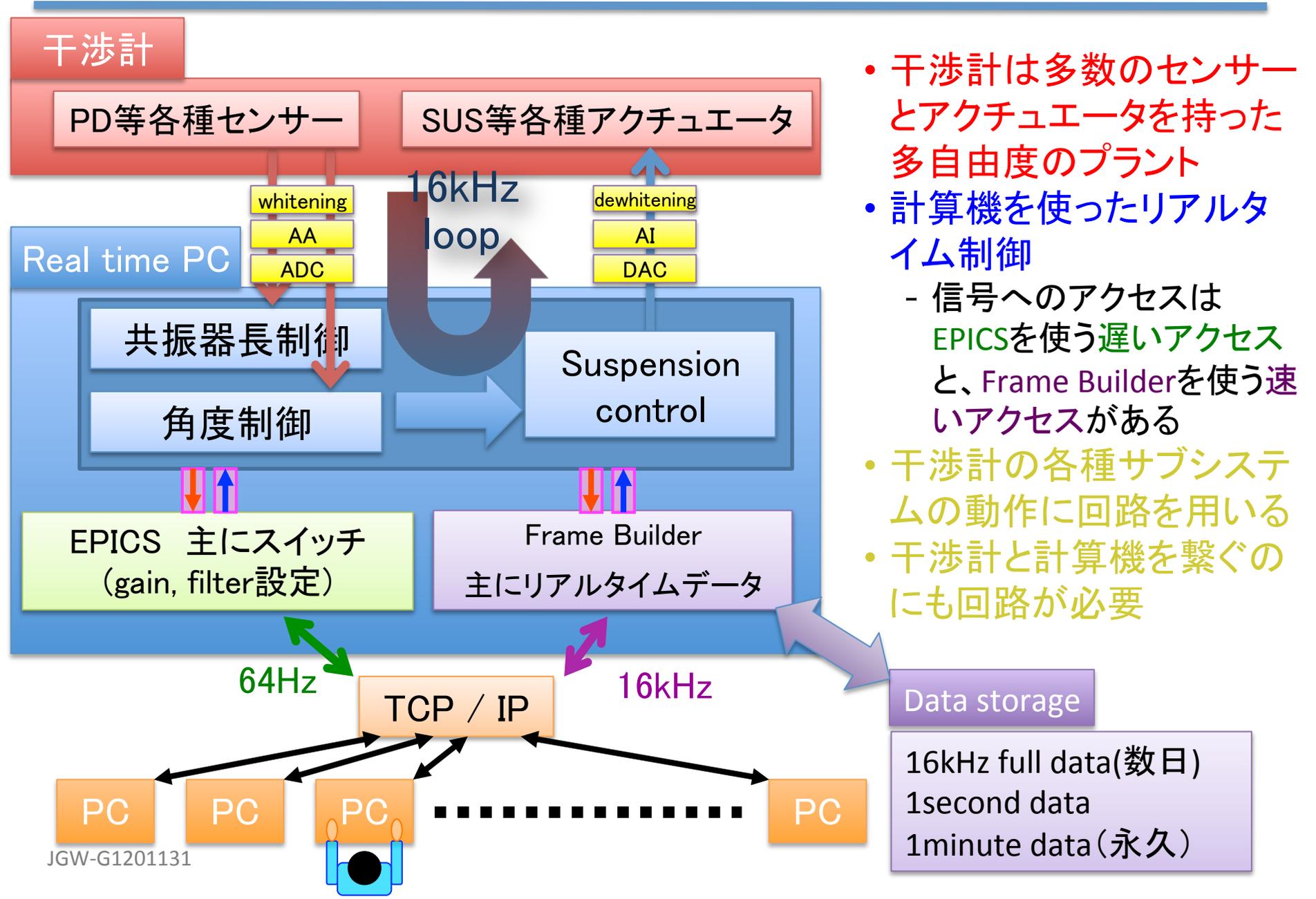


KAGRAの制御

2012/7/7(土) 富山大学五福キャンパス

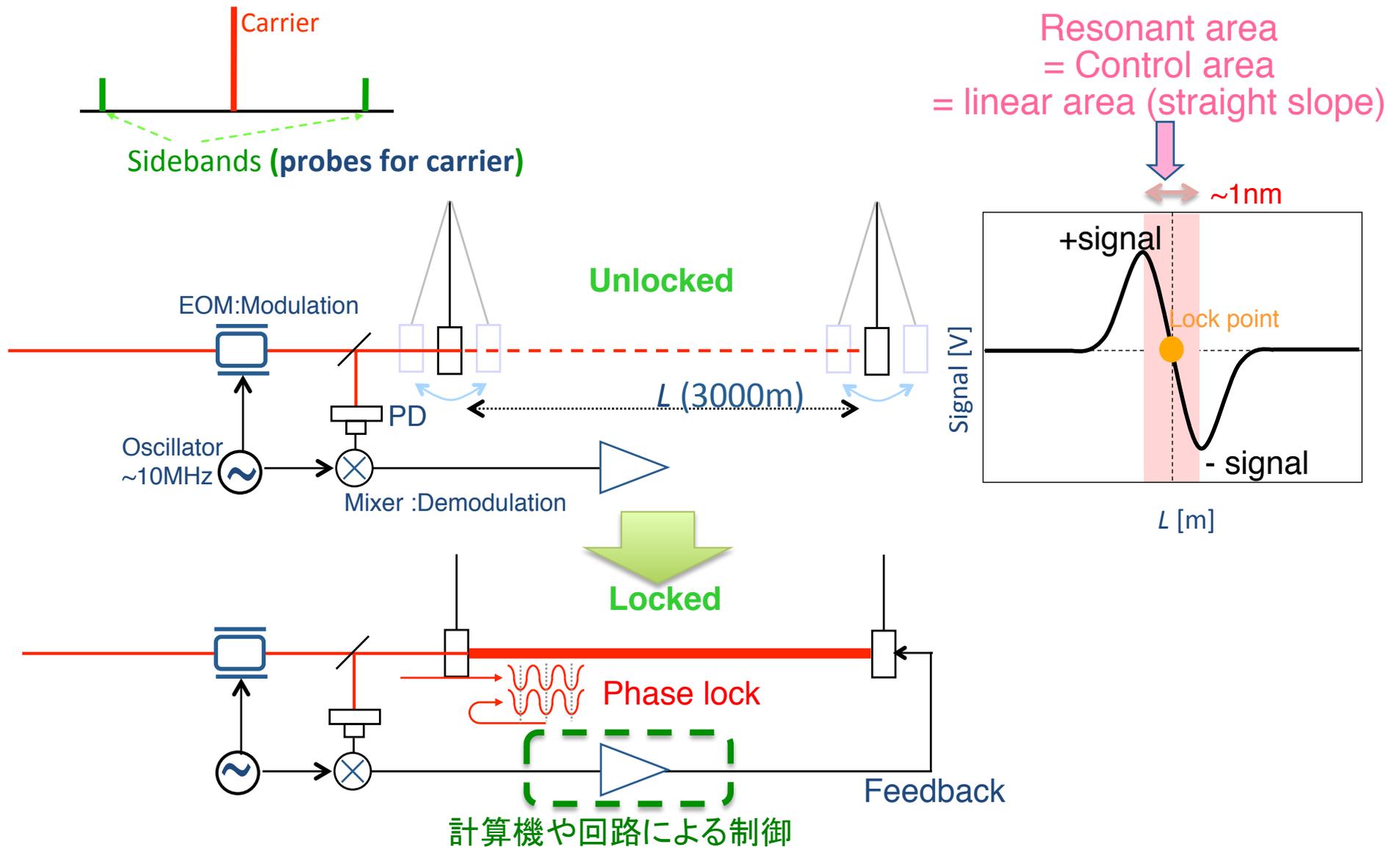
東大宇宙線研 宮川 治

重力波検出器のための制御の概念図



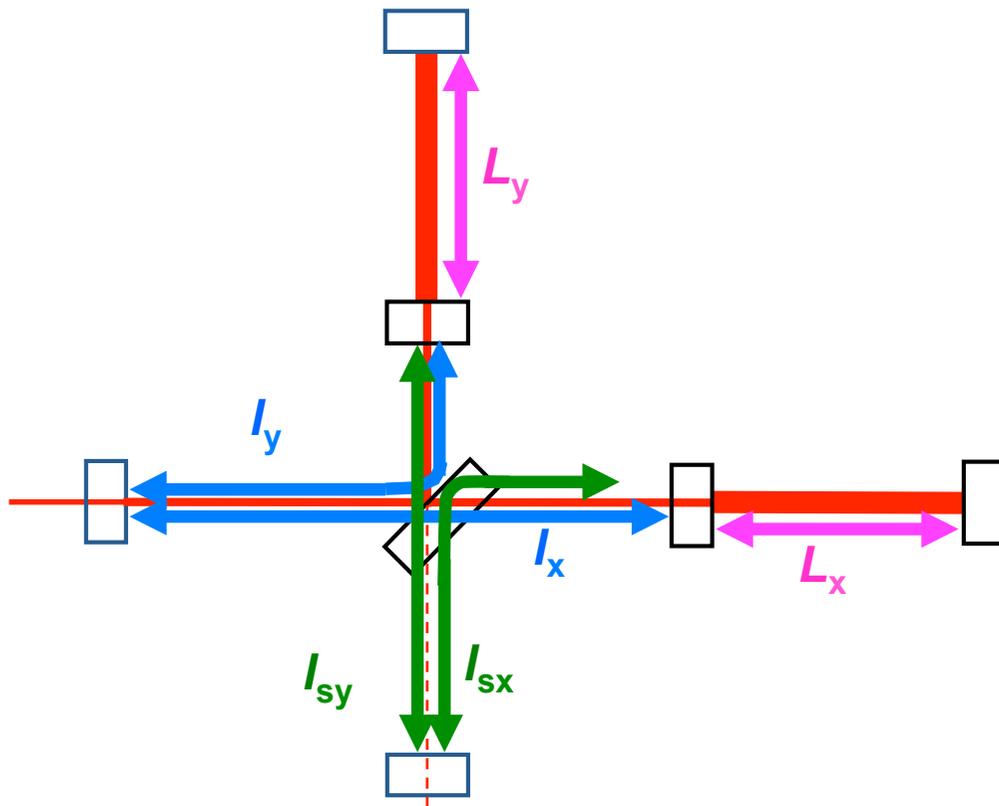
- 干涉計は多数のセンサーとアクチュエータを持った多自由度のプラント
- 計算機を使ったリアルタイム制御
 - 信号へのアクセスはEPICSを使う遅いアクセスと、Frame Builderを使う速いアクセスがある
- 干涉計の各種サブシステムの動作に回路を用いる
- 干涉計と計算機を繋ぐのにも回路が必要

