



計算機を利用したLCGTの制御

2011/9/18(日) 日本物理学会2011年度秋期大会
於 弘前大学

宮川 治、大石奈緒子、斎藤陽紀、三代木伸二(東大宇宙線研)、
和泉究(東大天文)
麻生洋一(東大理)、
端山和大(国立天文台)、
LCGT collaboration



LCGTに必要な計算機による制御

1. **リアルタイム制御**としての役割
 - 複雑な多自由度制御への対応
2. **重力波データ取得システム**としての役割
 - 制御信号＝重力波データ
3. **干渉計調整システム**としての役割
 - 感度向上までの時間短縮
4. **干渉計自動運転**としての役割
 - 安定した観測体制
5. **各種情報収集システム**としての役割
 - 多チャンネル信号の自動割り振り



計算機を利用した制御

- 早いシステムだけならDSP (TAMAで実績有り)、FPGAなどがある
- 多数の自由度が独立でなく、互いにカップルするな複雑な系を扱えるような柔軟なインターフェースを実現する必要がある



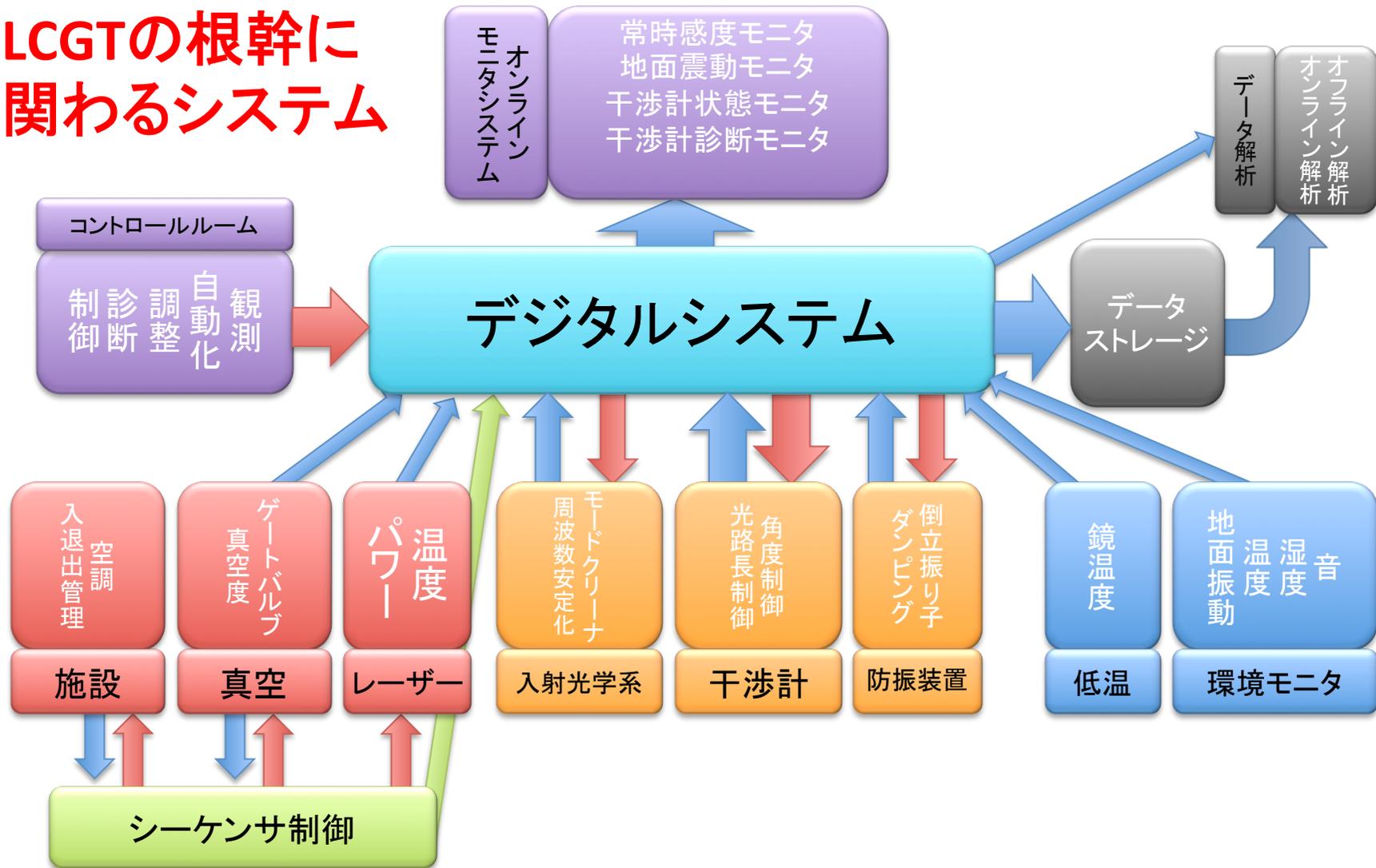
LIGOとの国際協力で一般的なサーバクラスの計算機に
Real time Linuxを載せて利用

- アナログフィルタをデジタルフィルタに置き換えるだけではない
- ADCとDACが良ければいいというわけではない
- 実装するソフトウェアが必要な役割を占める
- 3kmの腕を結ぶのと、多数の信号を扱うために、複数の計算機が必要になる
 - 計算機一台だけならそれほど難しくはないが、二台目をつなげるとリアルタイム制御はとたんに難しくなる



