映像合成の諸法とクロマキー

日本テレビ放送網株式会社 池田 辰雄

二つの異なる映像信号を合成して一つのテレビ画面にまとめることは、画面の構成上に大層効果のあるものである。この方法によれば広範囲な光景の展開と変化を可能とし、しかもセットのコストを著しく引下げることがになり、その上にスタジオ内のスペースも節約することができるなどその効果は数多いものがある。

たとえば、ミニチュアセットやスライド、フィルムなどの背景に対して前景となる人物やその他のものなどを組み合わせることはよく用いられる手法である。このような映像合成にも色々な方法があり、単に光学的に二つの画を合成して一つのカメラで撮る方法と映像信号を合成する方法に大別することができる。

前者はごく普通の photomatte の方法と所謂スクリーンプロセスと呼ばれるものなどがあり、後者は二つの映像信号を電子スイッチで切換えて合成する方法であるがこの電子スイッチを駆動するパルスの発生方法によってもさらに分類できることになる。すなわち、それは従来の特殊効果増幅器のように画面の特定な範囲に二つの画を色々な模様で合成するものと、前景となるべき映像よりシルエットパルスを選別して、このパルスで電子スイッチを駆動し、背景となる他の映像と組合わせて一つの画面に構成するものである。この映像合成をさらに進展して、カラー・テレビの映像に応用したものがクロマキーの方法である。

光学的に映像を合成する諸法

二つの画を光学的に合成する最も簡単な例は、窓枠の

筆者紹介

池田辰雄 昭和24年東北大学工学部通信工学科卒業後、永井研究室および神戸工業開発部にてパルス伝送ならびにパルス機器の研究に従事。昭和28年日本テレビに入社、送像回路およびカラーテレビに関する研究に従事し現在に至る。現在研究室主任

“Methods of video insets and Chroma-Key”, by Tatsuo Ikeda

向うで人物が動作して、この窓枠を通して一つのカメラで撮り、一つの画にまとめるのもその一例であり、また一つの写真を5～6倍に合成するようにカメラの前に配置して、主体になるものと重畳して撮る Wide angle photomatte といわれるものなどがある。

しかし、光学的な映像合成では普通よくスクリーンプロセスが用いられる。この投写にはスクリーンの後方より投写する Back projection の方法と、スクリーンの前方より投写する Front projection の方法がある。この Back projection は半透明のスクリーンの後側よりかなり強力なスライドプロジェクタ、またはフィルムプロジェクタで投影して、スクリーンの前方のカメラで主体をなす前景のものとを一緒に撮影するものである。この方法は簡単ようで色々困難な問題が多いようである。

第一にスクリーン上の映像は前景に比べて見劣りのしないよう相当明るくしなければならないし、またあまり大きな投写装置はスペースの点で制約を受ける。

第二にスクリーン上の映像は中心部と周辺部である程度光量ムラのない平均した映像でなくてはならない。

第三にスクリーンにプロジェクタ以外の光が当らぬように、極力照明に配慮せねばスクリーン上の映像はますます暗いものとなる。

第四にプロジェクタからの雑音を防がねばならないことや、機械の防火上の考慮、スライド送りの速度や、フィルムを投写する時にはカメラとの同期の問題などが生

第1図 スクリーン上の
光量比の関係図

第2図 フロ
ントプロジェクシ
ョン

第3図 特殊効果波形の一部

じてくることになる。

投写装置にはスタジオのスペースの点で広角のレンズを使用するのが普通であるが、この広角性は第二に述べた理由で限度がある。この関係は第1図ようになる。

すなわち、スクリーンの中心部と外周部との光量比は角度 θ の値によって決定されることになり、レンズが広角になればなるほど θ の値が大きくなるので、實際上制限を受けることになる。中心部と周辺部では2:1位の明るさの比は実用上そう目立たずに使用できるので、投写距離と投影面の幅が大体等しいような配置が取られる。この Back Projection の方法は前述のようにスタジオのスペースの点と、光の透過率が 50~60% 位に過ぎないので、効果的にも前景に比べて見劣りのするものとなりこの点つぎに述べる Front Projection の方法が有利である。これは第2図のように投写機を上部に懸架するものである。この方法は前景となる演出者で光が遮らぬように急角度で上方より投光するので、広角性は勿論のこと上部と下部にわたり十分焦点深度の深いものでなくて

はならないし、かつ投影によるキーストンひずみに対する補正が必要となってくる。しかし前の方法に比べて光の能率も良く明るい像が得られ、殊にスペースの点で有利なことが解るが、いずれにせよスクリーンプロセスは結果としてあまり良好な画は得られず、つぎに述べる映像信号合成法が有利である。