制御による干渉計の動作状態のキープ



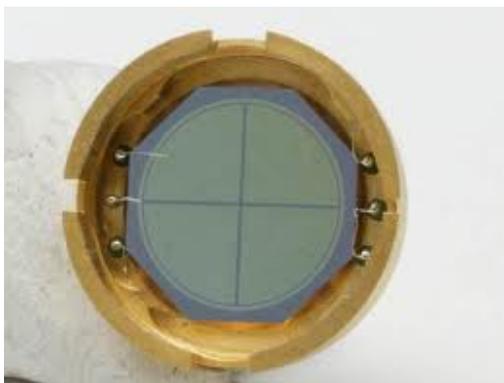
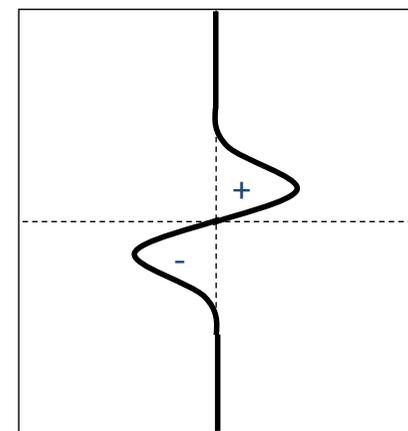
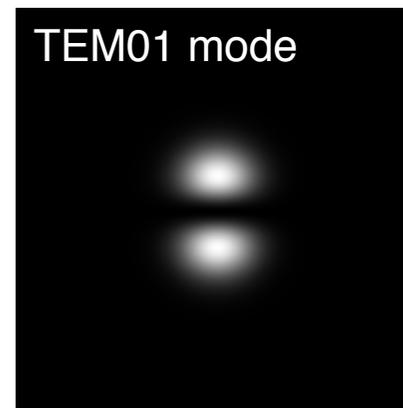
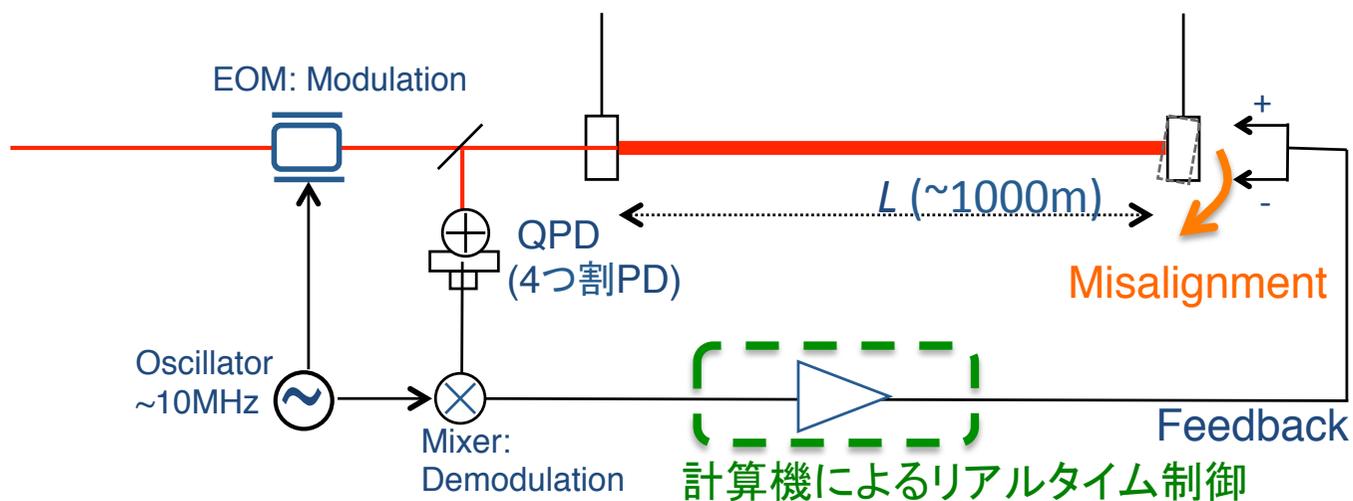
光路制御: 5(~数十) DOFs

- $L_+ = (L_x + L_y) / 2$
- $L_- = (L_x - L_y) / 2$
- $l_+ = (l_x + l_y) / 2$
- $l_- = (l_x - l_y) / 2$
- $l_s = (l_{sx} + l_{sy}) / 2$



鏡の角度制御: ~50 DOFs

防振装置などの制御: 数百 DOFs



干渉計

- 非常に狭い範囲でのみ動作するセンサー
- 動作させるためにアクチュエータを介して制御をし続けることが必要
- 多数(数百)の自由度があり、それぞれの自由度がクロストークする可能性がある
 - 非常に複雑な制御トポロジー

