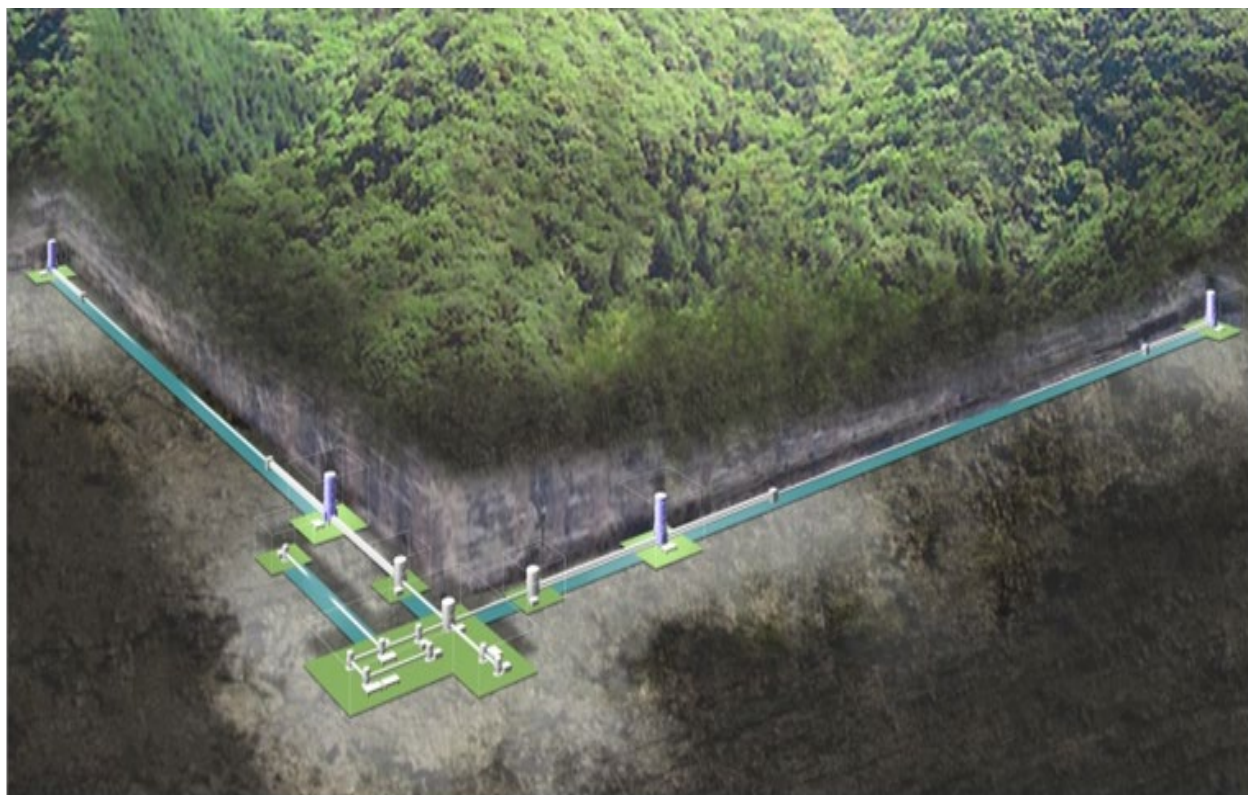


## 大型低温重力波望遠鏡に関する研究 (XIII) と関連する研究課題について



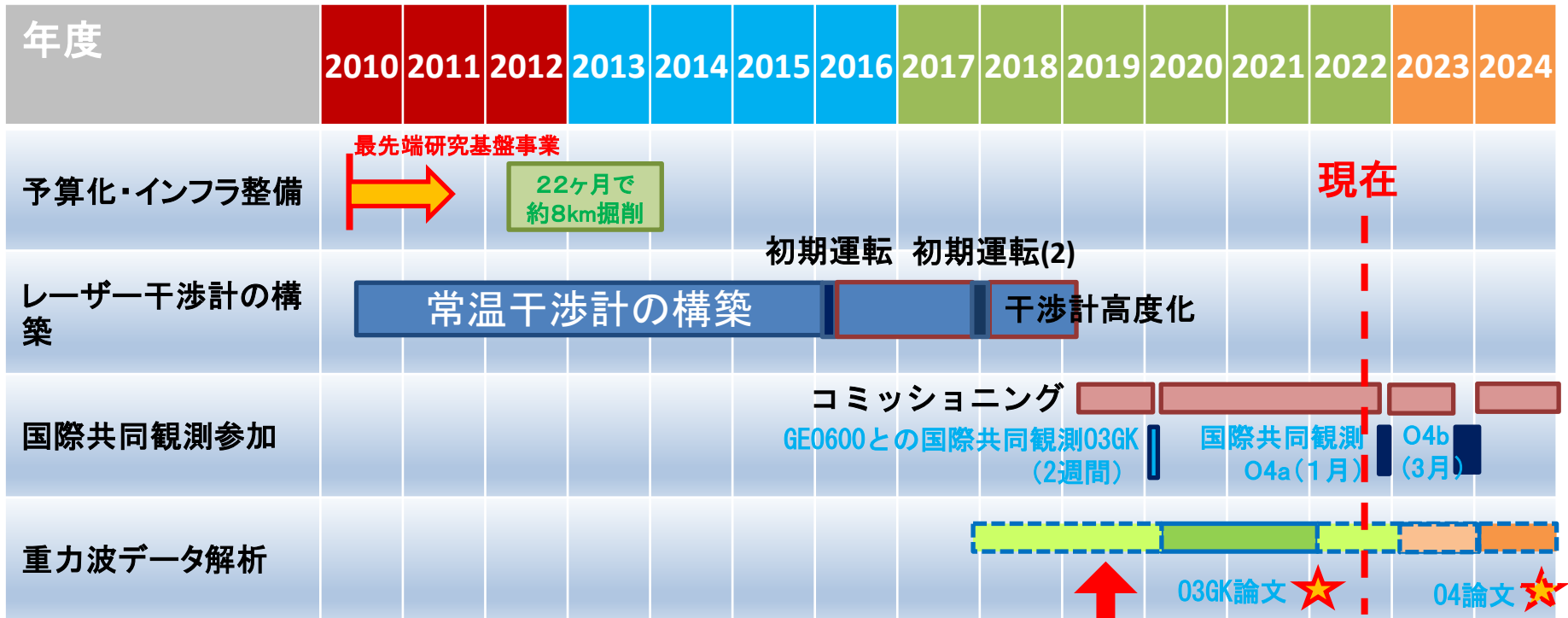
# KAGRA 研究課題一覧

研究課題	新規・継続	配分額
大型低温重力波望遠鏡に関する研究 (XIII)	継続	400,000
KAGRAモニター&インターロックシステムの開発	新規	500,000
大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)の低温懸架系の研究	継続	200,000
KAGRA実験に向けた伝導冷却の方法の高度化	継続	300,000
KAGRAにおけるレーザー強度安定化のためのR&D	継続	321,000
重力波望遠鏡KAGRAの測定感度向上に資する雑音低減および極微小散乱光計測技術の開発IV	継続	450,000
KAGRAにおける環境由来のノイズ削減に関する研究	継続	200,000
KAGRA検出器における注入試験による環境雑音評価手法の研究	継続	150,000
機械学習・深層学習を用いたノイズ特徴の分析と干渉計診断への応用(III)	継続	350,000
重力波検出の信頼性向上のための突発性雑音データ解析システムの構築	継続	200,000
KAGRAを用いたモデル化されていない突発性重力波探査	継続	200,000
KAGRAにおける非定常雑音の低減	新規	200,000
KAGRA望遠鏡の高感度化のための雑音源同定ツール開発	継続	200,000
熱雑音をベースにした重力波望遠鏡較正手法と感度改善手法の開発	新規	200,000
重力波望遠鏡における電磁波散乱・伝搬シミュレーションXI	継続	100,000
高性能サファイア鏡懸架系の開発	継続	250,000
KAGRAの制御と自動運転	継続	300,000
KAGRAデータ転送・保管系の構築(9)	継続	350,000
KAGRAデータを低遅延国際重力波探索網へ組み込むための共同研究推進(3)	継続	200,000
重力波探索のための望遠鏡診断システムの構築(III)	継続	250,000
重力波データ解析の研究	新規	250,000

