

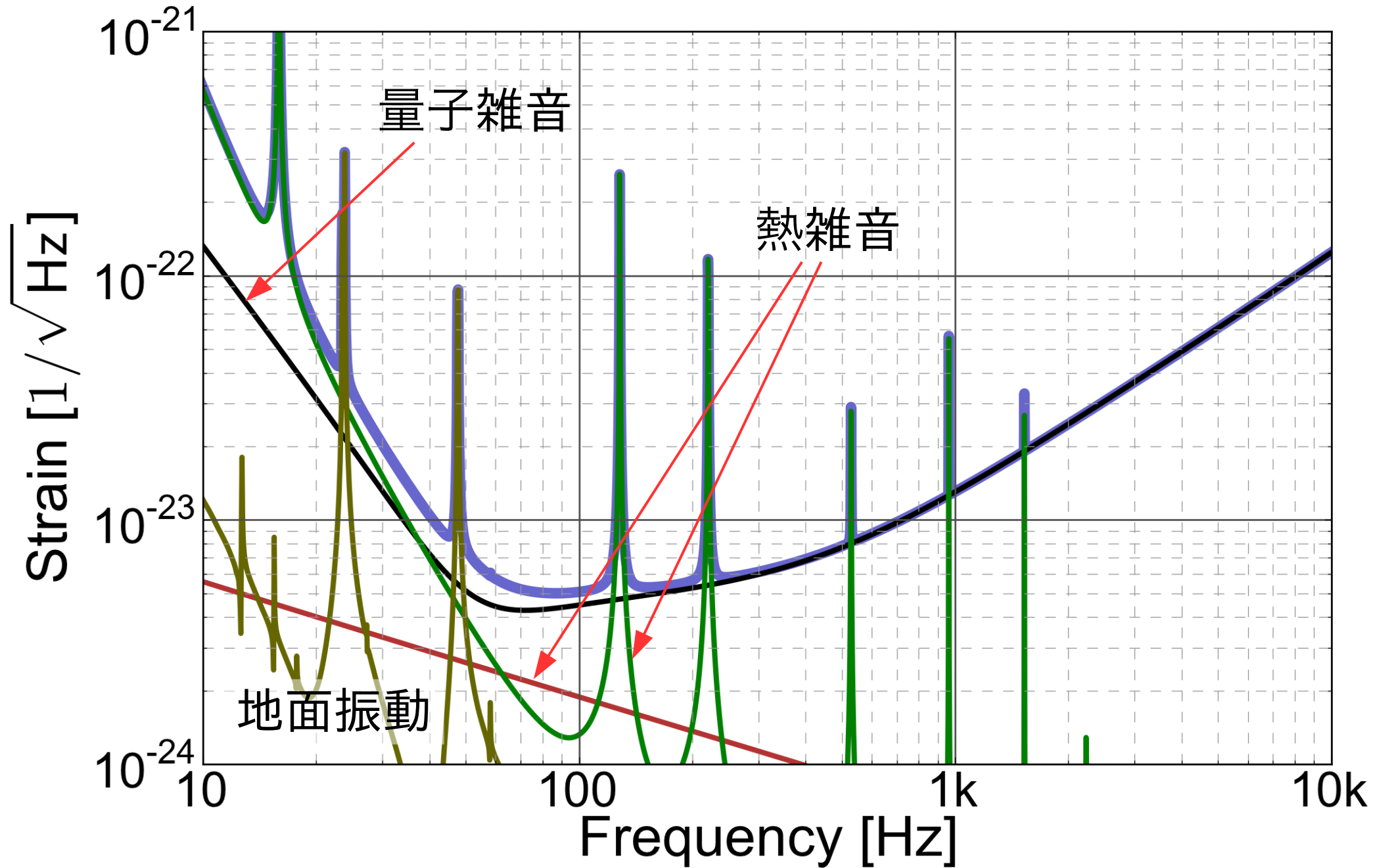
地上干渉計型重力波検出器の 現状と今後の展望

国立天文台 重力波プロジェクト推進室
麻生洋一

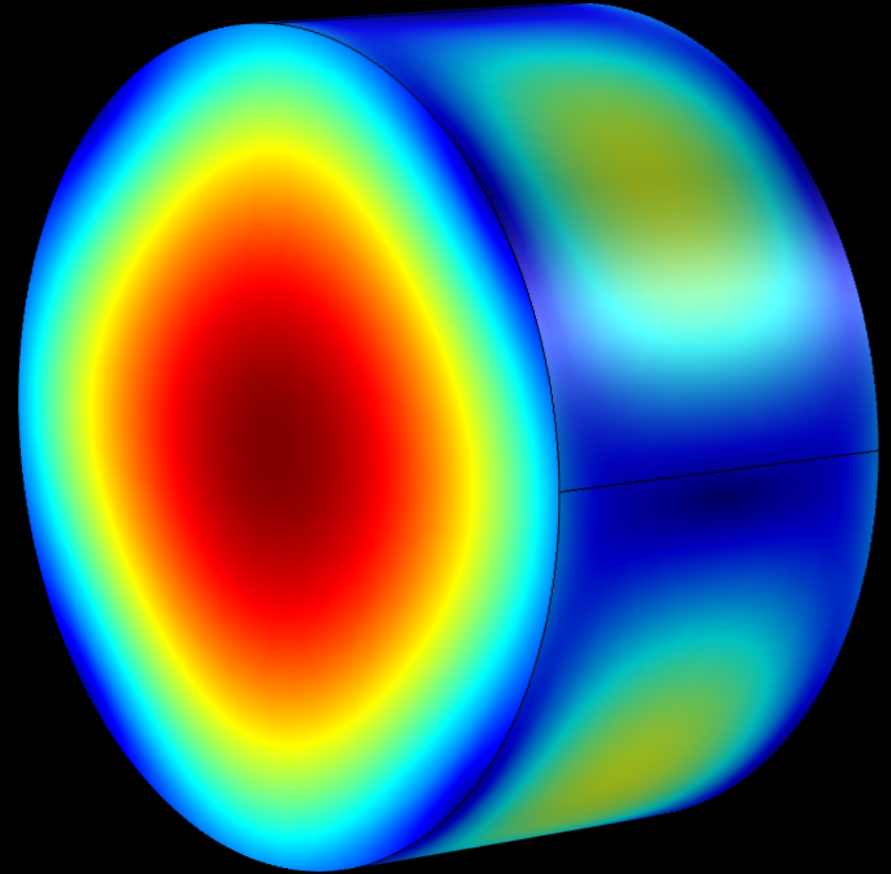
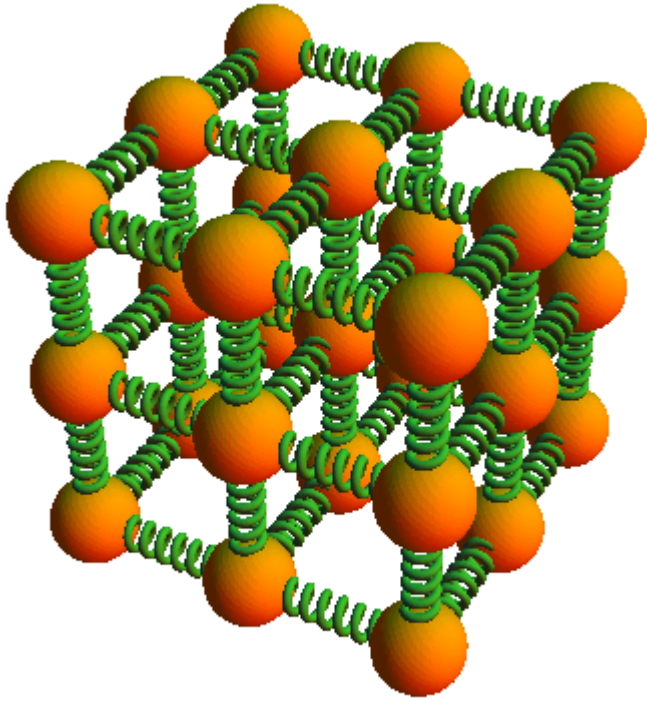
2016/9/23 日本物理学会2016年秋季大会@宮崎大学
シンポジウム: 重力波で探るブラックホールと重力理論・相対性理論の検証

