

簡便な運動観測および分析装置の試作

志方 泰* 横倉三郎**

1. 緒言

運動とその分析的観測方法としては一般的にストロボを使用した繰返し撮影か、デジタル・テレビ方式などが用いられる¹⁾。しかしストロボによる方式は簡便ではあるが、明るい場所、距離が遠い場合には観測が困難であり、また背景に影響を受けやすい欠点がある。

最近ではビデオ信号をデジタル化したデジタルテレビ方式がよく用いられる。この方式は、高速度 A/D コンバータ²⁾と大容量の高速度メモリー装置を有するコンピュータの組合せで成り立っているのが通例である。従って運動の観測、計測処理を行うには甚だ適している³⁾、しかし中学、高校等の物理実験や体育関係などで、運動体などの軌跡、速度等の観測と計測を簡単に行う目的に対しては余りにも大規模となり、価格等の見地からも、普及し難いのが現状である。筆者らは家庭用カラー VTR、カメラ、テレビを利用して、運動体に任意の色をつけた特定の部分のみを抽出して映像化することにより、周囲の環境などに影響されることなくこの部分のみ観測ができる簡便な装置を発表し⁴⁾、ついで速度を計測し得る様に改良を加えた⁵⁾。今回サンプリング周期とサンプリング時間を可変として実用上更に有用な装置を試作したのでここに発表する次第である。

2. 原理

人間の肉眼に光として感じるのは、波長がほぼ $380 \text{ m}\mu$ から $780 \text{ m}\mu$ の範囲であり、この感じ方を色という言葉で表現する。波長との関係は第 1 図に示したとおりである。色には自ら光を発する光源色と物体から反射または透過してくる物体色とがある。カラーテレビは光源色で画面では赤、緑、青の三原色の光を種々な割合で加色混合して色を再現している。たとえば白は赤、緑、青、黄色は赤と緑、シアンは緑と青、マゼンタは青と赤で作られている。これら光源色の組合せを第 2 図、この割合を第 1 表として示した。また人間の目の特性（聴覚でいう周波数特性）は $555 \text{ m}\mu$ 付近の波長に対して感度が最大でありこれを 1 とした比視感度曲線を第 3 図として示した。そして画面上でこの感度に比例した輝度特性を得るため、赤色信号、緑色信号、青色信号をそれぞれ 30%、59%、11% ずつ加えることにより輝度信号電圧 (E_V) を決定している。すなわち

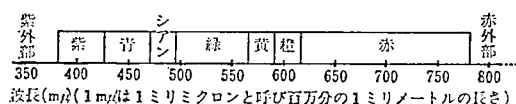


図1 光の波長と色の関係

* 理工学部電気工学科教授 電子情報工学

** 電気工学科副手 電子情報工学

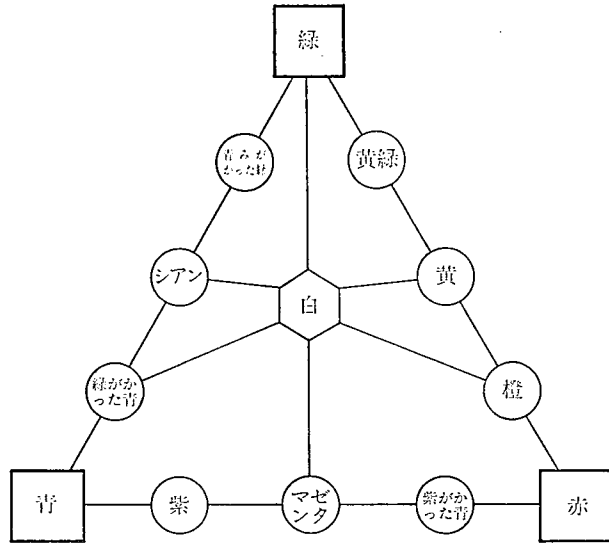


図2 加色混合

表一 三原色の混合による画面の色 (数字は相対値)

