

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-591

固体画像センサ性能評価システムの試作研究

本 間 幸 造 ・ 中 正 夫 ・ 奥 石 肇

1988年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

固体画像センサ性能評価システムの試作研究*

本 間 幸 造** 中 正 夫** 興 石 肇***

1. ま え が き

我が国初の海洋観測衛星MOS-1(もも1号)が昭和62年に、フランスのSPOTが昭和61年に打ち上げられこれらの衛星には、可視近赤外域画像センサとして電子走査式放射計(以下CCDセンサと略す)が用いられ、今後主流になると考えられる。

このCCDセンサは、センサ素子に固体撮像素子(以下CCD素子と呼ぶ)を用いCCD素子に光が照射されたときに発生する電荷を電子走査により外部回路に導出する方式である。このCCD素子は、小型軽量、低電圧、低消費電力、高信頼性、長寿命、耐振、耐衝撃性、残像が少ないことなど固体撮像素子全体にいえる特徴の他にデータ転送時間が短いことや転送効果が良いことなどの特徴を有している。一方CCD素子の欠点としては、赤色領域の波長で最大感度を有し、短波長の青色領域では感度が低く、可視波長域において感度特性が平坦でない点、及び画素間の感度不均一・干渉などがあげられる。又CCDセンサの撮像光学系では、光学系の収差により幾何学的歪や空間分解能(Modulation Transfer Function: MTF)が左右される。従ってCCD素子と撮像光学系を組み合わせたCCDセンサから計測されるリモートセンシングデータを有効利用するには、同CCDセンサ固有の感度歪、画素間干渉歪、幾何歪、空間分解能(MTF)などの画像特性を十分に把握する必要がある。この中の幾何歪、空間分解能(MTF)を中心にCCDセンサの特性を把握することを主目的として、基礎的性能評価システム

を製作した。

以下その仕様性能について報告する。

2. 固体画像センサ性能評価システムに要求されること^{1) 2)}

CCDセンサの空間分解能(MTF)を中心とする画像撮像特性を試験するための性能評価システムは、画素毎の感度不均一による濃度歪、画素間の干渉による歪、光学系による幾何歪や周辺光量低下、画像の解像度や鮮鋭度(シャープさ)を表す空間分解能(MTF)などの特性試験を行う機能が必要である。そのシステムは、図2-1に示されるように基本的に4つの要素、つまり第一にCCDセンサに投影する被写体としての各種基準パターンやフィルムデータの入力部、第二に同センサが被写体を撮像して出力する画像信号の処理系への入出力制御部、第三に入力された画像データを処理し、CCDセンサの性能を評価する画像処理部、及び基準パターン、フィルムデータ等を駆動したり支持するパターン駆動部から成る。

2.1 フィルムデータ入力部

実際のリモートセンシングシステムでは、CCDセンサが移動して対象を走査するが、実験室内では、CCDセンサは固定しておき、光学基準パターンの方を等速度で移動させることにより、センサは基準パターン面を等価的に2次元スキニングして撮像する方式が、1次元アレイを用いるリモートセンシングセンサの実験室内での試験としては実用的である。この方式においては、基準パターンを照明する光源の構成、基準パターンマスクの種類と作成、コリメータにより無限遠の被写体を構成すること、な

* 昭和63年4月28日受付

** 数理解析部

*** 制御部

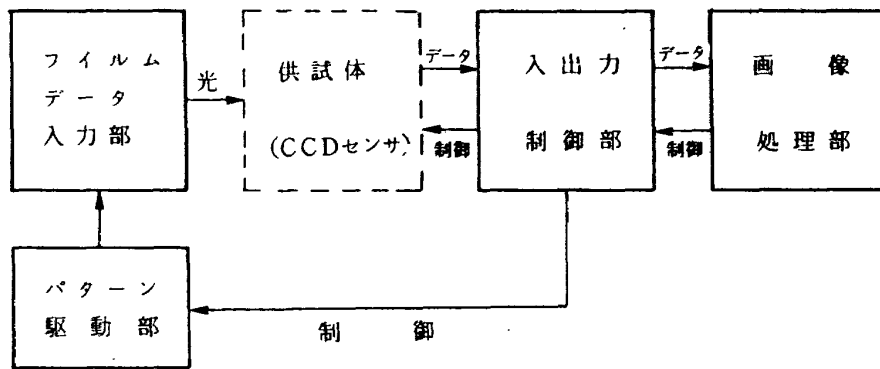


図2-1 固体画像センサ性能評価システム概念図

どの必要がある。

(1) 光源

リモートセンシング用可視近赤外域画像センサの評価に用いる光源としては、波長 300 [nm] から 1300 [nm] 位の間平坦な分光特性を持つものが望ましい。

(2) 被写体パターン

一般にリモートセンシングなどの放射計は、地表や対象物の反射または放射エネルギーに比例した濃度データを得るが、実験室内の試験では被写体として画像フィルムや基準パターンを用いる。

(3) コリメータ

放射計の空間分解能 (MTF) を評価するためには、無限遠の被写体を CCD センサに見せなければならない。光源と放射計の間にコリメータを設置することによりこの事が可能となる。

2.2 入出力制御部

入出力制御部で要求される基本的機能は、第一に CCD センサから出力されるアナログビデオ信号を入力し、A/D 変換、バッファメモリにデジタルデータとして一時格納、その後このバッファメモリのデータを画像処理部へ転送出力するなどの画像入出力制御である。第二に画像処理部からの制御信号によりフィルムデータ入力部、CCD センサ、パターン駆動部などと同期をとる同期制御である。これらの機能を満足するためには、変換時間、バッファメモリの容量、データの転送方式、フィルムデータ入力部や CCD センサそしてパターン駆動部などの制御信号の方式、種類などを検討し決定する必要がある。

2.3 画像処理部

入出力制御部で A/D 変換された CCD センサからの画像データは、画像処理部の GPIB インタフェースを介してその画像処理計算機の主メモリに並列高速転送される。この転送されたデータは、生データのまま、あるいは各種処理を行った後に磁気テープへ書込まれ、CRT、ラインプリンタ上への表示あるいは出力される。

この処理として必要とされるものは、画像データ収集処理や感度歪補正、統計、空間分解能 (MTF) 計算処理などと画像データの出力処理等である。

2.4 パターン駆動部

衛星による地球観測の場合を考えると、軌道方向に移動するセンサは、軌道と直交方向にスキャンすることにより地表面を観測し面データを得ている。実験室では、CCD センサを固定し、被写体 (パターン) を移動することにより上記と同様の状態を作り出す。このために光源とコリメータの間にパターン駆動部を配し、被写体パターンを光軸に垂直面内で駆動することが必要である。このパターンの駆動は、高精度で行う必要がある。

2.5 定盤・防振台

光学系の振動は、非常に大きく測定精度に関係する。よって出来るかぎりシステム全体を防振する必要がある。

本性能評価システムの設置場所は、大型計算機等の電動発電機による微震動があり (測定により約 5 [Hz])、また道路を通過する自動車などの振動も大きく、これらを除去する為に防振台の上に定盤を設置することが必要である。

2.6 ソフトウェア

ソフトウェアとしては、フィルムデータ入力部、入出力制御部、パターン駆動部などの制御用とデータの収集、解析処理、出力表示等の機能が要求される。

収集機能としては、各部の制御と磁気テープに実験内容やCCDセンサからの画像データを書込むことである。

解析処理としては、CCD素子のダークバイアス補正、感度補正、分光感度特性などを考慮してCCDセンサの空間分解能(MTF)特性を求めることである。

出力表示機能としては、収集された画像データや解析処理された結果などをCRTやプリンタ上に表示することである。

3. 固体画像センサ性能評価システムの製作

製作した性能評価システムの構成ブロック図を図3-1に示す。本性能評価システムの動作概要は、以下の通りである。

フィルムデータ入力部は、一様な面光源で照明された基準パターン(画像フィルム又は分解能テストチャートパターンなど)をコリメータを通して無限遠点の対象として供試CCDセンサに見せる。

供試体のCCDセンサは、この被写体からの光エネルギーを一定時間積分して電気信号に変換してか

ら1ライン分(最大2068画素)ずつ並列にシフトレジスタに転送する。

入出力制御部では、CCDセンサ内のシフトレジスタにストアされている出力信号を一画素ずつ逐次読み出し、これを10ビットでA/D変換し、ラインバッファにストアする。そして1ライン分の読み取り終了時に駆動パルスを出力する。それと同時にラインバッファの内容は、画像処理計算機の主メモリへ転送される。パターン駆動制御装置は、パルスモータで基準パターンを1ライン分平行移動させる。以上の動作を入力するライン数だけ繰り返すことにより画像データを収集することができる。

画像処理部は、入出力制御部へ制御信号を送り、入出力制御部からのデジタル化された画像データを取り出し受信する。画像処理部は、これらの制御をプログラムモードで行い、又画像データの各種補正処理や分解能(MTF)計算、出力処理などを行う。

以下製作したフィルムデータ入力部、入出力制御部、画像処理部、パターン駆動部及びソフトウェアについて述べる。

3.1 フィルムデータ入力部

フィルムデータ入力部は、第2章で述べた如く光源、被写体(基準パターン、フィルムデータ等)、コリメータ、その他被写体パターン支持部より構成されている。又光源は、ハロゲンランプ、コンデンサレンズ、ディフューザより構成されている。

光源で照明された被写体は、パターン駆動部によ

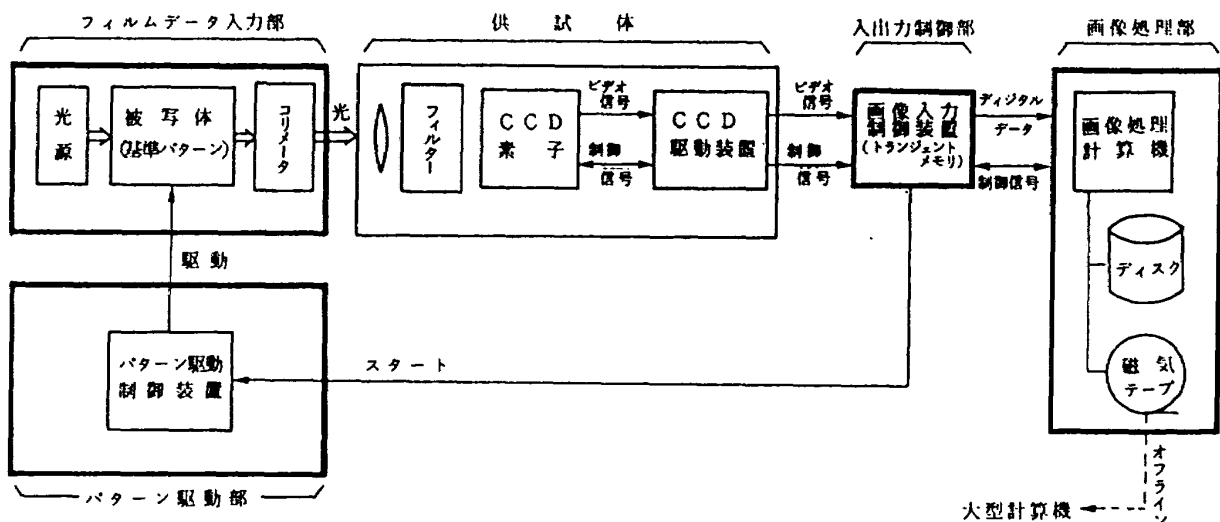


図3-1 固体画像センサ性能評価システムブロック図

り横方向に一定距離移動される。

CCDセンサは、コリメータを通して無限遠にあるものとして被写体を見る。このコリメータは、被写体支持部の直前に設置される。

これら光源、被写体、コリメータ、CCDセンサの光軸は、オートコリメータにより測定し、高精度に一致させてある。

(1) 光源

光源用のランプとして2章で述べた様な出力の分光特性が平坦な条件を満たすものがない。そこで波長400 [nm] から900 [nm] 迄は直線的に変化し、900 [nm] 以上で下降傾向を示す分光特性をもつハロゲンランプを用いることとした。300 [nm] から400 [nm] までと900 [nm] 以上については、ここでは評価試験の範囲から除外し必要に応じて分光特性により補正するか、あるいは他の光源を用いて行うこととした。光源面は、一様な拡散面光源とする必要から円筒状のハロゲンランプとコンデンサレンズ、ディフューザの各光学素子を組み合わせて一様な拡散面光源を構成した。ここでハロゲンランプは、十分な光量を得るため1 [kw] の物を用い強制空冷により、発熱による破損や特性の変化の影響を除去した。

光源のハロゲンランプ(約180 [mm] 長) 光は、コンデンサレンズで集光された後ディフューザにより一様な拡散光源となる。ここでコンデンサレンズは、幅約40 [mm]、長さ200 [mm]、厚さ24 [mm]、ディフューザは、幅約20 [mm]、長さ203 [mm]、厚さ5 [mm] のものより構成されている。ハロゲンランプとコンデンサレンズ、ディフューザの間は、それぞれ距離があるため屈折により有効光源面の大きさがどのようになるかを検討する必要がある。検討の結果コンデンサレンズが幅約40 [mm] である程度平行光源となるのでディフューザも幅40 [mm] 以下であれば、それを照射するには十分である。縦方向には、コンデンサレンズ、ディフューザ夫々約200 [mm] の長さがあり、これを通してハロゲンランプにより照射されるパターンは、光軸中心で上下方向に±35.5 [°] の角度が有効となる(付録A参照)。

又コリメータの有効径の大きさから、被写体としての有効な部分は直径約40 [mm] の円内に制限されることが明らかになった。これらの検討に基づき光

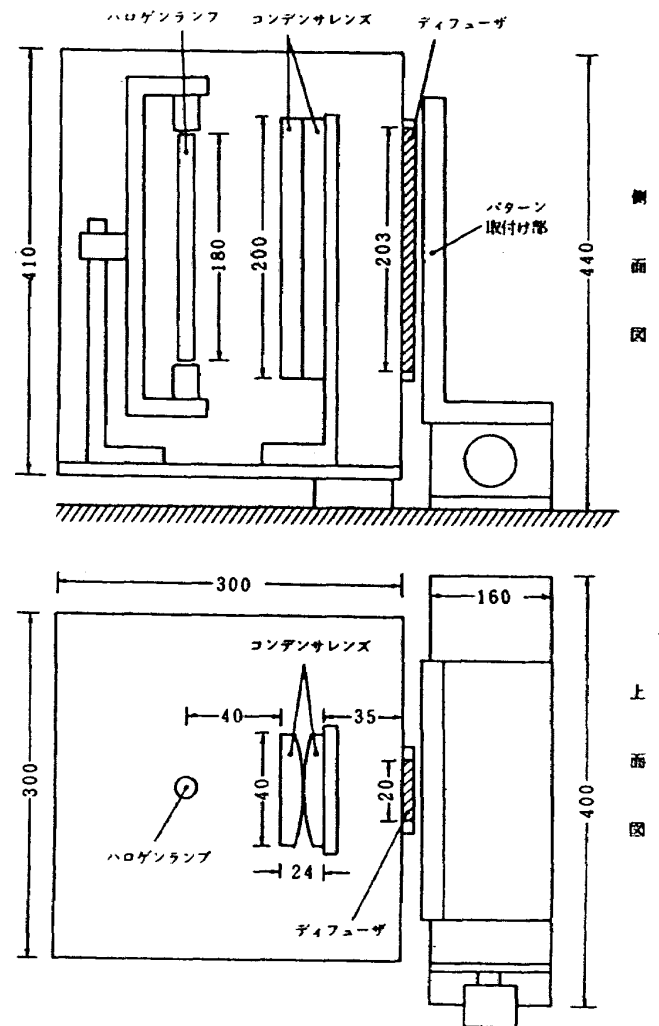


図3-2 光源配置図

源は、図3-2に示すような配置としたものを製作した。

(2) 被写体パターン

被写体パターンの大きさは、市販されている最高精度のガラスを使用し、面精度が10 [μm] 以下で5 [インチ²] のものに統一した。以下に作成した被写体パターンの種類と内容について記す。又各々のパターンの概略図を図3-3に示す。

