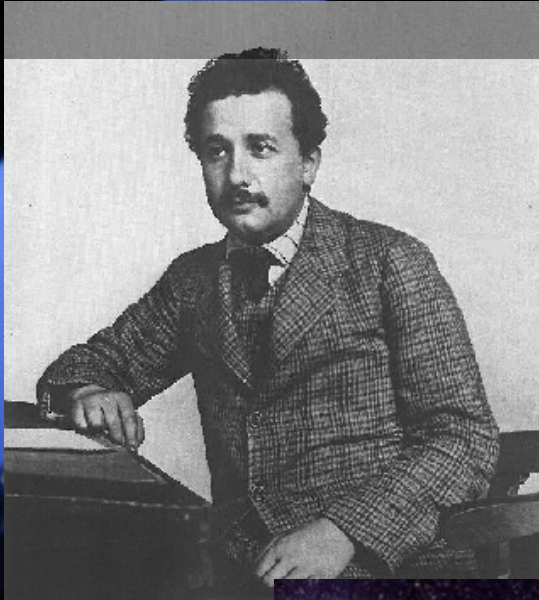


計算機を用いた KAGRAのリアルタイム制御

組織的若手派遣事業まとめの研究会
2013/4/22(月) 東大宇宙線研 宮川 治

天体現象による重力波源

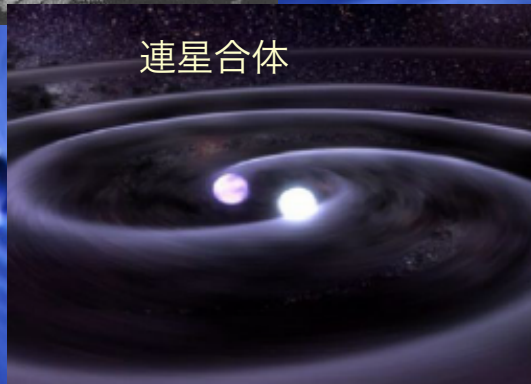


アインシュタインの予言：
非対称な質量の急激な変化による、
波として光の速度で伝わる時空のひずみ

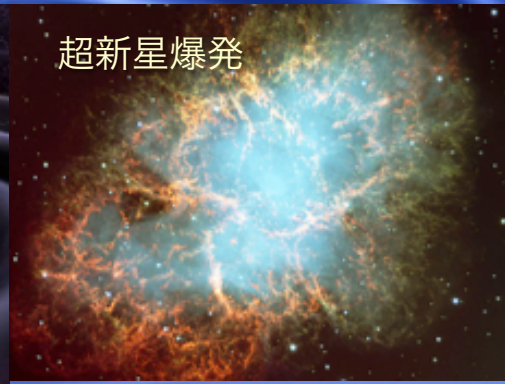


重力波が存在する!!

