

中小プロジェクト向け CCD読み出しシステムの開発

東京大学 天文学教育研究センター 三鷹/木曾観測所

酒向 重行

加藤(東大卒)、中尾(北大)、征矢野(木曾)、

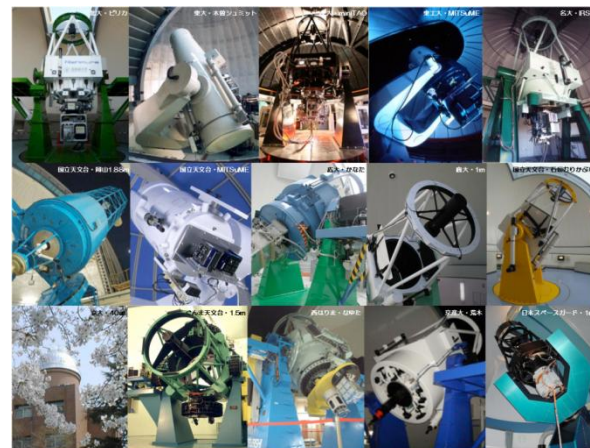
木曾KWFC開発チーム

アウトライン

- 中小望遠鏡プロジェクトの装置開発
- 木曾アレイコントローラ (KAC)
- 完全空乏型CCD対応版KAC

中小望遠鏡プロジェクト

- すばる、TMT、SPICAへ進む一方、
大学を中心に研究用の中小望遠鏡の整備が進む
 - 大学間連携観測に参加の望遠鏡
広大1.5m, 北大1.6m, 石垣島1.05m, 京産大1.3m, 鹿児島大1.0m、岡山
1.88m, MITSuME, 東工大明野MITSuME, ぐんま1.5m, 西はりま2.0m, 東大木曾
観測所1.0m, 東京大miniTAO 1.0m, 名大南アフリカ1.3m, 美星1.0m
 - 特定の科学的トピックに集中して
独自性を得る
- 科学的に「とがった」装置がほしい



