

# かなた望遠鏡観測装置に用いる近赤外線検出器の マルチプレクサ駆動試験

広島大学 理学部 物理科学科  
高エネルギー宇宙・素粒子実験研究室

B034290

宮本久嗣

主査：大杉節 副査：世良正文

2007年2月9日

## 概要

2006年4月に赤外シミュレーター(現:かなた)が国立天文台三鷹構内から東広島天文台ドームに移設され、8月より天文観測を開始した。現在は、他大学開発の観測装置を用いて観測されているが、かなた望遠鏡専用の観測装置として広島大学が2台の装置の開発を進めている。私は、そのうちの1つである可視赤外線同時撮像装置立ち上げのための近赤外線検出器関連の開発に携わった。

今回試験を行った近赤外線検出器は米 Raytheon 社製の VIRGO-2K である。この検出器は、 $2.5\ \mu\text{m}$ までの感度と赤外線では最大の  $2048 \times 2048$  素子を有しており、世界最高の性能を誇っている。

本研究の最終目的は、VIRGO-2K の読み出し回路部に当たるマルチプレクサ (MUX) の駆動・読み出しである。MUX の読み出しを行うために、国立天文台開発の画像取得システム Messia5+MFront2 を用いることにした。これらは、CCD に対して汎用性を持たせたシステムとなっており様々な可視 CCD に対応するが、赤外線検出器においては完全には対応していない。そこで、今回新たに VIRGO-2K 専用のプリアンプ・バイアスドライバ・クロックドライバを載せたプリアンプボードを作成した。プリアンプボード単独での試験を行い、プリアンプからの出力ノイズは目標値を達成することができ、また VIRGO-2K 専用で作成したクロックがクロックドライバから正確に出力されることも確認できた。そして、MUX の駆動試験を行い、図のような画像取得に成功した。



画像取得例

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>7</b>
1.1	近赤外線観測	7
1.1.1	近赤外線と測光バンド	7
1.1.2	近赤外線観測の意義	9
1.1.3	地上観測の利点	9
1.2	東広島天文台かなた望遠鏡	10
1.3	可視赤外線同時撮像装置	11
<b>第2章</b>	<b>近赤外線検出器 VIRGO-2K</b>	<b>13</b>
2.1	近赤外線検出器について	13
2.1.1	赤外線の検知と暗電流	13
2.1.2	検出法	14
2.1.3	Source Follower per Detector	14
2.1.4	マルチプレクサ (MUX)	15
2.1.5	近赤外線検出器の構造	17
2.2	VIRGO-2K	18
2.2.1	仕様	18
2.2.2	VIRGO-2K 集積回路	20
2.2.3	SFD ノイズ	22
2.2.4	Sampling 法	23
2.3	検出器の読み出しシステム	25
2.3.1	Messia5	25
2.3.2	MFront2	27
2.4	本研究の目的	28
<b>第3章</b>	<b>VIRGO-2K 専用プリアンプボードの開発</b>	<b>29</b>
3.1	作成したプリアンプボードの概要	29
3.2	作成したプリアンプ・ドライバ役割および性能	31
3.2.1	バイアスドライバ	31
3.2.2	クロックドライバ	32
3.2.3	プリアンプ	35
3.3	プリアンプボードと MFront2 の接続	37
3.4	ツェナーダイオード選定試験	41
3.5	プリアンプのノイズ試験	45

3.5.1	ノイズ画像取得 . . . . .	45
3.5.2	ノイズ対策後の画像 . . . . .	45
<b>第 4 章</b>	<b>MUX の駆動・制御</b>	<b>48</b>
4.1	プリアンプボード・マルチプレクサ接続用コネクタと回路の改造 . . . . .	48
4.1.1	Micro-Dsub コネクタ (MDM) . . . . .	48
4.1.2	プリアンプ検出器入力部の改造 . . . . .	49
4.2	VIRGO-2K 制御用クロックパターン作成 . . . . .	51
4.2.1	VIRGO-2K のクロックパターン図 . . . . .	51
4.2.2	クロックパターン作成 . . . . .	52
4.3	MUX 駆動試験 . . . . .	53
<b>第 5 章</b>	<b>テストデュワー</b>	<b>55</b>
5.1	デュワーの特徴 . . . . .	55
5.2	ハーメチックコネクタとの対応 . . . . .	57
<b>第 6 章</b>	<b>まとめと今後について</b>	<b>60</b>
<b>付 録 A</b>	<b>MOSFET</b>	<b>61</b>
<b>付 録 B</b>	<b>検出器周辺部図面</b>	<b>62</b>
<b>付 録 C</b>	<b>VIRGO-2K 用クロックパターン</b>	<b>66</b>
C.1	cpg.ascii . . . . .	66
C.1.1	リセット用クロック . . . . .	66
C.1.2	読み出し用クロック . . . . .	68
C.2	spv.ascii . . . . .	70

# 表 目 次

1.1	あなたの主な諸元 . . . . .	11
2.1	VIRGO-2K の仕様 . . . . .	18
3.1	VIRGO-2K にかける電圧 . . . . .	29
3.2	クロック . . . . .	30
3.3	制御ライン . . . . .	30
3.4	バイアスドライバに用いた部品の型番 . . . . .	32
3.5	プリアンプボードとバイアスボードピン対応表 . . . . .	38
3.6	プリアンプボードと ADC ボードピン対応表 . . . . .	39
3.7	ツェナーダイオードのツェナー電圧 (データシート) . . . . .	41
3.8	各ツェナーダイオードの使われるべき電圧値 . . . . .	43
3.9	各バイアスドライバに用いるツェナーダイオードの選定 . . . . .	43
3.10	テストプリアンプによる IC 変更後のノイズの変化 . . . . .	46
4.1	VIRGO-2K、MDM ピン番号 . . . . .	49
5.1	40 ピンコネクタ、ハーメチックコネクタ対応番号 . . . . .	58

# 目次

1.1	電磁波の地球大気の透過率	7
1.2	可視光から近赤外線の大気透過率	8
1.3	赤外域での背景放射	8
1.4	東広島天文台および光学赤外線望遠鏡「かなた」	10
1.5	可視赤外カメラ	12
2.1	逆バイアスによる空乏層での電子・ホールの移動	14
2.2	読み出し回路	15
2.3	MUX の構造例	16
2.4	近赤外線検出器の概略図	17
2.5	VIRGO-2K	18
2.6	パッド配置と 4 出力の場合の縦縞構成の模式図	19
2.7	パッド番号 1~42	20
2.8	パッド番号 43~84	20
2.9	検出部と読み出し素子の構成	21
2.10	読み出し出力部の構造	21
2.11	Single Sampling	23
2.12	Correlated Doubles Sampling	23
2.13	Fowler Sampling	24
2.14	Fowler Sampling による読み出しノイズ (Raytheon 社のデータ)	24
2.15	Messia5	25
2.16	Messia5 の構成	26
2.17	MFront2	27
2.18	MUX と MFront2 の構成	28
3.1	作成したプリアンプボード	30
3.2	プリアンプボードの大まかな構成	30
3.3	バイアスドライバ	31
3.4	作成したバイアスドライバ	32
3.5	OP200GPZ のピン配置	32
3.6	クロックドライバ	33
3.7	作成したクロックドライバ	33
3.8	TC74VHC367FT のピン配置	33
3.9	クロックドライバの周波数特性	34

3.10	プリアンプ	35
3.11	作成したプリアンプ	36
3.12	OPA627AP のピン配置	36
3.13	プリアンプの入出力関係 1	36
3.14	入力電圧によるゲインの変化 1	36
3.15	プリアンプの入出力関係 2	37
3.16	入力電圧によるゲインの変化 2	37
3.17	62 ピン Dsub コネクタ	39
3.18	44 ピン Dsub コネクタ	39
3.19	MFront2 との接続の様子	39
3.20	読み出し試験セットアップ	40
3.21	実験の様子	40
3.22	ツェナーダイオードの電圧-電流特性	41
3.23	zener 電圧値	42
3.24	zener 特性 (OPA2107AP、プラス方向)	44
3.25	ADC ボードのみのノイズ画像	45
3.26	プリアンプからのノイズ画像	45
3.27	ツイストペアケーブル	46
3.28	テスト用プリアンプ	46
3.29	対策後のノイズ画像	47
4.1	MDM51 ピン	48
4.2	プリアンプとその周辺回路図	50
4.3	16 出力モードのクロックパターン	51
4.4	4 出力モードのクロックパターン	52
4.5	pmc と FrameStart のテストクロックパターン	52
4.6	MUX を入れたケース	53
4.7	読み出し時の全体のセットアップ	53
4.8	OHP シートにライトを当てている様子	54
4.9	Correlated Double Sampling による画像取得	54
5.1	VIRGO-2K の冷却試験に用いることになるデュワー	55
5.2	ラジエーションシールド	56
5.3	温度コントロールステージ	56
5.4	温度コントロールステージ上の温度センサー	56
5.5	ラジエーションシールド側面の温度センサー	56
5.6	ラジエーションシールド底面部の温度センサー	57
5.7	ラジエーションシールド外側底面部のヒーター	57
5.8	40 ピンコネクタとハーメチックコネクタをつなぐフレキケーブル	57
5.9	40 ピンコネクタのピン配置	58
5.10	ハーメチックコネクタと温度計を接続するケーブル	59

5.11 真空引きの様子 . . . . .	59
A.1 エンハンスメント型 n-MOSFET . . . . .	61
B.1 プリアンプ・ドライバ回路図 . . . . .	63
B.2 ADC ボードピン番号 . . . . .	64
B.3 バイアスボードピン番号 . . . . .	65



# 第1章 序論

古代から我々は知的欲求を満たすために宇宙を観測し続けてきた。その観測手法も様々な変容を遂げ、今日では地上大型望遠鏡や人工衛星に積んだ望遠鏡などを用いて観測されており、その結果、可視光のみならず電波からγ線までの様々な観測天文学の領域が開けてきた。このような観測ができるようになったのも、観測装置が発展し今に至っているからだといっても過言ではない。これから論じるのは、そのうちの1つである近赤外線観測のための近赤外線検出装置についてである。

## 1.1 近赤外線観測

### 1.1.1 近赤外線と測光バンド

近赤外線は、赤外線の波長  $1 \mu\text{m}$ –数  $100 \mu\text{m}$  の中でも、特に波長  $1 \mu\text{m}$ – $5 \mu\text{m}$  の波長帯のことを指す。近赤外線は、可視光、電波とともに地表に届く限られた波長帯であり、地上の望遠鏡で観測できる限られた領域でもある (図 1.1)。

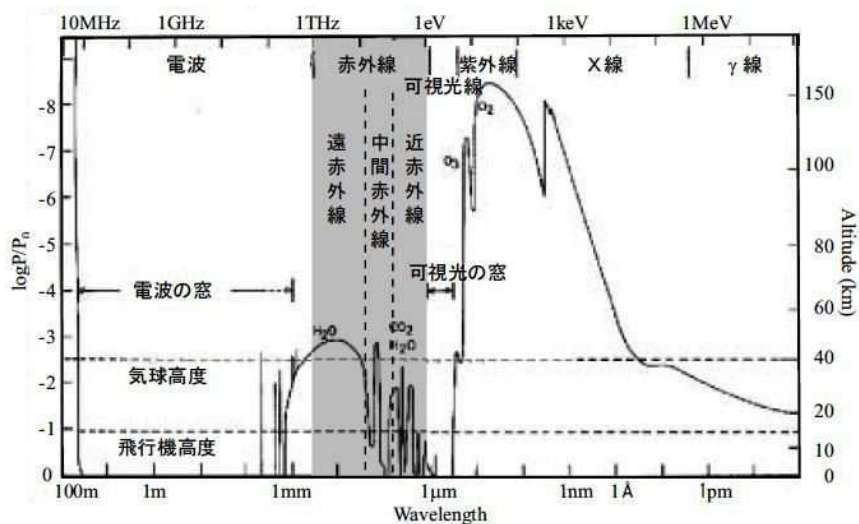


図 1.1: 電磁波の地球大気透過率

大気外から入射する電磁波が  $1/2$  に減衰する高度と気圧比を示している。縦軸の左側は地表の気圧  $P_0$  を基準とした気圧の対数比、縦軸の右側は地表高度である。

しかしながら天体からの近赤外線は、地球大気中の水蒸気や二酸化炭素の振動および振動回転遷移によるいくつかの吸収帯が存在する。そこで近赤外線による観測では、そのような吸収帯を避けて測光バンドが設けられている。バンドは短い波長から、Jバンド(中心波長  $1.25 \mu\text{m}$ )、Hバンド( $1.65 \mu\text{m}$ )、Kバンド( $2.2 \mu\text{m}$ )、Lバンド( $3.5 \mu\text{m}$ )、Mバンド( $4.8 \mu\text{m}$ )である(図1.2)。だがこれらは、常温程度の灰色体放射により生じる望遠鏡などからの熱的な放射の影響でKバンドの長波長以降ノイズが多く乗ったり、また大気上層部のOH分子が太陽風に含まれる高エネルギー電子で励起されて輝く非熱的な夜光輝線によりJ、HバンドとKバンドの短波長側に多数の輝線が生じる(図1.3)。現在では、バンドに改良が加えられており、例としてノイズを避けるためKバンドの長波長側を短い側にずらしたKsバンド( $2.15 \mu\text{m}$ )が用いられている。

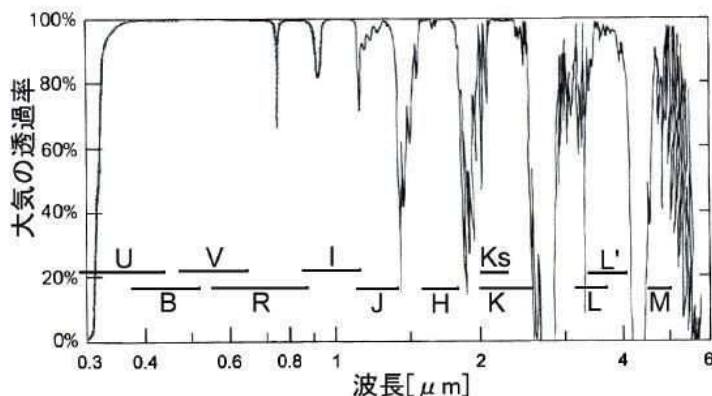


図 1.2: 可視光から近赤外線の地球大気の透過率

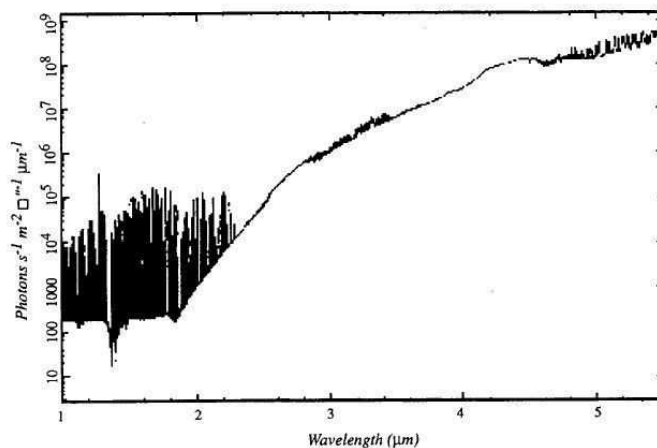


図 1.3: 赤外域での背景放射

2  $\mu\text{m}$  までは夜光輝線、それ以降は熱放射が効き始める。

### 1.1.2 近赤外線観測の意義

近赤外線は可視光線と隣接しているため観測の手法・対象が可視光観測に似ている。にもかかわらず、可視光線観測にはない近赤外線観測だけの利点がある。以下、それについて述べる。

#### 遠方宇宙の銀河

宇宙は遠方ほど膨張速度が大きいいため、遠方宇宙の銀河の可視光は赤方偏移を受けて赤外線として地上に降り注ぐ。例えば、赤方偏移  $z$  の値が 6 の銀河の場合、波長は  $z+1$  倍長くなるため 7 倍の波長に移る。このため 3000 Å から 7000 Å の可視光領域は、およそ 2 から 5  $\mu\text{m}$  の近赤外線領域に移る。このようなことから、非常に遠方の宇宙を知るためには近赤外線観測が欠かせないことが分かる。ただし、そのような天体は非常に暗い微光天体となるので、感度の高い近赤外線観測装置が必要となる。

#### 星間ダストの影響の低さ

星間空間に存在する固体微粒子すなわち星間ダストは、電磁波を散乱・吸収する。この散乱・吸収断面積は電磁波の波長に大きく依存し、波長が長いほど散乱・吸収されにくくなる。近赤外線は星間ダストによる影響が少ないため、可視光では観測が困難な銀河系の中心部や分子雲に埋もれた星形成領域が、近赤外線では観測が可能となる。このようなことから近赤外線観測は欠かせない。

#### 低温星

星からの輻射を黒体輻射とみなすと、輻射のピーク波長は天体の温度のみで決まる。この関係を Wien の変位則と呼び、次のように表される。

$$\lambda_{peak}T = 2898 \quad (1.1)$$

ここで、 $\lambda_{peak}$  はピーク波長 ( $\mu\text{m}$ )、 $T$  は表面温度 (K) である。この式から分かるように、表面温度が 3000 K 以下の低温星の場合、ピーク波長が近赤外線領域に存在する。銀河内において多数を占めるのは低温星であり、低温星の観測が重要になることから近赤外線観測の必要性が窺える。また、低温星の中でも褐色矮星は主に近赤外線で観測されることから近赤外線観測が不可欠となる。

### 1.1.3 地上観測の利点

地球大気は、天体からの赤外線を吸収するとともに強い赤外線を放射するため、赤外線の観測には宇宙空間が適している。そのような観測を可能にした例として 2006 年 2 月に M-V-8 号機によって打ち上げられた赤外線天文衛星「あかり」が挙げられる。「あかり」には 2 つの観測装置が搭載されている。1 つが FIS で 50-180  $\mu\text{m}$  の遠赤外線領域を、もう 1 つが IRC で 1.7-26.6  $\mu\text{m}$  の

近・中間赤外線領域をカバーしており、地上望遠鏡の赤外線観測装置では到底不可能な領域を観測できる。

しかし、衛星望遠鏡にもいくつかの欠点がある。まずコスト面が挙げられる。衛星望遠鏡の場合、数 100 億から 1000 億円もかかりあまりにも高額なものになってしまう。また大型装置の搭載が困難であることも挙げられる。寿命が短いことも挙げられる。以上のことから衛星望遠鏡と地上望遠鏡は相補的な関係であり、地上観測が必要であることが分かる。

## 1.2 東広島天文台かなた望遠鏡

2006 年 3 月に東広島天文台のドーム・制御棟が完成し、2006 年 4 月に赤外シミュレータ (現:かなた望遠鏡) が国立天文台三鷹構内から移設された (図 1.4)。この望遠鏡の最大の特徴は、方位速度 5 度/秒、高度速度 2 度/秒という速い駆動速度を有していることである。1 m クラスの望遠鏡でこの駆動速度は、世界最高レベルである。「かなた」の諸元を表 1.1 に示す。「かなた」の主な研究目的は、この機動力を活かして突発的あるいは一過性の激しい天体であるガンマ線バーストやブラックホール、中性子星などの高エネルギー天体を狙い物理過程を解明することである。そのためには望遠鏡に取り付ける観測装置も高エネルギー天体に特化したものである必要がある。現在、広島大学が開発中ものに可視赤外線同時撮像装置というものがある。これは、近赤外線の観測例が少ないガンマ線バーストの撮像を目指すだけでなく、近赤外線の利点を活かして前節で挙げたような天体を撮像することを目的とした装置である。



図 1.4: 東広島天文台および光学赤外線望遠鏡「かなた」

表 1.1: かなたの主な諸元

光学系	リッチー・クレティアン光学系
主鏡径	有効径 1500 mm (鏡材外形 1600 mm)
主鏡材	ULE (超低膨張ガラス) 983 kg
合成 F 値	F=12.2 (焦点距離 f=18300 mm)
視野	15 分角
駆動方式	経緯台 (トルク・モーターによるフリクションドライブ)
駆動速度	5 度/秒 (方位)、2 度/秒 (高度)
総重量	約 17 トン
搭載可能重量	500 kg(カセグレン焦点)、1000 kg(ナスミス焦点)

### 1.3 可視赤外線同時撮像装置

最近の装置は、性能を向上させるために 1 台の装置で複数の検出器を用いることがある。複数の検出器の使い方には 2 通りある。1 つに、視野の広さを稼ぐために検出器を焦点面に並べるモザイクカメラがある。もう 1 つに、各観測バンドごとに検出器を置き、同時に撮像する同時撮像カメラがある。広島大学宇宙科学センターが開発中の観測装置は、可視 CCD と近赤外線検出器 2 素子の計 3 素子による同時撮像カメラを用いた可視赤外線同時撮像装置である。図 1.5 に可視赤外線同時撮像装置の光学系を示す。現在のところ、宇宙科学センターは近赤外線検出器 VIRGO-2K を保有している。また、もう 1 つの近赤外線検出器は現在浜松ホトニクスにて開発中である。さらに、可視 CCD は浜松ホトニクスのエンジニアリンググレードを用いる予定である。可視赤外線同時撮像装置のファーストライトは 2007 年度の冬を目指している。