(a) 対数濃度グレースケールパターン

CCDセンサなどの直線性を計測するために、EIAJ規格(日本電子機械工業会規格)による対数濃度グレースケールを用意した。透過度と濃度の関係は次式によって与えられる。

$$\text{濃度 } n = -\log_{10} T'/T \quad (1)$$

但し T ; 入射光強度

T' ; 屈折光(透過光)強度

(1)式より求めた結果を表3-1に、パターンの寸

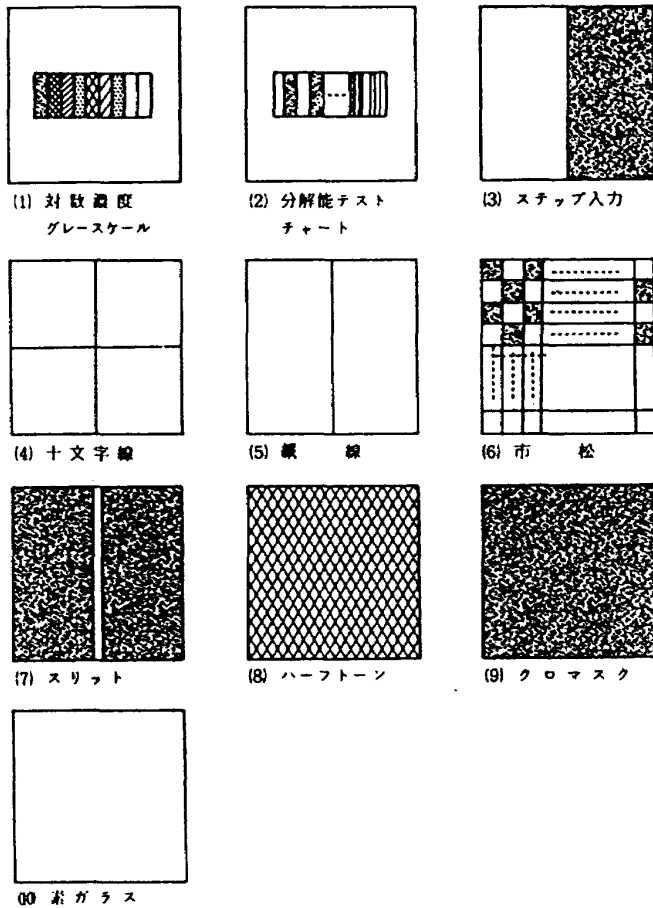


図 3-3 パターンの概略図

表 3-1 透過率と濃度の関係

ステップNO.	透過率 $t[\%]$	濃度 n
1	60.0	0.2219
2	41.3	0.3841
3	28.4	0.5467
4	19.5	0.7100
5	13.4	0.8729
6	9.2	1.0362
7	6.3	1.2007
8	4.4	1.3566
9	3.0	1.5229

EIAJ基準による

法を図 3-4 に示す。表に示すように 9 レベルのグレースケールとする。

(b) 分解能テストチャートパターン

撮像光学系や CCD センサの空間分解能 (MTF) を測定するには、濃度が正弦波状に変わる濃淡チャートが最も適するが、これを精度良く製作することは困難であり、格子縞状の矩形波格子が作成しやすいのでこれを用いる。この分解能テストチャートの寸法を図 3-5 に、単位長さ当たりのチャートの数とパターンの間隔を表 3-2 に示す。

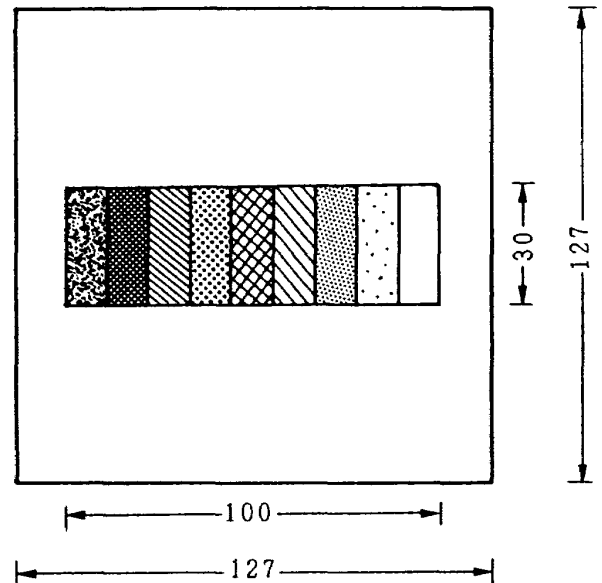


図 3-4 対数濃度グレースケールパターン形状

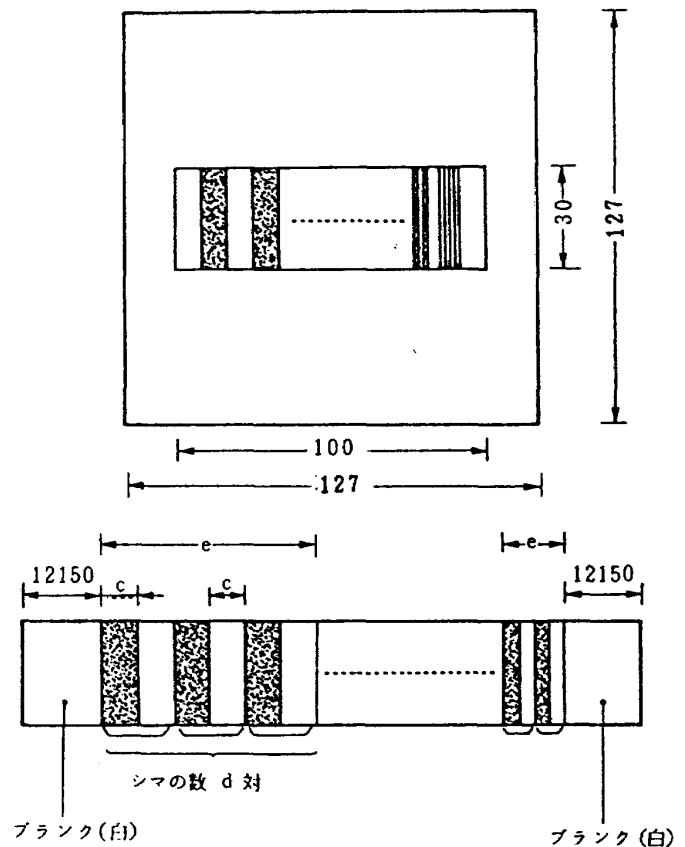


図 3-5 分解能テストチャートパターン形状

表 3-2 分解能テストチャート

NO.	規格値 lp/mm	ライン幅 C[μm]	対 d	対の長さ e=2c•d[μm]
1	ブランク			12150
2	2.0	3000	3	18000
3	5.0	1200	3	7200
4	10.0	600	5	6000
5	12.5	480	5	4800
6	20.0	300	5	3000
7	ブランク			4000
8	25.0	240	6	2880
9	30.0	200	6	2400
10	34.9	172	6	2064
11	39.5	152	6	1824
12	ブランク			4000
13	45.5	132	7	1848
14	50.0	120	7	1680
15	55.6	108	7	1512
16	60.0	100	7	1400
17	ブランク			2000
18	65.2	92	8	1472
19	71.4	84	8	1344
20	75.0	80	8	1280
21	83.3	72	8	1152
22	ブランク			2000
23	88.2	68	10	1360
24	93.7	64	10	1280
25	100.0	60	10	1200
26	ブランク			12150
合計				100000

(c) ステップ入力パターン

一般的な空間特性の測定用に、5 [インチ²] の右半分をマスクし左半分のみ透過するステップ入力パターンを用意した。

(d) 十文字線パターン

各光学素子や性能評価システムの光軸あるいは中心線を決定する為に幅 50 [μm] の十文字に線を描いたものを用意した。

(e) 縦線パターン

(d)と同様に垂直方向の決定用に線幅 20 [μm] の縦線を描いたものである。

(f) 市松パターン

CCD センサの空間分解能 (MTF) 特性や画像の全体的なわん曲歪などの測定用として、5 [mm] 平方の白黒の市松模様を用意した。

(g) スリットパターン

(e)とは逆のパターンで、ラインスプレッドファンクション (Line Spread Function: LSF) による分解能測定、光軸合せや画像の中心決定用として、中心部の各 20, 55, 100 [μm] 幅のみ透過するスリットを 3 種類用意した。

(h) ハーフトーン

ハーフトーンのパターンとしては、透過率約 50 [%] のものが望ましいが、ガラスの表面蒸着技術の関係で製作不可能であるため透過率 12 [%] のものを用意した。

(i) クロマスク

ダークバイアス (暗電流) 等の測定用として、透過率 0 [%] とするために、ガラスの表面に金属クロム処理し全面黒くしたものを用意した。

(j) 素ガラス

フィルム画像データなどを挟み込む為のもので全面透過率 100 [%] に近く、面精度 10 [μm] 以下のものを用意した。

(3) コリメータ

無限遠点の対象物を模擬するためには、被写体パターンと CCD センサの間にコリメータを設置する必要がある。ここでコリメータは、焦点距離が長ければ長いほど良く、対物レンズの有効径も大きい程 CCD センサの焦点距離が大きいものまで評価可能となる。本システムでは、焦点距離 $f_2 = 2000$ [mm], 対物レンズ有効径 120 [mm] を用いている。

このコリメータを使用する事により被写体は、像面で縮小される。被写体の大きさを y_1 、像の大きさを y_2 とすると被写体の縮小率 y_2/y_1 は CCD セ

ンサの焦点距離 f_1 とコリメータの焦点距離 f_2 の比として $y_2/y_1 = f_1/f_2$ で与えられる。例えば焦点距離 $f_1 = 500$ [mm] の CCD センサを考えると、像面では 500 [mm] / 2000 [mm] = $1/4$ の大きさに縮小される。よって被写体の寸法上の誤差も像面では約

$1/4$ に縮小される。

表 3-3 にフィルムデータ入力部の規格を、写真 1 に光源、2 に被写体とその駆動部を、3 にコリメータを含む全体の配置を示す。

表 3-3 フィルムデータ入力部性能・規格

名 称	項 目	性 能 ・ 規 格
光 源	ハロゲンランプ	120[V](DC), 1000[W], 2200[lm]
コリメータ	焦 点 距 離 口 径 寸 法 重 量	2000 [mm] 120 [mm] 2050 x 250 x 260 [mm] 56 [kg]

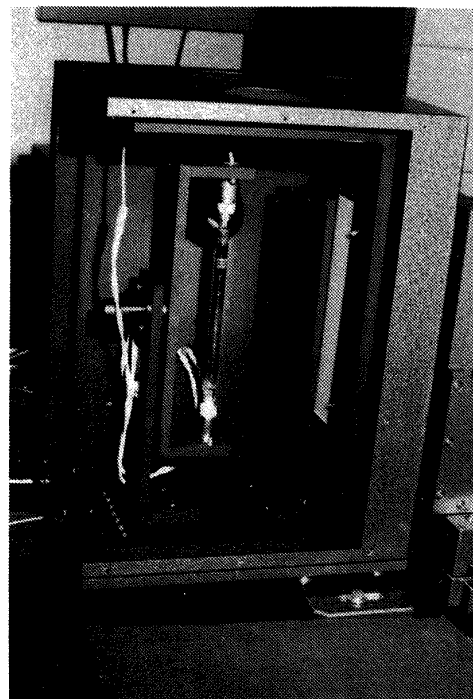


写真 1 光 源

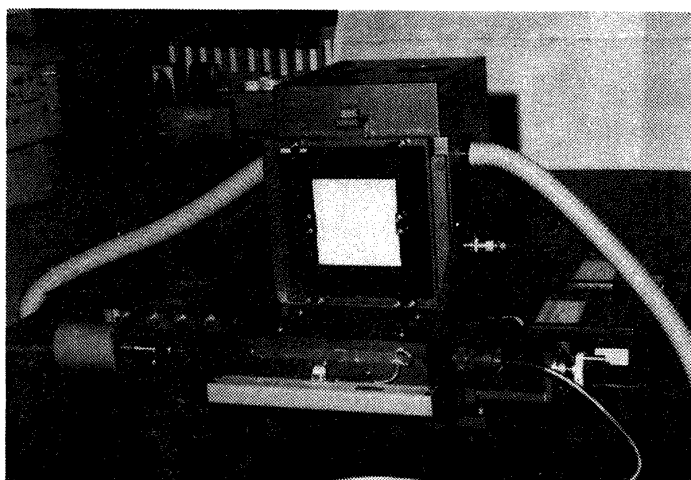


写真 2 被写体, 駆動部

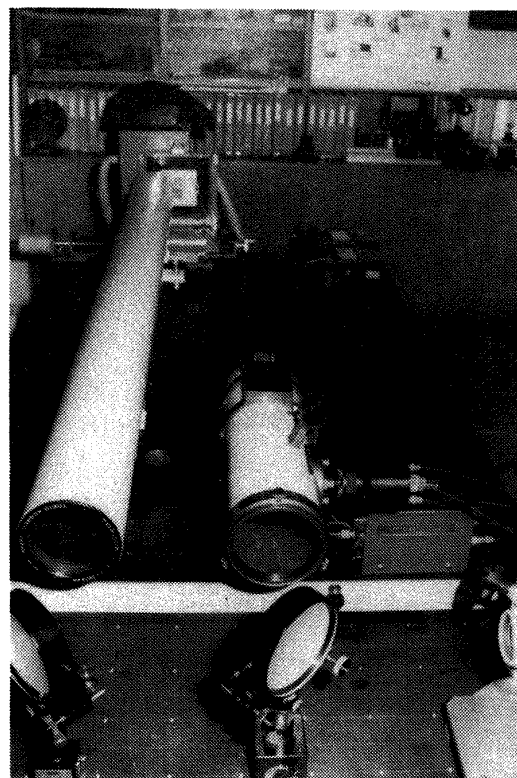


写真 3 被写体, コリメータと
CCD センサの全体配置

3.2 入出力制御部

入出力制御部の主要部である画像入力制御装置は、大別して次の5つの回路部から構成されている。

- (1) サンプルホールド、A/D変換回路
- (2) メモリおよびバッファ
- (3) 制御回路（割り込み、同期）
- (4) D/A変換回路
- (5) 表示部・電源部

以下その動作の概略を画像入出力制御、同期制御の観点より述べる。

(1) 画像入出力制御

CCDセンサ（供試体）で受けた光情報は、光電変換されアナログビデオ信号として出力される。このCCDセンサからの出力信号は、濃淡に比例したアナログ信号であり、画像入力制御装置（トランジェントメモリ）に入力しA/D変換するには、量子化誤差ができるだけ少なく高分解能で、またA/D変換も高速なことが必要である。CCDセンサのタイミングについては、基準クロックを400 [kHz] とすると、アナログビデオ信号（AVIDEO）はストロブ信号（STRB）1周期の間（2.5 [μ s]）にサンプルホールド回路でサンプルホールドし、その後A/D変換回路で変換を行いバッファメモリに書き込まなければならない。このことからサンプルホールド時間、A/D変換時間、バッファ書き込み時間の合計が2.5 [μ s] に等しいかそれ以下でなければならない。A/D変換器の入力は、0～+5 [V]とし、CCD素子の一画素当たりの濃度分解能から分

解能は8～10ビット必要である。又バッファメモリの容量は、CCD素子の画素数から2068語以上必要である。以上の条件を満足するには、バッファメモリとして10ビット並列転送で2070語のものを用い、A/D変換器も高速で約900 [ns] のものを使用することが必要であり、それにより2.5 [μ s] 以下でバッファメモリに書込むことが可能になる。

一方画像入力制御装置と画像処理部の画像処理計算機の間は、IEEE STD488の規格に準じるGPIB (General Purpose-Interface Bus) のデータバスを用いることにより、データを並列に高速転送を行う事が可能になる。また制御も簡略化できる。しかしながらA/D変換後のCCDセンサからの画像データは、バイナリ化された10ビット構成のデジタルデータであり、GPIBのデータバスが8ビット構成の為図3-6に示されるようにデータを上位バイトと下位バイトに2分割し1ワード（16ビット）として格納した後、画像処理部へ転送する必要がある。転送は、最初に上位バイト（MSB側）を、次に下位バイト（LSB側）の順で行う。A/D変換されたバイナリデータのビット構成は、図のようになっているので、バイナリデータを数値に変換する時には2ビット右へシフトするか4で割り算を行う必要がある。データの表現範囲は、-（マイナス）フルスケールから+（プラス）フルスケールまでであり、16進表示で0000から03FF、10進表示で0から1023となる。