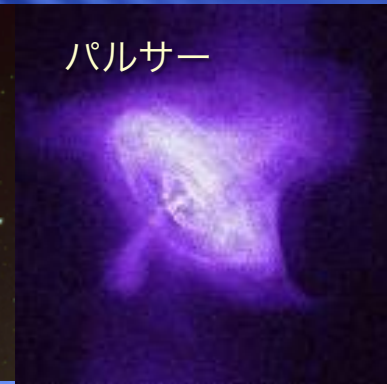
連星合体



超新星爆発

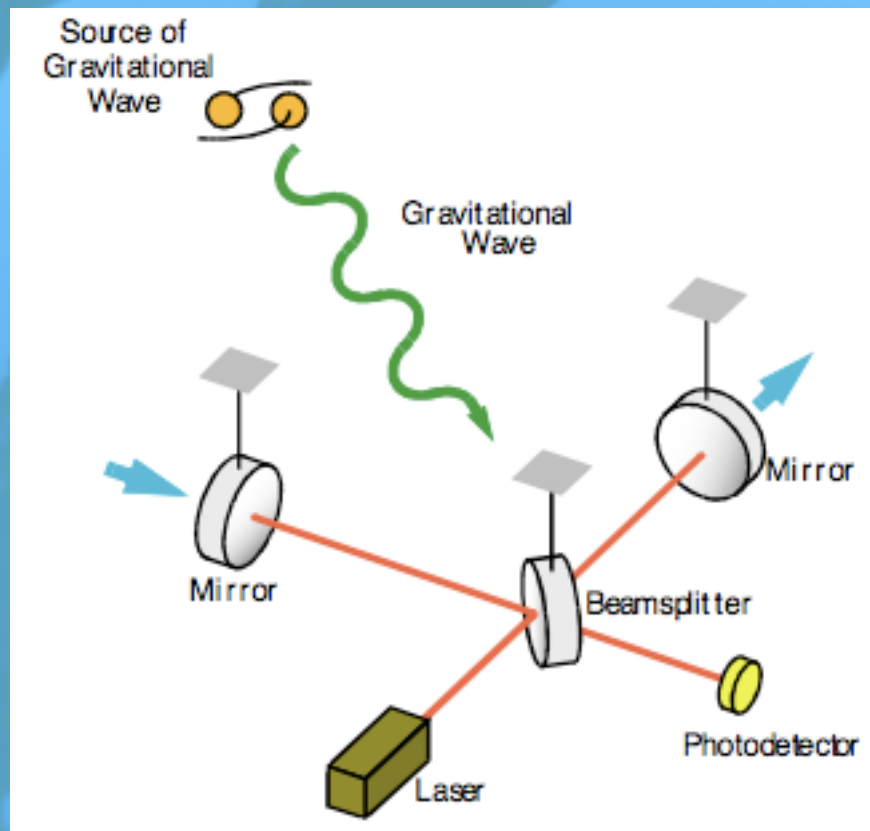


パルサー



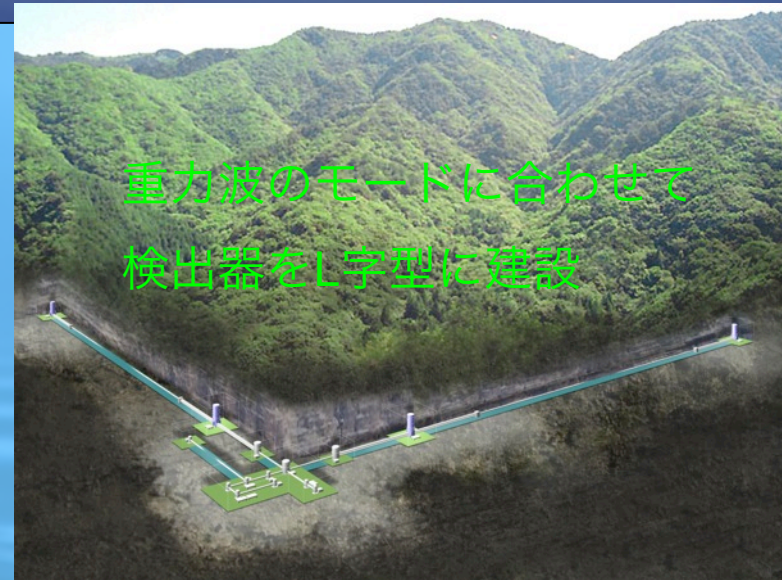
未だ重力波の直接検出はなされていない

レーザー干渉計を使った重力波検出 KAGRA

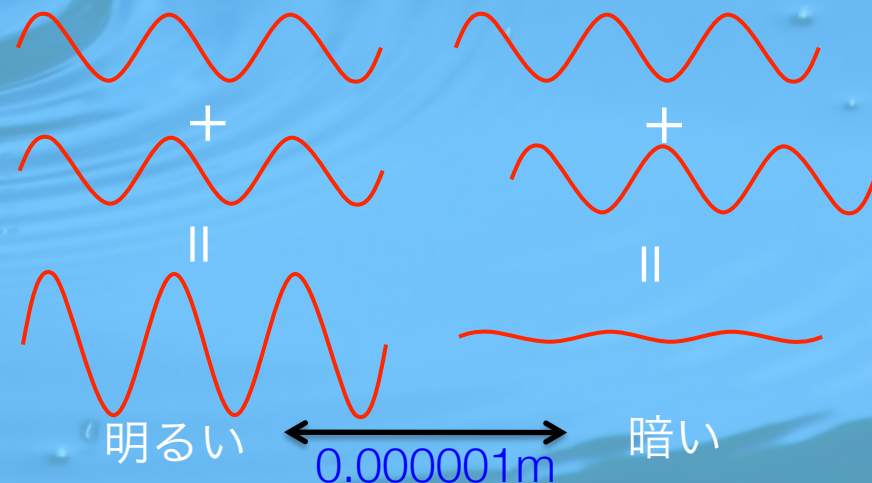


重力波が到達すると朝夕力として鏡を揺らす
両腕の微小距離の変化を光の明暗で測定

期待される重力波の大きさは非常に小さく：
 $1 \times 10^{-19} \text{m}$ 程度



光の重ね合わせ(干渉)



