

プロローグ

テレビの始まり

映像の歴史を紐解いてみると、遠くで起こっていることを居ながらに見たいと思うことは、有史以来、もしかするともっと昔からの願望だったように思えます。テレビジョン (television) という言葉は、その願望どおり、遠く (tele) を見る (vision) という合成語です。

一般に、テレビジョン (以下、テレビ) は、ラジオや映画の後に誕生したように思われていますが、実際には、ほとんど同時代に発明/開発が始まっています (表 0-1)。ライト兄弟の初飛行 (1903 年) より 50 年以上まえから、テレビの研究はスタートしていたのです。

電子技術が発達を始めた 19 世紀後半には、電話の発明、蓄音機の実用化、電磁波理論の確立が行われ、電子計算機理論も発達しはじめています。また、ブラウン管も、観測用として 1887 年に発明されました。エジソンの映画が発明されたのも同時代です。

そのなかで、電子技術によって画像を伝送する研究が、世界の先進国の間で同時多発的に始まっています。テレビもそのなかの一つです。

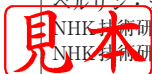
0-1 走査概念の発明

テレビのもととなる、画像を光学的に分解して伝送するという概念は、1843 年、イギリスのバーン (A. Bain) による、「走査」という概念の考案が最初とされています。この概念は画像を撮像側で走査線と呼ばれる単位に分解し、この分解された走査線を伝送します。受像側では、走査線を再び組み立てることにより、画像を表示しようというものです。ただし、この当時はまだテレビジョンという独立したシステムを想定していたものではないようです。むしろ、現在のファクシミリなどを含めた、画像メディア・テクノロジーの一つとして考えられていたようです。

テレビの最も重要な技術である「走査」の概念が、テレビ・システムの形で現実化した

〈表0-1〉テレビジョン技術の発展

年代	テレビ技術の主要事項	電子技術の主要事項
1850	走査の概念ができる (1843)	ベル, 電話機発明 (1876) エジソン, 蓄音機実用化 (1877) 仏で動画の幻燈機発明 (1878)
1900	ニポー円盤発明, 機械式テレビ発案 (1884) 観測用としてブラウン管発明 (1887)	ロール式フィルム開発 (1889) エジソン, 映画システム確立 (1893) ヘルツ, 電磁波を証明 (1894) マルコーニ, ラジオ・システム実用化 (1894)
1910	機械式テレビ, ほぼ技術的に確立 (1907) 電子走査の概念が提示される (1911)	大西洋横断無線通信成功 (米) (1901) 2極真空管発明 (1904) 写真電送実験成功 (独) (1904) AM ラジオ発明 (1906) 3極真空管発明 (1907)
1920	ベアード, 機械式テレビ実用化 (1925) NHK 設立 (1925)	トーキー映画公開実験 (米) (1913) 真空管式ラジオ発明 (米) (1915) ラジオ定時放送開始 (米) (1920) ラジオ定時放送開始 (独) (1922)
1930	高柳博士「イ」の字をブラウン管で表示成功 (1926) 高柳博士, 動画の電送に成功 (1928) テレビ中継ロンドン-ニューヨーク成功 (1928) ベル研究所でカラー・テレビ実験 (1928) BBC, 機械式テレビ実験放送 (英) (1929) RCA, テレビ試験放送 (米) (1933) アイコノスコープ実用化 (1933) BBC, 電子走査による実験放送開始 (英) (1933) アイコノスコープ式テレビ局開設 (伊) (1934) 高柳博士, アイコノスコープ開発純電子式テレビ成功 (1935) テレビ受像機商品化 (英) (1936) テレビ放送用ターンスタイル・アンテナ発明 (独) (1936) ベルリン・オリンピックのテレビ中継 (独) (1936) NHK 本館研究所, テレビ研究開始 (1937) NHK 本館研究所, テレビ実験放送開始 (1939)	ラジオ定時放送開始 (日本) (1925) 無線電話通話実験 (米英) (1925) 八木アンテナ発明 (1925) カラー映画登場 (1926) FM 通信方式発明 (1933) 日本でテレビ電話実験 (1935)



〈表0-1〉テレビジョン技術の発展(つづき)