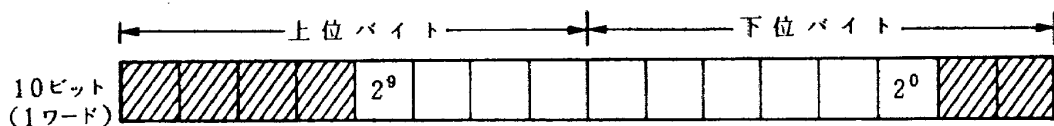


図3-6 ビット構成

(2) 同期制御

CCDセンサやフィルムデータ入力部およびパターン駆動部の制御は、画像入力制御装置の制御回路と画像処理計算機によりGPIBの転送手順に基づいて行う。

入出力制御部の制御信号の流れを図3-7に示す。この図において画像入力制御装置は、画像処理部か

らのプログラム制御により起動がかかり、デバイスクリア（DC）信号により装置を初期状態にする。次にサービスリクエスト（SR）信号を受信した後、CCDセンサからアナログビデオ（AVIDEO）、クロック（CLOCK）、ストロブ（STRB）信号などを受信し、A/D変換、バッファメモリ書き込みを行う。このバッファメモリのアナログビデオデータ

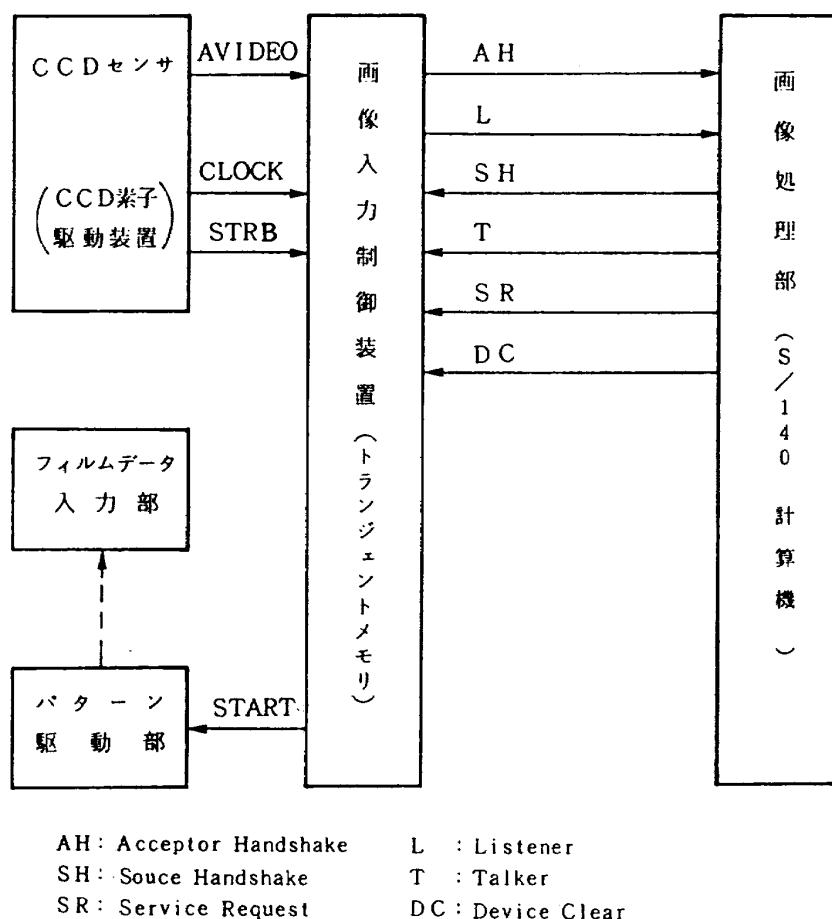


図3-7 入出力制御部制御信号の流れ

(画像データ)をトーカ(T)信号により画像入力制御装置から画像処理部へ送信する。送信データは、ソースハンドシェイク(SH)機能により GPIBバスに出力される。画像処理部は、リスナ(L)信号により画像入力制御装置からデータを受信する。受信データは、アクセプタハンドシェイク(AH)機能により GPIBバス からデータとして取込まれる。ウィンドデータで設定されたスキャンライン数が複数ラインのときは、再びトーカ(T)信号から繰り返され、全スキャンライン分のデータが転送された後に画像データの転送を全て完了する。

このように制御は、画像処理計算機からのプログラム制御により行われる。

次にパターン駆動部における同期制御は、画像処理部からのトーカ(T)信号を一旦画像入力制御装置

に投入し、単に通過させたその信号により、パターン駆動部のパルスモータの駆動を開始する。パルスモータが設定されたラインピッチ幅だけ動作した後、パルスモータのダンピングを考慮し 1 [ms] ~ 50 [ms] の遅延時間後に新しいトーカ(T)信号により次の動作にうつる。

画像入出力制御や同期制御の状態をモニタにするには、D/A 変換回路によりバッファメモリに書込まれている画像データ、同期信号が外部へアナログ信号として出力される。又画像入力制御装置の動作状態を表示するランプなどがある。

入力信号・制御信号の種類と内容を付録表B-1に示す。

製作された画像入力制御装置の性能・規格を表3-4に、装置の外観を写真4に示す。

表 3 - 4 画像入力制御装置の性能・規格

項 目		性 能 ・ 規 格
メインコントロール	チャネル数	2チャンネル
	書込クロック	1[μ s]～500[ms/ワード](18ステップ)
	トリガレベル	± 5 [V] (EXT)
	読出し速度	2[μ s]～500[ms/ワード](16ステップ)
	インタフェース	GPiB , 16ビットI/O
入力増幅器	入力インピーダンス	1 [M Ω \pm 1%] , 35 [PF]
	入力レンジ	0.1 [Vpp]～50 [Vpp](9ステップ)
	ゲイン	x1～x0.4 (連続可変)
	周波数帯域	DC ; DC \sim 300 [KHz] (-3db) AC ; 10 [Hz]～300 [KHz] (-3db)
	入力オフセット	各レンジ共フルスケール以上
A/D 変換器	分解能	10ビット(1/1024 \approx 0.1%)
	変換方式	二重並列変換
	変換時間	約900 [ns]
	コード	バイナリコード
記憶部	素子	スタティックRAM
	容量	10ビット x 2070ワード
	速度	1 [μ s/ワード]以下

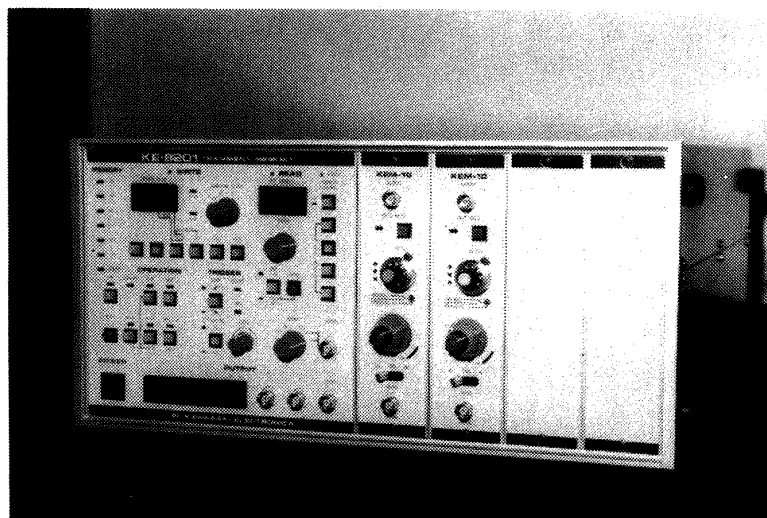


写真 4 画像入力制御装置

3.3 画像処理部

本性能評価システム全体は、この画像処理部によりプログラム制御される。画像処理部と入出力制御部との間では、画像処理計算機のGPIBインタフェースによりデータの取込、制御信号の送受を行う。CCDセンサからの画像データは、画像処理計算機からの制御信号により画像入力制御装置にストアされているものをGPIBバスを通して読み出し、画像処理計算機の主記憶装置を経由して一旦磁気テープにストアされる。その後各種補正処理や空間分解能(MTF)特性を求める処理が施された後にCRT表示あるいはタイプライタに印字出力される。

(1) ハードウェア構成

画像処理部は、図3-8に示される画像処理計算機(S/140)を中心として主メモリ256 [KB] (但

しデュアルプログラムの場合は128 [KB]), 固定ディスク73 [MB], カートリッジディスク2.5 [MB] 2台, 磁気テープ装置800/1600 [BPI], CRT, TTY からのなる。又画像入力制御装置とはGPIBインタフェースで結合されている。

GPIBインタフェースの制御は、画像処理計算機側のFORTRAN 5 言語で作成されたプログラムによりGPIBハンドラを起動し、GPIBバスを経由して画像処理計算機側から見て外部機器である画像入力制御装置を制御する³⁾⁴⁾⁵⁾。又GPIBインタフェースに関しては、構成図を付録図B-4に、信号の種類とコネクタピン番号を付録図B-5に示す。

製作された画像処理部の性能・規格を表3-5に、装置の外観を写真5に示す。

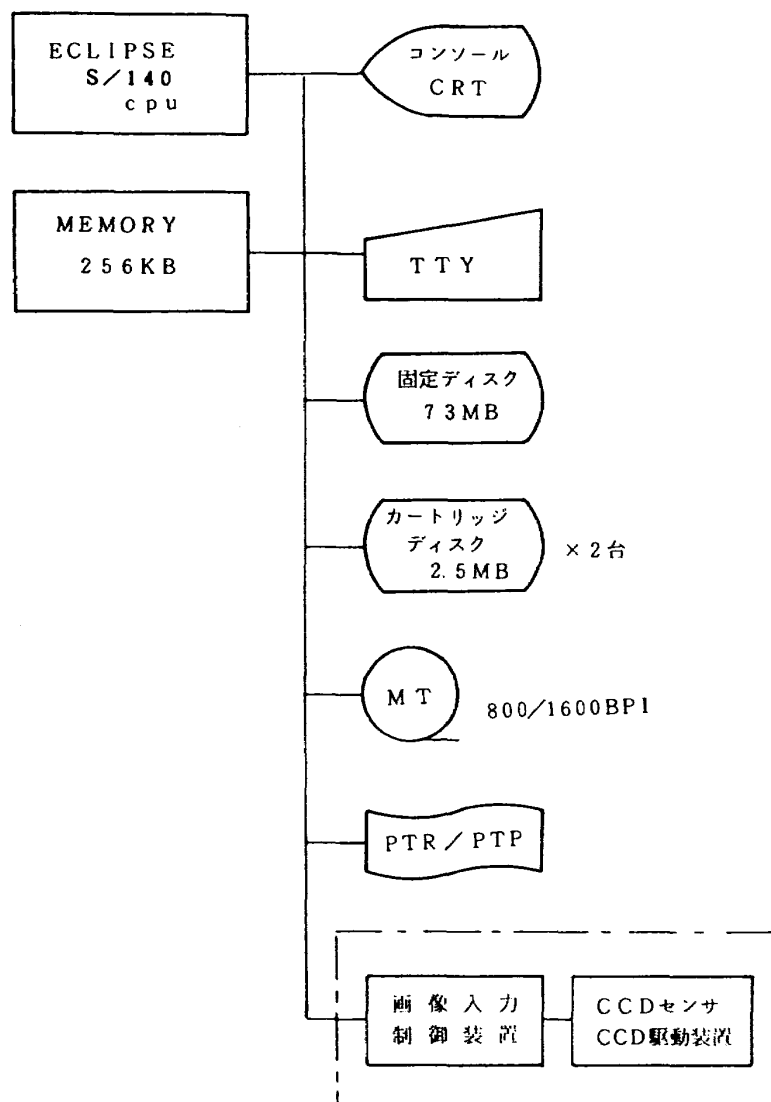


図3-8 画像処理部構成図

表 3 - 5 画像処理部性能・規格

項 目		性 能 ・ 規 格
記 憶 装 置	素 子 語 長 サイクルタイム 記 憶 容 量	半導体メモリ 16 [ビット] 400 [ns] 256 [Kバイト]
演 算 装 置	アキュムレータ インデックスレジス タ アドレスモード	固定小数点 ; 4 浮動小数点 ; 4 (FPU付) ハードウェア ; 2 メモリ ; 16 64 [Kバイト]直接アドレス 相対、多重間接
固 定 デ ィ ス ク	記 憶 容 量 転 送 レ ー ト 平均アクセスタイム	73 [Mバイト] 1012 [KB/S] (最大) 27 [ms]
ディスクカートリッジ	記 憶 容 量	2.5 [MB] x 2 [台]
磁 気 テ ー プ 装 置	ト ラ ッ ク 数 テ ー プ 速 度 記 憶 密 度	9 75 [ips] 800 [BPI]/1600 [BPI] x 1 [台]
CRT ディスプレイ	スクリーンサイズ 表 示 文 字 数 文 字 構 成 キ ー ボ ー ド	12 [インチ] 80[文字] x 24[行] ,1920[文字] 7 x 11 [ドットマトリックス] ASCII 96 [文字]
タイプライタ	印字速度と桁数 文 字 種 類	140 [字/秒]、80 [桁] ASCII64 + カナ文字



写真5 画像処理部

(2) CCDセンサの性能, 評価処理

CCDセンサの性能, 評価は, 感度特性, 干渉特性や幾何学歪特性, 空間分解能(MTF)特性を求めることにより行える。

例えば感度特性は, まず最初にCCD素子単体のダークバイアスや感度特性を測定し, 測定結果に基づいてダークバイアス補正や感度補正を行うことによりCCDセンサの特性を把握することができる。干渉特性や幾何学歪特性についても, 各々の測定用パターンを用いて特性を得ることができる。

次に撮像光学系単体の空間分解能(MTF)を測定しておき, 分解能テストチャートパターンを用いてCCDセンサの空間分解能(MTF)を測定する。このCCDセンサと撮像光学系単体の空間分解能(MTF)測定結果を比較し, 特性が評価できる。

空間分解能(MTF)の計算処理は, 分解能テストチャートパターンによりCCDセンサの黒白コントラスト比を測定し, その結果より計算することができる。分解能テストチャートパターンの線の最も白い部分の明るさ a と最も暗い部分の明るさ b とから, コントラスト C は,

$$C = (a - b) / (a + b) \quad (2)$$

と定義できる。

もし分解能テストチャートの暗い部分が完全に真っ暗であれば b が 0 だからコントラストは 1 となり, a と b の差がなければコントラストは 0 となる。

そこで分解能テストチャートのコントラストとCCDセンサを通して見たコントラストの比を求め, あ

る空間周波数における空間分解能(MTF)が計算できる。このようにして異なる数種類の空間周波数について同様の測定と計算を行えば空間分解能(MTF)特性が得られる。

これらの一連の処理を画像処理部で行うが, そのプログラムの内容については, ソフトウェア構成の節で述べる。

3.4 パターン駆動部

パターン駆動部は, 被写体を取りつけてあるステージの駆動制御を行うものであり, 画像入力制御装置からのスタート, エンド信号により駆動される。このスタート信号が入力されるとブロック図3-9の示すスキップスイッチ, ラインピッチスイッチにより設定された条件に従いスキップし, 設定ライン幅で被写体のサンプリングを行う。1ラインピッチ分移動した後にエンド信号を出力し, その後再びスタート信号によりパルスモータを駆動し移動終了後にエンド信号を出力する動作を繰り返す。

被写体の最大の大きさは, 光源のランプの大きさ $200 \text{ [mm]} \times 200 \text{ [mm]}$ により制限され, 移動可能な最大長は 200 [mm] となり, 画像処理部からの制御信号によりパルスモータで被写体を駆動する。駆動終了時はパルスモータのダンピング特性を考慮する必要がある。また, 被写体の任意の部分のみのデータを入力できるようにするため, 被写体のスキップを行うスキップ幅と面画像として取り扱う場合のピッチ幅の設定を任意に行える機能をもっている。