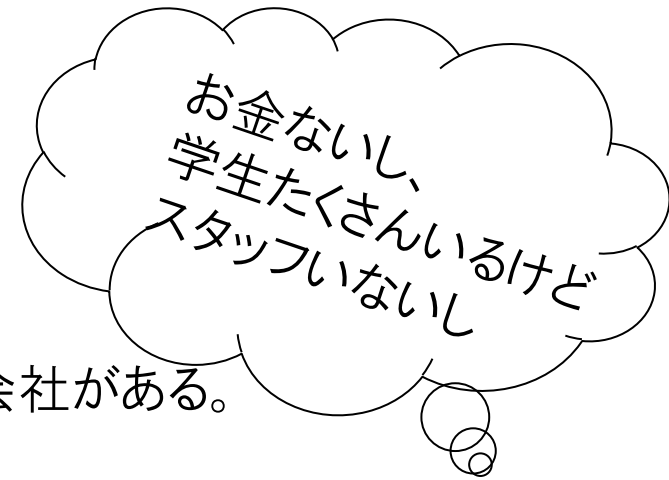
中小プロジェクトの装置開発へのアプローチ

- アプローチ 1 : **こだわりの装置をすべて自作する**

- 人が育つ、チームに開発力がつく
- 開発時間がかかる
- 必要な項目に絞って開発すること

- アプローチ 2 : **企業の確かな技術で作る**

- 光学系
 - 制御系
 - 検出器
- 国内には秀でた設計、製造の会社がある。
→ 積極的に利用すべき。
- 商用パッケージ品を購入

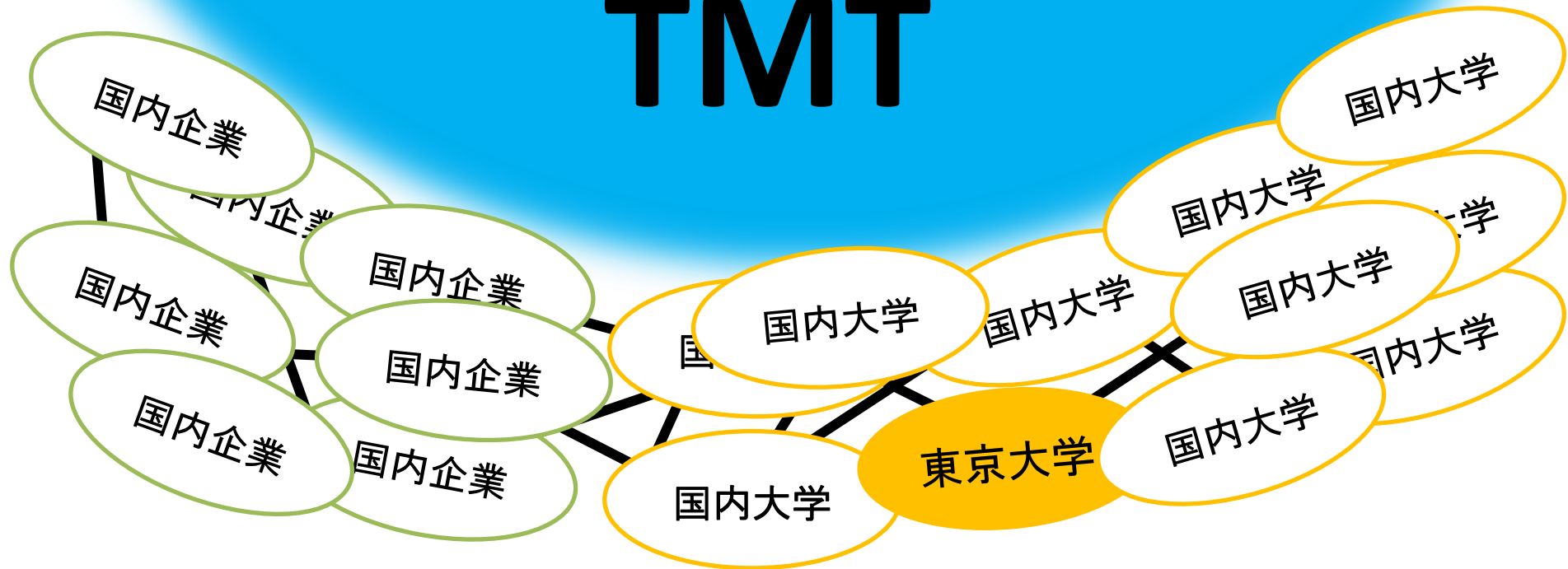


- **アプローチ 3 : 「2」の中から、1つ以上の独自開発項目をもつ**

→ 全国に、自然と互助会ネットワークができる

TMTを支えるのは 中小望遠鏡プロジェクトの 技術と人

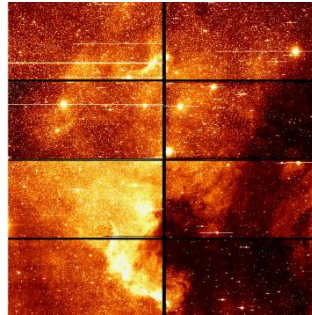
TMT



TMTへの準備とは、
国内の大学と企業の技術ネットワークをつくること

木曾観測所が、自分たちのために
開発したCCD読み出しシステム

木曾アレイコントローラ KAC

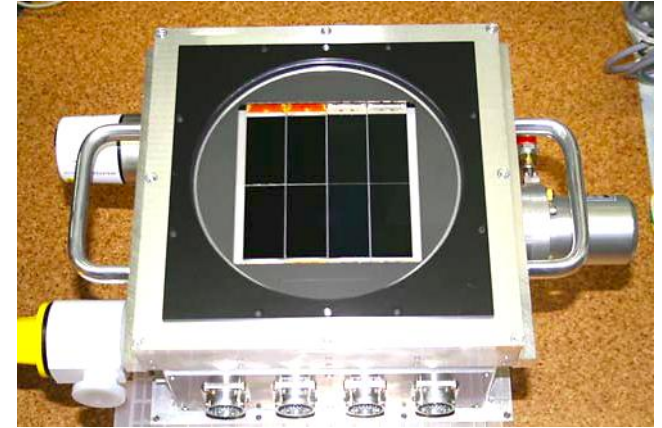


木曾観測所 超広視野カメラ KWFC (Kiso Wide Field Camera)

