

レーザ・カラーテレビの開発

Laser Color TV Projector

山 田 弥 彦* 山 本 学**
Yahiko Yamada Manabu Yamamoto

Abstract

A laser color TV projector was developed in which laser beams were modulated by television signals and then projected by revolving reflectors onto a Large screen. High-power krypton and argon ion lasers were used to emit light beams of the three primary colors, red, green and blue. These light beams were modulated by means of DKDP crystal modulators in response to TV video-signals. The three beams were then combined into one by means of a dichroic mirror system and projected onto the screen with a rotating-mirror scanner. The video-signal is obtained from the commercial TV broadcast. In the Hitachi Group Pavilion at EXPO '70, the signal is also obtained from the visual system of a flight simulator; and the sound spectrum can also be displayed in colors by picking up signals from the sound-spectrum analyzer. The projector is capable of high-fidelity reproduction of images within the limits of the NTSC system.

1. 緒 言

可視域で連続発振する高出力イオンレーザが開発されたことや、光変調・光偏向など周辺技術の進歩にささえられて、新しい実時間表示装置「レーザ・カラーテレビ」が出現した。数年前からアメリカや^{(1)~(7)}、わが国が(わが国では日立製作所が⁽⁸⁾⁽⁹⁾)開発を進めてきたが、今回の日本万国博では、日立グループ館でその公開実験が行なわれている。この装置は日立製作所中央研究所で開発されたもので、約 $3 \times 4 \text{ m}^2$ の広さの画面を有し、現地で受像できる第2, 4, 6, 8, 10, 12の各チャンネルのテレビ放送のほか、シミュレート・トラベル(模擬飛行)の画像や音声の色彩表示などをスクリーンに投射できる。この装置の開発に当たっては、高出力レーザ光源のほか、光変調器・光偏向機など各構成要素の基礎研究から着手し、そして開発の最終段階では、システムとしての総合性能・信頼性などの観点から、長期連続運転に耐えられるよう配慮した。

レーザ・カラーテレビの原理は、普通のテレビ受像器におけるブラウン管の電子ビームと蛍光体の役割を、三原色(赤・緑・青)に対応する三本の光ビームが果たすもので、レーザ光源から発射された光ビームを、テレビの映像信号に応じて光変調器で変調し、ついで光偏向機によって水平・垂直両方向に走査してスクリーンに投射する。その利点としては、ブラウン管の制約を受けないので、画面の大形化が比較的容易であること、レーザ光の特性を利用して、従来よりも高い解像度の画面を将来実現できる可能性があること、などである。ただし当面は、解像力はNTSC方式の帯域幅によって制約されていて、それ以上の高解像力を得るには信号源の方式を変える必要がある。今回開発したレーザ・カラーテレビは、一般商業放送を受信し、その画像を大画面に拡大投射することを主目的としており、画質としては、放送波の画像をできるだけ忠実に再現することを目指している。

