

第II部

すばる OHS用冷却赤外分光カメラ
CISCO

第4章 機械系

4.1 外観

CISCO 本体は全長 1370mm、直径 400 mm、重量 150 kg の金色のデュワーで Infrared Laboratories 社によって製作された。CISCO の仕様を表 4.1 に示す。

内部構造は図 4.2 のようになっている。すばる望遠鏡のカセグレン焦点に取付けて試験観測を行った際には図 4.1 のように 制御ボックスや電源とともに枠に収められ、カセグレン観測装置自動交換装置 (CIAX) の箱に入れられた。

4.2 冷凍機

CISCO の冷却は CIT Cryogenic 社の Model 1050/1020R という、ヘリウム冷媒の Closed Cycle 冷凍機で行われる。この冷凍機はヘリウム冷媒を加圧するコンプレッサ (1020R) と冷媒の断熱膨張を行うためのピストンが収められたコールドヘッド (1050) から構成され、コンプレッサ部は望遠鏡のドームの別室に置かれる。コンプレッサとコールドヘッドは望遠鏡内部に設置された配管で接続される。

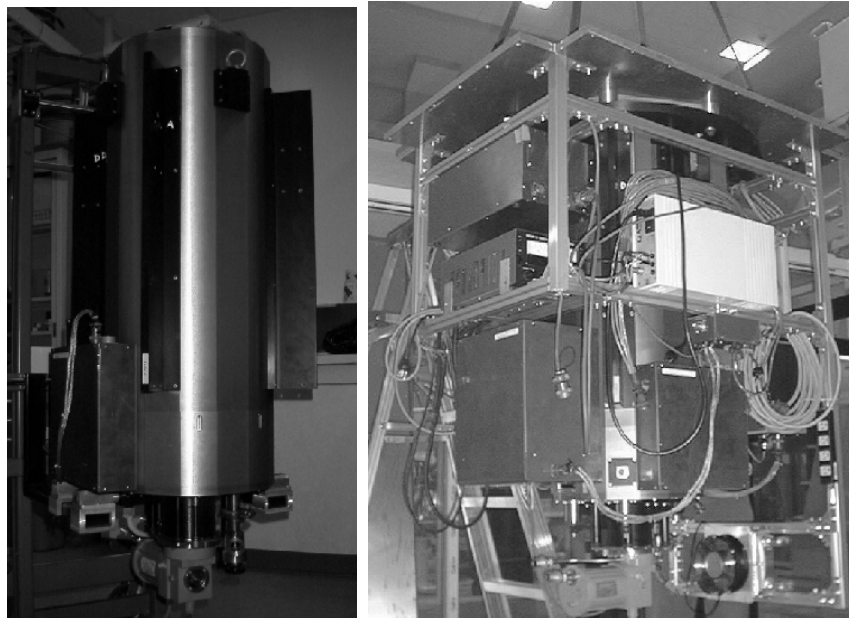


図 4.1: CISCO のデュワー (左) とカセグレン焦点に取付けるための枠に収められた CISCO (右)。

コールドヘッドは内部でピストンが動作するために振動する。この振動がデュワー側に伝わらないようにするため、コールドヘッドとデュワーは根元が硬質ゴムでできた柱で固定され、ステンレスの蛇腹で接続されている (図 4.3)。

内部の冷却部全体はデュワーの冷凍機側の 4 本のガラスエポキシ柱と、入射窓側の 3 枚のガラスエポキシ板によって熱的に絶縁された状態でデュワー内部に釣られている。さらに、常温になっているデュワー壁面からの輻射による熱流入と迷光を防ぐために outer radiation shield で全体が囲まれている。コールドヘッドはこの outer radiation shield に銅薄膜を何枚も重ねたストラップで接続される (図 4.4)。これもまたコールドヘッドの振動がデュワー側に伝わらないようにするためのものである。この outer radiation shield の内側の光学系全体はさらに熱輻射の迷光を除去するために inner radiation shield で覆われる。

図 4.5 に CISCO をすばる望遠鏡に取付け、コンプレッサをコンプレッサ室に置いて冷

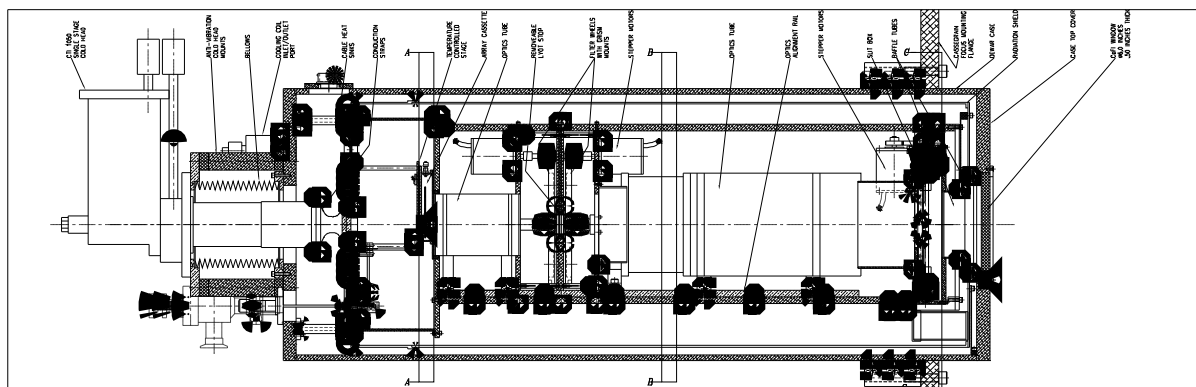


図 4.2: CISCO のデュワーの切断図。左側端に冷凍機がついており、右側端が光の入射窓である。

設置場所		OHS 再結像焦点、すばる望遠鏡赤外ナスミス焦点、カセグレン焦点
全重量		300 kg
大きさ	全長	1.5 m
	全幅	0.9m
	全高	0.9m
動作環境		OHS に同じ
光学性能	入射 F 比	13.6/12.2
	最終 F 比	4.1/4.5
	スリット	可変
	波長分解能 (スリット幅 1")	300 (<i>zJ</i>)、280 (<i>JH</i>)、400 (<i>K</i>)
	空間分解能	0.12"
	視野	スリット全開で 2' × 2'

表 4.1: CISCO の仕様

却を行ったときの典型的な冷却曲線を示す。検出器が通常の駆動温度 ($77K$) に到達するのに 2 日、光学系全体が定常状態になるのに 4 日かかる。定常温度はデュワーの外気温と相関するが、ドーム環境 ($0^{\circ}C$) でコールドヘッド先端が $54K$ 、フィルタが $58K$ 、可動スリットが $60K$ 程度である。



図 4.3: 冷凍機のコンプレッサ (左) と CISCO に取付けられたコールドヘッド (右)。



図 4.4: 取り外されたコールドヘッド。左端についているのが冷却部を結ぶ銅薄膜のストラップ。

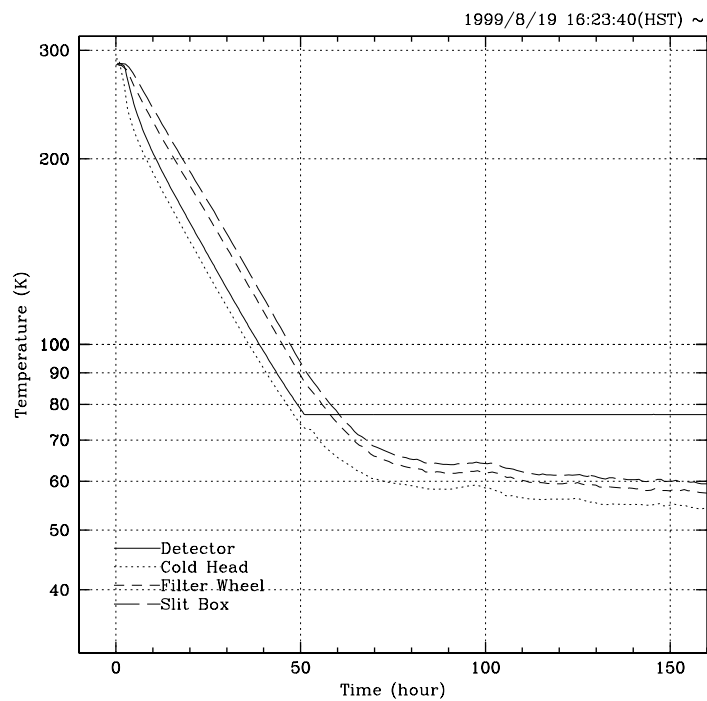


図 4.5: CISC0 をすばる望遠鏡のカセグレン焦点に取付け、コンプレッサをドームのコンプレッサ室に置いた状態で冷却したときの典型的な冷却曲線。モニターしている温度は検出器カセット (Detector)、コールドヘッドについての銅薄膜ストラップの先端 (Cold Head)、フィルタホイール (Filter Wheel)、可動スリット (Slit Box) の 4 点。

第5章 光学系

CISCO の光学系を図 5.1 に示す。

デュワー窓のすぐ内側が焦点面になっており、そこに縦横それぞれ 2 枚の可動スリットが配置されている。これを全開にすると $2' \times 2'$ の視野が得られ、一方を狭めるとスリットとなり、両方を極小まで狭めることによりピンホールの像を得ることができる。

その後、入射光は前置光学系で平行光に変換され、フィルタホイールに到達する。フィルタホイールは前後 2 枚で構成され、それぞれが独立に回転する。このホイールには表 5.1 にあるような 6 枚の高帯域フィルタ、4 枚の狭帯域フィルタ、3 個のグリズムと 1 個のプリズムの計 14 個の素子が収められている。これらフィルタの透過曲線は付録 A にまとめた。ここを抜けた光は最終的に再結像光学系で検出器面に結像する。図 5.2 にスポットダイアグラムを示す。

CISCO は以下の 3 つの観測モードを持ち、これらのモード間の切り替えはスリットの開閉とフィルタホイールの回転で容易に行うことが可能となっている。

撮像モード スリットを完全に開くことで、 $2' \times 2'$ の視野を得ることができる。ピクセルスケールは設計値で $0''.12 / \text{pixel}$ である。

ロングスリット分光モード 片方のスリットを狭め、フィルタホイールでグリズムを選択することによりロングスリット分光を行うことができる。この時の波長分解能はスリット幅 $1''$ で表 4.1 にあるように $\lambda/\Delta\lambda = 280 - 400$ 程度であるが、スリット幅を狭めることによりその幅に反比例して大きくなる。望遠鏡の Tip-Tilt 機能が理想的に動作した場合に期待される星像サイズは $0.3''$ であり、スリット幅をこの $0.3''$ にできれば K バンドでの波長分解能は 1200 に達する。

スリットレスプリズム分光モード スリットは閉じず、ホイール 1 を K または K' バンドにし、ホイール 2 をプリズムにすることによってスリットなしの低分散分光を行うことができる。このモードは K バンドに強い輝線をもつ天体の検出を目的として採用された。特に K バンドに $H\alpha$ 輝線を持つ赤方偏移 $z = 2.0 - 2.6$ の星生成銀河の検出を目標としている。用いられるプリズムは SiO_2 と BaF_2 の二つの素材のプリズムを張り合わせた Zenger prism と呼ばれる直進型のプリズムで、星像サイズが $0''.3$ のときに $\lambda/\Delta\lambda = 30$ の分散がかかるようになっている。

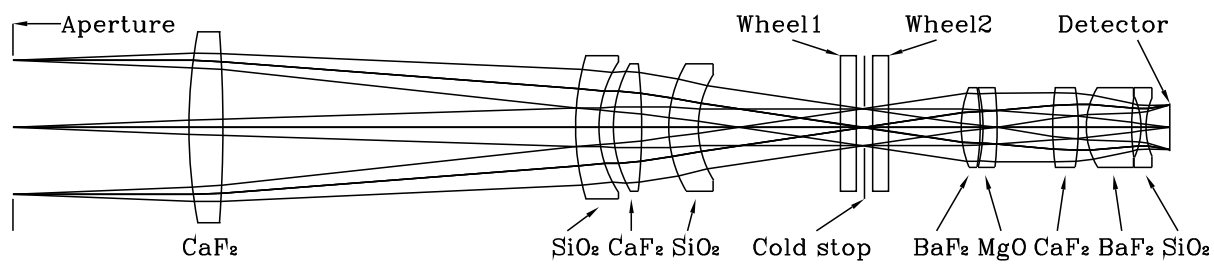


図 5.1: CISCO の光学系

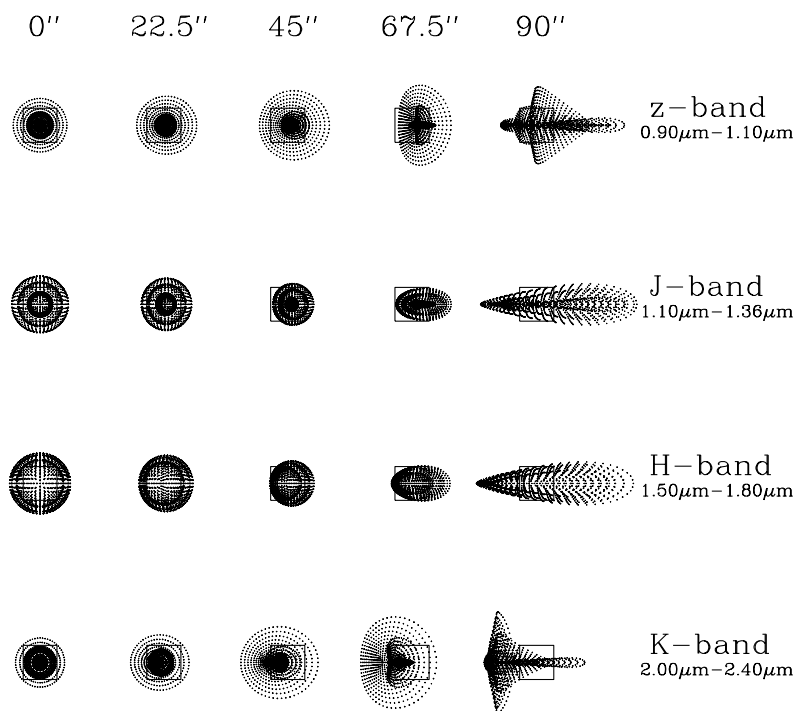


図 5.2: CISCO のスポットダイアグラム。それぞれの四角がピクセルのサイズを示している。

名称	λ (μm)	備考
OPEN	–	なし
K	2.03 – 2.37	
H	1.49 – 1.78	
z	0.90 – 1.10	
N204	2.023 – 2.043	狭帯域フィルタ+十字マスク
J	1.17 – 1.33	
K'	1.95 – 2.29	
$H + K'$	1.49 – 2.31	$H + K'$ notch
$zJGr$	0.88 – 1.36	$z + J$ グリズム
H2(1-0)	2.110 – 2.130	H ₂ (1 – 0) 輝線狭帯域
wKGr	1.88 – 2.42	Wide K グリズム
OPEN	–	なし
JHGr	1.11 – 1.81	$J + H$ グリズム
N215	2.137 – 2.158	Continuum 狭帯域
Pr	0.80 – 2.50	Zenger プリズム
H2(2-1)	2.239 – 2.261	H ₂ (2 – 1) 輝線狭帯域

表 5.1: CISCO のフィルタホイールに収められているフィルタ/分散素子一覧 (1999 年 11 月 13 日現在)。上段がホイール 1、下段がホイール 2。

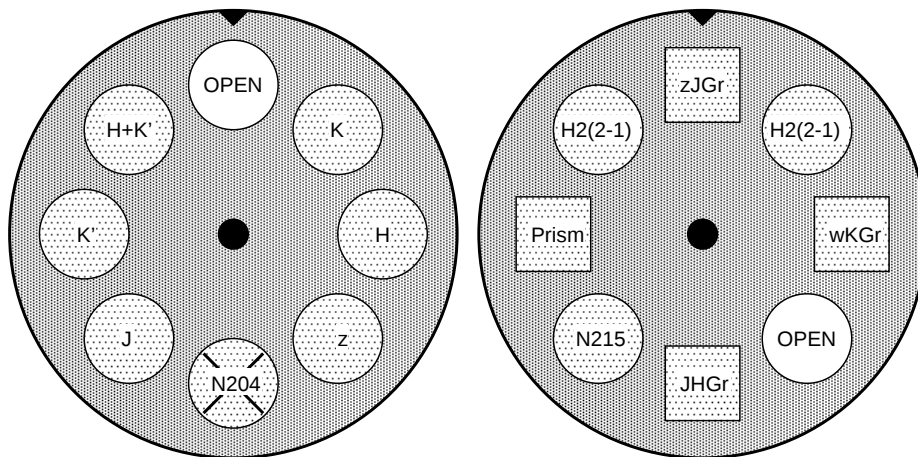


図 5.3: フィルタホイール内の素子の配置。左がホイール 1、右がホイール 2。N204 フィルタには光学系調整用の十字マスクが重ねて入れられている。

第6章 Messia III

CISCO の制御はすべて望遠鏡から 50 メートル以上離れた制御棟から行うことになる。そのため、すべての制御、及びにデータ取得はリモート制御で行う必要があった。このために Sekiguchi et al. (1992) によって開発された Messia III¹ と呼ばれる VME ボードコンピュータシステムを採用した。

Messia III は VME バスの 2 枚のボード (VMI, CIC) とワークステーション (Sun SPARC Station) の S-bus ボード (SIF) の計 3 枚のボード、それに制御ソフトウェアで構成される (図 6.2)。