本研究では、可視赤外線同時撮像装置立ち上げの第 1 歩となる近赤外線検出器 VIRGO-2K の駆動・読み出しを目指す。

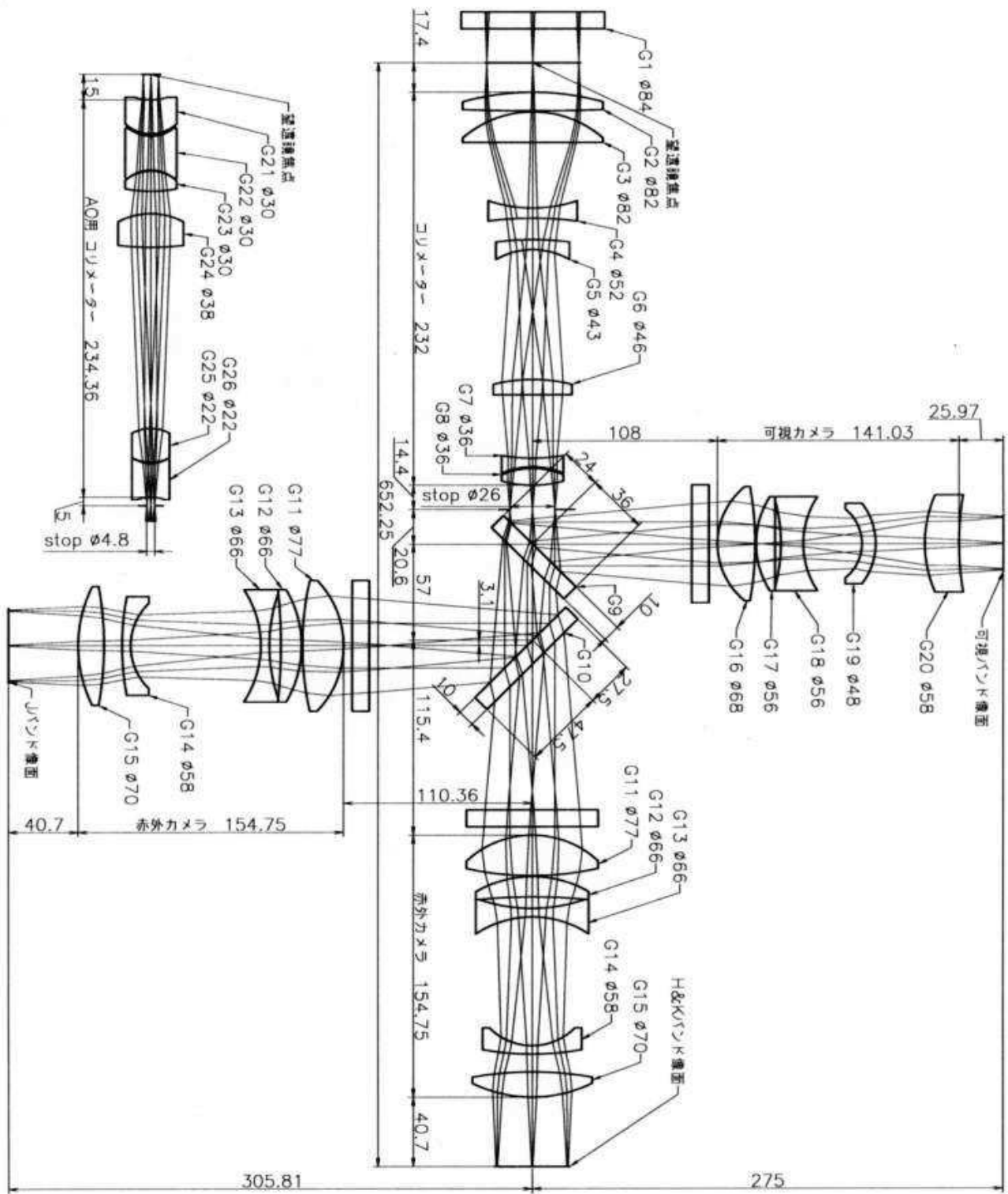


図 1.5: 可視赤外カメラ  
 広島大学が開発中の可視赤外線同時撮像装置の光学系

## 第2章 近赤外線検出器 VIRGO-2K

可視赤外線同時撮像装置に使用する検出器のうち、今回は近赤外線検出器 VIRGO-2K の駆動・制御を目指す。この章では、近赤外線検出器の一般事項について述べた後、VIRGO-2K の詳細と読み出しシステムについて述べる。

### 2.1 近赤外線検出器について

#### 2.1.1 赤外線の検知と暗電流

赤外線検出器は、赤外線を熱として検知する熱型検出器と光子として検知する量子型検出器の2種類に分かれる。しかし、近年の近赤外線観測では、高い感度で広い領域を1度に観測することが主流であるため、‘高感度’と‘多画素’を同時に満たす検出器が要求されている。これを満たすのは量子型検出器である。

量子型検出器は、赤外線の持つエネルギーにより検出素子に用いられる半導体の価電子帯の電子が伝導帯に励起される内部光電効果を利用して赤外線を検知する。不純物が全く混入していない半導体(真性半導体)の場合、価電子帯と伝導帯の間は完全な禁止帯であるので、伝導帯への電子の励起には半導体固有のエネルギーバンドギャップ  $E_g$  (eV) 以上のエネルギーが必要である。このため、検出できる光子は式 (2.1) で表されるカットオフ波長  $\lambda_c$  ( $\mu\text{m}$ ) より短い波長となる。

$$\lambda_c = \frac{1.24}{E_g} \quad (2.1)$$

現在、近赤外線検出器に多く用いられている半導体は HgCdTe である。これは、HgTe と CdTe の混合物であり、その混合比を変化させることでバンドギャップが変化する半導体である。多くの場合、 $2.5 \mu\text{m}$  のカットオフ波長の HgCdTe が用いられる。また、 $5 \mu\text{m}$  まで感度を持つ半導体として InSb を用いることもある。

半導体検出器は電子の熱による励起も起こす。この電子の励起により電流が流れノイズの原因となる。この電流を暗電流と呼ぶ。暗電流量  $I_d$  は、以下のように表される。

$$I_d \propto \exp\left(\frac{-E_g}{k_B T}\right) \quad (2.2)$$

ここで、 $E_g$  はバンドギャップ、 $T$  は温度、 $k_B$  はボルツマン定数である。式 (2.2) から暗電流量は、 $E_g$  が大きいほど、また  $T$  が低いほど小さくなることが分かる。近赤外線検出素子の場合、バンドギャップエネルギーが小さいため常温では暗電流が非常に大きい。このため、検出器を冷却する必要がある。

### 2.1.2 検出法

半導体を素子として利用するには p 型と n 型の半導体を接合させる必要がある。この接合により、電子および正孔の濃度が p 型と n 型で異なるため、n 層の電子は p 層へ、p 層のホールは n 層へ流れ込むことになる。そして、接合面付近では電子とホールが結合・消滅しキャリアが存在しない領域つまり空乏層が生じる。

この状態で p-n 接合に光が照射されると価電子帯の電子は伝導帯に励起し、電子-ホール対を生成する。これらは、空乏層にかけられる逆バイアスによって電子は n 側へ、ホールは p 側へ流れることになる (図 2.1)。その結果この電子は、電流として出力されることになる。

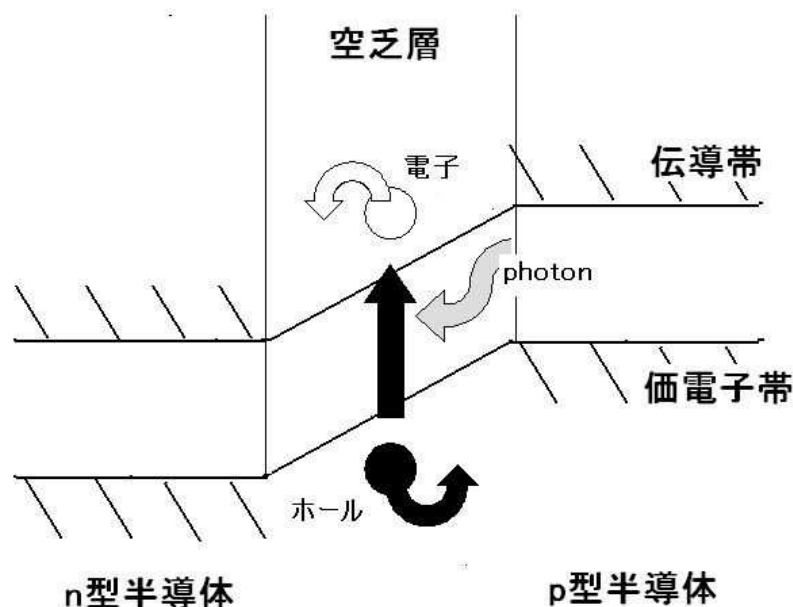


図 2.1: 逆バイアスによる空乏層での電子・ホールの移動

### 2.1.3 Source Follower per Detector

赤外線アレイと共に用いられる読み出し回路部には厳しい制限が設けられている。1 つに、回路のエレクトロルミネセンス (半導体に電流が流れることで光を放射する現象) がある。これは、間接遷移形半導体である Si を読み出し回路に用いることで自己放射を最小限抑えられる。また、エレクトロルミネセンスは電圧を極力抑えることで減少させることもできる。他の制限として、多数の極小部品が必要であることが挙げられる。これによく用いられるのが、Source Follower per Detector(SFD) である (図 2.2)。SFD は、MOSFET(metal-oxide-semiconductor field effect



transistor)(付録 A 参照) をベースにしておりソースフォロアを用いている。ソースフォロアは微小素子に適しており、また低いノイズを与えるという利点がある。SFD は、検出素子の出力電流をゲートのキャパシタンスに電荷として蓄積し電圧として読み出すことを目的に使われている。

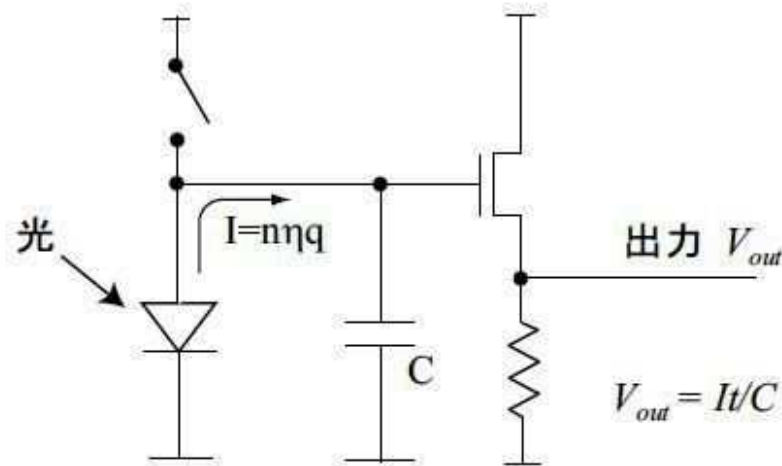


図 2.2: 読み出し回路

$n$  は検出器に入射する光子数、 $\eta$  は量子効率、 $q$  は素電荷量、 $C$  はキャパシタンス、 $V_{out}$  は出力電圧である。

#### 2.1.4 マルチプレクサ (MUX)

ここ数年の近赤外線検出器の発展は目覚しく、一辺が 2048 画素の全体が 400 万画素を超える検出器が普及しつつある。これら 400 万以上の信号を同時に処理を行うのは到底困難である。そのため内部には読み出す画素を選択し、順番に信号を出力する仕組みが実装されている。

400 万以上の信号は出力ライン上で連続的に現れるが、それらは内部のエレクトロニクスによってシリアルに処理される。これをマルチプレクスといい、このような機能を持つ読み出し回路全体を指してマルチプレクサ (MUX) と呼ぶ。MUX の例を図 2.3 に示す。 $T_1$  が SFD の MOSFET にあたる。また、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  および  $T_5$  がスイッチである。これらのスイッチはシフトレジスタで制御され、結果的に画素が選択されることになる。そもそも SFD は、スイッチのような機能を用いて出力時以外は常に off の状態で電荷を蓄える仕組みになっている。このため、アレイに必要な電力を必要最小限に抑えることができる。低電力消費は、冷却装置のデザインを考えるときに重要となり、また適切な温度でのオペレーティングを維持する助けにもなる。それに加えて、エレクトロルミネセンスを最小限に抑えることも可能である。

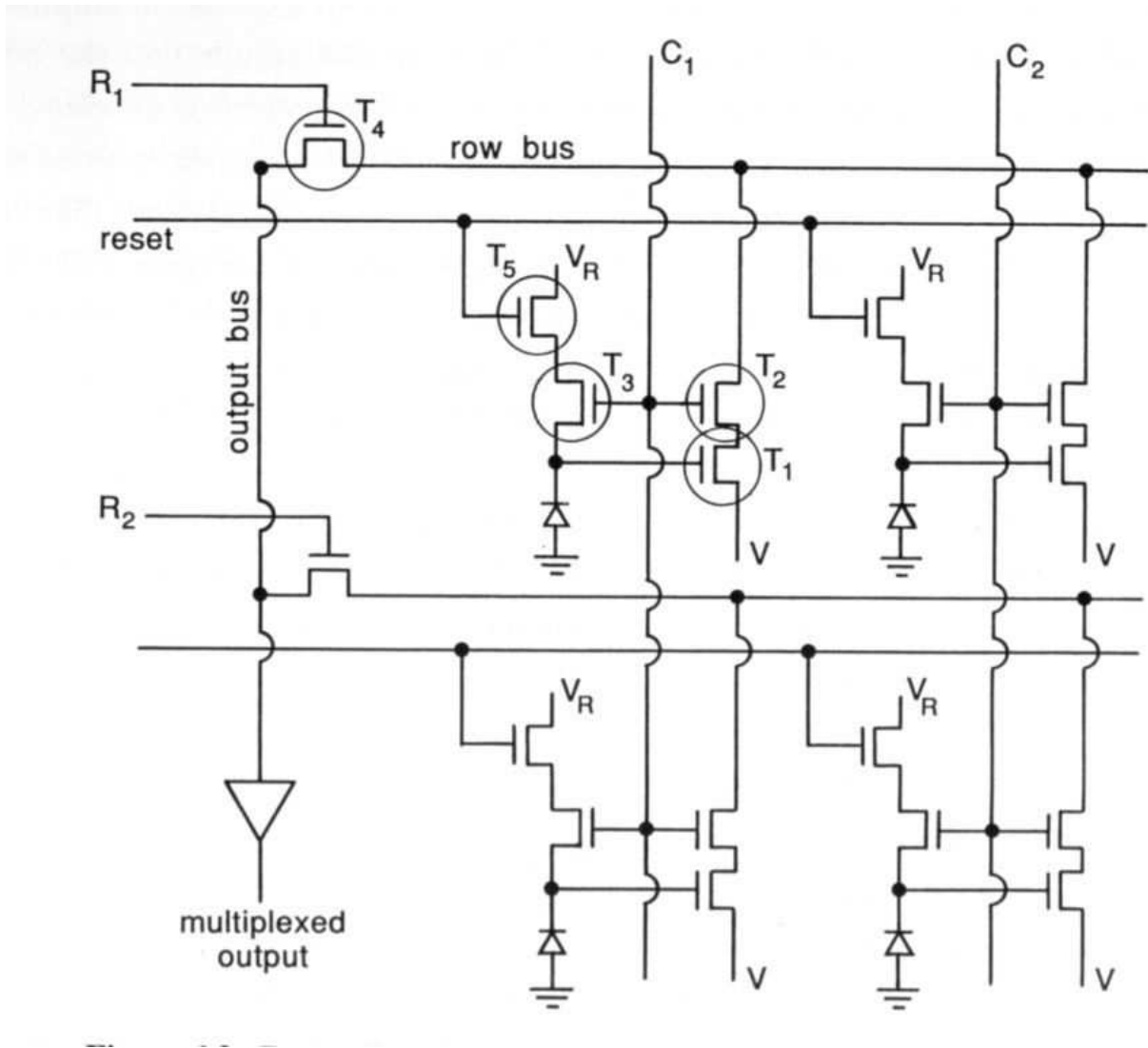


図 2.3: MUX の構造例  
4 ピクセル分の読み出し回路を表した図。

以上の過程を経て、検出素子に入射された近赤外線を電気信号として選択的に読み、シリアルに出力されることになる。以下、具体的な検出器の構造を示す。

### 2.1.5 近赤外線検出器の構造

近赤外線検出器は、検出素子層と MUX 層の 2 層構造となっている。MUX は前項に述べたように読み出し集積回路であり、各ピクセルをシフトレジスタを用いて選択できるようにしたもので Si でできている。一方、検出素子層は HgCdTe 半導体を用いている。このため便宜上 2 層となっている。このような検出器を「ハイブリット検出器」と呼ぶ。各素子に蓄えられた電荷はリセットされるまで保存され、何度でも読み出しを行うことができる。

検出素子層は、近赤外線が透過するサファイアなどの基板上で p-n 接合を作る。MUX 層は一般の半導体回路のプロセスで製造される。この検出素子層と MUX 層をインジウムを媒介としてピクセルごとに接合する。しかし、この接続は非常に難しく毎回同じ様にできるわけではない。そのため、一部欠陥を含むものもある。この欠陥を多く含むものをエンジニアリンググレードと呼び、欠陥を 0.2 % 以下含むものをサイエンスグレードと呼ぶ。また、検出素子の載っていない読み出し回路のみのも、つまり MUX のみのももある。MUX は近赤外線に対する感度はないが、Si により可視光にわずかな感度があるためこの感度を使って検出器を駆動させるシステムのテストを行うことができる。今回用いるのはこの MUX のみのパッケージである。以下、近赤外線検出器の概略図を示す。

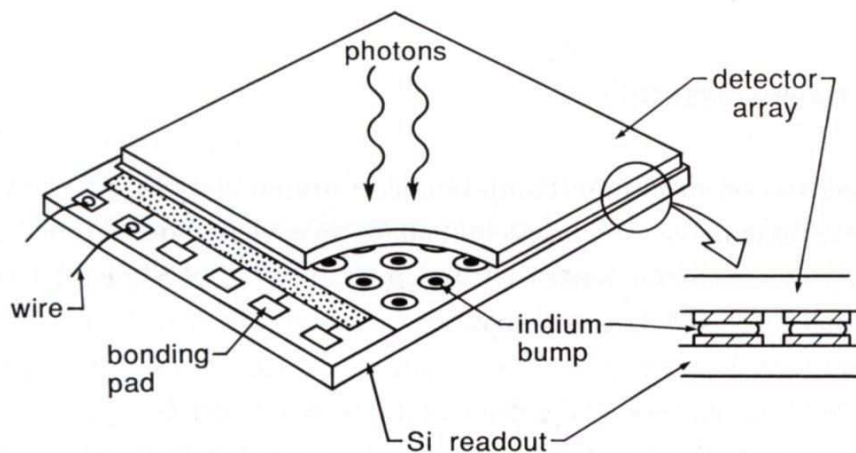


図 2.4: 近赤外線検出器の概略図

## 2.2 VIRGO-2K

### 2.2.1 仕様

可視赤外線同時撮像装置に用いる VIRGO-2K は、赤外線検出器では最大の 2048 × 2048 の画素数を持つ。また、3面バッタブル構造（複数の検出器を隙間なく敷き詰める構造）のためにパッドを1辺に集めている。読み出し部の MUX は Si-CMOS でできており、HgCdTe が用いられている検出素子部の‘表面’と素子ごとにインジウムで接合されている。つまり VIRGO-2K は、裏面照射型の検出器である。図 2.5 は VIRGO-2K の写真、表 2.1 は Raytheon 社による VIRGO-2K の仕様である。

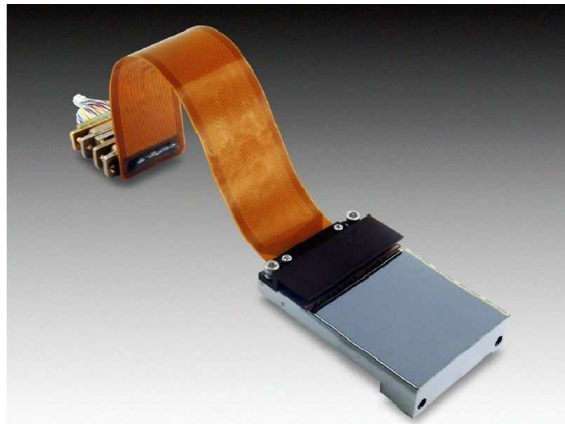


図 2.5: VIRGO-2K

表 2.1: VIRGO-2K の仕様

ピクセルサイズ	20 $\mu\text{m}$ × 20 $\mu\text{m}$
画素数	2048 × 2048 pixel
検出素子	HgCdTe
有感度波長域	0.9–2.5 $\mu\text{m}$
量子効率	>70 % (1–2.4 $\mu\text{m}$ )
操作適正温度	80 K
暗電流	<1 electron/sec
出力数	4 or 16
最大フレームレート	16 出力 : 1.456 Hz (685.75 msec) 4 出力: 0.377 Hz (2.655 sec)
リセットオプション	Global or Row-by-Row
飽和電荷量	> 4 × 10 <sup>5</sup> electrons
トランスインピーダンス	~ 2.0 $\mu\text{V}$ /electron
ノイズ	5–15 electrons rms
端子数	84

VIRGO-2Kは出力数を4チャンネルあるいは16チャンネルのどちらかで選択できるようになっている。読み出されるフレームは、4チャンネルモードの場合1チャンネル当たり2048列のうち512列を、16チャンネルモードの場合1チャンネル当たり128列を読み出す仕組みになっている。このため2048行×512列が4セットあるいは2048行×128列が16セットの縦縞構成となっている。図2.6は4チャンネルモードで読み出されるフレームを示したものである。また、VIRGO-2Kは2つのクロックおよび3つの制御ラインのみで駆動可能という特徴がある。これは、MUXに電圧を入力することによって、MUXのロジック回路がシフトレジスタ制御とリセット操作に必要な全てのクロックを内部で発生させるためであり、複雑なクロックパターンが不要となっている。図2.7および2.8にMUXへ電圧およびクロックを入力するパッドの配置を示す。