* 日立製作所中央研究所 工学博士

** 日立製作所中央研究所 理学博士

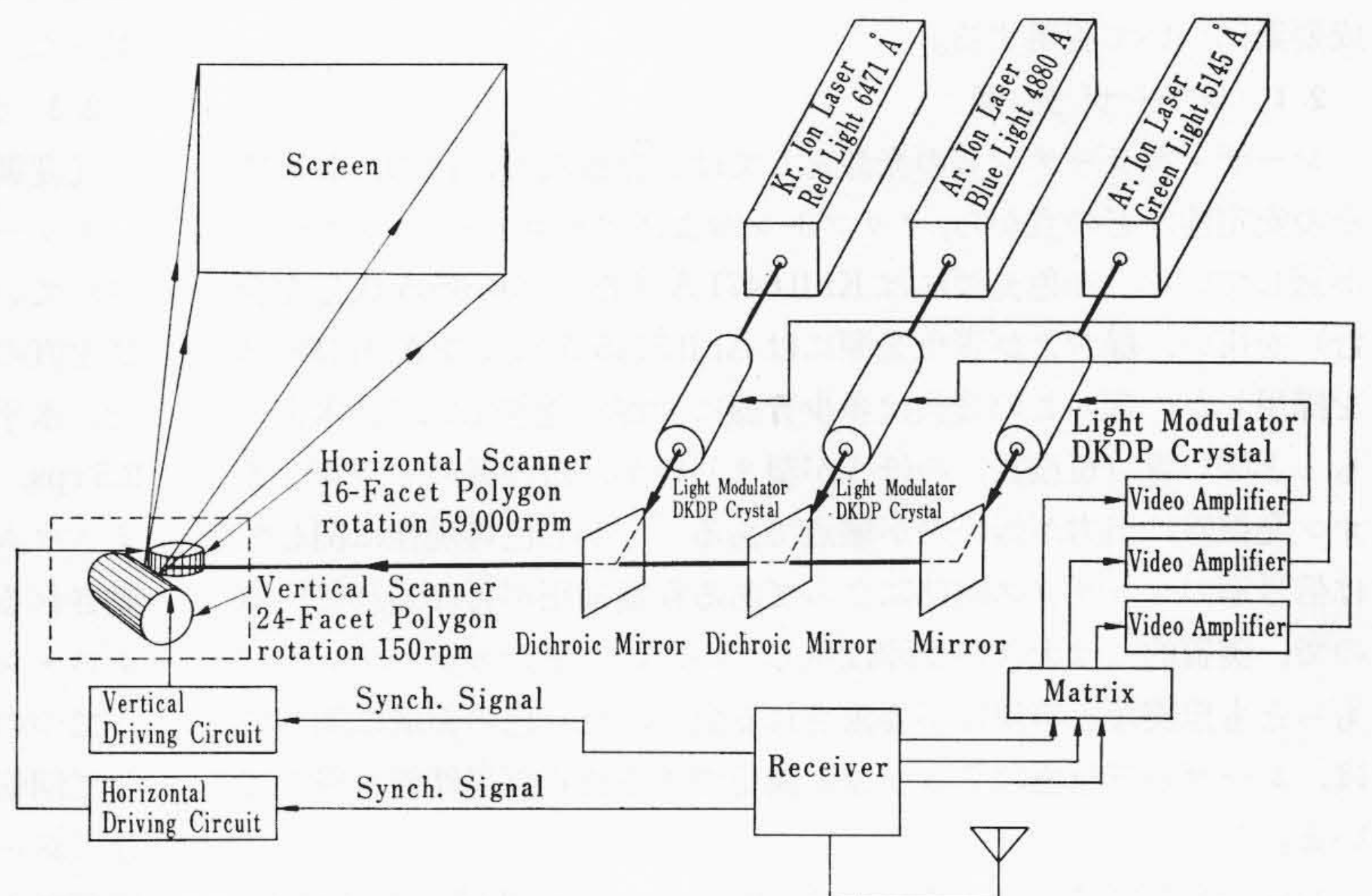


図1 レーザ・カラーテレビ系統図

Fig. 1. Block Diagram of a Laser Color TV Projector

2. 装置の構成

図1に示すのは、レーザ・カラーテレビ装置全体の構成である。光源は三本の高出力イオンレーザで、クリプトン・イオンレーザ一本と二本のアルゴン・イオンレーザでそれぞれ赤・緑・青の発振光を得ている。これらの光ビームは、それぞれの光変調器によって色信号に応じた変調を受け、次いで集光光学系によって一本の光ビームになったのち、回転鏡方式の光偏向機に入射する。光偏向機によってレーザ・ビームは水平・垂直方向に掃引され、こうしてスクリーンにテレビ画像が再生される。光ビームによるスクリーンの走査はNTSC方式に準拠して、水平走査線数525本、フィールド数60、フレーム数30の飛越走査である。受信した放送波は、受信信号系によって赤(R)・緑(G)・青(B)の色信号と垂直・水平同期信号に分離され、色信号は信号変換マトリクス回路(後述)と映像信号増幅器を経て光変調器へ、また同期信号は回転鏡の運動を制御するサーボ機構に送られる。光偏向機からスクリーンまでの距離の設定には相当の自由度があるが、万国博日立グループ館では、建物の構造