各種サブシステムとの関連

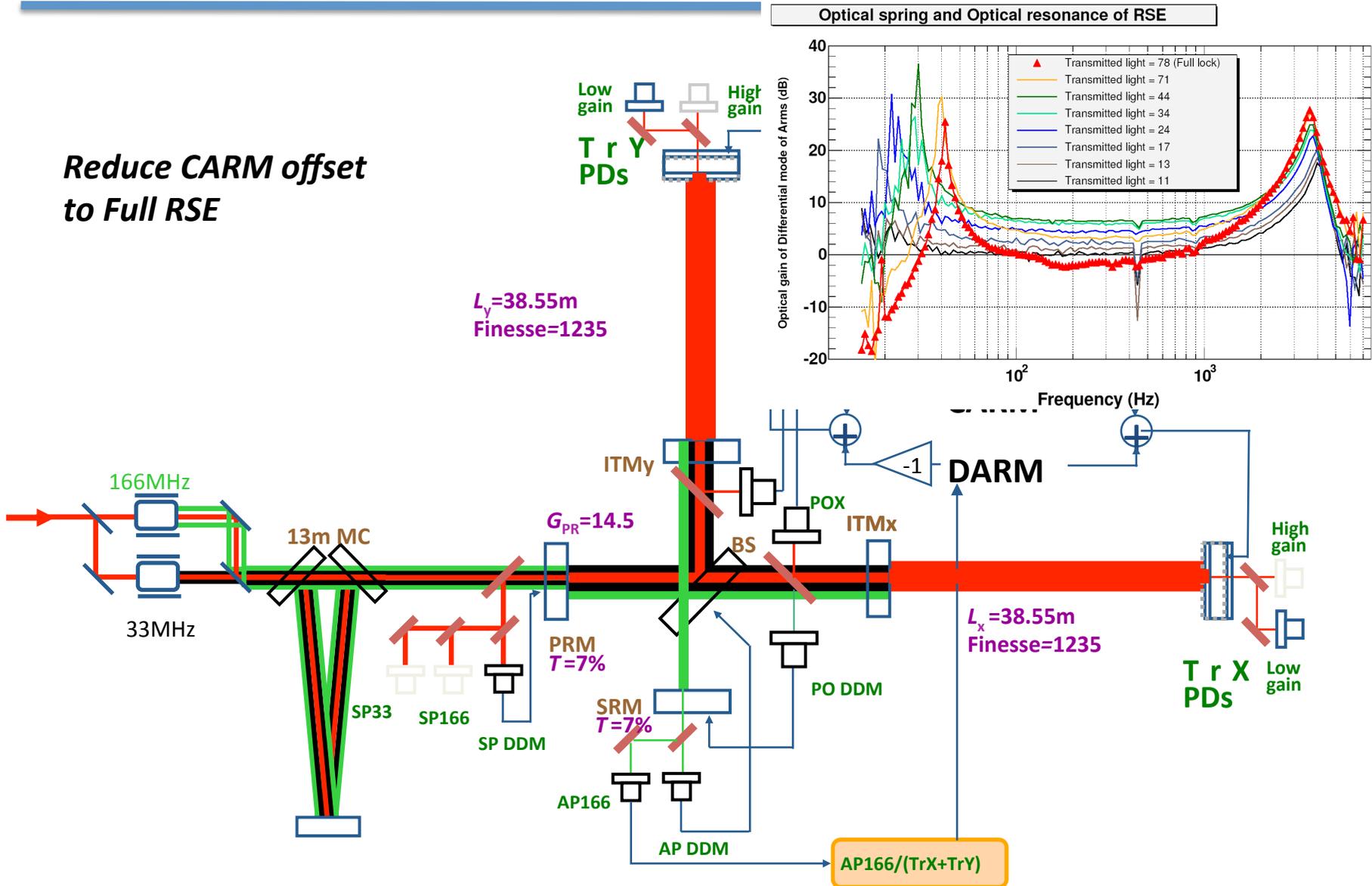
LCGTの根幹に関わるシステム





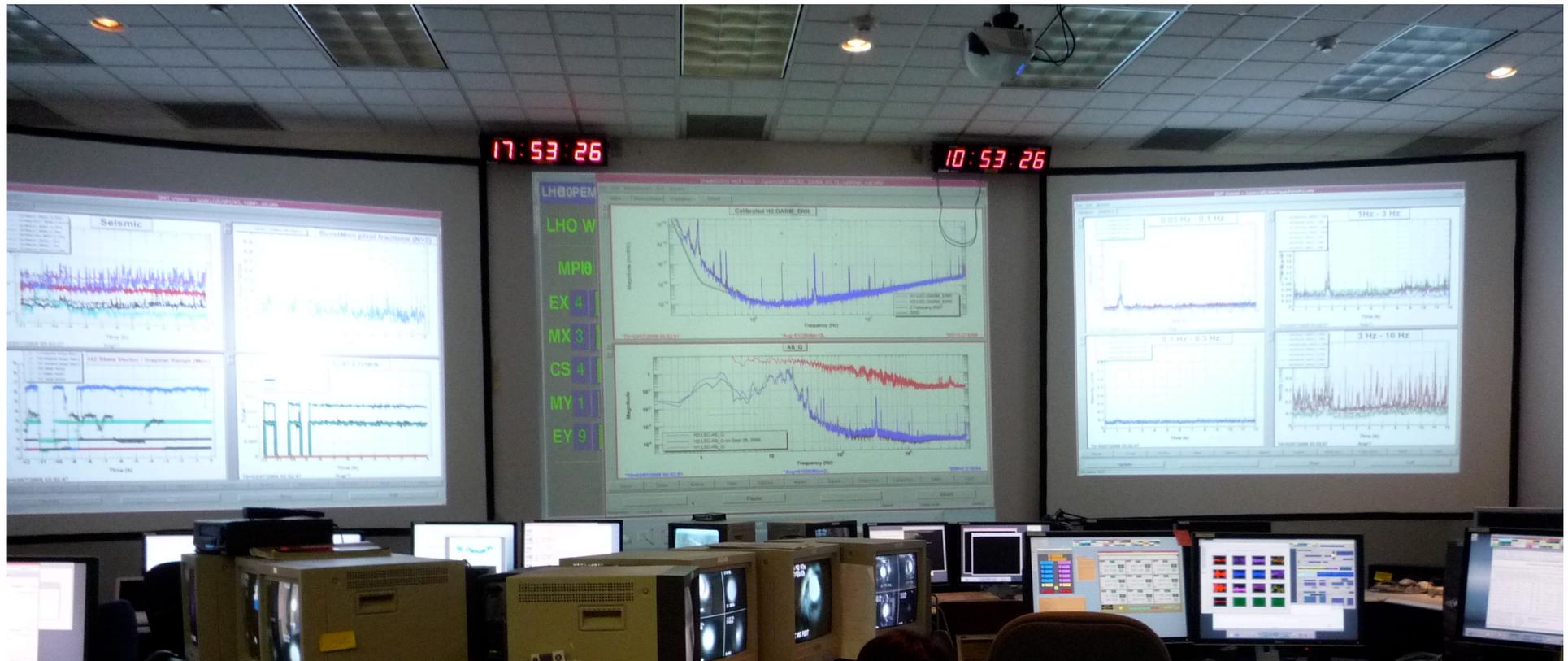
Lock acquisition procedure towards detuned RSE