年代	テレビ技術の主要事項	電子技術の主要事項
1940	カラー・テレビ実験放送(米)(1940) NTSC 発足(1940) テレビ放送開始(米)(1941) 日本, テレビ研究中断(1941)	静止衛星の概念提唱される(米)(1945) トランジスタ発明(米)(1947)
1950	RCA, カラー・システム公開(米)(1949) カラー放送開始(米)(1950) テレビ放送開始(日本)(1953) VTR 発売(米)(1956) NHK, NTV, カラー試験放送開始(1957)	世界初のCG公開(米)(1950) ソニー, 世界初のトランジスタ・ラジオ発売(1955) BBC, ステレオ実験放送(英)(1958)
1960	カラー放送本格化(日本)(1960) 米欧間でテレビ衛星中継成功(1962) 日米間でテレビ衛星中継成功(1963) 東京オリンピック世界に衛星中継放送(1964) アポロ11号により月から中継(1969)	Cカセット開発(蘭)(1963) NHK, FM放送開始(1967) ドルビー録再技術開発(米)(1967) TI社によりLSI開発(米)(1968)
1970	ソニー, 家庭用VTR(ベータシステム)発売(1971) ビクター, 家庭用VTR(VHS)発売(1976) 実験放送衛星ゆり1号打ち上げ(1978)	NHK, FMステレオ化(1977) 東京で自動車電話開始(1977) ソニー, 「ウォークマン」発売(1979) CD開発(1980)
1980	音声多重放送開始(1982) NHK, 衛星放送実験開始(1984) SNG(Satellite News Gathering)実用化(米)(1985)	CDプレーヤ発売(1982) ファミコン発売(1983) NTT, 光ファイバ実験開始(1984) FM多重放送開始(1988)
1990	ハイビジョン実用化試験放送開始(1991) WOWWOW放送開始(1991) CS放送開始(1992) CSデジタル放送開始(1996) DVD-video 発売(1996) D-VHS 発売(1999) BSデジタル放送開始(2000)	インターネット・サーフィン技術確立(1992) 情報スーパーハイウェイ構想(米)(1993)
2000		

見本

のは1884年、ドイツのニポー(P. Nipkow)の発明したニポー円盤によります。ニポーの発明は、うずまき状に穴を開けた円盤を撮像側と受像側で同時に回すことによって、ペーンの「走査」概念を実現したものです。

このシステムは、円盤を回すという機械的な要素があるため、機械式テレビと呼ばれています。この機械式テレビは、1907年にロシア人のロージングにより、ほぼ完成の域にまで達しています。さらにイギリスのベアード(J. L. Baird)により実用化の研究が続けられ、1925年に有線伝送実験が成功しています。このため、欧米では一時期、機械式テレビが主流になり、1927年にはアメリカでも試験放送が行われています。このときの走査線は、わずか48本で画面は3インチと小さく、映像は不鮮明だったといわれています。

●電子式走査

一方、純電子式の走査概念は1911年に、イギリスのスウィントン(A. C. Swinton)によって、初めて示されています。その概念を実用化したのは、ロシア人のツボルキン(V. K. Zworykin)です。ツボルキンは、アメリカに亡命の後、RCA社に招かれて「アイコノスコープ」と呼ばれる電子式撮像素子を1933年に完成しています。

アイコノスコープとは、図0-1に示すように、電荷をためる作用をもった粒子を塗りつけたマイカ板に画像を結びます。それを真空中において、電子ビームで走査し、画像に応じた電流を得るものです。電子ビームをコントロールする偏向技術は、ブラウン管で確立していました。アイコノスコープの技術は、現在の撮像管のもととなっています。ツボルキンは、アイコノスコープのほか、1929年に受像管も開発しており、この受像管とアイコノスコープの組み合わせが、純電子式テレビ・システムの最初といわれています。

