5. 大面積表示

5-1 レーザーディスプレイ

NHK 総合技術研究所 種田 悌一

1. レーザーディスプレイ*の沿革

可視光のレーザービームを映像信号によって強度変調し、2次元走査を行なって映写スクリーン上に画像を表示するレーザーディスプレイは、大画面のテレビ画像を得ることのできる有力なディスプレイのひとつとして、レーザーの出現後まもなく登場した。

はじめてのレーザーディスプレイは Texas Instruments 社 (米) において開発され、He-Ne レーザーを光源に用いて 1964 年末に動作したと報告¹⁾されている。ちなみに、Javan らによって最初の気体レーザーである He-Ne レーザーが連続発振したのは 1960 年である。Texas のレーザーディスプレイにおいては、水平走査を特殊な円形共振走査器†と円-直線変換器‡との組合せによって行っており、ここに苦心の跡が推察される。この装置はその後、光源を 1 W の Ar⁺ レーザー (波長は緑と青の混合) に取りかえられて 1966 年の IEEE の展示会で発表された。

同じく 1966 年に、Zenith Radio 社 (米) は水中の超音波によるレーザー光の Bragg 回折を利用して光変調および水平走査を行なうレーザーディスプレイを発表²⁾した。He-Ne レーザーを光源とし、水平解像度 200 TV 本を得ている。Zenith 社はその後この方式を組合せてカラー化を行ない、さらに解像度を 340 TV 本に改良した³⁾。

1967 年に、General Telephone & Electronics 社 (米) は光源に He-Ne および Ar⁺ レーザーを用いた特殊な閉回路方式によるレーザーカラーディスプレイを発表⁴⁾、つづいて翌 1968 年にはこれを全面的に改良した、NTSC カラー信号を受像できるレーザーカラーディス

プレイを発表⁵⁾した。後者の光源は Kr⁺ および Ar⁺ レーザーであり、水平走査器は回転多面鏡であるが、特殊な “dual beam 走査方式”†を考案し、それによって回転鏡の直径を約 1 桁縮少することに成功している。

一方、わが国においては、日立製作所が 1969 年に、スクリーンサイズ 4 m×3 m の大型レーザーカラーディスプレイを発表⁶⁾し、翌 1970 年に日本万国博会場においてデモンストレーションを行なった⁷⁾。光源は同社が自ら開発した、最大出力 7 W に達する Kr⁺ レーザー (波長: 647.1 nm) および Ar⁺ レーザー 2 本 (波長: 514.5 nm および 488.0 nm) の計 3 本を 3 原色光源とし、標準動作状態における白バランス時の 3 色合計出力は 12 W⁸⁾であった。これによって、レーザーディスプレイが映画館なみのスクリーンにテレビ画像を投写できる有力なディスプレイとなりうることが実証された。

NHK においては、“高品位テレビ”の研究用として、特に高精細度をねらいとしたレーザーディスプレイの研究が 1967 年に開始された。心臓部に当たる高精度回転多面鏡走査器の開発研究も同時に始められた。その後、1969 年には “beam wobbling を用いた高解像度多面鏡走査方式”† および “2次元走査用リレーレンズ方式”†を開発し、Ar⁺ レーザーを光源として 525 本方式の単色レーザーディスプレイを試作し、水平偏向分解能 1,500 TV 本を得た⁹⁾。翌 1970 年には、回転数 81,000 rpm の回転鏡走査器¹⁰⁾を製作し、これを用いて 1,125 本方式単色レーザーディスプレイを試作¹¹⁾し、同年の技研一般公開にて発表した。

当時の画質は解像度は充分であったが、回転鏡の鏡面の微少な倒れに起因して発生する走査線のピッチむらが大きな問題点となっていた。1971 年にはこの問題を “走査線ピッチむらの電気光学的補正方式”†によって改善し、さらに、光変調器における “光学的黒レベル自動固定方式”†を開発して変調特性の安定化をはかった。また、高精度多面鏡の新しい製作方法を確認し、これらの技術を結集して、525 本方式カラーディスプレイを試作

* “5. Large Area Display; 5-1 Laser Display” by Teiichi Taneda (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

† ここでは、テレビ用のレーザーディスプレイに限定し、レーザーを用いていても特殊用途のディスプレイは割愛した。

‡ 後述参照。以下に現われる†も同様。

し、同年の技研一般公開において発表した。

その後、翌1972年には、上述の“走査線ピッチむらの電気-光学的補正方式”の研究をさらに進めて、わずかに2個のシリンドリカルレンズよりなる“走査線ピッチむらの光学的補正方式”[†]を開発し、これによって均一性のきわめてすぐれたラスターが容易に得られるようになり、NHKにおける高精細度レーザーディスプレイの研究は、スクリーン輝度の問題を除いて、画質の問題点をほとんど解決した。