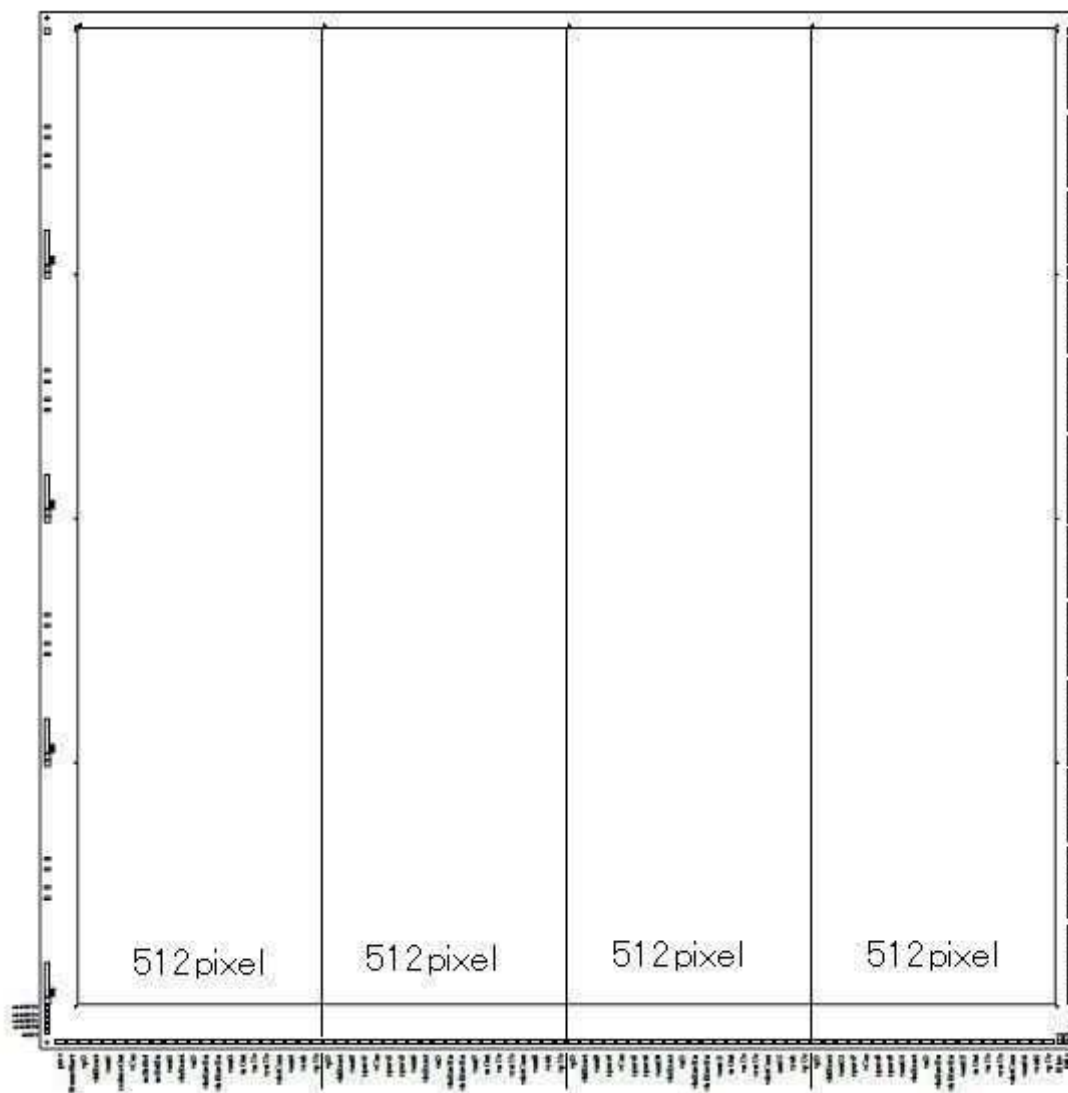


図 2.6: パッド配置と4出力の場合の縦縞構成の模式図

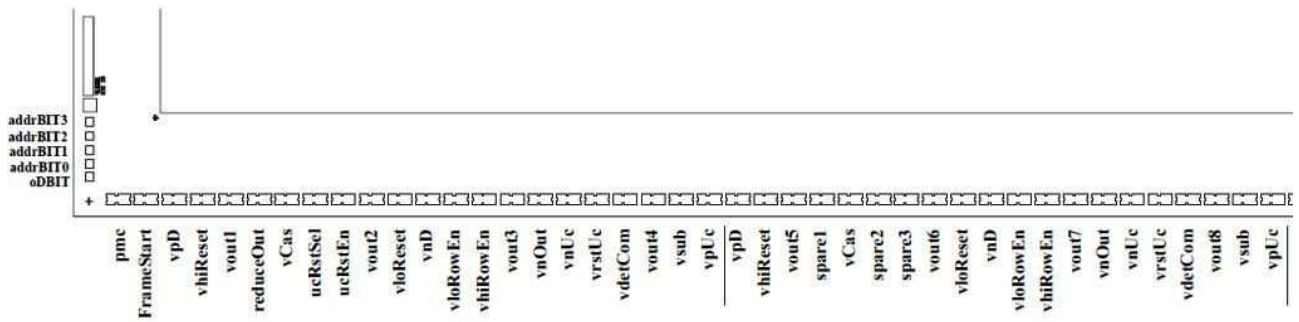


図 2.7: パッド番号 1～42

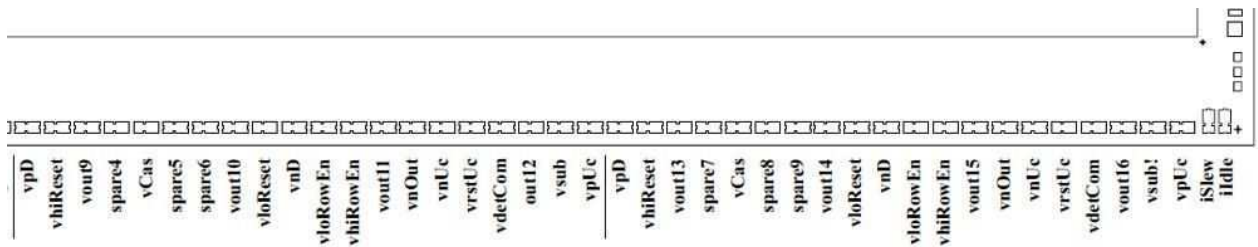


図 2.8: パッド番号 43～84

## 2.2.2 VIRGO-2K 集積回路

VIRGO-2K の読み出し素子は図 2.9 に示すように、3つのトランジスタから構成される。その中心となるトランジスタ Mdriver は、PMOSFET ソースフォロアを形作っている。また、他の 2つのトランジスタはスイッチの役目を果たす。トランジスタ M2 は、外部からの電圧 vrstUc と vdetCom による逆バイアスで検出素子部のリセットを行うかどうかのスイッチである。これは、内部で発生する prstUc クロックで制御される。トランジスタ M1 は、ソースフォロアのソース側のスイッチである。このスイッチのため、row シフトレジスタでアドレスされるまでは常に off の状態にある。トランジスタ M1 は prowEn クロックで制御される。

検出部で生成されたキャリアは、ソースフォロアのゲートで 0 V から順方向への電圧を引き起こす。積分時間完了とともに、row シフトレジスタにより選択されたある行全ての M1 のスイッチが入り、その行すべてに Idle 電流が供給され、ソースフォロアが働くことになる。また、マルチプレクス前のピクセル周期で Islew 電流が発生し、ソースフォロアのソースでゲートで達する電圧より高い電圧レベルを与えることになる。この SFD で得られるゲイン  $A_{sf1}$  は

$$A_{sf1} = \frac{1}{1 + \frac{g_{ds}}{g_m}} \quad (2.3)$$

で与えられる。ここで  $g_m$  は MOSFET の相互コンダクタンスで、 $g_{ds}$  はドレインソース相互コン

ダクタンスである。ソースドレイン抵抗は、 $r_{ds} = \frac{1}{g_{ds}}$  で与えられ、 $\frac{g_m}{g_{ds}} \gg 1$  であるからゲインはおよそ1である。

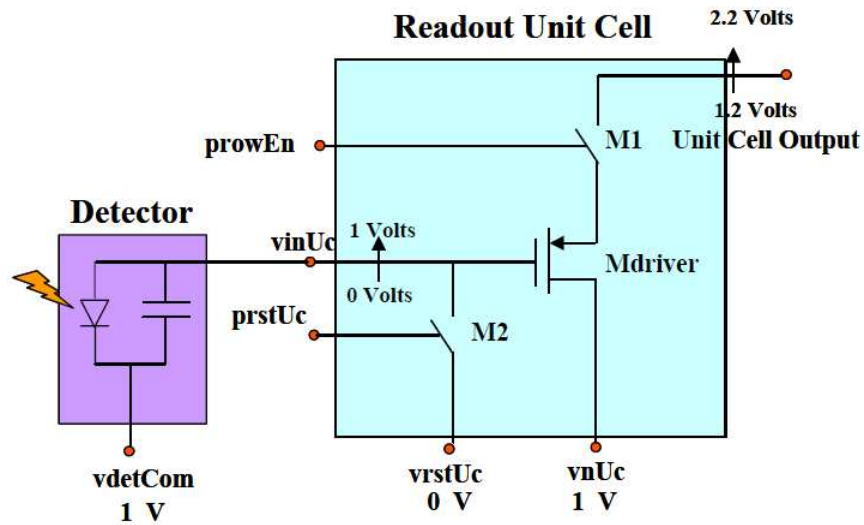


図 2.9: 検出部と読み出し素子の構成

図 2.10 は読み出し出力部を詳細に示したものである。Vslew と Vidle はカレントミラー回路から内部で発生させられる。これらにより電流源 Iidle と Islew が発生することになる。

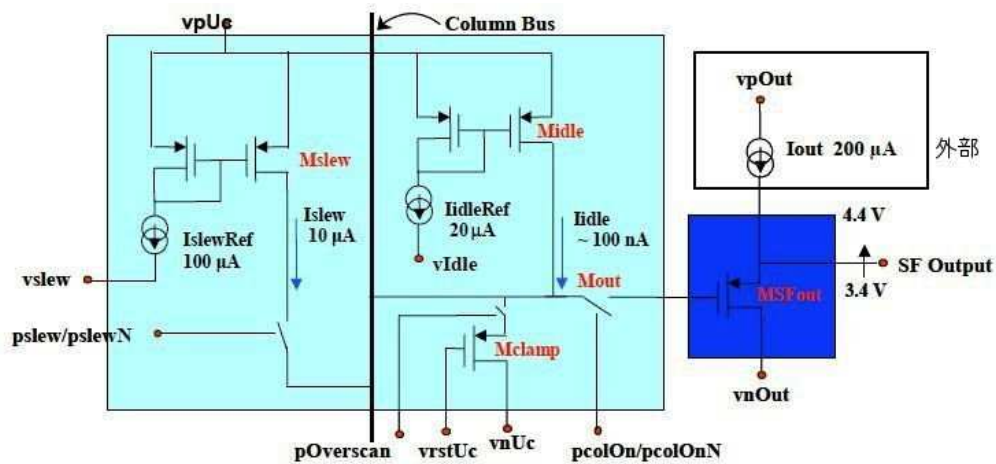


図 2.10: 読み出し出力部の構造

### 2.2.3 SFD ノイズ

VIRGO-2K の SFD 入力回路では 3 つの異なるメカニズムでノイズが発生する。

#### kTC ノイズ

kTC ノイズとは、キャパシタンスにスイッチを使って電圧を保持するときなどに発生するノイズであり、容量に接続されたスイッチなどのもつ抵抗の熱雑音が原因となる。VIRGO-2K では M2 のスイッチが入ったときに以下の式で表されるような kTC ノイズが発生する。

$$V_{noise} = \sqrt{\frac{kT}{C_{in}}} \quad (2.4)$$

k はボルツマン定数、T は絶対温度、 $C_{in}$  は MOSFET のゲートのキャパシタンスである。

#### 1/f ノイズ

1/f ノイズとは、MOSFET の channel にある界面準位で電子が捕獲・放出されることで発生すると考えられているノイズのことで、f に反比例したパワースペクトル密度をもつノイズである。MOSFET の 1/f ノイズは次の式で与えられる。

$$V_{noise} = \sqrt{\frac{K_f}{C_{ox}WL}} \quad (2.5)$$

$K_f$  は process-dependent 前因子、 $C_{ox}$  は単位面積当たりのゲートのキャパシタンス、 $W$  と  $L$  はゲートの幅と長さである。

#### ホワイトノイズ

ホワイトノイズとは、すべての周波数でパワースペクトルが同じ強度となるノイズのことを指す。MOSFET の channel では以下の式で与えられるような熱的なホワイトノイズが発生する。

$$I_{noise} = \sqrt{\frac{8kTg_m}{3}} \quad (2.6)$$

このノイズの電圧値は式 (2.6) を  $g_m$  で割ることで得られる。

$$V_{noise} = \sqrt{\frac{8kT}{3g_m}} \quad (2.7)$$



## 2.2.4 Sampling 法

読み出し回路内では前項で示したようなノイズが発生するため、リセット後の積分時間を読み出す方法 (Single sampling という (図 2.11)) ではノイズの影響が大きくなる。そこで、このようなノイズの影響を減らすためには以下のような読み出し方法を用いる必要がある。

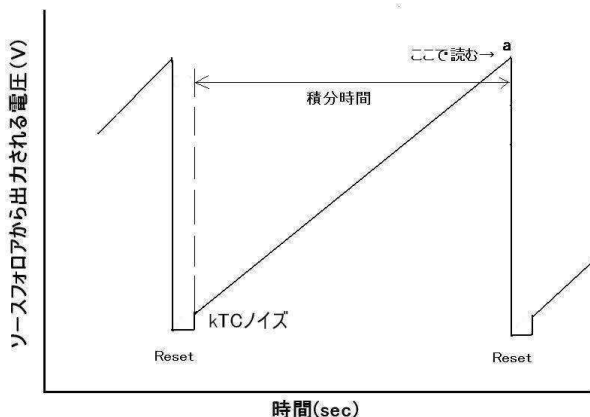


図 2.11: Single Sampling

## Correlated Double Sampling

Correlated Double Sampling(CDS) はリセット直後と積分時間後の 2 度読み出し差し引く方法である (図 2.12)。この方法によりリセットによる kTC ノイズの影響を取り除くことができる。

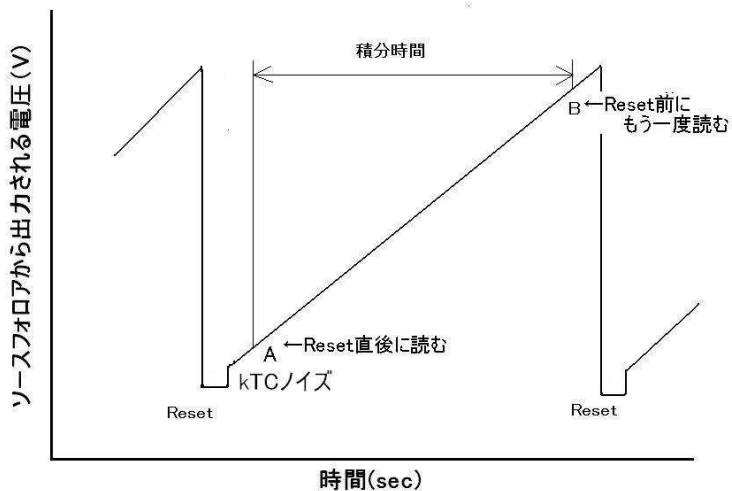


図 2.12: Correlated Doubles Sampling

## Fowler Sampling

Fowler Sampling はリセット直後に複数回、積分時間後に複数回読み出しそれぞれの平均で差し引く方法である (図 2.13)。この方法によるノイズの変化のデータを図 2.14 に示す。ちなみに Fowler 1 sampling(1 回の読み出し) と Correlated Doubles Sampling は同じものである。

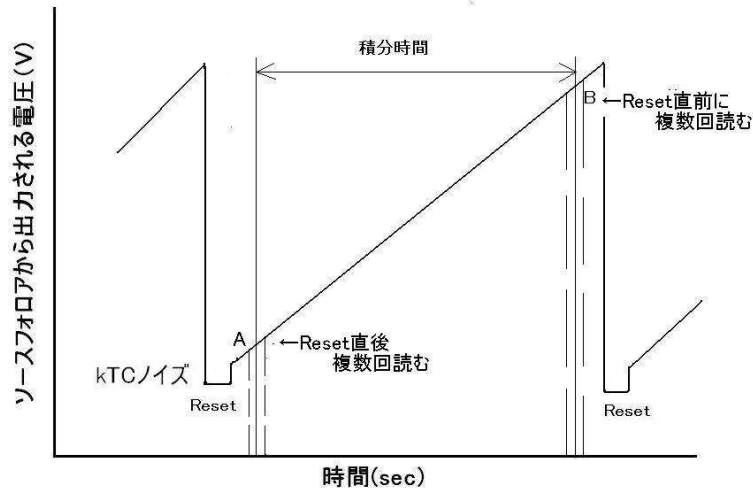


図 2.13: Fowler Sampling

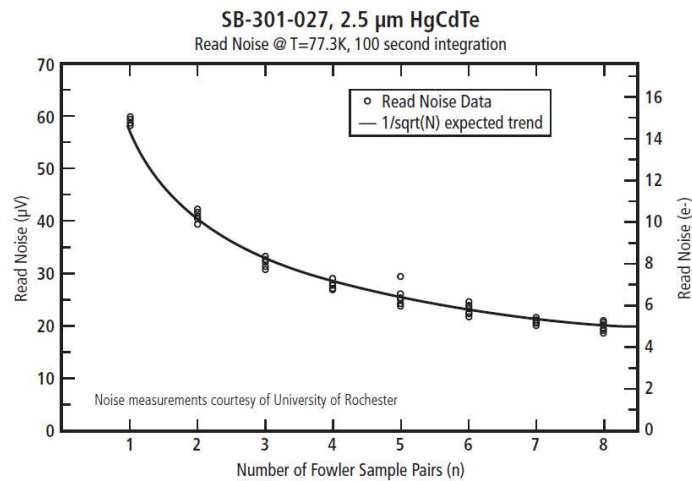


図 2.14: Fowler Sampling による読み出しノイズ (Raytheon 社のデータ)  
横軸が読み出し回数、左の縦軸がノイズの電圧値、右の縦軸が electron の個数

## 2.3 検出器の読み出しシステム

VIRGO-2K は、2種類のクロック信号および 15種類の定電圧をかけることで駆動し、MUX の 4チャンネルあるいは 16チャンネルの出力ラインから信号が出力される。出力されたアナログ信号のデータをデジタルデータに変換し、コンピュータに転送することで画像として取得できる。このような読み出しを行うために、画像取得システムの Messia5 と MFront2 を用いた。以下、Messia5 と MFront2 について説明する。

### 2.3.1 Messia5

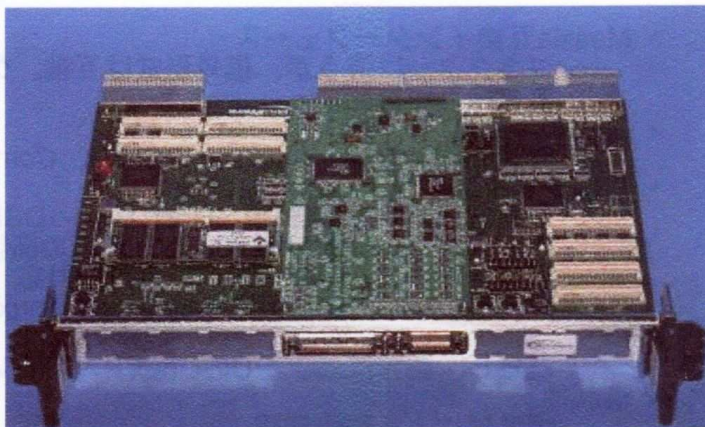


図 2.15: Messia5

Messia5 は汎用データ取得システムであり、国立天文台ハワイ観測所の中屋秀彦氏独自開発の CMC(Common Mezzanine Card) 規格の Mezzanine Card と市販の PCI バス用 DSP ボード Hammerhead(Bitwire 社) から構成される (図 2.15)。Messia5 とホストコンピュータは、PCI バスで直結しており DSP ボードのバススロットで CMC と接続されている。また、1枚の CMC は 2つのブロックから構成されており、1つのブロックに 1つ DSP が割り当てられ、DSP の Link Port を通じてデータを高速にやりとりする。このブロックには以下の 2種類ある。

**CSB(Clock Sequencer Block)** クロックパターンを発生させるためのブロック。クロックパターンは、ホストコンピュータ上に保存してあるファイルを DSP が読み込み、CSB に送られることで発生する。

**FGB(Frame Grabber Block)** 画像データを DSP ボードへ送り出すためのブロック。MFront2 からの信号を FGB で受け取ることになる。

このブロックの組み合わせにより、CMCには以下の3種類のカードがある。

- Combo Mezzanine(CSB-FGB)
- Frame Grabber Mezzanine(FGB-FGB)
- Clock Sequencer Mezzanine(CSB-CSB)

図 2.16 は Combo Mezzanine の構成を示したものである。

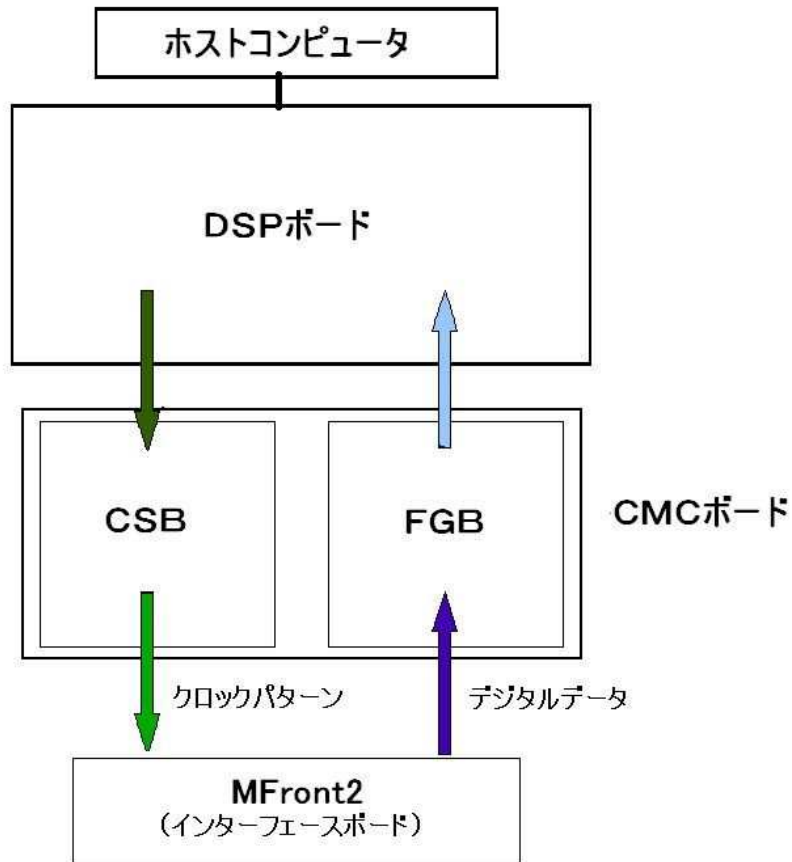


図 2.16: Messia5 の構成

### 2.3.2 MFront2

MFront2 は、中屋氏が開発した汎用検出器フロントエンドエレクトロニクスであり、電源ボード、インターフェースボード、バイアスボード、シグナルおよび ADC ボード、プリアンプボードそしてスロット用のバックプレーンボードで構成される (図 2.17)。

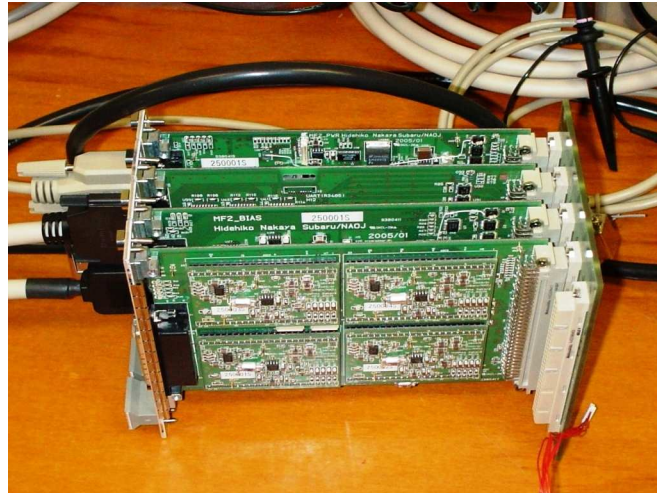


図 2.17: MFront2

手前からシグナルおよび ADC ボード、バイアスボード、インターフェースボード、電源ボード。バックプレーンボードでスロットされている。

MFront2 は、ホストコンピュータ-電源ボード間、電源-電源ボード間および Messia5-インターフェース間でケーブルを通して接続されている。Messia5-インターフェースボード間では、前項で説明したようにクロックパターンが Messia5 から供給されインターフェースボードを通してバイアスボードに送られる。また、ホストコンピュータで設定した電圧値が、バイアスボード上で実際に出力される。そして、バイアスボードで発生したバイアスは検出器に送られ、クロックはプリアンプボードのクロックドライバを通して検出器に送られる。検出器からの信号は、プリアンプボードのプリアンプで増幅させ ADC ボードでデジタル信号に変換しインターフェースボードを通じて Messia5 に入力され、画像として取得される。

以上が、Messia5 と MFront2 の大まかな構成である。Messia5 と MFront2 は、CCD において汎用性を考えて作られたエレキ系である。しかし VIRGO-2K のような赤外線検出器に対しては完全には対応いないため一部のボードを専用にする必要がある。

## 2.4 本研究の目的

本研究の目標は VIRGO-2K の MUX の読み出しである。そのためには、まず読み出しシステム Messia5+MFront2 を VIRGO-2K 用に構築する必要がある。そこで 2 パターンクロック 15 種定電圧駆動という特徴を持つ VIRGO-2K に適応させるため、まずバイアスドライバ・クロックドライバ・プリアンプを搭載したプリアンプボードを作成する。そして、プリアンプボードのみで試験を行ないプリアンプとドライバが十分信頼の置けるボードであることを確認する。その後、VIRGO-2K 用のクロックパターンを作成する。そして、VIRGO-2K と接続し、MUX を駆動させ、無事読み出すことを目標とする。図 2.18 は新たなボード作成後の VIRGO-2K の MUX とプリアンプボード、ADC ボード、バイアスボードの構成図である。