画面の色 (被写体の色)	赤の光る度合 (赤の撮像管出力)	青の光る度合 (青の撮像管出力)	緑の光る度合 (緑の撮像管出力)
白	1	1	1
灰色	0.5	0.5	0.5
黒	0	0	0
青	0	1	0
暗い青	0	0.5	0
白っぽい青	0.5	1	0.5
黄	1	0	1
橙	1	0	0.5
白味がかった黄	1	0.5	1

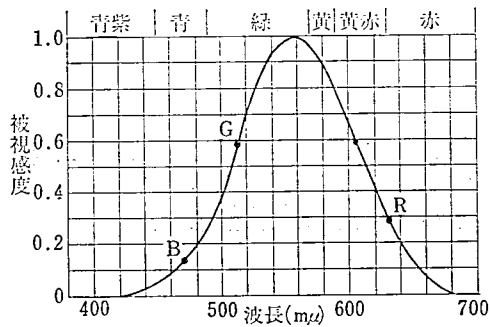


図3 人間の眼の視感特性

$$E_Y = 0.30 E_R + 0.59 E_G + 0.11 E_B \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\left(\begin{array}{l} E_R : \text{赤色信号電圧} \\ E_G : \text{緑色信号電圧} \\ E_B : \text{青色信号電圧} \end{array} \right)$$

である。

例えば、画面が白い場合

$$E_R = E_G = E_B = 1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

従って

$$E_Y = 1 \quad \dots\dots\dots(3)$$

であり、画面が明るい赤であれば

$$\left. \begin{array}{l} E_R = 1, \\ E_G = E_B = 0, \end{array} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

従って

$$E_Y = 0.3 \quad \dots\dots\dots(5)$$

である。

カラーテレビ信号はこのように輝度信号と三原色信号から成り、伝送線路に送出するときには色成分である三原色信号から輝度信号を引いた色差信号、 $E_R - E_Y$ 、 $E_G - E_Y$ 、 $E_B - E_Y$ と輝度信号を送り、受信側で色差信号と輝度信号を加え合わせ源信号をとりだす。すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} (E_R - E_Y) + E_Y = E_R \\ (E_G - E_Y) + E_Y = E_G \\ (E_B - E_Y) + E_Y = E_B \end{array} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

である。さらに

$$E_R - E_Y = 0.70 E_R - 0.59 E_G - 0.11 E_B \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$E_B - E_Y = -0.30 E_R - 0.59 E_G + 0.89 E_B \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。したがって

$$E_G - E_Y = -\{0.51 (E_R - E_Y) + 0.19 (E_B - E_Y)\} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$= -0.30 E_R + 0.41 E_G - 0.11 E_B \quad \dots\dots\dots(9)'$$

となる。これは $(E_G - E_Y)$ 信号は特に送出しなくとも $(E_R - E_Y)$ 信号の51%と $(E_B - E_Y)$ 信号の19%を加えて逆相にして作り出せることを意味する。いま赤色信号のみ送出させると(1)式より $E_Y = 0.3$ である。色差信号は

$$\left. \begin{array}{l} E_R - E_Y = 0.7, \\ E_B - E_Y = -0.3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

であり、受信側では

$$\left. \begin{array}{l} (E_R - E_Y) + E_Y = 1 \\ (E_G - E_Y) + E_Y = 0 \\ (E_B - E_Y) + E_Y = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

となり送出側と等しくなる⁶⁾。

従ってカラービデオ信号を色復調させた場合、その配色、コントラストが三原色信号と輝度信号との出力電圧で求められるので、この電圧が外部からの色指定電圧と一致した時のみ出力信号をカラーテレビに送出し映像化することにより、指定した任意の色の部分の