欧米ではそのころ、機械式テレビの走査線数の限界がいわれており、電子式テレビ・システムの実用化が進みました。

●テレビ放送の始まり

ヨーロッパでは1934年ごろに、イギリスとドイツで定時放送が始まっています。ドイツでは、1936年に開催されたベルリン・オリンピックのテレビ中継を行いました。

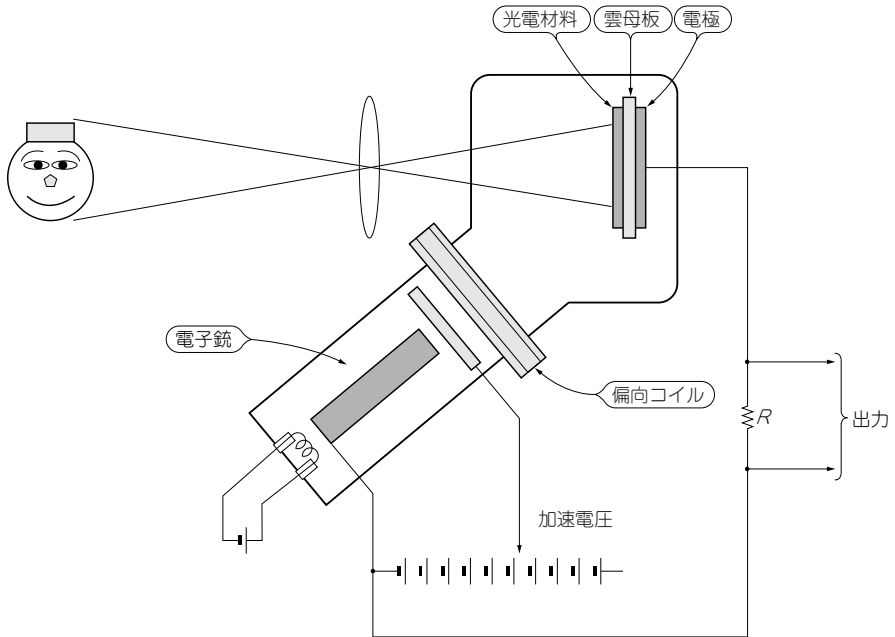
アメリカでは、1933年にNBCによる実験放送が行われています。さらに1940年には、カラー・テレビの実験も行われました。

また、NTSCも1940年に組織化されテレビ放送方式の策定が行われ、1941年に定時放送が始まりました。

このように、世界の先進国は、その技術力誇示のためにテレビ放送の実現に全力を上げていたのです。

見本

〈図0-1〉 アイコンoscopeの原理



光が光電材料に当たるとそのエネルギーで光電材料から電子が遊離する。そこに電子銃で作った電子ビームを当て、遊離した電子を取り出して電流を流す。電子ビームは偏向コイルにより「走査」されるので、 R の両端には光電材料に投影された映像の濃淡(光の強さ)に応じた信号が発生する

●日本のテレビ技術

一方、日本でも複数のテレビ研究が行われており、技術的にはトップレベルであったと言われています。そのなかで、世界的に有名な研究はブラウン管を最初に受像素子として用い、先進的な研究を行った高柳健次郎博士(1899～1990)の研究です。

高柳博士が浜松高等工業学校(現静岡大学)で、本格的にテレビの研究を始めたのは1924年、25才のときです。ちょうど、アメリカのサーノフ(タイタニック号の惨事を無線でキャッチしたことで有名、後のRCA会長)が、テレビ放送時代を予測した頃です。そのころ、日本では機械式テレビが全盛でしたが、高柳博士は、将来、家庭に普及するテレビは、電子式であるとの確信をもち、電子式テレビの研究を始めたといわれています。

見本

高柳博士が、1926年にブラウン管を受像素子として、「イ」の字の送受信に成功したことはあまりにも有名です。このとき用いられた撮像素子は、ニポー盤を用いた機械式でした。

日本における完全電子式のシステムは、1935年に高柳博士による「浜松高工式アイコノスコープ」の完成で実現し、走査線220本の送受信が可能となりました。このころから、日本のテレビ技術は急速に進み、1938年にはNHK技術研究所により実験放送が開始されています。

一方、受像器のほうも、1935年頃からはブラウン管式テレビ受像器の商品化研究が、松下電器や早川電気(現シャープ)で始まっています。また、1940年(昭和15年)に開催が予定されていた東京オリンピックのテレビ中継が計画されていました。しかし、太平洋戦争により、それらの計画は中断され、1941年にはテレビの研究も禁止されたことから、日本のテレビ実用化は1953年(昭和28年=筆者の生まれた年、筆者は日本テレビ開局の前日に生まれました)まで、待つことになりました。

表0-1の年表でわかるように、走査の概念が登場してまだ150年あまりですが、テレビ技術は急速に発達し、ついにはデジタル多チャンネル放送時代に突入しました。また、1936年のベルリン・オリンピックのテレビ中継に始まり、1964年の東京オリンピックの衛星中継、1994年の長野オリンピックではハイビジョンのデジタル中継(放送はアナログ)、2001年にはBSデジタル放送で沖縄サミットが中継されるなど、世界的イベントでテレビの最新技術が披露され、技術力誇示が行われるのは今も昔も変わらないようです。