- 今後必要となる干渉計技術
- 世界の検出器の現状
- 将来計画

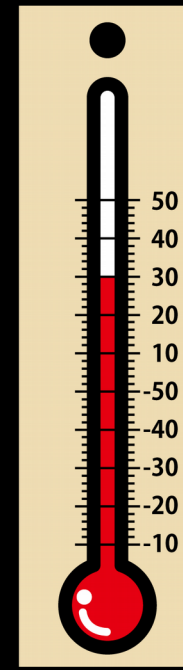
KAGRAの設計感度



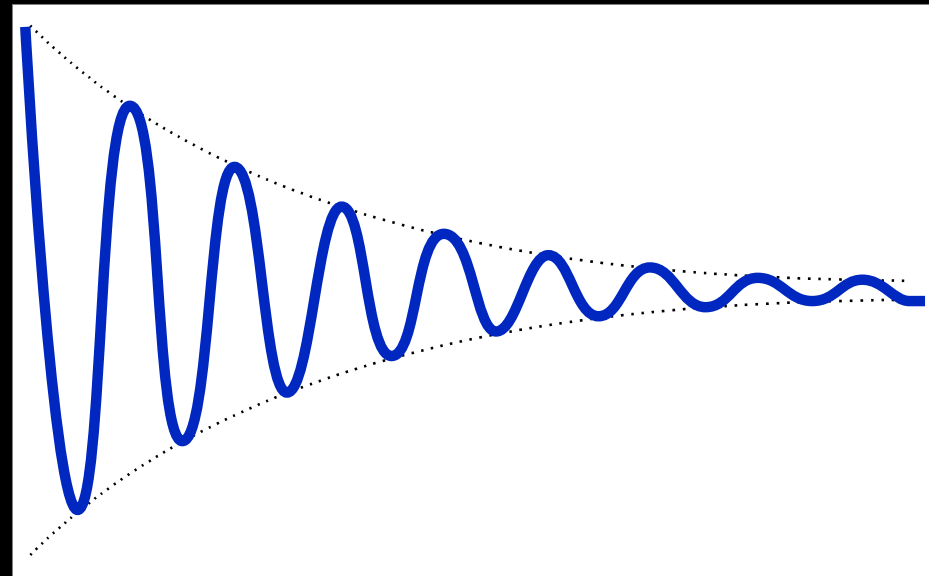
熱雑音



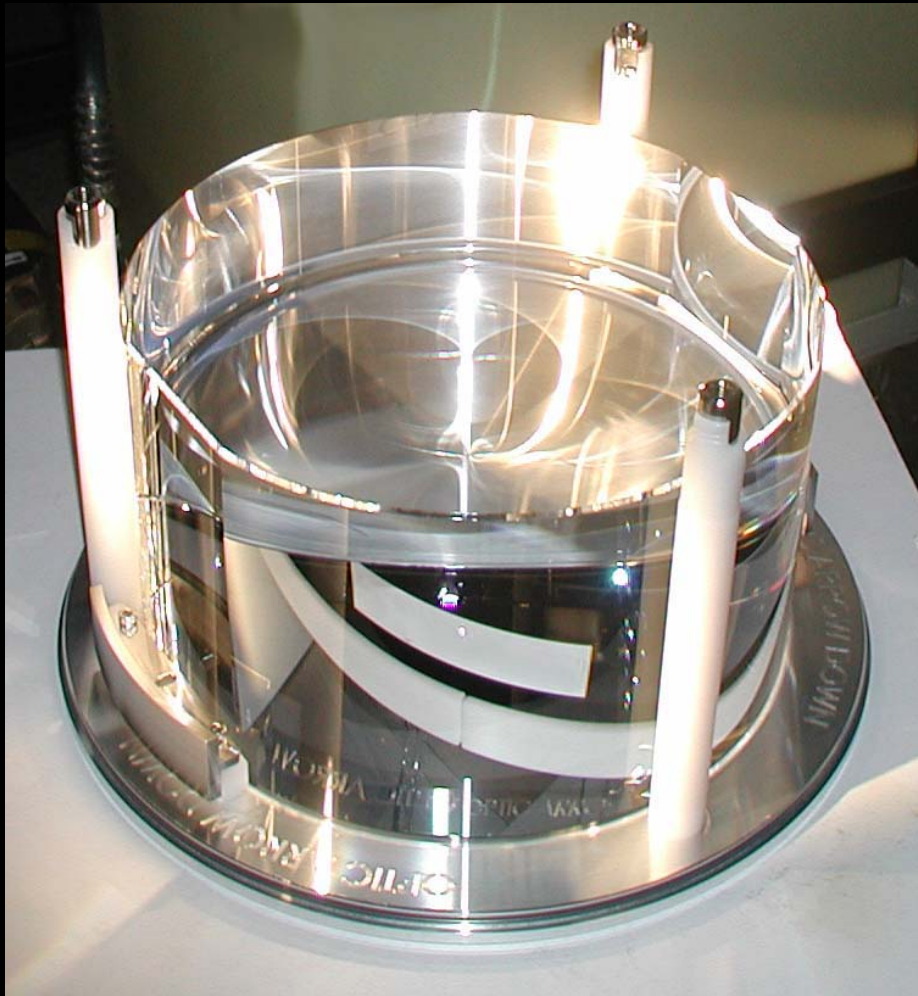
温度



機械的エネルギー損失



Fused Silica



Sapphire

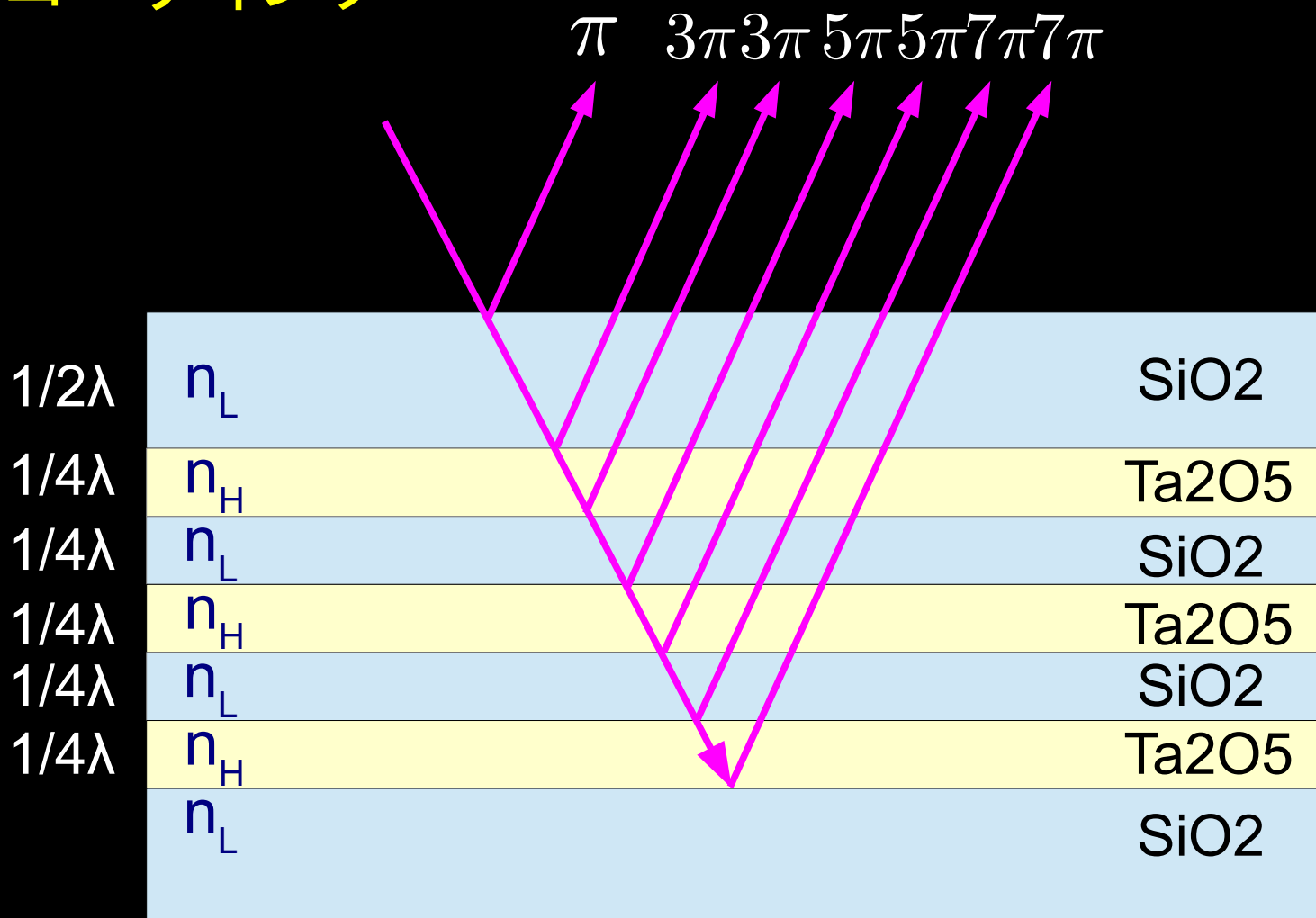


機械損失の低い物質

高反射率コーティング

1/4λ スタック

$$n_L < n_H$$



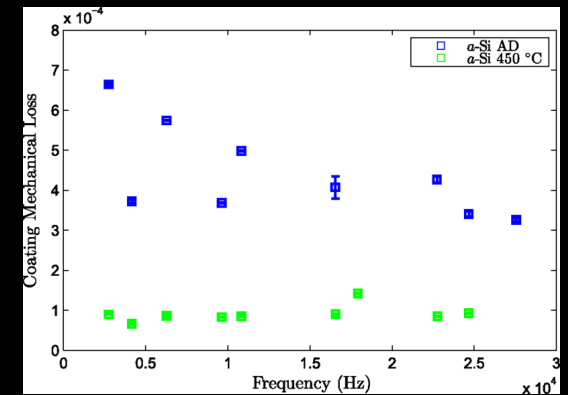
コーティング材質: 機械的Q値が悪い, 光が直接当たる場所

→ 熱雑音レベルを決めている

機械損失の少ないコーティング

タンタラ層に酸化チタンをドーピング

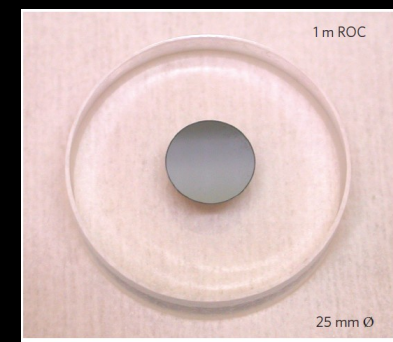
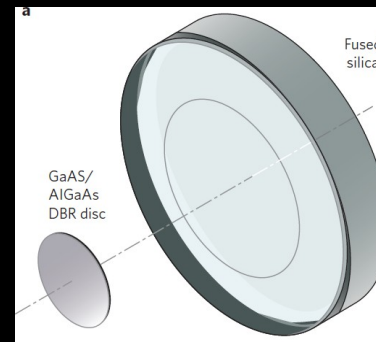
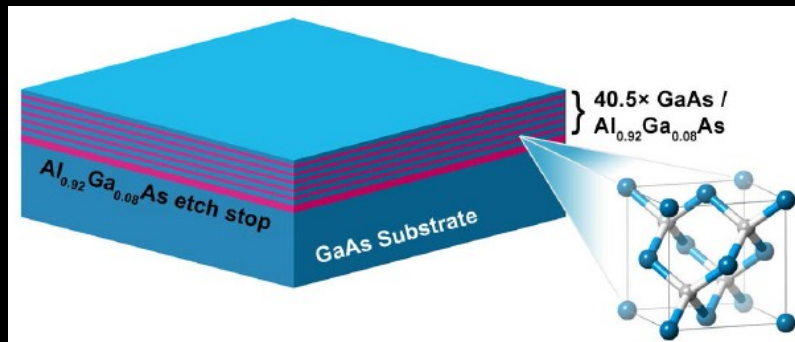
タンタラ層の代わりにアモルファスシリコンを使う