以上がレーザーディスプレイの現在までの沿革である。

2. レーザーディスプレイの主要構成要素

2.1 レーザー光源

レーザーディスプレイに用いられるレーザー光源の具備すべき条件は、発振波長が可視域にあり、ビームの広がり角が小さく*、低雑音で、連続的に高出力が得られることである。ただし、発振波長については必ずしも可視域でなくても、高調波発生または蛍光体励起などの方法により間接的に可視域に変換されるものでもよい。このような方法は現在ではまだ問題点が多いけれども、今後の発展が期待される。

さて、上記の条件を満足させるのは現在では気体レーザーに限られている。固体レーザーはスパイク発振であるために完全な連続出力が得られず、半導体レーザーは本来小型であるために連続的に高出力が得られない。

表1に現在用いることのできる気体レーザーの波長、市販品における最大出力の概略値、および視感度を示す。

カラーテレビ用ディスプレイを対象とした場合、赤の光源は、波長的には Kr^+ 、 $He-Ne$ いずれでも充分で、出力の面から大画面用には Kr^+ 、小画面用には $He-Ne$ レーザーが適する。緑の光源の波長は、514.5 nm に限定され、やや短波長である。青については、当初はスクリーン輝度を高くしたい要求から 488.0 nm がもっぱら用いられていたが、最近ではレーザー出力が増加したこ

表1 レーザーディスプレイ用光源

レーザー	発振波長 (nm)	最大出力*(W) (概略)	標準比視感度 V_λ	標準視感度 $K_\lambda=680V_\lambda$ (lm/W)
Kr^+	647.1	0.5	0.12	85
$He-Ne$	632.8	0.05	0.24	161
Ar^+	514.5	1.4	0.59	405
"	488.0	1.3	0.19	130
"	476.5	0.5	0.12	82
"	457.9	0.25	0.05	37

* 市販レーザーにおける代表値

* 正確に言えば、(出力ビームの広がり角)×(ビームの直径)の積が小さいことが必要である。

図1 代表的なレーザーカラーディスプレイにおける色域

ともあって色再現を優先して 476.5 nm が用いられるようになった。けれども青はなお長波長であり、緑とともに改善が望ましい。

最近、 $He-Cd$ レーザー (波長 441.6 nm) が市販されるようになったが、まだ出力とノイズの点に問題が残っている。図1に代表的なレーザーカラーディスプレイによる色再現の色域を示す。

スクリーン輝度とレーザーの所要出力との関係は次式で表わされる。

$$B_{(nt)} = \frac{G_s}{\pi W R_A} (1 - \xi_H)(1 - \xi_V) F \quad (1)$$

ただし、 $B_{(nt)}$: nit 単位で表わしたスクリーン輝度 (nt)

W : 画面の幅 (m)

R_A : " の縦横比

G_s : スクリーンゲイン*

ξ_H : 水平帰線期間率

ξ_V : 垂直 "

F : 出力光の全光束 (lm)

さらに、 F は次のように表わされる。

$$F = P_R K_R \eta_R + P_G K_G \eta_G + P_B K_B \eta_B \quad (2)$$

ただし、 P_i : レーザー光源の出力 (W)

K_i : 標準視感度 (lm/W)

η_i : 光学系の効率

(1) 式の $B_{(nt)}$ を foot-lambert 単位で表わすと、

* スクリーンの指向性によって生ずる見掛け上のゲインで、完全拡散面に対する比として表わされる。アンテナのゲインに類似している。

$$B_{(fL)} = \frac{B_{(nt)}}{3.426} \quad (1')$$

となる。いま、一例として、 $B_{(fL)} = 25 \text{ fL}$, $W = 1 \text{ m}$, $R_A = 3/4$, $G_S = 1$, $\xi_H = 0.18$, $\xi_V = 0.08$ とすると、 $F \approx 270 \text{ lm}$ となる。 $\eta_R = \eta_G = \eta_B = 1$ として、標準の白色光 C を得るに必要なレーザー光源の所要出力を計算すると表 2 のようになる。

気体レーザーの能率(出力/入力電力)は 0.01~0.05% 程度である。したがって表 2 の出力を得るに約 10 kW の電力が必要である。これは画面面積に比例してさらに増大する。このように大電力を消費することがレーザーディスプレイの大きい問題点であるといわれている。