Reduce CARM offset to Full RSE





例: LIGOのコントロールルーム



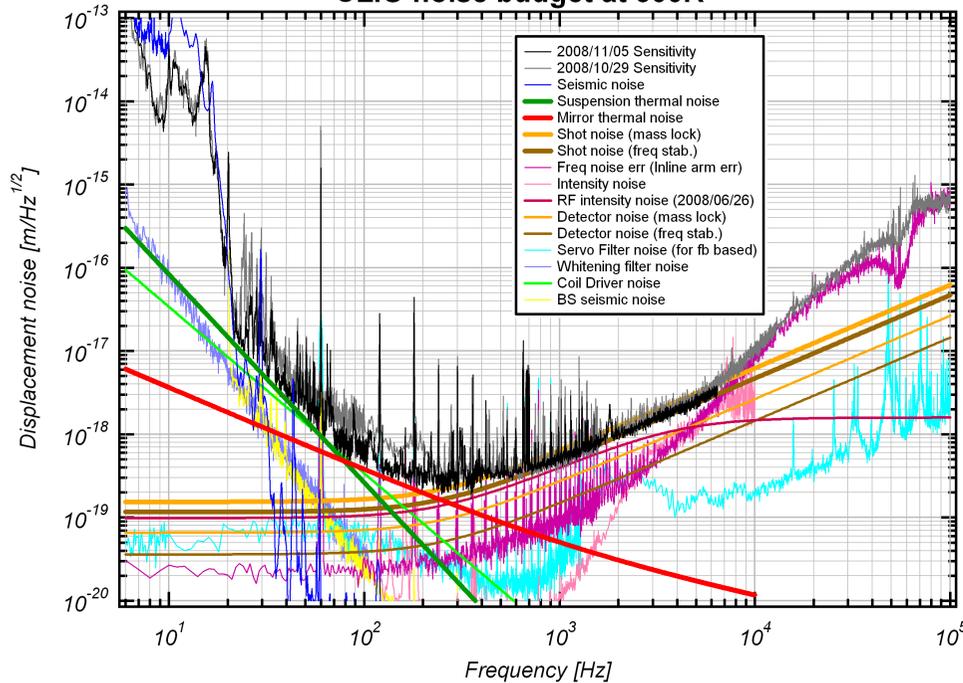
常に様々なデータが常時モニタされている



例: ノイズ源の評価

CLIO

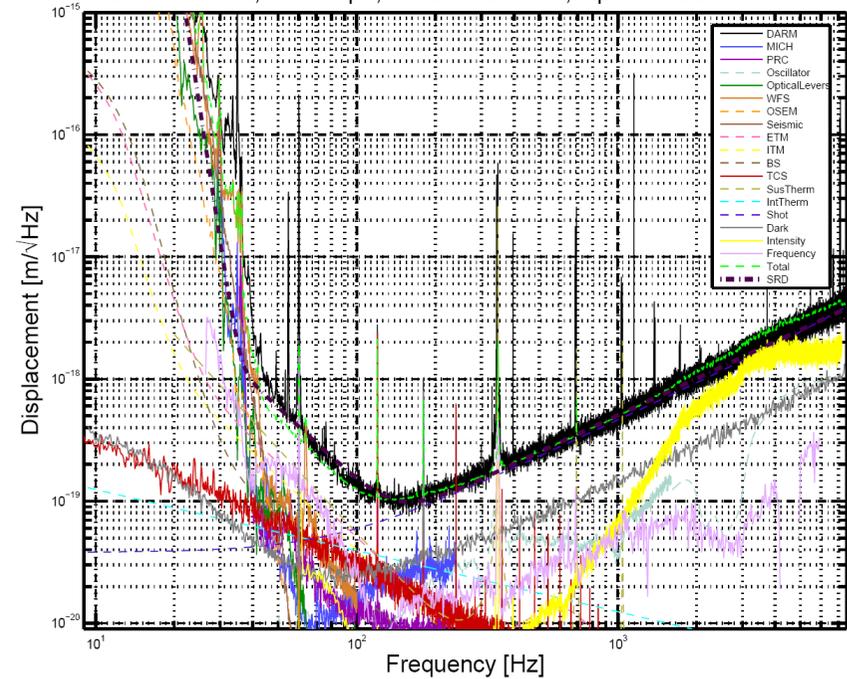
CLIO noise budget at 300K



一枚のみ存在

LIGO

L1: UGF = 165 Hz, 14.9 Mpc, Predicted: 15.8, Apr 25 2007 06:49:55 UTC



20分に一枚自動的に出てくる

ノイズハンティングにかかる時間に大きく関わる

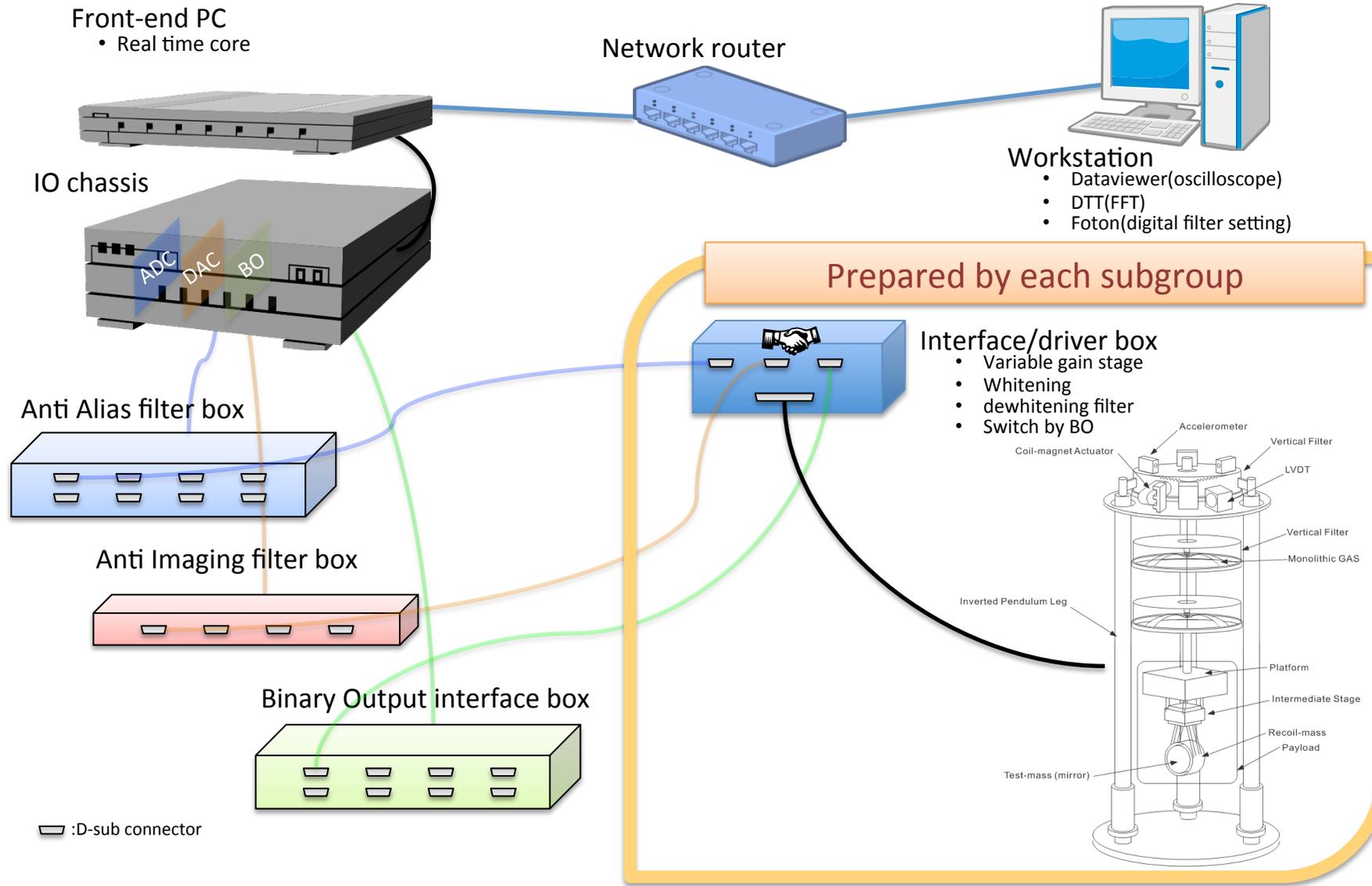


実装される機能

- リアルタイム制御->LIGOとの共同開発
 - Matlab、Simulin上のライブラリを開発
- チャンネル管理->EPICS
 - 数万に及ぶチャンネル命名のルール及び自動化
- 制御、調整、診断用アプリケーション
 - フィルター、モニター、オシロ、FFT、network analyzer
- 自動、遠隔捜査
 - スクリプト等による干渉計制御



