

高分解能ファクシミリ受画機の改良

The Improvement of High Resolution Facsimile Recorder

阿部 伝家*・日谷 道夫**
鈴木 孝雄*・太田 弘明*

Tsutoya Abe*, Michio Hitani**,
Takao Suzuki* and Hiroaki Ohta*

Abstract

In order to improve the quality of high resolution (HR) facsimile film image, some new techniques for HR facsimile recorder system were adopted. At first, new laser tube was installed together with the change of signal processing circuits because original one was not produced. Secondly, because the density characteristics was not stable, the optical system was improved.

As a result of this improvement, stable and good image has been obtained.

1. は し が き

高分解能ファクシミリ受画機（以下、HR受画機という）は、GMSシステム（成井、伊藤、福井 1980）の一機能として昭和51年4月、気象衛星センターに設置され、計算機システムで処理された VISSR データ（赤外画像輝度レベル；256、可視画像レベル；64）を受けて高分解能ファクシミリ画像（以下、HR画像という。輝度レベル；32以上）フィルムを作成する装置である（伊藤 1980）（桜井 1980）。

このHR画像フィルムは、各気象解析用写真や雲解析用動画ループフィルム及び保存用マイクロフィルムを作成するための原画として貴重なものである。

このたび行なったHR受画機の改良には、大きく分けて2つの理由があった。まず第1点は、レーザ技術の革新に伴い従来使用していたレーザ管が製造中止となるため、これに代るレーザ管を採用しなければならない等の理由から、変調方式、レーザ出力回路及びガンマ補正回路の改良を行なう必要があった。

その結果従来のものより安価で性能の良いレーザ管の使用ができるようになったうえ、HR受画機の性能も向上するなど円滑なファクシミリシステムの運用を行うこ

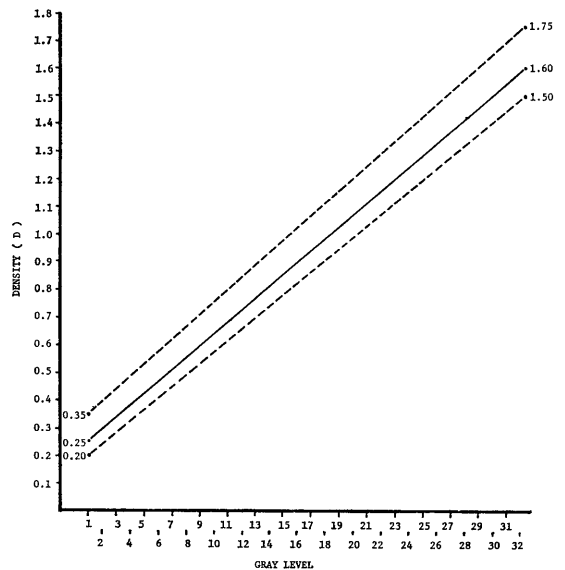


Fig. 1 Density-Gray level reference table of HR-FAX Recorder

* 気象衛星センター施設管理課, Meteorological Satellite Center.

**気象衛星センターシステム管理課, Meteorological Satellite Center.

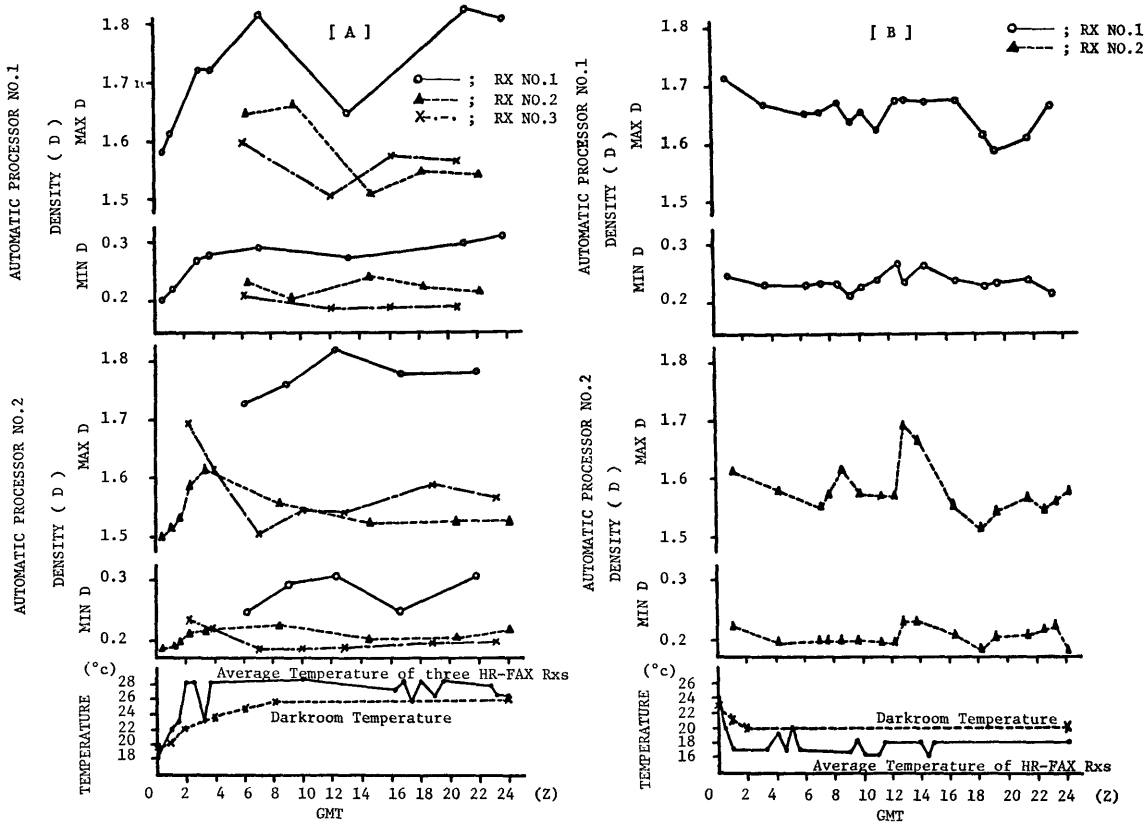


Fig. 2 Relation of density & temperature [A];Low temperature test, [B];High temperature test

とができるようになった。

第2点は、HR受画機の対温度特性が不安定なため気象衛星センターで決めた次のような基準を維持することができず、早急に改良するよう望まれていたことである(木場 1980)。即ち Fig. 1 に示すように濃度対階調特性は最低濃度;0.25(許容範囲;0.20~0.35)から最高濃度;1.60(許容範囲;1.50~1.75)まで直線的に維持しなければならないというものである。この基準は、HR受画機や自動現像機の性能及びフィルムの特性ならびに写真処理条件で生じる誤差を考慮して決めたものである。

Fig. 2は、改良前の温度変化に対する濃度の不安定状況を調査した代表的なデータであるが、高温試験及び低温試験とも温度によって濃度が著しく変動していることが分った。

このたび、2年以上の長い期間をかけて濃度が変動する原因をつきとめ、HR受画機の光学部を改良した結果、室温の変動があっても常に一定な濃度のHR画像フィルムを作成することができたので、併せて、これらの改良技術について報告する。

2. 改良

2-1 レーザ管交換に伴う電子回路の改良

2-1-1 光変調方式の変更

(1) 外部変調方式の採用

従来の内部変調方式では、レーザ管放電電流を変化させることにより光量を直接変調するもので、Fig. 3に示すように変調素子はレーザ管の内部にある。この方式はコンパクトなレーザ・システムを設計製作できる利点があるが、管自体の気密性等に問題が多く、寿命が約