表 2 カラーテレビ用レーザーディスプレイにおけるレーザー光源の所要出力($F=270 \text{ lm}$)

レ ー ザ ー 光 源	所 要 出 力 (W)
(1) $\left\{ \begin{array}{l} \text{R: Kr}^+, 647.1 \text{ nm} \\ \text{G: Ar}^+, 514.5 \text{ nm} \\ \text{B: Ar}^+, 476.5 \text{ nm} \end{array} \right.$	1.0
	0.35
	0.45
(2) $\left\{ \begin{array}{l} \text{R: He-Ne, 632.8 nm} \\ \text{G: Ar}^+, 514.5 \text{ nm} \\ \text{B: Ar}^+, 476.5 \text{ nm} \end{array} \right.$	0.55
	0.35
	0.45

2.2 光変調器

レーザーディスプレイに用いられる光変調器は、電気光学結晶における Pockels 効果*を利用したものと、媒質中の超音波による回折を利用したものの 2 種類に分けられる。

(1) 電気光学効果を利用した光変調器

電気光学効果を示す結晶はいろいろあるが、これまでレーザーディスプレイに用いられてきたのは光損傷の少ない KDP 型結晶に限られている。これは、KDP (KH_2PO_4), DKDP (KD_2PO_4) および ADP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) の 3 種で、正方晶系に属している。光変調は電界による結晶の複屈折性の変化を利用して行なわれる。

直線偏光(平面偏光ともいう)のレーザービームを、その偏光面を結晶に対して適当に選んで入射させると、結晶の内部でビームは偏光面が互いに直交した 2 つの成分に分かれて進む。もし結晶内で 2 成分に対する屈折率が等しければ(すなわち速度が等しければ)出射ビームは出射面において合成されて入射ビームと等しい直線偏光となる。もし、2 成分に対する屈折率に差があれば、出射面では楕円偏光となる。これはオシログラフによる正弦波のリサージュ図形の成因から容易に理解されよう。

電界が印加されていないとき、出射ビームが直線偏光

図 2 KDP 型横型光変調器の構成

となるか楕円偏光となるかは結晶のカットの仕方によって異なるが、いずれにせよ、電界を印加することによって 2 成分間に新しい位相差が発生し、楕円率が変化する。そこで結晶のあとに直線偏光子(この場合には検光子という)を置き、その透過軸が入射ビームの偏光方向に対して直交するように定めれば、楕円偏光からその主軸方向成分の強度変調された光を取り出すことができる。

図 2 は最も一般的に用いられている 45° Z カット KDP 型結晶による横型光変調器の構成を示す。理解を容易にするために、切り出し前の結晶の方位を図示してある。Z カットの縦型光変調器は、点線で示した Z カット板の上下に透過電極を取り付け、Z 軸方向に光を入射させる構成となっている。

電気光学効果のくわしい説明は紙面の都合で省略するので他の解説¹²⁾を参照されたい。結論的に印加電圧によって発生する位相差のみを記しておく。

45° Z カット(横型)

$$\varphi_t = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)l + \frac{\pi}{\lambda}n_o^3 r_{63} \frac{l}{d} V \quad (3)$$

Z カット(縦型)

$$\varphi_t = \frac{2\pi}{\lambda}n_o^3 r_{63} V \quad (4)$$

ただし、 λ は光の波長、 n_o および n_e はそれぞれ電界を印加する前の常屈折率および異常屈折率、 r_{63} は電気光学係数、 l は結晶の長さ、 d は結晶の厚さ(電界方向)、 V は印加電圧である。

(3)、(4) 式より次のことがいえる。45° Z カット横型変調器は、印加電圧が零のときでも自然複屈折による位相差が残る(これは温度依存性が大きい)のが欠点であるが、 l/d の比を大きくとれば低電圧変調を行なうことができる。一方、Z カット縦型変調器は、自然複屈折による位相差はないが、 l/d の係数を含んでいないために、所要変調電圧が高く、かつそれは結晶の厚さに無関係である。

* 物質の屈折率が電界によって変化する現象を電気光学効果と称し、その中で電界の強さの 1 次比例するものを Pockels 効果という。

図3 電気光学効果を用いた横型光変調器における変調特性曲線(縦型では $V_n=0$)
(注) V_n は自然複屈折によって生じる見掛け上のバイアス電圧で、温度依存性が高い。

横型変調器の変調特性曲線を図3に示す。これは自然複屈折によるバイアスを無視すると次式で表わされる。

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}(1 - \cos \varphi) = \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad (5)$$