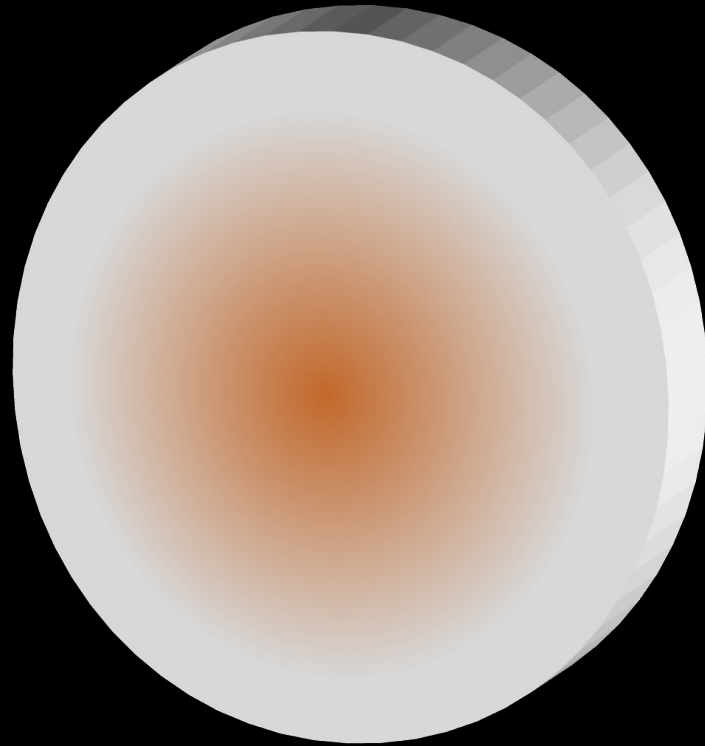
Phys. Rev. D 92, 062001

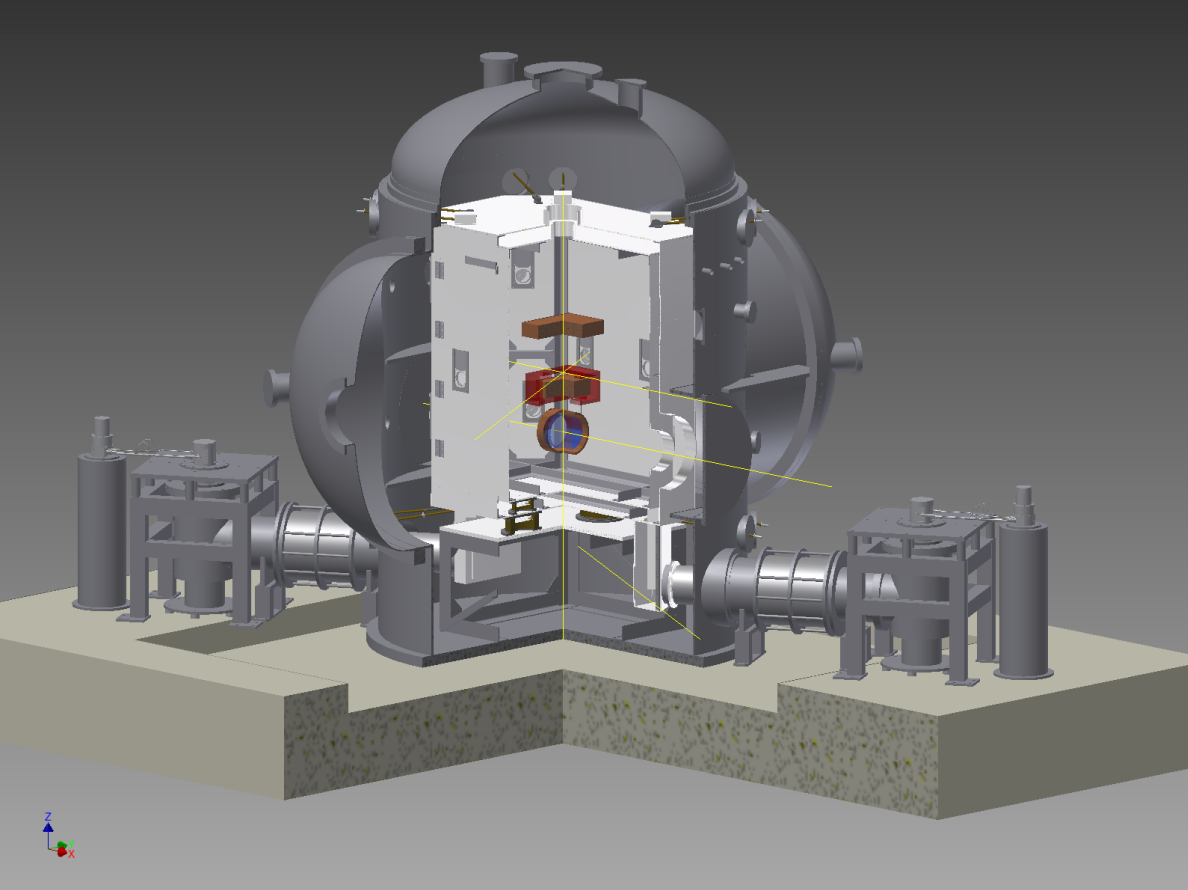
結晶性コーティング

G.Cole et al. Nature Photonics 2013



ビームサイズを広げる



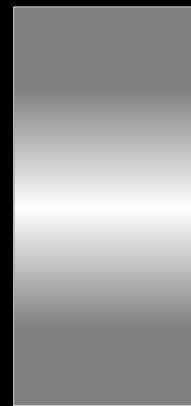
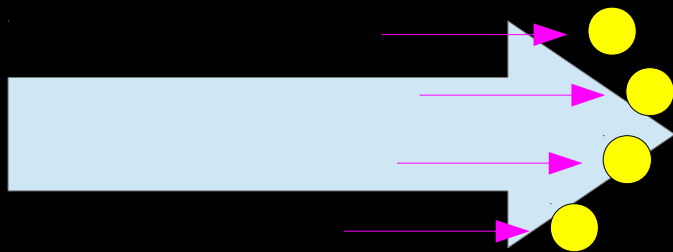


温度を下げる

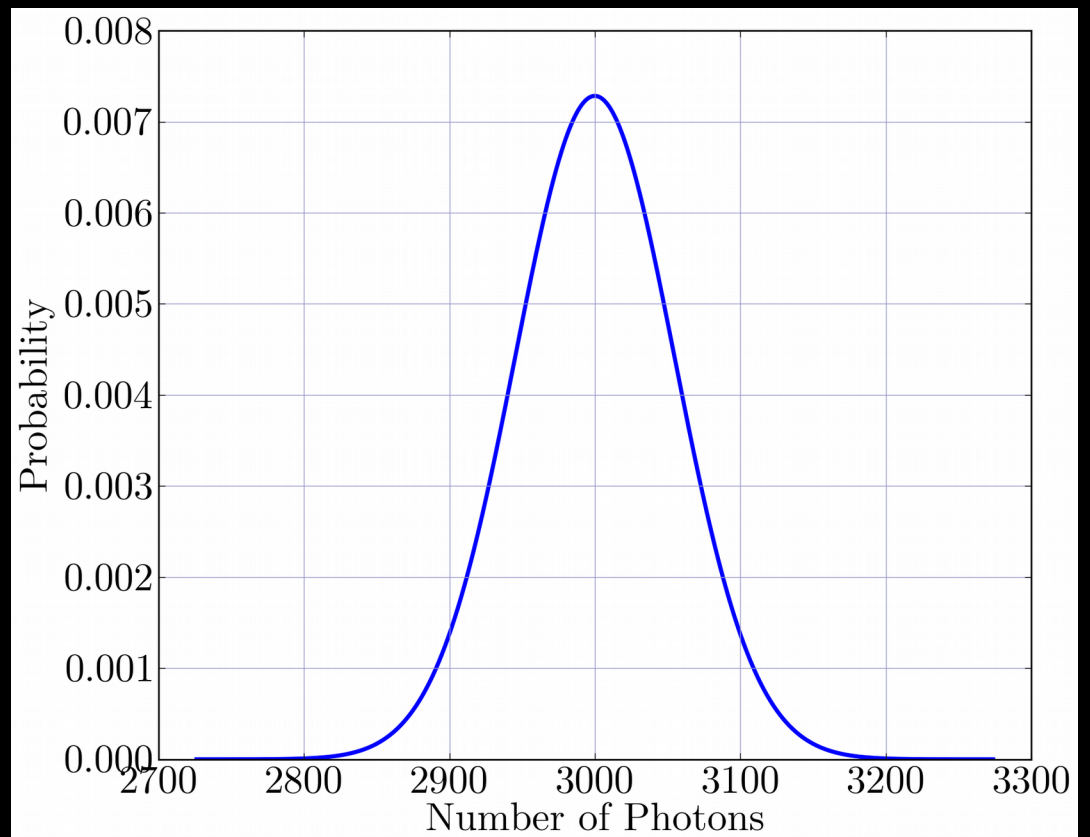


量子力学的雜音

ショットノイズ



光検出器



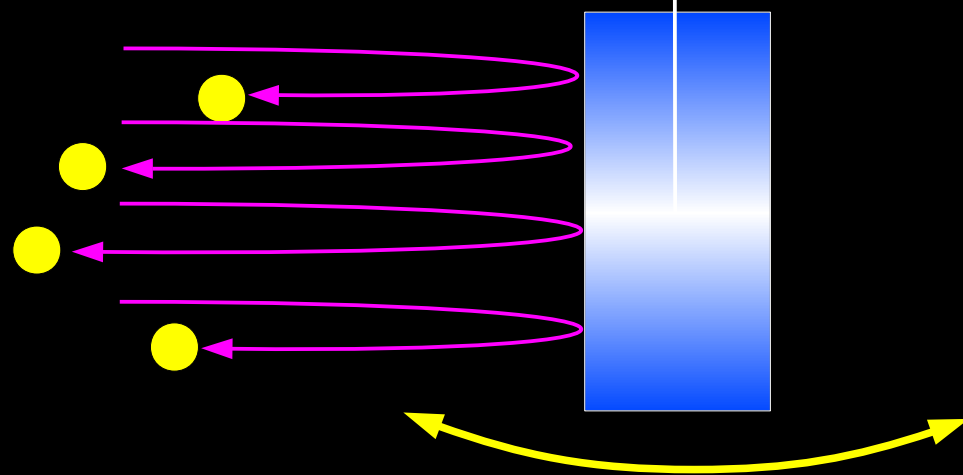
$$\text{信号} \propto P$$

$$\text{雑音} \propto \sqrt{P}$$



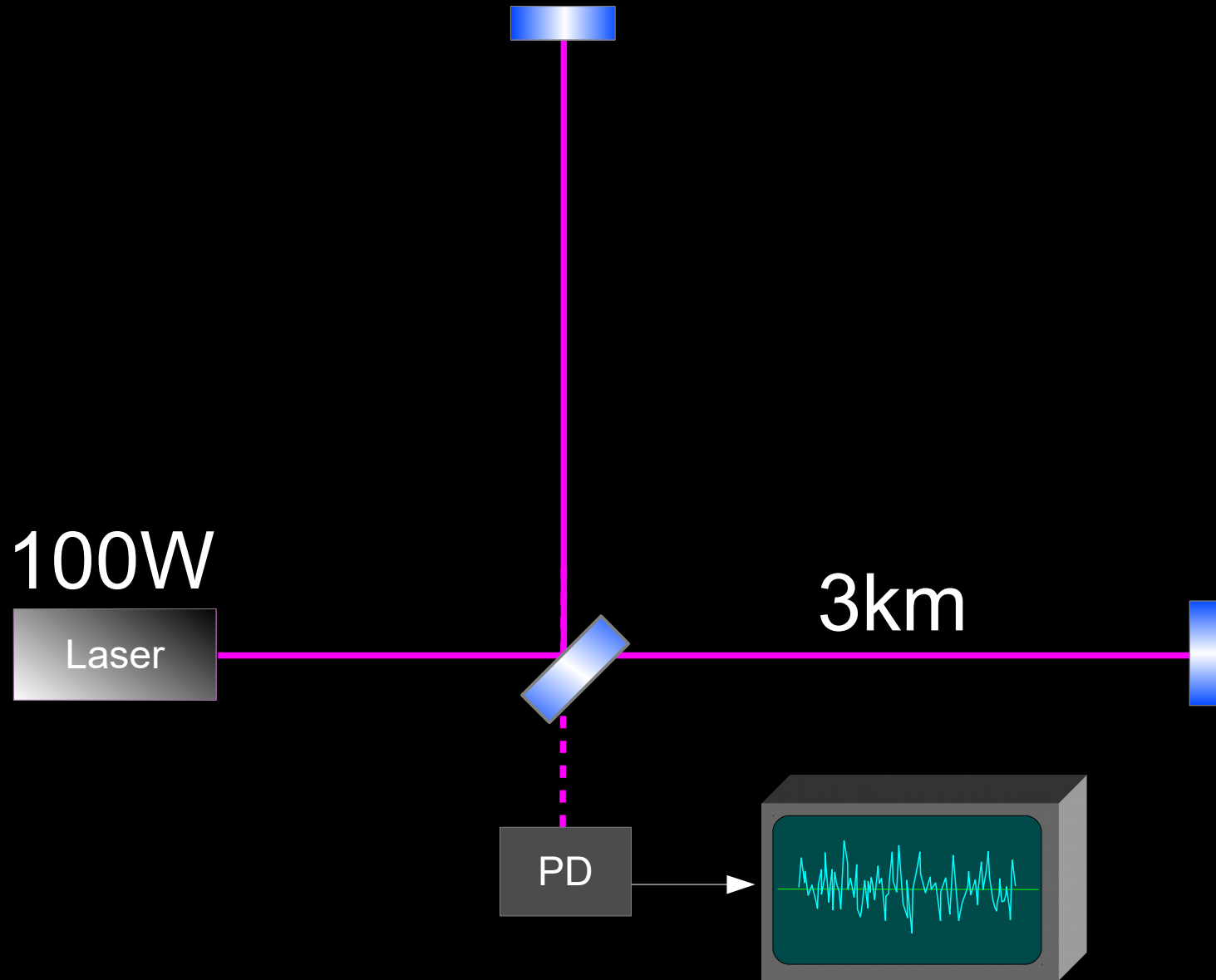
$$\frac{\text{信号}}{\text{雑音}} \propto \sqrt{P}$$