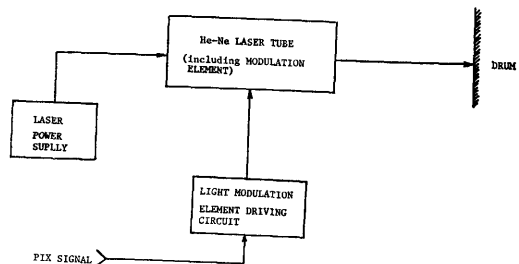


Fig. 3 Internal modulation block schematic diagram

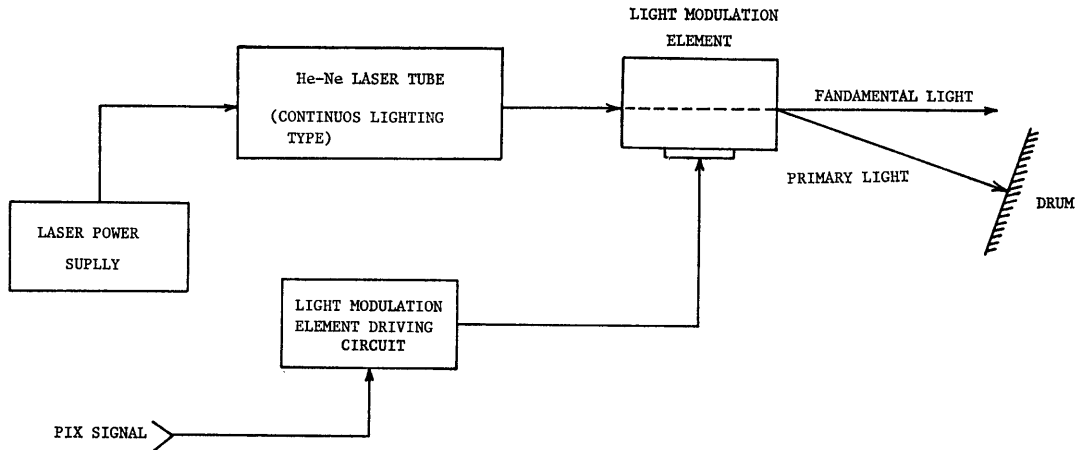


Fig. 4 External modulation block schematic diagram

4,000~5,000時間と短かった。方式変更の最も大きな理由はこの型のレーザ管は近い将来、生産中止となることであり、これからの模写受画用レーザ技術の動向も考慮して、新たに外部変調方式を採用することにした。この方式は、連続点灯型のレーザ管と外部変調素子を組み合わせるもので、それぞれの選択がかなり自由に行なうことができるうえにレーザ管自体の寿命は10,000時間以上と長く、変調の直線性も±0.5%以内で従来方式と比較して優れているためシステム全体の性能を改良するには有効な方式である。

(2) 外部変調方式の原理

外部変調方式の構成図を Fig. 4 に示す。この方式は連続点灯型のレーザ管の定出力光を光変調素子により光学的に変調を行ない、その1次光出力(画信号のレベルにより変化する)を記録用光源としている。次にこの方式の要点となる光源変調部の原理について述べる。

ア 光変調の原理

光変調素子は、音響光学効果を利用しており、構造は Fig. 5 に図示した通りである。

高周波(RF)の電気信号は音響光学媒体^(a)上に接着された圧電振動子^(b)により超音波^(c)に変換され、音響光学媒体内を進行するとき、媒体の屈折率が周期的に変化させ光に対して回折格子の役割を果たす。音波面に特定の角度(Bragg角)で入射した光は、回折格子によって同じ角度で第0次回折光^(d)と第1次回折光^(e)とに回折される。(Bragg型回折現象)

媒体内を進行する音波は、端面に設けられた吸音材^(f)で吸収され、又傾斜面を設けているため再び光と作用しないようになっている。

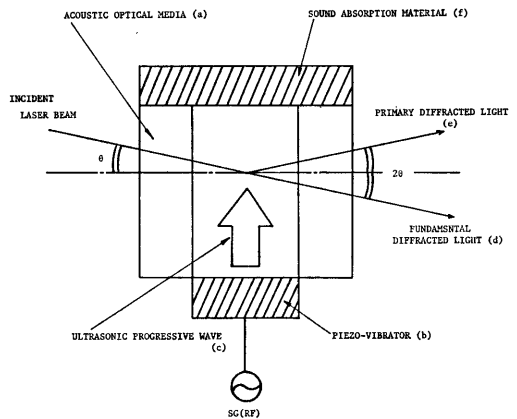


Fig. 5 Structure of acoustic optical element

イ 光変調特性

光変調特性は、回折光の回折角とその強度及びパルス応答速度等によって決定され、それぞれ次のような関係がある。

(7) 回折光強度

回折光強度は、搬送波の電力に依存し、回折強度を I_1 、搬送波の電力を P とすると、(1)式で表わすことができる。

$$I_1 \propto I_0 \cdot \sin^2(K\sqrt{P/\lambda}) \quad (1)$$

ここで I_0 ; 入射光強度

K ; 変調素子による定数

λ ; レーザ光の波長

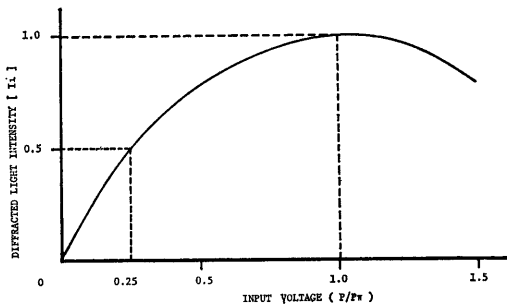


Fig. 6 Relation of diffracted light intensity and input voltage

| | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| ACOUSTIC OPTICAL MEDIA | TeO ₂ |
| LIGHT WAVE LENGTH | 6328 Å |
| CENTER FREQUENCY | 150 MHz |
| MODULATION BAND WIDTH | DC - 25 MHz |
| MAXIMUM DIFFRACTION EFFICIENCY | 60 - 85 % |
| PULSE RESPONSE TIME | 15 ns (LIGHT DIAMETER φ 0.9mm) |
| MAXIMUM INCIDENT LIGHT DIAMETER | 1.0 mm |
| MAXIMUM INPUT POWER | 1.0 W |
| EXTINCTION RATIO | OVER 100:1 |
| LIGHT TRANSMISSION FACTOR | OVER 94 % |

Table 1 Light modulation element electrical characteristics

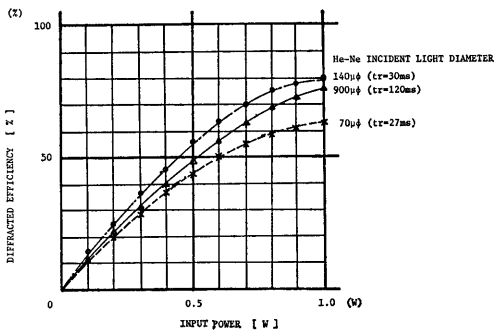


Fig. 7 Input power characteristics of diffracted efficiency

この関係式をグラフで表わしたものが Fig. 6 で、入力電力を最大回折率時の入力 ($p\pi$) で正規化したものである。図から50%の回折効率 η は $p\pi/4$ で得られるが $p\pi$ は光波長によっても変わり、 $p\pi$ と光波長 λ は、(2)式によって表わされる。

$$p\pi \propto \lambda^2 \quad (2)$$

(イ) 回折角

回折光の0次直進光からの回折角 2θ は、光波長を λ 、変調媒体の音速を v 、搬送波周波数を f とすると、(3)式で表わされる。(Fig. 5 参照)

$$2\theta = f \cdot \lambda / v \quad (3)$$

$$v ; \begin{cases} TeO_2 \text{ 媒体} & 4.2 \times 10^3 [\text{m/s}] \\ \text{ガラス媒体} & 3.7 \times 10^3 [\text{m/s}] \end{cases}$$