総額 5,571,000 円

# KAGRAの全体スケジュール(2010年度から2024年度)

2年間延長することにより区切りとなる研究成果を出す



2019年10月にLIGO(米)、Virgo(欧)との国際共同の枠組み(LVK)に参加。以降、29本のLVK論文を出版

<https://pnp.ligo.org/ppcomm/Papers.html>

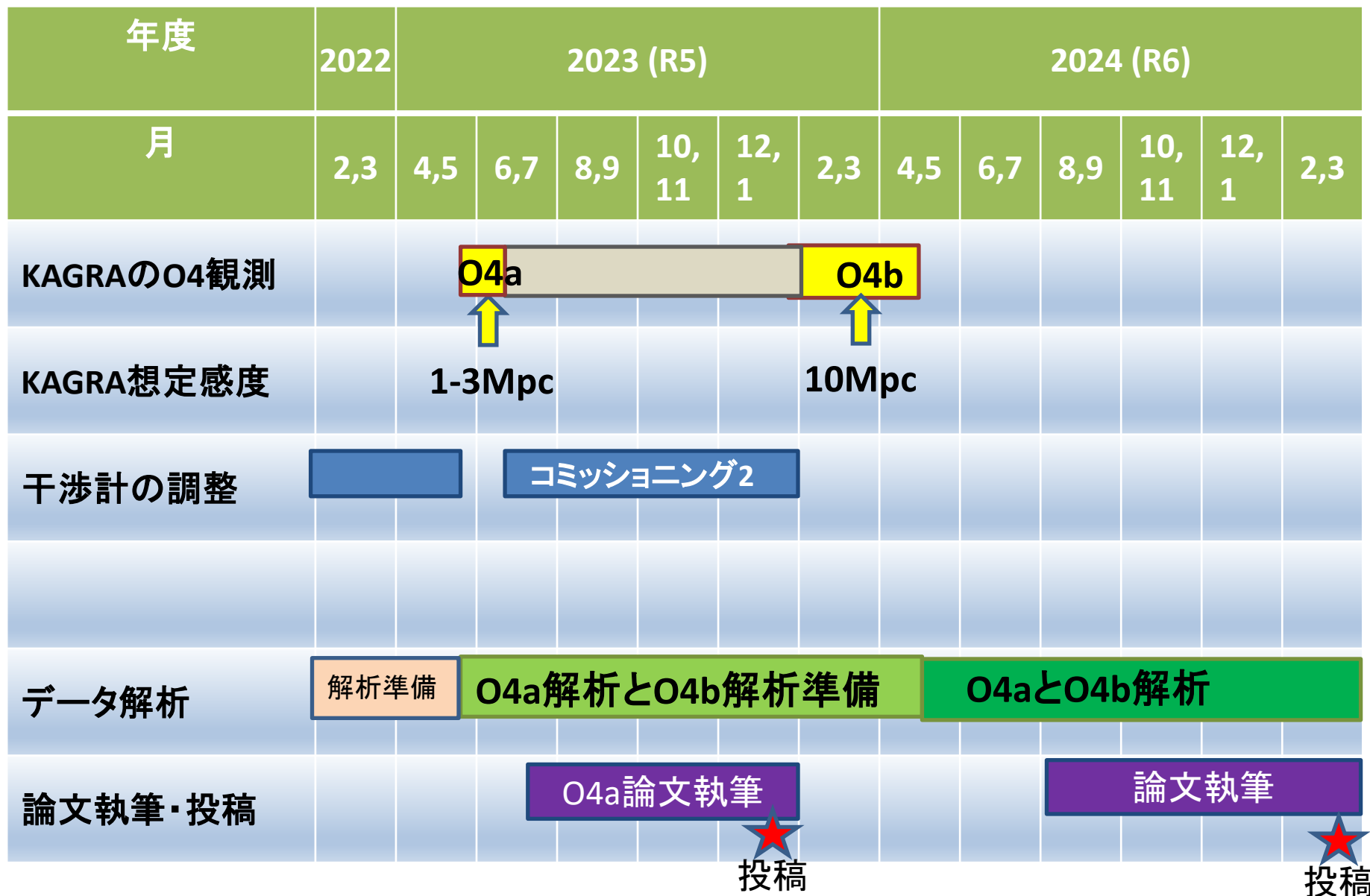
O3GK観測

O3GK論文を公表

O4観測に参加

O4(LVK)論文を公表

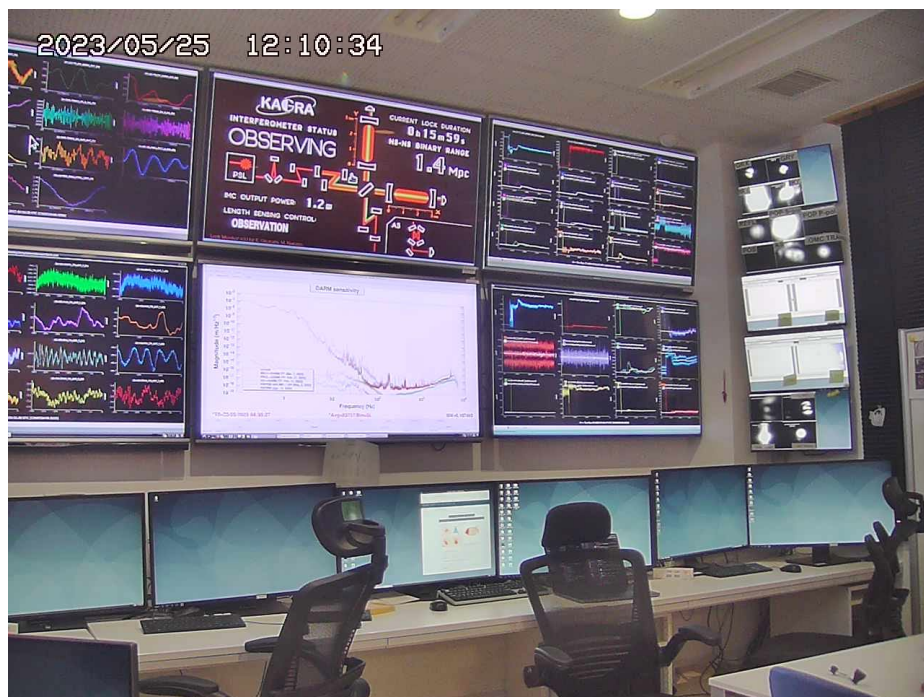
# 延長する2年間のスケジュール



# KAGRA O4a: 観測運転のまとめ

## 観測運転の進行は以下の通り

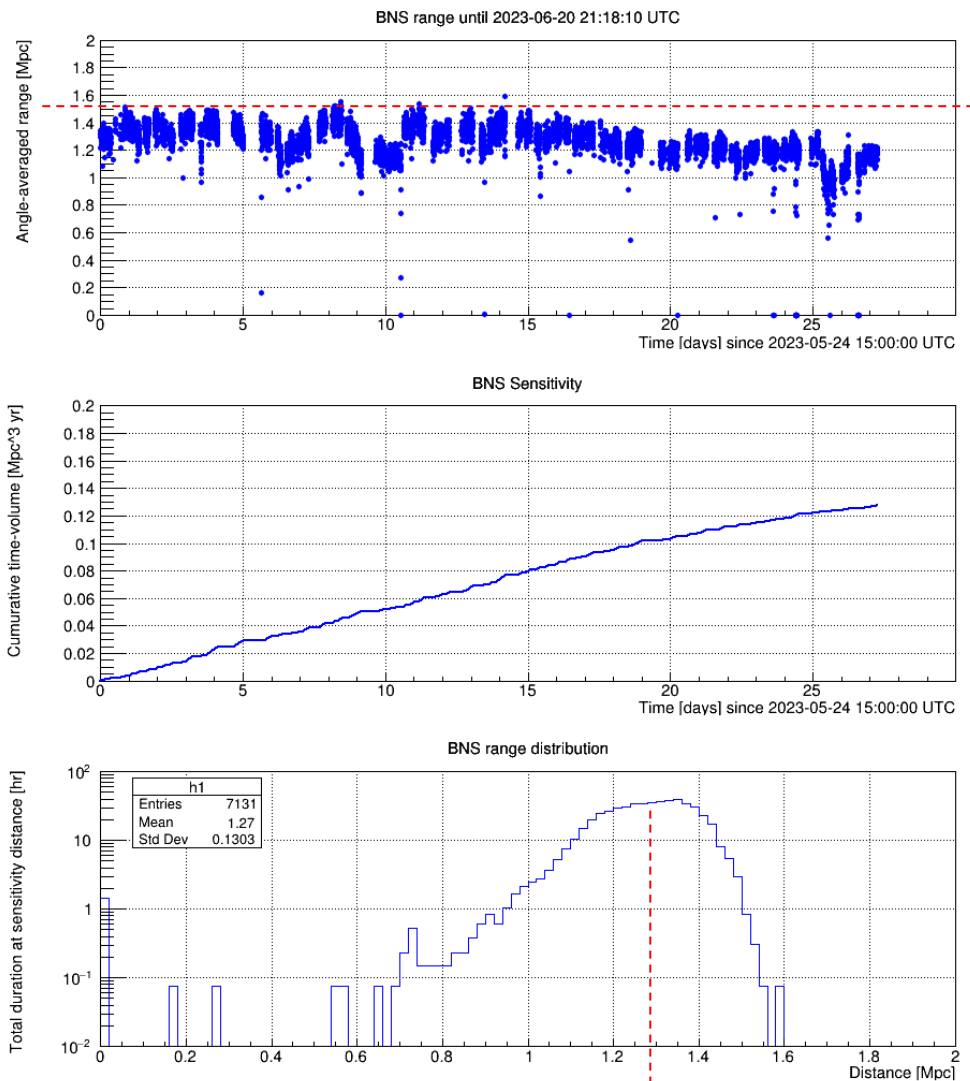
- 試験運転: 5月17日ー5月24日
- O4a 観測運転: 5月24日08:00ー6月21日08:00  
(LIGOの観測開始は5月24日24:00)
- 1日3交代シフト
- 感度校正作業など: 6月21日ー6月28日  