量子輻射压雑音



$$\frac{\text{信号}}{\text{雑音}} \propto 1/\sqrt{P}$$

マイケルソン干渉計



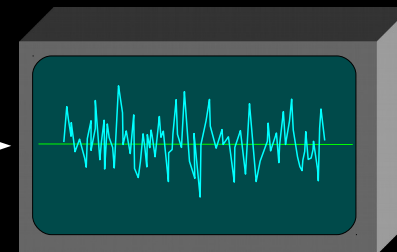
$$h = 2 \times 10^{-21}$$

実際のレーザー干渉計型
重力波検出器
(Resonant Sideband Extraction型)

100W

Laser

PD



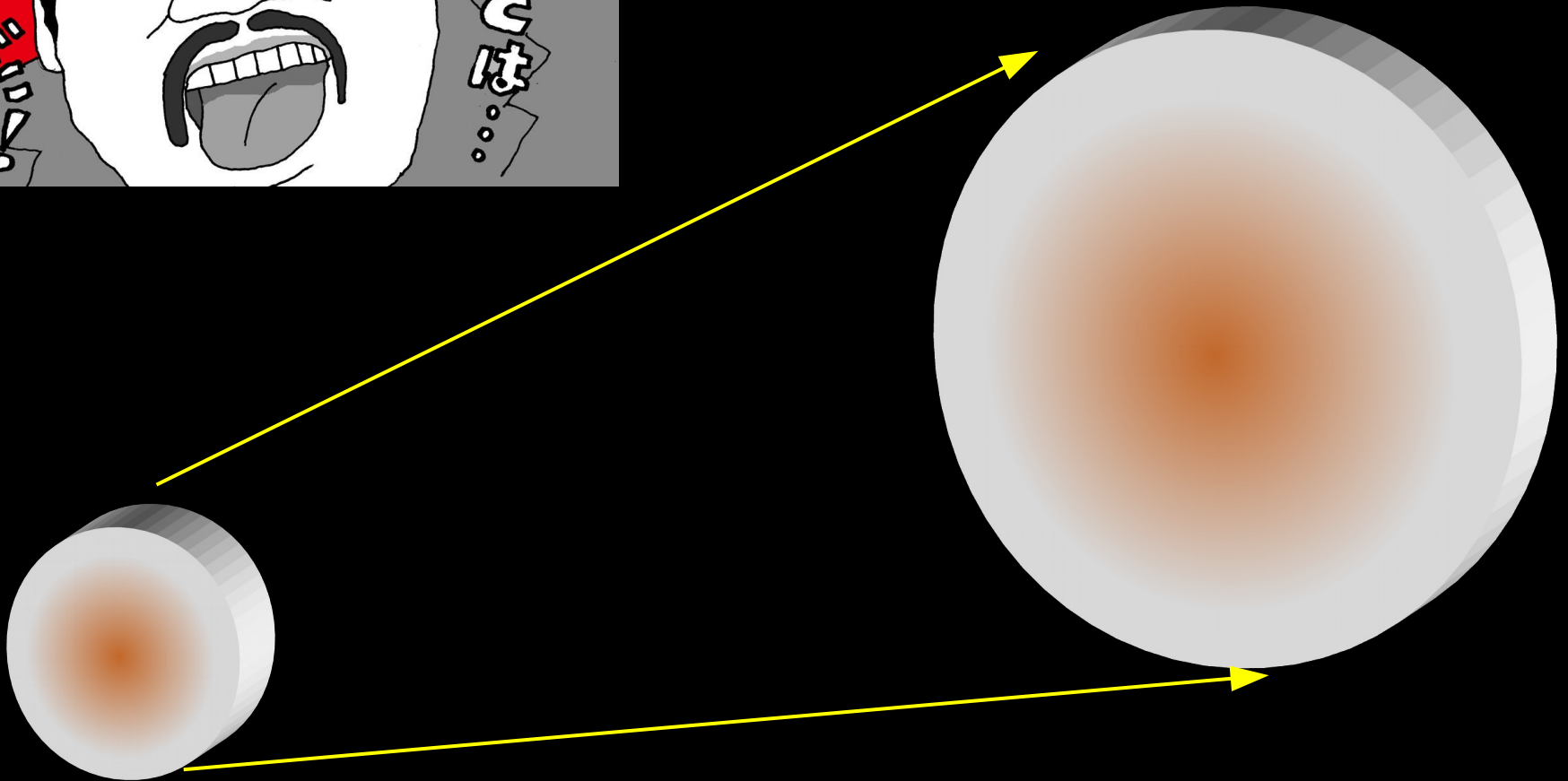
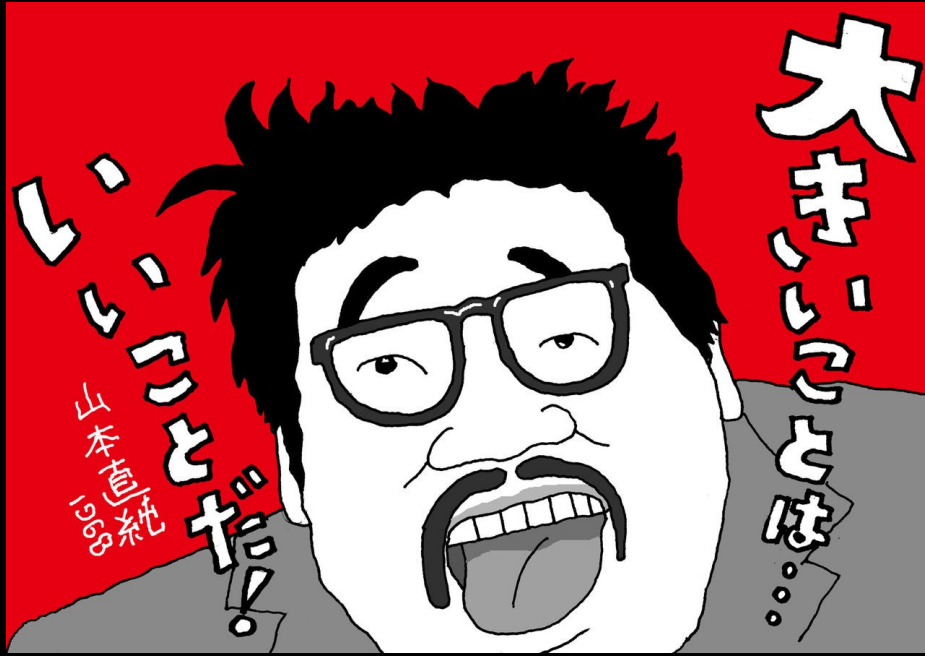
レーザーパワーを上げる