付け加えて、VIRGO-2K の読み出し試験を通じて近赤外線検出器および読み出しシステムについて学び、この知識を現在浜松ホトニクスで開発中の近赤外線検出器に活かし、可視赤外線同時撮像装置をより円滑的に立ち上げることを大きな目的とする。

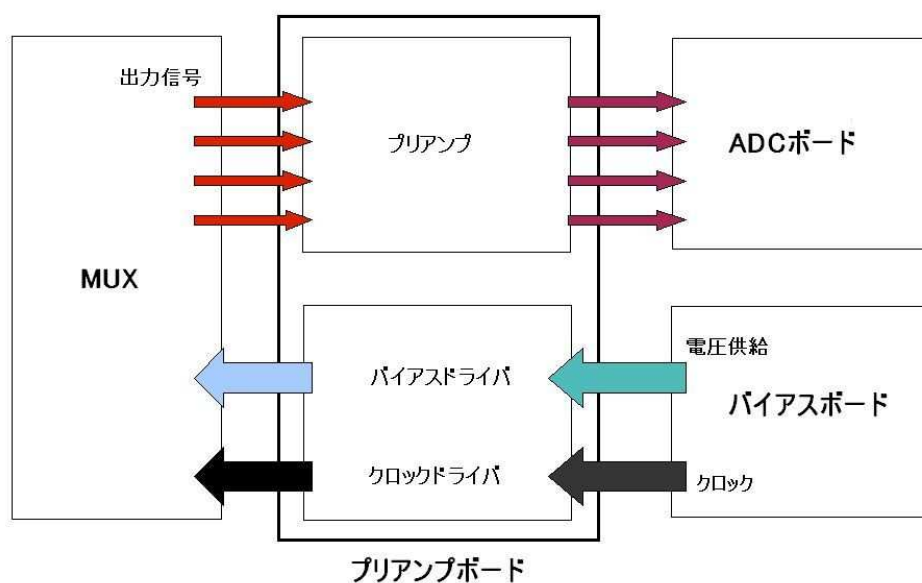


図 2.18: MUX と MFront2 の構成  
4 チャンネルモードの場合 4 つの信号が MUX から出力される。

## 第3章 VIRGO-2K 専用プリアンプボードの開発

プリアンプボードは検出器からの出力を増幅する「プリアンプ」、検出器に不正な電圧を印加しないためのリミッターとバッファの役割を担う「バイアスドライバ」、そして Messia5 の CSB で発生した TTL 出力のクロックに電圧を定義し検出器へ供給する「クロックドライバ」から構成される。プリアンプ、バイアスドライバ、クロックドライバの回路図は国立天文台ハワイ観測所の中屋秀彦氏から提供して頂いた (付録 B 図 B.1)。

### 3.1 作成したプリアンプボードの概要

開発前に、バッファを設ける電圧をチェックする必要がある。表 3.1 は VIRGO-2K に供給する 15 種類の電圧である。

表 3.1: VIRGO-2K にかける電圧

vsub	0 V	MUX の基準電圧 (GND)
vpUc	+3.5 V	素子ソースフォロアの電流源電圧
vnUc	+1.0 V	素子ソースフォロアのドレインにつながる電圧
vnOut	+2.5 V (室温では+2.0 V)	出力ソースフォロアのドレインにつながる電圧
vdetCom	+1.0 V	リセットのための基準電圧
vrstUc	0.0 V	リセットのための調節電圧 (vrstUc-vdetCom=-1 V)
vpD	+4.0 V	MUX 内デジタル信号電圧 (Supply)
vnD	0.0 V	MUX 内デジタル信号電圧 (Return)
vCas	+3.0 V	MUX 内デジタル信号カスコード電圧
vhiReset	+4.0 V	素子のリセットクロックのための電圧 (positive rail)
vloReset	0.0 V (normal operation 時)	素子のリセットクロックのための電圧 (negative rail)
vhiRowEn	+5.0	行の enable のための電圧 (positive rail)
vloRowEn	+1.0 V	行の enable のための電圧 (negative rail)
iIdle	-2.21 V	素子ソースフォロアの電流 20 $\mu$ A 生成に必要な電圧
iSlew	-3.12 V	素子ソースフォロアの電流 10 $\mu$ A 生成に必要な電圧

このうち、vsub と vnD についてはバッファを通さずプリアンプボードの GND に直接接続させる形にしたため、実際に必要になるバイアスドライバは 13 個である。また、今回は VIRGO-2K の出力モードは 4 チャンネルを使用するため、必要となるプリアンプは 4 つである。クロックドライバに関しては、VIRGO-2K に必要な 2 つのクロックに加え、3 つ制御ラインが必要となるた

め、クロックドライバに通すクロックは合計5つである。表 3.2 および 3.3 にクロックと制御ラインの種類を示す。

表 3.2: クロック

FrameStart	読み出し操作を始めるためのクロック
pmc	マスタークロック

表 3.3: 制御ライン

reduceOut	4 出力 (4 V) あるいは 16 出力 (0 V) モードの選択
ucRstSel	Global(4 V) あるいは Row-by-Row(0 V) リセットモードの選択
ucRstEn	タイミングチャートの ROW RESET を行うか否かの選択

そして、図 3.1 が実際に作成したプリアンプボードであり、図 3.2 がこのボードの大まかな構成である。図 3.2 の vout1、vout5、vout9、vout13 は VIRGO-2K の 4 チャンネルモードで使われるパッドである。他の 12 の出力パッドは 4 チャンネルモードでは浮いた状態となっている。

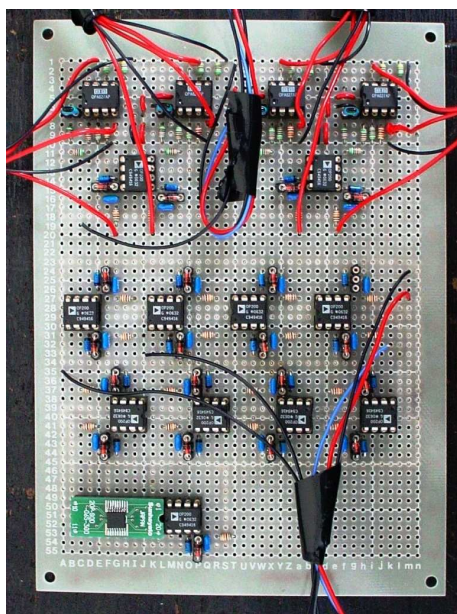


図 3.1: 作成したプリアンプボード

vout1	vout5	vout9	vout13	プリアンプ部
バイアスドライバ (オペアンプマイナス入力バッファ用)				
		vnUc (+1.0V)	vdetCom (+1.0V)	バイアスドライバ部
テスト用	vpUc (+3.5V)	vnOut (2.5or2.0V)	vrstUc (0V)	
vpD (+4.0V)	vhiReset (+4.0V)	vhiRowEn (+5.0V)	idle (-2.21V)	
vCas (+3.0V)	vloReset (0 or +4V)	vloRowEn (+1.0V)	iSlew (-3.12V)	
reduceOut	pmc	FrameStart	バイアス ドライバ (電源供給用)	クロックドライバ部
ucRstSel	ucRstEn			

図 3.2: プリアンプボードの大まかな構成



## 3.2 作成したプリアンプ・ドライバ役割および性能

### 3.2.1 バイアスドライバ

VIRGO-2Kに必要な電圧は、Messia5のHOSTコンピュータで電圧値を設定しMFront2を操作することでバイアスボードで検出器に必要な電圧を発生させVIRGO-2Kに供給させる。だが、人為的なミスあるいは機器的な問題で不正な電圧が検出器にかかる可能性はゼロではない。もしそのような不正な電圧が検出器にかかった場合、壊れる可能性がある。近赤外線検出器は大変高価であるため、不正な電圧はなんとしても防ぐ必要がある。そのため、バイアスボードから検出器に直接電圧をかけるのではなく、バイアスボードと検出器の間に電圧のリミッターが必要となる。バイアスドライバはこのリミッターとしての役割を果たす。今回作ったバイアスドライバの回路図を図3.3に示す。

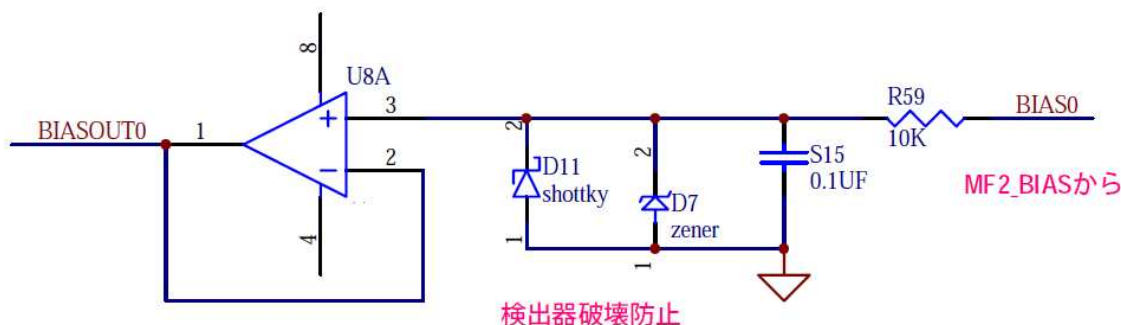


図 3.3: バイアスドライバ

電圧に制限をかけるためには、ツェナー効果を用いるのが有効である。そのため、回路ではツェナーダイオードが用いられている。また、ショットキーダイオードは一方方向の電圧に対してリミッターの効果があり、この回路ではおよそ $-0.3\text{ V}$ 以下はかからないようになっている。この回路で負の電圧を出力するには、ショットキーダイオードとツェナーダイオードのそれぞれの向きを変えることで可能となる。このとき、正の電圧は $+0.3\text{ V}$ 付近でリミットがかかる。

バイアスドライバは他にもバッファとして働く。バイアスボードから直接ケーブルを通して電圧を供給した場合、設定電圧の誤差が大きくなってしまうため制御が難しくなる。そのため、バイアスドライバのようなバッファが必要となる。プリアンプやクロックドライバのバイアスボードからの入力部には、すべてバイアスドライバを用いている。

実際に作成したバイアスドライバを図3.4に示す。OP200GPZには図3.5のように2つのオペアンプが内蔵されているため、1つのICにつき2つのバイアスドライバを作ることができる。用いないオペアンプはノイズの原因となるので、入力部をGNDに接続してある。また、ツェナーダイオード取り付け部分については交換できるように片足ソケットを土台にしている。表3.4はバイアスドライバに用いた主な部品の型番である。

また、バイアスドライバの性能面を見るにはツェナー電圧値を調べる必要がある。これについては、直接 MFront2 に接続した状態で行った。(3.4 節参照)

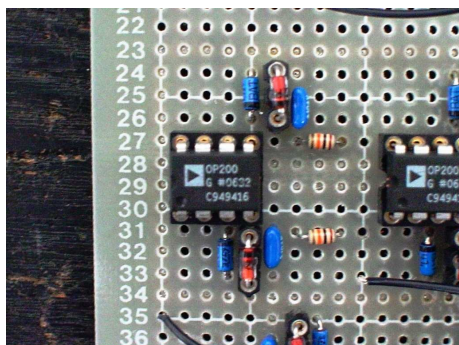


図 3.4: 作成したバイアスドライバ IC の左下が 1 番ピン

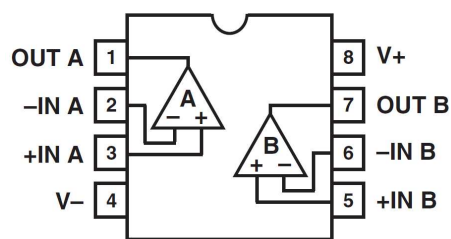


図 3.5: OP200GPZ のピン配置

表 3.4: バイアスドライバに用いた部品の型番

IC	OP200GPZ(オペアンプ 2 個内蔵)
ショットキーダイオード	BAT41
ツェナーダイオード	BZX79C4V7, BZX79C5V1, BZX79C5V6, BZX79C6V2

### 3.2.2 クロックドライバ

VIRGO-2K の駆動のために必要なクロックは Messia5 の CSB で発生するが、TTL 出力のため、クロックドライバを通して VIRGO-2K に必要な電圧値を定義する必要がある。クロックドライバの回路図を図 3.6 に示す。

IC は TC74VHC367FT を用いた。この IC は非反転バッファという特徴がある。電源は 7 V までの仕様であるため、バイアスボードからの電圧はバイアスドライバを通す形にした。そのため、バイアスドライバにかける電圧値がクロックの電圧値を決めることになる。図 3.7 は、作成したクロックドライバである。このクロックドライバに通すクロックは全部で 5 つであるが、図 3.8 の TC74VHC367FT のピン配置図から分かるように 6 回路が内蔵されているため、1 つの IC だけでよい。この IC の 1 番と 15 番のピンを GND に接続することですべての回路がイネーブル状態となる。ただし、今回は 5 回路を用いるので残りの 1 回路についてはノイズ源とならないよう入力

部を GND に接続した。16 番ピンは電源であり、バイアスボードからの電圧はバイアスドライバを介してここにつながる。

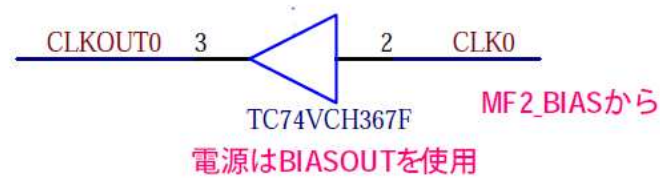


図 3.6: クロックドライバ

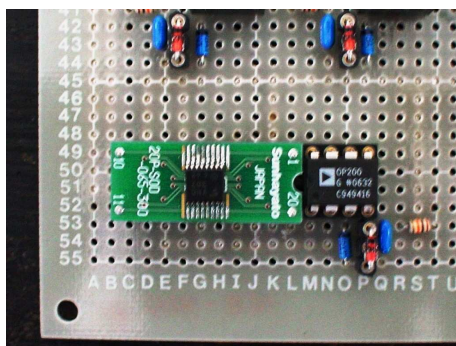


図 3.7: 作成したクロックドライバ  
この写真の右上が1番ピンである。右のICは電源につながるバイアスドライバである。

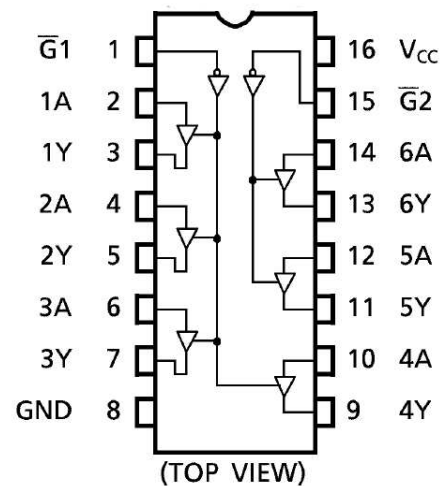


図 3.8: TC74VHC367FT のピン配置

また、このクロックドライバのオシロスコープで見た周波数特性を図 3.9 に示す。入力信号はファンクションジェネレータから方形波を入力し、バイアスドライバには 5.0 V の電圧を印加した。今回、クロックドライバに通すクロックは 200kHz ほどの波形なのでこの図を見る限り問題はないと思われる。

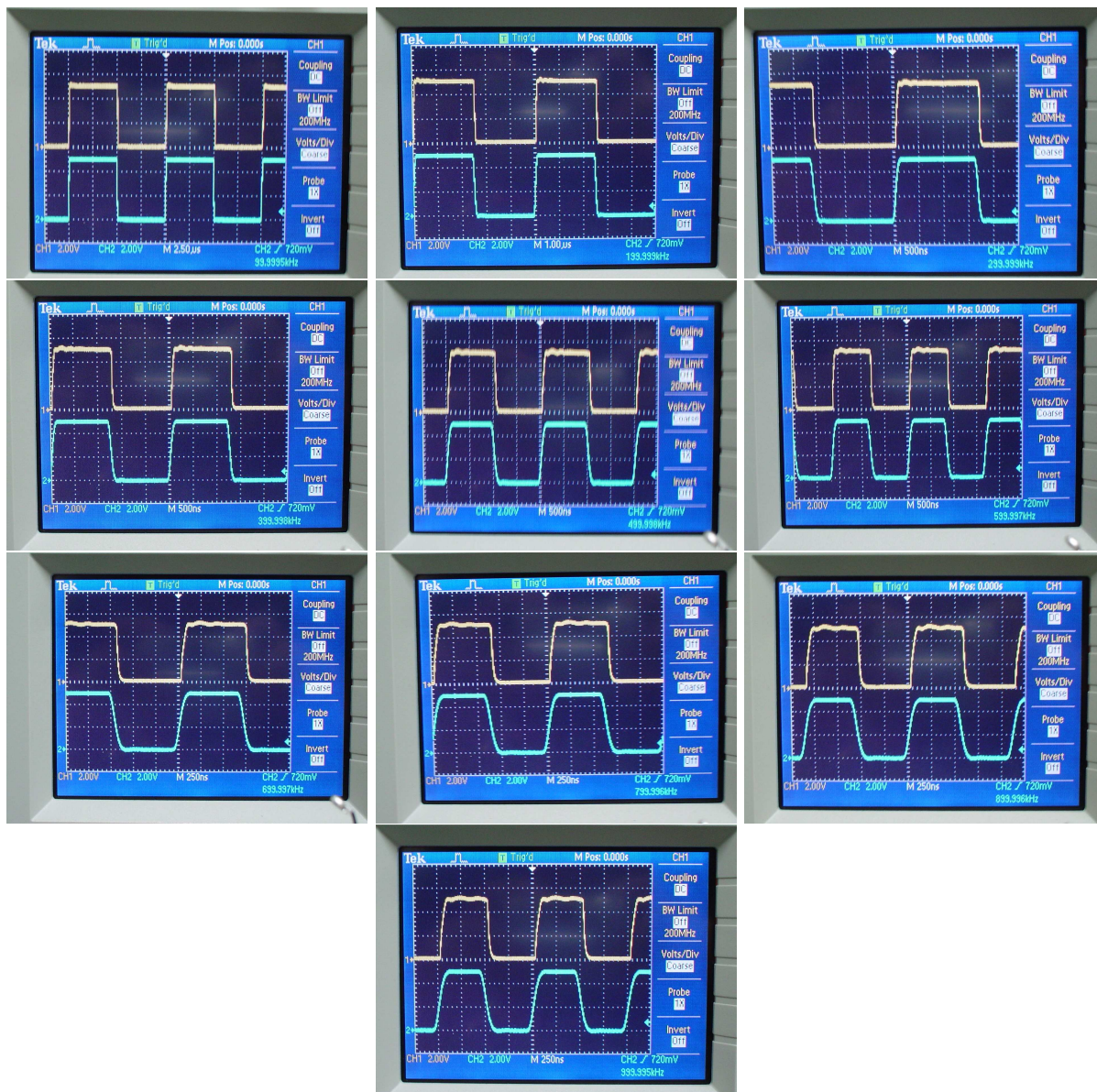


図 3.9: クロックドライバの周波数特性  
 左上から順に 100kHz、200kHz、300kHz、400kHz、500kHz、  
 600kHz、700kHz、800kHz、900kHz、1MHz の時の波形

### 3.2.3 プリアンプ

近赤外線検出器は、素子からの電流を検出器そのもののキャパシタンスで電荷として貯め、電圧として検出器の読み出し部から出力する。プリアンプはこの出力信号を増幅させるためのものである。図 3.10 にプリアンプの回路を示す。

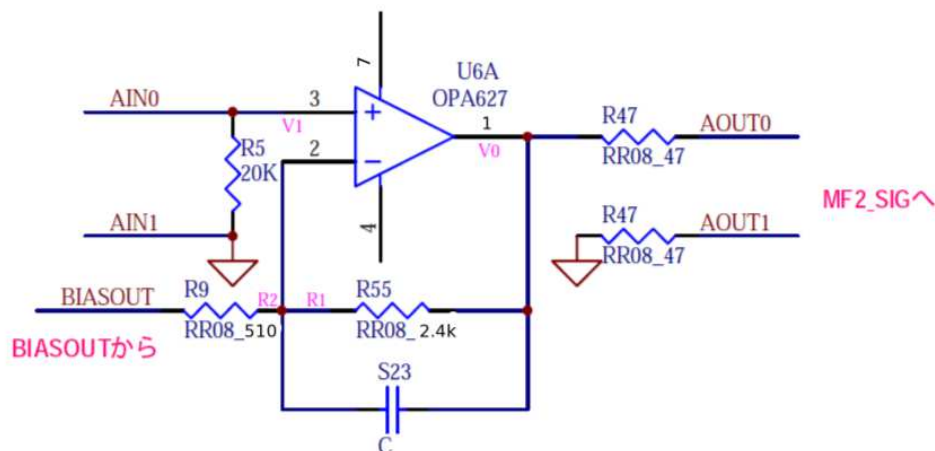


図 3.10: プリアンプ

プリアンプに用いられている回路は非反転増幅回路である。オペアンプのプラスの入力部が検出器からの信号である。また、オペアンプのマイナスの入力部はバイアスボードからの電圧を入力させるようにしてある。これは、VIRGO-2K からの出力電圧が+3.0 V から+4.6 V である一方で、ADC ボードで AD コンバートする電圧は 0 から+2.5 V という制限があるためである。そのため、マイナス入力部はバイアスボードからバッファとしてバイアスドライバを通して接続してある。オペアンプのマイナス入力部にかかる必要のある電圧は、非反転増幅回路の式を用いる。

$$V_0 - V_2 = \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right)(V_1 - V_2) \quad (3.1)$$

ここで、 $V_0$  はオペアンプからの出力電圧、 $V_1$  と  $V_2$  はオペアンプのプラスおよびマイナス入力電圧、 $R_1$  と  $R_2$  はそれぞれプリアンプ回路の R9 と R55 に相当する。式 3.1 からオペアンプのマイナス入力部にかかる電圧は

$$V_2 = V_1 - (V_0 - V_1)\frac{R_2}{R_1} \quad (3.2)$$

となる。 $V_1$  に検出器からの電圧、 $V_0$  に ADC ボードにかかる電圧、 $R_1$ 、 $R_2$  にそれぞれ 2.4 k  $\Omega$  と 510  $\Omega$  を代入すると、オペアンプのマイナス入力部にかかる必要のある電圧は+3.11 V から+5.58 V の範囲となるはずである。これについては、実際に MUX を駆動させるときにオシロスコープで 3.13 V の電圧が必要であることを確認した。

図 3.11 に実際に作成したプリアンプを示す。プリアンプに用いた IC は OPA627AP で、内部には図 3.12 に示すように 1 つのオペアンプが内蔵されているため、IC1 つでプリアンプ 1 つとなる。

このため、バイアスドライバに用いられている OP200GPZ1 つから 2 つのプリアンプのマイナス入力を供給する形が最もコンパクトに収まる。また、図 3.10 の S23 のコンデンサで周波数特性が決まる。今回は 100 pF を用いた。