KAGRA

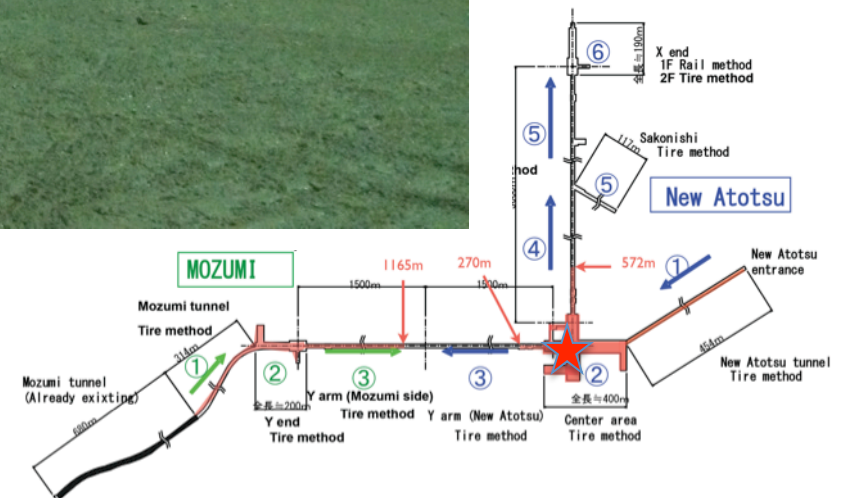


- 3 kmの大型干渉計
- 神岡の地下に建設
- 低温鏡による熱雑音の低減
- 現在トンネル掘削中





Central area



真空ダクトの製作・現地納品



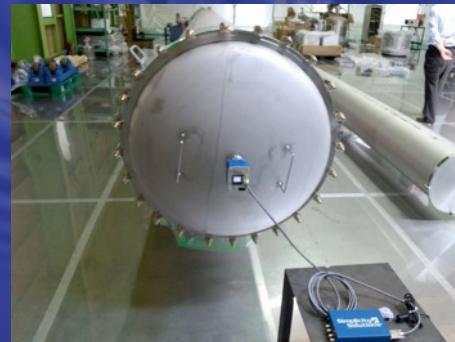
Press to form a duct



Bellows for each duct



Baking at MIRAPRO Co.
Noda/MESCO, Kamioka

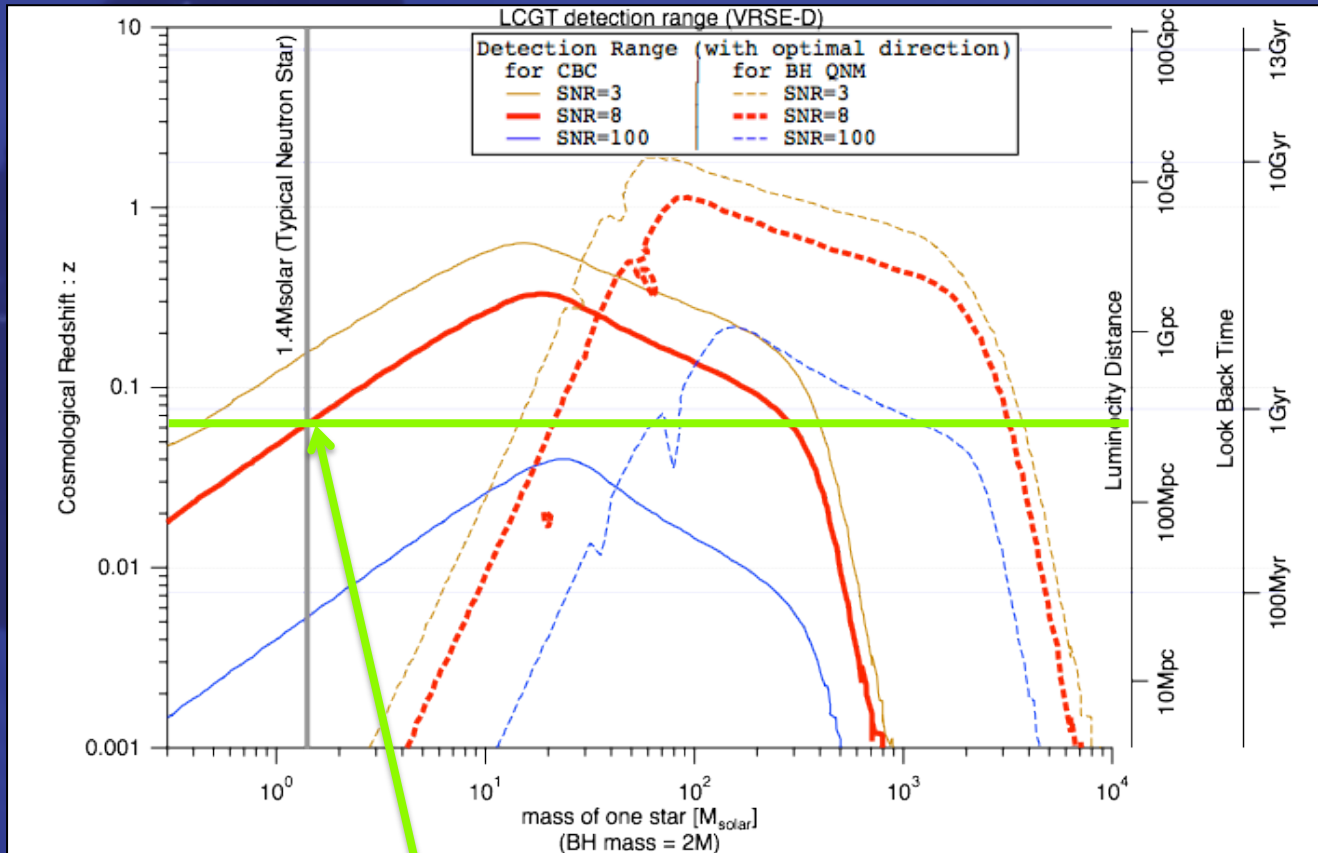


Test at MIRAPRO Co. Noda



Transportation to Kamioka

KAGRAの観測範囲



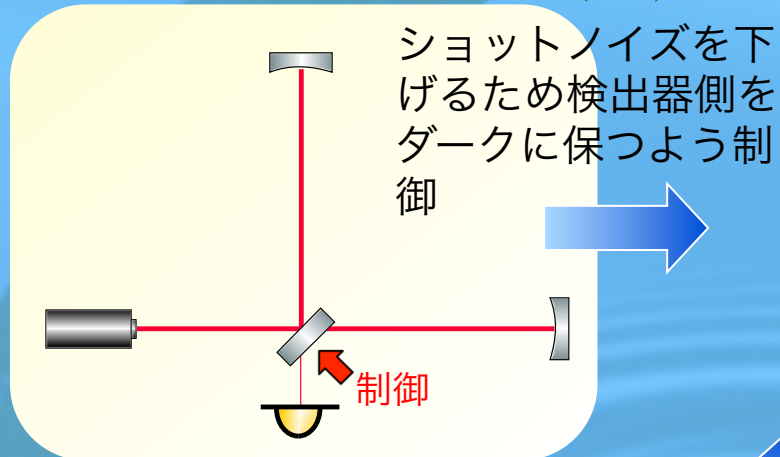
8.2億光年先の中性子連星の合体

KAGRAのイベントレート: $9.8^{+14}_{-6.6}$ /年

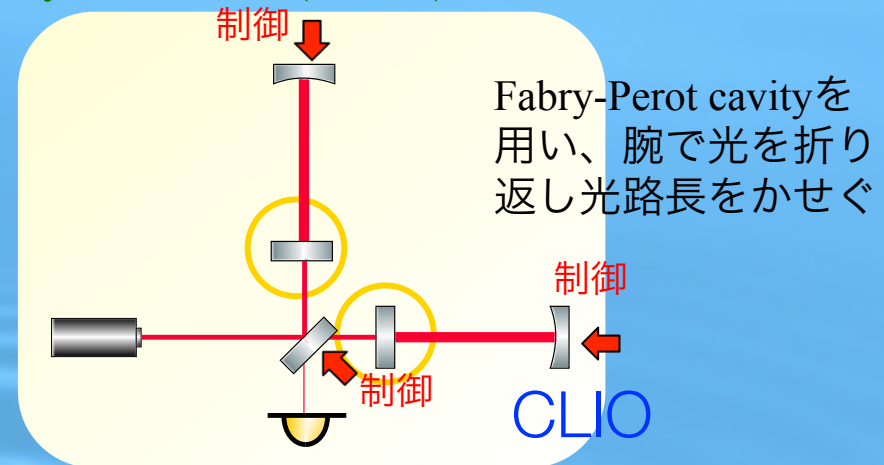
干渉計光学設計の発達



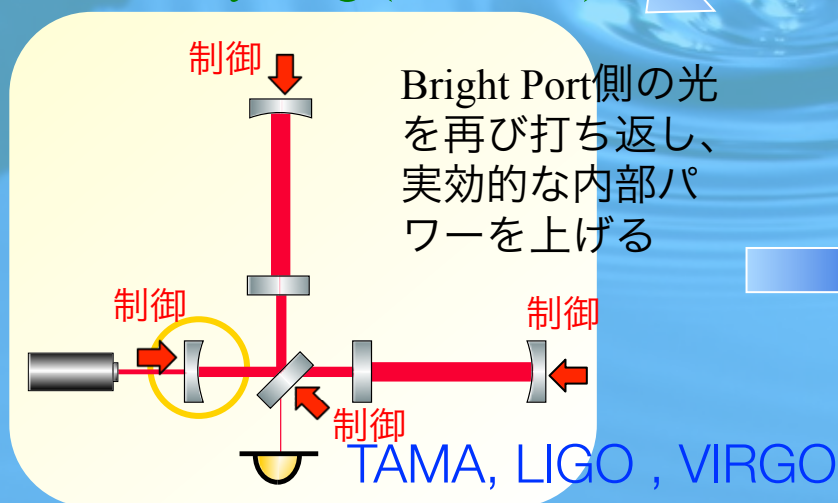
Michelson interferometer (MI)



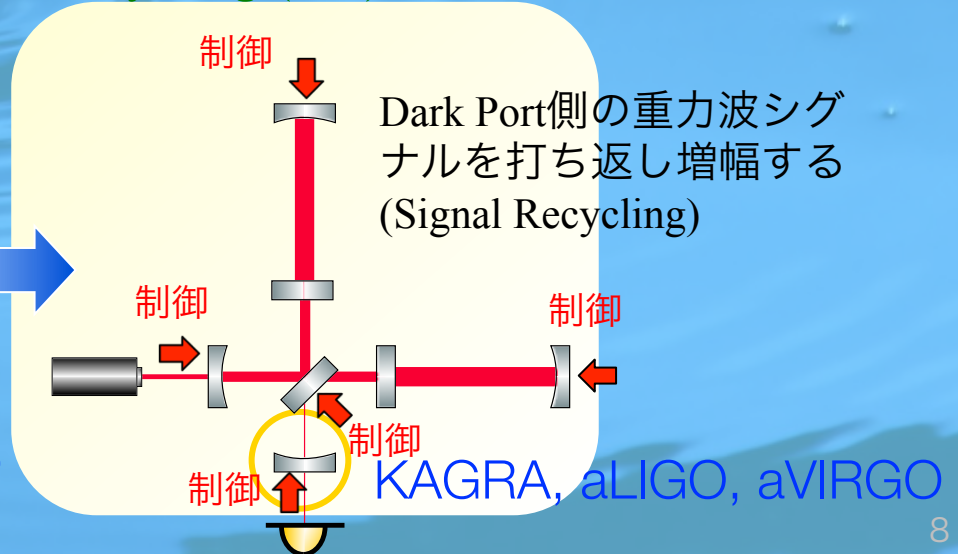
Fabry-Perot MI (FPMI)



