

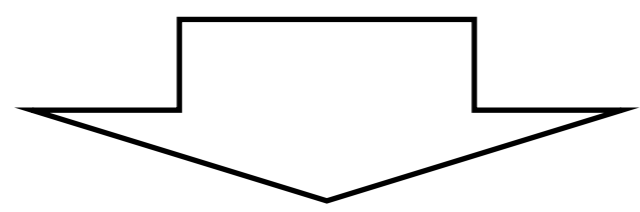
# 可視赤外線同時カメラHONIRの 近赤外線読み出しシステムの開発と評価

宇井崇紘、酒向重行、山下卓也、秋田谷洋、川端弘治、中屋秀彦、森谷友由希、伊藤亮介、高木勝俊、大杉節、吉田道利

広島大学では東広島天文台のかなた望遠鏡に装着する可視赤外線同時カメラHONIRを2006年度より開発してきた。現在近赤外線の読み出しシステムはMessia5とMACS2で読み出しを行っている。しかしMACS2は開発から10年以上経過しており、老朽化や代替部品の枯渇など今後の安定した運用が懸念される。我々は、木曾観測所で用いられている汎用CCD読み出しシステムKAC(Kiso Array Controller)を元に新しい近赤外読み出しシステムの開発に取り組み、新たに近赤外線検出器VIRGOの持つ16ch読み出しに対応させ、読み出しに成功した。その結果を報告する。

## Motivation

1. 現行の読み出しシステム(MACS2)は、VIRGO検出器の4ch読み出しのみ対応→CDS(correlated double sampling)で約8sの読み出し時間
2. MACS2は開発後10年以上経過→代替部品の廃番による枯渇などで不具合対応が困難になる可能性あり。



## 新たに近赤外線検出器読み出しシステムの開発に着手

### 新読み出しシステムの目標

1. VIRGO検出器の16ch読み出し→CDS読み出し時間で約2s
2. 今後10年の安定運用
3. 低ノイズ読み出し(~15e-)
4. リニアリティの改善

## VIRGO-2K/HONIR



Fig.1: VIRGO-2K

Type	HgCdTe
ピクセル数	2048 x 2048 pixel
有効波長	0.9-2.5 μm
量子効率	> 70 % (1-2.4 μm)
出力モード	4 or 16 ch
ノイズ値	5 to 15 electron rms

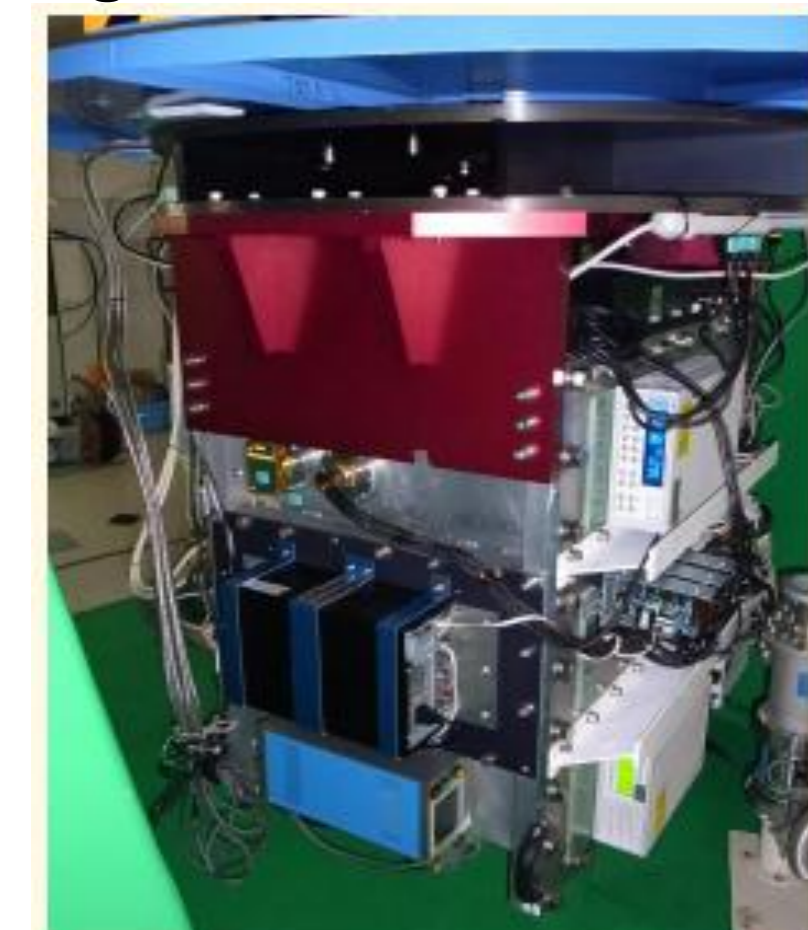


Fig.2: HONIR(Hiroshima Optical and Near InfraRed camera) (Sakimoto et al.2012)

