

# 固体発光素子の画像信号出力装置への応用

藤 本 勉\*・田 中 護\*

## Application of Solid State Light Emitting Devices to Picture Signal Output System

Tsutomu FUJIMOTO and Mamoru TANAKA

### Abstract

Our system for image data processing has a tungsten filament lamp as light source exposing photo-sensitive paper.

In this report, we examine the characteristics of the lamp, and usefulness of employing Light-Emitting Diode in place of the lamp.

As the results, in using the paper suitable for the spectrum radiation character of L. E. D, we could use LED as a good light source. Tone reproduction character is not so well as a case of tungstenlamp. The authors state the gray scale compensation, in addition.

### 1. ま え が き

最近、画像情報処理の研究が、各分野で行なわれている。これは画像が非常に多くの情報量を含んでいるからであり、それらの中から必要な情報を抽出し、有効に利用しようと試みられる。画像を電子計算機で取扱うには、画像情報入出力装置が必要となるが、画像の性質から装置は、高速性と、大記憶容量さらに十分な解像度及び信号対雑音比が要求される。これらの条件を満たした入出力装置は数多く発表され、開発が継続されているが、いずれも、非常に高価である。

これらの点に鑑みて、我々は簡易型低価格処理装置をミニコンを中心に、ファクシミリ送受信機を入出力装置として採用して開発し、種々の成果を上げている<sup>1)~7)</sup>。しかし簡易性を達成するために主に処理速度を犠牲にしており、今後の課題として処理速度の向上が先ず残されている。

この点を考察すると、入力装置部に於いては、速度はミニコンのバッファメモリの大容量化と、高速補助記憶装置の導入とに集約される。一方出力装置部については、

現装置を使用する限りに於ては、感光材料露光用の光源の高速応答性を有するものへの置換が簡単と思われる。

以上のような観点から、現在採用しているタングステンフィラメント白熱電球の種々のものについて、実験を重ね、次に最近多く使用されるようになった固体発光素子である、発光ダイオードについて採用の可否の実験を行なった。写真感光材料の露光用光源に発光ダイオードを使用した例は非常に少なく、半導体研究所<sup>9)</sup>に於て、8mmトーキーの音声記録光源に使用した報告程度であり(1970)、本報で述べるファリシミリ用光源に使用した例を著者らは知らない。

そこで、発光ダイオードの採用について、次の点に重点をおいて検討を実施した。

- (1) 発光ダイオードの発光スペクトルと感光材料の分光感度特性との整合
- (2) 発光ダイオードの光出力と感光材料の感度の整合は、高感度感材を使用すれば解決されるか、長時間、厳重な暗室作業が要求されるため好ましくないこと。
- (3) 発光量制御方式、前記の半導体研の例では、発光ダイオード印加電圧を変動させている所謂電圧制

\*宇部工業高等専門学校電気工学科

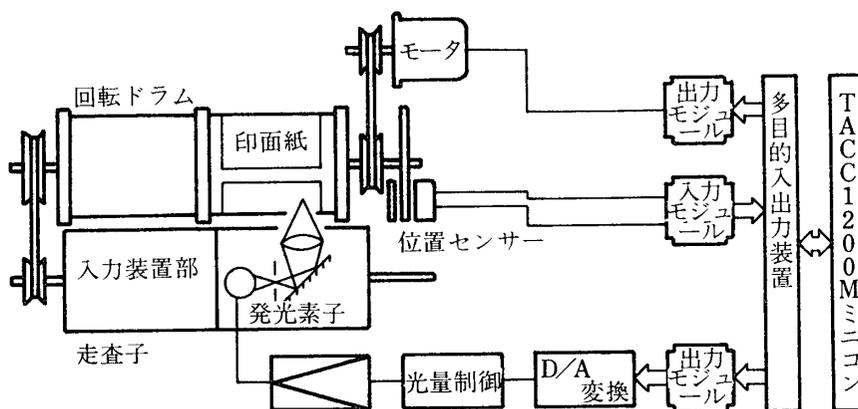
御法であるが、これ以外の方法の検討、

- (4) 信号対感材露光量及び感光濃度特性を直線化するための信号補整回路特性

これらの問題点について検討<sup>9)</sup>を加え、基礎的解答を得たので、以下報告する。

### 2. 簡易画像信号出力装置<sup>11)-2)</sup>

第2・1図に簡易画像信号入出力装置のブロック図を



第2-1図 簡画像信号処理装置

### 3. タングステン・フィラメント白熱電球光源

発光量制御方式電光変換には

- (i) 白熱電球による方法
- (ii) 放電管による方法
- (iii) 陰極線管による方法

があるが、このうち白熱電球による方法は、光能率(入力電力に対する光出力の割合)が良く、印加電力(あるいは印加電圧)により、簡単に発光量を制御出来る利点があるので、最初に筆者等この方法を採用した。しかし、フィラメントの有する熱惰性のために、高速応答性に乏しく、かつ経年変化も無視出来ないという欠点があり、高速度処理を達成することはできない。しかし、低速度出力装置では十分、その利用価値はあると思われる。若干、タングステンフィラメント白熱電球の物理的特性と実験結果について検討する。

#### 3・1 白熱電球の直流過渡応答特性<sup>11)</sup>

白熱電球にステップ状入力電力を印加した時、あるいは、印加電圧を瞬間的に除去した時の発光量の応答性については、門倉<sup>10)</sup>及び石川<sup>11)</sup>の研究がある。

示している。装置は回転ドラム走査子移動型ファクシミリを原型としており、その詳細については、既に報告している。

回転ドラム部の右半分が出力部であり、ミニコンからの信号で、露光用光源の光量制御を行なっている。光源には、速応性あるいは入力信号に対する発光量の直線性、さらには大きな発光量を持つ光源が望ましい。従来これにタングステンフィラメント白熱電球を用いているが、今回、固体発光素子である発光ダイオードを採用したものである。