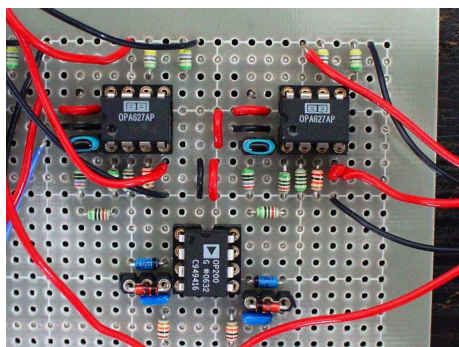


図 3.11: 作成したプリアンプ  
上 2 つがプリアンプ、  
下がバイアスドライバである。

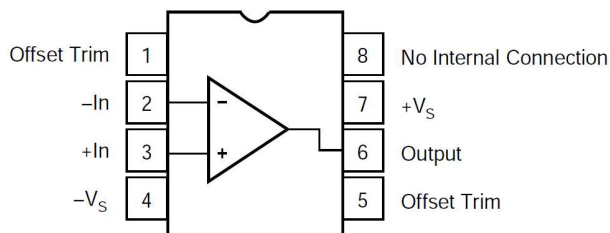


図 3.12: OPA627AP のピン配置

このプリアンプのゲインは非反転増幅回路であるため  $\frac{R_2}{R_1} + 1$  という式で表される。 $R_1$  に 510  $\Omega$ 、 $R_2$  に 2.4 k  $\Omega$  を代入するとこのプリアンプのゲインは 5.7 となるはずである。図 3.13、図 3.15 はプリアンプを用いて実際に測定したオペアンプ電源 7 V および 15 V のときの電圧の入出力関係で、図 3.14、図 3.16 が入力電圧の変化によるゲインの変化を表した図である。

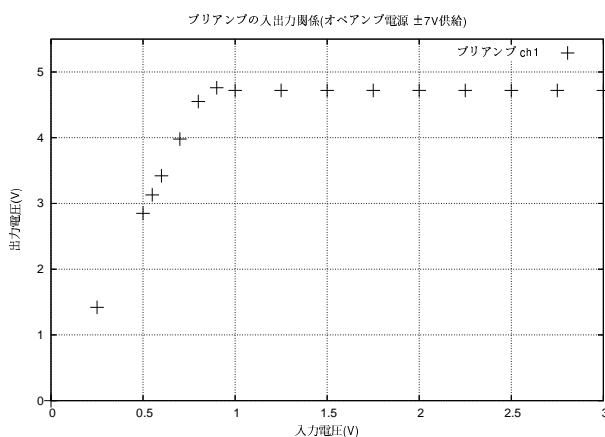


図 3.13: プリアンプの入出力関係 1  
オペアンプ電源  $\pm 7$  V 供給

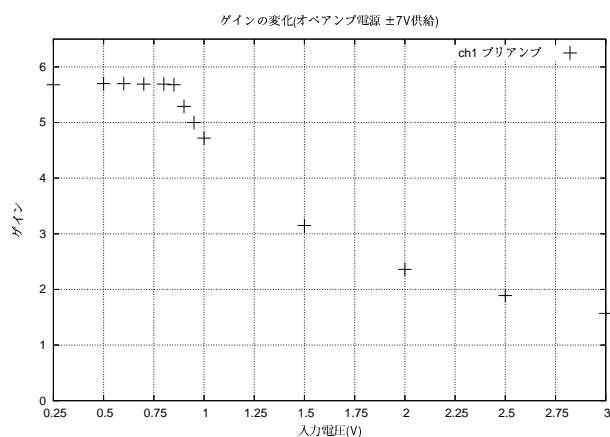


図 3.14: 入力電圧によるゲインの変化 1  
オペアンプ電源  $\pm 7$  V 供給

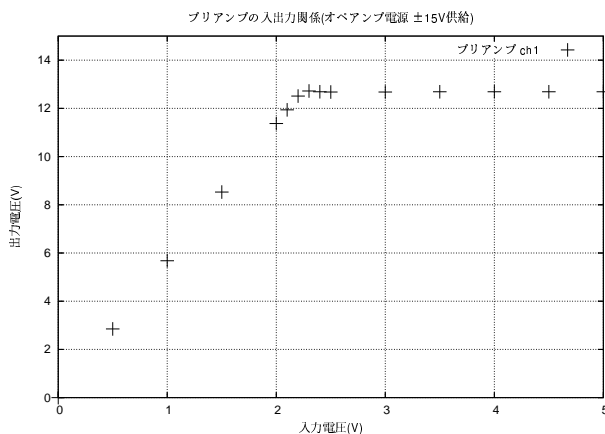


図 3.15: プリアンプの入出力関係 2  
オペアンプ電源 ±15V 供給

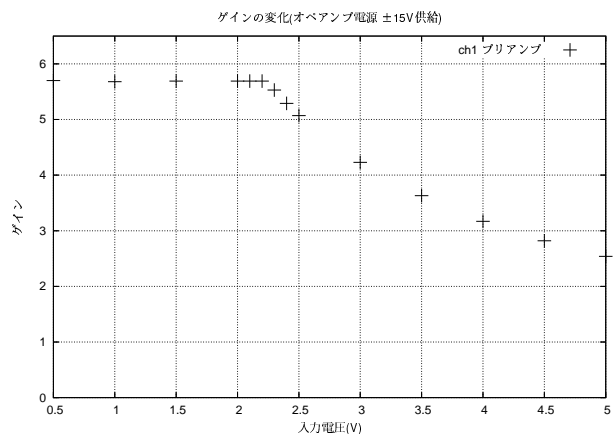


図 3.16: 入力電圧によるゲインの変化 2  
オペアンプ電源 ±15 V 供給

オペアンプの電源供給が 7 V のときは、入力電圧が 0.85 V まではゲイン 5.7 であるがそれ以降ゲイン値が減少する。出力電圧は 4.72 V でサチュレーションを起こす。オペアンプの電源供給が 15 V のときは、入力電圧が 2.20 V 以降ゲイン値が減少する。出力電圧は 12.69 V でサチュレーションを起こす。これはオペアンプの出力電圧は電源電圧より低い値までというオペアンプ特性のためである。MUX を用いた試験では、MUX への不正な電圧を防ぐためオペアンプの電源には 7 V の電圧を供給する。AD コンバートの電圧範囲は 0 から 2.5 V であるため、図 3.13 のリニアリティはこの範囲を保証するものとなっていることが分かる。

### 3.3 プリアンプボードと MFront2 の接続

作成したプリアンプボードが信頼のおける水準に達しているかを確認するために、まず MFront2 とプリアンプボードを接続して、プリアンプボード単独の試験を行う必要がある。MFront2 とプリアンプボードを接続するためには、MFront2 側のピン番号とプリアンプボードの入出力部を決め、ホストコンピュータの電圧ファイルに各入力電圧を設定する必要がある。付録 B の図 B.2 と B.3 に、ADC ボードとバイアスボードのピン番号を示した。バイアスボードは 62 ピン Dsub コネクタに対応しており、ADC ボードは 44 ピン Dsub コネクタと対応している。ADC ボードの AIN がプリアンプからの出力と接続されるピンとなる。AIN の偶数番号が+で奇数番号が-入力である。また、バイアスボードの BIAS0 から BIAS21 がプリアンプボードへ入力する電圧のピンであり、CP0 から CP15 がクロック信号となる。プリアンプボードの GND はバイアスボードの GND とつながられる。以下は、決定したプリアンプボード-バイアス・ADC ボードのピン番号対応表である。プリアンプボード入出力部の名称は図 3.2 を参照。

表 3.5: プリアンプボードとバイアスボードピン対応表

ピン番号	ボード入力部	電圧 (V)
4(BIAS0)	vout1(バイアスドライバ入力部)	+3.11~+5.58
5(BIAS3)	vout5(同上)	+3.11~+5.58
6(BIAS6)	vout9(同上)	+3.11~+5.58
7(BIAS9)	vout13(同上)	+3.11~+5.58
10(BIAS18)	クロックドライバ電源用	+4.0
11(BIAS21)	reduceOut(4チャンネル固定用)	+4.0(16チャンネルモードでは0.0)
26(BIAS1)	vpUc	+3.5
27(BIAS4)	vnUc	+1.0
28(BIAS7)	vnOut	+2.5(室温では+2.0)
29(BIAS10)	vdetCom	+1.0
30(BIAS13)	vrstUc	0.0
31(BIAS16)	vpD	+4.0
32(BIAS19)	vCas	+3.0
46(BIAS2)	vhiReset	+4.0
47(BIAS5)	vloReset	0.0
48(BIAS8)	vhiRowEn	+5.0
49(BIAS11)	vloRowEn	+1.0
50(BIAS14)	iIdle	-2.21
51(BIAS17)	iSlew	-3.12
13(GND)	プリアンプボードの GND へ	バイアスボードの GND
16(CP0)	FrameStart	クロックパターン出力
17(CP3)	pmc	同上
18(CP6)	ucRstSel	同上
19(CP9)	ucRstEn	同上



表 3.6: プリアンプボードと ADC ボードピン対応表

ピン番号	ボード (プリアンプ) 出力
1(AIN0)	vout1
2(AIN2)	vout5
3(AIN4)	vout9
4(AIN6)	vout13
17(AIN1)	vout1(接地部)
18(AIN3)	vout5(接地部)
19(AIN5)	vout9(接地部)
20(AIN7)	vout13(接地部)

図 3.17 と図 3.18 は実際に作成したコネクタで図 3.19 は MFront2 との接続の様子である。また、図 3.20 は Messia5 を含めた読み出し試験を行うためのセットアップであり、図 3.21 は実際の実験の様子である。

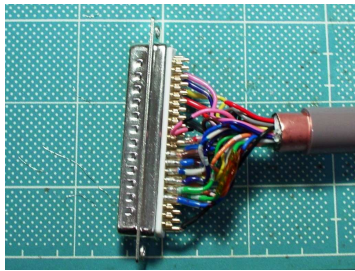


図 3.17: 62 ピン Dsub コネクタ  
バイアスドライバ接続用コネクタ

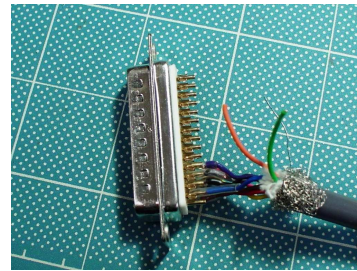


図 3.18: 44 ピン Dsub コネクタ  
ADC ボード接続用コネクタ

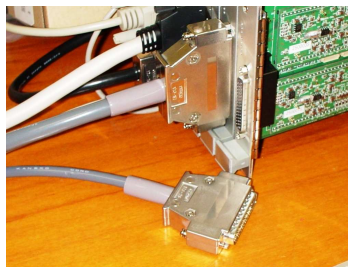


図 3.19: MFront2 との接続の様子

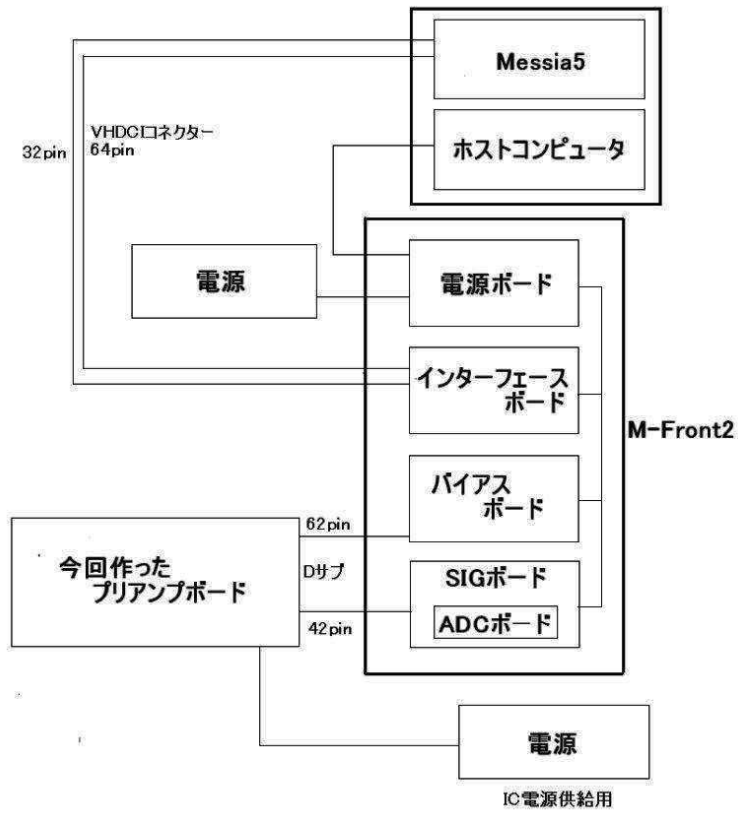


図 3.20: 読み出し試験セットアップ

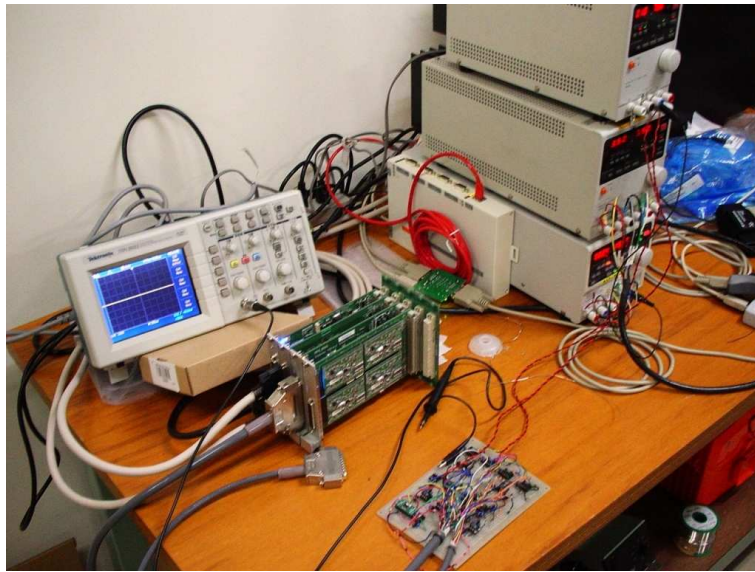


図 3.21: 実験の様子

### 3.4 ツェナーダイオード選定試験

まずツェナーダイオードについて説明すると、図 3.22 の電圧-電流特性のグラフからも分かるように順方向に対しては一般的なダイオードと同じであるが、逆方向に対してはある電圧値で急激に電流が流れる始める。これをツェナー効果と呼び、ツェナーダイオードを使用する場合はこの逆特性を用いる。

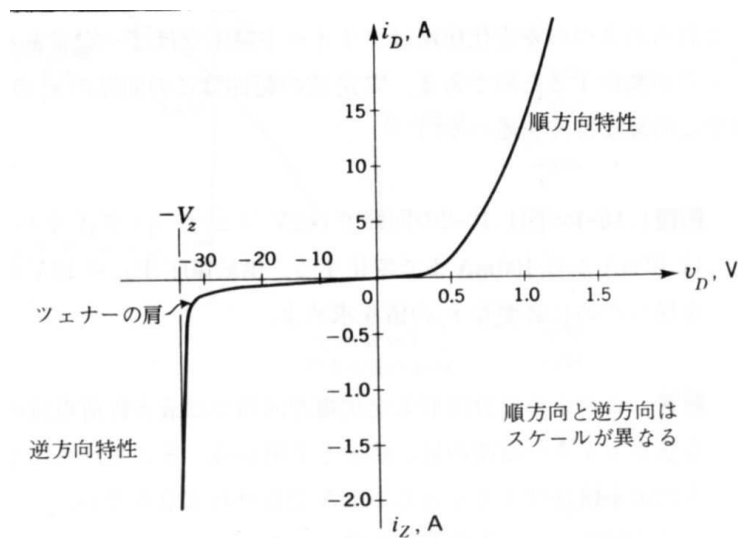


図 3.22: ツェナーダイオードの電圧-電流特性

今回使用するツェナーダイオードは、BZX79C4V7、BZX79C5V1、BZX79C5V6、BZX79C6V2 の 4 種類であり、これらを各々のバイアスドライバに取り付ける。取り付けの際は、ツェナー効果が生じるツェナー電圧値を表した表 3.7 を参考にしても良いように思える。しかし、実際にはバイアスドライバには抵抗などが取り付けられているため、電圧降下による影響なども考えられる。VIRGO-2K に正確な電圧を印加するためにも、各ツェナーダイオードを取り付けたバイアスドライバの入出力電圧値は把握しておきたい。そこで、各ツェナーダイオードごとに入出力電圧の関係を調べ、各々相応しいものを決めた。

表 3.7: ツェナーダイオードのツェナー電圧 (データシート)

ツェナーダイオードの型番	ツェナー電圧値 (V)
BZX79C4V7	4.4 - 5
BZX79C5V1	4.8 - 5.4
BZX79C5V6	5.2 - 6
BZX79C6V2	5.8 - 6.6

試験方法は、プリアンプボードのバイアスドライバと MFront2 のバイアスボードを接続した状態でホストコンピュータで電圧値を変化させ、バイアスドライバからの出力電圧値を測定した。図 3.23 は正負の電圧のバイアスドライバ入出力の関係のグラフである。

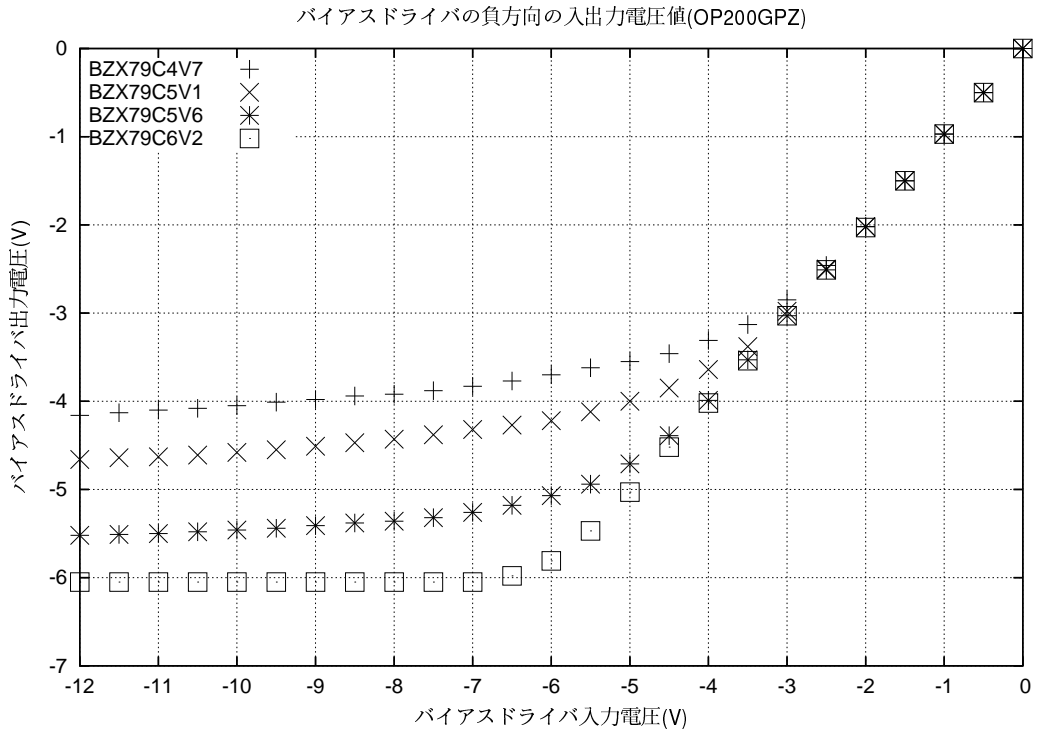
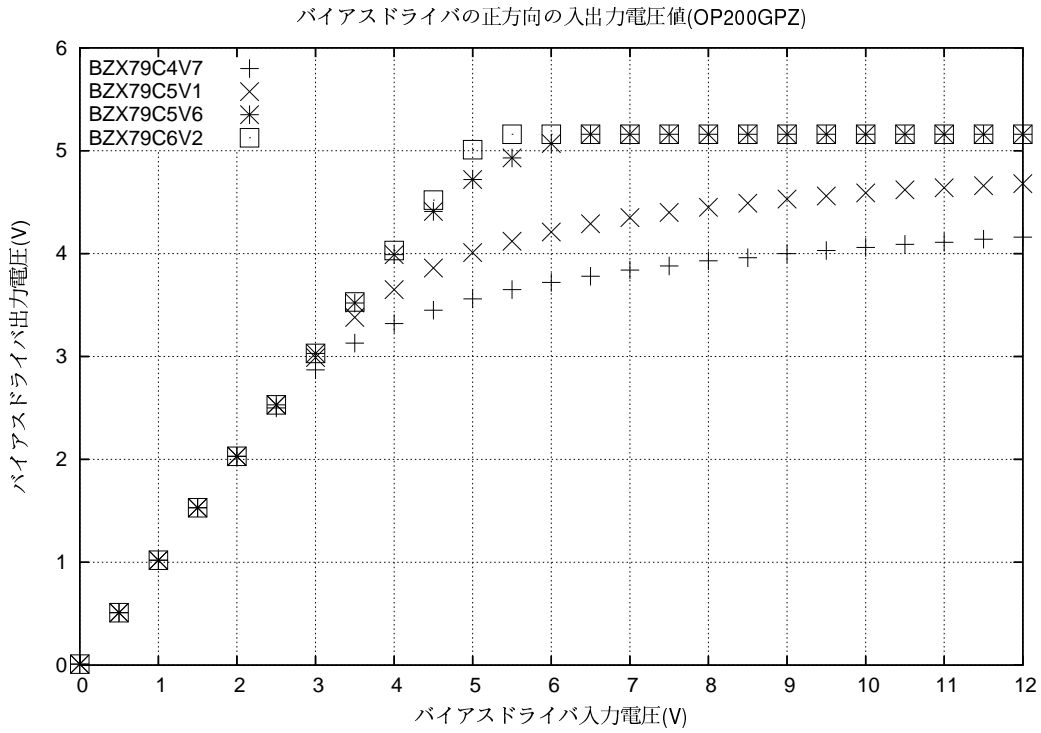


図 3.23: zener 電圧値

上がプラス方向、下がマイナス方向。マイナス方向はバイアスドライバのショットキーダイオードとツェナーダイオードを逆に取り付けると印加できる。

それぞれのツェナーダイオードについて見ると、BZX79C4V7については正負とも2.5 V付近から入出力の値にずれが生じ始めている。また、他のツェナーダイオードについても同様にBZX79C5V1は3 V付近から、BZX79C5V6は4 V付近から、BZX79C6V2は5 Vを越えたあたりからずれが生じ始めている。そのため、それぞれのダイオードは表 3.8 のような範囲で使われるべきであることが分かったので、これをもとに表 3.9 のように選定した。