それぞれのボードの機能と役割は以下の通り。

SIF ボード 制御用ワークステーション (Sun SPARC Station) の S-bus に差して用いる。S-bus と光ファイバー (1Gbit/sec) のインターフェースを行う。

VMI ボード VME バスのバスマスターであるとともに、光ファイバー/SIF ボードを介して制御用ワークステーションとの通信を行う。ボードには 16 bit パラレル/16 bit シリアルのコネクタを持ち、観測装置から出力されてくるデジタル画像データの取



図 6.1: Messia III を搭載した VME ラック。左端に挿さっているのが VMI ボード、その隣が CIC ボードである。右端に差されているのはモータと温度計の制御を行うための RS-232C インターフェースボード。

¹ <http://www.messia.com/>

り込みを行う。取り込んだデータはボード上の 32 Mbytes SIMM メモリ上に一時的に保存され、光ファイバーを通じてワークステーションに DMA 転送される。また VMI バス上の他のボードの制御も可能で、CISCO では モータや温度計 (後述) を制御する RS-232C ボードを操作する。主な機能を以下にまとめる。

- VME バスマスター ; CIC ボードを含め、ほかの VME ボードの制御
- 画像データの取り込み (16bit pararell / 16bit serial×16 Ch)
- 取得画像の一時保存 (32Mbytes SIMM)

CIC ボード CCD/検出器駆動用のクロックパターンをはじめ、様々な機器の制御を行うためのインターフェースを備えている。また、Real Time Clock を内蔵しており 1/1000秒精度の制御を行うことができる。これらを制御するのは DSP(Digital Signal Processor) で、CCD/検出器駆動用と周辺機器駆動用の 2 個を搭載している。主な機能は以下にまとめる。

- CCD/検出器制御用のクロックパターン生成/出力
- Real Time Clock (1/1000 sec)
- RS-232C (2 Ch)
- 16bit Pararell I/O (2 Ch)
- 12bit ADC/DAC (8 Ch)

第7章 制御系

7.1 モーター制御

CISCOではスリットの開閉に2個、フィルタホイールの回転に2個の計4個のモーターを用いている。モーターは液体窒素温度でも駆動する Phyron社製の冷却モータで(図 7.1)、それを Parker Hannifin 社製のモータドライバ(図 7.2)で駆動する。このモータドライバはモータの駆動だけでなくリミットスイッチの状態判断も行う。モータの駆動とリミットの情報の取得は Messia III のソフトウェア内から VMI ボードを経由して、VMEバス上の RS-232C ボード (CIC ボードの RS-232C ポートではない) を通じて行われる (図 7.5)。

7.2 温度監視/制御

温度モニタには Lakeshore 社の温度測定/コントロールシステムを採用している。温度センサはシリコンダイオード (DT-470) で、以下の4個所に設置されている。

1. アレイ検出器ボックスの背面
2. コールドヘッドの先端についている銅薄膜ストラップの先
3. フィルタホイール
4. 可動スリットボックス

コントローラは Model 330 で、2チャンネルのモニタが可能でかつ片方のチャンネルはヒータと連動して温度コントロールができる。1. のアレイ検出器ボックスはこの機能により温度コントロールされている (図 4.5 参照)。

検出器ボックス以外の3点の温度モニタはコントローラの残りの1チャンネルで行われる。この1チャンネルに3系統の温度情報を入力する切り替えは2つのリレーを用いた自作の回路で行う (図 7.4)。リレーの切り替えは Messia III の CIC ボードからの Pararell I/O の2ビットを用いた (図 7.5)。

コントローラは RS-232C のポートを持ち、先述のモータドライバを制御する RS-232C ボードと結んでワークステーションから以下の操作を行う。

- 温度データの取得 (2 Ch)
- 検出器ボックスの温度設定 (ヒーターへの電流制御はコントローラが行う)



図 7.1: フィルタホイール。右側の上と下についている丸い筒が冷却モータである。

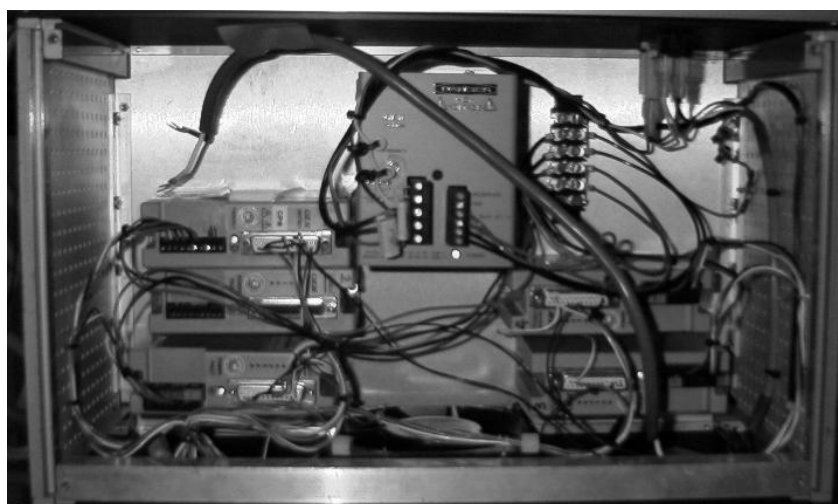


図 7.2: モータドライバボックスの内部。中央にあるのがスイッチング電源、その両側に並んでいるのがモータドライバ。



図 7.3: Lakeshore Model 330 温度モニタ/コントロールボックス

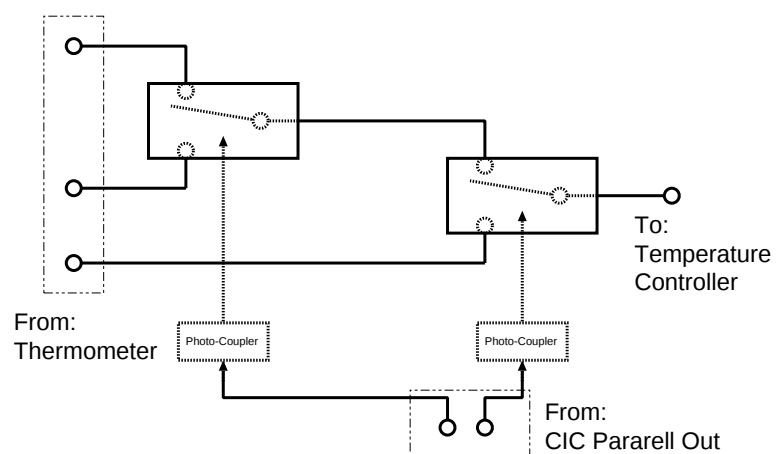


図 7.4: 温度計入力切り替え回路の概念図

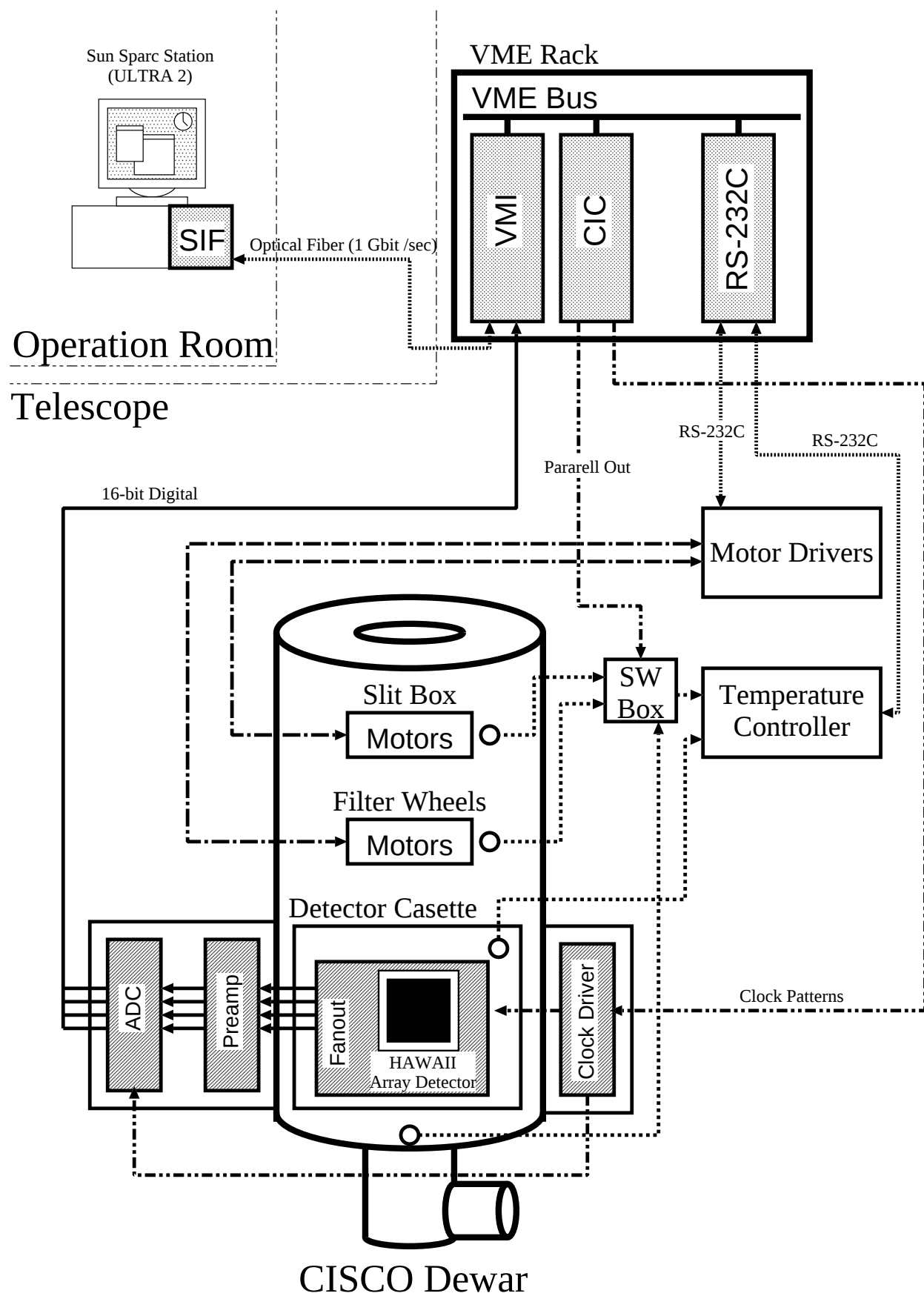


図 7.5: 制御系/データ取得系の概念図

第8章 データ取得回路系

8.1 システム構成

8.1.1 仕様

このシステムは、 1024×1024 ピクセルの HgCdTe アレイ検出器 (HAWAII) からの画像取得を行うものである。その仕様は以下の通りである。

ハードウェア

1. 検出器からの出力信号の増幅 (4 ch.)
2. 増幅された出力信号の AD 変換 (4 ch.)
3. データ取得時の低読み出しノイズ (マルチサンプルを用いて $10e^-$ r.m.s./frame)
4. 各種電圧の AD 変換 (モニター用) (13 ch.)
5. 検出器を駆動する電源の生成 (5 系統)
6. 検出器を駆動するクロックの生成 (6 系統)
7. AD 変換器を駆動するクロックの生成 (6 系統)

ソフトウェア

1. AD 変換された信号の FITS 画像データ化 (Messia III)
2. クロックパターン生成 (Messia III)
3. 読み出し方法は Correlated Double Sampling
4. 積分時間の制御は Real Time Clock を用いて 1/1000 秒精度 (Messia III)

上記のように、デジタルデータの取り込みとクロックパターンの生成/制御は Messia III システムを利用している。

8.1.2 データ取得の流れ

システムの構成は図 7.5 の中に示されている。また、図 8.2、8.1 にデータ取得時のクロックと信号の流れを示す。

CIC ボードで生成されたクロックパターンは差動クロックの形でクロックドライバボードに送られる。ここでフォトカプラ (P.C.) 受けられて CMOS レベルのクロックに変換され、さらに検出器を駆動するクロックはアナログスイッチを駆動してその出力がアレイ検出器を駆動する。AD 変換器回りのクロックはそのまま ADC ボードに送られる。

一方、検出器から出てきたピクセルの情報はまずファンアウトボード上の JFET によるソースフォロワでバッファされる。その出力はプリアンプボードのアンプで増幅され、さらに ADC ボード上のローパスフィルタを通して AD 変換器で 16-bit のデジタルデータに変換される。この出力はシフトレジスタでシリアルデータに変換されて VMI ボードに

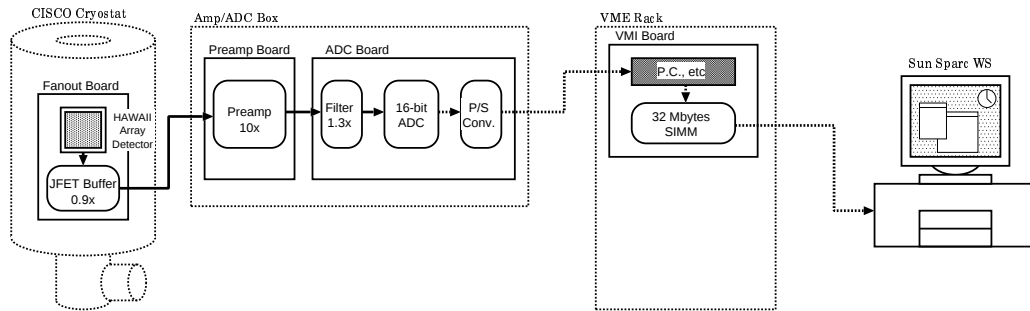


図 8.1: データ取得時のデータの流れ

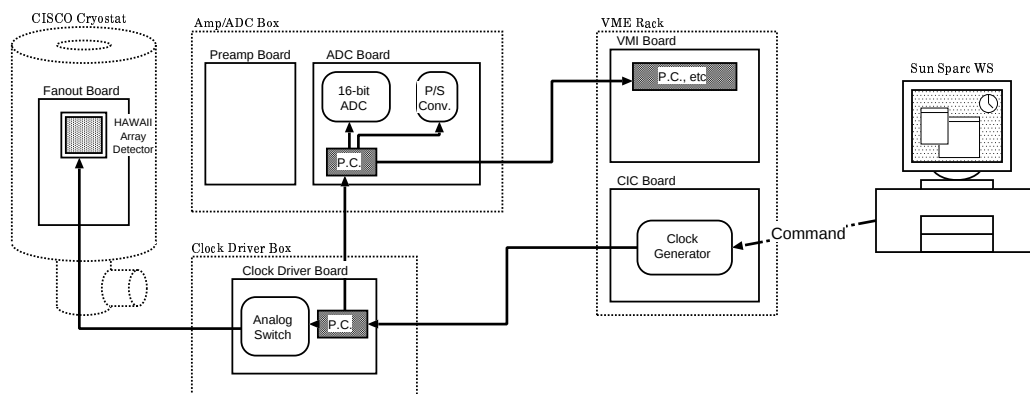


図 8.2: データ取得時のクロックの流れ

送られ、そのメモリ上に一時保存される。最終的にこれをワークステーションに転送してそこで FITS 形式の画像データに変換されてデータ取得は終了する。

8.2 HAWAII アレイ検出器

8.2.1 大フォーマットアレイ検出器

第 2 章でも触れたが、現在入手可能な 100 万画素 (1024×1024 ピクセル) の大フォーマット近赤外アレイ検出器は RSC の HAWAII と SBRC の Aladdin の 2 つがある。

一方、CISCO に要求される検出器の仕様は

1. 使用波長域は $2.5\mu\text{m}$ まで
2. OHS によって夜光が除去されるので、低バックグラウンドノイズで駆動する。検出限界には読み出しノイズが効いてくるようになるので、読み出しノイズが低くなければならない ($\sim 10e^-$ r.m.s.)

