レーザー干渉計型重力波検出器TAMA300のパワーリサイクリングVI

長野重夫、新井宏二、高橋竜太郎、佐藤修一、辰巳大輔、
常定芳基、安東正樹[G]、三尾典克[E]、森脇成典[E]、武者満[C]、川村静児、
福嶋美津広、山崎利孝、藤本眞克、坪野公夫[G]、大橋正健[D]、
黒田和明[D]、神田展行[H]、他TAMA collaboration

国立天文台、京大基研[A]、高エ研[B]、電通大[C]、東大宇宙線研[D]、
東大新領域[E]、東大地震研[F]、東大理[G]、阪大理[H]

Outline

TAMA300 −基線長300mレーザー干渉計型重力波検出器−

干渉計実験の現状（2002/10～）

- 光源：周波数・強度安定化システムの改良、光軸制御の導入
- 主干渉計：リサイクリングミラーアライメント制御の導入
- 自動化

TAMA300の感度と安定度

- 現状 : TAMA300のベスト感度と最長連続動作時間の更新
- 重力波に対する感度 : $h=2.6\times10^{-21}$/sqrtHz
- 最長連続動作時間 : 20時間31分

今後の計画

まとめ

レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300

基線長300mのファブリー・ペロー・マイケルソン干渉計

国立天文台三鷹キャンパス

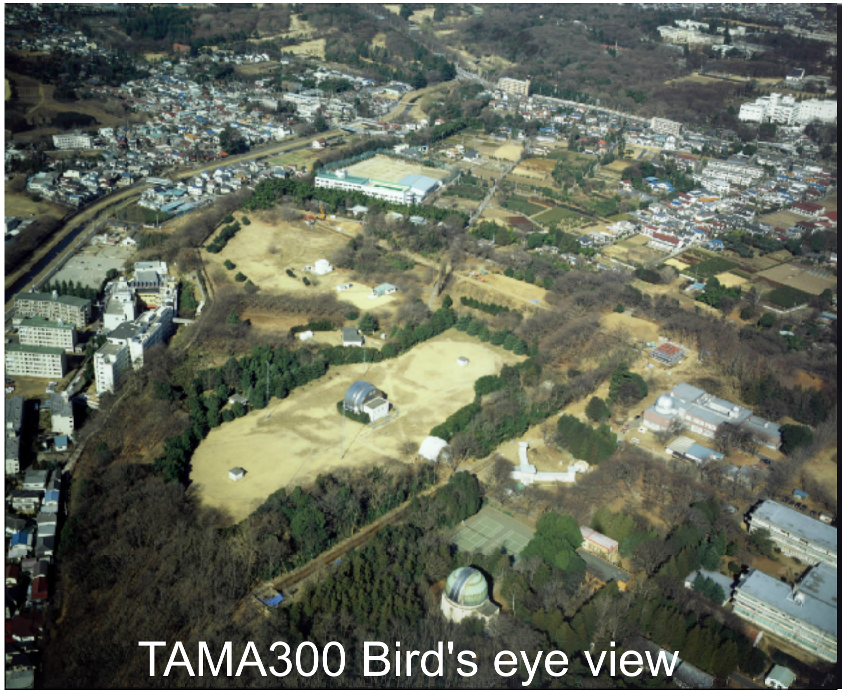
プロジェクトの目的

1. 近傍銀河における大振幅重力波イベントの検出

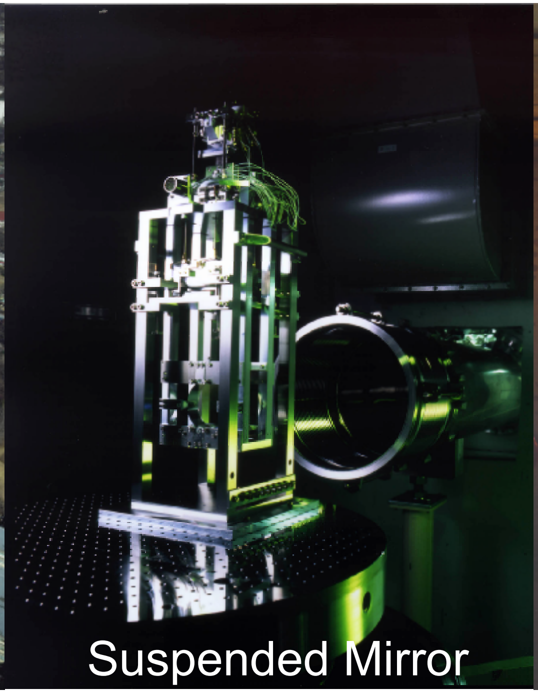
2. 将来のkm級大型干渉計のための技術開発

目標感度

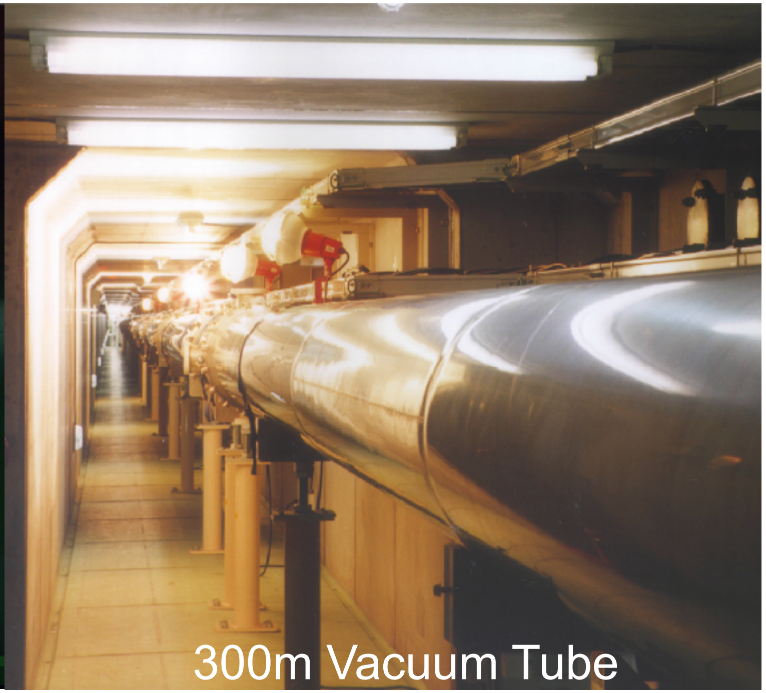
重力波振幅の大きさ $h=1.7\mathrm{x}10^{-22}$/sqrtHz (@150Hz~450Hz)