みを観測することができる。

またテレビの画面は毎秒30駒の割合で画像が作られているが、インターレース方式を考慮すると毎秒60駒の割合となる。入力されたビデオ信号の垂直同期信号の数が画面の駒数となるので、これと外部から指定した数 (n) とが等しくなるまで画面を映しだし、ついで別に外部から指定した数 ($m-n$) と等しくなるまで画面を消去することができ、ストロボアクションの様に画面を点滅させられる。実際には垂直同期信号を二ケのカウンタにより計数し、コンパレータにて設定駒数と比較させ、外部から任意に毎秒60駒の画面をコントロールして、定量的な観測が行える様案出した。

このとき

$$\left. \begin{array}{l} \text{映写時間} : 1/60 \times n \text{ Sec.} \\ \text{消去時間} : 1/60 \times (m-n) \text{ Sec.} \\ \text{繰返し時間} : 1/60 \times m \text{ Sec.} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

である。

3. 回路構成

本機の回路構成はブロック図として第4図に示した通りである。入力されたカラービデオ信号をバッファ増幅器を介して色復調 ($\mu pc 580c$)⁷⁾ させ三原色信号と輝度信号を一定レベルまで増幅する。ついでテレビ信号を比較するのに充分な速度である応答速度が16 ns (STD) の高速度コンパレータ ($\mu A 760$)⁸⁾ を二ケ用いて、指定した色を抽出するためのウインドコンパレータを構成し、各チャンネルに用い各々そのハイレベルとローレベルのスレシヨルド電圧を設定して、その範囲の信号のみを抽出して、更にその四つの抽出された信号が同時に出力として与えられた場合のみビデオ変調回路に送出する。この結果希望した色のみが出力される次第である。またこの際に遅延素子の出力信号よりとり出した垂直同期信号を $n : m$ カウンタにて計数させ、そのカウンタの出力により信号出力ゲートを On-Off し、画面を断続させる。これらの回路構成において主要部分である色復調回路を第5図ウインドコンパレータ回路および一致回路を第6図、制御回路を第7図としてそれぞれ示す。