である。1994 年の時点で Aladdin はまだ開発途中である、読み出しノイズが低くなる保証がない、駆動温度が HAWAII よりも低い (30K)、等の不安要素を持っていた。一方、HAWAII はすでに製品が存在して上記の条件を満たしていた上、ハワイ大学の近赤外カ

メラ (QUIRC¹) に用いられていたこともあり、こちらを採用した。

8.2.2 HAWAIIの仕様

HAWAII(HgCdTe Astronomical Wide Area Infrared Imager) は近赤外線 $0.9 \sim 2.5\mu\text{m}$ に感度をもつ 1024×1024 ピクセルの近赤外アレイ検出器である。その構造は図 8.4 のように HgCdTe 半導体の検出器部と、その検出器に貯まった電荷を読み出すシリコンマルチプレクサのピクセル同士をインジウムの粒で接合したものとなっている。マルチプレクサは図 8.3 のように 4 つのコドラントに分かれており、それぞれが独立して駆動する。HAWAII の仕様を図 8.5 に示す。

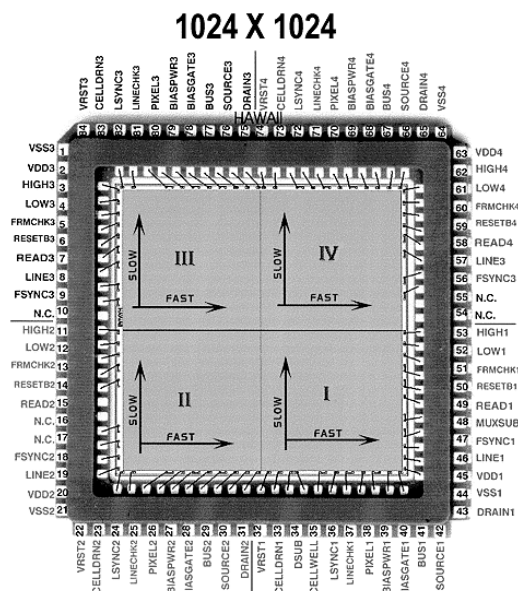


図 8.3: HAWAIIアレイ検出器チップ。RSC ホームページから²。

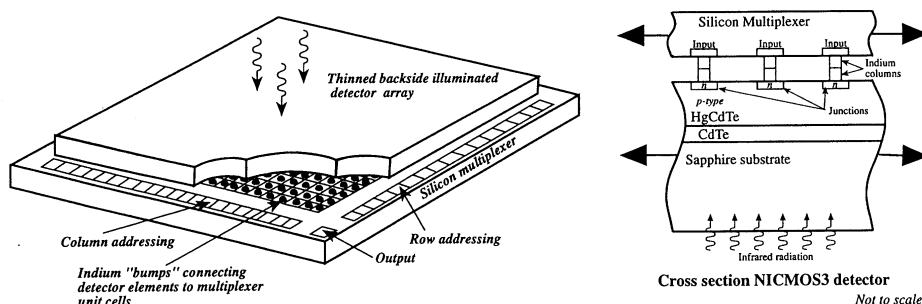


図 8.4: HgCdTe 近赤外アレイ検出器の構造。

¹ <http://galileo.ifa.hawaii.edu/instrumentation/quirc/quirc.html>

² http://www.rsc.rockwell.com/websearch/mct_fpa/Hawaii/layout.html

Table 1. HAWAII Readout Characteristics

Parameter	Minimum	Maximum	Units
Format	1024 × 1024		Pixels
Cell Pitch	18.5		μm
Chip Package (Optional)	84 Pin		LLCC
Input Circuit	Direct Detector Integration		
Noise Suppression	Off-chip: Correlated Double Sampler		
Supply Voltage	5		V
Integration Capacitance	20	35	10 ⁻¹⁵ F
Charge Capacity @0.5V	0.102	0.105	10 ⁶ e ⁻
Input Offset Nonuniformity		<15	mV p-p
Dynamic Range	>0.8	1	10 ³
Data Rate		≤1	MHz
Pixel Operability	>98	<100	%
Read Noise	<10	<100	e ⁻
Conversion Gain (S _v)	3.4	6.85	μV/e ⁻

Table 2. HAWAII FPA Characteristics

Parameter	Proposed	Measured	Units
Detector Material	PACE HgCdTe		
Array Format	1024 × 1024		
Detector Cut-off Wavelength	2.5		μm
Optical Fill Factor	≥90	TBD	%
Nominal Frame Rate	>0.2	1.2	Hz
Maximum Read Noise	<40	<15	carriers
Minimum Read Noise	<10	≤8.6	carriers
Cell Pitch	18.5	18.5	μm
Nominal Charge-Handling Capacity	62,500	104,000	carriers @ 1/2V
Nominal Usable Dynamic Range	>0.3	0.91	10 ³
Responsivity Nonuniformity	<15	<10	%
Outputs	4	4	
Power Dissipation	<1	<1	mW
Linearity over usable DR	>98	TBD	%
Maximum Data Rate per Output	200	>800	kHz
Detector Interface Circuit	SFD	SFD	

図 8.5: HAWAII アレイの仕様。Kozlowski (1994) からの引用。

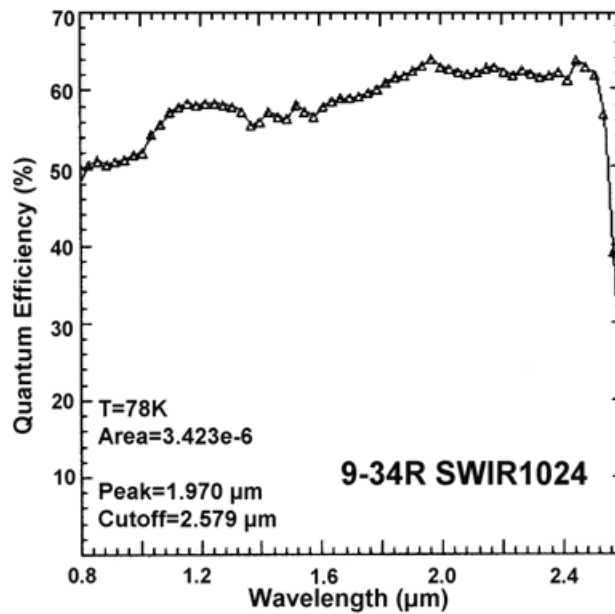


図 8.6: HAWAII アレイの量子効率。

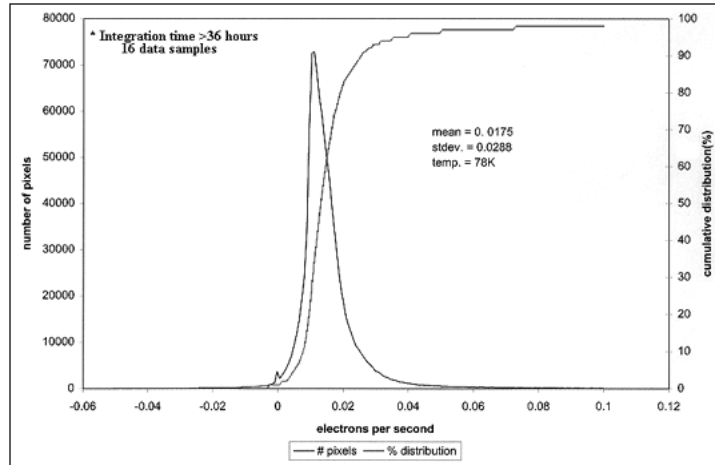


図 8.7: HAWAII アレイの暗電流のヒストグラム。

8.2.3 HAWAIIの構造と駆動原理

HgCdTe 検出器は、サファイアのサブストレート上に絶縁のための CdTe の層を形成し、さらにその上に HgCdTe の p-型半導体の層を形成して作られる。HgCdTe 層形成の最後にホウ素を微量注入して n-型の層を作って完成である (図 8.4)。

検出器としてこれを用いる時は、まず p-n 接合面間に逆バイアス電圧 (リセット電圧と呼ばれる) を印加する。サファイアサブストレート側から入射した光は p-n 接合部の空乏層の電子を励起し、電子-ホール対を形成する。空乏層にかけられている逆バイアス電圧による電場の傾きによって電子は p-型側、ホールは n-型側に流れ、これによって逆バイアス電位が下降する (図 8.8)。この逆バイアス電圧の変化を検出することによって検出された光子の量を測定することになる。

この逆バイアス電圧は、マルチプレクサの回路で読み出される。マルチプレクサの内部回路図を図 8.9 に示す。検出器にかかっている逆バイアス電圧は FET1 のゲートにかかる。この電圧は FET2 と Analog Switch を ON にすることにより出力に現れ、読み出される。また、逆バイアス電圧は FET3 のゲート電圧を HIGH にすることにより VRESET でリセットされる。HAWAII のマルチプレクサの特徴は、読み出しに 2 つの方法が用意され

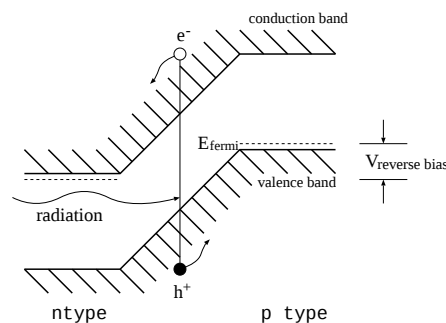


図 8.8: 逆バイアス電圧がかかった状態の検出器の p-n 接合面のエネルギーバンド図。

ている所にある。一つは前世代の検出器である NICMOS3 と同じ方法で、Analog Switch を経た後にもう一度 FET5 によるソースフォロワでバッファして SOURCE 端子から出力するというものである。このバッファは出力インピーダンスを増やし、内部回路を保護するために取付けられているのであるが、バッファの FET 自身が発光して検出器の端の方を照らし出す electro-luminescence と呼ばれる現象が起こる (Hodapp et al. 1996, Janesick et al. 1984)。このため、HAWAII のマルチプレクサにはこのバッファを経由せず、HORIZONTAL BUS を直接読み出す BUS 端子が新たに設置された。CISCO でもこの BUS 端子から読み出しを行う。

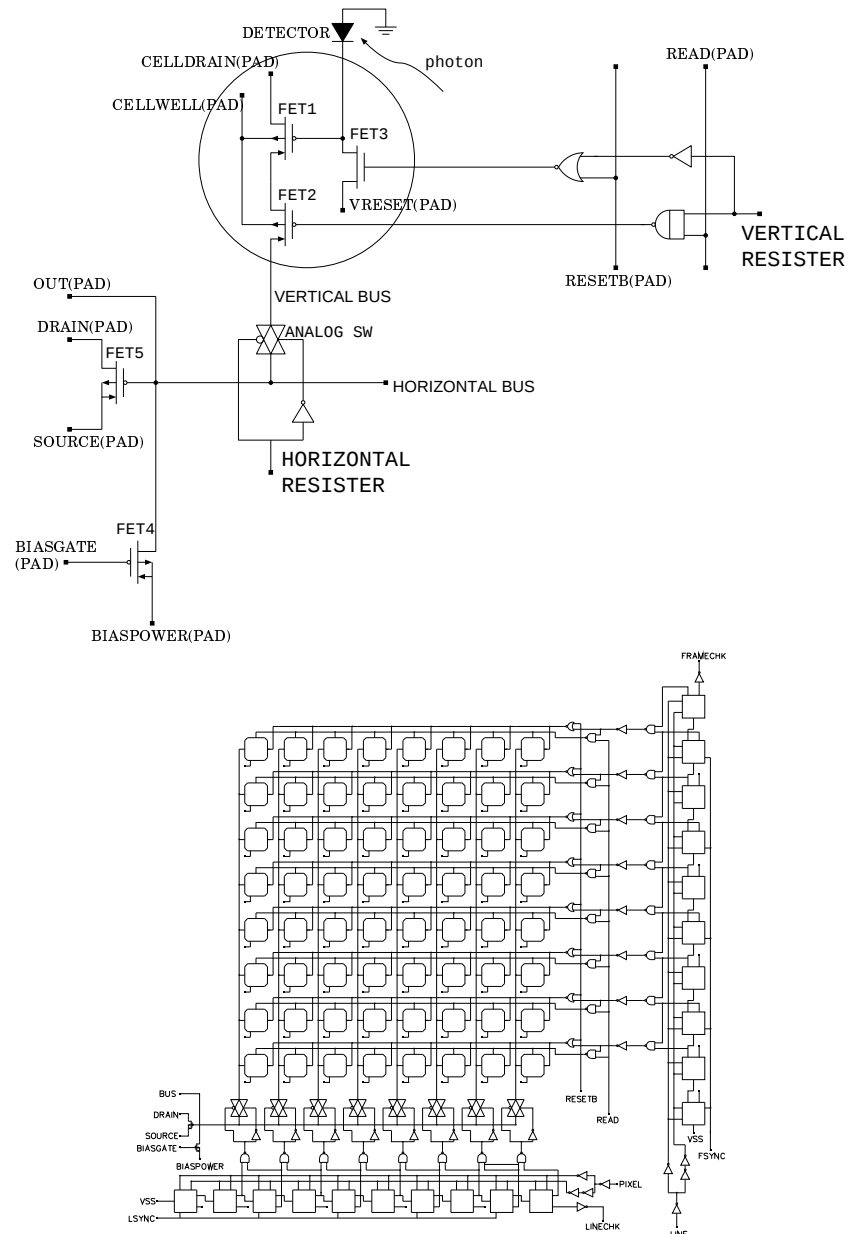


図 8.9: (上)HAWAII1 ピクセル分の回路。(下)マルチプレクサの構造の概念図。実際には 512 × 512 ピクセルで、それが 4 個つなぎ合わされた構造になっている。

8.2.4 電源と駆動クロック

検出器に与える電源の電圧は表 8.1 の通りである。ただし、CISCO の回路では、内蔵の FET ソースフォロワを駆動させないので DRAIN には電圧は供給されない。

マルチプレクサに入力するクロックは FSYNC、LSYNC、CLOCK、LINE、RESETB、READ の 6 つで、すべて 0 – 5(V) の CMOS レベルである。

FSYNC と LSYNCH はそれぞれ、図 8.9 の Vertical, Horizontal Resister をリセットするクロックで、L(low) レベルでリセットされる。CLOCK と LINE はシフトレジスタを進めるクロックで、クロックのエッジでレジスタが一つ進む。シフトレジスタの最高動作速度は Horizontal Resister が 250ns 間隔なのに対し、Vertical Resister は $1.5\ \mu\text{s}$ で、Horizontal Resister でピクセルをスキャンし Vertical Resister で行をスキャンする。RESETB は検出器のリセットを行なうクロックで、L レベルでその時シフトレジスタで選択されている行のすべてのピクセルがリセットされる。READ はピクセル信号の出力制御するクロックで、H レベルのときに選択されているピクセルからの信号が出力される。

名称	機能	電圧 (V)
VDD	Digital Power	5
HIGH	Analog Power	5
CELLWELL	n-well	5
VRESET	Detector Reset	0.5
BIASGATE	Gate of Internal Pullup for Cell Source Followers	3.5
VSS	Digital Ground	0
LOW	Analog Ground	0
DRAIN	Output Source Follower Drain	0
MUXSUB	Multiplexer Substrate	0
DSUB	Detector Substrate	0
CELLDRAIN	Drain of Cell Source Follower	0
BIASPOWER	Source of Internal Cell Pullup	5

表 8.1: 検出器の電源電圧

8.3 読み出し回路系

8.3.1 回路ボード構成

8.1 節でも述べたように、データ取得回路系は Messia III のボードの他に以下の 4 種類のボードで構成されている。

ファンアウトボード HAWAII アレイ検出器を載せる。さらに検出器からの出力を JFET でバッファし、プリアンプボードへ送る。

プリアンプボード ファンアウトボードからの信号を 10 倍増幅して ADC ボードへ送るとともに、検出器へ定電圧の電源を供給する。

ADC ボード プリアンプからの信号を AD コンバータで 16-bit シリアルデジタル信号に変換し、Messia III の VMI ボードへ転送する。

クロックドライバボード Messia III の CIC ボードから送られるクロックパターンを CMOS レベルのクロックに変換し、検出器と AD コンバータへ送る。

これらのボードの基本設計と試験回路の製作は 本原 (1997) によって行われた。以下、その後の回路設計の変更を含めた最新の読み出し回路についてまとめる。特にファンアウトボードとプリアンプボードに関しては全面的な改修が行われており、やや詳細まで触れることにする。

8.3.2 ファンアウトボード

概要

このボードはアレイ検出器 (HAWAII) を載せるボードで、CISCO のクライオスタット内の検出器カセットに納められて 77K にまで冷却される。このボードの仕様は以下の通りである。

- 検出器からの出力をバッファするために p 型 Junction FET によるソースフォロワ回路をもつ。(4 ch.)
- 各チャンネルがゲートに定電圧を入力するペアのソースフォロワを装備し、差動出力を行う。
- 動作温度は 77K。

図 8.10 に検出器カセットとそれに納められたファンアウトボードを示す。

ソースフォロワ回路

ソースフォロワ回路の回路図を図 8.11 に示す。

検出器からの出力は p 型の MOSFET のソース端子が直接出てきているため (図 8.9)、 $200\text{k}\Omega$ のソース抵抗で BIASPOWERSOURCE (5.0V) に引き上げられる。この時、検出器からの出力電圧は 2.5V 程度である。このソース電圧が FET のゲートに入力される。

FET は Silliconix 社の p 型 JFET である J270 を用いている。RA5=5.1k Ω のときの回路のゲインは、ソース電圧であるVFETに依存するものの 0.8 – 0.9 程度である (表 8.2)。

一方、ペアとなる FET への入力は検出器出力のプルアップ電源をプルアップ抵抗と同じ値をもつ抵抗で抵抗分割して入力することにより電源経路で混入するノイズの同相除去能率をあげるように工夫されている。

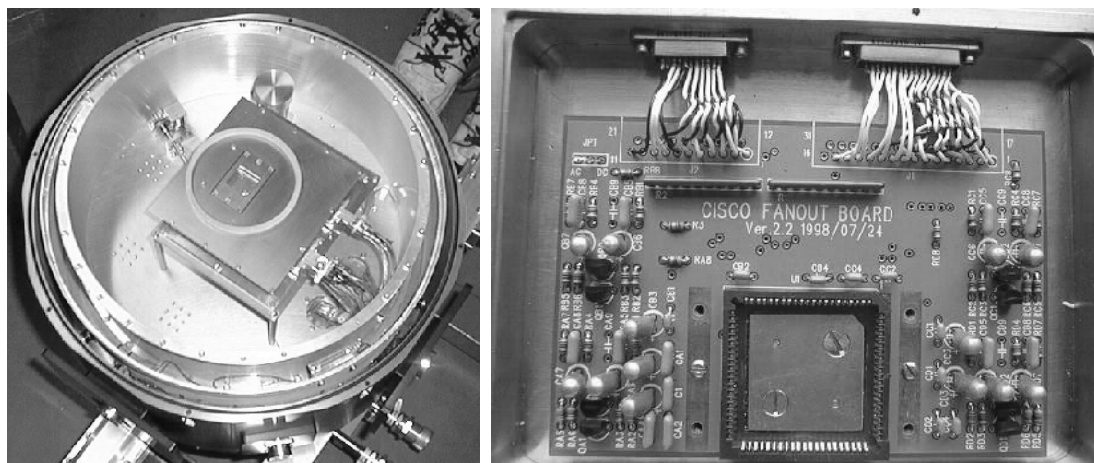


図 8.10: CISCO のデュワー内に設置された検出器カセット (左) と検出器カセットに納められているファンアウトボード (右)。中央の正方形のソケットに検出器のチップが納まる。