(ウ) パルス応答

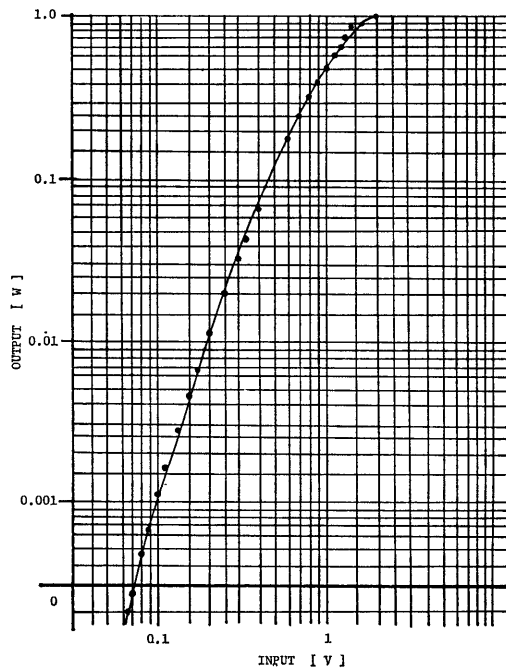
パルス応答時間 (t_r) は、変調素子に入射するレーザー・ビーム径を d 、音速を v とすると(4)式で表わされる。

$$t_r \approx 0.65 d / v \quad (4)$$

Table 2 AM modulation driver electrical characteristics

| | |
|--------------------------------------|---|
| CARRIER FREQUENCY | 150 MHz |
| MAXIMUM OUTPUT | OVER 0.5 W |
| MODULATION INPUT LEVEL | 0 - +1 V |
| MODULATION FREQUENCY CHARACTERISTICS | OVER DC - 8 MHz WITHIN DC - 5 MHz -1 dB WITHIN DC - 8 MHz -3 dB |
| CARRIER LEAK | LESS THAN 30 dB (to MAXIMUM OUTPUT) |
| OUTPUT STABILITY | LESS THAN $\pm 0.5 \%$ |

Fig. 8 Input-Output characteristic of modulation driver



ウ 光変調素子

光変調素子の特性を Table 1 に、また回折効率と入力電力の関係を Fig. 7 に示す。

エ AM変調用ドライバー

AM変調用ドライバーの特性を Table 2 に、入出力特性を Fig. 8 に示す。

2-1-2 レーザ光出力安定化のための改良

(1) サンプリングホールド・フィードバック回路の採用

従来のレーザ光出力回路ではレーザ管の温度ドリフトを少なくするためにもみ負帰還を行っていたがレーザ出力を十分に安定させることができなかった。しかし本回路は画信号内の規準値を利用して記録中でも充分な負帰還を行なうことができるためレーザ管の劣化が進行したり、製造段階で避けることのできない特性のバラ

ツキがあっても常にレーザ光出力を一定に保つことができるので本回路を採用した。

(2) サンプリングホールド・フィードバック回路の動作原理

HR-FAX の信号フォーマットは、Fig. 9 に示すように1フレーム毎に、画信号の手前に必ずプリカーサ信号(18.75KHz)と一定レベルの位相信号が送出されてくる。

サンプリングホールド・フィードバック回路は1走査毎にプリカーサ信号を基準に、次に来る画信号中、最大レベルの位相信号の光量を検出して負帰還を行なって利得を制御し、光量補正を行なっており、その構成はFig. 10のとおりである。フォトダイオードで検出された1次光出力は、比較回路において基準電圧と比較され、その差信号が取り出される。次に、差信号の位相信号部分だけをサンプリングし、次段の積分回路に出力する。積分

Fig. 9 HR-Fax signal format

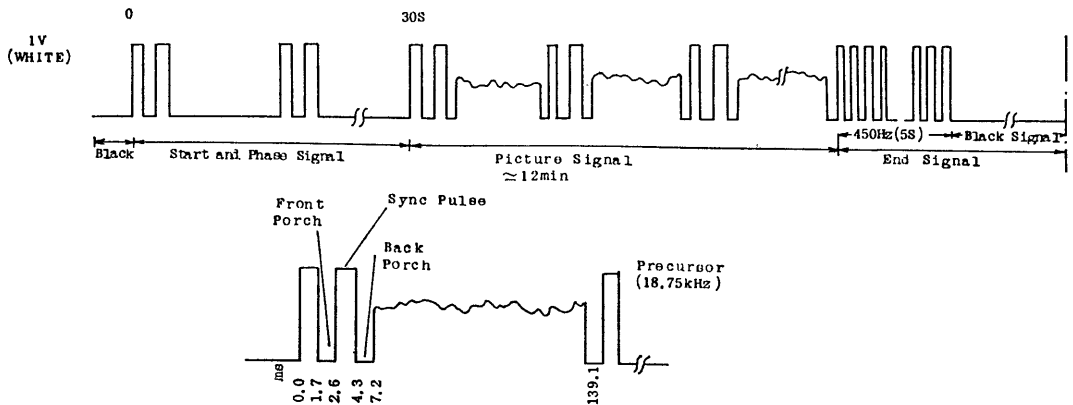
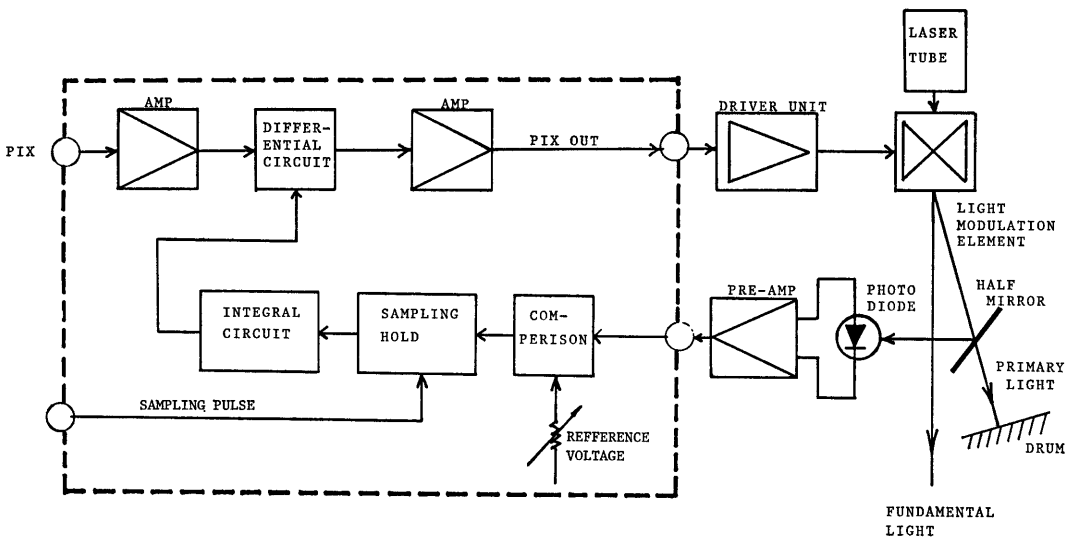