(LIGOは2025年2月まで連続運転予定)



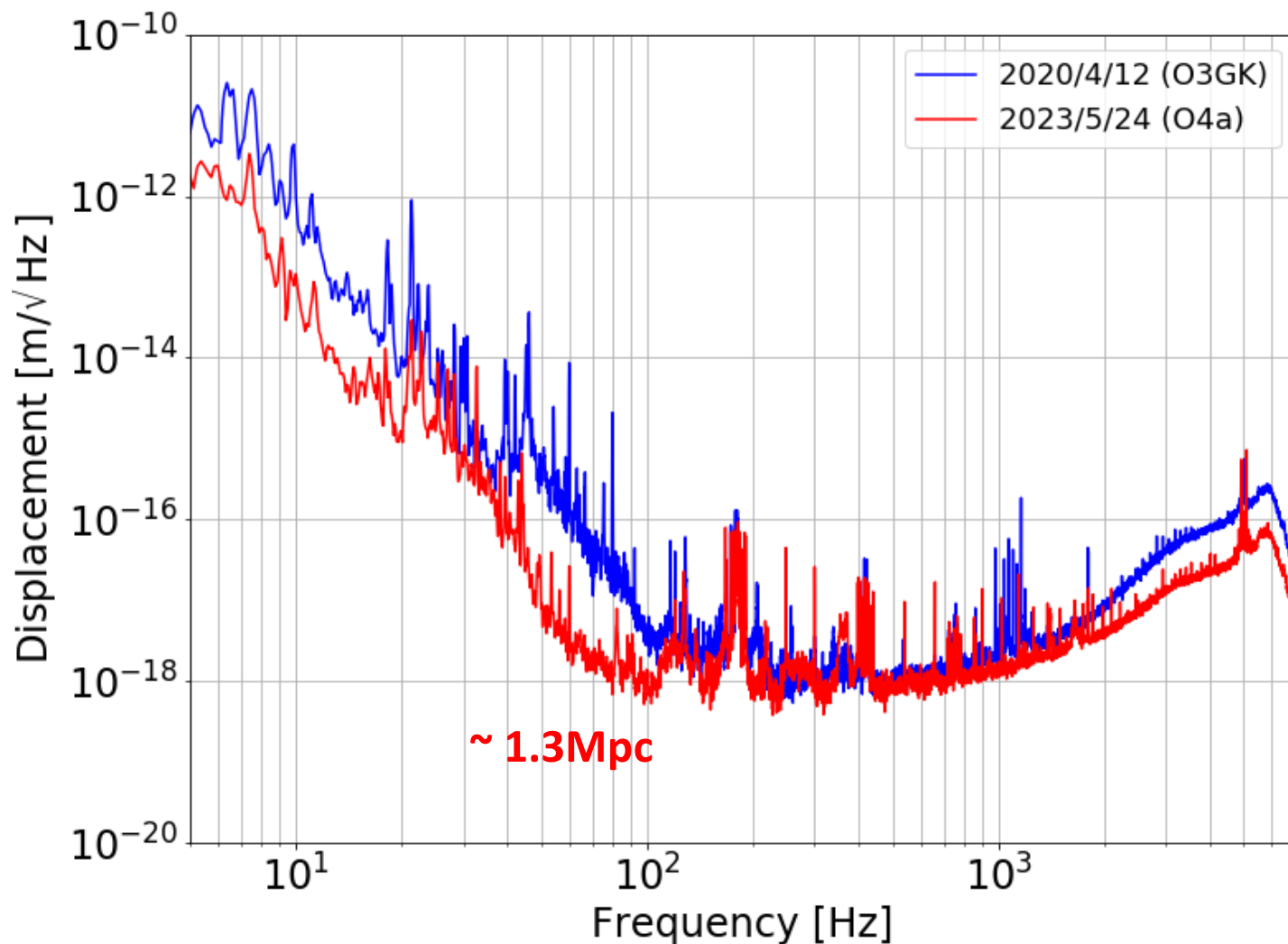
Events	data & time	24:00~8:00	8:00 ~ 16:00	16:00 ~ 24:00	メンテメンバー 坑口スタッフ
Fixed Plan					
GWADW(Elba)	5/24	non	池田	安居	
	水	non	譲原	中垣	
GWADW(Elba)	5/25	佐藤	池田	安居	
	木	田中	譲原	中垣	
GWADW(Elba)	5/26	佐藤	池田	安居	
	金	田中	R麻生	中垣	
GWADW(Elba)	5/27	佐藤	押野	青海	高橋正
BGWT(CERN)	土	田中	横澤	平田	山口
	5/28	佐藤	譲原	青海	吉村
BGWT(CERN)	日	田中	横澤	平田	大前
KIW(Taiwan)	5/29	安居	池田	青海	
BGWT(CERN)	月	中垣	譲原	平田	
KIW(Taiwan)	5/30	安居	池田	青海	山本
	火	中垣	譲原	平田	池田、譲原
	5/31	安居	池田	平田	
	水	中垣	譲原	田中	
	6/1	安居	non	佐藤	
	木	中垣	non	田中	

