
Room**

**South
End
Room**



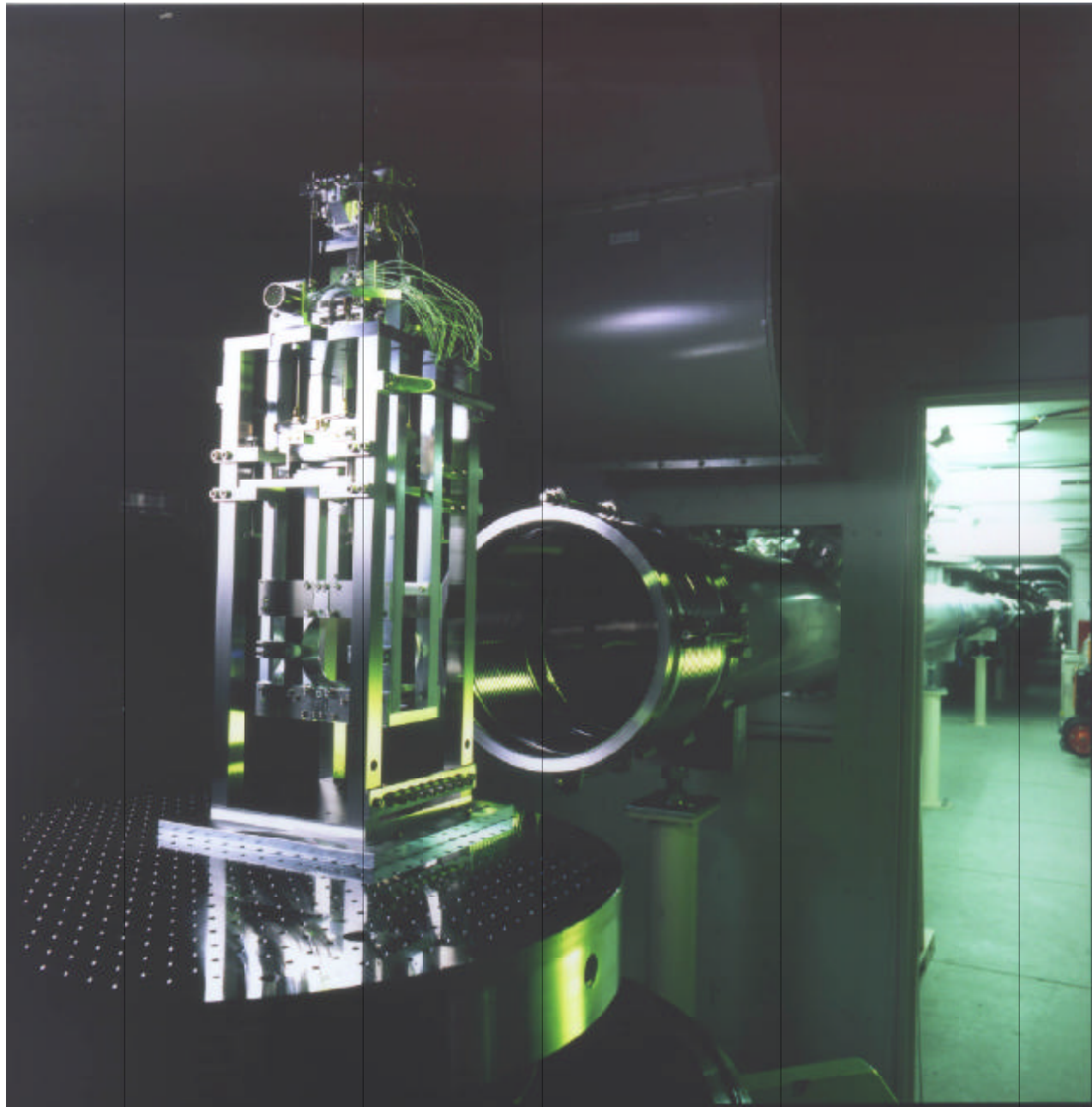
Center Room (BS)



300m vacuum tube



防振システム



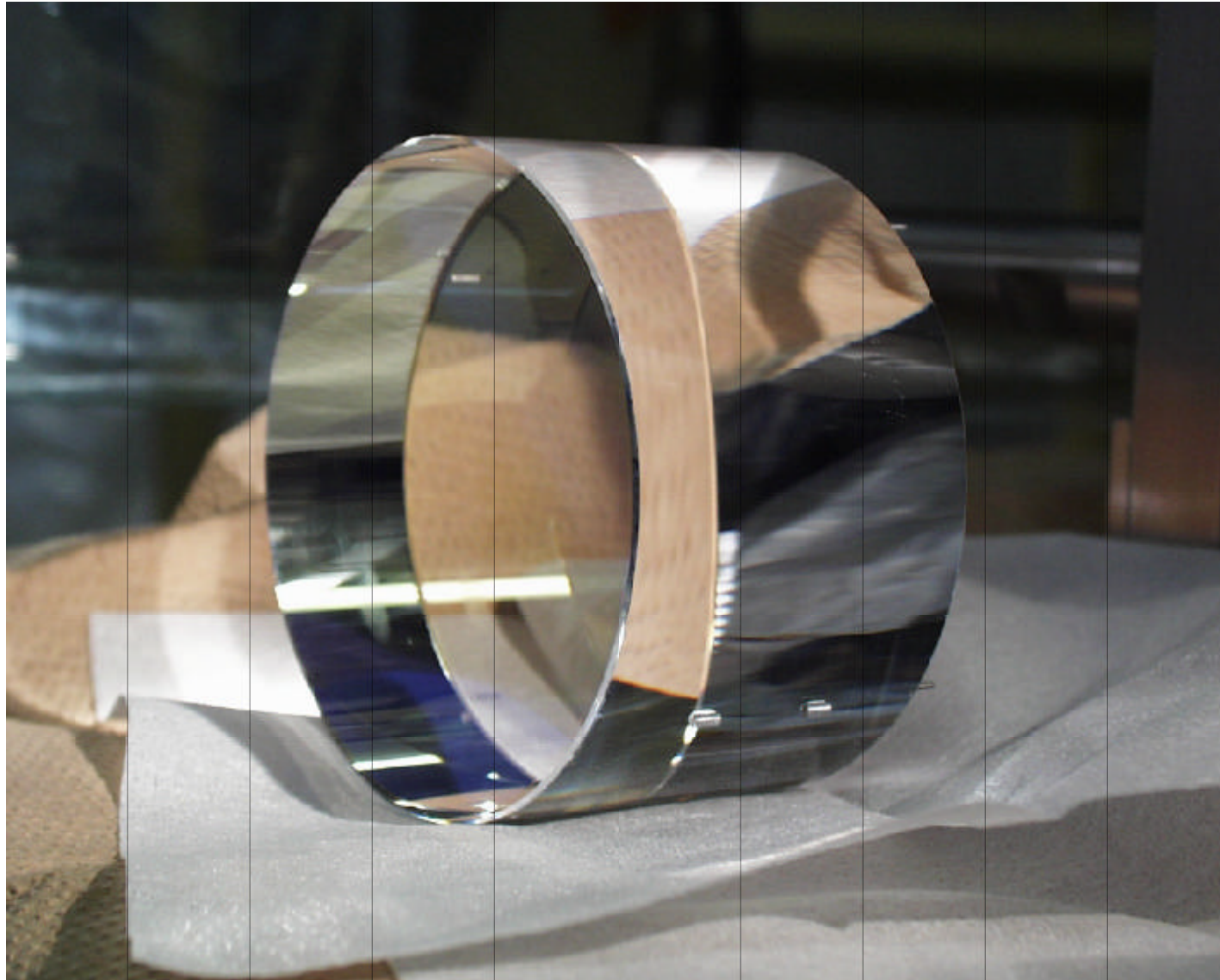
アクティブ
防振装置
+
防振スタック
+
二段振り子

地面振動減衰比
@150Hz
10^{-8}(上限値)