Fig. 10 Block diagram of stabilizing circuit



回路では、サンプリング信号を増幅するとともに、フィードバックループ時定数を決定し、乗算回路にて画信号と乗算することにより1次光出力の安定化を計っている。

2-1-3 γ 補正回路の改良

γ 補正は、中間濃度（ハーフトーン）を含むHR画信号を忠実に再現するために記録ファルムの γ 特性を補正するものであるが、従来の補正回路は Fig. 11 の通りで、32階調のうち白、中間調、黒と3ヶ所でしか補正することができなかったもので、階調の直線性を維持することが難しかった。このため、Fig. 12 に示すように調整箇所を8ヶ所にして、各階調の傾きを任意に補正することができる回路に変更した。Fig. 13 に新旧補正曲線を、Table 3 にはその範囲を示す。

この他にも、ベース濃度（最低濃度）と32階調目（最高濃度）の設定を行なう調整箇所を設けたため、精度の良い階調補正を容易に行なうことができるようになった。

Table 3 Tonal correction range

| CORRECTION POINT | RANGE |
|------------------|---------------------|
| 1 | 0 - 32 RAMP ADJUST |
| 2 | 4 - 32 RAMP ADJUST |
| 3 | 8 - 32 RAMP ADJUST |
| 4 | 12 - 32 RAMP ADJUST |
| 5 | 16 - 32 RAMP ADJUST |
| 6 | 20 - 32 RAMP ADJUST |
| 7 | 24 - 32 RAMP ADJUST |
| 8 | 28 - 32 RAMP ADJUST |

2-2 温度対濃度特性を安定させるための改良

2-2-1 レーザ光軸ズレに伴う光量変動を補正する改良

(1) 旧集光方式（スリット方式）の不具合についての考察

スリット方式の不具合部分を探すため、温度変動に関係があると思われるレーザ光量補正回路出力、画信号ア

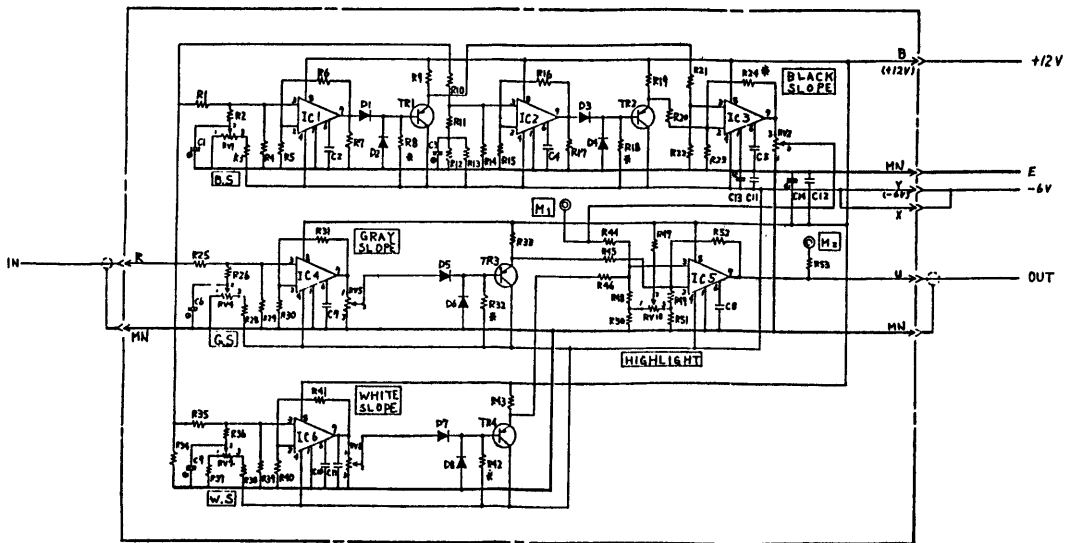


Fig. 11 Gamma-Correction circuit (old type)

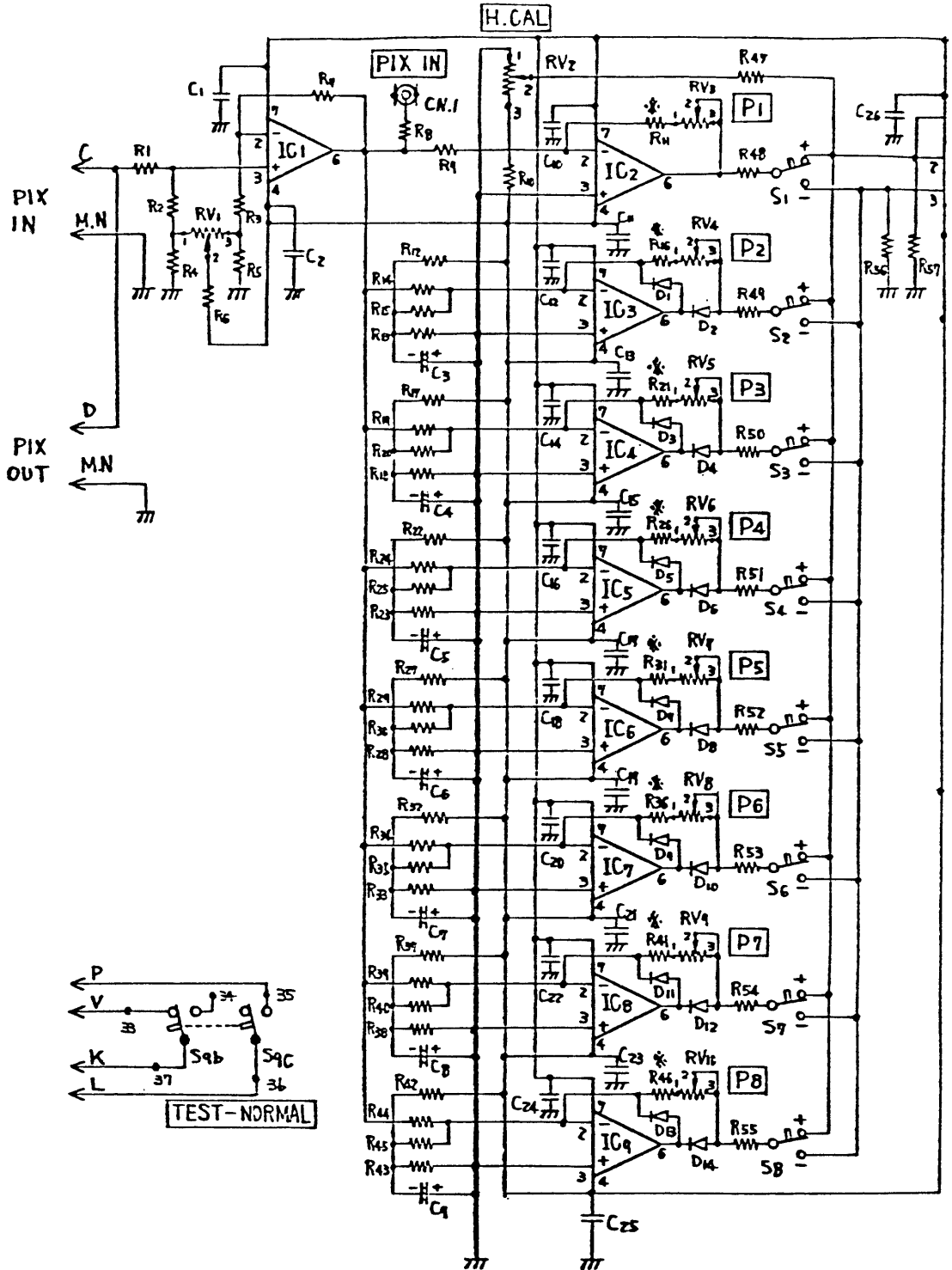


Fig. 12 Gamma-Correction circuit (new type)