ただし、 I_0 は入射光の強度、 I は出射光の強度、 φ は位相差である。(5)式から明らかなように、 φ が0から π まで変化すると出力は最小値から最大値まで変化する。これに相当する電圧の変化量を半波長電圧と称する(これは λ に比例する)。DKDPの横型変調器の代表的な半波長電圧は $\lambda=632.8\text{ nm}$ において80~160 V程度であり、同じくDKDPの縦型変調器では約4 kVであり、前述のように d に無関係である。

このように、横型変調器は半波長電圧が低いので好んで用いられるが、自然複屈折によるバイアスが温度によってきわめて大きく変動するのが問題であり、この対策として、図4に示すように2個の同一横型変調器を90°軸をひねって組合せた温度補償型が一般に用いられている。

図4 温度補償型横型光変調器の構成

る。こうすることによって2つの変調器の中で常光線と異常光線が互いに入れ替って(3)式における $(n_o - n_e)$ を含む項が打消される。

しかし実際には、微小な温度勾配のためになお変動が発生し、ディスプレイの場合にコントラストが変化したり、反転現象が生じるなど問題がある。これを解決するために、映像信号の帰線期間に検知用パルス信号を重畳して、それを利用して光変調器の出力における黒レベルを自動的に最低値に固定する自動制御システムが開発された¹³⁾。その原理図を図5に示す。

光変調器において得られるコントラスト比は、消光比によって表わされる。これは直流バイアスを変化させたときに得られる出射光の強度の(最大値):(最小値)である。消光比を支配する要因は、材料、加工精度および通過するレーザーパワーなどである。現在、一般に市販されているDKDP結晶の横型光変調器における問題点は、ワットオーダーのレーザーパワーに対して十分な消光比が得られないことである。半波長電圧の低い結晶として、KDP型以外にも各種のものがあるが、大きいレーザーパワーに対して、はなはだしい光損傷を生じ消光比が低下するために、レーザーディスプレイには用いられていない。現在、光損傷のない新材料の開拓が各方面で進められている。

(2) 音響光学効果を利用した光変調器

これについては、すでに本誌の画像走査特集号(昭和46年10月号)の中で、音響光学的光ビーム走査が解

図5 光変調器の光学的黒レベル自動固定方式

映像信号の帰線期間に図示パルスを重畳して変調し、変調されたレーザービームより同パルスを検出し、そのレベル差の極性を判別してバイアス制御を行なう。

説されており、この光変調器も本質的には同じ Bragg 回折を利用したものである。詳細は省略する。原理的に異なる点は、走査の場合は、駆動している超音波の周波数を変調して回折角を変化させているのに対し、光変調の場合は超音波を振幅変調して 1 次回折光の回折効率を変化させている点である。

一般に Bragg 回折を利用する光変調器においては、変調周波数特性のレスポンスは、ほぼビームの直径と媒質中の超音波の波長とが等しくなったときに零となる。ビームを細くできる限界はビーム自身の回折によって制約される。Zenith 社の方式^{2)*}は、この問題をさけるためにビーム直径を超音波の波長より大きくして、約 4 画素が同時に Bragg 回折を受けるようにしている。こうすると、各画素は超音波の伝搬速度で移動するが、そのあとの水平偏向系によって、スクリーン上に静止させることができる。

2.3 光偏向器

これについても、すでに本誌の画像走査特集号にかなり詳しく述べられているので参照されたい。ここでは、特徴のある 2 つの回転鏡走査方式と回転鏡走査器の問題点を述べる。

(1) dual beam 多面鏡走査方式⁵⁾

これは G. T. & E. のカラーディスプレイに用いられているもので、図 6 に示すように、多面鏡に 2 本のビームを隣接して入射させ、走査線ごとに交互に切り替えることにより、鏡面の稜がビームを横切る期間が走査期間の中に含まれないように構成されている。鏡面の数は従

図 6 dual beam 多面鏡走査方式

* この Zenith 社の方式は、古い Scophony 方式を採用したものである。

来の 1/2 であり、鏡面の長さが倍となったために、帰線期間が零の映像信号でも左右端までまったくシェーディングを生じることなく表示できる。従来方式に比較して、多面鏡の直径を 1 桁近く小さくすることが可能である。

2 本のビームを得るために、検光子に Glan-Thompson プリズムを用いて、通常は捨てている負極性信号を利用している。この負極性信号を、必要とするタイミングにおいて、光変調器の出力が反転するように p-p が $V\pi$ に等しく周期が走査周期の 2 倍になっている矩形波信号を光変調器の端子に重畳している。

