

■8群-4編-2章

2-7 各種カメラ

2-7-1 監視カメラ

(執筆者：須部 信) [2011年1月 受領]

(1) 監視カメラの用途、歴史

監視カメラは、公共機関、交通機関、ビル、店舗、マンションなどでの安心・安全を高めるために広く使用されている。特性インピーダンス 75Ω の同軸ケーブルを使用してアナログの NTSC 映像信号をベースバンドで送る閉じたシステムであることから、放送用のテレビ網に対して CCTV (Closed Circuit Television) カメラとも呼ばれる。監視カメラは、古くは 1960 年代に白黒の撮像管を使用した工業用カメラの応用から始まる。工業用カメラであることから ITV (Industrial Television) カメラと一部の市場では現在も呼ばれている。

1980 年代には光を電気信号に変換するカメラの目に当たるイメージセンサが撮像管から CCD (Charge Coupled Device)¹⁾ という固体撮像素子に置き換わることで信頼性や保守が軽減されるとともに、カラー化が進んだ。現在はカラーカメラがほとんどであり、白黒カメラは少ない。解像度に大きく影響する CCD の画素数も向上し、有効画素数 25 万画素、38 万画素が主流となっており、近年は更に 48 万画素も登場した。

カメラ内部の信号処理はアナログ回路であったが、1990 年頃からはデジタル信号処理を利用したカメラが登場して調整が容易となり、部品のコストダウンも進んだ。また、デジタル信号処理やメモリを活かした機能も登場した。例えば、デジタルフィルタやメモリを活用した輪郭補正による解像感の向上、フレームメモリを活用した巡回型ノイズリダクションによる低照度性能の向上、短時間露光と長時間露光の 2 画面を合成して明るい被写体と暗い被写体を同時に見えるようにするダイナミックレンジ拡大機能などがある。

監視カメラでは暗いところを見たいという要望が強く、CCD の感度向上と巡回型ノイズリダクションにより低照度性能の改善が進んだ。2000 年頃には更に低照度性能を向上させるために赤外線カットフィルタ¹⁾ を動かす機構により、通常の色時は赤外線カットフィルタにより可視光以外の波長を除去して色再現を保ち、低照度時は赤外線カットフィルタを抜いて CCD の近赤外感度を活かした白黒カメラとして動作させるデナイトカメラが登場した。

(2) 監視カメラの形状

監視カメラは当初、レンズ交換が可能な箱型のみだった。1990 年代以降、監視カメラの普及とともに市場や用途が拡大し、威圧感の少ないドーム型や回転台一体型も登場し、設置環境や用途に合わせて選択できるようになった (図 2・82)。

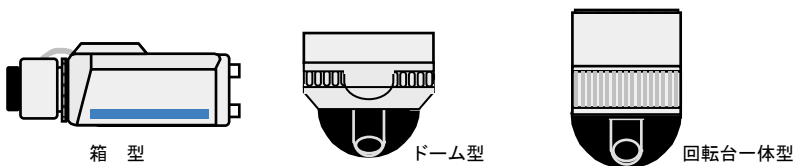


図 2・82 監視カメラの形状

2000年代には、ポリカーボネートのドームやアルミダイキャストの筐体による強固な耐衝撃カメラや、屋外ハウジングやヒータと一体になった屋外ハウジング一体型も登場した。

(3) 監視カメラシステムの基本構成・システム

監視カメラは周辺機器と組み合わせてシステムとして運用される。カメラ16台以下の小規模システムでは監視カメラとレコーダなどの記録装置、16台超の中規模や大規模システムではカメラの集線化や出力映像を制御するマトリクススイッチャとレコーダなどの記録装置から構成される。マトリクススイッチャは、入力多数の映像信号を複数の出力に選択的に制御するマトリクス機能や、1台の記録装置に複数のカメラの映像信号を効率的に記録するためにフレームごとに映像信号を切り替えるフレームスイッチャ機能をもつ。記録装置は近年、テープ式の簡潔・長時間記録が可能なタイムラプスVTRから、画像圧縮機能を活かしランダムアクセスなどの検索が容易なハードディスクを用いたデジタルビデオレコーダ(DVR)へ移行している。DVRはマトリクススイッチャやフレームスイッチャの機能を包含している。

監視カメラの電源には、100VやDC12V、AC24Vを直接供給するものと、設置工事を容易にするために映像を伝送する同軸ケーブルに電源や制御信号をコントローラから重畳する同軸多重システムがある。同軸多重システムはメーカー間の互換性がない。

監視カメラシステムは、複数のカメラを切り替えてモニタなどのディスプレイに表示させるので、カメラ切り替え時の映像の乱れを防止するためにカメラ間で映像信号の同期をとる外部同期機能がある。外部同期には、映像信号に同期するVBS同期や、電源周波数に同期するラインロック(LL)同期などがある。近年は、マトリクススイッチャや、DVR側に非同期の映像信号を機器内部のメモリに記憶させて同期を合わせるフレームシンクロナイザー機能により、外部同期の必要性が低くなっている。

(4) 監視カメラ向け機能・性能

監視カメラとして市場から求められる要件に対応するための特長的な機能や性能がある。

(a) レンズ

監視カメラは通常、設置後は画角が固定となるが、設置時には最適な画角となるようにレンズで調整できることが望まれる。そのため、箱型カメラはレンズを選択できるように交換可能な構造となっている。レンズマウントは、光学サイズが1/2型までは一般的なCマウントであったが、1/3型では光学サイズの小型化に伴い同じ画角を得られる焦点距離が5mm短いCSマウント²⁾が主流となった。また、箱型カメラの交換レンズやドーム型カメラでは、画角を調整できるパフォーカルレンズが多い。パフォーカルレンズは焦点距離を連続的に変えられるが、結像面も同時に移動するので画角を変えるとフォーカスを合わせ直す必要がある。

(b) ダイナミックレンジ拡大

監視カメラの設置場所では窓際など屋内と屋外を同時に撮影する場合があり、視認性向上のために明るい被写体と暗い被写体が同時に見える広いダイナミックレンジが求められる。2倍速のCCD³⁾により短時間露光と長時間露光の2画面をCCDから出力し、カメラ内部の信号処理で明るい被写体は短時間露光信号を用い、暗い被写体は長時間露光信号を用いて2画面を合成⁴⁾することでダイナミックレンジ拡大を実現している(図2・83)。

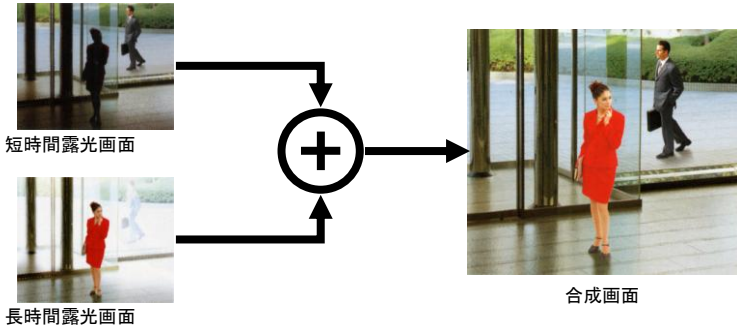


図 2・83 2画面合成によるダイナミックレンジ拡大 (イメージ)

(c) デイナイト

近赤外感度が高い CCD の登場により近赤外光源と組み合わせて暗闇の撮影が可能となった。デイナイトカメラは昼間の明るい状態ではカラー、夜間の暗い状態では白黒になるカメラをいう。カラーの監視カメラは色再現を保つために CCD の前に赤外カットフィルタを用いて可視光以外の波長を除去している。低照度時にこの赤外カットフィルタを機械的に動かして CCD の前から抜き、CCD の近赤外感度により近赤外光を受光して低照度撮影を実現するとともに、近赤外光により色再現が正しくなくなるため白黒信号にしている。

(d) オートバックフォーカス

監視カメラの大部分は固定設置であり、レンズの画角やフォーカス調整は手動である。デイナイトカメラでは白黒時に近赤外光の色収差によりフォーカスがずれることへの対策や、設置時のフォーカス調整を容易にするために、レンズ交換が可能な箱型カメラでも CCD を機械的に動かしてフォーカス調整を自動的に行う機能である。

(e) プライバシーマスク

監視カメラの設置場所によっては周辺のプライバシーへの配慮が必要な場合がある。画面内の一定範囲を表示しない、またはモザイクなどで認識できないようにする機能がプライバシーマスクである。回転台一体型ではカメラの画角に合わせて大きさや位置の追従を行う。

(f) 長期信頼性

監視カメラは設置場所によっては 24 時間 365 日稼働する必要がある。通常は 5~7 年程度の寿命が期待されるため、長期連続動作に対する信頼性が求められる。特に撮像素子には長期間の動作のみでなく、光に対して色フィルタが退色しない耐光性が必要であり、染料系よりも顔料系の材料が使用される場合が多い。

■参考文献

- 1) 社会システム事業委員会, “JEITA TTR-4601B CCTV 機器用語,” 電子情報技術産業協会, 2008.
- 2) 産業用 AV システム事業委員会, “JEITA TT-4506A CCTV カメラ用レンズマウント (C 及び CS) の取付けねじ及びフランジ焦点距離,” 電子情報技術産業協会, 2006.
- 3) 清水いづみ, 辺見 健, 松丸宏司, 西 嘉昭, 田代信一, 山口琢己, “1/3 インチ 41 万画素ハイパーダイナミックレンジ CCD,” National Technical Report, vol.43, no.4, pp.95-99, 1995.
- 4) 森村 淳, 吾妻健夫, 魚森謙也, “広ダイナミックレンジ画像合成処理技術,” National Technical Report, vol.43, no.4, pp.107-112, 1995

2-7-2 ネットワークカメラ

(執筆者：須部 信) [2011年1月 受領]

(1) ネットワークカメラの用途、歴史

ネットワークカメラには、主に監視カメラなどと同じ安心・安全を高めるセキュリティ用途と、家庭や店舗内などの様子を遠隔から観察することを目的としたモニタリング用途がある。両者の違いは主に性能や機能の差によって分けられているが、基本的な機能や原理は同じである。ネットワークカメラは監視カメラのアナログ伝送方式と異なり、画像圧縮技術とIP (Internet Protocol) を使用してデジタル映像信号をLANやインターネット経由で伝送する。カメラごとに同軸ケーブルを1本引く必要があるアナログ伝送方式に対して、LANにより複数のカメラのデジタル映像信号をケーブル1本で長距離伝送できる。また、アナログ伝送方式のようにテレビジョン方式の制約がないことから、高画素化が可能であることや、インターネット経由でメールに画像を添付して送信したり、携帯電話で画像が閲覧できたりするなどのメリットがある。反面、カメラからのデジタル映像信号を記録・再生するためには画像圧縮方式やIPの各種プロトコルが一致している必要があり、画像圧縮や伸長、LAN内の伝送などにより遅延が発生する。

ネットワークカメラは、画像圧縮技術やネットワーク技術の普及を背景に1990年代後半に登場した。当初は画像サイズがCIF (352×288) の静止画をJPEGでフレームレート1fps程度伝送する性能であった。その後、半導体プロセスの進化や画像圧縮技術の向上により画素数やフレームレートが向上してきた。画像圧縮技術では、2002年頃には動画圧縮方式のMPEG-4、2008年頃にはMPEG-4AVC/H.264が登場した。画像サイズは現在では、NTSCとほぼ同じVGA (640×480) やD1 (720×486) と、より高画素の4:3アスペクト比では1280×960、16:9アスペクト比ではHD (1280×720) やフルHD (1920×1080) が主流となっている。フレームレートも現在では、動画と言える30fpsを実現している。

