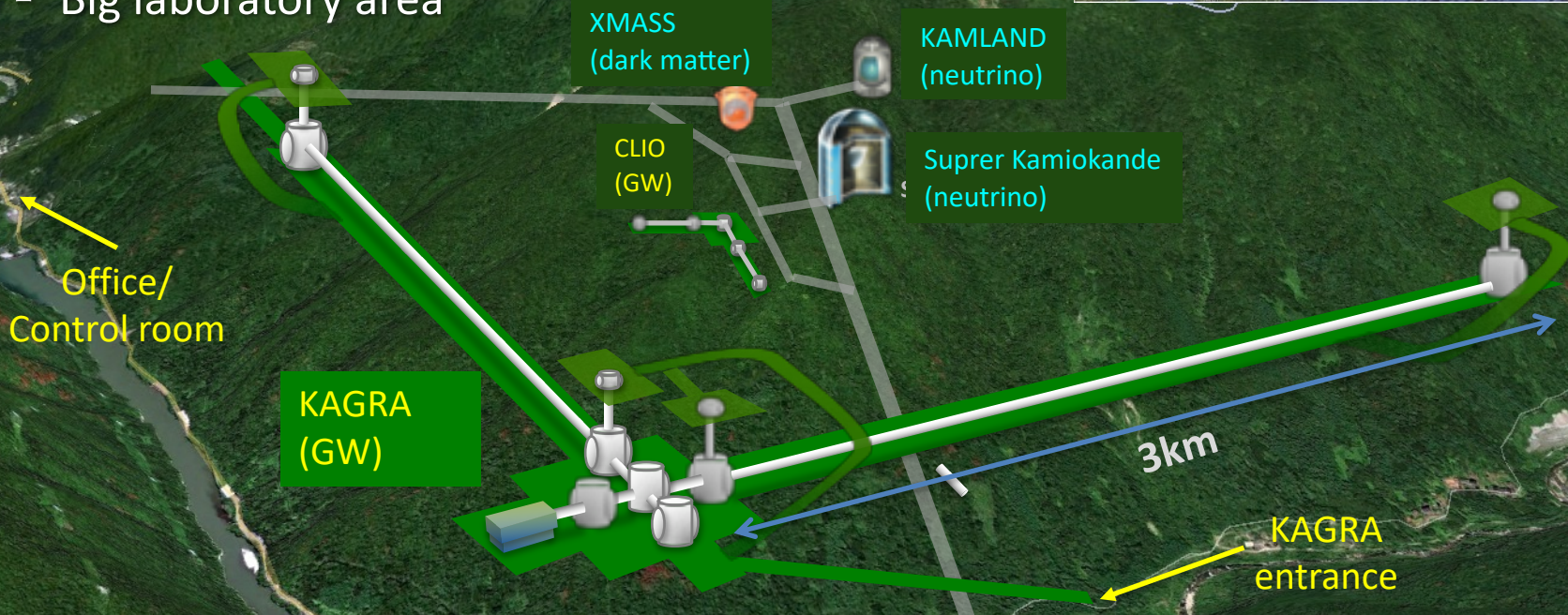
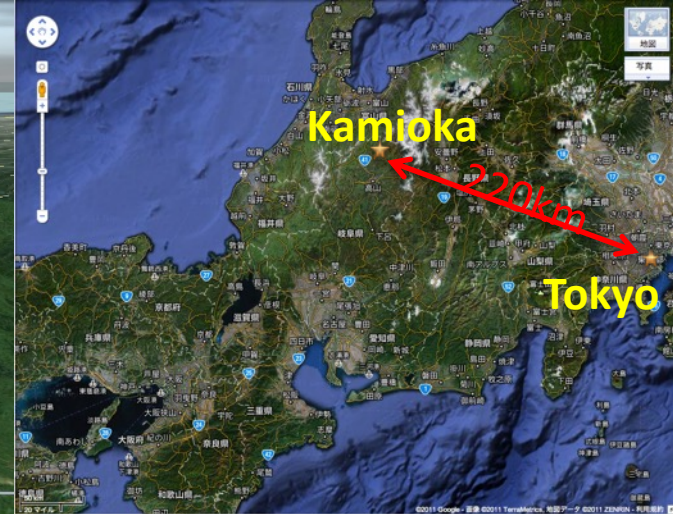


