

TAMA300 干渉計の開発

新プロ: Fabry-Perot Michelson干渉計の開発・観測運転
TAMA300のリサイクリング化



特定領域: リサイクリング干渉計の開発と観測運転

リサイクリング干渉計による感度向上

長期観測に対応したデータ取得・観測システム

観測運転(DT8 / DT9)

ノイズハンティング作業

TAMA300の光学系

注入同期型10W Nd:YAGレーザー

10mモードクリーニング共振器

300mFabry-Perot共振器

実効光路長300倍

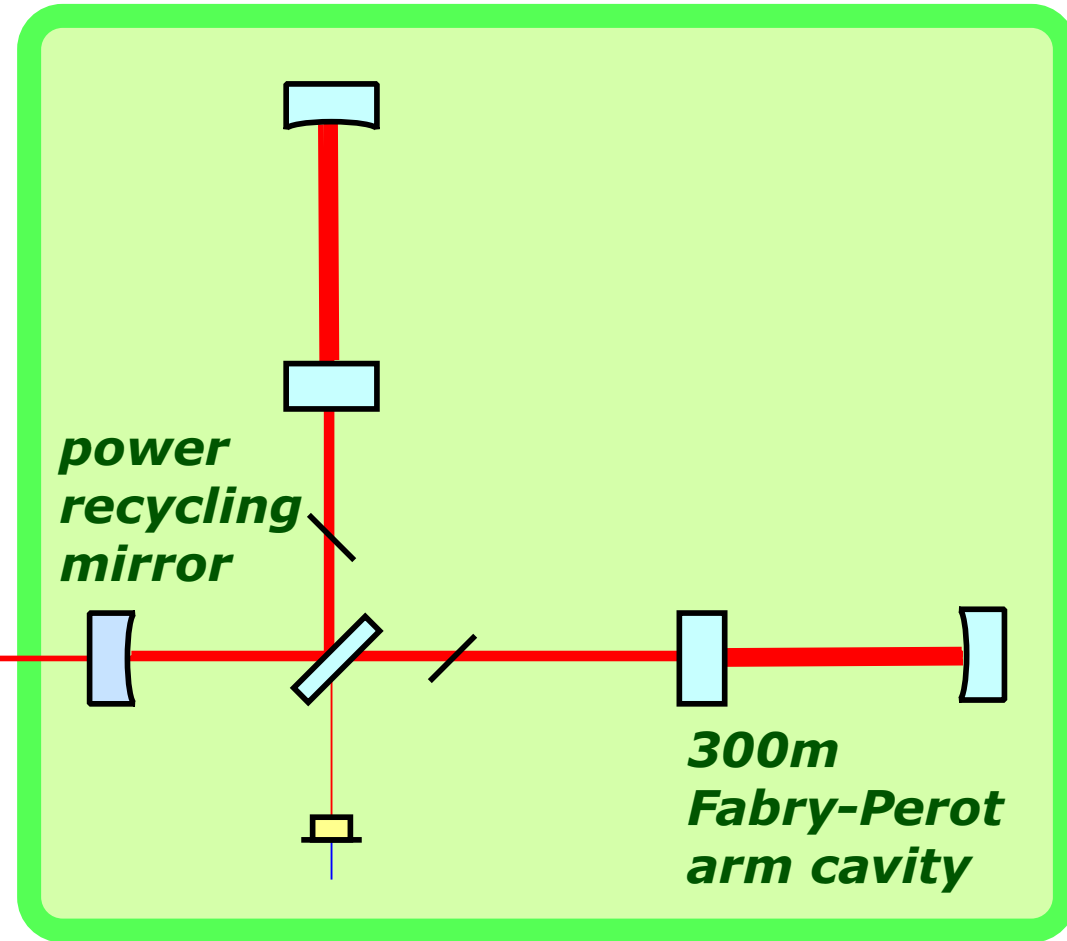
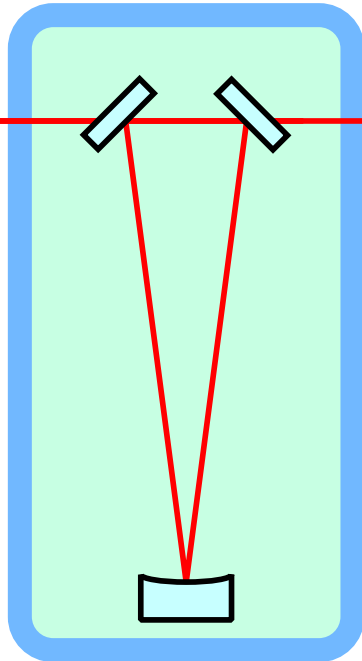
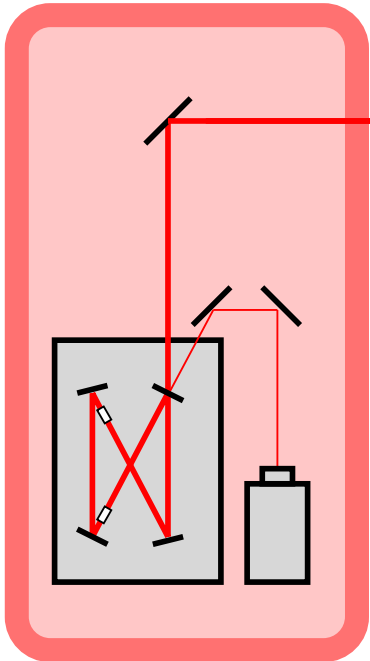
パワーリサイクリング

10m

Mode

Cleaner

10W
Laser



300m Interferometer

TAMA300の光学系

注入同期型10W Nd:YAGレーザー

10mモードクリーニング共振器

300mFabry-Perot共振器

実効光路長300倍

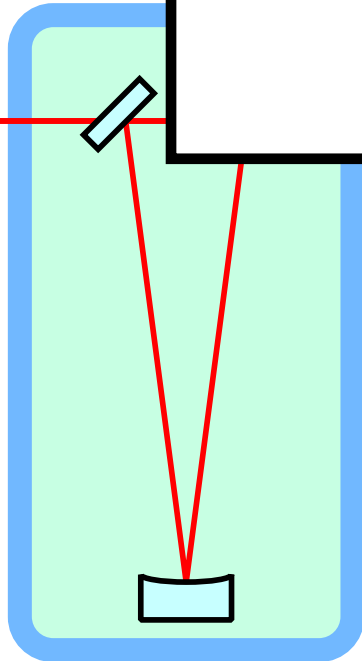
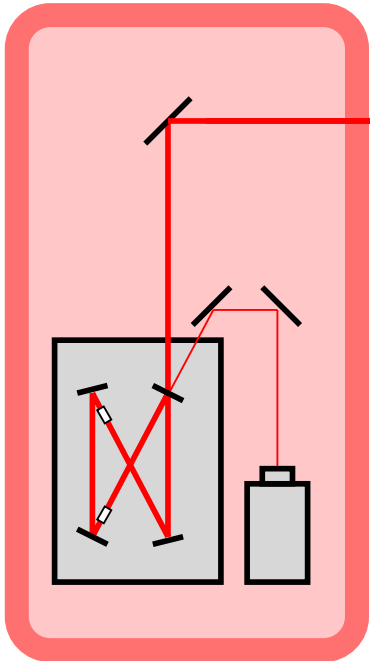
パワーリサイクリング