(2) ネットワークカメラの基本構成・システム

ネットワークカメラは、パソコンのブラウザ (動画圧縮方式の映像表示などを行うために専用のプラグインソフトウェアのインストールが必要な場合あり)、またはカメラ制御・映像表示用の専用ソフトウェアで映像を表示することができる。そのため、カメラ数台の簡単なシステムではスイッチングハブとサーバ側となるパソコン及び必要なソフトウェアでシステムを構成することができる。映像の記録は、カメラ制御・映像表示用の専用ソフトウェアに録画機能がついている場合もあるが、監視用として運用する場合にはパソコンよりも信頼性を高めたハードディスクを用いたネットワークビデオレコーダを使用する場合も多い。

カメラ台数の多いシステムではネットワークの設計が重要となる。複数台のカメラ映像をスイッチングハブで集線化していくため、各カメラの定常的な出力データ量に基づいて各ネットワーク上のデータ量を計算し、スイッチングハブの能力や被写体の変動に伴う出力データ量の変動も考慮するとともに、瞬時的なデータ増への耐性向上のために、一定マージンを確保してネットワークの配線を行う必要がある。マージンが十分でない場合、途中でデータ破棄などが起こる可能性がある。

ネットワークカメラの電源には、監視カメラと同じ100VやDC12V、AC24Vを直接供給するものがあるが、近年ではほとんどのカメラがスイッチングハブからネットワークケー

ブル上に電源を重畳する IEEE 802.3 af で標準化された PoE (Power over Ethernet)¹⁾ に対応している。

(3) ネットワークカメラ向けの機能・性能

ネットワークカメラ特有の主な技術についてまとめる。

(a) 画像圧縮

デジタル映像信号を伝送するために画像圧縮技術が使用される。専用ソフトがなくてもパソコンに表示できる JPEG は汎用性が高く、現在でも静止画の圧縮として使用されている。動画では、当初は JPEG を連続化した Motion-JPEG が多かったが、データ伝送帯域や記録装置容量を削減するためにより圧縮率が高い MPEG-4 や MPEG-4AVC / H.264 へ移行している。

(b) ネットワークプロトコル

ネットワークカメラは様々な機能を IP 上のプロトコルで実現するために IETF (Internet Engineering Task Force) の RFC (Request for Comments) を利用しており、各種プロトコルのサーバまたはクライアント機能が搭載されている。例えば、パソコンと同じように LAN への接続時の自動的に IP アドレスを割り当てる DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) やホスト名のアドレスを解決する DNS (Domain Name System)、ブラウザへ表示情報を送る HTTP (Hypertext Transfer Protocol) などがある。動画映像や制御信号を送受信するためには RTP (Real-time Transport Protocol)、RTSP (Real Time Streaming Protocol) や RTCP (Real-time Transport Control Protocol) などが使用されている。様々なセキュリティが施されているネットワーク環境でも HTTP 用にはポートが開放されているから、HTTP 上に前述のプロトコルを載せてトンネルの役割をさせる over HTTP という手法を使うこともある。

アラーム情報を伝送するためには、SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) でメールに画像を添付して送信したり、FTP (File Transfer Protocol) で画像をサーバに転送したりする。近年では XML (Extensible Markup Language) を使ってメタデータを伝送することも増えている。

(c) 画像認識

監視カメラも含めたセキュリティ用途では、より高度な安心・安全を実現するために、膨大なカメラ台数の映像を自動的に解析する画像認識機能の充実が望まれている。近年は画像認識技術の向上により、被写体の中から動き物体の検出・追尾、置き去り・持ち去り物体の検出、出入口での人数カウント、顔検出などが実現されている。画像認識機能は用途や設置場所により求められる機能や性能が異なることや、カメラ側に搭載できる画像処理能力の限界のため、現時点ではカメラ側での搭載は動き検出など一部の機能であり、その他の機能は独立した機器やサーバ側で搭載されることが多い。

(d) 高画素化

ネットワークカメラは、アナログ伝送方式の監視カメラのようにテレビジョン方式の制約がなく、解像度を向上させるために高画素化が可能である。高画素化により撮像素子の 1 画素当たりの受光面積が小さくなって低照度性能が低下したり、画素を読み出す周波数を高めないと動画性が損なわれたりするため、CMOS イメージセンサの性能向上に合わせて進化している。現在の主流は約 120 万画素のメガピクセルが中心で、約 200 万から 300 万画素も増加している。

(4) ネットワークカメラの改善が望まれる事項

ネットワークカメラはまだ発展途上であり、さらなる普及に向けて改善が望まれる事項をまとめる。

(a) 伝送遅延

ネットワークカメラでは、撮像から表示まで画像圧縮、伝送、画像伸長などにより遅延が数 100 ms 発生する。特に回転台一体型のネットワークカメラを手動操作する場合には、この遅延が操作性を大幅に低下させる。そのため、操作性が重要な一部の用途での使用は限定的となっている。

(b) 画像認識性能

現状の画像認識機能は設置環境ごとに設定の調整が必要であり、また検出漏れや誤検出を防ぐことができないため、現時点ではこれらを許容できる用途に限定される場合が多い。

(c) 高画素化による小絞り回折現象

撮像素子の高画素化により 1 画素当たりの受光面積が小さくなり、レンズの絞りによる回折現象が顕著に現れる。小絞り回折現象により MTF (Modulation Transfer Function) が低下しコントラストが低い浮いた映像となる。小絞り回折現象を回避するためには絞りを一定以上絞らないようにシャッター速度などで光量を制御する必要がある。

(5) インタフェース標準化

アナログ伝送方式の監視カメラでは NTSC というテレビジョン方式に準拠することによりメーカー間で事実上の相互接続性が確保されていた。しかしながらネットワークカメラでは、同じ画像圧縮方式や同じようなプロトコルをベースにしながらもメーカーごとにコマンドが違うなど、詳細仕様が異なっているために相互接続できない。これを解決するために国際的な標準化が行われている。

標準化フォーラムとして ONVIF (Open Network Video Interface Forum) と PSIA (Physical Security Interoperability Alliance) という二つの団体がある。ONVIF は日欧のメーカー 3 社 (Axis Communications, Bosch Security Systems, ソニー) が中心に、PSIA は米国のメーカーが中心に、ともに 2008 年に設立された。現時点では参加メーカーや対応機器数では ONVIF が優勢である。

国際規格では、2010 年に IEC/TC79 Alarm and electronic security systems で新規提案が承認され規格化が開始された。

■参考文献

- 1) 社会システム事業委員会, “JEITA TTR-4601B CCTV 機器用語,” 電子情報技術産業協会, 2008.

2-7-3 車載カメラ

(執筆者: 増田 悟) [2010 年 12 月 受領]

車載カメラの代表的なものは、後方の死角 (バンパー直下～数 m 以遠) をカメラで撮影し運転者がモニタ (NAVI 画面など) で後方の安全を確認補助できるものである (後方死角確認用カメラ, 以下リアビューカメラ)。従来は、バスなどの大型車両に搭載されていたが、乗用車系にも 1996 年から搭載され始めた。現在は後方の死角確認用途ばかりではなく、車両側

方、前方など死角確認用途にもカメラが採用されている。また、車両前方の白線、障害物などの認識や車室内の状況、運転者の状態認識など車の安全性を高める用途で、カメラ（以下センシングカメラ）をセンサとして使用するシステムが広がっている。

(1) リアビューカメラについて

乗用車系に車載カメラが搭載された当初は、バスなどに搭載されていたリアビューカメラと同じように防水構造、レンズ表面のキズ付防止のためレンズの前に平面ガラスを置いた構造であった。この構造の欠点は画角の上限がこの平面ガラスの大きさで決定されてしまう。実際この構造を用いたカメラの水平画角は、全体の大きさの制約から約 110° が限界であった。より広角（水平画角約 130° 以上）にするため、レンズの第一面を構造上直に外に出す構造にすることにより、体格の小型化とレンズの広角化の両立が図られた。リアビューカメラ外観図の例を図 2・84 に、概要を表 2・5 に示す。

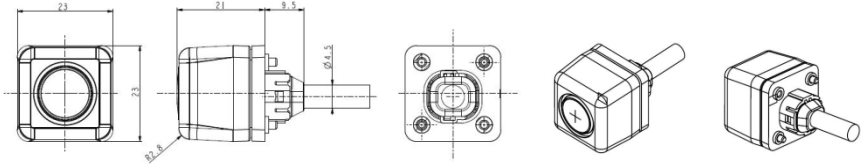


図 2・84 リアビューカメラの外観図の例

表 2・5 リアビューカメラの概要

撮像素子	カラー-CMOS 1/4 インチ型 画素数 30 万画素以上
レンズ	水平画角 130° 以上／耐キズ性、硬度 9H 以上／撥水コート有り
信号出力	NTSC
感 度	最低照度 1.5 lx 以下／最高照度 10 万 lx
SN 比	46 db 以上 (AGC オフ)
形 状	23 mm (W) × 23 mm (H) × 21 mm (D) コネクタ部除く
耐環境性	防水構造 IPX 7 以上／耐衝撃／耐振動／耐光性／耐薬品性／耐候性 など
信頼性	耐ノイズ対策 (EMC) ／過電圧破壊試験／ショート試験 など

注意： 耐環境条件と信頼性試験条件は、車両要件およびカメラ搭載場所により異なる。

(a) 車載カメラ映像の表示機

車載の場合、ほとんど 10 インチ以下の液晶モニターである。車両の液晶モニターは、車載カメラの映像ばかりではなく、ナビゲーションの CG 表示などグラフィック映像の表示と兼用のものが多い。したがって、カメラ映像をこのモニターの特性に合わせて、像信号特性 (γ , 信号レベル, アパーチャなど) について最適化する。または、モニター特性をグラフィック映像とカメラ映像 (NTSC など) で切り替える必要がある。

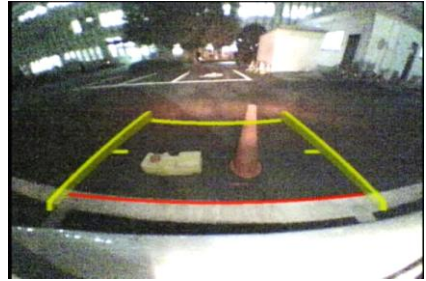
(b) 車両の軌跡予想線の重畳

リアビューカメラの映像に車両の軌跡予想線を重畳して運転者に車両の行動の予測を容易

にさせる (図 2・85)。最近では、カメラ本体にこの軌跡予想線を発生、重畳する機能が搭載されている。軌跡予想線の精度は、車両とカメラ搭載の傾き、すなわち光軸の傾きに依存する。カメラの光軸の調整は取り付けの傾きと合わせて $\pm 2^\circ$ 以上の精度が必要である。