視野: $2^{\circ} \times 2^{\circ}$

CCD : MIT社製 2k x 4k (2ch出力)
x 4台

SITe社製 2k x 4k (2ch出力)
x 4台



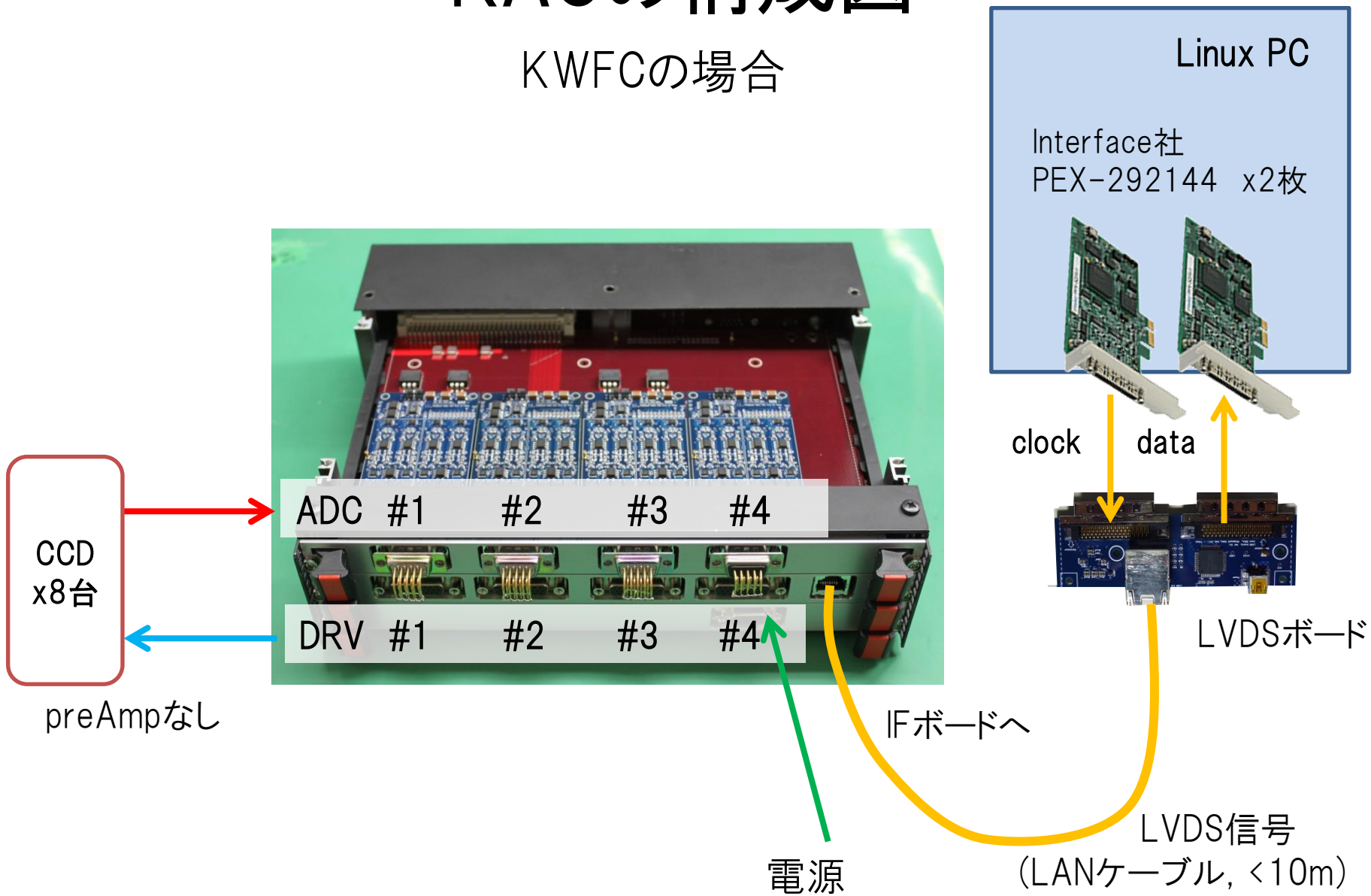
読み出しシステム

木曾観測所で独自に開発したシステム
Kiso Array Controller; KAC



KACの構成図

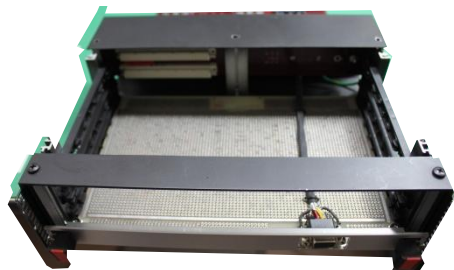
KWFCの場合



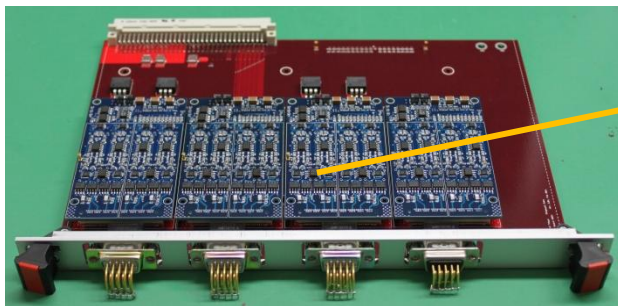
KACのアナログボードの構成

KWFCの場合

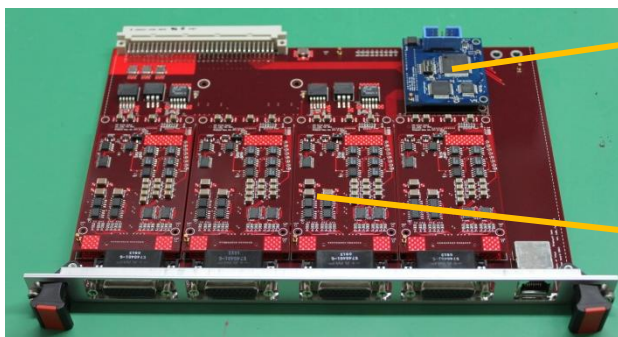
LVDSボード



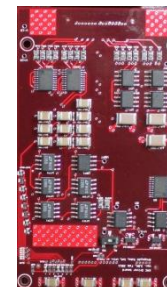
ADC用マザーボード



4ch ADCボード
x 4枚



IFボード



DRVボード
MIT-CCD用 x 2枚
SITE-CCD用 x 2枚

DRV用マザーボード



KACの完全空乏型CCDへの対応

KWFC用システムを設計しはじめたころ、

「浜松ホトニクスの完全空乏型CCDを動かさないか？」
何件も問い合わせを受ける、

国立天文台が大型プロジェクトが多忙になり、CCD読み出しシステムのサポートに手が回らなくなったことが背景に、
あるようだ。

よくよく思い出してみれば、日本のCCD技術は木曾観測所から旅立っていったもの。

もう一度、木曾から頑張ろう。自分たちが使いやすい読み出しシステムを開発してみよう。