白熱電球にステップ状の電力を印加すると、それらは

- (i) フィラメントの温度上昇 ( $HdT/dt$ )
- (ii) 温度放射 ( $kT^4$ )
- (iii) その他、ガス損失、端子損失などによる放散となる。すなわち

$$W = H \frac{dT}{dt} + K(T^4 - T_0^4) + r(T - T_0) \quad (3 \cdot 1)$$

ただし、 $H$  : フィラメントの熱容量 ( $W \cdot s/deg$ )

$T$  : フィラメントの絶対温度 ( $^{\circ}K$ )

$T_0$  : フィラメントの周囲温度 ( $^{\circ}K$ )

$K$  : 定数  $= \epsilon_t \sigma s$

$\epsilon_t$  : タングステンの全発散率

$\sigma$  : ステファンボルツマン定数

$s$  : フィラメント放射面積 ( $cm^2$ )

$r$  : 熱損失に関する定数 ( $W/deg$ )

$t$  : 時間 ( $S$ )

また、フィラメントの熱容量 $H$ は温度と共に変化し、近似的に次式となる。

$$H' = a(T - T_1) + H_1' \dots (3 \cdot 2)$$

但し  $H' = H/ld^2$

$l$  : フィラメントの長さ ( $cm$ )

d: フィラメント直径 (cm)

a: 定数

H<sub>1</sub>: 温度の定常値 T<sub>1</sub> における熱容量

さらに, フィラメント抵抗値 R は温度の関数であり,

$$R = AT^2 + BT + C \approx BT \dots\dots\dots (3 \cdot 3)$$

と表わされ, 白熱電球を定電圧 V で点灯する場合の入力電力は,

$$W(t) = \frac{V^2}{R} \approx \frac{V^2}{BT} \dots\dots\dots (3 \cdot 4)$$

となる. したがって (3・1) 式で第3項の熱損失を無視して,  $T^4 \gg T_0^4$  とすると,

(3・1) 式は

$$\begin{aligned} W(t) &\approx H \frac{dT}{dt} + KT^4 \\ &\approx \frac{V^2}{BT} \\ &\approx ld^2 \{ a(T - T_1) + H_1 \} \frac{dT}{dt} + KT^4 \dots\dots\dots (3 \cdot 5) \end{aligned}$$

一方, 放射エネルギー J(t) は, ステファンボルツマンの法則から,

$$J(t) = KT^4(t) \dots\dots\dots (3 \cdot 6)$$

さらに

$$\frac{dJ(t)}{dt} = 4KT^3(t) \frac{dT(t)}{dt} \dots\dots\dots (3 \cdot 7)$$

を (3・5) 式に代入して

$$\begin{aligned} W(t) &= H \cdot \frac{1}{4KT^3(t)} \frac{dJ(t)}{dt} \cdot \frac{KJ(t)}{K} \\ &= \frac{H}{4K^{\frac{1}{4}} J(t)^{\frac{3}{4}}} \frac{dJ(t)}{dt} + J(t) \dots\dots\dots (3 \cdot 8) \end{aligned}$$

(3・8) 式第1項の係数中, T, J, H の定常平均値を T<sub>m</sub>, J<sub>m</sub>, H<sub>m</sub> とすると, すなわ

$$\begin{aligned} \frac{H}{4K^{\frac{1}{4}} \cdot J^{\frac{3}{4}}} &= \frac{H_m}{4K^{\frac{1}{4}} \cdot J_m^{\frac{3}{4}}} = \frac{H_m}{4KT_m^3} = \frac{1}{\alpha} \\ &(\text{一定}) \dots\dots\dots (3 \cdot 9) \end{aligned}$$

但し  $J_m = KT_m^4$

とすると, (3・8) 式は

$$\frac{1}{\alpha} \frac{dJ(t)}{dt} + J(t) = W(t) \dots\dots\dots (3 \cdot 10)$$

ラプラス変換して,

$$-\frac{1}{\alpha} sJ(s) + J(s)W(s) \dots\dots\dots (3 \cdot 11)$$

これより, 白熱電球の伝達関数は,

$$G(s) = \frac{J(s)}{W(s)} = \frac{\alpha}{s + \alpha} = \frac{1}{1 + \tau s} \dots\dots\dots (3 \cdot 12)$$

但し  $\tau = \frac{1}{\alpha}$

と, 一次おくれ系で近似できることがわかる.

このことから, 急に直流電力を印加した時, 放射エネルギーは,

$$J(t) = J_1 \{ 1 - e^{-\alpha t} \} \dots\dots\dots (3 \cdot 13)$$

急に除去した時の応答は

$$J(t) = J_1 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (3 \cdot 14)$$

となる. ただし J<sub>1</sub> は J(t) の定常値である.

さらに, 石川<sup>(1)</sup>によると,  $T = 2800^\circ K$  附近では光束 I は, 放射エネルギーの2乗であり (3・13) 及び (3・14) 式より光束のステップ応答は

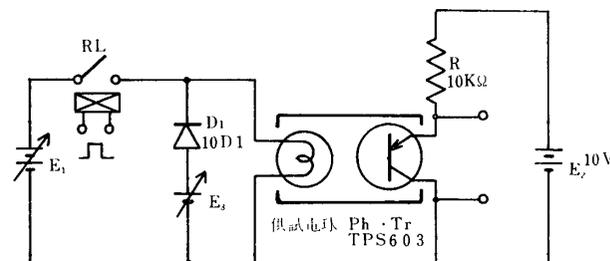
$$I(t) = I_1 \{ 1 - e^{-\alpha t} \}^2 (\text{印加時}) \dots\dots\dots (3 \cdot 15)$$

$$I(t) = I_1 e^{-2\alpha t} (\text{除去時}) \dots\dots\dots (3 \cdot 16)$$

となる.