(a) 標準照度



(b) 低照度 1.5lx

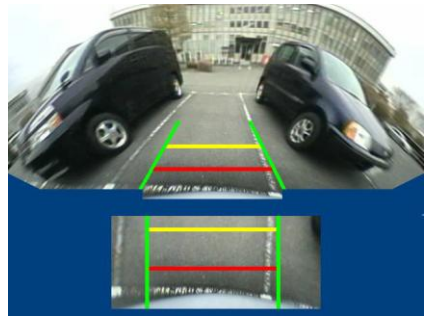
図 2・85 画像撮像例

(c) 超広角リアビューカメラ

車両の周囲の死角をより少なくするため、水平画角を 180° 以上 (魚眼レンズ) 採用したリアビューカメラも登場している。このリアビューの特長は後側方の真横が視認可能になる。しかし、 180° の画像のままだと歪が大きく視認性に欠ける。視認性を改善した画像変換 (歪補正+視点変換) を内蔵したリアビューカメラの画像例 (図 2・86) を紹介する。



(a) 現画像



(b) 変換画像例

図 2・86 魚眼カメラ撮像例

(d) レンズの仕様と撮像範囲の関係

リアビューカメラの光軸 (中心軸) と画角 (水平, 垂直, 対角) により撮像範囲が決まる。

- ・車両後側方の視野角 (後側方何 m まで撮像するか)
- ・車両後方の視野角 (後方何 m まで撮像するか)
- ・車両周辺及び車両自体の写り込み (歪率と関連)

により、これらの仕様を決定する (図 2・87)。

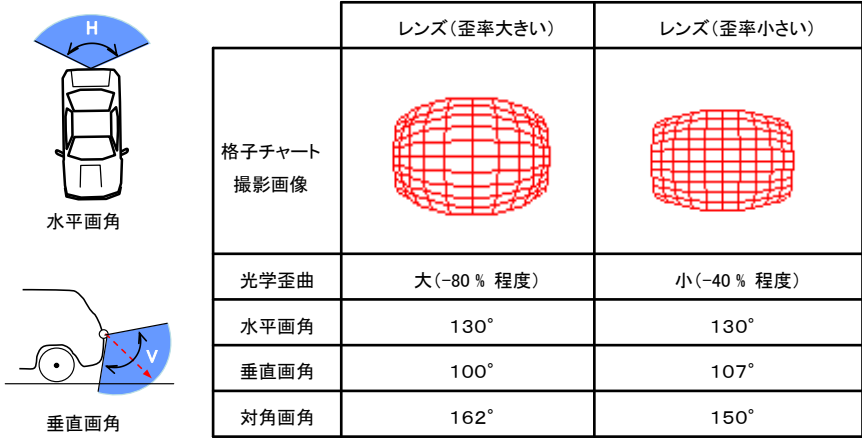
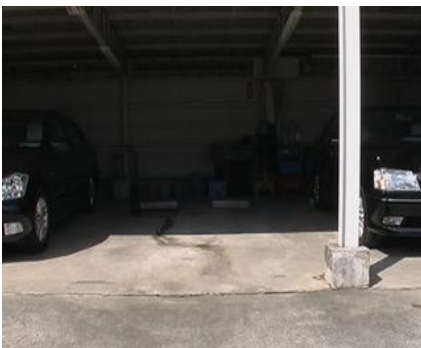


図 2・87 レンズの仕様と撮像範囲

(2) 車載カメラの今後の展開

周辺監視カメラは、現在、リアビューカメラが数量的に最も多いが、今後、センシングカメラ、側方の死角補助用カメラ、更にはドアミラーの置き換えで、カメラの採用が増加すると考える。センシングカメラ用途では、車両検出、白線検知、標識認識、物体検出、歩行者検出がある。ドアミラーの置き換え用途では、現状のリアビューの性能をよりレベルアップする必要がある。特に、夜間の認識性能の向上(感度向上)、1画面内の明暗を識別する性能(ダイナミックレンジの拡大)が特に求められるものである。

図 2・88 にダイナミックレンジ拡大処理有無の撮像例を示す。今後、撮像素子の性能向上とカメラ信号処理技術の向上で、ドアミラーに置き換わるカメラが開発、商品化されていくものとする。



(a) ダイナミックレンジ拡大処理なし



(b) ダイナミックレンジ拡大処理の例

図 2・88 ダイナミックレンジ拡大処理有無の撮像例

2-7-4 FA カメラ

(執筆者：谷彦 章) [2011年1月 受領]

FA とは、ファクトリオートメーション (Factory Automation) の略称で、工場における生産工程の自動化を図るシステムのことをいう。従来は、人間によって行われていた作業を産業用ロボットや画像検査装置などを多用して機械化を図り、作業ミスの低減による品質向上や作業効率改善、人間に対する安全性向上を目的としている。近年では、品質に対する社会的要求の高まりから工場自動化の枠を超えて、果物や肉類などの食品仕分けや商品流通過程のトレーサビリティ管理といった我々の生活に密着した用途にまで応用範囲が広がっている。

図 2・89 に FA カメラの応用例を示す。

■外観検査システムの一例

■液晶パネル検査システムの一例

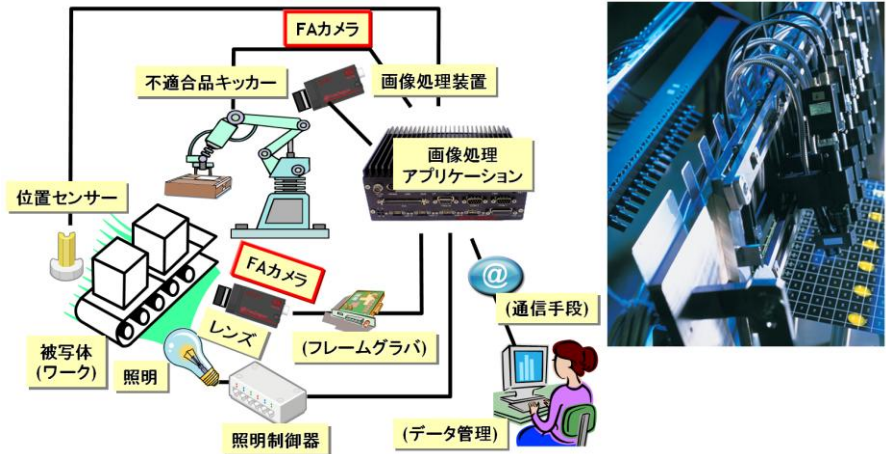


図 2・89 FA カメラの応用例

古くからビデオカメラは、テレビジョン放送用カメラを礎に人間の目に見える情報を忠実に捉えることを目的として、改良を重ねてきた。一方で、FA カメラは、産業用ロボットや画像検査装置に人間の目に代わり機械の目として搭載され、海外ではマシンビジョンカメラとも呼ばれている。最大の特徴は、一般的なビデオカメラは「人間の目」を基準としているのに対して、FA カメラは画像のデータ処理を前提とした「機械の目」としての要求を満足させる必要がある。FA カメラは、幅広い産業で、ありとあらゆる用途に応用されていて、たくさんの種類と仕様が存在する。

表 2・6 に主な FA カメラの種類と特徴を示す。なお、実際のカメラでは、二次元の可視光カメラというように複数の分類項目が組み合わされた仕様となる。

表2・6 主なFAカメラの種類

分類項目	カメラの種類	特徴と主な用途
撮像方式	一次元カメラ	2000画素から10000画素程度を線状に1本から数本配置したもので、ラインカメラと呼ばれる。高速性が特徴で、1秒間に数万本から10万本を超える一次元データが得られる。二次元画像を生成するためには、対象物の移動量をカメラに伝える必要がある。垂直方向の視野が無限にとれる特徴から、主に印刷物やフィルムなどのシート状や帯状物体の高速検査に用いられる。
	二次元カメラ	一般的なビデオカメラと同様に、画素を縦と横に配置したもので、応用範囲が最も広い。
	三次元カメラ	一般的な3Dカメラと同様に、2個の二次元イメージセンサを使用する方式と、1個の二次元イメージセンサで順次光学的な合焦位置を変化させる方式がある。自動車車体の非接触検査や、液晶パネルを構成する構造体の高さ及び奥行の測定などに用いられる。
被撮像光	可視光カメラ	一般的なビデオカメラと同様に、人間が見える400nmから800nmの光に感度をもつカメラで、人間の目の代わりとして応用範囲も広い。可視光カメラには、輝度情報だけを扱う白黒カメラと、輝度情報と光の波長に応じた色情報を扱うカラーカメラがある。更に、カラーカメラの色分解方式には、一つのセンサに原色や補色のカラーフィルタを内蔵した単板方式と、プリズムなどの色分解光学系と複数のセンサを用いる多板方式がある。特定用途向けでは、カメラに照明をビルトインしたタイプもある。
	赤外光カメラ	特殊なイメージセンサを用いて、780nmより長い光に感度をもったカメラ。非接触で物体の温度分布を画像化して測定するサーマルカメラや、赤外光源と組み合わせる薄い物体の表裏同時検査に用いられる。
	紫外光カメラ	特殊なイメージセンサを用いて380nmより短い光に感度をもったカメラ。波長の短い紫外線の特性を活かして、主に半導体ステップやガラスなどの透明な物体の表面傷検査に用いられる。
	X線カメラ	特殊なイメージセンサを用いて直接X線を撮像するタイプと、X線を可視光に変換するシンチレータ板を撮像するタイプがある。主に、各種素材の欠陥検査や半導体などの非破壊検査に用いられる。
イメージセンサ	CCDカメラ	長年にわたり改良され続けており、高感度、低空間ノイズが特徴。CCDの構造上、全画素同時露光のグローバルシャッタで移動物体の撮像においても画像の幾何学的歪が少ない。このメリットからFAカメラのほとんどに採用されている。データレートは、60MHz程度が限界。

分類項目	カメラの種類	特徴と主な用途
イメージセンサ	C-MOS カメラ	高速、低消費電力が特徴で、高速タイプの FA カメラを中心に採用が増えている。データレートは、12 G ビット/秒を超えるカメラも存在する。C-MOS センサは、CCD センサと異なり電荷転送レジスタをもたないため、通常は画素の露光ごとに順次読み出すフォーカルプレーンシャッタ（ローリングシャッタとも呼ばれる）方式が多く、移動物体を撮像すると画像に幾何学的歪が生じる。最近では、CCD と同様なグローバルシャッタ方式もある。主に、高速自動部品実装機や自動車衝突画像解析装置などに用いられる。
	その他、特殊センサ採用カメラ	放射線環境下で使用される産業用ロボットなどでは、耐放射線撮像管や特殊な C-MOS センサを用いる。
イメージサイズ	各種カメラ共通	センサの画像を捉える光学的サイズで、画面の対角線の長さで表示される。1 mm から 50 mm 程度までいろいろなサイズが存在する。C マウントが主流の FA カメラでは、1 型 (16 mm)、2/3 型、1/2 型、1/3 型、1/4 型が多く使われている。
画素サイズ	各種カメラ共通	センサを構成する一つの画素の大きさを、光を感じるフォトダイオードと周辺の構造物を含めたユニットセルサイズで表示される。2 マイクロメートルから 14 マイクロメートル程度までのいろいろなサイズが存在する。一般的には、画素サイズが大きいかほど感度と飽和光量が高く取れ、光ショットノイズが減る。
画素数	各種カメラ共通	アナログインタフェースカメラに多い従来のテレビフォーマットとデジタルインタフェースカメラで使われる非テレビフォーマットに大別される。非テレビフォーマットでは、VGA から 50 M 画素程度で用途に応じて選択される。
フレームレート (毎秒撮像コマ数)	各種カメラ共通	アナログインタフェースカメラに多い従来のテレビフォーマットでは、規格により 50 または 60 フィールド/秒のインタラースとなる。非テレビフォーマットでは、数フレーム/秒から数千フレーム/秒のいろいろな速度があり、用途に応じて選択される。一般的に、画素数が増えると速度は低下する。
データレート	CCD カメラ	センサ読み出しクロック 60 MHz 程度が限界。8 ビット量子化では、500 M ビット/秒程度。
	C-MOS カメラ	12 G ビット/秒を超えるものもある。
電子シャッタ	フレーム同期型	カメラ自身の読み出しタイミングに同期して露光動作。
	フレーム非同期型	カメラの読み出しタイミングにかかわらず、被写体の動作タイミングに合わせて露光する方式。カメラの動作待ち時間の短縮が目的。ランダムトリガシャッタなどと呼ばれる。
レンズシステム	レンズ一体型	レンズ交換型と異なり、バックフォーカスなどの規格にとらわれずに光学的設計自由度が高く、小型化も容易。ボードカメラなどの特定用途向けに多く採用される。
	レンズ交換型	FA カメラの多くが C マウントを採用するが、イメージサイズが 16 mm を超える大判センサでは一眼レフカメラ用のバヨネットマウントや FA カメラに特化した TFL-2 マウントなどが用いられる。用途に応じて最適なレンズを選択することが可能。
出カインタフェース	アナログ	従来のテレビフォーマットが多いが、VGA から XGA 程度の非テレビフォーマットもある。