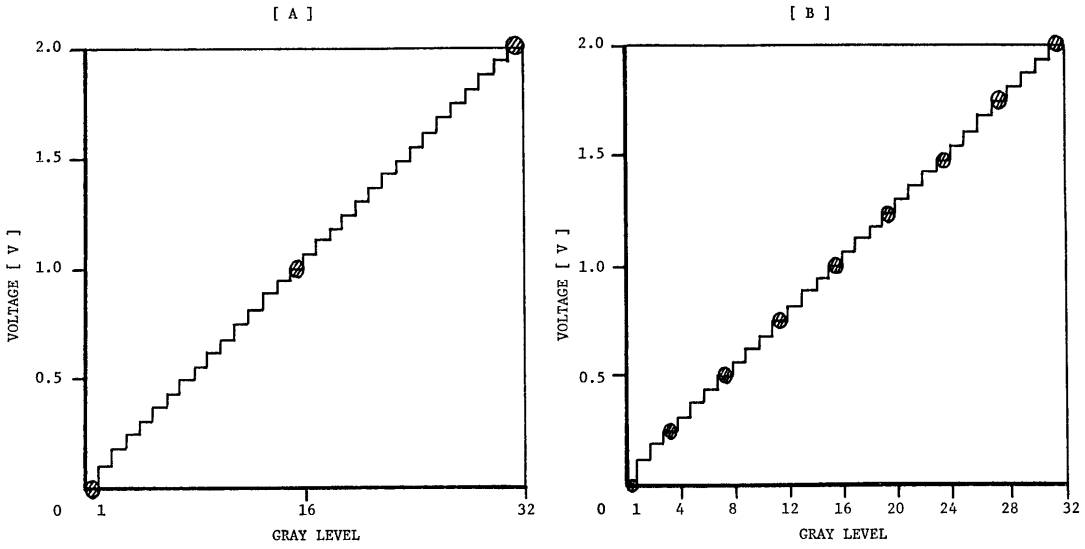


Fig. 13 Correction curve & correction points [A]; old type, [B]; new type

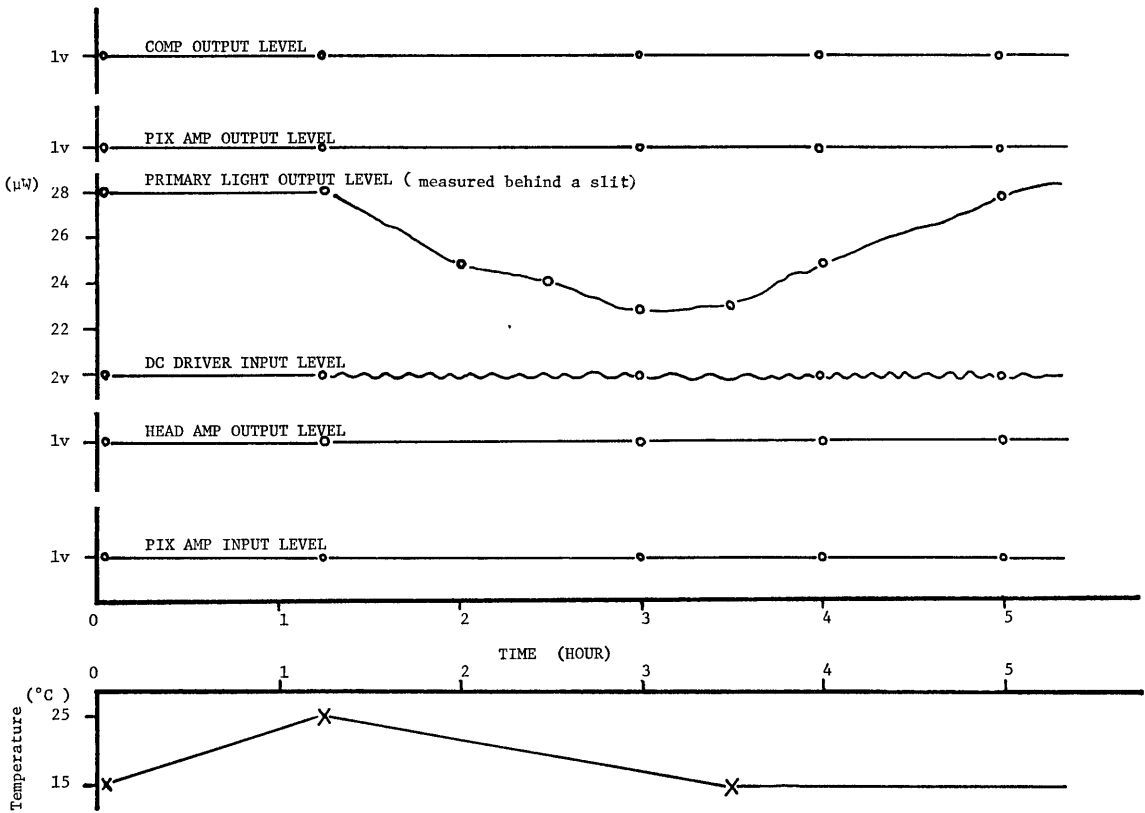


Fig. 14 Temperature test data

ンプ出力, ドライバー入力及び画信号アンプ入力等の各信号をペンレコーダに連続的に記録させ温度試験を行なった。その結果は, Fig. 14 に示すようにスリット通過後に測定したレーザ光量のみが大幅に変動していることが分った。

従来の光学系概略図は, Fig. 15 に示すようにレーザ管出力光はそのスポットのエネルギー分布を一様にするため, ビームエキスパンダにより10倍程度に拡大し, スリットを通過したのち先レンズで集光してドラムに照射

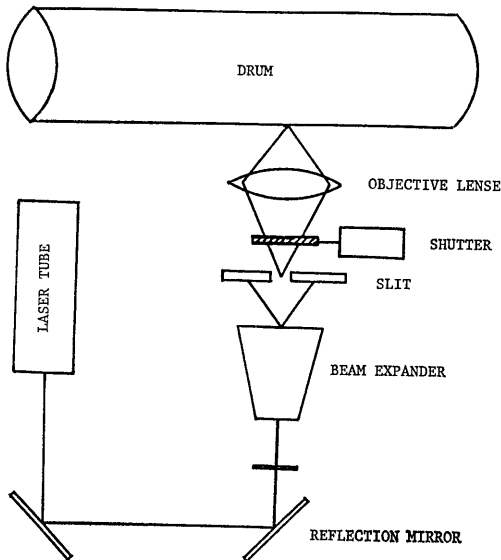


Fig. 15 Optical schematic diagram (old type)

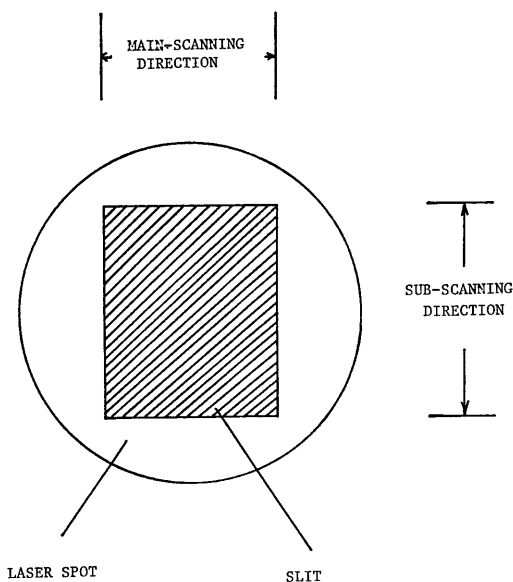


Fig. 16 Relation of laser spot and slit

する。ドラム上のスポットとレーザ管の距離は構造上の理由から 986 mm と長いので温度が僅かに変動した場合でも, 放射光軸がずれて Fig. 16 に示すスポットの当る範囲がスリットの中心からずれるため, 光エネルギーが減少し, 濃度低下が生じるものと考えられる。