10

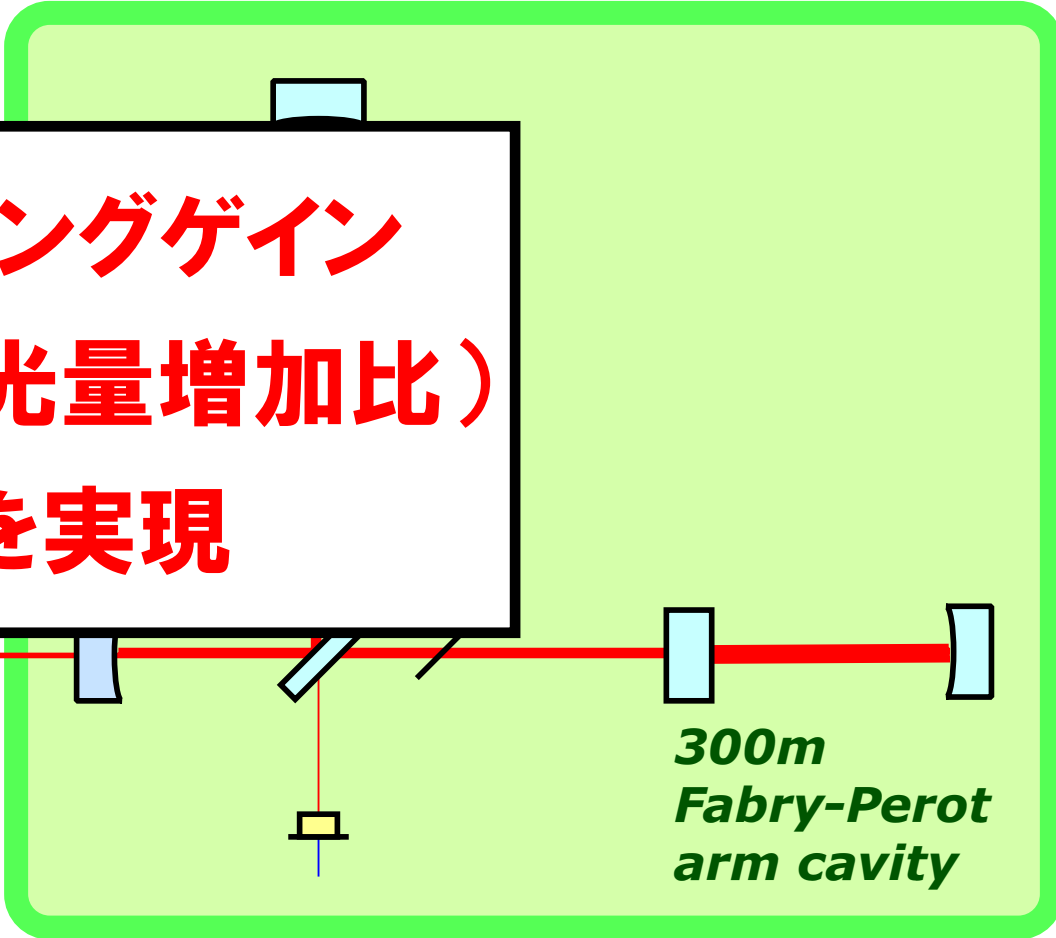
M

Cle

**10W
Laser**



**リサイクリングゲイン
(干渉計内光量増加比)
5.0を実現**



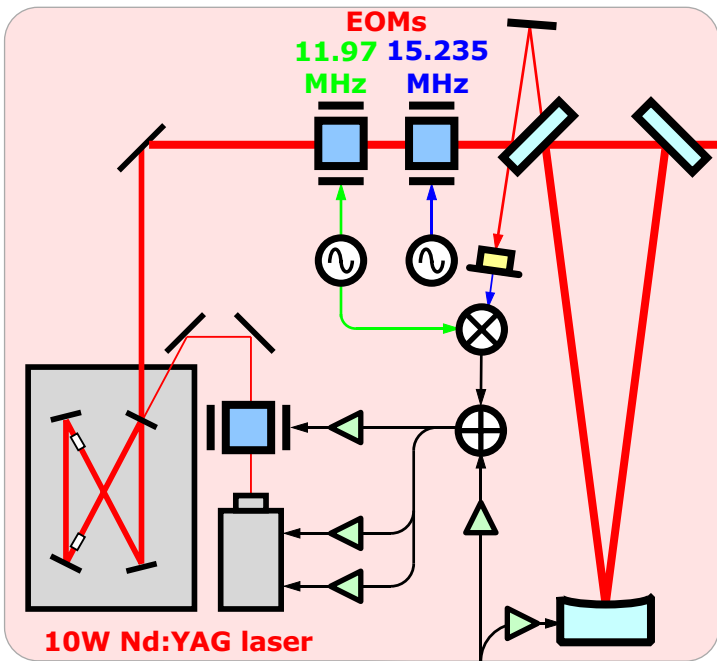
**300m
Fabry-Perot
arm cavity**

300m Interferometer

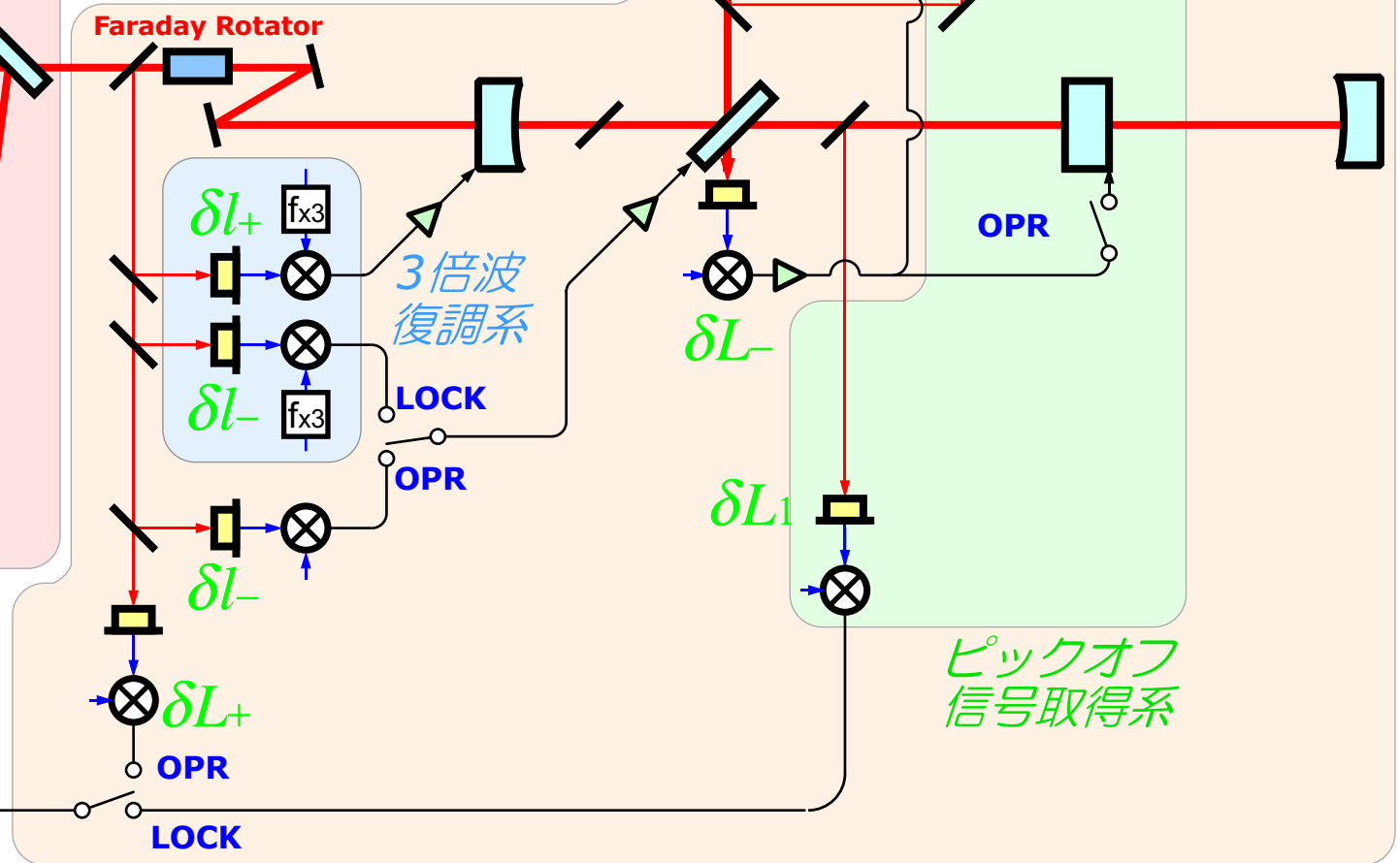
光路長制御系

- 光路長制御系の切り替え
ロック用 \leftrightarrow 観測用の光路長制御

10mモードクリーナ

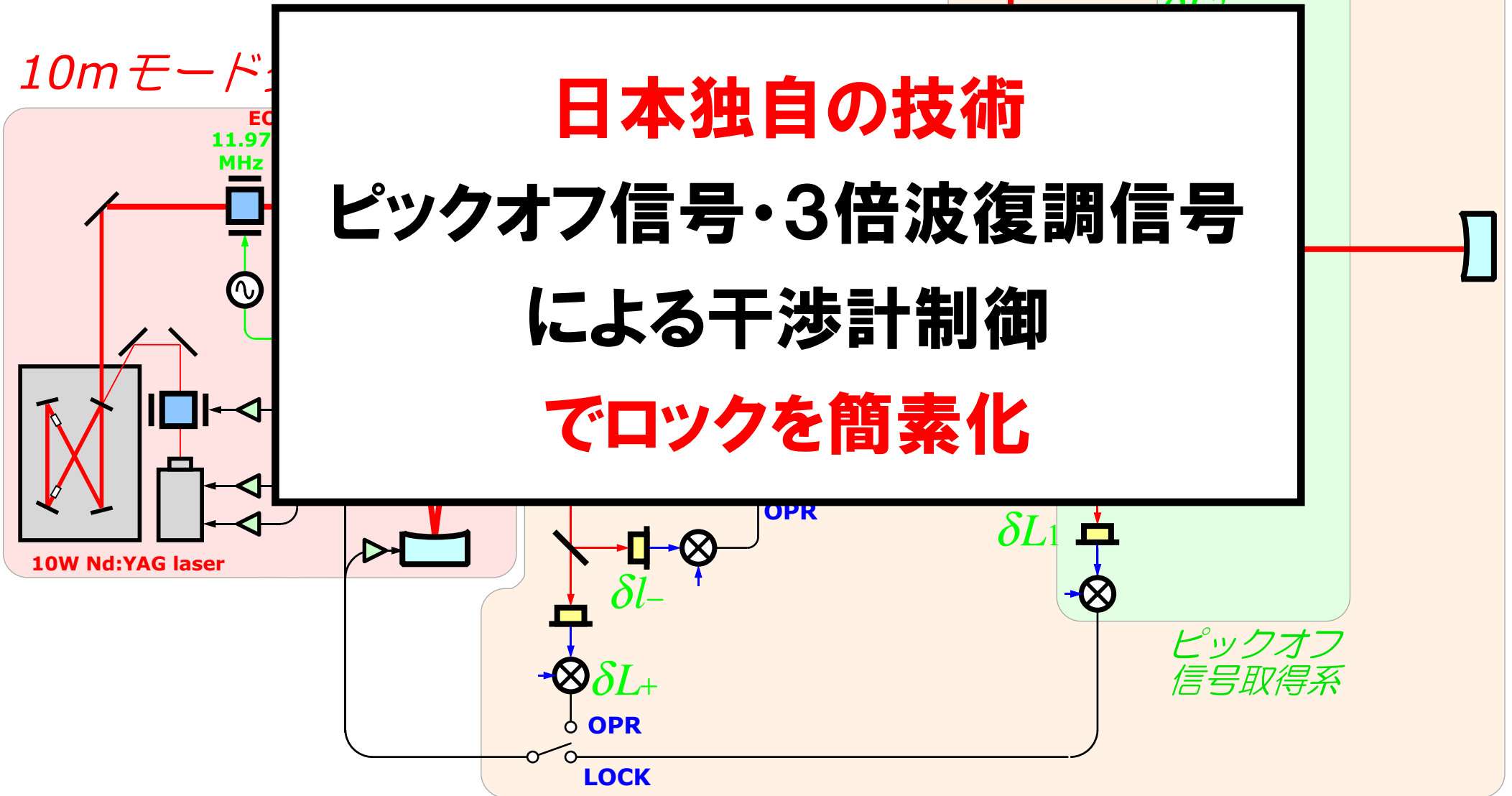


300m 干渉計



光路長制御系

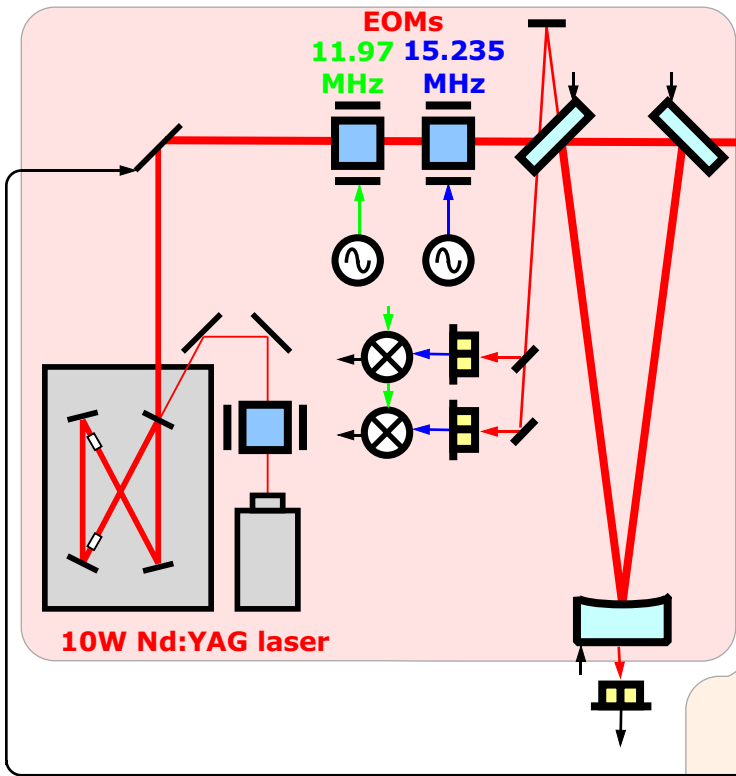
- 光路長制御系の切り替え
ロック用 ⇔ 観測用の光路長制御



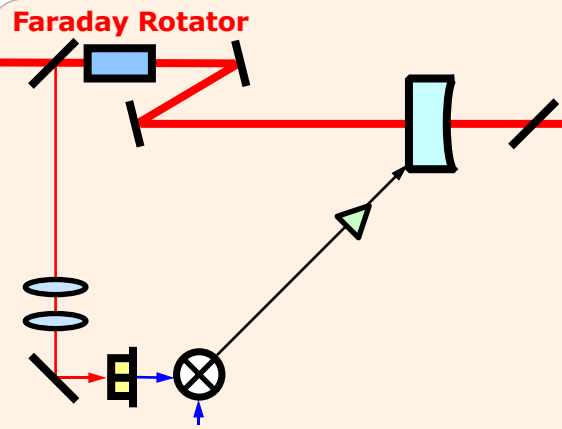
角度制御系

- 鏡アライメント制御系
- 光軸制御系

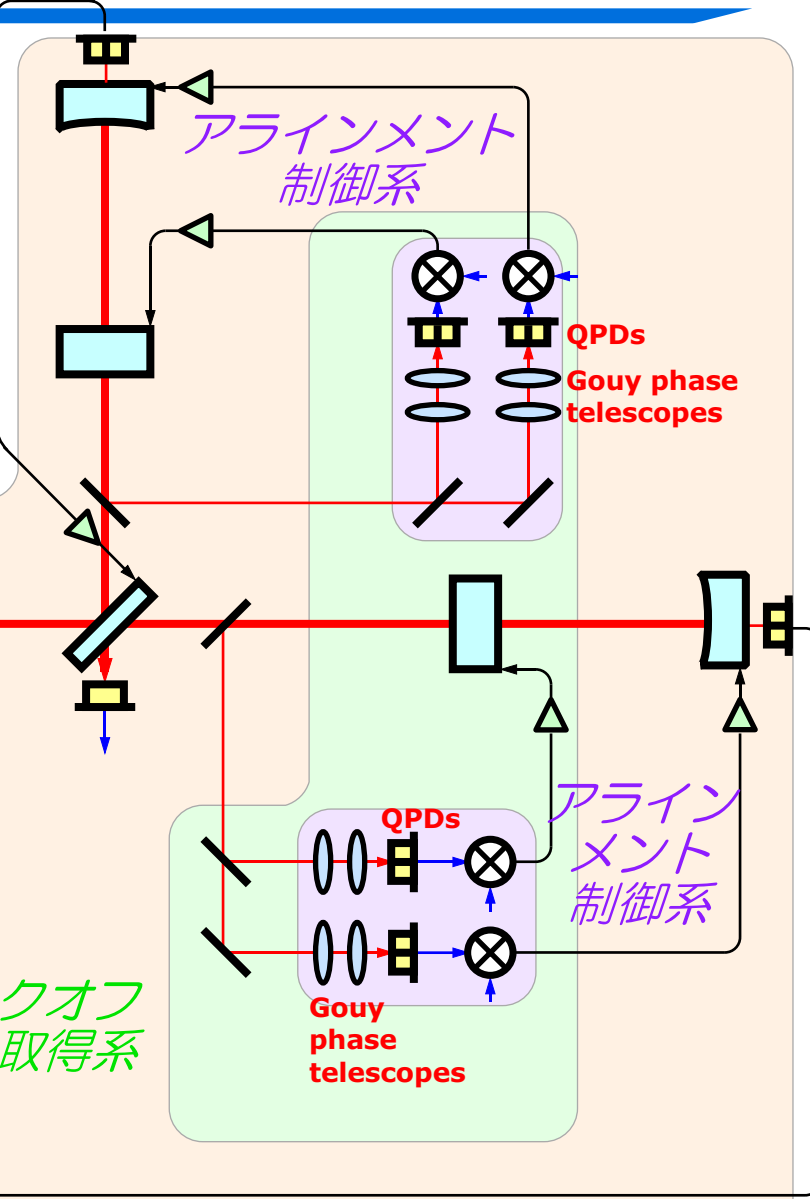
10mモードクリーナ



300m 干渉計



ピックアップ
信号取得系



アライメント
制御系

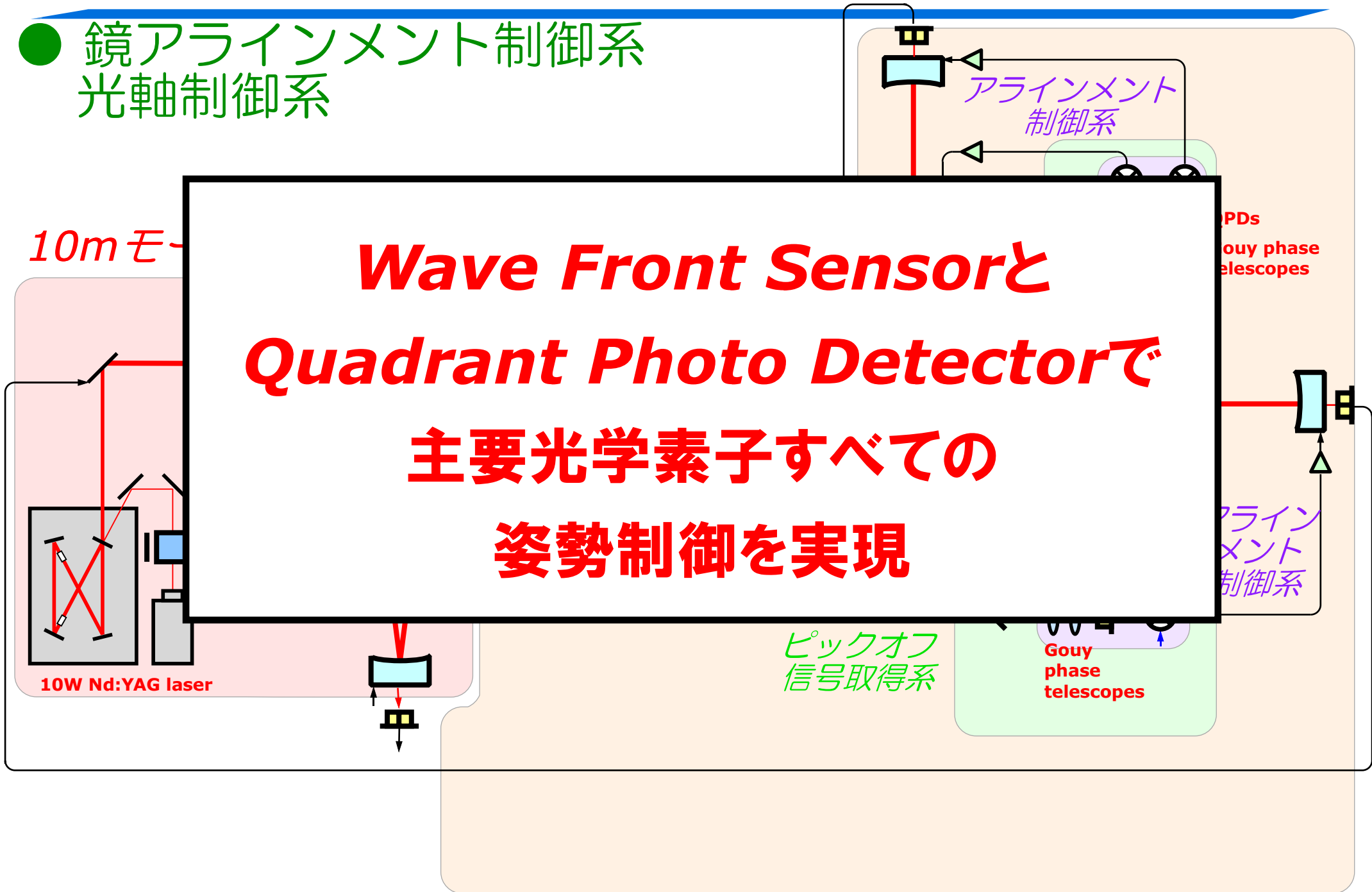
QPDs
Gouy phase
telescopes

アライメント
制御系

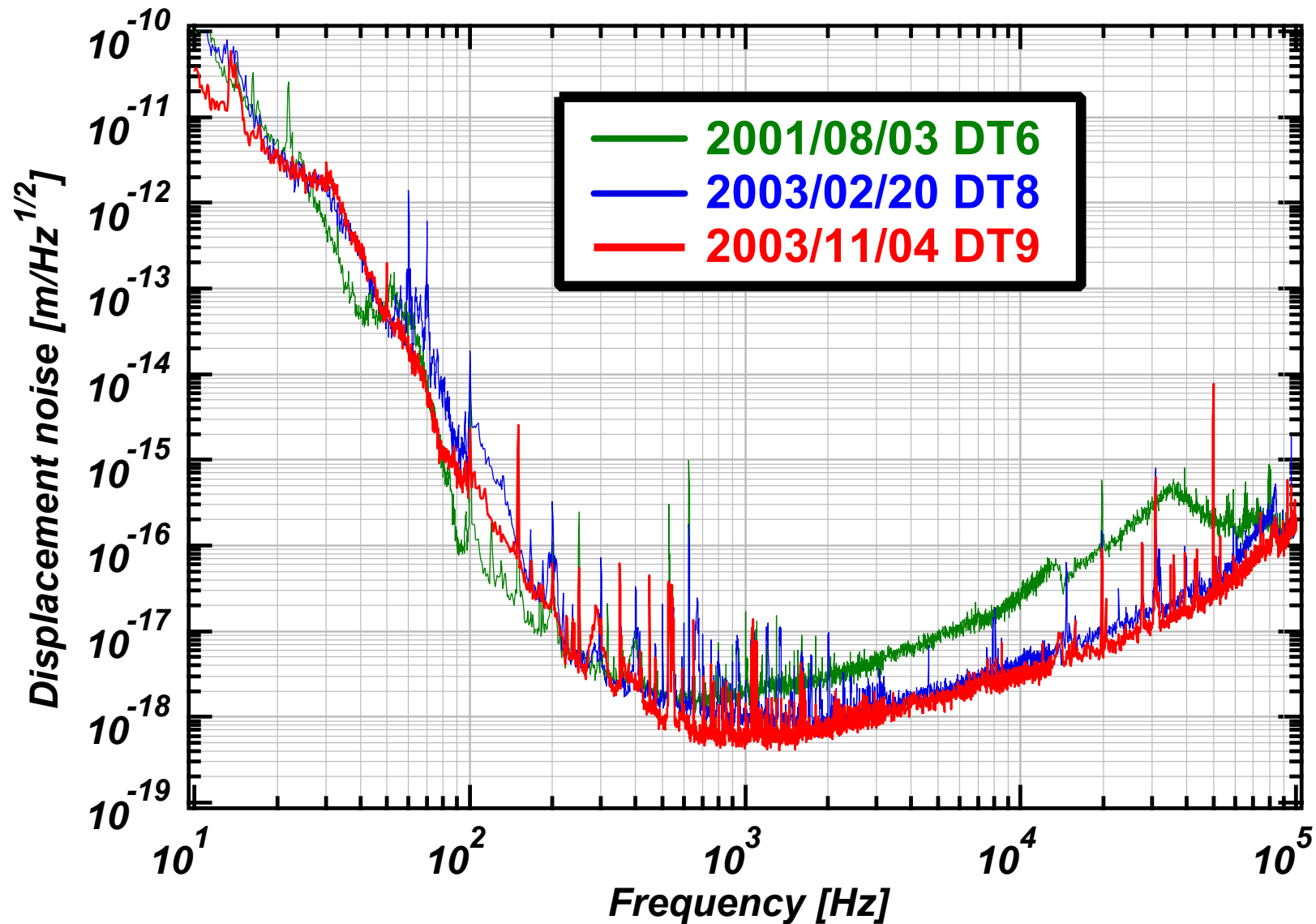
QPDs
Gouy phase
telescopes

角度制御系

- 鏡アライメント制御系
光軸制御系



DT9: Sensitivity ~ 観測毎の感度の向上

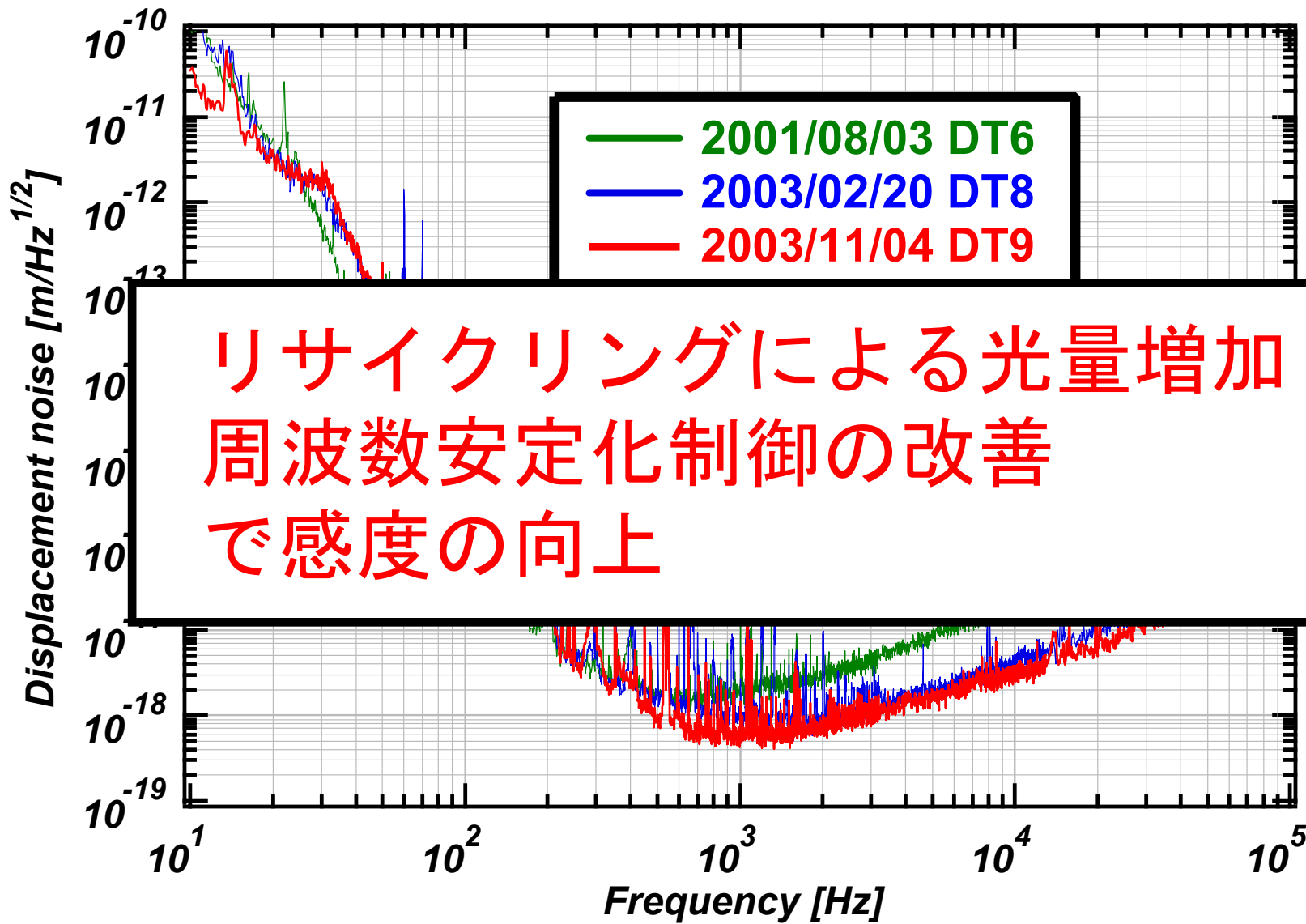


DT6: $15 \times 10^{-19} \text{ m}/\text{Hz}^{1/2} = 5 \times 10^{-21} /\text{Hz}^{1/2}$

DT8: $8 \times 10^{-19} \text{ m}/\text{Hz}^{1/2} = 3 \times 10^{-21} /\text{Hz}^{1/2}$

DT9: $6 \times 10^{-19} \text{ m}/\text{Hz}^{1/2} = 2 \times 10^{-21} /\text{Hz}^{1/2}$

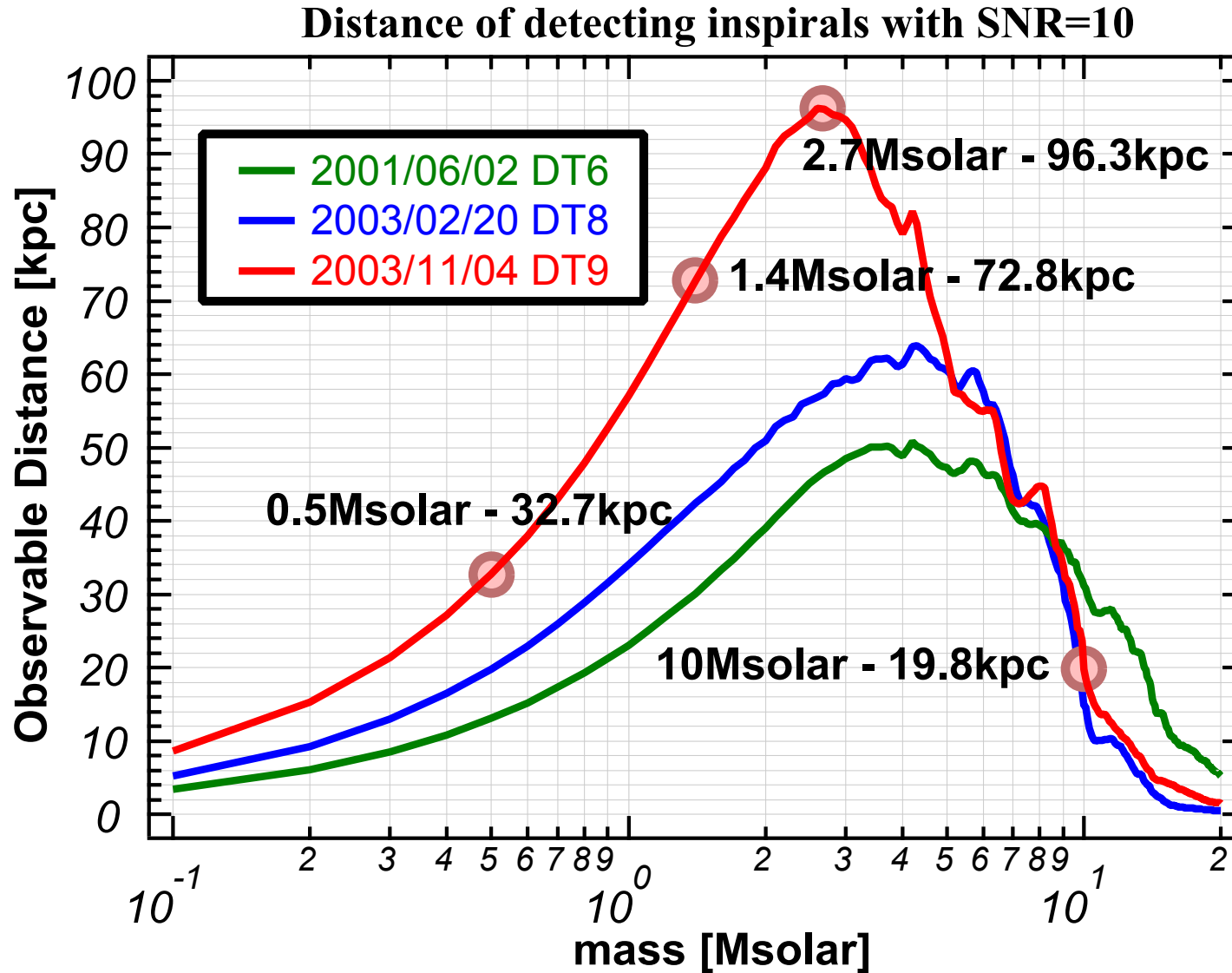
DT9: Sensitivity ~観測毎の感度の向上



- DT6:** $15 \times 10^{-19} \text{ m/Hz}^{1/2} = 5 \times 10^{-21} \text{ /Hz}^{1/2}$
- DT8:** $8 \times 10^{-19} \text{ m/Hz}^{1/2} = 3 \times 10^{-21} \text{ /Hz}^{1/2}$
- DT9:** $6 \times 10^{-19} \text{ m/Hz}^{1/2} = 2 \times 10^{-21} \text{ /Hz}^{1/2}$

DT9: Observable Distance

● 連星合体をSN=10で捕らえることのできる距離

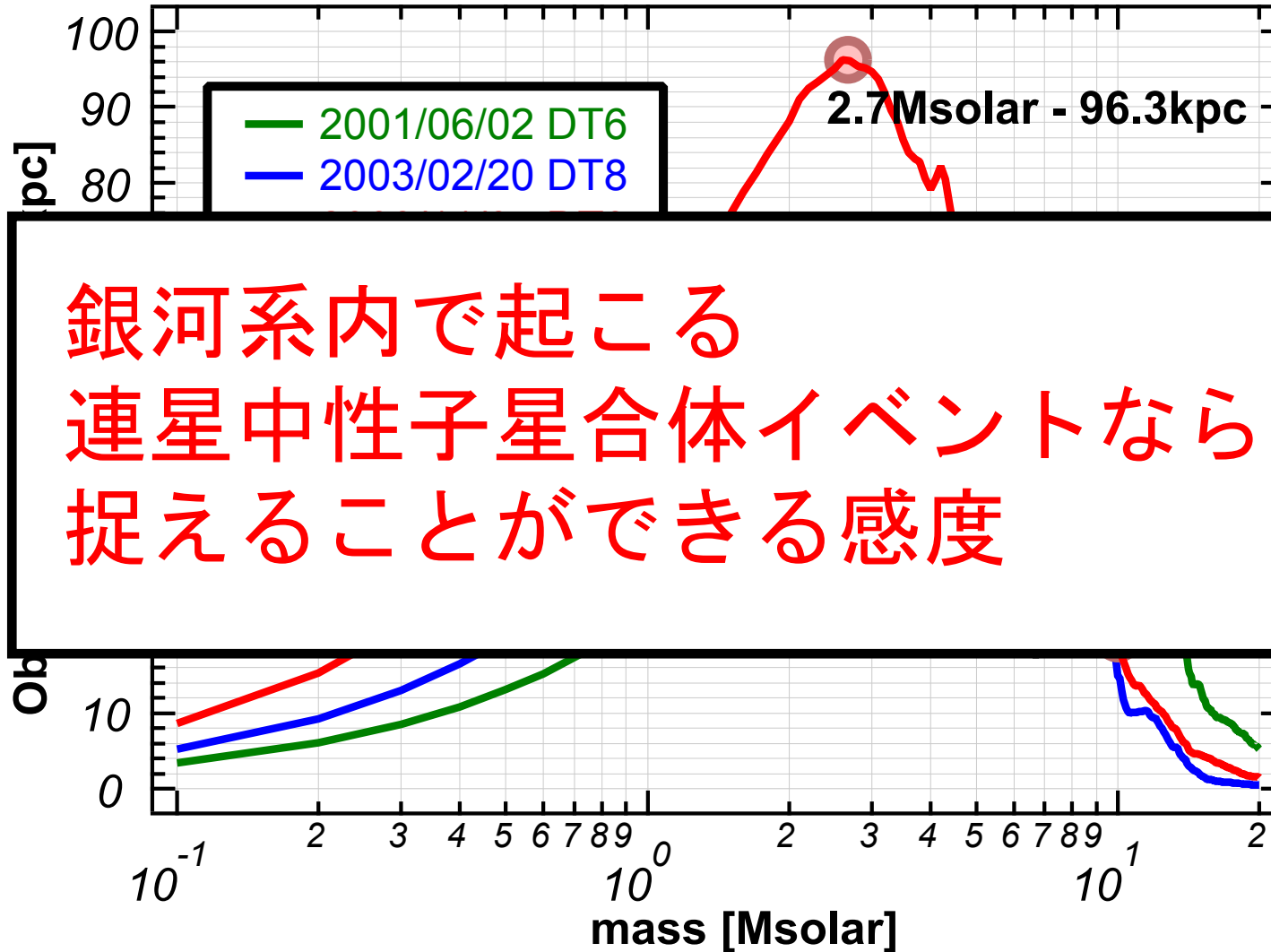


0.3~10Msolar に対し、 $D_{\text{obs}} > 20\text{kpc}$

DT9: Observable Distance

- 連星合体をSN=10で捕らえることのできる距離

Distance of detecting inspirals with SNR=10



銀河系内で起こる
連星中性子星合体イベントなら
捉えることができる感度

0.3~10Msolar に対し、 $D_{obs} > 20kpc$

干渉計自動化&リモート観測体制の整備

● 干渉計自動ロック・自動調整システム

ロックアクイジション
初期アライメント調整
アライメントドリフト調整

手動調整

異常通報

自動調整用
モニタ情報提供

● リモート通報・操作システム

携帯電話による異常通報
干渉計手動調整

モニタ情報提供

検出器状況提供

監視

● Webベースの検出器モニタ

干渉計の感度の推移
干渉計の各種状態 (各種光量・制御信号)
サイトの環境 (地面振動・気象条件等)
Web Log

リモート制御可能な干渉計自動化システム

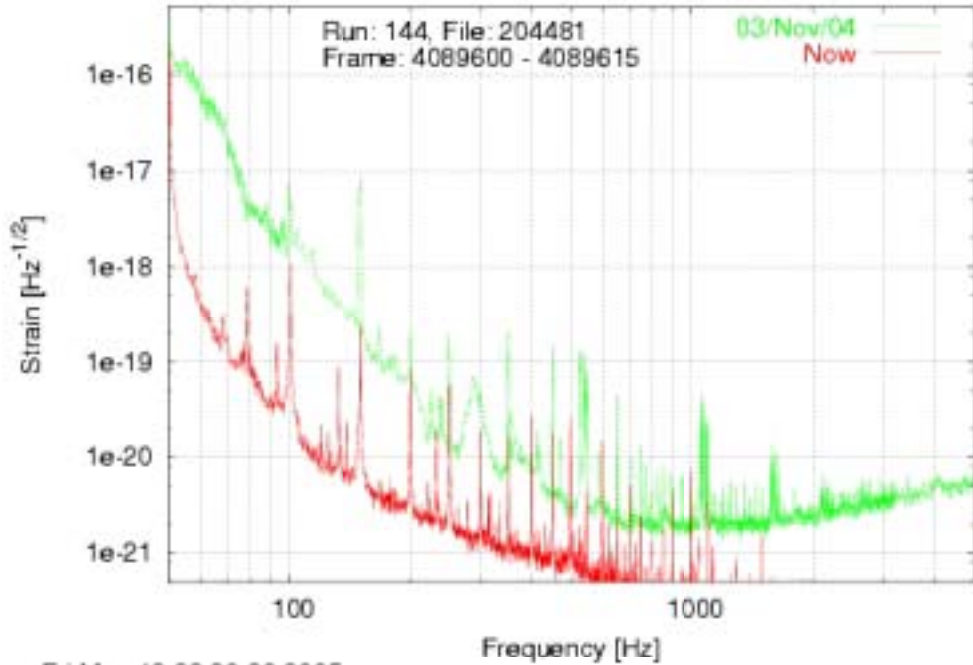
自動化対応アナログ回路

+

LabViewベースの自動化システム

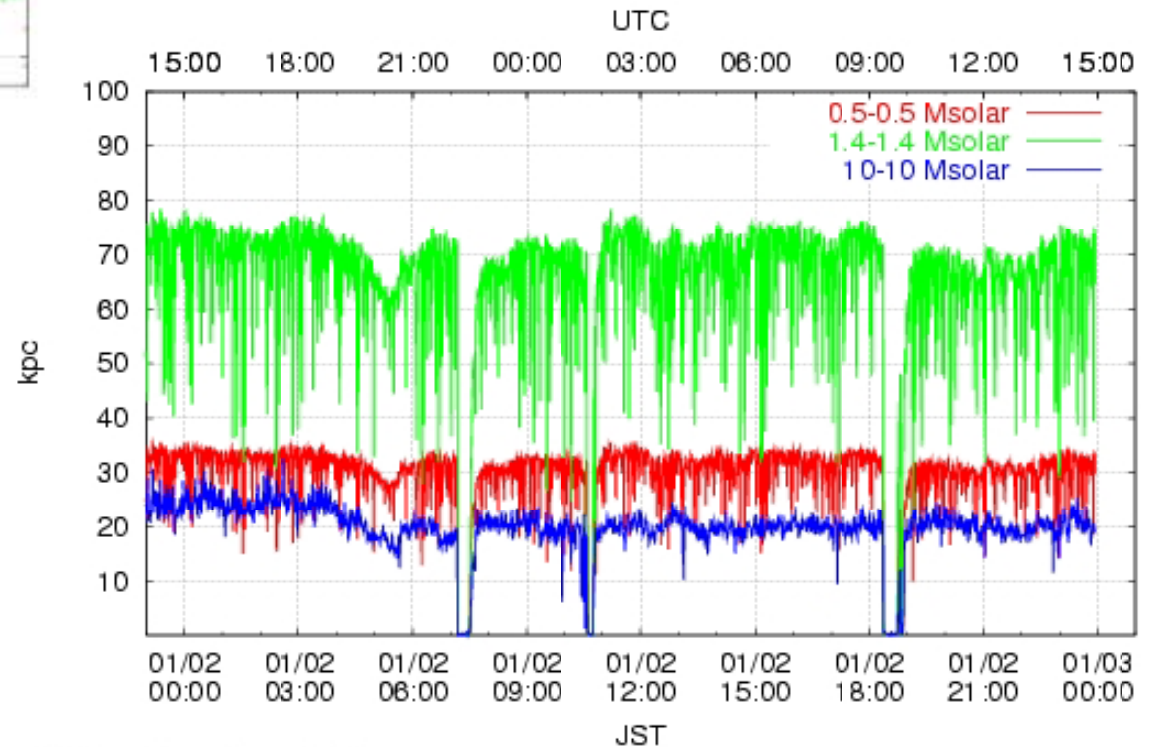


Webベースの干渉計モニタ



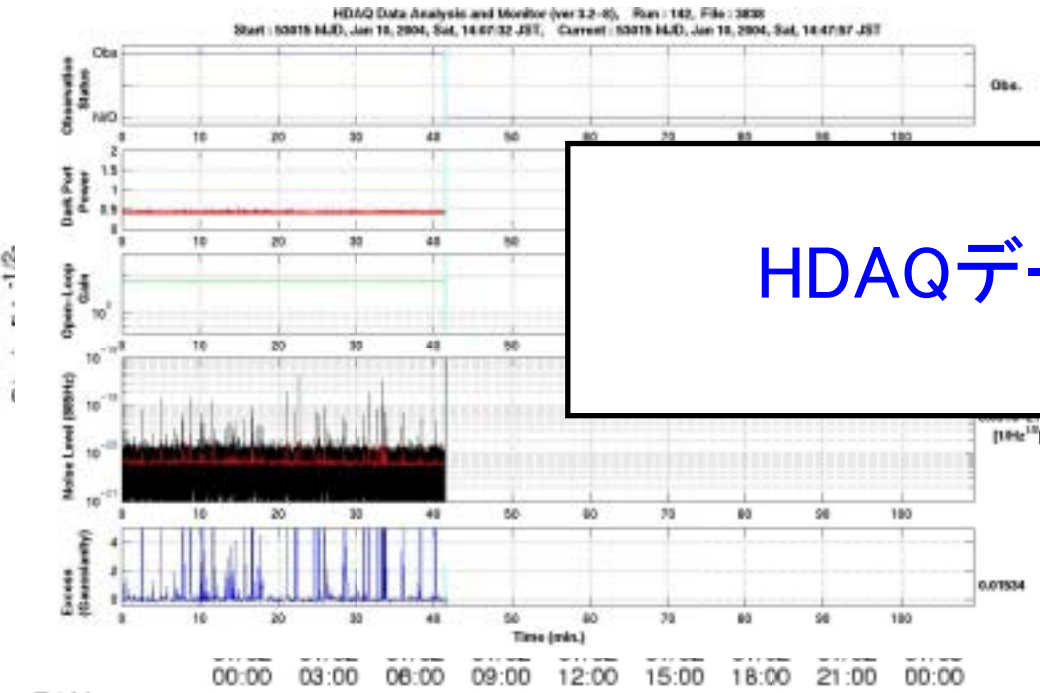
感度スペクトルモニタ

感度時系列モニタ

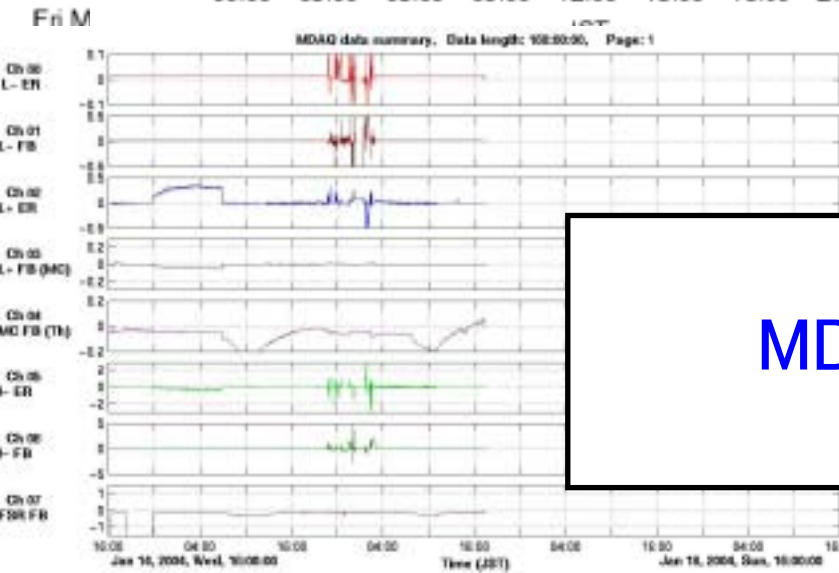
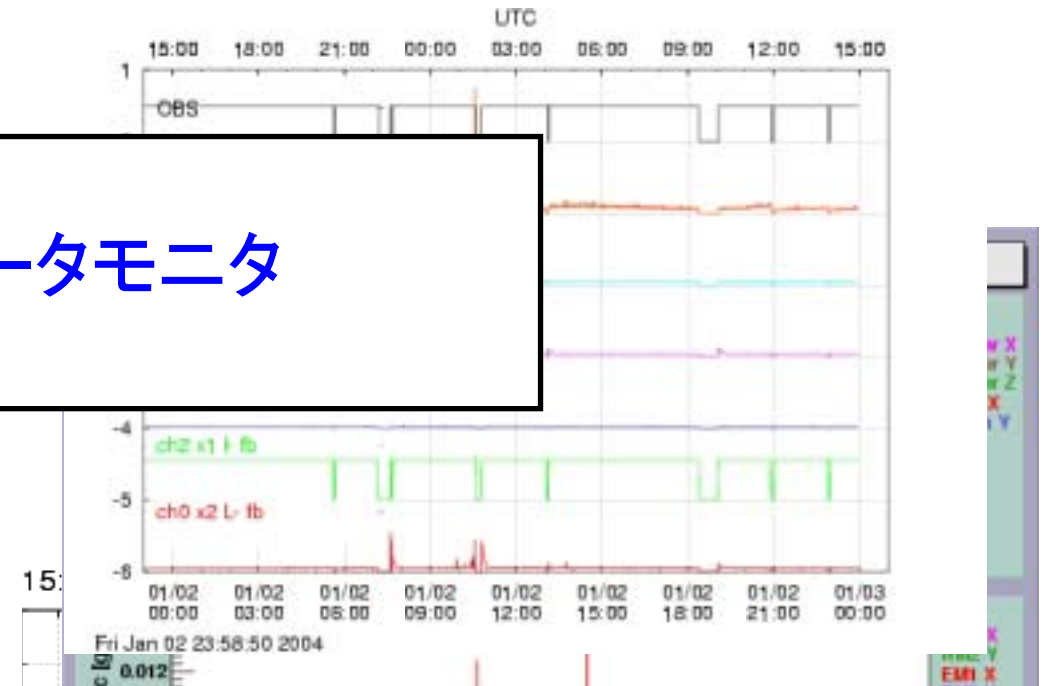


Fri Jan 02 23:58:48 2004

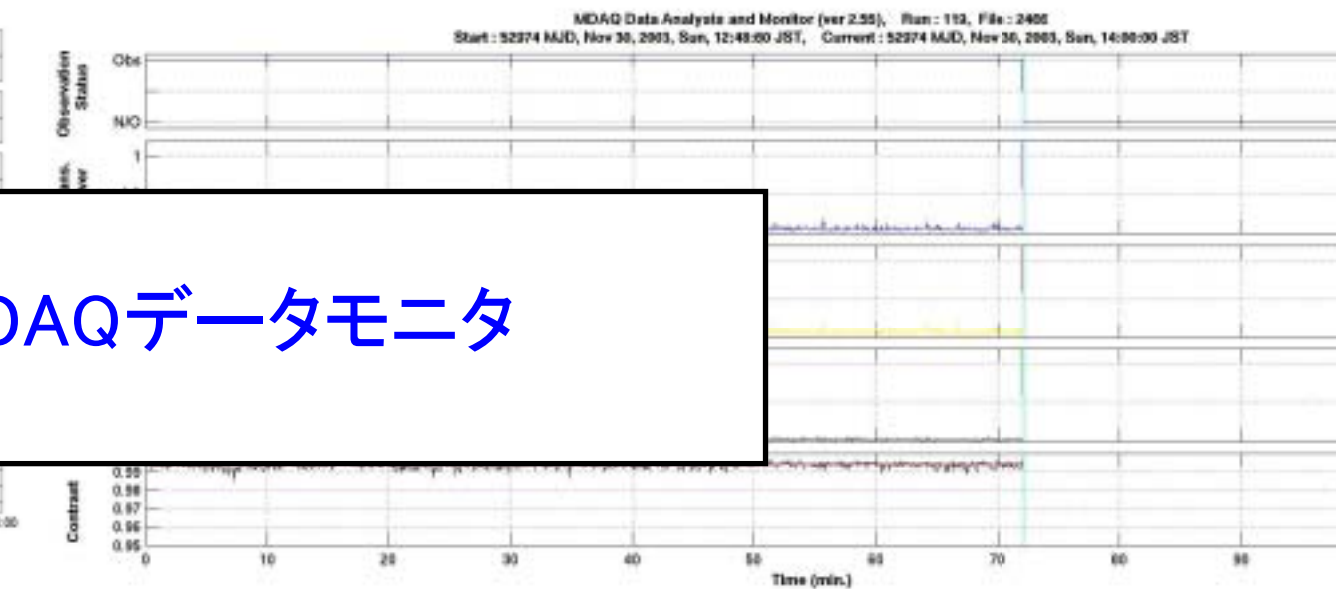
Webベースの干渉計モニタ



HDAQデータモニタ



MDAQデータモニタ



現在までに行われた観測

● □第1次～第6次観測 (パワーリサイクリング導入前)