低温大型重力波検出 KAGRAのコミットショニング

2019年7月10日
木曾シュミットシンポジウム2019

東京大学宇宙線研究所
宮川 治
for KAGRA collaboration

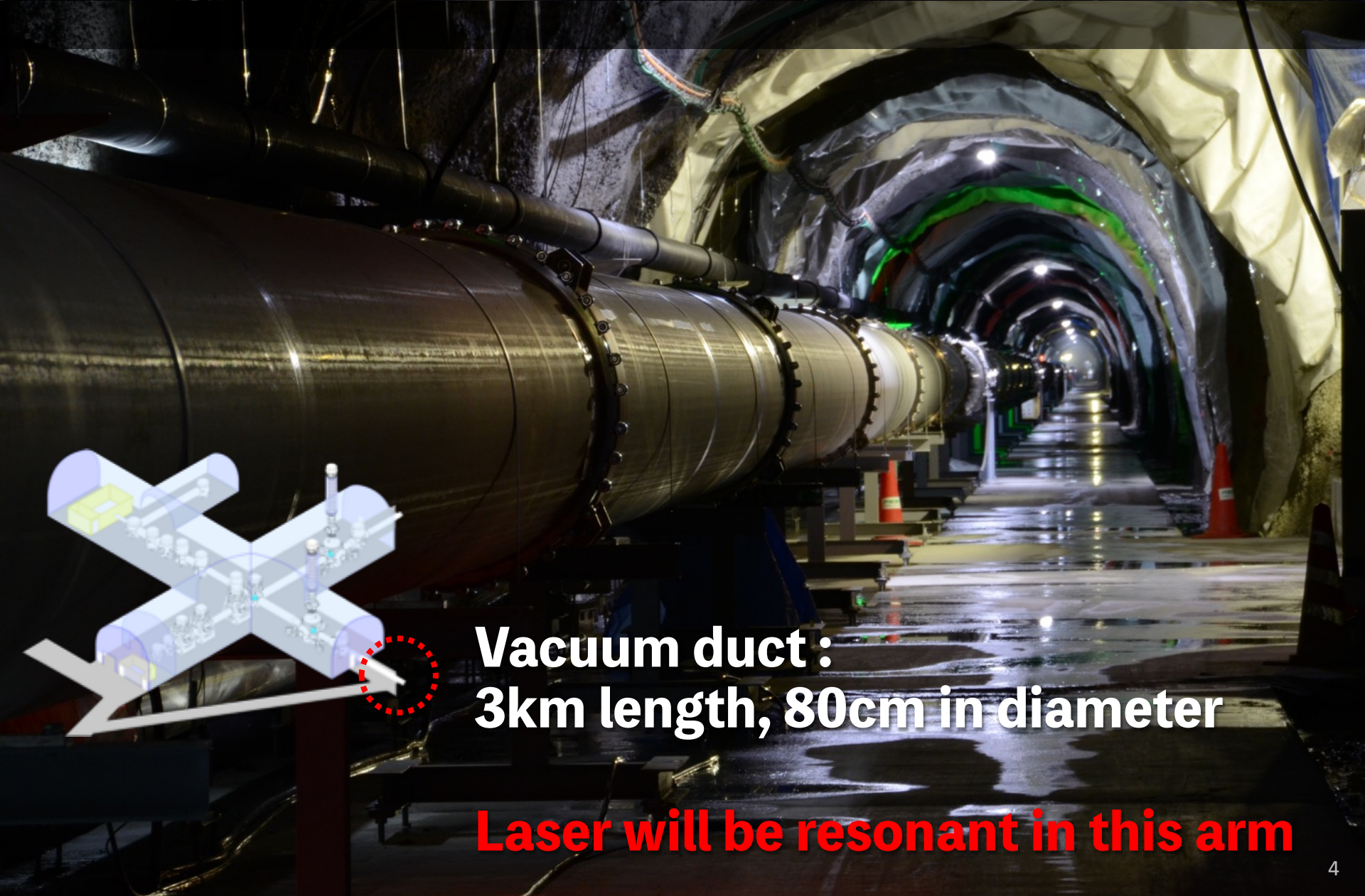
- KAGRA is located in Kamioka mine underground
 - 220km away from Tokyo
 - 360m altitude
 - Big laboratory area



センターエリア



X-Arm



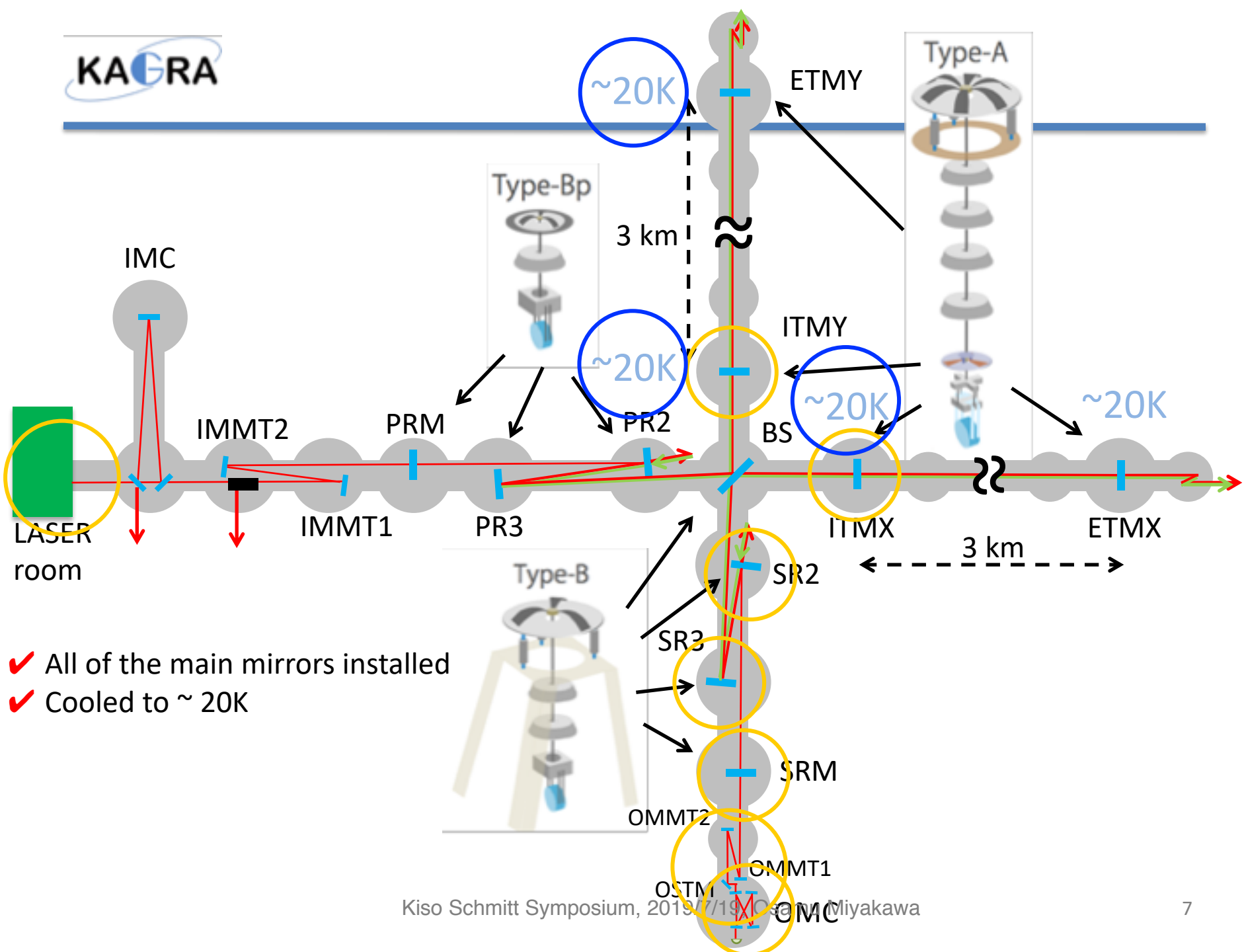
**Vacuum duct:
3km length, 80cm in diameter**