### 3・2 実験的検討

白熱電球のパルス点灯特性については, 既に文献2) に於て検討を行なっている. 今回種々のタングステンフィラメント白熱電球について実験を行なった. 実験回路第3-1図に於て, E<sub>s</sub> は予熱用電源であり, リレーRLによって矩形波電圧を印加し, 発光出力をフォトランジスタによって測定する. この際, フォトランジスタの照度-光電流特性は十分直線的である. このようにし



第3-1図 白熱電球実験回路

表 3-1 白熱電球の α 値

サンプル	印加電圧 (V)	定格電流 (mA)	立上り時の α	立下り時の α
	0~12	33.5	72.4	72.0
A	0~8	26.8	151	23.0
B	0~12	32.0	82.7	57.4
C	0~4	1.83 (A)	19.4	15.3
D	0~8	34.1	125	88.5
	4~8	25.3 (4.0V)	132	67.1

て得られた白熱電球のステップ応答波形を写真3-1に示している。実験の結果から立上り(点灯時), 立下り(消灯時)の $\alpha$ を求めたものを表3-1に示している。これより最も応答の速いサンプル Bにおいても約200 Hz程度が使用限界周波数ということになる。またオフセッ

ト(予熱)については, 立上りの改善は認められるが, 同時に立下りの悪化となり好ましくない。サンプル Eにより, 画像電子学会ファクシミリテストチャートを出力したものを写真3-2に示している。グレー階調の再現は, 十分であるが, 特に消灯特性の悪さが目立つ。

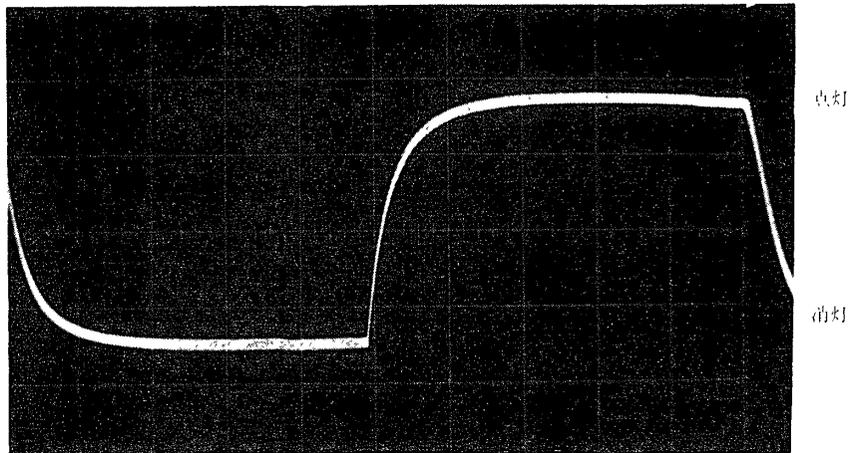


写真 3-1 白熱電球のステップ応答波形 10ms/Div. OFF-SET 0 V, 5 V

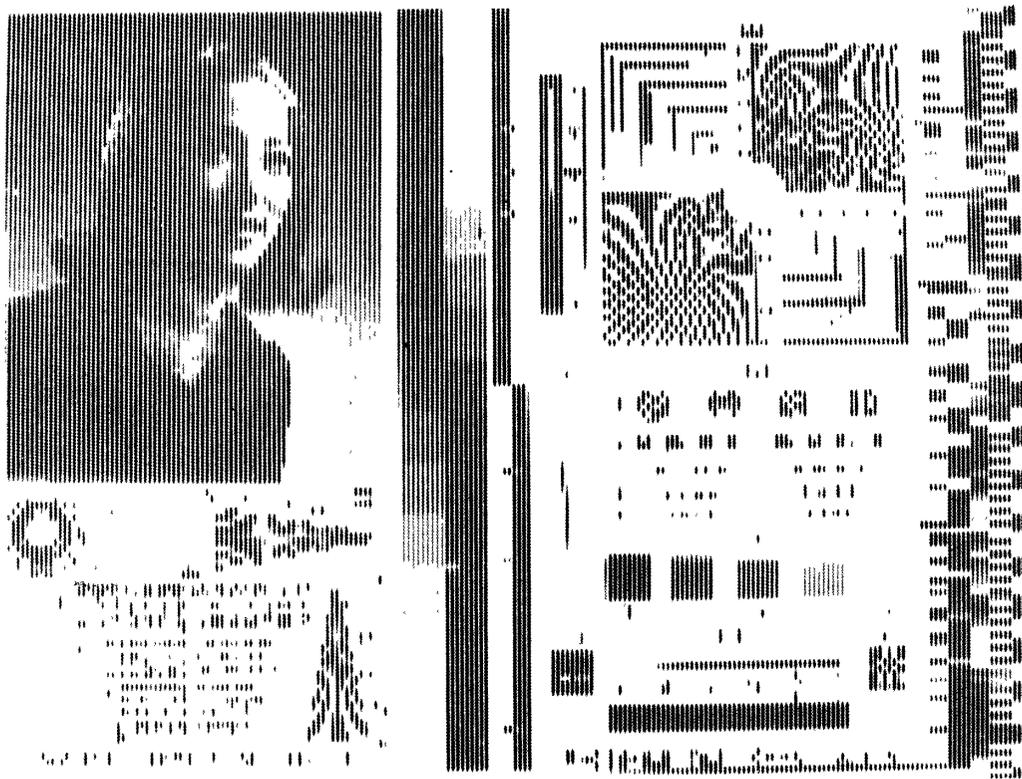
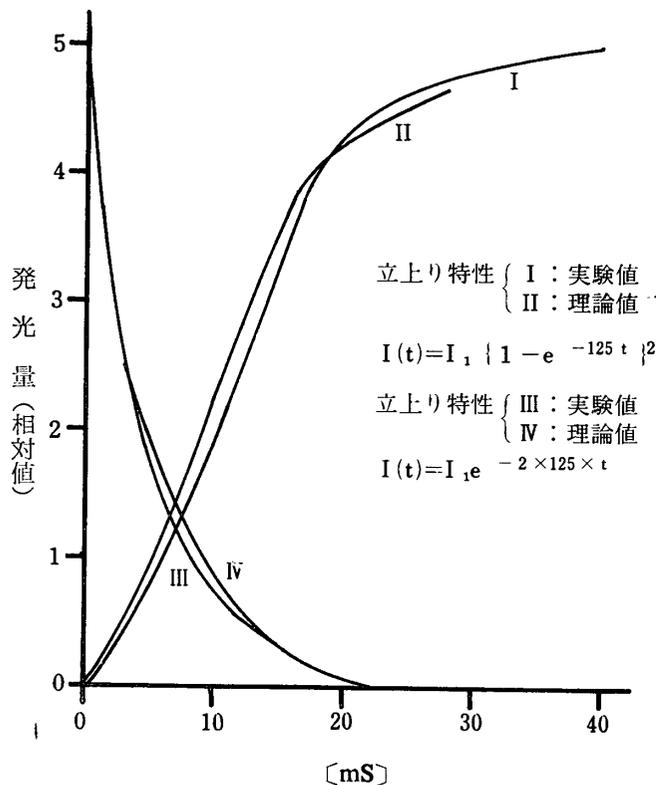