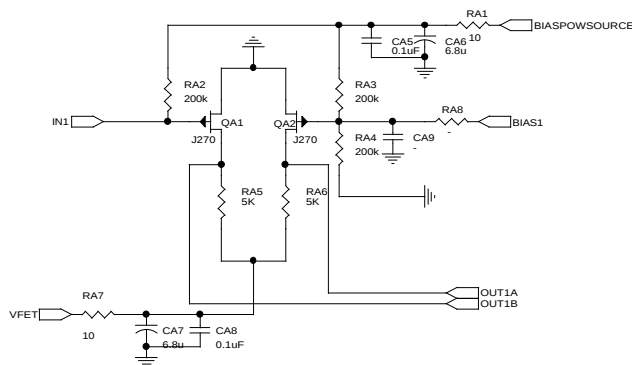


図 8.11: 差動出力のソースフォロワ回路 (チャンネル 1)

VFET(V)	gain
15.0	0.93
5.0	0.81

表 8.2: ソースフォロワ回路のゲイン

低温性能の良いセラミックコンデンサ

図 8.11 のようにファンアウトボードでは多くのセラミックコンデンサやタンタルコンデンサがバイパスコンデンサとして組み込まれている。

しかしながら、これらコンデンサは低温で急激に実効容量が減少してしまう。通常用いているコンデンサで実際にローパスフィルタを組んで液体窒素温度で実験したところ、タンタルコンデンサで高周波側で能力の低下が見られ、セラミックコンデンサに至っては実効容量が $1/40$ になってしまうことが確認された。(図 8.12)

一方、村田製作所の低温特性が良いモデルである 型番 RPE132R104K50 を購入して試験したところ、実効容量の減少は $1/4$ 程度と 1 桁近く小さく (図 8.13)、これを実装した。タンタルコンデンサに関しては良いものが見つからず、上記のものを用いている。

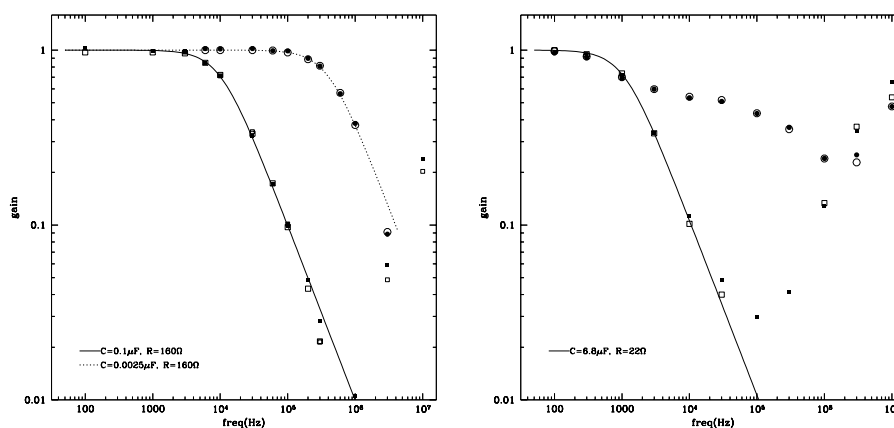


図 8.12: 京都大学物理学教室の回路室に納入されているセラミックコンデンサ (左) とタンタルコンデンサ (右) でローパスフィルタを組み、周波数特性を調べた結果。白抜きが小振幅 (0.1V)、塗り潰したのが大振幅 (1.0V) の正弦波を入力したとき。四角が常温、丸が液体窒素温度。

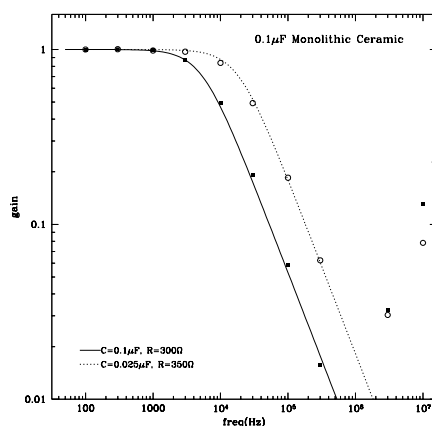


図 8.13: 村田製作所の RPE132R104K50 でローパスフィルタを組み、周波数特性を調べた結果。塗り潰した四角が常温、白抜き丸が液体窒素温度。

8.3.3 プリアンプボード

概要

このボードはファンアウトボードからの出力を増幅するとともに、ファンアウトボードへの定電圧の供給を行う。仕様は以下の通り。

- ファンアウトボードからの差動出力を受け、10 倍増幅を行う。(4 ch.)
- ファンアウトボードへ以下の定電圧を供給する。(5 系統)
VFET, BIASPOWERGATE, CELLWELL, VRESET, HIGH

図 8.14 にプリアンプボードの実物を示す。

プリアンプ部

プリアンプ部の回路図を図 8.15 に示す。

この回路はファンアウトボードからの出力を受けるインストゥルメンテーションアンプ部と差分アンプ部の 2 段構成で、ゲインと周波数特性は図 8.16 のようになっている。

定電圧電源部

ファンアウトボードへの定電圧電源はすべて、3 端子レギュレータを用いて作られる。ただし VRESET に関しては 3 端子レギュレータで発生した電圧を抵抗分割し、それをオペアンプでバッファして出力している。分割抵抗の一方は可変抵抗で、VRESET の値は可変である。

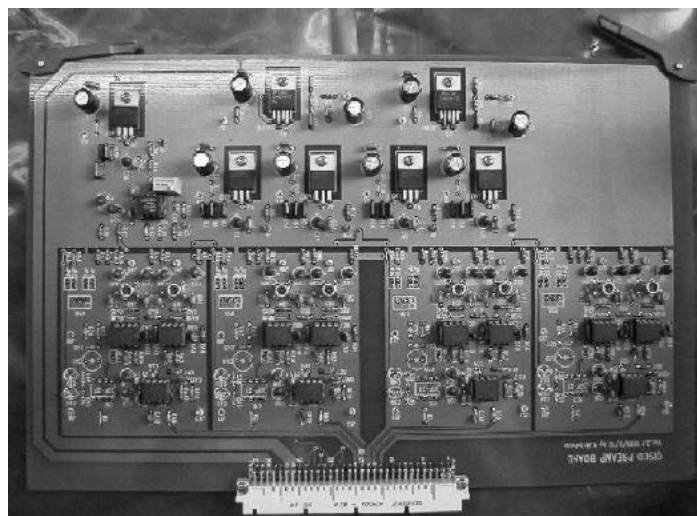


図 8.14: プリアンプボード

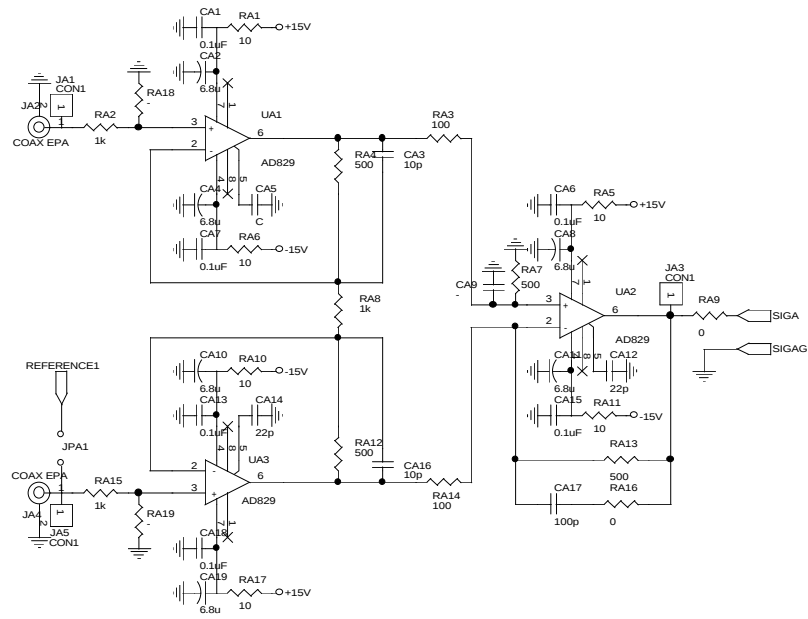


図 8.15: プリアンプ回路の回路図 (チャンネル 1)

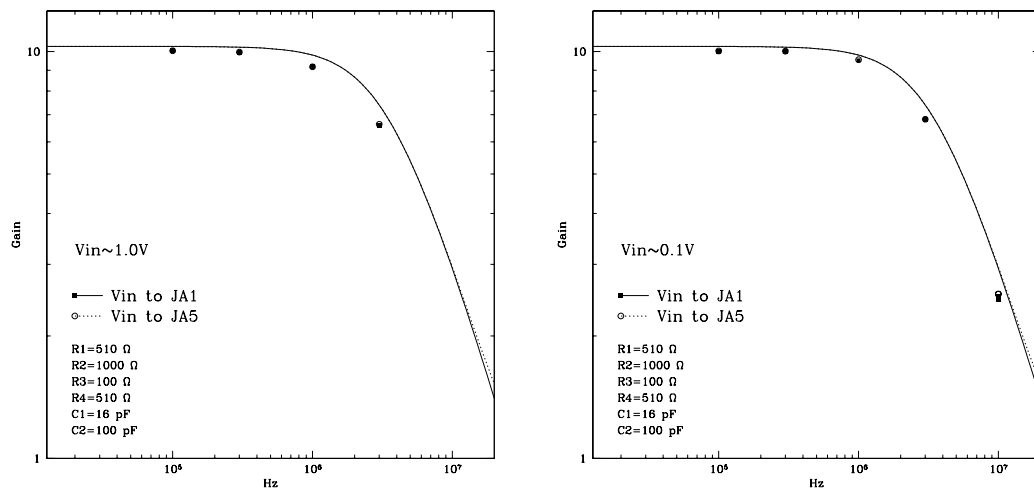


図 8.16: ゲイン-周波数関係。入力振幅が 1.0 V (左) と 0.1 V (右) のとき。実線は理論予想曲線。

電源名	電圧 (V)
VRESET	0~3.1
HIGH	5.0
CELLWELL	5.0
VFET	5.0
BIASPOWERGATE	5.0

表 8.3: ファンアウトボードへ送られる定電圧一覧。

8.3.4 ADC ボード

このボードはプリアンプボードからの信号の AD 変換を行い、その結果をシリアルな差動信号として VMI ボードへ転送する。その仕様は以下のようになっている。

- 処理信号はボード 1 枚あたり 2 チャンネル。(AD 変換器のサイズからの制限)
- プリアンプボードからの信号のローパスフィルタリングを行う。(1.26 倍ベッセルフィルタ)
- フィルタ出力を AD 変換する。(入力信号 $\pm 5V$: 出力信号 16-bit/parallel : 200 kHz/sample)
- プリアンプボードの各種定電圧を AD 変換する。
- AD 変換器からの平行出力を差動シリアルに変換する。
- AD 変換器駆動用信号をフォトカプラで受ける。

8.3.5 クロックドライバボード

このボードは Messia III の CIC ボードから送られてくるクロックパターンをもとに CMOS レベルのクロックを生成する。その仕様は以下の通りである。

- CIC からの差動クロックパターンをフォトカプラで受ける
- 検出器用クロックをアナログスイッチを用いて生成する。(6 系統)
- ADC ボードへのクロックはフォトカプラ出力をそのまま転送する。(6 系統)

8.4 VMIボードへのデータ入力

ADCボードから出力されたシリアルデータはVMIボードに入力され、ボード上のメモリに一時的に保存される。

図 8.17 に VMI ボードでデータ取得に関わる部分の概略図を示す。VMI ボードには取得イメージを一時的に保存する DRAM (32 Mbytes SIMM) が装備されており、Image Memory Controller (IMC) がこの DRAM の制御を行っている。

CISCO の ADC ボードからのシリアルデータは検出器からの出力 4 チャンネルとハウスキープ情報 1 チャンネルの計 5 チャンネルのデータが転送される。このデータはフォトカップラで受けられ、FPGA でパラレルデータに変換された後そのすべてが DRAM に書き込まれる。

通常の画像取得時にも HKP データのチャンネル分まで DRAM 上に書き込まれるため、DRAM には 5 チャンネル $\times$ 512 ピクセル $\times$ 16 ビット = 2.5 Mbytes の領域を確保する必要がある。また、5 チャンネル分のピクセルデータが交互にメモリ上に書き込まれるためメモリ上でのデータの配列は実際の配列とは全く異なったものになる。(図 8.18) そのため、最終画像にする際にはデータの再配列を行う必要がある (9.4.4 節 参照)。

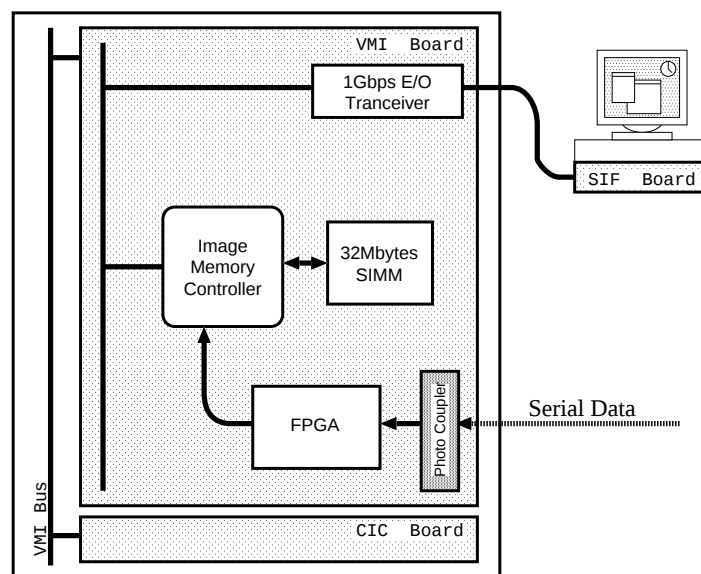


図 8.17: VMI ボード上の構成。

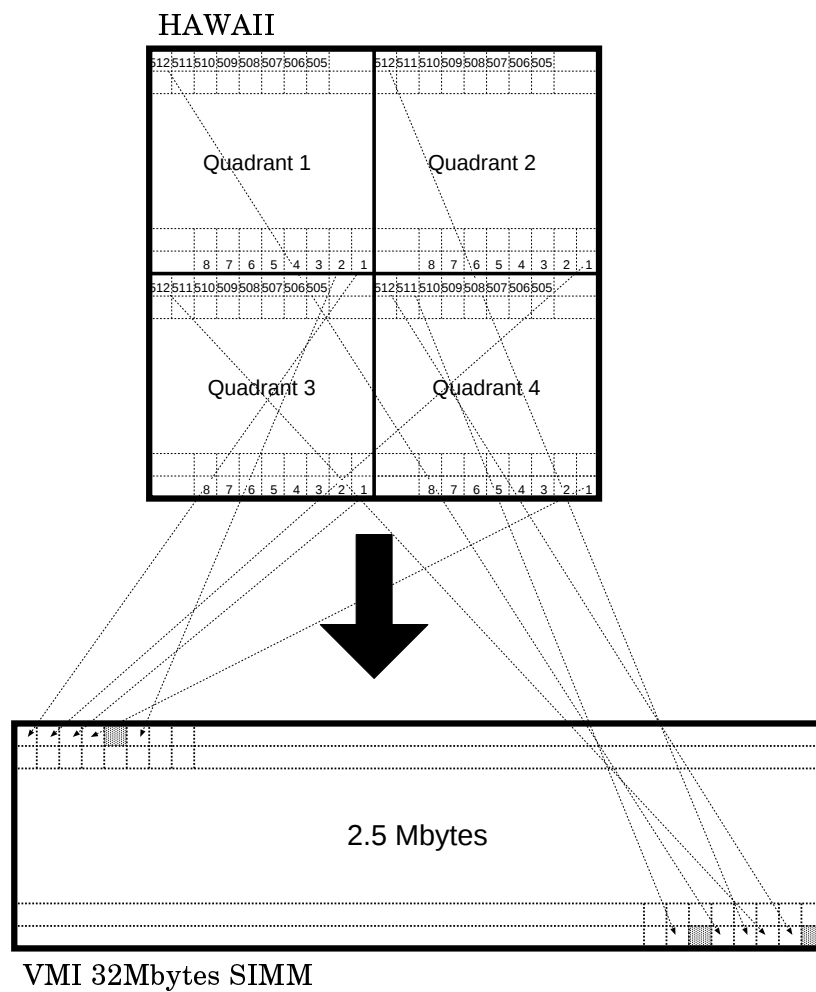


図 8.18: 検出器のピクセルとメモリー上のデータの対応

8.5 ノイズ対策

実際に観測を行っていくと様々なノイズが様々な経路で混入してくることが判明したため、以下のようなノイズ対策を行った。

8.5.1 冷凍機配管の絶縁

コールドヘッドへ圧縮ヘリウムを供給するヘリウム配管はコールドヘッドを経由してクライオスタットと電氣的に接続している。一方、読み出し回路システムのグラウンドもクライオスタットにつながっているため、回路のグラウンドと冷凍機のグラウンドが巨大なグラウンドループをつくってアンテナのように外来電磁ノイズを拾ってしまうことが判明した (図 8.19)。