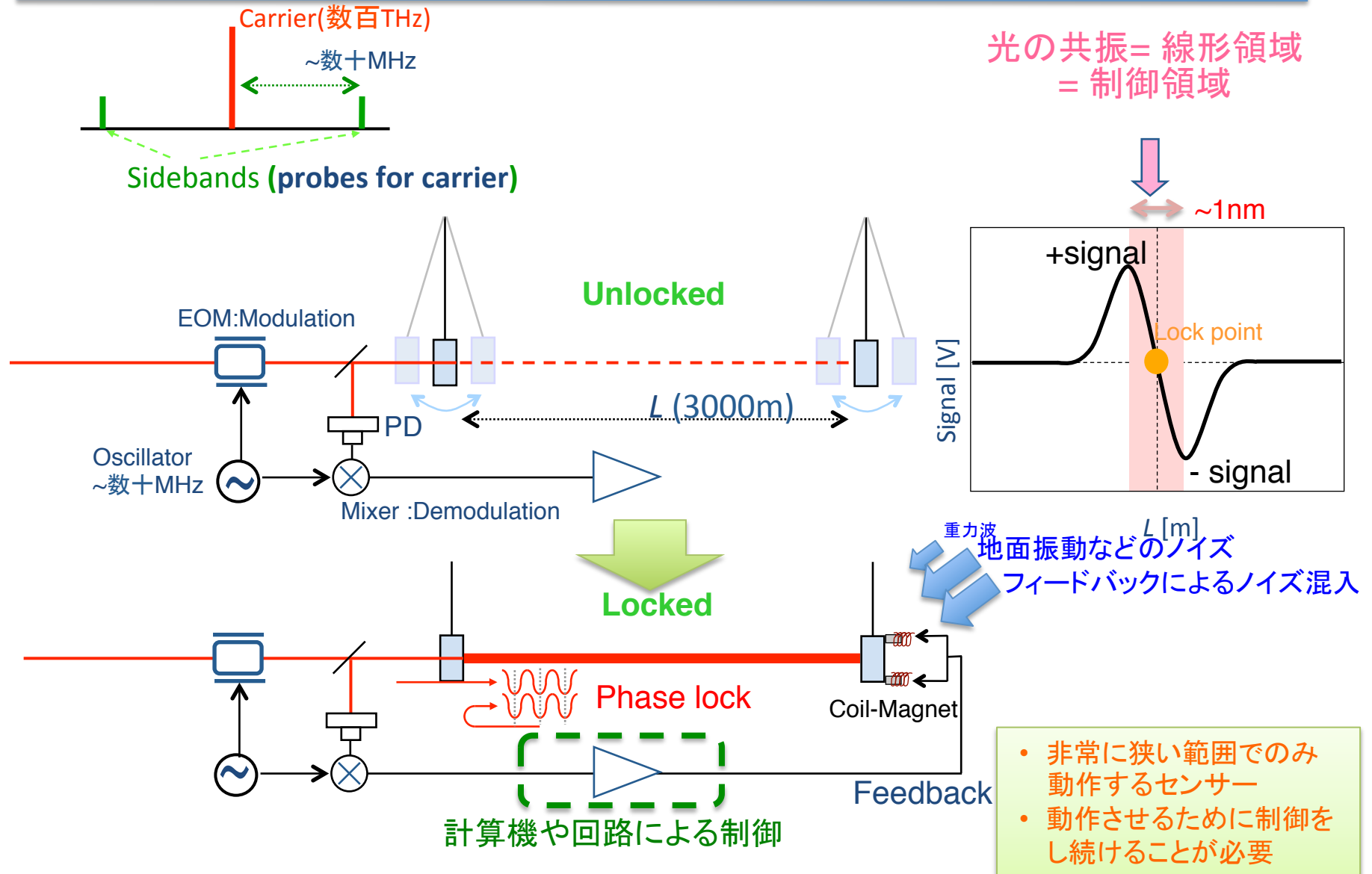
Power recycling (PRFPMI)



Dual recycling (DR)



制御による干渉計の動作状態のキープ



日本の干渉計はTAMA-CLIOとアナログ制御をメインにやってきた
なぜ、デジタル制御に変える必要があるのか？

- Analog
 - MHz帯域の速いスピード
 - 低ノイズ、ただし外的環境に対し不安定
 - 複雑な制御が苦手
- Digital
 - 複雑なシステムを見通しよく操作する
 - ADC/DACでは雑音が大きいが、whitening/dewhiteningで回避可能
 - 計算機内のノイズは基本的に考えなくていい
 - 遅い、しかしながら振り子での制御には十分
- デジタルシステムはノイズハンティングの時間を短縮し、安定な観測体制を提供する