表 3.8: 各ツェナーダイオードの使われるべき電圧値

BZX79C4V7	2 V まで
BZX79C5V1	2.5 V まで
BZX79C5V6	3.5 V まで
BZX79C6V2	5.0 V まで

表 3.9: 各バイアスドライバに用いるツェナーダイオードの選定

BZX79C4V7	vnUc、vdetCom、vrstUc、vloRowEn
BZX79C5V1	vnOut、iIdle
BZX79C5V6	vpUc、vCas、iSlew
BZX79C6V2	プリアンプ部バイアスドライバ、vpD、vhiReset、vhiRowEn vloReset、クロックドライバ部バイアスドライバ

ちなみに、BZX79C4V7とBZX79C5V1についてはデータシートのツェナー電圧値まで到達していない。この原因は、図 3.3 の R59 の抵抗値が大きいため電圧降下の影響が大きく出たためであると考えられる。また、BZX79C5V6とBZX79C6V2については+5.2 V 付近でサチュレーションを起こしている。これは、負の電圧には見られない現象である。そこで、IC を変更してみたところサチュレーションを起こさなくなったため IC そのものが原因だったと思われる。図 3.24 は IC を変更したときのツェナー特性のグラフである。IC は OPA2107AP を用いた。

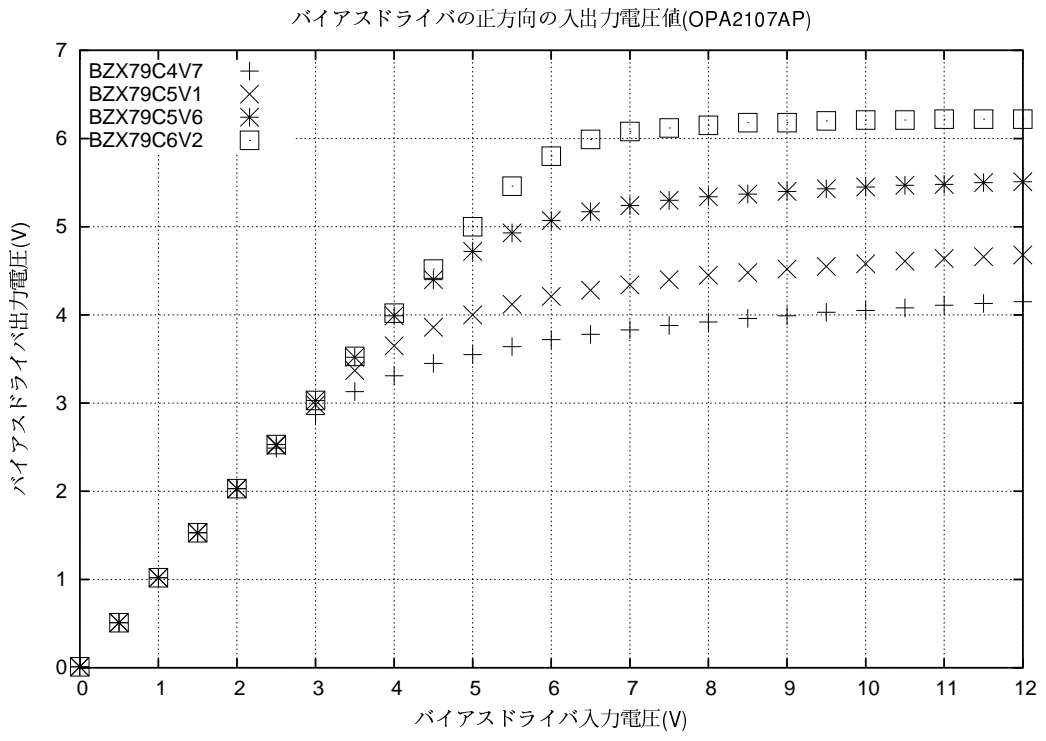


図 3.24: zener 特性 (OPA2107AP、プラス方向)

## 3.5 プリアンプのノイズ試験

### 3.5.1 ノイズ画像取得

プリアンプは、検出器からの信号を直接受け取る部分にあたるため最もノイズに気をを使う必要がある。今回の試験では、図 3.10 のオペアンプのプラス入力部 AIN0 と AIN1 を GND にショートさせて 0 V の状態で試験を行った。これによりプリアンプそのもののノイズが分かることになる。プリアンプボードをつなげた状態でのノイズの目標値は 2~3 ADU (1 ADU=3 electron) である。

まず、プリアンプボードを接続する前に ADC ボードそのもののノイズを見た。図 3.25 がその読み出し画像である。この状態でのノイズ値は 0.7 ADU 程度である。そして、プリアンプボードを接続した状態での読み出し画像が図 3.26 である。この状態での読み出し口から横 20 ピクセル、縦 100 ピクセルの場所から縦横 20 ピクセル (計 400 ピクセル) 分の rms のノイズ値は 9~10 ADU であり、目標値には遠く及ばないことが判明した。

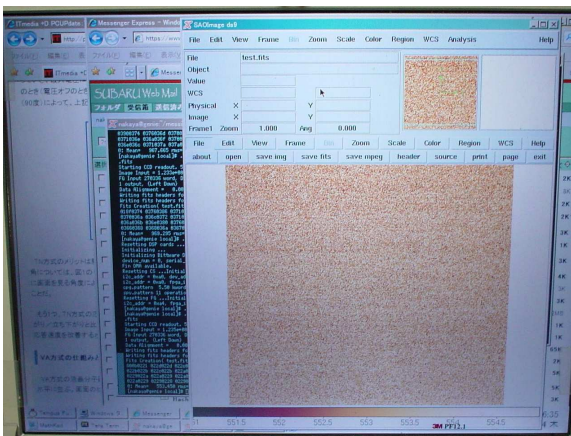


図 3.25: ADC ボードのみのノイズ画像

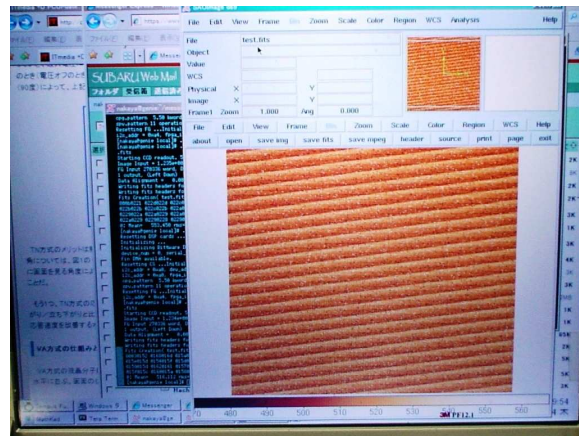


図 3.26: プリアンプからのノイズ画像

### 3.5.2 ノイズ対策後の画像

ノイズの目標値を達成するために対策を講じる必要がある。ノイズとなり得るものは様々なものが考えられるが、今回は主に以下の 2 つを試みた。

#### ツイストペアケーブル

基板間のケーブルが比較的長くなると、ノイズ電流が発生させる磁場により生じる誘電起電力でノイズ伝搬が起こる。そこで、磁場による誘電起電力を相殺するために使われるのがツイストペアケーブルである。ツイストペアケーブルで電磁誘導を相殺する原理を図 3.27 に示す。ケーブルのツイストにより逆向きの起電力を発生させ、お互いに打ち消し合わせる効果があるため、ツイストのサイズよりも大きなスケールで変動している磁場からの影響を除去することができる。

今回は、プリアンプと ADC ボードの間をツイストペアケーブル化した。

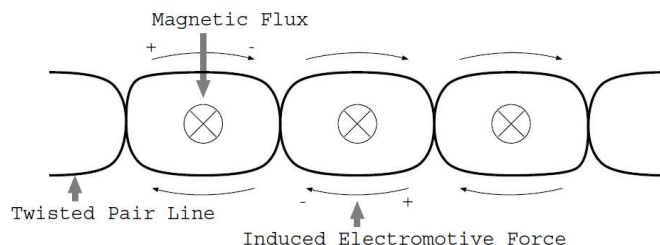


図 3.27: ツイストペアケーブル

## バイパスコンデンサ

バイパスコンデンサ (パスコン) は、オペアンプの電源と GND 間にコンデンサを入れたものをいう。これにより、消費電力の急激な変動によるオペアンプの電源のスパイク状のノイズを防ぐ効果がある。

今回は各 IC すべてに  $0.1 \mu\text{F}$  のセラミックコンデンサを取り付けた。

以上の対策の他に、プリアンプ 1 セットをテスト用に作成し (図 3.28) ノイズ源を探ってみたところバイアスドライバに使われている OP200GPZ そのものがノイズ源であることが判明したため、プリアンプのマイナス入力のバイアスドライバのみ IC を OPA2107AP に取り換えた。表 3.10 がテストプリアンプによる IC 変更後のノイズ値の違いである。

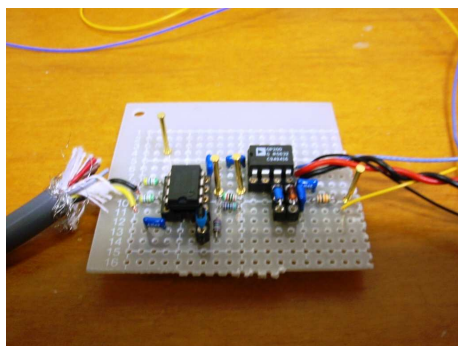


図 3.28: テスト用プリアンプ

左の IC がプリアンプ部、右の IC がプリアンプ入力のバイアスドライバ

表 3.10: テストプリアンプによる IC 変更後のノイズの変化

IC	ノイズ値 (ADU)
OP200GPZ(変更前)	2~3
OPA2107AP(変更後)	1~2



そして、図 3.29 がこれらの対策を講じた後のプリアンプボードのプリアンプからのノイズ画像である。

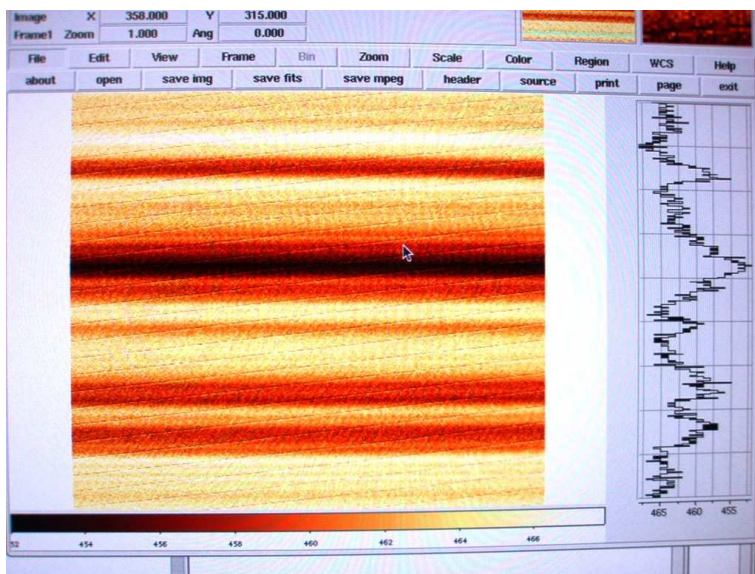


図 3.29: 対策後のノイズ画像

このときのノイズ値は1~2 ADUであり目標値を達成することができた。しかし、画像からも分かるように大きな縞があり、まだ斑が大きい状態にある。現在のところ、MFront2 バイアスボードとプリアンプのマイナス入力バイアスドライバ間で縞の原因となり得るものが存在することが分かっているので、今後なんとかこの縞の原因を突き止めたい。

## 第4章 MUXの駆動・制御

MUXの駆動試験を行うためには、プリアンプボードとMUXを接続するためのコネクタの作成およびMUX駆動制御のためのクロックを作成する必要がある。この章では、作成したコネクタとクロック生成、そしてMUXの駆動試験について述べる。

### 4.1 プリアンプボード・マルチプレクサ接続用コネクタと回路の改造

#### 4.1.1 Micro-Dsub コネクタ (MDM)

VIRGO-2Kのパッド配置は、図2.6に示したように84ピンあるがワイヤーボンディングで51ピンにまとめられており、フレキケーブルを通してMicro-Dsubコネクタ(MDM)で接続できるようになっている。そこで、こちらで作成したプリアンプボードとVIRGO-2KのMUXを接続するために、MDMケーブルをプリアンプボードに接続した。図4.1がMDMデータシートによるピン番号で、表4.1が実際に接続したMDMのピンの番号である。

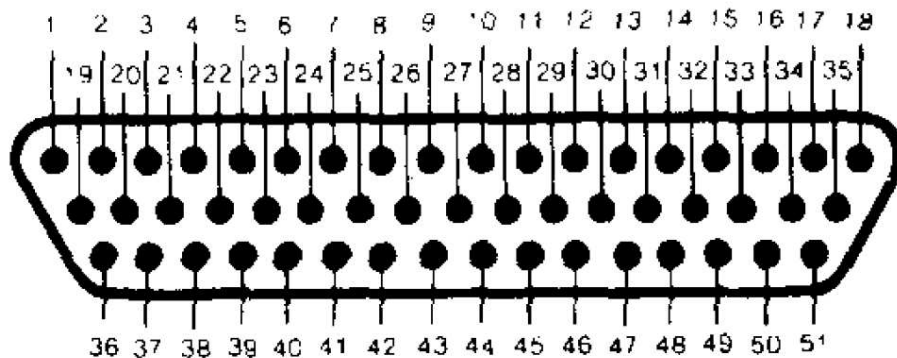


図 4.1: MDM51 ピン

表 4.1: VIRGO-2K、MDM ピン番号

MDM ピン番号	プリアンプボード側
1	vhiReset
2	vpD
4	ucRstEn
5	ucRstSel
6	reduceOut
8	FrameStart
9	pmc
17	iIdle
18	iSlew
19	vCas
21	vhiRowEn
23	vrstUc
24	vpUc
27	vout1
29	vout5
31	vout9
33	vout13
36	vloReset
37	vloRowEn
38	vnOut
39	vnUc
40	vdetCom
20、41、42	プリアンプボード GND

#### 4.1.2 プリアンプ検出器入力部の改造

第3章で述べたように、プリアンプボードのみの試験ではプリアンプの検出器入力部図 3.10 の AIN0 と AIN1 をショートさせて 0 V の状態にした。しかし、実際に VIRGO-2K を接続するためには、図 2.10 にあるように外部から 200  $\mu$  A の電流が必要となる。そのため R5 の 20 k  $\Omega$  の抵抗を取り外し、10 V の電圧 (vpOut) を 32.5 k  $\Omega$  の抵抗を通して検出器入力部にかけるようにした。また、10 V の電圧を加えると検出器内部で vnOut に 2.5 V 以上の電圧がかかる危険性があるため、プリアンプボード上でショットキーダイオードをつなげた。さらに、vpOut に負の電圧がかからないようにするために vpOut と GND の間にもショットキーダイオードを取り付けた。ちなみに、実際に使った抵抗は 33 k  $\Omega$  である。また、10 V の電圧はバイアスボードから供給する形にした。図 4.2 は改良後のプリアンプ周辺の回路図である。

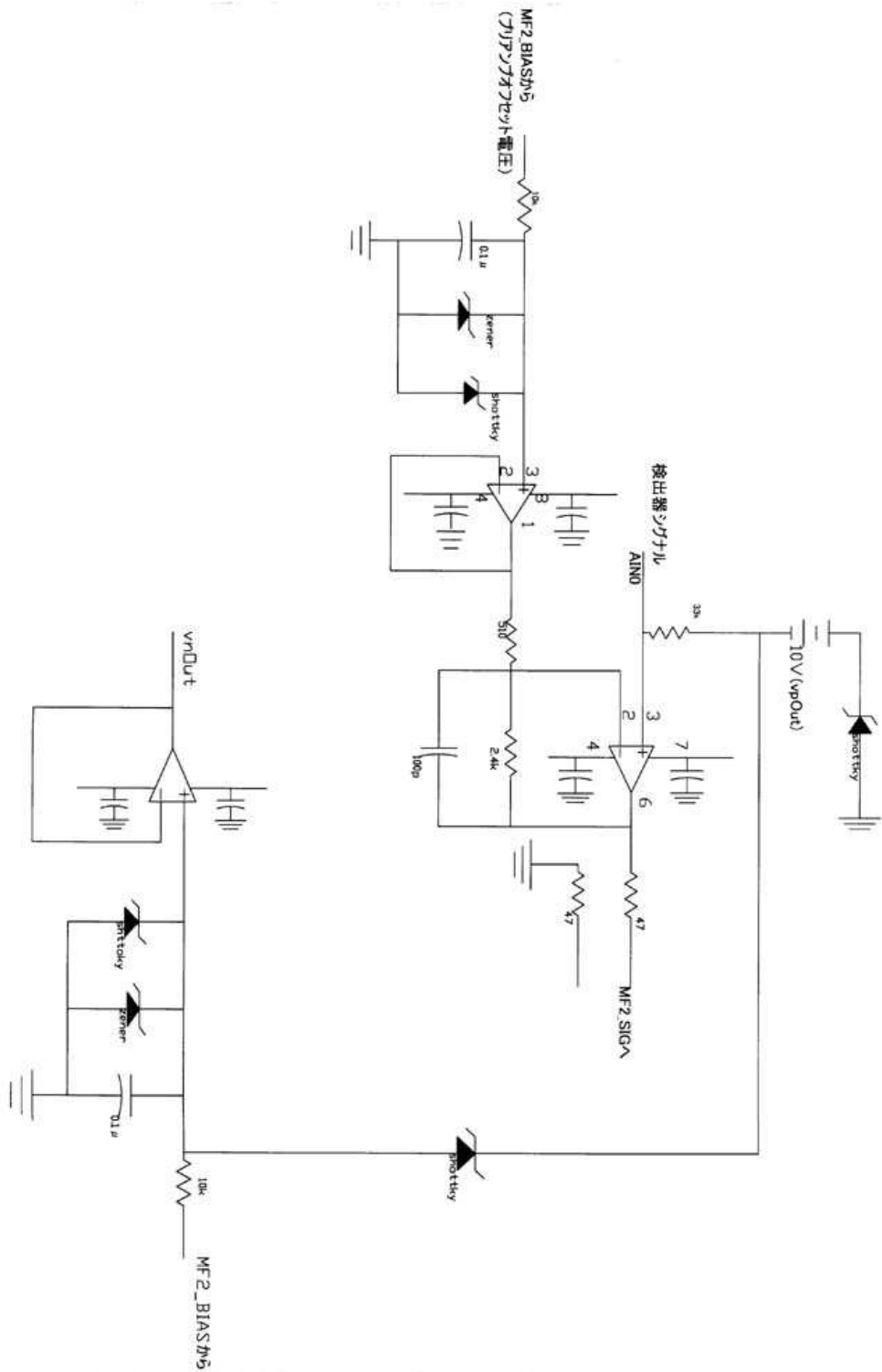


図 4.2: プリアンプとその周辺回路図

## 4.2 VIRGO-2K 制御用クロックパターン作成

VIRGO-2K のマルチプレクサを制御するには、Messia5 から VIRGO-2K 用のクロックおよび ADC ボード用クロックを送る必要がある。ADC ボード用クロックはすでにファイルに記述しているので、ADC の読み込みクロックのタイミング合わせて VIRGO-2K 用のクロックパターンを作成する必要がある。以下では VIRGO-2K 用クロックパターンの作成について述べる。

### 4.2.1 VIRGO-2K のクロックパターン図

第 2 章で述べたように、以前までの検出器の読み出しと比べて VIRGO -2K はクロックインターフェースが大いに簡略化されているという特徴がある。VIRGO-2K のマルチプレクサを駆動させるためには 2 つのクロックおよび 3 つの制御用クロックのみ入力させればよく、シフトレジスタの操作とリセット操作に必要なクロックはすべて MUX 内部で作られる。

表 3.2 および表 3.3 が VIRGO-2K に送るクロックである。今回は 4 出力モードのみを使うため、reduceOut についてはバイアスボードからは 4 V の定電圧を送ることとした。このため実際には FrameStart、pmc、ucRstSel、ucRstEn の 4 つのみ送ることとなった。また、リセットモードは Row-by-Row モードを用いた。図 4.3・図 4.4 は、VIRGO-2K のクロックパターンである。FrameStart が立ち上がることで、読み出しが開始されマスタークロックのエッジごとにピクセルデータが出力される。ここで、4 出力モードの場合 1 行あたり 518 ピクセル分のマスタークロックを送る必要があるということに注意する。

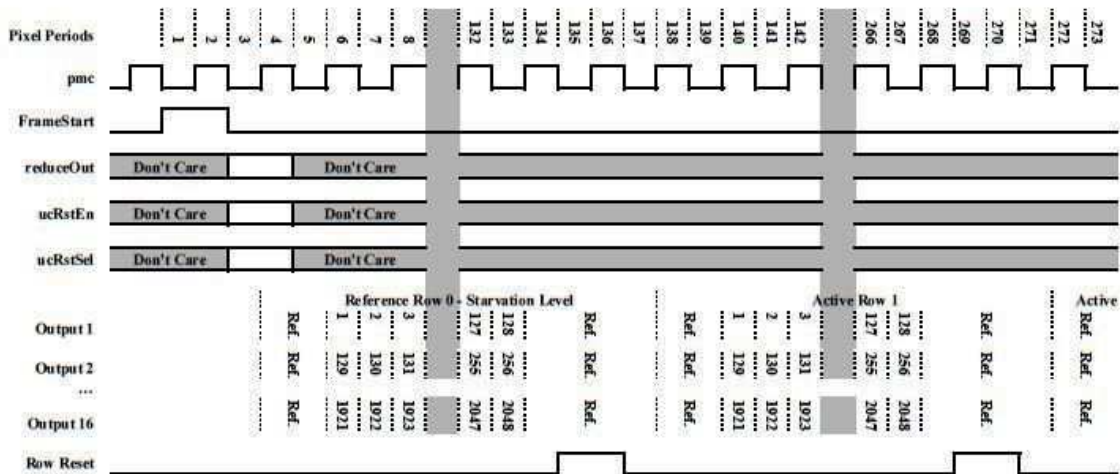


図 4.3: 16 出力モードのクロックパターン

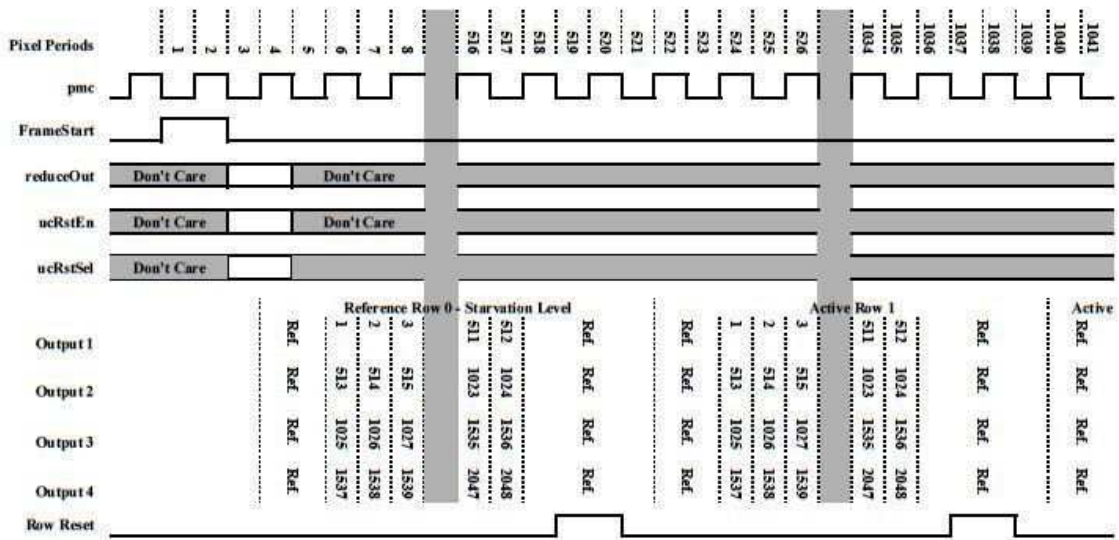


図 4.4: 4 出力モードのクロックパターン

#### 4.2.2 クロックパターン作成

クロックパターン作成のためにはまず `cpg.ascii` と `spv.ascii` の2つのファイルを作る必要がある。`cpg.ascii` にはクロックパターンの最小単位を作成する。VIRGO-2K 用に作成した `cpg.ascii` ファイルを付録 C.1 に示す。`spv.ascii` では、`cpg.ascii` で記述したパターンの最小単位を組み合わせることでクロックパターンを記述する。付録 C.2 に作成した `spv.ascii` のファイルを示す。この2つのファイルをコンパイルし、Messia5 に読み込ませることによって、MFront2 を通してクロックを送ることが可能となる。下図に、VIRGO-2K 用テストクロックパターン (付録 C.2 参照) を送った時のオシロスコープでの波形の様子を示す。