(2) シリンドリカルレンズ集光方式の採用

現在のレーザ管製造技術では, 温度の変化による光軸ずれを無くすことは不可能と言われているため, 光軸ずれに強いシリンドリカルレンズ集光方式を採用して, 放射光軸がずれても光量が一定となるようにした。

Table 4 はシリンドリカルレンズ集光方式の特長を表わしたものである。この方式はレーザ光の入射角の変動があっても記録フィルム上には, ビームスポットの形状が変わらない一定エネルギーを照射することができるため, 光軸ずれに対して有利な方式である。

(3) シリンドリカルレンズ集光方式の原理 (有村 1977)

この方式の機構概略図は, Fig. 17 に示すとおりで, シリンドリカルレンズに入射したレーザ光は, 楕円形のスポットとなってドラムに照射される。シリンドリカルレンズは, Fig. 18 に示すように一対のレンズから構成され, 前後のレンズにより, 主副方向に集光する。各レンズの焦点距離 f [m] は次のように求めることができる。

$$f = \frac{d}{\theta} \text{ [m]} \dots \dots \dots (5)$$

Table 4 Cylindrical optics (Case of compared with SLIT OPTICS)

| | CYLINDRICAL OPTICS | SLIT OPTICS |
|---------------------|--|-------------|
| IMAGE DISTINCTION | SLIGHTLY WRONG (not the difference between CYLINDRICAL and SLIT, in case of looked a IMAGE) | VERY WELL |
| LIGHT STABILITY | VERY WELL | WRONG |
| LIGHT LOSS | LITTLE | GREAT |
| DENSITY FLACTEATION | NOTHING | MUCH |