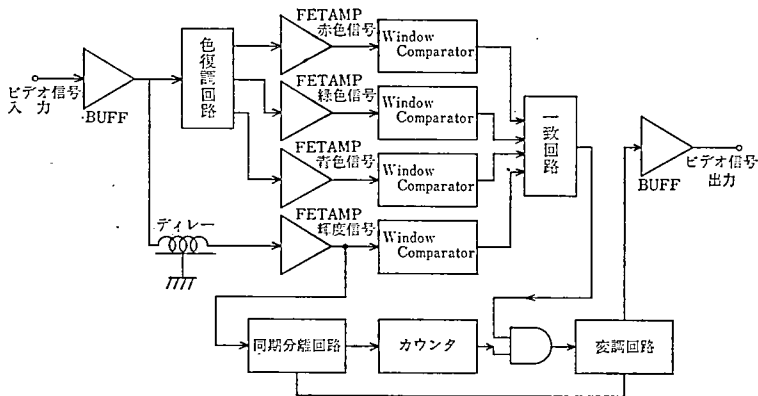


図4 回路構成図

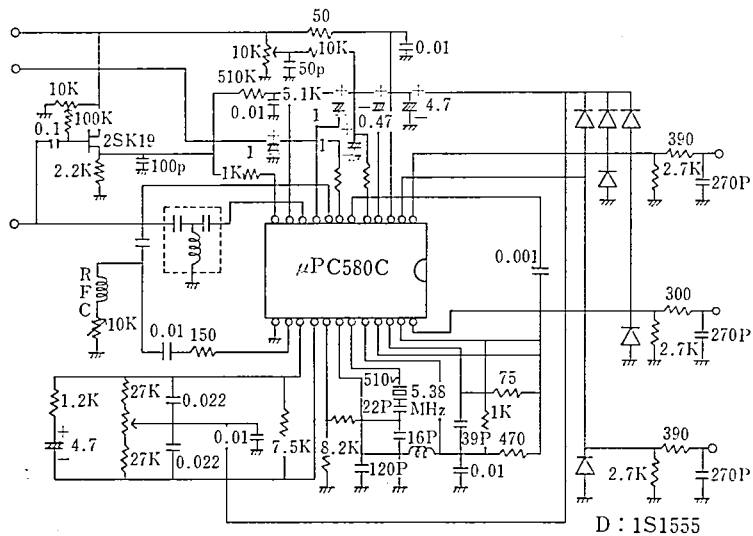


図5 色復調回路

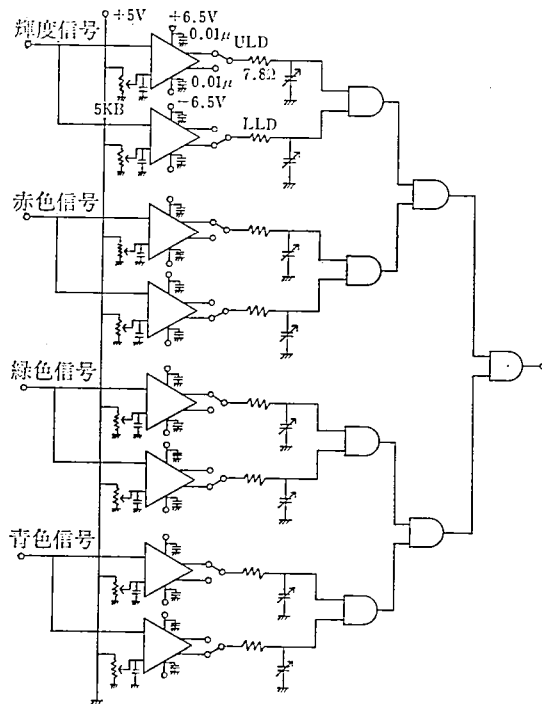


図6 ウインドコンパレータ回路及び一致回路

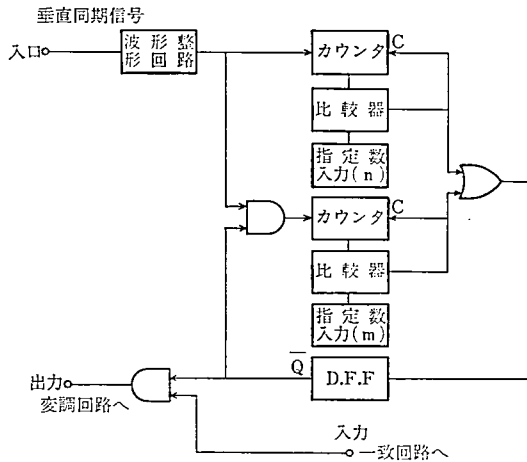


図7 制御回路図

4. 実験結果

4-1 任意の色の抽出

実験に際してまず基準となる色紙（トータルカラー）^(注1)より赤，橙，黄，緑，青，すみれ，紫の七色を選び，これより7色のカラーバーを作成した。これをカラービデオカメラで撮りカラーテレビに映し出した画面の様子を写真1，さらに抽出色を緑として本機にて処理を行った後の画面を写真2としてそれぞれ掲げた。また各色に対する輝度および三原色信号のスレッシュールド電圧は第2表の通りである。

実際に人間のひざの部位に黄色のマークを付けて撮った画面を写真3，本機にて処理した後の画面を写真4として掲げた。比較すれば，背景に全く影響されずにマークの部分のみ映像化されたことは明らかである。