電子スイッチにより映像を合成する諸法

この種の映像合成には二つの映像の信号を電子スイッチ回路で合成して一つの画にまとめるものであり、その合成法もそう簡単でない。

特殊効果用の信号発生器の場合の他に、一つのカメラで撮影した映像信号よりシルエットパルスを作る場合には、単に白黒の映像より得ものや、特定の色を利用したり、またクロマキーのように色相を検出して選別する方法などである。

(1) 特殊効果発振器

特殊効果発振器は一例として第3図のような各種の幾何学的図形に二つの画を合成するためのものである。このような波形は正弦波ならびにのこぎり波形、その他円弧状波形を組合わせて得られるものである。さらに水平、垂直の繰返し周波数を何倍かに通倍して作れば、一層変化のある波形が得られることになり、その組合わせは多種多様に行えることになる。

(2) 白黒の映像よりシルエットパルスの選別

映像信号よりシルエットパルスを作る最も簡単な方法は第4図のように、ある模様のスライドかパターンを一つのカメラで撮り、明暗比の強い映像信号に変換して、この信号電圧を一定レベルでスライスしてシルエットパルスを作れば、自由な画模様の合成波形が得られること

第4図 パターンよりシルエットパルスの作成例

第5図 白黒映像よりシルエットパルスの作成例

第6図 前景の白黒映像信号

第7図 シルエットパルスのノイズの影響

第8図 S/Nと映像使用範囲の関係

第9図 二色を利用するシルエットパルスの作成例

になる。

この方法をさらに発展して普通の白黒映像よりシルエットパルスを作れば、二つの映像を完全に合成できることになる。この系統図は第5図のようになるが、カメラ二は黒い背景の前で前景となる人物や事物の映像信号を作るもので、この信号が増幅された上スライスされてシルエットパルスが作られる。これでスイッチ回路を駆動すれば、二つのカメラよりの映像は一つの画面に合成できることになる。

このためには勿論、照明にも相当留意が必要であるが前景の映像に深い陰影などがある時にはシルエットパルスの選別に障害となるわけである。第6図は黒い背景の前に人物が立った時のような映像信号を示すものであるが、図示のようにAの範囲がシルエットパルスを選別し得る範囲である。実際の場合には映像信号に含まれるノイズのために一層シルエットパルスの分離は困難となるわけであり、換言すれば前景の占め得る映像レベルの範囲は一層制限を受けることとなる。

第7図はこのような場合の映像信号を図示したもので

第10図 フロアとスクリーンの照明例

第11図 スクリーンの照明例

第12図 カラーバーの位相検波波形

第13図 位相検波系統図

ある。図中の a は使用映像電圧範囲、 b は映像尖頭電圧、 $c=b-a$ 、 d はシルエットパルス選別可能範囲、 e はノイズを示す。

すなわち

$$\frac{a}{b} = \frac{b - (e + d)}{b} = 1 - \frac{e}{b} - \frac{d}{b}$$

$\frac{a}{b}$ は使用映像電圧と映像尖頭電圧との比である故、 η とすると

$$\eta = 1 - \frac{1}{S/N} - A$$

ただし、 A は $\frac{d}{b}$ であり、シルエットパルス選別可能

範囲と尖頭電圧との比である。この関係を図示したものが第8図である。これによっても S/N が10(20 dB)の時には、たとえ $A=0$ の時でも $\eta=0.9$ であり、 $A=0.05$ の時には、 $\eta=0.9$ より0.85に減少することになる。

このように単に明暗の差によって映像信号より直接シルエットパルスを選別することは実用上あまり有利な方

第 14 図 カラーバーの位相検波オシロ波形

第 15 図 色相マトリックスの出力波形

法でなく、相当に困難であることが解る。この困難を緩和したものが、つぎに述べるように二色を利用して選別する方法である。

(3) 二色を利用するシルエットパルスの選別

明暗信号によるシルエットパルスの選別には特に強い照明を必要とするので、熱の問題なども生ずることになる。このために黒い背景のかわりに赤いビロードを用い、前景の人物などは緑の衣装をまとい、かつ緑色で化粧し、カメラには緑のフィルタを用いて撮る方法があるが、色の制約を受けてあまり理想的な方法ではない。