アナログ回路での制御では、同じ感度を出すのに
3倍くらいの時間がかかると言われている

組織的若手研究者派遣プログラム



米国LIGOプロジェクトと共同で
「干渉計リアルタイム制御システム」
の開発を進める

2010/12/1-2011.1/31の2ヶ月

1. カリフォルニア工科大学
~1.5month

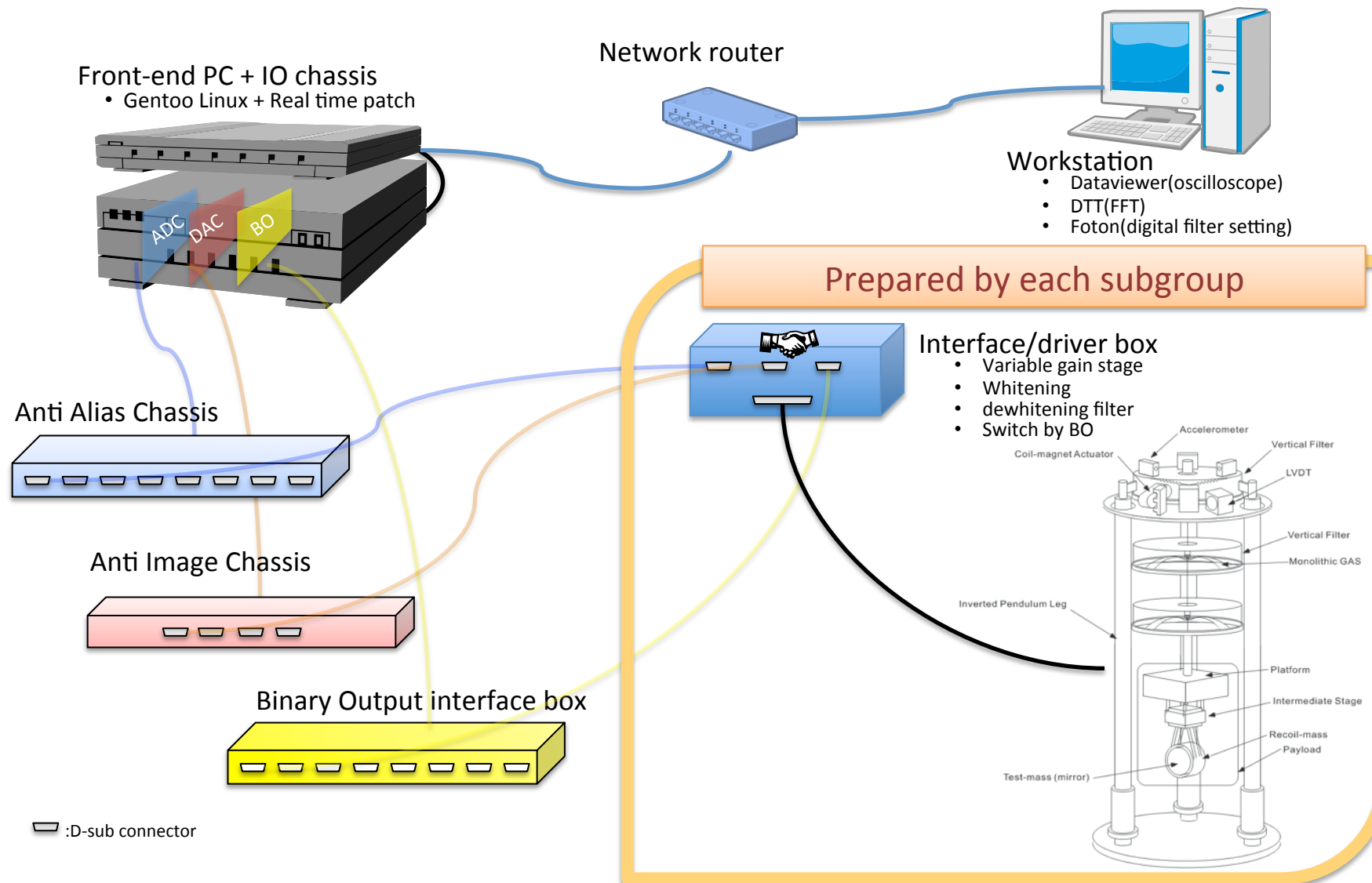
⇒ Stand Alone systemの構築

2. LIGO Hanford site
~2weeks

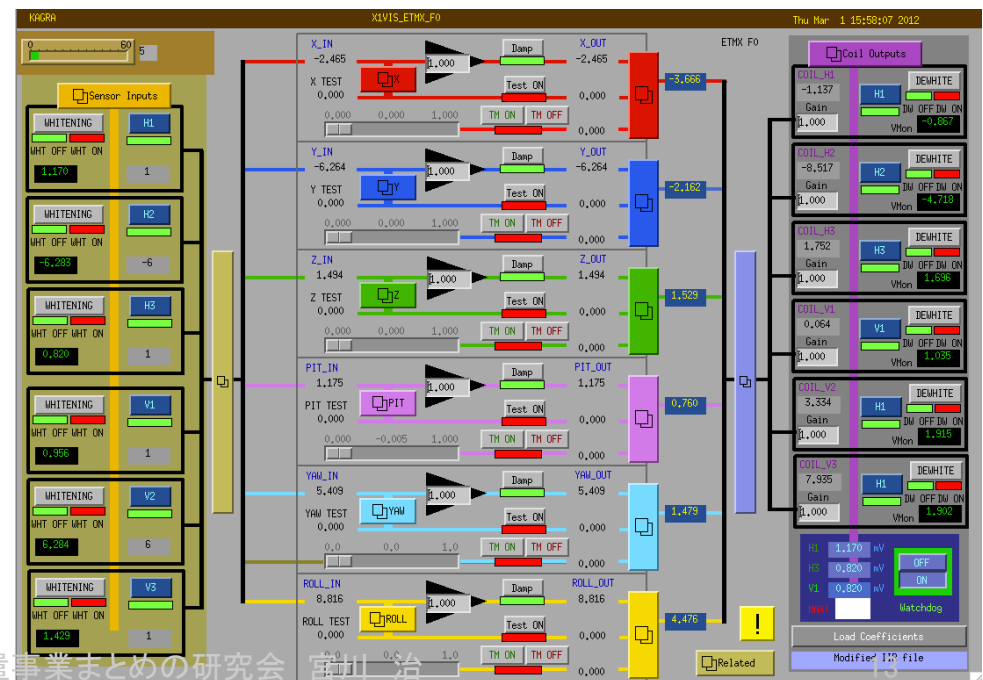
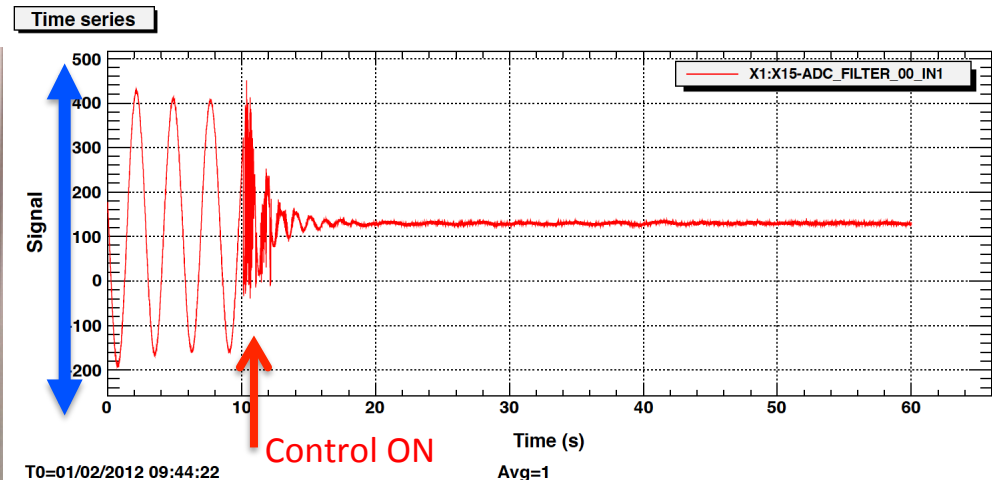
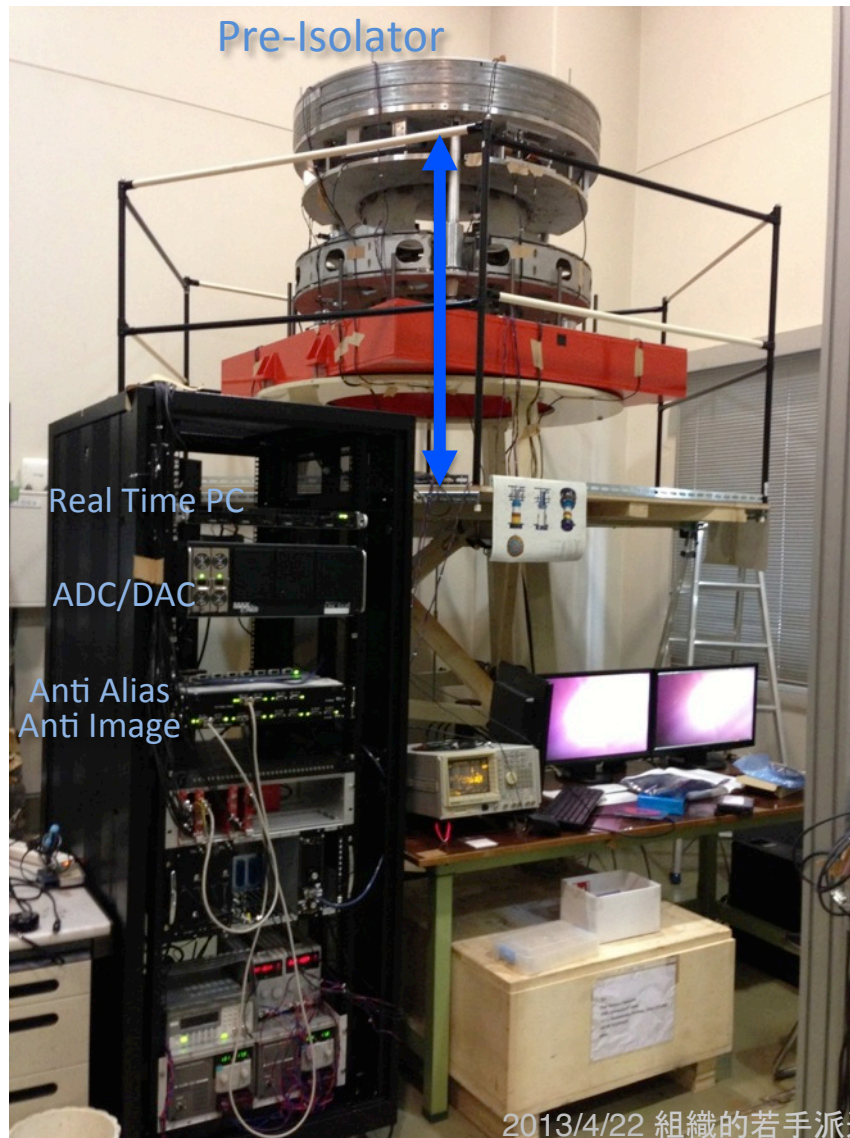
⇒ 全体システムのデザイン