Specification	Optical	Infrared
波長(μm)	0.4~1.0	1.45~2.40
Type	CCD	HgCdTe(VIRGO)
検出器	浜松ホトニクス	Raytheon
ピクセル数	2048 x 4096	2048 x 2048
ピクセルスケール	0.29 arcsec/pix	0.29 arcsec/pix
フィルター	B, V, Rc, Ic, z', Y	Y, J, H, Ks

## 新読み出しシステムの開発

1. **VIRGO-2Kの16ch読み出しに対応**  
→ 4chのAD処理可能なボードを4枚用いて対応
2. **今後の安定運用**  
→ 開発ノウハウの会得、また全て簡単に購入できるもののみを使用
3. **低ノイズ読み出し(< 15e-)**  
→ 差動入力回路や3次ベッセルローパスフィルタの導入
4. **リニアリティの改善**  
→ VIRGO検出器の16chそれぞれの Output source follower に定電流を供給する為の定電流回路とカレントミラー回路の導入

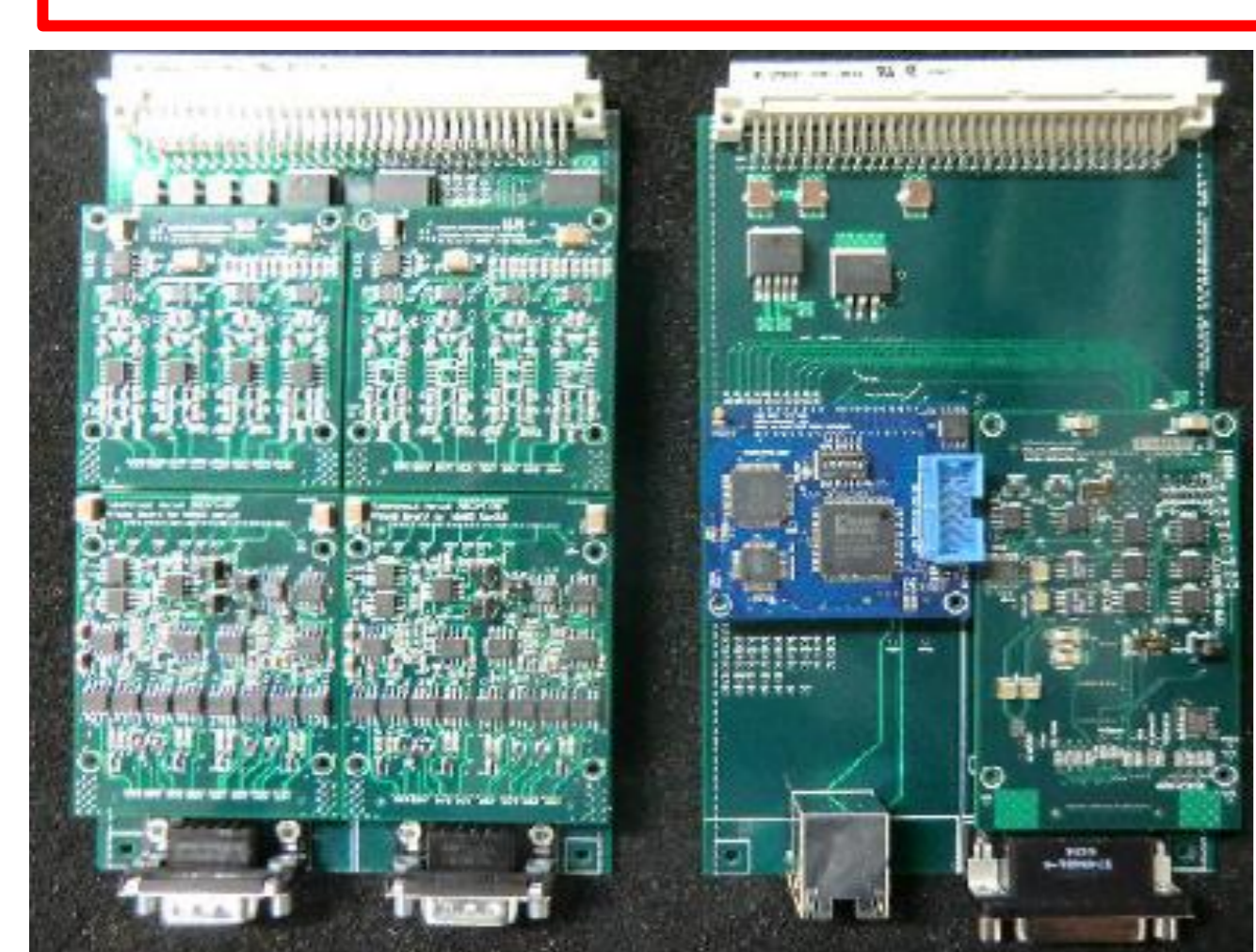