Laser will be resonant in this arm

X エンドエリア



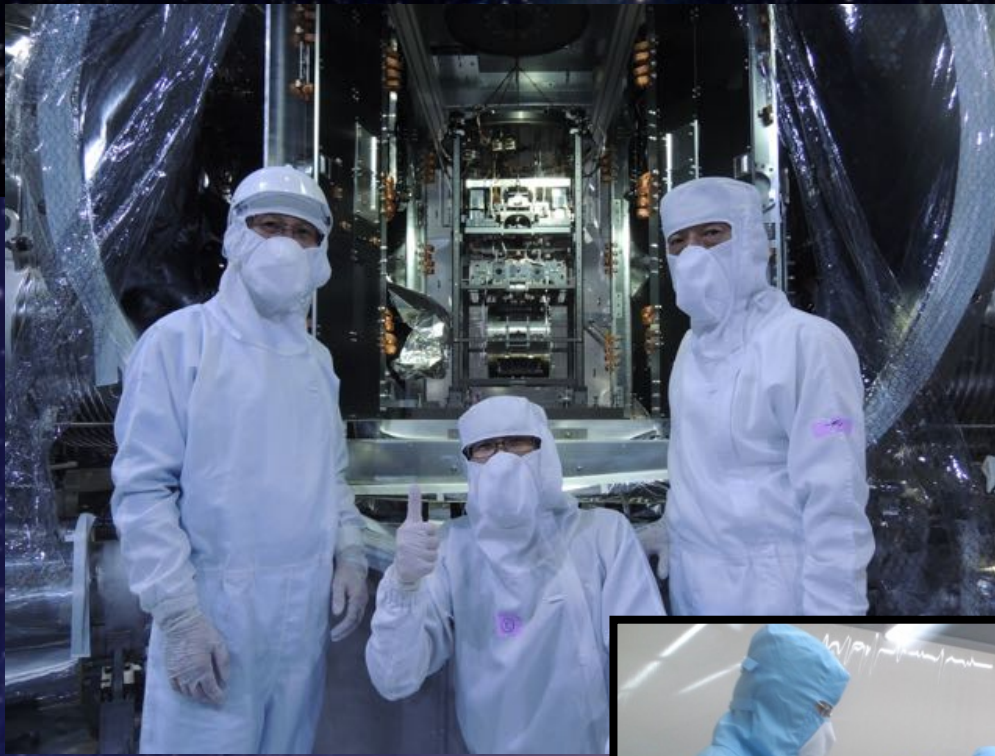
- 一年前は一つの鏡が冷え、3km先の二つの鏡だけを利用したテスト運転ができていた。
- ここ一年で各サブシステムのインストールはほぼ完了。
 - 4つのメイン鏡と付随する防振系、冷却系
 - ハイパワーレーザー、出射光学系
 - 制御系ソフトの整備
- これらを使ったコミッショニングが昨年秋頃から始まった。



- ✓ All of the main mirrors installed
- ✓ Cooled to ~ 20K

CRYO

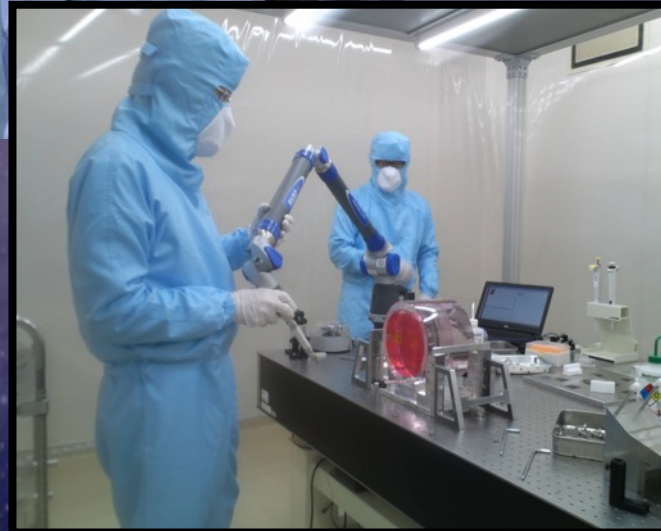
Bonded mirror is integrated
Into the cryo-payload
And the type-C suspension
at the site