# KAGRA O4a: 感度 (BNS 距離)

- 1.3Mpcで観測開始。観測期間中の平均感度も約1.3Mpc。



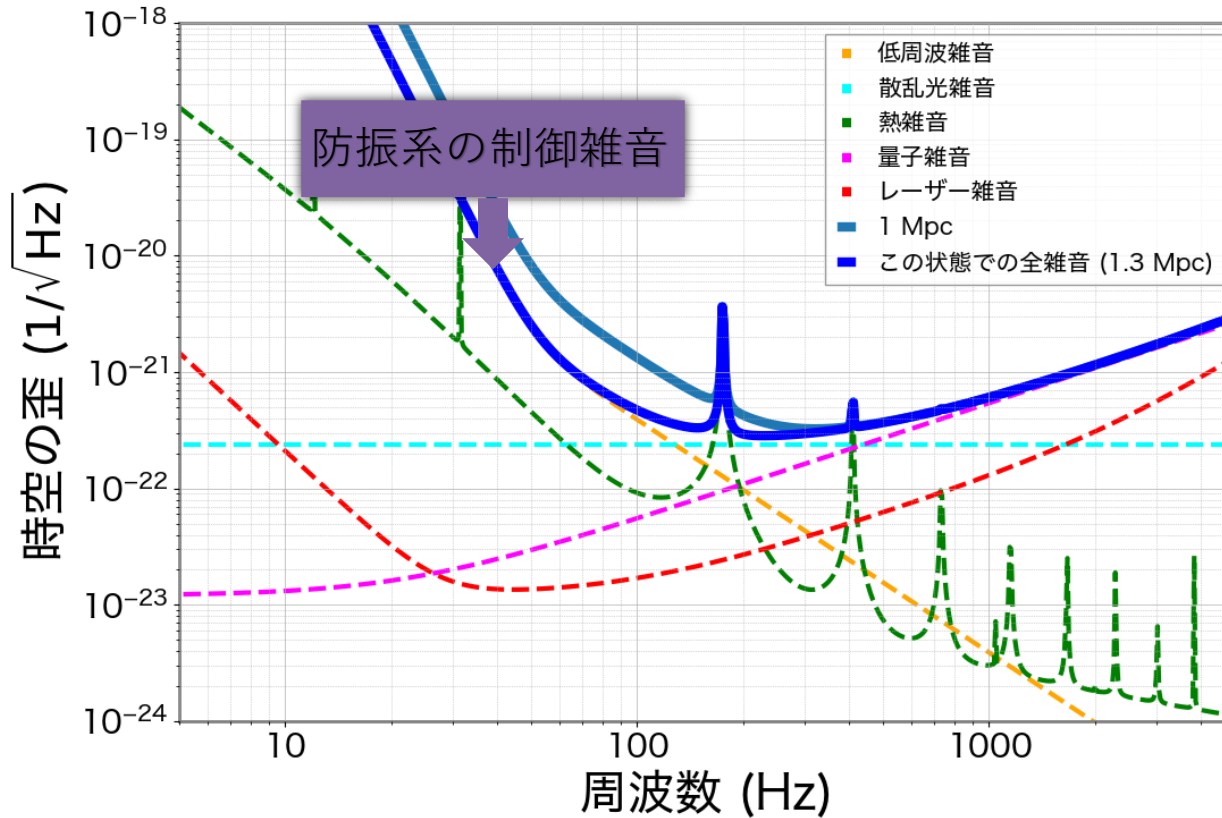
# O4a 観測開始時の感度スペクトル (実際の測定値)



# 想定していた感度向上

## ①低周波雑音（防振系の制御雑音）を1/3に低減する

- ・防振装置改良、鏡の位置・姿勢制御を適正化
- ・共振ピークを減衰させるフィルターの最適化

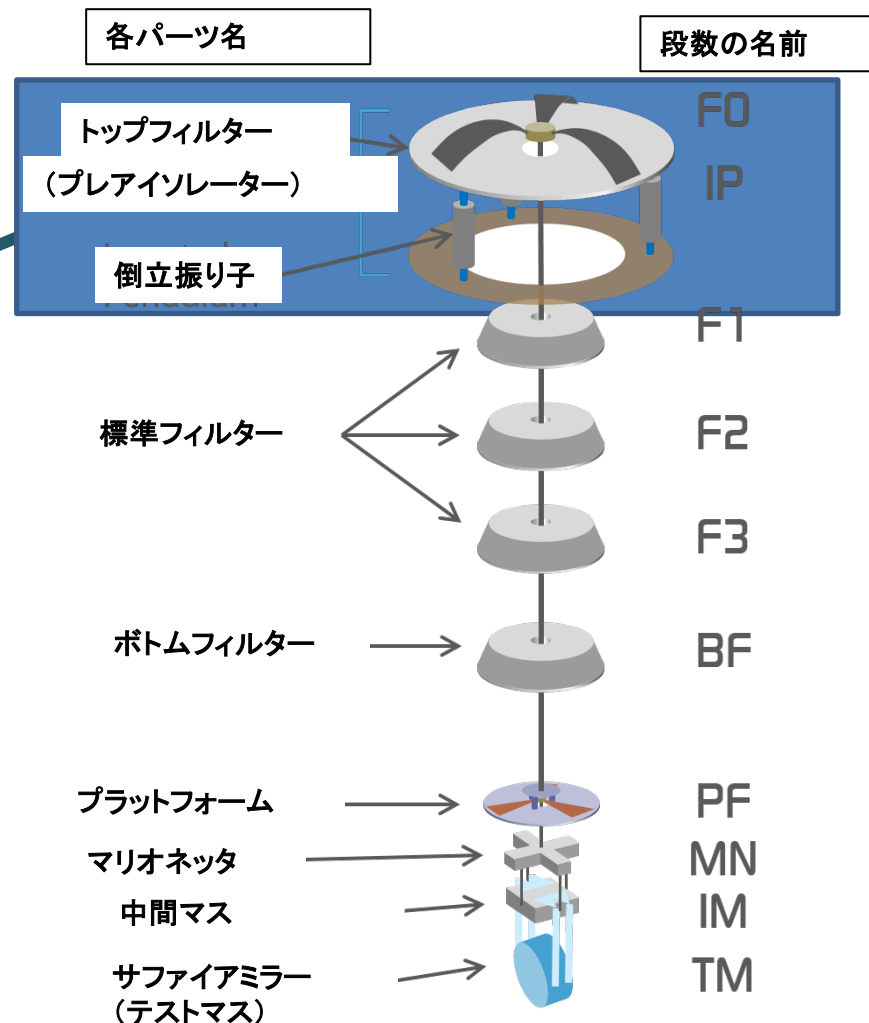
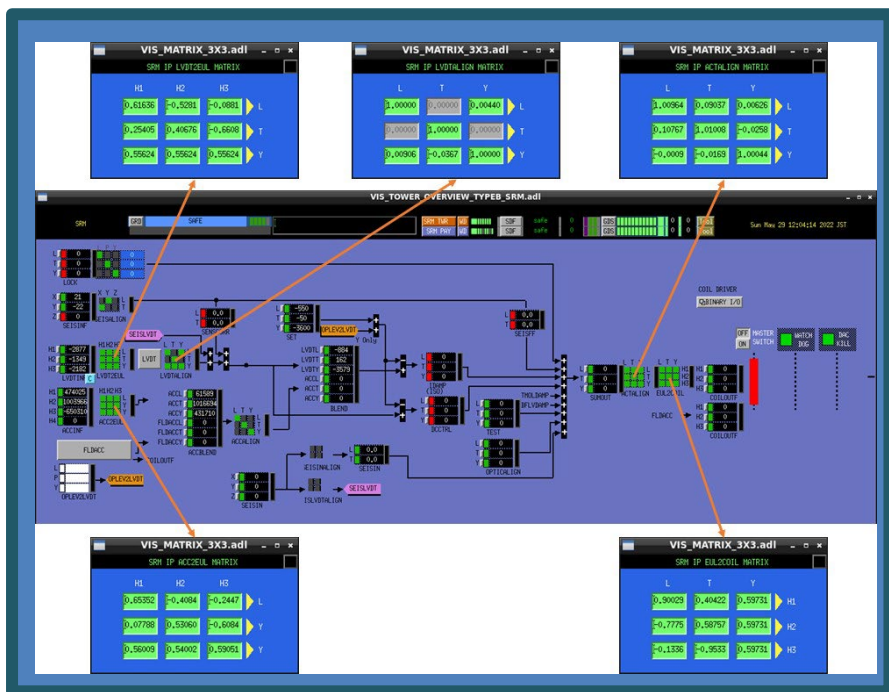