Fig. 3: 読み出しシステムのアナログ部

- 汎用CCDコントローラーKiso Array Controller (Sako et al. 2009)を元に作製
- アナログ部をVIRGO検出器の仕様に合わせて再設計(1つのDRV board 2つのADC boards)
- DRV board  
- VIRGO検出器駆動の電圧やクロックを生成
- ADC board  
- 1つのADCボードで8ch分の信号処理が可能  
- 完全差動入力回路と3次ベッセルローパスフィルタ  
- 定電流機構(定電流回路+current mirror)

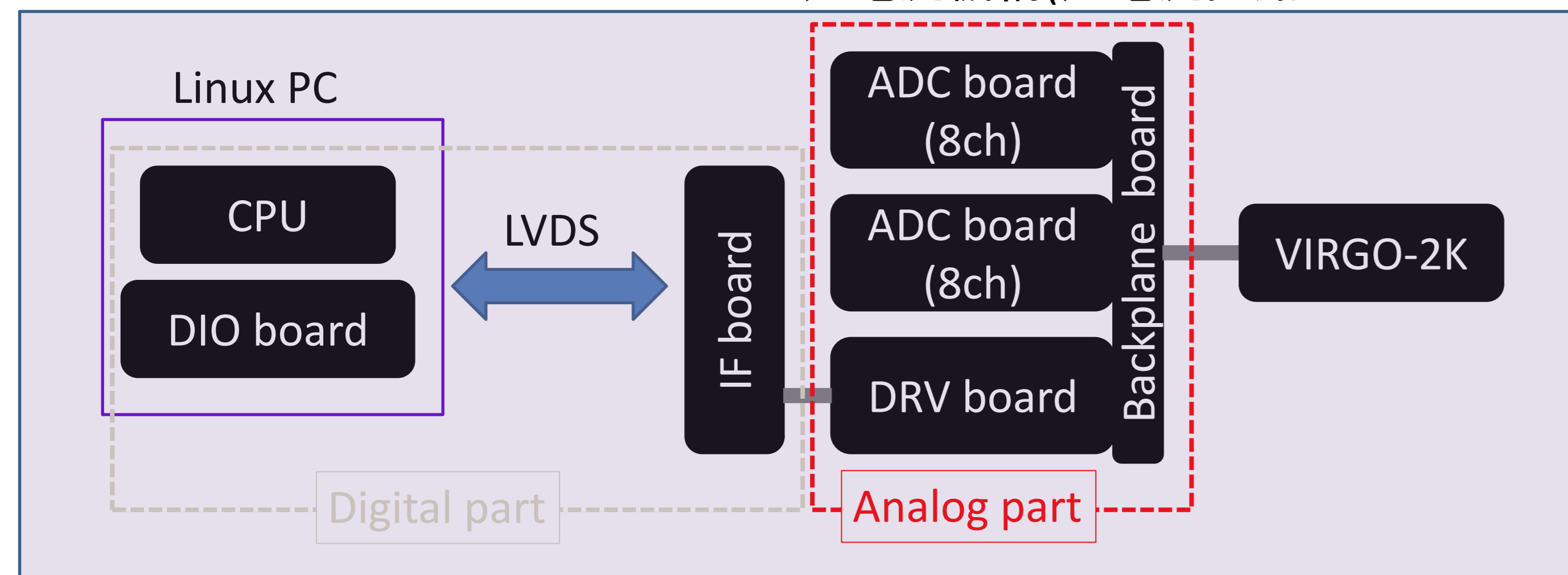


Fig. 4: 読み出しシステムのブロック図

## 3次Bessel フィルタと定電流機構の特性

### 3次 Bessel low-pass filter

- 周波数応答が良い
- 立ち上がり速度が速く、settling 時間も短い
- カットオフ周波数を120kHzに設定
- 読み出しクロックの周波数(120kHz)に合わせた