(2) beam wobbling を用いた回転多面鏡走査方式⁹⁾¹⁴⁾

この方式も多面鏡の稜によってビームがケラれる期間の問題を改善する点では、上記の dual beam 方式と同じ思想といえる。けれども本方式は 1 本のビームで可能な点に特長がある。この原理は、多面鏡に入射するビームの位置を、走査周期と同一周期の正弦波もしくはのこぎり波により振動させ、かつその位相を適当に定めることによって、無効走査期間を短縮し、その振り替わりに実効アパーチャーを拡大して解像度を向上させるものである。

走査期間に対する帰線期間の比を 0.16 とした場合、のこぎり波 wobbling による改善率（実効アパーチャー

図 7 正弦波 wobbling による高解像度多面鏡走査方式における多面鏡と入射ビーム位相を示す図

一の拡大率, すなわち解像度の向上率*)は6倍, 正弦波 wobbling による改善率は3.6である。

図7に正弦波 wobbling における多面鏡と入射ビームの位置との位相関係を示す。

(3) 回転鏡走査器の問題点¹⁰⁾

最も重要な問題は, 多面鏡の機械的精度である。その中でも特にきびしいのは軸心に対する反射面の平行度 ($\Delta\beta$) で, このばらつきによって走査線のピッチむらが発生する。その場合, 鏡面の数が走査線数の整数分の1に等しければ, ラスターには静止した縞模様が現われ, 整数分の1に等しくなければ, ピッチむらが画面上を上下に動いて走査線の crawling を生じる。

$\Delta\beta$ と走査線のピッチ誤差との間には次の関係がある。

$$\Delta\beta = \pm(1-i)\phi_{ve}/4(1+i)L \quad (6)$$

ただし, $i=(\text{最小ピッチ})/(\text{最大ピッチ})$, ϕ_{ve} は有効垂直偏向角, L は走査線数である。

$i=0$ は隣接する走査線が完全に重なっていることを意味し, $i=1$ は走査線ピッチ誤差がまったくない理想的な状態を表わす。実験的に $i=0.85$ 以上ならほとんど問題はないといえる。高精細度レーザーディスプレイを対象として, $L=1125$ 本, $i=0.85$, 鏡面の数 25 として(6)式から $\Delta\beta$ を求めると $\pm 1.2''$ 得る。 $i=0.7(\Delta\beta=2.6'')$ としても超精密級の角度精度であり, 製作は非常にむずかしい。

角度分割誤差 $\Delta\alpha$ と水平走査時間誤差の関係は次式で表わされる。

$$\Delta\alpha = \phi_{he} j / 2E \quad (7)$$

ここで, $j=(\text{水平走査時間誤差})/(\text{1画素相当時間})$, E は水平走査線 1 本当りの画素数である。 $E=800$, $j=\pm 1/4$ とすると, $\Delta\alpha=\pm 14''$ となり $\Delta\beta$ にくらべて影響が1桁少ないことがわかる。

多面鏡に起因して発生する走査線のピッチむらを改善するために, DKDP 結晶を用いた電気光学的偏向器をステップ関数発生器の出力信号によって制御し, 水平帰線期間内にレーザービームの方向を修正するピッチむら補正方式¹⁵⁾が開発され, さらにその後, 簡単なシリンドリカルレンズ2個を用いた光学的補正方式¹⁶⁾が開発され, 多面鏡の精度の向上と相まって, ピッチむらの問題は解決された。

多面鏡の機械的精度以外の問題点として, 高速回転用の軸受の問題がある。現在, もっぱら静圧型の空気軸受が用いられているが, コンプレッサーを必要とするので操作上不便である。これが不要な動圧型空気軸受などが

望まれている。

3. 各種のレーザーディスプレイの概要

3.1 Texas Instruments 社のレーザーディスプレイ

1965年に発表された報告¹⁾によると, 光源は 50 mW の He-Ne レーザー, 光変調器は 45° Z カット KDP 結晶を用いた温度補償型横型光変調器で, 半波長電圧 440 V, 静電容量 25 pF, 映像帯域は 5 MHz であり, コントラスト比 60:1 が得られている。水平偏向器は, 微小ミラーの章動運動による円形走査器とファイバーオプティクスによる円形-直線変換器の組合せである。これは先の本誌「画像走査特集号」の中に紹介されているので参照されたい。垂直偏向器はガルバノメーターで, ミラーサイズは 32 mm×19 mm, 共振周波数 30 Hz であり, これを特殊波形で駆動し, 帰線期間を 1 ms にしている。