TAMA300 Bird's eye view



Suspended Mirror



300m Vacuum Tube

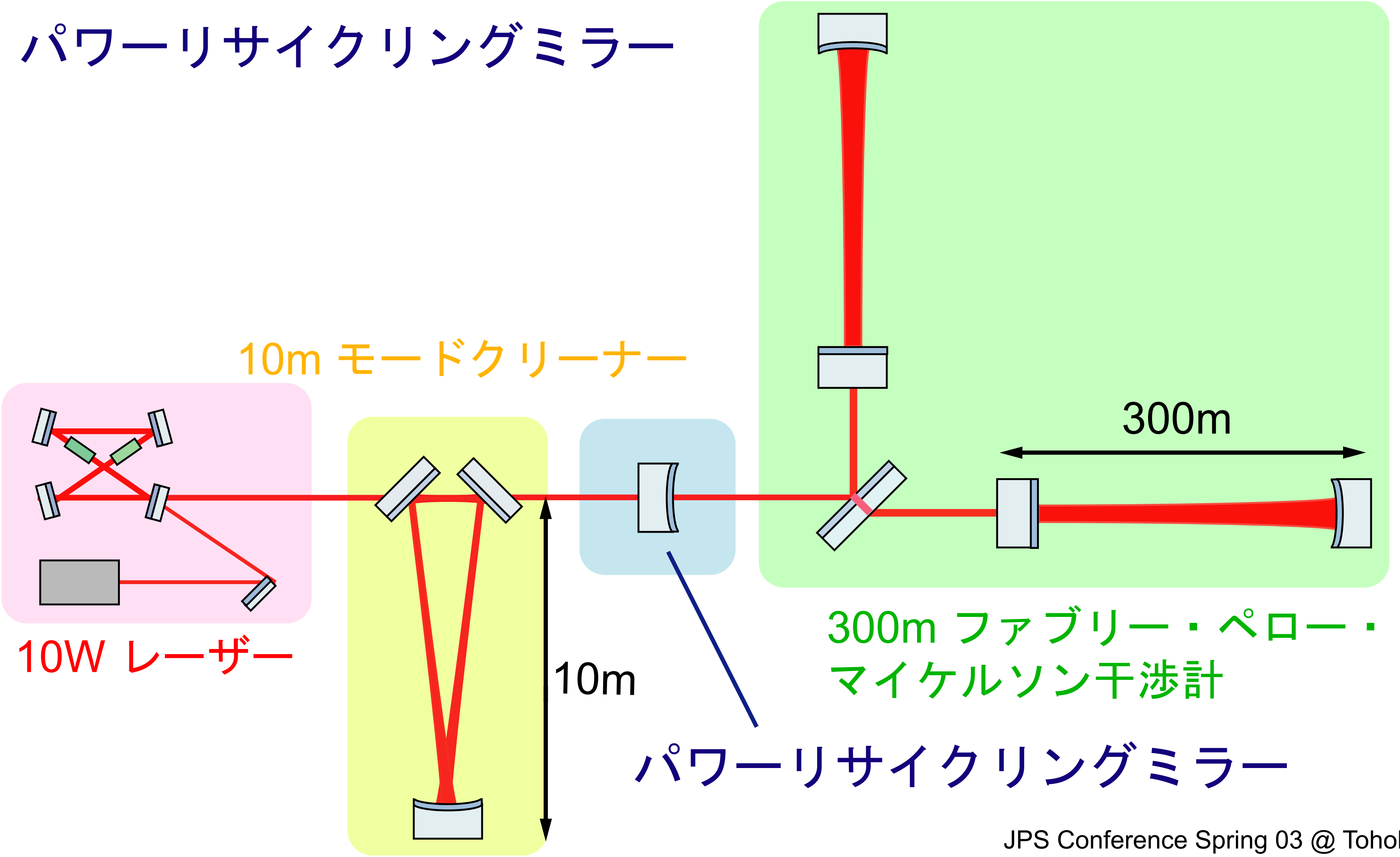
重力波検出器TAMA300の構成（2001/10～）

10W 注入同期型Nd:YAGレーザー

10m リング型モードクリーナー

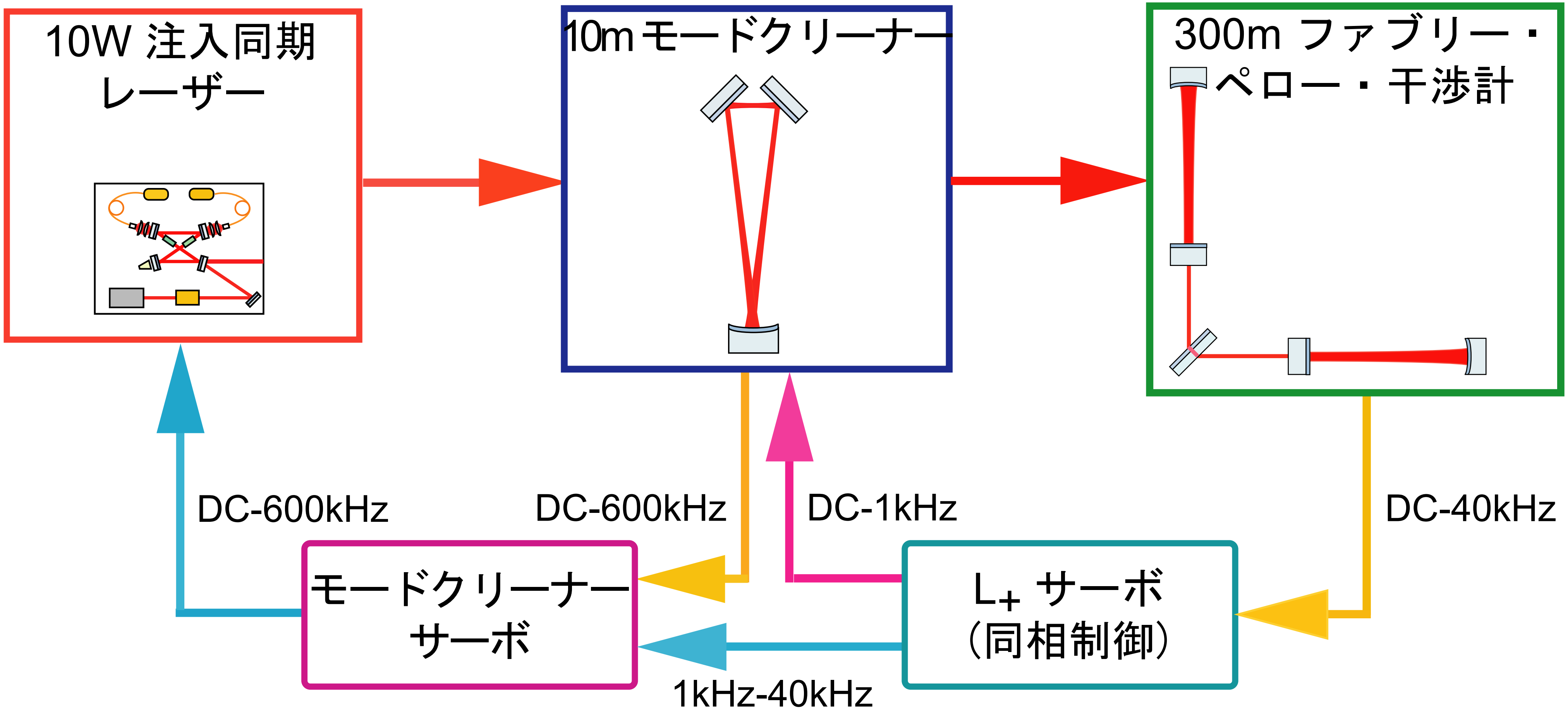
300m ファブリー・ペロー・マイケルソン干渉計

パワーリサイクリングミラー



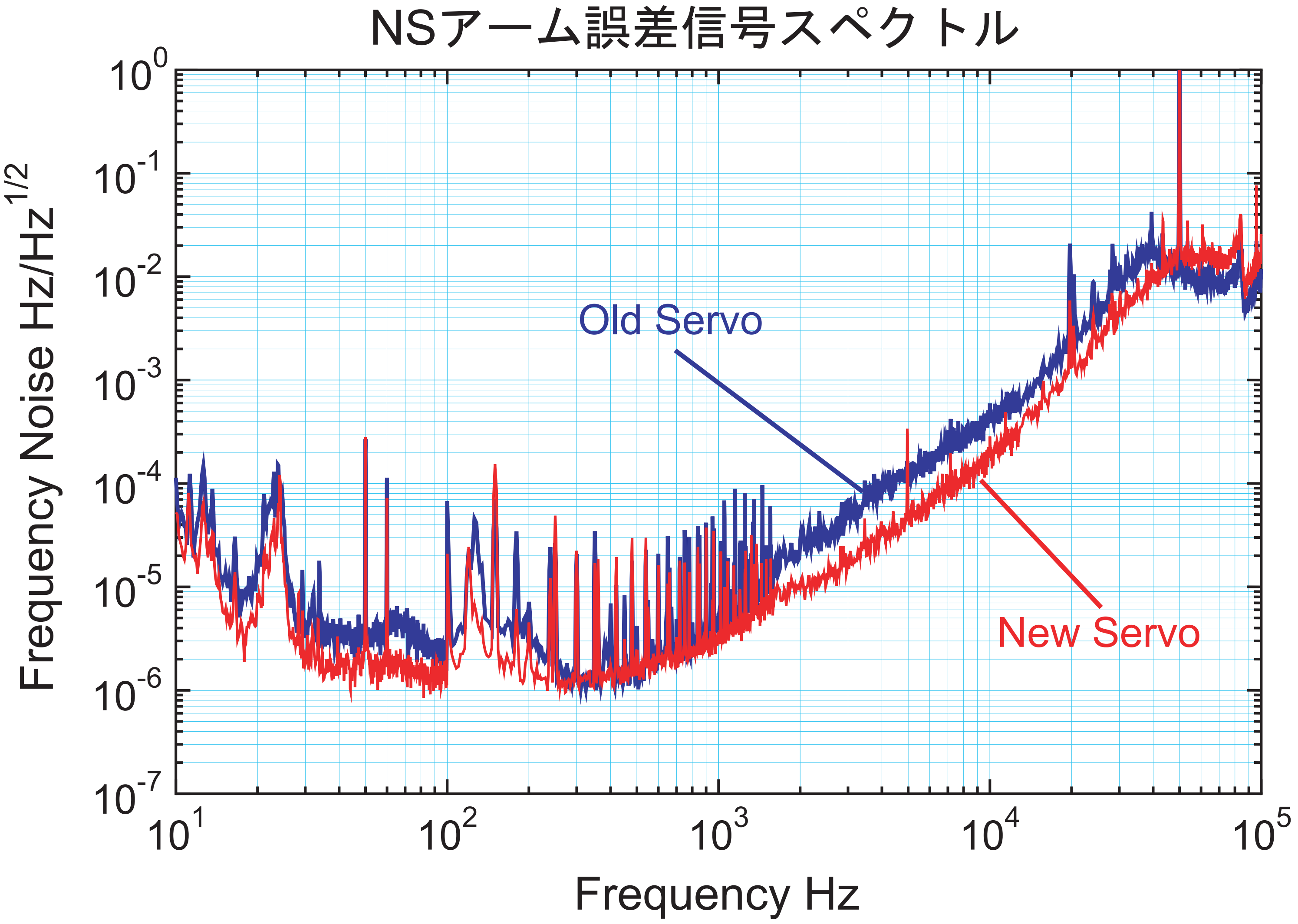
干渉計実験の現状 -レーザー周波数安定化の改良-

パワーリサイクリング導入によるショット雑音の減少
->レーザー周波数安定度の向上



MCループの広帯域化 ユニティゲイン 300kHz -> 600kHz (～2002/10)
->同相(L+)制御系の広帯域化 ユニティゲイン 20kHz -> 40kHz