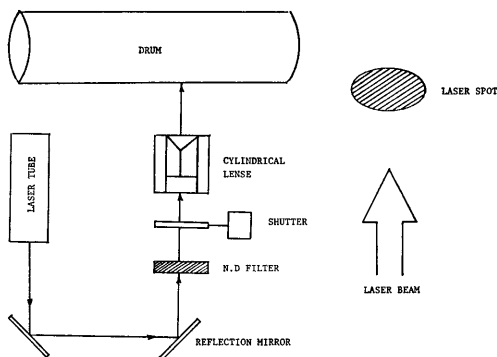


Fig. 17 Cylindrical lens focused block's schematic diagram

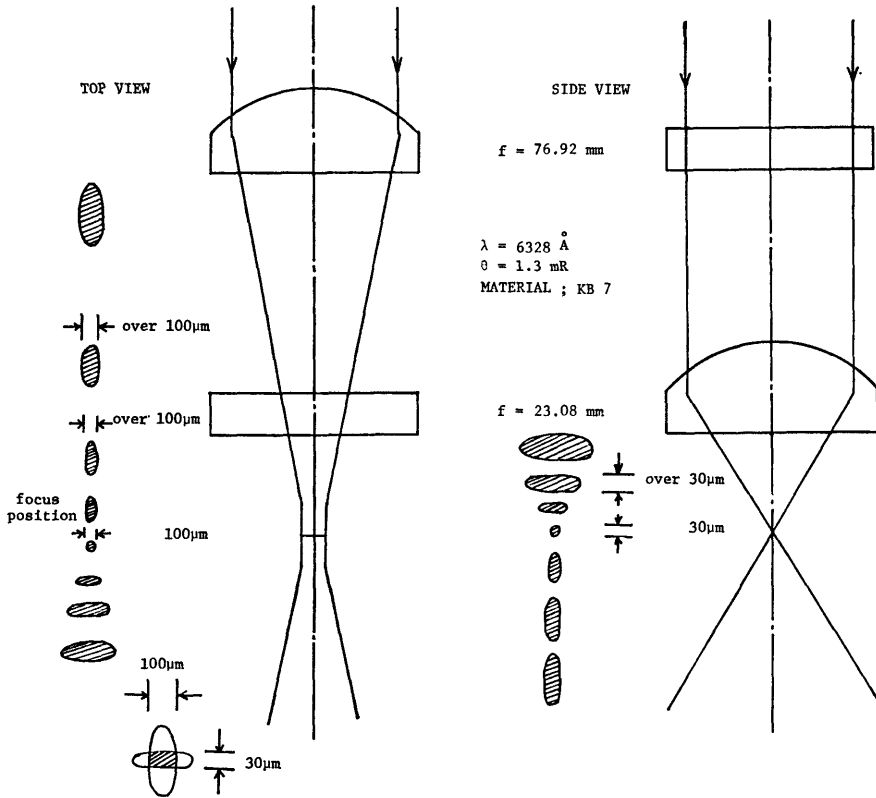


Fig. 18 Relation of cylindrical lens position and spot

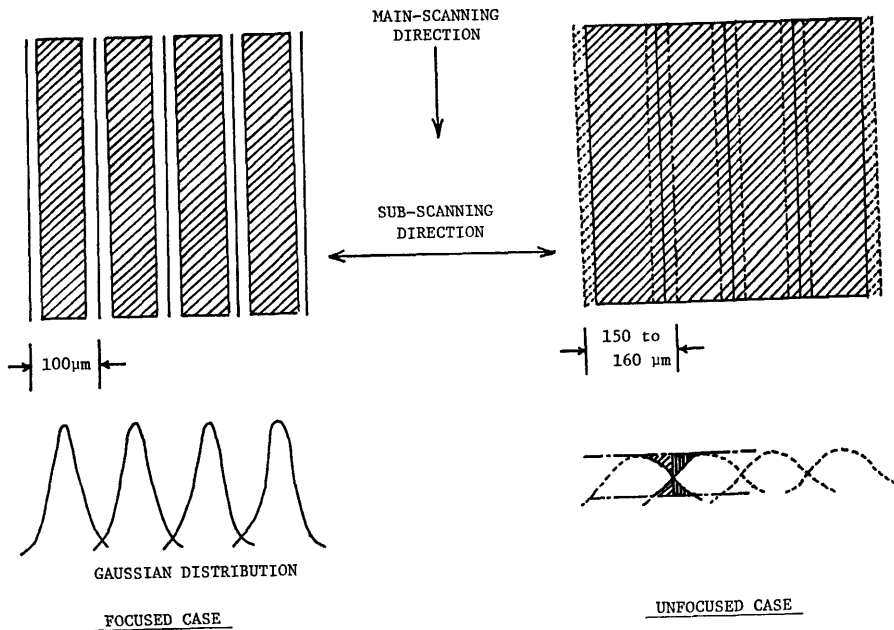


Fig. 19 Gaussian distribution and recording data

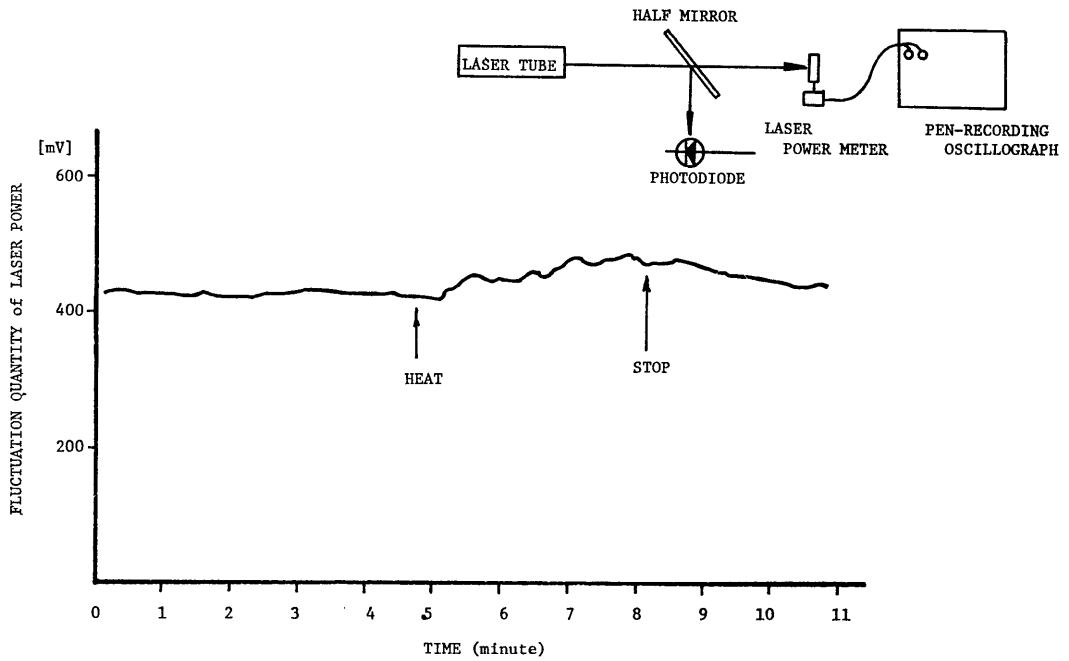


Fig. 20 Temperature test of half mirror heated by dryer, laser power 1.56 [mW]

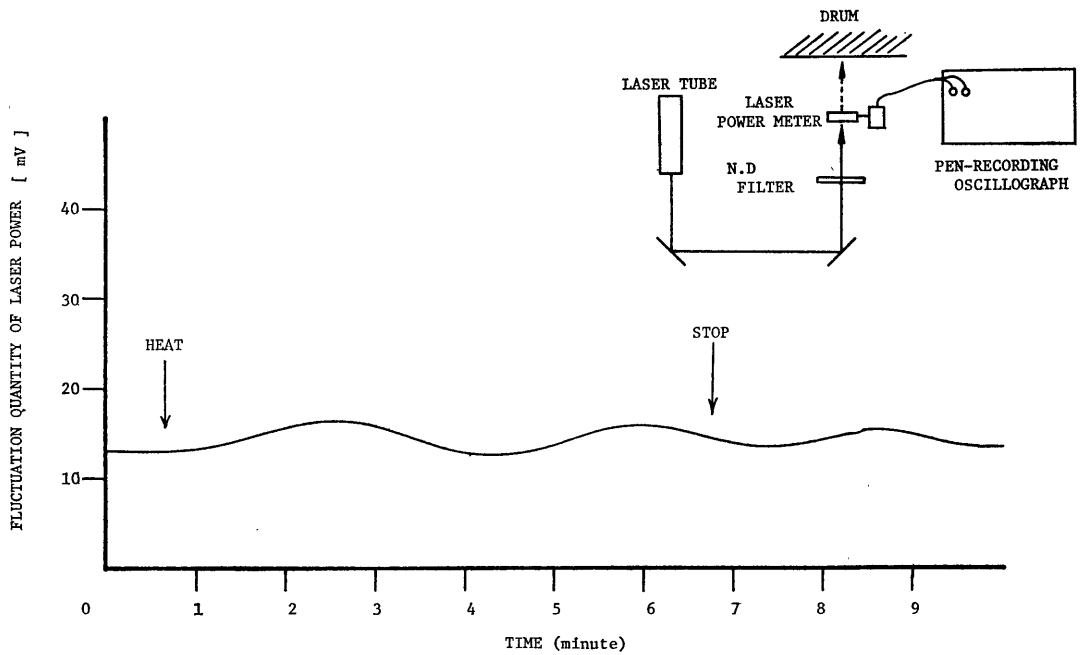


Fig. 21 N.D. Filter heat test N.D.=1.6, heated by dryer, laser power 0.035 [mW]

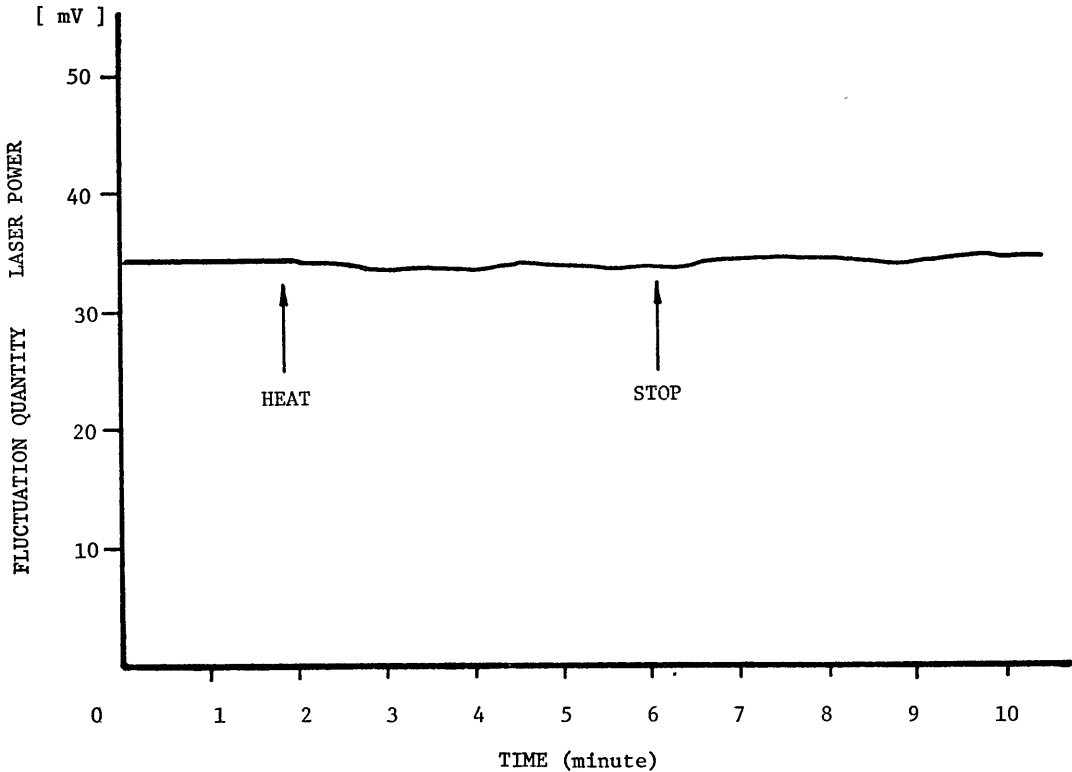


Fig. 22 Temperature test of a reformed filter, measured behind a filter, laser power 0.184 [mW]

ここで、 d ; スポットの径[m]
 θ ; レーザ光の拡がり角[rad]

主走査方向のスポットを規格値の $30 \mu\text{m}$ にするためには、レンズの焦点距離 f_1 は、 θ が 1.3×10^{-3} であるから、

$$f_1 = \frac{30 \times 10^{-6}}{1.3 \times 10^{-3}} = 0.0230796(\text{m})$$

$$\doteq 23.08(\text{mm}) \dots\dots\dots(6)$$

として求められる。

また、副走査方向のスポットを規格値の $100 \mu\text{m}$ にするためには、レンズの焦点距離 f_2 は、同様に、

$$f_2 = \frac{100 \times 10^{-6}}{1.3 \times 10^{-3}} = 0.076923(\text{m})$$

$$\doteq 76.92(\text{mm}) \dots\dots\dots(7)$$

として求めることができる。

この場合、レーザ光のエネルギーはガウス分布のために走査線に濃い部分と薄い部分が生じる。Fig. 19 はこ

の様子を示したもので、薄い部分を無くするために、実際には副走査方向のピントをずらし走査線をオーバーラップさせて一様な濃度を保つようにした。このときの1ラインのスポットの径は、 $150 \mu\text{m} \sim 160 \mu\text{m}$ となる。