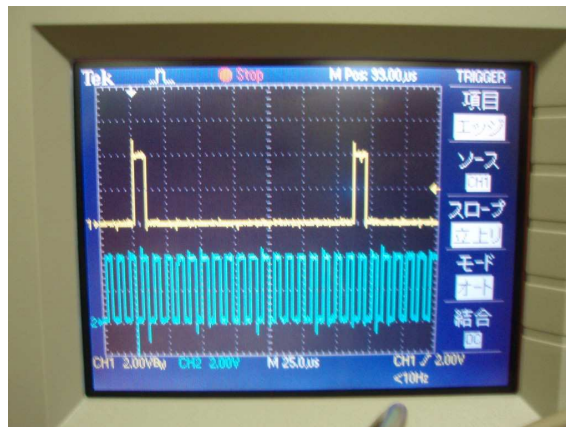


図 4.5: pmc と FrameStart のテストクロックパターン  
付録 B.2 『VIRGO test』の `virgo_reset_loop` の実行例

これにより、思い通りのクロックが出ていることが確認できた。次に、spv.ascii ファイルを用いてシェルスクリプトに Sampling 形式に従って記述する必要がある。これについては、中屋氏に作成して頂いた。あとはホストコンピュータでシェルを実行することで VIRGO-2K のクロックパターンに沿ったクロックが送られる。

### 4.3 MUX 駆動試験

VIRGO-2K 用のクロックを生成し、ピンチェックで正しい電圧が MDM から出力されていることを確認の後、MUX の駆動試験を行う。試験の際は、MUX を埃などから保護するために図 4.6 のようなアルミケースに入れた。また、VIRGO-2K の MDM コネクタに静電気が流れ込むと壊れるおそれがあるため、MDM 接続の際は静電気防止バンドを装着して細心の注意を払った。図 4.7 が MUX 読み出しのための全体のセットアップである。

MUX を入れたケースの亚克力窓の部分に文字を書いた OHP シートを置き、部屋を暗くして亚克力窓の部分にライトを当て、文字の影を MUX に写して (図 4.8) コンピュータでコマンドを打ち込み画像を取得した。図 4.9 が Correlated Double Sampling を用いて取得した画像である。このように無事読み出せたことで VIRGO-2K 用に作成したクロックや 1 チャンネルが読み出すフレームの解釈に間違いがなく、また MUX にも異常がないことも分かり、目標は達成できた。

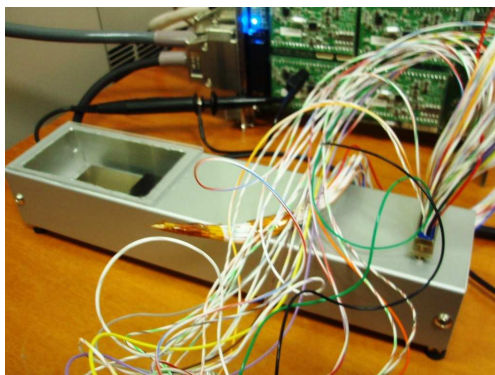


図 4.6: MUX を入れたケース  
MUX をケースに入れる作業は  
クリーンルームで行なった。

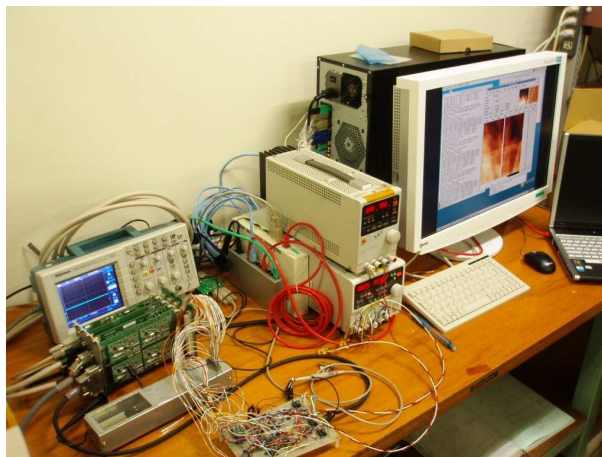


図 4.7: 読み出し時の全体のセットアップ

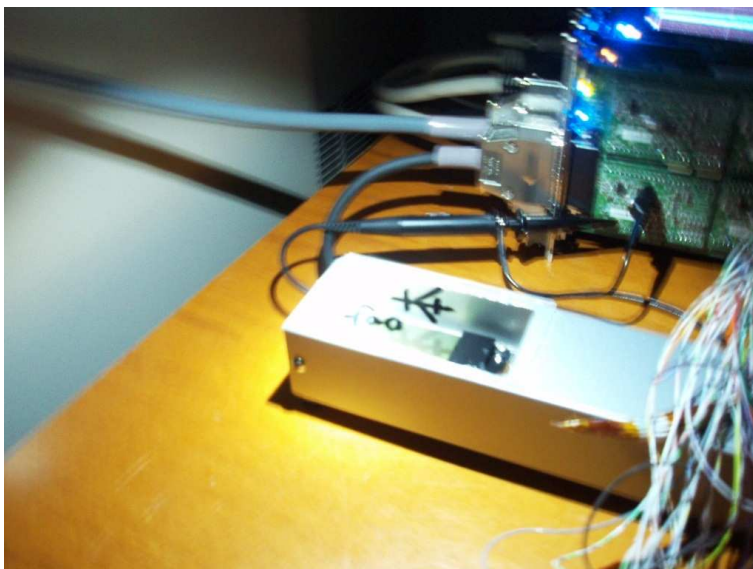


図 4.8: OHP シートにライトを当てている様子

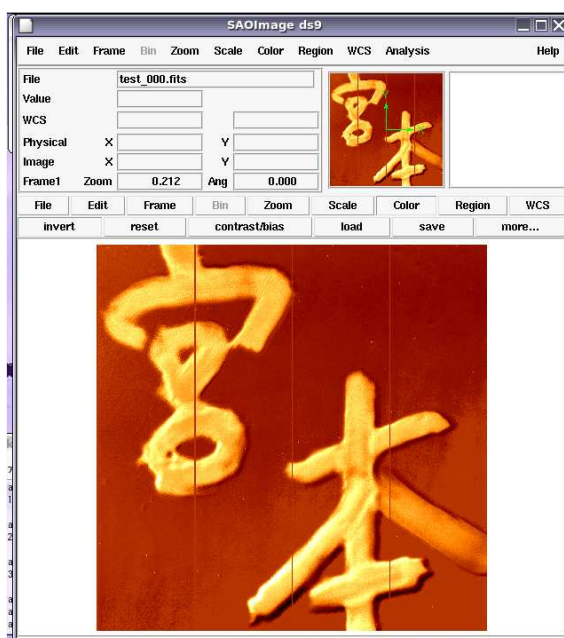


図 4.9: Correlated Double Sampling による画像取得



## 第5章 テストデューワー

VIRGO-2K を含めた近赤外線検出器と可視 CCD の 3 素子は、将来的にはクライオスタットを用いて冷却試験を行うことになるが、まず各素子ごとに冷却試験を行う必要がある。今回は、VIRGO-2K の冷却試験を行うために用いるデューワーの確認試験を行った。図 5.1 が VIRGO-2K の真空冷却試験に用いるデューワーである。このデューワーは以前別の試験で用いられたものだが、8年間使用されなかったため温度センサーおよびヒーターとハーメチックコネクタの対応やこのデューワー自身の特徴といったデータが失われていた。そこでまず、必要な情報の調査を行い、そして実際に真空が引けることを確認したところまでを行った。



図 5.1: VIRGO-2K の冷却試験に用いることになるデューワー

### 5.1 デューワーの特徴

近赤外線検出器用のデューワーは、デューワー内壁からの熱輻射を防ぐ必要があるため、デューワー内壁と検出器の間にラジエーションシールドというものを置く必要がある。ラジエーションシールドは冷却ヘッドの冷却能力の高い 1st ステージで冷却され、検出器が直接載る温度コントロール

ステージはより低温まで冷却できる 2nd ステージで冷却される。VIRGO-2K の冷却試験に用いるデュワーのラジエーションシールドを図 5.2 に、ラジエーションシールド内部の温度コントロールステージを図 5.3 に示す。

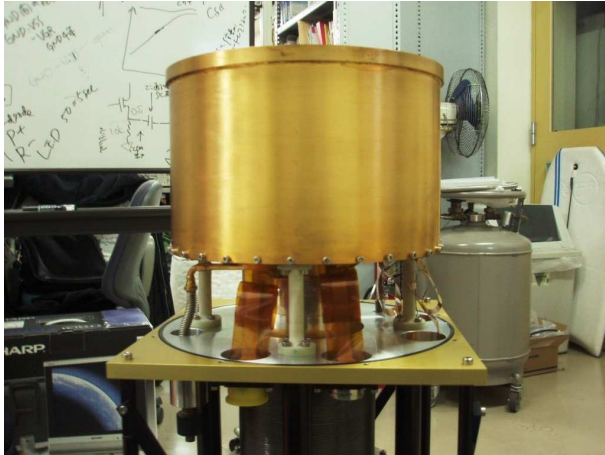


図 5.2: ラジエーションシールド

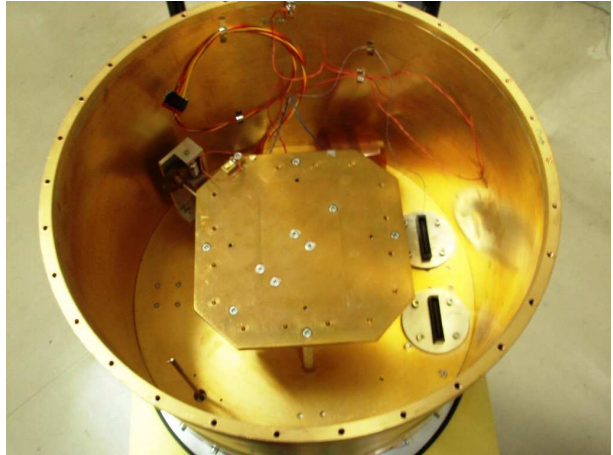


図 5.3: 温度コントロールステージ

このデュワーの温度センサーは温度コントロールステージ部とラジエーションシールドの側面と底面に取り付けられており、ヒーターは温度コントロールステージの裏側とラジエーションシールドの外側底面に取り付けられている。温度コントロールステージのヒーターは検出器の最適動作温度を保つための調節に使われ、ラジエーションシールドのヒーターは冷却試験終了後にデュワーの温度を上昇させるために使われる。図 5.4、図 5.5、図 5.6 は温度センサーの位置を図 5.7 はラジエーションシールド部にあるヒーターの位置を示したものである。

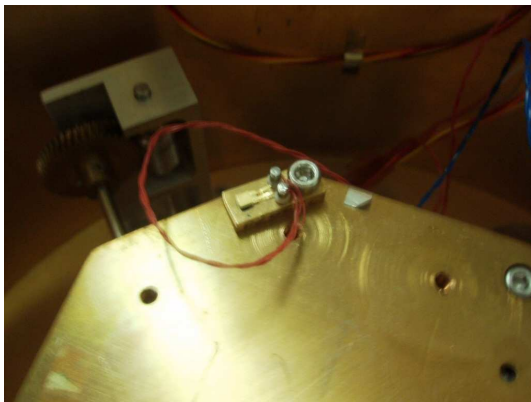


図 5.4: 温度コントロールステージ上の温度センサー

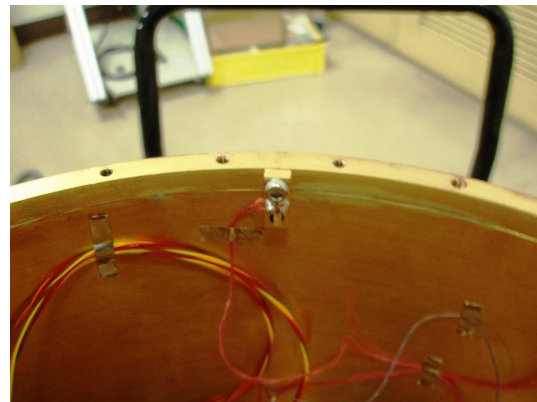


図 5.5: ラジエーションシールド側面の温度センサー

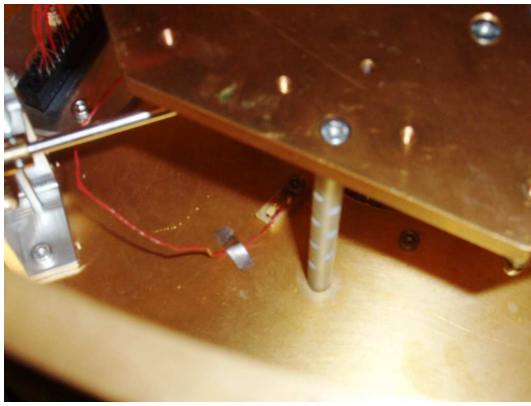


図 5.6: ラジエーションシールド底面部の温度センサー

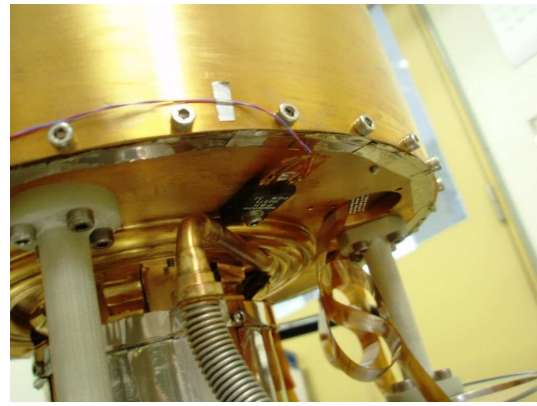


図 5.7: ラジエーションシールド外側底面部のヒーター

## 5.2 ハーメチックコネクタとの対応

デュワーと温度計を接続するためには、ハーメチックコネクタと温度計を接続するケーブルを作成する必要がある。そのためには、まずフレキケーブル (図 5.8) を通じて接続されているラジエーションシールド部の 40 ピンコネクタとハーメチックコネクタとのピン対応を調べる必要がある。40 ピンコネクタのピン番号を図 5.9 に示す。そして表 5.1 が調べた対応番号である。このピン対応表をもとに作成した温度計との接続ケーブルを図 5.10 に示す。また、デュワーの真空引きの様子を図 5.11 に示す。

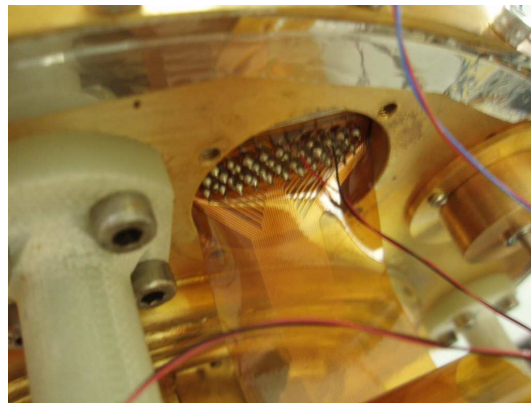


図 5.8: 40 ピンコネクタとハーメチックコネクタをつなぐフレキケーブル

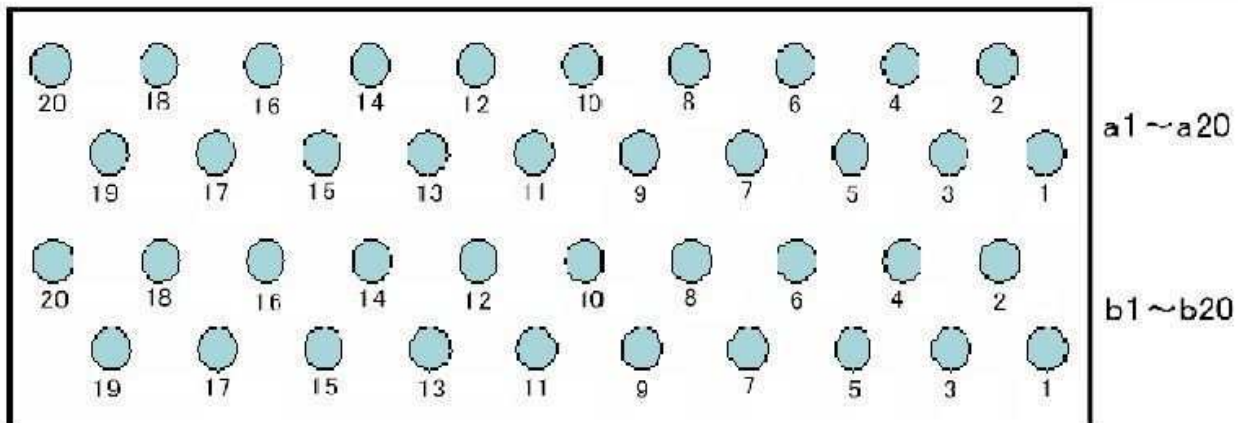


図 5.9: 40 ピンコネクタのピン配置

表 5.1: 40 ピンコネクタ、ハーメチックコネクタ対応番号

40 ピンコネクタ	ハーメチックコネクタ	40 ピンコネクタ	ハーメチックコネクタ
a1	D	b1	C
a2	E	b2	W
a3	X	b3	V
a4	F	b4	不使用
a5	Y	b5	B
a6	G	b6	不使用
a7	g	b7	f
a8	H	b8	不使用
a9	Z	b9	A
a10	J	b10	不使用
a11	a	b11	U
a12	K	b12	不使用
a13	h	b13	T
a14	L	b14	不使用
a15	b	b15	S
a16	M	b16	不使用
a17	c	b17	e
a18	N	b18	不使用
a19	j	b19	R
a20	P	b20	d



図 5.10: ハーメチックコネクタと温度計を接続するケーブル

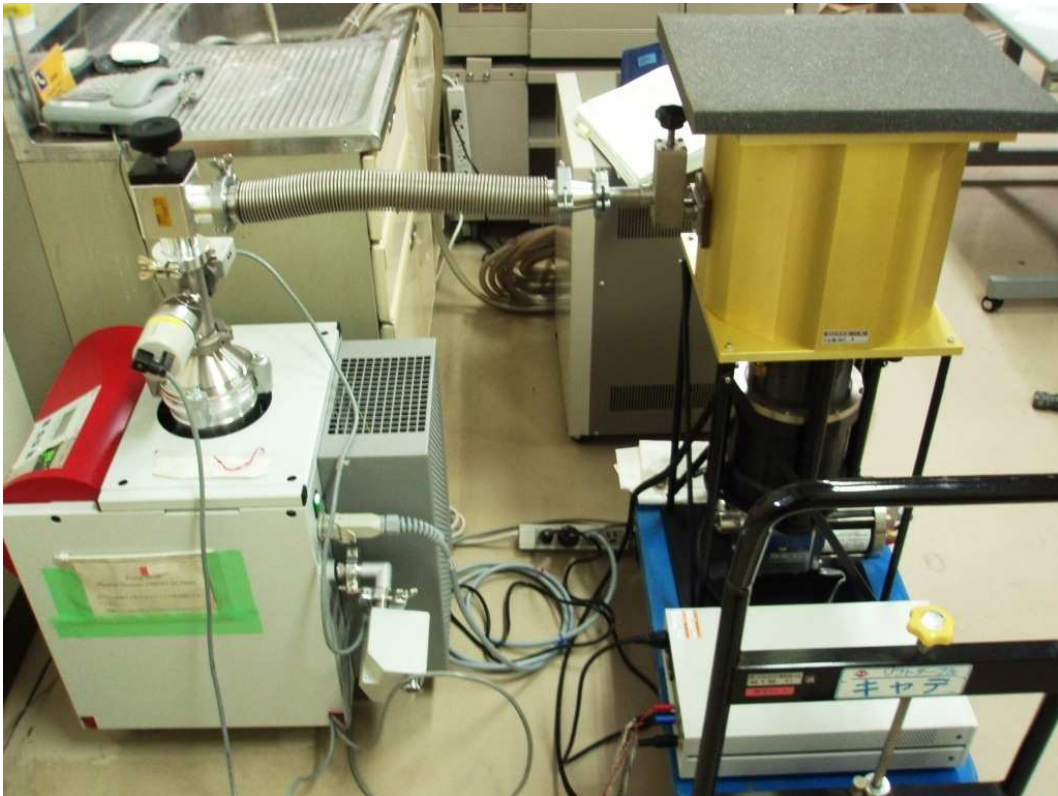


図 5.11: 真空引きの様子

## 第6章 まとめと今後について

東広島天文台かなた望遠鏡の観測装置の1つである3素子から構成される可視赤外線同時撮像装置の立ち上げに向けて、私は今回その第一歩となる3素子のうちの1素子である近赤外検出器 VIRGO-2K の MUX の読み出し試験を行なった。まず、2パターンクロック 15 種定電圧駆動という特徴を持つ VIRGO-2K の読み出しシステムを構築するため、プリアンプ・バイアスドライバ・クロックドライバを搭載したプリアンプボードを開発した。そして、その性能評価を行ない、MUX に接続しても問題ないことを確認した。また、Messia5 のホストコンピュータにて VIRGO-2K 用電圧ファイルおよびクロックパターンを作成した。そして、MUX を駆動させ、読み出し画像を無事取得することに成功した。これにより VIRGO-2K のサイエンスグレードを用いた試験を行なう土台は整った。さらに加えて、今後 VIRGO-2K の冷却試験に用いるデュワーの調査を行ない下準備も整えた。

今後は、まず第5章で紹介したデュワーの温度コントロールステージ部に VIRGO-2K を取り付けるための治具を作成した後、このデュワーを用いて VIRGO-2K の MUX の冷却試験を行ない、MUX が低温でも正常に機能するかを確認し、読み出しノイズなどの評価を行なう必要がある。その後は、現在広島大学が保有している VIRGO-2K は MUX とサイエンスグレードであるためエンジニアリンググレードでの性能評価は行わず、3月納入予定のクライオスタットを用いて直接サイエンスグレードの真空冷却試験そして性能評価を行なう。さらに、今回身に着けた近赤外線検出器および読み出しシステムの知識を活かして、現在浜松ホトニクスで開発中の近赤外線検出器の立ち上げに関わる。加えて、可視 CCD にも着手する。そして、2007 年度中に可視赤外線同時撮像装置のファーストライトを目指す。