Connecting subsystems into digital system

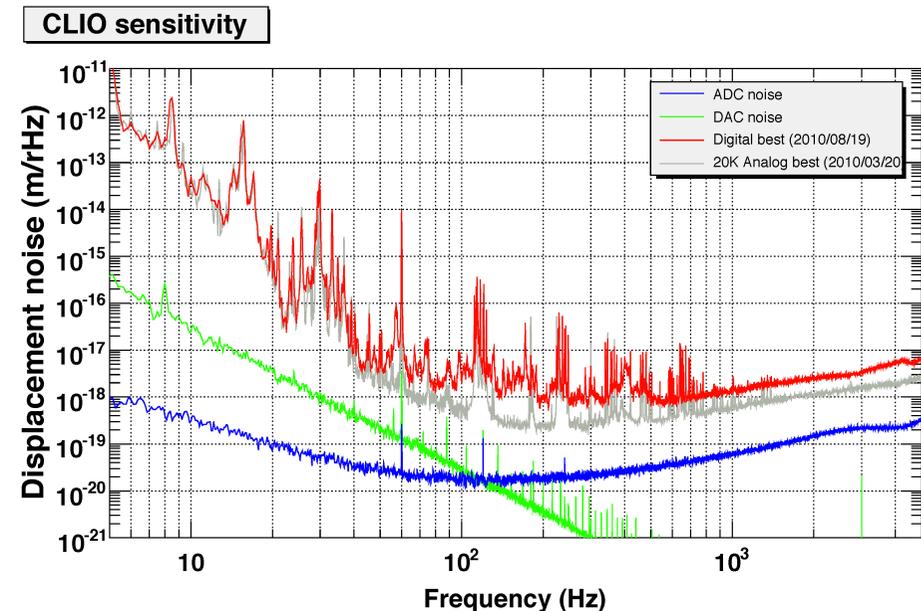




CLIOでのデジタル制御(2009~)