分類項目	カメラの種類	特徴と主な用途
出カインタフェース	デジタル	カメラリンクなどの FA 用途に特化されたものと、USB などのコンピュータ系インタフェースに大別される。たくさん種類が存在し、用途により選択される。
外部機器からの制御	各種カメラ共通	取込みトリガやカラーバランスなどのカメラがもつ各種機能を受け側の画像処理装置から制御する。RS-232C などの制御専用ポートをもつタイプと画像の出カインタフェース経由で制御するタイプがある。
筐体構造	一体型	一般的なビデオカメラと同様に、一つの筐体で構成されるタイプ。最も小型ものでは20ミリ立方程度。
	カメラヘッド分離型	ロボットの指先や細径パイプなどの限られたスペースに組み込むために、イメージセンサが搭載されるカメラヘッド部とカメラ制御器に分離したタイプ。

(1) カメラで何を (どんな光) 見るか

(a) 光の波長と特性

光は電磁波の一種であり、波長とその特性を知っておくことは FA カメラを応用するときの条件になる。表 2・7 のとおり、人間が認識できる色 (可視光) は、およそ 400 nm から 800 nm の波長で、380 nm より波長が短い光が紫外線 (UV)、780 nm より波長が長い光が赤外線 (IR) である。

表 2・7 光の波長と対応カメラ (1 nm は 100 万分の 1 mm)

光の波長と対応カメラ									
波長 (nm)	10~380	380~430	430~460	460~500	500~570	570~590	590~610	610~780	780~
色彩	紫外線	紫	青	青緑	緑	黄	オレンジ	赤	赤外線
対応カメラ	UV カメラ	可視光 (通常) カメラ							IR カメラ

可視光は、その名のとおり人間の目に見える光で、被写体の反射率変化を明るさの変化として捉えるだけでなく、波長の変化を色の変化として捉えることができる。紫外線は、波長が短いために微細な隙間を通過可能なうえに、被写体の表層部で反射して表面の細かい凹凸を捉えるのに適している。一方、赤外線は波長が長いために被写体の深層部にまで届き内部構造を捉えることができる。

(b) 可視光カメラ

一般的に、通常の FA カメラは約 400 nm から 800 nm の波長に感度をもっており、人間の目で見えるほとんどの物を捉えることができる。最大の特徴は、人間が見て判断できる用途の大半にカメラを利用することが可能であり、用途の幅も広く使いやすい。自動加工機や自動部品実装機などの用途では、形状認識や寸法測定が主体であり、明るさ情報だけを利用した白黒カメラが処理速度も速く主流となっている。また、印刷物の検査や外観検査装置ではカラーカメラが主流となっている。

一方、目に見えない光を利用したカメラとしては、後述の UV カメラと IR カメラがそれぞれ

れの特徴を活かして利用されている。

(c) UV カメラ

現在の UV カメラは、150 nm から 280 nm 程度の紫外線に対応した製品が多い。用途は、波長の短い紫外線の特徴を活かして、微細半導体版下の UV 露光装置やガラス板表面の微細キズ検査などに利用されている。

(d) IR カメラ

IR カメラは、900 nm から 1500 nm 程度の赤外線に対応した製品が多い。用途は、被写体の深層部にまで届く赤外線の特徴を活かして、半導体ウェハの検査装置や物体の温度により放出される固有の赤外線を利用して画像化するサーマルカメラなどがある。

(2) カメラでどれくらいの情報量を捉えるか

カメラを選択する場合の重要な要素として、画像の空間的緻密さを決める画素数と、時間分解能を決めるフレームレート (1 秒間の撮像コマ数)、及び明るさの分解能を決める量子化ビット数がある。カメラの情報量は、データレートといわれ、1 秒間当たりのデジタルデータ量で表され、画素数とフレームレート及び量子化ビット数の積となる。例えば、VGA (640 画素*480 画素)、フレームレート 60 Hz、8 ビット量子化カメラの情報量は、それぞれの積である 147.5 M ビット/秒となる。

(a) 被写体の空間的緻密さを決める画素数

カメラの画素数は、見たい被写体の視野をどれくらいの分解能で捉える必要があるかで決定される。逆に言えば、要求分解能が同じであればカメラの画素数が高くなるほど同時に広い視野を捉えることが可能になる。これは、面積の大きな被写体を捉える場合、カメラの画素数が高くなるほど視野が広くとれて、カメラや被写体を移動させる回数が少なくて済み、取り込み効率がアップする。

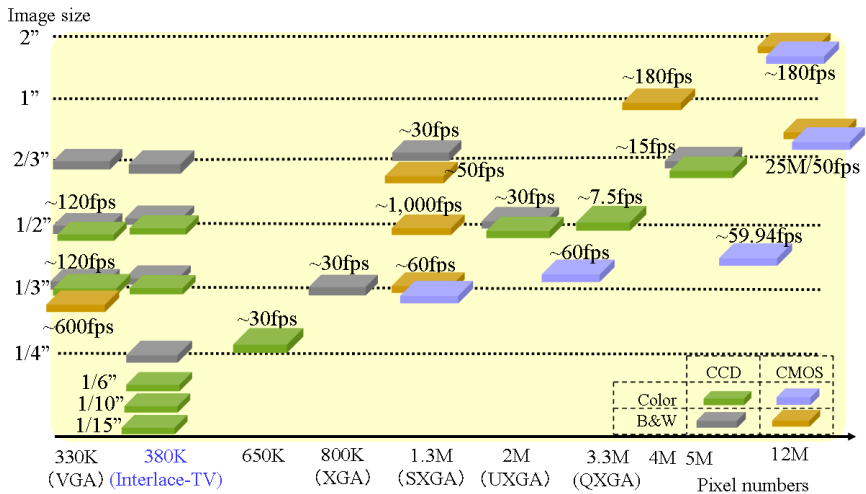


図 2・90 FA カメラ用イメージセンサのトレンド

ここで重要なポイントは、カメラと光学系を含めたトータルの分解能 (Modulation Transfer Function, 以降 MTF と表記) がきちんと得られなければ、いくら高画素のカメラを利用しても意味がないということである。一般的に光学系の理論分解能は、光の干渉によるエアリーディスクにより焦点距離と口径比によりほぼ決まってしまう。一方、民生用イメージセンサは、高画素化、高感度化とイメージサイズの小型化がトレンドとなっており、2 ミクロン以下に迫る画素サイズに到達している。FA カメラは被写体を接写する機会が多いが、FA カメラのレンズマウントに多く採用されている C マウントは、レンズ後面のフランジバックが 17.526 mm もあり、特別な光学系設計が必要になる。おおむね、イメージセンサの画素サイズが 3 ミクロンを下回ってくると画像の中心と周辺で MTF の落差が大きくなり、特別に設計した光学系が要求される場合がしばしばある。

図 2・90 に、FA カメラで使用しているイメージセンサのトレンドを示す。前述の光学的分解能を確保するために、小さなイメージサイズのセンサはあまり用いられない。

(b) カメラの時間分解能を決めるフレームレート

FA カメラは、生産性向上を目的としている。すなわち、短い時間でより多くの画像を捉える必要がある。カメラの時間分解能は、単位時間当たりの読み出しコマ数で決まり、フレームレートといわれている。

カメラの情報量は、使用しているイメージセンサの読み出しクロックで決定される。現在のイメージセンサは、読み出しクロック上限が CCD イメージセンサでは 60 MHz 内外で、デジタル出力の C-MOS イメージセンサでは 15 G ビット/秒を越えるものもある。雑駁に言えば、カメラのフレームレートはイメージセンサの読み出しクロックを画素数で割ったものになる。

したがって、読み出しクロック 20 MHz の CCD イメージセンサを例にあげると、約 33 万画素の VGA の場合は約 60 コマ/秒のフレームレートが得られるが、約 130 万画素の SXGA の場合は約 15 コマ/秒にまでフレームレートが低下してしまう。

FA カメラでは、限られたフレームレートで更に高速に画像を取り込むために、表 2・8 に示すような高速化技術を駆使している。

表 2・8 CCD カメラの高速化技術

対応技術	カメラの機能
○カメラによる待ち時間の削減 画像要求トリガによる出画要求に対して、カメラ自身のタイミングにかかわらず一刻も速く画像を出力する。	○リスタートリセット (カメラリセット通常読み出し) ○ランダムトリガシャッタ (蓄積後即読み出し) ○オーバーラッピングシャッタ (蓄積中破棄再蓄積)
○不必要データの削減 1 画面内で、画像処理に不要な部分を読み飛ばしてフレームレートを上げる。	垂直方向に限定した不要部分読み飛ばし。
○センサ自身の高速駆動 CCD イメージセンサ自身をオーバクロックで駆動して、本質のフレームレートを上げる。	VGA を例にあげると、VGA は従来のテレビフォーマットの 30 コマ/秒を基準として、2 倍速、3 倍速、4 倍速、7 倍速カメラがある。

(3) カメラで得た情報をいかに伝えるか

カメラで得た情報を、いかにして画像処理装置に伝達するかがカメラインタフェースである。特に最近、カメラの高画素化、高フレームレート化にともない、カメラインタフェースの良し悪しがシステム全体のパフォーマンスや発展性を決定づける重要要因となっている。

(a) アナログインタフェース

アナログインタフェースのメリットは、何と言っても長い歴史に裏打ちされた実績である。基本的には、JEITA (社団法人 電子情報技術産業協会) で標準化されている 12 ピン複合ケーブル 1 本であらゆる装置との接続が可能で、応用範囲も広い。更に、テレビフォーマットの一体形白黒カメラは価格メリットも大きい。特に、たくさんのカメラを搭載するシステムでは、この価格メリットからデジタルインタフェースのメリットを評価していても移行を躊躇している場合が多い。