写真 3-2 サンプル E による出力画

第3-2図にサンプル Eのステップ応答を実験値と理論値とを比較している。この結果かなり良く一致して

いることが解る。



第3-2図 サンプルEの点灯特性 0~8 [V]

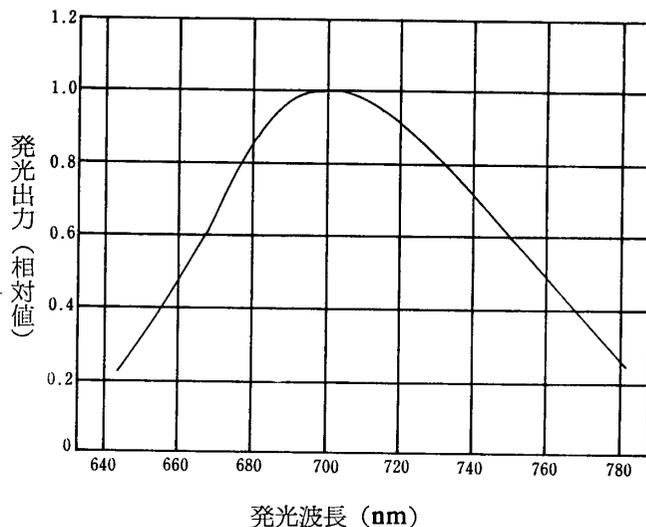
4. 発光ダイオード光源

発光ダイオードは電気エネルギーを直接光に変換する素子であるため、発光の応答速度が非常に速く、画像出力装置の露光用光源として使用するには好適である。しかし、製品として市販されているものは、発光出力がタングステンフィラメント白熱電球に比べて、非常に小さく、発光量制御が難しく、また発光スペクトルが長波長側のものがほとんどであり、この点は感光材料の波長感光特性を考慮して、最良の組み合わせを求める必要がある。以下、実験に用いた GaP 型発光ダイオードに限定して述べる。

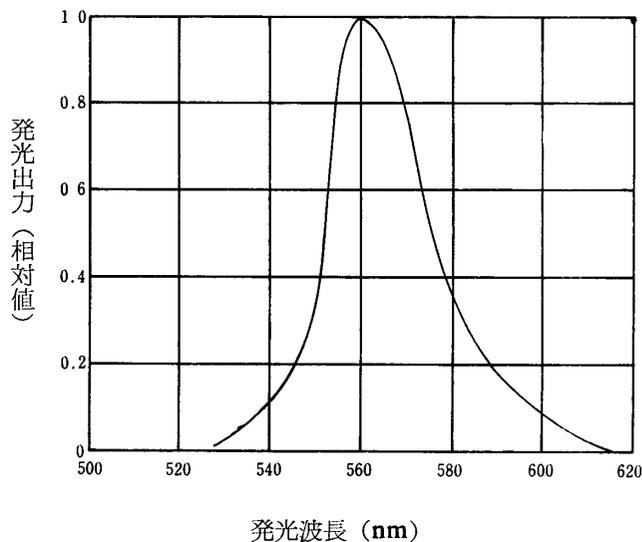
4.1 発光ダイオードの特性<sup>12)-15)</sup>

第4-1図に発光ダイオードの発光スペクトルを示している。赤色発光ダイオードは、700nm にピークがあり、半値幅は約100nm である。

第4-2図に示す緑色発光ダイオードは500nm にピークがあり、約30nm の半値幅がある。赤色及び緑色発光ダイオードを同時に点灯すると黄色発色を示すが、今回の実験には使用しなかった。この黄色発光ダイオードは



第4-1図 GaP 発光ダイオード TLR-103 (東芝) の発光スペクトル



第4-2図 発光ダイオードの発光のスペクトル TLG-103 (東芝)

2本の発光ダイオードが、同一ケース内に封入してあり、放射エネルギーは倍加するが、ケースに透明のものがなく不向きである。発光効率については、赤色のものが、緑色に比べて10倍以上良く、主にこのものを使用した。