画像は, アルミ板を腐食加工したゲイン 30 のスクリーンを用いて, 40 in×40 in の大きさにおいて, 5 fL が得られた。

3.2 Zenith Radio 社のレーザーディスプレイ^{2),3)}

1966年に発表された報告²⁾によると, 光源は He-Ne レーザー (出力不明) で, 光変調器および水平偏向器の両者に, 水中の超音波による音響光学効果を利用している。この構成図および水平偏向器については, これも先の本誌「画像走査特集号」を参照されたい。垂直偏向器は, Texas 社と同様のガルバノメーターである。水平解像度 200 TV 本が得られている。画面サイズおよび輝度は記述されていない。

この装置はその後カラー化され, さらに水平偏向器の水温を 75°C まで上昇させ, 超音波の損失を減少させて, その振り替りに超音波の周波数を 70% 高くすることができ, 解像度は 340 TV 本に改善された³⁾。光源には Kr と Ar の混合ガスレーザーを用いている。白バランス時のレーザー出力は 647.1 nm : 250 mW, 514.5 nm : 40 mW, 488.0 nm : 200 mW である。

3.3 General Telephone & Electronics 社のレーザーディスプレイ^{4),5)}

ここでは, 同社の特殊閉回路方式のカラーディスプレイ⁴⁾は省略し, NTSC 方式とコンパクトなカラーディスプレイ⁵⁾について紹介する。

光源は Kr^+ レーザーと Ar^+ レーザーの2本で, 白バランス時の合計出力は 0.4 W である。光変調器は, 45° Z カット KDP による温度補償型横型光変調器を用い, 水平偏向器は前述の dual beam 走査方式による回転多面鏡で, 面数 15 (従来方式では 30 に相当), 直径 10.6

* 偏向系の解像度は, 偏向点における(ビームの直径)×(偏向角)に比例する。したがって, 実効アパーチャーに比例して増大する⁹⁾。

図 8 日立製作所のレーザーカラーディスプレイの構成図

mm, 回転数 31,500 rpm, 軸受は玉軸受と推定される。垂直偏向器は、Texas 社、Zenith 社と同様のガルバノメーターである。ゲイン5のスクリーンを用いて、48in×31inの画面サイズで12fLを得ている。水平解像度は300TV本である。

3.4 日立製作所のレーザーカラー

ディスプレイ^{7)8)17)~19)}

光源は、 Kr^+ (647.1 nm), Ar^+ (514.5 nm) および Ar^+ (488.0 nm) の3本で、最大出力はおおの 7 W, 使用時の合計出力は 12 W である。光変調器は DKDP の Z カットの縦型を5段カスケードに接続して半波長電圧を 647.1 nm において 800 V に低下させている。静電容量 12 pF, 消光比 1000:1 得をている。この光変調器を駆動する増幅器は、出力管に 4F 20 PA を2本並列に使用し、最大出力電圧 1200 V_{p-p}, 帯域 3.5 MHz である。

偏向は水平、垂直ともに回転多面鏡で、水平用は面数 16, 直径 41 mm のアルミ製で、静圧型空気軸受の高周波誘導モーターによって約 59,000 rpm で回転させている。垂直用は面数 24, 直径 101 mm のガラス製で、40 極のヒステリシス同期モーターによって 150 rpm で回転させている。

ゲイン3のスクリーンを用いて、画面サイズ 4 m×3 m において、輝度 15 fL, コントラスト比 30:1, 水平解像度 400 TV 本を得ている (図 8)。

3.5 NHK のレーザーディスプレイ

(a) 1,125 本方式単色高精細度レーザーディスプレイ²⁰⁾

スキャナーに、正弦波 wobbling による高解像度多

面鏡走査方式、および2次元走査用リレーレンズ方式を採用し、面数 25, 直径 40 mm, 回転数 81,000 rpm の回転多面鏡走査器およびガルバノメーターを組合せて、1,125本方式の高精細度ラスタースキャナーを構成し、これを用いて水平解像度 1,000 TV 本以上、垂直解像度 450 TV 本を得ている。光源は Ar^+ レーザーの出力の中から 514.5 nm (出力約 500 mW) のスペクトルを分離して使用、光変調器は ISOMET 社の TFM-515, 映像系の帯域は 25 MHz である。