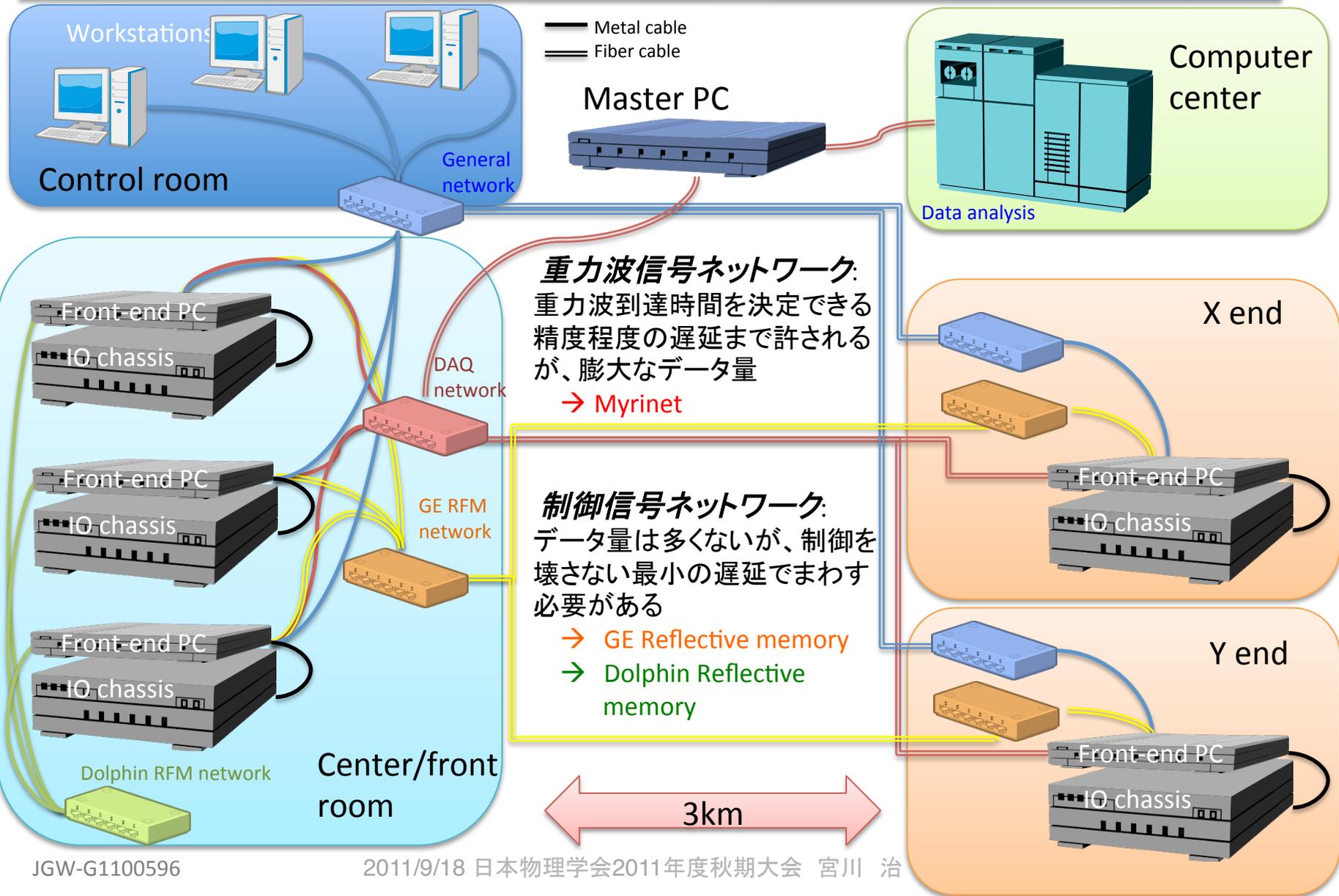
位置づけ: LCGTの干渉計制御のプロトタイプテスト

- ☑ CLIO用デジタルシステムのLIGOとの共同開発の準備
 - ☑ Requirements
 - ☑ MOU
- ☑ Real time systemの開発
 - ☑ 計算機及びPCIe拡張ボックスの日本での入手とのセットアップ
 - ☑ ADC/DAC/Binary output等の入出力カードの日本での入手と動作確認
 - ☑ 制御対象にあわせたReal time codeを書く(Matlab上)
 - ☑ MEDMによるGUIでのヒューマンインターフェースの準備
- ☑ AA/AI/Whitening/Dewhitening回路の初期開発、テスト、デバッグ
 - ☐ Lock acquisition
 - ☑ 光路長制御のMass lockのループを完全にDigital制御で置き換え完了
信号→whitening→AA→ADC→Real time PC→DAC→AI→Dewhitening→Actuator
 - ☑ 線形化、入射パワーによる規格化などのAdvanced lock
 - ☐ MCロックアクイジションのスクリプト化
 - ☐ 一本目の腕まで含めた、フルオートロックシステム
 - ☑ Calibration、常時感度モニタ
 - ☑ Whitening/DewhiteningによるADC/DACノイズの低減
 - ☑ CLIOレベルの感度で実用的に稼働可能かどうかのチェック
 - ☐ アライメント
 - ☑ Pico motor driverの開発
 - ☑ QPDオートセンタリングシステム
 - ☐ 初期フルアライメントシステム(腕を含む)
 - ☐ 温度、湿度、ダスト、音、地面振動などのSlow信号モニター
(年単位のデータ蓄積)
 - ☐ オートNoise Budge
- ☑ その他R&Dへの応用 → LSPIの制御にも使用