反射鏡

熔融石英製

100mm x 60mm



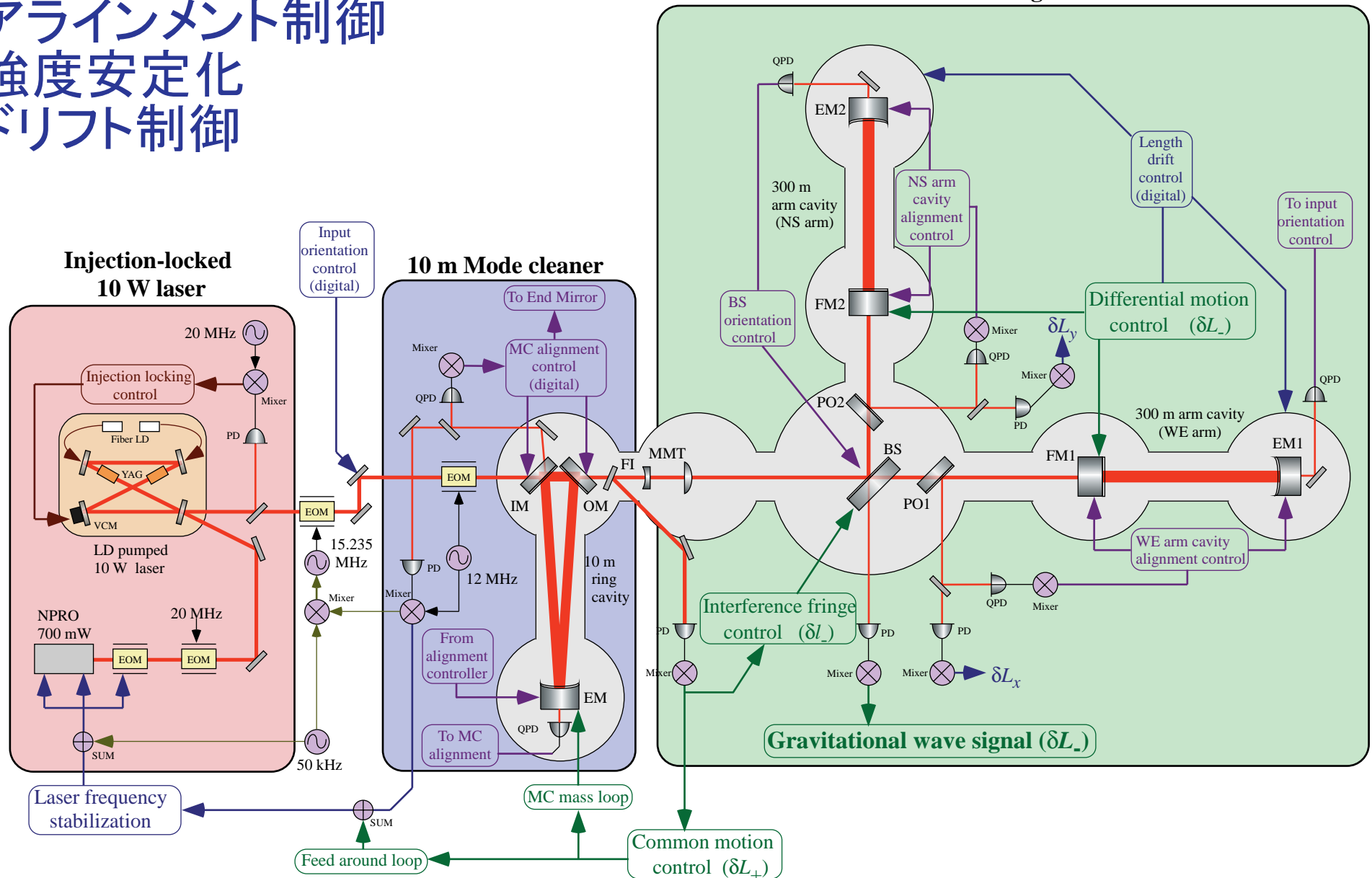
High quality
mirror

optical quality
+
mechanical
quality

制御系

光路長制御
アラインメント制御
強度安定化
ドリフト制御

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

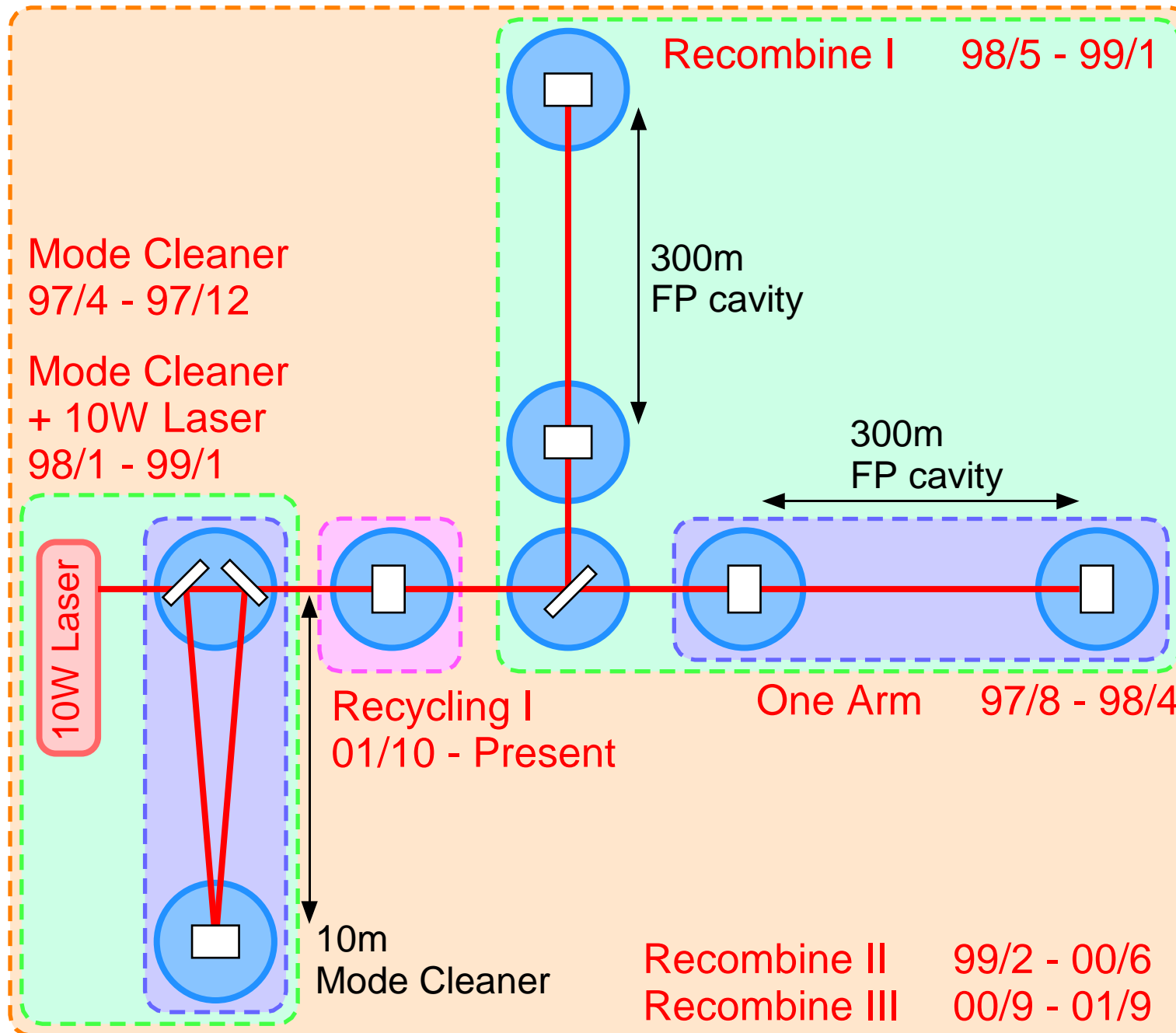


Control Electronics



Progress of TAMA300 development

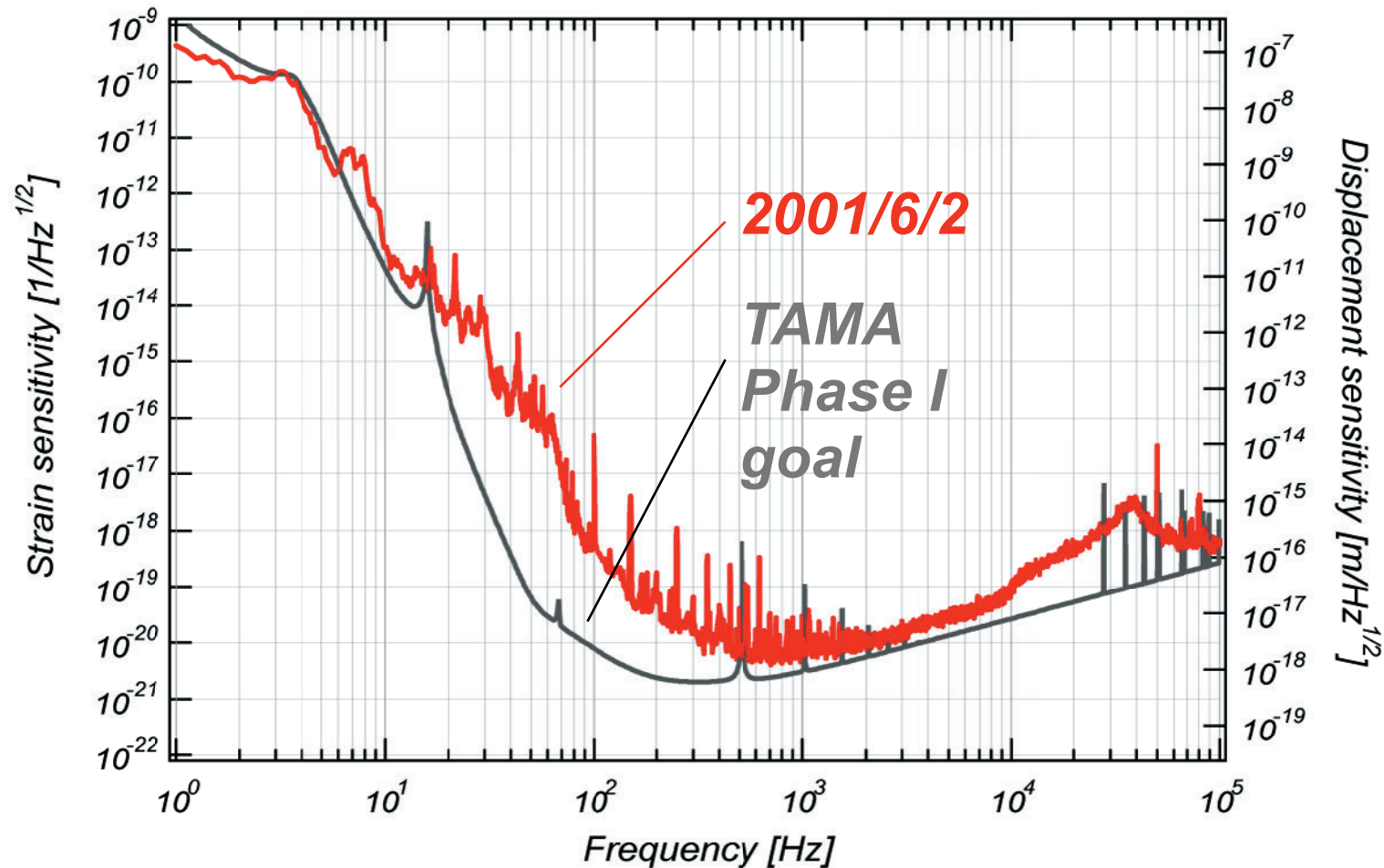
2002/2



- 1995 Project started
- 1996 Facilities construction completed
- 1997 Vacuum system completed
- 1999/8 Data Taking 1 (engineering run) 11 hours
- 1999/9 Data Taking 2 (first data run) 31 hours
- 2000/4 Data Taking 3 13 hours
- 2000/8~9 Data Taking 4 167 hours
- 2001/3 Data Taking 5 111 hours
- 2001/8~9 Data Taking 6 1038 hours
- 2001/10 Recycling experiment
- 2001/12 Recycling locked