一方、アナログインタフェースのデメリットとしては、第一に、カメラと映像キャプチャボードとの間で生じやすい時間軸が揺らぐジッタである。特に高画素カメラになると、ジッタが原因で安定に画像が捉えられない場合が時々見受けられる。第二に、カメラケーブルの引き回しに伴う映像劣化があげられる。特に、小型で内部が複雑な産業用ロボットシステムでは、モータなどのパワー系のノイズがカメラケーブルに混入してジッタが発生する場合や、画像にノイズが乗る場合が見受けられる。

第三に、カメラから離れた場所で映像をデジタル化するためにカメラの画素と取込みメモリの位置関係が時間で変化する場合や、映像信号自身がなまってしまう分解能を損ねる場合がある。この問題は、特に被写体の位置精度が厳しいシステムでは問題になってくる場合がある。要するに、アナログインタフェースは、名のとおり曖昧な部分が多いのがウィークポイントとなっている。

<p>Analog</p> <ul style="list-style-type: none"> ●歴史も長い上に最も応用範囲が広くローコスト ●取込み要求に対するデータ同時性を保証 ●キャプチャボード必須でジッタ等、画像劣化の懸念 ●接続はJEITA標準化ケーブル1本の手軽さ ●画像処理装置側にカメラ定義ファイル必要 	<p>Camera Link</p> <ul style="list-style-type: none"> ●Channel Link技術をベースにカメラ用に仕様を標準化 ●960Mbps(40MHz)~5.44Gbps(85MHz)の広い帯域幅 ●接続は1対1でネットワーク対応不可 ●取込み要求に対するデータ同時性保証 ●画像処理装置側にカメラ定義ファイル必要
<p>EIA-644(RS-644)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●LVDS/パラレルバスでノンテリジェント ●コネクタ等の物理的仕様は規定されず各社各様 ●接続は1対1でネットワーク対応不可 ●取込み要求に対するデータ同時性を保証 ●画像処理装置側にカメラ定義ファイル必要 	<p>USB(USB3.0)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●PC系標準I/Fで最高非同期5Gbps同期3Gbpsの速度 ●インテリジェント機能により、使い易い ●バス給電により接続はケーブル1本の手軽さ ●カメラ用標準プロトコルがなく各社各様 ●コネクタが貧弱で、振動の掛かるFA用途には不向き
<p>IEEE1394(IIDC)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●映像等のデータストリーム転送に特化した高速バス ●同期方式のIsochronous転送をサポートし同時性保証 ●3.2Gbpsまでの高速仕様、1.6Gbpsまで商品化済 ●IIDCで標準化された統一プロトコルで専用アプリ不要 ●Plug & Playなどインテリジェント機能により使い易い ●バス給電により接続はケーブル1本の手軽さ ●複数カメラシステムのネットワーク化も簡単 	<p>Gigabit Ethernet(GigE Vision)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●LAN用途としては成熟域にありインフラが豊富 ●Plug & Playなどインテリジェント機能で使い易い ●連続動画QoS対応技術が鍵、帯域保障は無い ●取込み要求に対するデータ同時性は未保証 ●画像処理側でIPヘッダなどの翻訳負荷が大きい ●GigE Visionが標準プロトコルとして浸透しつつある ●非圧縮カメラの現実としては1対1の接続が多い
<p>CoaXPress</p> <ul style="list-style-type: none"> ●同軸線1本で最高6.25Gbpsの高速デジタル伝送 ●同軸線1本に13Wまでのカメラ電源重畳に対応 ●6.25GbpsのFullモードで30m以上の伝送距離 ●固定遅れ3.4usの高精度リアルタイムトリガ機能 	

図 2・91 FA カメラ用インタフェースの種類と特徴

(b) デジタルインタフェース

デジタルインタフェースのメリットは、何と言っても画像処理装置との親和性とネットワークなどへのシステム発展性である。一方、デメリットとしては、多種多様な規格のインタフェースが林立していて、それぞれメリットとデメリットが異なり、ユーザを悩ませている。図 2・91 に各種カメラ用インタフェースの種類と特徴をまとめてみた。

(4) FA カメラの新しい仕様表記手法

本項の冒頭に記したが、古くからビデオカメラは、人間の目に見える情報を忠実に捉えることを目的として発展してきた。現在、FA カメラの各種仕様の表記方法は、1997年に当時の通産省が(社)日本電気制御機器工業会からの依頼を受け、(社)日本電子機会工業会(現JEITA)に依頼して、(社)日本電子機会工業会が会員以外も含めたFAカメラメーカを集めて取りまとめた「FAカメラの標準化(WG3)」というガイドラインに沿って規定されている。

表 2・9 WG3 と EMVA 1288 の一部比較

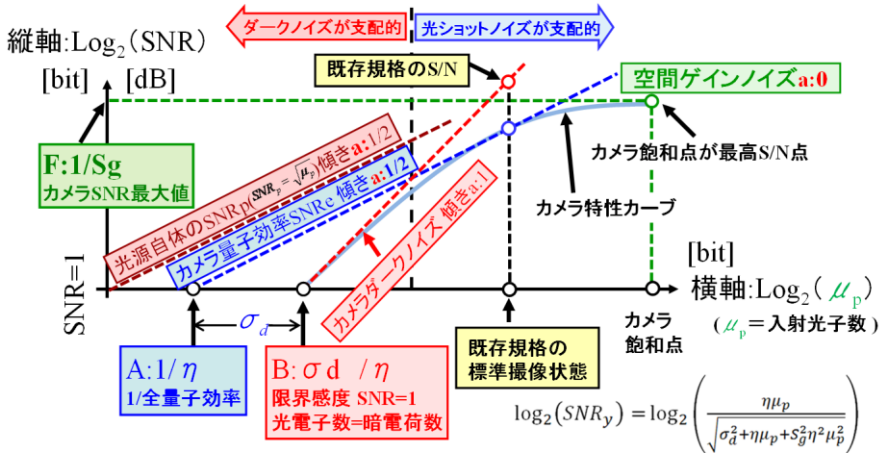
	仕様項目	既存規格 (WG3)	EMVA 1288 規格	EMVA 1288 規格の利点	
ノイズ関連項目	ダークノイズ	ダークノイズ	6種のノイズ	露光時間に依存する暗電流と露光時間に依存しない読み出しノイズ及びオフセットノイズの切り分けを実現	
					暗電流ノイズ
					読み出しノイズ
	光起因ノイズ	測定対象外	オフセットノイズ	最近のセンサ特性向上でダークノイズが低減する一方で、画素の小型化に伴って顕在化している光ショットノイズに対応	
	ノイズの単位 (尺度)	ダークノイズのみの実効値	電子数の電力値 (揺らぎを表現できる分散値)	空間ノイズを含むノイズ評価尺度の統一	
感度関連項目	感度の単位	ルクス (心理物理量)	入射電子数 (物理量)	絶対値評価を実現。LED や非可視光照明にも適応	
	標準感度	白色光での標準被写体照度時の絞り値	ユーザが画像処理に必要な SNR で比較	よりユーザ用途に合った評価を実現	
	最低感度	最低被写体照度 (測定定義なし)	限界感度 (ダークノイズ量で規定) グラフで表示	カメラのアンプゲインを排除して絶対値評価を実現	
グラフ表示	分光特性	相対分光感度	全量子効率絶対値 グラフで表示	LED 照明や非可視光にも適応	
	SNR の評価	標準信号レベル 対 ダークノイズ	SNR ダイアグラム表示	多面的性能評価を実現。ユーザの多様な用例に適応	

このWG3は「人間の目」を基準とした心理物理量に基づいた人間系相対表記である。例えば、FAカメラでしばしば利用される赤外光は、人間には見えないためにWG3に沿った仕様表記ではカメラの感度はゼロとなってしまう矛盾が生じる。

FAカメラは、産業用ロボットや画像検査装置に画像のデータ処理を前提とした「機械の目」として搭載される。照明には、様々な波長のLEDが用いられる場合も多く、人間系に合わせた表記されたカメラ仕様では実際の運用に不都合が多い。

そこで、欧州のマシンビジョン規格標準化団体EMVA (European Machine Vision Association) から「機械の目」として物理的絶対表記を中心とした新しい世界規格EMVA 1288が登場した。表2・9に既存規格であるWG3とEMVA 1288 Mod.1の一部比較を示す。

図2・92にEMVA1288規格の中で特に重要なSNRダイアグラムを示す。グラフの横軸はカメラに入る光の光子数で、縦軸はカメラのSNR (SN比) となっており、いずれもデジタルビット数で2を底とする対数で表す。このSNRダイアグラムを見れば、カメラの撮像性能のほとんどを知ることができる。



信号値 [e-]	$S = \eta\mu_p$	暗ノイズ	光子ショットノイズ	空間ゲインノイズ
ノイズ (標準偏差値)	N	σ_d	$\sqrt{\eta\mu_p}$	$S_g \eta\mu_p$
SNR	S/N	$(\eta\mu_p/\sigma_d)^1$	$(\eta\mu_p)^{1/2}$	$1/S_g$
SNR直線の傾き	a	1	1/2	0
×軸切片=A, B; << Y軸切片=F >>		σ_d/η (点B)	$1/\eta$ (点A)	<< $1/S_g$ (点F) >>
×軸(×軸)切片が示す感度情報		限界感度	量子効率の逆数	<SNR最大値>

μ_p = 入射光子数(平均値)、 η = 量子効率、 σ_d = 暗ノイズ値(標準偏差値)、 S_g = 空間ゲインノイズの利得係数

図2・92 EMVA 1288 規格のSNRダイアグラム

まず、どれだけ暗い被写体に対応できるかを「限界感度」といい、カメラのノイズと同じになる光量ポイントで定義されている。このポイントはSNRが1であり、カメラのゲインをいくら上げても信号と同じ量のノイズが大きくなるだけで信号を得ることはできない。既存

規格では、最低被写体照度に相当するが、測定条件は曖昧である。

次に、感度に関わる項目としては、既存規格では標準感度として標準被写体照度で定格出力が得られるレンズ絞りで定義されているが、EMVA 1288 は全く考え方が異なる。EMVA 1288 では、ユーザが画像処理などの用途に必要な SNR を指定して、SNR ダイアグラムからカメラに必要な光量を参照する方式となっている。更に、このグラフからは、光の揺らぎに起因する光ショットノイズや画素の感度ムラなどに起因する空間ゲインノイズも知ることができる。

EMVA 1288 では、SNR ダイアグラムのほかに全量子効率絶対値と限界感度もグラフ表示になっており、実際に FA カメラを使用する際に役立つ規格をめざしている。

■参考文献

- 1) 名雲文男, “最新のカメラ仕様表示規格 EMVA1288,” 映情学誌, vol.62, no3, pp.307-312, 2008.