### 定電流機構

- 定電流回路とcurrent mirror 回路で構成 (Fig. 6)
- 定電流回路  
- 200μA を生成(VIRGO検出器のマニュアルでの推奨値)
- Current mirror circuit  
- 定電流回路の電流をコピーする  
- 16chそれぞれのOutput source follower に電流を供給

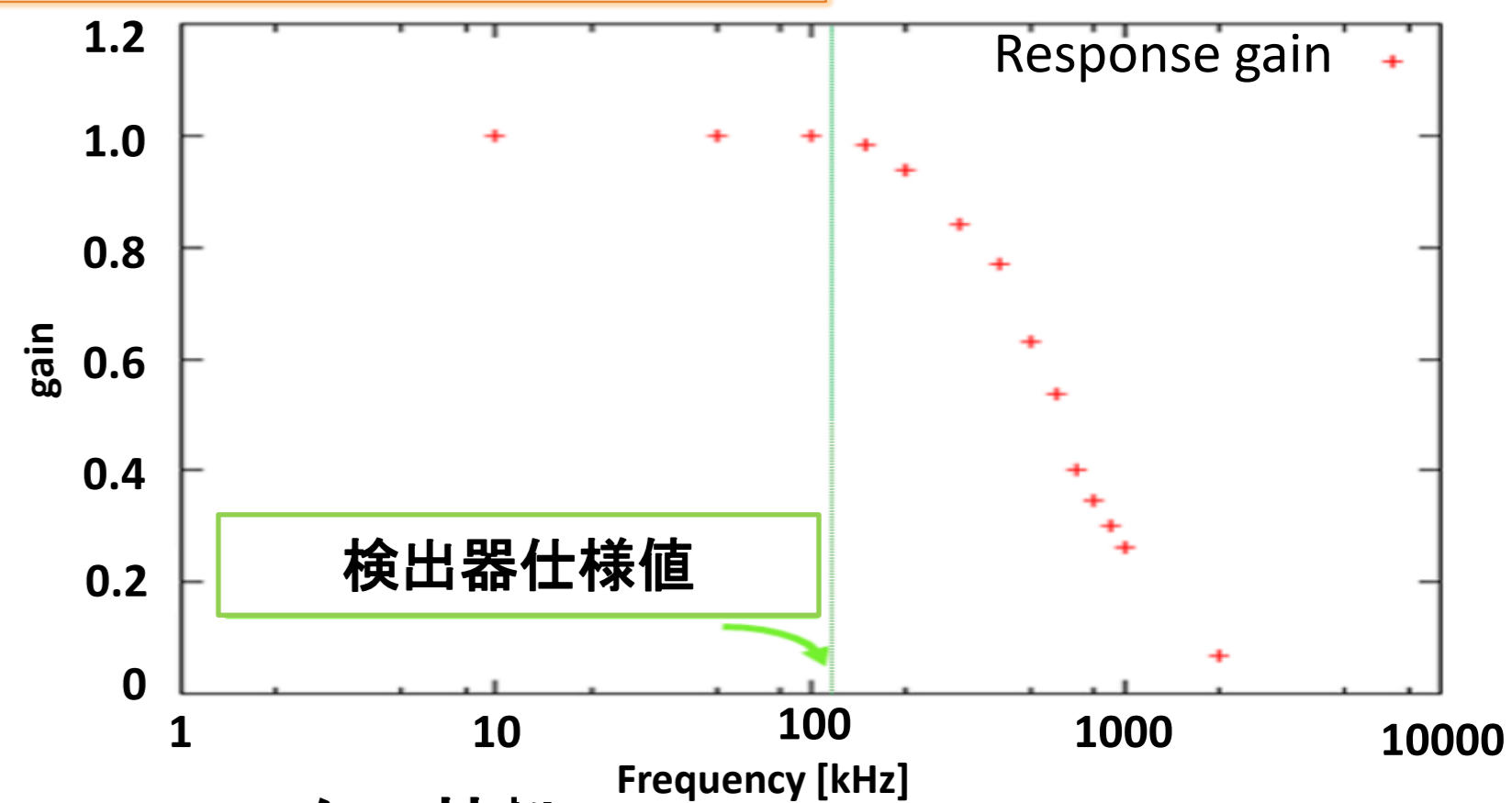


Fig. 5: フィルタ特性

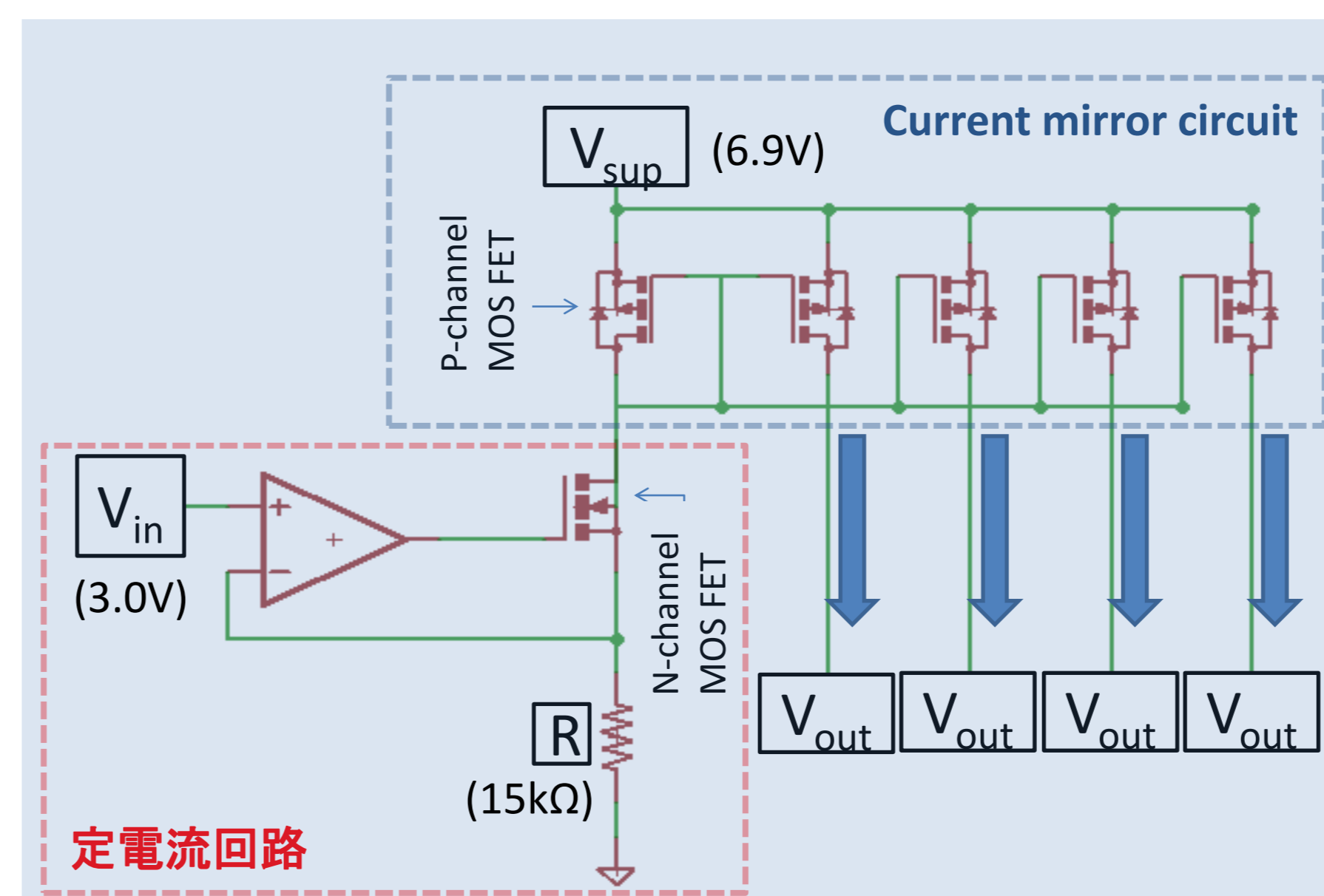


Fig.6: 定電流機構