ところで、東京の愛宕山にあるNHKの放送博物館では、ここで述べたニポー盤やアイコノスコープ、高柳博士の「イ」の字を映した実験装置などを再現したものを見ることができます。また、最新技術の紹介もありますので、テレビに興味のある方はぜひ一度ご覧になってください。

●カラー・テレビの誕生

テレビをカラーで見たいという願望は、テレビの研究が始まった当初からあったようです。実際、テレビが実用になるかならないかの時期にカラー・テレビの実験が行われています。

1928年には、ニポー円盤の螺旋状の穴を三重にし、RGB 3原色のフィルタをはめ込み、受像素子にガス放電管を用いた実験が、イギリスのバード(J. L. Baird)によって行われています。

その後、1940年にCBS社のゴールドマーク(P. C. Goldmark)により、1枚の画像をRGB 3回に分けて送信するフィールド順次方式が提案されました。そのころ決まったNTSCの

見本

白黒方式と相容れないことや、解像度やフリッカが性能的に満足いかないということで、採用されませんでした。

この方式は幾度かの改良がなされ、第2次世界大戦後まで実用化のアプローチが続き、1949年にはほぼ完成領域まで達し、1951年に一時的ですが米国の標準方式に採用されています。そして、ニューヨークで初めてのカラー放送が始まっています。しかし、当時のアメリカ無線工業会がCBS方式に反対し、受像器の生産を拒否、朝鮮動乱の勃発もあってCBS方式の放送は3ヵ月で中止されています。

余談ですが、フィールド順次方式は、現在のビデオ・プロジェクタでその技術が蘇っています。RGBを1枚の発光素子で投影する単板式プロジェクタでは、RGB信号をメモリに書き込み、NTSCの画面1枚ぶんの時間でRGBを順番に投影します。なかにはCBSの方式さながらに、発光素子の前でRGBフィルタをモータで回している製品もあります。

CBSの方式に対し、画素ごとにRGBを繰り返す点順次や、走査線ごとに繰り返す線順次方式が研究されていましたが、いずれもRGB信号を別に伝送するもので、白黒放送の6 MHz帯域では伝送ができませんでした。

一方で、Philcoは白黒放送の信号に色信号を重畳する方式を研究し、3.46 MHzの副搬送波(サブキャリア)に二つの色信号を直角2相変調する方式を確立しました。また、GEでは周波数インターリーブの研究が行われていました。

1951年にNTSC内部のカラー・テレビの方式決定を行う特別委員会は数々の試験を行った結果、副搬送波方式によるNTSCカラー・テレビ規格を作り、1954年に正式に米国標準になっています。