TAMA300が到達した感度

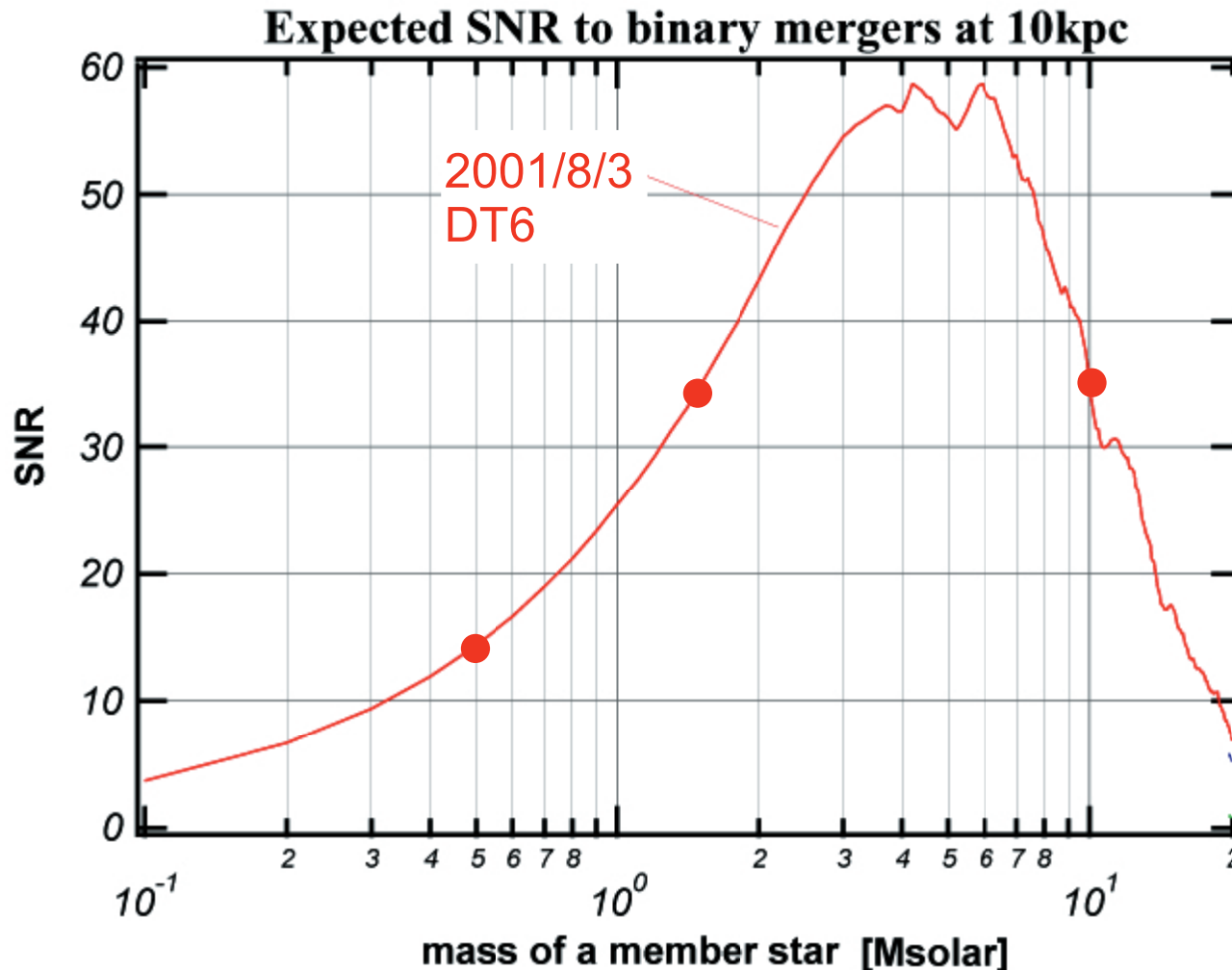
- 歪み感度: $5 \times 10^{-21} / \sqrt{\text{Hz}}$
- 変位感度: $1.5 \times 10^{-18} \text{ m} / \sqrt{\text{Hz}}$