4-2 軌跡および速度等の観測

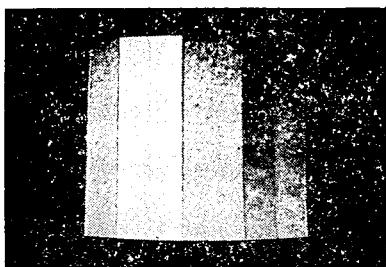
前述の実験により指定した任意の色の部位のみ映像化されることが明らかとなったが，

表一 各信号に対するコンパレータの外部指定電圧

各信号	輝度信号		赤色信号		緑色信号		青色信号	
入力電圧	2.90(V)		1.95(V)		2.44(V)		1.98(V)	
色	外部指定電圧							
	A(V)	B(V)	A(V)	B(V)	A(V)	B(V)	A(V)	B(V)
赤	2.00	1.59	1.85	0.97	0.84	0.00	1.62	0.75
橙	2.49	2.11	2.11	1.37	1.32	0.00	1.18	0.68
黄	2.94	2.50	1.60	0.90	1.90	0.64	0.54	0.00
緑	2.20	1.72	0.50	0.03	2.52	1.98	1.39	0.60
青	2.28	1.58	0.33	0.00	1.99	1.70	2.07	1.12
すみれ	1.97	1.46	0.68	0.46	2.05	1.43	1.78	1.39
紫	1.81	1.50	0.10	0.75	2.20	1.18	1.60	1.33

A：ハイレベルスレッシュールド電圧
B：ローレベルスレッシュールド電圧

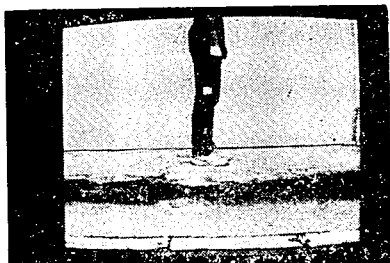
注1. トータルカラー：日本色研配色体系に基づいた文部省指導要領が指す色



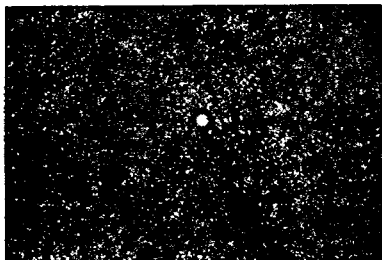
1



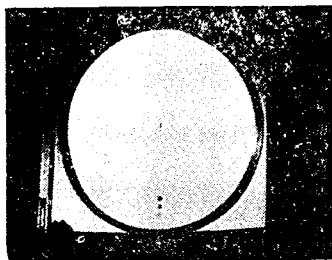
2



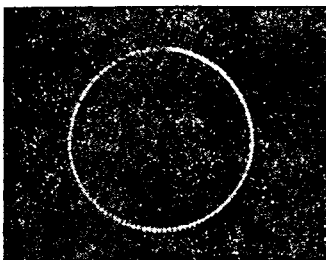
3



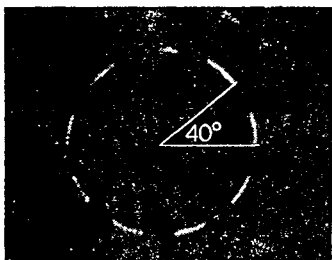
4



5



6



7

- 写真1 基準色紙によるカラーバーの画像
 2 写真1の処理後の画像
 3 膝にマークをつけた時の画像
 4 写真3の処理後の画像
 5 プレーヤーによる実験の画像
 6 プレーヤーを回転させた時の処理後の画像
 7 写真6をカウンタ処理させた時の画像

例として回転しているレコードプレーヤーのターンテーブルに黄、橙、紫の三種類の中間色のマークをつけ、その三色のうち指定した一色のみを画面に映し出して軌跡を求め、さらに、この画面を断続させ速度等の観測を行った。

本実験においてカラーテレビカメラとターンテーブル間の距離は 1.5m, ターンテーブル上の照度は 1500 lx である。このときのターンテーブルの様子は写真 5 として掲げた。この状態でターンテーブルを $33\frac{1}{3}$ RPM の速度で回転させ、黄色のマークのみを抽出して映し出された軌跡の様子を写真 6, さらにその画面を断続させた状態を写真 7 として掲げた。カウンタの設定は $m=12, n=6, n/m=1/2$ である。