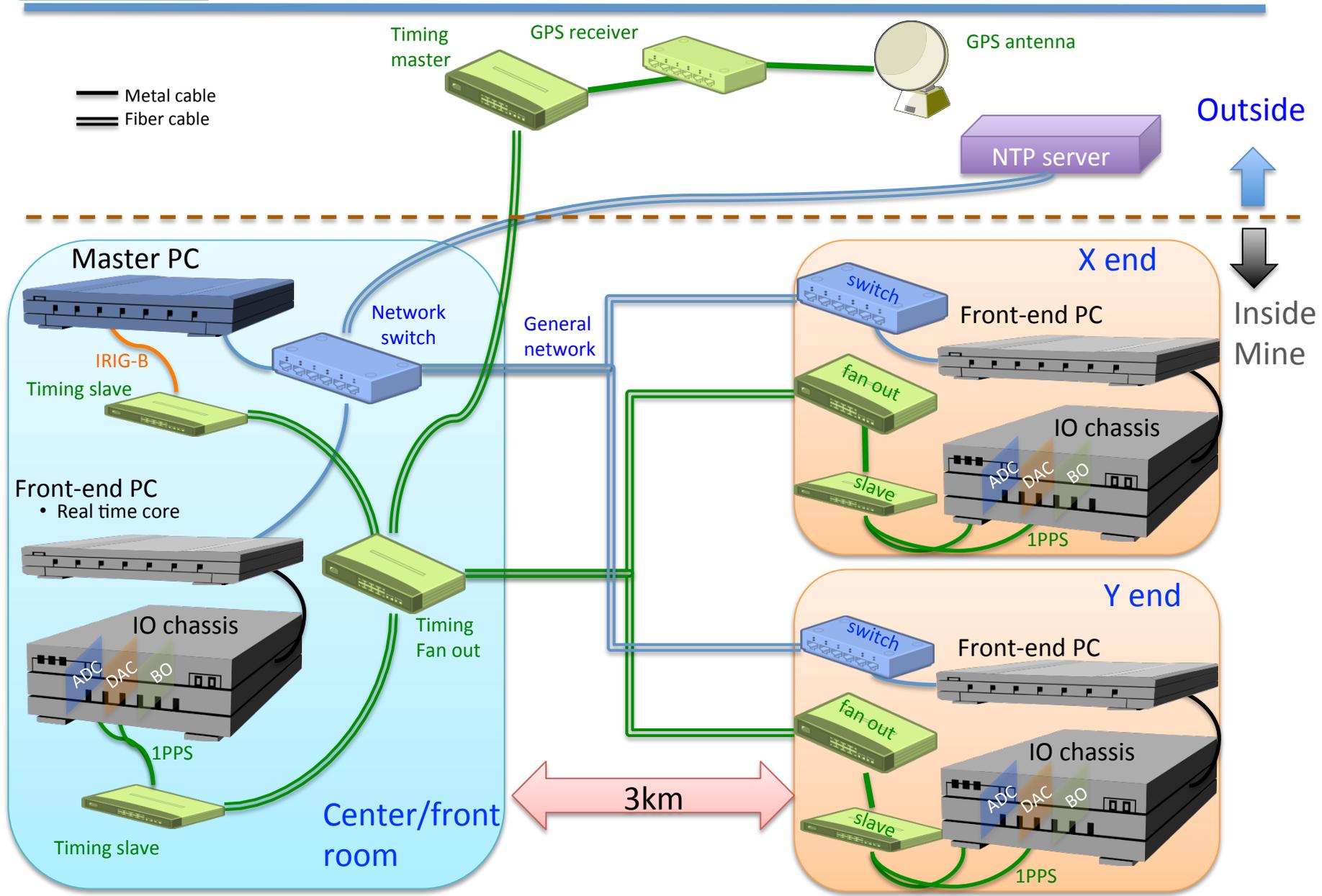


Digital system Network design



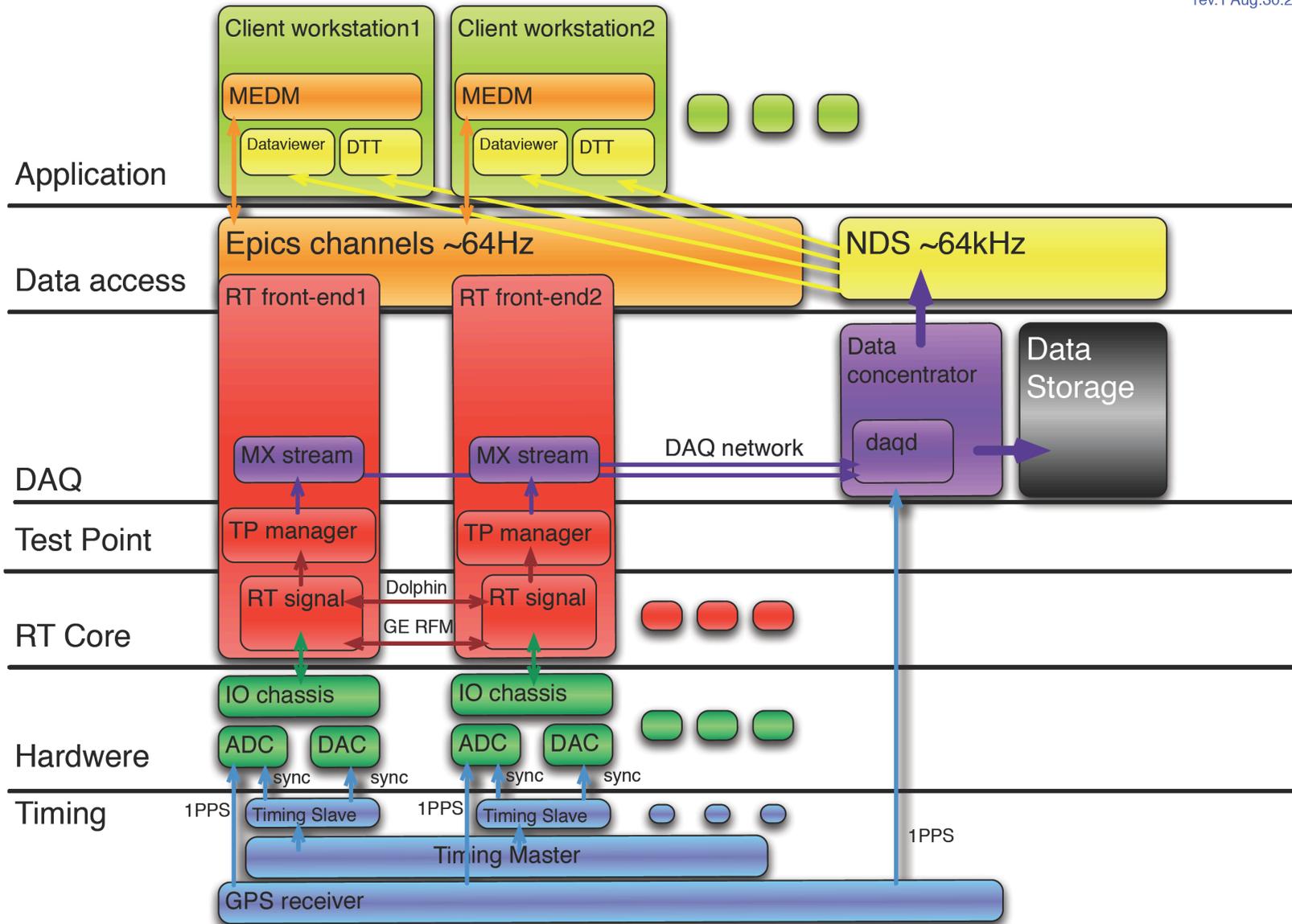


Timing Network



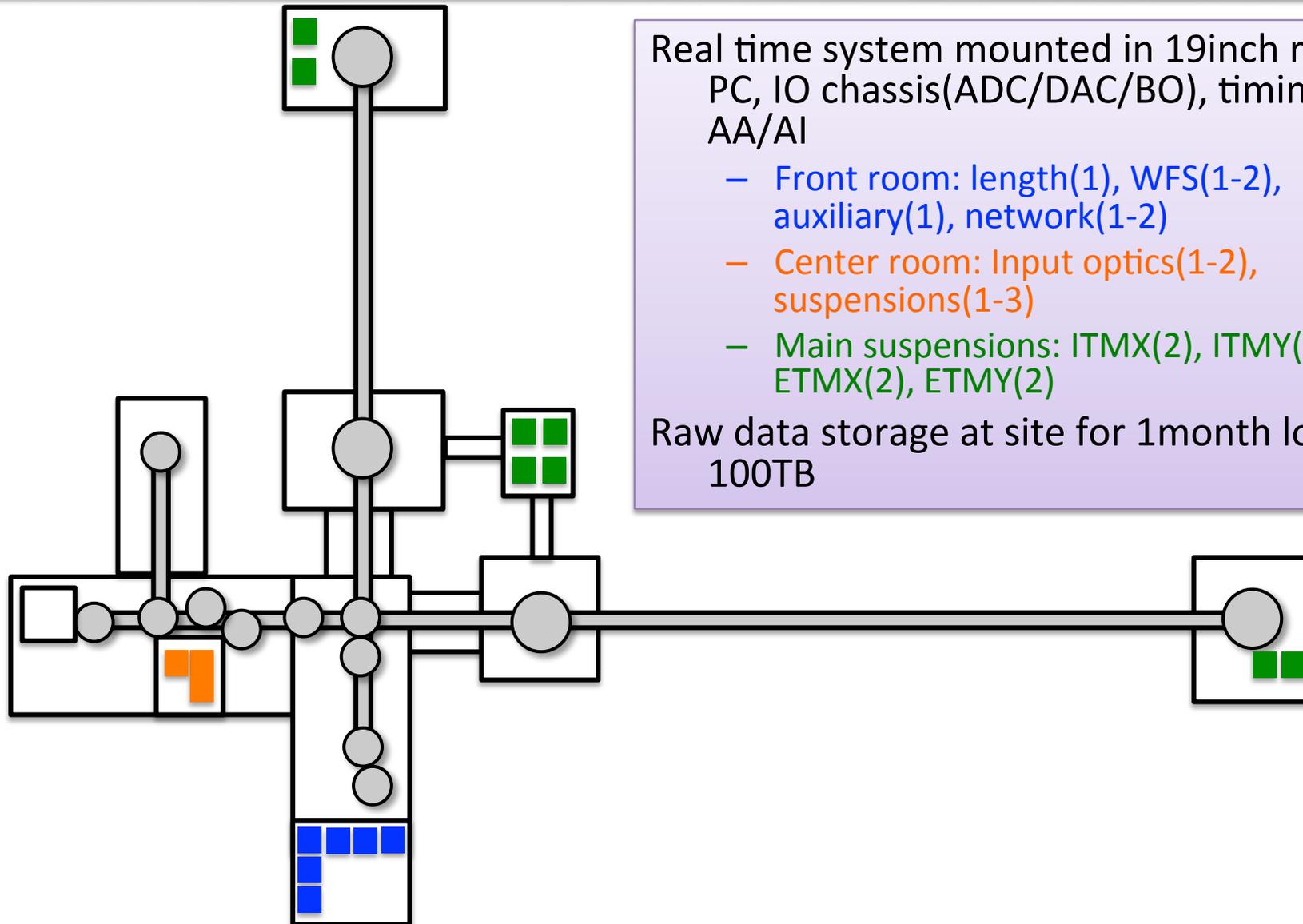
LCGT Digital System Layer Map

JGW-D1100588
rev.1 Aug.30.2011





Rack position