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



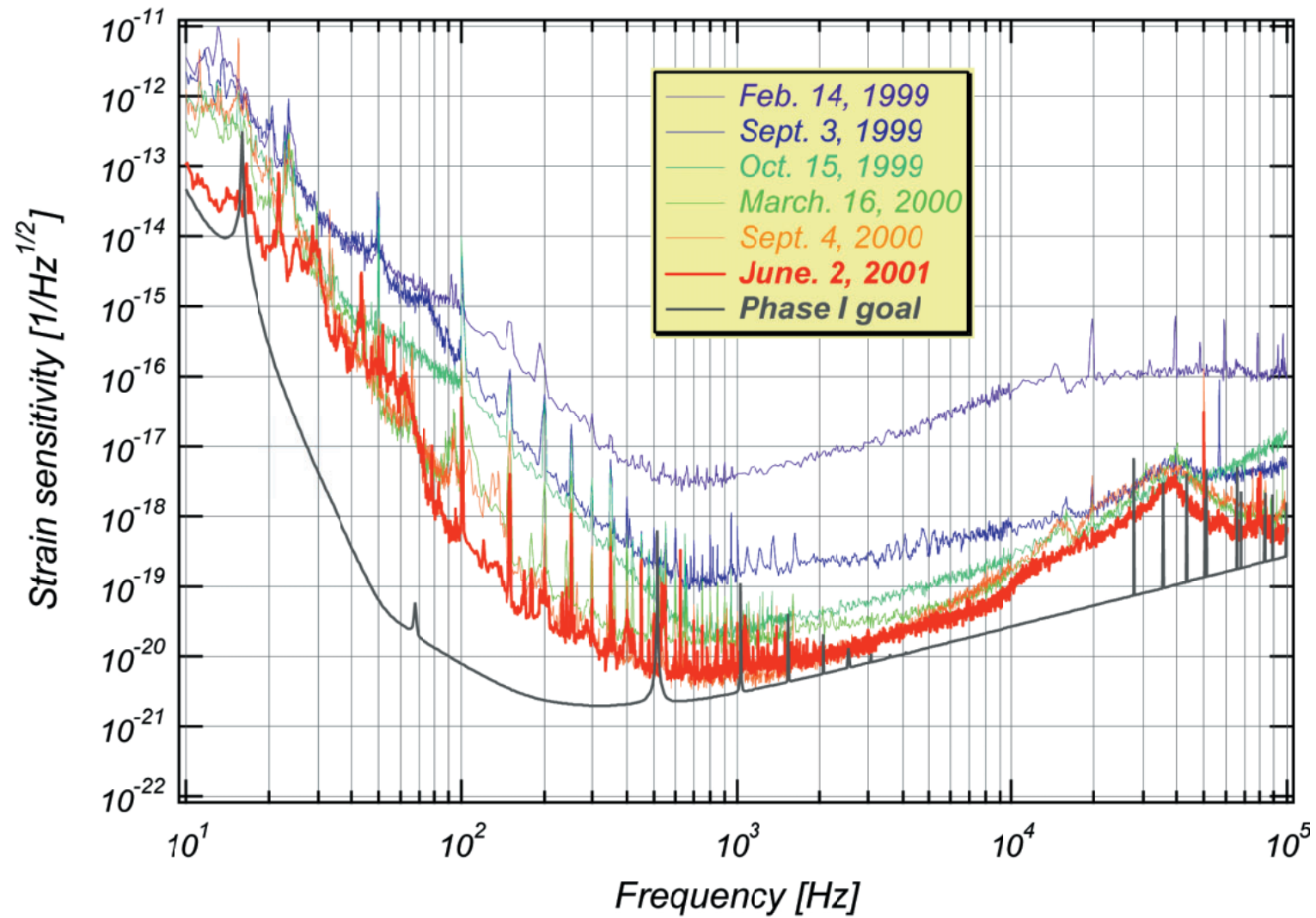
Macho binary:
0.5M \odot ~17

NS binary:
1.4M \odot ~33

BH binary
10M \odot ~34

検出可能なレベル

感度の推移



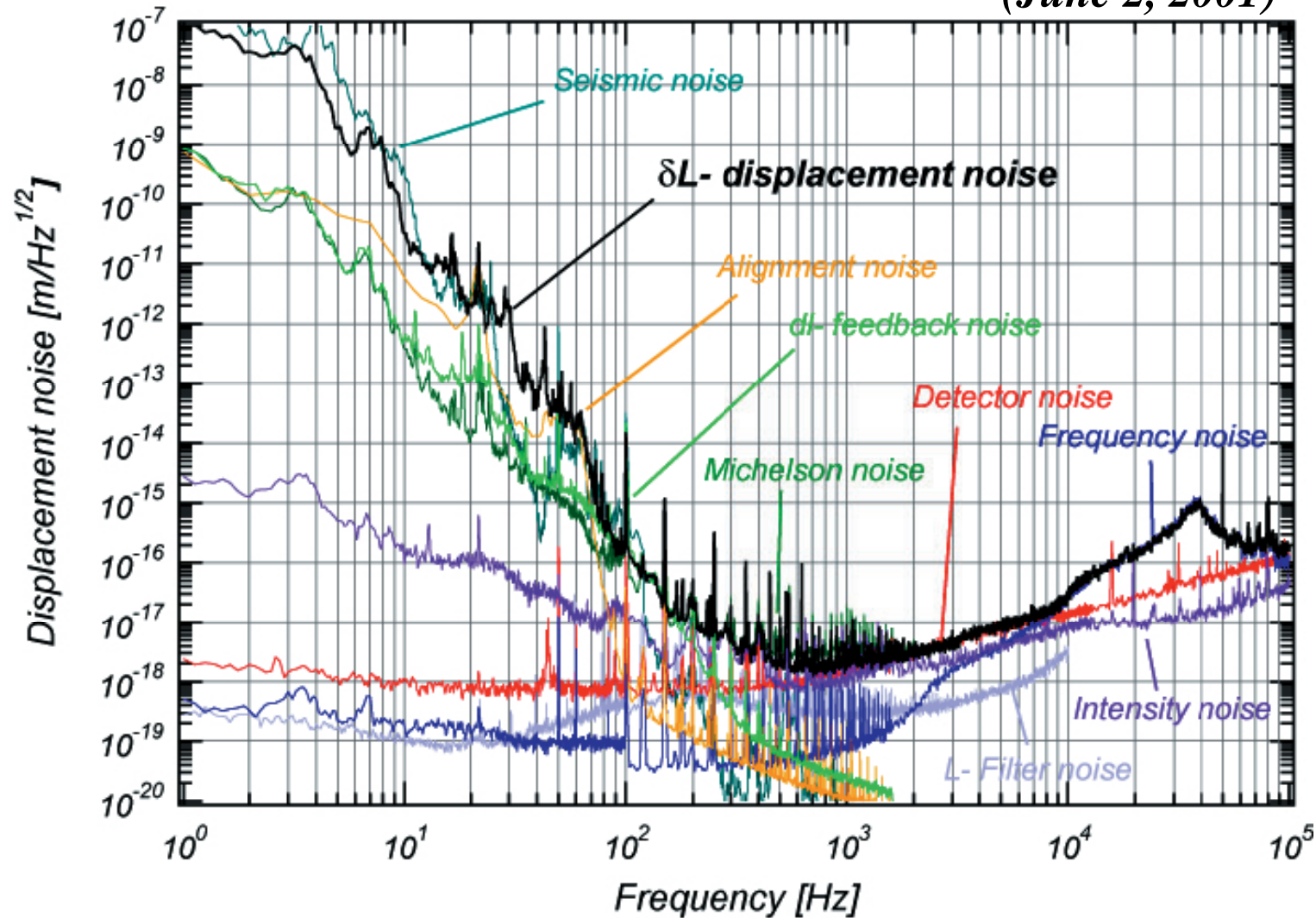
1999/2 ⇒ 2001/6 全帯域で2~3桁の改善

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)



TAMA RUN history



	<i>period</i>	<i>actual data amount</i>
Data Taking 1 (DT1)	8/6-7/1999 (one night)	~3 + ~7 hours continuous lock
DT2 <i>first Physics run</i>	9/17-20/1999	31 hours
DT3	4/20 - 4/23/2000	13 hours
DT4	8/21 - 9/3/2000	167 hours
DT5	3/1 - 3/8/2001	111 hours
Test Run 1	6/4 - 6/6/2001	
	Continuous <i>lock of 24hours 50min.</i>	
	The interferometer was <i>operated in the daytime of weekday.</i>	
<u>DT6</u>	<u>8/1 - 9/20/2001</u>	<u>1038 hours with duty cycle 86%</u> <u>$h \sim 5 \times 10^{-21}$ [1/ Hz]</u>



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比の実現・自動ロックシステム

平均連続ロック時間 >3時間

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 ベストの状態を常時キープ

データ品質のリアルタイム評価

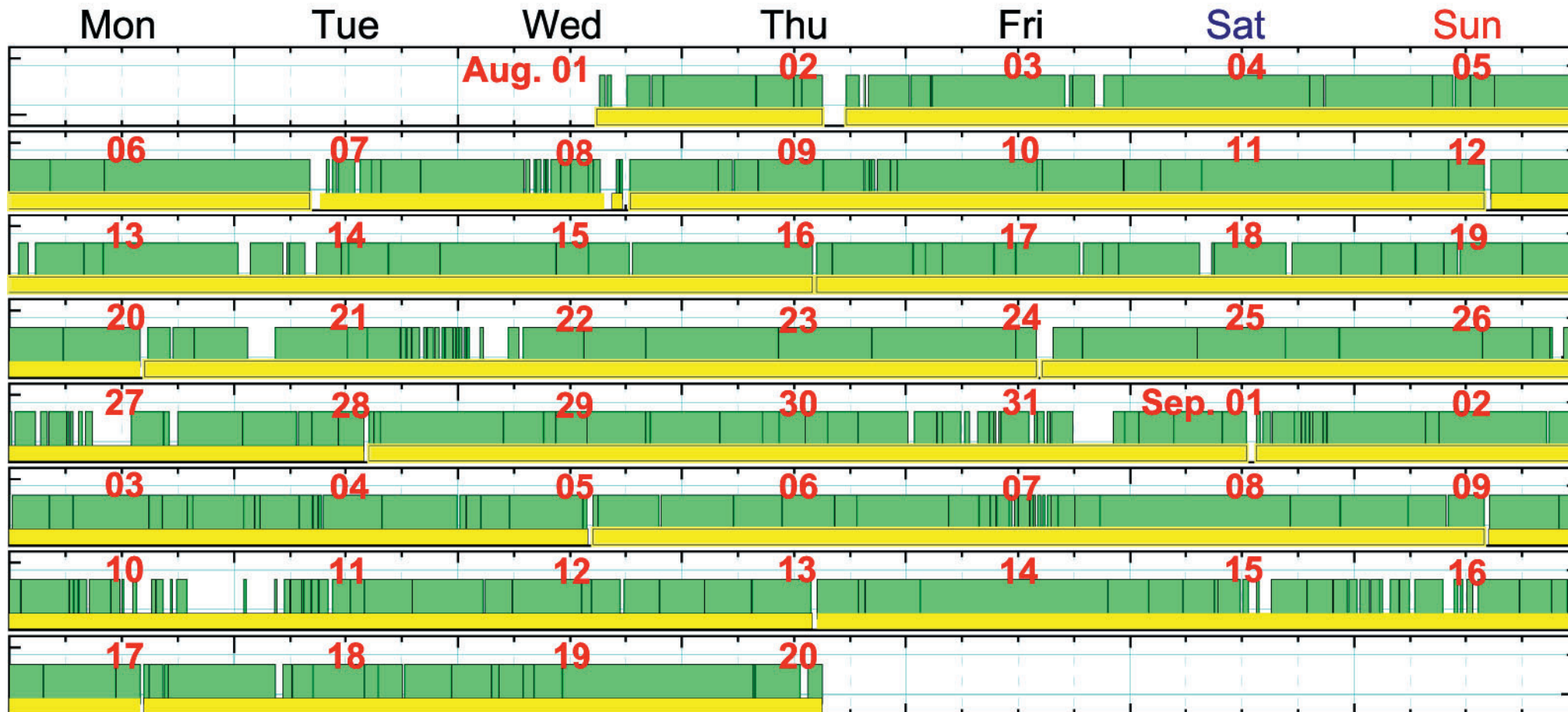
(●LISM神岡20m干渉計との同時観測)

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)