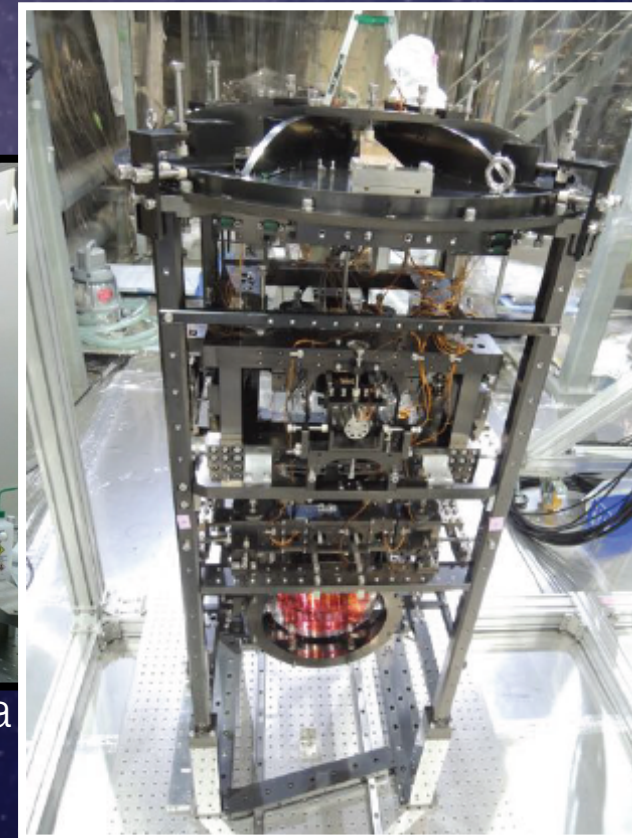
All the sapphire mirrors
has installed
in Nov 2018