想定上限感度(理論値)  
1Mpc → 1.3Mpc



# 防振装置改良、鏡の位置・姿勢制御とフィルターの適正化(実施済)

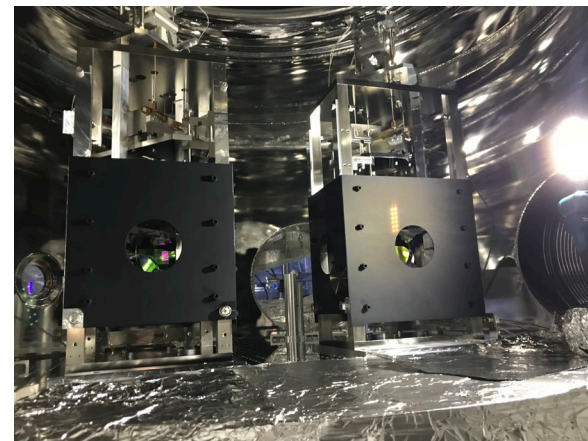
改良作業は、部品の入れ替えなどの作業もあるが、制御用計算機上で、下に示すような細かい数値設定等を介して行うものが主である。これには、かなりの時間がかかる。



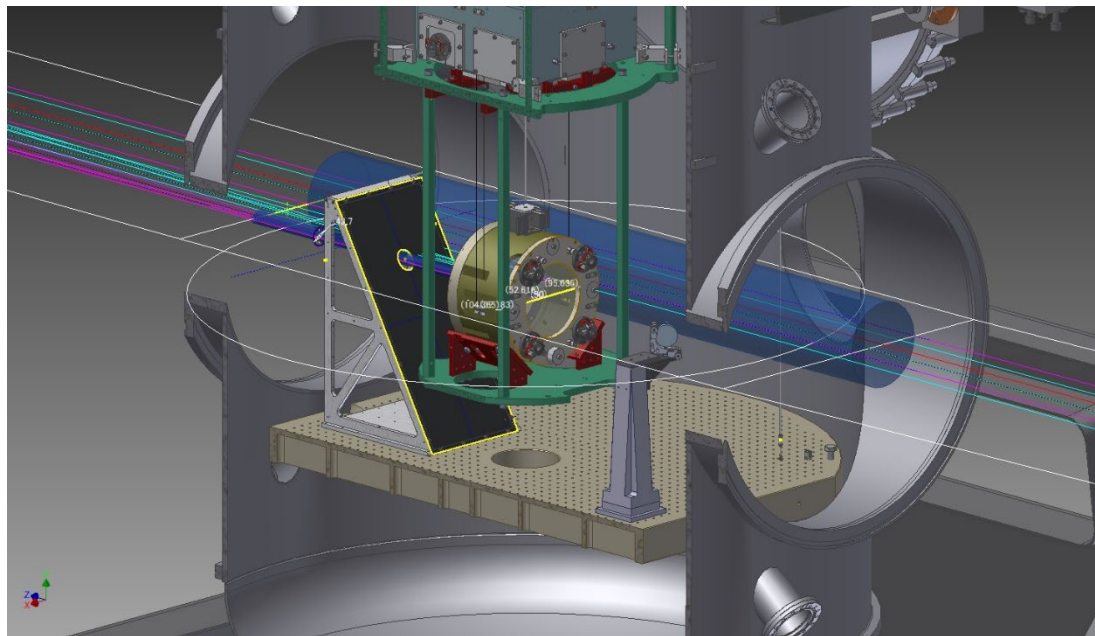
トップフィルターだけでも上記の設定値群を調整する。

# 散乱光低減のためのバツフル(設置済)

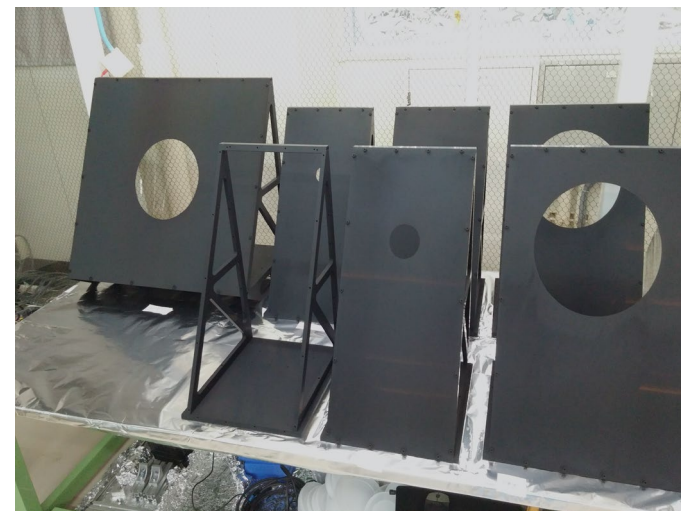
KAGRAのマイケルソン部光学系と入出射光学系にバツフルを設置し、散乱光の影響を低減。