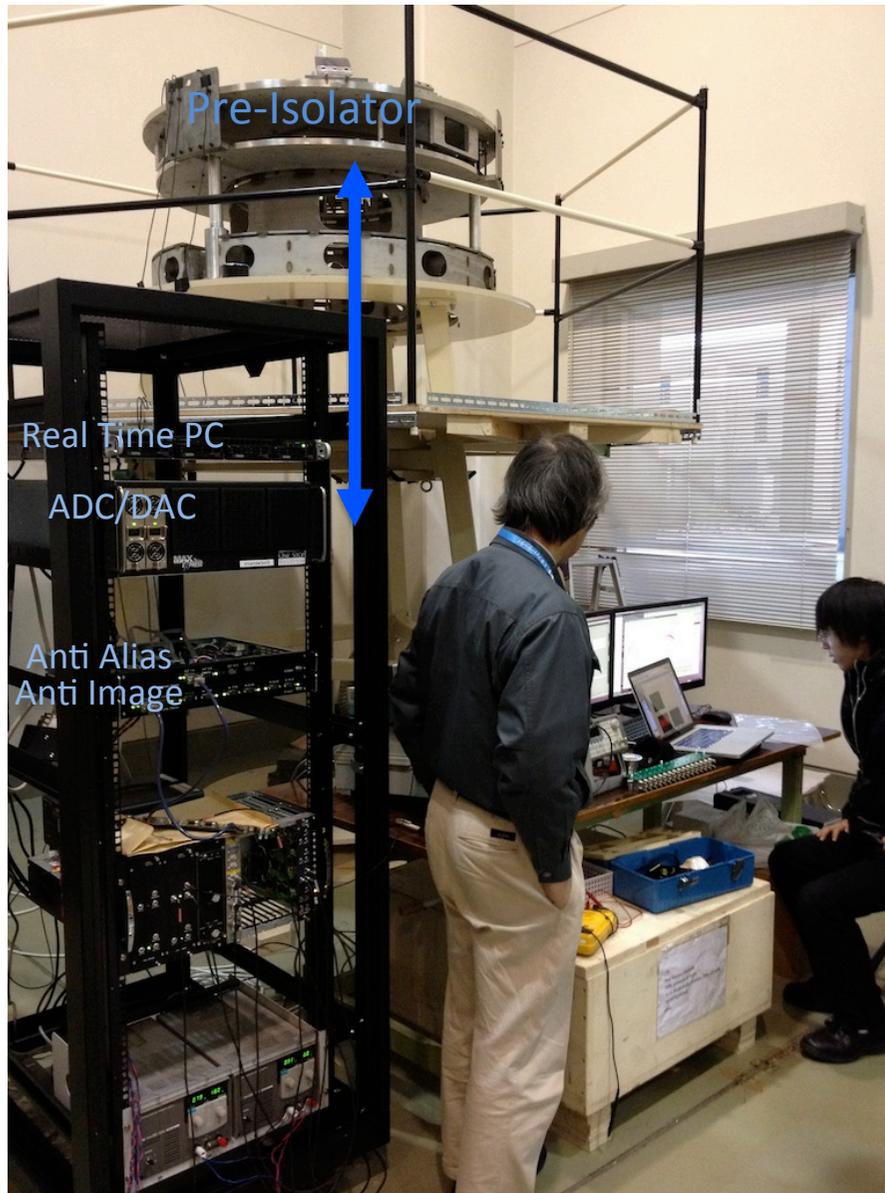
計算機

- 計測システムであると同時に制御装置でもある、解析のためのデータも出す
- 非常に多くの信号を扱う
 - ADC: 3200ch、DAC: 800ch、EPICS: 数万ch
- 微小計測なので、ノイズに非常に敏感
 - 制御することによるノイズの混入もある