次に、順方向一電圧特性は、通常の接合型ダイオードと全く同じく、次式で表わされる。

$$I = I_0 \exp(eV/nkT) \dots\dots\dots (4 \cdot 1)$$

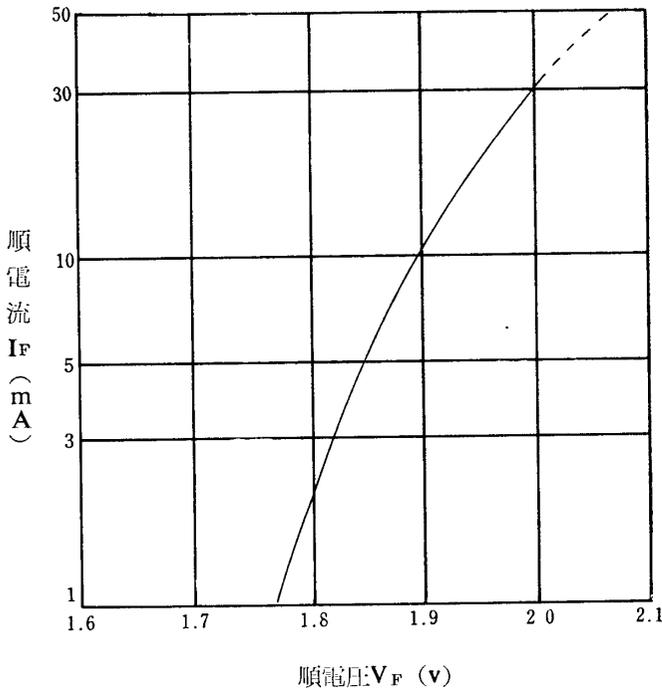
但し

$I_0$  : 比例定数

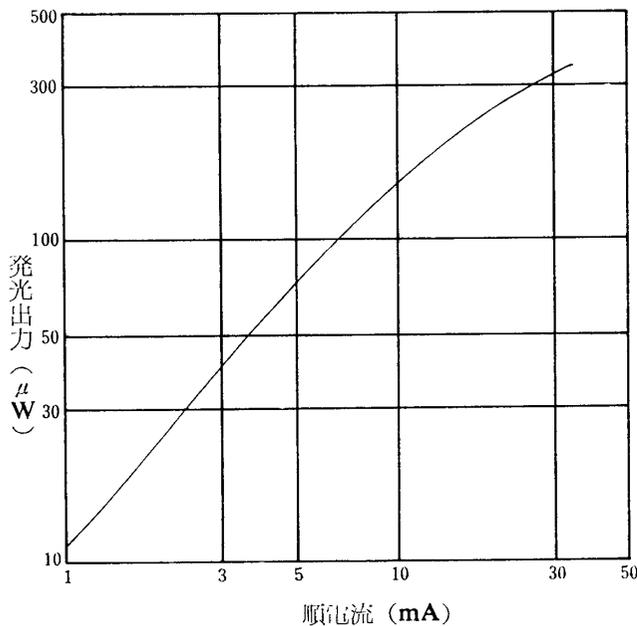
$e$  : 電子電荷

v : 印加電圧  
 k : ボルツマン定数  
 T : 絶対温度  
 n : 定数であり、概略 2 の値を示す。

赤色発光ダイオード TLR-103 (東芝) について第 5-3 図に示している。



第4-3図 TLR-103の順電圧—順電流特性



第4-4図 TLR-103の順電流—発光出力特性

発光量—電圧特性は

$$P = P_0 \exp(ev/nKT) \dots\dots\dots (4 \cdot 2)$$

但し \$P\_0\$ : 比例定数

と (4・1) 式と同様な形となるが、n の値は、低電圧の範囲 (約 1.70V 以下) では n = 1, 高電圧の範囲では n = 2 となる。

また発光量—順電流特性は

$$P = k I^n \dots\dots\dots (4 \cdot 3)$$

但し K : 比例定数で

与えられ、n の値は、0.5~2 の範囲の値を取るが、GaP 形発光ダイオードの場合は、高電流領域で飽和傾向を示す。第 4・4 図に示している。

### 5. 実験

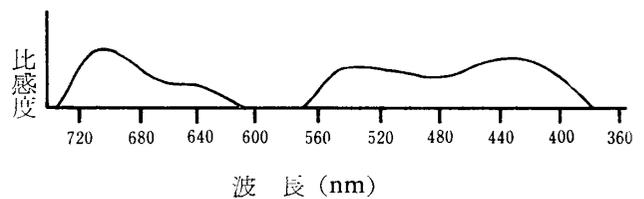
簡易画像信号出力装置の露光用光源に、発光ダイオードを用いて、画像再生実験を行なった。発光ダイオードの発光量制御方式は、

- (i) 電圧を制御する方式
- (ii) 電流を制御する方式
- (iii) パルス点灯間隔を制御する方式

について行なった。

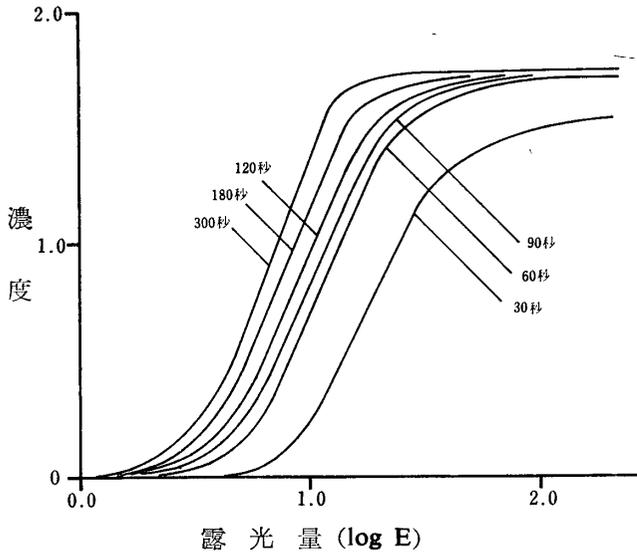
#### 5・1 感光材料

GaP 型発光ダイオードの発光スペクトルは第 4・1 図、第 4・2 図に示すように、赤色の場合約 700nm, 緑色の場合約 500nm に最大発光量を示すので、この範囲に感光特性を示す銀塩写真材料を探した。第 5-1 図に