0-2 機械式テレビジョンと高柳式ブラウン管テレビ

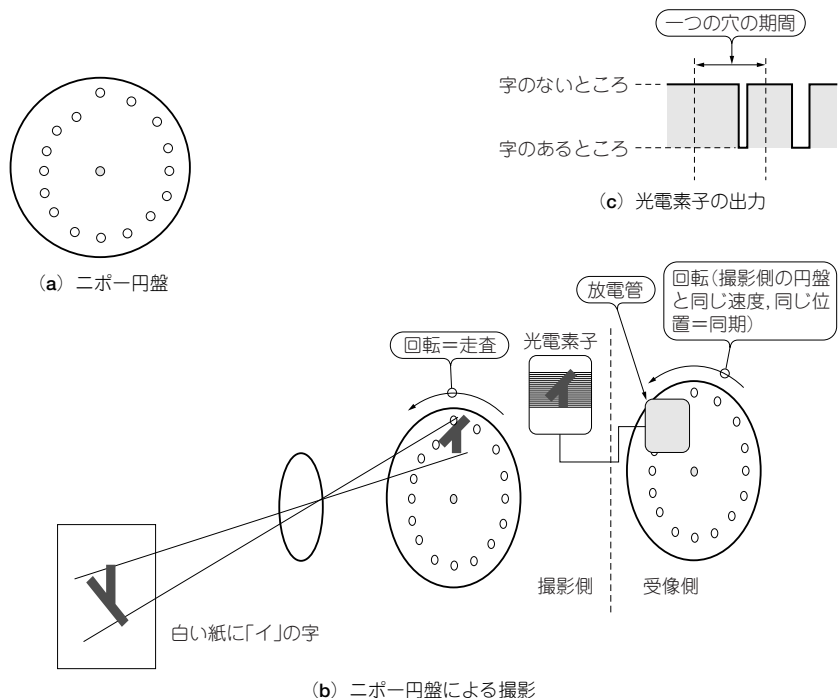
●機械式テレビの原理

ニポーが考えたシステムの原理を、図0-2(a)～(c)に示します。

機械式テレビジョンは、走査の概念を機械的なシステムで作り出したものです。ニポー盤は、同図(a)のように、螺旋状に小さな穴をあけた円盤です。この円盤上に画像を結びます[同図(b)]。穴の回転方向の間隔は、画像の幅びったりかやや大きめになっています。そして、螺旋状にならび、40～50の穴があけられていました(図では説明の都合で16個)。この穴の数が走査線数になります。

ニポー盤の周りには、光電変換素子(当時は光電管)が備え付けられています。円盤を回すと、光電管の受光部には常に穴一つぶんの光が、回転方向に画像に従った強さで当たります。

〈図0-2〉機械式テレビの原理



そのとき当たる光は、穴の位置によって画像が切り取られた光です。したがって、光電管の出力電気信号の波形は、同図(c)のようになります。これで、走査を行うカメラとして動作します。

受信側では、カメラで光から変換された電気信号を、再び光に戻します。当時は放電管などが用いられたようです。ここで、ただ放電管を置いておいただけでは点滅にしか見えません。そこで、放電管の前にカメラと同じニボー盤を置き、回転します。このとき、回転速度、穴の位置ともに、カメラ側とぴったり合っている必要があります。こうすれば、放電管の点滅が走査され、画像が再現できるのです。機械式テレビの段階で、走査のほかにはテレビ・システムにとってもう一つの重要な概念、「同期」も導入されていたことになります。

●見本 高柳式ブラウン管テレビ

高柳健次郎博士が、世界で初めてブラウン管に「イ」の字を表示させたとき使用された

第1章

NTSC信号の構成と意味を理解する ビデオ信号の基礎知識

マルチメディア時代の到来で、「ビデオ信号」や「映像信号」という言葉は、一般向けの雑誌などでもあたりまえのように使われています。

この章では、アナログ・ビデオ信号について、基本的な理解を深めたいと思います。本章および第2章で扱っているNTSCコンポジット・ビデオ信号には、走査や同期などのテレビの基礎、今後主流になるコンポーネント信号など、現在存在するビデオ信号の要素がすべて含まれており、NTSCコンポジット・ビデオ信号を理解するのは大変重要なことです。

電子映像システムの基本構成要素は、入力装置、記録装置、出力装置です。そして、各装置間で画像情報を電子的に伝送することでシステムが成り立っています。入力装置はビデオ・カメラ、スキャナなどがあります。記録装置の代表はVTRです。最近ハード・ディスクやDVDも記録装置として登場しています。出力装置は、ディスプレイということになります。また伝送路はケーブルや電波です(図1-1)。

1-1 アナログ・ビデオ信号の基礎知識

1-1-1 カラー・ビデオ信号の基本はRGB

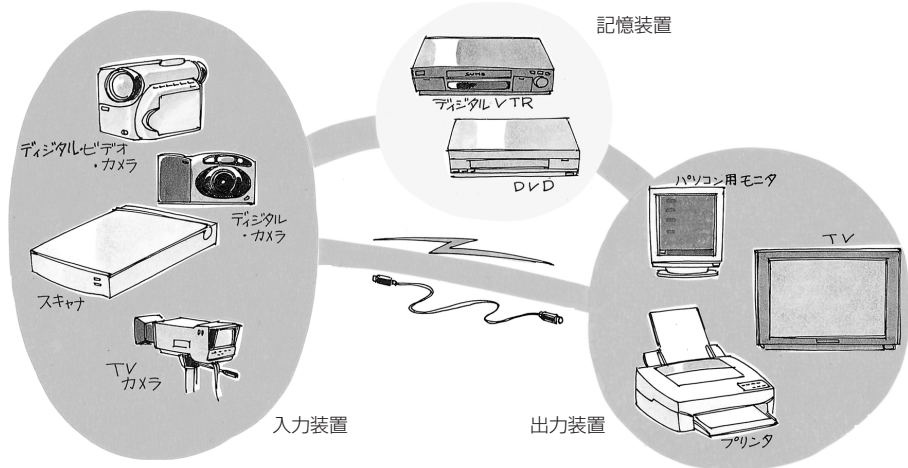
人間が目で見ている「画像」は、明るさと色の情報をもっています。電子映像のシステムでは、この明るさと色を緑、青、赤の加法3原色で表すことになっています(図1-2；カラー口絵参照)。