ITMX and ITMY

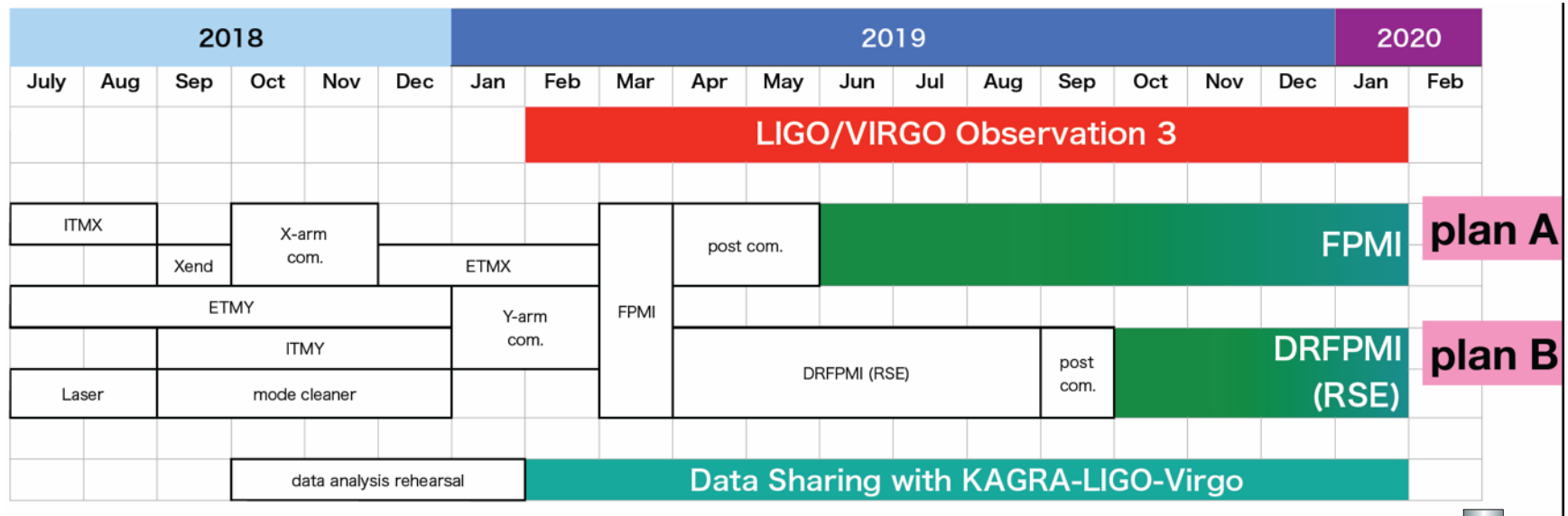
Pictures from K Yamamoto



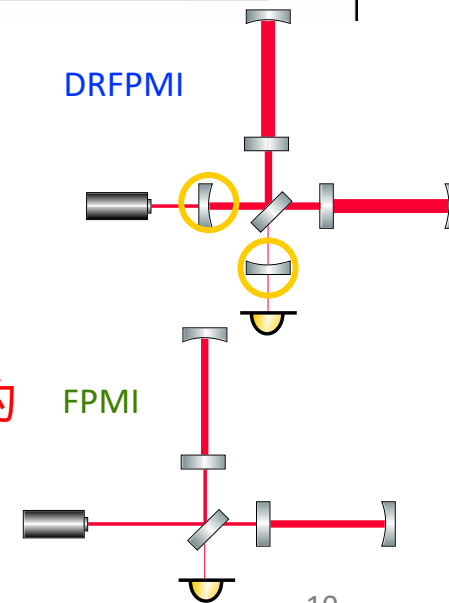
Ears were bonded at Toyama



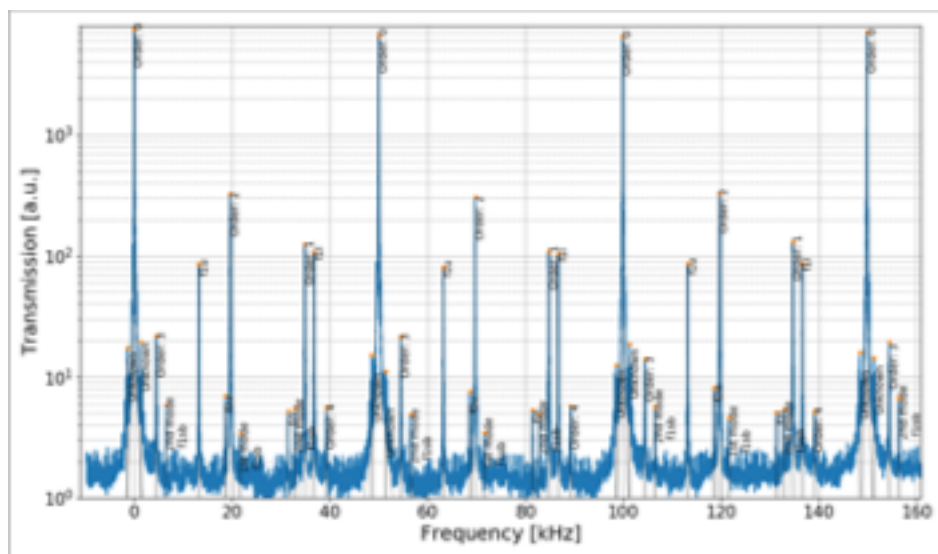
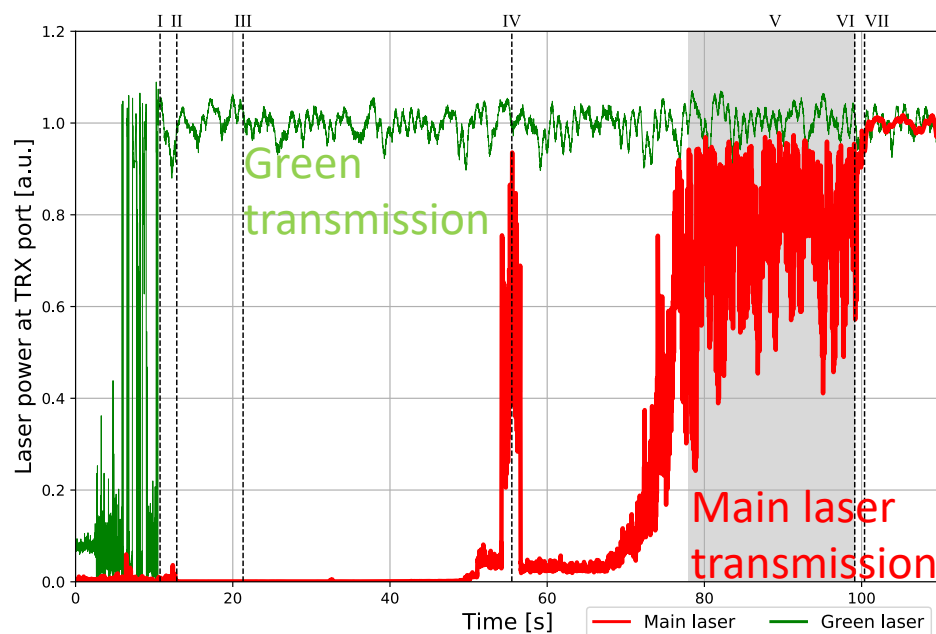
- LIGO-VIRGOの観測O3に参加するのが至上命題。
- O3自身はもう始まっている。
- KAGRAはもともと秋に参加の予定だったが、少し遅れていて、今年中の参加を目指している。
- 現在KAGRAはどこまで出来ているか？
 - 苦勞しています。

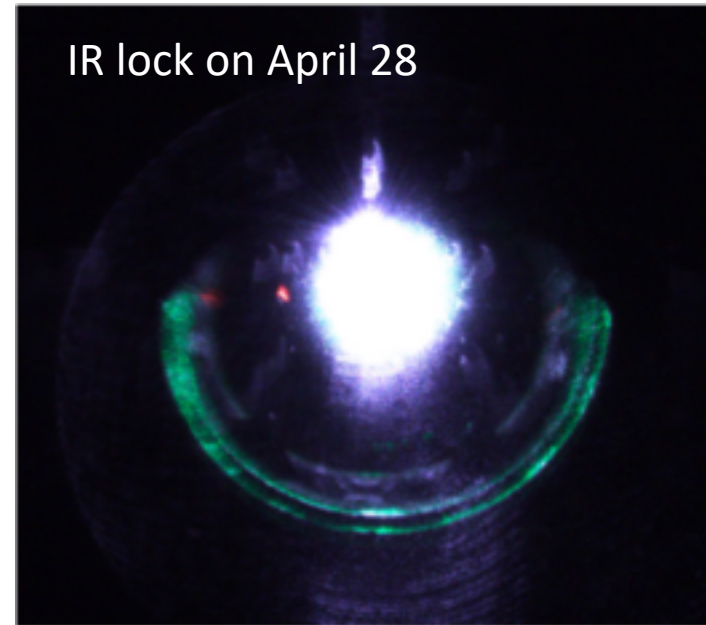


- 複雑な光学設計で大変だけれども感度のいいDRFPMI(Dual Recycled FPMI)
- シンプルな光学設計で簡易だけれども感度に限界があるFPMI (Fabry-Perot Michelson)
- 両方ともO3に参加するための最低限のライン10MPcは**原理的には**出そう。
- いずれも雑音を落とす「ノイズハンティング」期間が必要。



- 昨年10月、X armの動作(ロック)に成功
 - 昨年12月、ロック用のグリーンライトからメインレーザーへの切り替えテスト完了
 - 続いて、メインレーザーの直接ロックも完了
- 最長連続ロック時間は1日以上
- この時点で特に大きな問題はなかった。
 - キャビティースキャン
 - キャビティ内ロス測定
 - 防振系性能