DT1	1999	Aug. 6~ 7	1夜	11時間	
DT2	1999	Sep. 17~20	3夜	31時間	
DT3	2000	Apr. 20~23	3夜	13時間	
DT4	2000	Aug. 21~Sep. 4	13夜	167時間	
DT5	2001	Mar. 2~ 8	6日	111時間	<i>Coincidence</i>
DT6	2001	Aug. 1~Sep. 20	50日	1038時間	LISM(20m)

● □第7次～第9次観測 (パワーリサイクリング導入済)

DT7	2002	Aug, 31~Sep. 2	1日	25時間	LIGO & GEO
DT8	2003	Feb. 14~Apr. 15	59日	1158時間	LIGO
DT9	2003	Nov. 28~Jan. 10	43日	558時間	LIGO & GEO

第8次観測 Data Taking 8 (DT8)

● DT8: 2003/2/14~4/15の2ヶ月間の観測

-□ 米国LIGO計画の3台の干渉計との初の完全同時観測

-□ パワーリサイクリング導入(2001/10~)

□ してから初めての長期運転

リサイクリングによる感度改善

$$h = 2.7 \times 10^{-21} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1.5\text{kHz}$$

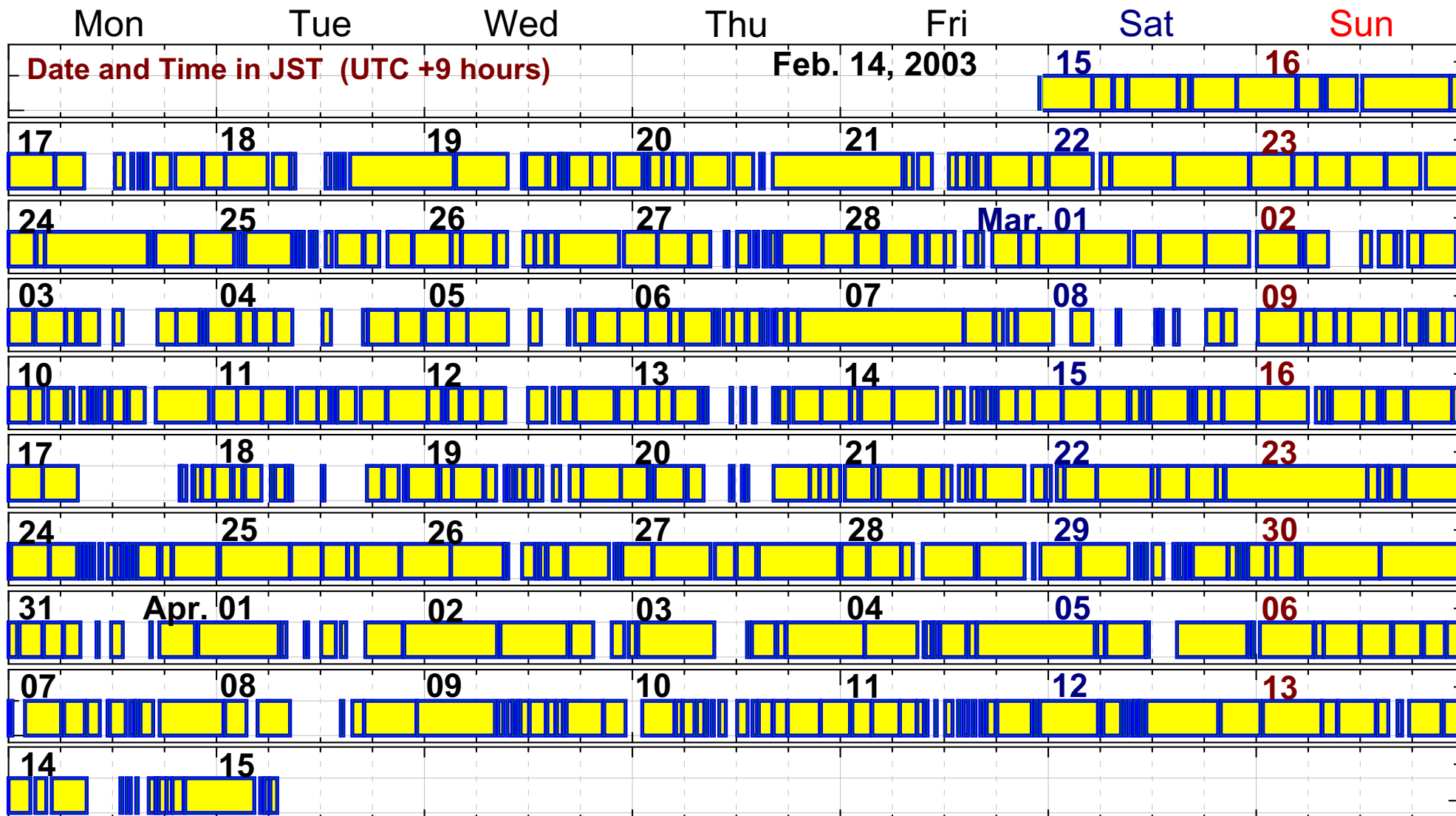
改善された安定度

1424時間中 1158時間稼動 => 稼働率 81.3%

稼働率は主に地面振動(近隣での工事)で決まっている

Observation calendar

● 1157h51m (out of 1424 hours, duty cycle 81.3%)



第9次観測 Data Taking 9 (DT9)

● DT9: 2003/11/28~2004/1/10

- □ パワーリサイクリング干渉計での観測

□ 主干渉計入射 $P=2$ [W]

□ パワーリサイクリングゲイン $G=4.5$

□ フロア感度: $\sigma_{\text{floor}} = 2 \times 10^{-21}$ [/sqrtHz] (700Hz~1.5kHz)

DT8とくらべるとDT9は実質約2倍の感度

24時間以上の連続動作 (3回)

558時間稼動

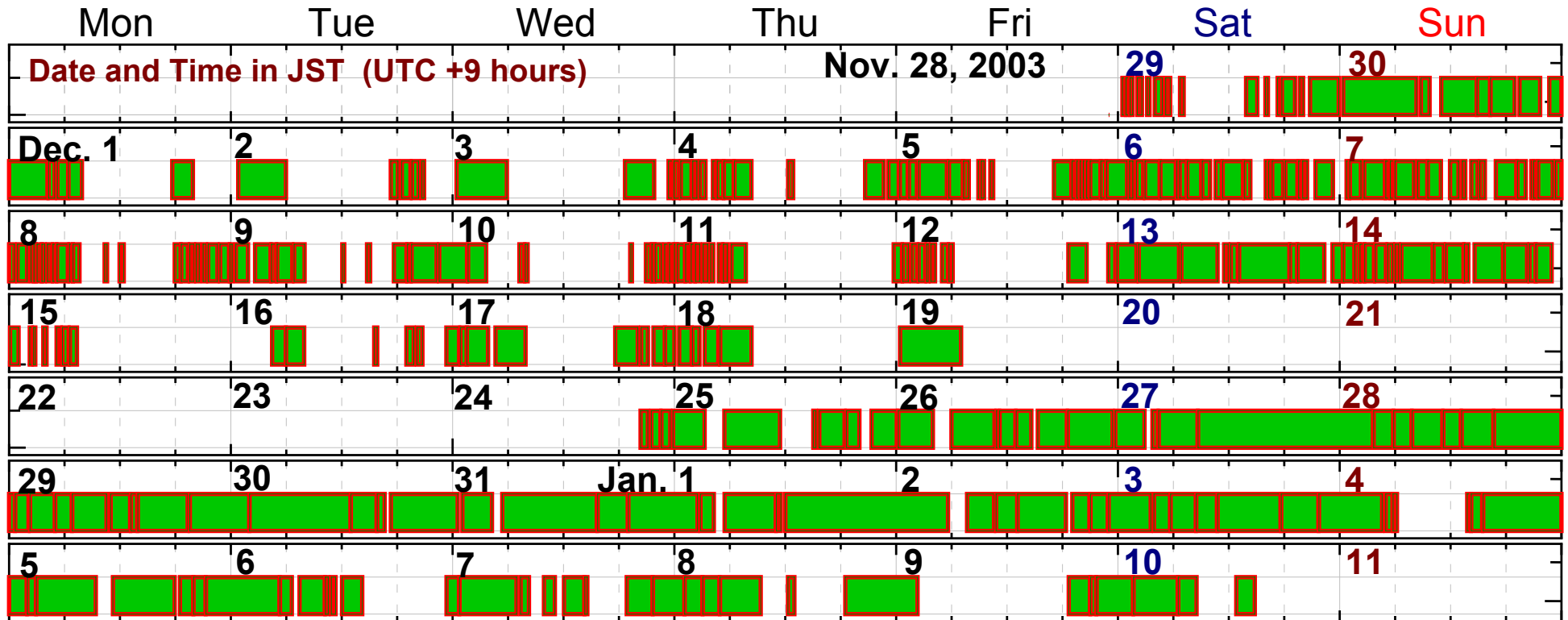
- □ 国際共同観測

□ 米LIGO計画の干渉計(3台)

□ 独英によるGEO600干渉計

DT9: 干渉計の稼動状況

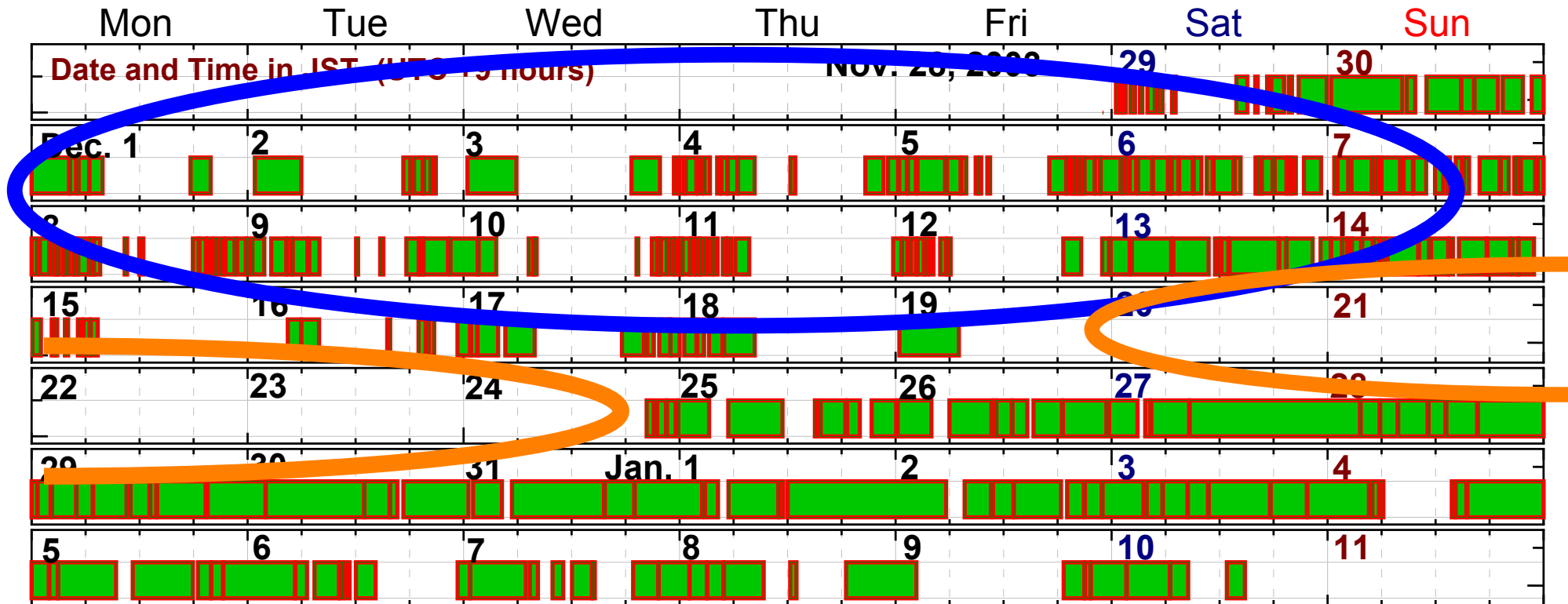
- 10分以上連続動作した時間帯



全観測データ量 558時間

DT9: 干渉計の稼動状況

- 10分以上連続動作した時間帯

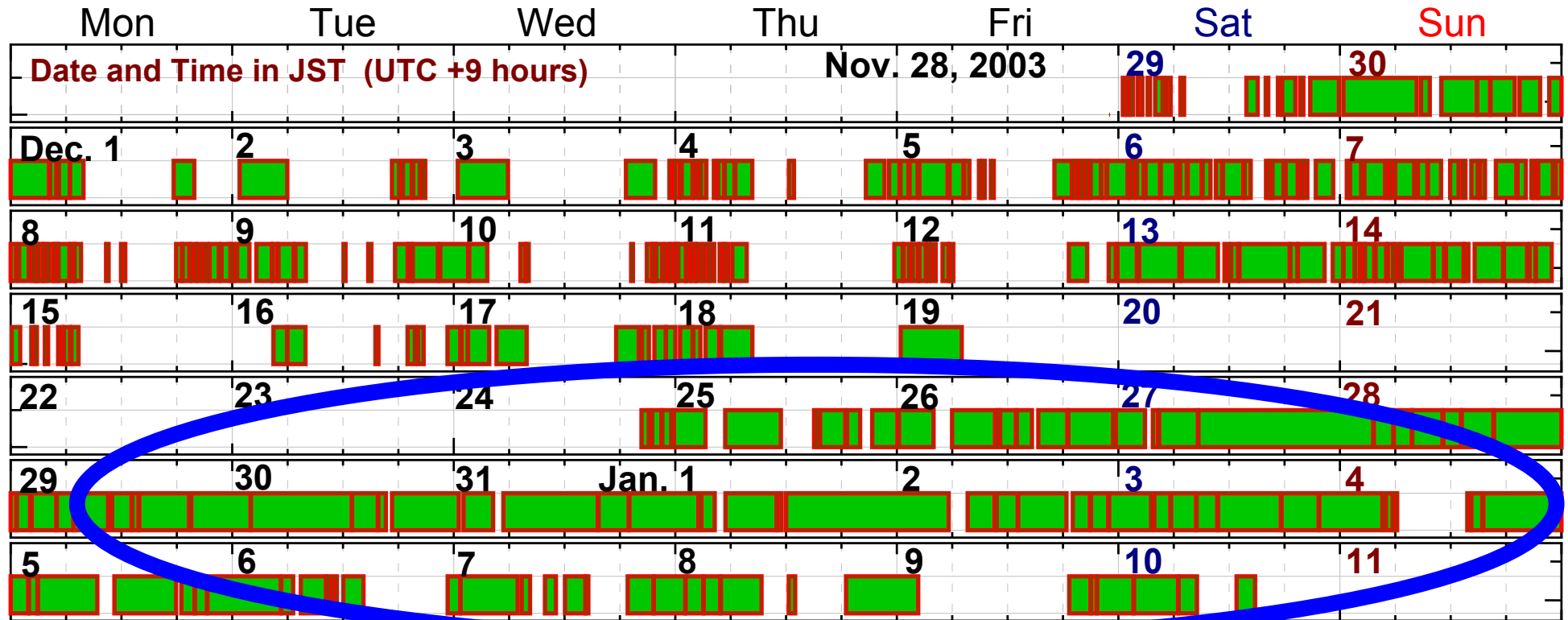


日中の工事・干渉計の調整・自動化システムの改良

TAMA300サイトの予定停電の準備・復旧

DT9: 干渉計の稼働状況

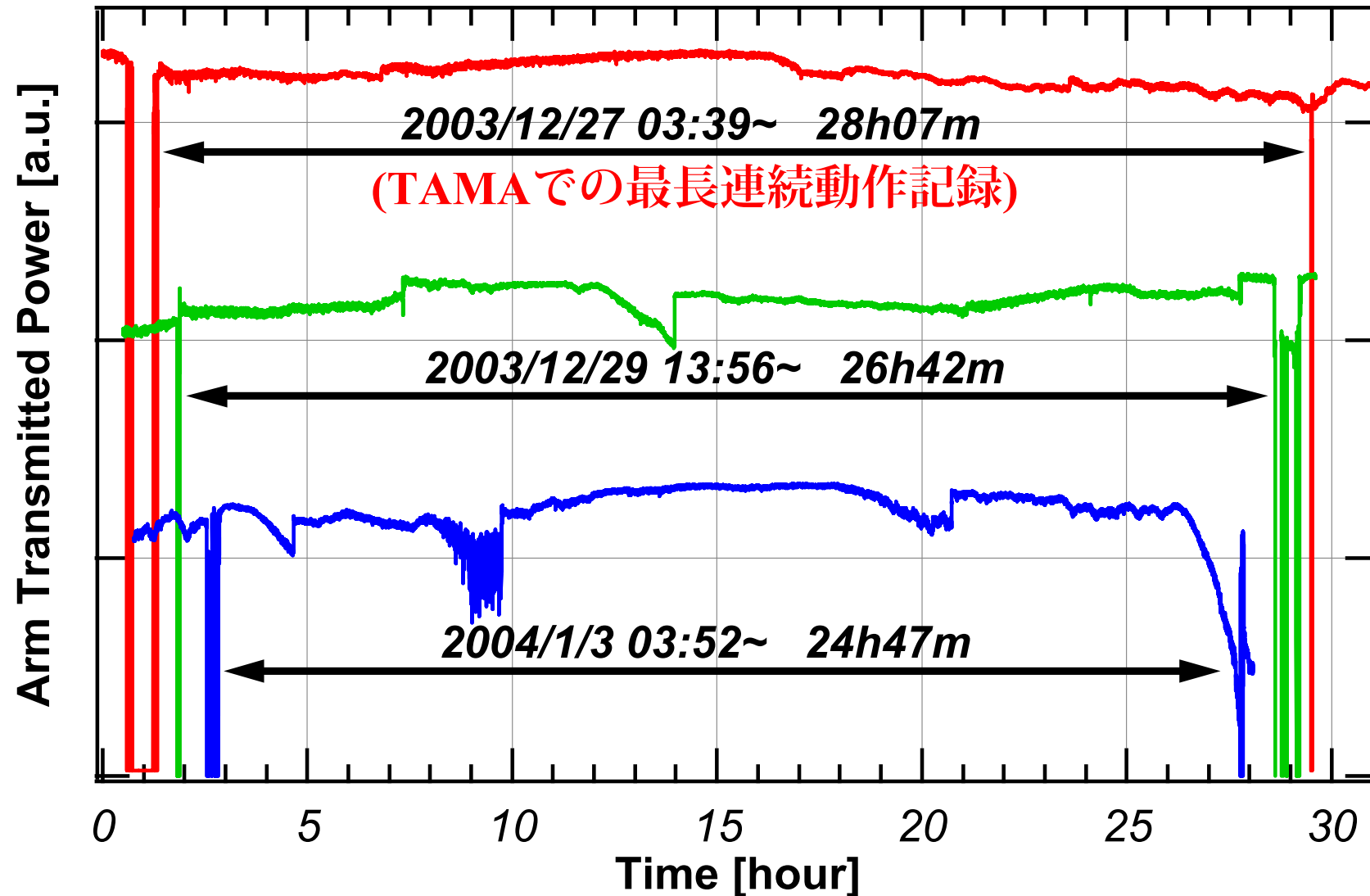
- 10分以上連続動作した時間帯



自動化システム稼働・干渉計安定・静かな地面振動

安定度の改善

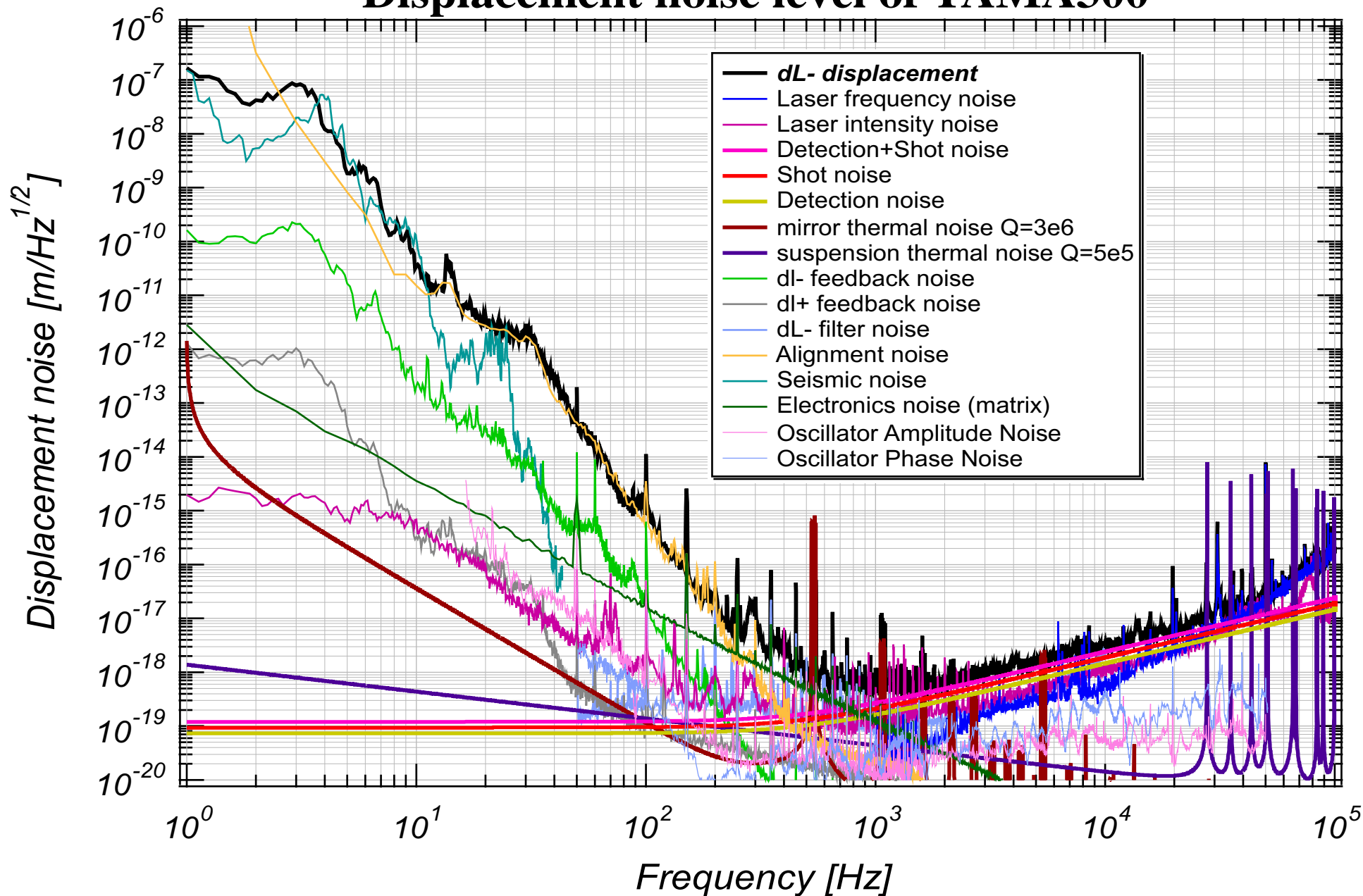
- DT9中に24時間以上の連続動作を3回達成
干渉計内光量の変動



地面振動さえ静かであれば長時間連続に動作できるシステム

Known noise sources

Displacement noise level of TAMA300



Noise hunting

● 低周波帯(DC~200Hz)

地面振動 (DC~20Hz)

アライン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-Dewhiting

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)

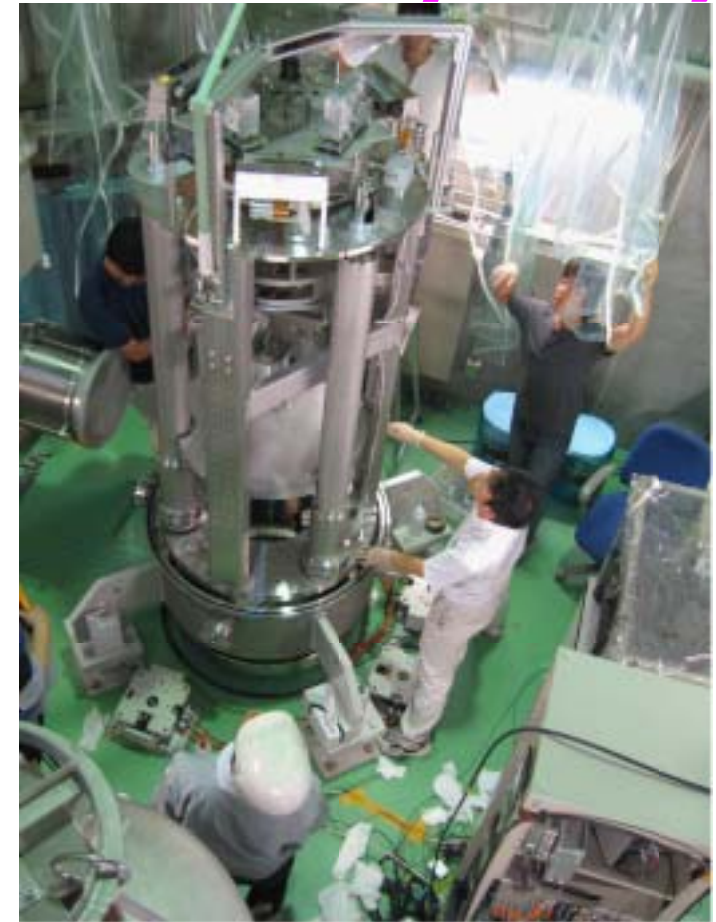
電気系雑音

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~)