一部の入射光学系のバツフル



鏡の近くに設置されるバツフル

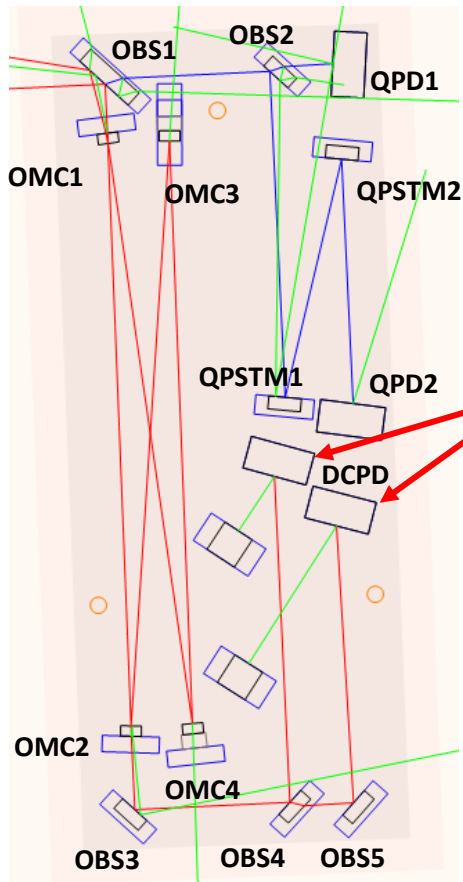


マイケルソン部光学系のバツフル

# 散射雑音(量子雑音)の低減(実施済、進行中)

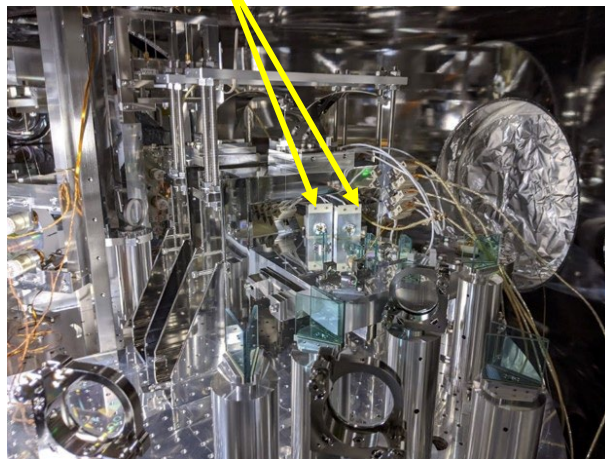
不具合のある光検出器の交換

実施済



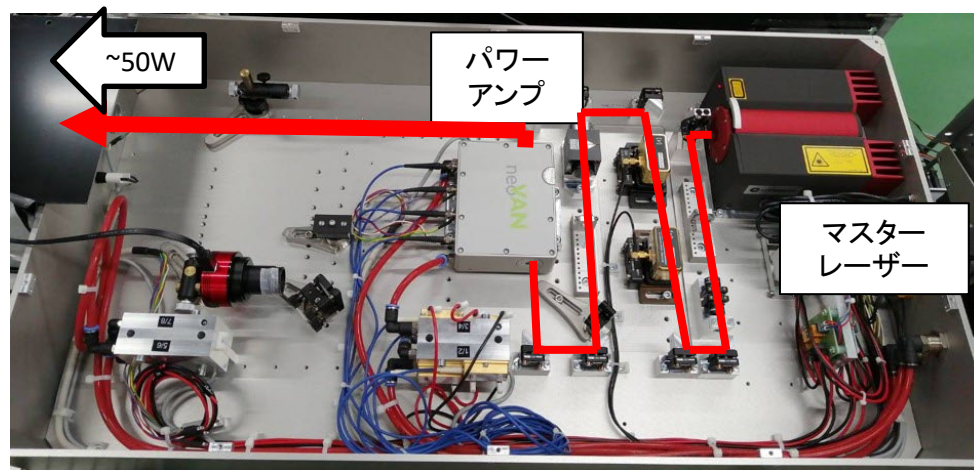
OMC全体図

光検出器



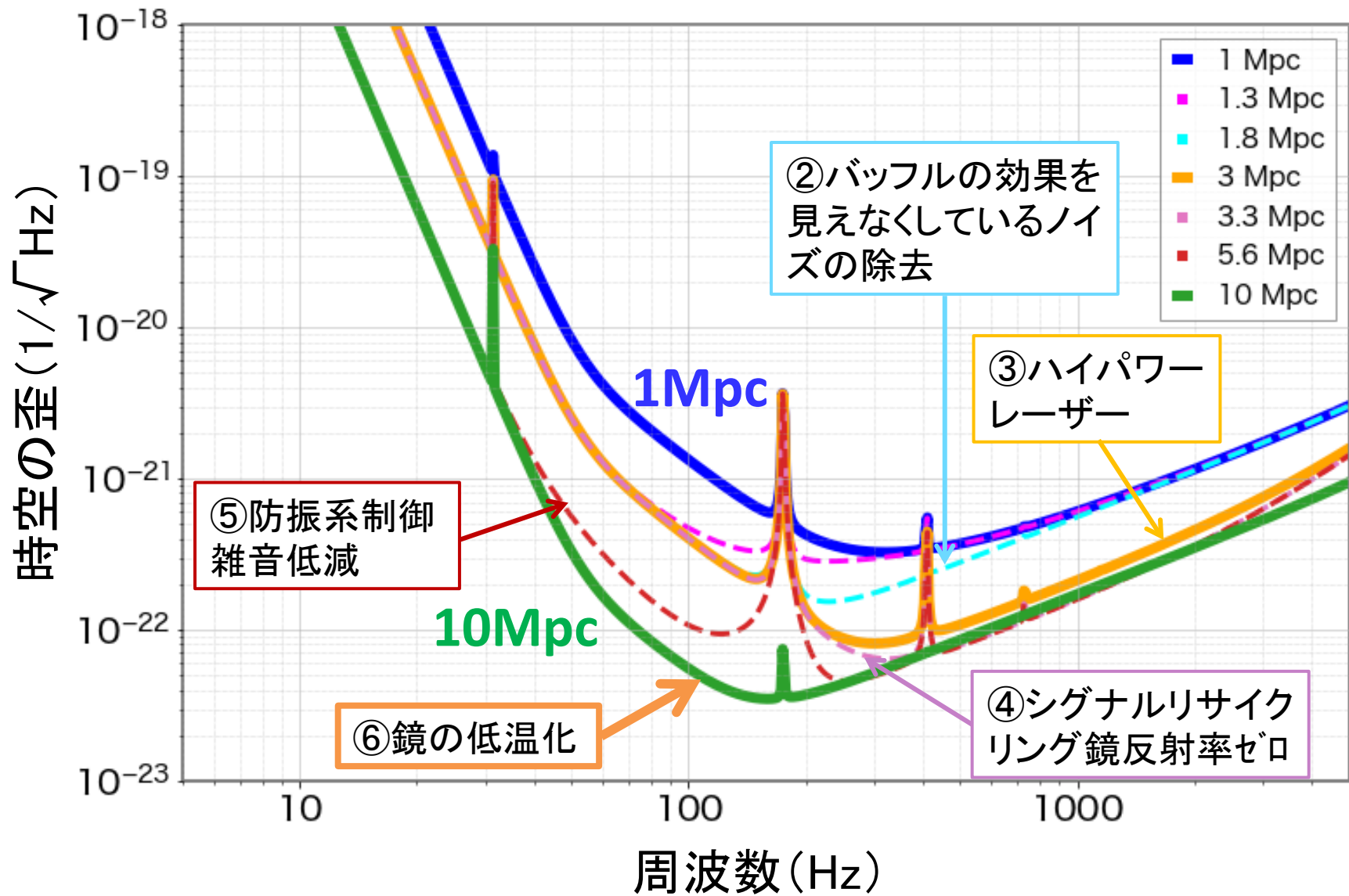
高出力レーザーへの交換

進行中



- 50W程度が出力できるレーザーを富山大で開発し、KAGRA坑内に移設済み。将来は120 Wまで拡張予定。
- 現レーザーよりも1桁程度強度ノイズが小さい。

# 04bまでの雑音の低減



# 飛騨市は地表で震度5弱、KAGRA坑内は3程度を計測



東茂住地区のKAGRA

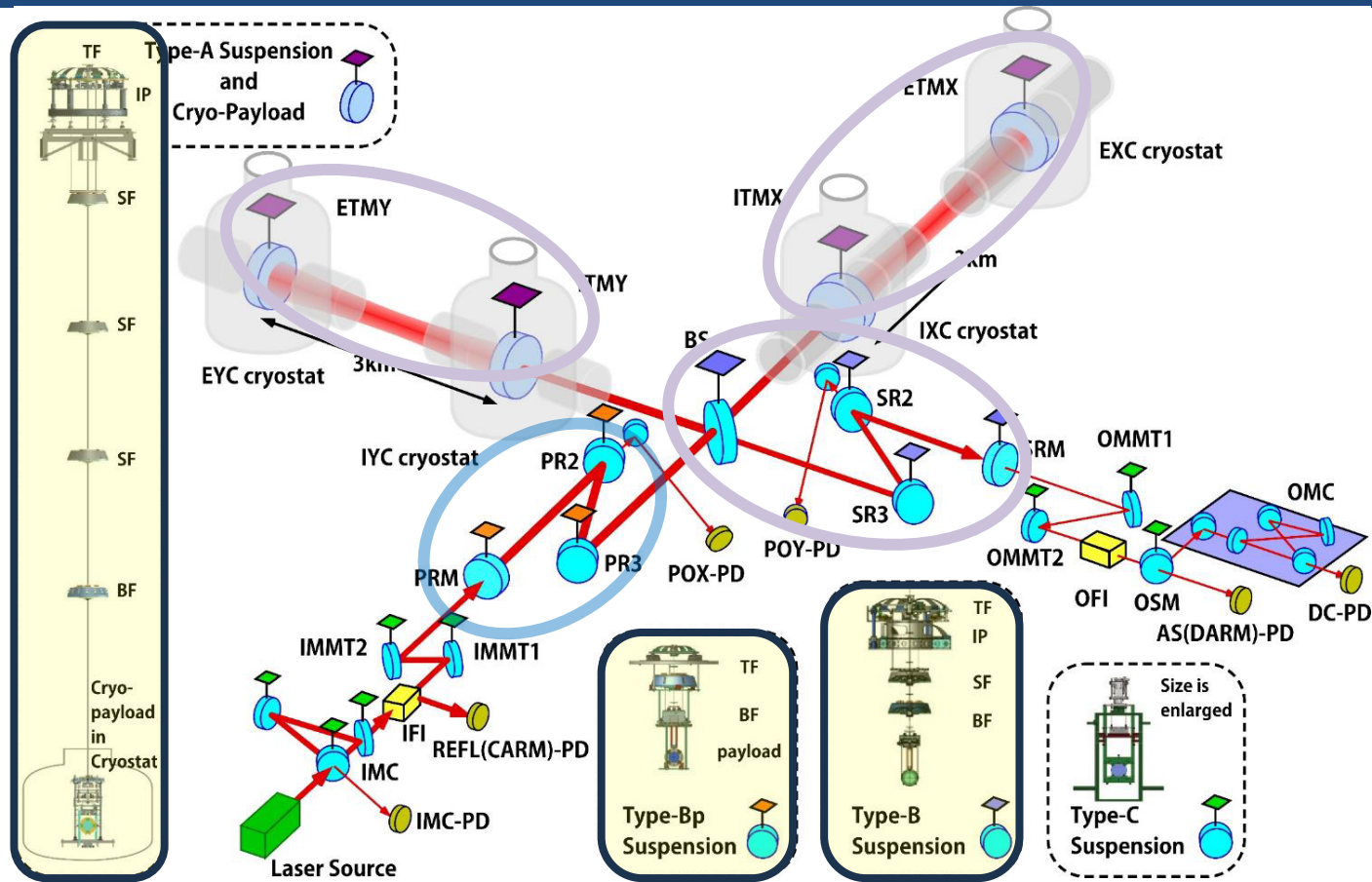
データ収集解析棟

部屋の状況

- 飛騨市・高山市付近での過去の大きな地震
  - 1909年 8月14日 M6.8【姉川(江濃)地震】震度3
  - 1944年12月 7日 M7.9【 東南海地震 】震度4
  - 2011年 2月17日 M5.5【岐阜県飛騨地方】震度3~4
  - 2023年 5月 5日 M6.5【能登半島地域】震度2~3
  - 2024年 1月 1日 M7.6【令和6年能登半島地震】震度5弱(赤字は、KAGRAを調整運転していた期間)  
震度5弱は、飛騨市付近では、この100年で最大震度と思われる。
- 「能登半島地震、地面が4m隆起、約6000年間で最大規模か」との報道(1月16日)
- 国土地理院の公表では、この一帯(神岡近くの電子基準点(細入,古川,神宝))でそれぞれ北西に2~3cmの地殻変動(<https://www.gsi.go.jp/common/000254115.pdf>)。

# 不具合の分かっている鏡防振懸架装置

Mirror	
MCi	X
MCo	X
MCE	X
IMMT1	o
IMMT2	o
PRM	X
PR2	X
PR3	X
BS	o
SR3	o?
SR2	o?
SRM	o?
OMMT1	o
OMMT2	o
OSM	o
OMC	?
ITMX	?
ITMY	?
ETMX	X
ETMY	?