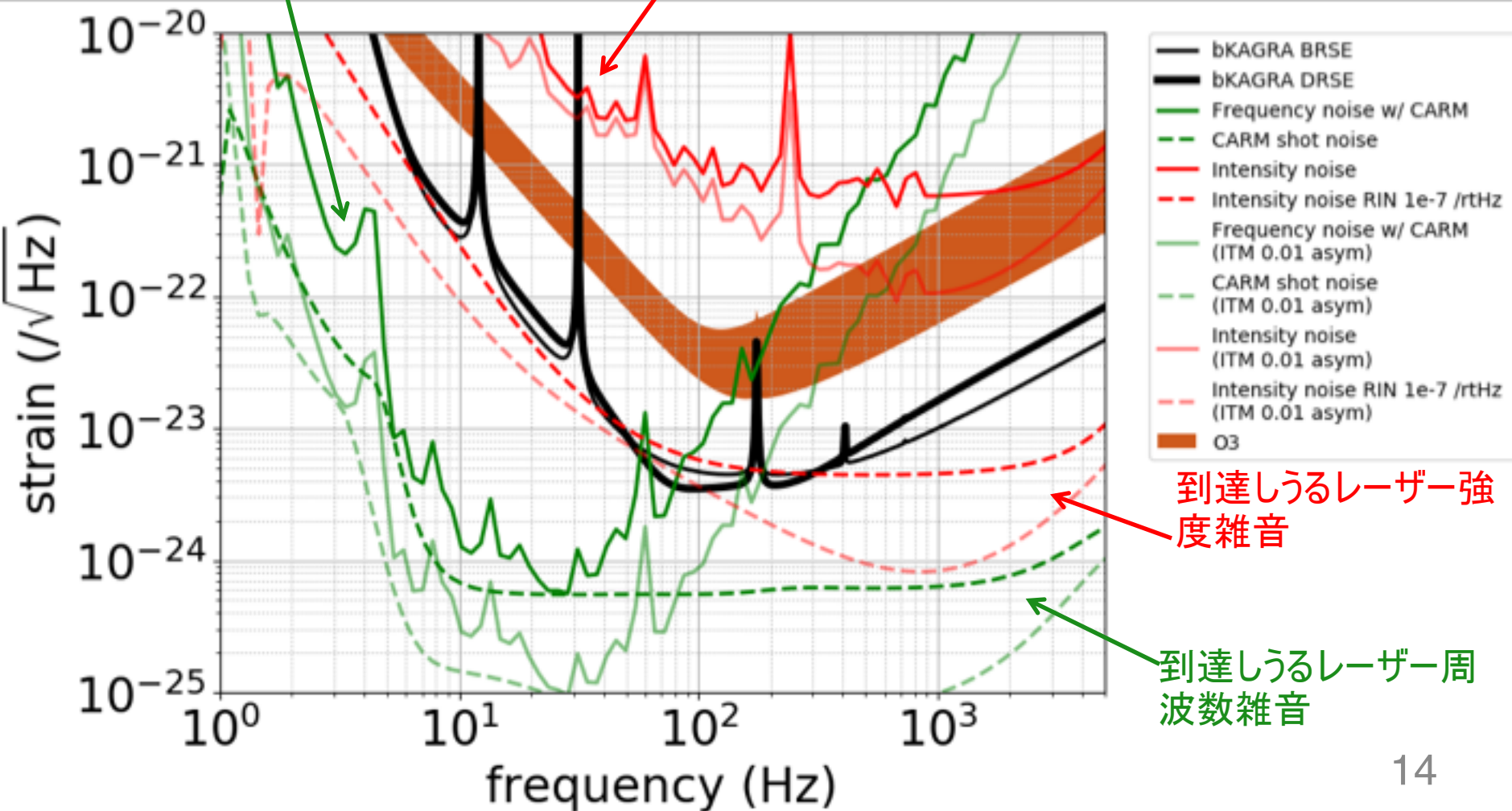


- 2月頃から**防振系のトラブルが続発**
- それでも4月17日にX armが再び動作
- 続いてすぐ4月18日にY armがロック用のグリーンレーザーでロック
- 4月28日にY armがメインレーザーの**周波数にフィードバックしてロック完了**
- 次はいよいよY armのエンドの**鏡にフィードバックしてのロックを目指す**
 - **でもこれが5月末まで頑張ったがうまくいかない**

- Finesse(3kmの光の折り返し回数)にX armとY armで**10%もの差**が出てしまった。
 - X arm finesse 1440:
ITMX transmission + losses = 0.436 %
 - Y arm finesse 1300:
ITMY transmission + losses = 0.484 %
- Input Test Mass(手前側の入射鏡)の**成膜がおかしくて**、透過率に10%もの差があることが判明。
 - 2本の腕に入っていく**同相の雑音の除去が難しくなる**
 - もともと100分の1位を想定していたが、10分の1くらいしか期待できなくなってしまった。