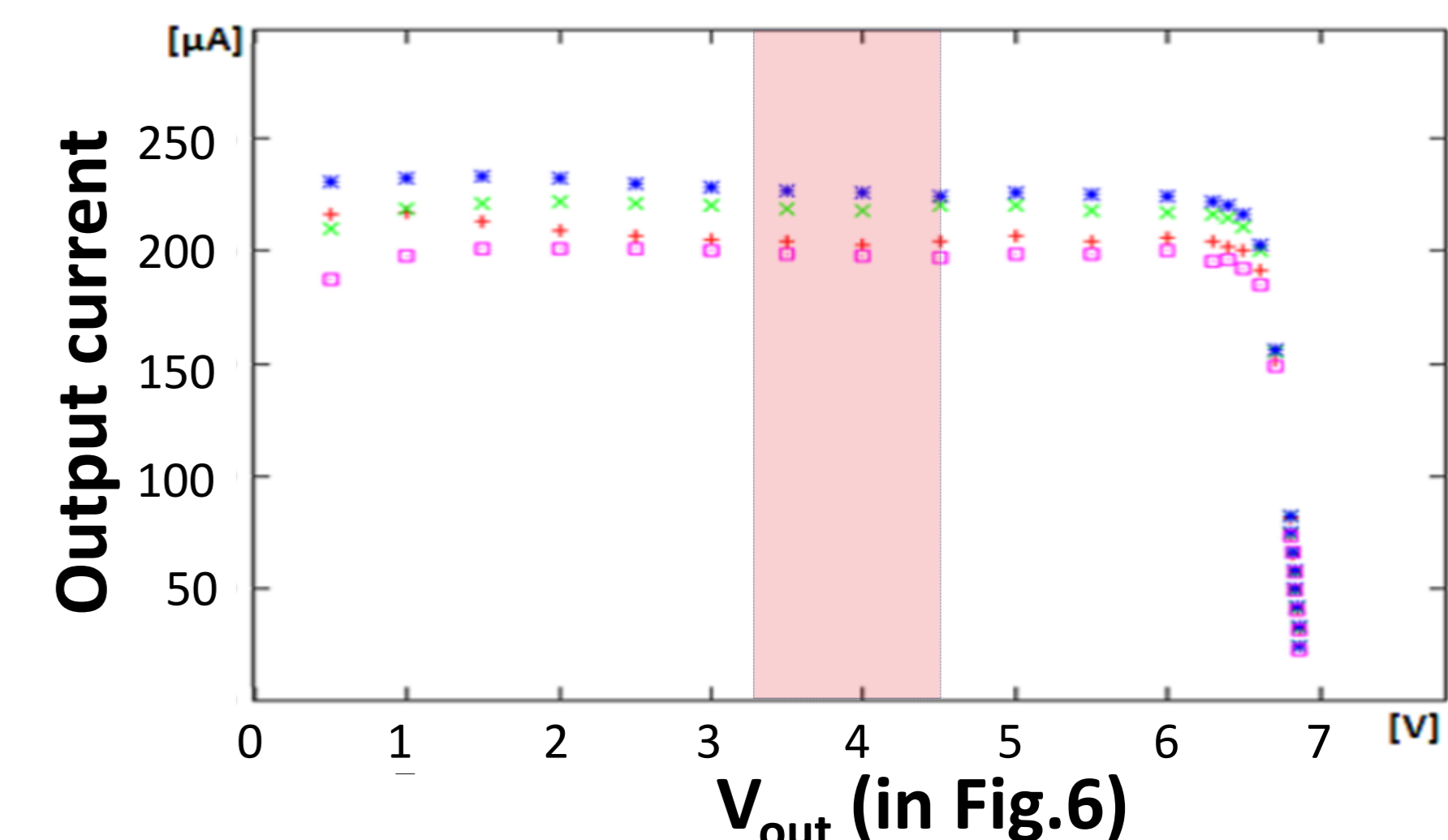


Fig. 7: 定電流機構のI-V 特性(4ch)

横軸:  $V_{out}$  (検出器からの出力電圧を仮定)典型的なVIRGOの出力電圧3.2-4.4V (赤い帯). 縦軸: 出力電流. 赤: ch1, 緑: ch2, 青: ch3, ピンク: ch4