鏡の熱変形・熱レンズ

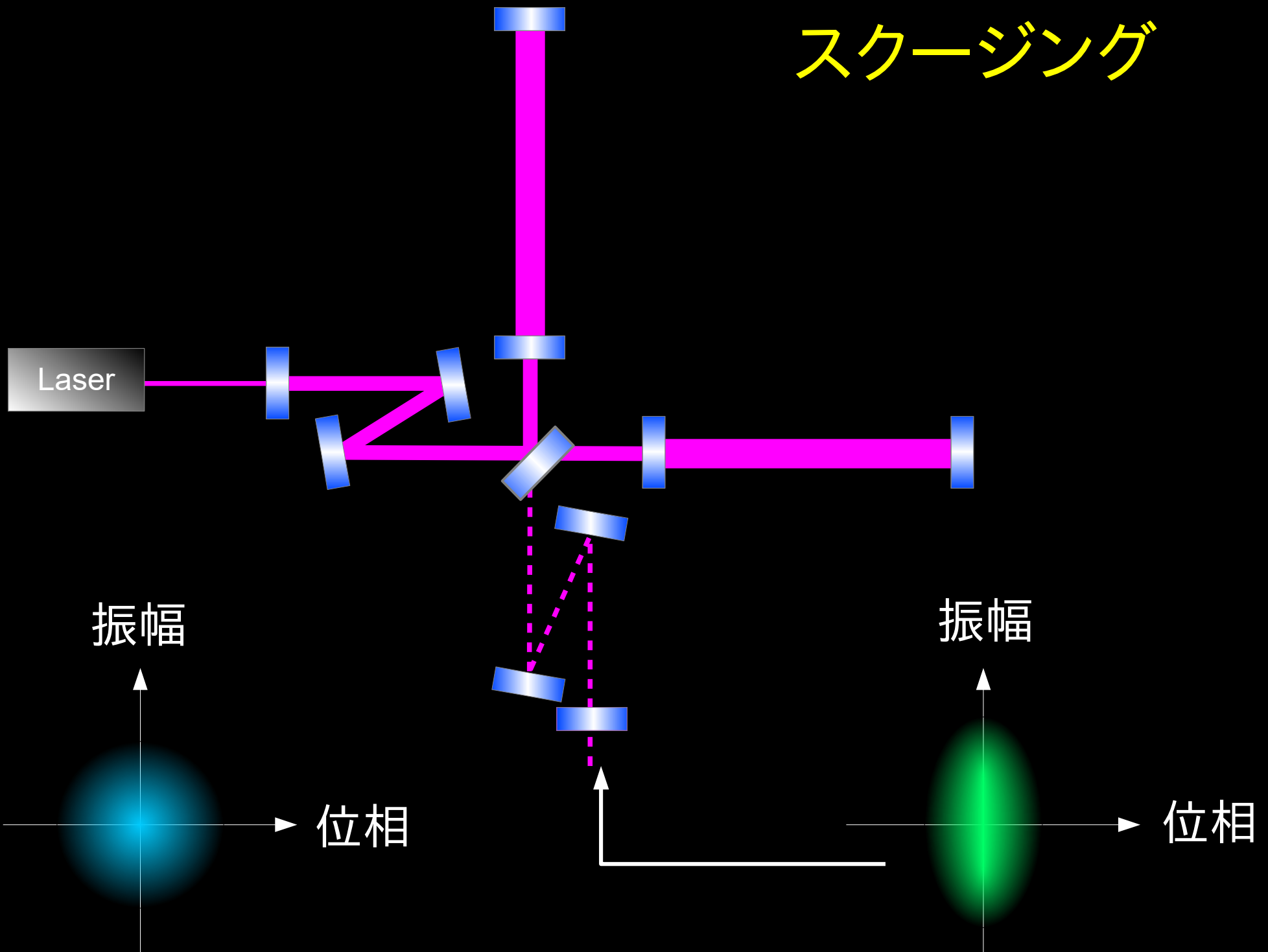
角度方向の輻射圧不安定性増大

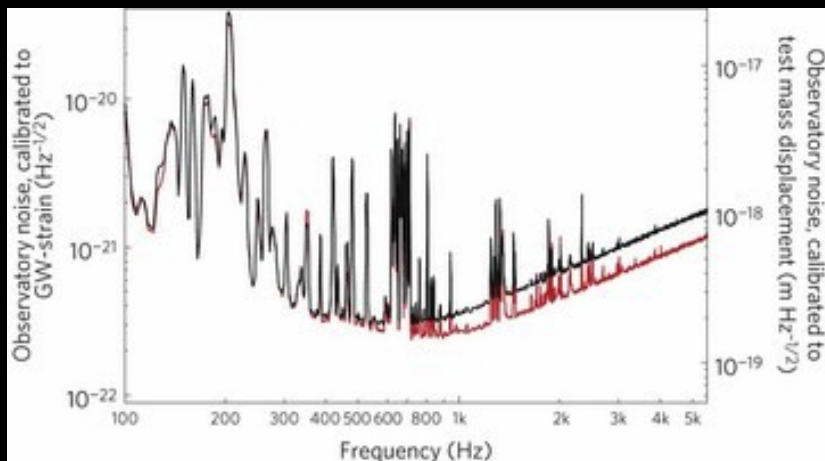
輻射圧雑音増加

ミラーを大きくする

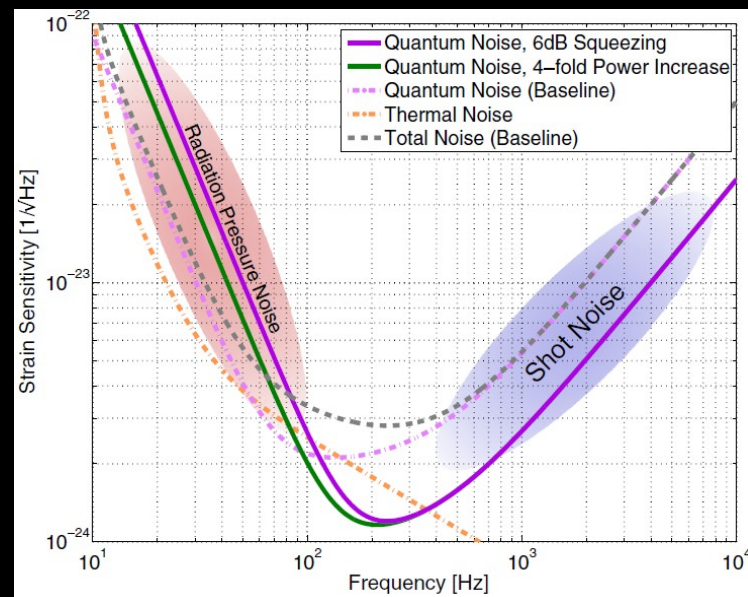


スクーディング

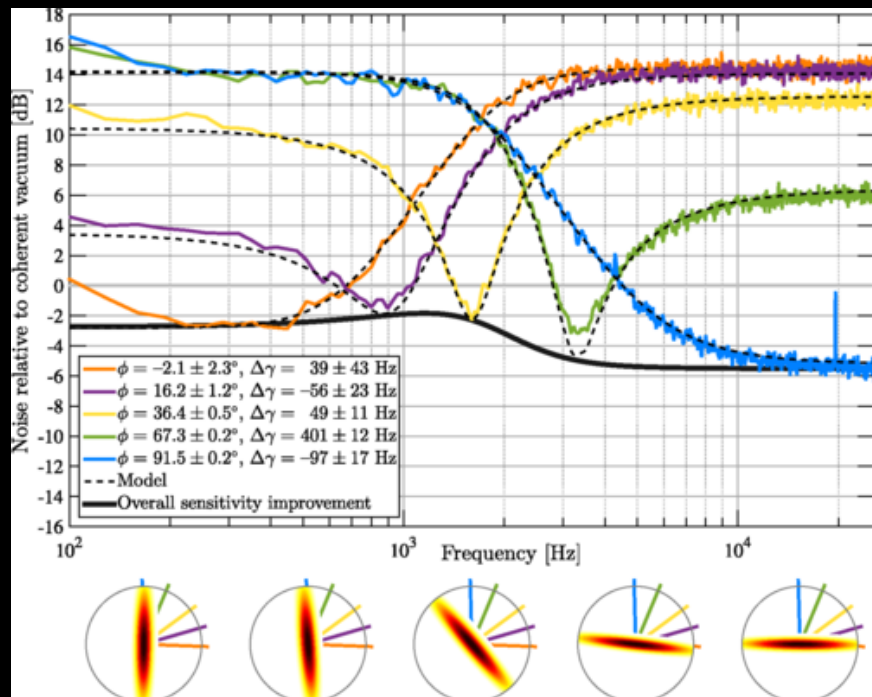




GEO



M. Evans et al. 2013



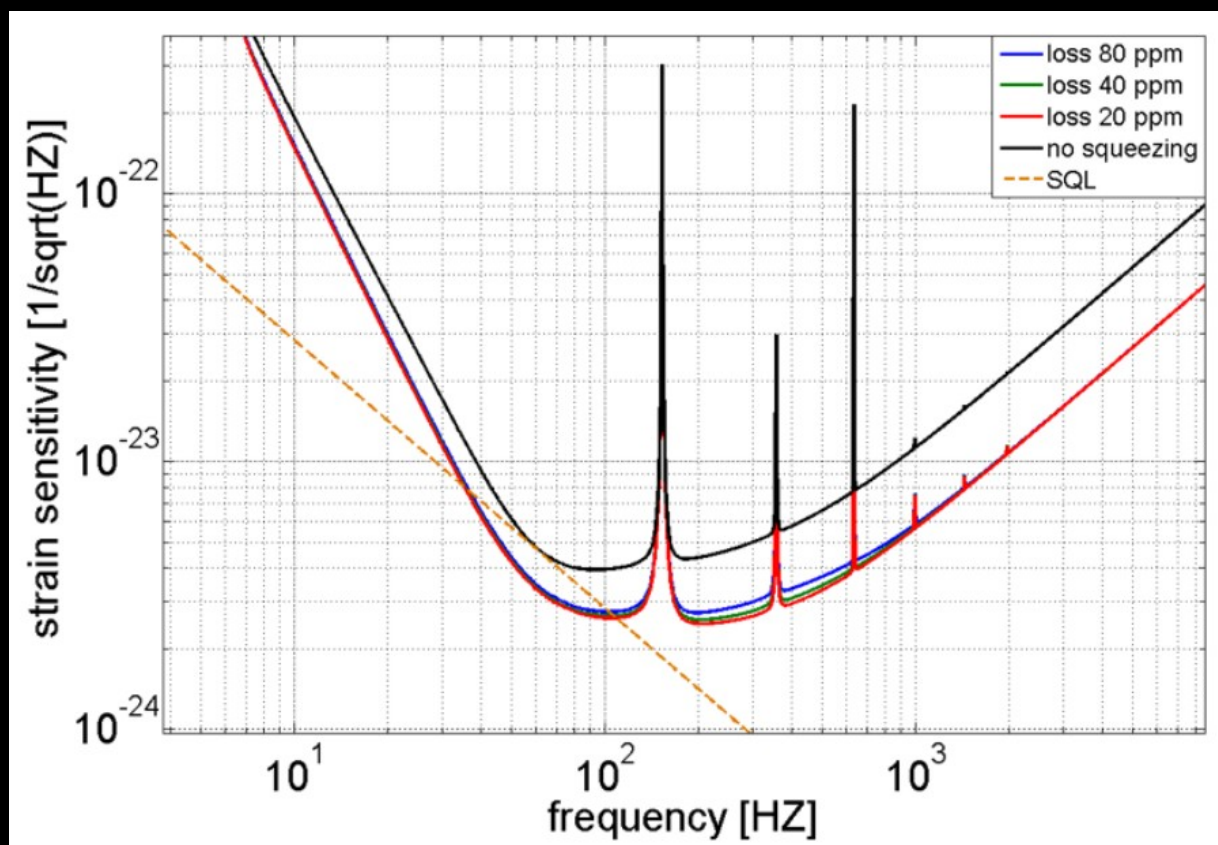
E. Oelker et al. 2016

スクィーズ角度に周波数依存性

フィルター共振器



300mフィルター共振器実験@国立天文台



Phys. Rev. D 93, 082004

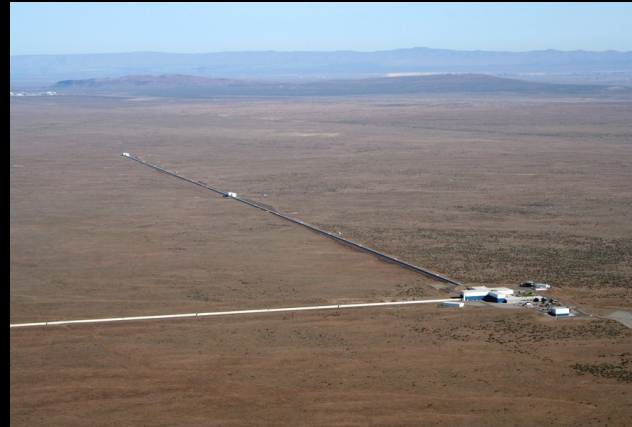
キーワード

- コーティング熱雑音
- スクイー징ング
- 大きな鏡
- 低温

LIGOの現状

基線長: 4km