垂直解像度の不足は走査線のピッチむら*による。当時の画像を写真 1 に示す。

(d) 525 本方式カラーレーザーディスプレイ¹¹⁾

これは、走査線ピッチむらの電気光学的補正方式および、光学的黒レベルの自動固定方式を取り入れてラスタの均一性の向上とカラーバランスの安定化を特長とし

写真 1 NHK の 1125 本方式単色レーザーディスプレイの画像写真

* このあとで走査線ピッチむらの電気光学的補正方式が開発された。

図9 NHKのレーザーカラーディスプレイの構成図

たディスプレイである。光源は 50 mW He-Ne レーザー (632.8 nm) と 2W の Ar⁺ レーザー (514.5 nm と 476.5 nm) を用いている。構成を図9に示す。

水平偏向用の回転多面鏡は、面数 15、直径 24 mm、アルミ合金を素材とし特殊メッキをした上で研磨仕上げを行なったものである。回転数 63,000 rpm、軸受は静圧空気軸受を採用している。

水平解像度 500 TV 本、コントラスト比 30 : 1 が得られている。ゲイン約 1 のスクリーンを用いて、画面サイズ 80 cm × 60 cm において輝度は 0.3 fL であった。光学系の効率が低いために輝度は不足であったが、画質上のその他の問題はシステムのほとんど解決されている。

4. レーザーディスプレイの問題点と将来性

レーザーディスプレイは生まれてまだ 10 年に満たないが、この間、米国およびわが国において、多角的に興味深い研究が行なわれ、ハードおよびソフトの面から著しい改善がなされた。その結果、いまや性能的な角度から眺めれば、レーザー光源と光変調器を除いてはその他の問題は一応満足できるレベルにまで到達したといえる。2次元スキャナーは回転鏡スキャナーとガルバノメーターの組合せで、1125本方式の高精度ラスタが得られるようになった。回転鏡における空気軸受の操作性の問題は残っているが、これはいずれ時間によって解決されるであろう。

レーザーディスプレイの画像には、レーザー特有の speckle があり、これがひとつの問題となっている。これはスクリーンを適当に動かすことによって除去できるが、静止したスクリーンで除去できるスマートな方法が望まれている。

今後に残された最大の問題点は、第1は、レーザー光源の高能率化、第2は、光変調器の性能の向上であろう。このうち、特に第1はきわめて解決のむずかしい問題を含んでいる。

テレビ用大型ディスプレイは各種発表されているが、レーザーディスプレイは特に高解像度を要求される分野で将来発展するであろう。それが狭い特殊な分野に限られるか、またはより広い分野に迎えられるかは、上記2点の解決と、さらにコストダウンのいかんにかかっている。いずれにせよ、多くの研究者達の手によってここまで育てられたレーザーディスプレイが、ここで夭折することのないようにと、筆者は切

に願ってペンを置く次第である。

(昭和48年3月3日受付)

〔参考文献〕

- Charles E. Baker, Anthony D. Rugari: A Large-Screen, Real-Time, Display Technique, Proc. Society for Information Display 6th Nat'l Symp., (Sep., 1965) 85-101
- A. Korpel, R. Adler, P. Desmars, W. Watson: A Television Display Using Acoustic Deflection and Modulation of Coherent Light, Applied Optics, 5, 10 (1966) 1667-1675
- G. Hrbek, J. Lekavich, W. Watson: An Improved Laser Color TV System Using Acousto-Optic Interaction, Proc. The 1970 IDEA (Information Display, Evaluation and Advances) Symp. (1970) 40-41
- Samuel M. Stone: Experimental Multicolor Real-Time Laser Display System, Proc. Society for Information Display 8th Nat'l Symp. (May, 1967) 161-168
- Samuel M. Stone, John Schlafer, Vernon J. Fowler: An Experimental Laser Color TV Projection Display System Compatible with NTSC Standard Color Signals, Proc. Society for Information Display 9th Nat'l Symp. (Nov., 1968)
- 昭和44年1月22日付 日刊工業新聞ほか
- 山田弥彦, 山本学: レーザー・カラーテレビの開発, 日立評論別冊, 万国博特集号
- Yahiko Yamada, Manabu Yamamoto, Sadao Nomura: Large Screen Laser Color TV Projector, Proc. Sixth International Quantum Electronics Conference, Kyoto, Japan (1970) 242-243
- 種田梯一, 益子仁: 高解像度レーザーディスプレイ, NHK 月報, 13, 3 (1970) 120-125
- 益子仁: レーザーディスプレイ 用光偏向器, NHK 月報, 14, 1 (1971) 23-26
- 種田梯一, 愛甲明毅: 高品位テレビの評価用レーザーディスプレイシステム, NHK 月報, 15, 2 (1972) 62-66
- 岡田正勝: 電気光学効果と光変調, NHK 月報, 10, 9 (1967) 419-425
- 愛甲明毅, 種田梯一: レーザーディスプレイにおける光学的黒レベル自動固定方式, テレビ全大予, 9-27 (1971)
- 種田梯一: レーザービームの高解像度走査方式, 昭45年電気四学会連大予, 1963
- 種田梯一, 愛甲明毅: 高精細度レーザーディスプレイにおける走査線のピッチむら補正, テレビ全大予, 9-25 (1971)
- 種田梯一, 岡田正勝, 愛甲明毅: 高精細度レーザーディスプレイにおける走査線ピッチむらの光学的補正方式, テレビ全大予, 12-3 (1972)
- 山田弥彦, 山本学, 日比正男: レーザカラーテレビの開発 (I) - 装置の構成 -, 昭45年電気四学会連大予, 1564