干渉計実験の現状 -レーザー周波数安定化の改良-

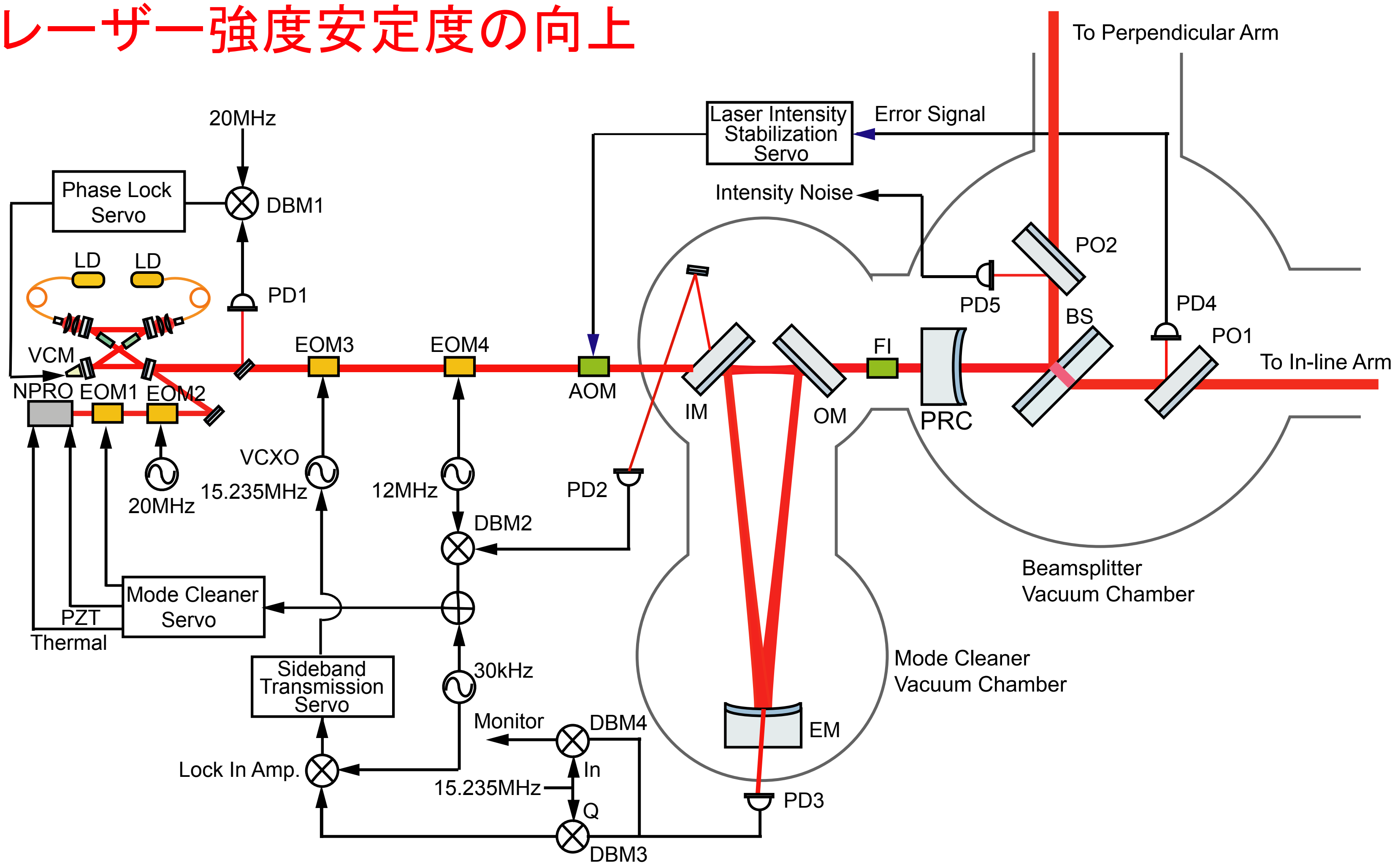


->同相(L+)制御系の広帯域化 ユニティゲイン 20kHz -> 40kHz

周波数安定度 @10kHz: $4x10^{-2}$ Hz/Hz$^{1/2}$ -> $2x10^{-2}$ Hz/Hz$^{1/2}$

干渉計実験の現状 -レーザー強度安定化の改良-

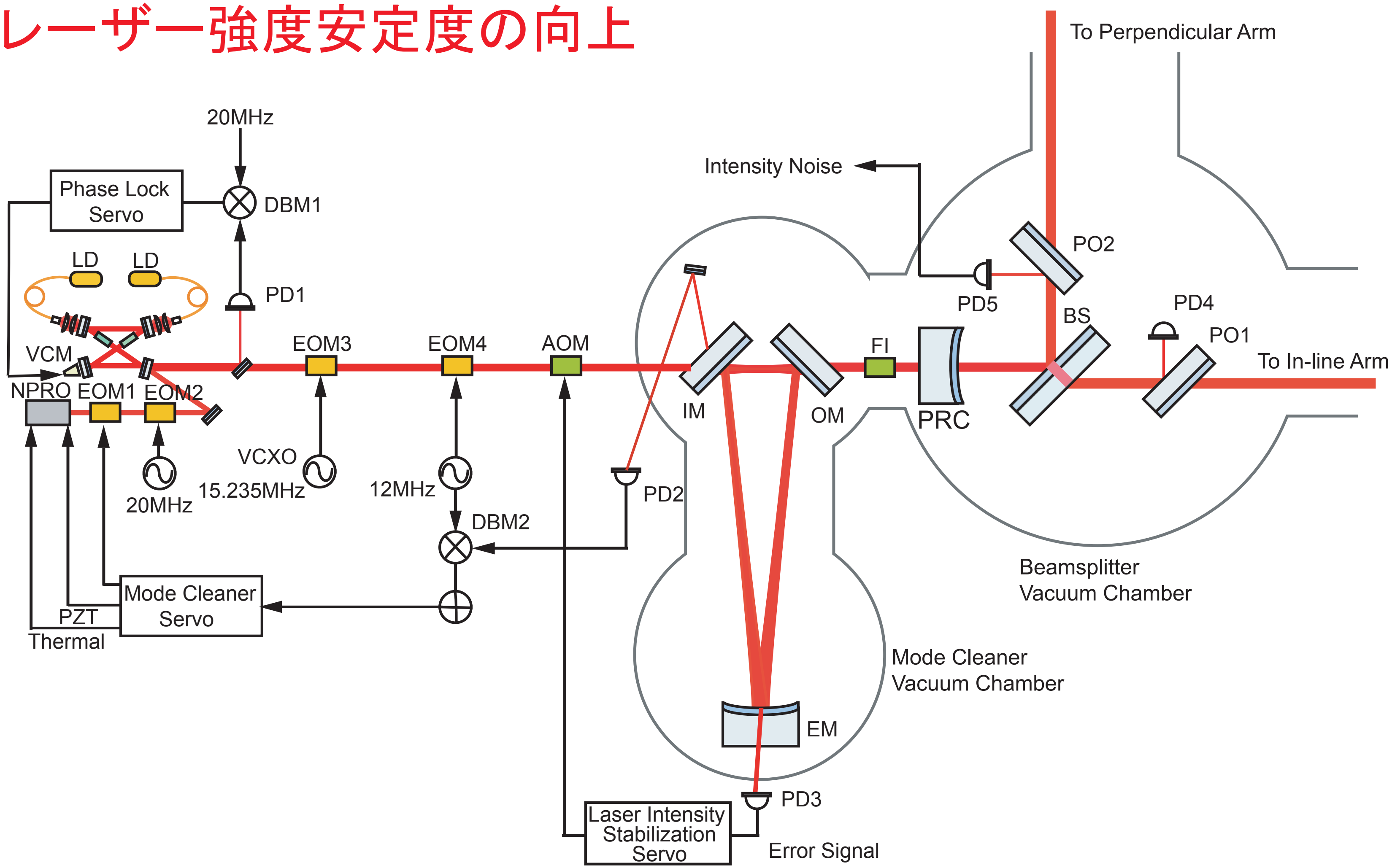
パワーリサイクリング導入によるショット雑音の減少
->レーザー強度安定度の向上



PRC内のゲイン変動によるAOMのダイナミックレンジを飽和
制御帯域不足(UGF=50kHz)による高周波の強度安定度の制限

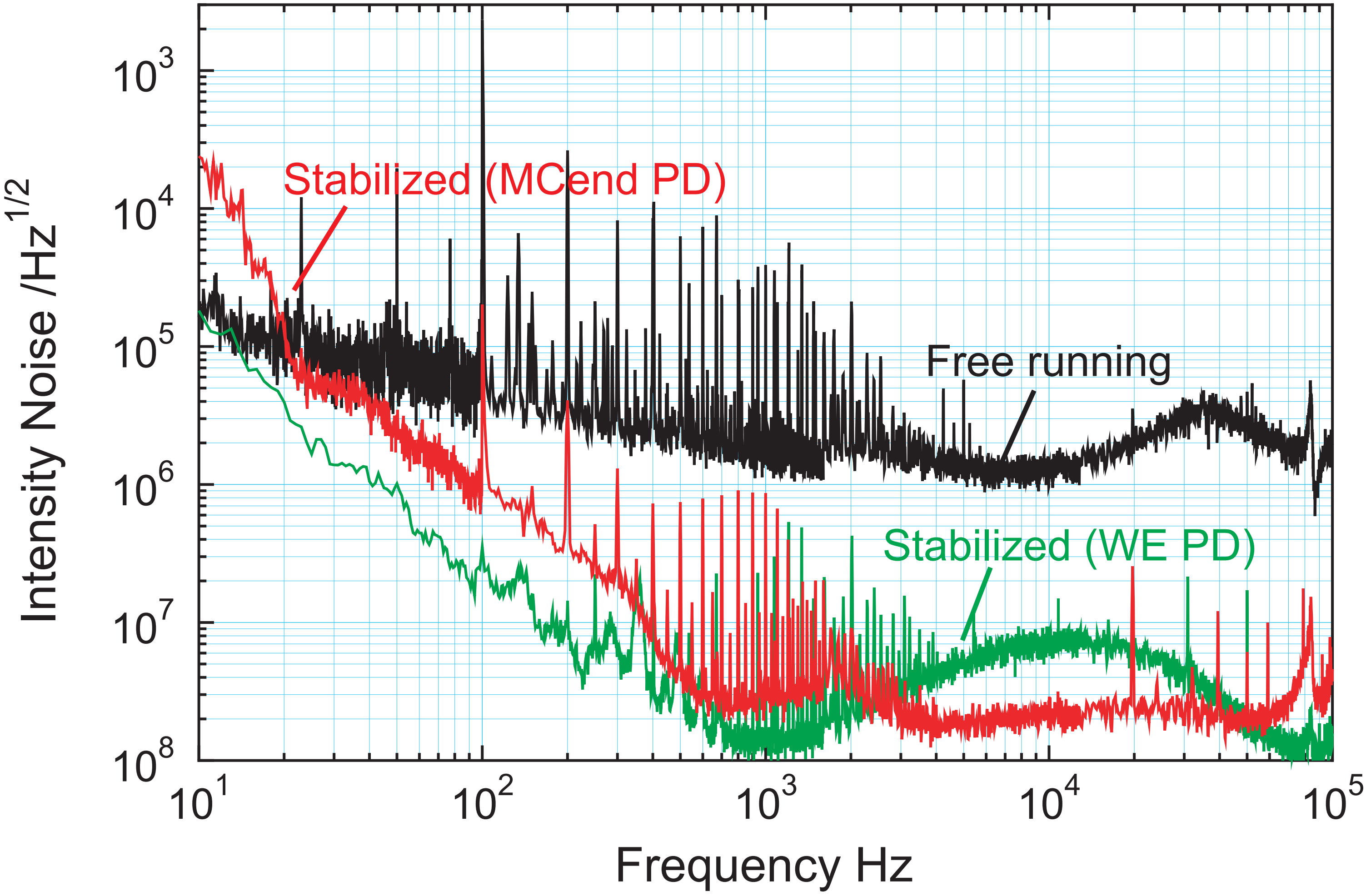
干渉計実験の現状 -レーザー強度安定化の改良-