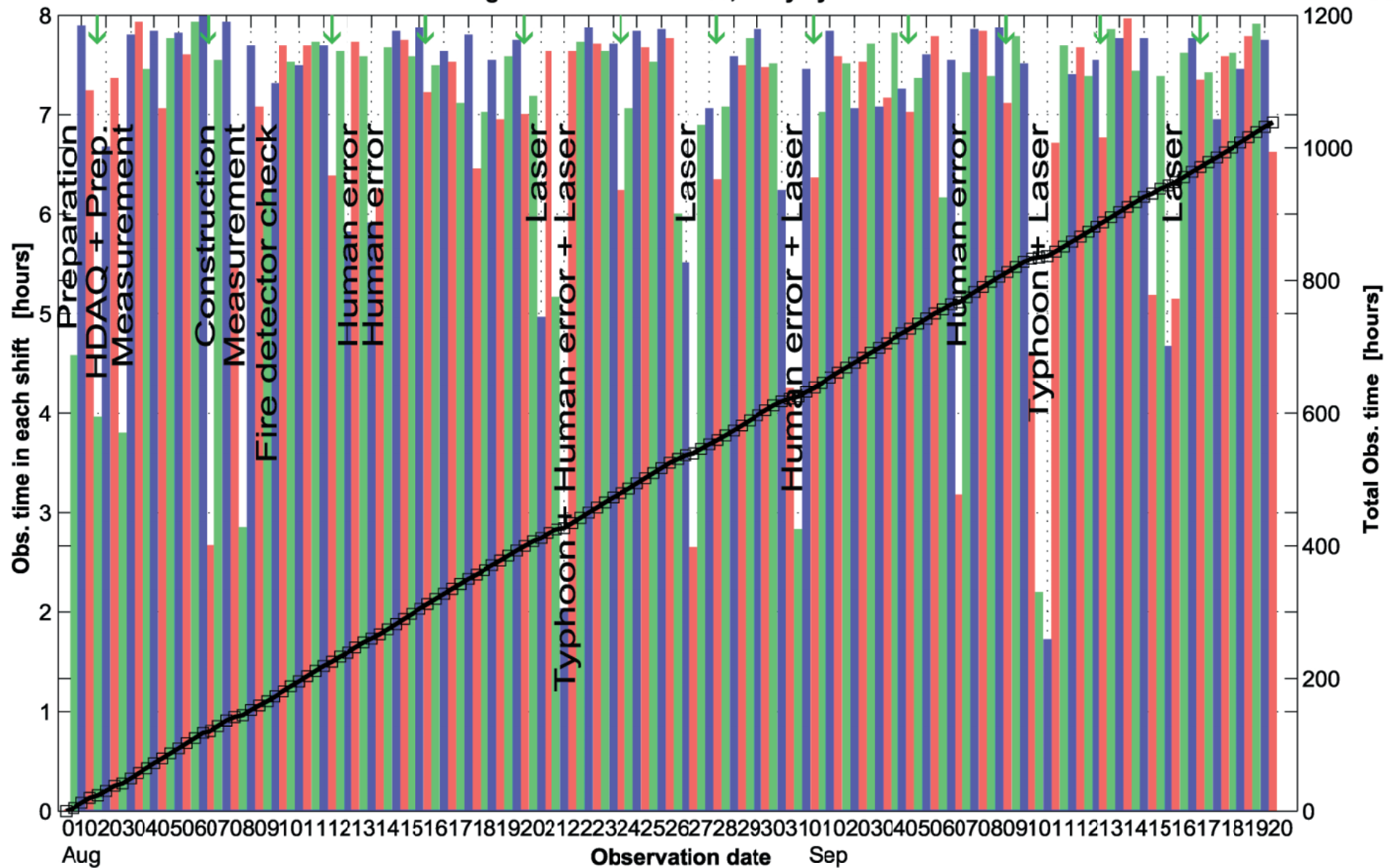
High-freq. data taking

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



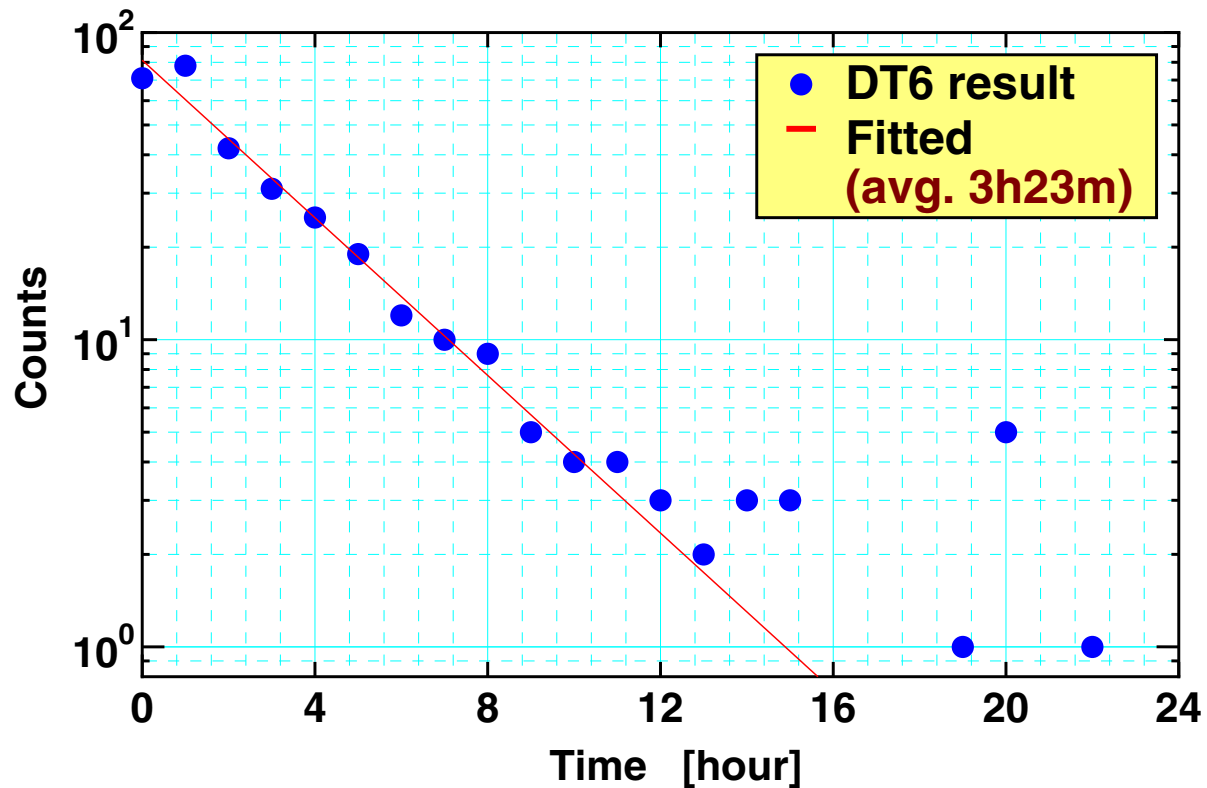


Data Taking 6 (2)

— Continuous operation —

- Continuous operation

- Longest — **22 hours**, Averaged — **3 hour 23 min.**
- Histogram → **Exponential distribution.**



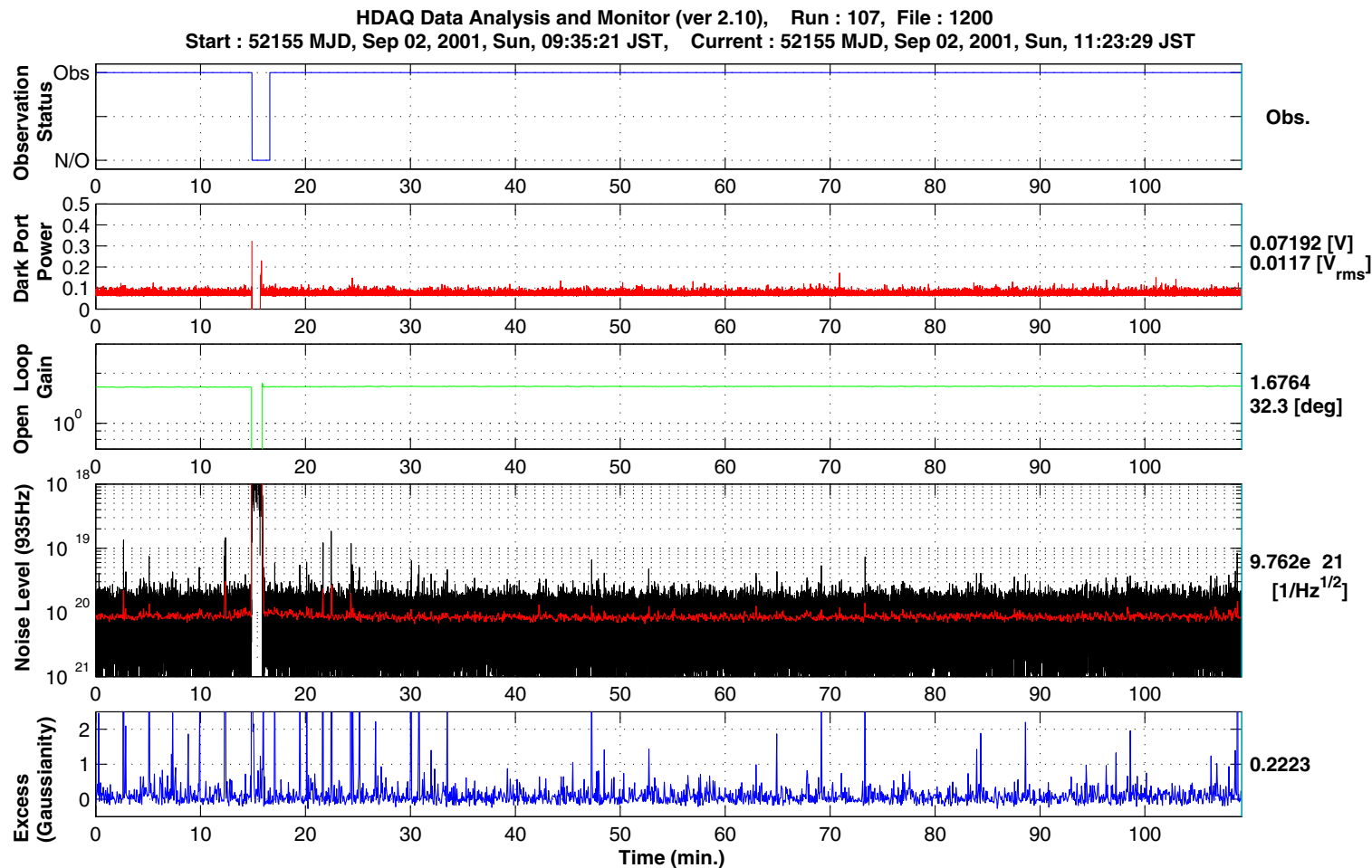


On-line analysis (2)

— On-line monitor —

- One of the monitor screens for HDAQ

- Obs. status, power, servo gain, **averaged noise level**, **excess**.