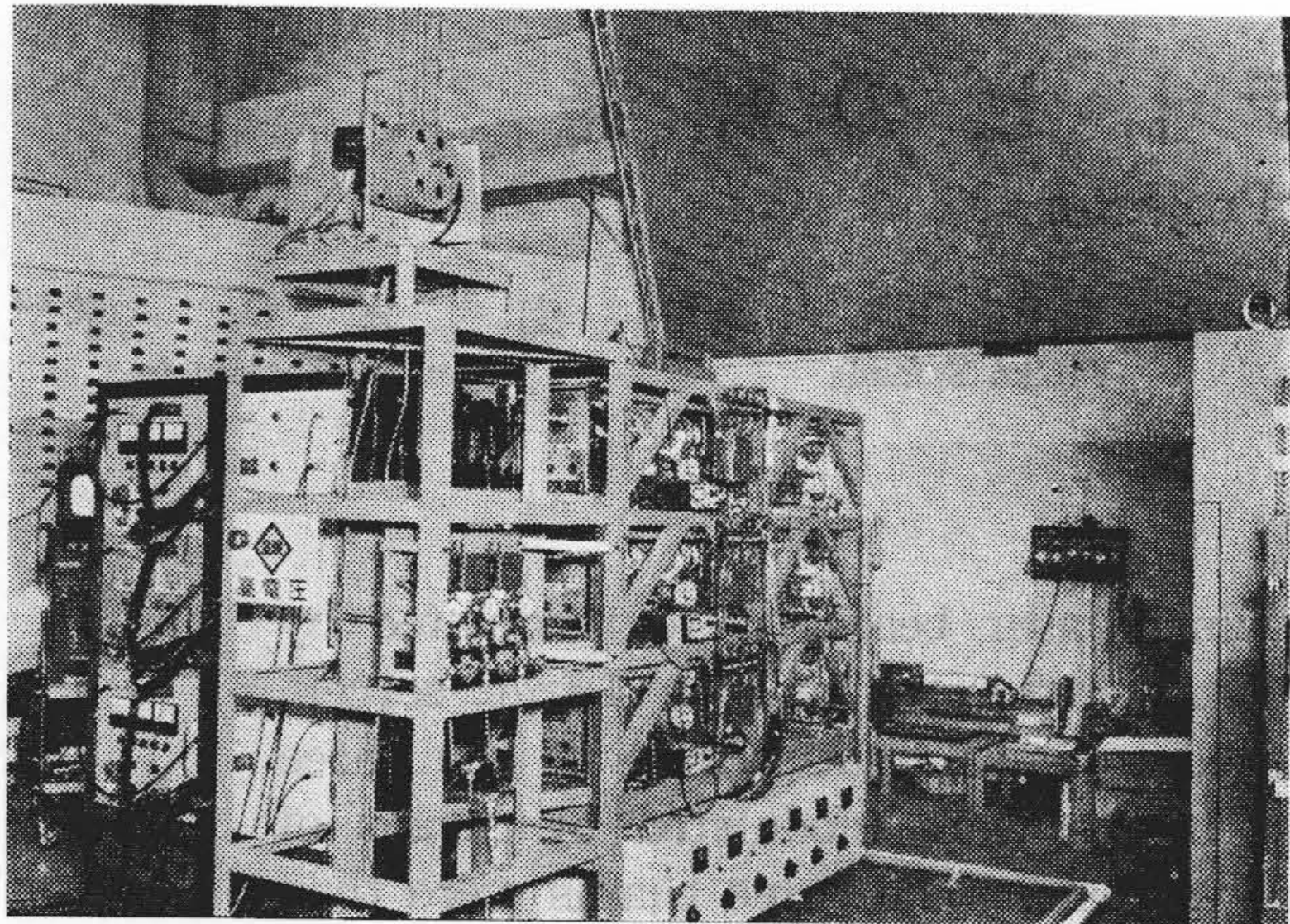


図2 レーザ・カラーテレビ全景
Fig. 2. Laser Color TV Projector

上約5mの距離に設定された。スクリーンは観客の目の方向に向かって、反射率に適度の指向性を持たせることが望ましい。ここに用いたのはスライド投写用のいわゆるデイトライトスクリーンで、その利得は約3である。図2は装置の全景である。以下この装置の各構成要素について説明する。