つぎに用いられる方法は青と黄の二色を利用する方法である。これは第 9 図に示すように前景を撮るカメラとシルエットパルスを作るカメラをそれぞれ別個に具備する。

すなわち、前景になるようなものは実際には青色の成分はそう含まれていないものである故、この反対色である黄色のフィルタを用いたカメラで、しかも黄色の光で

第 16 図 色相マトリックスのオシロ写真

照明した前景を撮影すれば、このカメラの映像信号は普通の階調度をもった前景の映像信号として利用できることになる。つぎに背景には青色を用いて、しかも青色の光で照明をし、青色のフィルタを用いたカメラで撮影すれば、このカメラの出力には前景だけは暗いシルエットパルスの映像信号を得ることができることになる。

第 9 図の Y と B がこの前景とシルエット用のカメラを代表するものである。この時背景となる青のスクリーンは特に前景とは別個に照明する必要がある、第 10 図、第 11 図はその照明の一例を示したものである。また青色のスクリーンは $425 \sim 450 \text{ m}\mu$ の間の波長の色が適当である。この方法によれば、カラー・カメラと同様に黄色と青色のカメラの重畳の問題が生じ、この調整を厳密にせねばならないことになる。

クロマキーの方法

カラー・テレビでは同様な映像合成をしようとする時は背景以外に特定の色を用いることはできない。シルエットパルスは、背景に飽和度の高い色を用いて、この色相を検出して選別することができることになる。どの色相を背景に選ぶかは自由であるが、前景に用いられる色は青色が一番少いことにより、背景には青を用いるのが適当である。このような方法でシルエットパルスを選別する様相は第 12 図に示す。

このベクトル図はカラーバー信号発生器の出力をカラ

第 17 図 (a) 電子スイッチの切換時間の測定写真

左は $1 \mu\text{s/unit}$ 、右は映像面

第 17 図 (b) 電子スイッチの切換時間の測定写真

ー・ブレックサに入れた時得られる色度成分の位相関係である。また右側の波形はこの色度成分を第13図の系統図に示すような Video Signal Analyzer により位相検波して得られる波形であり、第14図はこの波形の実験写真である。この検波波形を見ると、青が正方向に最大振幅を示し、シアン、マゼンタを除き他のすべての色は青と逆方向の極性となっている。これは青を背景とした場合、シルエットパルスの選別には、マゼンタとシアンを考慮すれば容易に青より分離できることが解る。

さらに白、灰、黒などの色度成分のないものに対しては、検波出力は零となり、別に考慮を必要としなくてもよいことになる。この検波出力波形よりしても、青色の反対色である黄色が最もシルエットパルスの選別に能率のよいことが解り、青色の背景に黄色の前景を用いるような組み合わせがよいわけである。

つぎにもう一つの方法として第15図はのような色相マトリクスによる検出法である。これは連続的に 180° の位相をもって変化する二つの接点をもつ捲線抵抗である。原色に相当する R, G, B は図示の三点よりそれぞれ導入する。この時、二つの接点 AB よりの出力は差動増幅器を経て A-B として取出され、これは図の右側の波形となる。第16図は実験にて得た波形である。三点の平衡を保つことにより白、灰、黒に対する出力波は零となる。

A-Bの出力は、たとえば、青成分の時には $R=0$, $G=0$, $B=1$, である故 $B=+1$ となる。

第 17 図 (c) $1 \mu s/unit$

左は $1 \mu s/unit$, 右は映像面

これらの関係を表示すると表の通りとなる。

赤	R=1	G=0	B=0	信号出力	-0.5
マゼンタ	R=1	G=0	B=1	"	+0.5
緑	R=1	G=1	B=0	"	-0.5
シアン	R=0	G=1	B=1	"	+0.5
黄	R=1	G=1	B=0	"	-1.0

この方法はカラー・ブレックサの出力を検波して得られるものよりも色度成分の周波数帯域圧縮に影響されず、かつシルエットパルスの選別にも能率の点で良好である。

電子的スイッチの問題

映像信号を画面の中で切替える時、問題となるのは切換え時間とこの時の過渡ひずみの問題である。実験した結果では切換え時間は $0.1 \mu s$ 以下の時間内に完了し、かつリンギングなどの過渡ひずみも極力避けねば、二つの画の境界線が画面の上に目立ってくることになる。

これらはスイッチ回路の立上りの時間や補正の影響によるが、第 17 図 (a), (b), (c) はこの関係を 10 段階の波形の第 6 階目でスイッチし、実験したものである。

オシロ上の目盛は $1 \mu s$ 毎の区間を標示しているもので、(a) は約 $0.2 \mu s$ の幅の継目であり、画面上には割合に顕著にこの継目が認められる。(a) は約 $0.05 \mu s$ の継目であり、殆んど画面上にこの継目を認めない。(b) はさらにこれを補正したものである。