Detector diagnosis

I Histogram of the noise level

1min. average

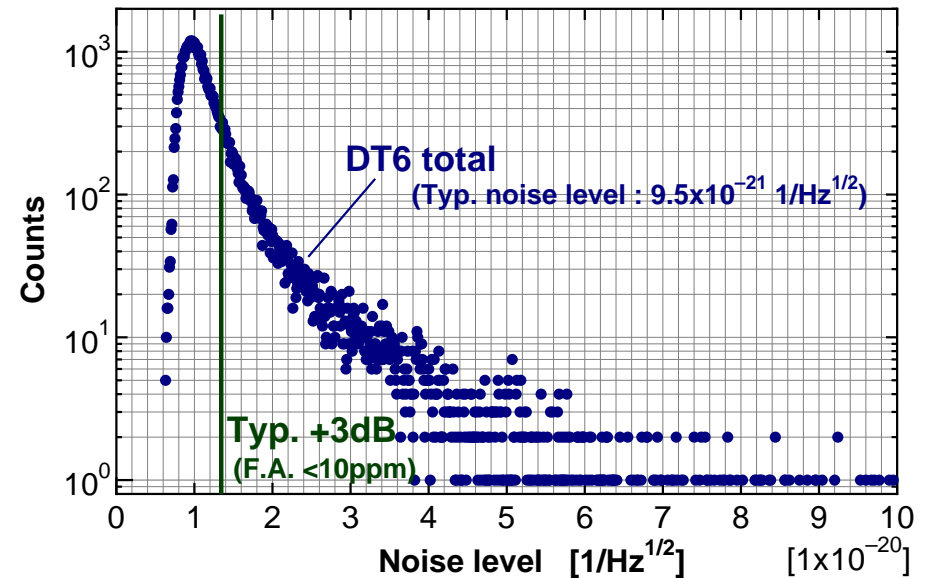
($f=935\text{Hz}$, $df=1\text{Hz}$)

- χ^2 distribution

All DT6 data

Typ.: $9.5 \times 10^{-21} / \text{Hz}^{1/2}$

Within +3dB: 78.9% ... (A)



I Histogram of Gaussianity

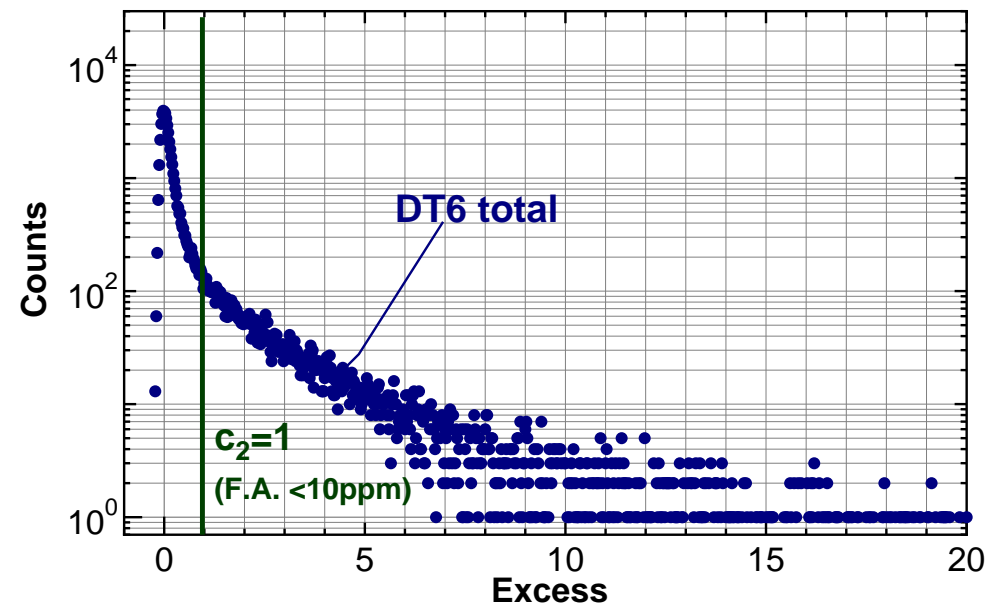
Higher order statistics

evaluated in every 1min.

Excess: c_2

$c_2=0$ Gaussian

$c_2 < 1$: 86.0% ... (B)