2.1 レーザ光源

レーザ・カラーテレビの光源としては、発振波長、出力、およびその安定性などの点から、クリプトンおよびアルゴン・イオンレーザが適している。赤色光源にはKr II 6471 Å (若干の6765 Å成分を含む)を用い、緑および青色光源にはAr II 5145 Å およびAr II 4880 Åを採用した。青のこの波長は多少青緑に片寄り過ぎていて、本来はもっと深い青(短波長)のほうが望ましいが、短波長のアルゴンイオン発振線は出力が低いのが難点である。しかし色再現性に関しては信号系のマトリクス回路によってある程度補正が行なわれているので、実質的には大きい支障は生じていない。またカラーテレビでもっとも忠実な色再現性が要求される肌(はだ)色の領域に関しては、レーザの三原色はじゅうぶん満足できる色彩再現性能を備えている。

レーザ光源に要求される出力は、画面の大きさ、要求される輝度、光学系やスクリーンの光学的特性などによって支配されるが、 $3 \times 4 \text{ m}^2$ のスクリーンで映画なみの輝度を要求するとすると、レーザ出力としては三色合計で約10W必要になる。その内訳としては、視感度の関係から赤に最大出力が要求され、緑は最低でよい。(スクリーン上で白バランスをとったとき、その光エネルギーの成分はR:G:B $\approx 2.7:1:2.1$ である)。一方技術的な難易度から言えば、クリプトン・イオンレーザの高出力化は困難が多く、赤色発振線で所要の出力(約5W)が得られるものはまだ市場に現われていない。技術的に困難な理由は、クリプトン・イオンレーザの放電が大電流領域で不安定になるためである。この現象に対しては、放電プラズマの不安定現象であろうという立場から解析の結果、安定な放電領域の存在することが判明した^{(10)~(12)}。他方、放電管の構造に関しても改良を加え、最大許容入力30kW、最大発振出力約7W(CW)の高出力イオンレーザを開発した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。えられる最高出力値はR・G・B各発振線についてほぼ同程度であり、放電管にクリプトンガスを封入することにより赤の、またアルゴンガスを封入することにより緑または青の発振光がえられる⁽¹³⁾。レーザ光源としては、今後発光効率を改善する努力が必要であろう⁽¹⁴⁾。

2.2 光変調器および光学系

光変調器は映像信号に応じてレーザ光を強度変調するためのもの

で、信号入力に対する応答特性のよいこと、光の損失が少ないこと、長時間安定に動作すること、などの特性が要求される。ここに用いられているのはDKDP(KD_2PO_4)のPockels Cellで、五段カスケード接続のLongitudinal形光変調器である。DKDPの半波長電圧は、6471 Åにおいて約4,000Vであるが、結晶の多段接続により、その電圧を約800Vまで低下させることに成功した⁽¹⁵⁾。有効口径は約4mm、内部電気容量は12pF、透過率は90%以上、消光度1/1000である。

光変調器の結晶は、信号電圧の印加によってピエゾ共振を発生し、それが画面に縦のしま模様あるいは尾引きとなって現われる。また温度変化によって結晶にひずみ加わると、変調特性が変化して正しい画像の再生が不可能になる。このような理由から、光変調器の製作に当たっては、その内部構造に関し特別の考慮が必要である。