木曾観測所が、中小規模プロジェクト向けに
開発したCCD読み出しシステム

完全空乏型CCD対応版 KAC

蕎麦といえば、木曾

CCD読み出しといえば、木曾

KACの系譜

1998

MICS中間赤外線装置用コントローラ

かたざ、宮田(D論)
創始者

2003

COMICS中間赤外線装置用コントローラ

かたざ、酒向(D論)
FPGAでクロック生成、DMA転送、低消費ADC

2008

miniTAO赤外線装置用コントローラ
TAC

酒向、本原、内一
LVDS採用、RealTime-OS採用 → 不評
FPGA処理をすべてソフトで実行

2012

木曾観測所CCD用コントローラ
KAC

酒向、征矢野、加藤(M論)、中尾(M論)
非RealTime-OS、低ノイズ化、シンプル化

2014

TAO中間赤外線装置用コントローラ
TAC2

酒向、岡田(卒論, ポスター)
大容量データをどうしよう、設計中

KACのデザインポリシー

中小望遠鏡プロジェクトが必要としているもの

- 駆動するCCDを限定 → 最大8台、専用のDRVボード
 - シンプルな構造 → 調整機能を減、スイッチポン
 - 低コスト → アナログ+デジタルで50万円
 - アップグレードを容易に → 母ボード、娘ボードの構成に
 - 情報をすべて公開
 - 入手性の良い部品
 - 開発体制が不十分なグループには提供しない
- ユーザが機能を理解
ユーザがメンテ
ユーザが育つ

以上の制限のなか、最高の性能を得る

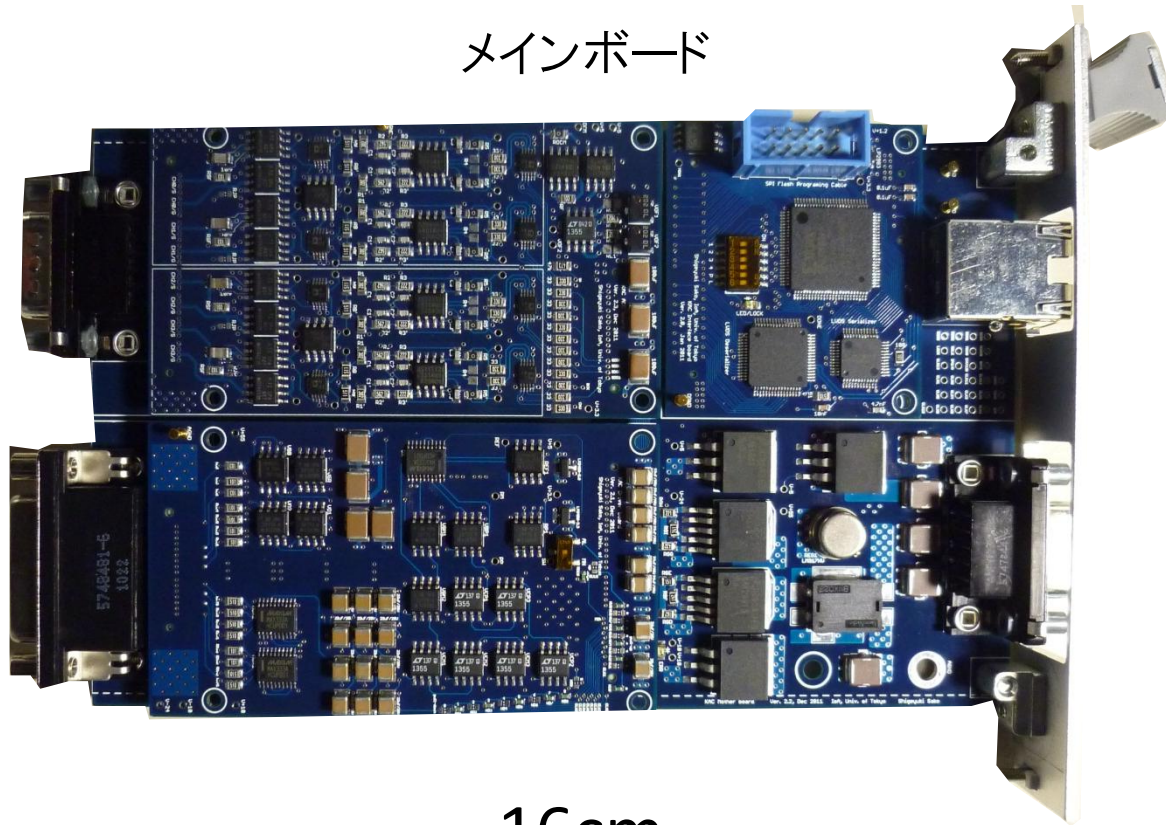
- ・ 開発者の負担減につながる
- ・ 我々はサポートセンターではない
- ・ 我々は共同利用研ではない