そこで、ヘリウムチューブとコールドヘッドの間をセラミックで絶縁するためのコネクタを用意した (図 8.20)。

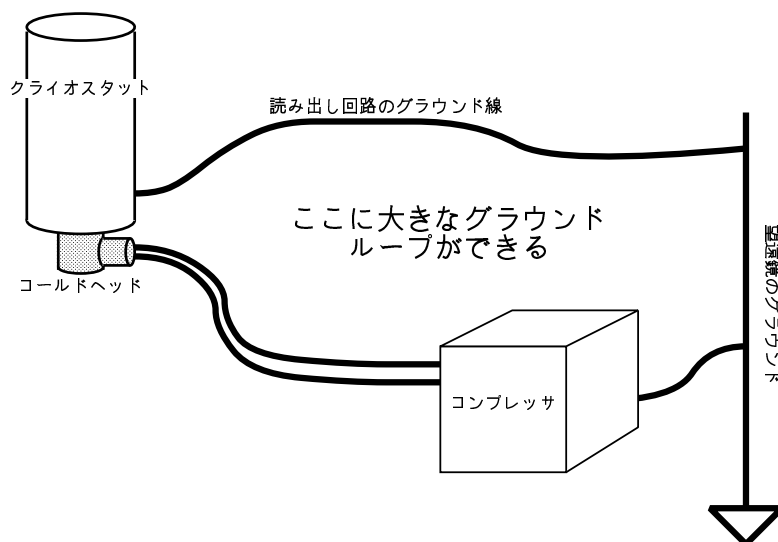


図 8.19: ヘリウム配管で生じるグラウンドループの模式図

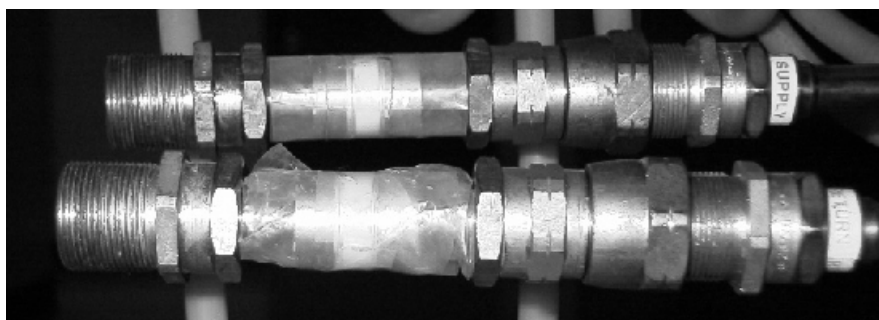


図 8.20: コールドヘッドとヘリウム配管を絶縁するコネクタ。中央に見えている白い部分がセラミックである。

8.5.2 モータドライバ電源

モータドライバに用いられている電源はスイッチングレギュレータで、電源線経由で強い高周波ノイズを発生する。これを除去するため、スイッチングレギュレータの電源線にマイカコンデンサとフェライトコアで図 8.21 のようなラインフィルタを構成した。これによって、モータドライバ電源によるノイズは他のノイズに比べて測定不可能なレベルにまで低減された。

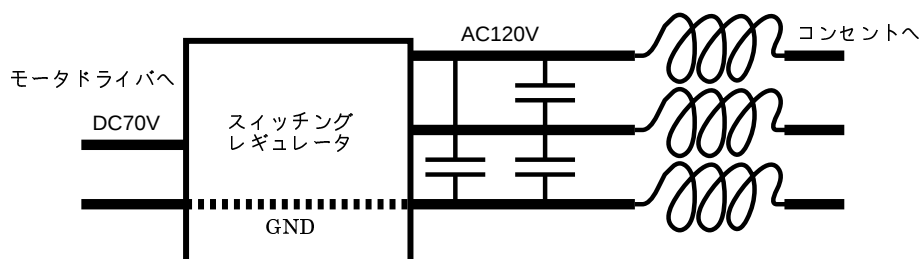


図 8.21: モータドライバ電源に取付けられたラインフィルタ (上)。左側の黒いソケットが 120V 電源ソケットで、そのすぐ左側に密集して 3 つ取付けられているのが $0.1\mu\text{F}$ のマイラコンデンサである。フェライトコアは、1 線あたり 2 個、それぞれ 1 重巻きにして取付けている。下はラインフィルタの回路図。

8.5.3 望遠鏡とクライオスタットの絶縁

CISCO のクライオスタットと望遠鏡はそのままではフランジを介して電氣的に接続されてしまい、望遠鏡の駆動モータのノイズが電氣的に混入してくる。CISCO を望遠鏡に取付けるフランジは 2 段構造になっているため、2 つのフランジ間を塩化ビニルのシートで絶縁することにより、完全に絶縁することができた (図 8.22, 8.23)。

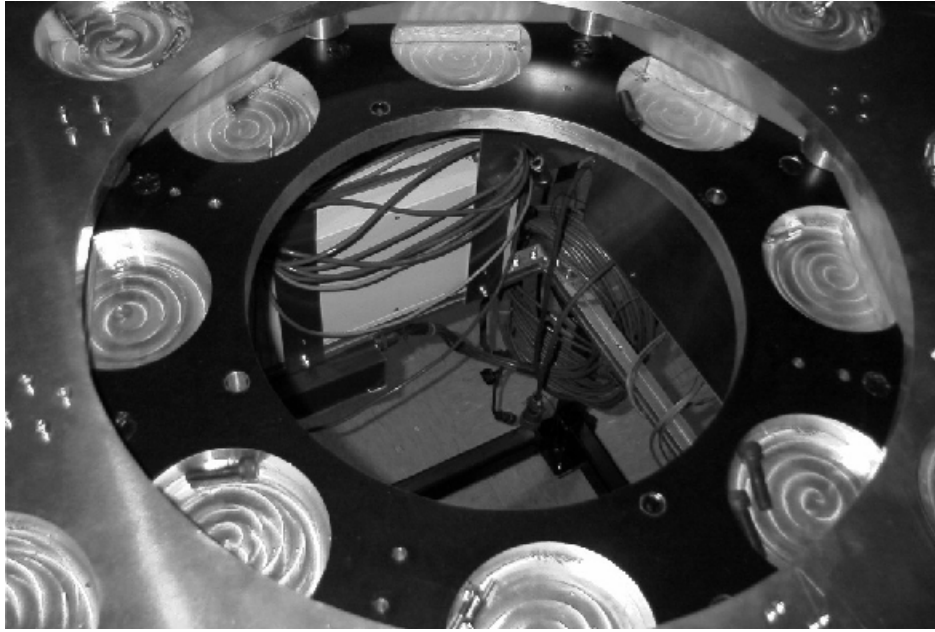


図 8.22: CISCOS の 2 枚のフランジ。手前が望遠鏡と接続される部分、奥の黒い方が CISCOS に接続される部分。中央に開いている丸い穴に CISCOS のクライオスタットがはまる。この 2 枚のフランジは 8 本の金属柱で接続され、この金属柱と黒いフランジが絶縁されている (下図)。



図 8.23: 金属柱と CISCOS フランジの接続面。塩化ビニルのシートが挟まっているのが分かる (上)。金属柱と CISCOS フランジを接続しているボルトのワッシャと CISCOS フランジの間にもシートが挟まれている (下)。さらに、ボルト自身にも塩化ビニルのテープが巻かれ、フランジと接触しないようになっている。

第9章 ソフトウェア

9.1 すばる望遠鏡の計算機システム

すばる望遠鏡はその制御のすべてをコンピュータで行う『ロボット望遠鏡』である。その制御計算機は図 9.1 のように機能ごとにワークステーションを分散し、それらを TCP/IP ネットワークで接続する分散型のシステムとなっている。これらのワークステーションは OBS と呼ばれる核となるワークステーションから『装置依存コマンド』を用いて操作される。

9.1.1 計算機群

各ワークステーションの機能は以下のようにになっている。

OBS (OBservation Supervisor WS)

すべてのワークステーションを統括・制御する。観測者はこのワークステーション、あるいはその端末である OWS(OBservation WS) から観測を行う。

OBC (OBservation data aCquisition WS)

取得データを一時的に保持し、山麓のデータアーカイブに転送する。また取得データの簡易処理を行うことにより観測にフィードバックすることも可能である。

TSC (TeleScope Control WS)

望遠鏡を MLP(Mid-Level Processor) を通じて直接制御する。

OBCP (OBE Control WS)

観測装置 (OBE: OBservation Equipment) を制御する。CISCO の場合、Messia III のホストワークステーションと同義である。

VGW (V-LAN Gateway WS)

Video-LAN (V-LAN) を通じて Auto-Guider(AG), Shack Hartmann(SH), Slit Viewer(SV) の CCD の画像を取得するとともに、それらの制御を行う。また、DSS のカタログからガイド星を自動選定する機能も担当する。

観測時は OBS がこれらのワークステーション群を統括して制御する。すなわち、観測者は OBS へ抽象化コマンド (9.1.3 節 参照) を発行することによって観測を行うことになる。OBS はこの抽象化コマンドをその定義にしたがって装置コマンド列に展開し、それを各装置 (TSC, VGW, OBCP, OBC, OBS 自身) へ発行することによってこれらを制御する。

9.1.2 装置依存コマンド

装置依存コマンドは ASCII 形式の電文であり、以下のようなフォーマットで定義される。

verb OBE_NAME Object Argument=value [Argument2=value2]

1. OBE_NAME : 観測装置名。CISCO の場合 *OHS* である。それ以外のワークステーションに関してはその名称のままで、*TSC*, *OBC*, *OBS*, *VGW* となる。
2. Object : 被制御対象名。CISCO には *HAWAII*, *FILTER*, *SLIT*, *MODE*, *ARCHIVE*, *WAIT* の 6 つがある。
3. Argument : Object で設定したい項目名。その項目の値が value にセットされる。
4. verb : *set/exec* の何れか。

set : 観測装置にコマンドは発行せず、Argument の値をユーザーレジスタに設定する。

exec : 観測装置にコマンドを発行。省略された Argument 値はユーザーレジスタの値で補完されて送られる。

たとえば、CISCO で 20 秒の積分を 2 回行うのであれば

```
exec OHS HAWAII EXPTIME=20 NFRAME=2 INTEG=GO
```

という装置依存コマンドを発行するればよい。

9.1.3 抽象化コマンド

抽象化コマンドはすべての観測装置で共通のコマンドで、ある特定の操作 (特定の天体の撮像を行う、ダークフレームを取得する、等) を行う際に必要な手順 (装置依存コマンドのセット) をすべてまとめて行う、一種のマクロコマンドである。観測は基本的には、この抽象化コマンドをまとめて書いた観測手順書と呼ばれるファイルに従って実行される。すばる望遠鏡側から要望されている標準の抽象化コマンドを表 9.1 に示す。さらに、CISCO ではこれらのほかに独自の抽象化コマンドを作成して効率の良い観測を行っている。これら CISCO の抽象化コマンドの詳細は付録 D を参照されたい。

Table 9.1: すばる望遠鏡観測装置の標準抽象化コマンド一覧。すか&観測装置 I/F ホームページ¹からの引用。

コマンド名	補足
BootObservation	観測装置の初期化
BootTelescope	
BootOBE	
BootQDAS	
BootVGW	
SetupObservation	望遠鏡セットアップ (天体指向、等)
SetupTelescope	
SetupOBE	
	観測装置セットアップ (波長調節、フィルタ設定、グリズム設定等)
SetupQDAS	
SetupVGW	
ShutdownObservation	
ShutdownTelescope	
ShutdownOBE	
ShutdownQDAS	
ShutdownVGW	
SelectObject	
SetupField	
DoAG	
SetupAG	
DoSH	
SetupSH	
DoSV	
SetupSV	
DoAO	
SetupAO	
DoTipTilt	
SetupTipTilt	

¹ <http://www.subaru.nao.ac.jp:8001/>

Table 9.1: 続き

コマンド名	補足
DoChopping	
SetupChopping	
ExchOBE	
FocusTelescope	望遠鏡フォーカシング（シャックハルトマンテスト／副鏡移動）
FocusOBE	観測装置内部フォーカシング（ハルトマンテスト）
GetObject	通常为天体撮像
GetBias	バイアス画像の取得
GetDark	暗電流画像の取得
GetOBEFlat	装置内部光源によるフラット画像の取得
GetDomeFlat	ドームフラット画像の取得
GetSkyFlat	スカイ、及び、薄明画像の取得
GetComparison	波長比較光源分光画像の取得
GetDistortion	装置光学系歪み補正用画像の取得
Pause	一旦停止／再開可能
Stop	処理終了（ただし、手順書には書かれない）

発行された抽象化コマンドはまず OBS のデコーダによって装置依存コマンドスクリプトに展開される。この展開の規則が装置依存コマンドスクリプトスケルトン（通称 スケルトン）と呼ばれるもので、各装置ごとに作成される。

展開された装置依存コマンドスクリプトは OBS のコマンドディスパチャで演算やレジスタ（変数）置換が行われ、さらに装置依存コマンドの引数のチェック（パラメータ定義ファイル）とインターロック条件のチェック（インターロック定義ファイル）が行われた上で個々の装置依存コマンドが各装置に配送される。これらの概略が図 9.2 である。

このように、抽象化コマンドを装置依存コマンドに展開するのに必要な 3 種類の定義ファイル（スケルトン、パラメータ定義ファイル、インターロック定義ファイル）を装置テーブルと呼び、観測装置製作グループが準備しなければならない。CISCO の装置テーブルの一覧は付録 E にまとめた。

9.1.4 観測手順書

観測者が用意しなければならないのはこの観測手順書のみである。観測手順書とは観測時に実行する抽象化コマンドをまとめたものである。その実例を図 9.3 に挙げる。図からも分かるように、観測手順書は 3 つの部分からなる。

まず、<HEADER>,</HEADER>で囲まれたヘッダ部では、その観測手順書ファイルのコメントなどが入る。この部分は、実行されるコマンドとは直接関係はない。

次に、<PARAMETER_LIST>,</PARAMETER_LIST>で囲まれたパラメータ定義部で変数の定義を行う。ここで定義された変数はコマンド部で\$をつけて使用することができる。

<COMMAND>,</COMMAND>で囲まれたコマンド部が実行される抽象化コマンド列となる。

#で始まる行はコメント行で、コメント行及びに空行は実行時に無視される。\$をつけた変数は抽象化コマンドの実行時にデコーダによってパラメータ定義部で定義された文字列で置換される。

観測時は、このファイルを OWS から起動するすばる観測ソフトウェアシステム (SOSS) の専用ソフトウェアで開き、その中から抽象化コマンドを選択して実行することにより行われる。