パワーリサイクリング導入によるショット雑音の減少
->レーザー強度安定度の向上



モードクリーナー透過光を強度安定化に利用
->低周波のフィードバック信号量の減少
->パワーリサイクリング共振器によるフィルター効果

干渉計実験の現状 -レーザー強度安定化の改良-

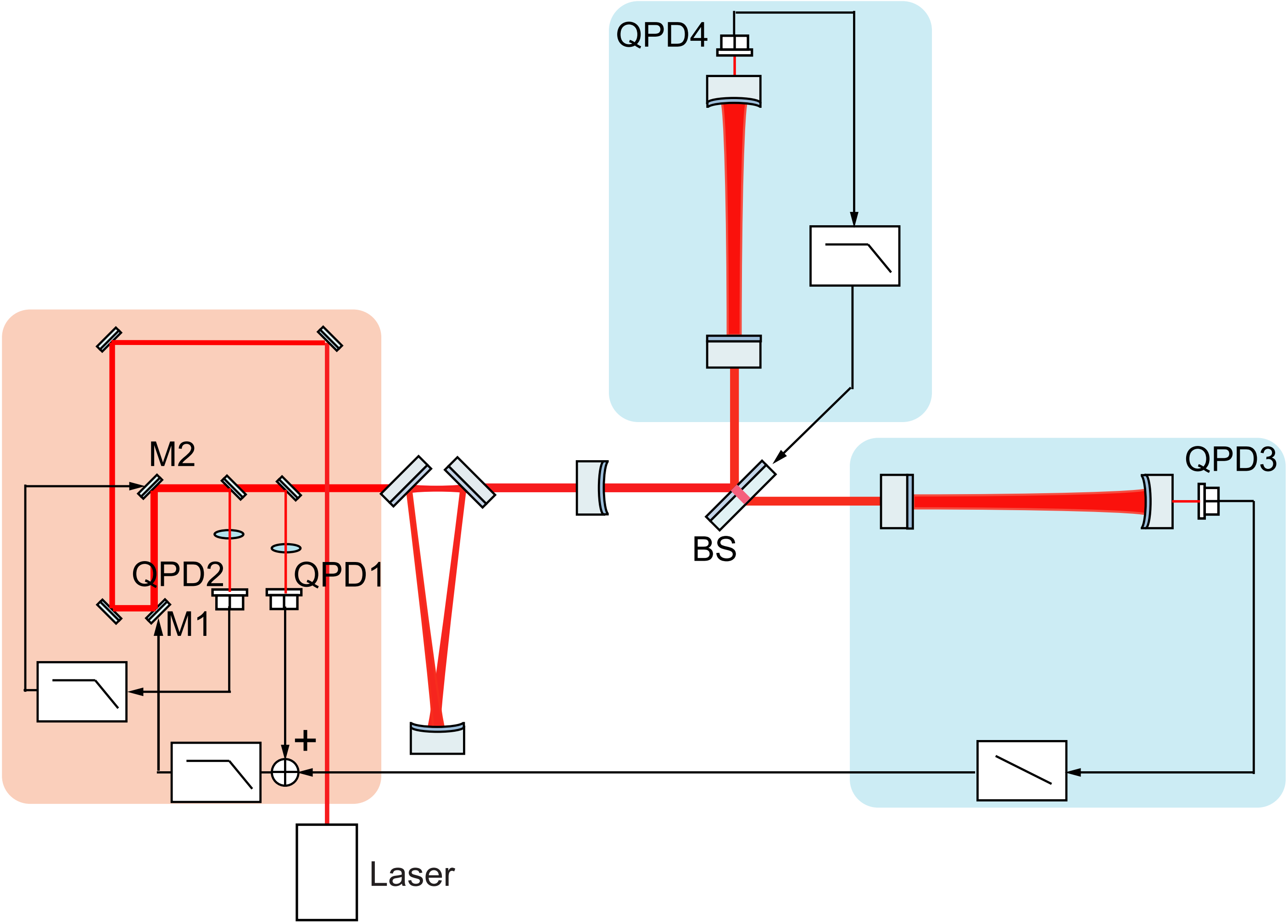


モードクリーナー透過光を強度安定化に利用

強度安定度 @10kHz: $8x10^{-8}$ /Hz$^{1/2}$ -> $2x10^{-8}$ /Hz$^{1/2}$

700Hz以下の散乱光ノイズ等 -> 真空中で検出することで除去

干渉計実験の現状 -光軸制御-



入射光学系定盤上の４分割光検出器による入射光軸決め（QPD1, QPD2）

+ 腕共振器透過光による光軸制御（QPD3, QPD4）

-> MCアライメント制御の長期安定度向上