光変調器を通過した三本の光ブームは、ダイクロイックミラー集光系によって一本のビームに合成される。所要出力比を考慮して、赤色光の光学系が最も単純で光損失が少なく、緑色光はその点で最も不利となる配列である。光源からスクリーンまで光路の全長は約7mあり、この光路長に対しスクリーン上で三本の光ビームを $\pm 1 \text{ mm}$ 程度の精度で重ね合わせる必要がある。また万国博会期中は、連日12時間以上の連続運転が要求され、建物の振動・機械室の温度変化などの点でも悪条件が予想されたので、その対策にも気を配った。

2.3 光偏向機

光変調器と集光光学系を通過したレーザ光は、光偏向機によってスクリーン上に投射される。光ビームの偏向には各種の方式が提案されているが、偏向角が大きく信頼性の高い回転鏡方式を水平および垂直の両方に採用した。水平鏡は16面、垂直鏡は24面の多面体で、水平鏡回転数は983 rps、偏向角 $\pm 22.5^\circ$ 、また垂直鏡回転数は2.5 rps、偏向角 $\pm 15^\circ$ である。水平回転鏡は直径約41mmのアルミニウム製で、空気軸受によって支持され、高周波誘導モータで駆動される。垂直鏡は直径約101mmのガラス製で、40極ヒステリシス・シンクロナス・モータにより駆動されている。

二つの回転鏡は、それぞれテレビの水平と垂直の同期信号に同期して回転しなければならない。その同期特性の良否は画面のちらつき(ジッタ)を支配する。同期をとるためのサーボ系は次のような原理によって作動する。まず回転鏡の反射面を利用してその回転位相を光学的に検出し、基準パルス(同期信号)と位相を比較する(位相比較回路)。そして位相差に比例した直流電圧を発生させ、その電圧によって無安定マルチバイブレータの発振周波数を制御する。この発振出力(単相)をバイナリ・カウンタとゲート回路によって二相に変換し、さらに電力増幅して回転鏡駆動モータに給電する。

この制御方式で重要なのは位相比較回路であって、その特性によって同期の安定性が支配される。そのためここに用いられているサーボ系は、単に負荷の基準パルスに対する位相差を検出するだけでなく、その進み方、あるいは遅れ方を論理回路によって判定し、そのうえで水平モータあるいは垂直モータの特性に応じた制御信号を発生するようになっている⁽¹⁶⁾。

2.4 信号系

アンテナで受信したVHF信号は、チューナ、中継受信機およびカラーモニターを経てR・G・Bの映像信号と水平・垂直の同期信号に分離される。同期信号は前述のサーボ系に基準パルスとして送られ、映像信号は信号変換マトリクス、プロセス増幅器および高電圧ビデオ増幅器を経て光変調器に印加される。高電圧ビデオ増幅器は最高出力1,200 Vpp、利得46 dB (20 Hz $\sim$ 3.5 MHz)の特性を有し、出力段は強制空冷四極送信管4F20RAの二本並列接続である。映像の黒レベル固定のため、最終段出力側にダイオードを用いた直流

クランプ回路を付加してある。

チューナは大阪で受信できる第2, 4, 6, 8, 10, 12各チャンネルの分に加えて、シミュレート・トラベル（飛行シミュレータ）の操縦席画面を、シミュレータ制御室からレーザ・カラーテレビ機械室に送るための第5チャンネルが装備されている。音声スペクトルの色彩表示のために、音響室に設置された音声分析装置から、音響スペクトルを表わすR・G・B色信号と同期信号がレーザ・カラーテレビ機械室に送られて来る。この色信号はマトリクス回路を経ないでプロセス増幅器に入力される。

信号変換マトリクス回路は、NTSC方式によって送像されて来る色信号を、レーザの三原色に適した色信号に変換するために必要である。CIE色度図上で、NTSC方式の色範囲とレーザ三原色の色範囲は少しずれているが、両者の共通範囲については、この信号変換マトリクス回路の作用により、忠実な色再生が行なわれる。またこの共通範囲を越えた色信号入力に対しては、色信号を共通範囲境界線上に固定する作用を営んでいる。このような機能を持った回路は、抵抗演算回路、極性反転用インバータ、およびダイオード・スライサを組合せることによって構成可能である。