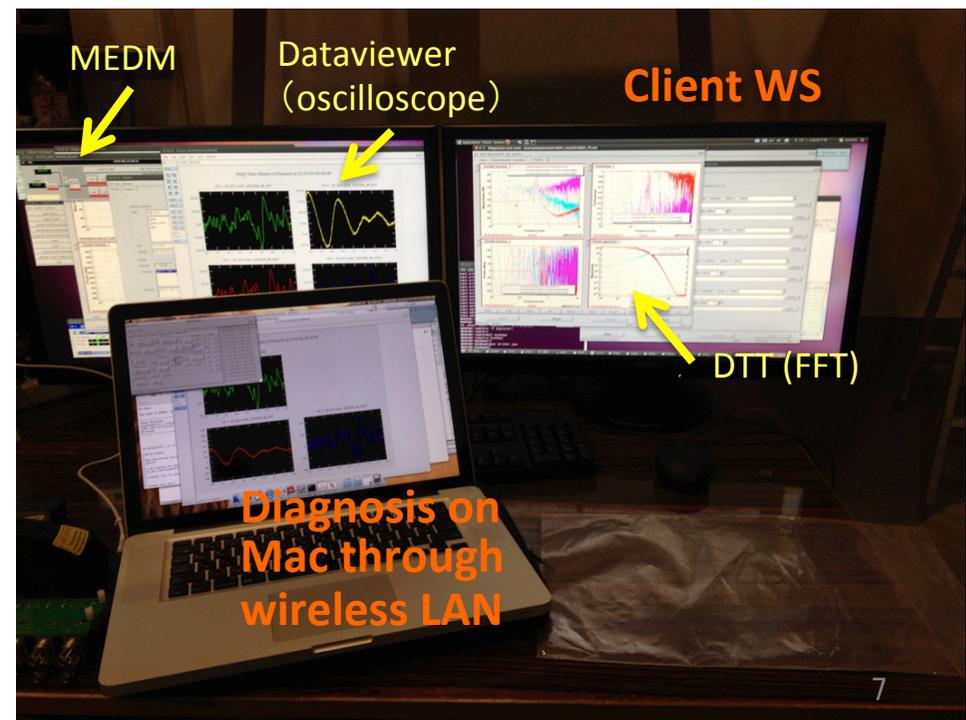
回路

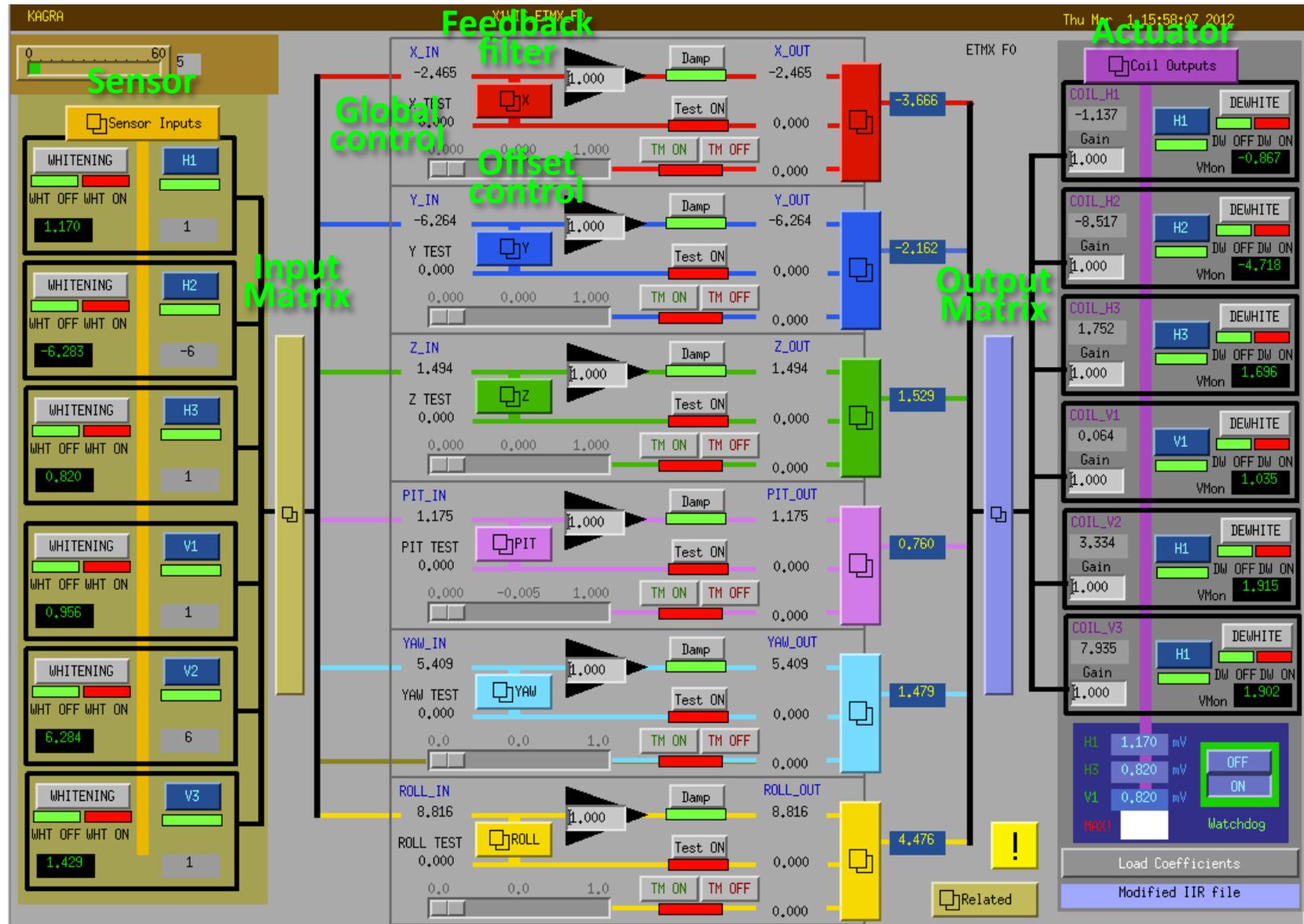
- 各サブシステムを動作させるため、ほぼ全てのサブシステムに何らかの回路が組み込まれる
 - 基板: ~百種類、~数千枚、DCからRF(数10MHz)までの様々な帯域
- サブシステムと計算機を繋ぐ重要な役割
- 微小計測なので、ノイズに非常に敏感