(A) AND (B) = 74.3%

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 ~ 2時間以上

感度も向上しつつある

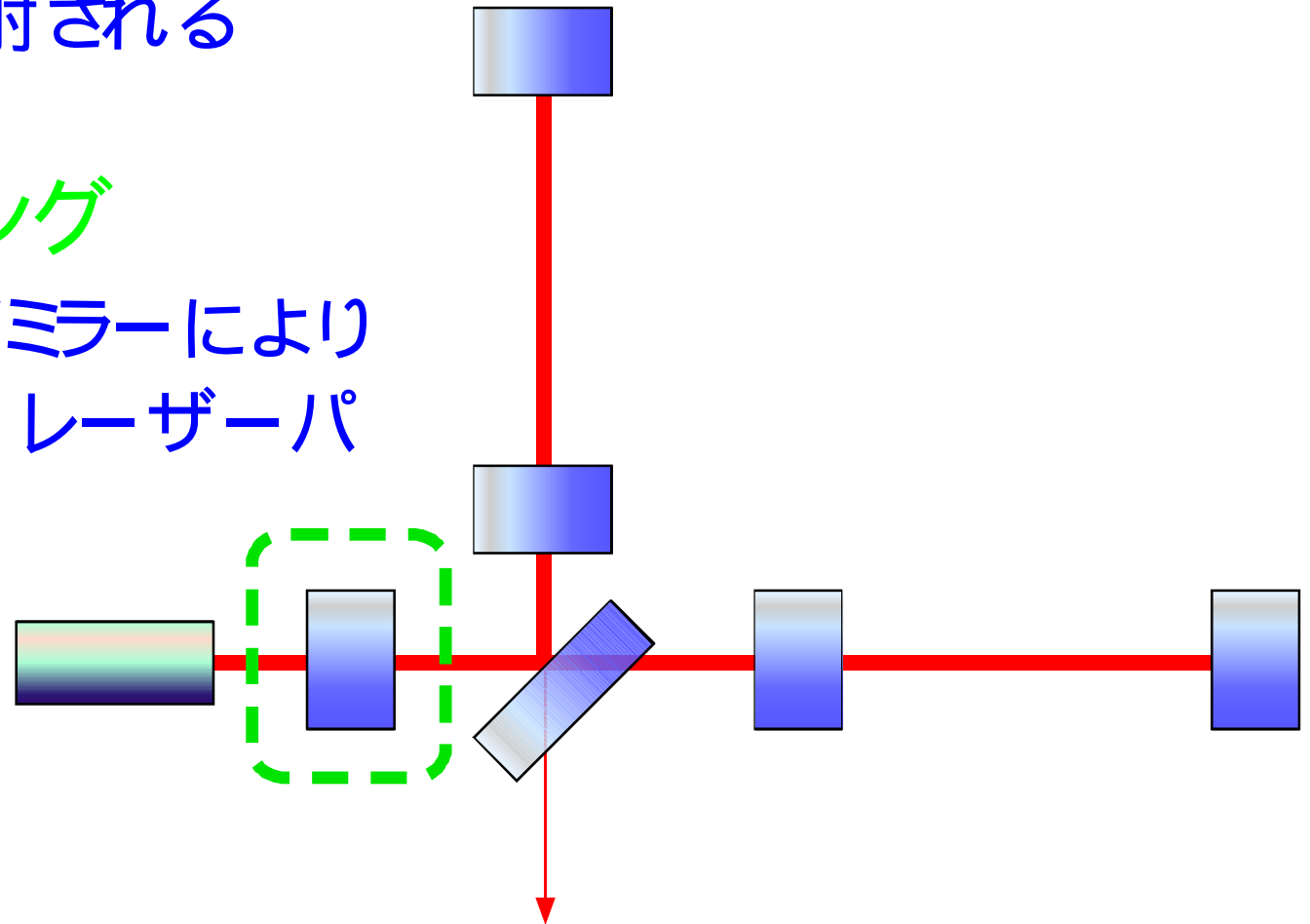
パワー・リサイクリング

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

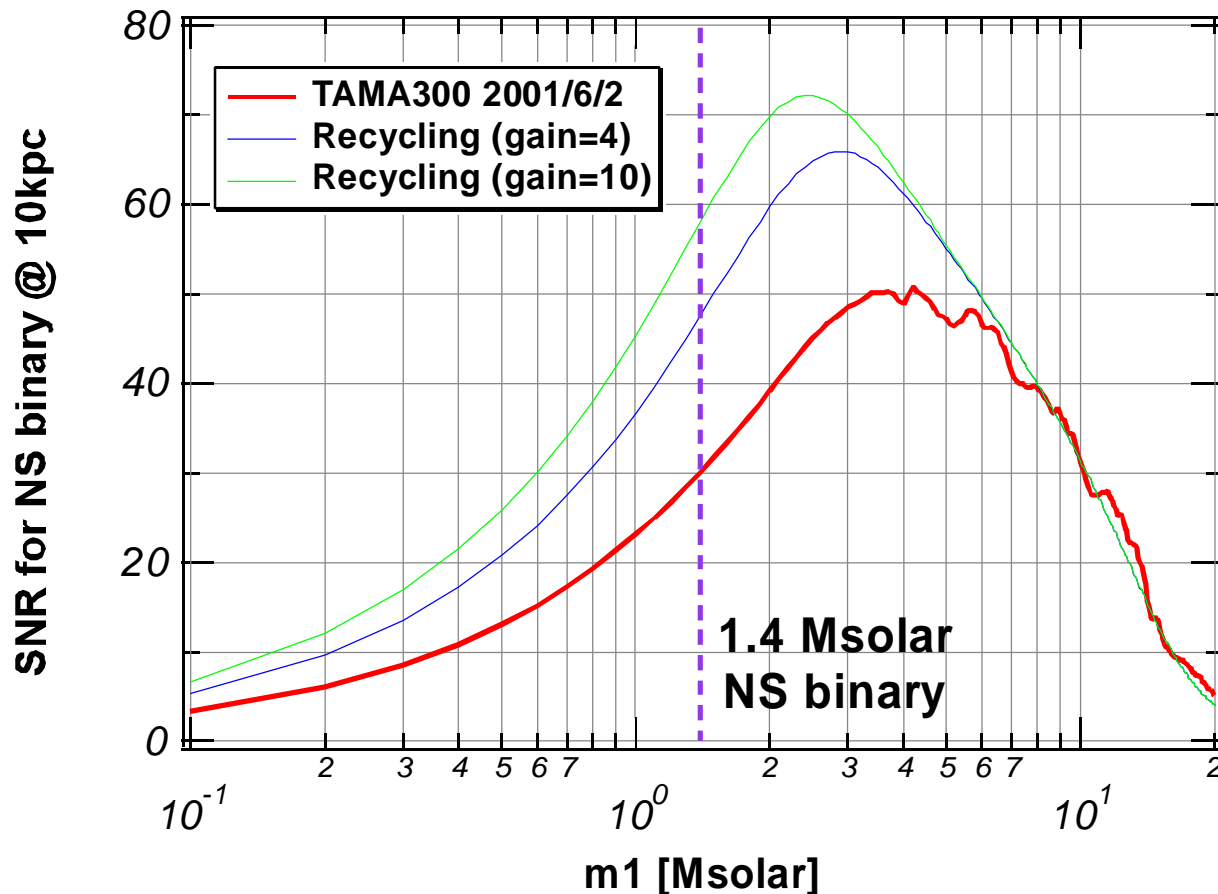
2nd step: 高ゲインリサイクリング (RRM~90%, G~10)

目標: 干渉計動作・感度の最適化

パワーリサイクリングによる感度向上

皮算用

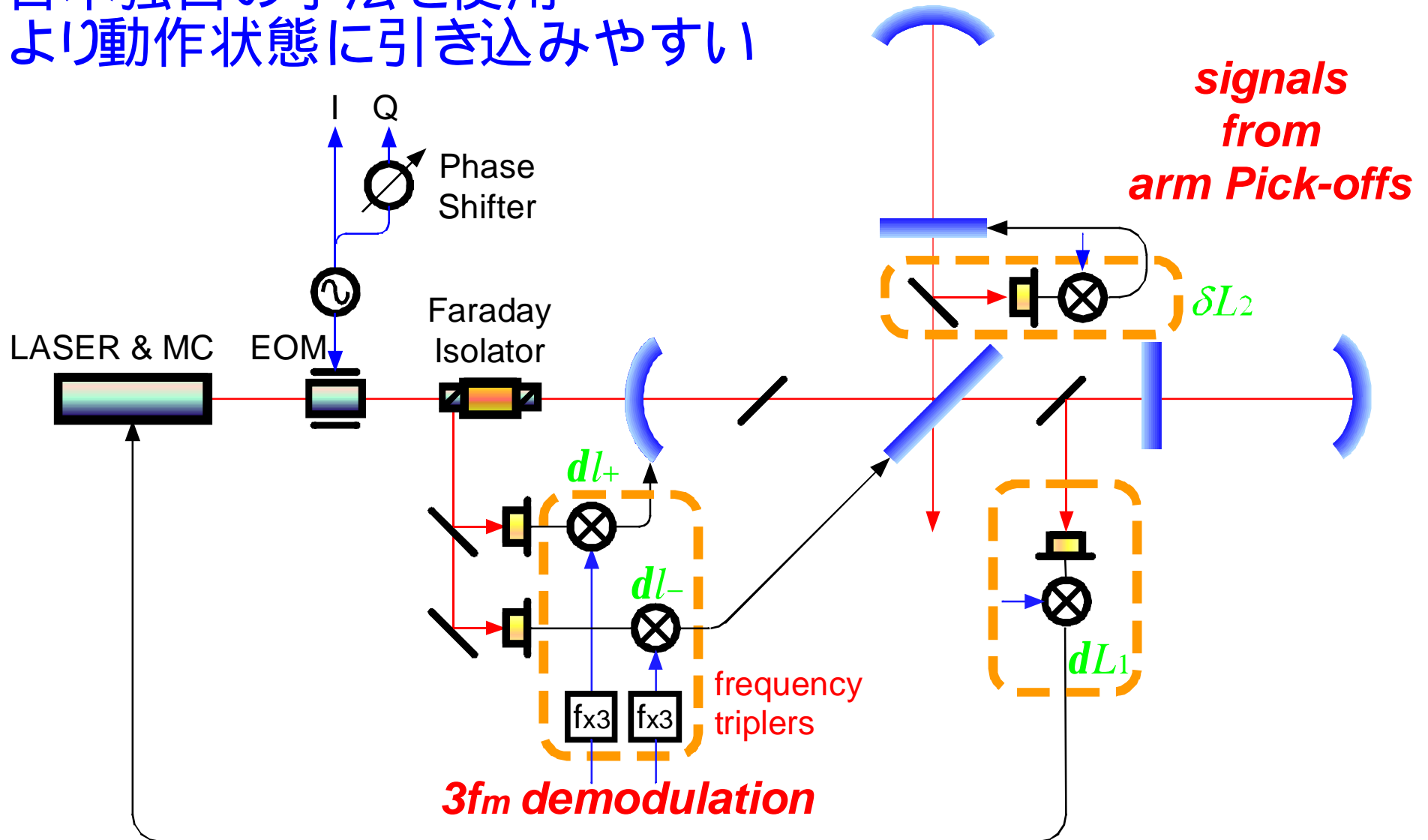
仮に検出系雑音以外が現在のレベルのままとしても
パワーリサイクリングによりNS binaryに対するSNが向上できる