完全空乏型CCD対応版 KAC

浜松ホトニクス 2k x 4k (4ch出力) x1台用 アナログボード

高電圧と正方向シグナルに対応

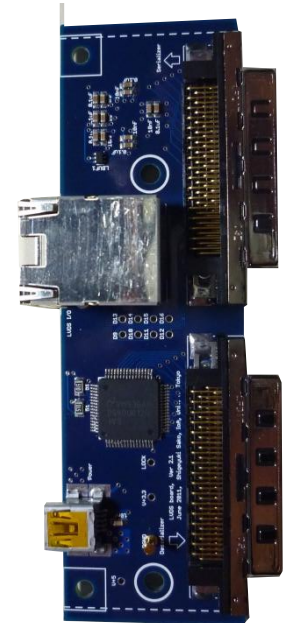
メインボード



10cm (3U)

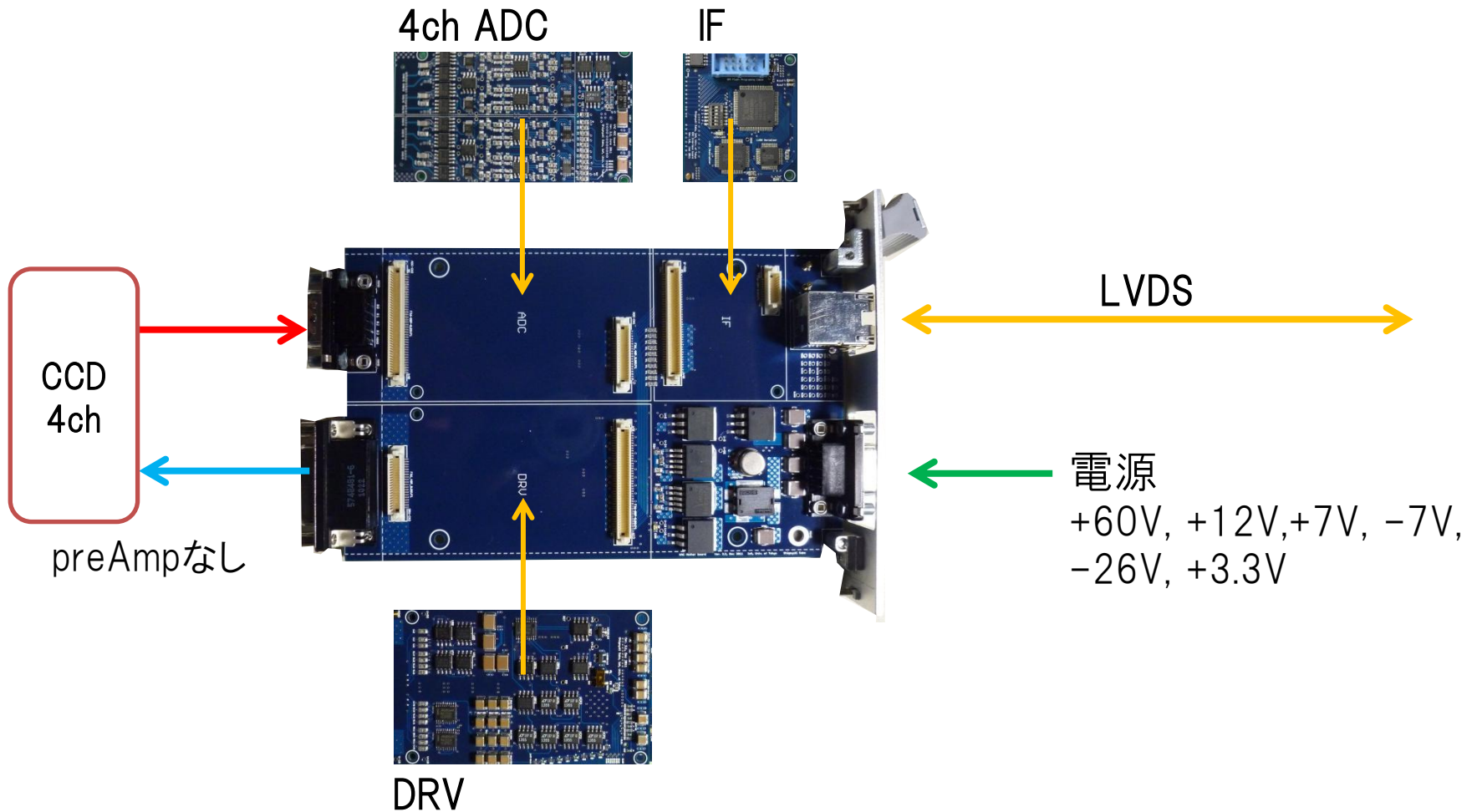
16cm

LVDSボード



KACのアナログボードの構成

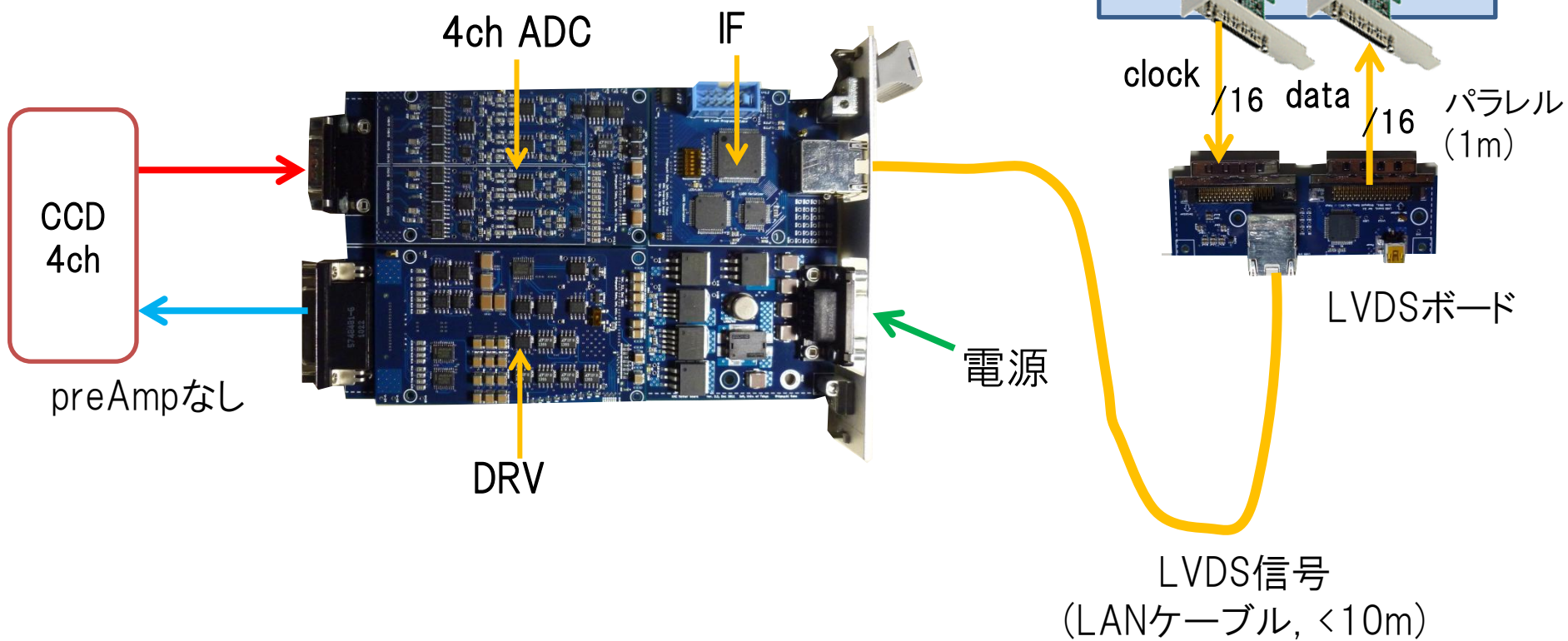
浜松ホトニクス 2k x 4k (4ch出力) x1台用 アナログボード



KACの構成図

浜松ホトニクス 2k x 4k (4ch出力) x1台用

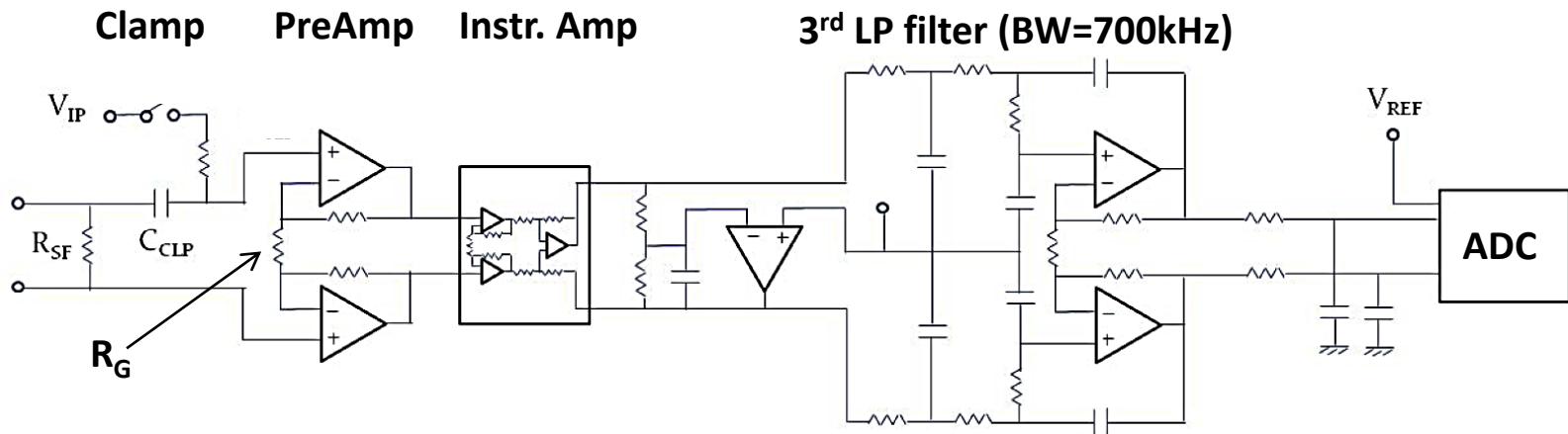
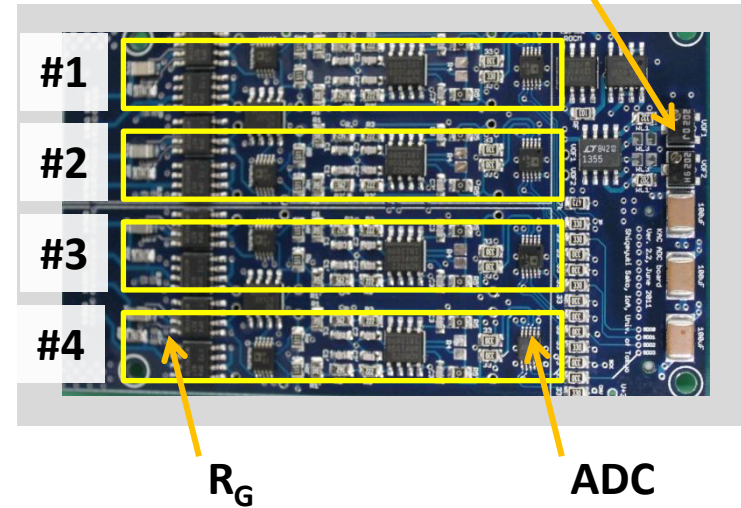
デジタルデータ処理用のプロセッサ
(DSP、FPGA)も持たないことが特長
すべて計算機上でおこなう。