第5-1図 パンクロ RF/N 分光感度特性

パンクロ RF/N 印画紙 (オリエンタル写真工業) の分光感度特性を示している。この印画紙はカラーネガフィルムから白黒焼付を行なうために用意されているもので、赤領域に十分な感度を持っている。ASA 感度は約 1 である。さらに露光量—濃度特性を第 5-2 図<sup>16)</sup>に示している。緑色発光ダイオードについては、パンクロ RF/N 印画紙は若干感度が低いため、ドラム回転速度をかなり遅く、長時間の焼付が必要なために、緑色については、プロセスフィルム (パンクロ) (富士写真フィルム) を用いた。これは 500nm に十分な感度を示しており、



第5-2図 パンクロ RF/N の濃度曲線 (D72)

ASA 感度 6 (電灯光) の製版用フィルムである。

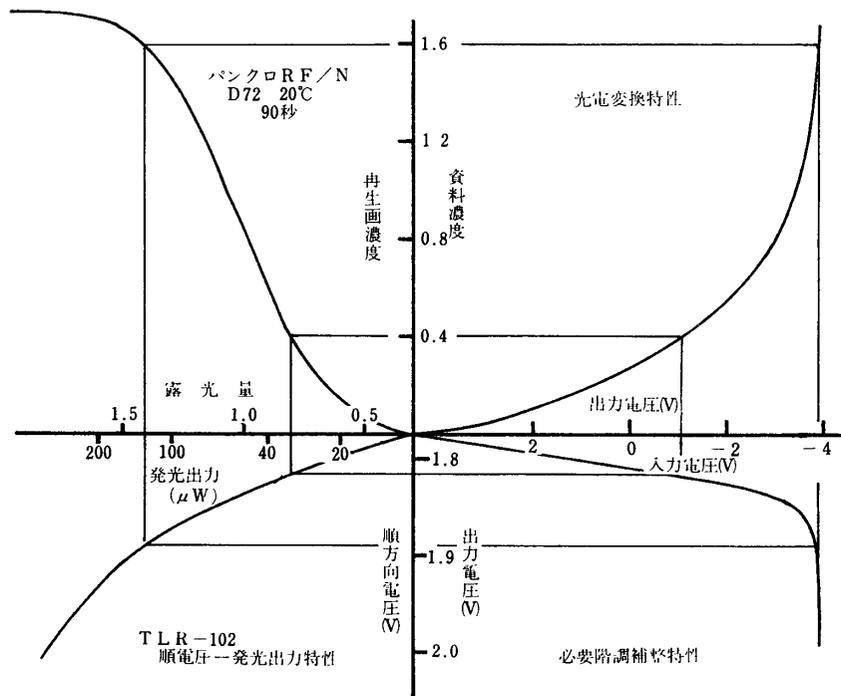
5・2 電圧制御方式

最も基本的な制御方式である電圧制御方式は、ミニコンからの出力を D/A 変換器で、アナログ量に変換した後、電圧増幅して発光ダイオードに印加するものである。しかし、第4-4図、順方向電圧-発光出力特性からわかるように、印加電圧 0~1.82 [V] 程度迄は、発光は行なわれず、1.88 [V] では飽和が起きる。したがって、約0.06 [V] の範囲で、発光量を制御することに