動作状態への引き込み

ロック用の光路長制御系

日本独自の手法を使用
より動作状態に引き込みやすい



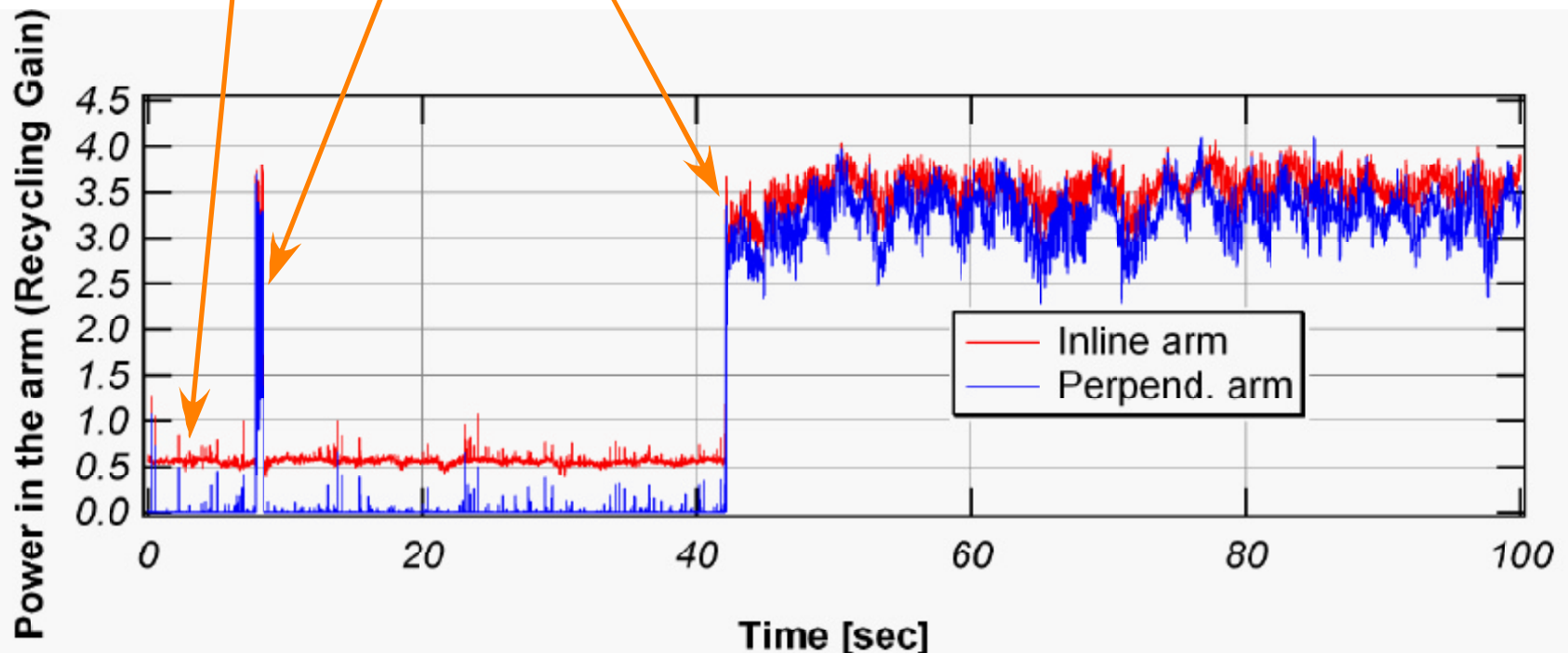
動作状態への引き込み

ロック時の時系列データ

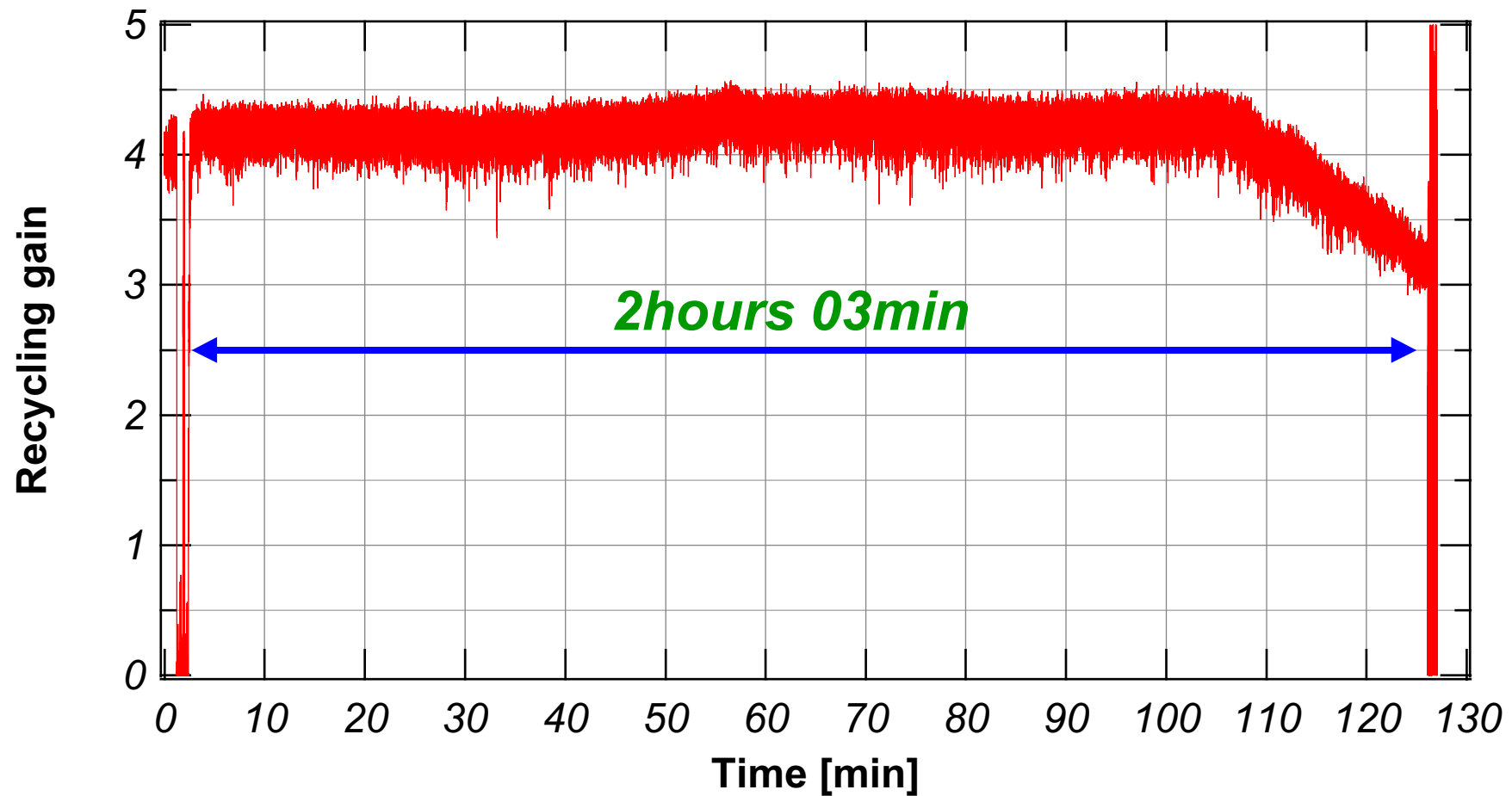
片方の腕以外は既にロックされた状態
ロックしていない腕の制御を試行中

一瞬だけロック

安定にロックへ引き込んだ



Lock Stability



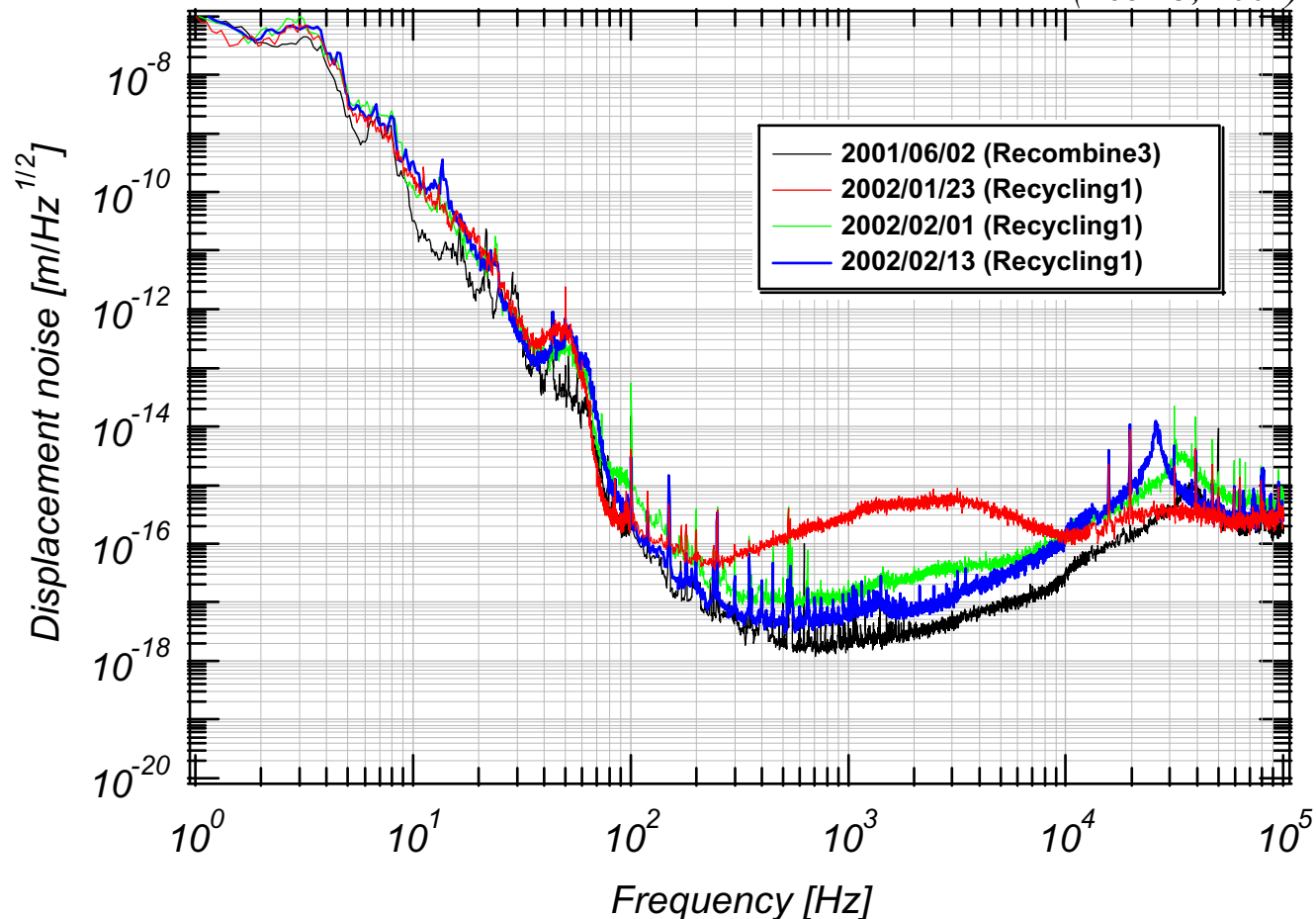
Sensitivity

● リサイクリング時の感度 ~ TAMA bestより3倍悪い

$$\delta x = 4.5 \times 10^{-18} \text{ m/Hz}^{1/2} \Rightarrow h = 1.5 \times 10^{-20} / \text{Hz}^{1/2}$$

Displacement noise level of TAMA300

(Feb 13, 2002)



低出力(1W)レーザーを使用 / まだすべての制御系を使用していない

リサイクリング実験の現状

2001/10に実験スタート

2001/11末にリサイクリングミラー導入

2001/12にリサイクリング状態で初動作

TAMA独自の技術で制御を容易に

腕の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 2時間3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3倍悪いレベル