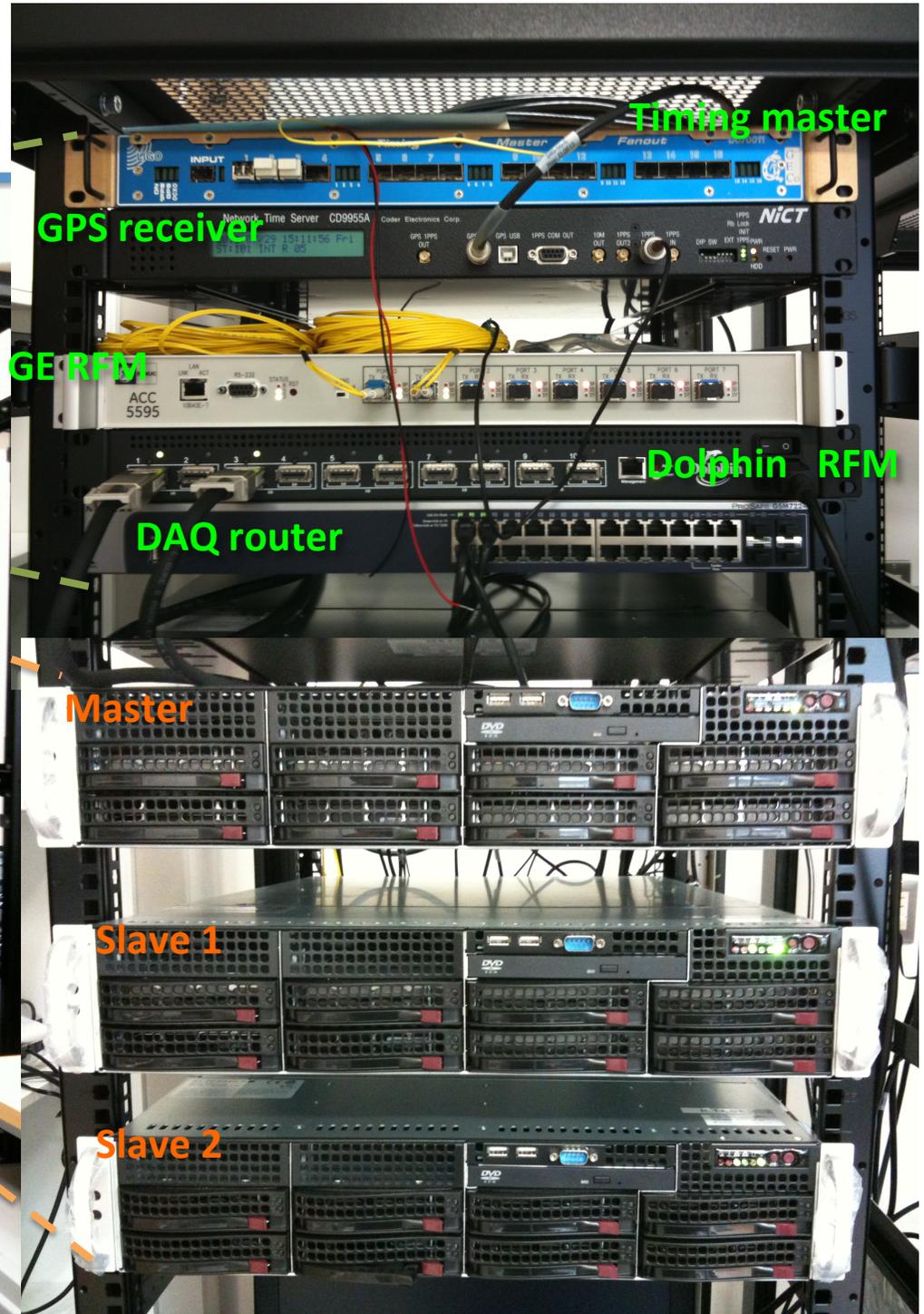
Real time system mounted in 19inch rack:
PC, IO chassis(ADC/DAC/BO), timing,
AA/AI

- Front room: length(1), WFS(1-2), auxiliary(1), network(1-2)
- Center room: Input optics(1-2), suspensions(1-3)
- Main suspensions: ITMX(2), ITMY(2), ETMX(2), ETMY(2)