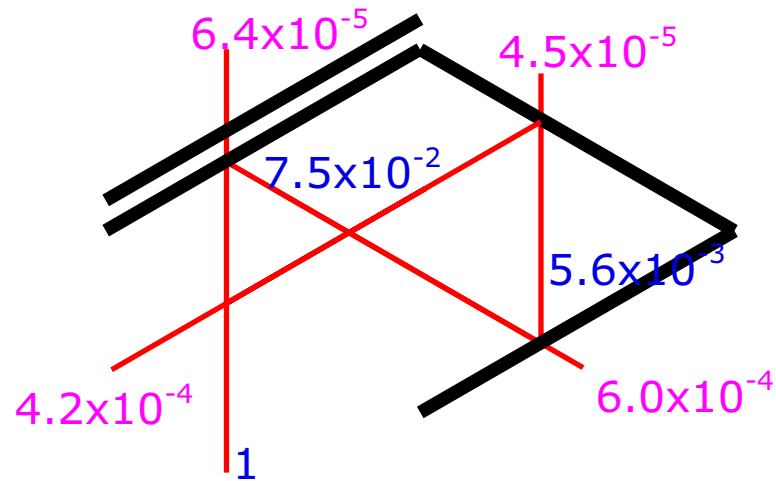


散乱光雑音対策

●散乱光を減らす

不要光処理 ⇒ 基本的に光学研磨されていない表面は使用しない

ND Filter ⇒ 透過・反射を0.05%以下に減衰



●散乱パス変動の抑制

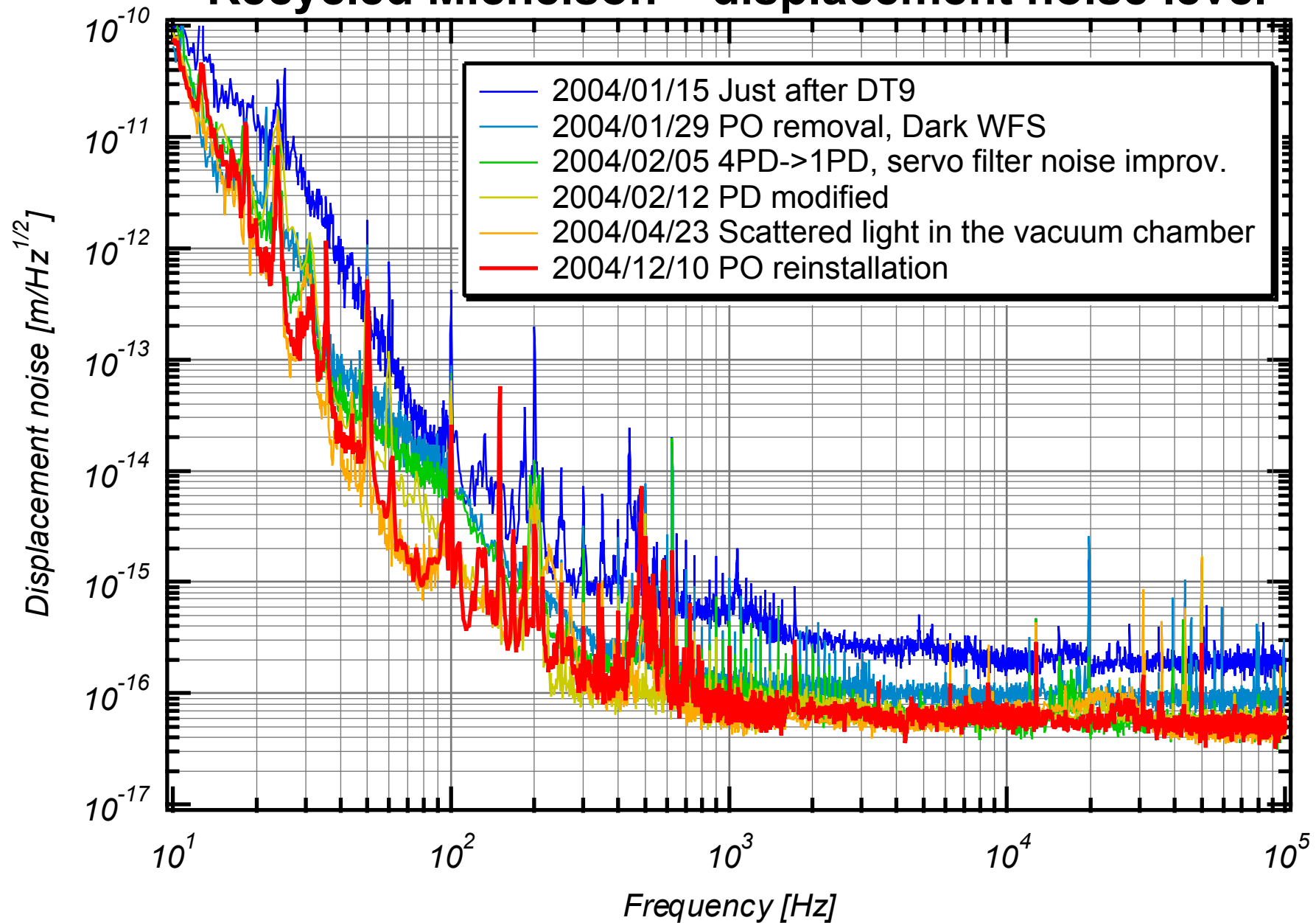
散乱体の防振・防音

真空中に入れる・光学系の簡素化



Recycled Michelson Interferometer ~ 感度の向上

Recycled Michelson ~ displacement noise level



Against scattered light noise

真空対応光検出器容器



ダークポート真空槽

防音シールド

Digital control

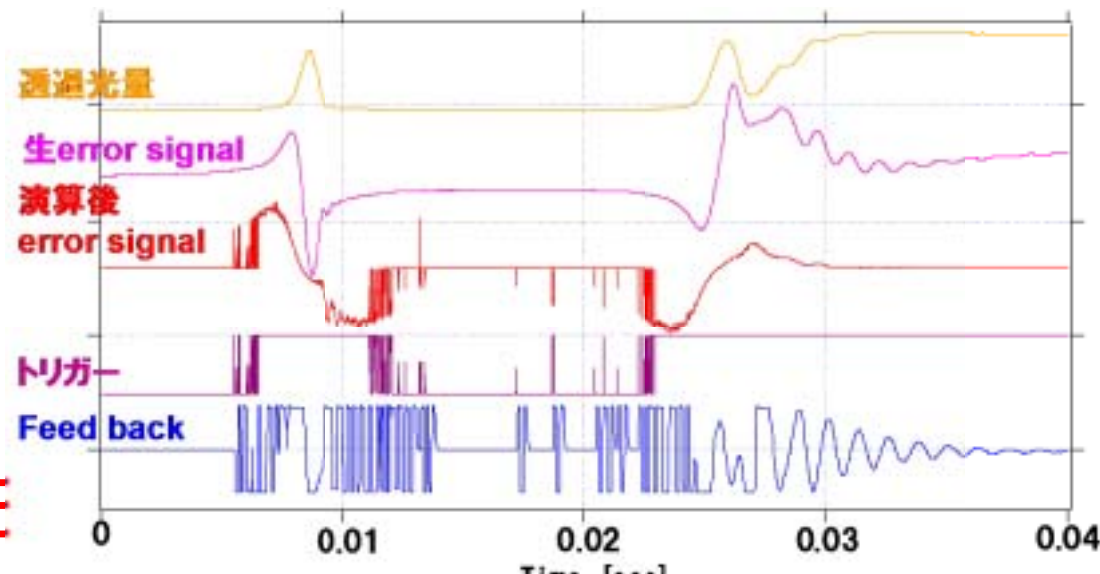
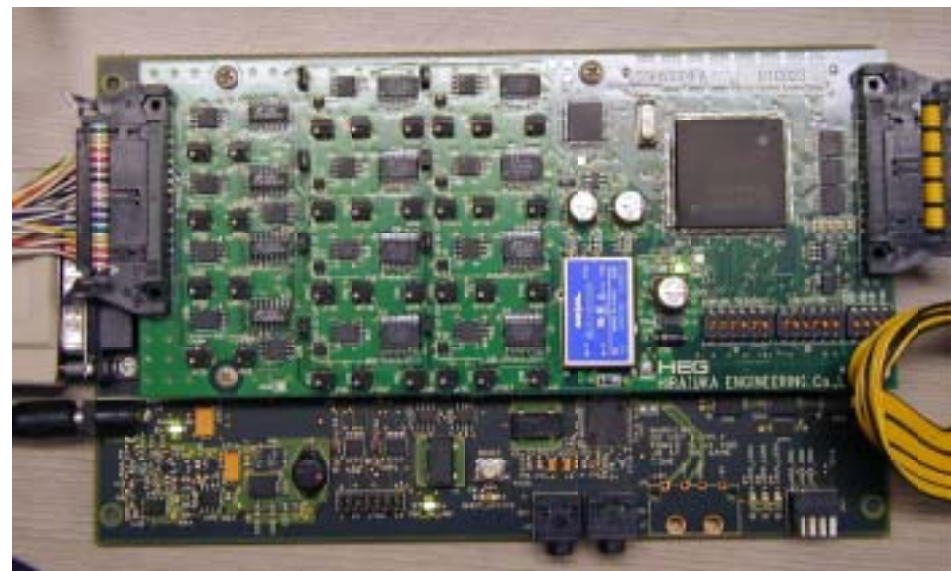
- 大型干渉計のデジタル制御化～国際的な流れ
- デジタルフィルタとError信号演算による干渉計制御

サンプリング周波数 200kHz
干渉計制御帯域 ~800Hz

- 300m腕のmass制御ロック
従来のアナログフィルタで
数分かかるところを
数秒でロックする

- より困難な干渉計制御での
性能発揮に期待

high gain recycling / RSE



Summary

●TAMA300干渉計の開発

リサイクリングによる感度の向上

安定な干渉計運転を達成

リモート運転・自動運転対応の観測システム

⇒ DT8/ DT9

●雑音低減のactivity



TAMA
Introduction

TAMA300検出器

● 300m基線レーザー干渉計型重力波検出器TAMA300

サイト: 国立天文台 三鷹キャンパス (東京都)

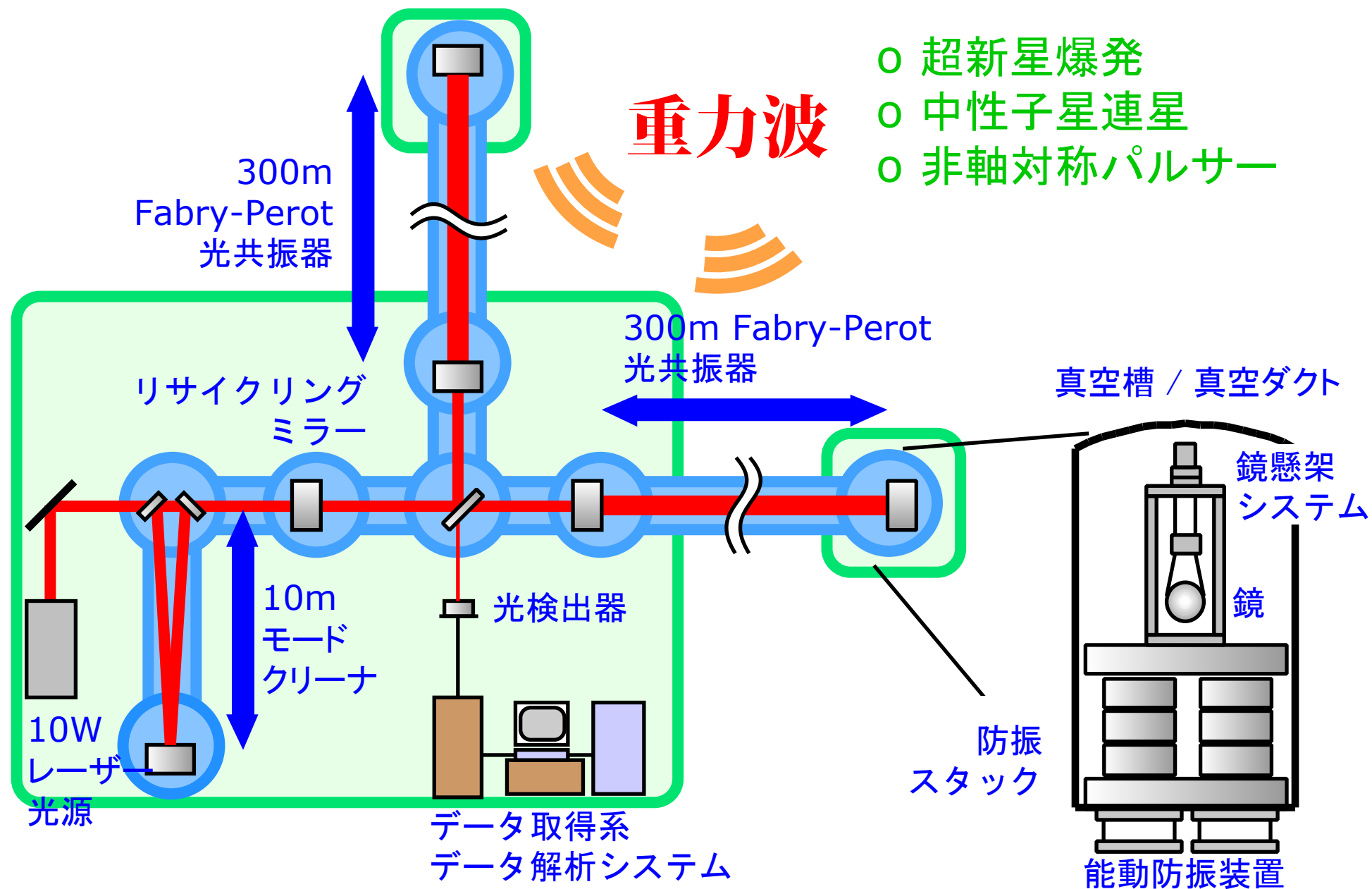
● TAMA300の目的

1. 近傍銀河で発生する
 - 重力波イベントを
 - 検出可能な
 - 実証型検出器の開発
2. 将来のkm級干渉計に
 - 必要な技術の確立

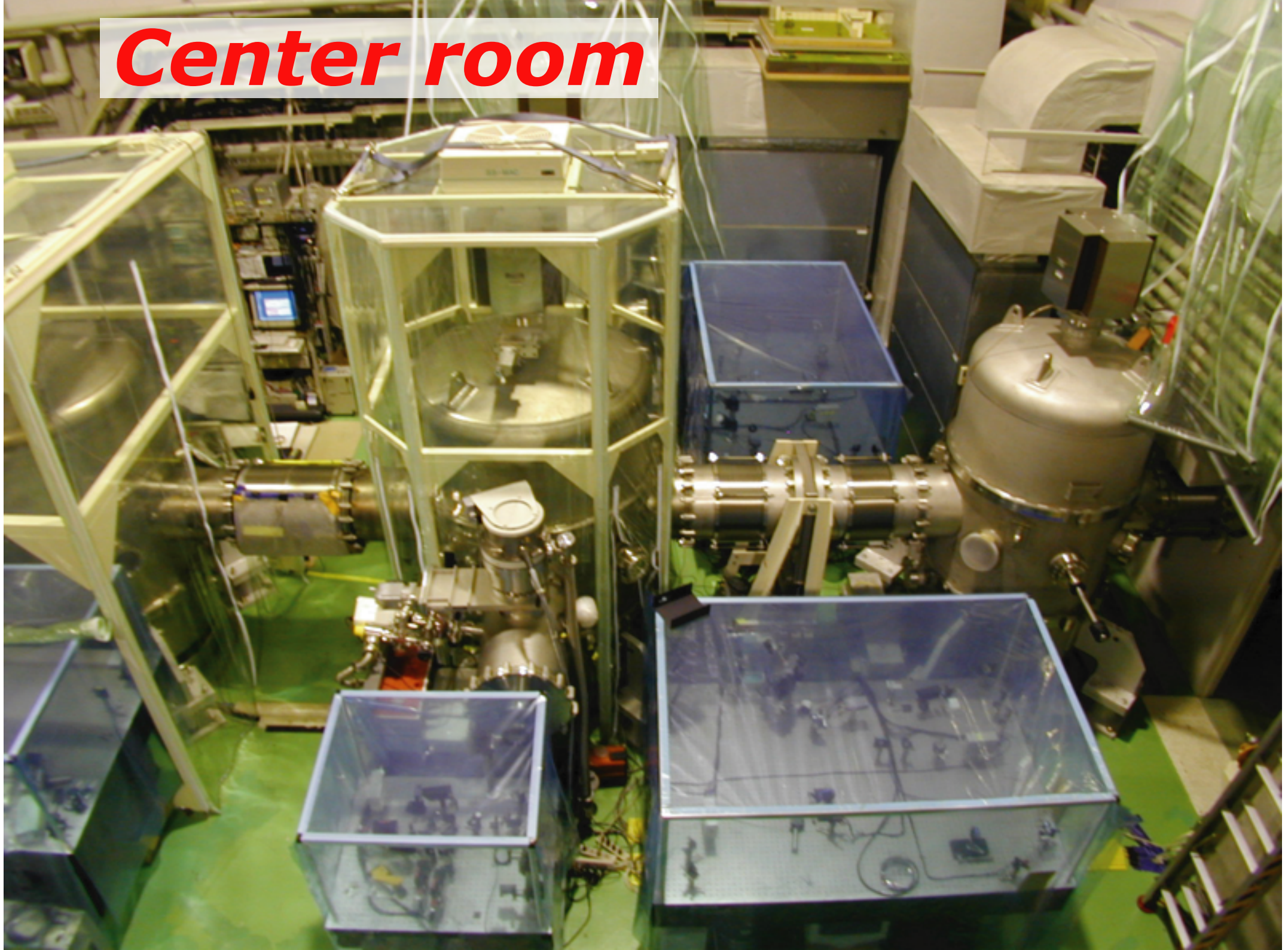
理論感度限界 $\sim h_{\text{RMS}} = 3 \times 10^{-21}$
観測帯域の中心周波数300Hz
(バンド幅300Hz)



TAMA300検出器 ～ 概略



Center room



300m vacuum tube



Vibration Isolation System



- **3 layer system**

Actively-controlled
air spring

+

Stack

(Sandwiches of rubbers
and metal blocks)

+

Double pendulum
suspension

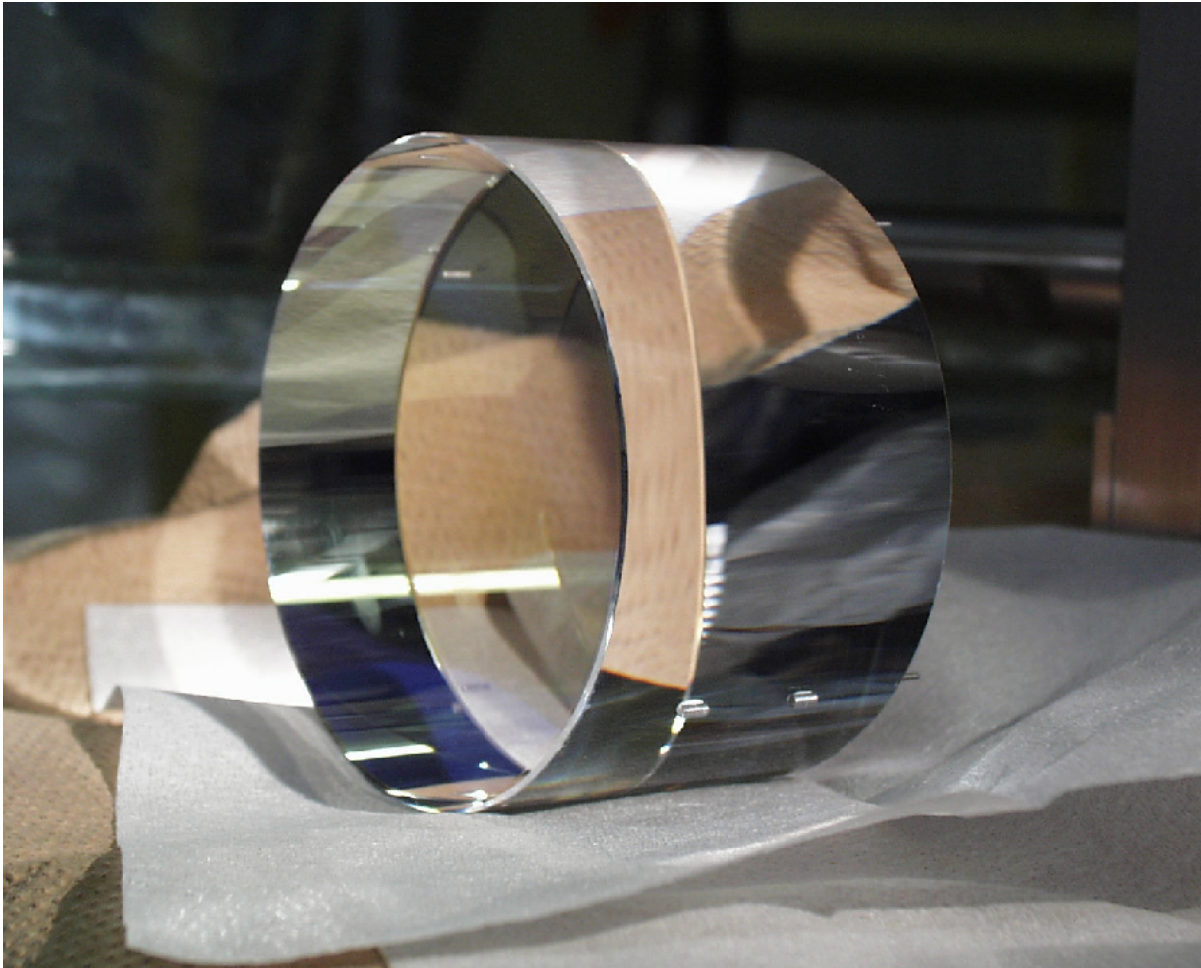
Achieved performance

~ better than 10^{-8}

at 150Hz

Mirror

- Fused silica (SiO_2) ϕ 100mm x 60mm



Mechanical quality

Intrinsic $Q \sim 3 \times 10^6$

Optical quality

substrate absorption

□ 3ppm/cm

total loss in reflection

□ 30ppm

figure error

□ $< \lambda/40$

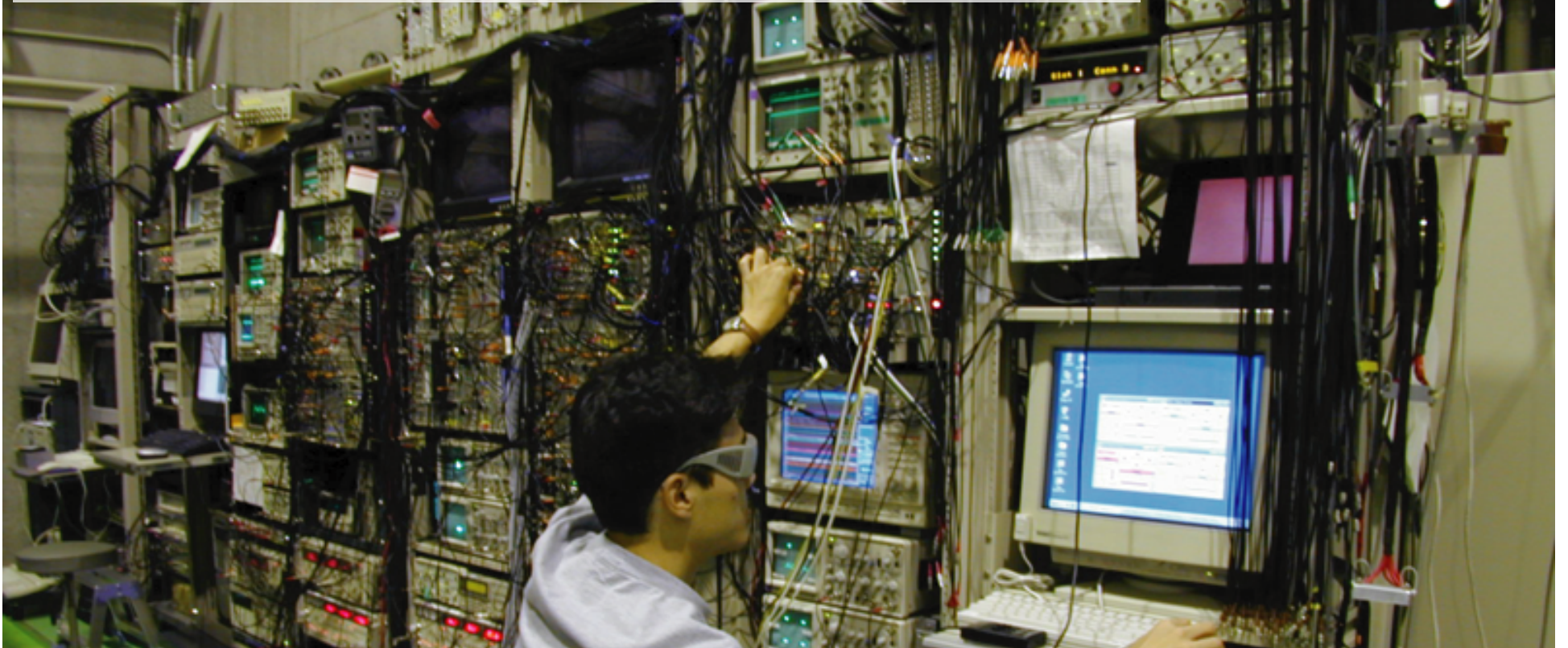
surface roughness

□ $< 1 \text{ \AA}$

Control electronics



Control electronics



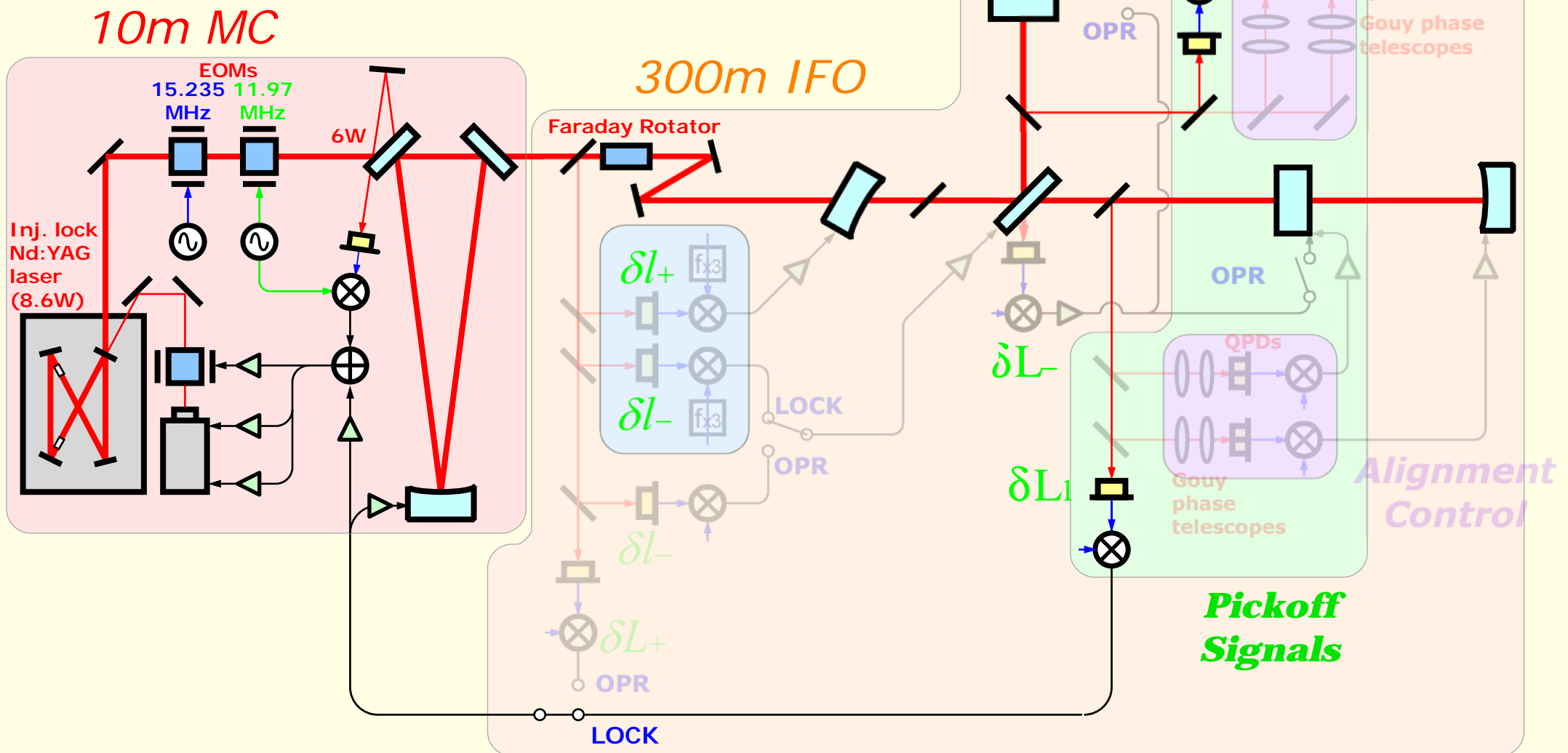
- o Analog servo circuits for the most systems
- o Digital control/switching capability
 - of the analog circuits for automatic lock
- o Several digital servos



Control

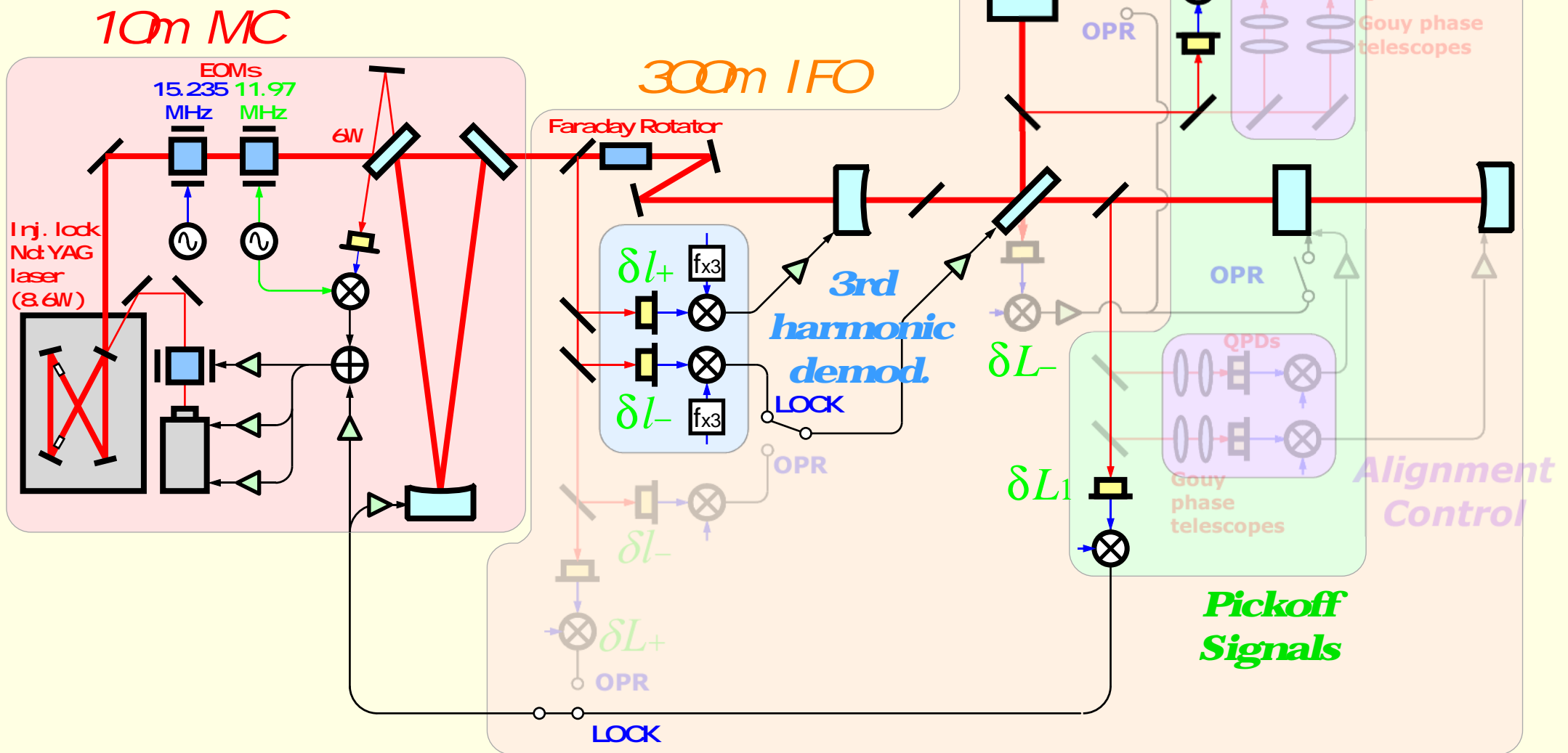
Optical Config. and control system

- I Length control for lock acq.
- I Alignment control for test mass
- I High S/N length control