2013/4/22 組織的若手派遣事業まとめの研究会 宮川 治

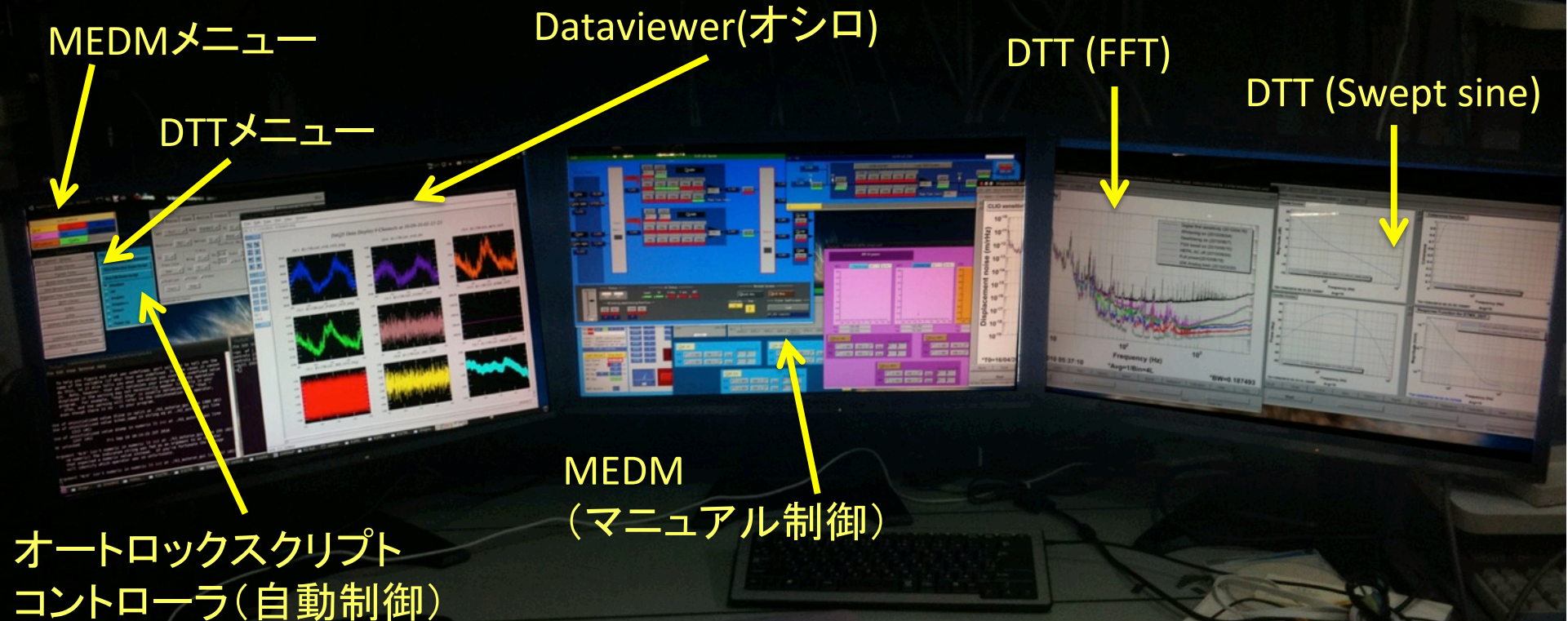




Stand Alone system: Local control for Pre-Isolator



Control system



- 制御、測定、チューニングなど、ほとんどのことがコントロールルームの計算機上
でできる
 » これはヒューマンノイズを避ける面からも重要である
- 優れたソフトウェアの開発が、感度向上など全体の進展に大きく関わる時代
になってきている

Items for Real Time control

	Stand alone system FY2010-	Small network test FY2011	Large network test FY2012, 2013	Full system FY2014~
Real time PC	1	2	~6	~25
IO chassis	1	0	~6	~25
Servers	0	1	15	15
ADC	1	2	~10	~70
DAC	1	0	~10	~35
Binary Output	1	0	~10	~100
Long Reflective memory switch	0	1	3	3
Short Reflective memory switch	0	1	2	2
DAQ switch	0	1	2	2
Timing switch	0	1	4	4
IRIG-B switch	0	0	1	3
Data storage	1TB	2TB	~20TB	~500TB

Red: new items

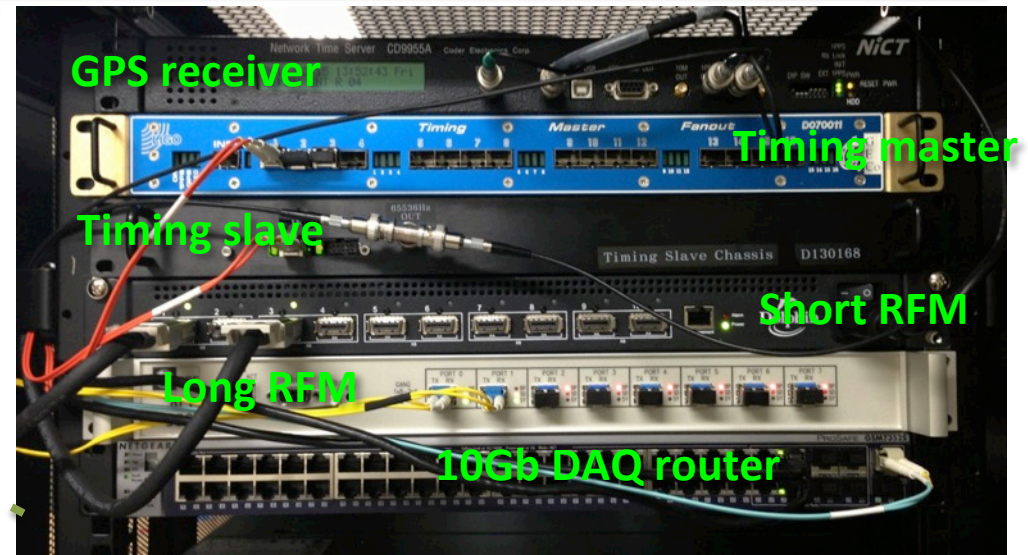
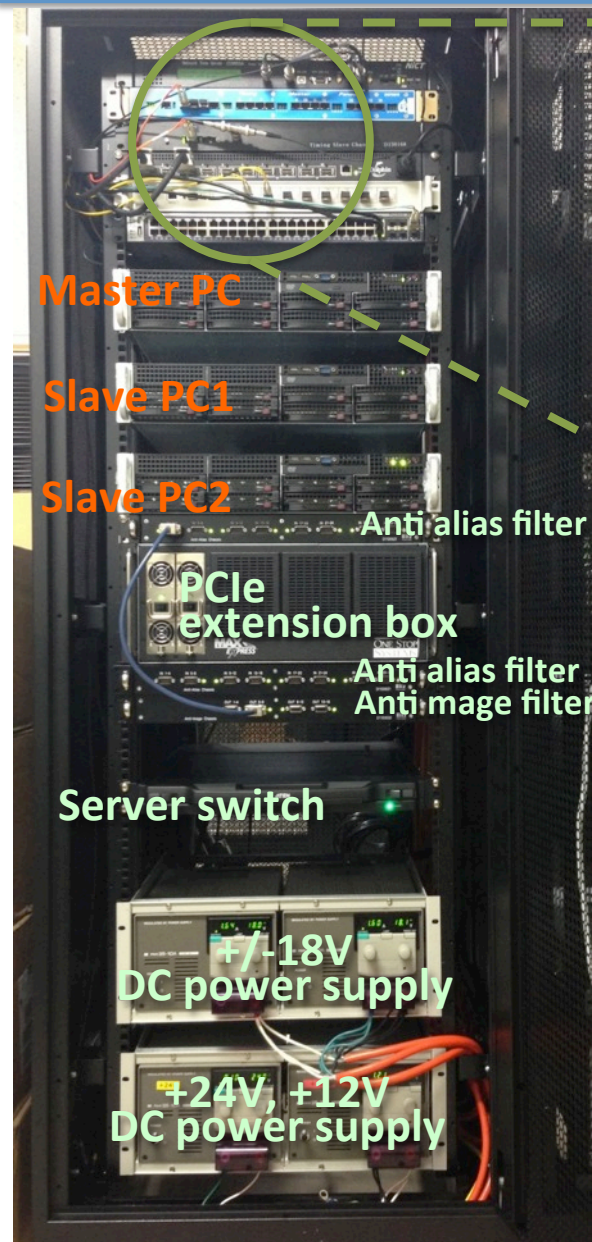
Green: increments