Raw data storage at site for 1month long:
100TB



Network test



Server switch

DC power supply

GPS receiver

GE RFM

Timing master

Dolphin RFM

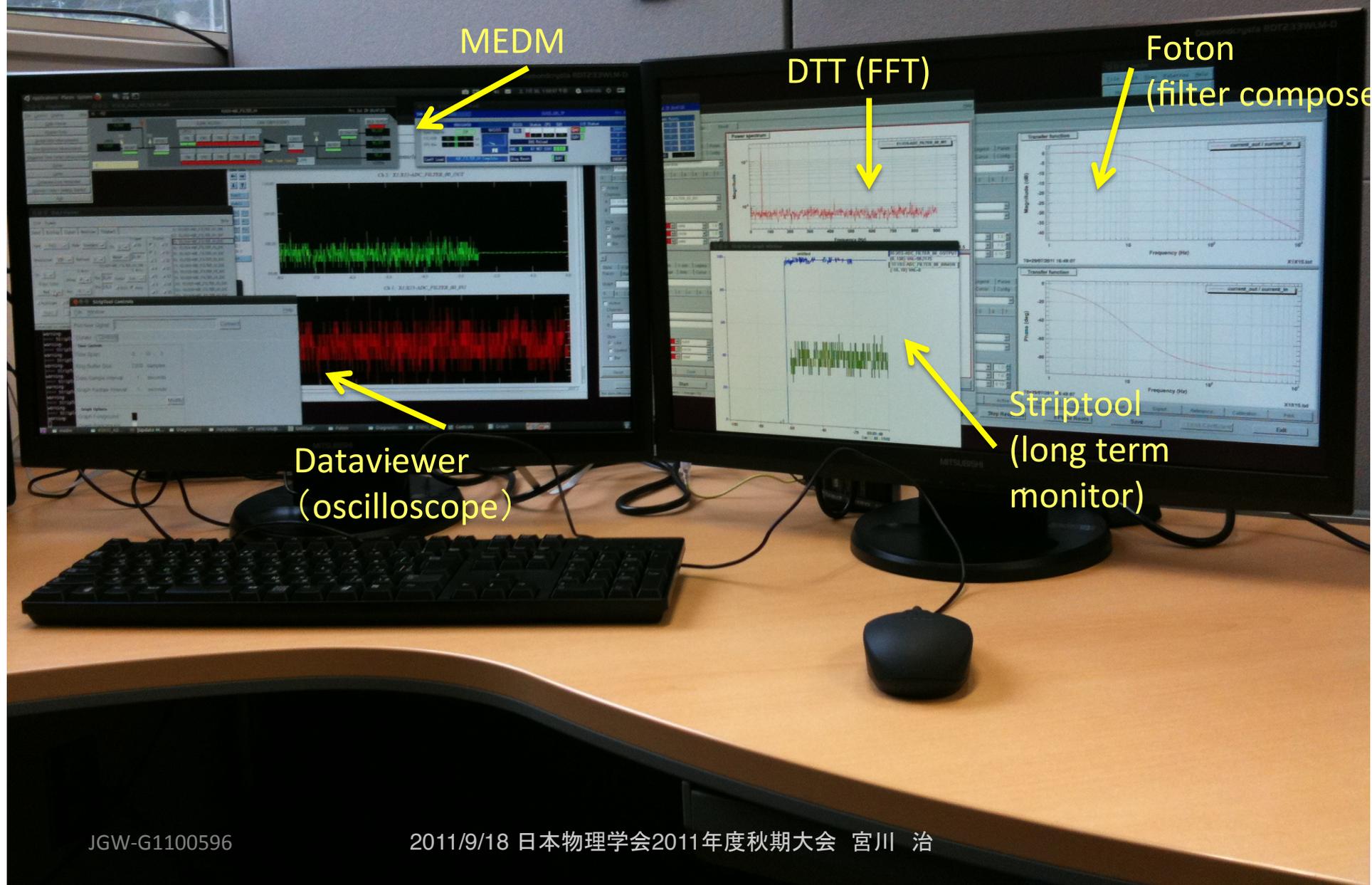
DAQ router

Master

Slave 1

Slave 2

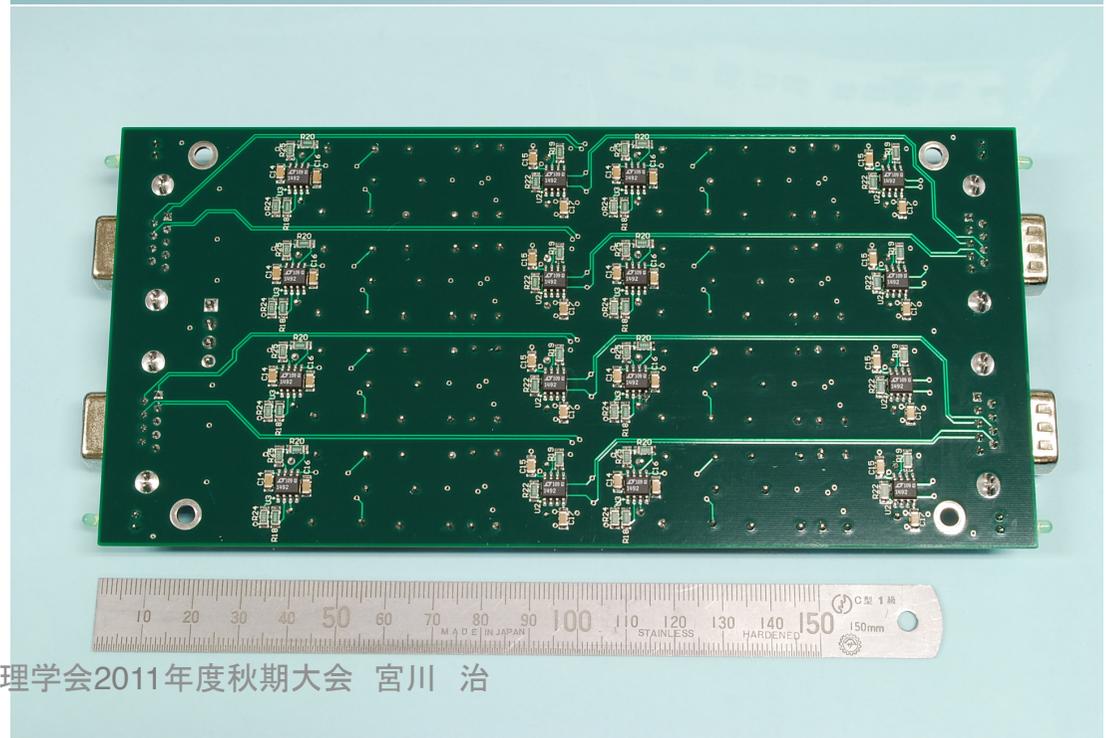
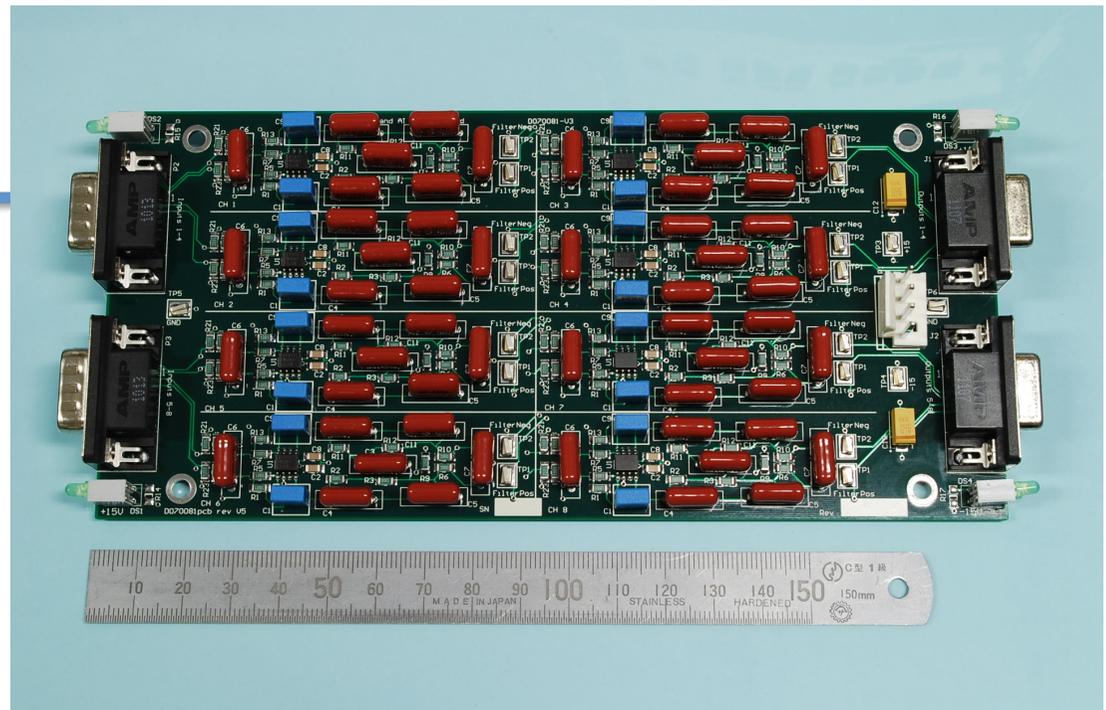
Client system



LCGT AA/AI board

- LIGO designed AA/AI filter boards
 - 8ch differential input (16ch for single) / board
 - 6 layers circuit board

- 大量の回路
 - デザイン
 - 組み立て(電源、箱)
 - 全チャンネルのチェック
 - LCGT全体で合計500枚程度必要





Summary

- 複雑で多数の自由度を持つLCGTでは計算機を用いた柔軟な制御システムが必須である
- 複数台の計算機をネットワークで接続した、リアルタイム制御のためのシステム開発の目処がついた
- デジタル上で開発した技術はコピーが非常に容易であるため、これまで開発した技術もそのままLCGTへと適用できる

- 今後の予定
 - 回路などケーブリングなど多チャンネルを扱う場合の対策
 - 安定性及び冗長性の検証
 - 大型システムへの拡張とLCGTへのインストール