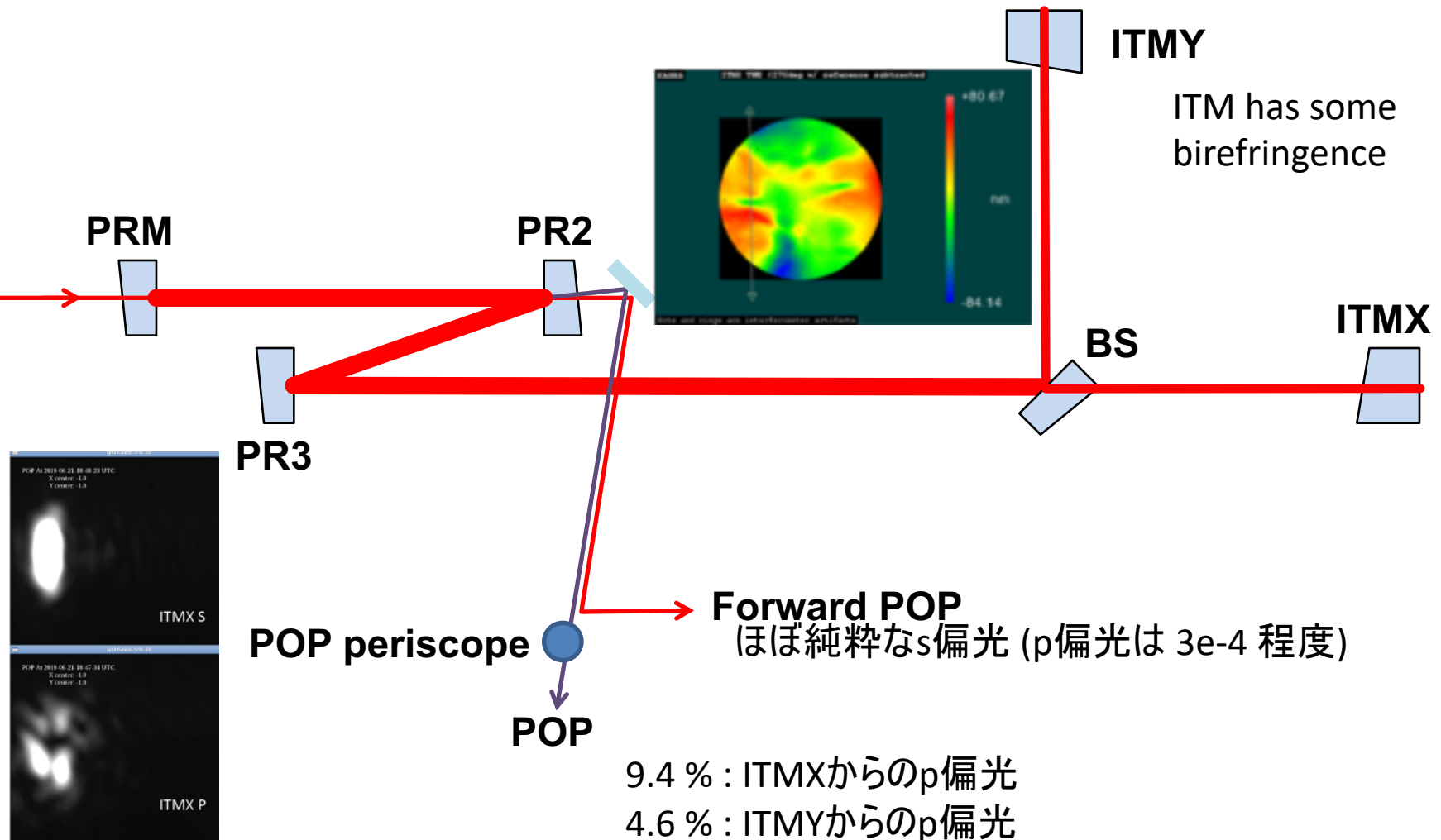
レーザー周波数雑音
ただし今現在の雑音から評価

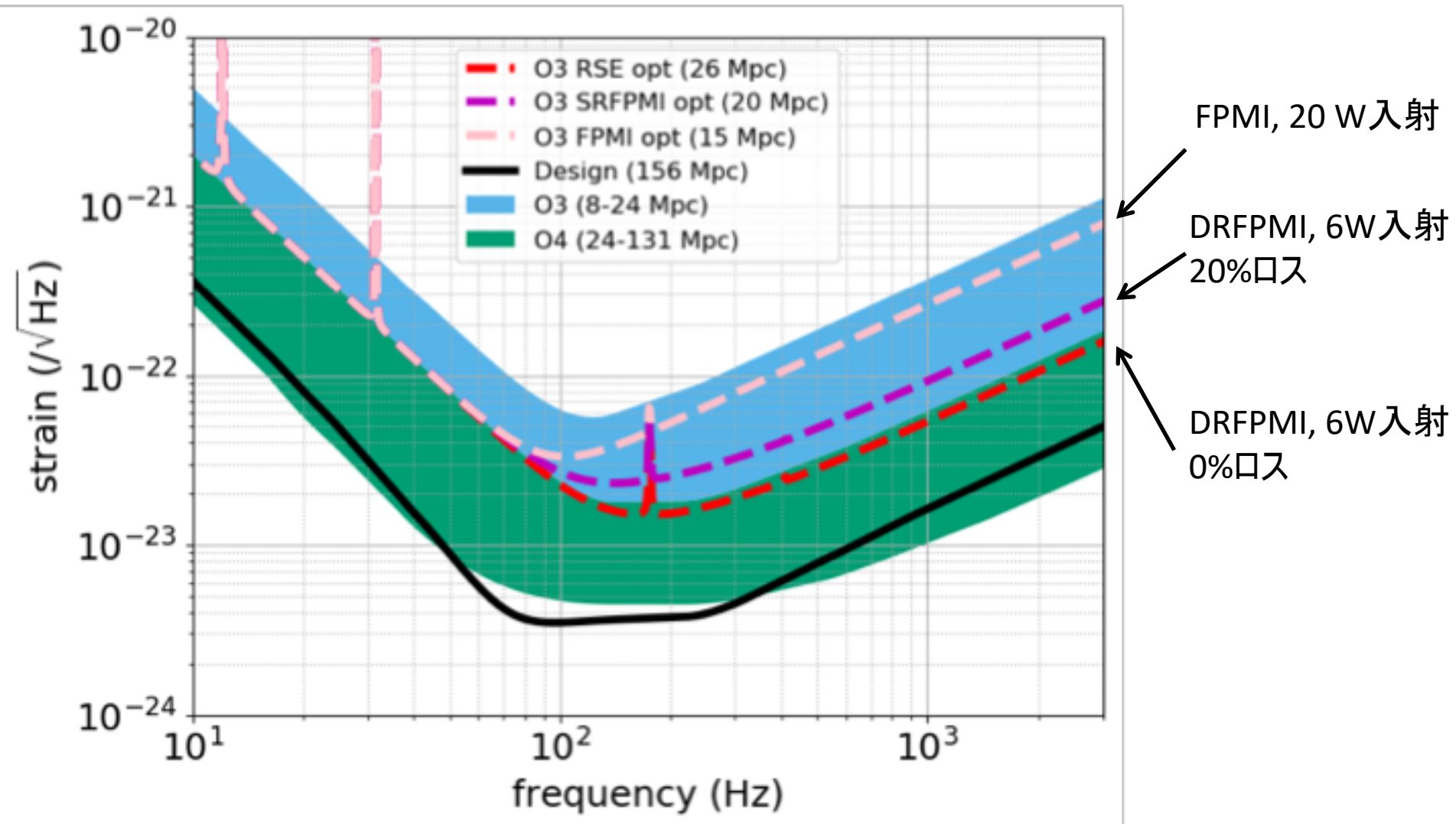
レーザー強度雑音
ただし今現在の雑音から評価



入射鏡での偏光問題

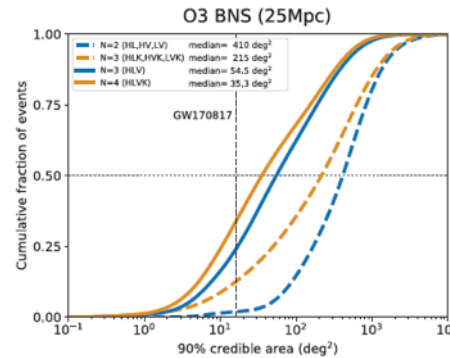
- パワーリサイクリングゲインが3しかなかった(15程度あるはず)
- ロスが25%もあることに！
- ITMに正しいS偏光を入射すると、複屈折により一部P偏光に変わってしまう。



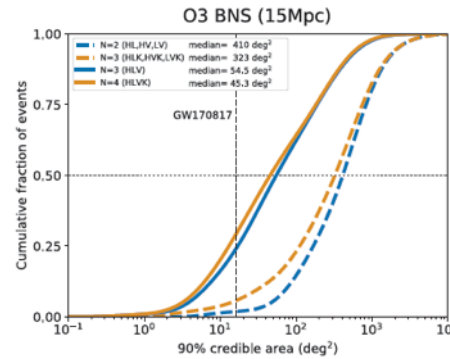


- KAGRAに導入する以前に、十分なテストをしてこなかったツケが今出てきている。
- 各サブシステムがきちんと動けば干渉計は動く。
- 最近の深刻な問題
 1. 手前側の鏡の透過率が10%も違う -> 2本の腕の応答が変わってくる -> 2本の腕に同相で効く雑音の除去が出来ない。
 2. 手前側の鏡のサファイア決勝の非一様性からくる偏光問題。
 3. メインの鏡を吊るす防振系の性能が出ていない。
 4. 最終的に光を綺麗にするOMC(Output Mode Cleaner)の性能が全く出ていない。90%以上の透過率を期待、実測がわずか10%程度。->このままだと感度が出ない->再度真空槽から引き出して光学系のチェック
 5. 鏡がうまく冷えない、温度が下げ止まってしまおう。

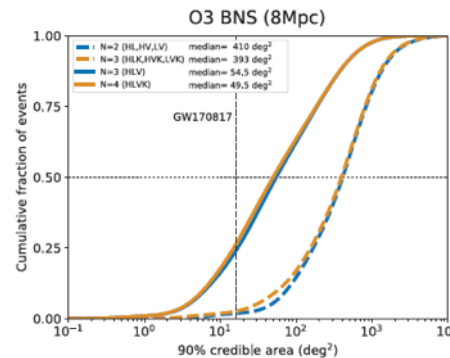