- 18) 橋本章, 斎藤進, 富山駿介, 伊藤嘉敏, 中村勇, 成清正: レーザ・カラーテレビの開発 (II) —レーザー光源—, 昭45年電気四学会連大予, 1565
 19) 野村貞夫, 小嶋弘臣, 本城和夫, 関谷三千夫: レーザ・カラーテ

- レビの開発 (III) —光変調器および光学系—, 昭45年電気四学会連大予, 1566
 20) 種田佛一, 益子仁: 高精細度 レーザーディスプレイ, 昭45年信学全大予, 622

5-2 ライトバルブ式投写装置

東京芝浦電気株式会社 総合研究所 山田 達也
 佐野 俊一

1. ま え が き

大画面ディスプレイを行なうのに最も有力な手段のひとつであるライトバルブ (light valve) 式投写装置について述べる。ライトバルブ (光弁) は“光を制御あるいは調節するもの”の意であり, したがって, 独立した光源からの光を適当な媒体で制御してスクリーン上に投写表示する方式のディスプレイはすべてこれに含まれることになる。

この方式は, ブラウン管のような自発光型ディスプレイとくらべると, 原理的には, 使用する光源を強くすることにより表示画面のサイズと明るさをいくらかでも増加できるので, 特に光量を必要とする大画面ディスプレイに適している。

レーザーディスプレイも広い意味のライトバルブ式ディスプレイに含まれるが, 他のライトバルブと別に分類可能であり, それ自体, 大きな技術分野であるということ, すでにまとめて紹介されている。ここではレーザーディスプレイを除いたもの, すなわち制御媒体層に何らかの形で2次元像を形成し, それに対応した可視像をスクリーンに投写するタイプのものを中心に述べる。

これをさらに分類すると, 次のように大別できる。

- (1) 制御媒体の屈折, 回折を利用する方式
- (2) 制御媒体の電気光学効果を利用する方式
- (3) 制御媒体の透過, 吸収, 反射を利用する方式

2. 屈折, 回折を利用する方式

この方式はシュリーレンライトバルブとも呼ばれるもので, 入力信号に応じて制御媒体に光の屈折角, 回折角あるいは反射角の異なるパターンをつくり, シュリーレ

ン光学系を用いてその変化を明暗像に変換し, スクリーンに投写する方式である。一般にライトバルブ方式といえはこの方式を指すことが多い。

この方式の基本原理を図1に示す。第1格子の各スリットの像是シュリーレンレンズによって第2格子の各バーの上にそれぞれ結像するように配置されている。この間におかれた媒体が一樣に平滑であれば, 第1格子を通過した入射光はすべて第2格子により遮ぎられてスクリーンに到達しない。しかし媒体の一部が変形を起して, その部分の屈折角あるいは回折角が変化すると, そこを通過する光路が変化するので, 入射光は第2格子で遮ぎられることなく格子の間隙を通過してスクリーン上に到達する。したがって媒体面をスクリーンに結像するように投写レンズを配置すれば, 媒体の変化量に対応した明暗像がスクリーン上に得られる。

シュリーレン光学系の構成としては, ここで述べた透過型の他に, 光路の一部に反射鏡を設けたり, 媒体の反射角の変化を利用して反射型にしたものもある。

2.1 油膜の変形を利用するもの

この方式の代表的なものとしては Philips のアイドホール, GE のタラリヤがある¹⁾。これらの装置ではいずれも制御媒体として背面電極上に塗布した薄い油膜を用いている。この油膜面を電子ビームで走査して電荷像を

図1 シュリーレンライトバルブの原理

“5-2 Light Valve Projection Display” by Tatsuya Yamada and Shunichi Sano (Research and Development Center, Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd., Kawasaki)