ビデオ・カメラは、レンズを通した光の情報を撮像素子で電気信号に変えています。撮像素子からの信号は赤(R；Red)、緑(G；Green)、青(B；Blue)の3色に分解された、いわゆるRGB信号です。

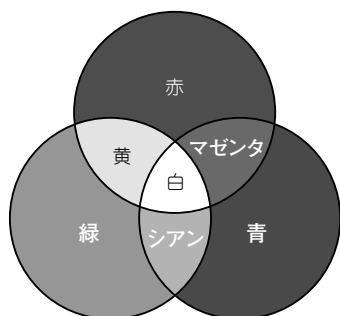
一方、ディスプレイなどの表示器はブラウン管や液晶などです。カラー対応の表示器で

見本

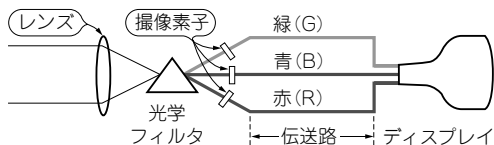
〈図1-1〉電子映像システム概念



〈図1-2〉加色法による色混合
(カラー口絵参照)



〈図1-3〉RGB伝送の概念

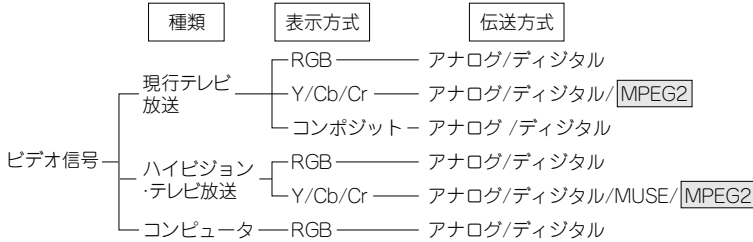


は、例外なくRGB 3色の素子を備えており、RGB各素子の明るさの組み合わせで、多様な色や明るさを再現しています。したがって、カメラのRGB信号出力をそのまま伝送し、表示器のRGB信号入力につないでやれば画像が映ることになります(図1-3)。

途中で何も処理せずにRGB信号のまま伝送する方法が、画質が一番良いのは直感的にわかります。この組み合わせに近い身近な電子映像システムがコンピュータです。コンピュータのディスプレイは、RGB信号入力になっています。コンピュータのビデオ信号出力も、画像表示に関する内部的な処理も、すべてRGBです。

見本

〈図1-4〉ビデオ信号の種類



伝送方式はおもに使われているもので技術的分類ではない。■はデジタル放送で使われる方式である。

1-1-2 ビデオ信号はRGBの情報伝送のためにある

カラーの電子映像システムは、機器間でRGB信号を伝送して成り立っています。ところが図1-4に示すように、ビデオ信号といわれる信号は、RGB信号のほかにコンポジット信号やコンポーネント信号、ハイビジョン信号などが存在します。また、放送局内部のビデオ信号伝送や信号処理には、コンポーネント信号をデジタル化した信号を使うのが主流になっています。

家庭用でもDV方式のデジタル・ビデオが普及してきました。さらに、MPEG2圧縮信号も、広い意味ではビデオ信号といえます。

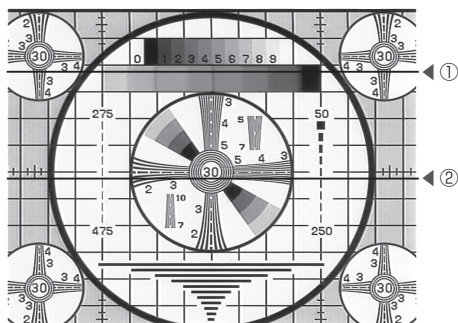
このように、ビデオ信号は多種多様です。しかし、いずれの方式もRGB情報を伝送することが最終目的であることに違いはありません。要求性能や使用目的、環境に合わせていろいろな方式が存在するのです。