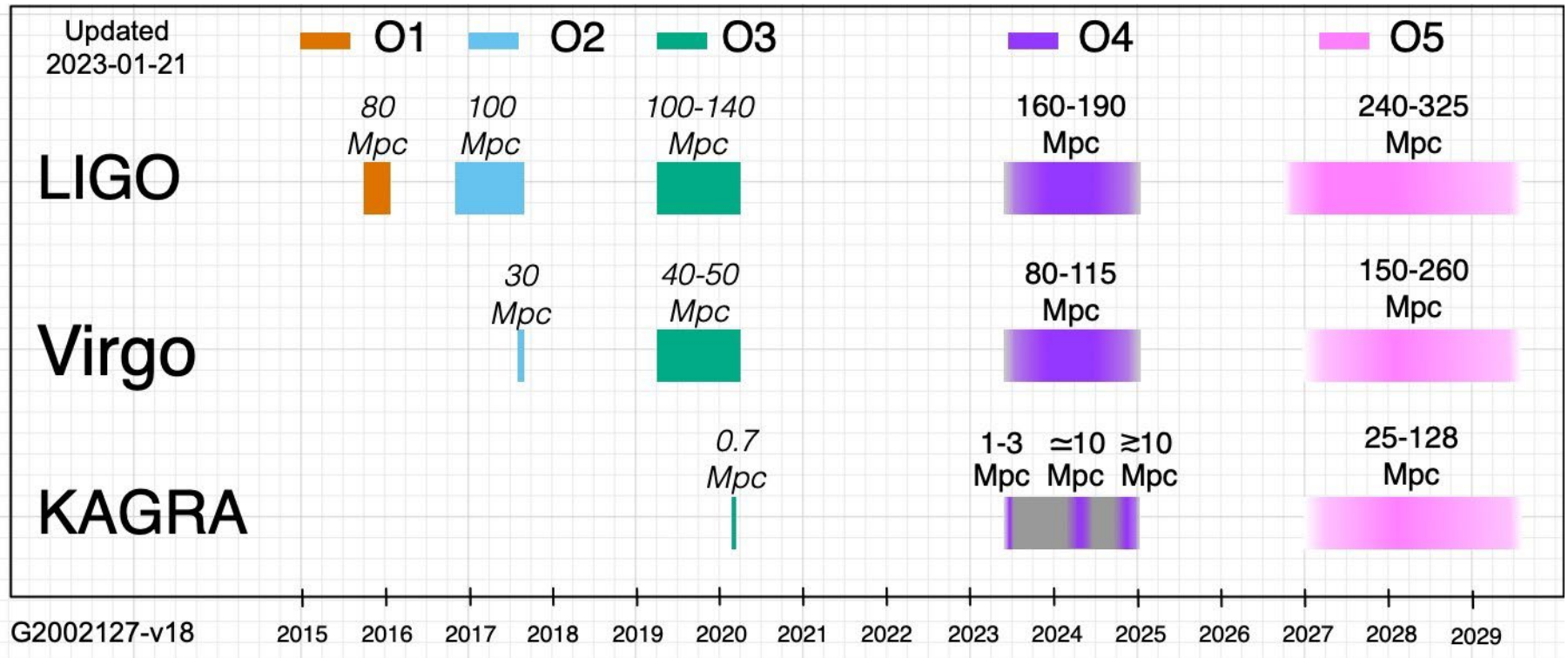


- 症状：(青○) のPRM (Power Recycling Mirror), PR2, PR3の3基で、
  - PR2, PR3は姿勢をリモート操作で元に戻せなくなった。
  - PRMは、鏡の姿勢自身がどうなっているかの情報自体が得られなくなった。
- 対応：真空を暴露し、目視確認ののち、再度、姿勢や位置の調整。約2カ月程度の工程を要すると見積もる。
- (紫○)の部分に関しても、一部調査が進んでいるが、本格的調査はこれから。

# KAGRAの性能向上と観測の状況

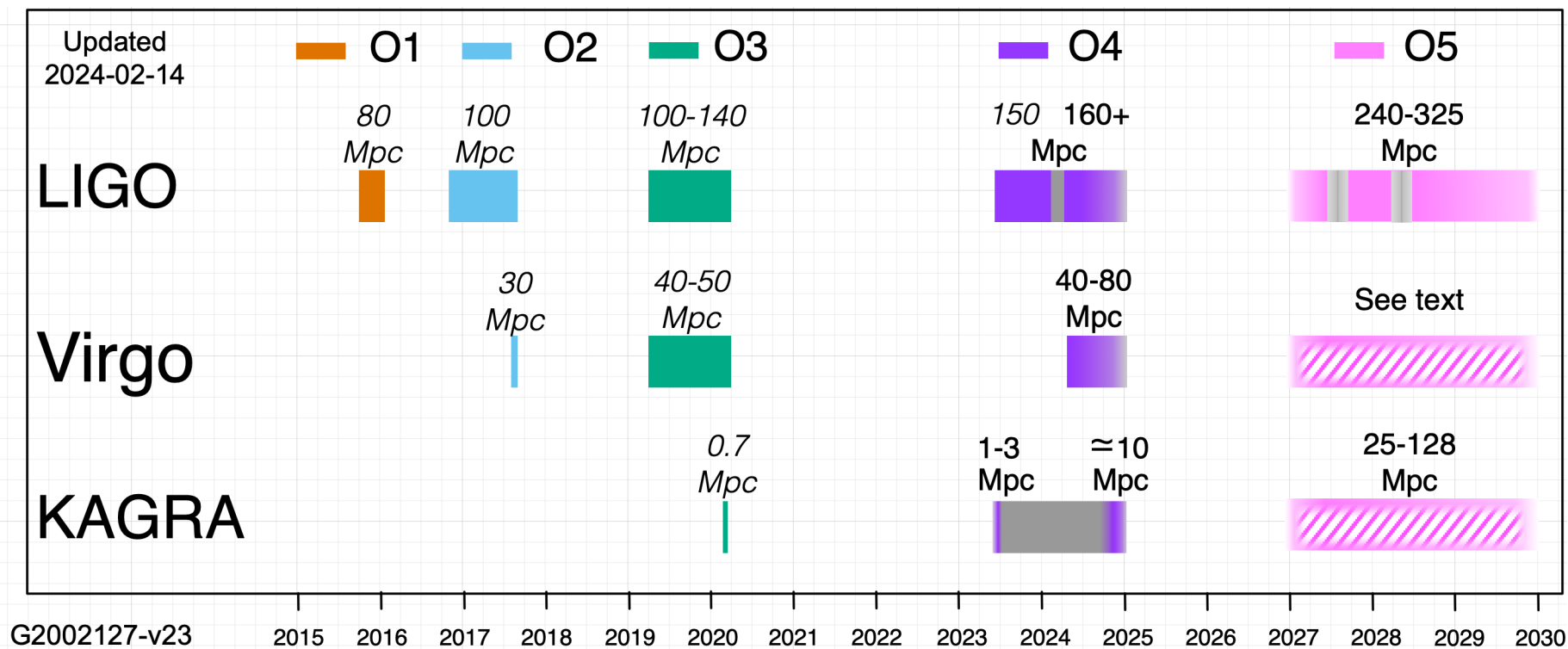
- 2020年5月より、性能向上のための改修作業を開始
  - ・ コロナ禍と重なり、活動自身の抑制、物品の納期長期化等の世の中との共通因子により、LIGO、Virgoとの第4回重力波観測の開始も再三延期。
- 2023年5月24日 (UTC:15:00) より、LIGO、Virgoとの第4回目の重力波同時観測が開始
  - ・ KAGRAは4週間観測を継続した。
  - ・ 感度は、1.3Mpc離れたところで起こる連星中性子星合体からの重力波を信号対雑音比8で観測できる感度。
- 2023年7月より観測網から離脱し、さらなる性能向上作業に入る
  - ・ Output Mode Clear 部分の散乱光雑音低減対策と防振強化対策 → 雑音低減に寄与
  - ・ 鏡の姿勢の制御の高性能化 → より安定的な望遠鏡の運転に寄与
  - ・ 鏡の低温化（約85Kまで4枚の鏡を冷却する） → 熱雑音の低減に寄与
  - ・ 鏡の防振懸架装置の制御の低雑音化 → 制御雑音の低減に寄与
  - ・ 機器の安全対策の強化 → より安定的な望遠鏡の運転に寄与
- 2023年12月より、感度を取得しての上記作業による雑音低減効果の本格的な確認作業を開始（改修都度後の感度確認も7月から11月まで行っている）
- 2024年1月1日のM7.6の今回の震災で、数か月の日数がかかる回復作業が発生
- 2024年3月末頃から観測網へ再参入する予定だったが、不可能となった

# 1年前のLVK観測予定スケジュール





# 最新のLVK観測予定スケジュール



# KAGRAの今後

防振装置等を復旧し、観測可能な状態にするには半年以上かかる見込みですが、来年1月まで続くO4b観測のどこかで再参加するつもりです。

その後は、現在サファイアミラーの交換等を行いさらに感度をあげて、O5観測に向かいます。