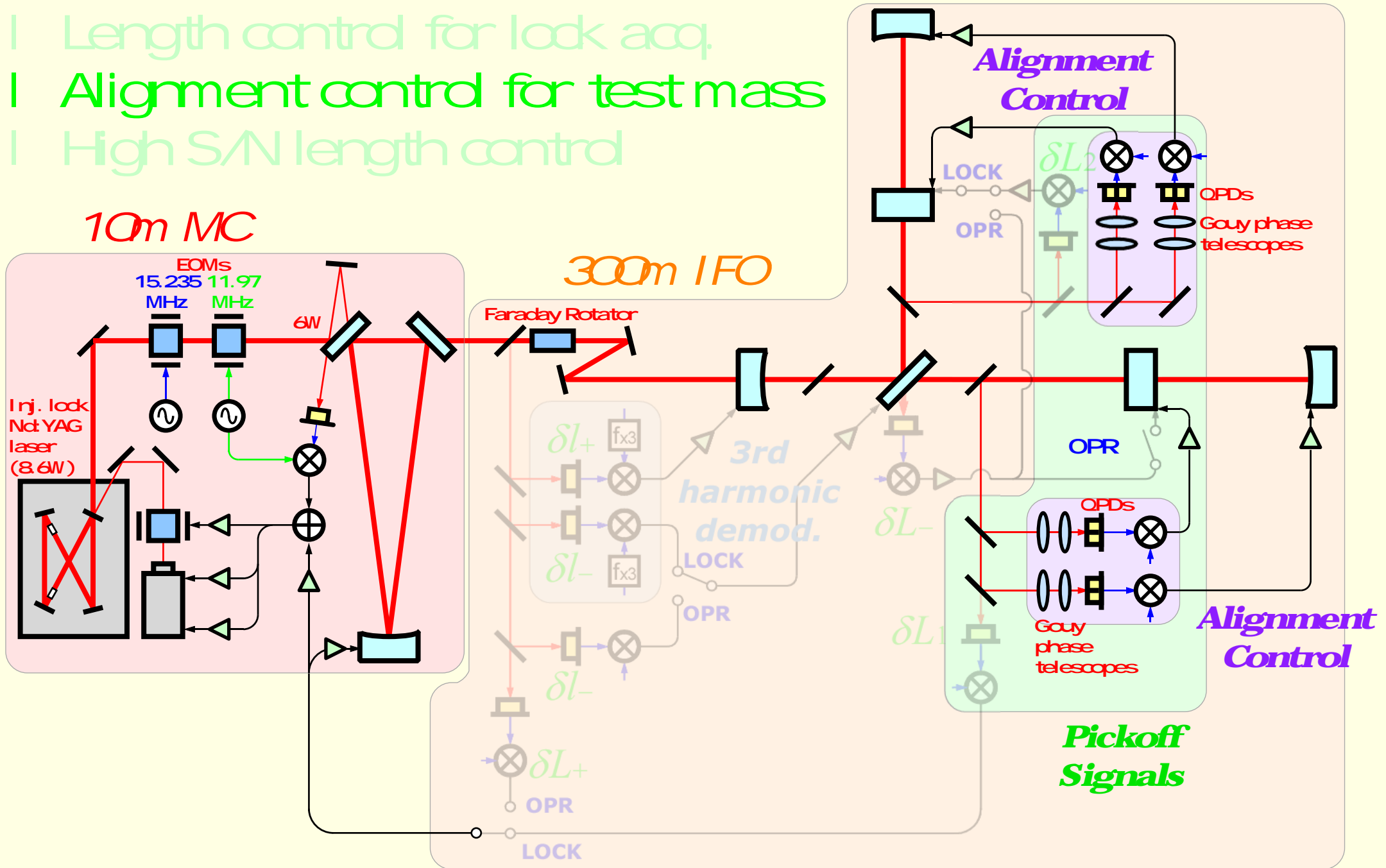
Optical Config. and control system

- I Length control for lock acq.
- I Alignment control for test mass
- I High S/N length control



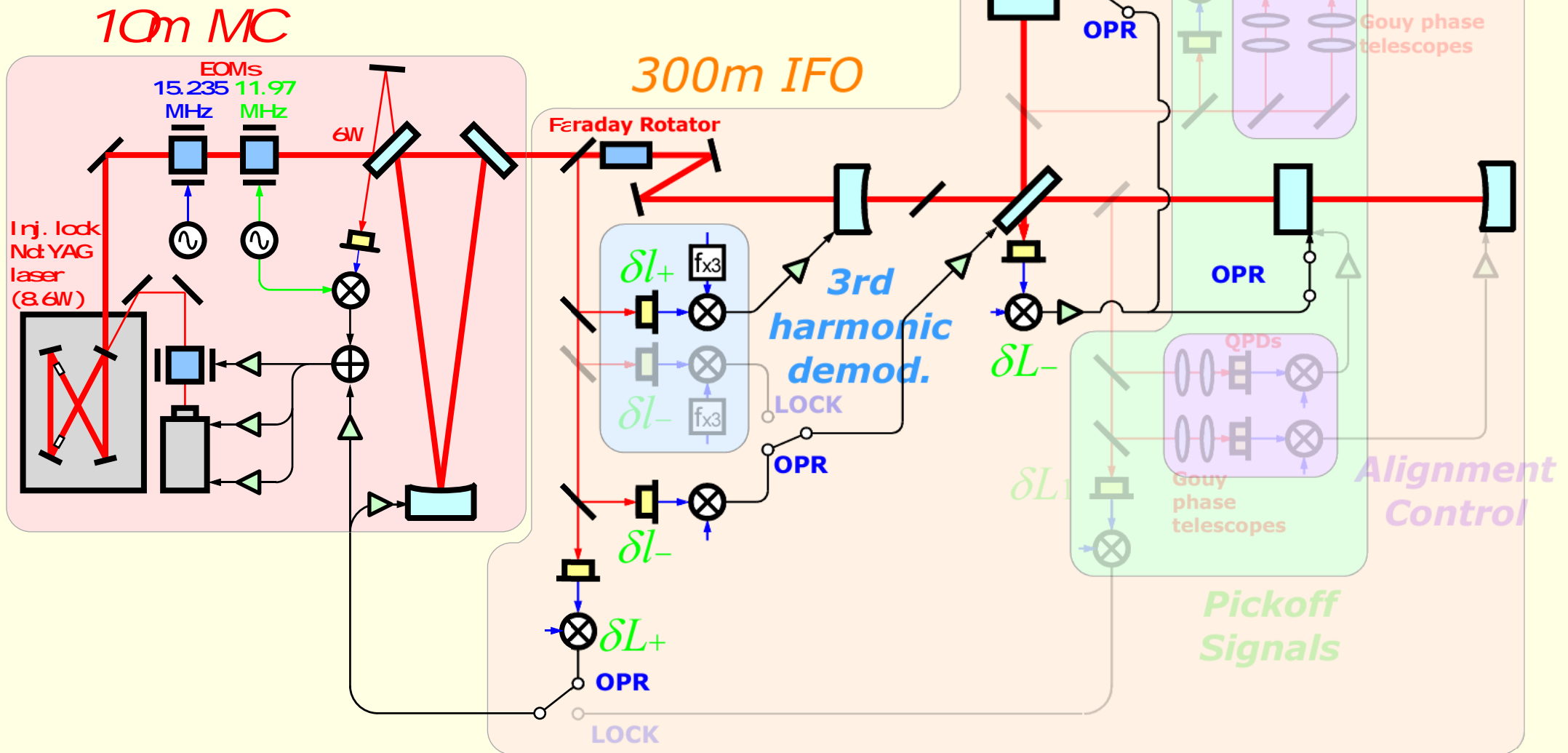
Optical Config. and control system

- | Length control for lock acq.
- | Alignment control for test mass
- | High S/N length control



Optical Config. and control system

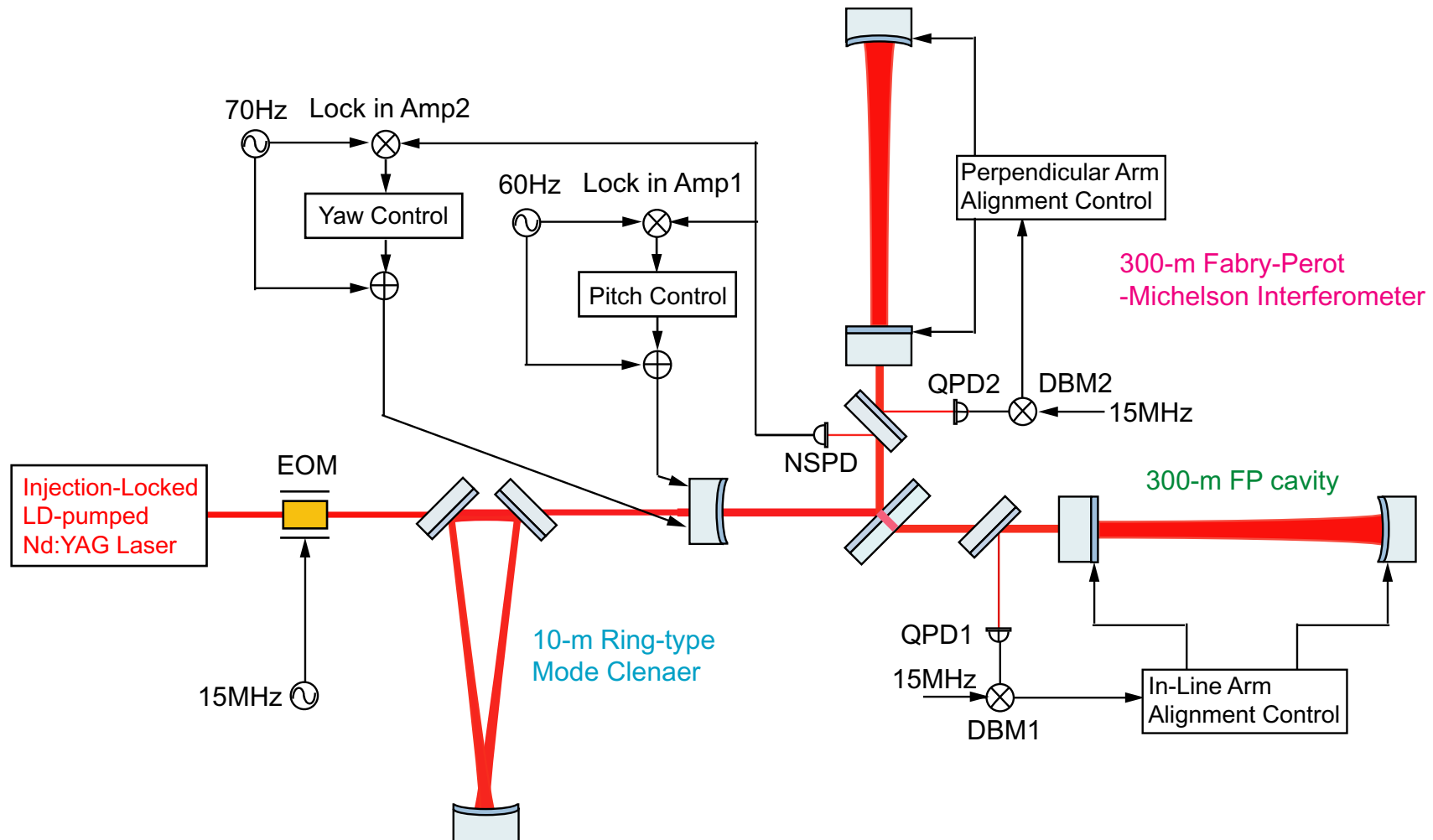
- | Length control for lock acq.
- | Alignment control for test mass
- | High S/N length control



Alignment control

Alignment control servo for the recycling mirror

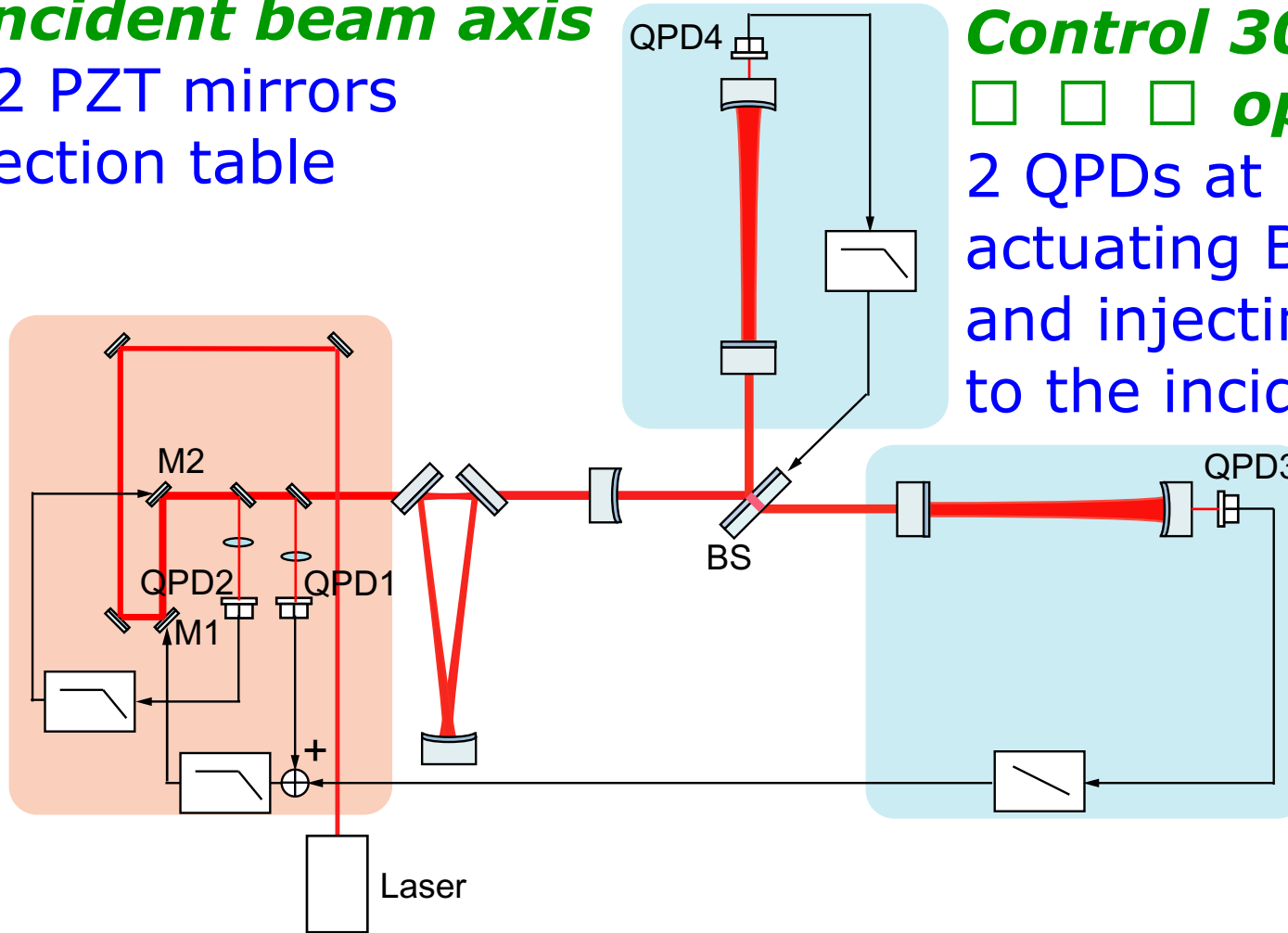
- Mechanical modulation technique (Pitch 60Hz, Yaw 70Hz)
 - Suppress long-term drift => bandwidth < 1Hz
- => All of the five mirrors are controlled



Stabilizing optical axes

Control incident beam axis

2 QPDs / 2 PZT mirrors
on the injection table



Control 300-m

□ □ □ **optical axes**

2 QPDs at both end
actuating BS
and injecting signal
to the incident axis servo

- => Minimizing the alignment noise coupling to dL-
- => Improvement of the long-term stability of the main IFO,
□ □ as well as the long-term stability of the MC.



Recycling

パワーリサイクリングの原理

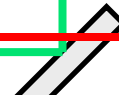
- なぜリサイクリングミラーを挿入すると、干渉計内部の光量が増加する???

例として
単純なマイケルソン干渉計

「ブライト」フリンジ
(明干渉：
ほとんどの光が
返ってくる)



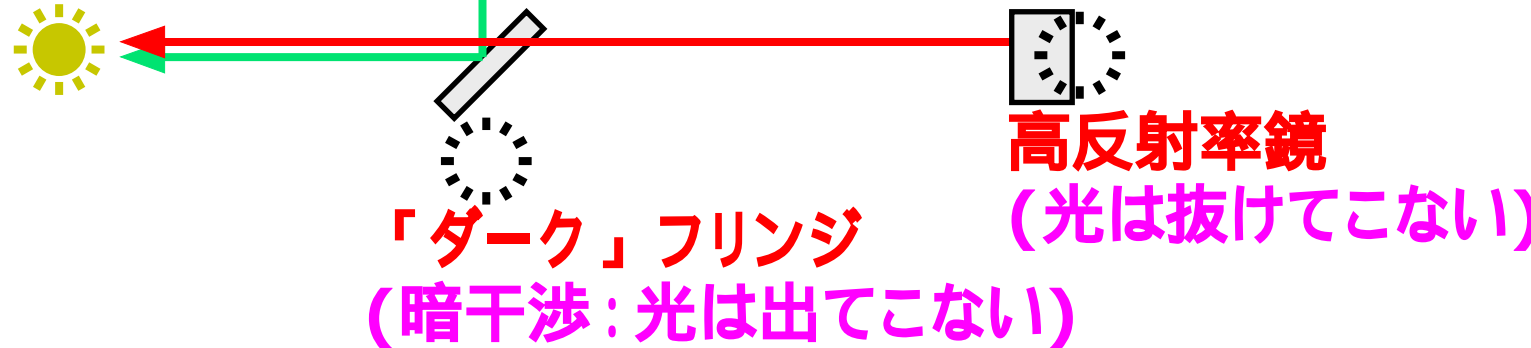
高反射率鏡
(光は抜けてこない)



「ダーク」フリンジ
(暗干渉：光は出てこない)

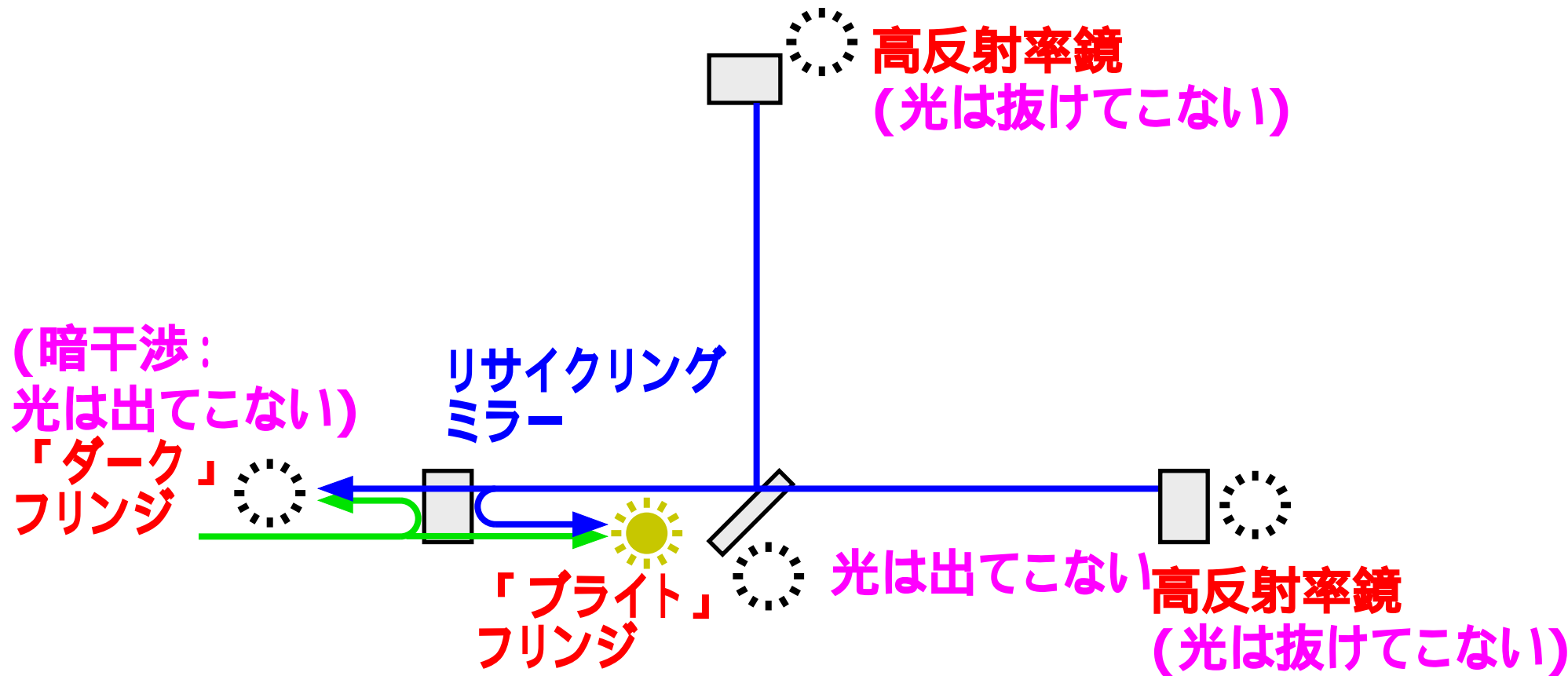


高反射率鏡
(光は抜けてこない)



パワーリサイクリングの原理

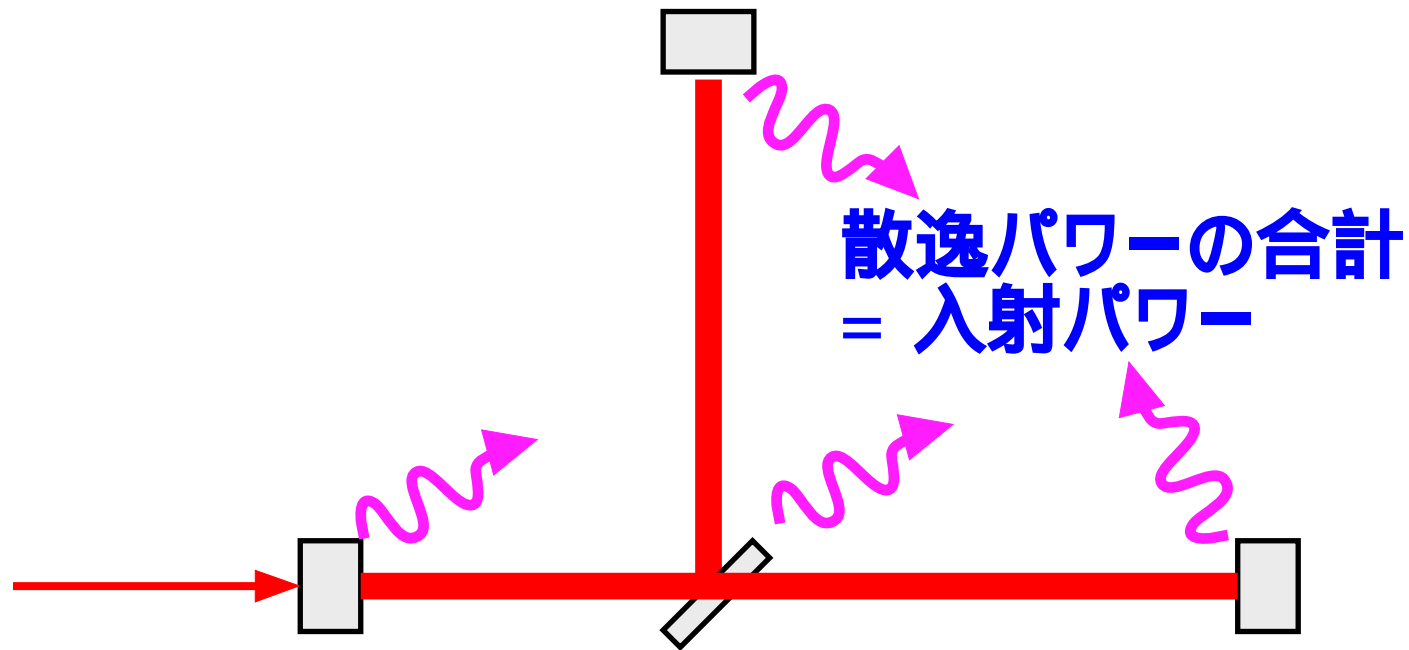
- なぜリサイクリングミラーを挿入すると、干渉計内部の光量が増加する???



問題：干渉計に入射した光が出て行く場所がない。
いったい光はどこへ行ってしまうのか？

パワーリサイクリングの原理

- レーザー光は干渉計内部に閉じ込められてしまう
この様な状態を「光リサイクリングしている」という



$$P_{\text{inc}} = \varepsilon_{\text{loss}} P_{\text{internal}} \rightarrow P_{\text{internal}} = \frac{P_{\text{inc}}}{\varepsilon_{\text{loss}}} \equiv g P_{\text{inc}}$$

内部散逸と入射パワーがつりあうまで内部光量が増加
内部の散逸が小さいほど増加率は高くなる



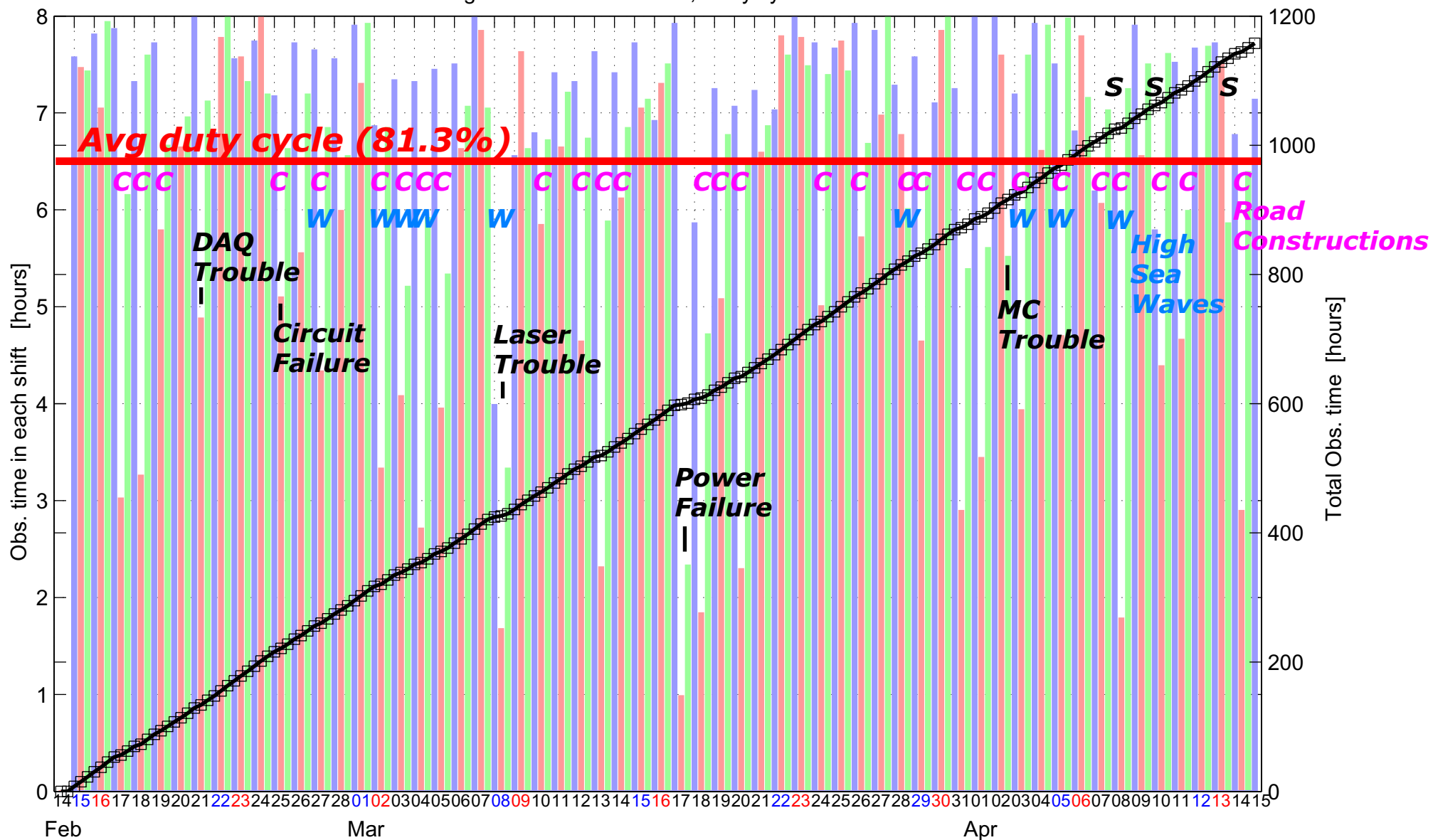
Observation

稼働率

● 1157時間51分 (1424時間中 / 稼働率 81.3%)

Start: Feb 14, 2003, Fri, 23:00:00 JST, End: Apr 15, 2003, Tue, 07:00:00 JST (Total run time: 1424:00:01)
Total long obs. time: 1157:51:26, Duty cycle: 81.3102%