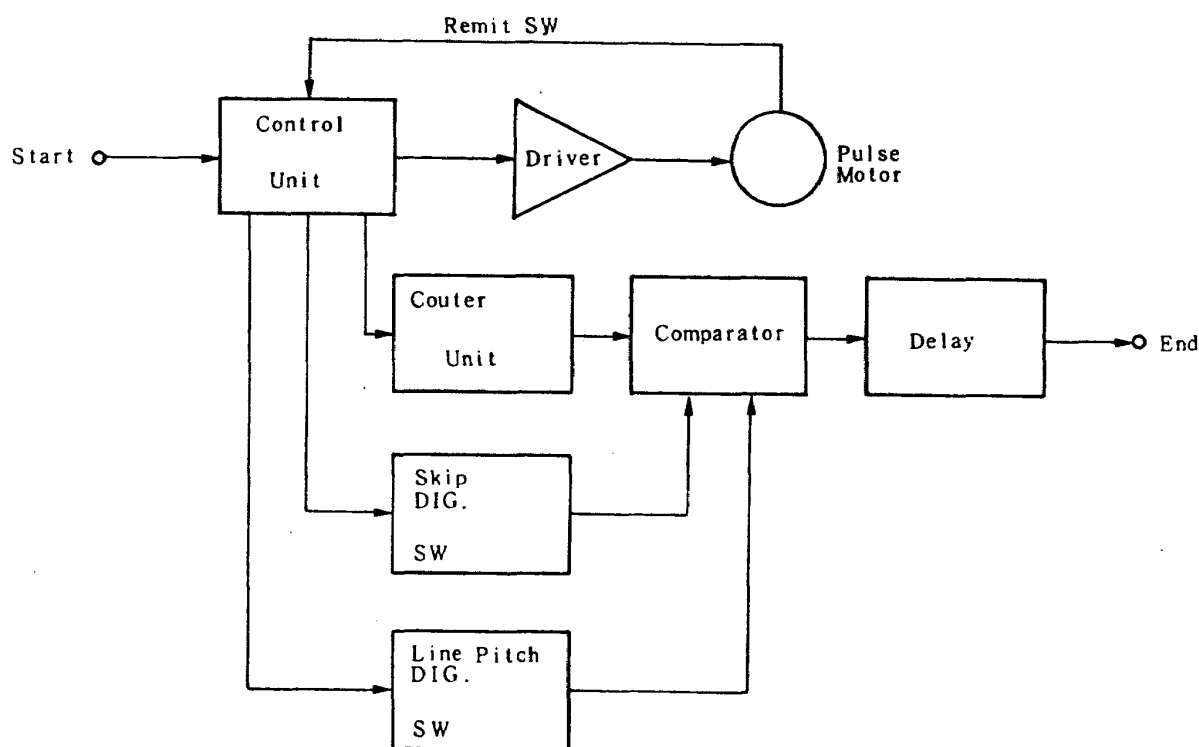


図3-9 パターン駆動制御装置ブロック図

(1) パターン駆動制御

被写体のパターン駆動制御は、画像処理部からのスタート信号により被写体のスキップ幅とピッチ幅の設定に基づき図3-10に示すタイミングで動作を開始する。次に被写体を駆動した後パルスモータのダンピング特性を含めて任意に設定した遅延時間（1 [ms] ～50 [ms]）後にエンド信号を画像処理部へ通知する。

ここでスキップ幅とピッチ幅は被写体の大きさを考え合わせデジタルスイッチにより、スキップ幅は最大 99.99 [mm]，10進4桁で、ピッチ幅は0～9.99 [mm] までを10 [μm] ステップで10進3桁で各々任意に設定可能となっている。

パターン駆動制御部は、パルスモータのパワーを考え、できるだけ小型、軽量化を図った。駆動用パルスモータのステップ角は、0.72 [°/step] であり回転を直進に変換するボールネジは、許容動荷重 150 [kg]，許容静荷重 4200 [kg]，軸径誤差± 0.0055 [mm]，長さ 660 [mm] の高精度なものを使用した。

このパルスモータと高精度ボールネジを組み合わせることにより最小 10 [μm] で移動可能とし高精度化を図った。

(2) パターン支持

被写体である基準パターンやフィルムデータの支持は、本性能評価システムの光学系基準となるものであり、パターン駆動制御装置の被写体パターン取り付け部に 5 [インチ²] や 200 [mm] × 200 [mm] の被写体パターンを取り付け可能とする必要があり、なおかつ各種被写体パターンの交換が容易に行えるようにネジ止めとすることを考慮した。

光学系においては各光学素子の光軸を高精度に一致させる必要があり基準となる被写体パターンの支持台座に対する垂直度は最大 0.5 [″] の精度で出せるようになっている。この光軸合せと垂直取り付けは、オートコリメータと反射鏡により測定しながら行う。

製作されたパターン駆動部の性能・規格を表3-6に、パターン駆動制御装置の外観を写真6に示す。

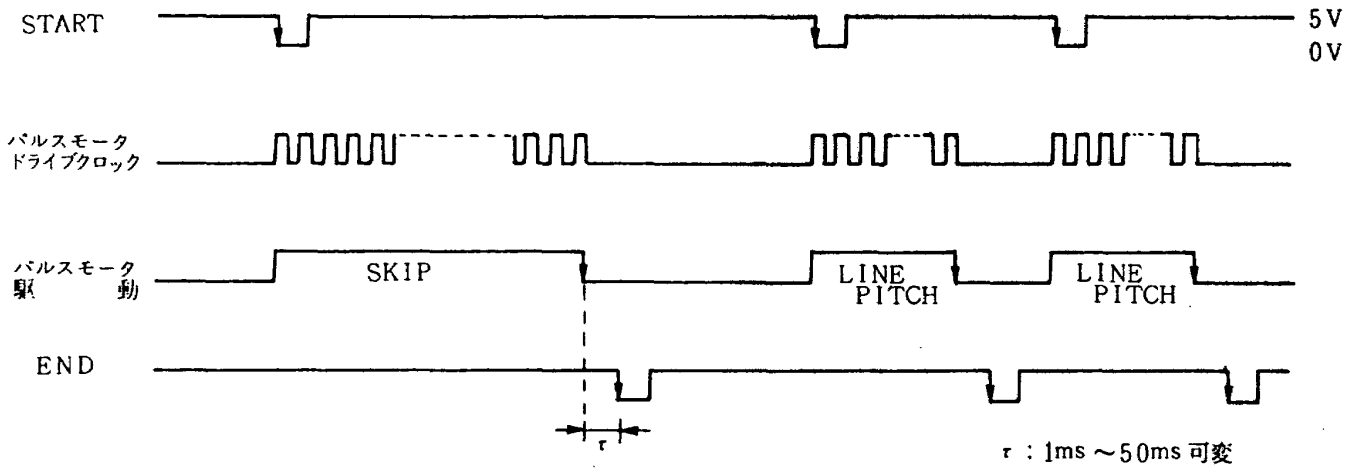


図3-10 パターン駆動制御装置タイミングチャート

表3-6 パターン駆動部性能・規格

名 称	項 目	性 能 ・ 規 格
ステージ	駆 動 方 式 移 動 範 囲	パルスモータ、10 [μ m/パルス] 0~200 [mm](MIN10 [μ m]ステップ)
パルスモータ	相 数 出力トルク 回 転 角 定 格 電 流 ダンピング時間	5 14 [Kg \cdot cm] 0.72 [度/ステップ] 2.0 [A] 1~50 [ms] (半固定)
ボールネジ	リ ー ド 角 巻 数 巻 方 向 許 容 動 荷 重 許 容 静 荷 重 軸 径 誤 差 ネジ軸全長	4° 23' 3.5巻1列 右 150 [Kg] 4200 [Kg] ± 0.0055 [mm] 660 [mm]
被写体支持部	大 き さ	200 x 200 [mm](MAX)

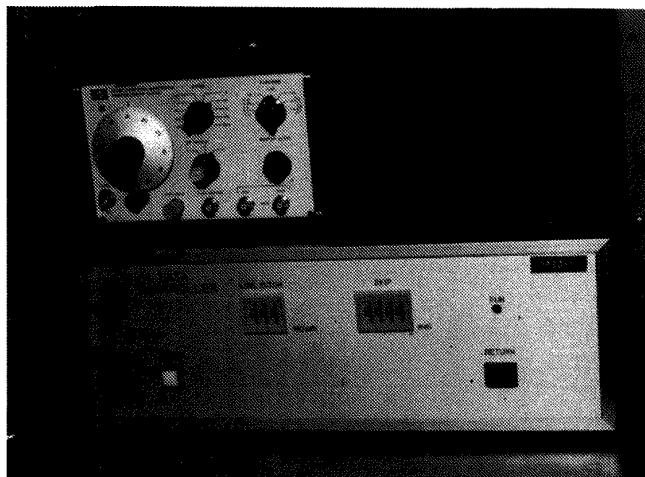


写真6 パターン駆動制御装置

3.5 定盤・防振台

本性能評価システムの内、外部振動から防振する必要な部分としては、フィルムデータ入力部、パターン駆動部、CCDセンサなどである。又夫々の大きさは、コリメータ 2000 [mm]、パターン駆動部 160 [mm]、光源 300 [mm]、CCDセンサ 510 [mm]であり総全長は約 3000 [mm]になる。このことより実験室の大きさから一直線上に並べる事ができないのでCCDセンサなどを90 [°] ないし 180 [°] 折り返して取り付ける必要がある。

以上の点から設置場所を考慮して 2400 × 1200 × 750 [mm] の空気バネ式防振台付き定盤を設置することにした。この空気バネ式防振台付き定盤の搭載可能重量は、200 [kg] である。

次に空気バネ式防振台付き定盤の固有振動数を測定した結果水平方向 1.8 [Hz]、垂直方向 1.4 [Hz] であった。なおカタログ規格値の定盤の固有振動数は、水平方向約 2 [Hz]、垂直方向 1.2 [Hz] である。

3.6 ソフトウェア構成

本性能評価システムで使用するソフトウェアは、1) CCD入力処理として、CCDセンサからのデータ入力や画像データの磁気テープ書込を行う画像データ収集プログラム、2) 画像データのデータ処理として、補正処理、統計処理、空間分解能 (MTF) 計算処理を行う各プログラム、3) 画像データの出力表示処理として、処理した結果などをCRTあるいはタイプライタに記号表示、PLOT出力、濃淡出力するプログラムの3種類に大別できる。これ

らの処理プログラムの起動、停止は、タイプライタあるいはCRTより行う。以下に各プログラムの内容について概略を記す。

(1) CCD入力処理

CCD入力処理とは、CCDセンサより出力されたデータが画像入力制御装置でA/D変換され、バッファメモリにストアされた後、このデータを画像データとして画像処理計算機の主メモリに取り込み、更に磁気テープに書込むまでの処理である。このようにデータを取り込む迄には、フィルムデータ入力部やパターン駆動制御装置と画像入力制御装置のプログラム制御が必要である。

画像データとしては、必要なウインドの画像データを対象とし、被写体 (観測対象物) の任意の位置で任意の大きさの抽出が可能であり縦、横の大きさの指定 (ウインドデータ) により面画像としての必要なデータが画像処理計算機に取込まれる。スキャンライン番号、画素番号などのウインドデータは、プログラムパラメータで設定される。

(a) データ格納配列

画像入力制御装置より入力される画像データは一旦画像処理計算機の主メモリ上にストアされ、その後データ編集され、磁気テープにストアされる。主メモリ上には、スキャンライン番号、画素番号を各々1ワードに格納し、画像データも1データを1ワードの下位10ビットに格納する。ここで画像データは、1スキャンライン分として最大2068データである。一方磁気テープにおいては、先頭にヘッダとして任意の8ワード分書き込み可能とし、続いて主メモリ上のスキャンライン、画素番号を書込み、次にスキャンライン番号と全スキャンライン分の画像データを書込む。

(b) 画像データ収集プログラム (HINTER I)

本プログラムは、先ずデータを磁気テープに書込む為の初期化を行い、磁気テープのデータ格納領域の先頭にコンソールタイプライタより実験番号、日付、ライン数、サンプリングクロック、積分時間、コメントを入力した後ヘッダ情報として1ファイル分磁気テープに書込む。次に GPIB のハンドラやデバイス (この場合画像入力制御装置) の初期化を行い、モード指定や書込開始コマ

ンドを送信し、その後第二ファイルとしてスキャンライン番号と画像データを一組として磁気テープに格納する。設定されたウィンドデータ分を書込む場合は、書込コマンド、データ転送、磁気テープ書込みを繰り返す。全画像データの取り込みを行い画像データの収集処理が完了すると磁気テープの後処理を行い GPIB ハンドラを解放する。その後磁気テープに書込んだデータのモニタを行

い CCD センサよりのデータ収集処理を完了する。これらの処理のフローチャートを図 3-11 に、画像処理計算機と画像入力制御装置の GPIB ハンドラについての動作フローチャートを図 3-12 に示す。この GPIB ハンドラにおける画像入力制御装置側のファンクションコマンドの内容を以下に示し、画像処理計算機のコマンドの内容は図 3-12 の右側に示す。