1-1-3 日本のアナログ・テレビ放送はNTSC方式とハイビジョン

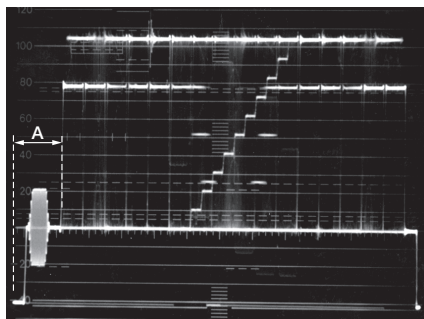
現在、日本のテレビ放送には、地上波とBSとハイビジョン、そしてCSおよびケーブル・テレビがあります。また、各方式でデジタル放送も始まっています(地上波は2003年から)。

このうちハイビジョン以外のアナログ放送は、NTSC方式という米国で開発された方式を使っています。なお、デジタル放送はコンポーネント信号をMPEG2でデータ圧縮して使っています。しかし、従来のテレビで鑑賞できるようにチューナにはNTSC方式に変換した出力があります。ハイビジョンは高画質を目的に日本で開発された方式ですが、

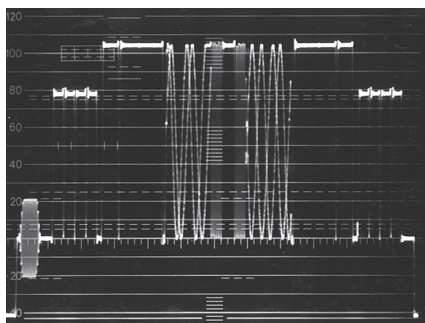
見本



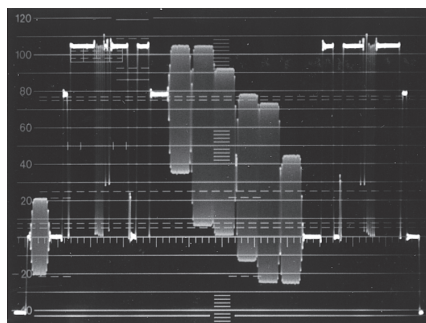
(a) モノスコープ信号の画像



(b) モノスコープ信号の全ライン波形



(c) 画像中央の走査線波形(②の部分)



(d) カラー・バーの部分の走査線波形(①の部分)

〈写真1-1〉モノスコープ画像とNTSC信号波形

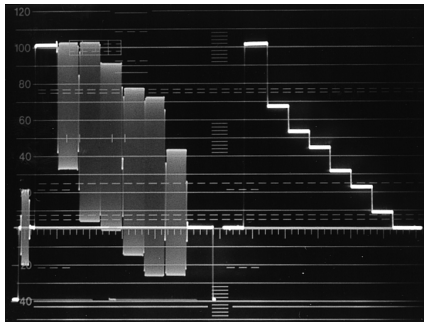
NTSC方式と互換性はありません。

NTSC方式は、アメリカのNTSC(National Television System Comittee)により、制定されている方式です。NTSCは1940年に発足し、1941年にモノクロ放送の方式やパラメータを制定しました。この内容は基本的に現在も使われています。

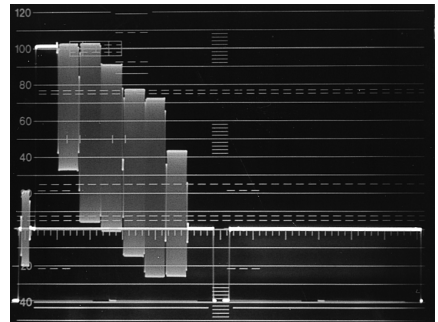
その後、1953年にカラー放送の方式が決定され、現在に至っています。日本はこのNTSC方式を採用し、1953年にモノクロ放送、1960年からカラー放送が始まりました。

歴史のあるNTSC方式ですが、放送のデジタル化に伴い、その役目を終わる時期が示されています。日本では2011年ごろ、米国では2006年ごろにNTSC方式の放送を終了するとされています。しかし、NTSC方式の映像機器やビデオ・テープなどの映像資産が大量に存在しており、当分はNTSC方式のビデオ信号がなくなることはないと考えられています。