上記の条件によりターンテーブルが一回転するのに要する時間、画面の駒数、カウンタの一周期にマークが動く回転角度などを求めると、計算上では、

ターンテーブルが一回転に要する時間 (T_R)

$$T_R = 60 \div 33\frac{1}{3} = 1.8 \text{ (sec)} \quad \dots\dots\dots(13)$$

一回転に要した駒数 (N_R)

$$N_R = 60 \times 1.8 = 108 \quad \dots\dots\dots(14)$$

カウンタが一周期動作した場合の回転角 (θ_r)

$$\theta_r = 360 \times 12 / 108 = 40 \text{ (度)} \quad \dots\dots\dots(15)$$

となる。

また写真 7 より明らかであるが、1 回転につき、軌跡は 9 ケ所現われており、その各々の幅は消去されている部分の幅とほぼ等しく（完全に一致しないのは揮線の太さとにじみなどの影響であろう） $n/m=1/2$ の条件を満足している。またカウンタにより一周期を 12 駒 ($m=12$) と設定しておるので、これよりターンテーブル一回転に必要な時間 (T_r) を求めると、

要した駒数 (N_r) は

$$N_r = 12 \times 9 = 108 \text{ (駒)} \quad \dots\dots\dots(16)$$

108駒で一回転し、一駒は 1/60 sec であるので、

$$T_r = 108 \times 1/60 = 1.8 \text{ (sec)} \quad \dots\dots\dots(17)$$

が求められる。またカウンタが一周期動作した時の移動角度 (θ_r) は

$$\theta_r = 360 / 9 = 40 \text{ (度)} \quad \dots\dots\dots(18)$$

であり、これは写真 7 より実測で確かめられる。これらの値はすべてが計算値と一致しており満足した結果が得られているといえよう。

次に中心と黄色のマーク間の距離は 12.5cm であるので、写真 7 の或る一周期の軌跡について、その長さ (L) は、

$$L = 2\pi \times 12.5 \div 18 = 4.375 \text{ (cm)} \quad \dots\dots\dots(19)$$

これに要した時間 (T_n) は

$$T_n = 1/60 \times 6 = 0.1 \text{ (sec)} \quad \dots\dots\dots(20)$$

従って速度 (v) は

$$v = 4.375 \div 0.1 = 43.75 \text{ (cm/sec)} \quad \dots\dots\dots(21)$$

が求められる。

5. 結論, 謝辞

本機のシステムは非常に簡単で一般の市販部品で製作可能であり、かつ家庭用のカラー

テレビがそのまま用いられるので、この点からも実用上便利である。更に運動体の観測と速度などの分析が容易でかつ実用上十分な精度が得られることが確かめられた。今後は物理体育などの教育用機器、およびスポーツ関係に利用する所存である。また抽色する任意の色を複数として多色化し、更に出力をも多色化することにより、同時に数個の軌跡の観測が行える装置を試作する所存である。

末尾ながら本研究にあたり卒業研究として協力した本学卒業生の植木、高島両君に対し深謝する。

参考文献

- 1) 植村恒義：画像計測入門，昭晃堂（昭54）
- 2) 二宮佑一：180 b/s A/D コンバータ，テレビジョン学会誌，32. p. 46. (1978).
- 3) 高橋幹雄：デジタル画像処理 1)，同上，29. p. 575. (1975).
- 4) 志方，横倉：運動観測の一方法，電学会東京支大 177（昭54）
- 5) 志方，横倉：家庭用TVを利用した簡便な運動観測装置の試作，電学会全大，407（昭55）
- 6) NHK：テレビジョン技術，日本放送出版協会（昭52）
- 7) NEC DATA BOOK
- 8) フェアチャイルドデータブック
- 9) 東芝半導体ハンドブック