Delivering standalone digital system to VIS group at ICRR, Kashiwa



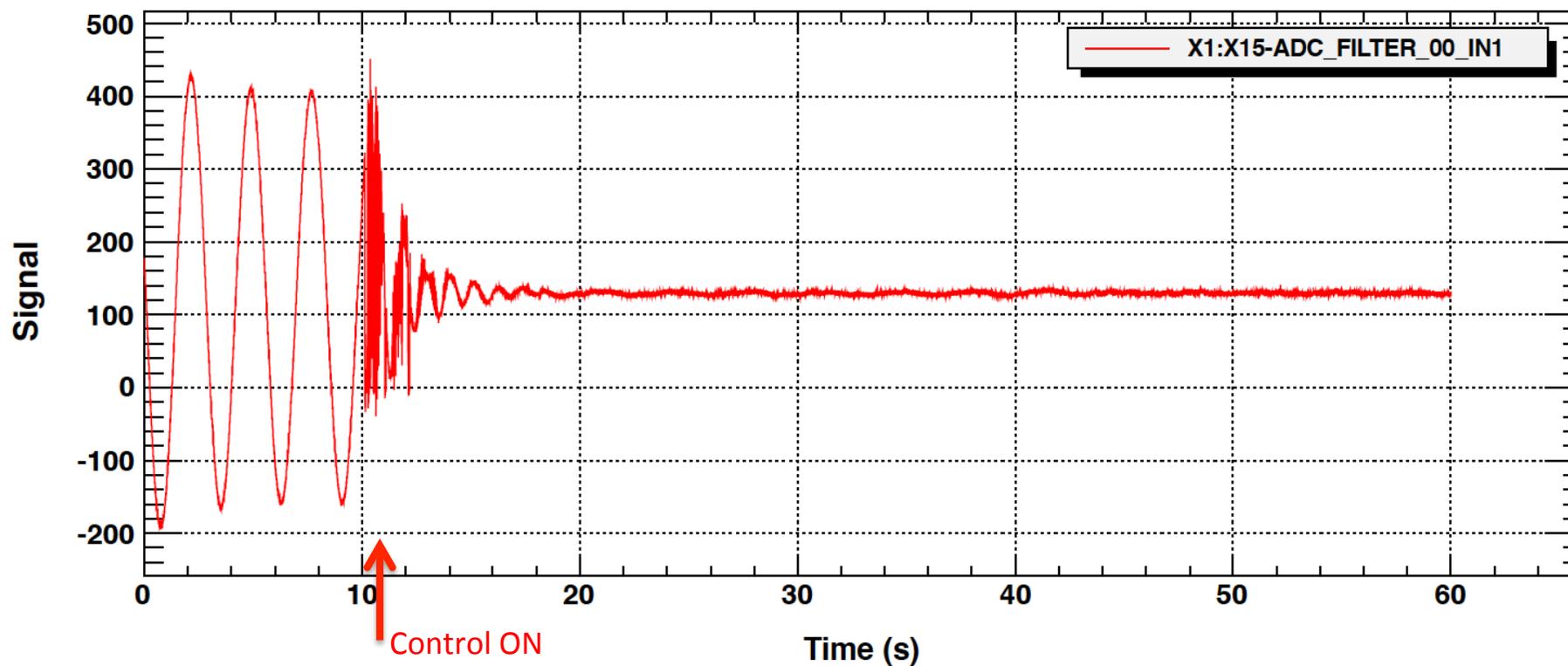
- **Simple standalone system** (RT PC + ADC/DAC, AA/AI, Client WS, router) has been **delivered to VIS group at Kashiwa** on 1/30/2012.
- 3days work for installation, lecture, training and measurement/control