ミラー直径: 34cm
重さ: 40kg
常温

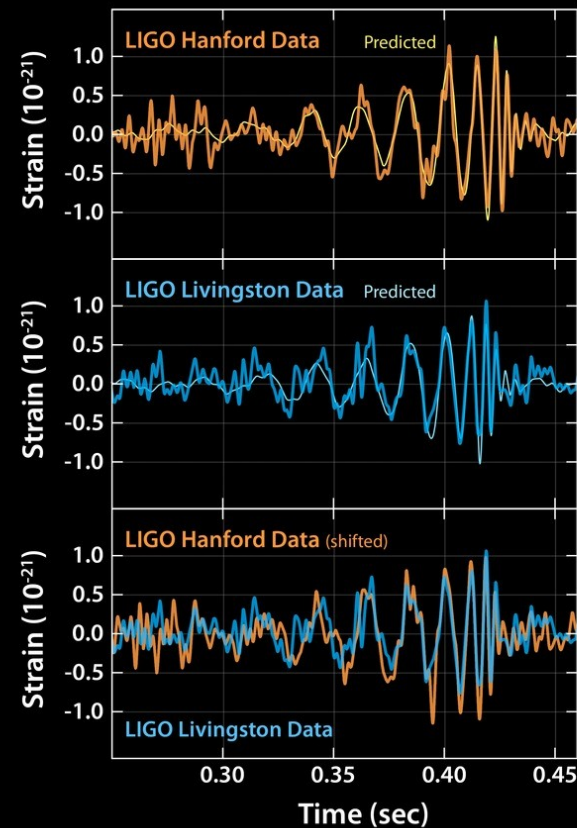
Hanford

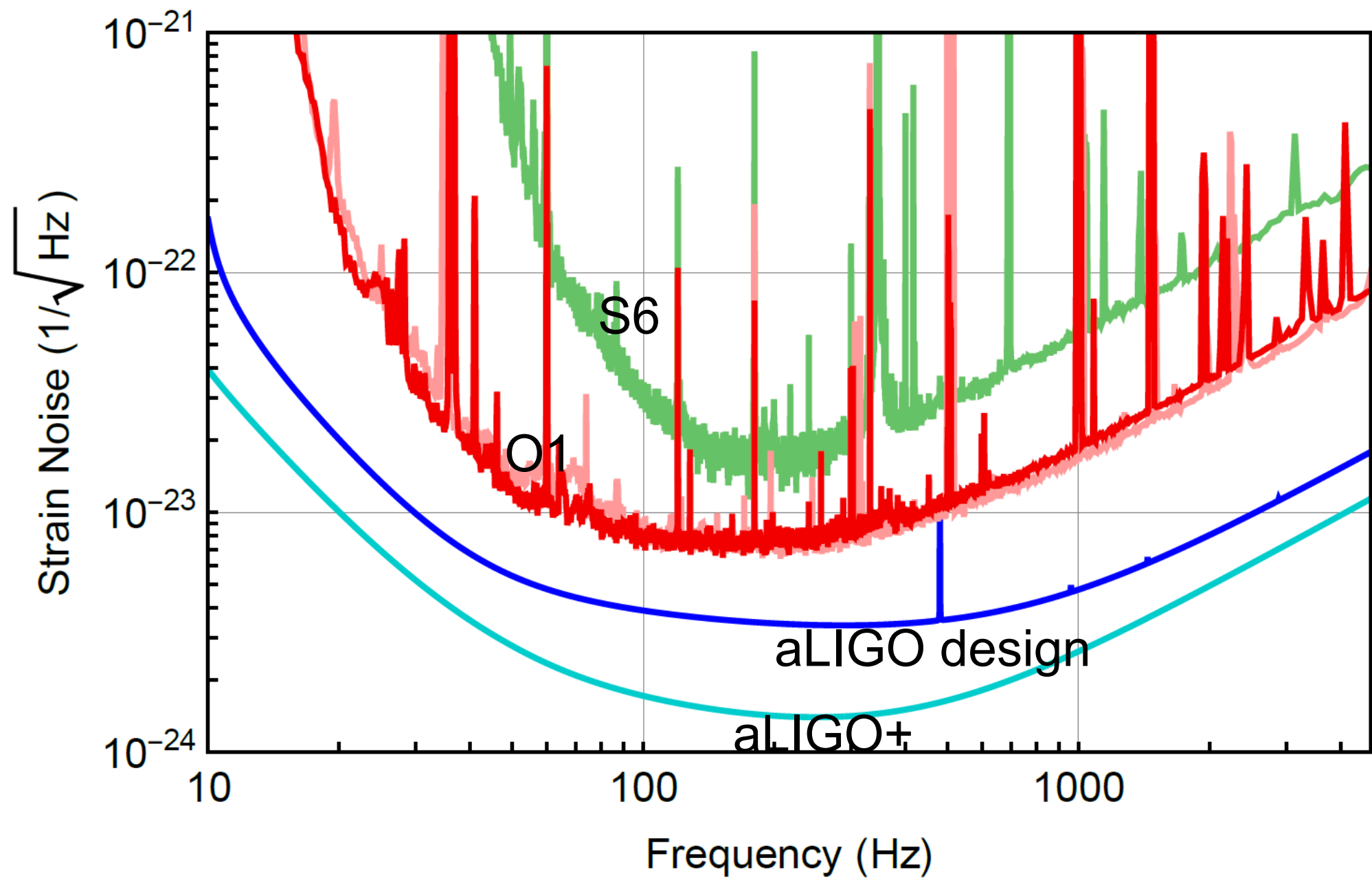


Livingston



2015/9/14
重力波初検出





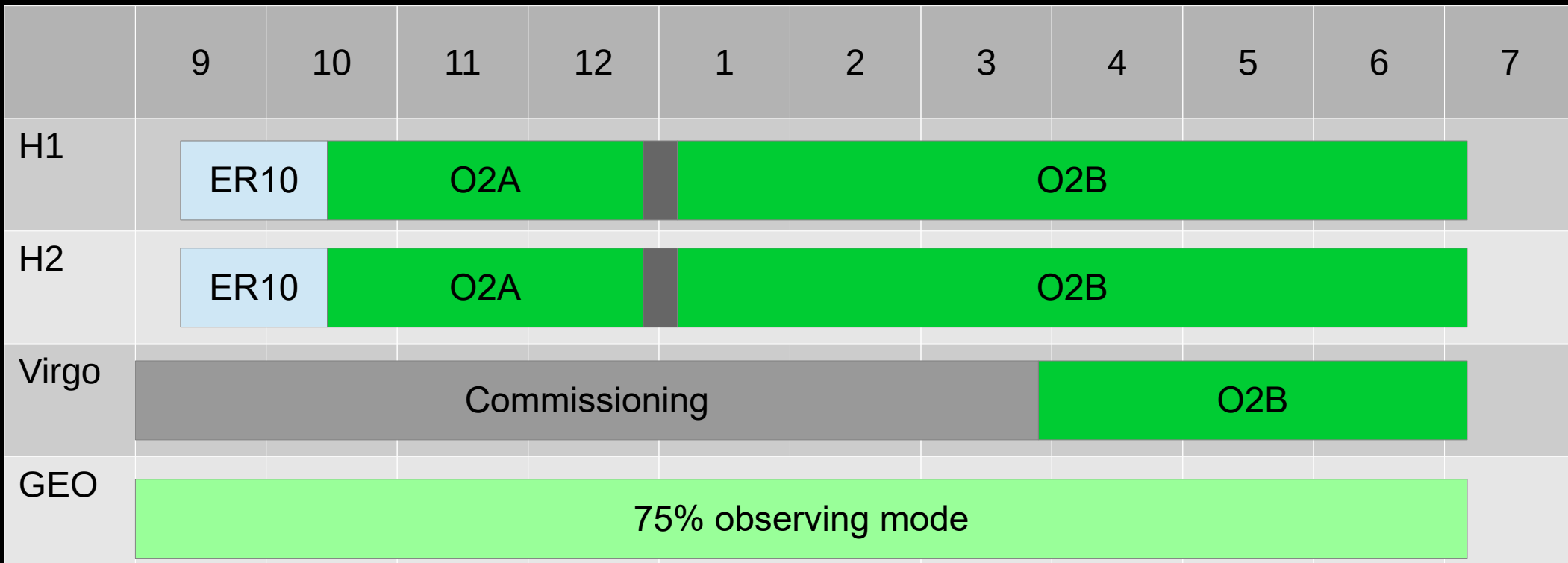
O1後の計画

- 感度向上へむけた様々な作業を実行
- レーザーパワーを上げる: 20W -> 50W

Observation Run 2 (O2)

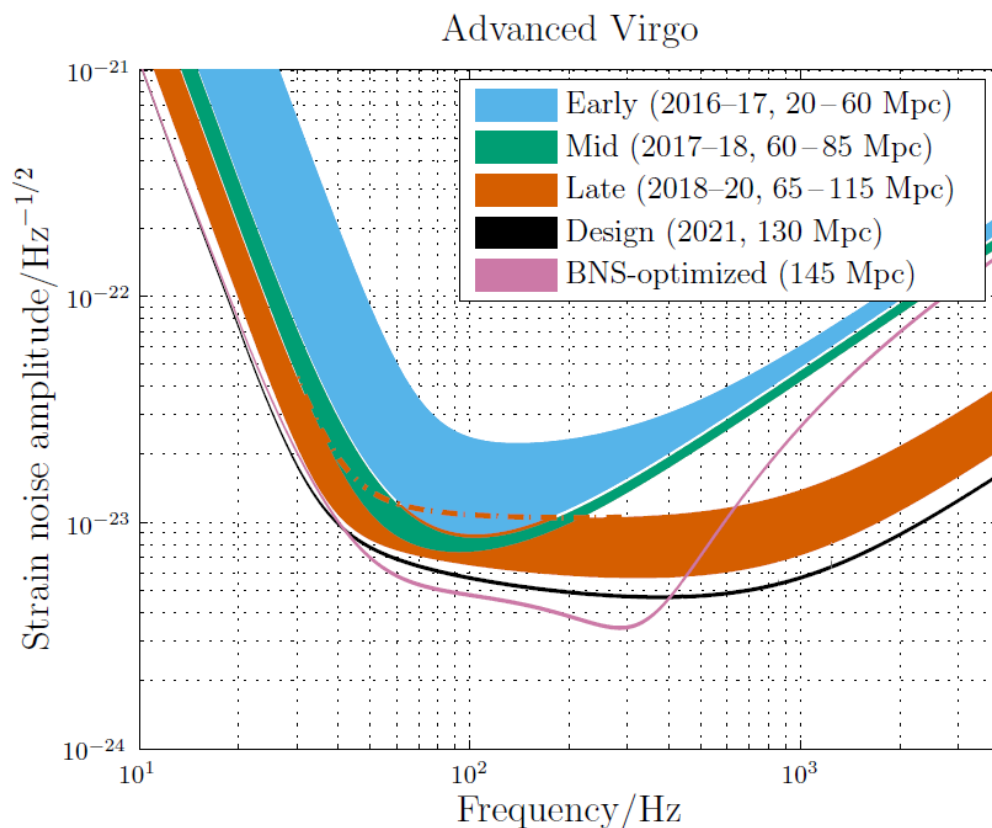
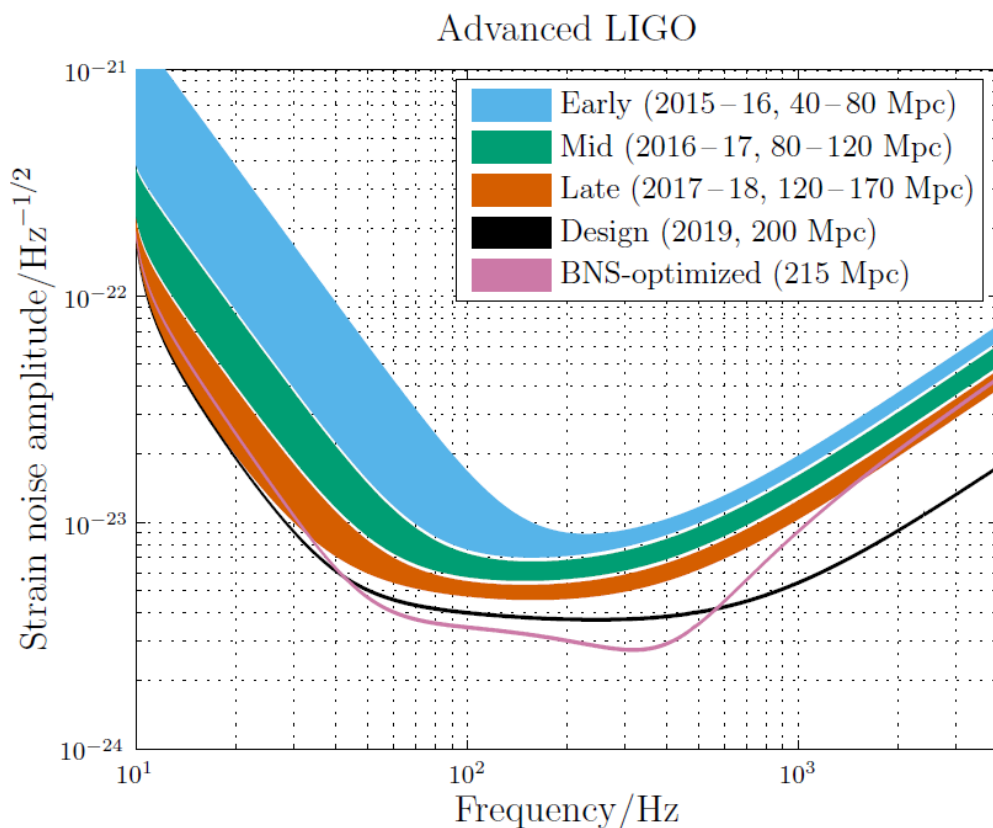
2017

2018



O2後の感度向上プラン

arXiv:1304.0670



LIGO-India

- LIGOの実験装置。施設はインド
- In-principle approval (2016/2)
- サイト決定 (2016/8)
- 2024年観測開始?