定電流機構はVIRGO検出器の出力電圧範囲内(3.2 - 4.4 V)では~2%の精度で定電流を供給できる

## マルチプレクサとHONIR搭載VIRGO検出器の読み出し試験と評価

### マルチプレクサの読み出しノイズ

- デュワー内でマルチプレクサを 130 K に冷却
- ダークを取得し標準偏差からノイズ値を算出
- ノイズ: ~15e-

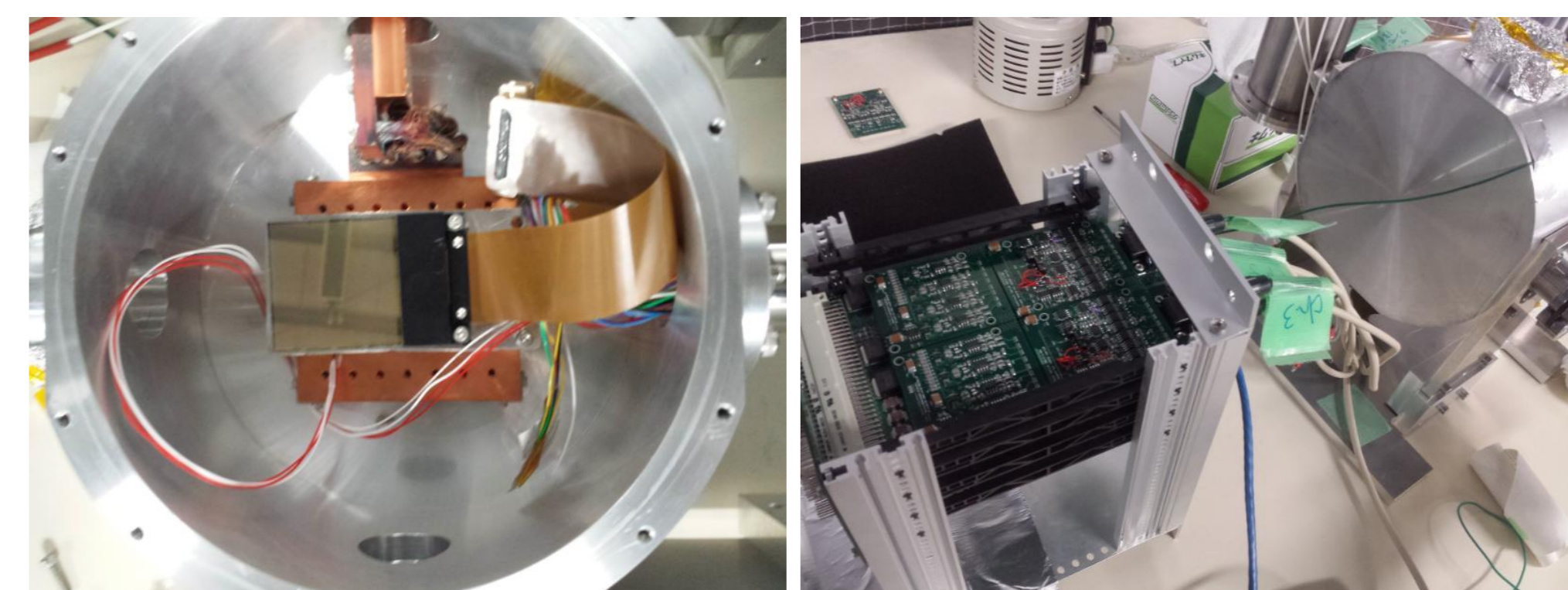


Fig.8: マルチプレクサ読み出し実験写真, 左: デュワーとマルチプレクサ, 右: 読み出しシステム

### HONIR搭載時VIRGO検出器のリニアリティ(4 chのみ)

ch	Conversion factor [e-/ADU]	飽和電圧[e-] (1%でリニアリティが保たれている範囲)
h1	6.9 ± 0.2	~82,700
ch2	7.5 ± 0.3	~84,100
ch3	7.9 ± 0.3	~82,100
ch4	7.9 ± 0.3	~74,800

MACS2を用いて調査された飽和電圧値2013年次の値(~130,000e-)に比べて低い値となった: 原因調査中

## まとめと今後

新たにHONIRのVIRGO検出器読み出しシステムを作製した。16ch読み出しモードに対応させ、実際にマルチプレクサとVIRGO検出器の読み出しに成功した。読み出しノイズはマルチプレクサに関しては目標である15e-程度が達成されたが、HONIR搭載時のVIRGO検出器は望遠鏡ノイズなどの影響で正確に測定出来なかった。リニアリティについても、2013年度の調査時よりかなり低い値が得られたので調査が必要。ケーブル周りや読み出しボードにノイズ対策を行い再度試験を試みる。