First control for Pre-Isolator vertical motion using digital system

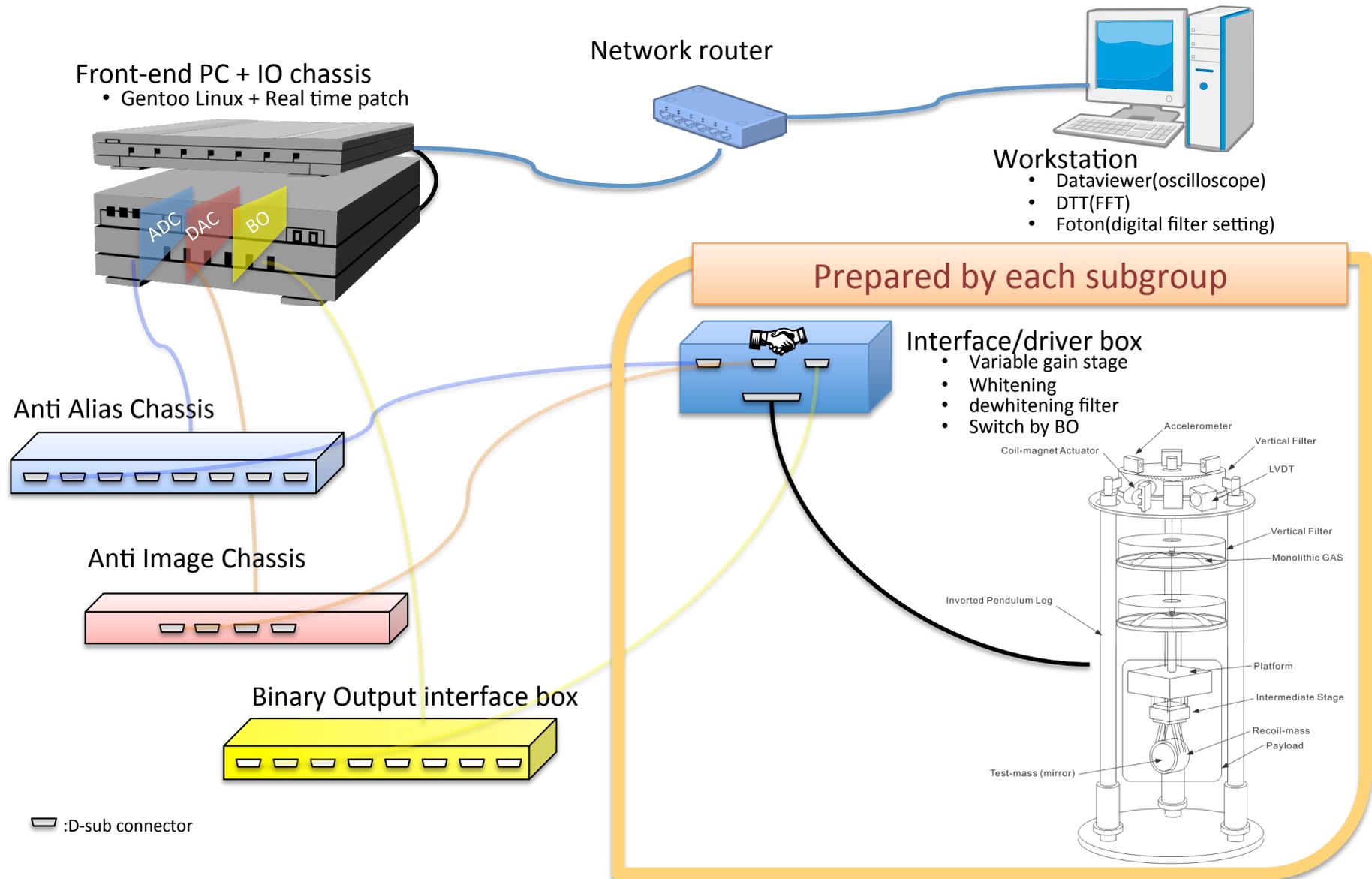
Time series

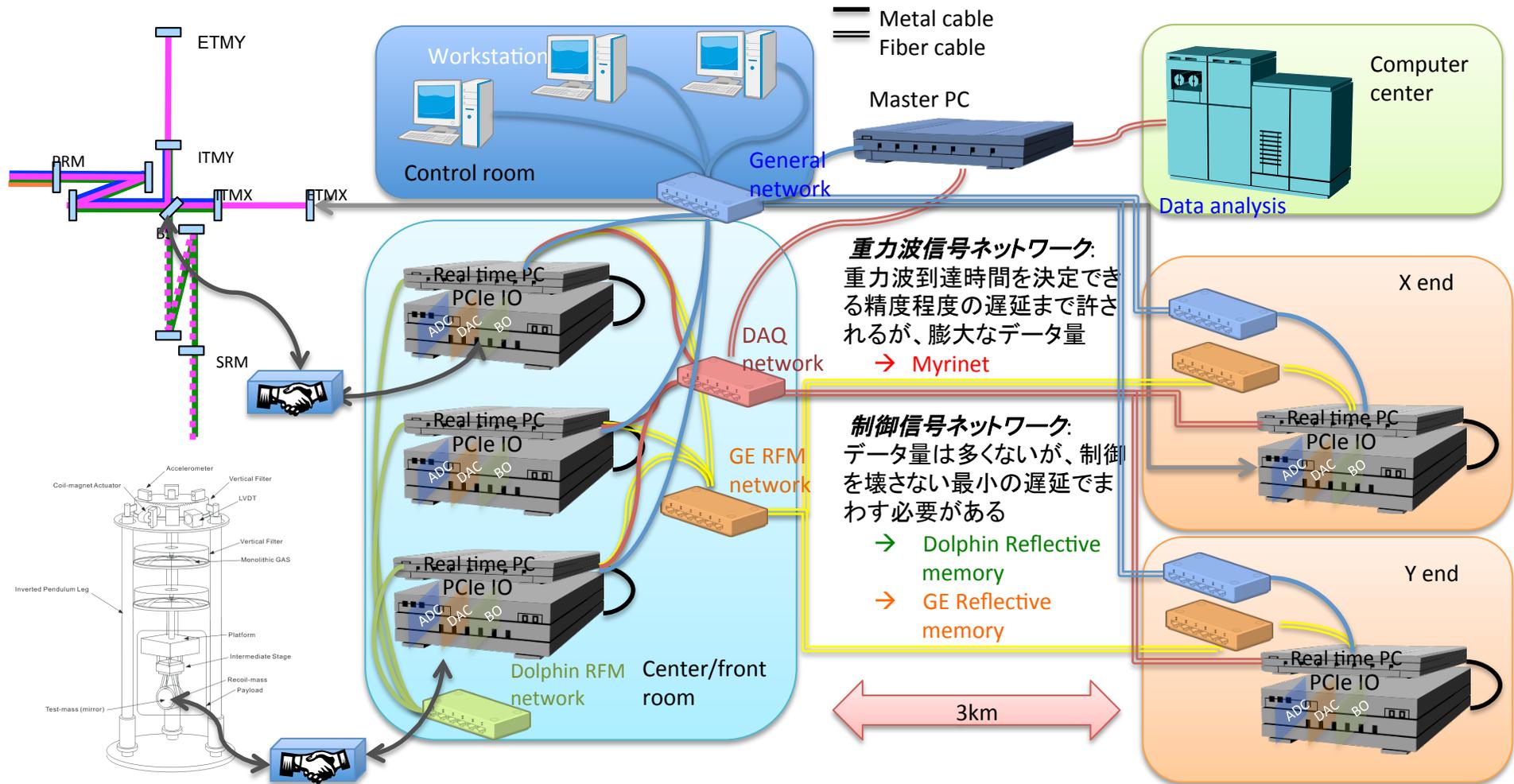


T0=01/02/2012 09:44:22

Avg=1

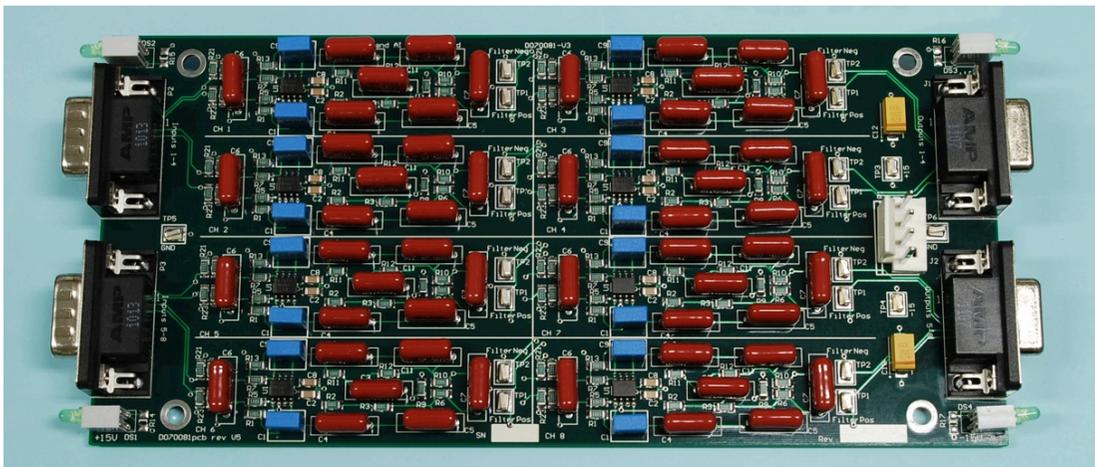
- Sensor: LVDT, Actuator: coil and magnet
 - Connected to digital system through 2-pin LEMO to 9-pin D-SUB adapter card
- Control and damping with a simple digital filter by Zero:0Hz, Pole:1Hz²