-> 干渉計動作安定度の向上

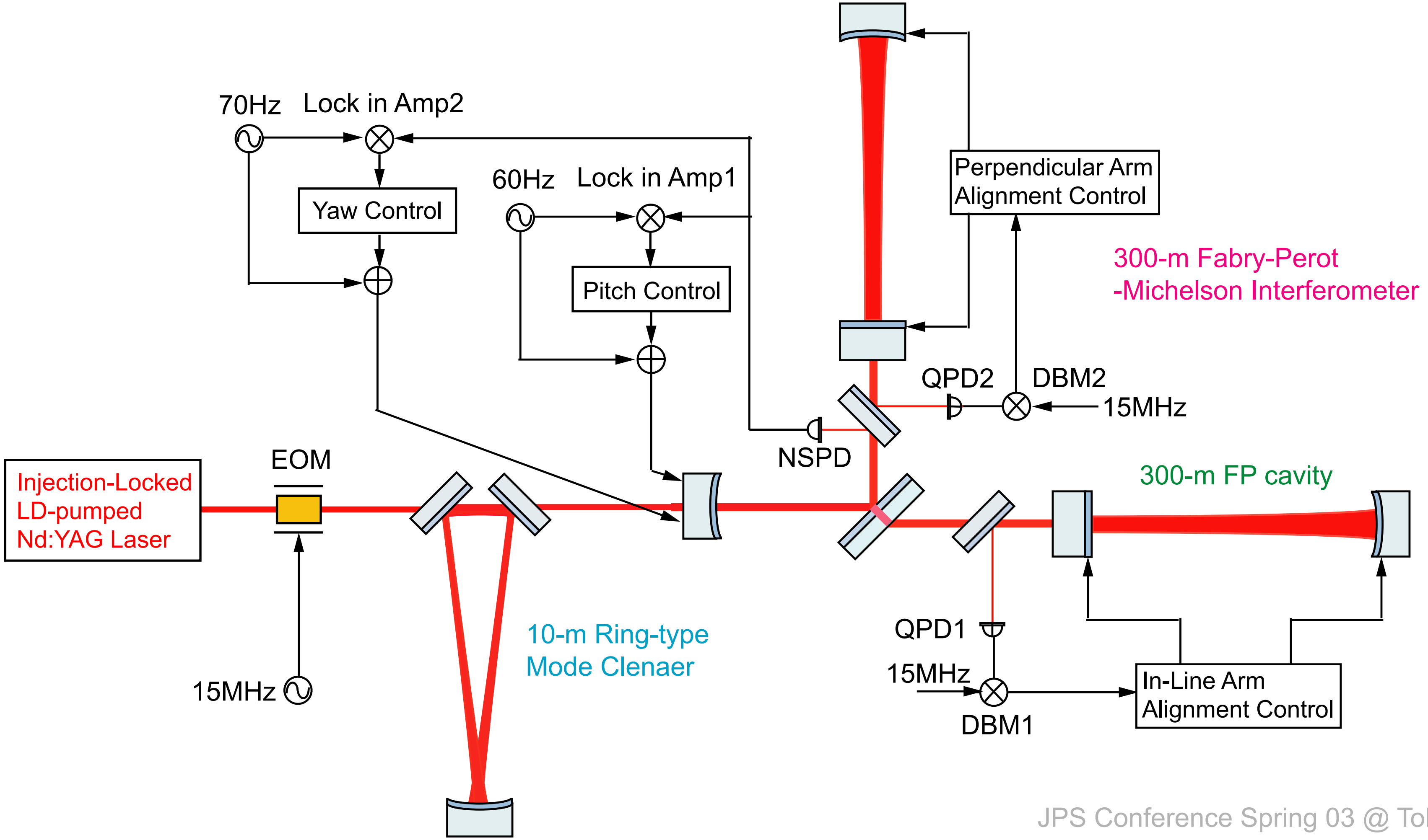
干渉計実験の現状 -主干渉計-

リサイクリングミラーアライメント制御の導入

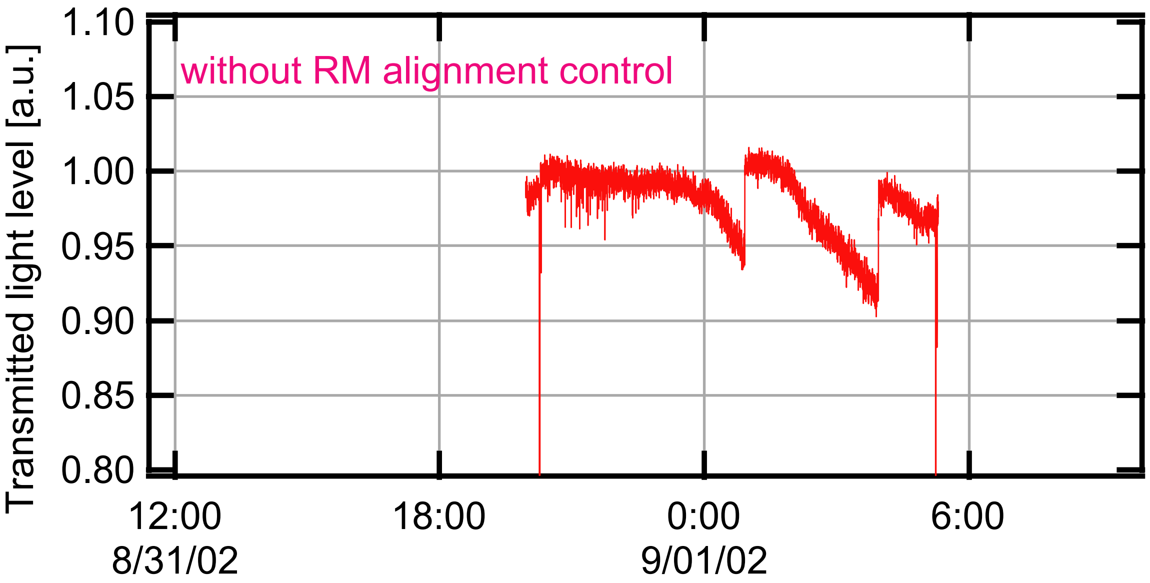
機械変調法による制御信号取得（Pitch 60Hz, Yaw 70Hz)

制御帯域 < 1Hz -> 長期的なミラードリフトの抑圧

-> 主干渉計の全ミラーの全アライメント自由度を制御



干渉計実験の現状 −RMアライメント制御の導入−

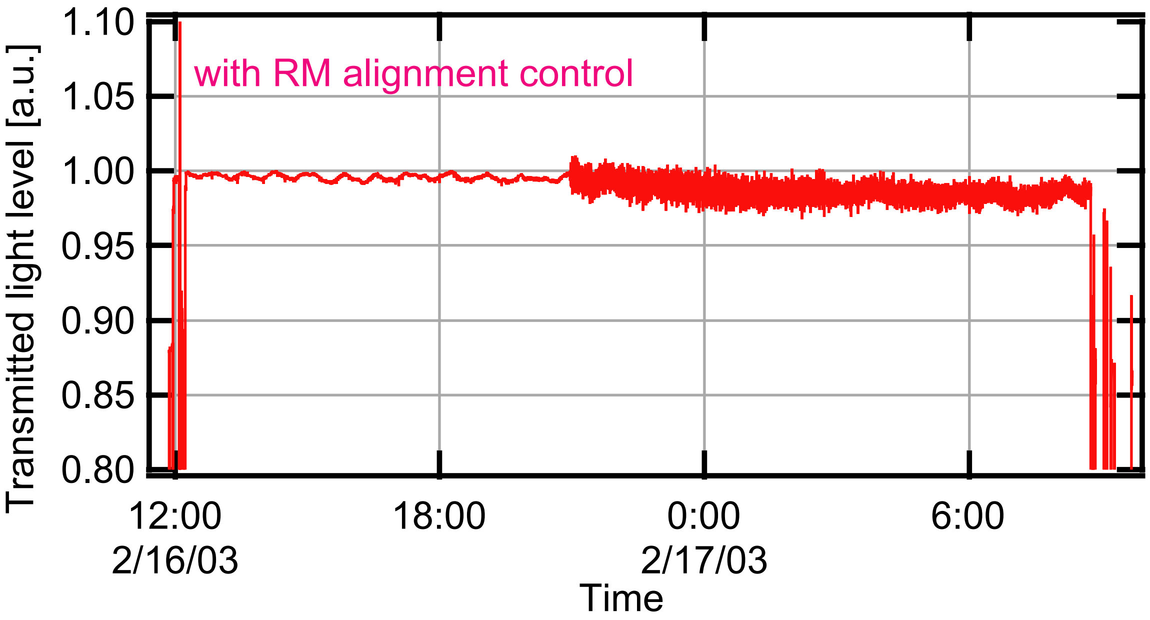


RMアライメント制御導入前

WE透過光変動 ＞9%

リサイクリングミラーのドリフト大

−>長期安定度を制限していた原因の一つ



RMアライメント制御導入後

WE透過光変動 ＜3%

（リサイクリングゲイン 4.5±0.14)