アナログ部 ADCボード

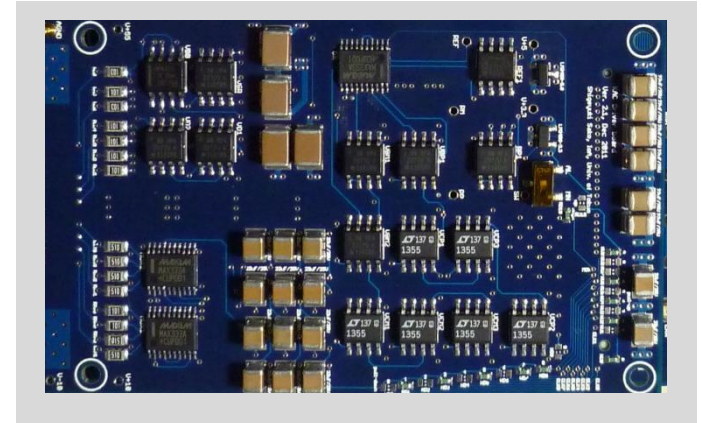
- 同設計の4回路
- 16bit 500ksps 完全差動ADC
- 3次LP差動ベッセルフィルタ
- 多重サンプリングによるCDS
- 両極性(正負)信号に対応
- CCDゲイン(e^-/ADU)は抵抗 R_G のみで設定

入力オフセット調整

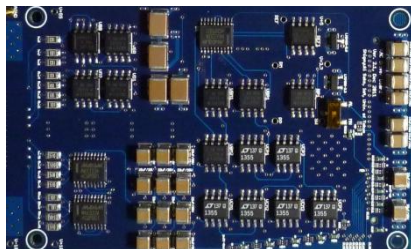


アナログ部 DRVボード

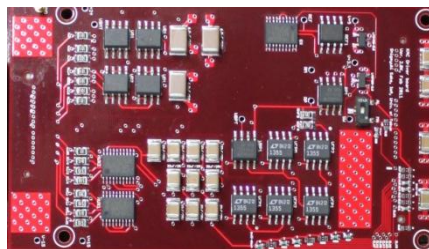
- CCDによって交換
- 8種クロックを出力
- 7種バイアスの出力
- 一部バイアスは2ステートに切替え可
- 調整機能なし(半固定)
- 電圧モニタ機能。適正電圧を確認後に、自動で出力ON