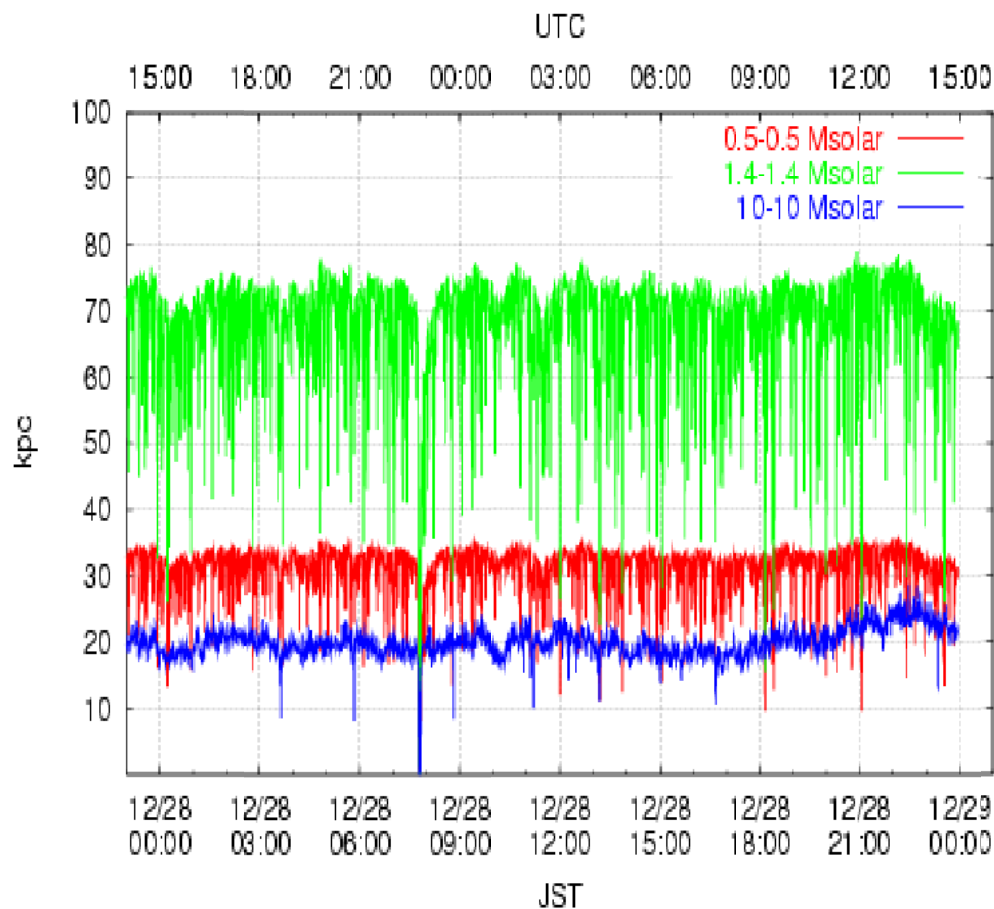
Signal Injection Experiment



Observable Distanceの安定度

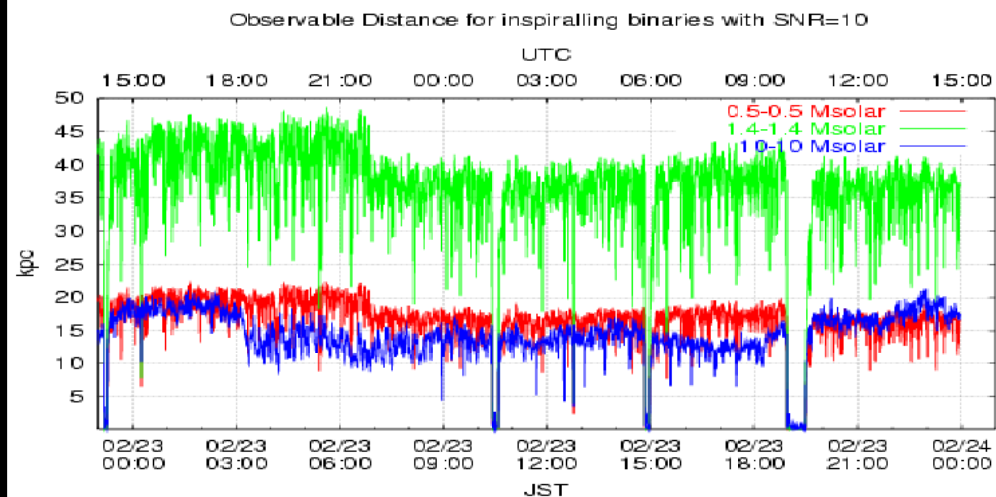
DT9

For inspiralling binaries, SNR=10



Sun Dec 28 23:58:56 2003

DT8



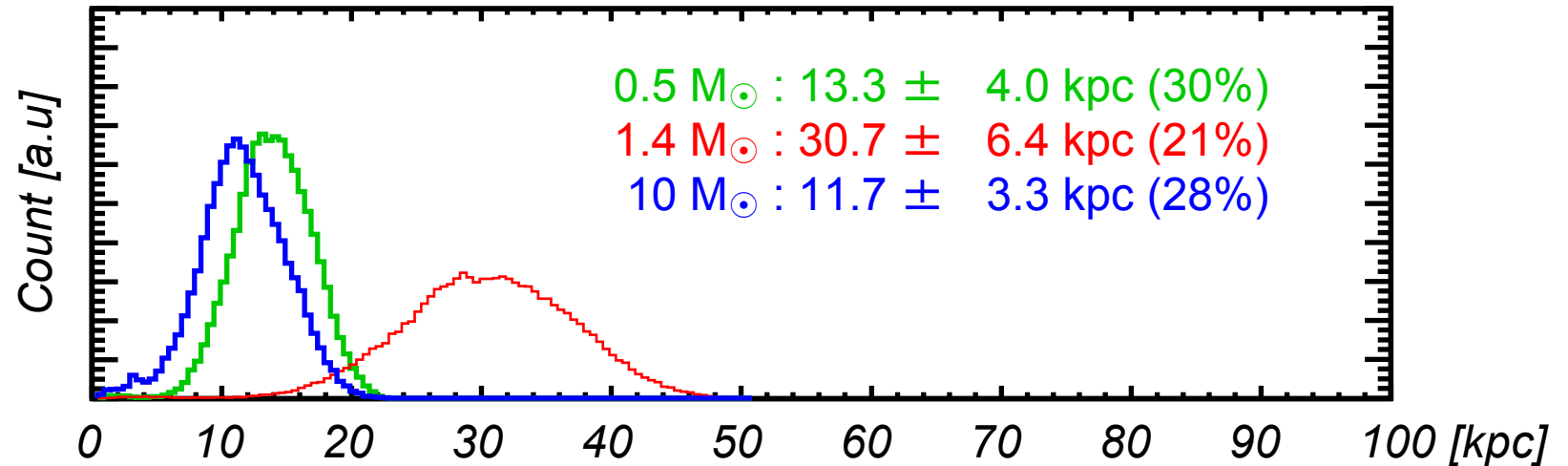
Sun Feb 23 23:59:54 2003

およそDT9はDT8の倍の感度を持っていたと考えてよい

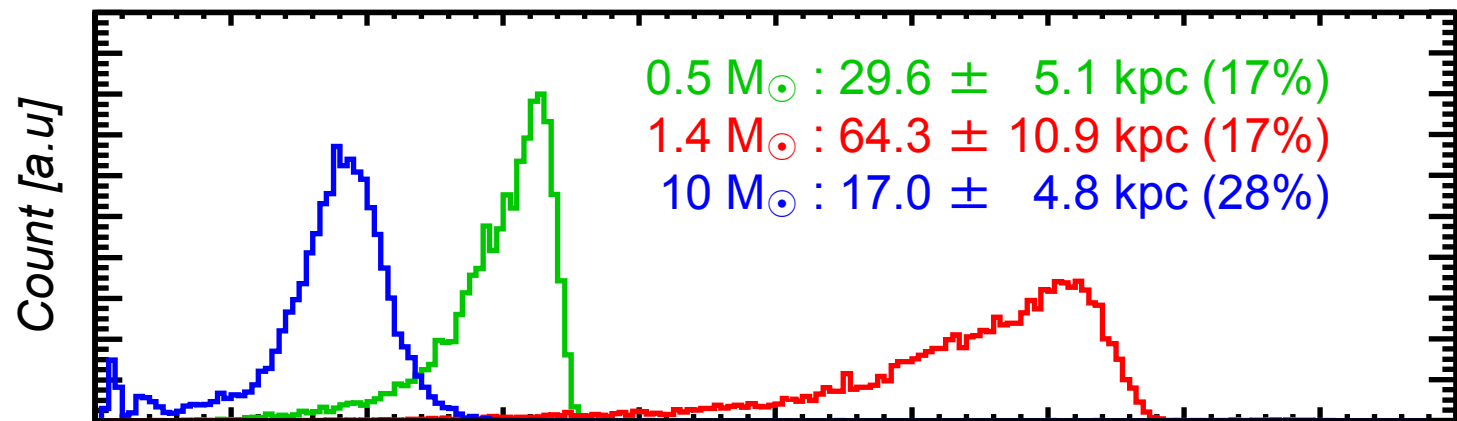
Observable Distanceの安定度

● Observable Distanceのヒストグラム

DT8



DT9
(後半)



DT9(後半)はDT8の約2倍の感度を持っていた
相対的な感度の安定度も改善もしくは同等(10M_☉)

長期観測に要求される検出器の性能

● 検出器の感度

□ リサイクリングによる感度の向上

□ □ パワーリサイクリング・ゲイン: 4.5

□ □ ベスト感度: $2.7 \times 10^{-21} [/\text{Hz}^{1/2}]$ (@1.5kHz)

● 検出器の安定度

□ アライメント制御などの改良による安定度の向上 (DT7比)

□ □ 収集されたデータ総量: 1158時間 (10分以上の連続動作データ)

□ □ 稼働率: 81.3%

□ □ 最長ロック時間: 20.5時間

● 検出器の操作性

- 干渉計の自動ロック機構のリサイクリング対応

干渉計を安定に動作させる

● 地面振動：安定度を損なう最大の要因

□ TAMA300サイト ~ 市街地の只中にある

□ 地面振動レベル：他の大型干渉計に比べると、およそ10倍
神岡鉱山内に比べると100~1000倍

□ => 腕共振器の鏡のアライメント制御(帯域~10Hz) / 能動防振装置

● 長期ドリフトの補償

□ 腕の光路長やミラーアライメントのゆっくりとした「ずれ」

□ 温度・気圧などの環境変動や人的要因(地下水汲み上げなど)

□ => 光路長ドリフト補償

□ □ リサイクリングミラーのアライメント制御(帯域<10Hz)