長期的なドリフトの制御

−>リサイクリングゲイン変動減少による動作安定度の向上と感度の維持

干渉計実験の現状 -自動化-

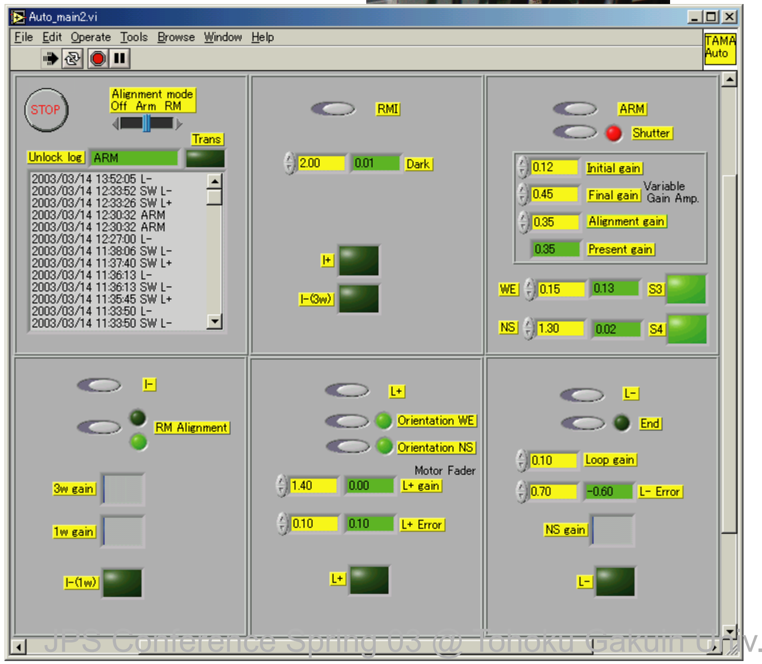
長期観測運転への対応　->　将来の無人運転へ

光源部（レーザー＋MC）のスタンドアローン化

MC周波数安定化、MCアライメント制御、
レーザー強度安定化、光軸制御、
レーザー注入同期ロック

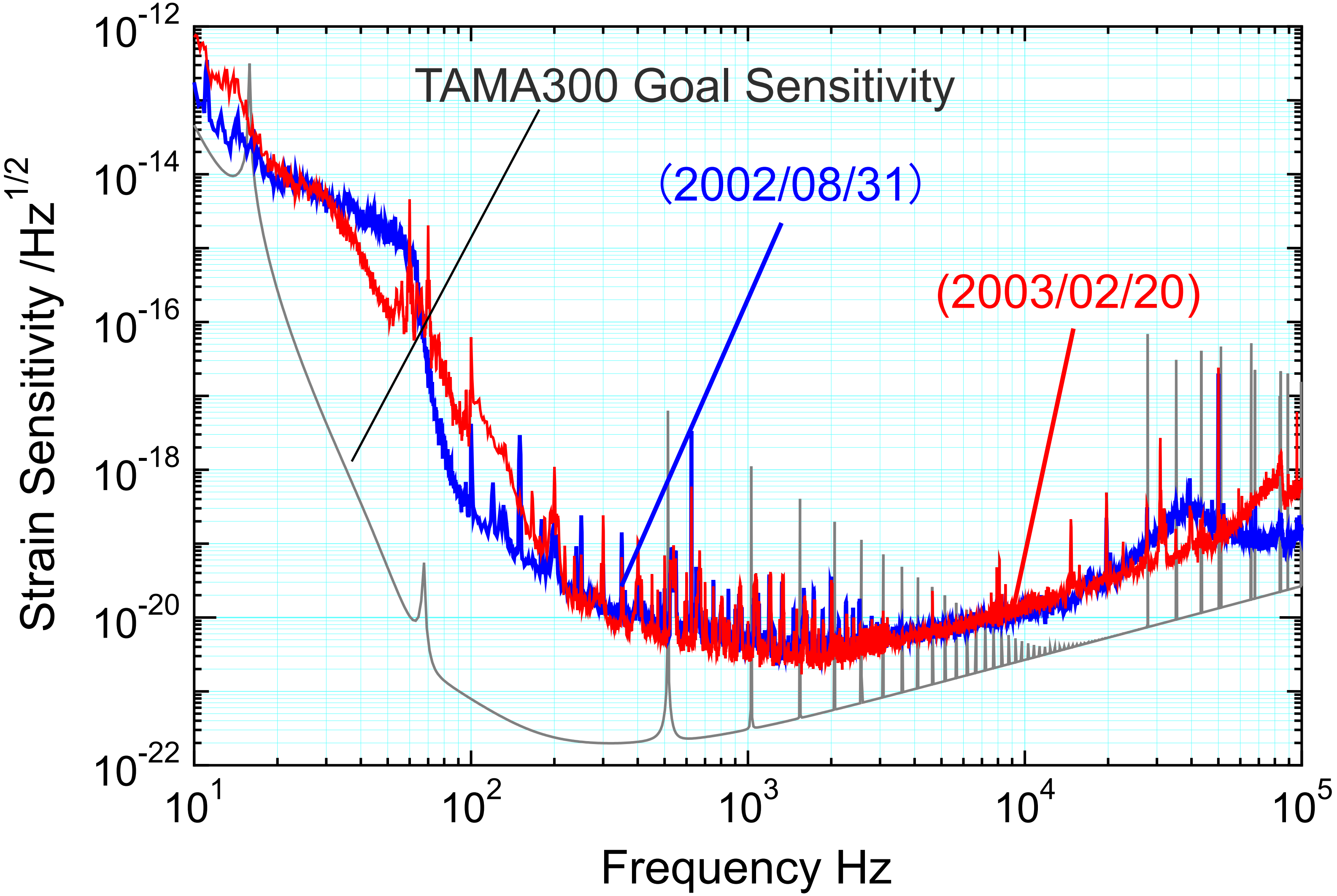
主干渉計の計算機と利用した制御

ロックアクイジション、アライメント、
ステータスモニター



ハードウェア: PC + DAQ board
ソフトウェア: National Instruments LabVIEW
　　　　　　　コードの簡素化と信頼性の向上

TAMA300の感度 −感度スペクトル−



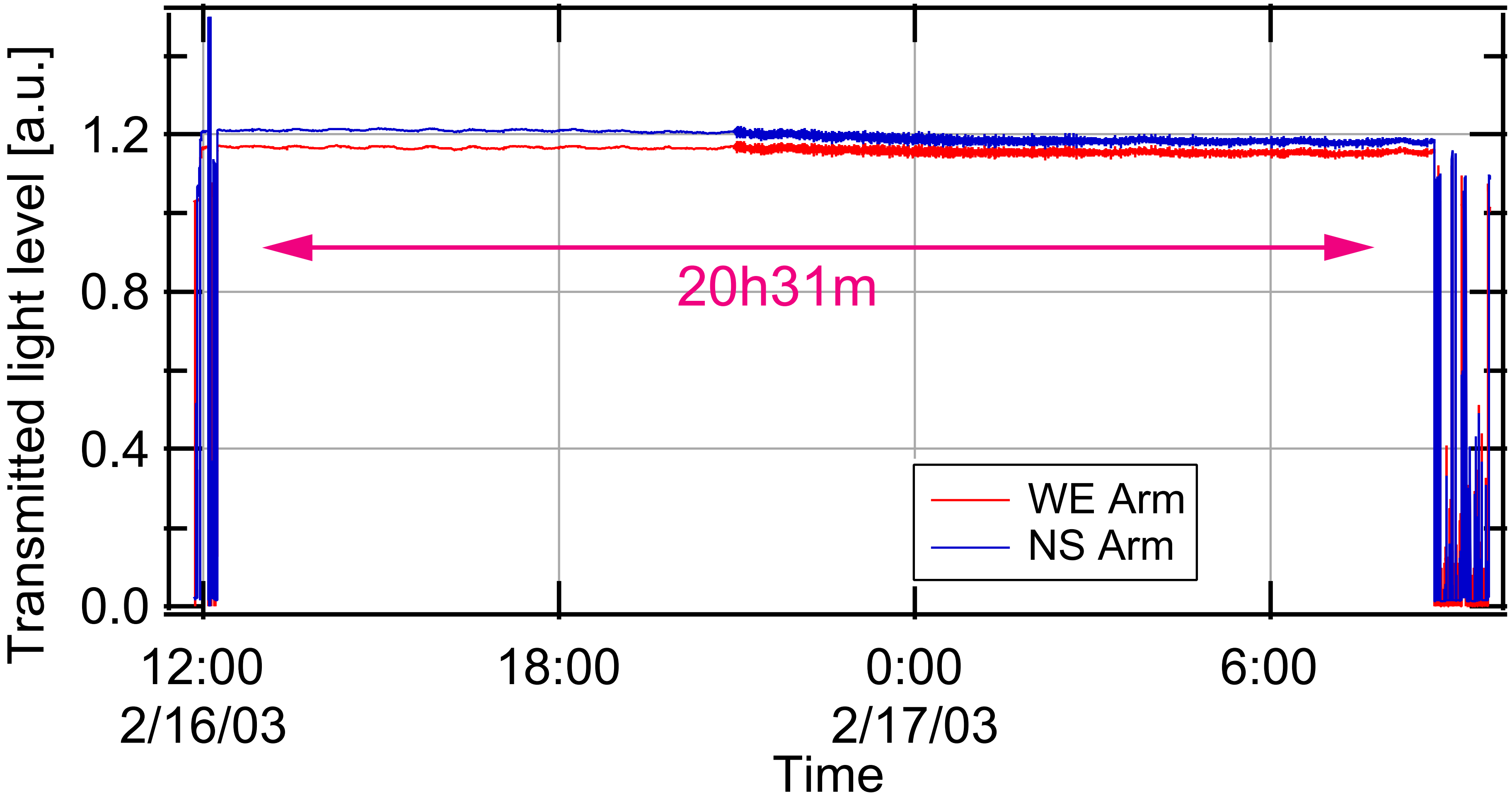
重力波に対する感度: $h=2.6x10^{-21}$/sqrtHz @2kHz（ベスト感度の更新）