Virgoの現状

基線長: 3km

ミラー: 直径35cm, 重さ42kg

常温



- 全てのミラーをインストール完了
 - モノリシックサスペンションが切れるトラブル
 - 金属ワイヤーで吊って, O2に参加予定
- 3km光共振器はロック
- フル干渉計のロックを目指して作業中
- O2には2017/3から参加を目指す

KAGRAの現状

基線長: 3km

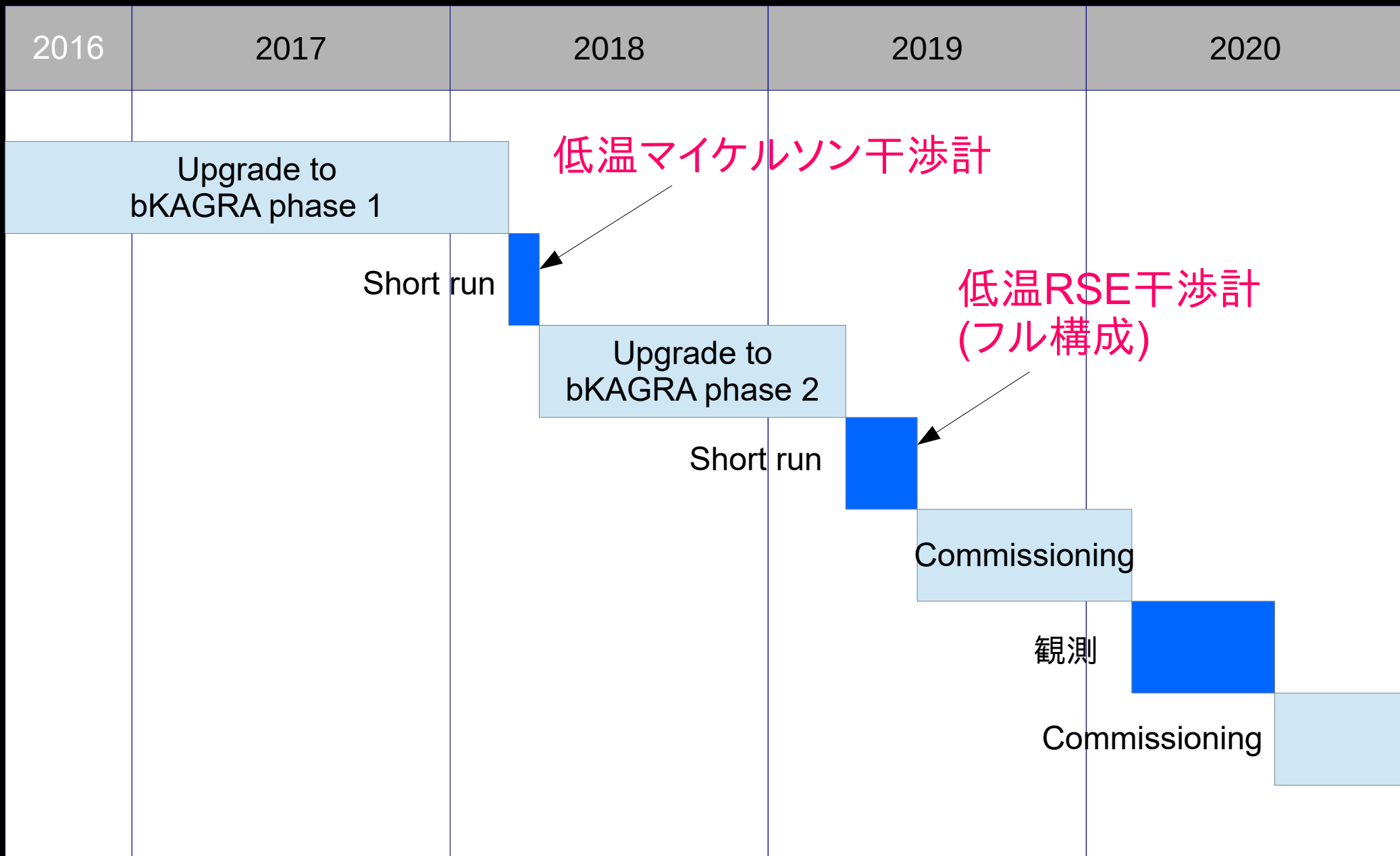
ミラー: 直径22cm, 重さ23kg

地下・低温

- iKAGRA試験運転 (2016年3月 - 4月)
 - 常温
 - マイケルソン干渉計
- アップグレード作業 (2018年3月まで)
 - 防振システム・アップグレード
 - レーザー交換
 - 鏡の低温化
- bKAGRA phase 1 (2018年3月)
 - 低温
 - マイケルソン干渉計
- bKAGRA phase 2 (2019年3月)
 - 低温
 - RSE干渉計