浜松完全空乏型用



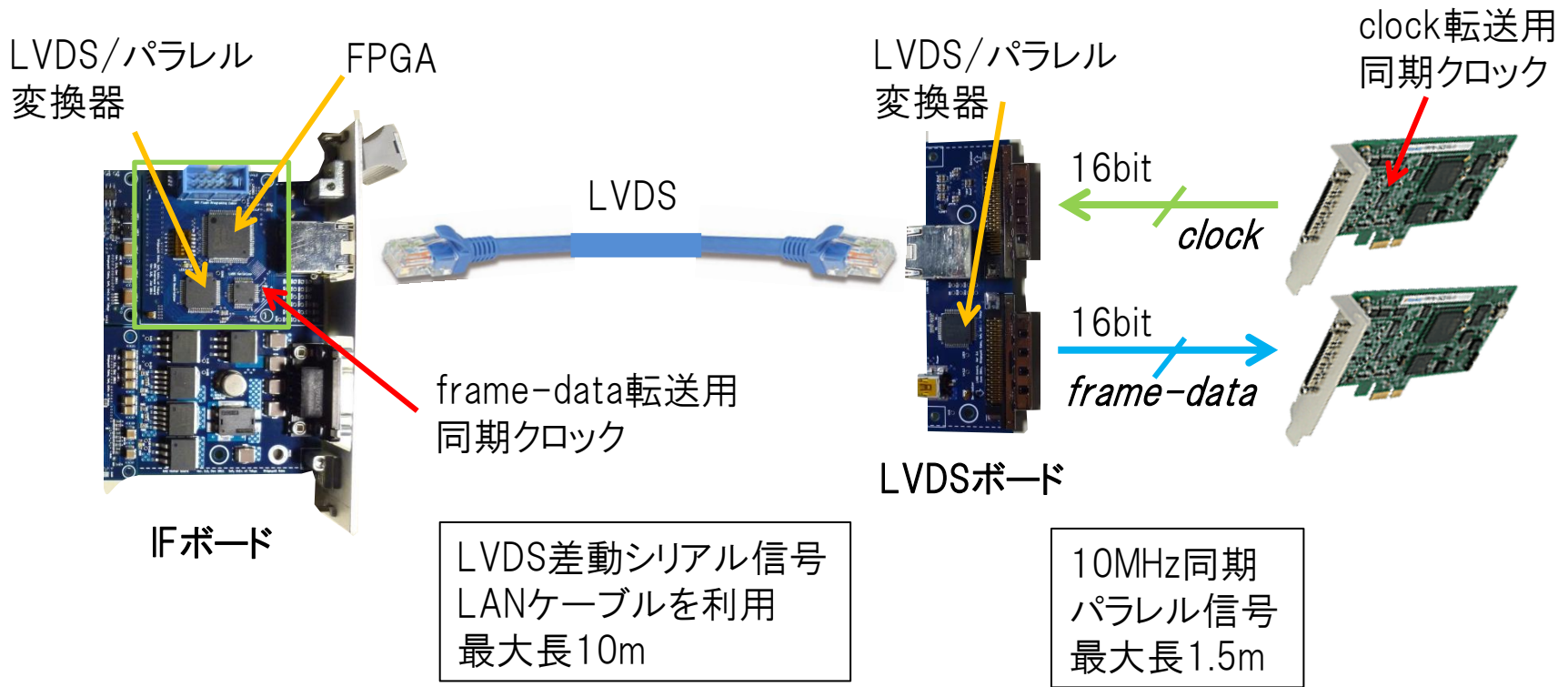
MIT社, SiTe社用



e2V社用

計画未定

アナログ部 IF + LVDSボード

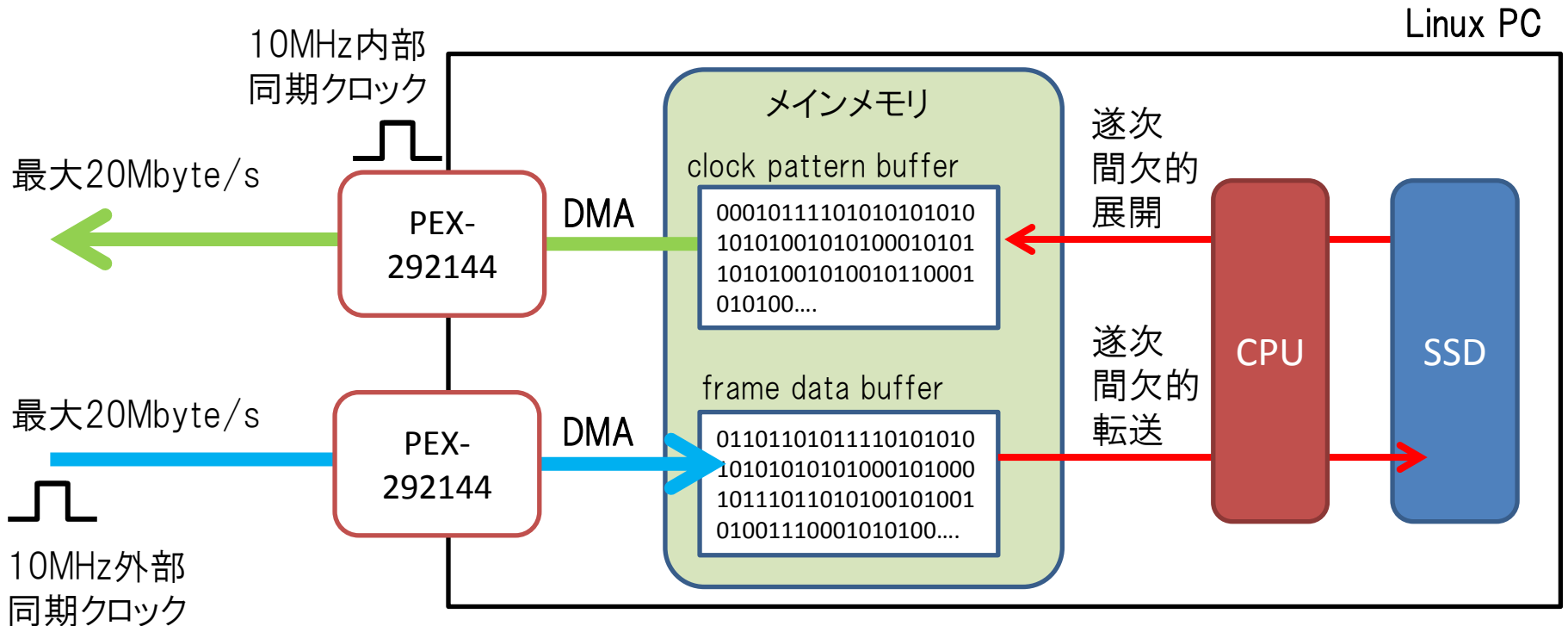


- ❑ FPGAがADCデータをハンドリング。オンボード処理なし。
- ❑ LVDS信号に変換して長距離を転送

デジタル部 I/OボードとDAQ

- Interface社 PEX-292144
- PCIeexpress-bus
- DMA(Direct Memory Access)転送バスマスタ式

36,540円 @通販サイト



デジタルデータ処理用のプロセッサ(DSP、FPGA)も持たないことが特長
すべて計算機上でおこなう。

ソフトウェア


□ 付属のLinuxドライバを介して制御

□ 核となるソフトウェアは3つ

◆ **clp** (クロックプロセッサ)

使い方: `clp [クロックパターンファイル名]`

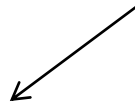
あらかじめ作成しておく



◆ **frp** (フレームプロセッサ)

使い方: `frp [データ数] [rawデータファイル名]`

ADCの出力そのまま



◆ **r2f** (rawデータ → fitsデータ変換)

使い方: `r2f [rawデータファイル名] [fitsファイル名]`

※CDSや配列変換はここでおこなわれる

最低限のヘッダが付加



□ これらと他の支援ソフトを、スクリプトで順に実行すれば、欲しい画像データが得られる

性能試験の結果

□ デジタル性能

- 2kx4kCCD x8台を20秒で安定に読みだせることを確認 @KWFC
→ 12.8 Mbyte/secに相当
- LVDSケーブル距離 約8mで安定運用 @KWFC
- 安定したソフトウェア動作 @KWFC