200Hz~3kHz ->広帯域アライメント制御による非定常雑音の抑制

3kHz~60kHz ->レーザー安定化の改良による雑音の減少

TAMA300の安定度

最長動作時間:20時間31分



リサイクリングミラーの姿勢制御・光軸制御の導入

->パワーの長期ドリフトの減少、制御系の長期的な安定動作

リサイクリングに対応したオペレーションの自動化システムの導入

->アンロックからの復旧時間は約10分

今度の計画

検出器の感度の向上

- 数100Hz以下の帯域での雑音除去
  - SASの導入 -> アライメント制御帯域の減少
- 数100Hz帯域での雑音除去
  - 雑音メカニズムの調査
- 数kHz帯域でのショット雑音限界の向上
  - リサイクリングゲインの増加（現在G=4.5）

検出器の安定度の向上

- 差動・同相アライメント制御の導入
- コイルドライバーの改良・MCアライメント制御の改良
  - ->ロックアクイジションの改善
- 干渉計の完全自動化
  - ->無人運転による常時稼動の実現

まとめ

TAMA300の現状

TAMA300のベスト感度を更新

重力波に対する感度: $h=2.6\times10^{-21}$/sqrtHz

NS binary 1.4Msolar (SNR10): 42kpc

リサイクリングの安定動作に成功

最長連続動作時間: 20時間31分

アンロックからの復旧時間: 10分

光源：周波数・強度安定化システムの改良、光軸制御の導入

主干渉計：リサイクリングミラーアライメント制御の導入

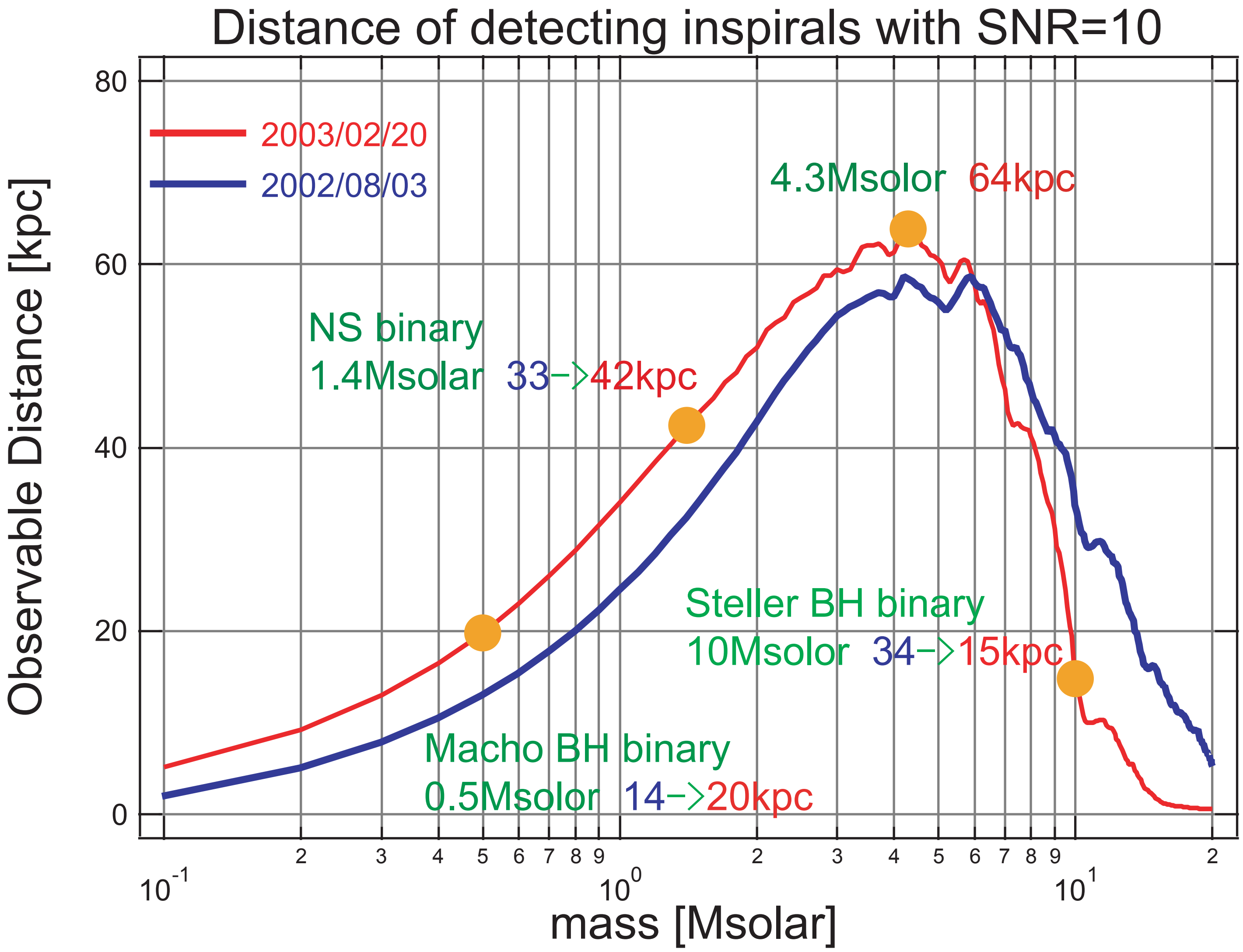
自動化

今後の計画

検出器の感度と安定度の向上

SASの導入、数100Hz帯域の雑音メカニズムの調査、
リサイクリングゲインの増加、