2-7-5 内視鏡・硬性鏡

(執筆者：中村 力) [2011年1月 受領]

内視鏡は、人間が直視不可能な狭隘な空間を観察することを目的としており、医療や工業分野で広く利用されている。内視鏡は、挿入部の屈曲自由度が高い軟性鏡と筒状の硬性鏡の2種類が存在するほか、近年では無線で映像を伝送するカプセル内視鏡も出現している。観察像の取得には通常の可視光撮像に加え超音波などを用いる場合もあるが、本項では広範に利用されている光学像観察系を備えた医療用軟性鏡について述べる。

医療用に開発された初期の内視鏡は、小型の銀塩カメラと照明用ランプが先端に組み込まれた構成をとっていた。その後、ガラスファイバやレンズ、ミラーを利用して光学像を人間の視野にリレー結像することでリアルタイムの観察が可能となり、実用化が進展した。一方、1980年代後半からは固体撮像素子技術の急速な進展にともない、小型化した固体撮像素子を内視鏡先端に搭載した電子内視鏡システムの開発が活発化した。電子内視鏡システムは、従来の光学像のリレー結像方式にはない様々なメリットを活かし、その利用範囲を拡大している。

以下、電子内視鏡システムの原理と特徴、並びにその応用上の要求から生ずる特殊性・制約について概説する^{1),2)}。

図 2・93 に代表的な医療用電子内視鏡システム及び内視鏡本体の外観を示す。医療用・工業用ともに電子内視鏡システムの基本構成は、被検体に挿入されるカメラヘッド部を含む内視鏡本体と光源やビデオプロセッサ、カラーモニタなどを含むシステムステーション部に大別される。電子機器としては、通常のビデオ機器と類似の構成であるが、狭隘で暗い被検体が被写体となるため、カメラヘッド部に照明が不可欠であることが構成上の大きな特徴の一つである。

光源は、システムステーション部に設置したランプ光源から光ファイバで導光してカメラヘッド部先端で発光させる方式が主流であるが、近年は挿入部先端に LED を設ける方式など、固体光源の利用も活発に行われている。また、医療用途では、被検体である体内が照明無しでは暗黒であることから、照明光の制御を活用した撮像方式も採用されている。

図 2・94 に電子内視鏡先端部の基本構造を示す。

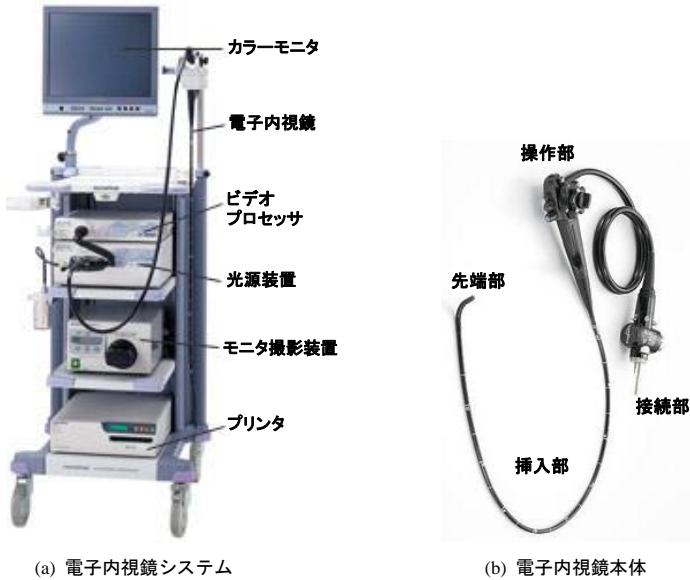


図 2・93 電子内視鏡システム及び電子内視鏡本体外観



図 2・94 電子内視鏡先端部

画像入力機能は、対物レンズによる結像光学系と CCD や CMOS-APS などの固体撮像素子の組合せで実現される。図示される光学系のように、レンズ移動機構を備えた光学拡大観察が可能な機種も存在する。カラー化方式は一般に用いられているオンチップモザイクフィルタを用いた同時式のほかに、人間の体内が暗いことを利用した色面順次方式がある。後者は撮像素子にはフィルタを設けず、照明光源の波長帯域を時間とともに RGB と切り替えることにより、RGB の各信号を面順次で取得し、フレームメモリを備えたビデオプロセッサ内でカラー画像を再構成するものである。色面順次方式はフィルタ方式に比べ精細度が高い画像が得られる特徴がある。余談であるが、色面順次方式は米国の月探査有人宇宙飛行計画 (Apollo) でカラー映像の撮像に採用されたが、こちらはカメラの前で色フィルタを切り替える方式で

ある。

対物レンズの視野角は広範囲を見落としなく観察する必要から通常 $120\sim 170^\circ$ であり、一般のカメラでは超広角レンズの範疇となる。通常の内視鏡では単焦点レンズが採用されているが、図 2・94 のようにレンズ移動により注目箇所の近接拡大が可能な製品も実用化されている。更に、先端部には観察能力を向上させるために洗浄などを目的として送水/送気ノズルが設けられている。また、チャンネルは中空構造であり、組織採取や組織切除・止血などに必要な機材を出し入れできる機構になっている。

既述のとおり、電子内視鏡のシステム構成は基本的に通常のビデオ機器と類似であるが、内視鏡に特有の技術要件も存在する。

第一は、基本機能としての体内への挿入性・体内での操作性を確保するために、先端部の細径化・先端硬質部の短縮が重要となる。このため、通常のカメラ付携帯電話の撮像モジュールでは低背化への要求が高いが、内視鏡ではむしろ細径化に直結するフットプリント極小化へのニーズが高い。

第二は、安全性に関する要件である。電気安全性の確保に加え、内視鏡は体内に挿入されるため、洗浄・消毒・滅菌が確実にできる必要がある。いずれも民生機器の通常使用範囲を大きく超える過酷な環境に暴露されるため、内視鏡の耐久性・信頼性確保には部品・システム両面から実装技術へ取り組むことが重要となる。

第三に、内視鏡観察と併用される手技に用いられる様々なエネルギーとの干渉の課題がある。内視鏡的治療において適用頻度の高い手技として、高周波・レーザーなどによる処置があり、治療用高周波と映像伝送系のカップリングや、撮像素子への大光量入射による画像異常が発生する。これらの弊害を防ぐためには、電気的シールドを中心とした実装技術や、レーザー光の撮像素子面への入射量を低減する工夫が必要となる。

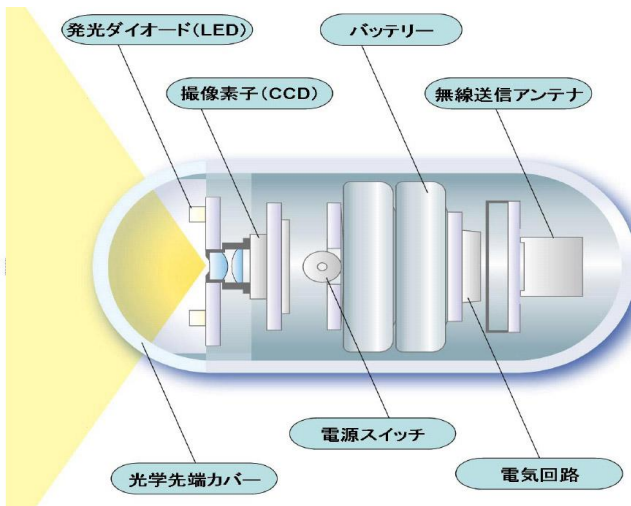


図 2・95 代表的なカプセル内視鏡の構造

上述のとおり，通常のビデオカメラ機器と比較して制約事項の多い電子内視鏡であるが，一方，被写体が照明のない体内に限定されることから，必須となる照明光を能動的に制御することで有用な観察情報取得を可能とする電子内視鏡システムが開発されている．例えば，照明波長の帯域制御を用いた撮像方式として，腫瘍起因の血管新生を狭帯域化された二つの波長の光を用いて特徴づける手法（NBI：Narrow Band Imaging）や，赤外光照明の利用などが医療現場で活用されている．

他方，最近注目を集めている機器として，人体内部の画像を人体外へ無線伝送するカプセル内視鏡がある．まずは，既存の電子内視鏡では到達に困難を伴う小腸疾患への対応モダリティとして適用が開始されている．図2・95に代表的なカプセル内視鏡の構造を示す³⁾．医療支援に必要な情報を得るために，照明用LED・撮像素子・無線ユニットを限られたバッテリー容量下でいかに動作させるかがシステム設計の押さえどころとなる．また，無線を用いるため，人体での無線の吸収や安全性への配慮，利用周波数帯の法規制への適合も必要となる．

■参考文献

- 1) 渡辺 厚，山崎健二，“内視鏡，” Medical Photonics, no.1, pp.34-38, 2010.
2) TECHNOLOGY STATUS EVALUATION REPORT, “High-resolution and high-magnification endoscopes,” GASTROINTESTINAL ENDOSCOPY, vol.69, no.3: Part 1 of 2, pp.399-407, 2009.
3) 笹川義美，“カプセル内視鏡の現状と将来，” 映情学誌, vol.62, no.4, pp.475-478, 2008.

2-7-6 立体カメラ

(執筆：竹内幸一) [2011年4月 受領]

(1) 2 レンズ方式立体カメラ

2 レンズ方式立体カメラは，写真が誕生した 1850 年代からあり，その歴史は長い．100 年前の立体カメラは左右のレンズ間隔（視差）が人間の両目間隔 60 mm，フィルムのサイズも 6×6 版 60 mm×60 mm 2 枚で，レンズの焦点距離も 60 mm という人間の眼と同じ広角撮影であった（図 2・96）．

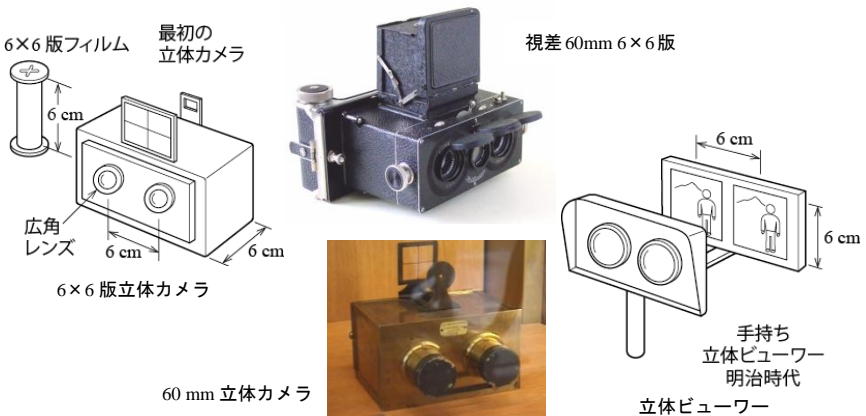


図 2・96

100年前の立体はスーパーエンジニアが開発したので、今でも大画面上映しても理にかなった立体映像である。明治の頃に日本でも立体写真が製作されている。カラー写真はない明治時代だが、白黒写真に手描きで淡く色が塗られていた。当時、立体写真は世界の色々な国で撮影され、生活や風物を伝えるナチュラルリアリティでもあった。

立体カメラを90度回してレンズを上下にしたのが6×6版2眼レフの始まりだった。

第2次大戦後は35mmカラーフィルムになると、立体カメラが海外旅行撮影とともにブームとなった。レンズ間隔60mm、レンズの焦点距離は35mmフィルムに合わせて25mm～35mmの広角撮影であった(図2・97)。スライドプロジェクタも立体上映に活用された。