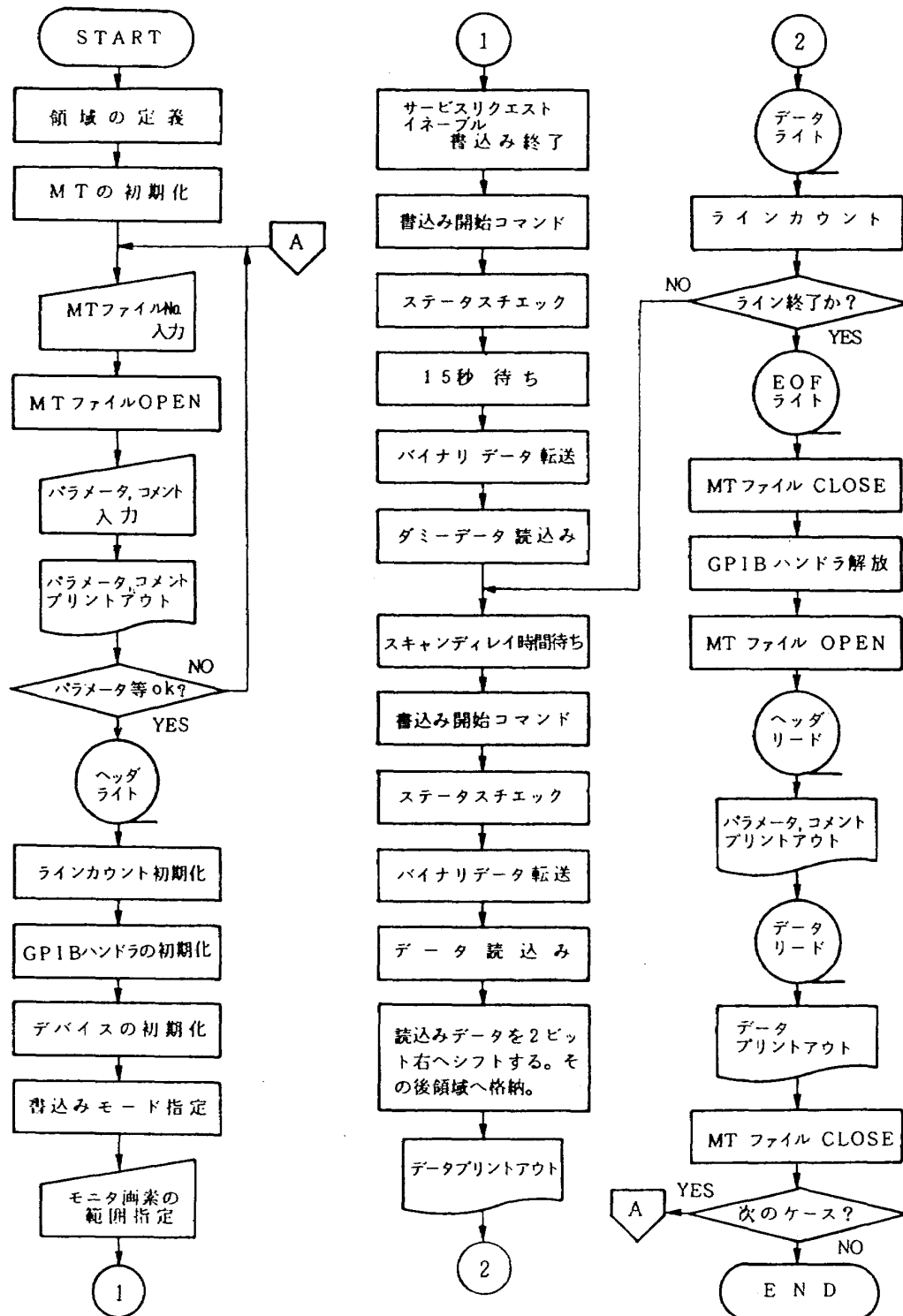


図 3-11 データ収集プログラムフローチャート

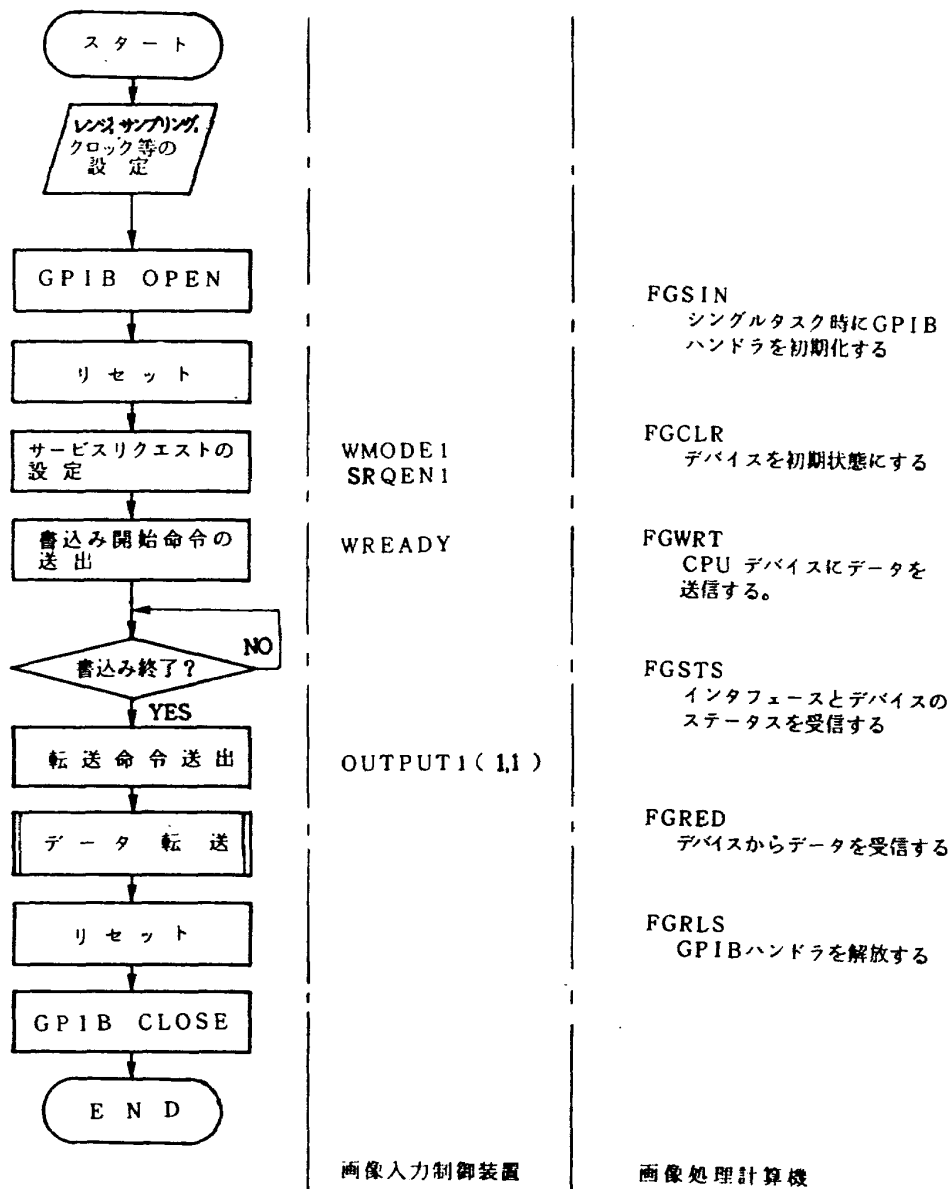


図3-12 GPIB動作フローチャート

1) 書込モード指定(WMODE)

WMODE *

書込モードの指定
(1:W → R)

2) サービスリクエスト イネーブル(SRQEN)

SRQEN *

モードの選択
(1:書込終了)

3) 書込開始コマンド(WREADY)

WREADY 書込を開始する

4) データ転送(OUTPUT)

OUTPUT1(1,1)

チャンネル指定

ユニット指定

転送モード指定
(1:バイナリ)

(2) 画像データのデータ処理

前記の画像データ収集プログラムにより収集された画像データは、CCDセンサの光学系の歪や分光感度特性、画素間干渉特性などの諸特性の影響と、CCDセンサ素子自身の歪、空間分解能(MTF)などの情報を含んだデータである。これらの情報を抽

出するためには、データを磁気テープより読み出す処理、各種補正処理、統計処理、空間分解能(MTF)計算処理などを行う必要があり、又これら処理を行う為にデータの追加、削除、入れ替えなどの編集処理も必要である。このような処理について以下のプログラムを作成した。

(a) 磁気テープリードプログラム(MRP)

本プログラムは、前記のデータ収集プログラム

で作成された磁気テープデータを読み出すプログラムである。このプログラムは、生データのモニタ用としてデータの印字と簡単なプロットを行うこともできる。このプログラムのフローチャートを図3-13に示す。

(b) ダークバイアス補正処理プログラム(DHS)

本プログラムは、画像データ収集プログラムにより収集された画像データから、別に測定したC

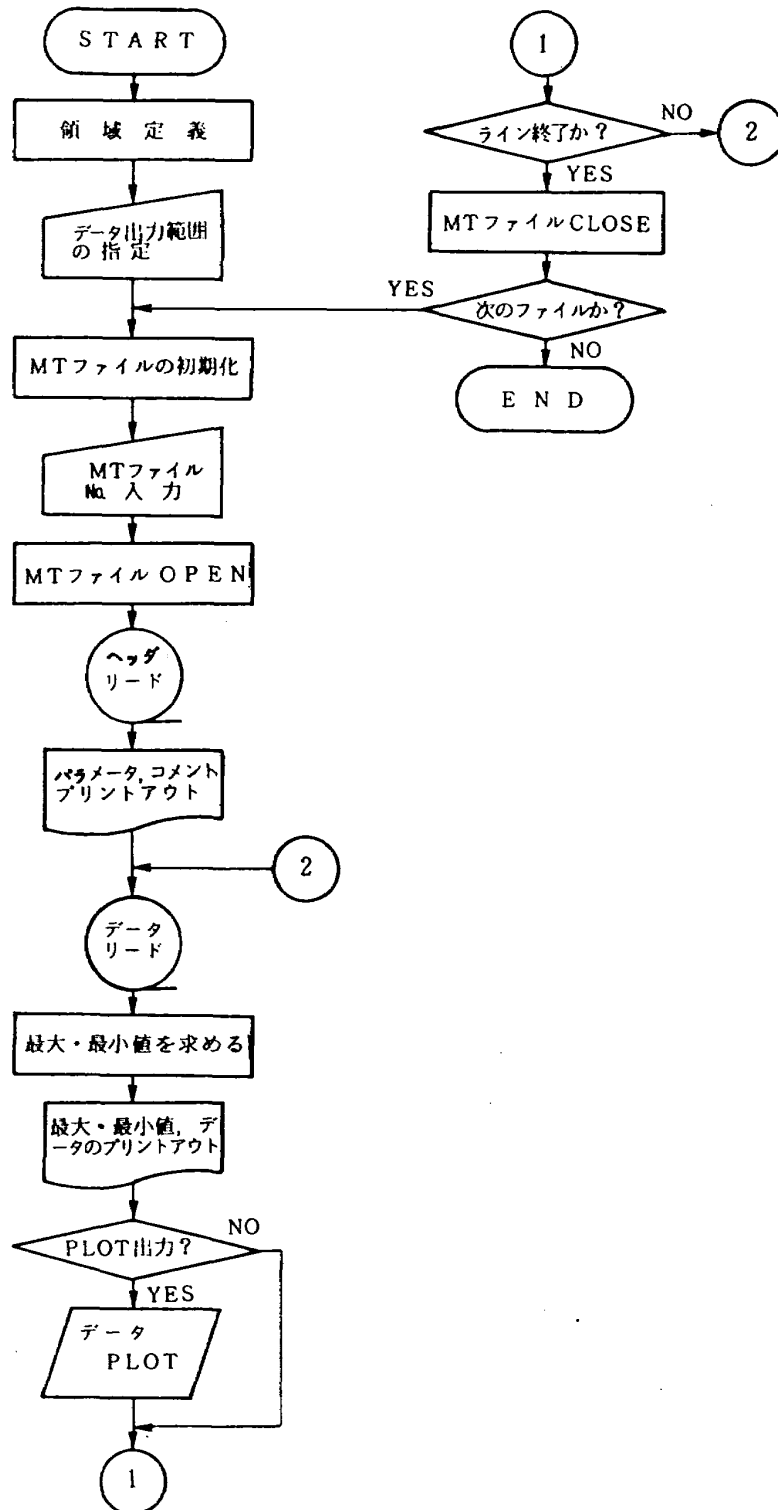


図3-13 MTデータリードプログラムフローチャート

CCD素子単体のダークバイアス値を除くことにより補正処理を行うプログラムである。

(c) 分光感度補正処理プログラム (BHS)

本プログラムは、バンドパスフィルタや光源の分光感度特性の測定結果に基づいて収集された画像データの分光感度を補正処理するプログラムである。

(d) 感度補正処理プログラム (KHS)

本プログラムは、前記ダークバイアス補正処理プログラムと同様に画像データ収集プログラムにより収集された画像データと、別に測定したCCD素子の画素毎の感度特性データにより補正処理をするプログラムである。

(e) 統計出力プログラム I (FDR1)

本プログラムは、磁気テープに格納されている画像データを読み込み、ウィンドデータ全てに対して最大値、最小値、平均値、合計、ヒストグラムを求めるものである。ヒストグラムは、最初0より255迄の濃度レベルに対して20レベル毎にスライスしてヒストグラムを求め、その後選択により任意の範囲を任意のスライスレベルで求めることが出来る。

(f) 統計出力プログラム II (FDR2)

本プログラムは、FDR1プログラムと同様に最大値、最小値、平均値、合計、ヒストグラムの他に分散、標準偏差値を求めるものである。

(g) 統計出力プログラム III (FDR3)

本プログラムは、前記FDR1, FDR2の画素毎に求めるのに対しスキャンライン毎の最大値、最小値、平均値、合計を計算し出力印字を行う。

(h) 空間分解能 (MTF) 計算処理プログラム (BK P)

本プログラムは、分解能テストチャートパターンにより測定された結果に基づき黒白のコントラスト比を(2)式で計算し、その結果より空間分解能 (MTF) を計算で求めるプログラムである。

(i) 編集処理

編集処理は、必要な部分のデータの抽出を行い、データの追加、削除など必要に応じて各プログラム内で処理を行う。

(3) 画像データの出力表示処理

出力表示処理は、前記のCCD入力処理あるいは画像データ処理を施された後、磁気テープ上に記憶されている画像データを、タイプライタ上に濃淡、数値化、記号化あるいはグラフ化して出力する。ここで濃淡は、タイプライタ出力の為重打ちができず8レベルの濃淡を表現するため視覚的に8種類の濃淡表示可能な記号を予め選択して表示する。

数値として出力するには、16進あるいは10進表示のいずれも可能である。

8レベルの濃淡表示より細かく表現する記号化出力については、36種類の英数字により表示する。

画像データの輝度レベル等のグラフ出力は、用紙の幅より50データを限度としてプロット出力する。

(a) 記号表示プログラム (HDST2)

本プログラムは、磁気テープ上の格納データを任意のスキャンライン、画素を0~9, A~Zまでの数字と記号など特殊記号も含めて36種類の英数字によりレベルスライスしたものをタイプライタ上に印字あるいはCRT表示出力する。

(b) PLOT出力プログラム I (HPLT40)

本プログラムは、磁気テープ上に格納されている画像データを任意の画素分について生データのままでタイプライタ上に印字あるいはCRT表示出力する。

(c) PLOT出力プログラム II (HOT1)

本プログラムは、磁気テープ上に格納されている画像データを任意のスキャンライン分について最大、最小値の範囲でサンプリングを行いタイプライタ上に印字あるいはCRT表示出力する。

(d) PLOT出力プログラム III (HOT2)

本プログラムは、磁気テープ上に格納されている画像データを任意の画素分について最大、最小値の範囲でサンプリングを行いタイプライタ上に印字あるいはCRT表示出力することにより、上記(b)で述べたプログラムでは不可能であった全体の傾向を把握するためのものである。

(e) 濃淡出力プログラム (NSP)

本プログラムは、磁気テープ上の格納データを任意のスキャンライン分、画素分を8レベルの濃淡に分けてタイプライタ上に印字あるいはCRT表示出力する。

4. 性能試験

本性能評価システムの各要素が計画通りの機能、性能を有するかどうかを確認するために、光学系や各装置の単体性能試験と、性能評価システム全体の総合性能試験を行った。

単体性能試験としては、光源、被写体パターンなど光学系の単体試験とパターン駆動制御装置や画像入力制御装置についての結合試験を行った。ついで光源や被写体パターンの光の波長による分光特性や透過率等に関する各種特性を測定した。ここでは、特に光学系の単体性能試験を中心に述べる。光源や被写体パターンなどの分光特性に関する単体性能試験結果は、測定を数多く行ったが、極く一部の結果についてのみ示す。又入出力部の電氣的整合性の確認を行っているがこれについては省略する。

総合性能試験は、パターン駆動制御装置、画像入力制御装置、画像処理計算機などの各装置間における入力データのA/D変換やデータ転送機能、制御信号の正常動作などについて手動操作によるスタティック試験と、プログラムをもちいるダイナミック試験に分けて実施した。この試験では、供試体であるCCDセンサの替りにCCDセンサと同様の機能を有する擬似信号発生器を製作し用いた。

性能評価システム全体の精度としては、できるだけ高精度を望むがパターン駆動精度、各種光学系の取り付け精度、A/D変換精度、各種特性測定精度など総合的にみて全体として5 [%] 以下におさえる事が必要であると考え。試験内容と結果を本章で述べる。

4.1 単体性能試験とその結果

単体性能試験としては、光学系の測定方法と結果を中心に記す。

本性能評価システムの光学系は、ハロゲンランプ、コンデンサレンズ、ディフューザ、各種パターンなどの光学素子から構成されている。これらの光学系は、光の波長によるそれぞれの分光特性をもつ。そこでハロゲンランプ、コンデンサレンズ、ディフューザ、素ガラスを含めた分光特性を分光器とホトメータにより測定した。その結果を横軸に波長、縦軸

に相対分光出力で表したものを図4-1に、分光器とホトメータの分光特性（付録図B-1～B-3参照）を考慮して補正を行った結果を図4-2に示す。基準光源としては、全波長において均一な分光特性が得られることが理想であるが、このようなものは存在しない。そこで現存するものの中で光源として用いるには、補正が容易なものが良く低い波長では分光出力レベルが低いので少々問題があるが図4-2に示されるように400 [nm] から900 [nm] まで分光特性がほぼ直線的に変化しているハロゲンランプを基準光源として用いる事にした。

又第3章図3-2に示す光源配置図における側面図のパターン取付部に垂直方向（約200 [mm] の開口）に127×127 [mm] のディフューザと素ガラスを設定し、中心付近の上側より下側へ約120 [mm] の間を5 [mm] 間隔で特性を測定した結果が図4-3である。グラフ上で上側より80 [mm] 付近が最大の山形にカーブしている。理想的には、平坦が良いのであるがコンデンサレンズやディフューザなどの回折、屈折によりこのような特性となっている。

次に基準パターンとしては、分解能テストチャートパターンの白黒のスロット幅の測定結果を表4-1に示し、対数濃度グレースケールパターン（9レベル）の透過率の実測値を表4-2に示す。又ハーフトーンパターンを3枚作製し、それぞれの波長に対する透過率の実測値を図4-4に示す。

4.2 総合性能試験とその結果

本性能評価システムは、フィルムデータ入力部、入出力制御部、画像処理部、パターン駆動部の四部から構成されているが、各装置の単体試験のみでは不十分であり、実際の動作状態に近い組み合わせ接続をし、総合性能を確認する必要がある。そこで総合性能試験としては、特にパターン駆動制御装置、画像入力制御装置、画像処理計算機の三装置を中心に実施した。又供試体であるCCDセンサの替りとしては、擬似信号発生器を用いた。