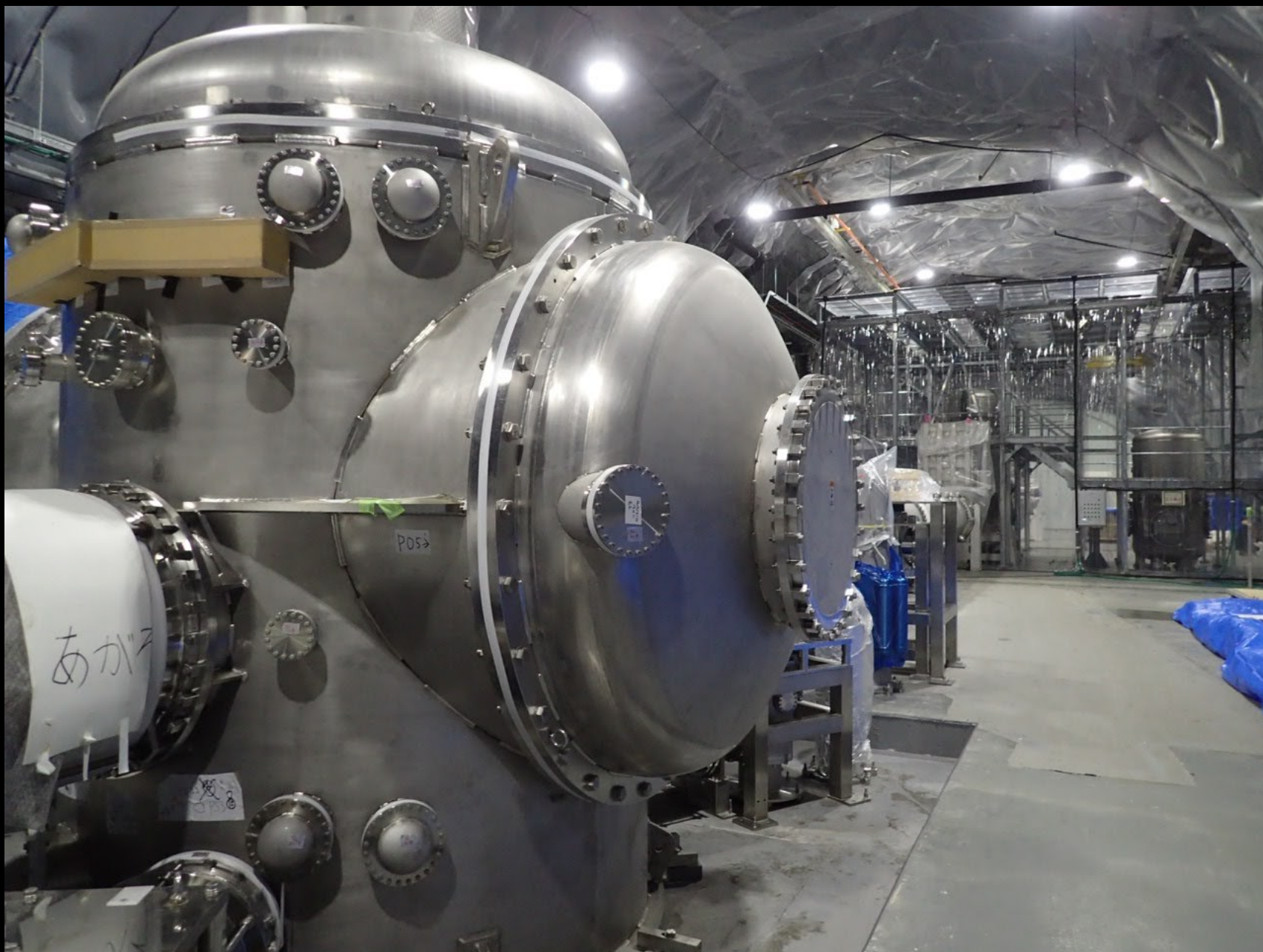
KAGRAの今後

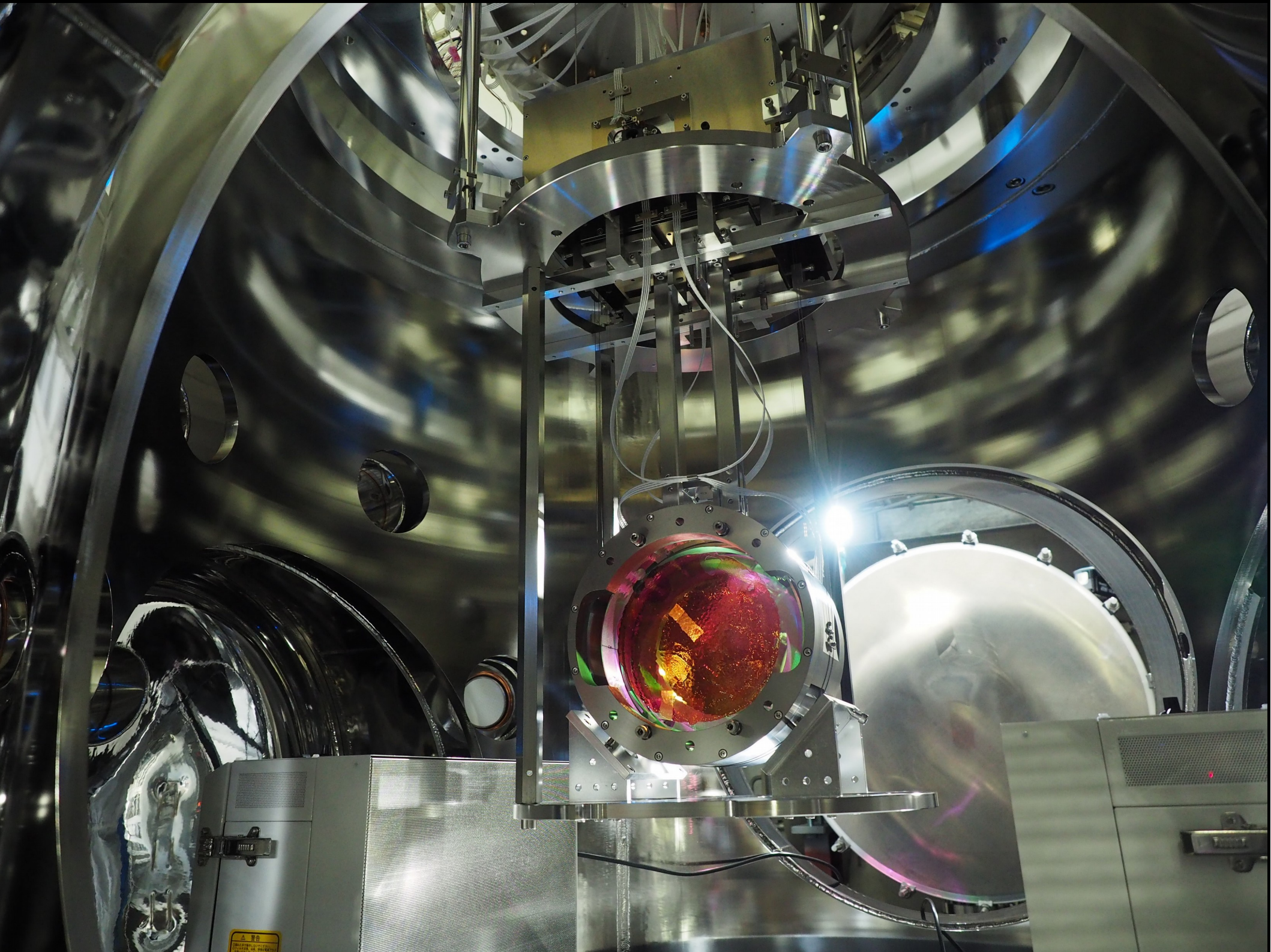


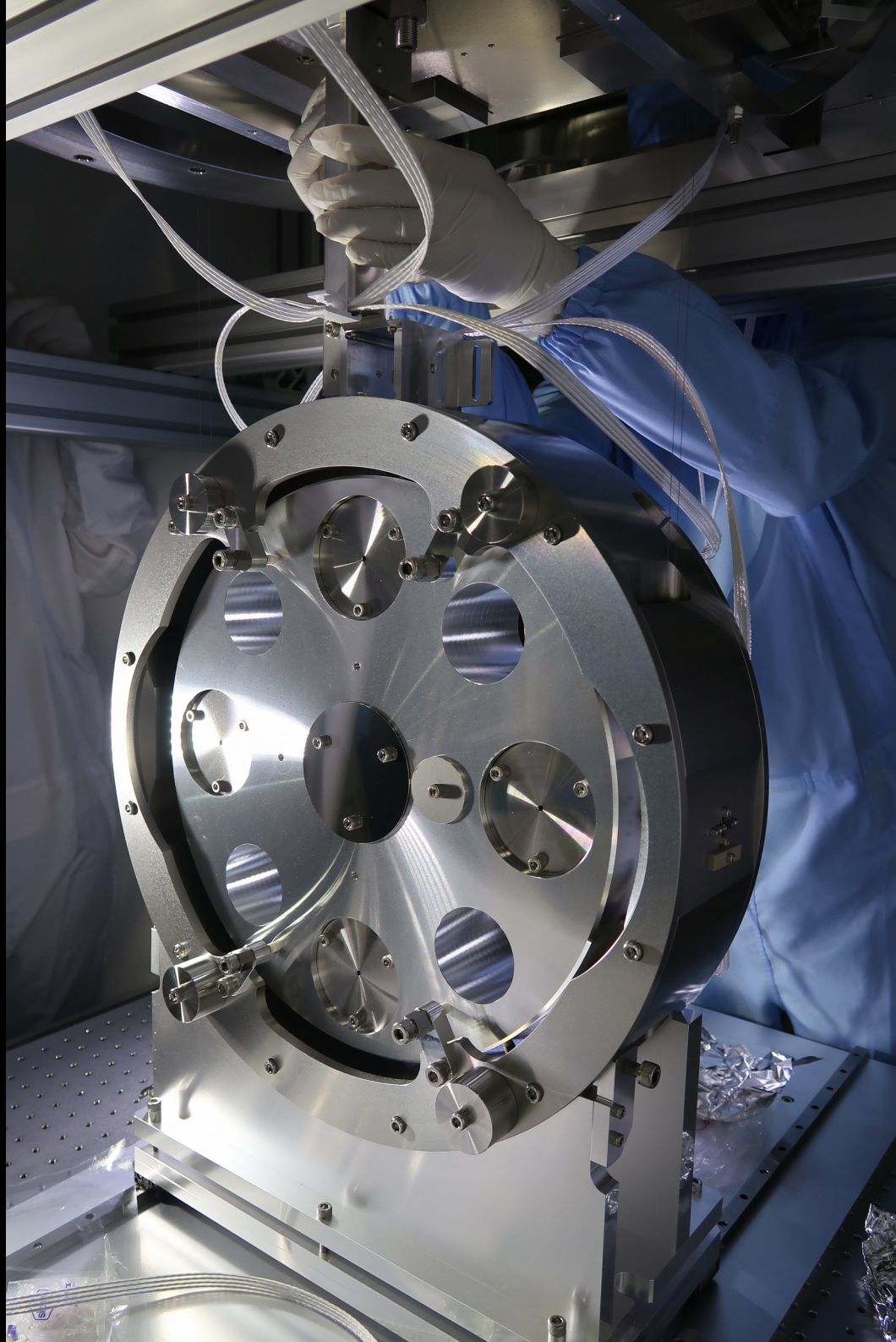
Still under discussion



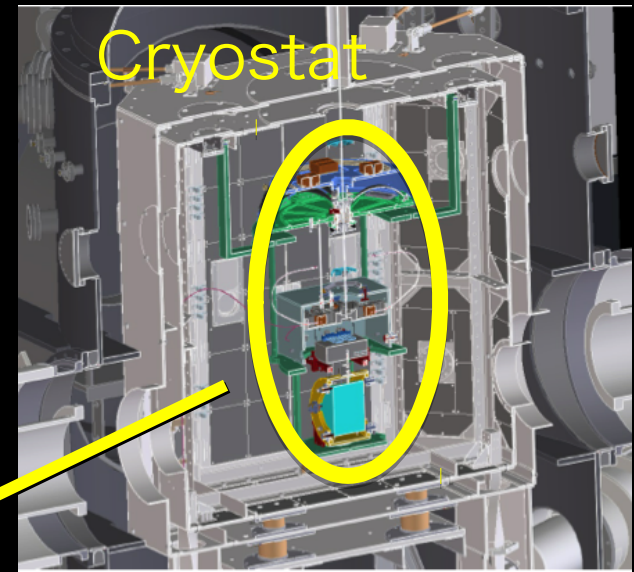
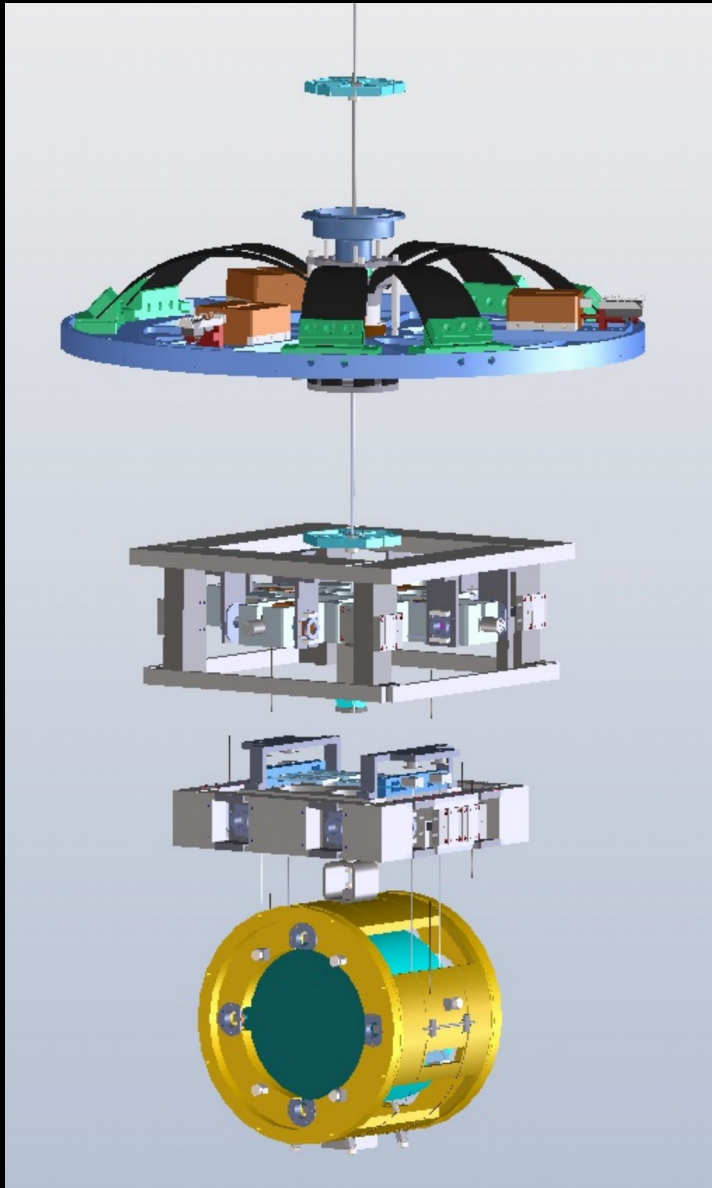








Cryogenic Payload



Prototype Cryo-Payload



将来計画

Advanced LIGO+

- 予算がすぐ付けば2019年から作業開始
- 観測開始: 2022年中盤
- aLIGOの1.7倍の感度
- コーティング最適化 (熱雑音 1/2)
- 周波数依存性スクイーミング
 - 実験室を拡張して100mフィルター共振器を設置

LIGO Voyager

- 既存LIGO施設を利用, 2025年からインストール?
- 200kg 単結晶シリコンミラー
- 120Kまで冷却
- aLIGOの2倍強の感度

Virgoアップグレード

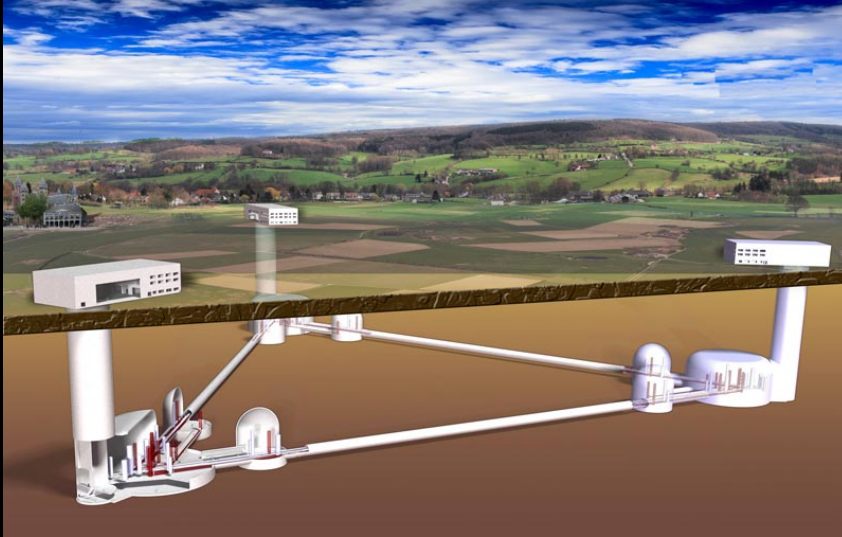
- 各種R&Dが進行中
- 新しいレーザー + スクイーミング?

KAGRAのアップグレード

- 議論が始まったところ
- 大型ミラー + スクイーミング? (個人意見)

新しい施設建設

Einstein Telescope



基線長10km
三角形
地下
低温

LIGO Cosmic Explorer

基線長40km (!?)
感度はaLIGOの10倍以上
2035年運転開始?