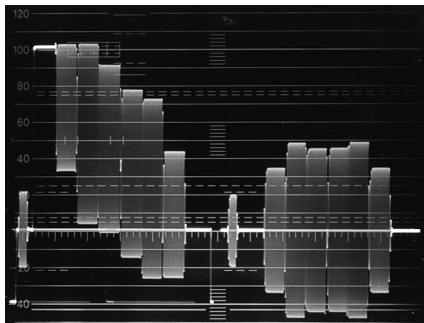
見本



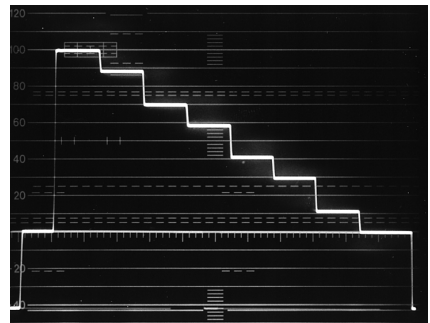
(a) NTSC コンポジット信号と輝度信号



(b) NTSC コンポジット信号と同期信号



(c) NTSC コンポジット信号と色信号



(d) 輝度信号＋同期信号

〈写真1-2〉 カラー・バーの信号波形

以下、NTSC コンポジット・ビデオ信号を中心に、ビデオ信号の特徴について解説していきます。

1-1-4 NTSC コンポジット・ビデオ信号の波形

写真1-1は、モノスコープという試験信号の画像(カラー口絵参照)と、NTSC コンポジット・ビデオ信号(以下、NTSC 信号)の波形です。テレビの画面は、走査線と呼ばれる横線が483本集まってできています。

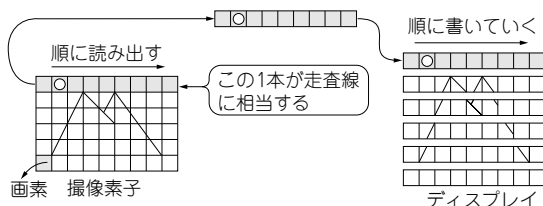
写真1-1 (b)は、画像を構成する走査線すべてを重ねた波形です。

写真1-1 (c)は、画像中央のモノクロだけでできている部分から、走査線を1本だけ抜き出した波形です。走査線の映像部分は、明るさの信号(輝度信号)だけでできています。

写真1-1 (d)は、画面に色がついている部分の走査線波形です。画面上で色のついてい

見本

〈図1-5〉
画像の伝送



る部分は、走査線に正弦波の信号が現れます。この信号は色信号といい、色の強さや色相を表す信号です。

写真1-1 (b)で示すAの部分は、ブランキング期間と呼ばれます。ディスプレイの画面には現れませんが、同期信号とカラー・バースト信号が含まれています。

これらは重要な働きをする部分ですので、本章後半で詳しく説明します。

写真1-2は、カラー・バーと呼ばれる試験信号の波形を分解した写真です。写真からわかるように、NTSC信号は三つの要素からできています。写真1-2 (d)は、いわゆるモノクロ信号です。NTSC方式のビデオ信号はこの形から始まりました。

1-2 テレビ画像の成り立ち

1-2-1 電子映像システムは「走査」で成り立つ

ビデオ・カメラには撮像素子があります。撮像素子は、画素という単位で、被写体の明るさに対応した電気信号に変換します。そして、決められた手順で、画素単位の電気信号を、画面の左側から横方向に右側まで送り出します。ディスプレイでは、同じ手順で再現します(図1-5)。この方法を「走査」と呼び、走査の軌跡を「走査線」と呼びます(図1-6)。

図1-6で「同期」という言葉があります。同期は、撮像側の走査と、受像側の走査の位置と時間(タイミング)を一致させる役割があり、大変重要な概念です。なお、映像の世界では走査線を言うときに「ライン」や「H」を使い、「1ライン」とか「1H」などと数えます。

テレビの画像は、走査線を画面の上から下に並べて構成されています。したがって、テレビの画面は、

走査線1本当たりの画素数 × 走査線数

の画素の集合体ということになります。NTSC方式では、走査線が480～485本(ハイビジョンでは1080本=1920×1080のとき)で1画面を構成します。この走査線全部を走査して、1枚の画面を作るのに約1/30秒かかります。

またNTSC方式では、走査線1本当たりの画素数が720～760程度なので、総画素数は