総合性能試験としての各装置の機能、性能確認の内容を以下に列記する。

(a) パターン駆動制御装置は、被写体やパターン支持部のスキップ幅、ピッチ幅の機能確認と精度

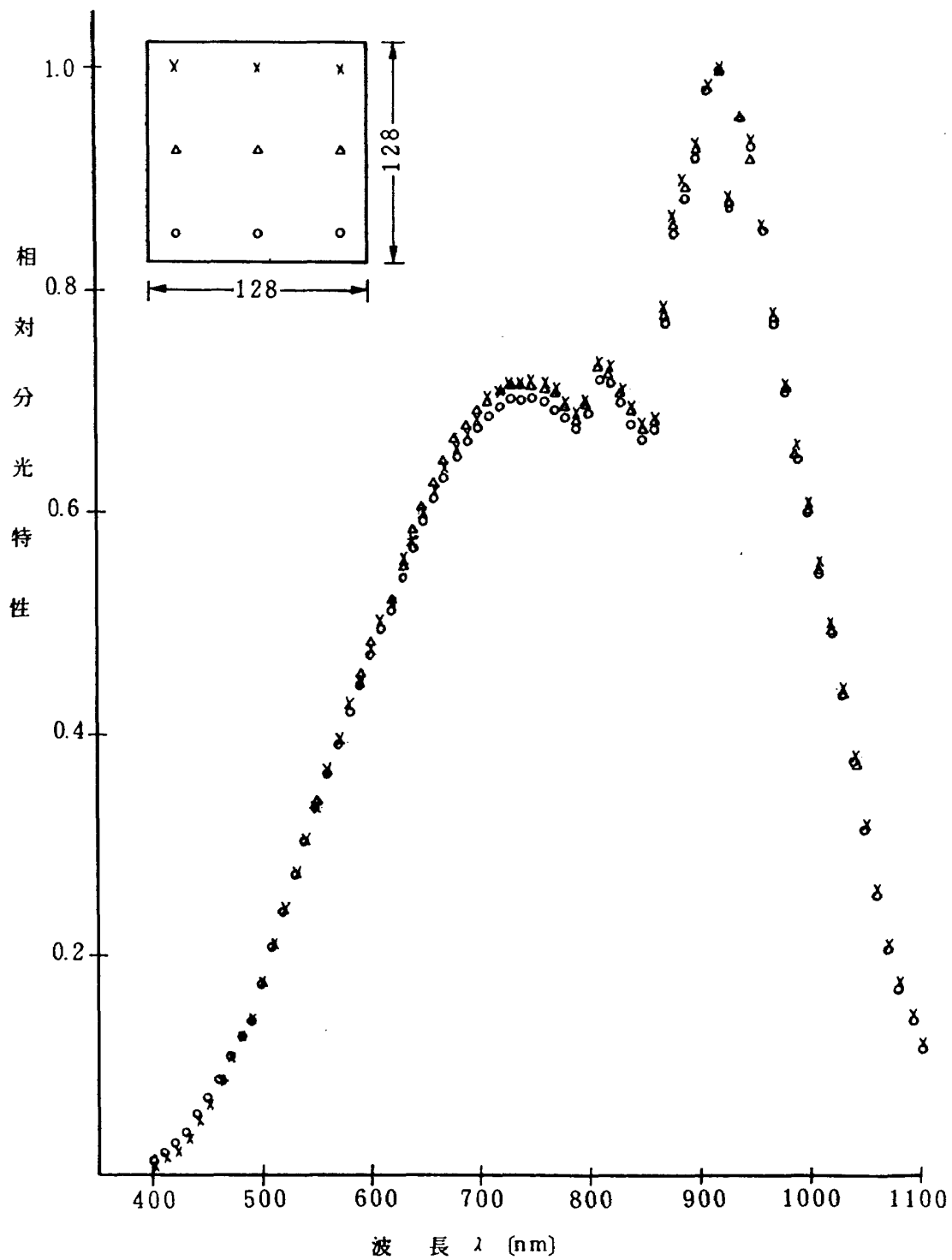


図 4 - 1 光源の特性 (補正前)

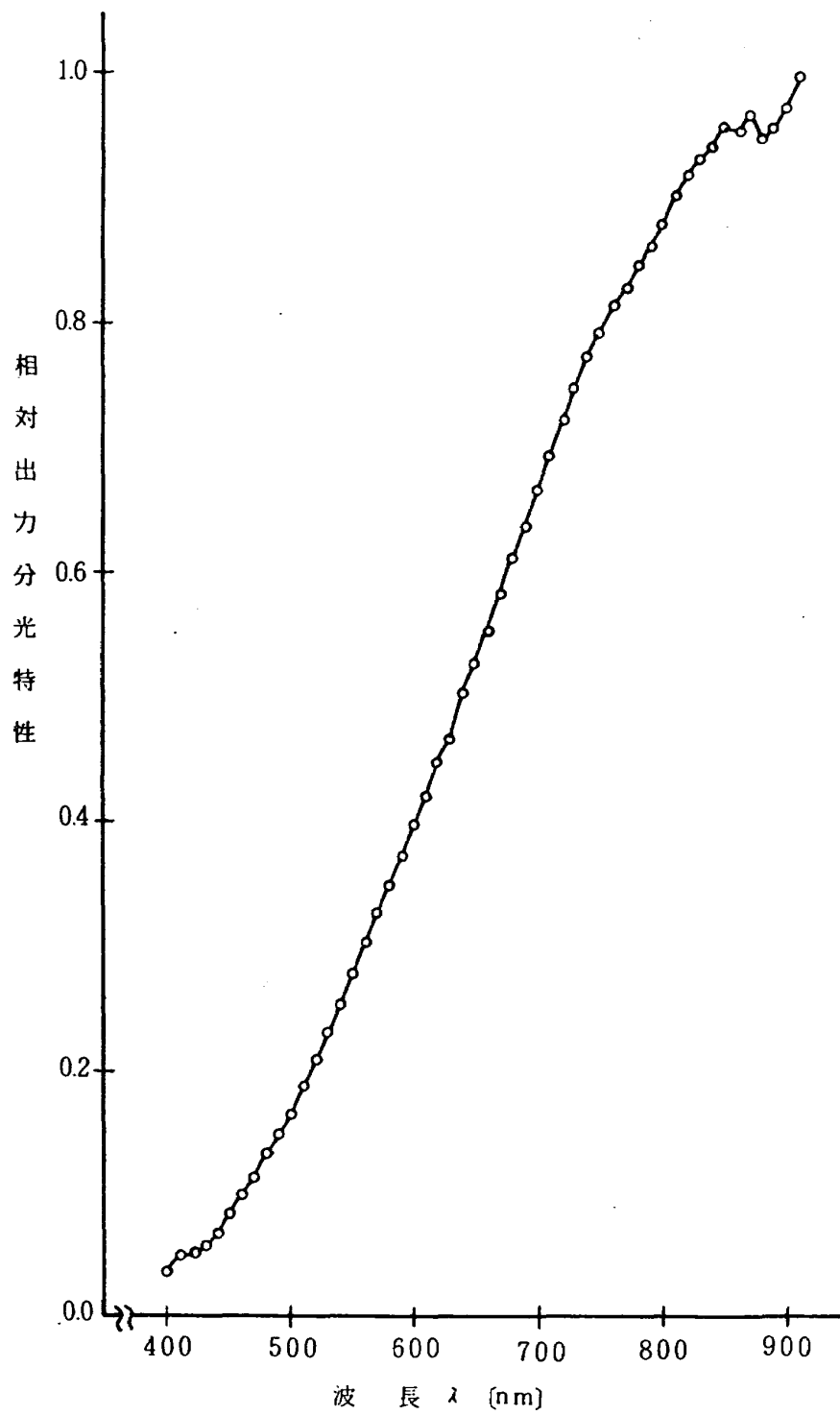


図4-2 光源の総合分光特性(補正後)

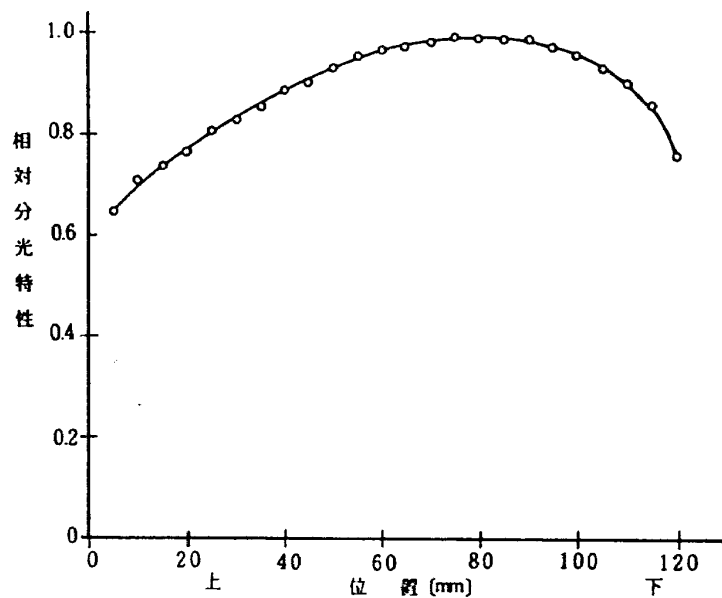


図 4-3 光源パターン面特性

表 4-1 分解能テストチャート測定結果

NO.	規格値 [μm]	黒スロット [μm]	白スロット [μm]	対	備考
1	3000	3005	2997	3	
2	1200	1201	1197	3	
3	600	601	600	5	
4	480	483	478	5	
5	300	302	300	5	
6	240	242	238	6	
7	200	202	199	6	
8	172	171	171	6	
9	152	154	150	6	
10	132	131	134	7	
11	120	120	120	7	
12	108	106	108	7	
13	100	101	100	7	
14	92	91	92	8	
15	84	85	84	8	
16	80	79	80	8	
17	72	71	71	8	
18	68	68	68	10	
19	64	63	65	10	
20	60	61	59	10	
21	30000	29995			

表 4-2 対数濃度グレースケール透過率実測結果

ステップ NO.	規 格 値		測 定 値	
	透過率 t [%]	濃度 n	透過率 t' [%]	濃度 n'
1	60.0	0.2219	61.6	0.2104
2	41.3	0.3841	41.6	0.3809
3	28.4	0.5467	29.5	0.5302
4	19.5	0.7100	18.6	0.7305
5	13.4	0.8729	13.1	0.8827
6	9.2	1.0362	9.5	1.0223
7	6.3	1.2007	5.8	1.2366
8	4.4	1.3566	4.4	1.3565
9	3.0	1.5229	2.8	1.5528

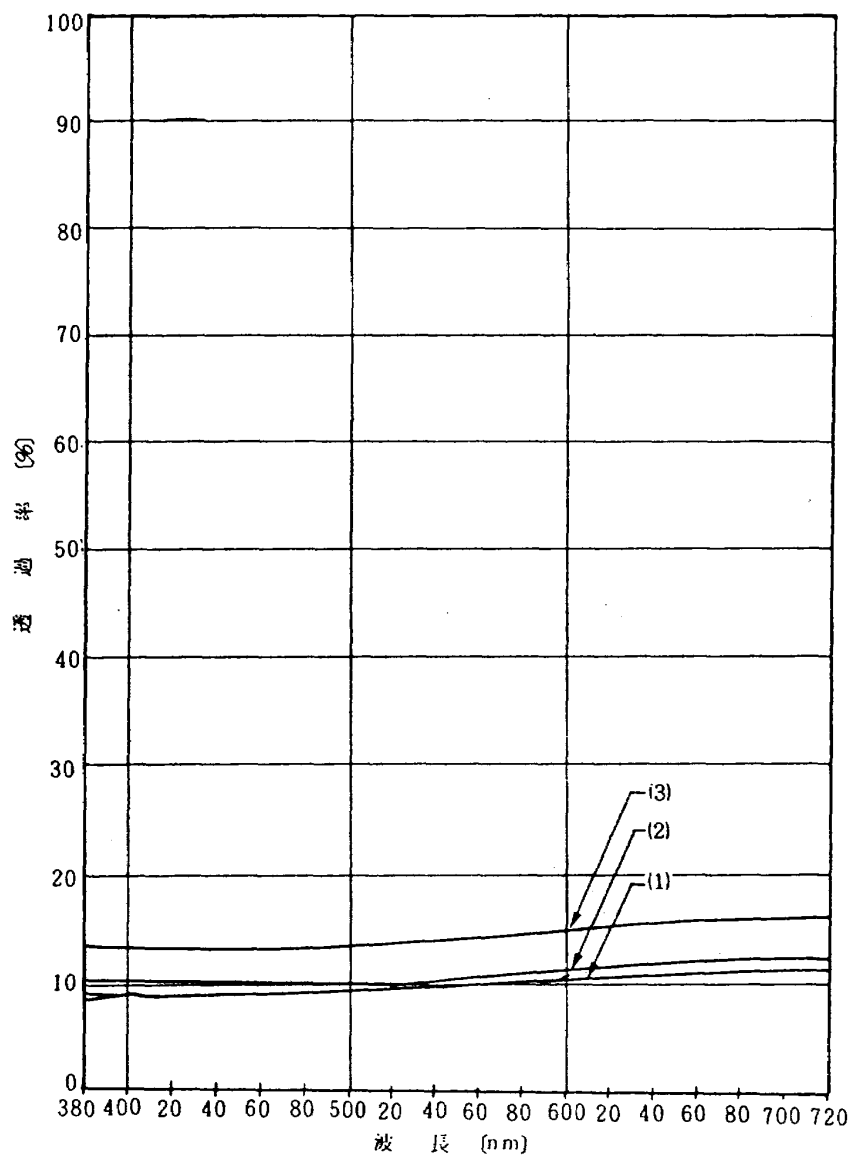


図 4-4 ハーフトーンパターン分光感度特性

測定を行う。

(b) 画像入力制御装置では、CCDセンサ出力信号(画像データ出力信号、制御信号)の受信、スキャンライン数と画素数の設定、A/D変換器の性能、パターン駆動制御装置へのスタート、エンド制御信号の送受信、そして画像処理計算機とのコマンド、データ転送機能である。

(c) 画像処理計算機では、おもにプログラムによる GPIB インタフェースの入出力制御信号の機能確認である。

(1) 試験方法

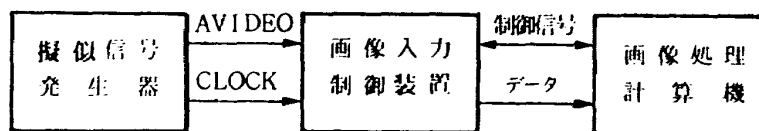
前記の内容に基づき機能、性能試験を行う上でスタティック試験とダイナミック試験に分けて行った。

スタティック試験としては、初めに画像入力制御装置と画像処理計算機を組み合わせ図4-5(a)に示す

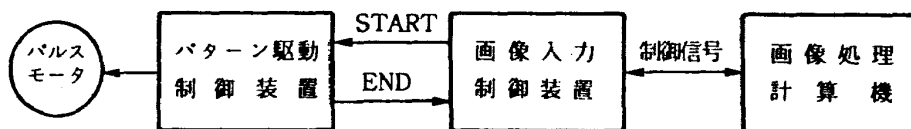
ように供試体である CCD センサの出力信号のかわりに基準電圧発生器や簡単な擬似信号発生器を用いて各種機能チェックや A/D 変換器の試験を行い、次いでパターン駆動制御装置を含め三装置を結合して各コマンドによる駆動制御試験を行った(図4-5(b))。

ダイナミック試験としては、パターン駆動制御装置の駆動と画像入力制御装置の A/D 変換、および画像処理計算機への転送タイミングのチェックを行うため図4-6に示す接続で、CCDセンサ出力信号用擬似信号発生器により、画像データの取り込み動作を行いダイナミック試験プログラムにより実施した。機能試験項目などは、スタティック試験とほぼ同一であり、動作は、実時間で繰り返し行った。

これら各々の試験内容と結果を以下の節で記す。



(a) 画像入力制御装置性能試験接続図



(b) パターン駆動制御装置性能試験接続図

図4-5 スタティック試験接続図

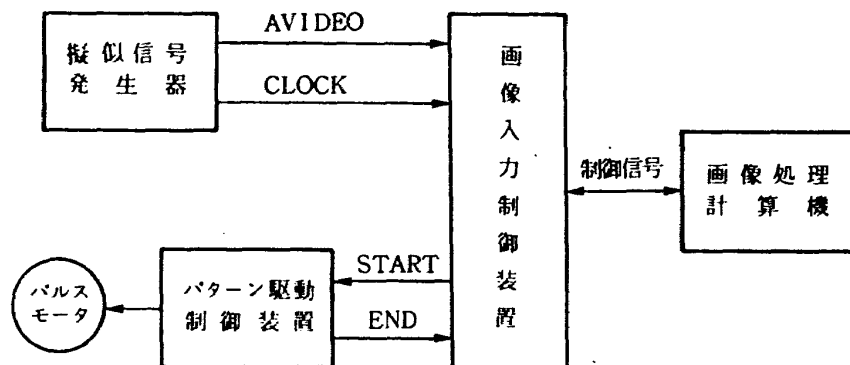


図4-6 ダイナミック試験接続図

(2) スタテック試験結果

画像入力制御装置と画像処理計算機の結合によるスタテック試験については、コマンド処理機能、割り込みパルス発生機能、パルスデータの取り込みおよび画像処理計算機へのデータ転送機能についてシングルステップ動作試験を行った。コマンド処理、割り込みパルス発生機能は、モニタ用ランプ表示、シンクロスコープ測定などにより正常な事を確認した。スキャンライン数と画素数の設定については、いくつかの組み合わせに対して正しく読み取っているかを確認した。データのA/D変換と転送については、信号発生器として基準電圧発生器を用い0～+5[V]の間で任意の電圧を設定し、例えば+1.25[V]を入力することによりA/D変換後の値が規格値の QQEQ (16進表示)になるかどうか確認した結果 QQDQ と極くわずかの誤差が含まれていた。最大電圧入力で最大誤差となったが10ビットのA/D変換器であるので誤差率は、最大0.5[%]以下であり十分な精度であることが確認できた。