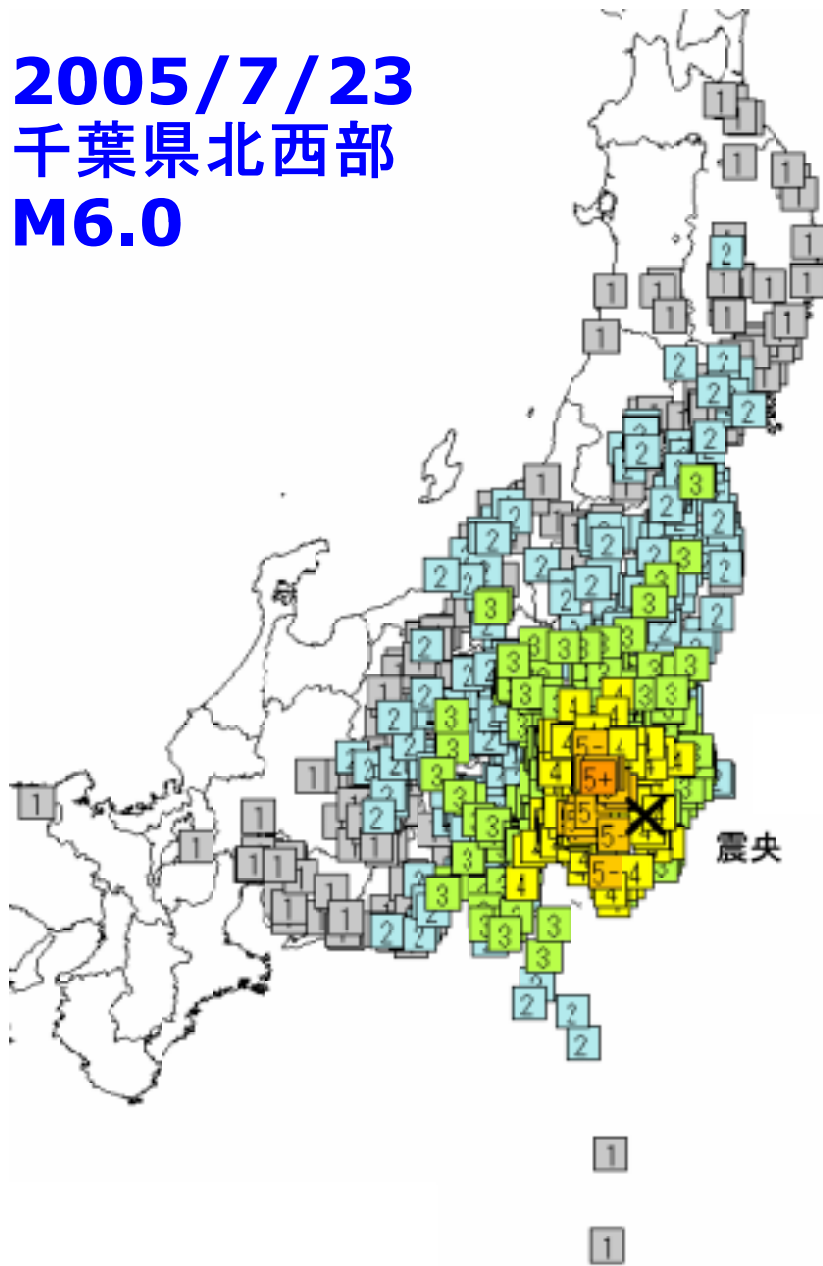
□ □ 300mの光軸の制御



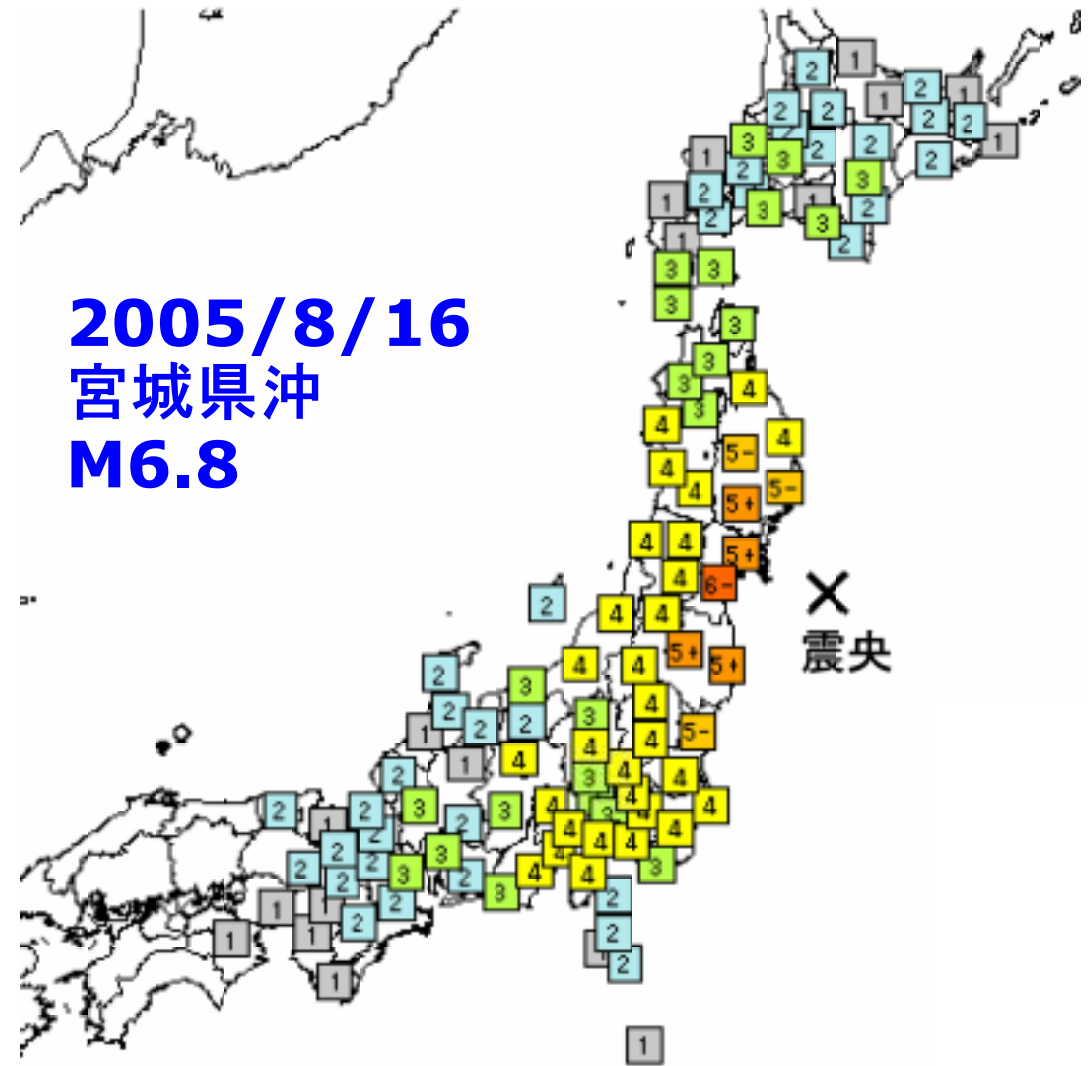
Earthquake

Influence of earthquakes

2005/7/23
千葉県北西部
M6.0



2005/8/16
宮城県沖
M6.8



Influence of earthquakes

●地震の影響

多くのミラーのミスアライメント

3つのミラーで磁石の損傷

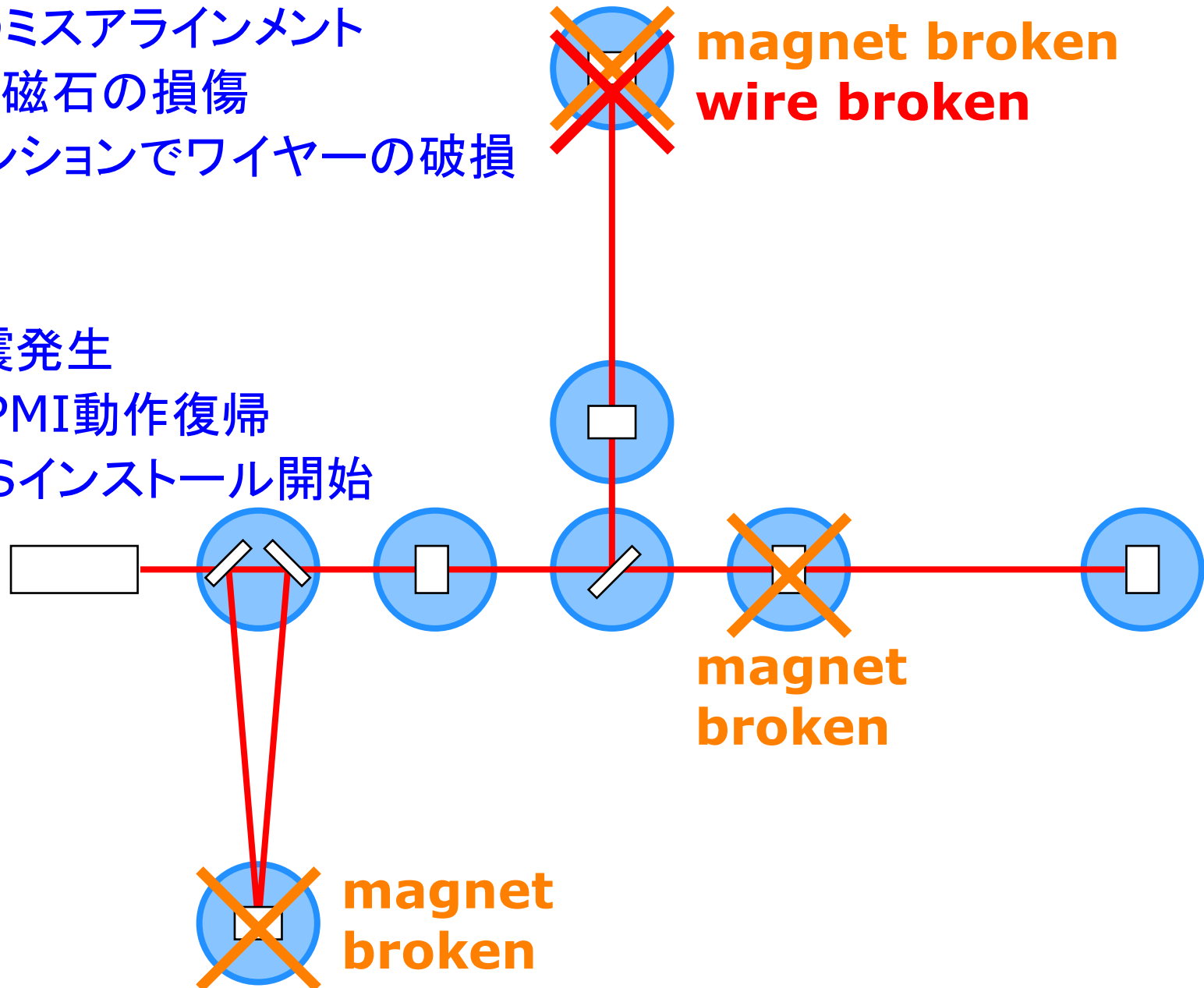
1つのサスペンションでワイヤーの破損

●復旧作業

7/23 地震発生

⇒ 8/27 RFPMI動作復帰

⇒ 8/31 SASインストール開始





Noise

Introduction

● 第1節のまとめ

雑音

⇒ 「外力による鏡のゆれ」は原理的に区別不可能

⇒ 腕光路長が実際には変動していないのに、

読み取り精度が悪くてきちんと読み取れない

● どう雑音同定するか

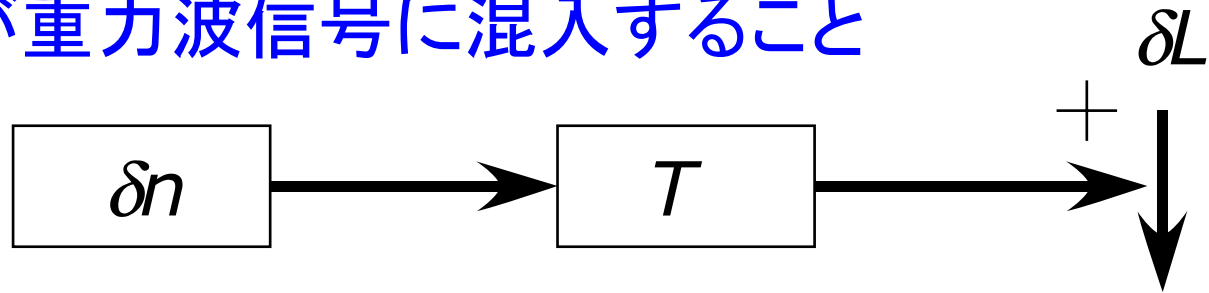
● どう雑音低減するか

● 個々の雑音をどう扱うかという話はしない

重力波検出器の雑音

● 重力波と区別できないような雑音となるには

1. 雑音源があること
2. それが重力波信号に混入すること



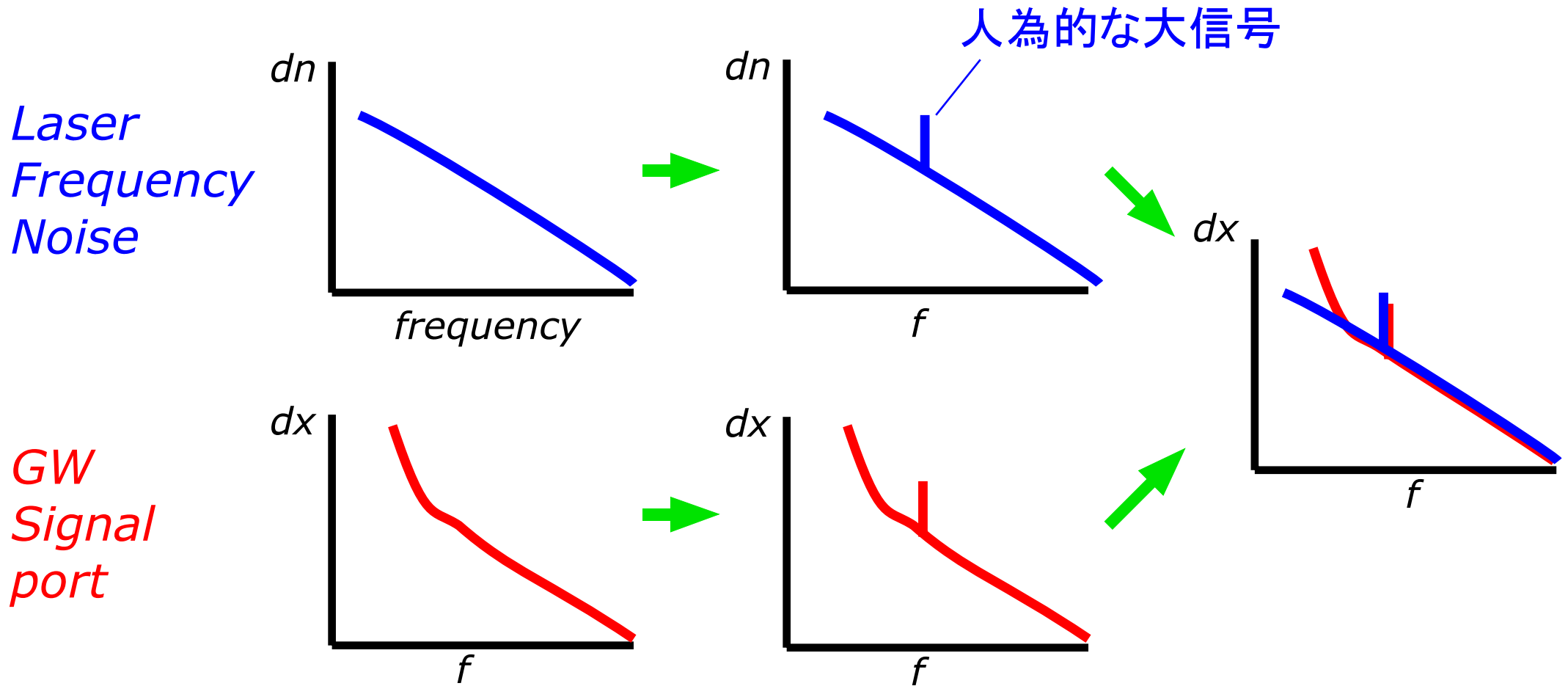
● 雑音源の低減の第一歩は雑音源の同定から

● 雑音源同定可能か？

雑音源	混入メカニズム	⇒ 重力波信号への雑音寄与
known	known	OK
known	unknown	OK
unknown	unknown	NG

源が特定されている雑音

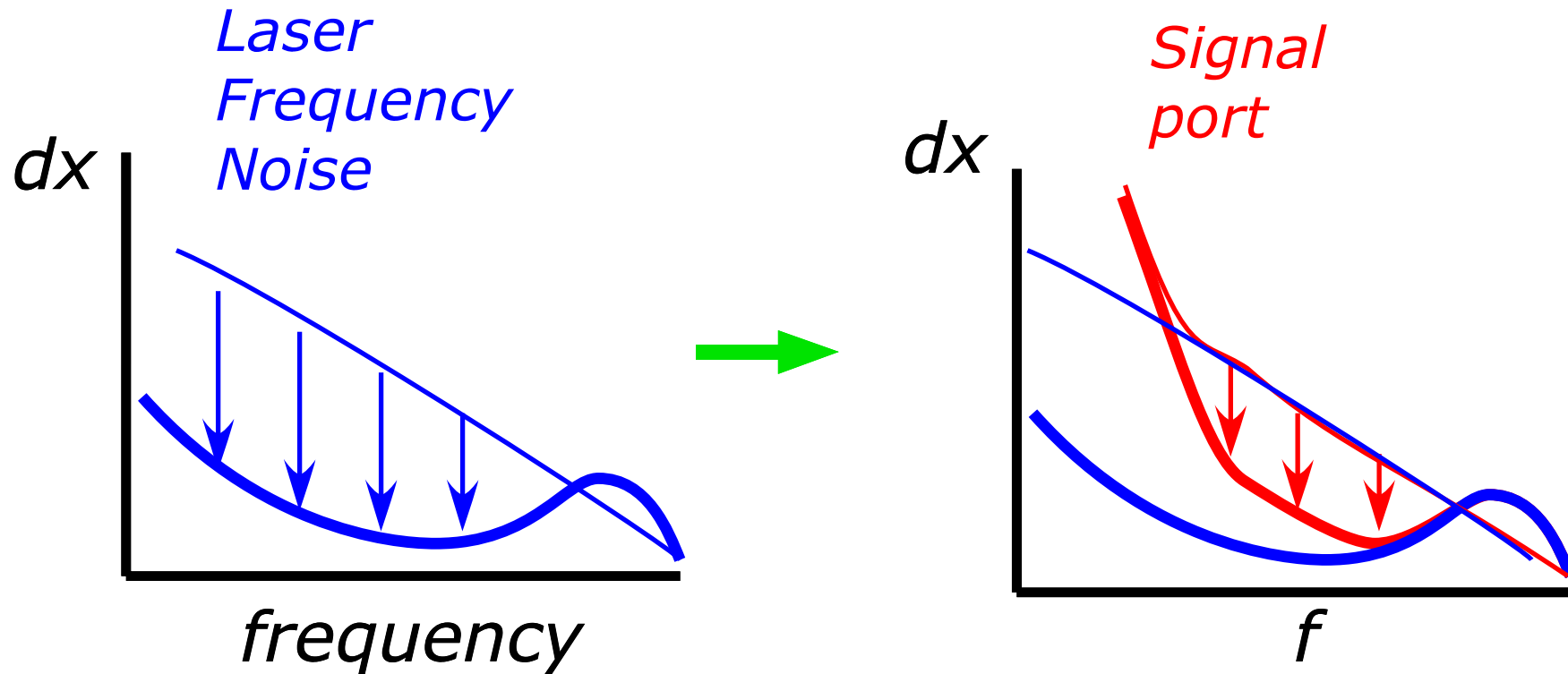
- 雑音源さえ分かっているならば重力波信号への寄与は測定できる



源が特定されている雑音

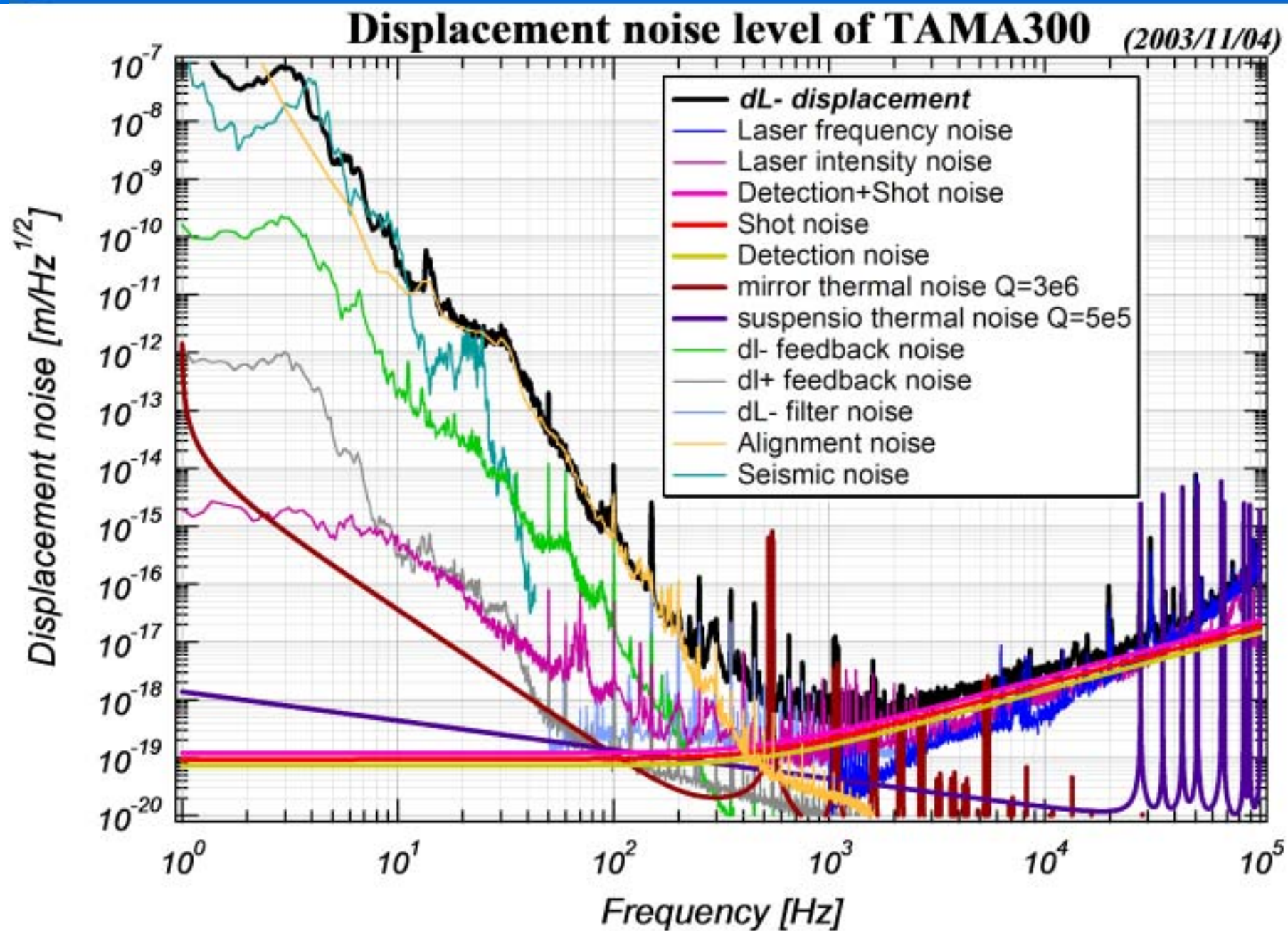
- 雑音源が分かっているならば、雑音低減はかなりやりやすくなる

制御による安定化の技術を使い
雑音源そのものを小さくする



- ただし、思ったほど下がるとは限らない

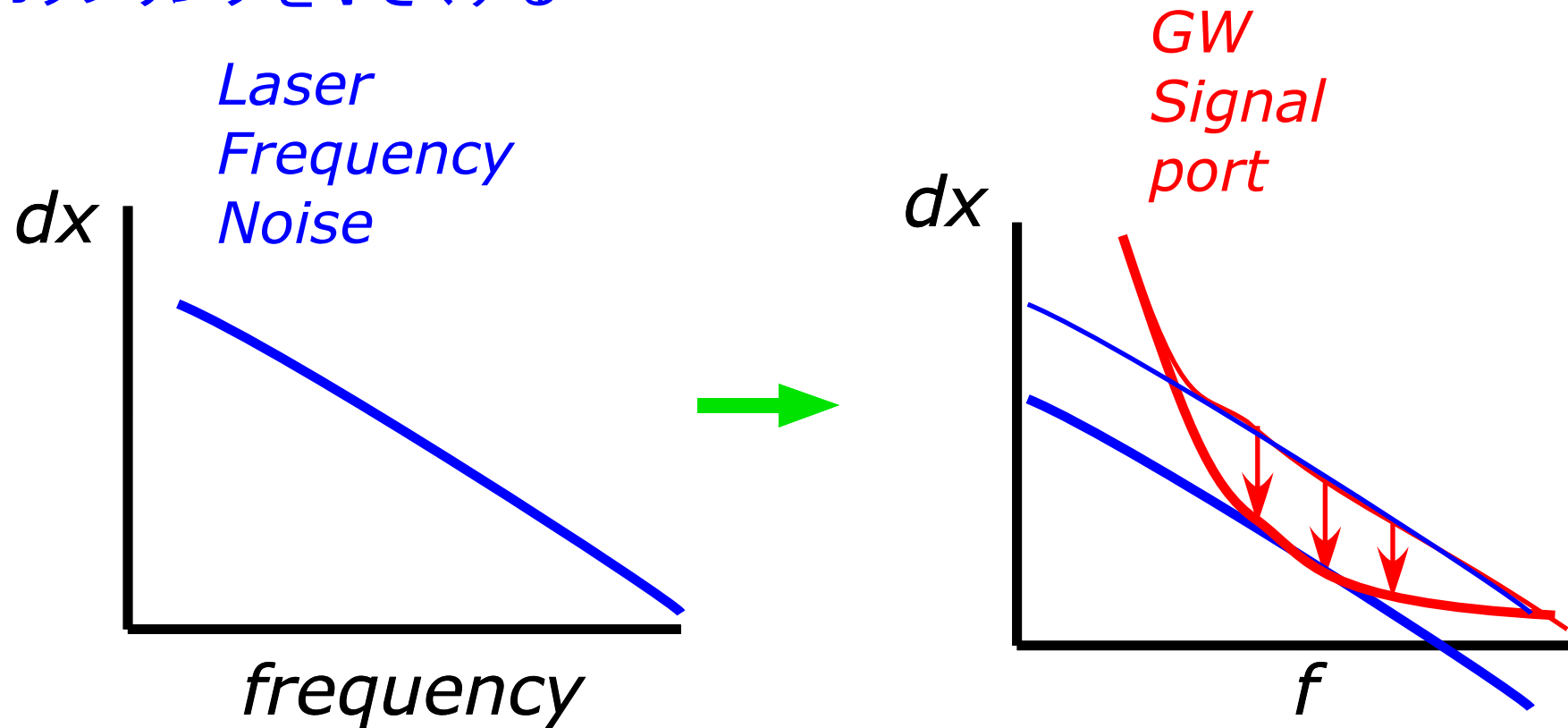
TAMAの同定済み雑音源



源が特定されている雑音

- 雑音混入のメカニズムがわかっているならば、カップリングを小さくするアプローチも可能

カップリングを小さくする



- やはり、思ったほど下がるとは限らない

源が特定されていない雑音

- 雑音源が分かっている場合

 - 安定化制御やカップリングの低減

 - ⇒ 雑音の寄与を小さくする

- 雑音源が分からない場合

 - 新しい雑音源を考えて同定する作業の繰り返し

- 雑音低減のノウハウがあるということ

 - 雑音源・メカニズムの引き出しをどれだけ多く持っているか

雑音の低減まとめ

●雑音低減を続けていくと、感度(重力波信号出力)が既知の雑音では説明できないレベルに到達する

新しい雑音源を考え

同定する

(場合によっては雑音源の雑音低減もしてみる)

感度へ寄与がある物が見つかるまで、ひたすら繰り返す

⇒このプロセスを経していないものは、あまり信じられない



Scattering

感度向上のためのActivity

- Recycled Michelson干渉計実験

⇒散乱光雑音

- 変調系雑音

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の計算による理解

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の実験的検証

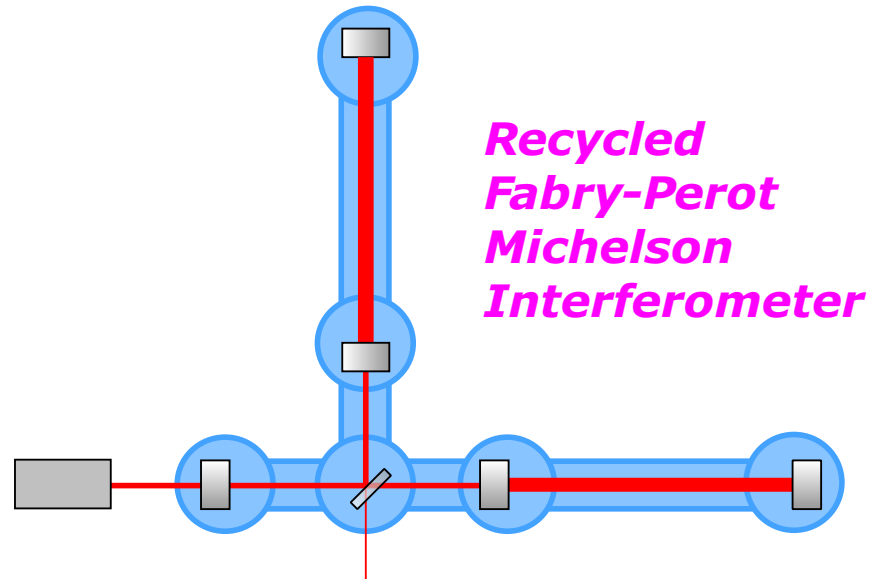
- 防振系のアップグレード

=> Seismic Attenuation System (SAS)

感度向上のためのActivity

● Recycled Michelson干渉計実験

⇒散乱光雑音



● 変調系雑音

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の計算による理解

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の実験的検証

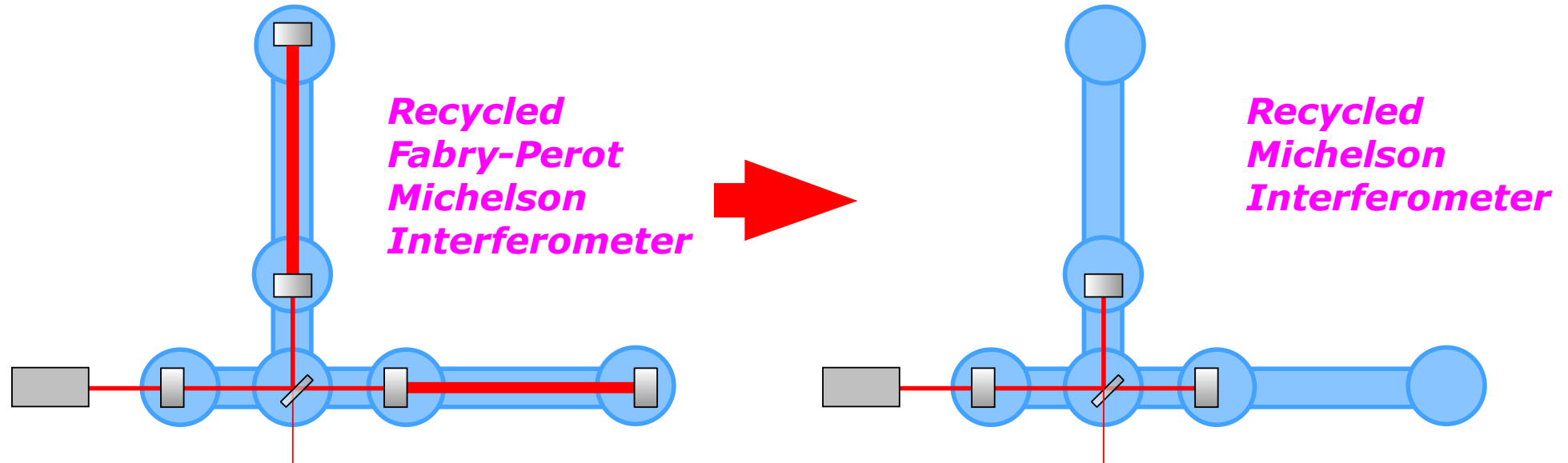
● 防振系のアップグレード

Seismic Attenuation System (SAS)

感度向上のためのActivity

● Recycled Michelson 干渉計実験

⇒ 散乱光雑音



● 変調系雑音

⇒ レーザー雑音の干渉計への影響の計算による理解

⇒ レーザー雑音の干渉計への影響の実験的検証

● 防振系のアップグレード

Seismic Attenuation System (SAS)

Recycled Michelson 実験

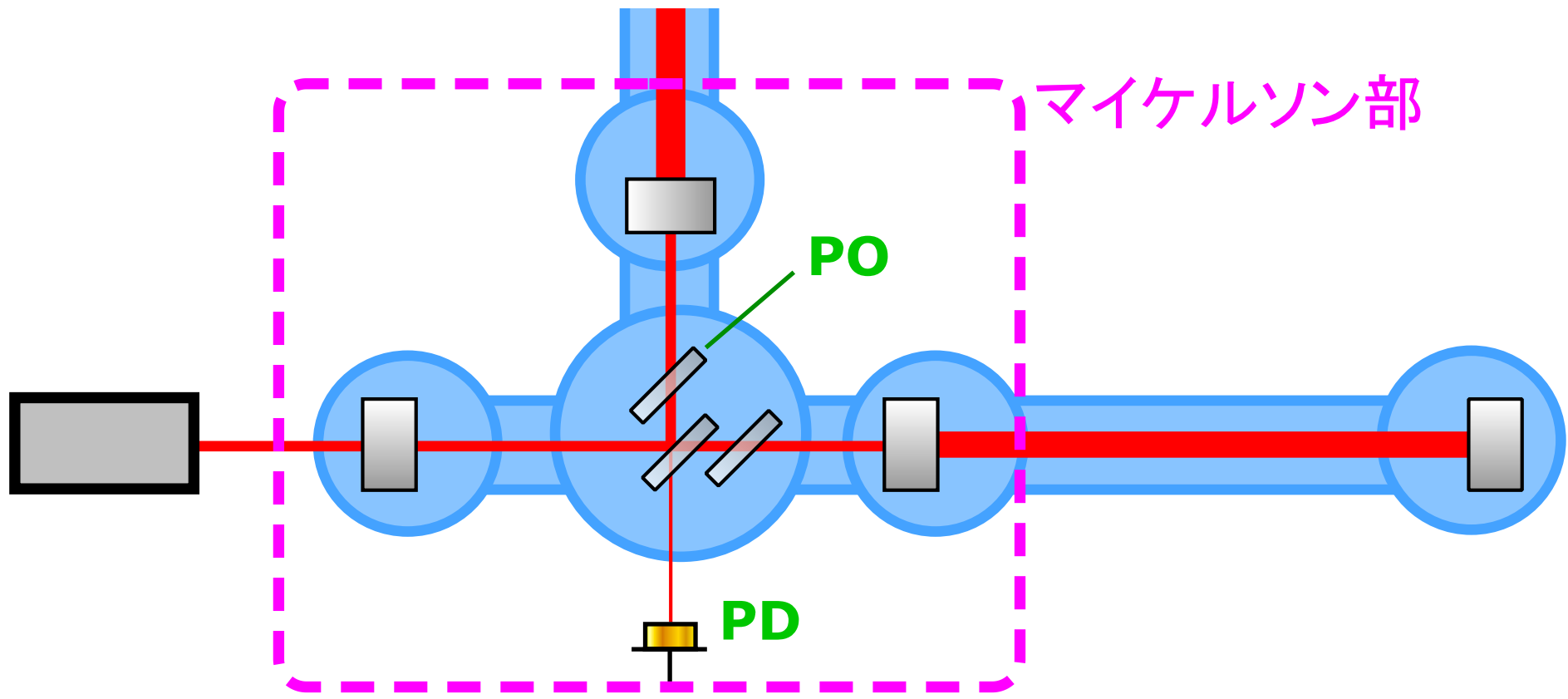
●RFPMIのマイケルソン干渉計部

重力波信号への現れ方: 腕光路変動とくらべると1/300の感度しかない

⇒ 腕よりも300倍以上ゆれると雑音となって出てくる

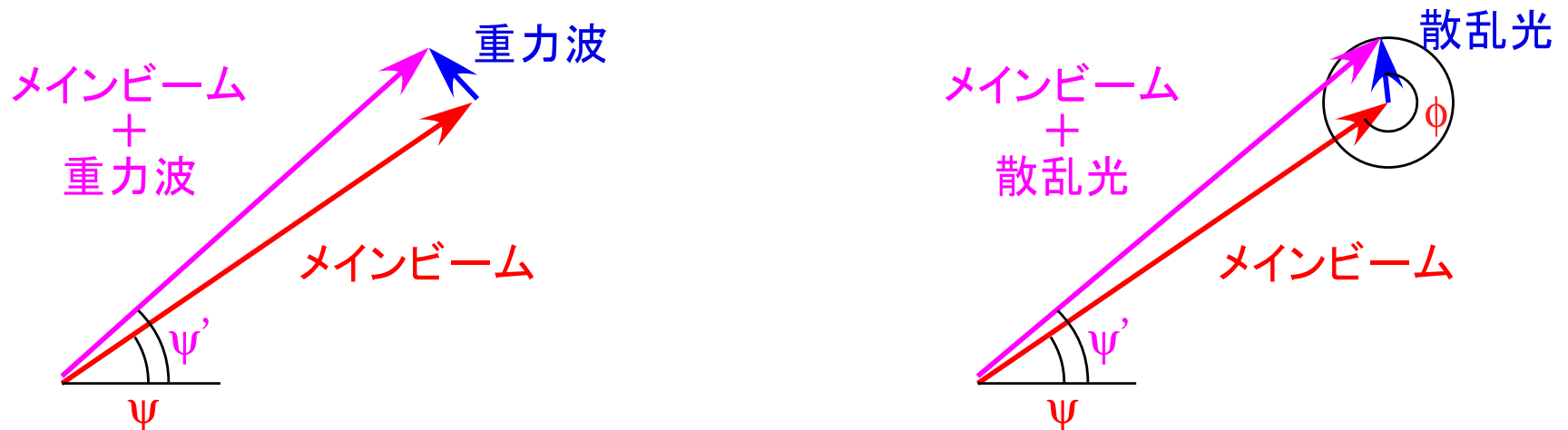
マイケルソン部は腕共振器とくらべると複雑な光学系

⇒ リコンバインによる雑音・散乱光雑音などの心配



散乱光雑音

- 散乱光雑音の計算・実験での見積りを考える
- 干渉計内部・出力ポートで生じた散乱光
⇒ メインビームと干渉して雑音となる
- 散乱光雑音の原理 (のnaiveな説明)
重力波検出器 ⇒ 各腕でレーザー光に生じた位相変化を読み取る
散乱光 ⇒ 干渉計のレーザー光に任意位相で結合し、
各腕のレーザー光に位相揺動を生じる



散乱光雑音

● 後方散乱モデル

後方散乱: 干渉計からの出力光

⇒ 光学素子などで散乱・一部がメインビームの
空間モードと一致

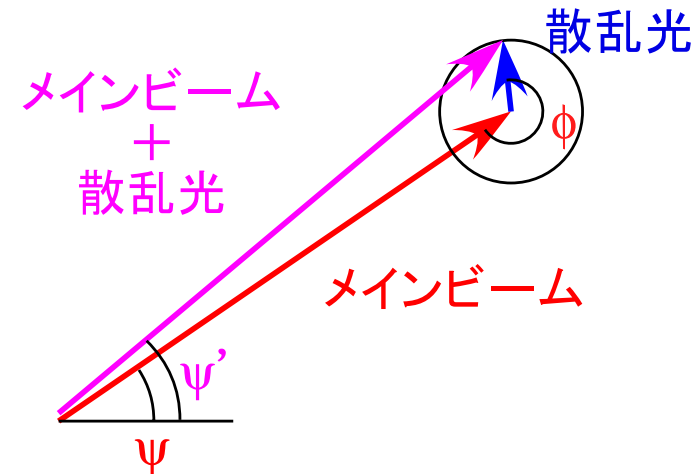
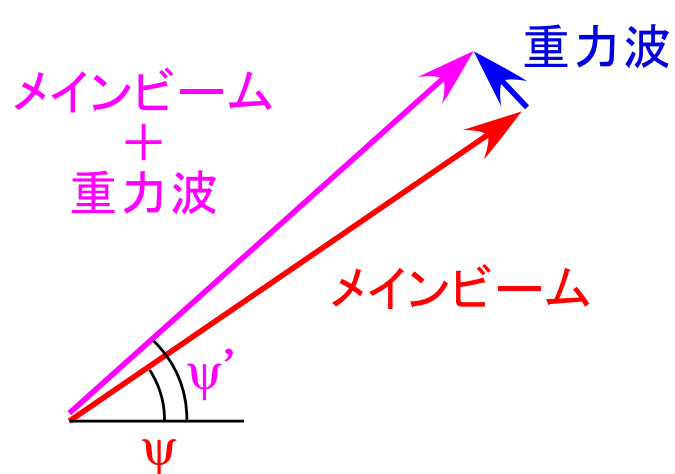
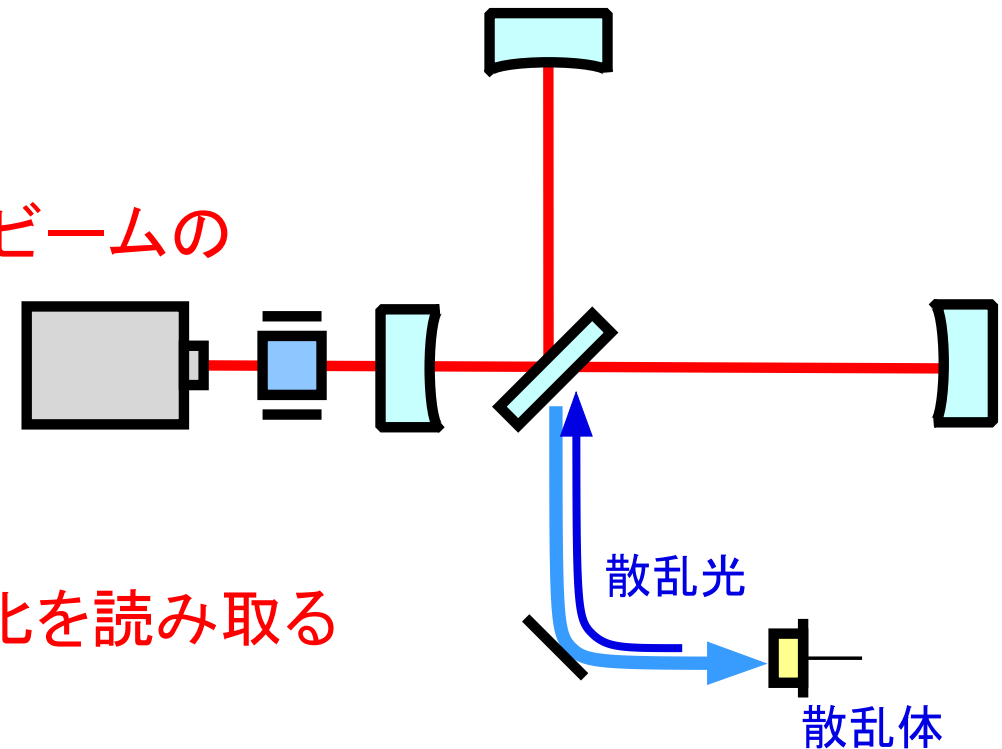
● 散乱光雑音

重力波検出器

⇒ 各腕でレーザー光に生じた位相変化を読み取る

散乱光

⇒ 干渉計のレーザー光と任意位相で結合し、位相揺動を生じる



散乱光雑音

● 後方散乱モデル

後方散乱: 干渉計からの出力光

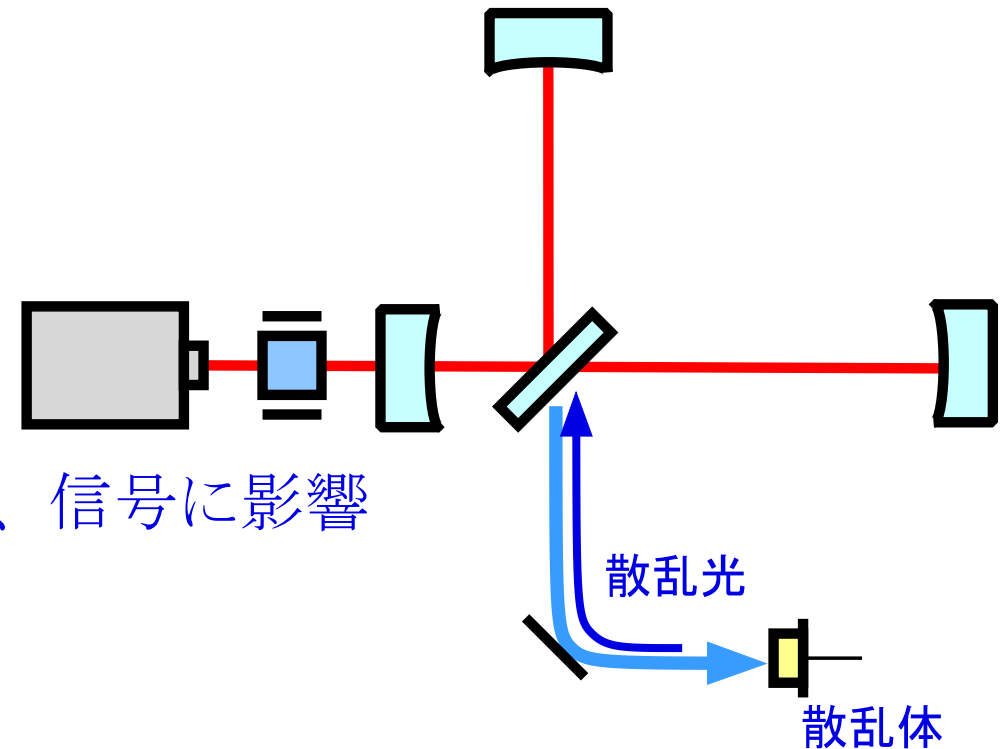
⇒ 光学素子などで散乱

⇒ メインビームの空間モードと
一致する散乱光だけが
メインビームと再結合（干渉）し、信号に影響

● 「散乱光」⇒「雑音」のファクター

各ポートについて

1. 出てきている光の量・光の組成
2. 散乱体からの散乱光とメインビームのモードの結合率
3. そのポートで一定量の散乱光がメインビームに結合したときの、干渉計感度への影響