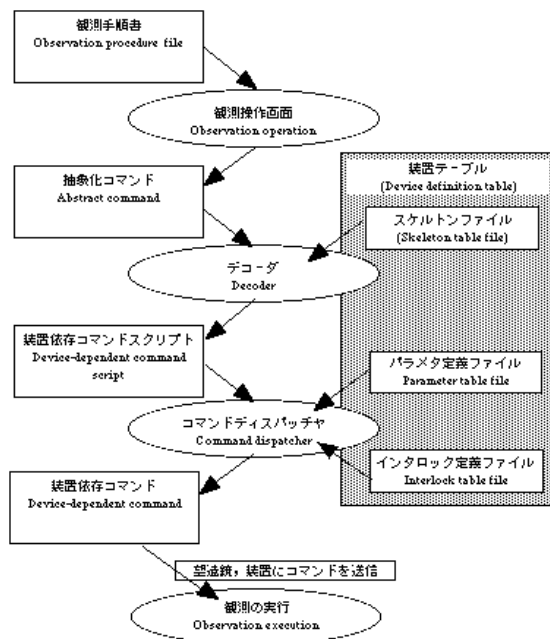


図 9.2: 観測手順書が実行されるときの流れ。すか&観測装置 I/F ホームページ¹からの引用。

¹ <http://www.subaru.nao.ac.jp:8001/command/ObsProcManual.html>

```

<Header>
Observation_File_Name=990205.op
Observation_File_Type=OP
Observation_Start_Date=1998.02.05
Observation_Start_Time=19:00:00
Observation_End_Date=1999.02.06
Observation_End_Time=23:59:59
</Header>

<Parameter_List>
DEF_IM=OBE_ID=0HS OBE_MODE=CISCO_IMAGING
DEF_B2=OBE_ID=0HS OBE_MODE=CISCO_BLOCK128
DEF_SP=OBE_ID=0HS OBE_MODE=CISCO_SPECTROSCOPY

TGT1=OBJ="FS21" RA_OBJ=113705.350 DEC_OBJ=+294758.60 INR=+90.0
TGT1s=OBJ="FS21" RA_OBJ=113704.670 DEC_OBJ=+294809.10 INR=+90.0

TGT2=OBJ="SA062677" RA_OBJ=114412.310 DEC_OBJ=+295343.90 INR=+90.0
TGT2s=OBJ="SA062677" RA_OBJ=114412.250 DEC_OBJ=+295343.90 INR=+90.0
TGT2s1=OBJ="SA062677" RA_OBJ=114412.250 DEC_OBJ=+295348.90 INR=+90.0
TGT2s2=OBJ="SA062677" RA_OBJ=114412.250 DEC_OBJ=+295338.90 INR=+90.0
TGT2sp=RA_OBJ1=114412.250 DEC_OBJ1=+295348.90 RA_OBJ2=114412.250 DEC_OBJ2=+295338.90

TGT3=OBJ="SA081943" RA_OBJ=114130.320 DEC_OBJ=+273737.40 INR=+90.0
TGT3s=OBJ="SA081943" RA_OBJ=114130.260 DEC_OBJ=+273737.40 INR=+90.0

TGT4=OBJ="PC1247+3406" RA_OBJ=124942.110 DEC_OBJ=+334952.30 INR=+90.0
TGT4b=OBJ="PC1247+3406" RA_OBJ=124941.380 DEC_OBJ=+334934.10 INR=+32.43

TSG5=OBJ="SSA13" RA_OBJ=131215.740 DEC_OBJ=+424437.50 INR=+64.0
AG5=RA_AG=131026.810 DEC_AG=+430506.70 EQ_AG=1950.0
</Parameter_List>

<Command>
#Set up
SETUPOBE $DEF_IM PATH="/home/messia/data/990205"
GETDARK $DEF_IM EXP=10
GETDARK $DEF_IM EXP=10
GETDARK $DEF_IM EXP=20
GETDARK $DEF_IM EXP=20

#FS21
GETOBJECT_1 $DEF_IM $TGT1 DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=2
GETOBJECT_4 $DEF_IM $TGT1 DST="990205_FS21a" FLT="Kp" EXP=2
GETOBJECT_1 $DEF_IM $TGT1s DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=2
GETSTANDARD $DEF_SP $TGT1s DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=20
GETSTANDARD2 $DEF_SP $TGT1s DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=20

#SA062677
GETOBJECT_VGW1 $DEF_SP $TGT2s DST="990205_TEST" FLT="N204" EXP=2
SETPOS1 $DEF_SP $TGT2s1
AGOFFSET1 $DEF_SP AGX=2 AGY=0
AGOFFSET1 $DEF_SP AGX=0 AGY=2
SETPOS2 $DEF_SP $TGT2s2
AGOFFSET2 $DEF_SP AGX=2 AGY=0
AGOFFSET2 $DEF_SP AGX=0 AGY=2
SLIT $DEF_SP SLX=3
AGOFFSET2 $DEF_SP AGX=0 AGY=2
SETPOS1 $DEF_SP $TGT2s1 MODE=ANY AGX=0 AGY=0
SLIT $DEF_SP SLX=0.5
GETOBJECT_SP2 $DEF_SP $TGT2sp DST="990205_SA062677a" FLT="zJGr" EXP=20
GETOBJECT_SP2 $DEF_SP $TGT2sp DST="990205_SA062677b" FLT="JHGr" EXP=20
GETOBJECT_SP2 $DEF_SP $TGT2sp DST="990205_SA062677c" FLT="wKGr" EXP=20

#SA081943
GETSTANDARD $DEF_IM $TGT3s DST="990205_SA062677a" FLT="wKGr" EXP=20
GETSTANDARD $DEF_IM $TGT3s DST="990205_SA062677c" FLT="JHGr" EXP=20
GETSTANDARD $DEF_IM $TGT3s DST="990205_SA062677e" FLT="zJGr" EXP=20

#PC1247+3406
GETOBJECT_1 $DEF_IM $TGT4 DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=5
GETOBJECT_VGW4 $DEF_IM $TGT4 DST="990205_PC1247a" FLT="Kp" EXP=10
GETOBJECT_1 $DEF_IM $TGT4b DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=5
GETOBJECT_2 $DEF_B2 $TGT4b DST="990205_PC1247b" FLT="Kp" EXP=0.3
GETOBJECT_2 $DEF_B2 $TGT4b DST="990205_PC1247c" FLT="H" EXP=0.3
GETOBJECT_2 $DEF_B2 $TGT4b DST="990205_PC1247d" FLT="J" EXP=0.3

#SSA13
GETOBJECT_1 $DEF_IM $TGT5 DST="990205_TEST" FLT="Kp" EXP=5
GETOBJECT_AG8 $DEF_IM $TGT5 DST="990205_B30731a" FLT="Kp" EXP=20 $AG5

</Command>

```

図 9.3: 1999 年 2 月 5 日の観測に用いられた観測手順書。

9.2 CISCO の装置依存コマンド

CISCO の装置依存コマンドには現在、表 9.2 の 6 つが用意されている。以下、これらの機能を個々に解説する。HAWAII, SLIT, FILTER, MODE コマンドの詳細に関しては 田辺 (1999) を参照のこと。

HAWAII	積分、データ取得を行う
FILTER	フィルタの交換
SLIT	スリットの開閉
MODE	観測モードの切り替え
ARCHIVE	山麓データベース (STARS) へのデータの再登録
WAIT	一定時間の待機

表 9.2: CISCO の装置依存コマンド

9.2.1 HAWAII コマンド

このコマンドは露出を行いそのデータを取得して OBS へ転送する。パラメータは表 9.3 のとおり。

HAWAII アレイは検出器読み出しのほかに、検出器一部分のみを高速に読み出すこと (すなわち短時間積分を行うこと) が可能になっている。この機能を用いるために EXPMODE に NORMAL の他に HYBRID, BLOCK64, BLOCK128 が追加されている。NORMAL は通常の全画面積分で、この時の積分時間は EXPTIME=1.4 ~ 3600 sec である。一方 BLOCK64/BLOCK128 は検出器の $64 \times 64 / 128 \times 128$ ピクセルの領域だけを連続的に読み出して取得するモードである。これらの取得フレームは 64/16 フレームごとにまとめられて 1024×1024 ピクセルのファイルとして保存される。この際の最小積分時間は 0.025/0.1 sec である。最後の HYBRID とは、非破壊読み出しを行う赤外線アレイ検出器独特の積分モードである。これは、全面の積分を行う以外にその途中は 64×64 ピクセルの領域の短時間積分を連続して行うというもので、短時間積分をおこなう領域に明るい星を入れ、その周囲の暗い広がった構造を同時に取得することを目的としている。

NSAMPLE とは検出器からのマルチサンプル (多重読み出し) を行うためのパラメータである。このマルチサンプルを行うことにより読み出しノイズをサンプル回数の平方根に反比例して減らすことが可能になる。マルチサンプルの方法は積分開始時と積分終了時にそれぞれ NSAMPLE 回読み出しを行う、というものである。1 回の読み出しには 1.4 sec あまり時間を要するため、積分時間が短い場合にはマルチサンプルを行う時間が積分時間を超過してしまい、意図した積分時間よりも実際の積分時間が長くなってしまうため注意が必要である。

9.2.2 FILTER コマンド

このコマンドは2枚のフィルタホイールを回して任意のフィルタ/グリズムの組合わせを選択する。

SELECT による指定を行うと二つのフィルタホイールを同時に回し、何れかのフィルターセットに設定する。WHEEL1, WHEEL2 による指定を行うと、片方のフィルタホイールのみを回して任意のフィルタを選択することが可能となる。

装置依存コマンド発行時はこれらのパラメータのうち何れか一つしか選択できない。

パラメータ	型	範囲	解説
OBJECT	%s	–	対象天体名
DATTYPE	%s	BIAS, COMP, DARK, FLAT, OBJECT, SKY, STANDARD_STAR, TEST, THERMAL	データの種類
FRAMEID	%s	–	STARS 登録時のフレーム ID
DATASET	%s	–	STARS 登録時のデータセット ID
FPATH	%s	–	OBCP に取得フレームを保存する場所
PREFIX	%s	–	OBCP に取得フレームを保存するファイル名プレフィックス
FCOUNT	%-4d	1 ~ 9999	OBCP に取得フレームを保存するファイル番号
EXPTIME	%-8.3f	0.025 ~ 3600.0	積分時間 (sec)
EXPMODE	%s	NORMAL, HYBRID, BLOCK64, BLOCK128	積分のモード
NSAMPLE	%-2d	1 ~ 6	マルチサンプルの回数
NFRAME	%-3d	1 ~ 999	連続して取得するフレーム数
INTEG	%s	GO, CANCEL, WAIT	積分の開始/停止/待機

表 9.3: HAWAII コマンドのパラメーター一覧

パラメータ	型	範囲	解説
SELECT	%s	z, J, H, Kp, K, H+Kp, N204, N215, H2(1-0), H2(2-1), zJGr, JHGr, wKGr, Pr, BLANK, HOME	観測モードの切り替え
WHEEL1	%s	z, J, H, Kp, K, H+Kp, N203, NONE, HOME	ホイール 1 の光学素子選択
WHEEL2	%s	N215, H2(1-0), H2(2-1), zJGr, JHGr, wKGr, Pr, NONE, HOME	ホイール 2 の光学素子選択

表 9.4: FILTER コマンドのパラメーター一覧

9.2.3 SLIT コマンド

このコマンドはスリットの開閉を行う。

X は分散素子を入れた場合の波長方向のスリット幅を指定し、Y は空間方向の波長幅を指定する。実際のスリット幅とパラメータの範囲は一致していない。すなわち、X=0.0, Y=0.0 で指定してもスリットは全閉にはならず、 0.5×0.5 ピクセル程度のピンホールとなる。一方、X, Y の最大値の最大値を指定してもスリットは実際には X=131.90, Y=127.65 でリミットスイッチで停止する。

装置依存コマンド発行時はこれらのパラメータのうち何れか一つしか選択できない。

9.2.4 MODE コマンド

このコマンドは `messia` の通信モードの変更を行う。

MODE が ALONE のときは OBCP のコンソールからの操作モード (非通信モード)、SLAVE のときは SOSS からの通信によって操作するモード (通信モード)、すなわち装置依存コマンドを受け付けるモードである。LOCAL は中間のモードで、操作はコンソールから行うものの SOSS に装置ステータスを定期的に送るモードである。

パラメータ	型	範囲	解説
X	%-6.2f	0.00 ~ 135.00	波長方向のスリット幅 (")
Y	%-6.2f	0.00 ~ 135.00	空間方向のスリット幅 (")

表 9.5: SLIT コマンドのパラメーター一覧

パラメータ	型	範囲	解説
MODE	%s	ALONE, LOCAL, SLAVE	<code>messia</code> の通信モード

表 9.6: MODE コマンドのパラメーター一覧

パラメータ	型	範囲	解説
FRAMEID	%s	-	アーカイブに転送する際のフレーム ID
LNAME	%s	-	未転送データチェックのためのログファイル名
LPATH	%s	-	ログファイルのパス
AMODE	%s	COUNT, SND	未転送ファイル確認/転送

表 9.7: ARCHIVE コマンドのパラメーター一覧

9.2.5 ARCHIVE コマンド

観測中に OBC へのデータ転送が失敗する場合がある。このコマンドは観測後、転送に失敗したフレームのみを選択して再度転送を行って山麓のアーカイブに保存するためのコマンドである。転送の成功/不成功はログに残っているため、そのログをまずチェックし、転送できなかったファイルをチェックする (AMODE=COUNT)。その後、AMODE=SND として転送を行う。

9.2.6 WAIT コマンド

このコマンドは TIME で指定された時間待って、完了応答を返す。

パラメータ	型	範囲	解説
TIME	%-6.2f	0.00 ~ 1000.00	遅延時間 (sec)

表 9.8: WAIT コマンドのパラメーター一覧

9.3 Messia III ソフトウェア

CISCO のソフトウェアの機能は以下のとおりである。これらの機能は Messia III のソフトウェアを核にして作り込まれ、それだけでは対応できない部分について別プロセスに分けてプロセス間通信を行うことにより対応している。

検出器からのデータ取得 文字通り検出器からの画像取得を行うとともに、検出器の定期的なリセットも合わせて行う。そのために

- 検出器へのクロックパターンの送出
- ADC からの画像データ取得

の機能を総合して行う必要がある。これに関しては次節で詳しく解説する。

モータの制御 VMI バス上の RS-232C ボードを介して 4 つのモータドライバの制御を行う。ソフトウェア側で用意しているのは RS-232C ボードを介して文字列の送受信を行う関数、およびにそれを用いた上位の関数群である。

温度計管理 Lakeshore コントローラからのデータ取得、それに検出器温度の設定もモータの制御と同じく RS-232C ボードを介して行う。

すばる望遠鏡計算機システム (SOSS) との通信 SOSS との通信インターフェースは以下の 4 つの機能がある。

1. コマンド受信、コマンド完了応答
2. 観測装置ステータス送信
3. 望遠鏡ステータス受信
4. 取得データ転送

Messia III 制御ソフトウェアの基本構造は図 9.4 のようになっている。Messia III が配布された時点でユーザー API 関数と Tcl/Tk プログラムのサンプルが存在しており、ユーザーはこれをベースにソフトウェアの開発を行うことになる。

CISCO のソフトウェアはこの Messia III 制御ソフトウェア (以降 messia と呼ぶ) を基本に作り上げられた。その構造は、単一の Tcl/Tk プロセスを核とし、装置依存コマンドの実行時には子プロセスを生成してその子プロセスが必要な動作を行う、という原始的なものである。プロセスダイアグラムを図 9.5 に示す。

OBS から発行された装置依存コマンドはまずコマンド受信/完了応答プロセス (インターフェースプロセス) で受け取られる。インターフェースプロセスは装置依存コマンドを受信すると子プロセスを生成し、それが装置依存コマンドを分解し、messia が解釈できる形に変更して messia の FIFO に書き込む。これにより装置依存コマンドが実行される。動作が完了すると messia の親プロセスがその旨をインターフェースの子プロセスの FIFO に書き込み、その子プロセスが完了応答を OBE に返送して装置依存コマンドが完了する。また、通信モードを変更することによってコンソールからの操作も可能となっている。

一方、定期的な検出器へのリセット信号の送信と温度データの取得は親プロセスが定期的に alarm シグナルを発行し、その alarm handler 内で行っている。

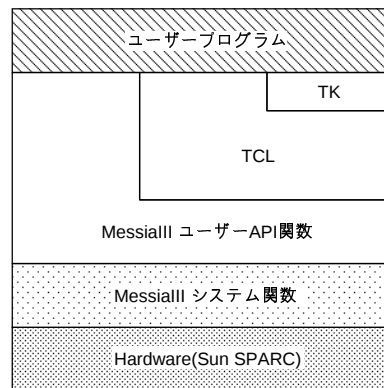


図 9.4: Messia III 制御ソフトウェアの基本構造。

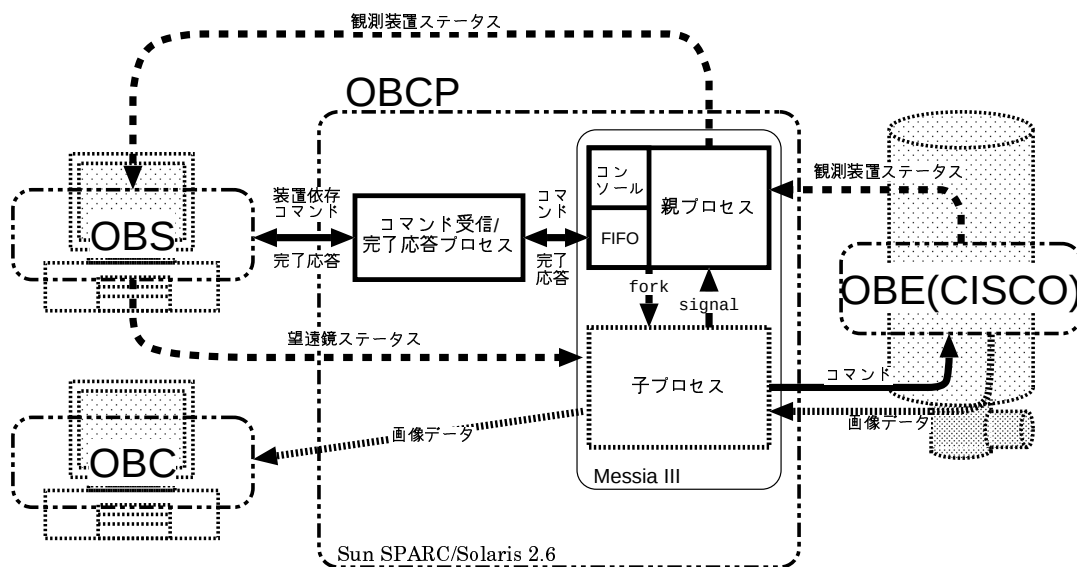


図 9.5: CISCO 用 Messia III 制御ソフトウェアのプロセスダイアグラム

9.4 データ取得ソフトウェア

9.4.1 データ取得の基本

近赤外アレイ検出器は各ピクセルに蓄積された電荷を、ピクセル自身の浮遊容量で電圧情報に変換し、それをアナログスイッチで直接読み出すことで測定する。CCDと違い、この方法だと蓄積された電荷はリセット電圧を印加するまで保存されるため非破壊読み出しと呼ばれ、そのおかげで後述するように様々なモードでの読み出しが可能になる。

蓄積された電荷量の測定は、リセット電圧をかけた直後と積分終了時に2度読み出しその差を取るという Correlated Double Sampling (CDS) で行う。積分時間はその読み出しの間隔で決まるため、基本的にはシャッターは不要である。

基本的なデータ取得の流れは以下の通りである。

1. フレーム全体にリセットをかけ、リセット直後のフレームのデータを取得
2. 積分時間完了後、フレームのデータを取得
3. 二つのフレームの差を取ってイメージをつくる

9.4.2 データ取得ソフトウェアの構成

データ取得ソフトウェアは以下の二つから構成されている。

クロックパターン生成/発行部

実際に送られるクロックパターンと、その出力を制御する CIC ボードの Instrument Control DSP (IDSP) のプログラムから成る。どちらのプログラムも CIC ボードのメモリ上にロードされている。

データ取得部

クロック発行、データ転送、画像生成を行う ホストワークステーション上のソフトウェア。装置依存コマンド HAWAII のハードウェアにもっとも近い部分に相当する。

9.4.3 クロックパターン生成/出力部

仕様

クロックパターン生成/出力部の仕様は以下のようになっている。

- 生成するクロックは以下の通り

アレイ検出器駆動用

名称	説明
FSYNC	行方向シフトレジスタのリセット
LSYNC	ピクセル方向シフトレジスタのリセット
LINE	行方向シフトレジスタの駆動
CLOCK	ピクセル方向シフトレジスタの駆動
RESETB	選択行の全ピクセルのリセット
READ	ピクセル電圧の出力