## 付録A MOSFET

少量の電子の信号を確実に感知するには感度のよい回路が必要となる。そこで検出素子出力のアンプとして用いられるトランジスタに電界効果トランジスタ (field effect transistor:FET) というものがある。FET は、gate によって定まる電場により channel を通じて source から drain へ流れる電流を制御できるもので、大きく分けて2つの種類が存在する。1つが接合型電界効果トランジスタ (junction FET:JFET) で、もう1つが金属酸化半導体トランジスタ (metal-oxide-semiconductor FET:MOSFET) である。ここでは、MOSFET について説明する。図 A.1 にエンハンスメント型 n-MOSFET を示す。

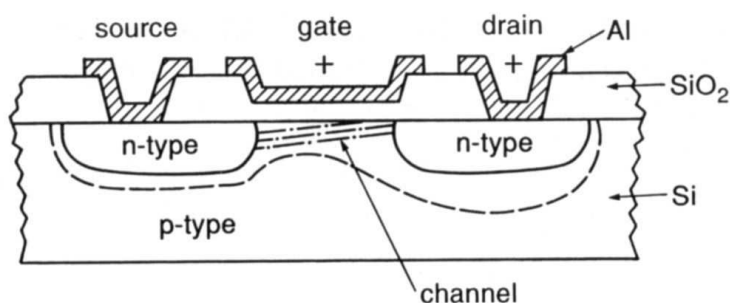


図 A.1: エンハンスメント型 n-MOSFET

このトランジスタのダイオードは図のように n-p-n という形状のため source-drain 間の n-type 物質は連続していない。そのため普通デバイスではピンチオフ (channel なし) の状態にある。ここで、gate に+の電圧を印加した場合、絶縁体  $SiO_2$  の下側に電荷キャリアを引きつける。この電圧が強ければ、channel を形作り電流が流れることになる。この channel のサイズと電流量は、gate に印加する電圧によって制御することができる。

ここまで n-MOSFET について説明したが、p 型の場合は n 型と p 型ドーパ物質の位置と役割が逆になるだけである。また、エンハンスメント型というのは gate 電圧を印加することにより channel が形成、電流が流れるものをいう。逆に、channel を予め形成しておき、gate 電圧を印加することで空乏層を広げ channel を狭くし電流を減少させる方向に制御できるデプレッション型というものもある。

## 付 録 B 検出器周辺部図面

中屋秀彦氏提供のプリアンプ、バイアスドライバ、クロックドライバの回路図と MFront2 の ADC ボードおよびバイアスボードのピン番号の図を示す。



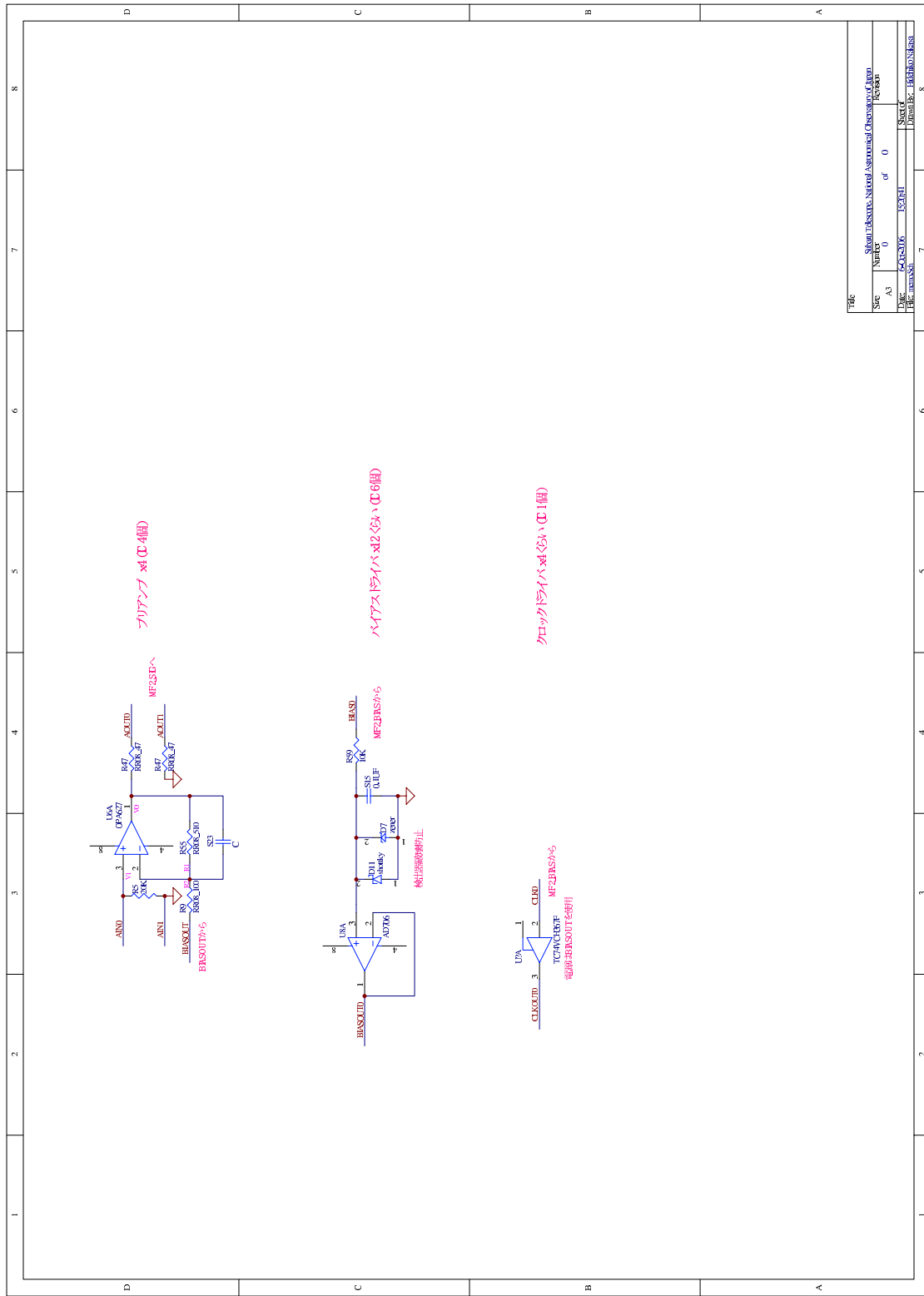
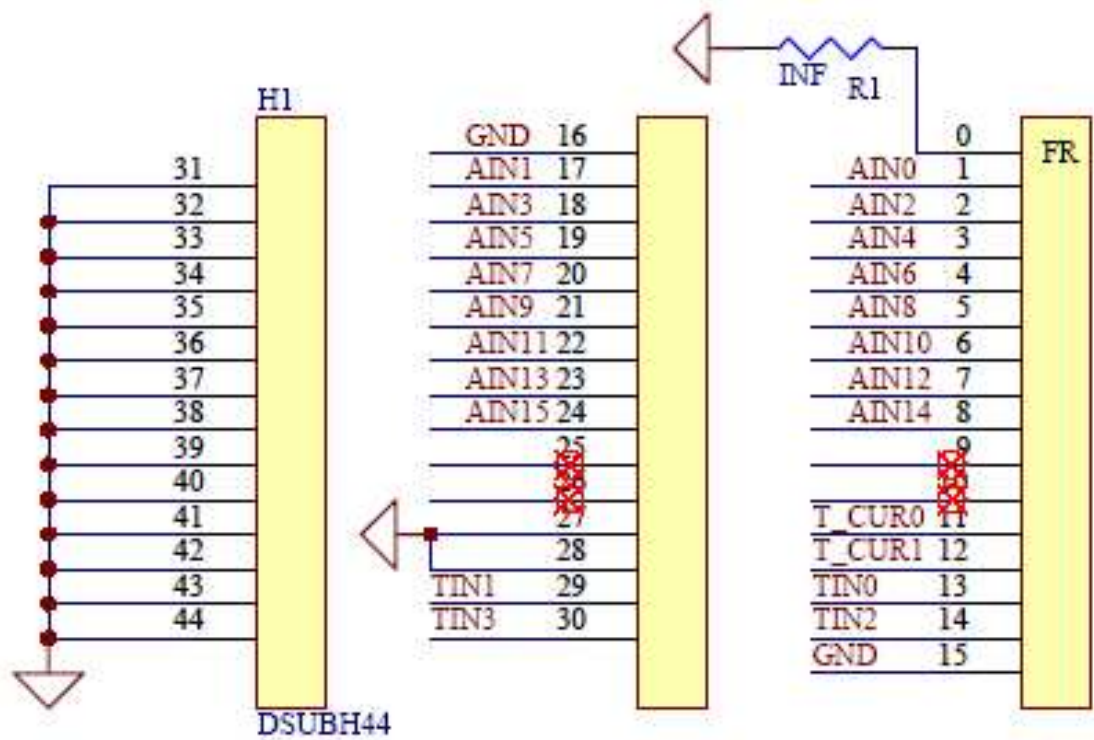
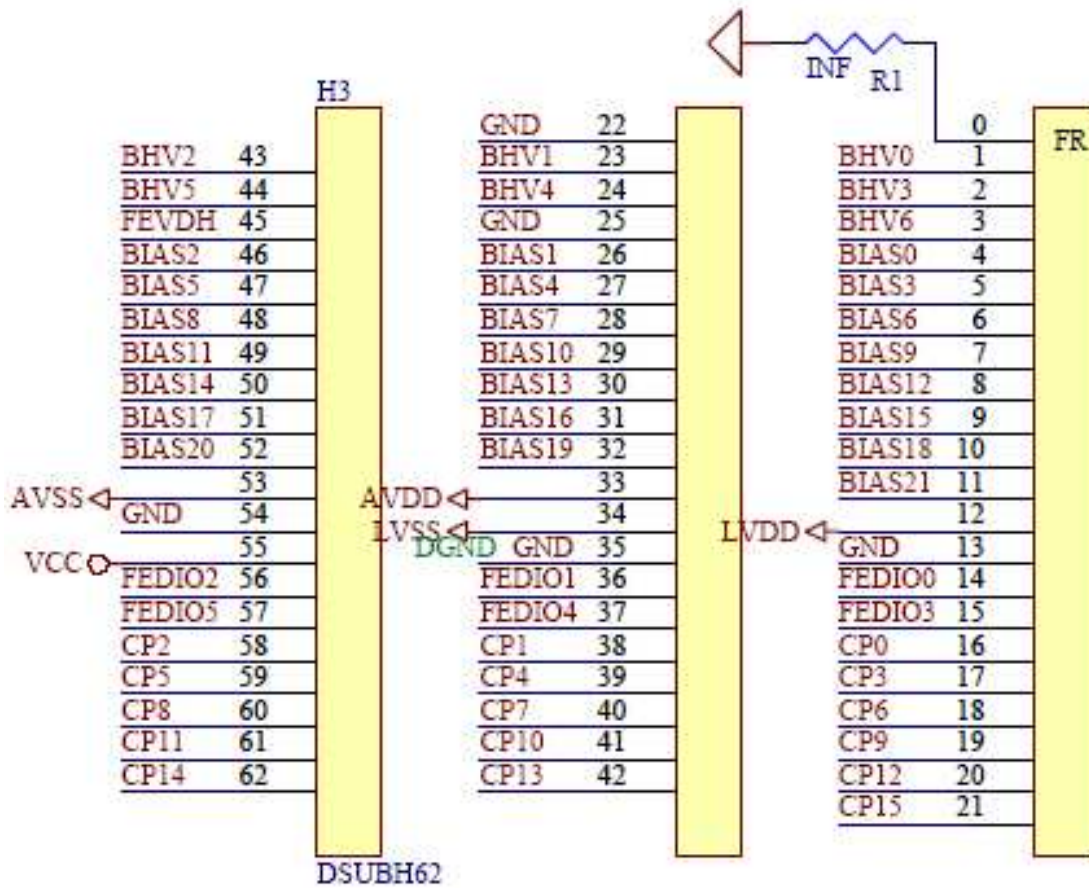


図 B.1: プリアンプ・ドライバ回路図



ポストのねじは#4-40

図 B.2: ADC ボードピン番号



ポストのねじは#4-40

図 B.3: バイアスボードピン番号

# 付録C VIRGO-2K用クロックパターン

## C.1 cpg.ascii

cpg.ascii はクロックパターンの最小単位を記述するためのファイルである。ファイル内の番号 0、3、6、9 は VIRGO-2K 用のクロックパターンで、15～19 が ADC 用のクロックパターンである。19 番の CONV のクロックが立ち上がり時が AD コンバートのタイミングなので、VIRGO-2K 用のクロックはそれに合わせて 2 ピクセル分のクロックパターンを以下のように作成した。

### C.1.1 リセット用クロック

```
#####  
  
set_clock_tick 1 # numebr of 80nsec clock ticks in one time bin  
operation_type 11 # no-read reset (FrameStart)  
  
# S p R R T C C C C S  
# t m e e R D D D O L  
# a c s s A S S S N E  
# r e e N - + O V E  
# t t t P  
# M  
# o  
# d  
# e  
#  
start 0 3 6 9 15 16 17 18 19 29  
t 25 ] | | ] | | | | | ]  
t 2 ] | | ] | | | ] | ]  
t 25 ] | | ] | | ] ] | ]  
t 2 ] | | ] | | | ] | ]  
t 1 ] | | ] | | | ] | ]  
t 1 ] | | ] | | | | | ]  
t 25 ] ] | ] | | | | | ]  
t 2 ] ] | ] | | | ] | ]
```

```

t 25 ] ] | ] | | ] ] | ]
t 2 ] ] | ] | | | ] | ]
t 1 ] ] | ] | | | ] | ]
t 1 ] ] | ] | | | | | ]

```

end

```
#####
```

```

set_clock_tick 1 # numebr of 80nsec clock ticks in one time bin
operation_type 13 # no-read reset

```

```

# S p R R T C C C C S
# t m e e R D D D O L
# a c s s A S S S N E
# r e e N - + O V E
# t t t P
# M
# o
# d
# e
#

```

```

start 0 3 6 9 15 16 17 18 19 29
t 25 | | | ] | | | | | ]
t 2 | | | ] | | | ] | ]
t 25 | | | ] | | ] ] | ]
t 2 | | | ] | | | ] | ]
t 1 | | | ] | | | ] | ]
t 1 | | | ] | | | | | ]
t 25 | ] | ] | | | | | ]
t 2 | ] | ] | | | ] | ]
t 25 | ] | ] | | ] ] | ]
t 2 | ] | ] | | | ] | ]
t 1 | ] | ] | | | ] | ]
t 1 | ] | ] | | | | | ]

```

end

```
#####
```

## C.1.2 読み出し用クロック

```
#####  
set_clock_tick 1 # numebr of 80nsec clock ticks in one time bin  
operation_type 21 # no-reset read (FrameStart)  
  
# S p R R T C C C C S  
# t m e e R D D D O L  
# a c s s A S S S N E  
# r e e N - + O V E  
# t t t P  
# M  
# o  
# d  
# e  
#  
start 0 3 6 9 15 16 17 18 19 29  
t 25 ] | | | | | | | | ]  
t 2 ] | | | | | | ] | ]  
t 25 ] | | | | | ] ] | ]  
t 2 ] | | | | | | ] | ]  
t 1 ] | | | | | | ] ] ]  
t 1 ] | | | | | | | | ]  
t 25 ] ] | | | | | | ]  
t 2 ] ] | | | | | ] | ]  
t 25 ] ] | | | | ] ] | ]  
t 2 ] ] | | | | | ] | ]  
t 1 ] ] | | | | | ] ] ]  
t 1 ] ] | | | | | | | ]  
  
end  
  
#####  
  
set_clock_tick 1 # numebr of 80nsec clock ticks in one time bin  
operation_type 23 # no-reset read  
  
# S p R R T C C C C S  
# t m e e R D D D O L  
# a c s s A S S S N E  
# r e e N - + O V E
```

```

#      t      t t      P
#      M
#      o
#      d
#      e
#
start 0  3  6  9  15 16 17 18 19 29
t 25 | | | | | | | | | ]
t  2 | | | | | | | | ] | ]
t 25 | | | | | | | ] ] | ]
t  2 | | | | | | | | ] | ]
t  1 | | | | | | | | ] ] ]
t  1 | | | | | | | | | | ]
t 25 | ] | | | | | | | | ]
t  2 | ] | | | | | | | ] | ]
t 25 | ] | | | | | | ] ] | ]
t  2 | ] | | | | | | | ] | ]
t  1 | ] | | | | | | | ] ] ]
t  1 | ] | | | | | | | | | ]

```

end

#####

## C.2 spv.ascii

spv.ascii は cpg.ascii で作成したクロックパターンの最小単位を組み合わせて実際に出力するクロックを記述するためのファイルである。cpg.ascii で作成した 2 ピクセル分のクロックをループさせることで 2k×2k 分のクロックが出力できる。VIRGO operation は実際の MUX 駆動試験で用いたクロックパターンで、VIRGO test はピンチェックで用いたクロックパターンである。

```
# ----- #
#                VIRGO operation                #
# ----- #

begin virgo_reset

    ccd_operation 0 11 1
    ccd_operation 0 13 258
    loop1_start 2049
        ccd_operation 0 13 259
    loop1_continue

end

begin virgo_read

    ccd_operation 0 21 1
    ccd_operation 0 23 258
    loop2_start 2049
        ccd_operation 0 23 259
    loop2_continue
    ccd_operation 0 23 8192

end

# ----- #
#                VIRGO test                #
# ----- #

begin virgo_reset_loop

    loop3_start 999999
        ccd_operation 0 11 1
        ccd_operation 0 13 5
    loop4_start 2
```



```
        ccd_operation 0 13 6
    loop4_continue
loop3_continue

end

begin virgo_read_loop

    loop5_start 999999
        ccd_operation 0 21 1
        ccd_operation 0 23 5
        loop6_start 2
            ccd_operation 0 23 6
        loop6_continue
    loop5_continue

end
```

# 謝辞

本研究を遂行するにあたり、様々な方の御助力を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。

まず、まだ学部生であるこの私に近赤外線検出器の立ち上げという貴重な研究課題を与えて下さったばかりでなく、半田付けをはじめ多岐にわたる御指導を頂きました広島大学宇宙科学センターの山下卓也教授に深甚の謝意を表します。

国立天文台ハワイ観測所の中屋秀彦氏には回路の細部にわたる御指導から Messia5+MFront2 の操作、シエルの作成、さらにはふとした疑問にも明瞭かつ簡潔にお答え頂きました。国立天文台の鎌田有紀子さんにはお茶の振る舞いから私の体のお気遣いまでして下さいました。御二方に感謝致します。また、計2週間半にわたる期間私に研究の場を提供して下さいました国立天文台先端技術センターの方々には厚く御礼申し上げます。特に、先端技術センター事務の吉田さん、村上さんにはいろいろと御迷惑をお掛け致しましたことをこの場を借りてお詫び申し上げます。

また、広島大学高エネルギー宇宙研究室および宇宙科学センターの皆様から様々なサポートを頂きました。まず、高エネ研の大杉先生には研究課題において私に選択の余地を与えて下さいました。また回路に関してアドバイスを頂きました。深澤先生には1年間を通してセミナーから卒論執筆まで大変お世話になりました。水野氏においては共に小部屋で過ごしているだけで楽しめました。宇宙科学センターの川端先生には東広島天文台での作業において様々な助言を頂きました。植村氏にはシリアル通信でアドバイスを頂きました。スタッフの皆様ありがとうございました。また、同じ可視光メンバーである D1 の永江さん、新井さん、M2 の千代延さん、M1 の保田さんには様々な面でお世話になりました。特に、永江さんには装置は違えど共に開発を進めていることもありいろいろとお世話になりました。また、事務手続きに際して石井さん、上原さんには大変お世話になりました。

研究生活においても先輩方のおかげで楽しく過ごすことができました。ありがとうございました。共に過ごした4年生のみんなもありがとうございます。おかげで楽しく過ごすことができました。

また、家族のみんなには心の底から感謝しております。家族という心の支えがあったからこそこの1年頑張り通すことができました。また同時にいろいろと考えさせられる1年でもありました。ぜひぜひ健康にお過ごし下さい。

最後になりましたが、今回次頁に挙げる先人方の論文を参考にさせて頂きました。非力な私がここまで来れたのも、この方々のおかげと言っても過言ではありません。この装置の開発は始まったばかりでまだまだ勉強不足の面も多々ございますがひとまずの区切りとして、このような方々を含め私に関わったすべての方に感謝の意を表してこの卒業論文を締めくくりたいと思います。皆様本当にありがとうございました。

## 参考文献

- [1] Raytheon, VIRGO-2K 2048 × 2048 SWIR HgCdTe IRFPA Readout Model:SB-301 User's Guide and Operating Manual
- [2] N.Bezawada,D.Ives,and G.Woodhouse, Characterisation of VISTA IR detectors
- [3] George Rieke, Detection of Light From the Ultraviolet to the Submillimeter, Cambridge University Press 2002
- [4] BURR-BROWN, OPA627/OPA637 Data sheet, 1996
- [5] ANALOG DEVICES, OP200 Data sheet, 2004
- [6] TOSHIBA, TC74VHC367F/TC74VHC367FT/TC74VHC368F/TC74VHC368FT データシート, 2001
- [7] FAIRCHILD, Zeners BZX79C2V4-BZX79C180 Data sheet, 2004
- [8] CINCH, D-Microminiature Data sheet
- [9] 永山 貴宏 「近赤外線掃天観測施設 IRSF の開発と銀河面に隠された銀河団の調査」 名古屋大学 Z 研 博士論文 2004
- [10] 永山 貴宏 「2次元近赤外線検出器 (HAWAII)3 台同時撮像システムの構築」 名古屋大学 Z 研 修士論文 2000
- [11] 長嶋 千恵 「近赤外 3 色同時サーベイ用カメラ SIRIUS の開発と SIRIUS によるプレアデス星団の褐色矮星探査」 名古屋大学 Z 研 博士論文 2003
- [12] 本原 顕太郎 「すばる OHS 用冷却赤外分光カメラ CISCO の開発」 京都大学 修士論文 1997
- [13] 千代延 真吾 「広島大学 1.5m 望遠鏡移設地シーイングのモニター装置開発と測定」 広島大学 卒業論文 2005
- [14] 保田 知則 「広島大学望遠鏡用全天スカイモニターと自動観測スケジュール機能の開発」 広島大学 卒業論文 2006
- [15] 家 正則 「21 世紀の宇宙観測」 誠文堂新光社 2002
- [16] 米本 和也 「CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用」 CQ 出版社 2003
- [17] シリング/ピラブ 山中惣之助訳 「トランジスタと IC のための電子回路 (1)」 朝倉書店 1974
- [18] Messia <http://www.naoj.org/Observing/Instruments/MESSIA/>
- [19] 赤外天文衛星「あかり」 <http://www.ir.isas.jaxa.jp/ASTRO-F/index-j.html>