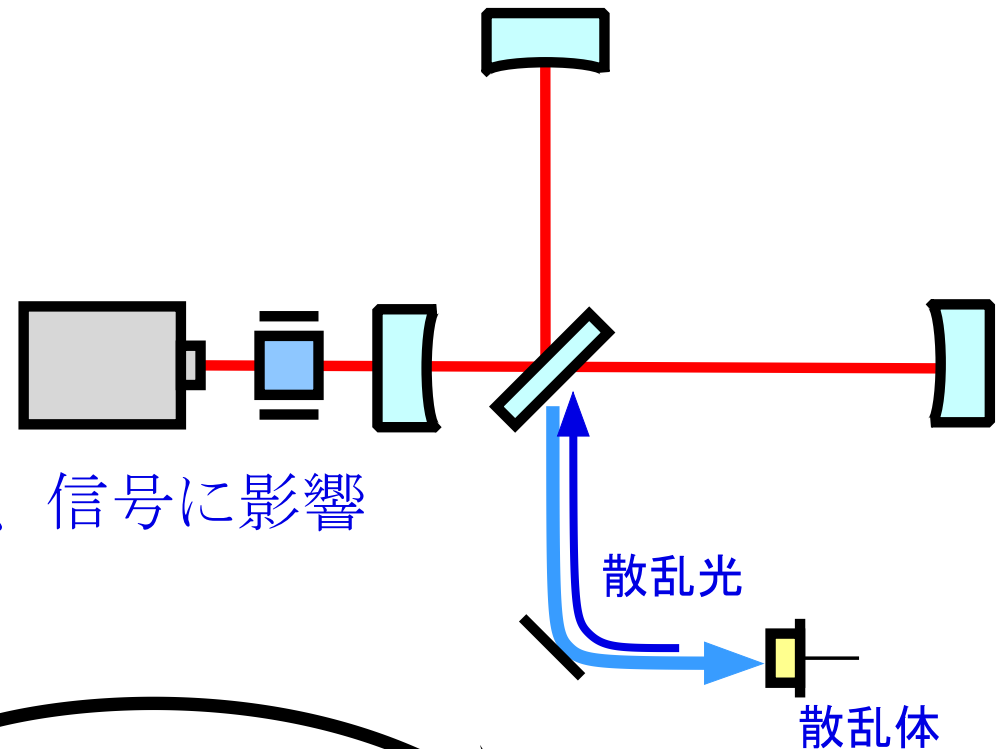
散乱光雑音

● 後方散乱モデル

後方散乱: 干渉計からの出力光

⇒ 光学素子などで散乱

⇒ メインビームの空間モードと一致する散乱光だけがメインビームと再結合（干渉）し、信号に影響



● 「散乱光」⇒「雑音」のファクター

各ポートについて

1. 出てきている光の量・光の組成

2. 散乱体からの散乱光とメインビームのモードの結合
計算で見積もる、または実験的に測定できればなお良い

3. そのポートで一定量の散乱光がメインビームに結合
干渉計感度への影響

従来のLength Sensing系
シミュレーションで
取り扱い可能

実験的検証・散乱光雑音の低減

● 散乱効率の実験的測定

散乱効率を計算するのは困難

⇒各ポートの光学素子を大振幅もしくはknownな小振幅で振ることで散乱光雑音振幅Aを測定する

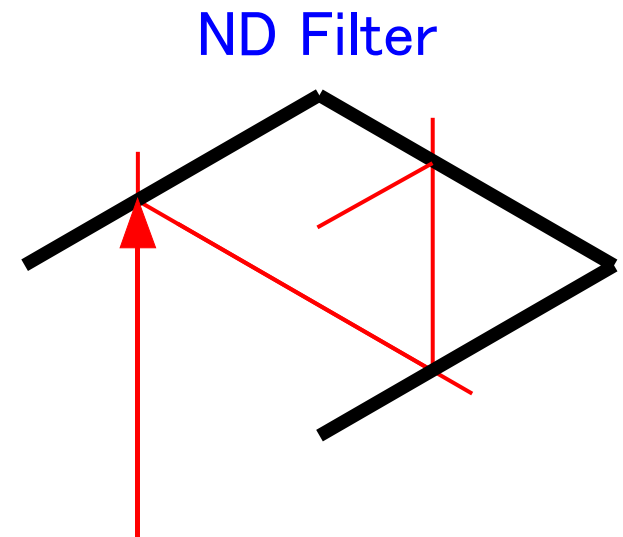
● 散乱光雑音の低減

散乱効率を下げる

⇒迷光をダンプするためのビームダンパー

散乱体のゆれを抑える

⇒光学ポートの防振・真空中への配置

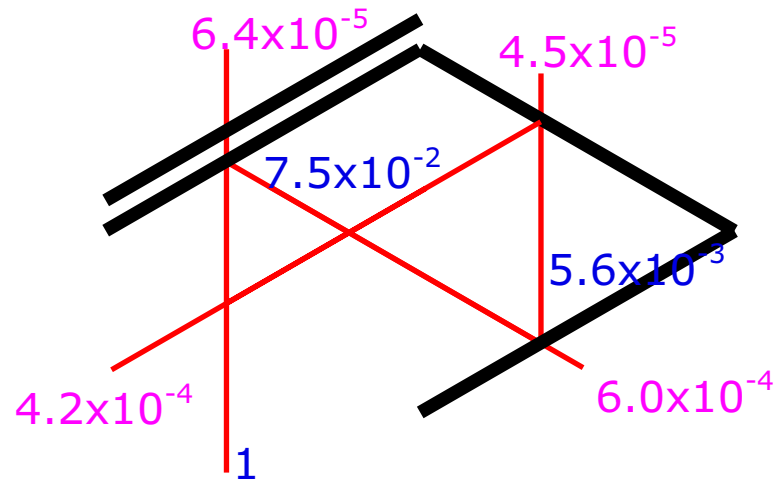


散乱光雑音対策

●散乱光を減らす

不要光処理 ⇒ 基本的に光学研磨されていない表面は使用しない

ND Filter ⇒ 透過・反射を0.05%以下に減衰



●散乱パス変動の抑制

散乱体の防振・防音

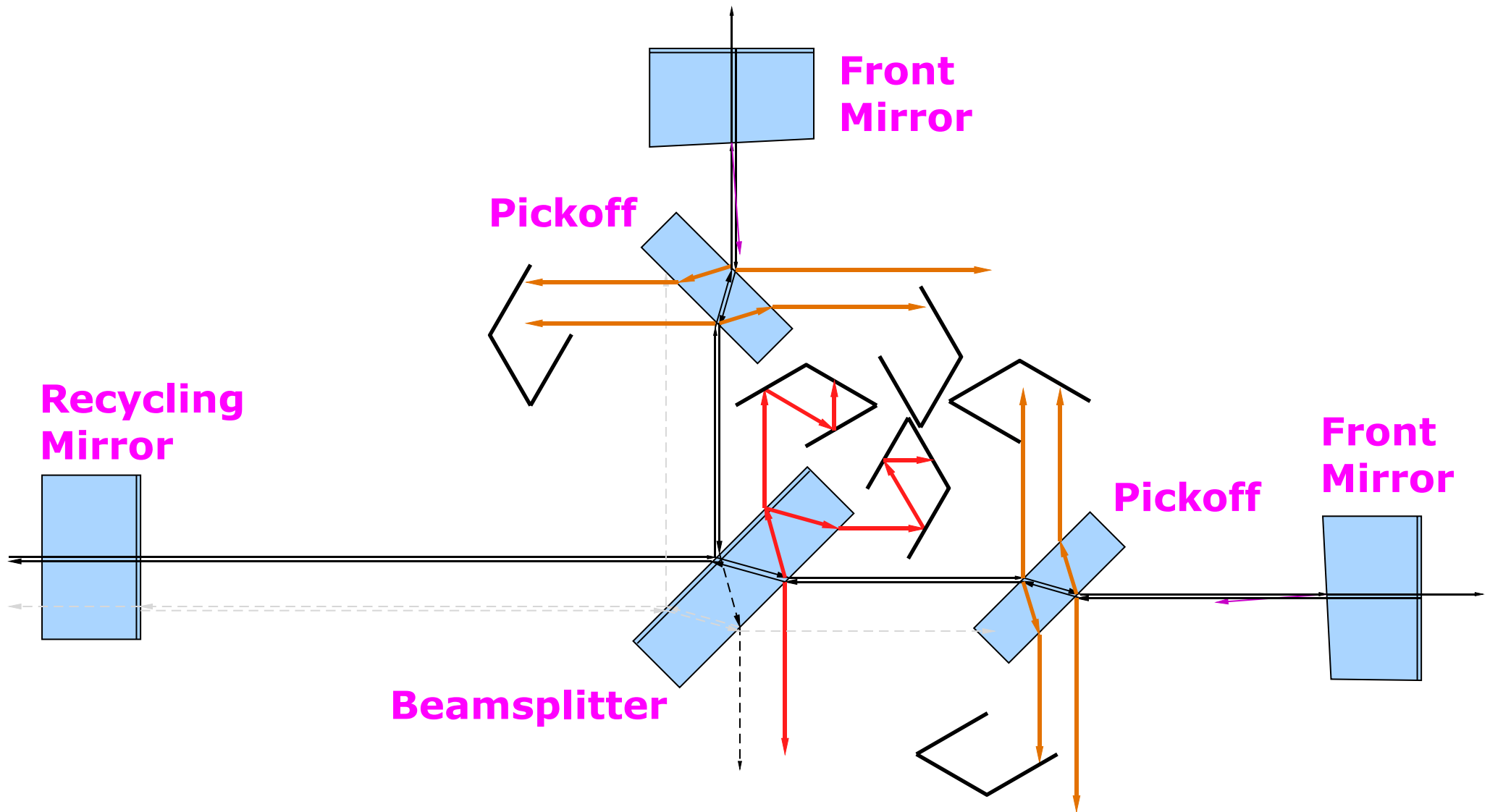
真空中に入れる・光学系の簡素化



散乱光雑音対策

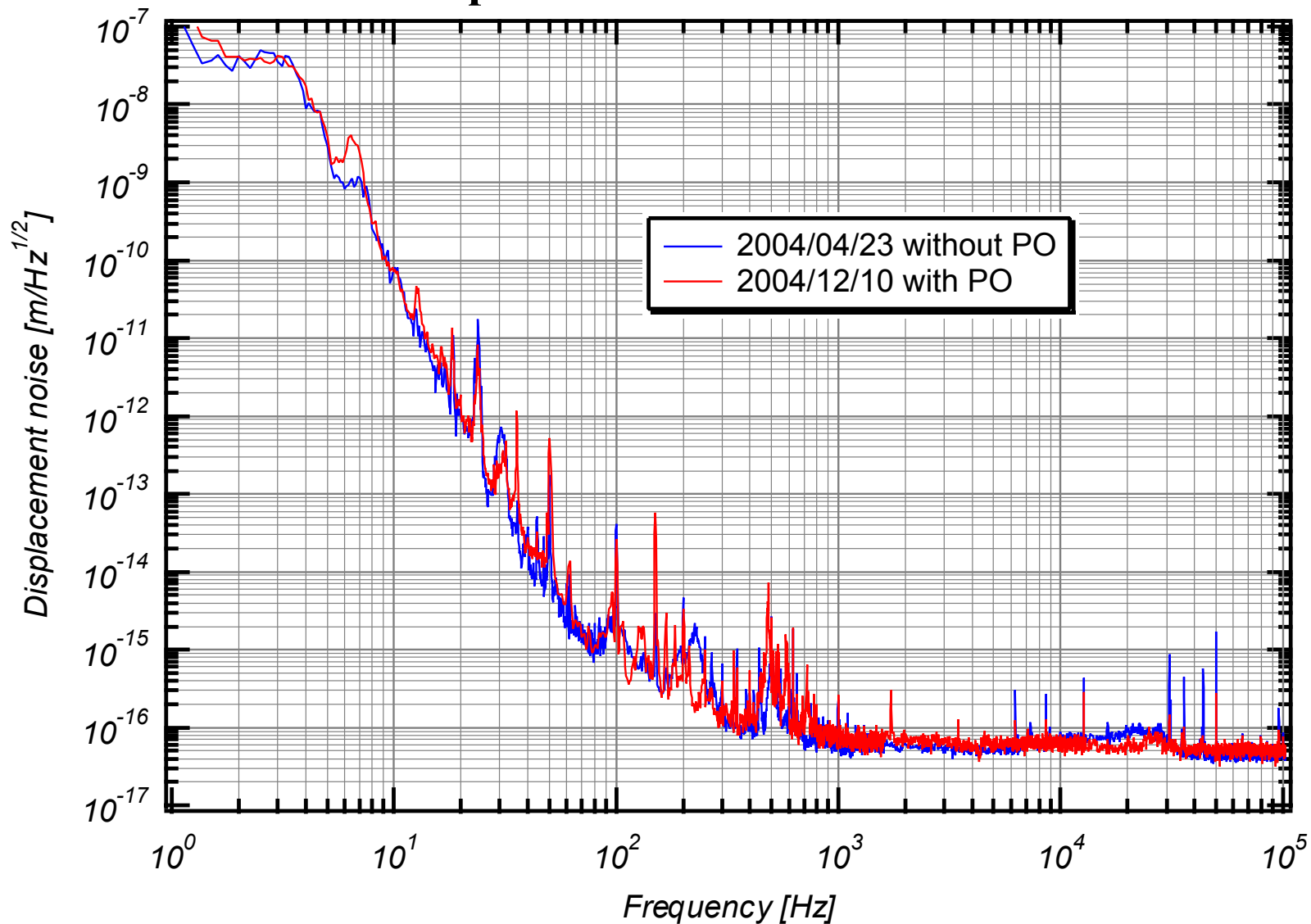
●再導入時の真空槽内beamdumpの配置

Pickoff/Beamsplitterの不要反射光をND Filterによるbeamdumpで処理



Recycled Michelson 感度

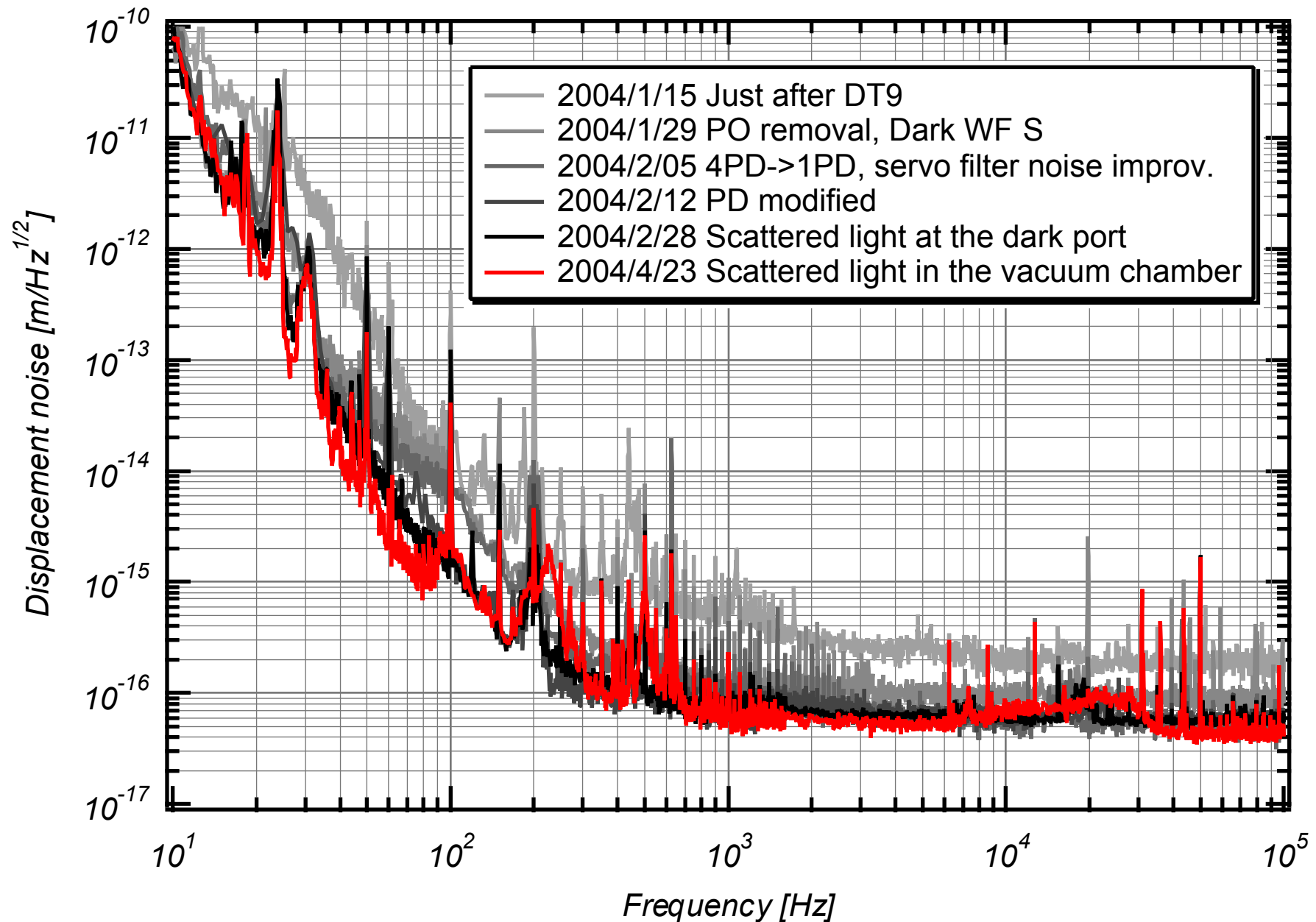
Displacement noise level of RMI



Pick Offを導入しても雑音を抑制できた

Recycled Michelson Interferometer ~ 感度の向上

RMI Displacement Noise Level



まとめ

- 干渉計型重力波検出器TAMA300
数100Hz帯の雑音低減が急務
- 散乱光雑音
光学素子からの後方散乱が問題となる
干渉計のどの場所で発生した散乱光がどれくらい問題となるかの見積もり
⇒Finesseによるシミュレーション
- 腕に対し非対称に入る散乱光 ⇒直接信号に現れる
腕に対し対称に入る散乱光 ⇒干渉計の不完全性と結合して現れる
- 今後
シミュレーションモデルの300m干渉計への拡張
散乱効率・散乱光雑音レベルの実験的検証

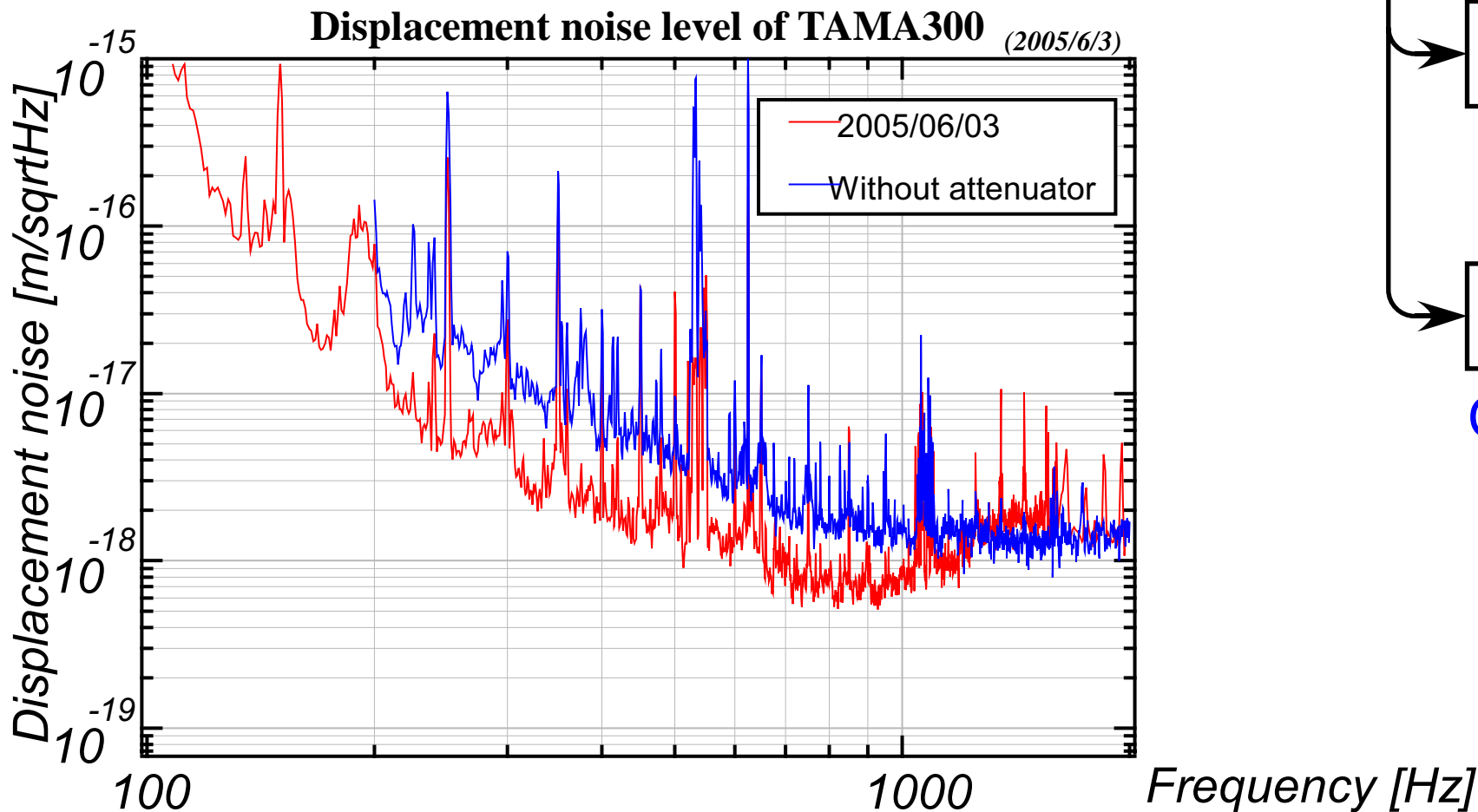
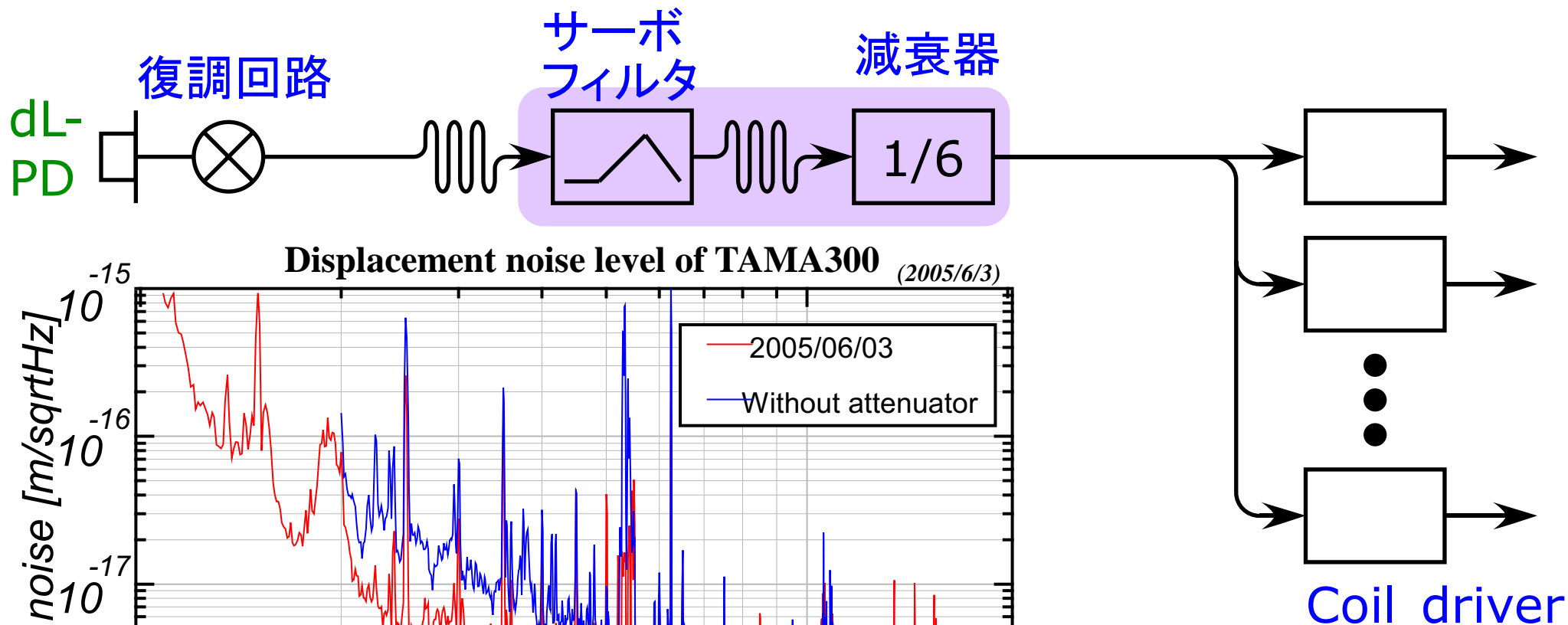


Electronics noise

Previous Configuration

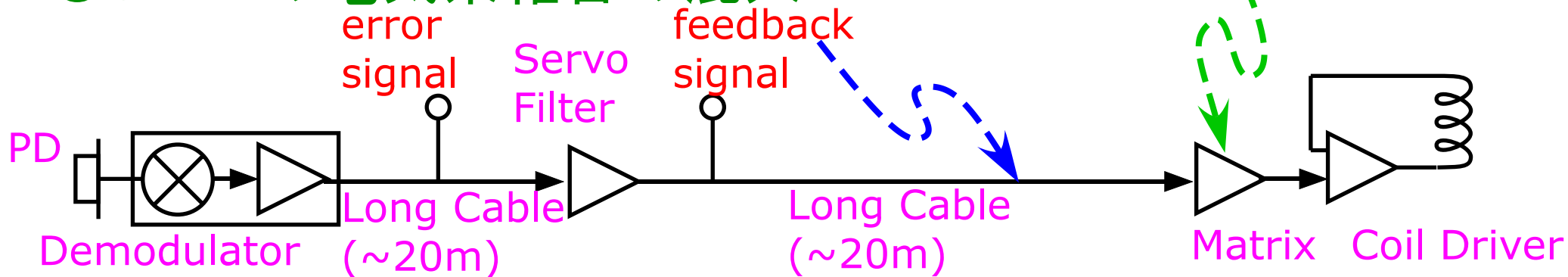
●これまでのemphasisフィルタ

emphasisの効果が局所的 / 全帯域でレンジ制限される

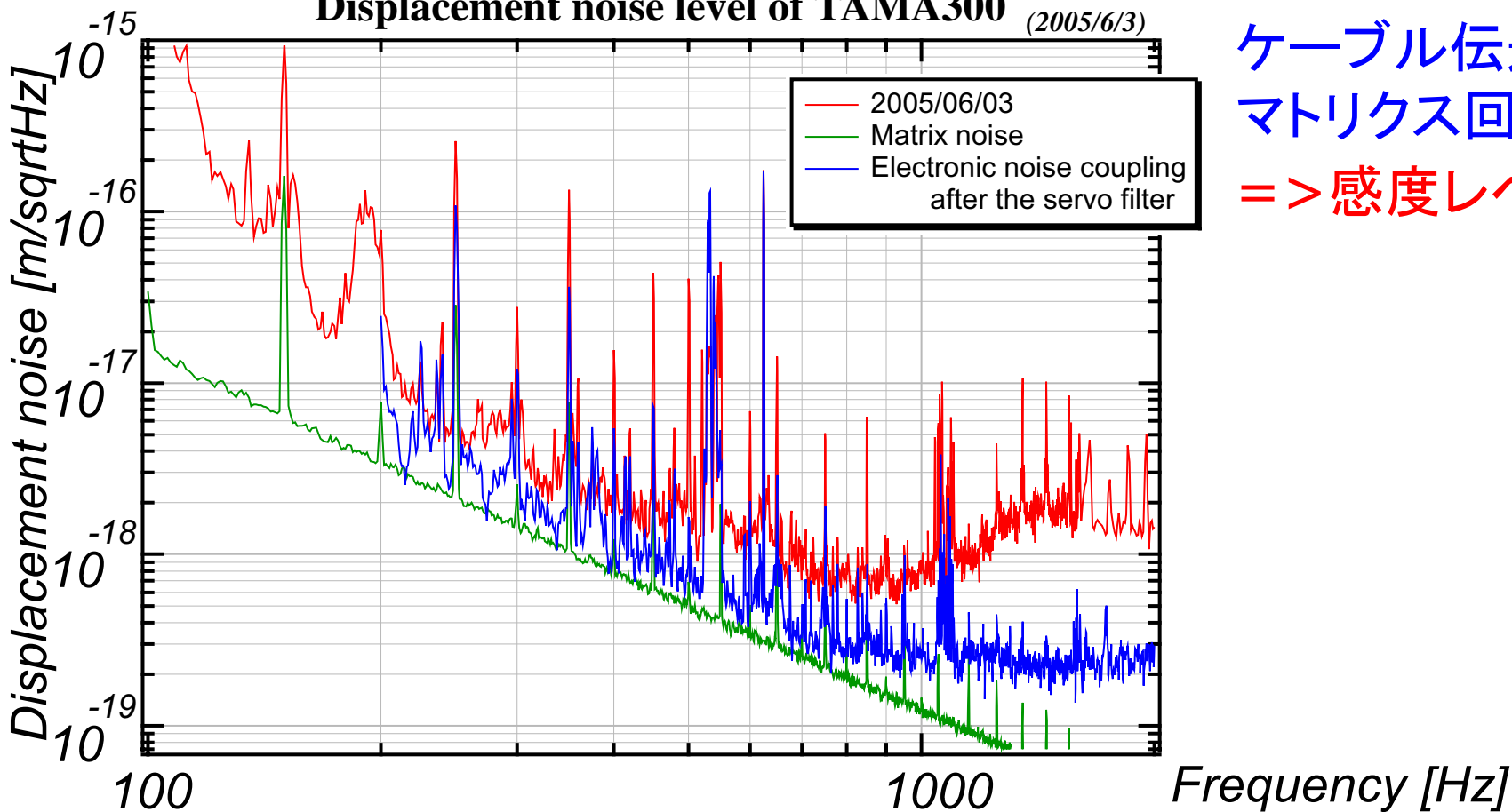


Electronics noise

● dL-への電気系雑音の混入



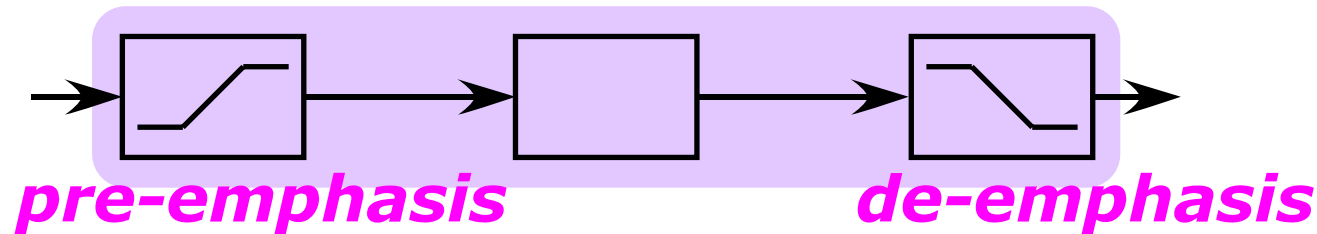
Displacement noise level of TAMA300 (2005/6/3)



ケーブル伝送前後で乗る雑音
マトリクス回路の雑音
=> 感度レベルに近い

Pre-emphasis / De-emphasis

- 制御ループ内に相殺するような伝達関数ペアを挿入
pre-emphasis filter / de-emphasis filter
信号レベルをアップ



- メリット

フィルタで挟まれた部分では雑音耐性が上がる

雑音の根拠によらない

c.f. LIGO/VIRGO ~ ADC/DAC雑音

GEO ~ 原因は不明だが雑音寄与低減

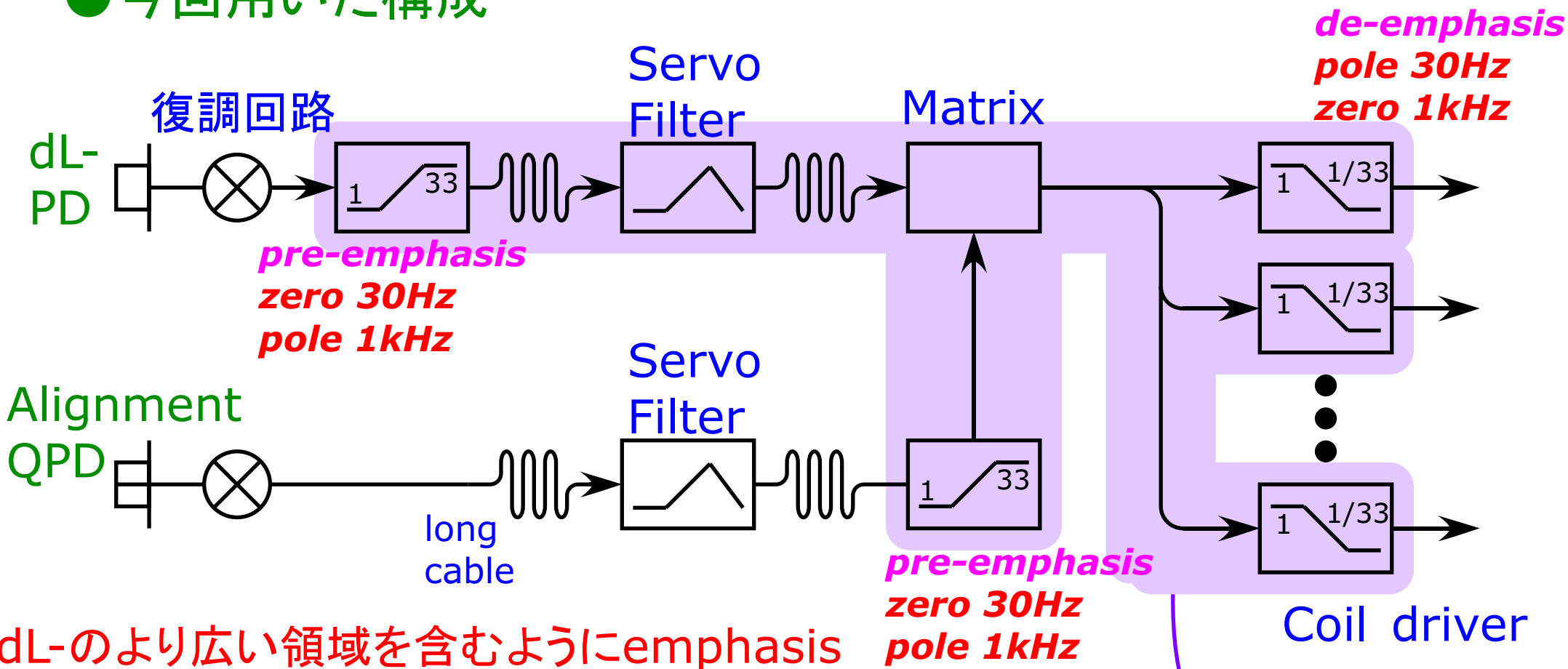
- デメリット

レンジが制限される

ロックしてからオンにするのが一般的

Configuration

●今回用いた構成



dL-のより広い領域を含むようにemphasis

pre-emphasis
zero 30Hz
pole 1kHz

emphasisの
効果がある領域

コイル1つ1つが周波数特性を持つ

アライメント系のemphasis必要

今回はテスト的にmatrixとcoil driverの間だけemphasis

~無用な困難を避けるため