ADC ボード駆動用

名称	説明
ADCTRIG	AD 変換器のトリガ
PSCLK	パラレル/シリアル変換時のシリアルクロック
LOAD	VMI ボードへのデータロード
HKPADCTRIG	HKP データ用 AD 変換器のトリガ
HKPPSCLK	HKP データ用パラレル/シリアル変換時のシリアルクロック
HKPSW	HKP 入力切り替えクロック
HKPRST	HKP 入力切り替えユニットのリセット

- クロックパターンは `cpg.ascii`, `spv.ascii` の 2 つのファイルで定義される。
- Instrument Control DSP (IDSP) がクロックパターンの出力のタイミング等の制御を行う。その制御関数は `idsp_com.c` で定義され、コンパイルされて IDSP の外部メモリにロードされる。
- 積分時間制御は Real Time Clock (RTC) を使い、精度は 1/1000 秒。

図 9.6 に CIC ボード上からクロックパターンが出力されるまでの流れを簡単に示す。

クロックパターン

クロックパターンは `cpg.ascii` と `spv.ascii` の二つのファイルで定義される。

`cpg.ascii` はクロックパターンの最小単位を定義するファイルで、各クロックチャンネルのビットパターンが記述されている。このファイルで定義されたパターンが CIC ボード上の Clock Pattern SRAM (CPRAM) にロードされて使われる (図 9.6)。

`spv.ascii` は `cpg.ascii` で定義されたパターンを組み合わせることにより、発行されるクロックの最小単位を定義する。このファイルは DSP のアセンブラコードに変換されて CCD Control DSP (CDSP) の Program Memory にロードされる。

ユーザーはこの `spv.ascii` で定義したクロックパターンを直接実行することができるが、IDSP から実行することも可能で、より高度なコントロールを行うこともできる。これらのファイルの内容については付録 C を参照のこと。

IDSP 制御

IDSP プログラムの `idsp_com.c` によってクロック出力だけでなく様々な制御が可能になる。このファイルは C 言語のソースコードであり、クロック以外にも CIC ボードの各種ポートの制御も可能となっている。

CISCO の場合、ホストワークステーション側から IDSP に送るのはクロック開始のコマンドと、積分時間、マルチサンプルの回数だけで、あとは IDSP がこの `idsp_com.c` に記述された通り RTC を参照しつつ積分時間を測定し、マルチサンプリングの回数の制御なども行う。

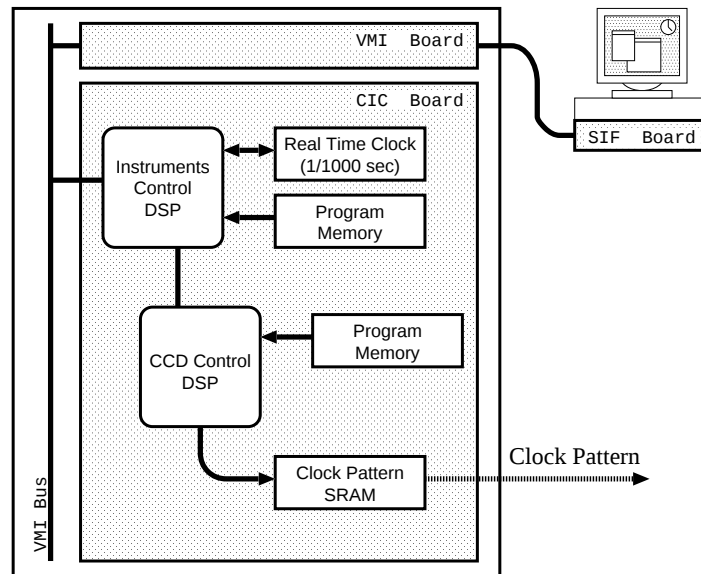


図 9.6: CIC ボードからクロックパターンが出力されるまでの流れ

9.4.4 データ取得部

仕様

データ取得部の仕様は以下のようになっている。

- CIC ボード上の IDSP との通信を行い、IDSP のクロックプログラムを実行
- VMI ボード上の IMC を通じて VMI ボードに装備されている 32 Mbytes SIMM からローカルメモリ上へのデータ転送を行う
- ローカルメモリ上に転送されてきたデータの再配列を行い、実際の画像データに変換
- 4 つの積分モードを持つ (NORMAL, BLOCK128, BLOCK64, HYBRID)
- NORMAL モードでは最大 6 回のマルチサンプリングを行うことができる

データ取得プログラム

データ取得プログラムの動作は以下のとおりである。各部の名称については図 8.17, 9.6 を参照のこと。

【モード NORMAL : マルチサンプルなし】

1. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に 2 フレーム分のデータ領域 (5 Mbytes) を確保
2. IDSP(CIC) に クロックプログラムの起動を命令
3. IDSP(CIC) に積分時間を送信
4. クロックプログラム終了を待機
5. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上のデータをローカルに転送

6. 2フレームの差を取る
7. フレームデータをテーブルを参照して再配列する
8. FITS ヘッダを添付して FITS ファイルにして保存

【モード NORMAL : n 回マルチサンプル】

1. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に n フレーム分のデータ領域 ($2.5 \times n$ Mbytes) を確保
2. IDSP(CIC) に クロックプログラムの起動を命令
3. IDSP(CIC) に積分時間を送信
4. IDSP(CIC) にマルチサンプル回数 (n) を送信
5. 露出開始時のクロック終了を待機
6. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に n フレーム分のデータ領域 ($2.5 \times n$ Mbytes) を確保
7. 露出終了時のクロック終了を待機
8. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上のデータをローカルに転送
9. 露出開始時、露出終了時の平均フレームを作り、差を取る
10. 差を取ったフレームデータをテーブルを参照して再配列する
11. FITS ヘッダを添付して FITS ファイルにして保存

【モード BLOCK64,BLOCK128】

このモードでは、 64×64 あるいは 128×128 ピクセルの画像が敷き詰められた 1024×1024 のフレームが 6 枚得られる。

1. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に 2 フレーム分のデータ領域 (5 Mbytes) を確保
2. IDSP(CIC) に クロックプログラムの起動を命令
3. IDSP(CIC) に積分時間を送信
4. クロックプログラム終了を待機
5. 1~4 をあと 5 回繰り返す
6. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上のデータをローカルに転送
7. 取得データをテーブルを参照して再配列する
8. FITS ヘッダを添付して FITS ファイルにして保存

【モード HYBRID】

このモードでは、全面フレーム 1 枚と 64×64 ピクセルの画像が敷き詰められた 1024×1024 のフレームが 5 枚得られる。

全面の読み出しを行う際に CDSP 経由で直接クロックパターンを発行しているところが他のモードと異なる。

1. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に 1 フレーム分のデータ領域 (2.5 Mbytes) を確保
2. CDSP(CIC) に 露出開始時のクロック発行を命令
3. 露出開始時のクロック終了を待機
4. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に 2 フレーム分のデータ領域 (5 Mbytes) を確保
5. IDSP(CIC) に クロックプログラムの起動を命令

6. IDSP(CIC) に積分時間を送信
7. クロックプログラム終了を待機
8. 4~7 をあと 4 回繰り返す
9. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上に 1 フレーム分のデータ領域 (2.5 Mbytes) を確保
10. CDSP(CIC) に 露出開始時のクロック発行を命令
11. 露出終了時のクロック終了を待機
12. IMC(VMI) 経由で DRAM(VMI) 上のデータをローカルに転送
13. 取得データをテーブルを参照して再配列する
14. FITS ヘッダを添付して FITS ファイルにして保存

データの再配列

先にのべたように、VMI の DRAM 上に展開されるデータ (生画像) はハウスキーピングのチャンネルのデータが混入している上に順序も実際のイメージとは全く異なる。このデータから元の画像 (最終画像) を復元するためにはデータの再配列を行わなければならない。この再配列には以下のような『並べ替えテーブル』を用いる。

- 並べ替えテーブルは長さ 1024×1024 の配列。この配列は、最終画像のデータ配列と 1 対 1 で対応する。
- 配列の中身は生画像の対応するピクセルのポインタアドレス

この並べ替えテーブルを参照して生画像からピクセル情報を拾い出し、最終画像を再構成することになる。

この並べ替えテーブルは現在以下の 3 つが用意されている。

名称	説明
512table	全面フレームの再配列
128table	BLOCK128 で取得したフレームの再配列
64table	BLOCK64 で取得したフレームの再配列

第 10 章 CISCO の性能評価

プリアンプボードのアップグレードは 1999 年 11 月に行われたため、このボードの性能評価試験はまだあまり進んでいない。以下の性能評価の結果は、特に明記しない限り前バージョンのプリアンプボード (旧プリアンプボード) を用いたものであることに注意されたい。

10.1 フレームオフセット

CISCO では連続してフレームを取得すると、2 枚目以降のフレームの各コドラントの端がはね上がる現象が生じる (図 10.1、10.2、10.3)。

この原因は現時点では確定できていないが、ファンアウトボード上の FET が読み出しを行っているときとしないときで温度が変わり、それによる出力電圧のオフセットのドリフトが生じているためであると考えており、現在対策を検討している最中である。

いずれにせよ、これまでのデータにはすべてこの跳ね上がりが起っており、データ解析にはこれを除去する工夫が求められる。

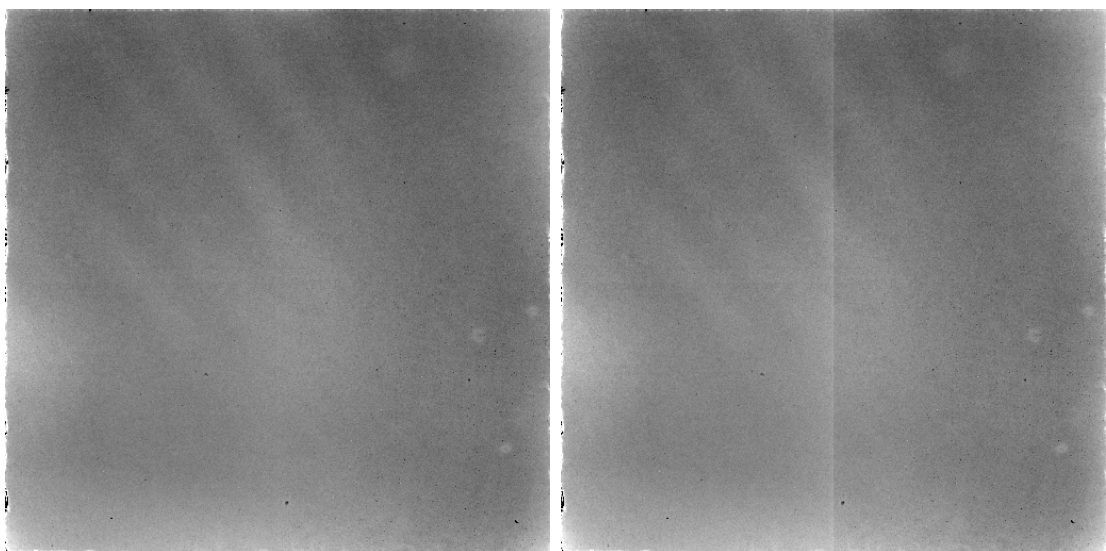


図 10.1: 連続して取得したフラットフレームの 1 枚目 (左) と 2 枚目 (右) のイメージ。

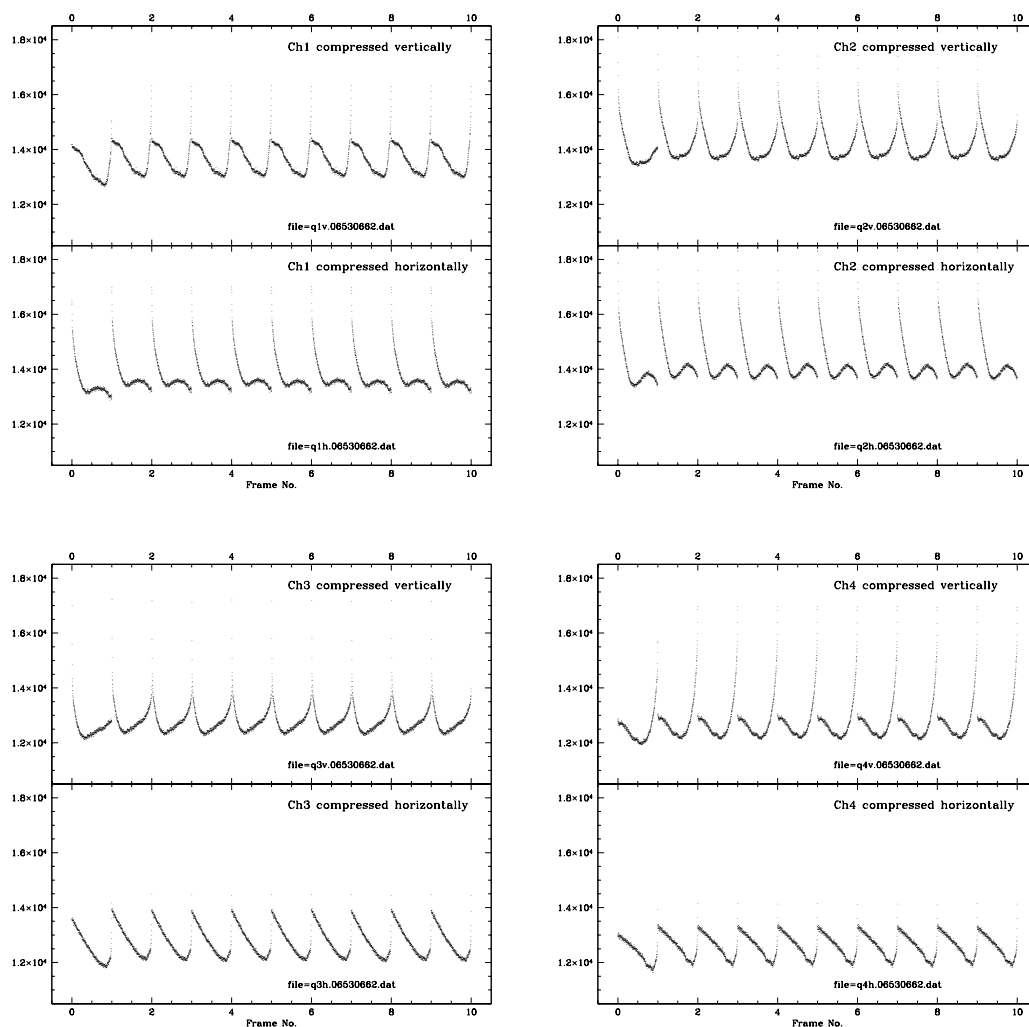


図 10.2: 連続して取得した 10 フレームのフラットフレームを 1 次元化して並べたもの。左上から順にコドラント 1, 2, 3, 4 のもので、それぞれ上段が縦方向に、下段が横方向に 1 次元化したものである。

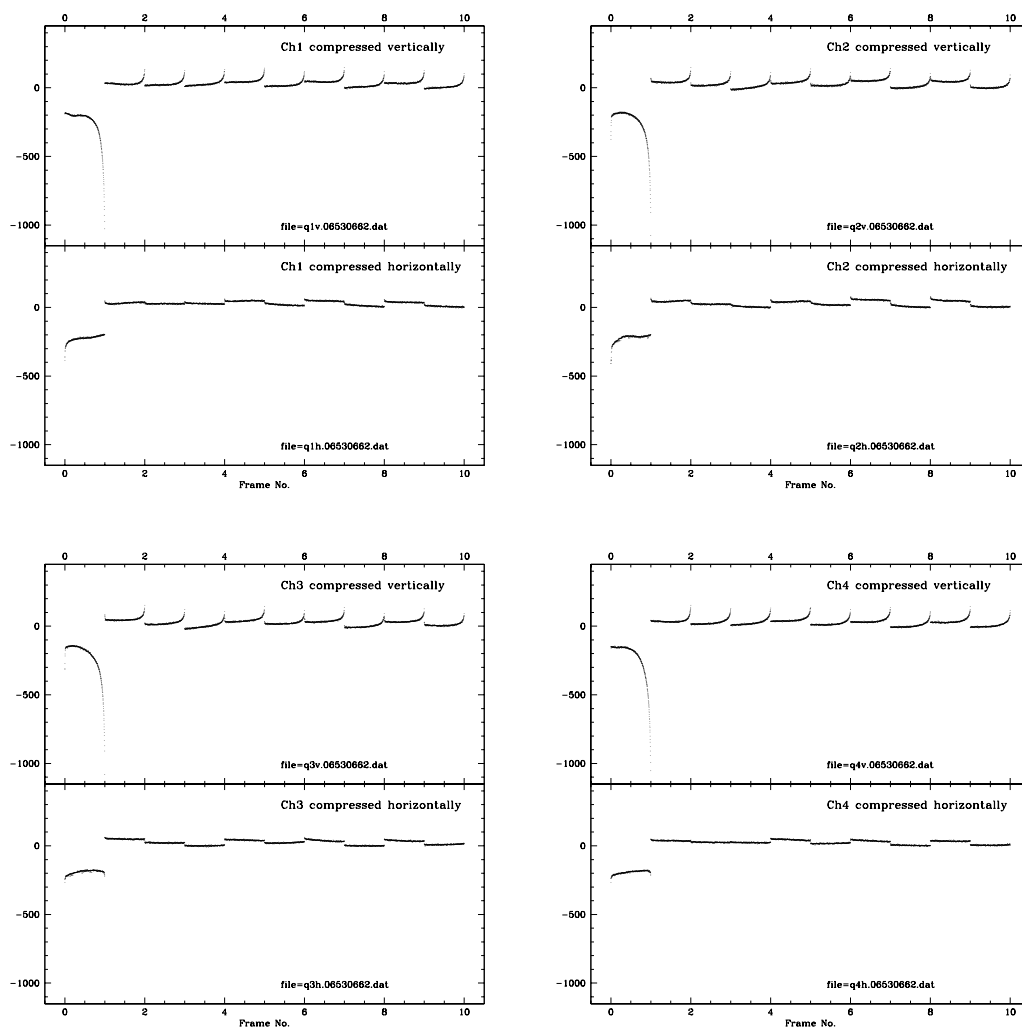


図 10.3: 図 10.2 のフレームから平均フレームを引き、1次元化して並べたもの。左上から順にコドラント 1, 2, 3, 4 のもので、それぞれ上段が縦方向に、下段が横方向に 1 次元化したものである。