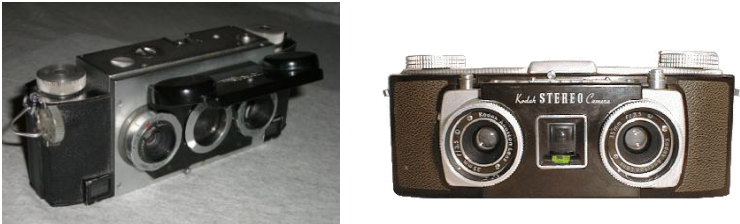


図2・97 視差60mm 35ミリ立体カメラ

日本カメラ博物館が開催した「パノラマ&ステレオカメラ展」の冊子によると、「第2次世界大戦後になるとアメリカを中心に35ミリステレオカメラが作られるようになる。デイビット・ホワイト社の「ステレオ・リアリスト」1947年(昭和22年)がその代表格といつてよい。米国における35ミリカラーフィルムの進歩が流行の大きな支えになっていた」と記載されている¹⁾。

フランスのお城では、スライドビューワ型立体が1980年頃までお土産として売られていた。丸い円盤でスライドが回転するタイプと立体スライドが縦に配列された垂直型タイプがあった。

戦後はカラー映画の出現となり、興行師による立体映画が現れ、奇抜を競って、手や剣が前に飛び出す立体映画となって、いまだに立体は飛び出す立体と誤解されている²⁾。

(2) 1950年代 —第1次立体映画ブーム

1950年代初頭、テレビ放送の開始に対抗すべくワイドスクリーンやドライブインシアターといった新しい映画の方式が登場、その一つとして立体映画の興行が流行する。きっかけは1952年の『ブナの悪魔』の公開による。各国で多数の立体映画が製作されるが、流行の期間は非常に短く1954年には終わった。アナグリフ方式の欠点を解消した偏光フィルタ方式が主流であった。『ブナの悪魔』はナチュラルビジョン社(Natural Vision)の2カメラ・2プロジェクタ方式を用いた長編劇映画で、ポラロイド社の偏光フィルタ方式(別に2カメラ、1映写機方式もある)である。1952年に『肉の蝸人形』ワーナー・ブラザース製作のホラー映画、1953年に『恐怖の街』コロンビア映画製作サスペンス映画、1953年に『タイコンデロガの砦』コロンビア映画製作の立体西部劇(偏光フィルタ)、1953年に『雨に濡れた欲情』コロンビア映画製作の立体映画(偏光フィルタ方式)が製作された。1954年には『ダイヤルMを廻せ』(監督アルフレッド・ヒッチコック)が立体映画として製作されるが、公開時には

ブームが終わっていたため、通常の上映方式（フラット版）で公開された²⁾。

その飛び出す立体映画の時代は左右フィルム映像の同期も不完全なものがあり、パラパラして眼も頭も疲れた。それでブームはなくなったが、立体映像は10年周期で万国博覧会とともにブームになったり消えたりを繰り返していた。

(3) 微小視差立体

1970年当初のテレビカメラは小型の2管式トリニコンカラーTVカメラでも横幅が200mmもあったので、「ハーフミラー合成」を使って左右のレンズ間隔（視差）を0mmから100mmの可変にして立体最適条件を探った（図2・98）。人間の両眼視差と同じ60mmで撮影すると立体感がありすぎて強調立体になった。人や木々が芝居の灯籠や柳の木のようにベニヤ板を前後に並べたように見える「書割（かきわり）現象」、建物や部屋が小さく見える「箱庭効果」、大人の人のサイズが小さく見える「小びと現象」、丸い頭が前後に長く見える「才植（さいづち）頭現象」が発生したり、カメラアングルの変化が多い強調立体映像を10分も見るとクラクラ疲れる立体となった。60mm視差立体の成り立つ条件は、人間の眼と同じ広角レンズ撮影であって被写体までの撮影距離が3~4m以上必要であった。レンズ間隔を10~40mmにせばめた方が近距離撮影もできて自然な立体になった。それを「微小視差立体」と名づけた。

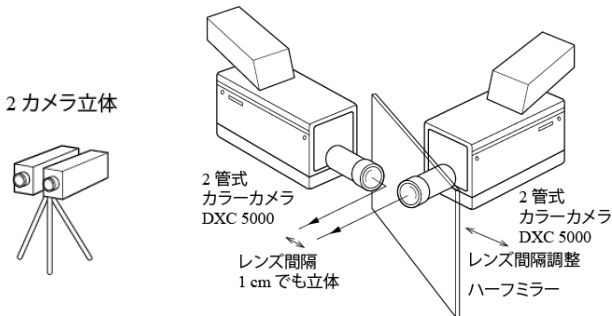


図2・98 ハーフミラー2カメラ合成方法（レンズ間隔0~100mm）

当時、立体モニタは13インチカラーTV2台をハーフミラーで合成して、偏光メガネで立体TVにした。13インチの立体では、お相撲さんがミニチュア立体になってしまう。リアリティにはまざりリアルサイズが必要となった。そこで3管式ビデオプロジェクタを完成させると、横幅2.4mのスクリーンで立体の実験を行うようになった。

2007年に小型のHDカメラが登場し、10倍ズームHDカメラ2台を密接させて見やすい立体が撮影できる視差32ミリの10倍ズーム2カメラ方式微小視差立体カメラを完成させた（図2・99）。2009年S社には試作カメラを提示した。この見やすい微小視差立体の良さは数社に説明し、2009年シーグラフアジアでも紹介した。2011年、視差31ミリで商品発売された。



図2・99 32mm視差の試作3Dカメラ

(4) ハリウッド 3D 映画も微小視差に

2008 年頃からアメリカで立体映画がヒットした。フィルムカメラでの立体撮影に代わって 24 コマでも撮れる HD ビデオカメラ 2 台での 3D デジタル撮影に変わってきた。フィルム時代は左右の画像を 1 本のフィルムに収めるため撮影レンズに工夫がされていて、左右の絵が上下に交互につながり、同じフィルムに記録されるようになっていた。電子カメラ時代になると、撮影現場で 3D 画像確認ができて失敗の少ない撮影と簡便な電子編集となった。ビデオプロジェクトも明るくなって、エレクトリック 3D シネマの実用時代になった。しかし 2 時間もの 3D 映画を見て、訴訟国家アメリカの観客から眼の疲労などクレーム訴訟がつかないように、今までの飛び出す立体シーンから極力視差を狭めて自然な 3D にするように、ハーミラー撮影アダプタ（撮影リグ）を用いて 2 台の HD カメラのレンズ間距離（視差）を数 mm から 60 mm まで調整して撮影している（図 2・100）。



図 2・100 ハーフミラーカメラ合成了り

現在ハリウッドでは、スクリーン上の左右の絵の視差がスクリーンより奥の画像で画面横幅に対して 2%以下 = 視差角 0.7 度以下、手前の画像でも 2%以下 = 視差角 0.7 度以下の範囲で収めている。数ピクセルというわずかな微小視差になってきた。更に解像度が倍になる 4K のカメラ撮影採用にもなっている³⁾。

2009 年、倍速 120 Hz プラズマ 3D テレビや液晶 3D テレビが完成してそれに対応するように、使いやすい一体化された 2 カメラ方式業務用視差 60 mm 3D ビデオカメラが出現した（図 2・101）。デジカメ型では、メガネなしモニタ付の 3D ビデオカメラが視差 77 mm で発売された。最近の画像認識技術を活用して、左右のズームレンズのズーム比のばらつきや映像中心位置のずれを自動調整している。



図 2・101 業務用 60 mm 3D ビデオカメラと 77 mm デジカメ



図 2・102 VHS-C 60 mm 3D カメラ

古くは 1989 年、VHS-C カセットを使った二つの固定焦点カメラを内蔵したフィールドシーケンシャル記録のビデオカメラ (図 2・102) がアメリカで発売されたが、まだノンフリップカ倍速 3D テレビがない頃であった。

(5) 微小視差立体カメラの発売

2010 年後半、通常の HD ビデオカメラのレンズの前に二つの平行レンズを付加するアダプタレンズとして、画面の中に左目画像と右目画像を半々に映し出すサイドバイサイド用のアダプタレンズが販売開始された (図 2・103)。左右のレンズ間隔 12 mm の微小視差立体である。続いて 1 眼式デジタルカメラの交換レンズとして、サイドバイサイドで撮影するレンズ間隔 10 mm の微小視差並列 2 レンズも発売された。ともに、レンズ間隔を狭くすることによって、調整不要で大型テレビ時代の気楽な 3D 撮影を目指した。

古い時代には、近距離用だが立体撮影用交換レンズとしてライカやコンタックスの 35 mm カメラに視差 18 mm の立体交換レンズもあった (図 2・104)。

2011 年前半、一つの筐体にレンズ間距離を 30~40 mm に狭めた 2 台のカメラが入った平行 2 カメラ方式で自然な立体が撮影できる微小視差立体カメラが業務用と家庭用ともに出現した (図 2・105)。

視差 60 mm の立体カメラは、撮影距離や被写体の配置などに条件があるが、微小視差ならズーム比や撮影距離領域が広くなり簡単でしかも見やすい立体になる。



12 mm 3D レンズ



10 mm 3D レンズ



図 2・104 18 mm 3D 交換レンズ

図 2・103 微小視差 3D 交換レンズ



45 mm 業務用



31 mm ハンディ



36 mm ハンディ



28 mm 携帯電話

図 2・105 微小視差 3D カメラ商品化いろいろ

(6) 1 レンズ方式単眼立体カメラ

レンズが一つで、ズームもマクロも全域で立体撮影ができる、ユニークな原理の実用性が高いカメラが1989年に完成した。放送用ベータカムレンズをこの1レンズ立体レンズに交換するだけで、すべての放送用カメラが立体カメラになる特徴がある。

1レンズ立体カメラの原理は、1970年ビデオプロジェクタの開発中に、段ボール箱にプロジェクタの大口径レンズを付けて外の景色をトレーシングペーパーに結像させたとき、立体的に見えたことから、一つのレンズ内でも視差があることを発見して始まった。

1枚のレンズ直径の左端から入った入射光を左眼画像、レンズ直径右端からの光を右眼画像として利用する1レンズ方式立体カメラである(図2・106)。

1カメラ立体

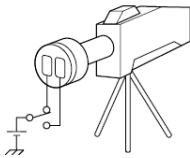
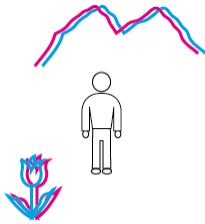
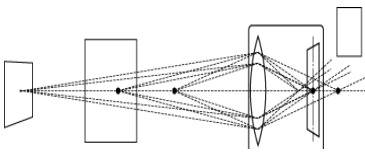


図2・106 1レンズ立体カメラ (12mm 視差相当)



右ボケ左ボケが立体情報



1レンズ方式立体カメラレンズの構造

図2・107 1レンズ方式立体の構造

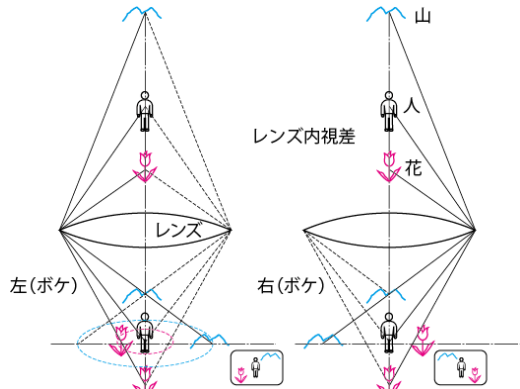


図2・108 1レンズ方式立体の原理

通常、レンズは対象画像の前後はピントがぼけているが、レンズ左端からの入射光のボケとレンズ右端からの入射光のボケでは若干ずれていて左ボケと右ボケになる(図2・107)。その右ボケ・左ボケが立体の視差情報になる。図2・108で、人物にフォーカスが合っているときは手前のチューリップと遠景の山ではその右ボケ・左ボケが左右反対になっていて、丁度立体の視差になっている。しかも左右が合わさっても元々一つのレンズなので、2重像にならないで普通のテレビ画面になる。メガネ無しでも楽しんで、立体メガネをかけると3Dになるという「2D/3D コンパチブル放送」が可能となる(図2・109)。