第 18 図 カメラとセット背景の配置例

クロマキーの場合、特に問題となるのはスイッチ回路の非直線ひずみにもとづく微分利得と微分位相の問題である。これはカラー信号の伝送を十分満足する特性でなくてはならず、理想的には微分位相で 2° 以内に収めることが望ましい。

つぎにシルエットパルスの増幅系の高周波ひずみの問題であるが、これが大きい場合には普通、実際の前景よりも幅の広いシルエットパルスとなるので、前景の両縁に黒い縁を生ずることになる。このため、十分立上り時間を少くせねばならない。さらに前景とシルエットパルスとの位相関係も厳密に合致せねばならない。これは前景の方の映像が幾分遅延するものであるもので、シルエットパルスの方にパルス遅延回路を設け完全に補正すべきである。

その他シルエットパルスについては、画の動きに対してスライズレベルが変動せぬように能率のよいクランプ回路が必要であり、また実際の運用に当っては画面の中で $0.1 \mu s$ の幅に近いような前景を作らぬことである。このためにはカメラと前景との相対位置や前景の配置をあらかじめ計算に入れて置く必要がある。

前景と背景の配置上の問題

映像信号を合成することはいずれの場合にても、前景となるものと、背景となるスクリーンや、その他ミニチュアセットとの組み合わせの上に、相互の配置と両方のカメラの連動の問題が生ずる。

配置については投影図法の考慮のもとにカメラの配置とセットの配置をなすべきである。たとえば、第 18 図のようにセットに合わせて室内の壁の背景を作る場合には、その関係位置によってカメラの高さやレンズの角度などを決めねばならない。図は前景になる台の角が背景に接している時であるが、C 点と B 点とは同一線上にあり、台の縁は AC に沿って背景に現われることになる。このような配置が前もって正確に考慮されて始めて合成の成果が上るものである。

また前景とミニチュアセットとのカメラの動きは、もし両方の間に関係がないならば、カメラの動作は相当の制約を受け、かつ現実性が欠けてくる。この時第 19 図のようなサーボ系で両カメラを連動し、また両方のズームレンズを関係位置に応じて制御すれば解決できる。

背景となるスクリーンの照明の問題

クロマキーで安定なシルエットパルスを得るためには背景のスクリーンの照明の影響が大きい。前景となる人物などとスクリーンとはそれぞれ独立に照明し、スクリー

第 19 図 クロマキーの一例

ーンの上に人物等の影を作らぬようにする必要がある。背景となる青色のスクリーンは相当フラットな照明をし、かつ、特に強くせねばならない。このため全域にわたって 400~500 フートキャンドル位の照明を必要とする。また人物の衣装には青色のものは勿論、輝きのある装飾等を用いるべきでない。

スクリーンの塗料は飽和度の高いものを使用し、なお光沢のないものが望ましく、また床の青い表面は使用中の部分的な埃は常に塗り改めるべきである。

第 19 図 (a), (b) は実際のクロマキーの受像面の例である。(昭和 35 年 1 月 19 日受付)

【参 考 文 献】

- (1) A.M. Spooner and T. Worswick : Special effects for television studio productions, Proc. IEE. vol. 100, Pt.1, April 1953
- (2) R.C. Kennedy and F.J. Gaskins : Electronic Composites in Modern Television : Proc. IRE. vol. 46 No. 11 Nov. 1958
- (3) Paul F. Wittlig : New Horizons in Studio Production SMPTE vol. 68 No. 9 Sept. 1959

「テレビジョン」 編集委員

編集長	原 木 渾	島 寺 保	治 宏 夫	日本電気
幹事	水 井 井	威 又 清	寛 二 治	東京芝浦電気
委員	清 駒 新	井 田 崎	俊 夫 彦	東京大学
委員	池 田 同	木 崎 内	正 邦 守	NHK
委員	垣 根 柿	水 清 鈴	二 司 雄	NHK 技術研究所
委員	木 橋 山	高 竹 十	重 寿 万	ラジオ東京
委員	中 原 牧	三 山 吉	義 欽 雅	日本テレビ
委員			光 男 友	日本ビクター
委員			野 宅 宮	NHK
委員			永 義 康	東京芝浦電気
委員			義 輝	早稲田大学
委員				郵政省電波監理局
委員				電波技術協会
委員				日本電気
委員				日立製作所
委員				NHK 技術研究所
委員				東京電機大学
委員				日本コロムビア
委員				日本電機公社電気通信研究所
委員				日本大学
委員				日本電機公社電気通信研究所
委員				NHK 技術研究所
委員				(五十音順敬称略)