2度目のLIGO 訪問

- 昨年末の約2週間
 - ⇒ リアルタイム制御の全体像
 - ⇒ 多数の回路制作、検査、インストール
 - ⇒ AC電源の排除

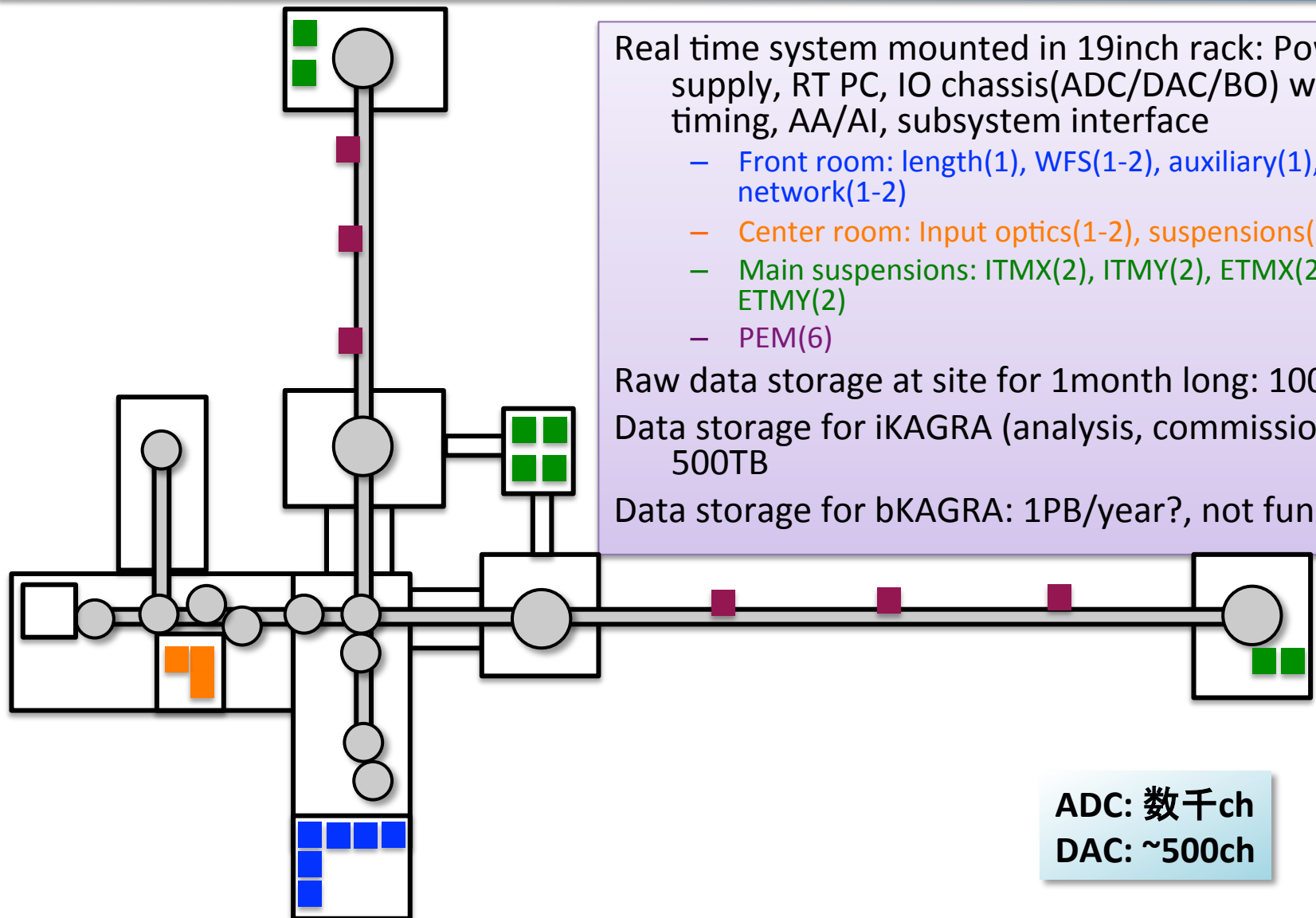


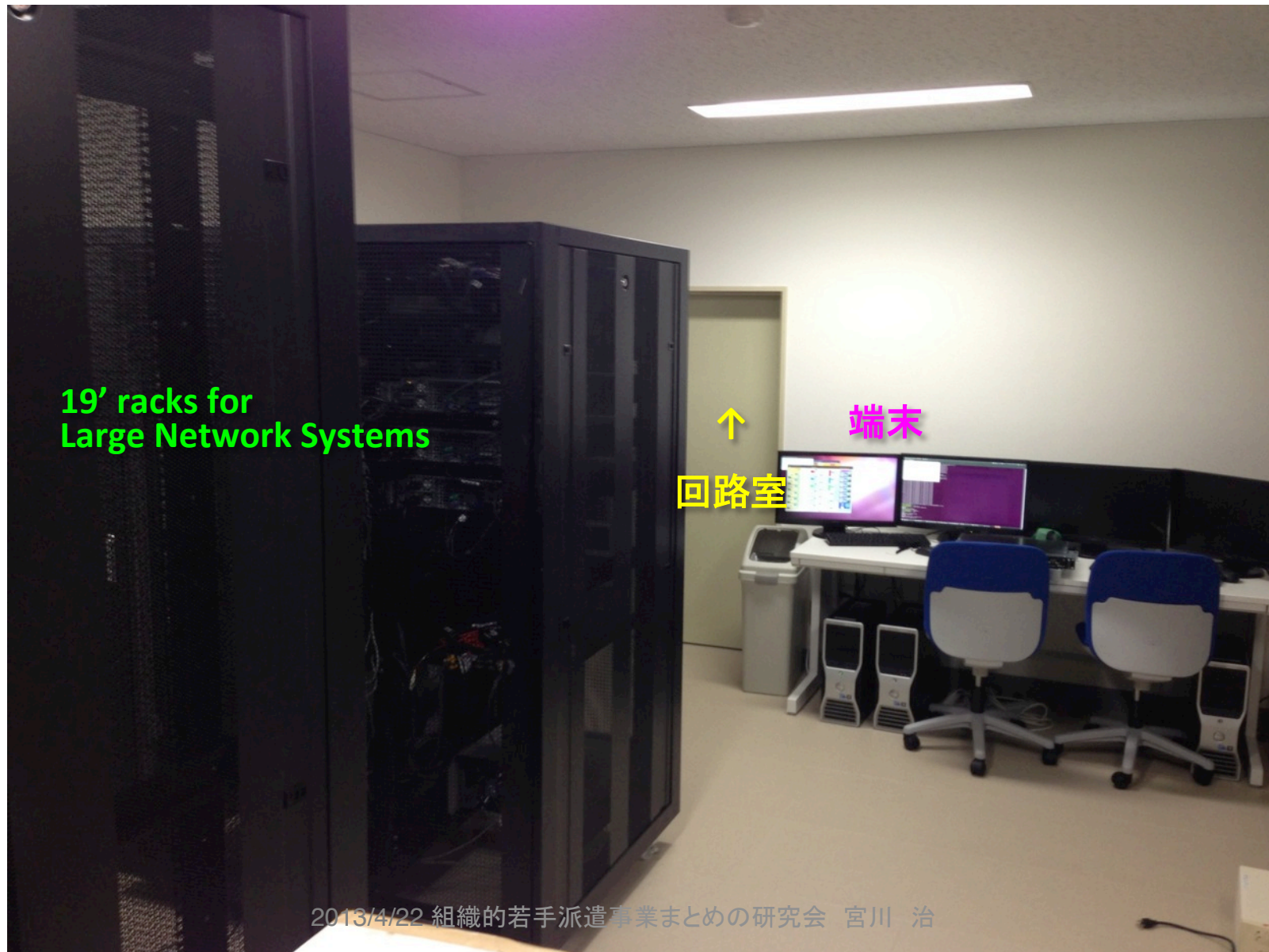
Small Network System: 複数台の計算機を繋いだテスト

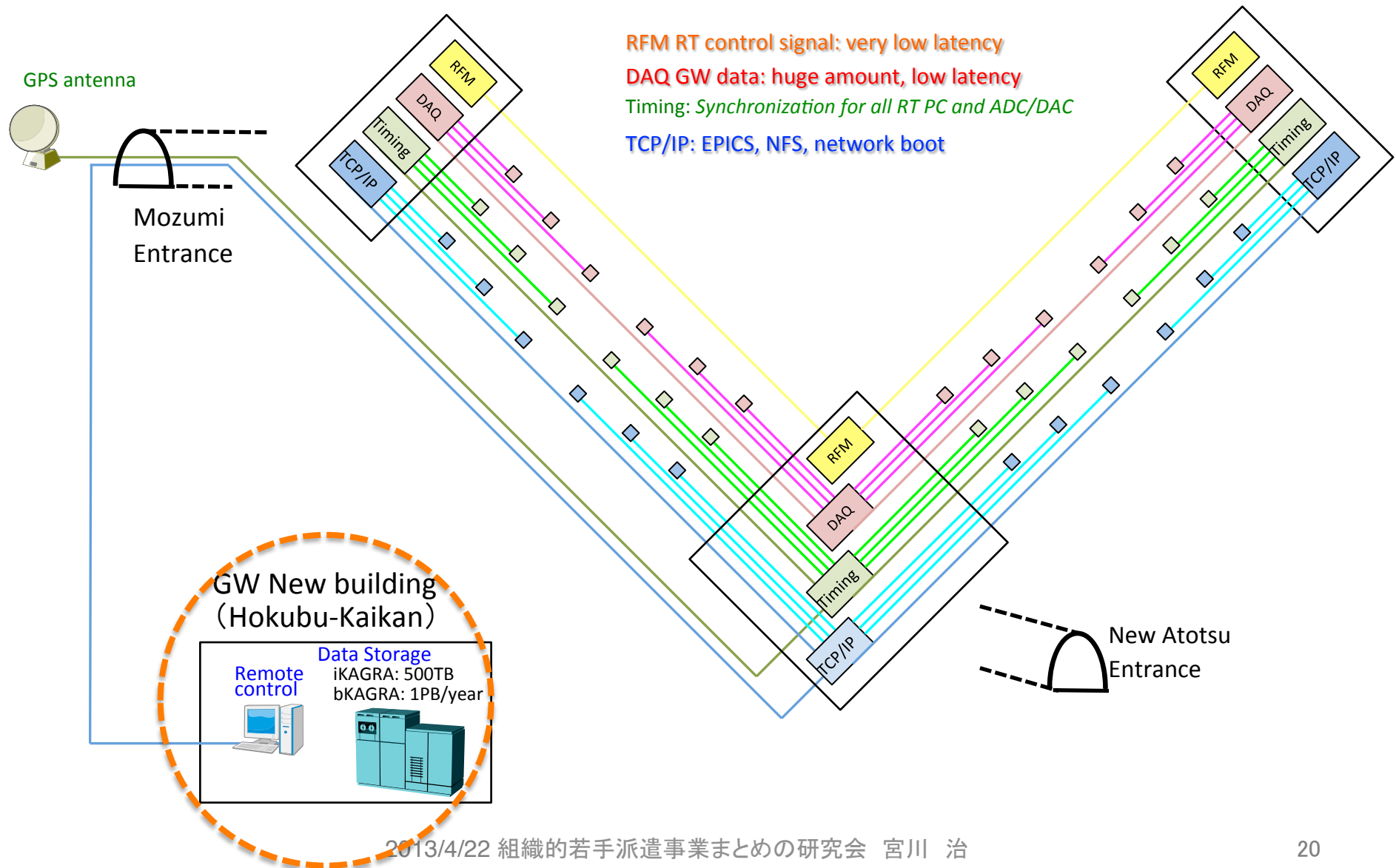


計算機一台でのリアルタイム制御はそれほど難しくはない。
2台目以降を繋ごうとしたとたんに格段に難しくなる

- **Computer:** 複数リアルタイム計算機の接続
- **Control:** 数km用と、数百m用の2種類の Reflective memory (RFM)を用いた計算機間の制御信号のやりとり
- **DAQ:** Myrinetを用いた重力波データの10Gbitでの転送
- **Timing:** GPS信号から複数のADC/DACへの同期







2012.4-2014.3

トンネル掘削

2014.4-2015.11

真空系インストール、施設整備

初期干渉計(iKAGRA)インストール・調整

2015年末

iKAGRAによる観測

2016年初め-2017年前半

最終干渉計(bKAGRA)へのアップグレード

2017年後半

本格的観測