図 2・109 2重像にならないコンパチブル立体放送

中心被写体のピント面は常にスクリーン表面位置になるので、目の焦点調節や輻輳角度の変化がなく安定していて、眼が疲れない3Dという大特長がある。

完成した3Dレンズは、絞り位置に豚の鼻のような左右2枚の光シャッターで切り替える簡単構造なので、ズーム撮影もマクロ撮影も全域での3D撮影が実現できる。普通の放送用肩載せカメラと同じ手軽さで扱える。カラー放送が白黒テレビでも受信できたように、1レンズ立体なら放送局のカメラレンズだけ替えれば2D/3Dコンパチブル立体放送ができる。2Dテレビでも3D放送が受信できる。スポンサーが今までどおり番組提供してくれて3D番組が豊富になる⁴⁾。

2009年11月、シーテックで発表されたハイレームレート単眼レンズ3Dカメラは、前記1レンズ立体発明の活用である。更に大型の撮影メインズームレンズの後ろに、リレーレンズと左右分離ミラーと二つの結像レンズと、2台の240Hzハイレームレートカメラで構成された構造になっている(図2・110)。240Hzハイレームで動きの速い被写体にも対応する、なめらかな映像の3Dカメラである。

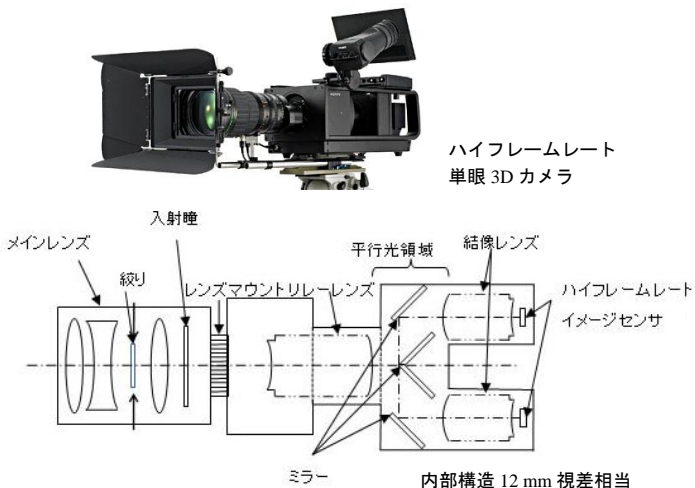
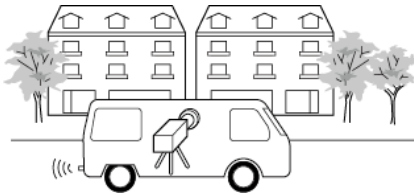


図 2・110 ハイレームレート単眼3Dカメラと単眼式レンズ構造

(7) 横走り立体カメラ

走っているバスや電車の中から外の景色を撮影すると立体撮影ができる。図 2・111 (a) の絵のように、右に走行するバスから撮影した横走りカメラ画像を通常のテレビに映し、左眼だけが黒い片眼サングラスで見ると遠くの景色は奥に、近くの景色は手前に見える自然な奥行きのある立体画像になる (図 2・111 (b))。サングラスで暗くなった眼の方が視覚の感度アップのために見えるまでの反応が遅れるので、その時間分、横走りしているカメラの位置が右眼と左眼で数センチずれて立体になる。サングラス無しなら普通の 2D 画像に見え、片眼サングラスをかけると立体になる 2D/3D コンパチブル立体になる。しかも疲れない立体である。



(a) 横走り立体撮影の原理



(b) 片眼サングラスで見ると立体テレビ



(c) 片眼サングラス

図 2・111 横走り立体撮影方式

片眼サングラスメガネによる遅延の代わりに、右走り画像なら、メモリで 1 フィールド遅延させるとそれが左眼用の画像になり、遅延前の画像が右眼用画像となる。その左右像が 2 カメラ撮影の代用になって立体 3D テレビで楽しめる。

この横走り立体は映画のシーンによっては簡易な撮影になるので、サンフランシスコの 3D 映画スタジオに紹介して喜ばれた。横走り立体は 1983 年ころ、ベトナムムービーでライン川岸の景色を列車から撮影したのが始まりであった。普通のカメラと普通のテレビと 100 円ショップのサングラスを片方外したメガネで誰でもできる 2D/3D コンパチブル立体である。

カメラを一振りすると自然な立体撮影ができる 3D スイングパノラマ方式立体撮影カメラ (図 2・112) は、この横走り方式の応用である。



図 2・112 3D スイングパノラマ付デジカメ

(8) 片眼立体鑑賞方式

片眼立体鑑賞方式は、カメラ1台でも普通のテレビでも立体感実体感が得られる簡単手法である。

片眼で普通の写真やテレビや映画を見ると、立体的、実体的に見えることも発見した。西洋絵画には立体的な名画があるが、これを片眼で見ると不思議と立体感を増して見える。映画やテレビや写真を両眼で見ると平面に見えるが、片眼で見ると両眼視差が効かなくなり、画面までの距離感がなくなり、平面か立体かの区別ができなくなる。その結果、両眼視差以外の10種類以上の立体情報が生きてきて奥行き感が増してくる。裸眼で身の回りを片眼で見ると立体感が減少するが、逆にテレビや写真など平面画面を片眼で見ると2Dの平面画像が3Dまではいかないが、2.5D画像となる。擬似立体のひとつであるが、自然な擬似立体である。立体感、実体感が片眼だと増してくる(図2・113)。

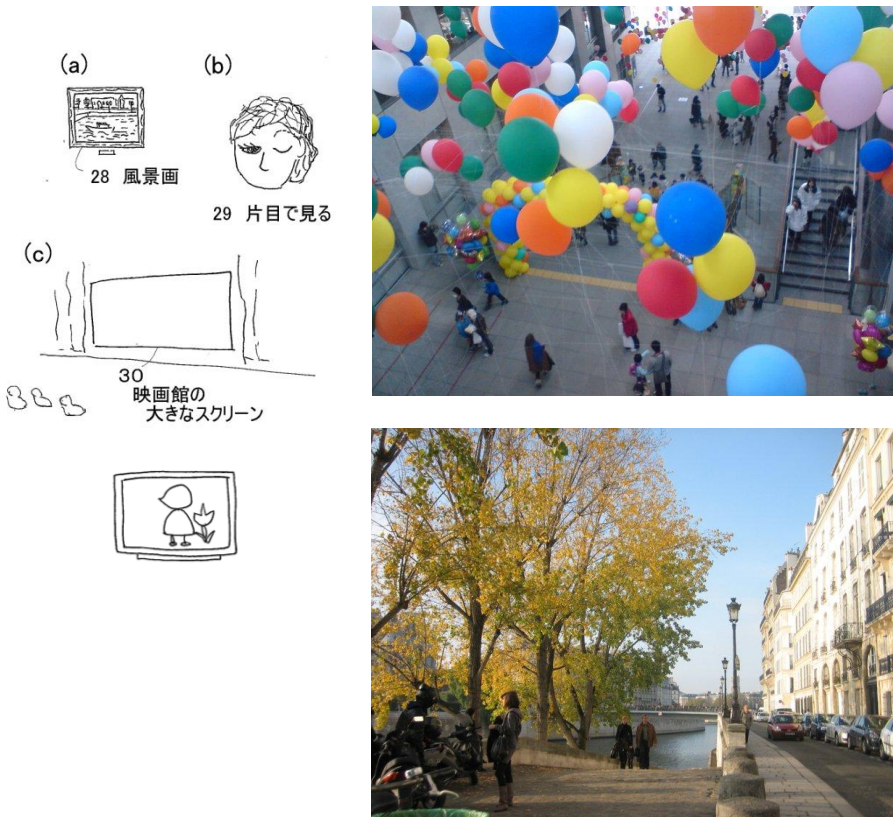


図2・113 片眼立体の例(片眼で見ると実体感, 奥行き感)

映画館で、時々片眼で鑑賞すると印象が深くなる。

更に解像度の高い4Kカメラの大画面では、時々片眼鑑賞をすると実体感のある鑑賞になる。

両眼視差以外にも平面画面内に10種類以上の立体情報がある(図2・114)。微小視差で自然な立体になる。

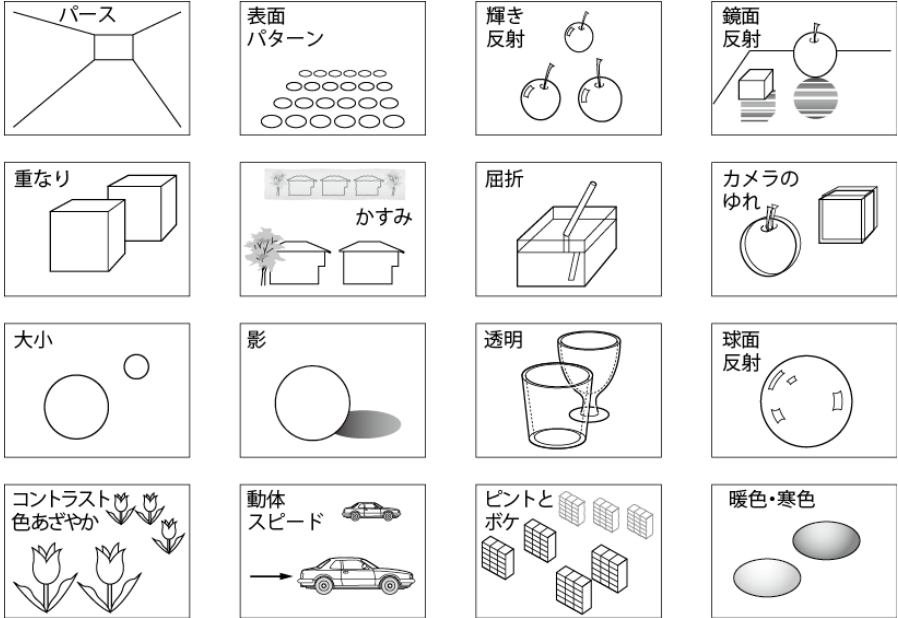


図2・114 立体情報

■参考文献

- 1) “パノラマ&ステレオカメラ展” 冊子, 日本カメラ博物館, p.7, Dec. 1992.
- 2) 飯田定信(資料作成), 三隅繁(資料監修), “解説資料・立体映画の歴史と技術,” ゲスト技術レクチャー, VOL.6 立体映画の世界, 映画保存協会 (<http://www.filmpress.org/>), http://fps.sakura.ne.jp/wordpress/wp-content/uploads/2008/08/3d_txt_0720.pdf
- 3) “人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン” 2010年4月改定版, 国際ガイドラインIWA3 準拠3Dコンソーシアム安全ガイドライン部会, http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/3dc_guideJ_20100420.pdf
- 4) “1 レンズ方式微小視差立体カメラ,” 映像情報メディア学会, Mar. 2008.