次にパターン駆動制御装置と画像入力制御装置および画像処理計算機を結合した場合については、画像入力制御装置のパターン駆動制御装置駆動用のス

タート、エンド信号によりスキャンラインスキップとスキャンラインピッチ幅の試験を行った。スキャンラインスキップ幅については、5[μm]ピッチのマグネスケールによって測定しており、設定値0～10[μm]の時、平均誤差が30[%]あるがこれ以外は5[%]以下である。この誤差は、パルスモータの1パルスに対する誤差であり最大5[%]以下で設定値が大きくなっても累積することは無いので性能としては十分である。又0～10[μm]設定における測定は、パルスモータの初期駆動の誤差が含まれること、測定回数が少なかったこと、測定に用いたマグネスケールの精度が十分でなかったことによると思われる。一方スキャンラインピッチ幅に関しては、 ± 5 [μm]以内におさまっている。

(3) ダイナミック試験結果

ダイナミック試験として各入力電圧を変化させた場合のA/D変換規格値と測定結果は、測定結果が規格値に比して1～5カウント低くなっているが、これはA/D変換後サンプルホールド回路でゲインが1以下になっているためである。又測定点を増しグラフ化したものを図4-7に示す。この結果よりわかるように入力電圧3[V]付近で最大誤差(QQ

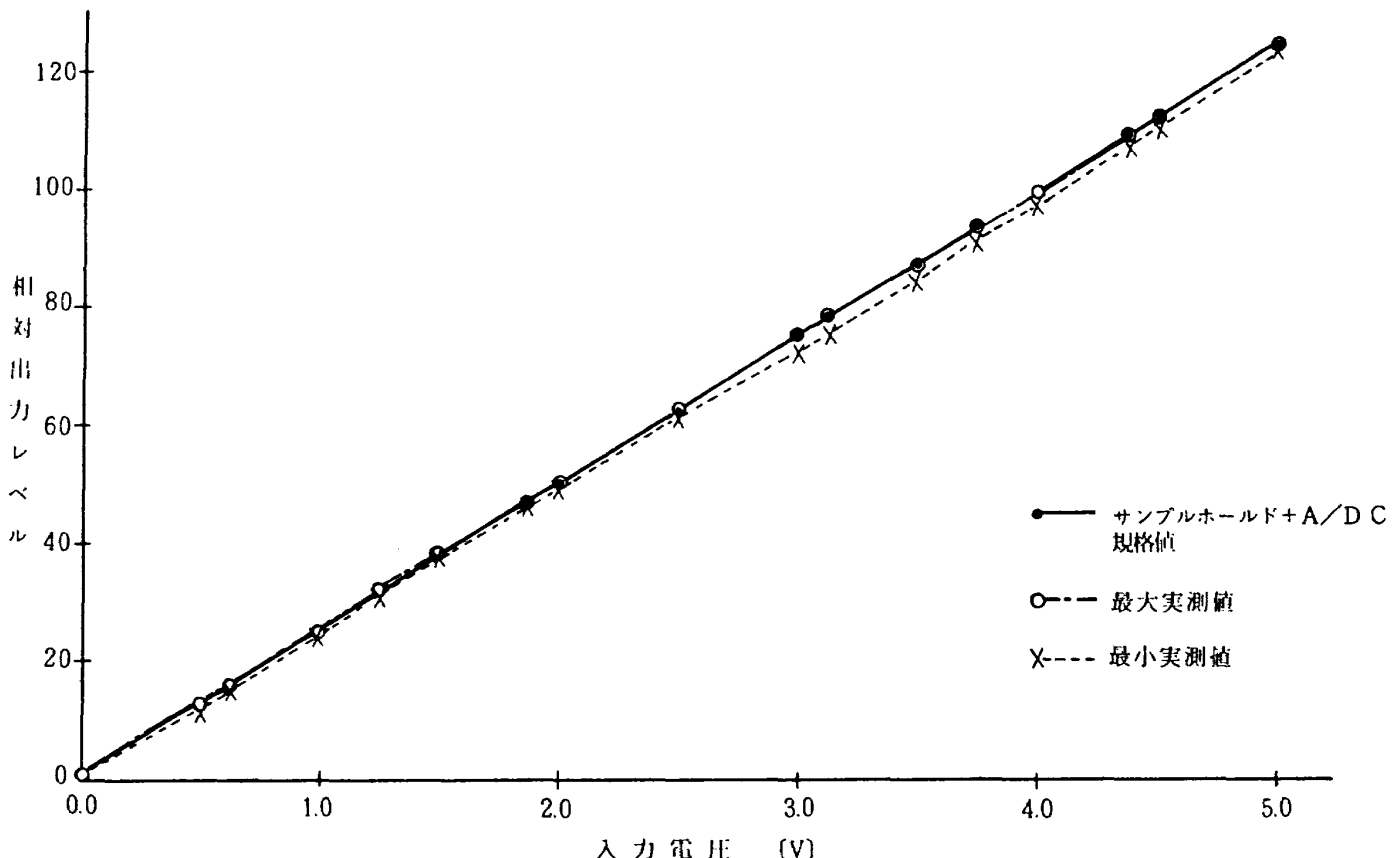


図4-7 A/D変換器特性

表 4-3 信号処理系の総合特性

信号処理系		精度 [%/フルスケール]
駆動増幅器部	直線性	± 0.06
	ドリフト/時間	± 0.1
A/D変換部	直線性	± 0.16 (量子化誤差を含む)
	ドリフト/時間	± 0.06 (")
総合精度		± 0.21 [%/フルスケール]

BQ に対し QQAD) となっているが誤差率約 3 [%] であり、性能評価システム全体の精度から十分である。

試験結果の一例としての画像入力制御装置の A/D 変換部の直線性は、表 4-3 に示すように ± 0.16 [%/フルスケール] であり、ドリフトは、 ± 0.06 [%/時間] であった。

CCD 駆動装置と画像入力制御装置などの電気信号処理系の総合精度の測定結果は、表 4-3 に示す如く ± 0.21 [%] 以内であることがわかった。

5. 考 察

- (1) 本固体画像センサ性能評価システムは、CCD の様なラインセンサを用いた電子走査型放射計の画像歪や空間分解能 (MTF) を含む、主として幾何学的性能 (空間的性能) を中心に評価するために製作をしたものである。従って、エネルギー的には相対値でよいので光源や CCD センサへの入射エネルギーの絶対測定は行っていない。
- (2) 光源の分光出力特性は平坦であることが望ましいが、空間的性能を主とした評価にとっては本質的なことではない。評価される対象の放射計は、多バンドのことが多く、評価試験もあるバンド幅のモノクロ的な光で行われることが多いからである。
- (3) パターン及びパターン駆動機構は出来得限りの精度をもって製作された。しかも長焦点のコリメ

ータを通してしているので、その誤差は更に縮小される。通常供試体の CCD センサの焦点距離に比して、コリメータの焦点距離は 10 倍以上であり、しかも常に光軸付近を用いるので、空間分解能の面からは、コリメータは理想的なものとして見做して差し支えない。

- (4) CCD センサに入射される画像情報は、アナログ信号を A/D 変換することによりデジタル化し、離散的な値として表現される。このデジタル化された信号は、入射エネルギーが相対値であるため A/D 変換後もエネルギー的に相対値である。また A/D 変換器は、量子化誤差を含めて直線性やドリフト特性が試験結果より十分であることを確認した。
- (5) 以上、今回製作したシステムは、光学系の特性測定やデータ収集処理系 (フィルムデータ入力部、入出力制御部、画像処理部、パターン駆動部) の動作試験、特性試験の結果、所期の性能、機能を有しており、固体画像センサの空間分解能を主とした性能評価に十分供し得る装置であることを確認した。

6. まとめ

固体画像センサ性能評価システムを設計製作し、その性能試験を行った。その結果、考察でも述べた通り本システムは固体画像センサ性能評価システムとしての性能を十分に有し、汎用の評価システムとしてかなり広い範囲のセンサの評価に用いることが

明らかになった。

今後本性能評価システムの性能を更に向上させる為には、光源の性能を改善する事と、各種分光、干渉、分解能測定の自動化を行う必要がある。自動化を行う事により、現システムより多種類の波長について短時間に測定が可能となり、測定結果の高速処理や各種光学素子等において広範囲の測定条件で評価を行うことが出来る。

参考文献

- 1) 本間幸造他「CCD 画像センサの性能評価システム」第25回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2C3, 昭56
- 2) 本間幸造他「電子走査式擬似放射計の試作」, 第27回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1E2, 昭58
- 3) 日本データゼネラル「GP1Bハンドラ解説書」, No.593-000121-03, 昭56
- 4) 日本データゼネラル「FORTRAN5解説書」, No.093-500085-03, 昭55
- 5) 日本データゼネラル「ECLIPSE解説書」, No.015-500024-02, 昭49

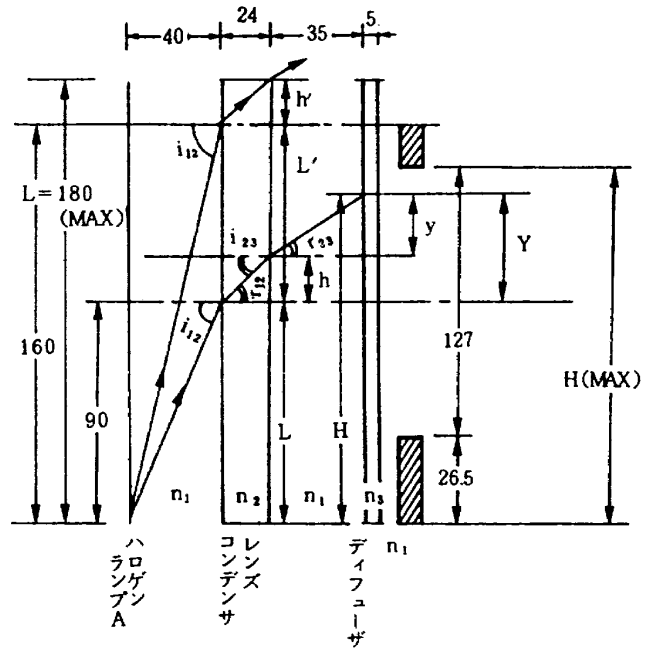
付 録

A. 光源部の検討

光源部においては、各光学素子による屈折、回折による影響を検討する必要がある。光源部の構成は図A-1に示される。この図において円筒ハロゲンランプの最下端の場合を考えるとハロゲンランプのAから放射した光は i_{12} の入射角でコンデンサレンズに入射し、 r_{23} の角度で空气中へ屈折してディフューザへ入射する。コンデンサレンズの入射角 i_{12} と屈折角 r_{12} を求めると次のようになる。

但し空気屈折率を $n_1 = 1.0$ 、ガラスの屈折率を $n_2 = 1.5168$ （波長587.56 [nm] のとき）、ハロゲンランプの最下端Aからコンデンサレンズのある高さL、間隔40 [mm] に入射すると仮定し、

$$\begin{aligned} \sin i_{12} / \sin r_{12} &= n_2 / n_1 \\ \tan i_{12} &= L / 40 \\ \therefore i_{12} &= \tan^{-1}(L / 40) \quad (A-1) \end{aligned}$$



図A-1 光源部構成

$$\begin{aligned} \sin r_{12} &= \sin i_{12} / 1.5168 \\ \therefore r_{12} &= \sin^{-1}(\sin i_{12} / 1.5168) \quad (A-2) \end{aligned}$$

となる。次にコンデンサレンズの入射光線から屈折光線までの高さを h とし、コンデンサレンズの幅が24 [mm] であり、コンデンサレンズから空气中への屈折角 r_{23} は、

$$\begin{aligned} h &= \tan r_{12} \cdot 24 \\ r_{12} &= i_{23} \quad (A-3) \\ \sin i_{23} / \sin r_{23} &= 1 / 1.5168 \\ \therefore r_{23} &= \sin^{-1}(\sin i_{23} \cdot 1.5168) \quad (A-4) \end{aligned}$$

となる。コンデンサレンズの屈折光線からディフューザの入射光線までの高さを y 、コンデンサレンズの入射光線からディフューザの入射光線までの高さを Y （最大値 $\pm 127/2$ [mm]）、コンデンサレンズとディフューザの間隔35 [mm]、ハロゲンランプの最下点Aからコンデンサレンズの屈折光線までの高さを H とすると、

$$\tan r_{23} = y / 35 \quad \therefore y = \tan r_{23} \cdot 35 \quad (A-5)$$

$$Y = y + h \quad (A-6)$$

$$H = L + h + y \quad (A-7)$$

となる。そこで光源長約180 [mm] に対して、 H

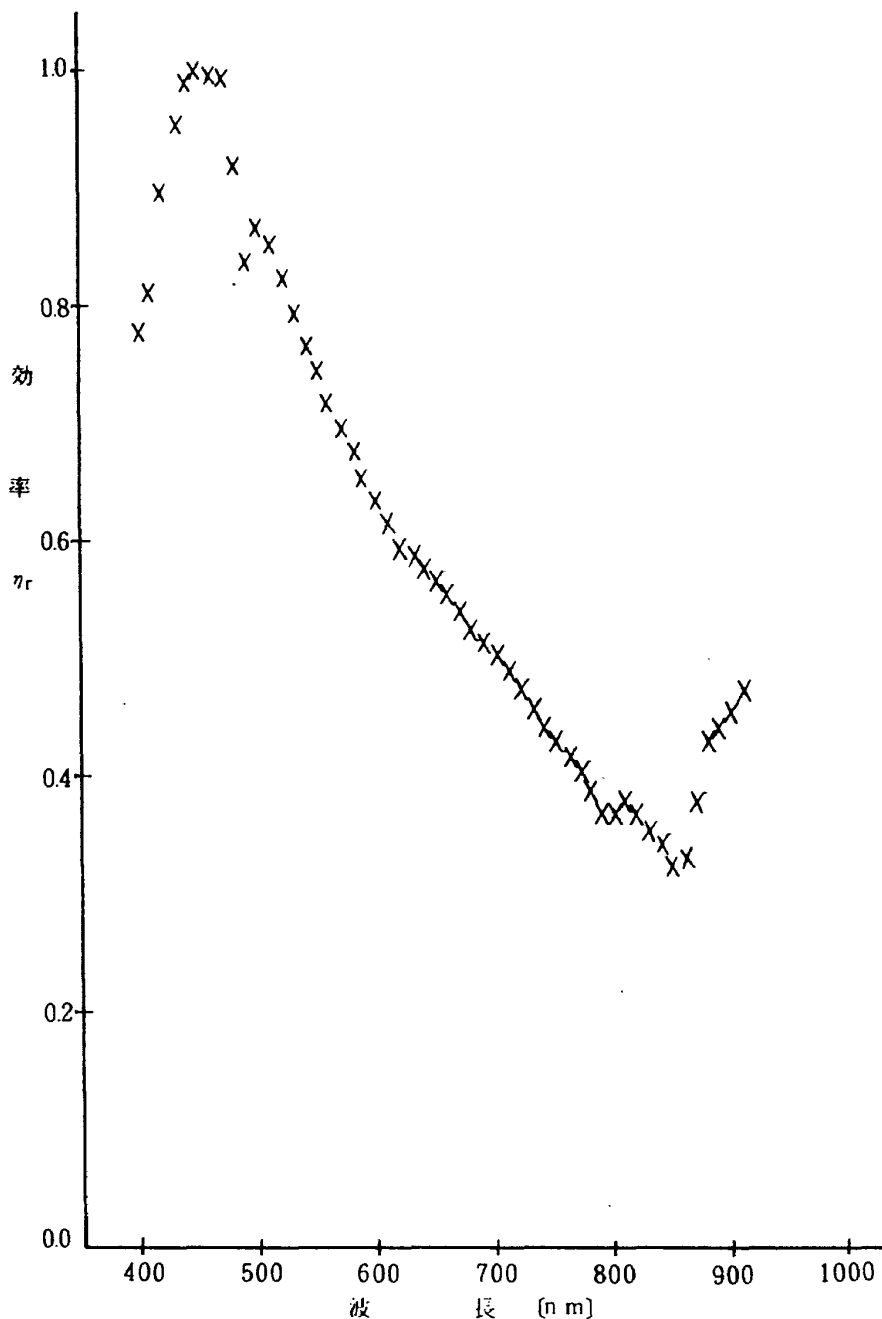
(MIN)=26.5 [mm], H(MAX)=153.5 [mm] となる範囲の i_{12} を(A-1)式から(A-7)式までを用いて求めると最小16.3 [°]から最大61.2 [°]となる。同様に光軸上からの角度を考えると $L = 28.6$ [mm] のとき $i_{12} = 35.5$ [°]となる。