2-2-2 光路上に使用する部分品の改良

(1) 部分品の使用目的および不良原因

ア ハーフミラー

ハーフミラーは、HR受画機の光路上に取付け、レーザ光の一部を反射し、フォトセルで検出させるものであり、検出された信号はレーザ光出力のモニタ用およびフィードバック用として利用している。

Fig. 20 はハーフミラーをドライヤーで加熱して透過光量をペンレコーダに記録させたデータであるが、加熱後の透過光量は増加している。

この原因をつきとめるため数種のハーフミラーを使用して試験を行なったところ、温度特性は石英ガラスを使用したものが優れていたが、いずれのものもマウントミラーの4辺を接着していたため、ミラーに熱膨張があると周辺が押え付けられてミラー表面が不規則に変形し反射光の一部は拡散されたり、吸収されるため、フィード

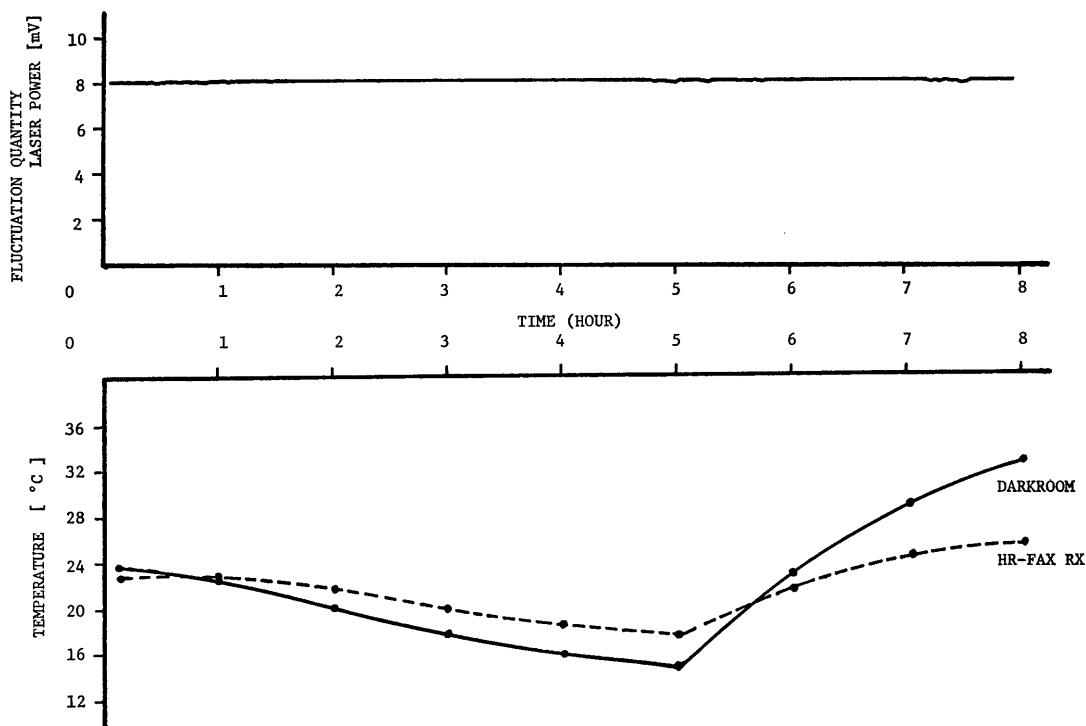


Fig. 23 Overall test data laser power on the drum ; 0.0079 [mW]

バック用反射光量が変動したものと考えられる。

イ NDフィルター

NDフィルターは、レーザの光量を減光して受画濃度を許容値内に入れるための調整用として使用している。

Fig. 21 はNDフィルターをドライヤーで加熱して透過光量をペンレコーダに記録させたデータであるが、加熱後周期的に変動している。このフィルターは、透明な薄いフィルムにゼラチンを塗布した構造のため、変動原因はハーフミラーの場合と同様、表面が温度変化の影響を受けて歪み、透過光量が不安定になったものと考えられる。

(2) 部分品の改良

ア ハーフミラー

数種のハーフミラーを使用していくとおりかの固定方法について試験した結果、対角点だけマウントに接着する方法が最も優れており、ドライヤーで加熱しても一定の反射光量が得られた。

イ NDフィルター

HR受画機に使用するNDフィルターには次のような条件が要求される。

(ア) 温度変化があっても光量は変化しないもの。

(イ) 光源に対してフィルター素材の角度を変えても光量は変化しないもの。

(ウ) フィルターを通過したレーザ光スポットは、10m離れた位置においてもその形状が変形しないもの。

この条件を満たすために、数種類のフィルターで試験を行なったところ、(イ)、(ウ)項については問題はなかった。

(ア)項に対してはゼラチンを塗布したNDフィルターの特性が良好だったので、このフィルターを温度特性の優れた2枚の板ガラスでサンドイッチ状にはさんで接着剤にてしっかり固定した。

Fig. 22 は温度試験を行なったデータであるが、濃度に影響を与えるほどの変動はなかった。

3. むすび

HR受画機の改良が完了した後、総合試験として行なった受画試験の代表的特性は Fig. 23 と Fig. 24 のとおりで、濃度および階調の直線性とも安定している。以上のように、本改良は他に例を見ない厳しい濃度基準を満足させたという意味で、新しい試みといえる。

本稿をまとめるにあたり、技術調査のための試験を行

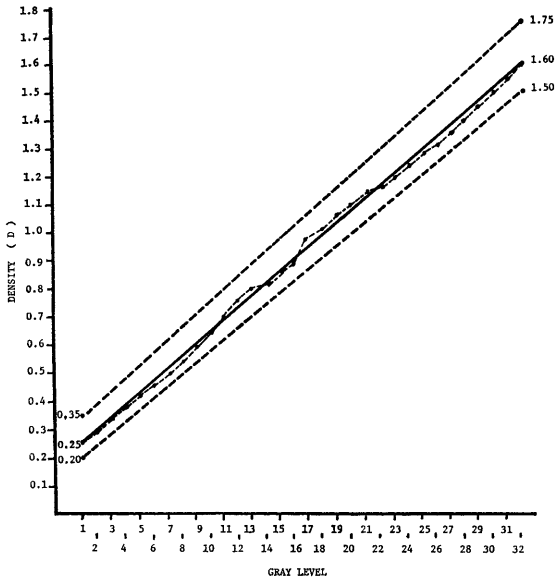


Fig. 24 Improvement result (Density-Gray Level Reference Table of HR-FAX Recorder)

なった際、伝送第一課の方々には御協力を頂きました。また、前施設管理課第二施設係員の方々からは適切な助言を頂きました。さらに、HR受画機を設計、製作した松下電送機からは技術資料の提供や数々の助言を頂きました。ここに誌上をお借りして深く感謝の意を表します。

References

- 成井満男, 伊藤衛, 福井徹郎, 1980: GMS通信システム概要, 気象衛星センター技術報告(特別号1-2), 1-16
- 伊藤文夫, 1980: 高分解能/低分解能 FAX システム, 気象衛星センター技術報告(特別号1-2), 123-134
- 桜井晶, 1980: FAX系装置, 気象衛星センター技術報告(特別号1-2), 55-63
- 木場博之, 1980: 衛星写真の処理との光学的特性について, 気象衛星センター技術報告(特別号1-2), 27-41
- 有村孝文, 1977: 多面回転鏡ファクシミリ走査機構, 研究実用化報告第26巻第3号, 1027-1049