差動・同相アライメント制御の導入

TAMA300の感度 -SNRによる比較-



1.4-1.4Mおよび0.5-0.5Mに対する感度の向上

10-10Mに対する感度の悪化
->狭帯域アライメント制御を使わないことによる低周波感度の悪化

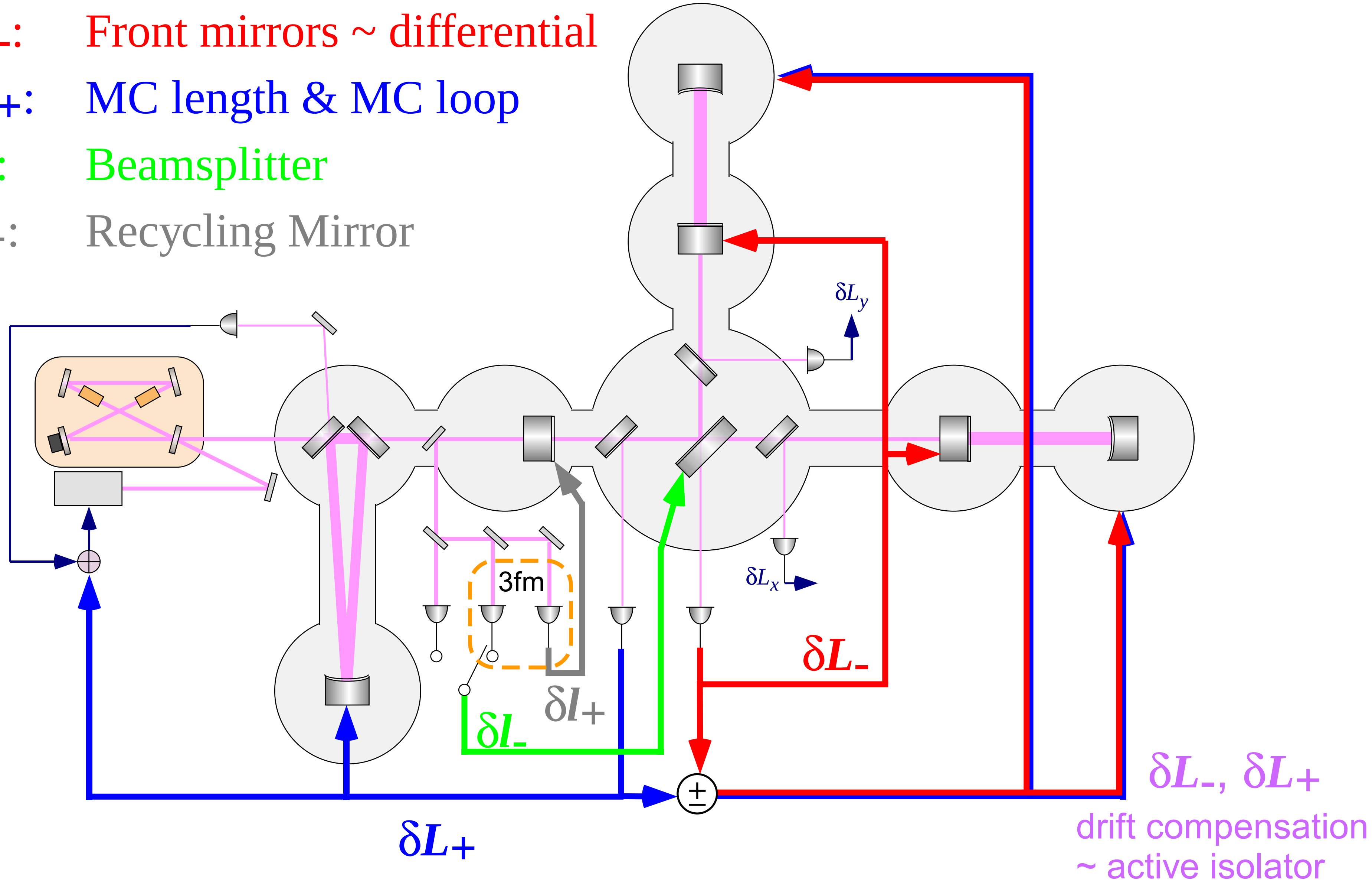
Control topology

δL_-: Front mirrors ~ differential

δL_+: MC length & MC loop

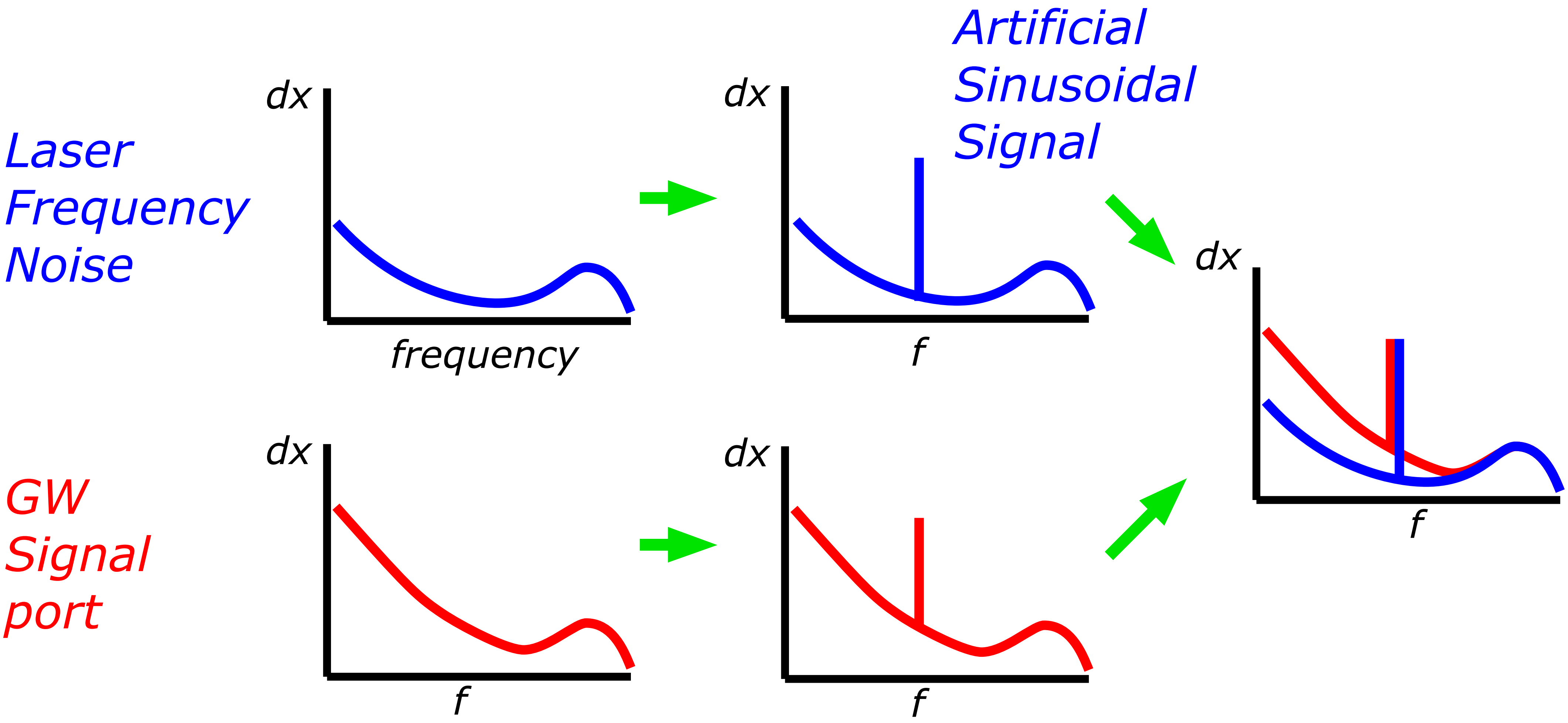
δl_-: Beamsplitter

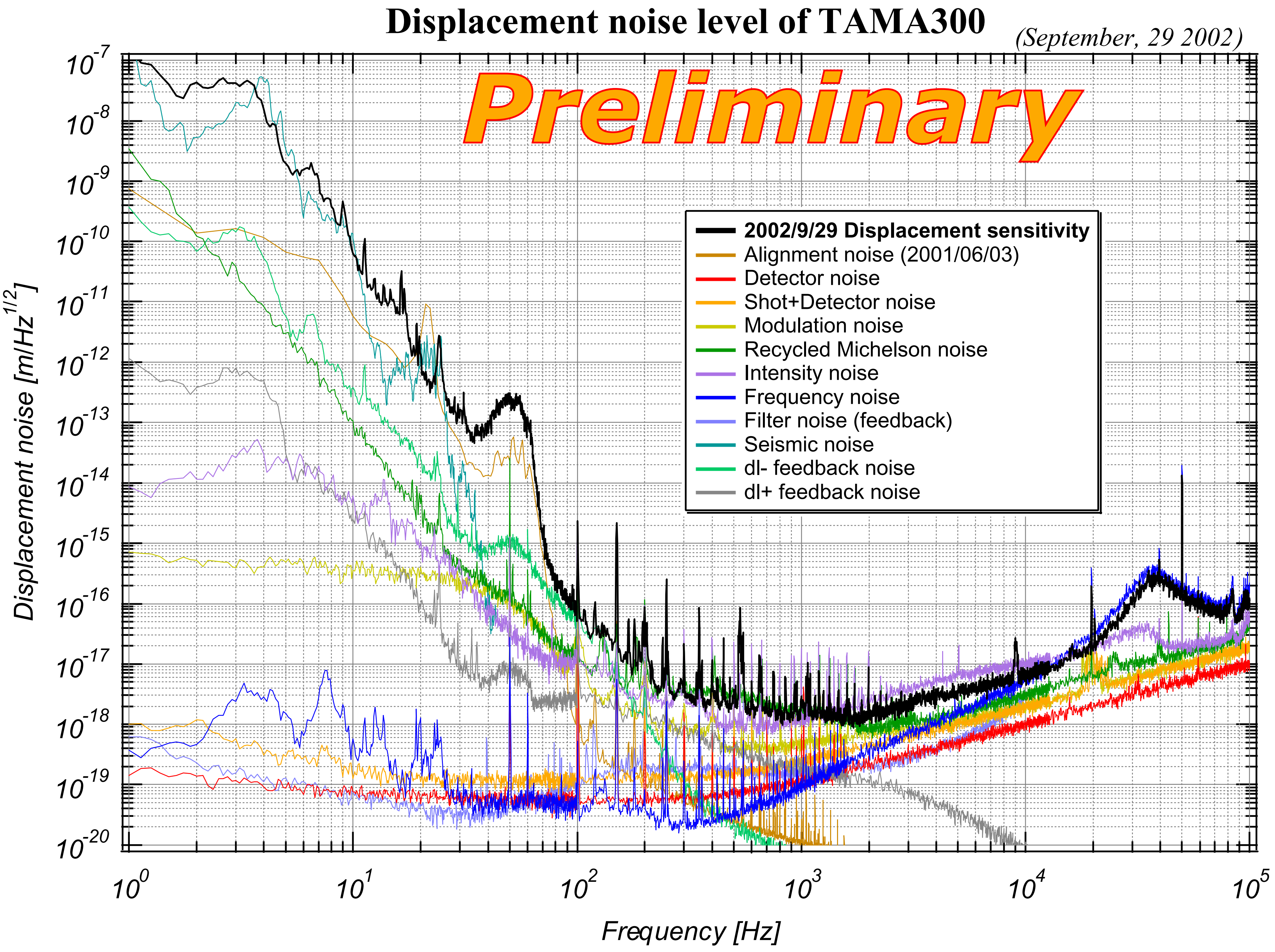
δl_+: Recycling Mirror



Estimation of noise contributions

- **Noise estimation based on signal injection**




Displacement noise level of TAMA300
(September, 29 2002)
Preliminary
2002/9/29 Displacement sensitivity
Alignment noise (2001/06/03)
Detector noise
Shot+Detector noise
Modulation noise
Recycled Michelson noise
Intensity noise
Frequency noise
Filter noise (feedback)
Seismic noise
dl- feedback noise
dl+ feedback noise
Displacement noise [m/Hz^1/2]
Frequency [Hz]