このような検討結果から円筒ハロゲンランプからの光は、ハロゲンランプの両端から有効な光線として放射される角度は16.3 [°]から61.2 [°]までであり、光軸中心では±35.5 [°]の角度が有効となる。但有効光源面の大きさについては、ディフューザの大きさで制限され決定される。

B. 分光器とホトメータの分光感度特性

分光特性を求める為に使用した分光器とホトメータの分光感度特性を図B-1から図B-3に示す。

図B-1と図B-2の特性は、日本写真機光学機器検査協会にて測定したものであり、図B-3に示すホトメータについては、フォトダイオード標準DR11によって、直接アメリカのNBS (National Bureau of Standard) 標準と照合されたものである。

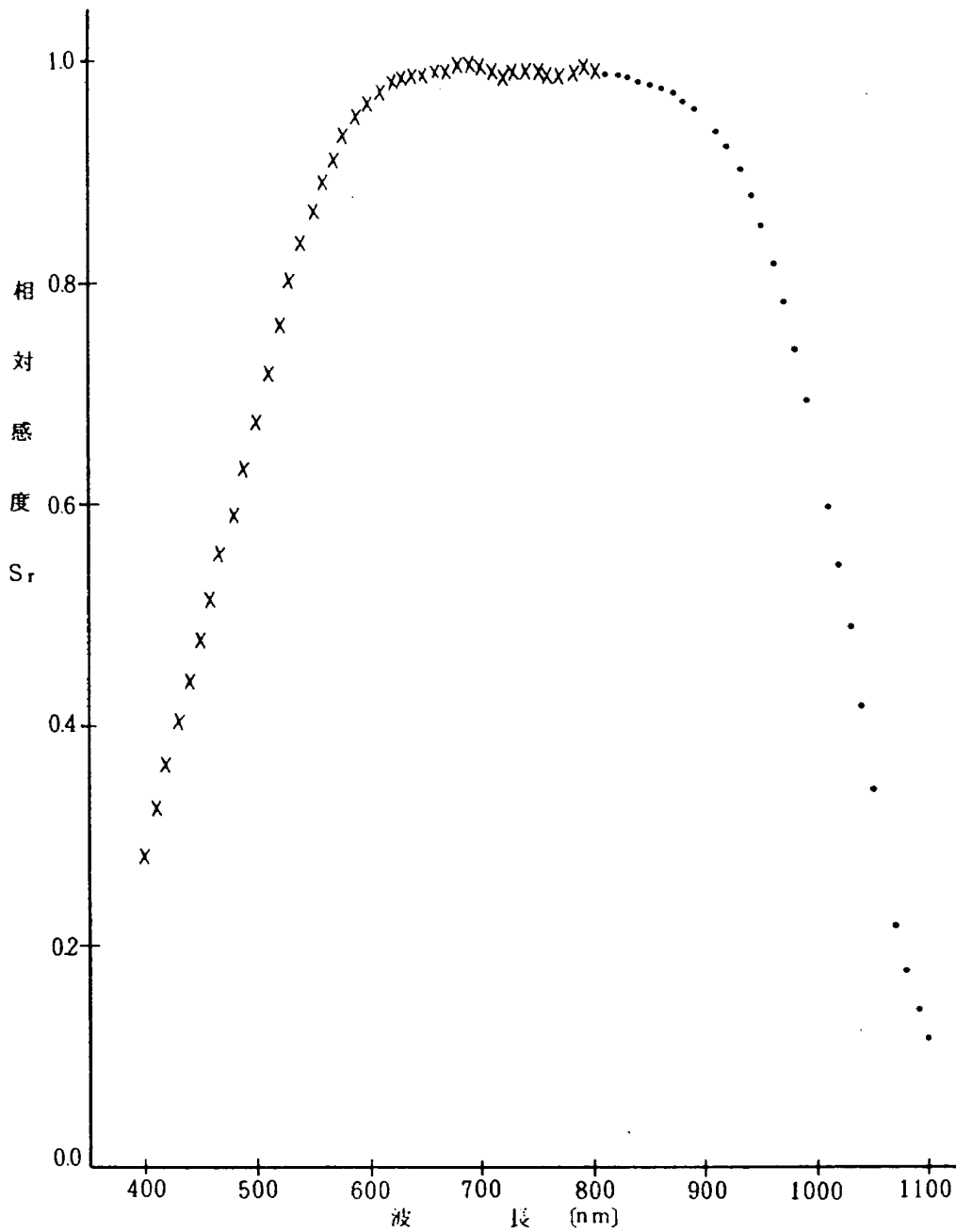


図B-1 分光器相対分光効率

C. その他

入出力制御部の画像入力制御装置（トランジェントメモリ）と画像処理部の画像処理計算機をGPIBバスで結合しているが、画像入力制御装置側のG

PIB機能一覧を表B-1に、画像処理計算機側のGPIBシステム構成を図B-4に信号の種類とコネクタピン番号を図B-5に示す。

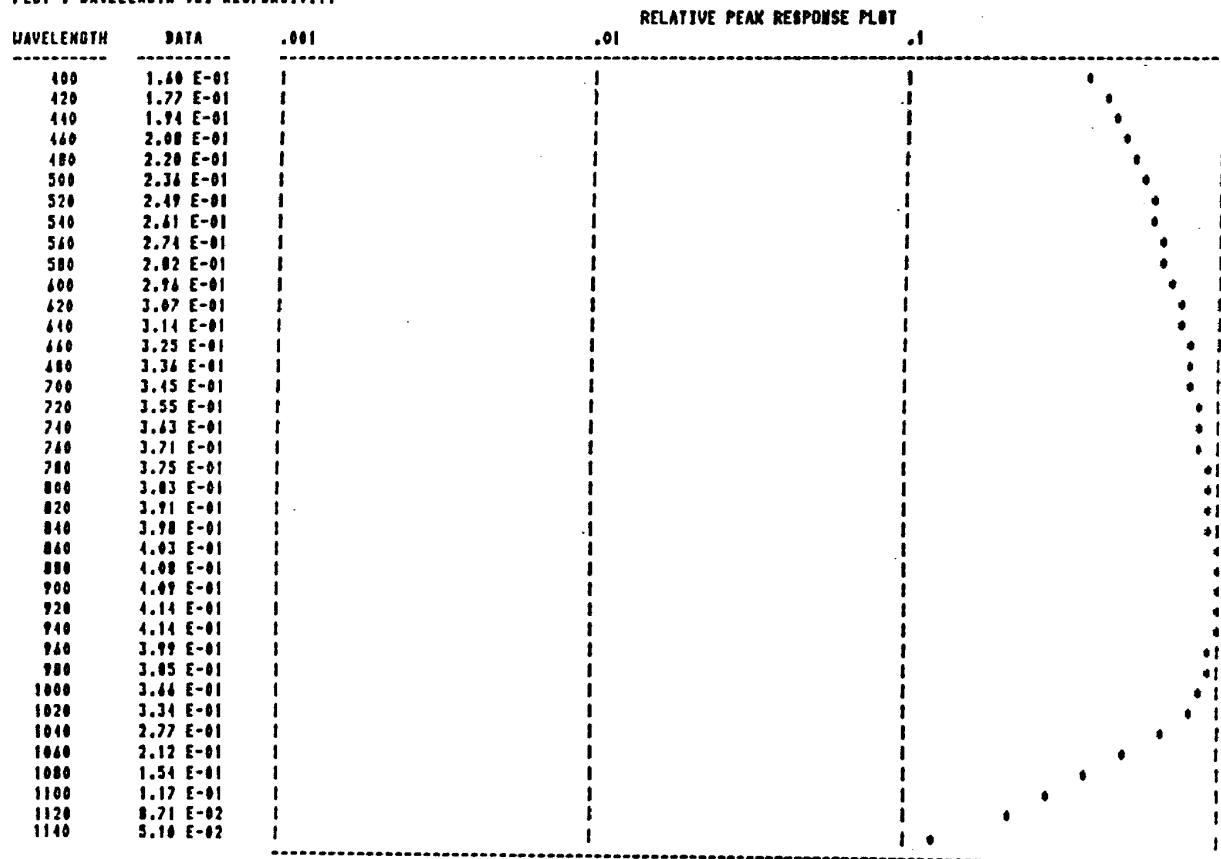


図B-2 ホトメータ（UDTセンサ）相対分光感度

PHOTODYNE, INC. - WESTLAKE VILLAGE, CA. - 01/08/81 - 15:42:50

PAGE 04

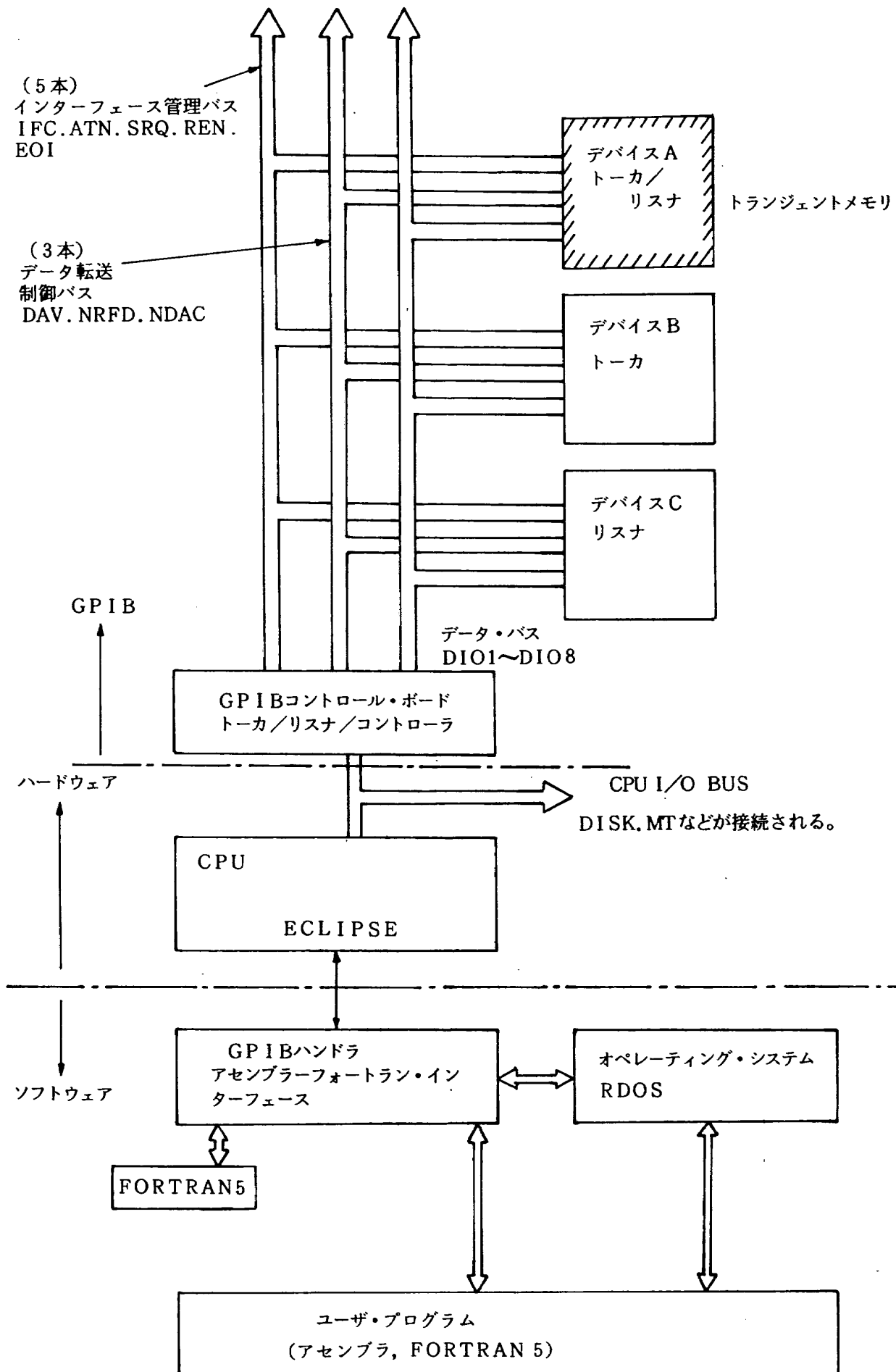
PLOT : WAVELENGTH VS. RESPONSIVITY



図B-3 ホトメータ (PHOTODYNE) 相対分光感度

表B-1 GPIB機能一覧

装 置 名	画 像 入 力 制 御 装 置	画像処理計算機 (ECLIPSE)
機 能	項 目	項 目
ソースハンドシェイク	SH1	SH1
アクセプタハンドシェイク	AH1	AH1
基本トーカノシリアルボールノ MLAによるトーカ解除	T6	T8
基本リスナノMTAによるリスナ解除	L4	L4
サービスリクエスト機能	SR1	SR0
ローカルロックアウト機能なし	RL2	RL0
パラレルボール機能なし	PP0	PP0
デバイスクリア機能	DC1	DC0
デバイストリガ機能なし	DT0	DT0
コントロール機能なし	C0	C1,C2,C3,C4,C25
	IEEE488-1978	IEEE488-1975



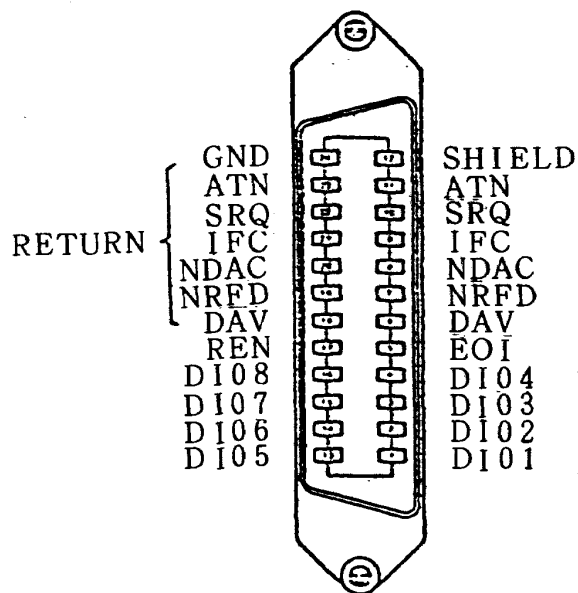
図B-4 GPIBシステム構成図

1. External Cable Signal

信号名	内 容
D101	データ入力/出力1
・	・
・	・
・	・
D108	データ入力/出力8
DAV	データ・バリッド
NRFD	ノット・レディ・フォー・データ
NDAC	ノット・データ・アクセブテッド
IFC	インターフェース・クリア
ATN	アテンション
SRQ	サービス・リクエスト
REN	リモート・イネーブル
EOI	エンド・オア・アイデンティファイ

2. External Cable Connector

ピンNO.	信号名	ピンNO.	信号名
1	D101	13	D105
2	D102	14	D106
3	D103	15	D107
4	D104	16	D108
5	EOI	17	REN
6	DAV	18	$\overline{\text{DAV}}$
7	NRFD	19	$\overline{\text{NRFD}}$
8	NDAC	20	$\overline{\text{NDAC}}$
9	IFC	21	$\overline{\text{IFC}}$
10	SRQ	22	$\overline{\text{SRQ}}$
11	ATN	23	$\overline{\text{ATN}}$
12	SHIELD	24	GND



図B-5 信号の種類とコネクタピン番号

航空宇宙技術研究所資料591号

昭和63年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182
印刷所 株式会社実業公報社
東京都千代田区九段南4-2-12