なり、高ビット数で出力する場合は、1レベル当りの電圧変化量は極くわずかになり、D/A 変換器-電圧増幅器の高安定性が要求され、技術的に難しいことになる。



写真 5-1 電圧制御方式による出力画 4 bit/pel



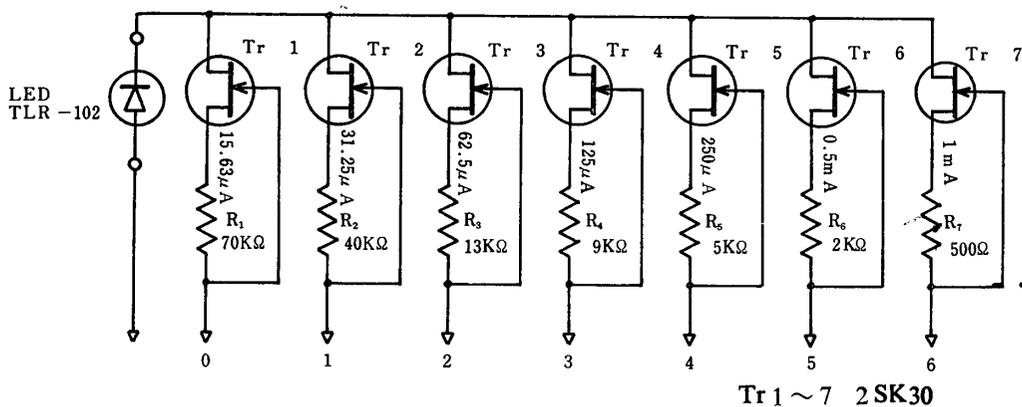
第5-3図 電圧制御方式による濃度再現過程

写真5-1に電圧制御方式で得た出力面を示している。

第5-3図において、濃度再現過程を示しているが、同図より、電圧制御方式の必要補整特性は、高濃度の極端な強調が求められることがわかる。

### 5.3 電流制御方式

第4-5図の順電流-発光量特性は、電圧制御の場合よりも、幾分直線的であるので、より広濃度域で、直線的再生が期待できる。

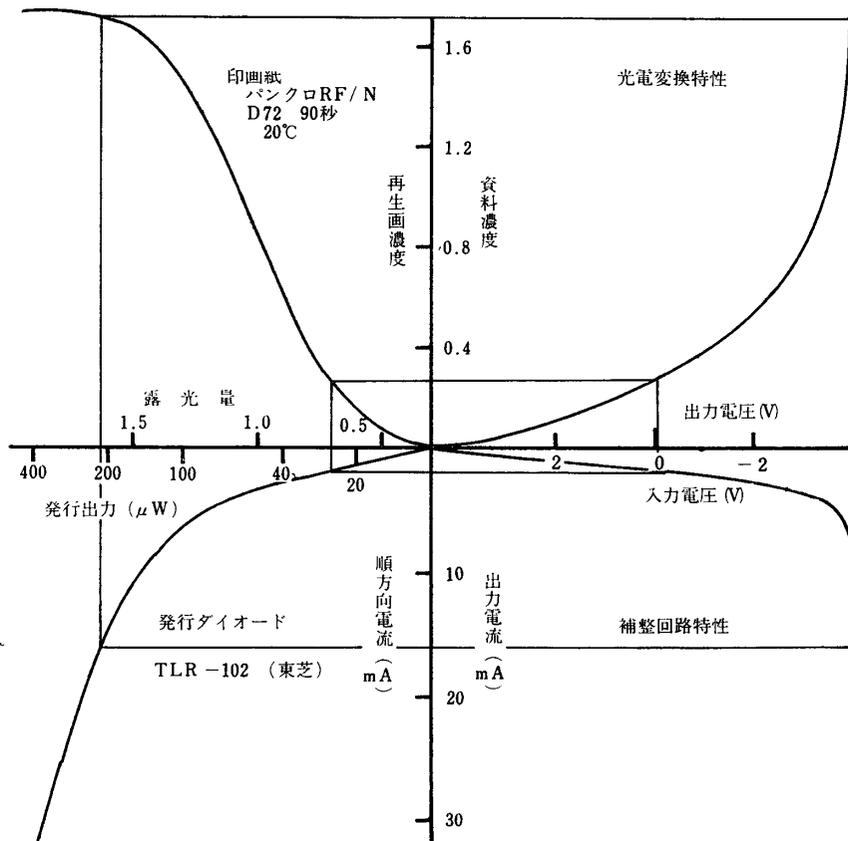


第5-4図 定電流制御点灯回路

定電流回路を、第5-4図に示している。電界効果トランジスタを使用した電流形 D/A 変換を用いたものである。

その結果、無補整回路では、やはり低濃度部分から、

即飽和してしまい、高濃度域まで十分に再生することができない。この場合の必要な補整回路を第5・5図に示している。



第5-5図 定電流制御方式による濃度再現過程

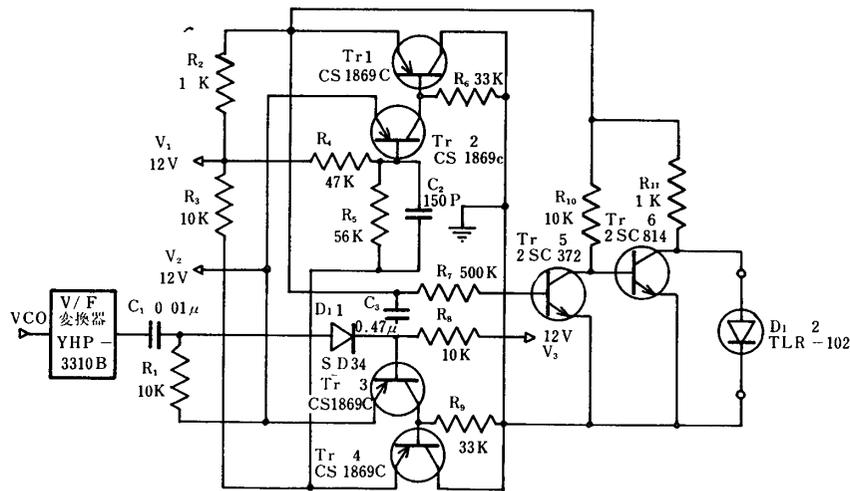
5・4 パルス制御方式

発光ダイオードの発光出力は、既に述べたように、タングステンフィラメント白熱電球に比べて、非常に小さいため、電圧及び電流制御方式共、発光量をさらに小さく制御するため、その制御を直線的に行なうことは、かなり難しいし、効率的方法とは言難い。

次に、発光ダイオードの速応答性を利用して、規定電

流で点灯させ、その点灯時間を可変にして、時間当りの発光量を制御する方式を試みた。

発光時間を可変にすることは、各画素毎の濃度を印画紙上に棒の長さを変えることによって表示することになり、視感上好ましくないので、発光は一定時間とし、時間当りの発光回数を変えて等価的に発光量（印画紙露光量）を制御する方式を採用した。