10.2 Conversion Factor

10.2.1 予想値

検出器の電子 a 個が取得フレームの 1 ADU として読み出されるとき、その読み出しシステムの conversion factor を a (e^-/ADU) と定義する。

この値は以下のように算出される。

$$a = \frac{C_{\text{Det}}}{e} \frac{1}{G_{\text{Circ}}} A_{\text{ADC}} \quad (10.1)$$

ここで、

e	$= 1.60 \times 10^{-19} \text{ (C)}$	素電荷
C_{Det}	$= 20 \sim 35 \times 10^{-15} \text{ (F)}$	検出器 1 ピクセルの容量
G_{Det}	$= 0.76$	マルチプレクサ内部のゲイン ¹
G_{Circ}	$= (0.93 \text{ or } 0.81) \times 10.0 \times 1.26$	読み出し回路のゲイン
A_{ADC}	$= 10/2^{16} \text{ (V/ADU)}$	AD 変換器の変換ゲイン

である。新プリアンプボードと旧プリアンプボードではファンアウトボードの FET 回路のドレイン電圧が違っているため、この FET 回路のゲインに違いが現れる。予想される conversion factor は新プリアンプボードの時は $2.5 \sim 4.3$ (e^-/ADU)、旧プリアンプの時は $2.1 \sim 3.7$ (e^-/ADU) である。

10.2.2 測定方法

Conversion factor の測定は以下のように行う。

光子が入射して電子が生成される際、その電子の個数は Poisson 揺らぎをもつ。そこで光が入射して生じた電子の個数を N_e 、その揺らぎを σ_e とする。一方、そのときに読み出された ADU を N_{ADU} 、その揺らぎを σ_{ADU} 、また読み出しノイズを σ_{read} (ADU) とすると、conversion factor a を用いて以下のような関係が成立する。

$$k\sigma_{\text{ADU}} = \sqrt{N_e + k^2\sigma_{\text{read}}^2} \quad (10.2)$$

ここで $N_e = kN_{\text{ADU}}$ であるから結局、

$$\begin{aligned} a &= \frac{N_{\text{ADU}}}{\sigma_{\text{ADU}}^2 - \sigma_{\text{read}}^2} \\ &\sim \frac{N_{\text{ADU}}}{\sigma_{\text{ADU}}^2} \quad (\sigma_{\text{read}} \ll \sigma_{\text{ADU}}) \end{aligned} \quad (10.3)$$

となる。十分に σ_{ADU} が大きい、すなわち N_{ADU} が大きいフレームを連続して取得しその揺らぎを求めることにより、conversion factor を求めることが可能なのである。

¹ http://www.rsc.rockwell.com/websearch/mct_fpa/Hawaii/hawaii.html

10.2.3 実測結果

データ

CISCO のデュワー窓を覆って常温の熱輻射を見せつつ、フィルタ K' にして 20 フレーム連続で積分を行う。積分時間を 1.5~30 秒で変え、計 11 セットのデータを取得した。このデータ取得時は新プリアンプボードを用いている。

結果

読み出し時の DC オフセットの変動があるため、取得フレームのコドラントごとに 1 次のスプライン関数でフィットし、そのフレームの 픽セルごとの標準偏差 σ を算出し標準偏差フレームを作った。平均フレームをこの標準偏差フレームで割ることにより conversion factor フレームを得た。図 10.4 に平均フレームと conversion factor フレームの mode 値のプロットを示す。

値に揺らぎが大きいものの、平均すると $3.5 (e^-/\text{ADU})$ 程度である。また、この値から旧プリアンプ使用時の conversion factor が算出でき、その値は $3.0 (e^-/\text{ADU})$ となる。これら値は予想値と良く一致するので、以下この値を採用する。

10.3 読み出しノイズ

データ

ダークフレームを連続で 20 枚取得したフレームを用いる。データセットは、実験室内と望遠鏡に取付けたときにそれぞれマルチサンプルの回数を 1~6 まで変えて計 12 セット取得した。積分時間は 12 秒。ただし、望遠鏡に取付けた時のデータは望遠鏡の Az/El 軸を駆動させているとき。

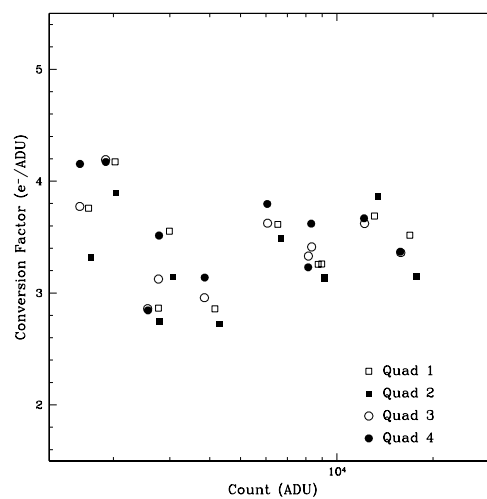


図 10.4: conversion factor フレーム値 対 平均フレーム値。

結果

読み出し時の DC オフセットの変動があるため、取得フレームのコドラントごとに 1 次のスプライン関数でフィットし、そのフレームの 픽セルごとの標準偏差 σ を算出し標準偏差フレームを作った。図 10.5 にマルチサンプル回数と標準偏差フレームの mean 値のプロットを示す。

望遠鏡に取付けたときの方がノイズが 1.5 倍程度増加することが分かる。ただし、望遠鏡の軸を駆動していないときの読み出しノイズは実験室内と同じレベルである。また、マルチサンプルの効果がはっきりと現れることが分かる。

望遠鏡に取付けたときに読み出しノイズは $21e^-$ r.m.s. 程度、6 回マルチサンプルを行うことにより $10e^-$ r.m.s. 以下となる。

10.4 リニアリティ

データ

黒体炉を見せ、積分時間を 1.4~32 秒まで変えて 5 枚ずつ、計 17 セットのフレームを取得した。スリットは視野の半分程度にまで閉じて、光の入射していない領域をオフセット補正に用いた。ただしこのデータを取得したときは HAWAII アレイ検出器のコドラント 1 が断線のため読み出し不能であったため、コドラント 1 のデータは得られていない。

結果

図 10.6 に積分時間と平均カウントのプロットを示す。積分時間が長い方で値がばらついているのは、感度の良い 픽セルがサチュレーションを起こしたため。図中の実線はカ

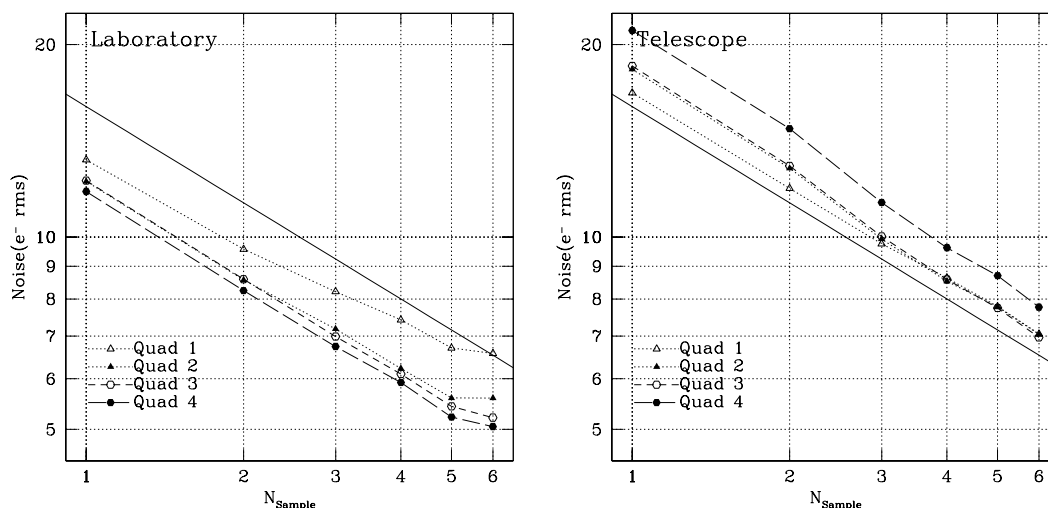


図 10.5: マルチサンプル回数 (N_{sample}) 対 標準偏差フレーム値 (σ_{read})。左が実験室での値、右が望遠鏡に取付けたときの値。実線は $\sigma_{\text{read}} = 16/\sqrt{N_{\text{sample}}}$ 。

ウントの低い領域でフィットしたもので、破線はその傾きを 2%増減したものである。これをみると、平均カウントが 20000 ADU を越えた付近からリニアリティが悪化し、25000 ADU 手前で 2 のサチュレーションが起こり始めている。

通常の観測ではカウントが 20000 ADU 以下の領域で用いるべきであろう。

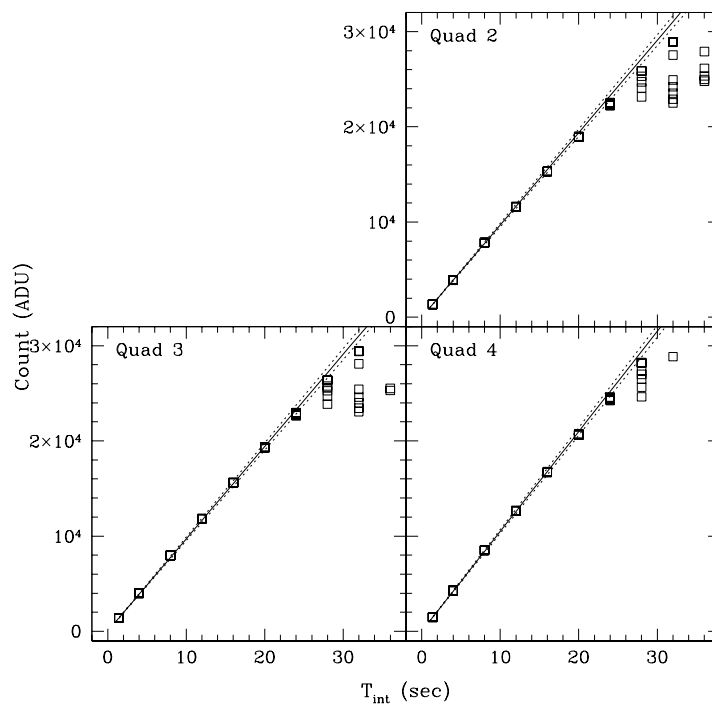


図 10.6: 積分時間とカウントの関係。実線はフィットした線、破線はその傾きを 2%増減したときの線。

10.5 システム効率

システム効率 η は大気の透過率、望遠鏡鏡面の反射率、CISCO 内部光学系の透過率、それに検出器の量子効率すべてを合わせた効率で、

$$\eta = \frac{N_{e-}}{4\pi D_{\text{tel}}^2 F_{\lambda} \Delta\lambda / h\nu} \quad (10.4)$$

で定義される。

ここで、

N_{e-} 単位時間あたり蓄積される電子の個数

F_{λ} flux density

$\Delta\lambda$ フィルタのバンド幅

D_{tel} 望遠鏡の口径

である。

すばる望遠鏡で観測した際のシステム効率を、1999年1月11日から1999年3月3日に観測した標準星 (FS : UKIRT Faint Standards ²) の結果より計算した。

効率と星像サイズでプロットしたグラフを図 10.7 示す。システム効率は K , K' バンドで 33%、 H バンドで 27%、 J バンドで 16% 程度であった。

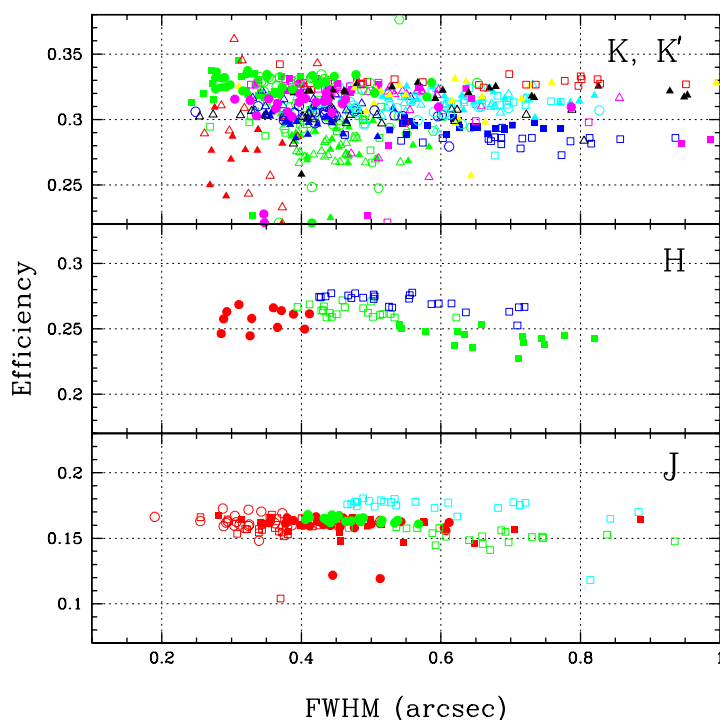


図 10.7: K , K' , H , J バンドでのシステム効率。

² http://www.jach.hawaii.edu/JACpublic/UKIRT/astronomy/calib/faint_stds.html

10.6 観測限界

10.6.1 理論値

関係式

点光源の観測限界は以下の式で与えられる

$$S/N = \frac{n_{\text{obj}} T}{\sqrt{(n_{\text{obj}} + A(n_{\text{bg}} + n_{\text{dark}})) T + A f \sigma_{\text{read}}^2}} \quad (10.5)$$

ここで、

n_{obj}	Object からの photon で検出器に生じる電子数 (e^-/s)
n_{bg}	Background photon で検出器 1 ピクセルに生じる電子数 (e^-/s)
n_{dark}	検出器 1 ピクセルあたりのダークカレント (e^-/s)
σ_{read}	検出器 1 ピクセルあたりの読み出しノイズ (e^- r.m.s.)
A	星像サイズ (pixels)
T	総積分時間 (s)
f	総フレーム数

である。

さらに、

$$n_{\text{obj}} = \frac{F_{\lambda, \text{obj}} \Delta \lambda}{h \nu} 4\pi D_{\text{tel}}^2 \eta \quad (10.6)$$

$$n_{\text{bg}} = \frac{I_{\lambda, \text{bg}} \Omega \Delta \lambda}{h \nu} 4\pi D_{\text{tel}}^2 \eta \quad (10.7)$$

で算出できる。ここで、

$F_{\lambda, \text{obj}}$	Object の flux density ($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$)
$I_{\lambda, \text{bg}}$	Background の surface brightness ($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{arcsec}^2$)
$\Delta \lambda$	バンドの波長幅 (μm)
ν	バンドの中心波長の振動数
D_{tel}	望遠鏡の口径
η	システム効率 (光学系のスループットと検出器の量子効率の積)

である。また、単一フレームの積分時間を t とすると、

$$f = \frac{T}{t}$$

となる。

計算結果

計算には以下の値を用いる。

$$n_{\text{dark}} = 0.1 \text{ (} e^-/\text{s)}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{\text{read}} &= 10 \text{ (} e^- \text{ r.m.s.)} \\
A &= 5 \times 5 \text{ (pixels)} \\
\Omega &= 0.116 \times 0.116 \text{ (}\square''\text{)} \\
D_{\text{tel}} &= 8.2 \text{ (m)} \\
T &= 3600 \text{ (s)}
\end{aligned}$$

		J	H	K'
λ	(μm)	1.25	1.64	2.12
$\Delta\lambda$	(μm)	0.16	0.29	0.34
η		0.16	0.27	0.33
$I_{\lambda,\text{bg}}^3$	($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{arcsec}^2$)	1.4×10^{-15}	5.0×10^{-15}	9.9×10^{-16}
t	(s)	40	20	20

結果は表 10.1 の通り。

10.6.2 観測結果

CISCO は 1999 年 2 月から 5 ヶ月間に渡ってすばるディープフィールド (SDF) と命名された領域の J バンドと K' バンドの長時間積分を行ってきた (Maihara et al. 2000)。その取得データから得られた限界等級は表 10.2 の通りである。 K' バンドの限界等級が予想よりも 0.2 等程暗くなっているが、これは予想に用いたバックグラウンドの値が実際に観測された値の 1.5 倍大きかったためである。

	J	H	K'
mag	23.1	22.4	21.8
$F_{\nu}(\mu\text{Jy})$	1.0	1.1	1.3

表 10.1: 星像サイズ $0''.6$ 、積分時間 3600 (sec) で $S/N=10$ となる限界等級の予想。

	J	K'
T (sec)	43520	34980
mag (実測)	24.9	23.6
mag (予想)	24.9	23.4

表 10.2: SDF の限界等級。Aperture サイズは $0''.6 \times 0''.6$ 、 $S/N = 10$ である。

³ Shure et al. 1994