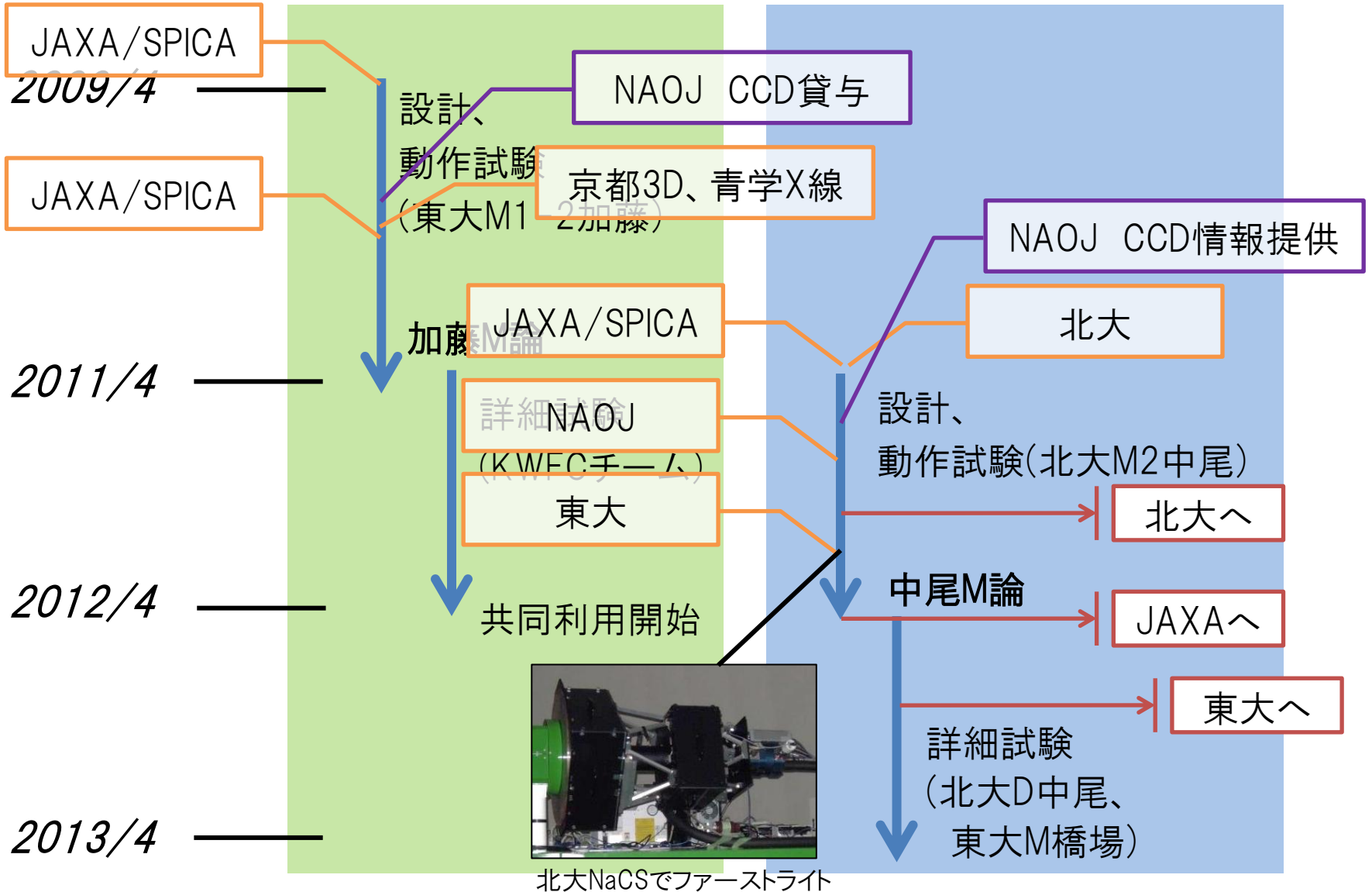
□ アナログ性能

- 全機能が安定に動作
- 読み出しノイズ ~5e- @浜松完全空乏型CCD, 実験室
(今後、調整により~3e-まで下がる可能性)
- 線形性、温度安定性 未評価
※KWFCの試験観測では天文観測に十分な値が計測されている

開発の道のり

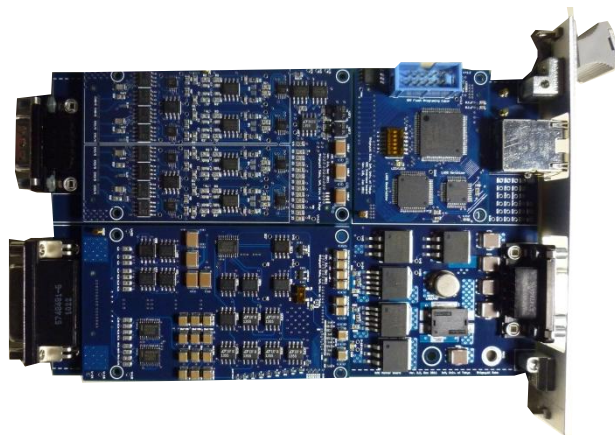
KWFC用KAC

完全空乏型対応KAC



まとめ

- ✓ 中小プロジェクトに適したCCD読み出しシステムを開発
- ✓ 木曾観測所KWFCの読み出しシステムKACを完全空乏型CCDに対応させたもの
- ✓ 北大1.6m望遠鏡をはじめ、複数の用途に導入されはじめている
- ✓ TMTと中小プロジェクトの溝をどのように埋めるべきか？キーワードは「人」と「名産」。



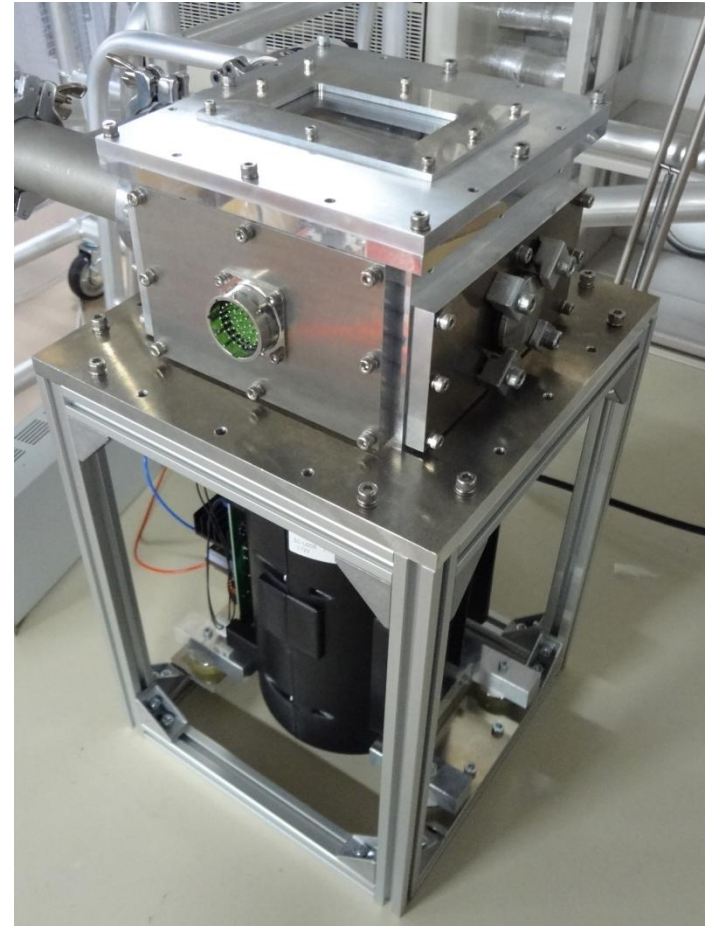
真空、冷却システム

- 低価格の冷凍機をつかってみる
- -130°C 程度までは冷える



ツインバード工業
スターリング冷凍機

SC-UD08 80W



浜松ホトニクスCCD試験用のデュア