3. 総 合 性 能

投射されたテレビ画面の画質を評価する要素として、画面輝度、コントラスト、解像度、ちらつきなどが考えられる。画面輝度はレーザ出力、光学系の透過率、スクリーンの反射特性などに支配されるが、レーザのR・G・B合計出力10Wのとき、画面最明部で照度50lxである。スクリーン利得は約3で、画面輝度は15 foot-lambertである。画面最明部と最暗部のコントラスト比は30対1で、テレビ画面としてじゅうぶんな値である。解像度は、垂直方向に関しては走査線数によって制約され、水平方向に関しては、マルチ・バースト信号の3.58~4.2MHzが画面で識別可能である。

画面のちらつきは、偏向機回転鏡の加工精度、サーボ系の同期引込特性などによって決まるが、現在画面寸法の1/1,000程度に押えられている。ただしモノクロームのVTR放送の場合のように、放送源そのものの同期信号の位相精度が悪い場合には、レーザ・カラーテレビの機械的偏向方式では追従できない場合がある。

総合的に判定して、今回開発したレーザ・カラーテレビは、放送波を忠実にスクリーンに再生できる機能を備えている。青色領域における色彩再現性の問題を除けば、明るさ、解像度、コントラスト

比、画面の安定性ともほぼ満足すべき性能である。したがって現実に投射している画面の画質を評価する際は、放送電波そのものの質、たとえば完全な設備を有するスタジオからの生放送か、野外の実況中継か、あるいはVTRか、フィルム番組か、などの点を考慮に入れる必要がある。レーザ・カラーテレビは大画面を近距離から観賞するので、その性能を完全に発揮するには放送信号そのものの画質が完全でなくてはならない。このような理由から、今後のレーザ・カラーテレビの研究には、送像および伝送への考慮も必要である。

4. 結 言

レーザ・カラーテレビはまだ開発途上の段階で、実用化までにはまだ解決を要する問題が多く残されている。とくに小形で発光効率の高いレーザ光源を開発することが、当面の重要課題である。そのほか機構的にも、より簡便で操作性が良く、信頼性の高い装置が要求されるであろうし、機能的にはより高解像度が要求されることになるであろう。

終わりに本研究に対しご支援いただいた日立製作所万国博臨時本部、電子通信事業本部、戸塚工場、電子事業本部、茂原工場、機械研究所、習志野工場、家電研究所、中央研究所各部課の各位に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) C. M. Alsabrook: 18th Annual Aerospace Electronics Conf., May 1966, pp. 325~331
- (2) H. R. Senf: J. of the SMPTE, 76, 4 (1967)
- (3) S. M. Stone: Proc. 8th National Symposium, Soc. for Information Display, May 1967, pp. 161~168
- (4) V. J. Fowler and S. M. Stone: Laser Focus Magazine, (October 1967)
- (5) C. E. Baker: IEEE Spectrum 5, 39 (1968)
- (6) Electro-Technology, 83, 16 (June, 1969)
- (7) S. M. Stone, J. Schlafer and V. J. Fowler: SPSE Meeting (October 1968)
- (8) Electro-Technology, 84, 42 (September, 1969)
- (9) 山田, 日比, 山本ほか: 電気四学会量エレ部門 (昭45-4)
- (10) 山本ほか: 応物・物理合同講演会量エレ部門 (昭44-4)
- (11) 山本, 富山, 斎藤: 電子通信学会量エレ資料 (昭44-4)
- (12) 斎藤, 山本: 日本物理学会量エレ分科会 (昭44-11)
- (13) 日立評論, 52, 3 (昭45-1)
- (14) 山本, 富山, 斎藤: 応用物理, 38, 973 (1969)
- (15) 野村ほか: 応物・物理合同講演会光部門 (昭44-4)
- (16) 武安: 電気四学会制御部門 (昭45-4)
- (17) 武安ほか: 電気四学会制御部門 (昭44-4)