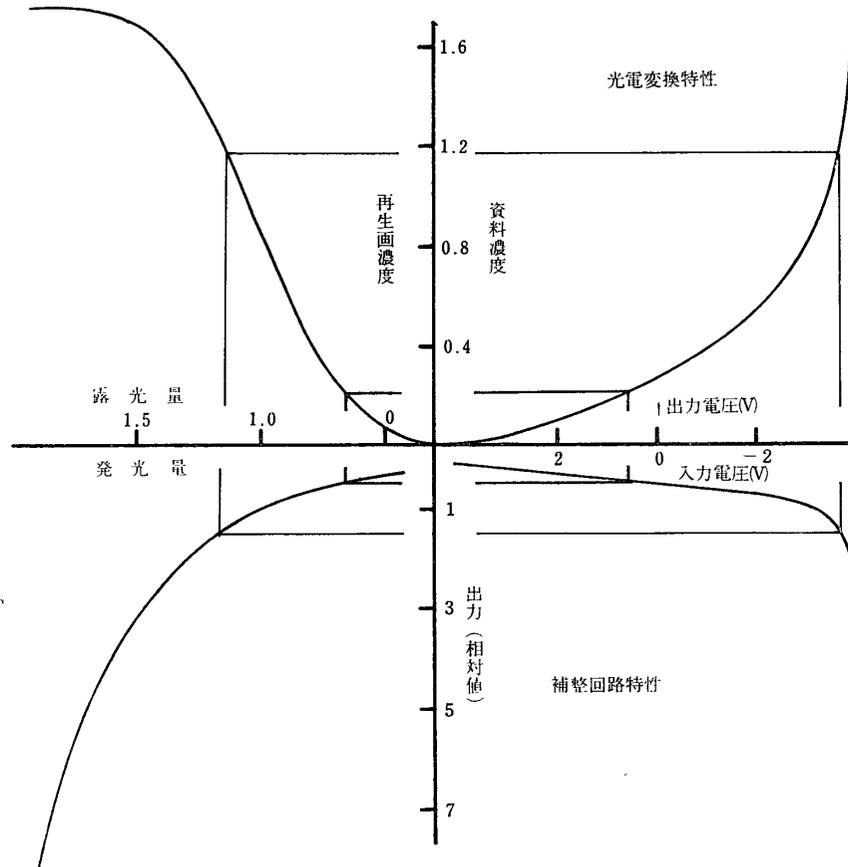
第5-6図 パルス点灯制御方式回路図

実験に使用した回路を第5-6図に示している。ミコンよりの出力は、D/A変換器でアナログ量に変換された後、V-F変換器のVCO入力端子に加えられる。V-F変換器の出力は、結局ミコンの出力でパルス密度変調されて、次の単安定マルチバイブレータのトリガパルスとなる。この単安定マルチバイブレータは、特に回復期間を短かく設計されたものであり、発光デュリティレシオを広く取ることができる。

再生画を写真5-2に示している。またパルス制御方式で必要な補整特性を第5-7図に示している。



写真5-2 パルス制御方式による出力画  
4 bit/pel



第5-7図 パルス制御方式濃度再現過程

## 6. む す び

画像信号出力装置の露光用光源について検討を行なった。その結果として

(1) タングステンフィラメント白熱電球は、ステップ応答性が十分でなく、吟味して選択しても、約 **200 Hz** 程度が最高であり、実際にはもっと使用周波数を低くしなければならず、装置が高速になると使用できない。しかし階調再現性はかなり良好で、この点魅力がある。

(2) 白熱電球の応答特性は石川の結果である一次おくれ系で極めて良く近似でき、この結果を利用して、補償系が設計できるように思う。

(3) 一方発光ダイオードについて主として、赤色ダイオード (TLR-103) を使用して実験を行なったが、電圧、電流パルス制御方式共、十分使用可能なことが解った。

(4) しかし特に階調再現性については必ずしも十分とは言えず、文献<sup>7)</sup>に詳述しているように二値画像出力には非常に好都合であるが、一般のグレースケールを持った画像の再生には、補整回路を設ける必要がある。

(5) 補整特性は三者共、中濃度域まではほぼ直線的であ

り、この範囲を越えると急激に強調特性を示す。

(6) 必要な補整特性を2本の折線で近似して実験を行ない若干の階調再現性の改良を得ている。これについては次の機会に報告する予定である。

(7) さらに処理速度の向上については、今回は十分検討を実施していないが、感材の感度さえ高感度なものを用いれば、かなりの高速化が達成できると思われる。本報においては約半分程処理速度が旧来のものより短縮されている。この点もいずれ報告する。

最後に、本報はその推敲を著者藤本が九州大学への内地研究員として、出張中なしたもので、その際、同大学情報工学科、田町常夫教授に有益な御指導を頂いた。またデータの蒐集は本校卒研究生、高本英治君に依る処が多い。ここに併せて深く感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 藤本 勉：簡単な画像信号入力装置の試作，昭和48・電気四学会中国連大：3，1707 (1973)
- 2) 藤本勉：簡易画像信号入出力装置，宇部高専研究報

- 告：19, P7—23 (1972)
- 3) 藤本, 嶺：簡易画像情報処理装置の応用～温度パターンの計測～, 昭49電気四学会中国連大：42123(1974)
- 4) 嶺, 藤本：温度パターンの計測と情報処理, 計装技術 Vol. 3, No. 6, '75.5, P 41—48 (1975)
- 5) 嶺, 藤本：温度パターンの計測法について～赤外線写真による方法～, 昭49電気四学会中国連大, 42122 (1974)
- 6) 山本, 藤本, 嶺：ミニコンを利用した温度パターン計測, 昭50電気四学会中国連大, 42113 (1975)
- 7) 藤本, 嶺：ミニコン用簡易画像信号入出力装置の赤外線画像処理への応用, 宇部高専研究報告, 21, P 19—33 (1975)
- 8) 藤本勉：簡易画像信号出力装置～発光ダイオード光源について～, 昭50電気四学会中国連大, 31705 (1975)
- 9) 高橋香：(CaAl) Asと 8 mm トーキー, 半導体研究所報告, 8, P17—19 (1970)
- 10) 門倉則之：白熱電球の直流過渡光度に対する直列抵抗の影響, 照明学会雑誌, 19, 12, P 5—11 (1935) 他
- 11) 石川太郎：白熱電球における放射光の変調, 照明学会誌雑誌, 43, 8, P 23—27 (1959) 他
- 12) 中村, 内丸：固体発光素子とその応用, 産報 (1971)
- 13) 外山, 田悟, 他：GaP 発光ダイオード, 東芝レビュー, 28, 4, PP. 376—381 (1973)
- 14) 前田, 他：リン化ガリウム発光素子, 東芝レビュー, 23, 6, PP. 779—784 (1968)
- 15) 東芝電子管半導体資料 No. 206他資料
- 15) オリエンタル写真工業資料

(昭和51年9月1日受理)