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

Preparation for mass production of electronics for digital system



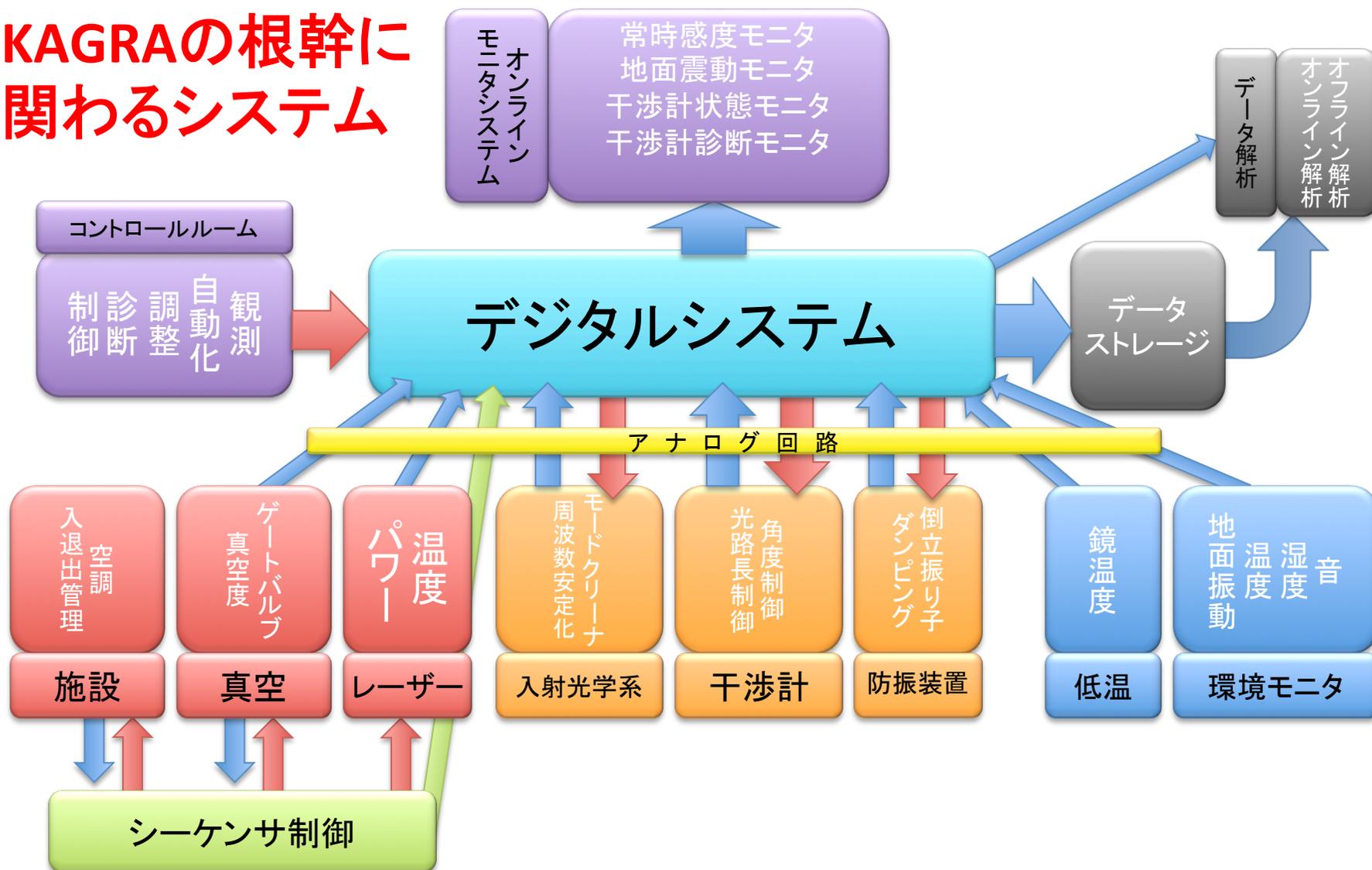
アナログ回路の一例

- 6 layers circuit board
- Differential input/output with buffer
- 3order 10kHz LPF, 65536Hz notch
- 0.2A/board
- 8 D-SUB 9pin connectors as signals input
- D-SUB 3pin connector as DC power supply input

大量の回路群

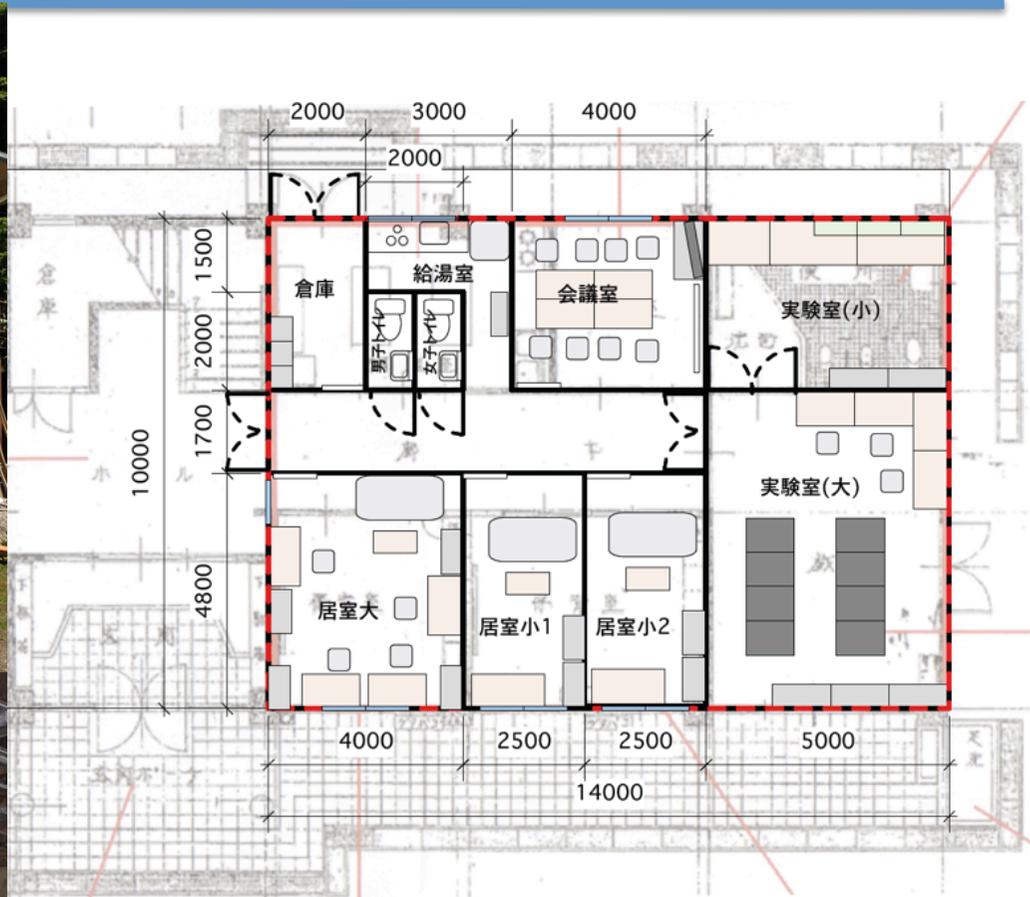
- ほとんどのサブシステムが独自の回路を必要とする
- KAGRA全体で19インチケースで数百箱(基板~数千枚)
- 基板デザイン、部品実装、組み立て(電源、箱)、テスト

KAGRAの根幹に関わるシステム



- センサー
 - Photo detector、加速度計、LVDT変位センサ、温度計
- アクチュエータ
 - コイルマグネット、静電極板、PZT、各種モーター(Pico, Stepper)
- 制御
 - 古典制御、低雑音
 - 計算機: ~数Hz (防振)、~数百Hz(干渉計)
 - アナログ回路: 数十kHz(干渉計の一部の自由度)、数MHz(レーザー周波数安定化)
- 計算機
 - リアルタイムOS
 - DAQ (ADC/DAC等)
 - 大規模ネットワーク
 - 解析用計算グリッド
- 回路
 - 帯域: DC~100kHz, RF(数十MHz、主に変調や復調)
 - 低雑音

神岡重力波新研究棟



- 地元の休園中の保育園を改築
- 計算機による制御システムのセットアップを構築する予定