- LIGO 120Mpc、VIRGO 60Mpcを仮定。
- KAGRAは8, 15, 25Mpcの場合を検討
- KAGRAの感度があまり良くななくても、3台から、4台への増加の改善は少ない。
- O3に参加することがものすごく重要。



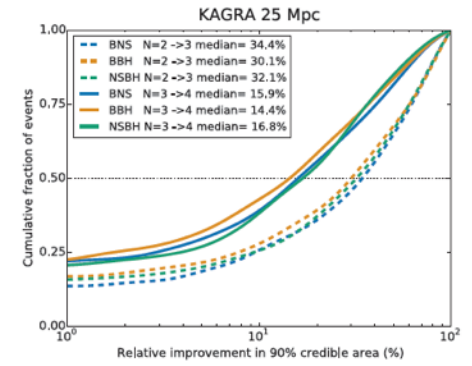
(a) BNS (KAGRA's Range: 25 Mpc)



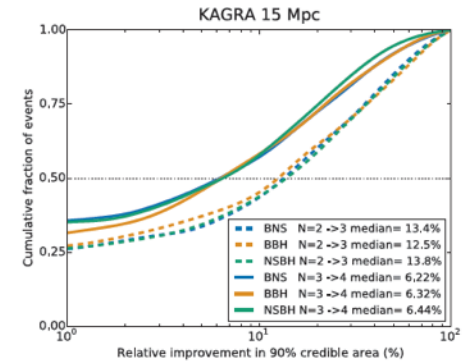
(b) BNS (KAGRA's Range: 15 Mpc)



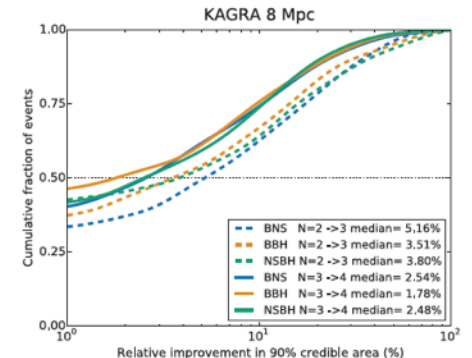
(c) BNS (KAGRA's Range: 8 Mpc)



(a) KAGRA's Range: 25 Mpc



(b) KAGRA's Range: 15 Mpc



(c) KAGRA's Range: 8 Mpc

- KAGRAは現在コミッショニングが進んでいるが、やっと組み始めの最初の問題が出てきたような状況。
- LIGOでいうと初ロックから感度出し始めの1999-2000年くらいの状況に相当か。
- これから半年くらいでLIGOの2005年くらいの状況まで持っていかななくてはならない。
- 個人的にはシンプルなFPMIにして(恐らくそれでも問題が残るので)ノイズハンティングに時間をかけるべきと考えている。
- O3への冬までの参加を目指し、日本での重力波の初検出を目指す。